全世界

全世界開発途上国における
建設工事で遭遇する特殊土壌対策及び
ローカルの自然地盤材料の補強対策に関する
基礎研究（プロジェクト研究）

ファイナルレポート

2025 年 5 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社

資金
JR
25-013

全世界

全世界開発途上国における
建設工事で遭遇する特殊土壌対策及び
ローカルの自然地盤材料の補強対策に関する
基礎研究(プロジェクト研究)

ファイナルレポート

2025 年 5 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社

目次

第 1 章　序論 1-1

1.1　調査の背景 1-1

1.2　目的 1-1

1.3　対象とする特殊土等の範囲 1-2

1.4　本報告書の構成 1-2

第 2 章　特殊土について 2-1

2.1　特殊土の定義とその背景 2-1

2.2　土壌の形成要因 2-2

2.3　土壌形成プロセス（Soil Formation Processes） 2-13

2.4　特殊土の成立と分布（Formation and Distribution of Problematic Soils） 2-18

2.5　特殊土の工学的問題 2-24

第 3 章　ODA 事業に係る特殊土の事例と分析 3-1

3.1　特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の概要と課題 3-1

3.2　特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の JICA 特記仕様書のレビュー 3-19

3.3　特殊土の対策、自然地盤材料の補強に係る準備調査・設計（点検・維持管理含む）における課題 3-21

3.4　特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の施工管理／監理計画書のレビュー3-22

第 4 章　本邦の特殊土対策、自然地盤材料の補強対策技術とのり面処理技術 4-1

4.1　本邦の特殊土対策、補強対策技術 4-1

4.2　本邦の盛土のり面処理技術 4-89

第 5 章　現地調査（海外調査） 5-1

5.1　現地調査計画 5-1

5.2　調査結果・東南アジア 5-9

5.3　調査結果・中央アジア 5-58

5.4　調査結果・東アフリカ 5-77

5.5 調査結果・西アフリカ 5-120
5.6 調査結果・大洋州 5-168
第 6 章 意見交換会／JICA 内部説明会 6-1
6.1 第 1 回意見交換会 6-1
6.2 第 2 回意見交換会 6-8
6.3 JICA 内部説明会 6-12
第 7 章 特殊土対策ハンドブックの作成 7-1
第 8 章 特殊土対策 8-1
8.1 膨潤性土 8-1
8.2 分散性土 8-83
8.3 ラテライト 8-115
8.4 崩壊性土 8-139
8.5 侵食性土壌 8-174
8.6 破砕性土 8-182
8.7 可溶性地盤 8-191
8.8 泥炭 8-202
8.9 塩類性土壌 8-219
8.10 硫酸塩／硫化土壌 8-229
8.11 炭酸塩土壌 8-241
8.12 酸性土壌 8-253
8.13 珊瑚土壌 8-263
8.14 雲母を多く含む砂 8-268
8.15 氷河堆積土（氷積土） 8-280
8.16 乾燥土壌 8-286
8.17 風化岩・変成岩 8-288
第 9 章 JICA 特記仕様書への提言 9-1

9.1 特記仕様書のあるべき方向性 9-1

9.2 特記仕様書の自然条件調査に係る記述の追記提案 9-3

9.3 詳細設計・施工・維持管理段階に引き継ぐ情報の整理 9-6

9.4 要員の配置 9-6

第 10 章 今後の案件形成への助言 10-1

10.1 現地ヒアリング結果に基づく期待される支援事業 10-1

10.2 日本に期待する支援事業と海外展開の事例の類型化 10-3

10.3 本邦技術の海外展開事例と現地適合化に向けた課題 10-4

10.4 本邦技術海外展開に向けた助言 10-6

巻末資料

APPENDIX A 全世界、地域／国別の地図上に表した各特殊土の分布状況 A-1

APPENDIX B 特殊土の地域的分布（特殊土の種類ごとの推定分布国一覧） B-1

APPENDIX C 土壌に関する各種の分類体系 C-1

第1章 序論

1.1 調査の背景

無償資金協力事業を始めとするODA事業は世界中の様々な地域で実施されている。これらの事業において事業対象地域の地盤や建設材料として使用される土質材料のなかで、その挙動が特殊な性質を示す特殊土に遭遇することがある。

例えば含水比の変化に伴い膨張性を示す膨潤性土の事例として、道路構造物の路床盛土内のブラックコットンソイルの膨張による完成後の道路舗装の著しい破壊、緩勾配の切土斜面の土の乾湿繰り返しによる法面の土の膨張に起因する崩壊、排水工等の小規模なコンクリート構造物の背面土の膨張地圧による破壊等の問題が発生している。分散性土やラテライトの事例では舗装面など盛土表面の大規模な陥没・ドラゴンホールの発生、土工部法面の著しい損傷や法面の不安定化等の問題が発生している。

これらの特殊土は日本では一般的に見られないことから、ODA 事業の関係者・技術者に十分な経験・知見がなく、設計中に特殊土の存在が特定されず、適切な対応を含む計画がされない、施工中の特殊土の適切な取扱いが行われないなどの現状がある。このため、工事中に発覚した特殊土の問題により想定外の多大な設計変更と多大な工期延長が必要となる、完成・供用開始後に機能性に著しい影響を与える不具合が発生し、補修工事に多大な費用を要するなど問題が発生する事例がみられる。特に無償事業ではこの問題によって事業費が閣議決定額を超過する、工期が交換文書を超過するなどの事象を引き起こし、円滑な事業の推進に深刻な影響をもたらしている。

日本は厚く堆積する沖積土・軟弱地盤や、泥炭・シラス等の特殊土対策のため、様々な試行を繰り返し、地盤改良の方法やのり面保護による構造物の安定化、リスク低減のための施工上の配慮など優れた知見・技術を持っているが、他国にとって有益な技術が必ずしも海外展開されておらず、本邦のプレゼンス向上に役立っていない。

1.2 目的

本業務は上記の背景を踏まえ、ODA 事業の円滑な実施が図られることを目標とし以下に示す 4 点を目的として実施する。

- 海外建設工事において遭遇する特殊土を対象とし、将来案件の計画段階での注意喚起や対策の立案に資する技術資料を作成する。
- 建設工事に適さない土質材料の地盤改良技術や、のり面処理技術等の適切な対応策を文献調査・関係機関のヒアリングを通して調査し、整理する。
- 上記の結果を特殊土対策マニュアルとしてとりまとめる。
- 我が国の地盤改良技術の比較優位を示し「質の高いインフラ輸出」に資する案件形成に貢献する。

1.3 対象とする特殊土等の範囲

本業務で対象とする特殊土等の範囲は以下の通りとする。

① 分散性や膨張性を示すいわゆる特殊土と呼ばれているもの

② サンゴ由来の土質材料などその地域に支配的に存在する土であるため、使用適性に欠けても代用できる材料の確保が困難であるもの

③ 熱帯地域で見られるラテライトのように改良土や土羽土として使用する際に土質材料としての評価が定まっていないもの

④ 低湿地帯などで工学的強度の不足する軟弱地盤や有機質土地盤

1.4 本報告書の構成

本報告書は業務の工程に鑑み下記の構成とする。第 1 章から第 5 章では調査の概要、特殊土に係る既往文献や事例、本邦の対策に係る調査結果、及び現地調査（海外調査）の調査結果を取りまとめた。第 6 章には 2024 年 5 月及び 2025 年 2 月に実施した意見交換会の概要を記載している。第 7 章以降では、ハンドブックの作成、特殊土対策、JICA 業務指示書への提言、ならびに今後の案件形成への助言について取りまとめている。

- 第 1 章　序論
- 第 2 章　特殊土について
- 第 3 章　ODA 事業に係る特殊土の事例と分析
- 第 4 章　本邦の特殊土対策、自然地盤材料の補強対策技術とのり面処理技術
- 第 5 章　現地調査（海外調査）
- 第 6 章　意見交換会
- 第 7 章　特殊土対策ハンドブックの作成
- 第 8 章　特殊土対策
- 第 9 章　JICA 業務指示書への提言
- 第 10 章　今後の案件形成への助言

巻末資料

- Appendix A 全世界、地域／国別の地図上に表した各特殊土の分布状況
- Appendix B 特殊土の地域的分布（特殊土の種類ごとの推定分布国一覧）
- Appendix C 土壌に関する各種の分類体系

第2章 特殊土について

2.1 特殊土の定義とその背景

本章は、建設工学的な視点に立って、いわゆる「特殊土」と呼ばれる土の学術的背景を整理し、その用語や定義の違い、歴史的経緯、分類の視点を提示している。これは、各特殊土の技術的検討に対する基礎的な枠組みとなる。

特殊土は土壌の一種であるが、その特殊性は土壌一般の形成要因等の違いに由来していることから、これら土壌一般の特性に関する基本的理解が重要である。このため、まず、この章の 2.2 節と 2.3 節で特殊土も含めた土壌一般に関する記述を行い、2.4 節以下にその中での特殊土の位置づけを行う構成としている。なお、2.4 節以降の節に取り上げられていない、あるいは取り上げられていても、それのみでは解釈が困難な特殊土について、2.2 節、2.3 節の土壌一般共通の知見を参照して情報を得ることにも益すると考えられる。

2.1.1 特殊土の定義

地盤工学会において「特殊土（unusual soil／problem soil）」とは「従来の地盤工学の手法では調査・設計・施工が困難な土」と定義されている。「unusual」は文字通り「普通ではない」土、「problem soil」は「問題を引き起こす土」という意味を持つが、後者のほうが工学的定義には適合する。学術文献では "problematic soil" という語も広く用いられており、これも土質に起因して構造物や施工工程に問題をもたらす可能性のある地盤を指している。

2.1.2 日本における特殊土の法的位置づけと歴史

「特殊土」という用語は日本では昭和 27 年に制定された「特殊土壌地帯災害防除及び振興臨時措置法」に起源を持つ。この法律は主に豪雨災害を対象とし、「しらす」「ぼら」「赤ぼや」「花崗岩風化土」などの火山噴出物や風化岩を特殊土と規定している。これらの土は、侵食性が高く、農地改良や災害防除上の対策が求められたことから、「特殊な性質を持つ土」として分類された。

2.1.3 地理的広がりと対象範囲の拡大

現在では、こうした狭義の特殊土に加え、世界中に分布する多様な土が工学上の問題を引き起こす可能性があることから、特殊土の対象は国際的に拡大している。本調査では、日本では一般的に存在しないものの、国内で通用する調査・設計・施工の枠組みでは対応が難しい土も含めて「特殊土」と定義し、その取り扱いの基準を整理することを目的としている。

2.1.4 土質・土壌における分野間の用語使い分け

建設分野では「土」と「土壌」は明確に区別される場合がある。地盤工学では「膨潤性土」「分散性土」など「土」が使われることが多い。一方、農学や土壌学では「塩類土壌」「熱帯性土壌」など

「土壌」と表記されるのが一般的である。この違いは、対象とする現象（工学的 vs 生物・化学的）と分析スケール（構造物単位 vs 作物・気候単位）によって生じている。

2.2 土壌の形成要因

(1) 土壌学の起源とドクチャエフの貢献

土壌学の学術的基礎は、19 世紀のロシアの科学者ヴァシリー・ドクチャエフにより築かれた。彼は、土壌の地域的変化が地形や気候、そして母材（parent material）と密接に関係していることを明らかにした。これにより、土壌は単なる風化物ではなく、複数の自然要因の相互作用によって生成・変化する動的な存在であるという視点が生まれた。

(2) ジェニーによる土壌形成要因の数式化

この視点を引き継ぎ、20 世紀に入ってから Hans Jenny（ハンス・ジェニー）は、土壌形成は以下の関数で表せると提案した。

土壌 = f （気候、生物、地形、母材、時間）

このモデルは、土壌特性が時間の中で変化する自然環境の結果であり、それぞれの因子が独立かつ相互に影響し合って土壌の物理化学的性質や分布に影響を及ぼすことを示している。

(3) 土壌の形成プロセスの具体例

例えば、岩石が熱や凍結により物理的に破砕されることでレゴリス（風化物）が形成され、さらに化学的風化により鉱物が溶解し、細粒成分が生成される。これらは植物の根の定着や腐植の生成を促進し、やがては土壌表層に有機層を形成する。時間の経過とともに、植物残渣や鉱物粒子の蓄積によって層構造（例：A 層、B 層、C 層）が形成され、より成熟した土壌へと発展していく。

(4) 地形や人為的影響の重要性

地形によって生育環境や排水条件が変わることで、同一母材でも異なる土壌が形成されることがある。さらに、人間の活動、特に灌漑や除草、肥料施用などは、自然の土壌形成プロセスを急速に変化させる力を持つ。このような人工的な変化は、土壌の物理構造や化学特性（pH、塩分濃度など）に顕著な影響を与える。

2.2.1 土壌形成要因 1：母材（Parent Material）

母材とは、土壌の材料としての基礎を構成する物質であり、多くの場合は地質的起源の岩石だが、有機性（例：泥炭）の場合もある。土壌の鉱物組成や化学性・物理性に強く影響し、風化の進行や透水性、肥沃度などに大きな違いを生む。例えば、石英を多く含む母材は風化しにくく、透水性に優れた砂質土壌を形成する。一方、石灰岩を母材とする場合は、土壌がアルカリ性となり、酸性に弱い植物（例：シャクナゲ）は生育しづらい。

【母材の 3 分類】

- 氷・水・風・重力により運ばれた未固結堆積物（例：沖積層）
- 起源岩の真上に形成された風化生成物（例：サプロライト）
- 腐植または腐敗中の有機残渣（例：泥炭）

これらの母材は、物理的（凍結・膨張など）および化学的（加水分解・溶解）風化によって変化し、次第に粘土鉱物や酸化物を含む細粒分となる。風化の程度に応じて形成される粘土鉱物が変化する：

- 初期風化：石膏・方解石・角閃石など（乾燥地）
- 中期風化：石英・モンモリロナイト・白雲母など（温帯）
- 高度風化：カオリナイト・ギブサイト・鉄酸化物（熱帯）

また、地域ごとの地質にも違いがあり、アフリカは古い岩盤が露出し深く風化した土壌が多く、アジアはヒマラヤ起源の堆積物など地質的に複雑である。この違いが、母材による土壌形成に地域差をもたらす。

図 2.2.1 には地表地質学に基づいた岩石の分布図を示す。分類は大きく未固結堆積物、堆積岩、火砕岩、変成岩、深成岩、火山岩に分けられている。この分布図は、ほとんどの土壌が未固結堆積物と堆積岩の上に発達したことを示しているが、地域レベルでは示された条件とはまったく異なる可能性があることに留意しなければならない。

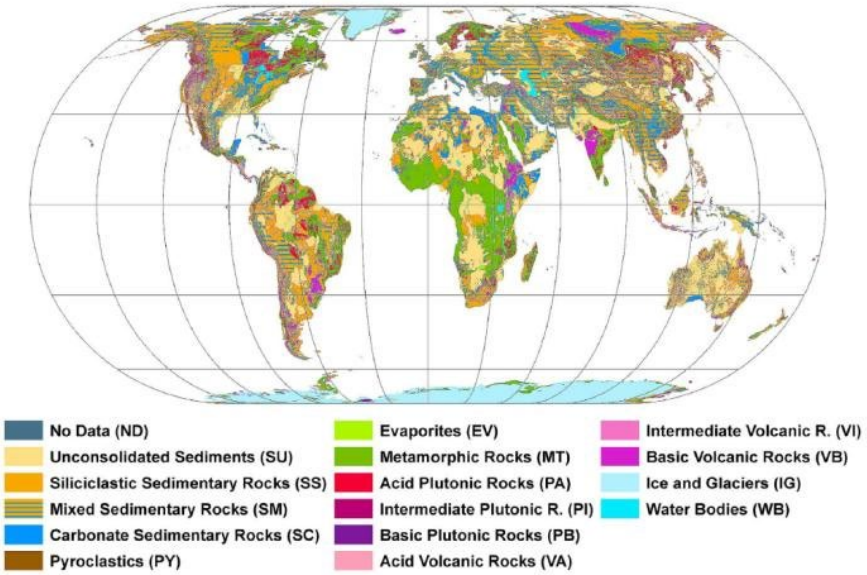


Figure 1. Representation of the global lithological map database (GLiM) showing the basic lithological classes (first level of information). Please note that the map resolution is finer than the print resolution (simplified gridded data available for download at http://dx.doi.org/10.1594/PANGAEA.788537).

出典：The new global lithological map database GLiM: A representation of rock properties at the Earth surface, Jens Hartmann and Nils Moosdorf, 2012

図 2.2.1 地表付近の岩石の分布図

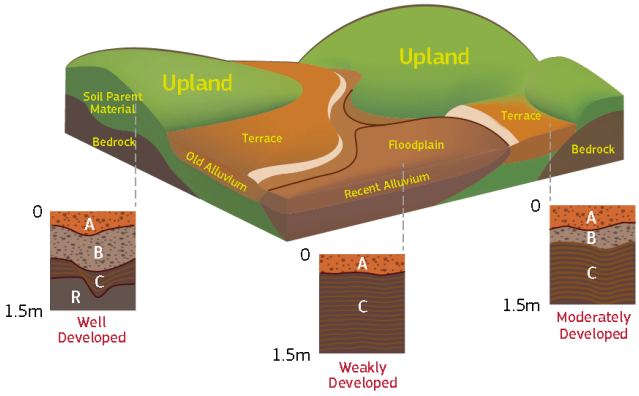
2.2.2 土壌形成要因 2：地形（Topography）

地形（地表の形状）は、気候や植生、水の流れに関係し、土壌の排水性・浸透性・侵食傾向に影響を与える。微地形（小さな起伏）でも、排水条件や塩分集積に大きな差が出るため、土壌分布の細かい違いを生み出す要因となる。

【地形と土壌の形成パターン】

- **斜面上部（頂部）：**水はけ良好、栄養分流出
- **斜面中腹：**上からの土や水を受け取り、流出もあり
- **斜面下部・谷底：**排水不良、浸水・集積が発生しやすい

図 2.2.2 は斜面における土壌の分布模式図となる。斜面上部→中腹→下部へと、土壌の種類・肥沃度・排水性が変化することを視覚的に示しており、地形の形状（凹凸・傾斜・方向）は、物質移動の速さや浸食・堆積の程度を左右する。特に凹型の地形では、塩類や有機物が集まりやすく、微気候の影響も強く出る。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

図 2.2.2 地形による土壌の違い

図 2.2.3 には、世界の低地（青緑）・高原（橙）・山地（黄～緑）を色分けし、地形の違いとそれによる土壌条件の分布傾向を示している。

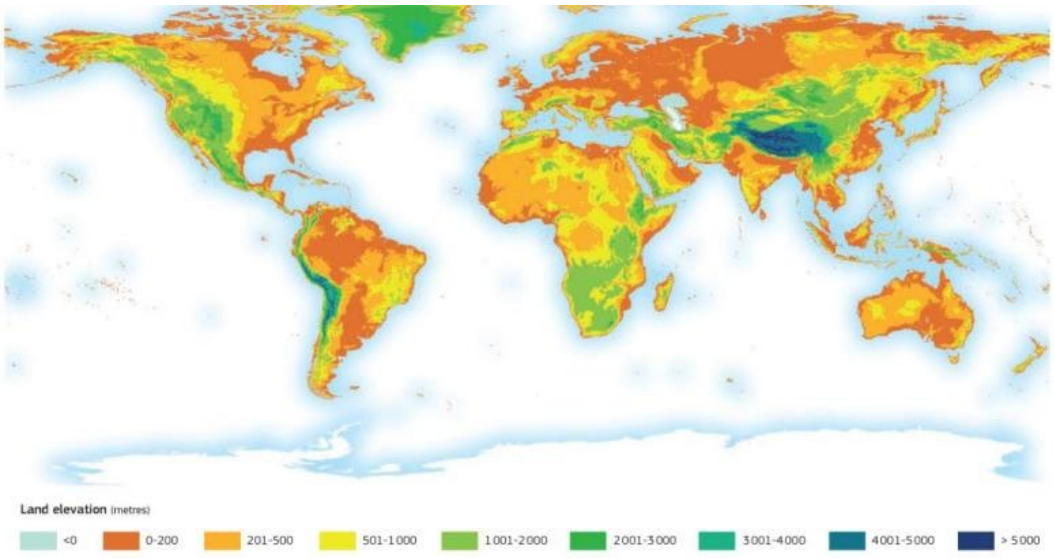
北アフリカ、カスピ海、オランダ沿岸の低地では塩湖が発達している。世界で最も低い地点はイスラエルとヨルダンの国境にある死海で海抜マイナス 411m となっており、塩分濃度が高いことで有名である。

濃いオレンジ色のエリアは、標高と起伏の低い地形の範囲を示しており、シベリアの湿地帯、ユーラシア大陸北部と中央部の大部分、南アメリカのアマゾン川とパラナ・パラグアイ盆地、メキシコ湾とハドソン湾周辺の沿岸地帯が含まれる。これらは概して平坦または緩やかな起伏しかない。

薄いオレンジ色は、地形が急勾配で土壌侵食の兆候を示し始める高原を示している（北米東部と中央部、北アフリカ、オーストラリアの大部分）。

黄色は高地を表し、場所によっては山岳地帯（緑）となる。ロッキー山脈、グリーンランド、アルプス山脈、北アフリカのアトラス山脈、中東のアナトリア高原とザグロス山脈、タンザニアとモンゴルの南部高原などがある。

地球上で最も標高が高い場所（濃い青）はヒマラヤ山脈にあり、エベレストは海抜 8,848m に達する。南米のアンデス山脈にも高い山々がそびえている（アコンカグア山、6,962m）。



出典：WorldClim Database v1.4 – www.worldclim.org

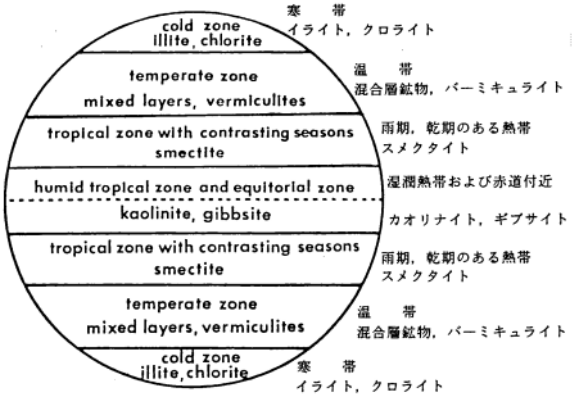
図 2.2.3 海抜標高レベル

2.2.3 土壌形成要因 3：気候（Climate）

気候は、土壌の形成における最も重要な外的要因の一つであり、風化プロセス・有機物分解・水分移動などに決定的な影響を与える。

- **高温多湿地域：**化学的風化が活発で粘土や酸化物の生成が進む。
- **乾燥地域：**物理的風化が主導し、塩類集積などの問題が起こる。
- **寒冷地域：**凍結・融解による機械的風化が卓越する。

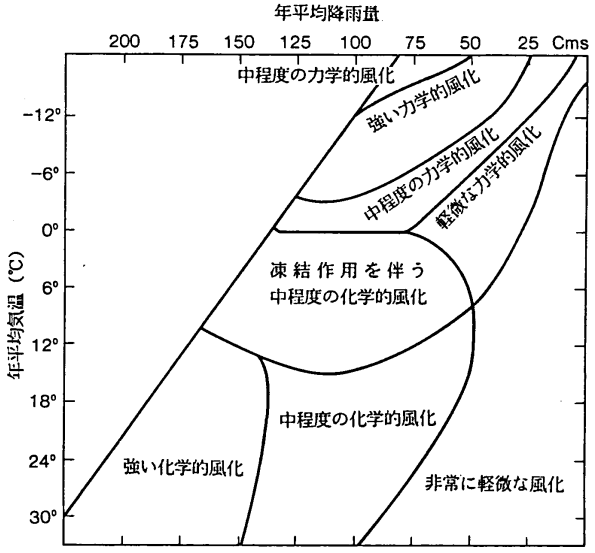
気候により生成される主な粘土鉱物は、図 2.2.4 に示すように異なる。膨張性土や分散性土で問題となるスメクタイトは、乾季と雨季が交互に訪れる熱帯～亜熱帯の気候で形成される。湿潤熱帯では、カオリナイトや酸化鉄類が生成されやすく、イライトなどは主に温帯地域に分布する。



出典：地盤工学の立場からみた風化残積土に関する研究，末岡徹(1993)

図 2.2.4 粘土鉱物生成における気候の影響

また、気候の影響で風化形態も異なる。土壌は図 2.2.5 に示すように気温が高いほどまた降雨が多いほど風化が大きくなり、また、凍結による影響も受ける。高温多湿な地域では深部まで風化が進みラテライト土が形成されやすく、低温乾燥地では表層の物理的風化が主体となる。



出典：地盤工学の立場からみた風化残積土に関する研究，末岡徹(1993)

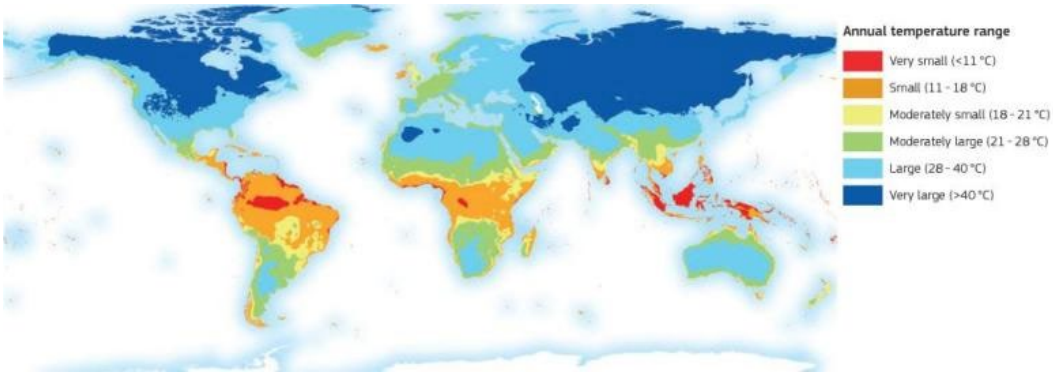
図 2.2.5 気温と降雨量の異なる条件下での風化形態

気候が土壌に与える影響は単なる降雨量や気温だけでなく、季節変動のパターンや蒸発散とのバランスにも依存する。例えば、乾期と雨期が明確な地域では、塩類の再結晶や粘土鉱物の移動が顕著になる。

気温は、土壌の化学的反応や微生物活動、植物の生育に直接的な影響を及ぼす。特に土壌形成に関しては、以下の 2 つの要素が重要である。

- 年較差（気温の年変動幅）：最暖月と最寒月の気温差が大きいほど、物理的風化（凍結・膨張・収縮）への影響が大きくなる。
- 年間平均気温：高温な地域ほど化学的風化が促進され、鉱物の溶解や粘土化が進行する。微生物活性も高まり、有機物分解や栄養塩類の循環が早まる。

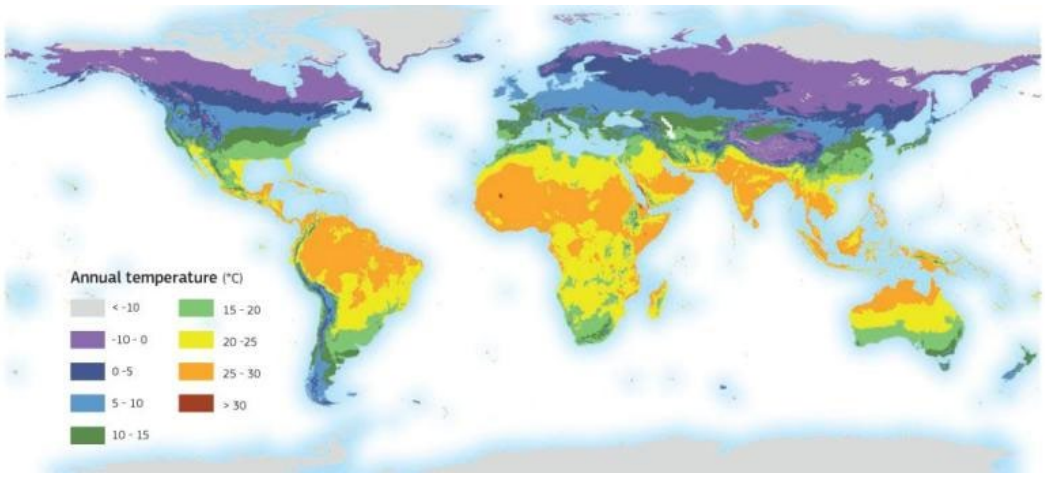
図 2.2.6 に地球全体で気温差が大きい地域（シベリアやカナダ内陸部など）を示しており、風化の物理的メカニズムとの関連を視覚化している。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

図 2.2.6 最も暖かい月と最も寒い月の月平均気温の差に基づく年間気温範囲

図 2.2.7 に熱帯～温帯～寒帯まで、温度帯ごとに分類された地図を示す。気温が高い地域ほど土壌生成が活発であることを示している。



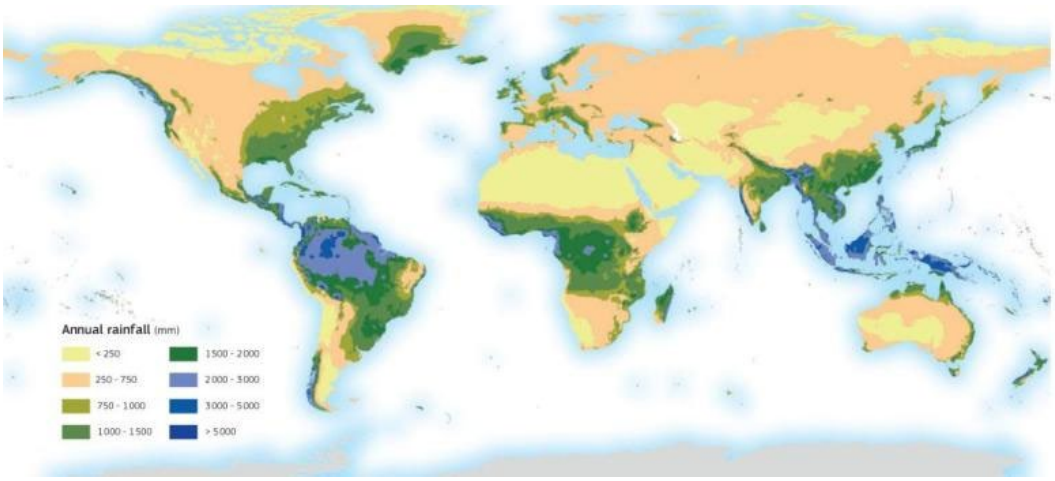
出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

図 2.2.7 地球全体の年間平均気温のパターン

降水は土壌水分の供給源であり、風化や溶脱・移動・侵食の主因となる。

- **高降水地域：**水による化学反応（加水分解・溶解）や溶質移動が活発に行われる。土壌は多孔質化し、鉱物・有機物の浸出が進む。
- **乾燥地域：**蒸発が降水量を上回るため、塩類が地表付近に集積しやすく、塩性土壌（Saline soil）が発達する。
- **極端な降雨：**長雨や豪雨は、土壌の浸食・構造崩壊を引き起こす。

図 2.2.8 には世界の平均年間降水量を示す。熱帯雨林地域（アマゾン、東南アジア）は 5000mm 以上、一方で中東やアタカマ砂漠ではほぼ 0 に近い。極端な乾湿の対比が土壌形成のタイプに直結している。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

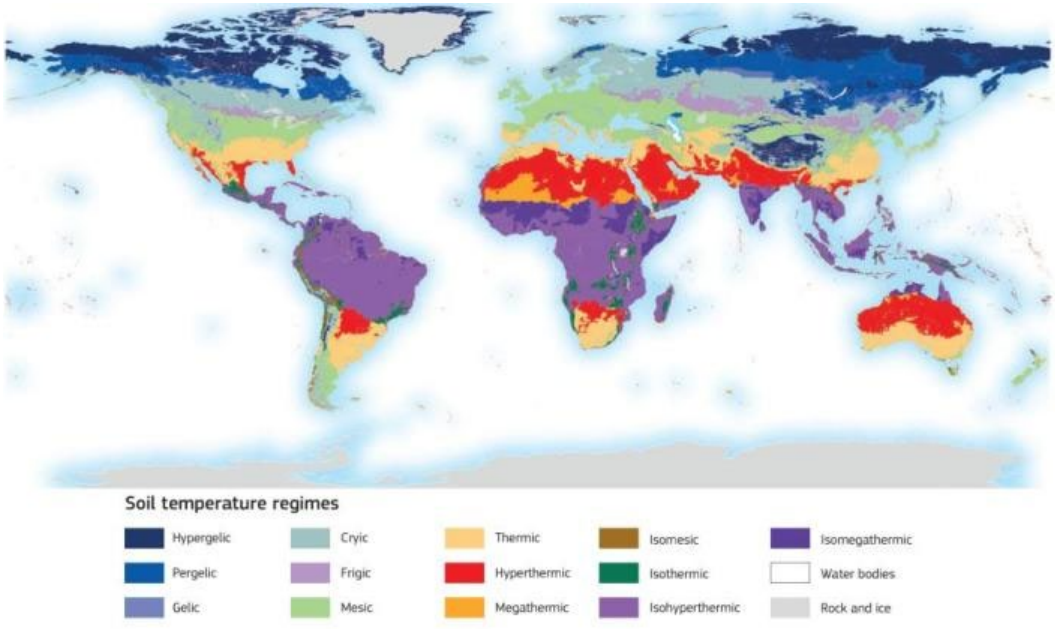
図 2.2.8 平均年間降水量のパターンを示す地図

土壌温度と水分は、植物の根の活動、微生物の生息域、風化・鉱物変質に深く関与する。これらの条件によって、土壌の分類も行われている。土壌は温度により表 2.2.1 の 7 つに分類される。図 2.2.9 には世界中の主な土壌温度地域のパターンを示しており、熱帯地域の多くがハイパーサーミックに分類される。

表 2.2.1 土壌の温度区分（MAST：Mean Annual Soil Temperature）

土壌	説明
ゲリック土壌 （Gelic/ Pergelic）	ラテン語の gelare（凍る）に由来。永久凍土と関連しており、年間平均土壌温度（MAST）は 0℃以下。
寒冷土壌（Cryic）	非常に冷たい土壌であるが、永久凍土はない。年間平均土壌温度（MAST）は 0～8℃。
極寒土壌（Frigid）	夏は寒冷土壌よりも暖かくなるが、MAST は依然とし 0～8℃で、夏と冬の平均土壌温度の差は 6℃以上。
中温土壌（Mesic）	MAST は 8℃以上 15℃未満。夏と冬の平均土壌温度の差は 6℃以上。
高温土壌（Thermic）	MAST は 15℃以上 22℃未満。夏季と冬季の平均土壌温度の差が 6℃以上。
超高温土壌 （Hyperthermic）	MAST は 22℃以上、夏季と冬季の平均土壌温度の差が 6℃以上。
メガ高温土壌 （Megathermic）	MAST は 28℃以上。

出典：JICA 調査団



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

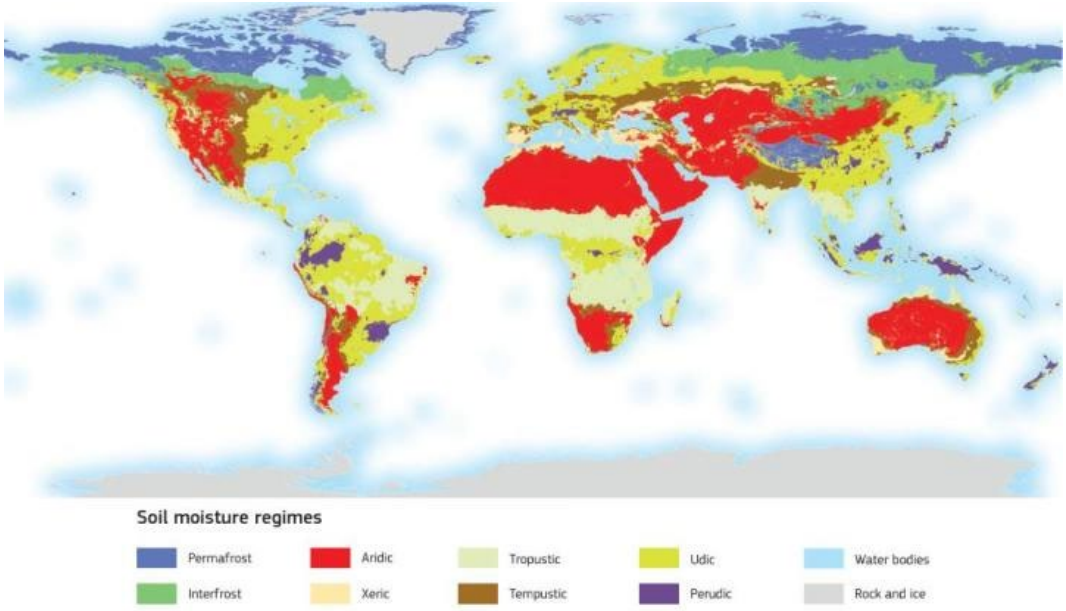
図 2.2.9 世界中の主な土壌温度地域のパターン

土壌水分は、地下水位と植物が利用できる水の有無に基づいて整理される。土壌は水分により表 2.2.2 の 8 つに分類される。図 2.2.10 には世界中の主な土壌水分地域のパターンを示しており、農業・建設における利活用の可否とも関係が深い。

表 2.2.2 土壌の水分区分(降水・蒸発の関係)

土壌	説明
永久凍土(Permafrost)	土壌物質が 2 年以上連続して 0℃未満のまま。水は主にレンズ、静脈、結晶、くさびの形で氷となる。
間凍土(Interfrost)	土壌水分が 1 年のうち数か月間凍結する寒い冬。降雪がある場合がある。
湿潤型(Udic)	湿潤気候。土壌は通常、年間を通じて湿っている。したがって、作物の生産に灌漑は通常必要なし。
半乾燥型(Ustic)	半乾燥気候。生育期に雨が降る。夏は通常乾燥している。
地中海型(Xeric)	半乾燥気候または地中海性気候。土壌は冬に湿っていても、夏は乾燥している場合がある。土壌に蓄えられた水分から乾燥地での栽培が可能。
乾燥型(Aridic)	乾燥した気候で、通常は乾燥している。作物の生産には灌漑が必要。長期間乾燥している。土壌の浸出はほとんどまたはまったくなく、可溶性塩が蓄積する傾向がある。
高湿潤型(Perudic)	降水量はすべての月で蒸発散量を超えているが、土壌は長期間飽和していない。
湿地型(Aquic)	土壌は嫌気性状態を引き起こすほど長期間水で飽和している。

出典：JICA 調査団



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

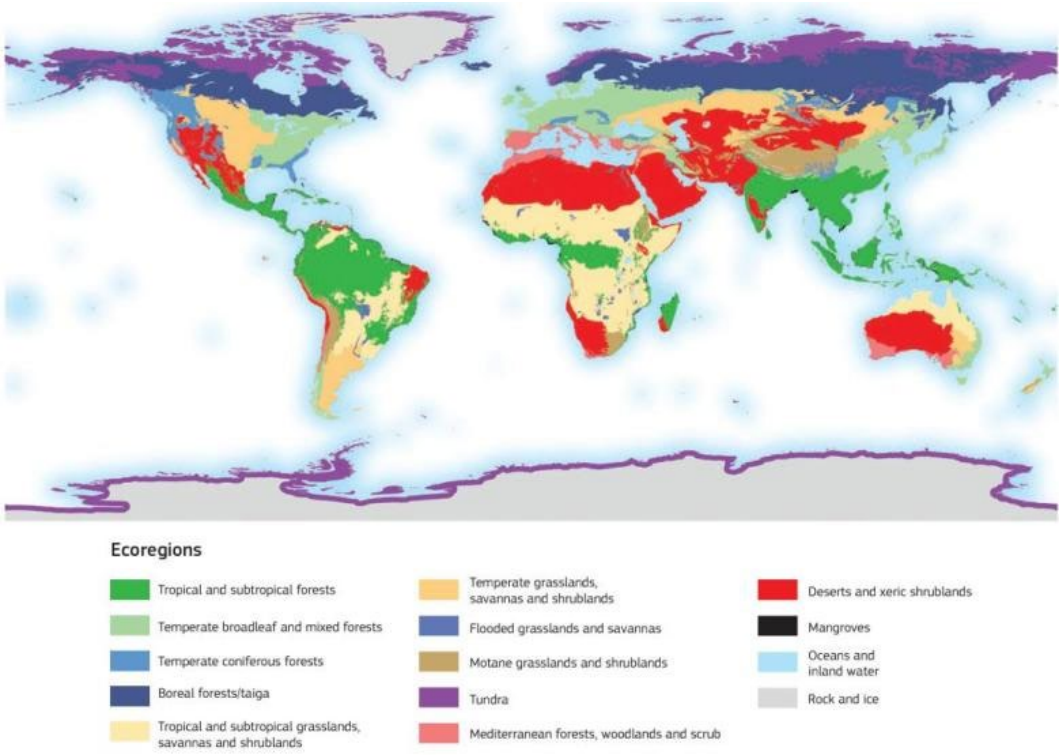
図 2.2.10 世界中の主な土壌水分地域のパターン [3]

2.2.4 土壌形成要因 4：生物（Organisms）

生物は、土壌の有機物層（腐植）形成、鉱物の分解促進、通気性や構造の改変など、多様なプロセスに関与している。

- **植物：**根から有機酸や炭酸ガスを放出し、鉱物の風化を促す。また、落葉や枯死根が有機物を供給。
- **微生物（細菌・菌類）：**分解や栄養塩の再循環を担う。根との共生（リゾスフィア）も重要。
- **動物（ミミズ・アリ・シロアリなど）：**巣穴を掘り、土壌を撹拌し、通気性を改善する。

図 2.2.11 に世界自然保護基金（WWF）が定義した世界の主要生態地域分布を示す。土壌生物の多様性・活性は、熱帯の森林や温帯の草原に集中しており、これらの地域では生物的風化の役割が特に大きい。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

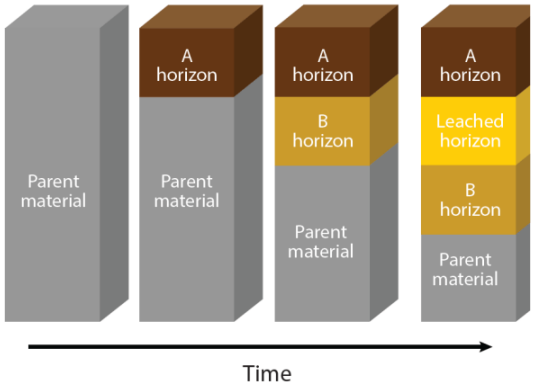
図 2.2.11 世界自然保護基金（WWF）が定義した主要な生態地域

2.2.5 土壌形成要因 5：時間（Time）

時間は、すべての土壌形成要因を長期的に積み重ねる軸であり、土壌の発達・成熟・劣化のサイクルを生み出す。

- 数百年～数千年にわたり、風化・浸出・生物活動が積み重なり、土壌断面（A 層～C 層など）が発達。
- 一方で、短期的な気候変動や人間の活動（伐採・耕作・都市化）により、土壌の構造や機能は大きく変化・退行することもある。
- 地形変化や侵食が新たな母材を露出させることもある。

図 2.2.12 に湿潤環境下における土壌プロファイルの理論モデルを示す。時間とともに、A 層（腐植）、E 層（溶脱層）、B 層（蓄積層）、C 層（風化母材）という典型的な層構造が形成されていく過程を模式的に示している。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

図 2.2.12 湿潤環境における理論的な土壌の発達概念図

2.3 土壌形成プロセス（Soil Formation Processes）

この節では、実際に土壌を構成する物質がどのように生成・変化・移動していくのか、物理・化学・生物的な作用に基づく具体的なプロセスが体系的に説明されている。これらは前節で紹介された形成要因の結果として時間をかけて現れる、地質・地形・気候・生物環境に根ざした動的な現象である。

2.3.1 風化（Weathering）

風化とは固体の岩石や堆積物が破壊・変質して土壌物質に変わっていく現象であり、すべての土壌形成プロセスの出発点である。

2.3.1.1 物理的風化（Mechanical Weathering）

岩石が化学組成を変えることなく、外力（温度差、水の凍結膨張など）によって砕かれる現象。

- 日中と夜間の温度差による膨張・収縮（特に砂漠）
- 水が凍結して体積膨張（+10%）し、岩の割れ目を破壊

この結果として生成されるのが「レゴリス（regolith）」であり、地表を覆う不安定な風化層。深さは地域によって異なり、西アフリカでは 150m にも及ぶ場合がある。

2.3.1.2 化学的風化（Chemical Weathering）

鉱物が水や酸と反応し、構造が崩れ、新たな二次鉱物（粘土鉱物・酸化物）を形成するプロセス。

- 加水分解：水が鉱物の結晶格子を壊し、栄養素イオン（Ca^{2+}, K^{+}など）を放出
- 炭酸風化：大気中の CO_2が雨水に溶け、炭酸（H_2CO_3）となって石灰岩などを溶解
- 酸性雨による強酸化作用：SO_2・NO_xと水が反応し、pH 3 前後の酸性雨を形成
- 酸化還元反応：鉱物内の鉄やマンガンが酸化・還元され、結晶構造を変化させる
- 用語解説：風化前線（weathering front）

固い岩盤と風化層（レゴリス）との境界で、最も風化が活発に進むゾーン。

2.3.1.3 生物的風化（Biological Weathering）

- 植物の根が岩の亀裂に入り込み、物理的に押し広げる
- 根や枯葉から放出される有機酸が鉱物を分解
- シロアリや菌類などが土壌を撹拌、風化を加速

地衣類に覆われた岩表面では、風化速度が 3〜4 倍になるとされており、熱帯地域では生物的風化の影響は極めて大きい。

2.3.2 湿潤条件における一般的なプロセス（Leaching, Translocation, Clay Breakdown）

湿潤地域では降雨量が蒸発量を超えるため、水の浸透や物質移動が主な土壌形成メカニズムになる。

2.3.2.1 浸出（Leaching）

水が土壌中を下向きに移動することで、可溶性塩類や有機・無機成分を地表から深部へと運搬する現象。

- 塩化物、硝酸塩、炭酸塩などが土壌から流出
- 高湿潤地帯では、物質が完全に除去されることもある
- 乾燥地域では、逆に下層に集積することもあり、石膏層や炭酸カルシウムの層を形成

影響因子：

- 元素の移動性（例：塩化物は高移動性、チタンは pH2 でも不溶）
- 水の浸透速度（密度・多孔性・傾斜など）

図 2.3.1 に浸出プロファイルの断面図を示す。表層から炭酸塩が失われ、中層に白い集積層が形成されている様子を示す。暗く腐植質に富んだ表層で表されている表土の最上部 30cm から炭酸塩が浸出している。30cm 下の白い層は浸出した炭酸塩が土壌の深部に蓄積している。



出典：EUR 27236 EN—Global Soil Biodiversity Atlas, Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I. et al., 2016

図 2.3.1 浸出土壌断面

2.3.2.2 粘土粒子の移動（Clay Translocation）

粘土鉱物が、浸透水によって上層から下層に移動する現象。収縮亀裂やマクロポア（粗孔）を通じて水が流れ、粘土を引きずっていく。

- 堆積された粘土は「アルギラン（argillans)」または「クタン（cutans)」と呼ばれる皮膜を形成
- 雨滴の衝撃で表面の微粒子が跳ね飛ばされ、移動する雨滴侵食も含まれる

2.3.2.3 粘土の破壊（Clay Destruction）

高度な浸出により、カルシウムやナトリウムなどの塩基性陽イオンが失われると、水素やアルミニウムイオンが増加し、粘土鉱物が不安定化・崩壊する。

- 粘土の結晶構造が崩れ、アルミニウム・シリカが溶出
- これにより表層の粘土量が減少、pH も低下

注記：この現象は「ルビソル」などの典型的な風化土壌に見られる

2.3.3 湿潤熱帯気候における一般的なプロセス

世界のかなりの地域は湿潤熱帯気候で、年間を通じて気温が高く（年間平均気温は約 26℃)、降雨量が多く（年間 2,000mm 以上)、湿度が高い状態が続く。さらに、熱帯アフリカと南米の大部分は古くて地質学的に安定した地形が深く風化している。このような状況では化学的風化、浸出、転流が組み合わさって、基盤岩の地質が土壌の化学的性質を決定する、いくつかの特徴的な土壌が生成される。

2.3.3.1 鉄分層を含む高度に風化した土壌の形成

- 一次鉱物がほぼ完全に溶出・除去され、残されるのは鉄・アルミニウム酸化物（ヘマタイト・ゲーサイト)、カオリナイト、石英などの難溶成分
- これにより、鉄分を含む B 層（鉄硬盤や団塊状構造）をもつラテライト土壌（lateritic soils）が形成される

このような土壌は構造的に安定である一方、透水性が低く、施工時の処理が難しい。また、乾燥すると急激に硬化し、再利用が困難な場合がある。

2.3.3.2 団塊形成（Concretion Formation）

団塊とは、土壌中に形成される硬くて球状あるいは不定形の鉱物の塊で、特に鉄やマンガン酸化物を主成分とすることが多い。風化が進んだ土壌で、金属成分が再沈着し、長期間にわたって濃集・硬化することで形成される。

団塊の生成メカニズム：

- 風化による鉄の溶出：Fe^{2+}などが可溶状態で移動。
- 酸化環境での再沈着：酸素の存在下でFe^{3+}として酸化され、不溶の酸化鉄に変化。
- 濃集・結晶化：乾湿繰り返しにより、鉄酸化物が凝集して団塊（コンクリ―ション）化。

団塊の意義：

- 強度と耐久性が高く、天然の砕石材料としても用いられる（例：laterite gravel）。
- 分布の不均一性が施工時の問題となりやすく、均質な支持力が得にくい場合がある。

代表的な構成鉱物：ゲーサイト（Goethite）、レピドクロサイト（Lepidocrocite）、マンガン酸化物など。

2.3.3.3 腐植の蓄積（Humus Accumulation）

腐植（humus）とは植物遺体が分解されて形成される安定な有機物であり、土壌の表層（A 層）に多く含まれる。

腐植形成のプロセス：

- 植物の落葉や枯死根が地表に堆積
- 微生物による分解（好気・嫌気条件により異なる）
- 腐植酸やフルボ酸などの安定した有機酸類として残存

腐植の機能と影響：

- 土壌の保水性・通気性・団粒構造の向上
- カチオン交換容量（CEC）の増加→栄養保持力の強化
- 土壌 pH を調整し、金属イオンの移動にも関与

湿潤熱帯での傾向：

- 微生物分解が早く、腐植が蓄積しにくい
- 一部ではトロピカルムルと呼ばれる黒色腐植層が見られるが、局所的で限定的

有機層が厚い温帯林とは異なり、熱帯林の土壌では有機物の高速循環が行われ、腐植の安定蓄積は少ない傾向がある。

2.3.3.4 酸化・還元作用（Oxidation and Reduction）

土壌中の鉄やマンガンなどの金属元素は酸素の有無や水分条件によって酸化還元を繰り返す。

酸化環境（乾燥・通気性あり）：

- Fe^{2+} → Fe^{3+}へ酸化 → ゲーサイト、ヘマタイトなどの沈着
- 土壌色が赤褐色～黄色に変化
- 団塊形成・硬化の原因にもなる

還元環境（過湿・嫌気性）：

- 酸素が枯渇 → 酸化鉄が還元され Fe^{2+}として溶出
- 青灰色～黒色の土壌色が現れる（グライ化）
- 長期的には鉄の除去、団塊分解も発生

還元が進んだ土壌は構造が脆弱化し、施工時の地耐力・排水性の低下を招く。酸化還元の繰り返しにより、斑状模様（モットリング）が形成される。

2.3.3.5 表面の風化プロセス（Surface Weathering）

土壌の最表層では、気候変動や生物活動の影響を直接受けるため、他の層よりも急速な変化が生じやすい。

主要な風化要因：

- 熱的膨張・収縮（昼夜・季節の温度差）
- 乾湿の繰り返しによる体積変化と微細亀裂の形成
- 植物根の浸透・呼吸作用による鉱物破壊
- 雨滴衝撃や表面侵食

影響：

- 粒子の細粒化 → A 層の肥沃度や緩衝能が向上
- ただし、侵食・崩壊・移動による再配置も発生し、B 層以深と混合されることもある

地表面の風化は、土壌分類上では薄い A 層や O 層の形成に対応し、土地利用上は農耕適性や地盤安定性の評価指標ともなる。

2.4 特殊土の成立と分布（Formation and Distribution of Problematic Soils）

本節では、「特殊土」がどのような成因によって成立するのか、そしてそれが地理的にどのように分布しているかを明らかにする。

これまで述べてきた土の生成メカニズムを踏まえ、構造物にとって問題となるような特性が、どの環境条件下で生じるのかを分類的に整理している。

2.4.1 特殊土の分類

特殊土は特に定まった分類方法がない。大きく工学的に問題となる力学特性と化学的特性に分け、それ以外に工学的に問題となる代表的な土をその他と分けて表 2.4.1 のように分類した。

それぞれ土には共通する成因的背景があり、地盤工学的な対策も大きく異なる。

表 2.4.1 特殊土の分類

分類	特殊土名	特徴	主な地域	工学的問題	関連用語
力学特性 Phisical properties	膨潤性土 Expansive/swelling soil (clay)	水分の変化によって大きく膨張・収縮する粘土質の土。モンモリロナイトなどの膨潤性粘土鉱物を多く含む。	乾燥・半乾燥地域。乾期と雨期が明瞭な地域。	地盤の沈下／隆起に伴う変状、構造物の沈下やひび割れ、地すべり／斜面変状、膨潤に伴う土圧発生	Black cotton soil、Bentonite、Smectite/ montmorillonite、Vertisols
	分散性土 Dispersive clay/soil	水に触れると粘土粒子が個別に分離・拡散し、崩壊しやすい土。ナトリウム（Na^+）を多く含む粘土が主成分。	乾燥・半乾燥地域。	パイピング、空洞化／陥没、斜面侵食／崩壊	細粒分（シルト・粘土）が溶脱 Solonetz
	侵食土壌 Erosive soil (Fragile soil)	風や水の作用で表層が削られ、肥沃度が低下した土壌。	斜面地、乾燥地、降雨量の多い地域。	土砂崩落、斜面侵食／ガリ侵食、河川侵食	黄土 Loess、塩類土壌、Sheet Erosion、風成侵食
	崩壊性土（可圧縮性土） Collapsible soil/ground	乾燥時は安定しているが、水分を吸収すると急激に沈下・崩壊する性質を持つ土。	半乾燥地～乾燥地。	水浸沈下（地盤／基礎／盛土）、斜面崩壊	火山灰、黄土 Loess、Sabkha、熱帯性土壌、Quick clay、泥岩、砂質土

分類	特殊土名	特徴	主な地域	工学的問題	関連用語
	破砕性土 （圧縮性土） Crushable soil	乾燥時には硬く締まり、外部からの圧力で容易に割れたり砕けたりする土。	火山地域、風成堆積物が多い乾燥地域	盛土／基礎の沈下、地盤／杭の支持力不足	Loess、火山灰、Sabkha、熱帯性土壌、Collapsible clay, 軽石、粒子破砕
	可溶性地盤 Soluble ground	水に溶けやすい鉱物（主に石灰岩、ドロマイト、石膏、岩塩）を含む地盤を指し、地下水の流れによって空洞や陥没（カルスト地形）を形成しやすい	石灰岩・石膏・岩塩を多く含む地域	陥没、空洞化、支持地盤の不均一	石灰岩、チョーク、石膏、岩塩カルスト地形、Sinkhole、洞窟
	軟弱地盤 Soft grand	強度が弱い、圧縮しやすく、支持力が低いため、沈下や変形が起こりやすい地盤。	沖積平野、デルタ地帯、湿地、埋立地、泥炭地など	圧密沈下／斜面安定／支持力不足。特殊土としては液状化し易い緩い砂、泥炭、海生粘土がある。	沖積世地盤、泥炭（Peat）、海生粘土、液状化
化学特性 Chemical properties	塩類土壌 Saline Soils	地表または土壌中に塩分が過剰に蓄積した土壌。	乾燥・半乾燥地域や排水不良な低地	膨潤性による基礎構造物や道路にひび割れや沈下。塩害による鋼材の腐食／劣化。コンクリートの中性化／アルカリシリカ反応。透水性の低下。ソーダ土壌では分散性の問題が生じる。	Solonchak、Solonetz、Sabkha、Salina（塩田）、Playa、表層クラスト 塩害による鋼材の腐食／劣化 構造物の沈下やひび割れ
	ソーダ土壌 Sodic soils	ナトリウム（Na^{+}）が過剰に蓄積し、土壌の構造が崩れて透水性が低下したアルカリ性土壌。	乾燥・半乾燥地域や排水不良な灌漑地帯		
	硫酸塩土壌 Sulfates soils	硫酸塩（SO_4^{2-}）を多く含む土壌で主に石膏（$CaSO_4$）や硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）が蓄	乾燥・半乾燥地域の塩類集積地帯や沿岸湿地	硫酸塩攻撃によるコンクリート／骨材の劣化。湿潤時に石膏（$CaSO_4$）が溶解し、乾燥時に再結晶化することで	石膏（gypsum, $CaSO_4{\cdot}2H_2O$）、硫酸塩、硫化物、還元された黄鉄鉱（FeS_2） 硫酸カルシウム

分類	特殊土名	特徴	主な地域	工学的問題	関連用語
		積。Na+を多く含むと Sodic soil に移行する。		体積変化が発生する膨潤性の問題。空洞化、地盤沈下。低支持力。金属・配下難の腐食。	（calcium sulfate）
	硫化土壌 sulfides soils	硫化土壌は硫黄を含む有機物（例：ピライト FeS_2）が還元状態で蓄積した土壌。酸化すると強酸性（pH 4）を示す Acid Sulfate Soil 土壌に変化する。	沿岸湿地・干拓地・泥炭地・河口域	酸性化によるコンクリート・鉄筋の腐食。 軟弱地盤、低支持力。	
	炭酸塩土壌 Carbonate soil	炭酸塩（Carbonate, CO_3^{2-}）を豊富に含む土壌で石灰岩の風化や塩類集積によって形成される。主に炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム（ドロマイト）、炭酸ナトリウムなどが含まれる。	乾燥・半乾燥地域、カルスト地域、火山灰地域、海洋地域（珊瑚礁）乾燥・半乾燥地域	空洞化に伴う地盤沈下。道路、鉄道、基礎の不同沈下。Calcareous soil はコンクリート・金属の劣化。塩害による鉄筋の腐食。 支持力の低下。珊瑚混じり砂では破砕性土と同じ杭の支持力が従来式で求められない。	Limestone soils、Alkaline soil、Calcareous soil、チョーク（Chalky soil）、泥灰土（Marl）、貝殻・珊瑚礁混り砂
	カルケアス土壌 Calcareous soil	炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を多く含むアルカリ性の土壌。炭酸塩土壌に含まれる。			
その他	ラテライト	強い風化を受けた土壌であり、酸化鉄や酸化アル	湿潤熱帯・亜熱帯地域	乾燥時には非常に硬いが、雨がふると軟化して崩れ	乾燥すると硬化し、岩石のように固くなり、道路材

分類	特殊土名	特徴	主な地域	工学的問題	関連用語
		ミニウムが豊富に含まれ、硬化しやすい。酸性土。		易くなる不安定な材料。表面が硬化しても地下に軟弱層がある場合が多い。基礎の沈下が不均一で不同沈下を起こす。道路舗装材に使用すると雨期に急速に劣化し、舗装破損で更に悪化する。	料やレンガとして利用される。
	火山灰性土	火山噴火によって堆積した火山灰・スコリア・軽石などが風化して形成された土壌で、軽量で多孔質。	山帯に沿った地域	軟弱地盤と同じ問題、破砕性挙動（軽石 pumice を多く含む）、斜面崩壊	ローム、シラス、Ashy Soil、低摩擦力、pumice、scoria
	雲母を多く含む砂	風化や侵食によって形成された砂粒の中に、マイカ鉱物（白雲母、黒雲母、金雲母など）が豊富に含まれる砂質堆積物。	雲母鉱床が豊富な地域や花崗岩質の山地・河川流域	高圧縮変形、剪断力の不足、杭の支持力不足	
	氷河堆積土 (氷積土) Glacial sediment	氷河によって運搬・堆積された土壌・堆積物の総称であり、粒径の異なる堆積物が混在し、地盤としての安定性や排水性が変化する特徴を有する。氷河が後退するときに形成され、	北半球の高緯度地域や山岳地帯	不均一な構造、急激な強度低下（Quick clay）、凍結融解	Quick clay/sand、Till、 moraine、角張った粒子、Outwash、Esker Drumlin

分類	特殊土名	特徴	主な地域	工学的問題	関連用語
		砂礫・シルト・粘土を含む多様な組成を持つ。			
	風化岩／軟岩	風化岩は岩石が風化（物理的・化学的作用）によって強度・変形特性が低下したもの。 軟岩は岩石の種類にかかわらず元々硬度が低く、掘削が容易な岩石である。	風化岩は熱帯・温帯地域の高温多湿な環境や古い地質の地域。 軟岩は堆積岩（頁岩、泥岩、凝灰岩）や風化しやすい火成岩（安山岩、凝灰岩など）が分布する地域	スレーキングして軟弱粘性土に変化する⇒斜面崩壊、地すべり、膨潤性土 盛土材料で使用すると荷重によって粒子が破砕して沈下する（破砕性）。または水が浸入してスレーキングして沈下が生じる（崩壊性）。	Clay shale, Claystone, Shist, Phyllite, Shale、水浸沈下

出典：JICA 調査団

2.4.2 特殊土の世界的分布

特殊土がどの地域に多く分布しているか下記にとりまとめた。

- ファイナルレポート 巻末資料 Appendix B1：特殊土が分布する可能性がある国
- ファイナルレポート 巻末資料 Appendix B2：各国が有する可能性がある特殊土

工学的な問題に対応する特殊土の世界的分布図は限られており、対象とする地域でどのような特殊土があるか調べる地図はあまりない。

農業分野や土壌学では World Reference Base for Soil Resources, WRB 第 4 版（2022）や USDA Soil Taxonomy 第 13 版（2022）のような全世界を対象とした土壌分布図が作成されている。Harmonized World Soil Database version 2.0 (HWSD v2.0)は 1km の解像度に焦点を当てて、形態、化学、物理的特性を含む土壌の特性に関する詳細な洞察を提供する包括的な世界土壌分類となっている。

膨潤性土の可能性の高い土壌は Vertisols、Chernozems、Acrisols、Luvisols、Phaeozems が考えられるが、HWSD でそれらの土壌分布図と膨潤性土の世界的分布図は極めて類似しており、他の特殊土の分布図もできる可能性が分かった。数 km の精度を有しているのでプロジェクトの対象地域で特殊土が存在するか予測する手段として利用できる。

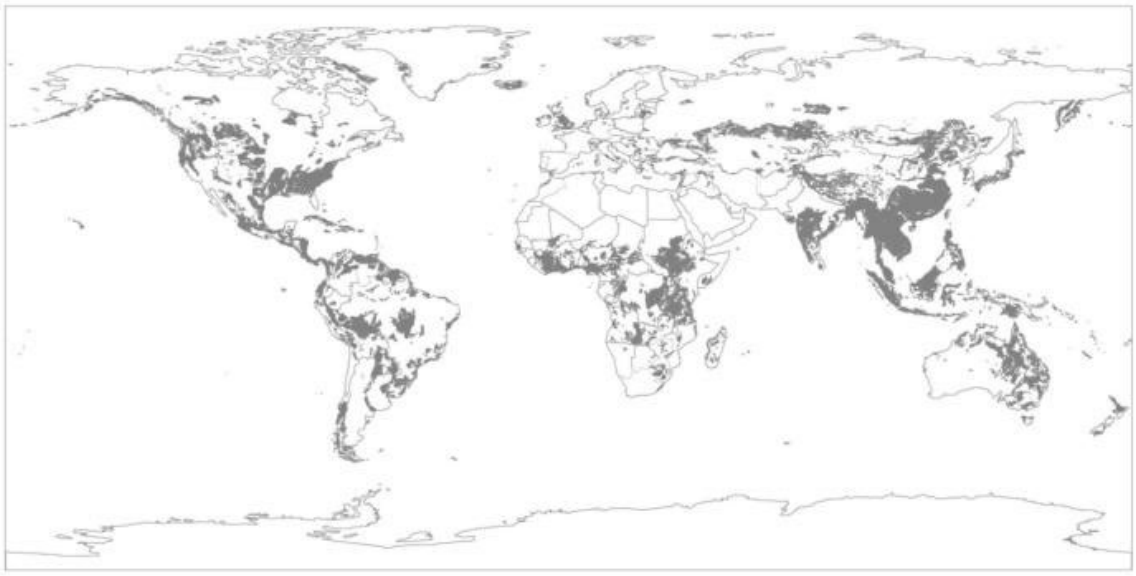
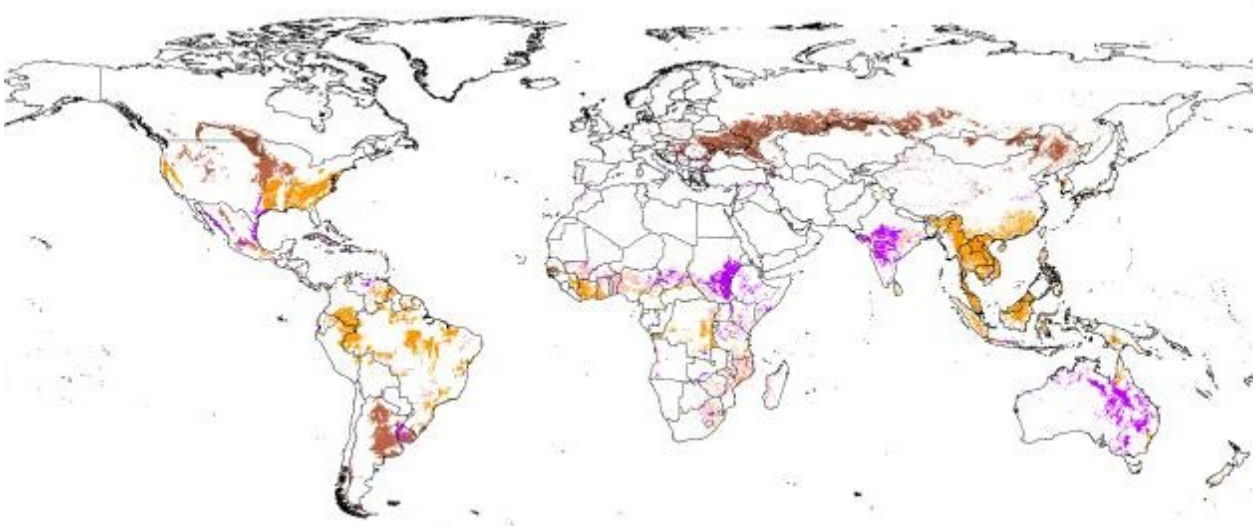


Figure 1 – Global distribution of shrink–swell soil where major construction costs occur (by region)

出典：Swelling and shrinking soils, Jones, Lee; Banks, Vanessa; Jefferson, Ian. 2020

図 2.4.1 膨潤性土の世界的分布図



出典：HWSD Ver.2.0 を用いて JICA 調査団作成

図 2.4.2 HWSD を用いた膨潤性土の可能性のある土壌分布図（Vertisols, Chernozems、Acrisols、Luvisols、Phaeozems）

2.5 特殊土の工学的問題

特殊土には、従来の土質力学では解明できない特性・挙動があるため、問題解決には更なる研究が必要である。文献調査ではそれらはまだ完全には解決されておらず、多くの土が世界的に問題を引き起こし続けている。

ODA の援助を受けている国ではインフラや建設環境の基盤が成長し続け、特殊土に関わる事業がこれまで以上に必要になっており、それに伴い特殊土に関連する問題に遭遇することが増えていくと考えられる。さらに、世界中の政府が設定した持続可能性の主要目標に関連する炭素の影響を削減するための推進力が加わり、気候変動に関連する極端な気象パターンの増加も相まって、特殊土に対処する方法に関する技術が今後ますます必要になると考えられる。

特殊土は継続的に重大な問題を引き起こしており、世界中で問題のある地盤で多くの困難に遭遇している。特殊土の問題を解決するためには以下のことを特殊土毎に解決して行かなければならない。

- 特殊土に関連する地質学的・地形学的側面を理解する。
- 特殊土とその挙動を評価・判定する方法を特定する
- 特殊土を効果的に対策し、設計する方法を確立する。

これらの解決の道筋は簡単では無く、過去の調査・研究成果、施工事例、失敗事例をとりまとめ、特殊土における工学的に有効なガイドライン／マニュアルを提供することが本調査の目的と考えている。その結果、土壌を扱う技術者を悩ませ続けている多くの間違いを防ぐのに役立つことを期待している。

特殊土の工学的な問題点は、土壌の特性、気象条件、構造物毎に違っており、今後新しい施工方法を適用すると過去に遭遇したことの無い問題を生じる可能性があり、多くの未知の領域が残されている可能性が高い。

特殊土では設計方法、対策方法、施工方法の標準化が行われていないことが最大の問題である。さまざまな材料と方法を使用した特殊土の処理に関する包括的なガイドラインはまだ作成されていない。したがって、特殊土の処理の分野の専門家はこの問題の解決に向けて互いに協力する必要がある。

第3章 ODA 事業に係る特殊土の事例と分析

3.1 特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の概要と課題

3.1.1 本邦関連 ODA 案件の事例リスト

文献レビュー及びヒアリング対象の JICA 実施 ODA 案件は、過去に実施された運輸交通分野において道路橋梁整備を中心とした無償・有償資金協力及び技術協力案件とした。調査した実施案件のリストを表 3.1.1 に示す。

表 3.1.1 文献レビュー及びヒアリング対象 JICA 実施案件（無償資金協力）の抜粋

実施国	案件名・期間	土壌に関する情報	コンサルタント	施工業者
東南アジア				
カンボジア	洪水多発地域における緊急橋梁架け計画 【2017 年 11 月~2020 年 11 月】	分散性土、軟弱地盤対策	建技インターナショナル	安藤・間
	国道一号線都心区間改修計画 【2014 年 12 月~2017 年 7 月】	盛土軟弱地盤対策工、置換工実施	片平インターナショナル	安藤・間
	国道 6 号・7 号線修復計画 【1997 年 6 月~1998 年 6 月】	分散性土を道路の材料に使用したことによる路面の陥没や路肩の破損が発生	オリエンタルコンサルタンツグローバル	
ラオス	国道九号線橋梁改修計画 【2016 年 7 月~2019 年 6 月】	過積載車両の走行が要因と考えられるアプローチ道路の亀裂が発生	オリエンタルコンサルタンツグローバル、国際開発センター	安藤・間 JFE エンジニアリング
	国道九号線（メコン地域東西経済回廊）整備計画 【2011 年 8 月~2015 年 3 月】	国道九号線の損傷区間の舗装構造や道路構造を改修	オリエンタルコンサルタンツグローバル、国際開発センター	大林組 大林道路
	国道九号線改修計画 【1999 年 7 月~2004 年 2 月】	過積載車両及びセメント安定処理層の劣化が舗装破損の原因	片平インターナショナル	（1 期）大林組 （2 期）安藤・間
タイ	東部外環状道路（国道九号線）改修計画 【2012 年 8 月~2015 年 4 月】	軟弱地盤上に盛土構造	建設技研インターナショナル	安藤・間、東亜道路、ワールド開発工業
中央アジア				
キルギス	タラス-タラズ道路ウルマラル川橋梁架け替え計画 【2019 年 7 月~実施中】	特殊土に関する記載なし	片平インターナショナル	竹中土木
	ビシュケク-オシュ道路クガルト川橋梁架け替え計画	特殊土に関する記載なし	セントラルコンサルタント	岩田地崎建設

実施国	案件名・期間	土壌に関する情報	コンサルタント	施工業者
	【2013 年 7 月~2015 年 10 月】			
タジキスタン	キジルカラ-ボフタル間道路改修計画 【2019 年 9 月~実施中】	特殊土に関する記載なし	建設技研インターナショナル	大日本土木
	ドゥスティ-ニジノピャンジ間道路整備計画 【2006 年 9 月~2010 年 11 月】	支持力低下が原因とみられる AC 舗装の破損と、急勾配部で AC 舗装の大規模クラックが確認	片平インターナショナル	(1 期)西松建設 (2 期)NIPPO コーポレーション
西アフリカ				
ガーナ	第二次国道八号線改修計画 【2018 年 12 月~2023 年 7 月】	ラテライトのり面処理	セントラルコンサルタント	清水建設、大日本土木
	ガーナ国際回廊改善計画 【2017 年 3 月~2020 年 6 月】	ラテライト	建設技研インターナショナル セントラルコンサルタント	清水建設、大日本土木
	国道 8 号線改修計画 【2009 年 7 月~2013 年 12 月】	ラテライト	アンジェロセック	徳倉建設
ギニア	国道三号線スンバ橋架け替え計画 【2019 年 7 月~2023 年 5 月】	ラテライトのり面処理	セントラルコンサルタント	大日本土木
	国道一号線橋梁改修計画 【2013 年 6 月~2019 年 5 月】	アスファルトプラントの調達等の問題があり、コンクリート舗装による補修を行った	片平インターナショナル	大日本土木
リベリア	リベリア国モンロビア首都圏ジャパン・フリーウェイ延伸整備計画準備調査 【2024 年 3 月~】	低湿地・軟弱地盤	準備調査実施中	
	第二次モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画 【2017 年 3 月~2021 年】	メシュラド湿地が存在	片平インターナショナル	大日本土木
コートジボワール	第二次日本・コートジボワール友好交差点改善計画 【2019 年 1 月~2018 年 5 月】	特殊土に関する記載なし	オリエンタルコンサルタンツグローバル	鴻池組、ピーエス三菱
	日本・コートジボワール友好交差点改善計画 【2015 年 7 月~2018 年 5 月】	特殊土に関する記載なし	オリエンタルコンサルタンツグローバル、セントラルコンサルタント	大豊建設
東アフリカ				
エチオピア	第四次幹線道路改修計画 【2011 年 6 月~2016 年 2 月】	ブラックコットンソイルによる路面損傷が発生	オリエンタルコンサルタンツ、エイト日	鹿島建設

実施国	案件名・期間	土壌に関する情報	コンサルタント	施工業者
			本技術開発	
	第三次幹線道路改修計画 【2005 年 5 月~2009 年 1 月】	ブラックコットンソイルに起因する路面状態悪化	オリエンタルコンサルタンツ、日本技術開発	鹿島建設
タンザニア	第二次ニューバガモヨ道路拡幅計画 【2018 年 2 月~2021 年 12 月】	不良土(軟弱土、膨張土、ゴミ混入土等)対策を実施	アンジェロセック	NIPPO、大日本土木
	ニューバガモヨ道路拡幅計画 【2010 年 5 月~2014 年 7 月】	低い空隙率による舗装破損	アンジェロセック	鴻池組
	キルワ道路拡幅計画 【2006 年 6 月~2009 年 9 月】	上層路盤で採用したセメント安定処理層を要因とするリフレクションクラックが発生	建設企画コンサルタント	鹿島建設
ケニア	ウゴング道路拡幅計画 【2012 年 6 月~】	舗装の劣化による亀甲状のクラックが発生	片平インターナショナル	ワールド開発工業
	ナイロビ西部環状道路建設計画 【2010 年 11 月~2013 年 12 月】	ラテライトやブラックコットンと呼ばれる軟弱地盤が存在	片平インターナショナル	NIPPO
マーシャル諸島	マジュロ環礁魚市場建設計画 【2009 年 3 月~2011 年 2 月】	現地地盤のコーラルストーンが硬岩で浚渫による砂の確保策を検討	水産エンジニアリング	大日本土木、南洋貿易
	マジュロ環礁道路整備計画 【1997 年 7 月~1999 年 11 月】	要改良地盤土	片平エンジニアリングインターナショナル	
ソロモン諸島	ソロモン国キルフィ病院整備計画	骨材採取が環境面の配慮から難しい。膨潤性土が存在	福永設計、八千代エンジニアリング、ビンコーインターナショナル	
	第二次ククム幹線道路改善計画 【2021 年 1 月~2023 年 10 月】	砕石用原石、セメント、型枠合板が現地で入手可能	建設技研インターナショナル	北野建設
	ククム幹線道路改善計画 【2015 年 5 月~終了】	アスファルト合材は現地では生産されてない	片平インターナショナル	北野建設、WKK
	ガダルカナル島東部橋梁架け替え計画 【2006 年 8 月~2008 年 4 月】	現在で良質の骨材（砂・砂利）の採取が可能	建設計画コンサルタント	北野建設
パラオ	首都圏基幹道路改修計画 【2007 年 5 月~2009 年 2 月】	現地産路盤材(コーラル)、アスファルト合材用砕石、砂、コンクリート用骨材を使用	建設技研インターナショナル	西松建設
	島間連絡道路改修計画 【2004 年 6 月~2006 年 11 月】	水に強く現地で入手できるコーラル掘削砕を使用	日本工営・オリエンタルコンサルタンツ	西松建設

出典：JICA 調査団

3.1.2 ODA 事業関係者へのヒアリング調査

3.1.2.1 実施状況

ODA 事業における特殊土壌に遭遇した経験に係る情報・資料を収集するため、ODA 事業関係者へのヒアリング調査を実施した。実施状況を表 3.1.2 に示す。

表 3.1.2 ODA 事業関係者へのヒアリング結果

ヒアリング先		主な案件名	土壌に関する情報
区分	名称		
コンサルタント	片平エンジニアリングインターナショナル	カンボジア国 国道一号線都心区間改修計画、国道一号線改修計画 ラオス国 国道九号線改修計画、ビエンチャン一号線整備計画 キルギス国 タラス-タラズ道路ウルマラル川橋梁架け替え計画 タジキスタン国 ドゥスティ-ニジノピャンジ間道路整備計画 ケニア国 ウゴング道路拡幅計画 マーシャル国 マジュロ環礁道路整備計画 リベリア国 モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画	ー
	セントラルコンサルタント	キルギス国 ビシュケク-オシュ道路クガルト川橋梁架け替え計画 ガーナ国 第二次国道八号線改修計画 ギニア国 国道三号線スンバ橋架け替え計画	ガーナ、ギニア：ラテライト
	株式会社福永設計	ソロモン国 キルフィ病院整備計画	骨材採取が難しい。膨潤性土が存在。
施工業者	大林組	カンボジア国 チュルイ・チョンバー橋改修計画 カンボジア国 国道一号線改修計画 カンボジア国 主要幹線道路橋梁改修計画 ラオス国 国道九号線改修計画 ラオス国 国道九号線（メコン地域東西経済回廊）整備計画 ラオス国 ビエンチャン一号線整備計画 インドネシア国 中央および北スラウェシ州橋梁改修計画（中央スラウェシ州）	カンボジア：ラテライトを路床材として使用。ドラゴンホールが発生。 ラオス：ラテライトを使用。
	大日本土木	キルギス国 ビシュケク-オシュ道路雪崩対策計画 タジキスタン国 ドゥシャンベ-ボフタル道路におけるキジルカラボフタル間道路改修計画 クルガンチュベ-ドゥスティ間道路改修計画 ギニア国 国道三号線スンバ橋架け替え計画 国道一号線橋梁改修計画 ガーナ国 第二次国道八号線改修計画 リベリア国 モンロビア首都圏ソマリアドライブ復旧計画 マーシャル諸島 マジュロ環礁魚市場建設計画	キルギス：遭遇していない。 ギニア、ガーナ：ラテライト マーシャル：コーラル材を盛土に使用。

ヒアリング先		主な案件名	土壌に関する情報
区分	名称		
施工業者	安藤・間	カンボジア国 洪水多発地域における緊急橋梁架け替え計画 カンボジア国 洪水対策支援計画 ラオス国 国道九号線橋梁改修計画 タイ国 東部外環状道路（国道九号線）改修計画	カンボジア：分散性土の存在を把握していた。 ラオス：ラテライトを使用。 タイ：現場で集められるぐり石、砂で軟弱地盤を置換した。
	NIPPO コーポレーション	タジキスタン国 ドゥスティ-ニジノピャンジ間道路整備計画（第 2 期） クルガンチュベ-ドゥスティ間道路改修計画 タンザニア国 第二次ニューバガモヨ道路拡幅計画 ケニア国 ナイロビ西部環状道路建設計画	ケニア：ブラックコットンソイルが存在。道路建設用途には適さず、良質土等に置き換えた。
	西松建設	タジキスタン国 ドゥスティ-ニジノピャンジ間道路整備計画（第 1 期） パラオ国 首都圏基幹道路改修計画 島間連絡道路改修計画	タジキスタン：特殊土に関する問題は無かった。 パラオ：コーラルストーン、コーラルサンドが建設資材として使用されていた。
	竹中土木	キルギス国 タラス-タラズ道路ウルマラル川橋梁架け替え計画	キルギス：大型玉石が混じる礫層が多く矢板が打てなかった。 インドネシア：膨潤性土が存在。

出典：JICA 調査団

3.1.2.2 国別のヒアリング結果概要

事業関係者のヒアリングから、確認された事例について国ごとにとりまとめ表 3.1.3 に示す。

表 3.1.3 ODA 事業関係者へのヒアリング状況

実施国	特殊土に係る経験
東南アジア	
カンボジア	灌漑事業で膨潤性土、分散性土に係る事例あり。道路事業において分散性土が周辺部に分布するため、材料調査時に分散性土の選別を実施、使用しない対応を行った事例あり。
ラオス	ラテライトを盛土材として利用、のり面保護・植生により浸食を防止した事例あり。
インドネシア	空港・用地造成等、各地の工事で膨潤性土に遭遇、問題となった事例あり。
タイ	用地造成（切土）工事で分散性土に遭遇した事例あり。
フィリピン	火山灰質の土質材料を改良した事例あり。

実施国	特殊土に係る経験
南アジア	
バングラデシュ	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。
インド	鉄道事業他で膨潤性土との遭遇ならびに対応事例あり
中央アジア	
キルギス	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。引き続き他事例を確認する。
タジキスタン	現地の土質材料は良好で特段問題となった特殊土の遭遇事例は確認されなかった。
西アフリカ	
ガーナ	ラテライトを盛土材として利用、のり面保護を行った事例あり。植生がつきにくい傾向。
ギニア	ラテライトを盛土材として利用、のり面保護を行った事例あり。植生がつきにくい傾向。
リベリア	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。引き続き他事例を確認する。
コートジボワール	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。引き続き他事例を確認する。
ブルキナファソ	ラテライトを盛土材として利用、のり面保護を行った事例あり。
東アフリカ	
エチオピア	ブラックコットンソイルに遭遇、道路損害事例あり。
タンザニア	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。
ケニア	道路事業でブラックコットンソイルに遭遇、大規模な置換が必要となり、その設計変更に多大な時間を要した事例あり。
モザンビーク	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。
ジンバブエ	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。
マダガスカル	ODA 事業関係者のヒアリング結果から、特殊土の遭遇事例は確認されていない。
大洋州	
マーシャル諸島	サンゴ礁由来の材料を使用する予定の案件事例あり。骨材の材料としてサンゴ礁由来を避け第三国からの輸入を前提として計画された案件事例もある。
ソロモン諸島	環境配慮の観点で骨材の調達が困難となった事例あり。サンゴ礁由来の材料の使用に係る事例は確認されない。
パラオ	サンゴ礁由来の材料を建設材料として使用した事例、基礎地盤が珊瑚由来の地盤であった事例あり。

出典：JICA 調査団

3.1.3 他ドナーの関連案件

他ドナーの道路・交通運輸関連 ODA 事業について収集したリストを表 3.1.4 に示す。以下には、他ドナーの事例収集を通じて得られた情報のうち、プロジェクトサイトにおける環境アセスメント報告書にて土壌について記載があった案件や実施機関・民間企業が確認できた案件を掲載している。調査・設計・施工段階における特殊土に対する検討事項等の情報は確認できなかったため、案件に関わっていた現地実施機関、コンサルタント、施工業者へのヒアリングを適宜行い、継続的に各国の情報収集を行った。

表 3.1.4 他ドナーODA 事業リストの抜粋

実施国／ドナー	案件名/事業開始年	土壌に関する情報	現地実施機関	民間企業
エチオピア 世界銀行（WB）	Ethiopia-Road Sector Development Program APL4 2009	道路線形における土壌侵食しやすい残積土や沖積土、Vertisol の分布	Ethiopia Roads Authority (ERA)	Comptran Engineering and Planning Associates (Ghana)
エチオピア WB	Road Sector Support Project 2014	道路線形における土壌侵食しやすい残積土や沖積土の分布	ERA	Kunhwa Engineering & Consulting Co. (Korea)
エチオピア WB	Ethiopia-Transport Sector Project in Support of RSDP4 2012	ブラックコットンソイル、残積土の分布	ERA	Prome Consultants Ltd. (Uganda)
エチオピア WB	ET-Road Sector Dev. Stage Ⅲ Proj. (APL3) in support of Govt's RSDP 2007	河川交差周辺のブラックコットンソイルの分布、対象道路における侵食の生じやすい土壌	ERA	ERCC (Ethiopia)
エチオピア WB	ET-Road Sector Proj (APL2) to support Govt's RSDP 2005	Red soil の分布	記載なし	・Pan African Consultants (Ethiopia) ・Abay Engineering (Ethiopia) ・Yerer Engineering (Ethiopia)
タンザニア WB	Tanzania Transport Integration Project 2022	主に河川付近にブラックコットンソイルが分布 Marine Clay も一部分布	Tanzania National Roads Agency (TANROADS)	China Civil Engineering Construction Corporation (China)
タンザニア WB	Tanzania Roads to Inclusion and Socioeconomic Opportunities (RISE) 2021	ブラックコットンソイルが部分的に分布	・TANROADS ・Tanzania Rural and Urban Roads Agency (TARURA)	・Intercontinental Consultants and Technocrats Company (Tanzania) ・AFRISA Consulting (Tanzania)

実施国／ドナー	案件名/事業開始年	土壌に関する情報	現地実施機関	民間企業
タンザニア WB	Dar es Salaam Urban Transport Improvement Project 2017	下層土が Marine limestone が多く占める地域が存在	・TANROADS ・Dar Rapid Transit Agency (DART)	・Milembe Construction Company (Tanzania) ・Unitec Civil Consultants (Tanzania) ・Ray Associates (Tanzania)・
タンザニア WB	Dar es Salaam Metropolitan Development Project 2015	海岸付近でサンゴ礁由来の石灰岩が存在	記載なし	・UWP Consulting (Tanzania) ・CRJE (Tanzania) ・Nyanza Road Works (Tanzania) ・Estim Construction Company (Tanzania)
タンザニア WB	Second Central Transport Corridor Project 2008	残積土および海岸沿いに石灰質土が分布	・TANROADS ・DART	・Kyong Dong Engineering (Korea)
タンザニア WB	Central Transport Corridor Project 2004	環境報告書なし	記載なし	・Crown Tech Consult (Tanzania) ・Norconsult (Tanzania)
タンザニア WB	Transport Sector Support Project 2010	シルト分が多い、侵食が生じやすい土壌が一体に分布する地域が対象	TANROADS	Crown Tech Consult (Tanzania)
ガーナ WB	Transport Sector Improvement 2017	ラテライト由来の土壌が分布している地域がある	・Ministry of Roads and Highways ・Ministry of Transport	・Development Institute of Business Studies (Ghana) ・Nag Fairmount Company (Ghana) ・Attachy Construction (Ghana) ・Memphis Metropolitan (Ghana)
ギニア WB	Rural Mobility and Connectivity 2019	環境報告書なし	記載なし	・Global Construction and Engineerings (Guinea) ・The Africa of General Construction (Guinea)
リベリア WB	Southeastern Corridor Road Asset Management Project 2019	特殊土に関する記載なし	Infrastructure Implementation Unit (IIU) of the Ministry of Public Works	記載なし
カンボジア WB	Road Rehabilitation	硫酸塩土壌および分散	記載なし	・Nopawong Construction

実施国／ドナー	案件名/事業開始年	土壌に関する情報	現地実施機関	民間企業
	Project 1999	性土壌の分布が確認された。		(Cambodia) ・Keurt Construction (Cambodia)
カンボジア Asian Development Bank (ADB)	Transport Infrastructure Development and Maintenance 2018	ラテライト（Ferruginous gravels）の分布が確認されている	記載なし	記載なし
ラオス WB	National Road 13 Improvement and Maintenance 2018	カオリナイトおよびラテライトの分布が確認されている	Ministry of Public Works and Transport	Tangchareon Group (Lao)
インドネシア WB	Mass Transit Project 2022	Latosol の分布が確認されている	Ministry of Transportation	Winsolusi Konsultan (Indonesia)
キルギス WB	First Phase of the Central Asia Road Links Program 2014	国内で黄土（レス）の分布が確認されている	Ministry of Transport and Roads	EGIS International (France)
タジキスタン ADB	Road Network Sustainability Project 2020	侵食が生じる土壌の確認	Ministry of Transport	LLC Ideal-Service (Tajikistan)
マーシャル諸島 WB	Sustainable Energy Development Project 2017	島全土が環礁で構成されている	Marshalls Energy Company	IT Power (Australia)
ソロモン諸島 ADB	Land and Maritime Connectivity Project 2021	有機質土等の分布	Ministry of Finance and Treasury	片平エンジニアリングインターナショナル

出典：JICA 調査団

3.1.4 ODA 案件の特殊土に係る事例

3.1.4.1 膨潤性土

(1) エチオピア国　無償資金協力　第四次幹線道路改修計画

エチオピアには、膨潤性土の一種であるブラックコットンソイルが多く分布している。ブラックコットンソイルは含水量の変化による膨張と収縮の差が著しい。

表 3.1.5 膨潤性土事例概要(1)

JICA 無償資金協力　　対象土：ブラックコットンソイル
実施国：エチオピア国　　案件名：第四次幹線道路改修計画
案件概要:エチオピアの首都アディスアベバから隣国スーダンに至る国道 3 号線のデジェンとデブレマルコス間（68.9 km）を対象に、舗装整備や橋梁の改修が実施された。
第 1 期：ﾃﾞｼﾞｪﾝ～ﾙﾏﾒ　29.0km
第 2 期：ﾙﾏﾒ～ﾃﾞﾌﾞﾚﾏﾙｺｽ　39.9km



事業位置図

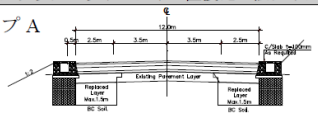
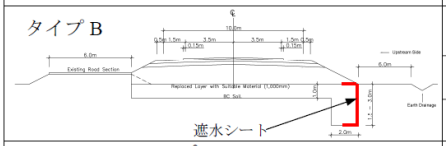
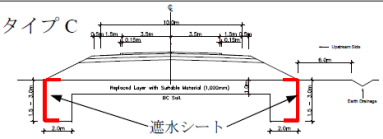

ブラックコットンソイルの影響の一因とする路面の段差

出典:2018 年度外部事後評価報告書

エチオピアの「第四次幹線道路改修計画」案件では、対象区間にブラックコットンソイルが広く分布するとともに、雨季の冠水によって交通が遮断される数箇所の地域がある。ブラックコットンソイル対策として、設計段階では良質な材料への置換え及び低地域など排水性が悪いと予想される地域での遮水シート併用を、冠水対策には盛土構造が適用されている。

工事は 2014 年 3 月に完成し、特にブラックコットンソイルの影響を受けやすい区間であるイェットノラ付近（本事業始点のデジェンから 10 ㎞付近）では、2014 年末に約 600m にわたって路面の損傷（クラック、段差）が確認され、瑕疵検査前の 2015 年 5 月に施工業者がオーバーレイ（パッチング）工法による補修を行った。事後評価時（2018 年）にも、同じ箇所で、ブラックコットンソイルによる路面の損傷（変形、亀裂、陥没）が確認された。路面の損傷を起因とする事故は発生していないものの、利用者からは走行の快適性に支障を生じていることが指摘されている。

現地政府エチオピア道路公社（Ethiopian Road Authority: ERA）のリサーチセンターは 2018 年 12 月から 2019 年 5 月にかけて、この区間の路面損傷の原因の究明を行った。ERA の調査結果によると、この区間の損傷原因は、①湿気による路床の軟化、②排水路の詰まり、③粗悪な建設資材の使用、④ボックスカルバートと舗装の間の差動運動とのことであった。

ブラックコットンソイル置換え工法タイプ	置換え厚(m)		フェーズ I	フェーズ II
タイプ A 	1.5	シート無	6.8km	-
タイプ B 	2.5	シート有	5.1km	-
		シート無	4.3km	-
	3.0	シート有	4.8km	-
		シート無	-	-
タイプ C 	1.5	シート有	-	1.9km
		シート無	-	-
	2.0	シート有	1.0km	-
		シート無	-	-
	2.5	シート有	0.5km	-
		シート無	1.0km	-
	3.0	シート有	3.2km	4.4km
		シート無	3.5km	-
小計		シート有	14.6km	6.3km
		シート無	15.6km	0
合計			30.2km	6.3km

出典：エチオピア国第四次幹線道路改修計画準備調査報告書

図 3.1.1 設計段階でのブラックコットンソイル対策

舗装の早期破損は、膨張土の膨潤効果による路床の沈下が主な原因である可能性が高い。膨張土と呼ばれるブラックコットンソイルは、含水することで膨張し軟弱化する。そのような問題土が路床に存在すると、支持力を失い交通荷重に耐えられなくなる。

現地政府が改修計画を進んでおり、2021 年の JICA 技術協力案件「道路アセットマネジメント技術アドバイザー業務」による現地政府の設計報告書のレビューが実施された。現地政府の設計では、従来のマーシャル試験に基づく配合設計法によるアスファルト舗装を採用する。



出典：アフリカ(エチオピア、ガーナ、タンザニア）資金協力事業による道路整備計画のあり方(基礎研究)の改訂ファイナルレポート

図 3.1.2 舗装の破損状況

(2) インドネシア国　民間案件　工業団地・宅地造成事業

インドネシアでも、膨潤性土が多く分布している。民間案件で特殊土に遭遇した一例である。

「工業団地・宅地造成事業」の民間案件では、膨潤性土に水路が押されて変形したり、対策の支え梁が壁を貫通したり、膨潤性粘土の膨潤圧と強度低下に伴うすべりによる倒壊が発生したり、など膨潤性土による損傷被害が発生した。対策提案として下記が考えられる。

- 試験結果から護岸法面保護工の設計に当たっての土質定数の設定方法に対するアドバイス
- 護岸法面保護工に対するアドバイス
- 既存護岸すべり箇所の対処法に対するアドバイス
- 取水工改修工事へのアドバイス

表 3.1.6 膨潤性土事例概要(2)

民間案件
実施国：インドネシア国
対象土：膨潤性土
案件名：工業団地・宅地造成事業




膨潤性土に水路が押されて変形し、対策の支え梁が壁を貫通




膨潤性土の膨潤圧と強度低下に伴うすべりによる倒壊


膨潤性粘土によるすべり崩壊地


すべりにより壁が移動している

出典：JICA 調査団

3.1.4.2　分散性土

(1) カンボジア国　無償資金協力　国道 6 号・7 号線修復計画

カンボジアでは、分散性土が多く分布しており、分散性土に起因する舗装表面のドラゴンホールがよく見られる。国道 6 号・7 号線修復案件では、分散性土対策として、のり面を保護するための粘性土張付工を採用した。1998 年 3 月に完成し、2004 年に舗装の破損が確認された。

表 3.1.7　分散性土事例概要(1)

JICA 無償資金協力　　対象土：分散性土
実施国：カンボジア国　　案件名：国道 6 号・7 号線修復計画
カンボジアの国道 6A 号線、6 号線、7 号線は、同国の最重要路線の一つに位置付けられている主要幹線道路である。この協力（第 1~2 期）では、国道 6・7 号線のスノルケン～コンポンチャム間における道路改修などを支援した。
・既存道路の拡幅・リハビリ
・ 6 号線及び 7 号線の一部分の緊急リハビリ工事
・ 6 号線（スノルケン～スクーン）　約 29 k m
・ 7 号線（スクーン～コンポンチャム）　約 45 k m
・既存橋梁の架替え 10 橋、新設洪水対策用橋梁 3 橋

分散性土を原因とするドラゴンホール（路肩）



分散性土を原因とするドラゴンホール（盛土）



出典：アフリカ(エチオピア、ガーナ、タンザニア）資金協力事業による道路整備計画のあり方(基礎研究)の改訂ファイナルレポート

本事例の破損は、分散性土を盛土・路床の材料に使用したことによるもので、分散性土を含む盛土材、法面材を使用した場合、水分の浸入により土が水に溶解し、ガリ浸食、崩壊や「ドラゴンホール、またはトンネル侵食やシンクホール」と呼ばれる穿孔と陥没が発生するものであり、日本国内では見かけないものである。

2009 年の JICA 技術協力案件「建設の品質管理強化プロジェクト」による現地で分散性土対策の試験工事を実施し、現地技術者が簡易に分散性土を見分けることができる簡易分散性試験、及び添加剤による改良等の対策工が提案された。

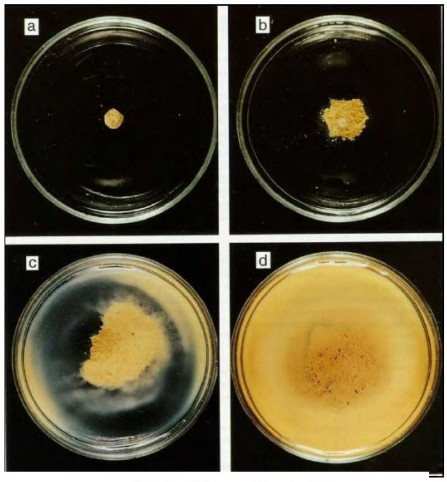
「建設の品質管理強化プロジェクト」では、分散性土の道路工事への適用検討を行った。分散性土はカルシウムイオンを含むセメントや石灰を混合することで、水に対して安定すると言われている。現地の技術者が簡易に分散性土を見分ける事が可能な ASTM による分散性判定試験（クラム試験）を採用し、原法面土および添加材（セメント等）混合土の室内簡易分散性試験、および室内試験の結果を基に既存道路法面改良の試験工事を検討した。セメント混合の価格、良質土を調達した場合の費用、混合方法等を総合的に検討することにより、経済性及び品質を確保した工事の実施が可能となる。

提案対策としては、工前に対象土の簡易分散性試験を実施し、分散性の有無、程度を確認する。良質土の調達及びセメントの添加による改良とのコスト比較をする。本案件では、改良効果の高い施工条件は、以下の通り。

添加材：セメント

混合率：2.5%以上

混合時間：3.3 分/m^3 （混合機械：バックホー 0.4-0.6 m3 使用の場合）



a：無、b：小、c：中、d：大

出典：JICA 調査団

図 3.1.3 簡易分散性試験：分散性の程度の判定基準

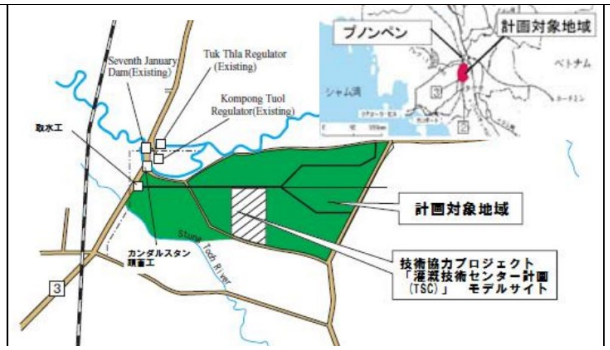
(2) カンボジア国　無償資金協力　カンダルスタン灌漑施設改修計画

本案件の現地土質は、流水・雨水による浸食抵抗力が極めて弱いこと（分散性土）から、設計段階の対策として、水路横断面において粘性土で現地土を被覆して、水路内の水と分散性の土を遮断する。水路内は斜面のみをライニングの対象とした二面ブロックライニングの開水路タイプを採用する。

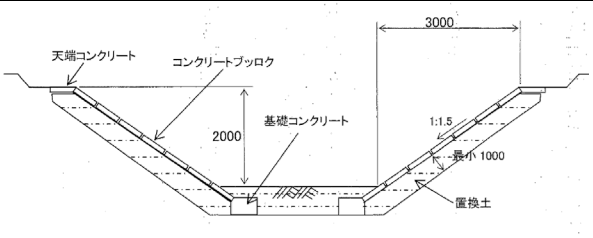
工事が 2007 年 8 月に完成し、工事にあたっては、約 3km の区間に、置換土として選定された土質材料が膨潤性を持つ土質であることを認識せずに使用された。2007 年 8 月に完成し、2010 年の大雨後に崩落の被害を受けた。

表 3.1.8 分散性土事例概要(2)

JICA 無償資金協力	対象土:分散性土(置換工に膨潤性土)
実施国:カンボジア国	案件名:カンダルスタン灌漑施設改修計画
案件概要:首都プノンペン近郊のカンダール州カンダルスタン地区において、既存灌漑施設(取水施設、灌漑水路、維持管理道路)を改修・改良が実施された。	



案件位置図



当初設計断面



2010 年 10 月 20 日大雨後の被害



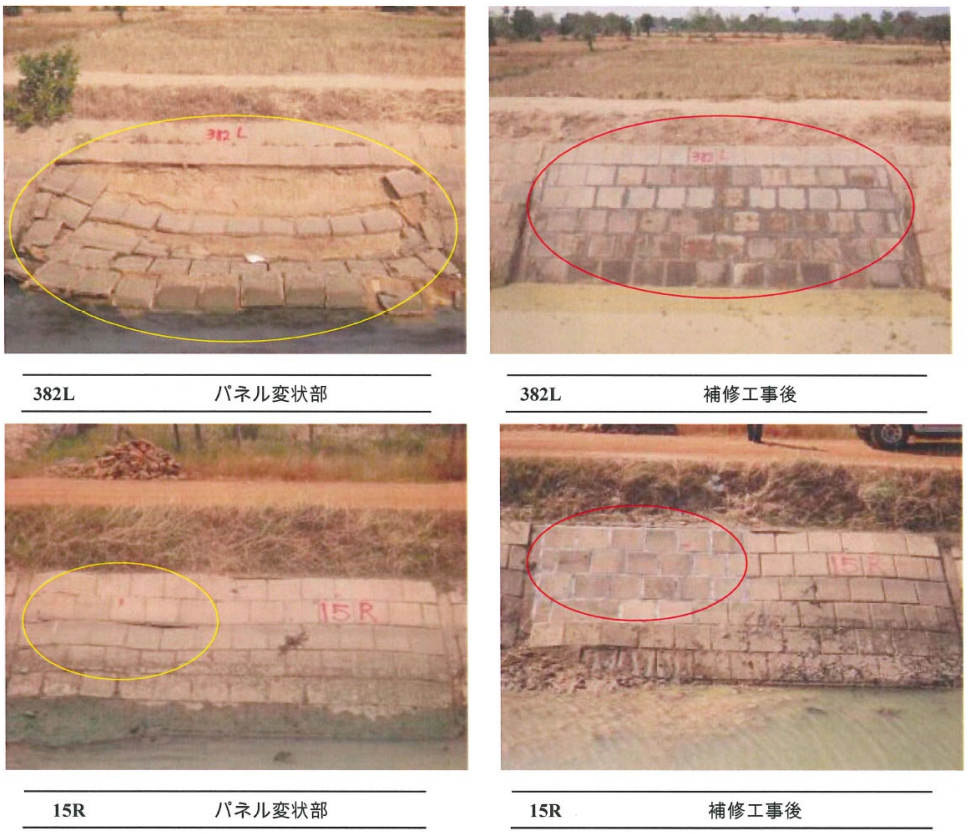
上流部全面崩落　下流部全面崩落　上流部部分崩落

大雨後に実施された緊急補修

出典：JICA 調査団

変状原因を分析したところ、上流部では置換土に使用した材料が粘土鉱物スメクタイトを含む膨潤性土であったため、コンクリートパネルがはらみ出す変状が生じた。下流部では、置換上に使用した材料の一部にスメクタイトを微量に含む分散性土が混入したため、部分的にコンクリートパネルが崩壊した。下流部置換土の分布は上流部置換土の様に一様な分布ではなく、分散性土と非分散性土が混在している。

改修工法としては、購入砂に配合材として普通ポルトランドセメントを 50kg/m^3 の割合で混入させた改良土を用い、コンクリートパネル背面の地盤改良を行う工法を採用した。



382L　パネル変状部　382L　補修工事後

15R　パネル変状部　15R　補修工事後

出典：カンボジア国カンダルスタン灌漑計画コンクリートライニング変状対策計画最終報告書

図 3.1.4 補修工事後の状況

3.1.4.3 ラテライト

(1) ラオス国　無償資金協力　国道九号線改修計画

表 3.1.9 ラテライト事例概要

JICA 無償資金協力　　対象土：ラテライト
実施国：ラオス国　　案件名：国道九号線改修計画
案件概要：ラオスの中南部を横断する国道 9 号線のセノ～ムアンパラン区間（73 キロメートル）の一部約 53 キロメートルを対象に、道路や橋梁の改修・整備が実施された。



2012 年に確認された構造破損

出典：アフリカ(エチオピア、ガーナ、タンザニア）資金協力事業による道路整備計画のあり方(基礎研究)の改訂ファイナルレポート

本案件「国道九号線改修計画」は 2002 年に完成し、2012 年に構造破損が確認された。当初設計段階では、セメント安定処理のセメント混入率は 3%であった。想定される破損原因は、過積載車両及びセメント安定処理層の劣化が原因であり、亀甲クラック状の損傷は極めて頻繁に発生する。セメント安定処理された既存の下層路盤の強度が、想定以上に小さいという問題が発生した。

問題への対応として、損傷の著しいセノ～ムアンピンの舗装構造の強化、さらに排水設備を充実した道路構造への改修を JICA 無償資金協力の「国道九号線（メコン地域東西経済回廊）整備計画」として改めて実施した。改修舗装方式として、既存工区の舗装仕様および他改修道路の舗装仕様を勘案してアスファルトコンクリート舗装を採用し、コスト縮減及び環境配慮の観点から路盤材料として既存道路面の再活用を可能とする路上再生路盤工法を一部区間において採用することとした。

(2) ガーナ国　無償資金協力　第二次国道八号線改修計画　ギニア国　無償資金協力　国道三号線スンバ橋架け替え計画

ガーナとギニアの案件では、盛土材料としてラテライトが適用された。ラテライトは盛土材料としての施工性、良好な支持力の確保ができる一方で、のり面保護における植生がつきにくいという問題、また降雨の影響で施工表面がぬかるんだりのり面がガレ易いといった課題があり、施工時には主にのり面部の保護、雨季の施工における施工上の配慮が問題となっていた。これらの案件は昨年、完成し、まもなく 1 年の瑕疵期間を終える状況となっており、ラテライトに起因する問題がないかモニタリングされていくこととなる。

案件実施コンサルタントに対してヒアリングを行い、下記の対策を実施された。

- 盛土材としてラテライトを適用した。
- 盛土のり面保護には種子吹付を適用した。
- 種子吹付に植生がつきにくいとの情報を得て、試験施工を行い、適正な種子を選定した。
- 【ガーナ】雨季施工を避けた。
- 【ギニア】雨季に施工したが、のり面の浸食防止を行った。

3.1.4.4 島しょ国の土質材料調達事情関連

(1) ソロモン国　無償資金協力　キルフィ病院整備計画

本案件では対象地、ならびに使用する材料にサンゴ由来の土質材料はなかったものの、島しょ国で良くみられるように良質で経済的な骨材の調達が難しいという事情があり、コンクリートの使用を極力減らした鉄骨構造が採用・計画されている。建築地点では基礎部に膨潤性土があると判断され、50cm の層厚で良質土による置換工が実施された。

案件実施コンサルタントに対してヒアリングを行い、下記を確認した。

ソロモン島には豊かな自然があり、骨材採取が環境面の配慮から難しく、他国から輸入するためコンクリートが高くなる。経済性から建物には鉄骨構造を採用した。

珊瑚礁由来の土壌はプロジェクト対象地域では確認されていない。

プロジェクト対象地域では膨潤性土があり、基礎を採石で 50cm 置換した。

島しょ国などではサンゴ由来の土質材料がその地域に支配的に存在する場合があり、計画・設計・施工段階での適切な対応が必要となる。今後の調査でサンゴ由来の土質材料が課題となったケースを調査する。

3.2 特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の JICA 特記仕様書のレビュー

ODA 案件にかかる JICA 特記仕様書から特殊土を含む自然条件調査に係る記載のレビューを行った。自然条件調査については多くの仕様書において、下記の定型文が用いられている。

- 自然条件調査は、概略設計、事業実施計画、事業費の積算について必要な精度を確保し、また本事業により新設・拡張・附帯される施設・設備が自然・社会・生活環境に及ぼす影響を適切に予測し、その影響を回避/最小化しうる設計・施工を検討するために行う。
- 具体的な自然条件調査の細目（調査項目、調査内容、仕様、数量等）については、コンサルタントがプロポーザルで提案することとする。

国によっては、表 3.2.1 に示すように、より特化した詳細な記載が確認された。

表 3.2.1 ODA 案件の JICA 特記仕様書における記載

国名	記載例
カンボジア	・地質調査（ボーリング調査、現場・室内試験、液状化の可能性調査） ・プロジェクトの概略事業費の精算において、自然条件にかかるリスク（地盤条件など）を検討する。 ・地盤及び土質調査の目的として、土質や地盤に起因する施設の不同沈下等を極力防止するため、地中部の土質及び地盤を的確に把握し、これにより適切な基礎形式の選定及び施設構造の計画・設計、さらには施工に資する情報を得ることが挙げられている。 ・自然条件調査の目的は、本調査を行う上で必要な精度を確保するため、プロジェクトサイトにおける地形、地質等の自然条件を的確に把握することになる。
ラオス	・気候変動の影響を考慮した設計の具体的な検討（メコン川の洪水等を想定した冠水リスクへの対応や、温暖化によるデング熱流行に対応した設計など）、サステナビリティの観点からエネルギー効率の高い施設・設備設計の検討、高い振動など工事が隣接施設に与えるリスク調査を含む。 ・自然調査の目的として、各サイトにおいて一般的な地勢条件を確認することとする。内容では、風雨に関する基礎データの収集、雨水排水状況、自然災害に関する履歴などを調査する。
フィリピン	・地質調査の目的として、構造物建設の位置決定、地盤改良の要否・工法の検討、岸壁・護岸構造の検討、切土斜面の防護工の検討等に必要な情報を把握することが挙げられている。
東ティモール	・要請施設の建設予定地の自然条件調査（地形測量、地質調査、地盤調査、水質調査）を行い、土地面積、形状、傾斜、杭打ちの必要性、特殊土壌の有無、地質、地盤、障害物及び雨季の施工計画に与える影響等を確認する。
キルギス	・地質調査の目的として、施設計画、設計及び施工に必要な地質及び土質の情報を確認することが挙げられている。
タジキスタン	・隣接事業や交通条件、自然条件及び土地利用条件の類似した事業に関する設計資料を収集するとともに、実施機関の類似事業担当者や関係するコンサルタントに設計及び施工時の課題、問題点、及び解決方法等について確認し、これらの情報を計画に反映させる。 ・現状把握と情報収集の業務内容では、自然条件調査について、DK 道路上（代替路の整備に係る提案等を行う場合は、提案した道路上を含む）において、自然条件調査を行うだけでなく、広い範囲での沿道の自然状況（植生等）、湿地帯等の存在も調査する。自然条件とは、気温、湿度、降水量、災害履歴、地形測温などの他、地質

国名	記載例
	（路床土・問題土）地下水、路面温度の把握も含まれる。
ウズベキスタン	・優先事業の具体化のための情報収集では、地質自然条件調査（既存の自然条件地質調査結果の確認）が求められている。
マダガスカル	・地質調査（ボーリング調査、室内試験、膨張土の有無）が含まれる。
モザンビーク	・記載項目以外に必要だと判断される自然条件等の調査が考えられる場合は、併せてプロポーザルで提案する。なお、これらについては現地に精緻なデータがないことも想定され、その実態を踏まえた提案が望ましいものとする。
ブルンジ	・地質調査の目的として、既設構造物の基礎地耐力を確認し、補強工法の要否などの検討に必要な情報を得る。
モザンビーク	・積算にあたって、予備的経費に自然条件に係るリスクなどが含まれる。
ケニア	・事業実施のうえで解決されるべき課題（用地、事業実施に影響を与える自然条件及び基礎インフラ（電気・給排水、医療ガス等）、法令、環境社会配慮など）を含む。想定サイトの自然条件の概要として、平坦地/傾斜地、河川・湖水・海洋等に近接、軟弱地等が記載されている。
トンガ	・JICA の堤防整備事業に関する既往案件から得られた教訓や技術的な課題（島嶼国の地理的条件・自然条件に起因した、設計・施工面での課題・対応先や、調達事情、維持管理体制等を含む）について確認し、本調査にあたっても参考とする。
ミクロネシア	・建設予定地は軟弱地盤であることが想定されており、岸壁建設の位置を決定するために土質調査等の結果は極めて重要であることを十分認識して調査を行うこと。また、調査結果の分析・解析にあたっては、再委託先から提出されたデータ間に齟齬がないか、特異なデータがあればそれは何を意味するのか等十分に検討し、設計の基礎として信頼できるものであることを確認する。
ソロモン	・材料試験の目的として、概略設計および材料調達計画の策定に際して現地調達材料の適否を判断する。

出典：JICA 調査団

特殊土に係る事業の実施にあたっては、各段階で以下の点に着目することが重要であると考えられる。

- 準備調査・設計段階での特殊土の特定と評価：自然条件調査において、特殊土（膨張性土、分散性土、軟弱粘土など）の存在を適切に特定し、その特性を評価する手順が明記されている。
- 設計基準：特殊土の特性に応じた適切な対策や地盤改良などの設計基準や仕様が、仕様書に具体的に記述されている。
- 施工管理・品質管理：施工段階における特殊土に関する管理方法や品質管理基準が、仕様書に定められている。
- 積算とリスク管理：特殊土に起因するリスクを適切に評価し、それを見込んだ積算がなされているか。特殊土に関する責任分担を明確にする。

一方で、次章以降に述べるように、特殊土に係る体系的・技術的な知見はとりまとめられておらず、具体的な記載が難しいケースが多い。9 章には現状に鑑み業務指示書のあるべき方向性、提言をとりまとめた。

3.3 特殊土の対策、自然地盤材料の補強に係る準備調査・設計（点検・維持管理含む）における課題

ヒアリング及び現地調査結果、ならびにその他情報収集結果を踏まえて下記にとりまとめた。

表 3.3.1 準備調査・設計（点検・維持管理含む）における課題

段階	課題	事例
準備調査段階	・土質分布の把握	国によって、特殊土が広く分布しているが、特殊土の分布図が整備されていないため、準備調査段階で広範囲にわたる土質簡易調査が必要となる。
	・試験方法の選定	特殊土に対する土質試験の基準がなく、試験方法の選定に苦慮する場合がある。
	・材料の選定	適切な土取り場の確保が難しい場合や、予算の制約から近隣の材料を使用せざるを得ない場合があり、これが問題を引き起こす可能性がある。
設計段階	・対策工法の選定	特殊土の性質に応じた適切な対策工法を選定する必要がある。例えば、膨潤性土に対しては置換工法、材料改良などが考えられるが、現地の状況や経済性を考慮して最適な方法を決定する必要がある。
	・土質試験の基準	膨潤性土のサンプリング調査の難しさがあり、サンプル数の決定や土壌の不均一性が課題となっている。
	・設計基準の適用	パラオのように、国内で建築に関する設計基準が整備されておらず、国際的な設計基準を使用する場合、建設費が高くなるという課題がある。
	・適切な排水計画	大雨や洪水などの水の影響によるのり面の侵食や地滑りが発生するリスクがあり、適切な排水計画と維持管理計画が重要である。
	・土質条件を見越した設計変更	キルギスでは、橋梁基礎工事で大型玉石が混じる歴層に遭遇し、矢板の打設が不可能となる問題があった。設計段階で実際の土質条件を見越した設計変更が求められる。
	・施工性の確保	ラテライトを盛土材として使用する場合、雨天時に施工性が著しく低下し、含水比の管理に注意する必要がある。
	・植生対策	ラテライトは植生しづらいため、のり面の侵食を防ぐためにモルタル防護や植生のための工夫が必要な場合がある。
	・点検の検討	カンボジアの国道 8 号線では、分散土に起因する大きな陥没穴が発生し、一旦舗装を撤去して路床・路盤を再構築して修復した。その後、問題が発生している箇所の特定は、日常点検の中の目視点検で行われている。
	・点検の制度	タイでは、道路点検技術を駆使して地盤状態の把握を行っているが、ボーリング調査より精度は低い。
	・維持管理の検討	カンボジアでは、降雨があるたびにドラゴンホールが発生し、毎年補修が必要となるなど、維持管理にコストと手間がかかる場合がある。
その他	・技術支援の必要性	特殊土の試験方法、対策工法、地盤改良技術など、日本からの技術支援が期待されている。
	・人材育成	現地では日本の支援で導入された試験装置があるものの、使える人材が不足しているため、人材育成も重要な課題。

出典：JICA 調査団

3.4 特殊土、自然地盤材料の補強対策に係る ODA 案件の施工管理／監理計画書のレビュー

特殊土に係る記載のある ODA 案件の施工管理・監理計画書は収集されなかった。施工監理・監理計画書に係る課題をヒアリング及び現地調査結果、ならびにその他情報収集結果を踏まえて表 3.4.1 にとりまとめた。

表 3.4.1 施工監理／監理計画書における課題

段階	課題	事例
施工段階	・気象状況による影響	対象地域が洪水しやすい地域であるという記述があり、洪水が土壌の液状化や軟弱化を引き起こす可能性があることが記載されている。
	・土質調査結果の反映不足	設計段階での土質調査結果が、施工計画書に十分に反映されておらず、施工上の課題が発生する可能性がある。
	・特殊土対策の不明確さ	特殊土の種類・特性に応じた具体的な施工手順（地盤改良、補強土工法、排水処理など）が、施工計画書に詳細に記述されていない。その結果、施工管理上の問題や品質確保上の懸念が生じる可能性がある。
	・品質管理計画の不備	特殊土対策の品質を確保するための管理計画（試験方法、頻度、規格値など）が、具体的に定められていない。これにより、品質確保が困難になるおそれがある。
	・対象地区、既往事業の問題事例の情報共有の不足	近隣の事業で特殊土に係る舗装の陥没事例があったが、原因や発生メカニズム、再発防止策に関する情報が事前に共有されておらず、適切な対応策が施工管理/監理計画書に反映されていなかった。

出典：JICA 調査団

第4章 本邦の特殊土対策、自然地盤材料の補強対策技術とのり面処理技術

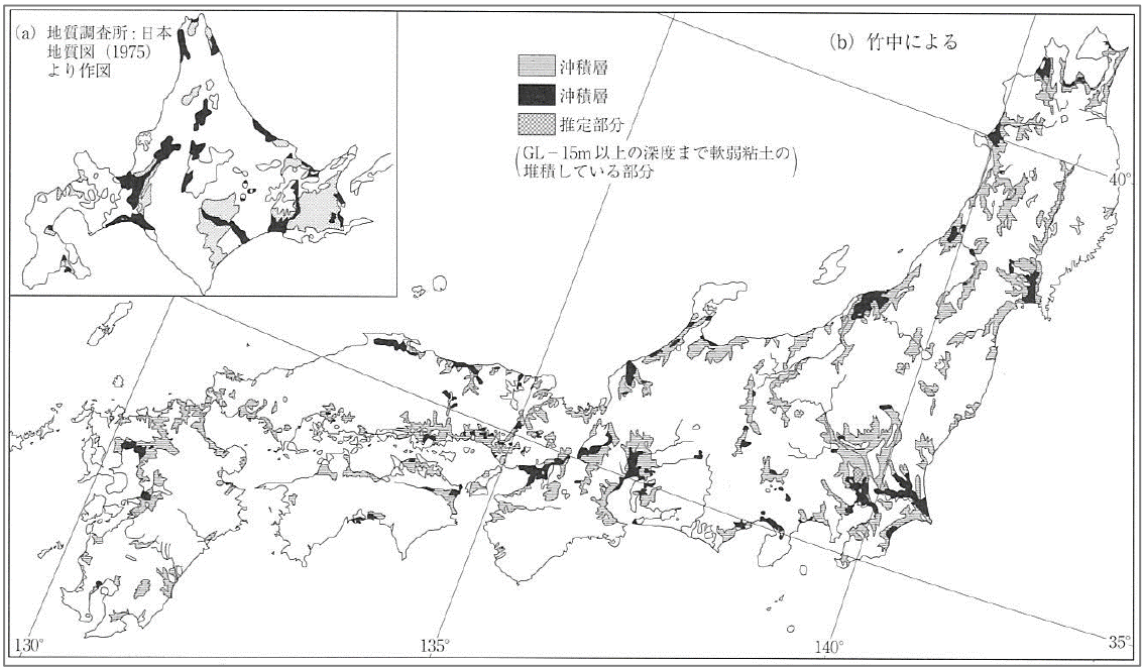
4.1 本邦の特殊土対策、補強対策技術

4.1.1 特殊土対策ならびに補強対策の歴史

4.1.1.1 地盤改良技術

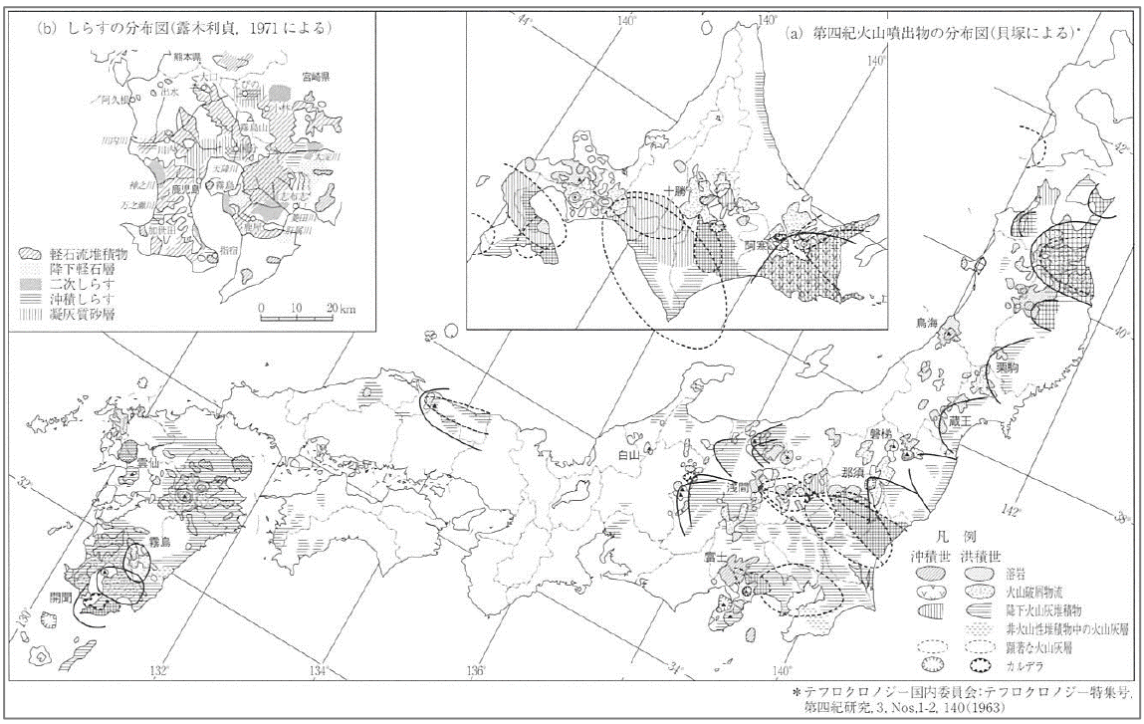
本邦における特殊土対策ならびに補強対策としては、国内で厚く堆積する、沖積土・軟弱地盤や、有機質土、泥炭、シラス等の特殊土に対処する方策を地盤改良技術として定義され、発展してきた経緯がある。日本は国土が狭く、土地利用が高密度にならざるを得ないために、先に示した問題のある地盤上であっても、種々の開発行為・建設事業を行っていく必要があり、事業の進捗に対して困難な事象に遭遇する状況に直面してきている。そのため、日本国内では、古くから軟弱地盤対策に関する技術開発が各方面でなされており、世界でも屈指の軟弱地盤対策技術が発達し、多くの地盤改良工法が普及している国といえる。

図 4.1.1 に日本国内の沖積土の分布を示す。沖積性の軟弱地盤は、東京湾・大阪湾・伊勢湾の三大湾周辺、瀬戸内海沿岸域や有明海周辺、新潟平野や北海道の低地に広く分布している。図 4.1.2 に火山灰質土の分布図を示す。北海道、東北、関東甲信越、九州の広い範囲に分布しており、関東の関東ローム、九州のシラスが有名である。図 4.1.3 に泥炭の分布図を示す。北海道、東北から関東にかけての低湿地帯に広い分布を示すほか、面積規模の小さい泥炭地は全国に点在していることがわかる。また、都市域を中心として多くの埋立地が造成されており、港湾・空港をはじめとして、工業用地や住宅地等の幅広い用途で利用されている。埋立地の埋立て材料と施工方法は、航路浚渫等の海底土砂の浚渫による埋立てが多く、その他として、山土や岩砕・砕石による埋立てや建設残土や廃棄物による埋立てが実施されている。浚渫により造成された地盤は、含水比の多い粘性土や緩い砂質土が入り混じり、平面的にも深度的にも不均一で若い地盤となるため、圧密沈下や液状化が問題となることが多く、対策が必要とされることが多い



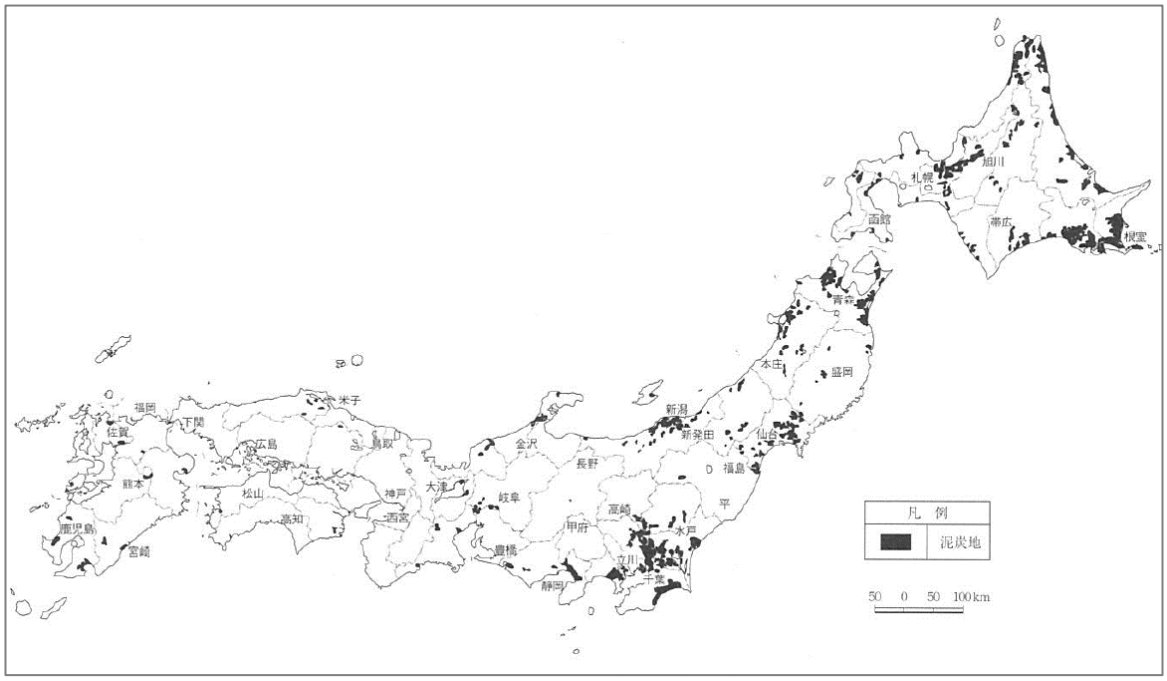
出典：地盤改良の調査・設計と施工−戸建住宅から人工島まで−,H25.3,(社)地盤工学会

図 4.1.1 日本国内の沖積土の分布



出典：地盤改良の調査・設計と施工−戸建住宅から人工島まで−,H25.3,(社)地盤工学会

図 4.1.2 日本国内の火山灰質土の分布



出典：地盤改良の調査・設計と施工−戸建住宅から人工島まで−,H25.3,(社)地盤工学会

図 4.1.3 日本国内の泥炭の分布

以上のように、日本国内の特殊土・軟弱地盤は、本州や四国の山岳地域を除けば、全国の至る所に分布しており、どこの建設現場においても特殊土・軟弱地盤に遭遇する可能性が極めて高いといえる。

日本国内の軟弱地盤対策技術（地盤改良技術）は、サンドドレーン工法が完成した 1950 年初頭から深層混合処理工法が開発された 1980 年までを黎明期とすると、羽田空港や関西空港などの大規模開発が相次ぎ、多くの工法が開発あるいは改良された 1980 年から 2000 年までを発展期、廃棄物利用や設計法が充実する 2000 年以降を成熟期として大別することができる。（参照文献：末政直晃「最近の地盤改良工法」、地盤工学会誌 Vol.68 No.8Ser.No.751(2020 年 8 月号)）

戦前に目を向けてみると、明治年間に着工した主要な港湾工事において、工種内容の記述として桟橋（スクリューパイル）が多く見られる。軟弱地盤対策として、杭基礎で軟弱な地層を回避して良好な地盤に荷重を伝達する試みは古くから行われていたと推測される。また、重力式の構造物を軟弱な地盤上に作る場合は、捨て石で幅の大きいマウンドを先行させ（意図的に強制的な置換を起こさせ）上部の構造物の荷重を分散する方法もとられている。積極的に地盤改良を意識した床掘り置換工法は、1936 年着工の敦賀港防波堤が初期の施工例と言われている。昭和の初期には既に、港湾において地盤改良のために置換工法が採用されているようである。（参照文献：地盤改良の調査・設計と施工-戸建住宅から人工島まで-,H25.3,(社)地盤工学会）

戦争直後は、欧米の先進国からの輸入技術の導入が多く、新しい工法の発明・開発はほとんど見られなかったが、施工法の改良や施工機械の大型化は進められていた。その後に新しい工法の技術導入だけでなく、日本独自の工法開発も盛んとなり、現在では独自開発技術が全体でもかなりの部分を占めるようになっている。結果として、戦前から用いられている主な工法としては、前述の置換工法と自然圧密に期待する緩速載荷のプレローディング工法の二つだけのようである。

4.1.1.2 発生土の処分及び有効利用

建設事業に伴い副次的に発生する土砂や汚泥（以下、建設発生土という）は、平成 30 年度の国土交通省の調査によれば、総量約 2.9 億㎥で現場内利用が約 1.6 億㎥、場外搬出量が約 1.3 億㎥となっている。場外搬出量約 1.3 億㎥のうち、内陸部公共工事や海面埋立工事等での利用（「工事間利用」、「準有効利用」、「土地改良プラント」）は約 7,400 万㎥で、建設発生土の有効利用率は約 80%となっている。また建設汚泥の場外搬出量は約 620 万㎥でそのうちの再資源化率は約 84%となっている。日本国内では、受入適地の不足、不法投棄等不適正処分や住民苦情等の問題が発生し、また発生土による環境への負荷の増大が将来の発展の支障となることについて広く認識されてきた。そのため、種々の特殊土など建設工事の材料として不適当な性質のものであっても、土質改良等によりできるだけ現地等で有効利用するように努めてきている。

発生土のリサイクルは「再生資源の利用の促進に関する法律（平成 3 年 4 月）」及び建設省令が制定され、本格的な取組が始まった。当時は、発生土の有効利用を図っていく上で、土質区分基準や利用用途別の品質基準が不可欠であるとの認識のもとに、建設省総合技術開発プロジェクト「建設副産物の発生抑制・再生利用技術の開発（平成 4～8 年度）」が立ち上げられ、その成果をもとに、平成 6 年 7 月に「発生土利用基準（案）について」が関係機関に通知された。また、土木研究所が中心となり、建設汚泥を含んだ発生土、特に低品質な土の利用拡大を目的とした技術的解説本である「建設発生土利用技術マニュアル（初版）」がとりまとめられた。（参照文献：建設発生土利用技術マニュアル[第 4 版],H25.9,(独)土木研究所）

国土交通省では、「建設リサイクル推進計画 2002」が策定され、建設工事の関係者はこれらの関係法令等の定めに従い、建設副産物対策として、リデュース、リユース、リサイクルの推進と廃棄物の適正処理に努めることが求められることとなった。さらに、平成 14 年(2002 年)に「建設発生土等の有効利用に関する検討会」が開催され、同検討会は平成 15 年 9 月に発生土の有効利用に関する報告を取りまとめた。これを受けて平成 15 年 10 月 3 日には公共工事を対象とした「建設発生土等の有効利用に関する行動計画」が制定され、関係機関に通知された。平成 20 年 4 月には「建設リサイクル推進計画 2002」が見直され、「建設リサイクル推進計画 2008」が策定された。建設発生土の有効利用率に関しては、平成 17 年度実績値が 80.1%であったのに対し、平成 27 年度の目標値は 90%とされている。「建設発生土利用技術マニュアル（第 4 版）」は、これらの施策を受け、発生土の適正な利用の促進を図るための技術的な標準として国土交通省より関係機関へ通知された「発生土利用基準について（平成 18 年 8 月 10 日）」の技術的な解説を行うものである。発生土の土質区分基準・適用用途標準等の技術的な考え方を示すことにより、発生側・利用側双方が共通した認識の下にその利用の計画・設計・施工に際しての技術的判断を行うことを可能とし、もってその利用の促進を図ることを目的としている。（参照文献：建設発生土利用技術マニュアル[第 4 版],H25.9,(独)土木研究所）

建設工事における発生土のうち、廃棄物処理法に規定される産業廃棄物の汚泥として取り扱われるものを建設汚泥という。建設汚泥は、技術的には発生土の区分として泥土と同等に取り扱えるが、別途、「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」、「建設汚泥の再生利用に関する実施要領」、「建設汚泥処理土利用技術基準」、「リサイクル原則化ルール」に則った対応が必要となる。

表 4.1.1 は、日本国内の発生土に関する主な関係法令、通達等を時系列的に示したものである。

表 4.1.1 発生土に関する主な関係法令、通達等

年月	関係法令	通達類	マニュアル・報告書
1991.3		総合的な建設副産物対策の推進について	
1991.10	再生資源の利用促進に関する法律(リサイクル法)	再生資源の利用促進について	
1992－1996			建設副産物の発生抑制･再生利用技術の開発
1997.12			発生土利用促進のための改良工法マニュアル
1999.11		建設汚泥リサイクル指針	
2000.5	建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律(建設リサイクル法) 国等による環境物品等の調達の推進に関する法律(グリーン購入法)		
2000.6	資源の有効な利用の促進に関する法律(リサイクル法大幅改正)		
2000.11	建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律施行令		
2000.12	循環型社会形成推進基本法		
2001.1	特定建設資材に係る分別解体等及び特定建設資材廃棄物の再資源化等の促進に関する基本方針(建設リサイクル法基本方針)		
2002.2	資源の有効な利用の促進に関する法律(リサイクル法改正)		
2002.3	建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律施行規則		
2002.5	土壌汚染対策法 建設リサイクル法全面施行	建設副産物適正処理推進要綱の改正 公共建設工事における再生資源活用の当面の運用について(通称「リサイクル原則化ルール」) 建設リサイクル推進に係る実施事項について(建設リサイクルガイドライン改正)	
2003.9			建設発生土等の有効利用に関する検討会報告
2003.10		建設発生土等の有効利用に関する行動計画	
2004.3		発生土の利用基準について(大幅改訂)	
2004.9			建設発生土利用技術マニュアル(第３版)
2005.7		建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について	
2006.3			建設汚泥再生利用指針検討委員会報告書
2006.6		建設汚泥の再利用に関するガイドラインの策定について 建設汚泥の再利用に関する実施要領について 建設汚泥処理土利用技術基準について(改訂) 公共建設工事における「リサイクル原則化ルール」の策定について	
2006.7		建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方について	
2006.8		発生土の利用基準について(改訂)	
2008.2			流動化処理土利用技術マニュアル(平成19年/第２版)
2008.4		建設リサイクル推進計画 2008	
2008.12			建設汚泥再生利用マニュアル

出典：セメント系固化材による地盤改良マニュアル第４版,2012.10,(社)セメント協会

「リサイクル原則化ルール(H18.6, 国土交通省)」では、国土交通省の発注する建設工事においては、工事現場から建設発生土が発生する場合は、原則として、50km の範囲内の他の建設工事現場へ搬出する運用を行うこととし、この運用は経済性にはかかわらず実施することとしている。また、工事現場から 50km の範囲内に建設発生土を搬出する他の建設工事もしくは建設汚泥処理土を製造する再資源化施設がある場合、受入時期、土質等を考慮した上で、原則として建設発生土もしくは建設汚泥処理土を利用することとしている。個別に事前調整済みである場合や、他の建設工事との受入時期および土質等の調整が困難である場合は、50km 範囲外の別の処分場、工事現場、再資源化施設等への搬出･受入をすることを妨げないとしているが､基本は50kmの範囲内で利用することが原則となる。

リサイクル原則化ルールによる運用は経済性にかかわらず実施することとしているが、運搬距離が短くなることにより、運搬車両の回転数を増やすことが可能となり、早期に運搬が完了することで工期の短縮が図られることになる。工期を短縮できない場合でも確保するダンプ等車両台数を削減できると考えられる。また、運搬距離の短縮は、ダンプ等運搬車両における燃料消費量の削減、Co2 排出量削減などにつながり、地球温暖化対策の一環として環境負荷の低減が見込まれる。

発生土の利用にあたっては、発生工事内での利用や範囲内の他工事での利用などの促進が必要となるが、発生時期と利用時期が一致することは現実的には少ないため、時期調整のための仮置き場、ストックヤード等の施設が重要となる。工事間利用及びストックヤードの活用のどちらの場合おいても、搬入土砂の流出に伴う環境問題や、盛り立て土砂の崩壊などの安定問題が発生しないように対応する必要がある。開発途上国における道路開発事業でも発生土の処分方法について言及されているものがある。

- 余剰分は崩れたりしない安全なところに施工する。
- 必要に応じて、擁壁などで支持する。
  擁壁については材料調達を考えるとふとんかごもしくは練石積みが適している。
- 斜面は植生保護などを行う。
- 処分土量は地質・地形状況に鑑み、適切な土量を設定する。

出典：ROAD CONSTRUCTION IN THE NEPAL HIMALAYA: THE EXPEROENCE FROM THE LAMOSANGU – JIRI ROAD PROJECT, Urs Schaffner, ICIMOD OCCASIONAL PAPER No.8, March, 1987

日本国内においても、前述のとおり、種々の施策等で発生土の有効利用の促進に取り組まれているが、一方で、山林などへの不適切な埋立てにより崩落が発生し、実際に不適切な処理が原因と考えられる土石流による甚大な被害が発生した事例もある。発生土を適正に利用するためには、発生土の性状、発生土の改良、受入先の環境、発生土の情報管理などが重要になると考えられる。

4.1.2 海外 ODA 事業に適用が期待される本邦技術の現況と開発動向

4.1.2.1 地盤改良技術の基本原理

本邦における地盤改良技術としては、「地盤改良の調査・設計と施工-戸建住宅から人工島まで-(H25.3)」や「道路土工-軟弱地盤対策工指針」などで地盤改良の基本原理に基づき、分類整理がなされている。地盤改良技術は多種多様な工法の中から適切な工法を選定する必要があり、そのためには、予備知識として現時点で利用可能な各種工法の特徴を理解しておく必要がある。

基本原理は、①置換、②圧密・排水、③締固め、④化学的、⑤補強、⑥その他と大別される。表 4.1.2 に、各基本原理の概要を示す。個々の工法は必ずしも一つの原理に立脚しているわけではなく、複数の原理による場合も多い。また、対象地盤、適用方法や設計者の考え方によっても個々の工法の原理の見方は異なってくる。表 4.1.2 で示した工法は、必ずしも単独で選定されるだけではなく、条件に応じて複数工法の併用が効果的となることがある。

表 4.1.2 地盤改良技術の基本原理

基本原理	工法の一般的名称	工法概要の説明
置換	掘削置換工法　など	構造物の建設に大きな障害となると考えられる範囲の軟弱土・特殊土を除去して性質の異なる良質の材料と置き換える。
圧密・排水	盛土載荷重工法 表層排水・サンドマット工法 緩速載荷工法 バーチカルドレーン工法 真空圧密工法　など	地盤の排水や圧密促進によって地盤の強度の増加や、供用後の残留沈下量を軽減させる。
締固め	振動棒締固め工法 静的締固め工法　など	地盤に砂等を圧入または動的な荷重を与えることにより、地盤を締め固め、液状化の防止や強度増加及び沈下量等の低減を図る。
化学的	固結工法 凍結工法　など	セメント等の添加材を土と混合し、化学反応を利用して地盤を固結する。 熱処理(凍結)によって土の性質を変化させる工法
補強	押さえ盛土工法 盛土補強工法 矢板工法、カルバート工法 荷重低減(軽量盛土工法など)	原地盤とは異質の材料を導入してその材料に大きな力（圧縮、引っ張り、せん断）を分担させたり、軽量な材料で盛土等を構築することにより、応力増加を軽減し、沈下やすべり滑動力の低減を図る。
その他	間隙水圧消散工法	砂質土地盤中に排水柱など透水性の高いドレーンを設けて、地震時に砂地盤内で生じる過剰間隙水圧を速やかに消散させることで液状化の防止を図る。

出典：JICA 調査団

4.1.2.2 地盤改良技術の現況

「地盤改良の調査・設計と施工-戸建住宅から人工島まで-(H25.3)」や「道路土工-軟弱地盤対策工指針」では各種工法について分類整理がされており、日本国内における建設事業の地盤対策工検討の基本となっている。表 4.1.3、表 4.1.4 に各文献における対策工の分類（原理・工法・効果等）を示す。

表 4.1.3 各対策工法の対策原理と効果

原理	代表的な対策工法		効果																	
			沈下		安定			変形		液状化										トラフィカビリティ確保
										液状化の発生を防止する対策								液状化の発生は許すが施設の被害を軽減する対策		
										砂地盤の性質改良										
			圧密沈下の促進による供用後の沈下量の低減	全沈下量の低減	圧密による強度増加	すべり抵抗の増加	すべり滑動力の軽減	応力の遮断	応力の軽減	密度増大	固結	粒度の改良	飽和度の低下	有効応力の増大	過剰間隙水圧の消散	せん断変形の抑制			
圧密・排水	表層排水工法																			○
	サンドマット工法		○																	○
	緩速載荷工法				○															
	盛土載荷重工法		○		○															
	パーチカルドレーン工法	サンドドレーン工法	○		○															
		プレファブリケイティッドバーチカルドレーン工法	○		○															
	真空圧密工法		○		○															
	地下水位低下工法		○		○								○	○						
締固め	振動締固め工法	サンドコンパクションパイル工法	○	○	○	○			○	○										
		振動棒工法		○*						○										
		バイブロフローテーション工法		○*						○										
		バイブロタンパー工法		○*						○										
		重錘落下締固め工法		○*						○										
	静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	○	○	○	○			○	○										
		静的圧入締固め工法								○										
固結	表層混合処理工法			○		○		○			○									○
	深層混合処理工法	深層混合処理工法（機械撹拌工法）		○		○		○	○		○						○	○		
		高圧噴射撹拌工法		○		○		○	○		○						○	○		
	石灰パイル工法			○		○				○	○									
	薬液注入工法			○		○					○									
	凍結工法					○														
掘削置換	掘削置換工法			○		○		○				○								
間隙水圧消散	間隙水圧消散工法														○					
荷重軽減	軽量盛土工法	発泡スチロールブロック工法		○			○		○											
		気泡混合軽量土工法		○			○		○											
		発泡ビーズ混合軽量土工法		○			○		○											
	カルバート工法			○			○		○											
盛土の補強	盛土補強工法					○												○		
構造物による対策	押え盛土工法					○												○		
	地中連続壁工法															○				
	矢板工法					○		○							○**			○		
	杭工法			○		○			○									○		
補強材の敷設	補強材の敷設工法					○														○

*) 砂地盤について有効
**) 排水機能付きの場合

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

表 4.1.4 軟弱地盤対策工法一覧

対策の手法と主要な原理		工法の一般的名称	工法概要の説明	改良の目的	II編該当章
1．構造物の形式の変更		押さえ盛土工法	盛土本体の側方(のり尻)に押さえを行いモーメントを軽減し安定を確保。	すべり破壊防止、沈下低減	－
		軽量盛土工法（EPS ブロック工法，FCB，HGS）	荷重の軽減によって，安定確保と沈下低減を図る。		7
		補強土工法	土構造物中に補強材を敷設し安定を図る。	盛土の破壊防止	7
2．除去・置換		置換工法	軟弱層を良質土で置換	すべり破壊防止，沈下低減	1
3．軟弱地盤の特性の改善	圧密・排水	載荷盛土工法（プレローディング工法，サーチャージ工法）	盛土荷重を載荷して間隙水圧を高め地盤の圧密を図る（有効応力の増加）。	残留沈下の低減、地盤の強度増加	3
		真空圧密工法	間隙水圧を負圧で低下させ地盤の圧密を図る（同上）。		4
		地下水位低下工法	地下水位を低下させ地盤の圧密を図る（同上）。		3
		バーチカルドレーン工法（サンドドレーン工法，プラスチックボードドレーン工法，人工材料によるドレーン工法）	鉛直ドレーンで排水距離を短縮して圧密を促進する（載荷盛土，大気圧，地下水位低下などと併用）。	圧密促進，残留沈下の低減、地盤強度増加	4
		石灰パイル工法（生石灰パイル工法、特殊石灰パイル工法）	石灰の吸水，柱状打設で圧密促進。		8
		グラベルドレーン工法	緩い砂の地震時の間隙圧の早期消散を図る。	液状化防止	8
		表層排水工法（トレンチ排水工法、乾燥工法）	表層の排水を促進して乾燥を図る（仮設的）。	表層地盤強度の増加	2
		排水機能付き鋼材工法			8
	締固め	サンドコンパクションパイル工法	砂杭の強制圧入と振動で緩い砂を締め固める。	液状化防止、沈下低減、地盤の強度増加	5
		ロッドコンパクション工法、バイブロフローテーション工法	振動棒により締め固める（砂の補給を伴う）。		5
		静的締固め工法（静的締固め砂杭工法、静的圧入締固め工法）	静的な砂杭構築やグラウト注入により地盤を締固める。		5
		バイブロタンパー工法	サンドコンパクションパイル工法やロッドコンパクション工法の補助的工法。	表層地盤強度の増加	5
		重錘落下締固め工法	重錘落下時の衝撃により緩い砂を締め固める。	沈下低減，液状化防止	5
	固結/熱処理	表層中層混合処理工法	セメントなどの安定材で表層固化版を造成する（仮設的）。	トラフィカビリティー確保	6
		深層混合処理工法（機械撹拌式工法，噴射撹拌式工法）	セメントなどの安定材で深層に造成する（支持層への荷重の伝至る柱体，ブロックなどを造など）。	すべり破壊防止、沈下抑止，低減，せん断変形抑止、ヒービング防止	6
		高圧噴射撹拌工法	安定材と土とを撹拌混合して地盤を固化させる。		6
		薬液注入工法	水ガラス等の薬液を地盤に注入し固化させる。		6
		凍結工法	地盤を一定期間人工的に凍結して固化させる（仮設的）。		6
		事前混合処理工法、管中混合固化処理工法、SCM 工法			8
4．補　　強		表層排水工法（サンドマット内の排水工法）	地表をある厚さで覆土し，応力の分散を図る。	トラフィカビリティー確保	2
		シート・敷網工法（シート，ネット等）	軟弱地盤の表層にシート，ネット，ロープ等を単独，あるいは組み合わせて敷設して覆土や盛土の安定を図る。	局部破壊防止，局部沈下低減	2
		サンドコンパクトションパイル工法	粘土地盤中に締め固めた砂杭や砕石杭を打設し補強する（圧密・締固め・補強の３原理を併せ持つ）。	地盤の強度増加，沈下低減，沈下促進，すべり破壊防止	5
		深層混合処理工法	強固な安定処理土による地中構造物の造成。	すべり破壊防止，沈下抑止	6

出典：地盤改良の調査・設計と施工−戸建住宅から人工島まで−,H25.3,(社)地盤工学会

以降に、「道路土工-軟弱地盤対策工指針」の分類表（表 4.1.3）を基本に、各工法の概要や、適用条件、コスト、留意点を整理したものを示す。なお、コストについては公開されている情報などを参考に記載しており、現地条件や地盤条件、施工規模によって変動する可能性がある。

(1) 圧密・排水

圧密・排水を原理とする工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.5 圧密･排水を原理とする工法の特徴（1）

工種・工法		施工方法の概要
表層排水工法		盛土施工前の地表面にトレンチを掘削して地表面付近の間隙水を排除し、表層部の含水比を低下させて施工機械のトラフィカビリティを確保。
サンドマット工法		軟弱地盤上表面に厚さ 0.5m～1.2m 程度の砂を敷設することで、軟弱層の圧密のための上部排水の促進と、施工機械のトラフィカビリティを確保。
緩速載荷工法及び工事期間の確保		できる限り軟弱地盤の処理は行わない代わりに、圧密の進行に合わせ時間をかけてゆっくり盛土することで地盤の強度増加を進行させて、安定を図る。
盛土載荷重工法	プレロード工法	構造物あるいは構造物に隣接する盛土等の荷重と同等またはそれ以上の盛土荷重を載荷して、粘性土地盤の圧密を十分進行させるとともに、地盤の強度増加を図った後、プレロードの盛土を取り除いて構造物を施工する。
	余盛り工法	計画高さ以上に盛土を高く施工して圧密を十分に進行させた後、余盛り分を取り除いて構造物を施工する。
バーチカルドレーン工法	サンドドレーン工法	透水性の高い砂を用いた砂柱を地盤中に鉛直に造成することにより、水平方向の排水距離を短くして圧密を促進し、地盤の強度増加を図る。緩速載荷工法や盛土載荷重工法と併用されることが多い。
	PVD 工法	砂の代わりにペーパー（カードボード）、プラスチックや天然繊維材を用いた人工製品等を粘性土地盤中に設置して、これを排水柱とするもの。
真空圧密工法		改良対象範囲に鉛直ドレーンを打設し、サンドマットあるいは地表面に敷設した水平ドレーン材と連結させた後、気密シートで覆い 50～80kN/m2 程度まで真空ポンプで減圧することで、大気圧を載荷するとともに、地盤に含まれる水や空気を強制的に排出し、圧密促進及び強度増加を図る。
地下水位低下工法		地盤中の地下水位を低下させることにより、それまで受けていた浮力に相当する荷重を下層の軟弱層に載荷して、圧密を促進するとともに地盤の強度増加を図る。

出典：JICA 調査団

表 4.1.6 圧密・排水を原理とする工法の特徴(2)

工種・工法		地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
表層排水工法		地表面対象 砂質土 粘性土地盤は不向き	バックホウ　など 良質な砂や砂礫､あるいは有孔管など
サンドマット工法		地表面対象 粘性土、砂質土	ダンプトラック､ブルドーザなど 良質な砂や砂礫
緩速載荷工法及び工事期間の確保		粘性土地盤 長期間の工期が確保できる	盛土工施工機械（盛り立て、締固め） 盛土材
盛土載荷重工法	プレロード工法	粘性土地盤 長期間の工期が確保できる	盛土工施工機械（盛り立て、締固め） 盛土材
	余盛り工法	粘性土地盤 長期間の工期が確保できる	盛土工施工機械（盛り立て、締固め） 盛土材
バーチカルドレーン工法	サンドドレーン工法	粘性土地盤 砂杭の連続性が確保できる深度	砂杭打設機 バックホウなど 良質な砂
	PVD 工法	粘性土地盤 GL-45m 程度の実績あり	ドレーン材打設機 ドレーン材
真空圧密工法		粘性土地盤	上部を気密シートで覆うシート式と不透水のキャップ層を利用するキャップ式がある。 ドレーン打設機 ドレーン材、気密シート（キャップ層）、真空ポンプ、集水管など
地下水位低下工法		粘性土地盤 ウェルポイント工法 GL-6～-7m ディープウェル工法 GL-10m 程度	削孔機 ウェルポイント工法： 真空ポンプ ディープウェル工法： 揚水ポンプ

出典：JICA 調査団

表 4.1.7 圧密・排水を原理とする工法の特徴(3)

工種・工法		施工コスト（国内目安）	留意点
表層排水工法		（トラフィカビリティーの確保で採用）	トレンチの配置は排水が順調に行われるように地形や土質を十分考慮する必要がある。ドレーン材料は地下排水溝としての機能を維持させるため、透水性が大きく粒度配合の良い材料を用いる必要がある。
サンドマット工法		（トラフィカビリティーの確保で採用）	ドレーン材料としての品質確認を事前に行う必要がある。透水性の低い材料だと排水が阻害され効果が得られないことがある。
緩速載荷工法及び工事期間の確保		（一般土工：盛土工） （工期の確保が必要）	動態観測にて沈下量の管理及び予測を実施する必要がある。盛土は盛土の安定性を確保できる施工速度とする必要がある。
盛土載荷重工法	プレロード工法	（一般土工：盛土工） （工期の確保が必要）	動態観測にて沈下量の管理及び予測を実施する必要がある。プレロードによる圧密沈下の収束を確認する必要がある。また、地盤の強度増加を直接確認することが望ましい。
	余盛り工法	（一般土工：盛土工） （工期の確保が必要）	動態観測にて沈下量の管理及び予測を実施する必要がある。余盛りによる圧密沈下の収束を確認する必要がある。また、地盤の強度増加を直接確認することが望ましい。
バーチカルドレーン工法	サンドドレーン工法	2,000 円～4,000 円/m （砂杭のみ、盛土工別）	砂杭の充填に十分余裕を持った打設速度とし、砂杭が切れ目なく施工する必要がある。バイブロハンマ式サンドドレーンでは、ケーシングを地盤中に圧入することによる周辺地盤の変形や施工時の振動に留意する必要がある。
	PVD 工法	500 円～1,000 円/m （PVD のみ、盛土工別）	長尺ドレーンを使用したときは、圧密速度が設計時の予測より遅くなることがある。
真空圧密工法		1,000 円～2,000 円/m 真空ポンプの運転条件により変動する。	気密シートを破損する恐れのある突起物、廃棄物などを撤去する必要がある。地盤内に透水性の高い砂礫層があると真空圧の維持が困難となることがあるため、事前に十分な調査が必要である。
地下水位低下工法		8,000 円～10,000 円/本	地下水位の低下が対象区域外に及び周辺に影響する場合がある。必要に応じて矢板等で施工区間を囲むなどの止水対策が必要である。圧密期間が長期となる場合、運転経費が高くなる。

出典：JICA 調査団

(2) 締固め

締固めを原理とする工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.8 締固めを原理とする工法の特徴（1）

工種・工法		施工方法の概要
振動締固め工法	サンドコンパクションパイル工法	地盤内に工間を貫入して管内に砂等を投入し、振動により締め固めた砂杭を地盤中に造成する。
	振動棒工法	改良機のロッドに取り付けられた起震機でロッドを振動させながら地中に貫入させ、起震機の振動をロッドを介して地盤に伝播し、締固めを行うもの。
	バイブロフローテーション工法	棒状のバイブロフロットを地盤中で振動させながら水を噴射し、水締めと振動により地盤を締め固め、同時に、生じた空隙に砂利等を補給して地盤を改良する。
	バイブロタンパー工法	強力な起震機とタンパーとを組合わせ密度増大を図る。
	重錘落下締固め工法	質量 50～300kN、底面積 2～4 m^2 程度の重錘を大型クレーンで 10～30m の高さから自由落下させ、その時に地盤に与えられる衝撃力と振動により、地盤を締め固める。
静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	ケーシングの昇降及び回転エネルギーを用いた静的な圧入によって締固め砂杭を造成する。
	静的圧入締固め工法	極めて流動性の低い注入材（ソイルモルタル）等を地盤中に強制的に圧入し、固化杭を造成して地盤を締め固め、密度を増加させる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.9 締固めを原理とする工法の特徴(2)

工種・工法		地盤条件・適用条件	標準的な使用材料 ・施工機械
振動締固め工法	サンドコンパクションパイル工法	砂質土、粘性土、有機質土等 GL-50m～70m 程度	SCP 打設施工機、 バックホウなど 砂、砕石、スラグなど
	振動棒工法	砂質土、粘性土、有機質土等 GL-20～-25m 程度	振動機を取り付けたクローラクレーン、 トラクターショベルなど 砂、礫など
	バイブロフローテーション工法	緩い砂質土 GL-15m 程度	バイブロフロット、クレーン、タイヤショベル、ホッパー 砕石、砂利など
	バイブロタンパー工法	緩い砂質土 GL-3m～5m 程度	バイブロハンマ、マンモスタンパー、クローラクレーン、ブルドーザなど
	重錘落下締固め工法	緩い砂質土、礫質土 GL-10m～15m 程度	重錘(10t～25t)、クローラクレーンなど
静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	砂質土、粘性土、有機質土等 GL-25m 程度	静的締固め施工機、タイヤショベルなど 砂、砕石など
	静的圧入締固め工法	緩い砂質土 GL-20m 程度	小型ボーリングマシン、注入ポンプなど

出典：JICA 調査団

表 4.1.10 締固めを原理とする工法の特徴(3)

工種・工法		施工コスト（国内目安）	留意点
振動締固め工法	サンドコンパクションパイル工法	4,000 円～5,000 円/m（砂杭のみ）	砂杭の打設間隔、深度を綿密に管理する。打設された砂杭が所定の直径に造成されているか確認する。振動、騒音、側方変位や盛り上がり等周辺環境への影響に配慮する必要がある。
	振動棒工法	3,000 円/m（砂杭のみ）	細粒分が多くなると改良効果が減少するため、地盤状況に留意する必要がある。施工時の振動、騒音、側方変形に対して留意する必要がある。
	バイブロフローテーション工法	5,000 円～6,000 円/m	地表面付近では締固めが困難であるが、十分に注意して施工するとともに、ローラ等で転圧する必要がある。砕石、砂利が良く用いられるが最大粒径が大きいと締固め効果が悪くなる可能性がある。 施工時の振動に留意する必要がある。
	バイブロタンパー工法	2,000 円/m^2	地表面が緩く施工途中で振動により沈下が生じやすい場合、間隔を置いた施工を行い、試験施工にてその間隔を決定する必要がある。 施工時の振動、騒音に留意する必要がある。
	重錘落下締固め工法	10,000 円～12,000 円/m^2	細粒分の多い地盤に対しては改良効果が減じるとされており注意する必要がある。衝撃による振動で変状をきたす恐れがあるので留意する必要がある。地下水位が高いと打撃効果が大幅に低下する可能性がある。
静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	6,000 円～7,000 円/m（砂杭のみ）	サンドコンパクションパイル工法とほぼ同様であるが、硬質地盤では事前に試験施工を行うなど十分な検討が必要である。
	静的圧入締固め工法	25,000 円～30,000 円/m（砂杭のみ）	改良範囲に近接して構造物がある場合は、注入材や注入充填された地盤の膨張及び土中の間隙水圧の上昇により、変形・変状を生じることもあるため注意する必要がある。 注入材が注入範囲外に流出すると、地下水の汚染等周辺環境へ影響を及ぼすこともあるため水質監視を行う必要がある。

出典：JICA 調査団

(3) 化学的-固結・凍結

化学的-固結・凍結等を原理とする工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.11 化学的−固結・凍結等を原理とする工法の特徴（1）

工種・工法		施工方法の概要
表層・中層混合処理工法		表層部分の軟弱なシルト・粘土と固化材(セメントや石灰等)とを攪拌混合することにより改良し、地盤の安定やトラフィカビリティ―の改善等を図る。 改良深さは表層混合処理工法で 0～3m 程度、中層混合処理工法で 3～10m 程度が適用範囲である。
深層混合処理工法	機械攪拌工法	粉体状あるいはスラリー状の主としてセメント系固化材を地中に供給して、原位置の軟弱土と攪拌翼を用いて強制的に攪拌混合することによって原位置で深層に至る強固な柱体状、ブロック状または壁状の安定処理土を形成する。
	高圧噴射攪拌工法	ロッド先端に取付けられた特殊なノズルから高圧で噴射される固化材等で地盤を切削し、同時に切削された軟弱土と固化材とを原位置で混合し、改良する。
石灰パイル工法		軟弱地盤中に生石灰が主成分である粉粒状の改良材をパイル状（杭状）に圧入造成し、生石灰の優れた吸水・膨張作用を利用する。この結果、粘性土地盤では、地盤の含水比低下効果を期待するとともに、水硬性の改良体と圧密強化された地盤で複合地盤を形成し、地盤全体を改良する。
薬液注入工法		土の間隙に注入材を注入することによって地盤を改良する。注入材は溶液型薬液と懸濁型薬液に大別される。注入形態は、浸透注入と割裂注入となる。
凍結工法		軟弱地盤や地下水位以下にある透水性地盤を掘削する際に、地盤を一時的に凍結させ掘削面の安定や遮水を目的とする工法。現地盤中に存在する間隙水を温度低下により氷に変え凍土壁を造成。主に地下工事に際して、地盤の一部を一時的に凍結して遮水性や強度に期待する仮設工法として分類。

出典：JICA 調査団

表 4.1.12 化学的−固結・凍結等を原理とする工法の特徴（2）

工種・工法		地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
表層・中層混合処理工法		GL-3m程度の深度まで(表層) GL-3～10m程度の深度(中層) 粘性土、砂質土	バックホウ、スタビライザーなど 固化材
深層混合処理工法	機械攪拌工法	GL-50m 程度の深度まで 粘性土、砂質土 固化材や改良機の組み合わせで様々な土質に対応。 礫地盤に対応できるものもある。	地盤改良施工機、バックホウ、改良材プラント　など 固化材
	高圧噴射攪拌工法	GL-50m 程度の深度まで 粘性土、砂質土 固化材や改良機の組み合わせで様々な土質に対応。 既設構造物の近傍や直下の施工が可能	ボーリングマシン、注入ロッド、改良材プラント　など 固化材
石灰パイル工法		GL-45m の長尺施工が可能 粘性土、砂質土	打設機　など （オーガ式、バイブロハンマ式） 生石灰
薬液注入工法		砂質土 透水性の低い粘性土は不適	削孔機、グラウトポンプ、ケーシング・注入パイプ　など 注入材
凍結工法		粘性土、砂質土	凍結管、凍結ユニット　など 冷却液

出典：JICA 調査団

表 4.1.13 化学的−固結・凍結等を原理とする工法の特徴（3）

工種・工法		施工コスト（国内目安）	留意点
表層・中層混合処理工法		3,000 円～5,000 円/m^3	固化材との攪拌作業に関する施工管理を十分に行う必要がある。 粉体の固化材を使用する場合、粉塵が発生する恐れがある。
深層混合処理工法	機械攪拌工法	5,000 円～8,000 円/m^3	固化材の供給量、攪拌翼の回転数、貫入・引抜速度などの攪拌作業に関する施工管理を十分に行う必要がある。また、攪拌時に一時的に強度低下を起こす可能性がある。 固化材の添加量は、現場の改良強度はばらつきが生じやすいため、現場試験により改良効果を確認する必要がある。 有機質土など特殊土を改良する場合、多量の固化材や専用の固化材を必要となる場合がある。 pH とともに六価クロムの溶出に留意する必要がある。
	高圧噴射攪拌工法	20,000 円～40,000 円/m^3	施工に伴って発生する排出土の量及び処分方法について留意する必要がある。 固化材の添加量は、現場の改良強度はばらつきが生じやすいため、現場試験により改良工かを確認する必要がある。 有機質土など特殊土を改良する場合、多量の固化材や専用の固化材を必要となる場合がある。 pH とともに六価クロムの溶出に留意する必要がある。
石灰パイル工法		7,000 円/m	バイブロハンマ式の場合、打設間隔によっては側方地盤の変位を伴うことがある。 生石灰は、消化吸水時に著しく発熱を生ずる。取扱中は水分に留意し、発熱による火傷等に留意する必要がある。また、打設直後は地盤強度が低下している可能性がある。
薬液注入工法		30,000 円/m^3	注入材が対象範囲外へ流出しないよう、土の間隙率及び地下水等を把握する必要がある。 満足する効果が得られるように、地盤条件に対する注入範囲や注入量、適した注入材や注入方式を選定する必要がある。
凍結工法		（高圧噴射攪拌工法よりも高価）	粘性土では凍結膨張による周辺地盤への影響に注意する必要がある。 地下水流が大きいと、凍土造成が遅くなり、凍土が連続しないことも起こりうるため注意が必要である。

出典：JICA 調査団

(4) 置換

置換を原理とする掘削置換工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.14 掘削置換工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
掘削置換工法	軟弱層の前面あるいは一部を掘削し、良質土で置換する。一般に置換材としては、水浸によってもせん断強度の低下がしにくい粗粒土を用いる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.15 掘削置換工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
掘削置換工法	砂質土、粘性土、有機質土等 GL-3m 程度まで	バックホウ、クラムシェル、ドラグラインなど 砂、砂礫など

出典：JICA 調査団

表 4.1.16 掘削置換工法の特徴（3）

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
掘削置換工法	（一般土工（掘削、敷均し等））	置換部に用いる材料の選定には盛土高、軟弱層の厚さ、構造物の種類及び地下水位等を考慮し、材料として排水性が良く、地下水位以下になっても十分支持力が各簿できるような砂または礫その他の粗粒土を選ぶことが望ましい。 地下水位以下で締固めが不十分な場合、地震時に液状化を生じる恐れがあるため、特に入念な締固めを行うなどの配慮が必要である。 掘削法面の勾配は、掘削される深度と土の強度によって異なるが、鉛直～2 割勾配の範囲内を基本に現地条件に応じて決める必要がある。法面の崩壊を防ぐため、掘削の進行に従って速やかに置換材料の搬入を行うことが必要である。

出典：JICA 調査団

(5) 補強-荷重低減

荷重低減を原理とする工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.17 荷重低減工法の特徴（1）

工種・工法		施工方法の概要
軽量盛土工法	発泡スチロールブロック工法	発泡スチロールブロックを相互に連結しながら積み重ねて盛土を構築する工法である。超軽量であるためブロック体を人力で積上げることが可能で、自立性を有している。
	気泡混合軽量土工法	流動化処理土(土にセメント等の固化材と水を混錬し流動化させたもの)に気泡を混合した気泡混合軽量土や土の代わりに細骨材を用いたモルタルに気泡を混合した気泡モルタルを用いて盛土を行う。
	発砲ビーズ混合軽量土工法	原料土に発泡ビーズを混合することにより、軽量性と通常の土に近い変形追従性を有する地盤材料とし、さらにセメント等を添加し、軽量化によって生じた強度低下を補う場合もある。
カルバート工法		盛土材の代替として、カルバートを連続して並べることにより軽量で地盤の挙動に対応しうる構造体をつくる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.18 荷重低減工法の特徴（2）

工種・工法		地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
軽量盛土工法	発泡スチロールブロック工法	地下水位以下の改良は不適	人力での施工も可能 発泡スチロールブロック、緊結金具など
	気泡混合軽量土工法	粘性土、砂質土	バックホウ、ブルドーザ、混合機、現地プラントなど 固化材、気泡剤など
	発砲ビーズ混合軽量土工法	礫質土を除く砂、砂質土、粘性土、火山灰質土	バックホウ、ブルドーザ、混合機、現地プラントなど 固化材、発砲ビーズ
カルバート工法		粘性土、砂質土	コンクリート構造物の施工となる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.19 荷重低減工法の特徴（3）

工種・工法		施工コスト（国内目安）	留意点
軽量盛土工法	発泡スチロールブロック工法	25,000 円/m^3	発泡スチロールは不燃性ではなく、鉱油系薬品や紫外線に弱い部分があるので、保護壁や十分な土被り厚を確保するなど損傷を受けることの無いように留意する必要がある。
	気泡混合軽量土工法	15,000 円/m^3	吸水すると湿潤密度が大きくなり軽量性が損なわれるほか、強度低下を引き起こすことがあるため、浸透防止や排水処理が不可欠である。 気泡の一部は、圧送時あるいは打設中の降雨によって消泡し品質の低下を招く恐れがあるため、必要に応じて気泡の割り増しをするなど適切に施工管理することが重要である。
	発泡ビーズ混合軽量土工法	15,000 円/m^3	プラント混合にあたって、発泡ビーズ投入が最も飛散に注意を要する工程である。密封された空間での作業や、防風シートを設置するなど、飛散防止対策が必要である。
カルバート工法		（構造物の構築となるため高価）	特に縦断方向の不同沈下が問題となることがあるため、地盤状況等を十分に調査のうえ適用する必要がある。 基礎地盤対策としてプレロード工法が行われることがある。

出典：JICA 調査団

(6) 補強-盛土補強

盛土補強工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.20 盛土の補強工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
盛土補強工法	補強材の種類によってジオテキスタイル工法と金網工法に区別される。 ジオテキスタイル工法は、引っ張り強さの高いシート状の材料である。 金網工法は、鋼製ネット、帯鋼等の材料が使用される。

出典：JICA 調査団

表 4.1.21 盛土の補強工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
盛土補強工法	軟弱層厚が薄い場合は単独 軟弱層厚が厚い場合は、深層混合処理工法等の補助工法としても採用されることがある	ジオテキスタイル、鋼製ネット、帯鋼など

出典：JICA 調査団

表 4.1.22 盛土の補強工法の特徴（3）

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
盛土補強工法	ジオテキスタイル工 3,000 円/m^2	補強材は、高い引張強度を有することが必要であり、かつ地盤の変形に追従し得るものが望ましい。 地盤が超軟弱で大変形が想定される場合には、補強効果が期待できないため、地盤改良との併用が必要である。 補強材 1 枚あたりの設計引張強さには限界があるため、必要とする引張強さが大きい場合や盛土の滑動荷重に対して大きな抵抗が必要な場合には、補強材を複数枚敷設する。 補強材は土中の化学成分等の環境条件によって劣化することがある。また、盛土材に礫質土を用いる場合には補強材が損傷することがあるため、環境条件を十分に考慮する必要がある。 盛土との一体化を図り盛土自重による定着効果を高めるために補強材周辺の盛土材を締め固める必要がある。

出典：JICA 調査団

(7) 補強-構造物による対策

荷重低減を原理とする工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.23 構造物による対策工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
押え盛土工法	盛土法先に小規模な盛土(押え盛土)を行って安定性を確保。盛土構造物等の施工中に著しく不安定になったものやすべり破壊を起こしたものの応急対策、または復旧対策として極めて有効であり、そのような適用例も多い。また、長期にわたる圧密による周辺地盤の沈下対策としても有効である。
地中連続壁工法	安定液を用いて掘削壁面の崩壊を防ぎながら地下に壁状の溝孔を掘削して、場所打ちの鉄筋コンクリート壁等と構築する。 地盤垂直方向に攪拌するため深度によるばらつきが少ない。
矢板工法	盛土の側方の地盤に矢板を打設して、本体盛土のすべり破壊を防止するとともに、地盤の側方変形を減じて、盛土の安定を図る。 補助工法の使用により、礫質土や硬質地盤でも適用可能である。
杭工法	盛土等の荷重を、杭を介して基層や深層に伝えることによって土工構造物の安定と沈下の抑制を図る。

出典：JICA 調査団

表 4.1.24 構造物による対策工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
押え盛土工法	粘性土、砂質土、有機質土	盛土工施工機械（盛り立て、締固め） 盛土材
地中連続壁工法	粘性土、礫質土、砂質土 GL-60m 程度	ラフタークレーン、地盤掘削機など セメント、ベントナイト、添加剤
矢板工法	粘性土、砂質土、有機質土 補助工法の使用により、礫質土や硬質地盤でも適用可能	矢板打設機、ラフタークレーンなど 鋼矢板、鋼管矢板など
杭工法	粘性土、砂質土、礫質土、有機質土	杭打設機、ラフタークレーンなど 鋼杭、鋼管杭など

出典：JICA 調査団

表 4.1.25 構造物による対策工法の特徴(3)

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
押え盛土工法	（一般土工：盛土工）	押さえ盛土に使用する盛土材は、所定の品質の盛土材を選定するとともに、締固め方法等、適切に施工管理を行わなければならない。 盛土の高まき施工は避け、ほぼ水平に敷き均した薄層の盛土材を各層ごとに確実に締め固める必要がある。
地中連続壁工法	20,000 円/m2	地中連続壁は剛性の大きい構造となるため、外側部と地盤との境界部で不同沈下が発生する可能性があり、注意する必要がある。 軟弱地盤上では、トラフィカビリティの不足等により、施工機械の配置精度や鉛直精度が低下する可能性があるので注意が必要である。
矢板工法	400,000 円/m（奥行）	基盤が極めて固い場合は、矢板が座屈する恐れがあるため注意が必要である。 盛土施工中に大きな沈下が生じる場合には、タイロッドが切断する恐れがある。スリットの設置やリングジョイントの使用などの対策が必要となる場合がある。 排水機能付き鋼材を使用する場合、排水部材が目詰まりを起こさないよう材料を選定する必要がある。また、排水部材の取付長さは液状化層下端以深までを原則とする。
杭工法	矢板工法より高価	コンクリートスラブと杭を組み合わせた方式では、一般に杭先端の沈下とスラブ底面での地盤沈下とが一致しないことがあり、スラブ底面下に空洞が生じる場合があるので注意が必要である。 コンクリートキャップと杭を組み合わせた方式を低盛土部に用いる場合には、杭相互間の不同沈下により路面に悪影響を及ぼすことがあるので注意が必要である。また、盛土の転圧時に杭上に設置されたコンクリートキャップが破損する恐れもあるので注意が必要である。 鉄筋またはジオテキスタイルと杭を組み合わせた方式では、鉄筋またはジオテキスタイルを杭群の頭部で十分に連結する必要がある。 構造物等が近接している箇所で採用するときは、杭打ち時の振動及び地盤の側方変位に注意する必要がある。 杭工法による改良部とみ改良部との境界に不同沈下を生ずる恐れがあるため、改良部のすり付けなどに注意が必要である。

出典：JICA 調査団

(8) その他-間隙水圧消散

間隙水圧消散工法の特徴などを整理したものを下記に示す。

表 4.1.26 間隙水圧消散工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
間隙水圧消散工法	砂質土地盤中に鉛直な排水柱を設けて地盤の透水性を高める。材料としては、自然材料の単粒度調整砕石及び人工材料の合成樹脂製のドレーン材等がある。

出典：JICA 調査団

表 4.1.27 間隙水圧消散工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
間隙水圧消散工法	緩い砂質土	ドレーン打設機 砕石、人工材ドレーン

出典：JICA 調査団

表 4.1.28 間隙水圧消散工法の特徴（3）

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
間隙水圧消散工法	5,000 円/m （ドレーン杭のみ）	現場透水試験を行うなど、透水係数を適切に評価する必要がある。 グラベルドレーン材料の選定にあたっては、目詰まりを起こさない材料を選定する必要がある。目詰まりを起こさない材料の選定基準として、ドレーン材の粒径と周辺地盤の粒径から推定する方法が提案されている。 改良区域の上面に砕石や礫等のドレーンマットを設け、排水柱から上昇してきた間隙水が速やかに排水できるようにすることが必要である。

出典：JICA 調査団

4.1.2.3 発生土の有効利用の現況

「建設発生土利用技術マニュアル」は、発生土を建設工事の土質材料として利用する場合について取りまとめたものである。発生土の利用にあたっては、利用可能な用途を選定することを目的とし、土質区分基準による区分基準が設定されている。また、そのままでは低品質の土であっても、利用目的に応じた土質改良工法を用いることによってほとんどの土が利用可能になる。マニュアルでは適用可能な改良工法や施工法の概要が示されている。

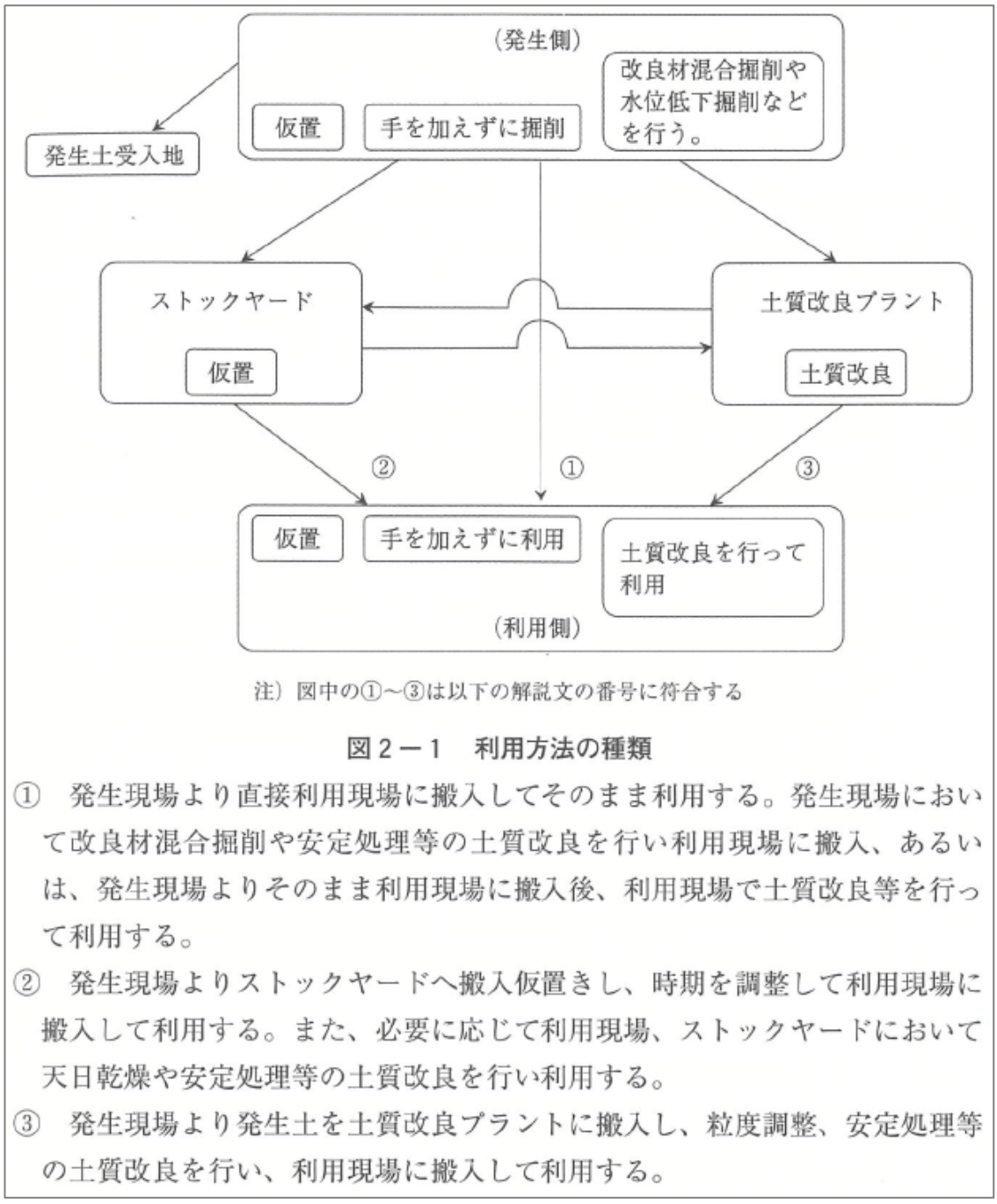
(1) 発生土利用の考え方

発生土の利用には、土の性状と利用用途に応じて、「特段の処理を行わず直接利用する方法」と「適切な土質改良等の処理を行って利用する方法」に大別されている。発生土の有効利用を図るための対応には、発生側で実施できることと、利用側で実施できることがある。

発生土の利用形態は現場内利用、現場間利用がある。発生土の利用にあたっては、発生工事内で利用する他、他工事での利用を促進する必要があるが、発生時期と利用時期が一致することは少なく、時期の調整のためのストックヤードが重要な施設として位置づけられる。また、ストックヤードにおいても含水比低下や粒度調整等、簡易な土質改良を行うことも可能である。ストックヤードのタイプには、現場内利用型、先行盛土型および中継地型があり、一定期間を限って設置するものと恒久施設とに区分される。いずれの場合においても、ストックヤードに発生土を保管する場合には、降雨による強度低下などの影響を避けるため、保管場所でも締固めを実施することや、シートを掛けるなど適切な管理が必要となる。

発生土の利用方法には数多くの形態があるが、利用の検討はほぼ共通の手順で行うことができる。一般的には、発生側の諸条件の整理、発生土の土質区分、利用先の情報収集、直接利用や改良による利用用途の検討、利用時の品質保証・施工管理方法の検討、工事間利用調整などの手順で行う。

日本国内の現状として、有効利用されていない建設発生土が依然として多くあることから、更なる有効利用を促進するために、公共工事と民間工事の間で建設発生土を有効利用することを目的に、官民マッチングの運用も令和元年より実施されている。



注）図中の①～③は以下の解説文の番号に符合する

図２－１　利用方法の種類

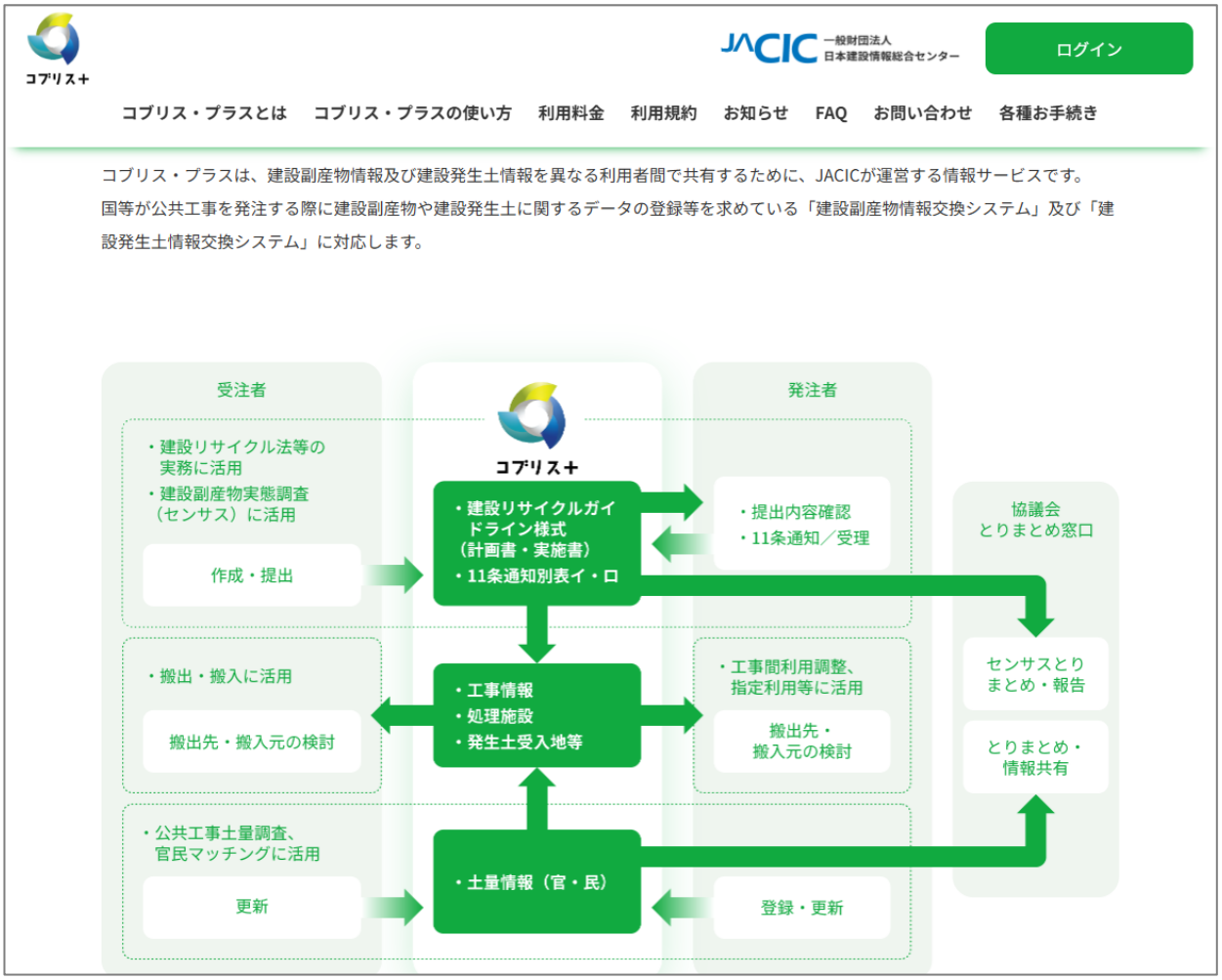
① 発生現場より直接利用現場に搬入してそのまま利用する。発生現場において改良材混合掘削や安定処理等の土質改良を行い利用現場に搬入、あるいは、発生現場よりそのまま利用現場に搬入後、利用現場で土質改良等を行って利用する。

② 発生現場よりストックヤードへ搬入仮置きし、時期を調整して利用現場に搬入して利用する。また、必要に応じて利用現場、ストックヤードにおいて天日乾燥や安定処理等の土質改良を行い利用する。

③ 発生現場より発生土を土質改良プラントに搬入し、粒度調整、安定処理等の土質改良を行い、利用現場に搬入して利用する。

出典：建設発生土利用技術マニュアル[第 4 版],H25.9,(独)土木研究所

図 4.1.4 発生土の利用方法の種類



出典：https://fkplus.jacic.or.jp/service,（社）日本建設情報総合センター

図 4.1.5 官民マッチング：建設副産物情報交換システム

(2) 発生土の土質区分

発生土の土質区分基準は、発生土のより効率的な利用を図るために、発生側・利用側が共通の指標で発生土を判定し、利用可能な用途を選定する目的で作成されたものである。土質区分基準は、発生時点での土の区分のほか、土質改良により土の性状を改良した場合の区分にも使用することができる。

表 4.1.29 に土質区分基準を示す。発生土の区分は、コーン指数と土質材料の工学的分類体系（中分類）（図 4.1.6 参照）を指標として判定することを原則としている。

化学的安定処理により土質改良を行った場合には、改良後の性状で再度判定するものとしている。判定は、コーン指数測定を行い、第 1 種改良土～第 4 種改良土の細区分に分類される。含水比低下、粒度調整などの物理的な処理や、高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした土質改良を行った場合には、改良土に分類されないため、コーン指数と土質材料の工学的分類体系（中分類）を指標とし、処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。

土質材料の工学的分類体系に示される礫は 75mm 未満とされていることから発生土の最大粒径も 75mm とする。一方で、岩盤掘削等で発生する 75mm を超える粒径のものに関しても、各適用用途に示される材料規定あるいは施工管理規定により定められている最大粒径以下であれば、従来どおり地盤材料として利用できる。

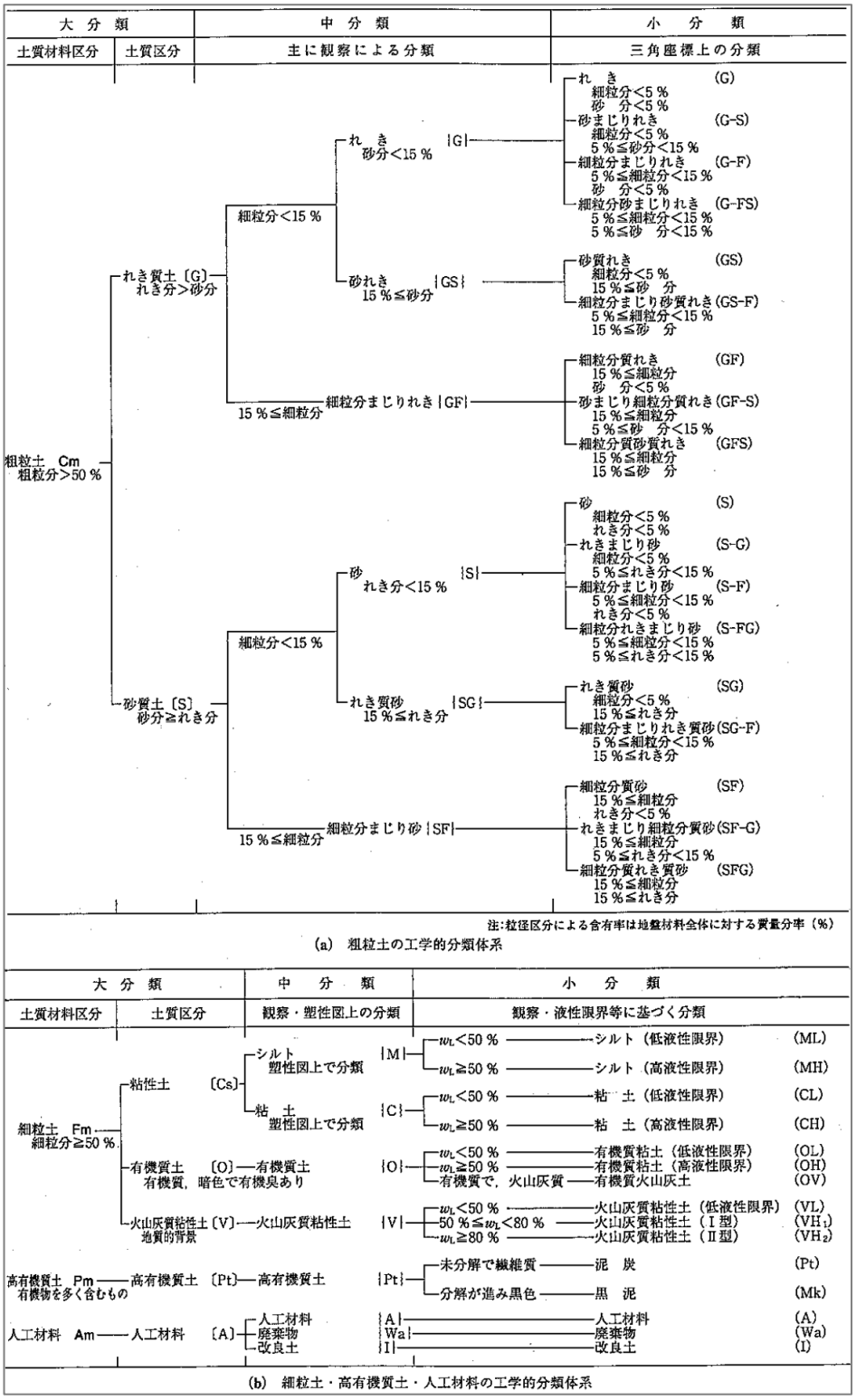
発生土の土質区分判定のための調査試験方法の詳細は、「4.1.3.3 発生土の利用に係る調査」に示す。

表 4.1.29 土質区分基準

区分（国土交通省令）*1)	細区分*2),3),4)	コーン指数 q_c*5)（kN/m²）	土質材料の工学的分類*6),7) 大分類	土質材料の工学的分類*6),7) 中分類 土質 {記号}	備考*6) 含水比（地山）w_n(%)	備考*6) 掘削方法
第１種建設発生土（砂、礫及びこれらに準ずるもの）	第１種	－	礫質土	礫{G}、砂礫{GS}	－	*排水に考慮するが、降水、浸出地下水等により含水比が増加すると予想される場合は、１ランク下の区分とする。 *水中掘削等による場合は、２ランク下の区分とする。
			砂質土	砂{S}、礫質砂{SG}		
	第１種改良土*8)		人工材料	改良土{I}	－	
第２種建設発生土（砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの）	第 2a 種	800以上	礫質土	細粒分まじり礫{GF}	－	
	第 2b 種		砂質土	細粒分まじり砂{SF}	－	
	第２種改良土		人工材料	改良土{I}	－	
第３種建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの）	第 3a 種	400以上	砂質土	細粒分まじり砂{SF}	－	
	第 3b 種		粘性土	シルト{M}、粘土{C}	40%程度以下	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土{V}	－	
	第３種改良土		人工材料	改良土{I}	－	
第４種建設発生土（粘性土及びこれに準ずるもの（第３種建設発生土を除く））	第 4a 種	200以上	砂質土	細粒分まじり砂{SF}	－	
	第 4b 種		粘性土	シルト{M}、粘土{C}	40～80%程度	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土{V}	－	
			有機質土	有機質土{O}	40～80%程度	
	第４種改良土		人工材料	改良土{I}	－	
泥土*1),*9)	泥土 a	200未満	砂質土	細粒分まじり砂{SF}	－	
	泥土 b		粘性土	シルト{M}、粘土{C}	80%程度以上	
			火山灰質粘性土	火山灰質粘性土{V}	－	
			有機質土	有機質土{O}	80%程度以上	
	泥土 c		高有機質土	高有機質土{Pt}	－	

＊１）　国土交通省令（建設業に属する事業を行う者の再生資源の利用に関する判断の基準となるべき事項を定める省令　平成 13 年 3 月 29 日　国交令 59、　建設業に属する事業を行う者の指定副産物に係る再生資源の利用の促進に関する判断の基準となるべき事項を定める省令　平成 13 年 3 月 29 日　国交令 60）においては区分として第１種～第４種建設発生土が規定されている。
＊２）　この土質区分基準は工学的判断に基づく基準であり、発生土が産業廃棄物であるか否かを決めるものではない。
＊３）　表中の第１種～第４種改良土は、土（泥土を含む）にセメントや石灰を混合し化学的安定処理したものである。例えば第３種改良土は、第４種建設発生土または泥土を安定処理し、コーン指数 400kN/m² 以上の性状に改良したものである。
＊４）　含水比低下、粒度調整などの物理的な処理や高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行った場合は、改良土に分類されないため、処理後の性状に応じて改良土以外の細区分に分類する。
＊５）　所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーンペネトロメーターで測定したコーン指数（表―２参照）。
＊６）　計画段階（掘削前）において発生土の区分を行う必要があり、コーン指数を求めるために必要な試料を得られない場合には、土質材料の工学的分類体系（(社) 地盤工学会）と備考欄の含水比（地山）、掘削方法から概略の区分を選定し、掘削後所定の方法でコーン指数を測定して区分を決定する。
＊７）　土質材料の工学的分類体系における最大粒径は 75mm と定められているが、それ以上の粒径を含むものについても本基準を参照して区分し、適切に利用する。
＊８）　砂及び礫と同等の品質が確保できているもの。
＊９）　・港湾、河川等のしゅんせつに伴って生ずる土砂その他これに類するものは廃棄物処理法の対象となる廃棄物ではない。（廃棄物の処理及び清掃に関する法律の施行について　昭和 46 年 10 月 16 日　環整 43　厚生省通知）
・地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。（建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について　平成 13 年 6 月 1 日　環廃産 276　環境省通知）
・建設汚泥に該当するものについては、廃棄物処理法に定められた手続きにより利用が可能となり、その場合**「建設汚泥処理土利用技術基準」（国官技第 50 号、国官総第 137 号、国営計第 41 号、平成 18 年 6 月 12 日）**を適用するものとする。

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省



出典：地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版],R3.4,(社)地盤工学会

図 4.1.6 土質材料の工学的分類

4.1.2.4 発生土の改良技術の現況

(1) 適用用途標準

発生土を利用する際の用途は、表 4.1.29 に示した土質区分に対応して、適用用途標準が設定されている。適用用途標準を表 4.1.30～表 4.1.32 に示す。

適用用途標準で示されている適応性は、公的な基準の規格値を重視して定められている。また、低品質な土においても、適切な土質改良を行うことにより、利用可能となるように範囲が設定されている。

適用用途標準は、一般的な目安を示すものであり、各種構造物の基準に従うとともに、構造物の重要度等に応じて柔軟に対応する必要がある。評価の考え方を以下に示す。

◎：そのままで使用可能なもの

各用途の材料規定を満たし、適切な施工を行えばそのままで使用が可能なものである。ただし、用途によっては、最大粒径、礫混入率が条件を満たすことを確認する必要がある。また、粒度分布の状態によっては、粒度調整が必要な場合や使用部位が限定される場合もある。

○：適切な土質改良（含水比低下、粒度調整、機能付加・補強、安定処理等）を行えば使用可能なもの

発生側あるいは利用側において含水比低下や粒度調整等の適切な土質改良を行えば使用可能なものである。土質改良を行った場合には、処理後に再度区分の判定を行い、適用性を評価する必要がある。なお、工期、施工ヤードなどの条件や費用などに応じては、強度増加を図る目的で安定処理等を用いる場合や機能付加・補強を行う場合もある。

△：評価が○のものと比較して、土質改良にコスト及び時間がより必要なもの

安定処理等、機能付加・補強などの土質改良を行えば使用可能なものである。ただし、適用用途に求められる品質と強度や含水比の差が大きいので、○評価の区分と比較して改良材が多量に必要となったり、天日乾燥等に時間を要する。したがって、経済性を考慮して土質改良工法を選定する必要がある。また、泥土の場合には脱水と安定処理等との組合せが必要となる場合がある。土質改良を行った場合には、処理後に再度土質の区分を行い、適用性を評価する必要がある。なお工期や施工ヤードに余裕がある場合には天日乾燥等も可能となる場合がある。

×：良質土との混合などを行わない限り土質改良を行っても使用が不適なもの

単独では安定処理等の土質改良を行っても、所要の性状が得られないものがこれに該当する。ただし、良質土や礫質土などと混合し、土質を改良した場合等は再度判定を行い区分を決定する。なお、使用にあたっては、専用の混合機などを用いて入念な施工を心掛ける他、試験施工により施工性や適用性を確認することが望ましい。

出典：建設発生土利用技術マニュアル[第 4 版],H25.9,(独)土木研究所

なお、本邦の土質工学で特殊土として分類される高有機質土、関東ローム、まさ土、しらす等に関しては、従来から特殊な試験などが行われているなど、必ずしも適用用途標準がそのまま一義的に適用されるものではないため、十分な試験を行い、土の特性を生かした土質改良工法を用いて利用を図ることが求められることになる。

表 4.1.30 適用用途標準（1）

区分＼適用用途		工作物の埋戻し		建築物の埋戻し※1		土木構造物の裏込め		道路用盛土			
								路床		路体	
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第1種建設発生土（砂、礫及びこれらに準ずるもの）	第1種	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意
	第1種改良土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意
第2種建設発生土（砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの）	第2a種	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意 細粒分含有率注意	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意
	第2b種	◎	細粒分含有率注意	◎		◎	細粒分含有率注意	◎		◎	
	第2種改良土	◎		◎	表層利用注意	◎		◎		◎	
第3種建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれらに準ずるもの）	第3a種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
	第3b種	○		◎	施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
	第3種改良土	○		◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	○		○		◎	施工機械の選定注意
第4種建設発生土（粘性土及びこれらに準ずるもの）	第4a種	○		○		○		○		○	
	第4b種	△		○		△		△		○	
	第4種改良土	△		○		△		△		○	
泥土	泥土a	△		○		△		△		○	
	泥土b	△		△		△		△		△	
	泥土c	×		×		×		×		△	

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省

表 4.1.31 適用用途標準（2）

区分＼適用用途		河川築堤				土地造成			
		高規格堤防		一般堤防		宅地造成		公園・緑地造成	
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第1種建設発生土（砂、礫及びこれらに準ずるもの）	第1種	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 透水性注意 表層利用注意	○		◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意
	第1種改良土	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 透水性注意 表層利用注意	○		◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意
第2種建設発生土（砂質土、礫質土及びこれらに準ずるもの）	第2a種	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 粒度分布注意 透水性注意 表層利用注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意 透水性注意	◎	最大粒径注意 礫混入率注意 表層利用注意	◎	表層利用注意
	第2b種	◎	粒度分布注意	◎	粒度分布注意	◎		◎	
	第2種改良土	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意	◎	表層利用注意
第3種建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれらに準ずるもの）	第3a種	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意
	第3b種	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	粒度分布注意 施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意	◎	施工機械の選定注意
	第3種改良土	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意	◎	表層利用注意 施工機械の選定注意
第4種建設発生土（粘性土及びこれらに準ずるもの）	第4a種	○		○		○		○	
	第4b種	○		○		○		○	
	第4種改良土	○		○		○		○	
泥土	泥土a	○		○		○		○	
	泥土b	△		△		△		△	
	泥土c	×		×		×		△	

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省

表 4.1.32 適用用途標準（3）

区分＼適用用途		鉄道盛土		空港盛土		水面埋立※2	
		評価	留意事項	評価	留意事項	評価	留意事項
第1種建設発生土（砂,礫及びこれらに準ずるもの）	第1種	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	最大粒径注意 粒度分布注意	◎	粒度分布注意 淡水域利用注意
	第1種改良土	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	淡水域 利用注意
第2種建設発生土（砂質土,礫質土及びこれらに準ずるもの）	第2a種	◎	最大粒径注意	◎	最大粒径注意	◎	
	第2b種	◎		◎		◎	粒度分布注意
	第2種改良土	◎		◎		◎	淡水域 利用注意
第3種建設発生土（通常の施工性が確保される粘性土及びこれらに準ずるもの）	第3a種	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	粒度分布注意
	第3b種	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	
	第3種改良土	○		◎	施工機械の 選定注意	◎	淡水域 利用注意
第4種建設発生土（粘性土及びこれらに準ずるもの）	第4a種	○		○		◎	粒度分布注意
	第4b種	△		○		◎	
	第4種改良土	△		○		◎	淡水域 利用注意
泥土	泥土a	△		○		○	
	泥土b	△		△		○	
	泥土c	×		×		△	

[評　価]
◎：そのままで使用が可能なもの。留意事項に使用時の注意を示した。
○：適切な土質改良（含水比低下、粒度調整、機能付加・補強、安定処理等）を行えば使用可能なもの。
△：評価が○のものと比較して、土質改良にコスト及び時間がより必要なもの。
×：良質土との混合などを行わない限り土質改良を行っても使用が不適なもの。

土質改良の定義
含水比低下：水切り、天日乾燥、水位低下掘削等を用いて、含水比の低下を図ることにより利用可能となるもの。
粒度調整：利用場所や目的によっては細粒分あるいは粗粒分の付加やふるい選別を行うことで利用可能となるもの。
機能付加・補強：固化材、水や軽量材等を混合することにより発生土に流動性、軽量性などの付加価値をつけることや補強材等による発生土の補強を行うことにより利用可能となるもの。
安定処理等：セメントや石灰による化学的安定処理と高分子系や無機材料による水分の土中への固定を主目的とした改良材による土質改良を行うことにより利用可能となるもの。

[留意事項]
最大粒径注意：利用用途先の材料の最大粒径、または一層の仕上り厚さが規定されているもの。
細粒分含有率注意：利用用途先の材料の細粒分含有率の範囲が規定されているもの。
礫混入率注意：利用用途先の材料の礫混入率が規定されているもの。
粒度分布注意：液状化や土粒子の流出などの点で問題があり、利用場所や目的によっては粒度分布に注意を要するもの。
透水性注意：透水性が高く、難透水性が要求される部位への利用は適さないもの。
表層利用注意：表面への露出により植生や築造等に影響を及ぼすおそれのあるもの。
施工機械の選定注意：過転圧などの点で問題があり、締固め等の施工機械の接地圧に注意を要するもの。
淡水域利用注意：淡水域に利用する場合、水域の pH が上昇する可能性があり、注意を要するもの。

[備　考]
本表に例示のない適用用途に発生土を使用する場合は、本表に例示された適用用途の中で類似するものを準用する。
※1 建築物の埋戻し：一定の強度が必要な埋戻しの場合は、工作物の埋戻しを準用する。
※2 水面埋立て：水面上へ土砂等が出た後については、利用目的別の留意点（地盤改良、締固め等）を別途考慮するものとする。

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省

例として、道路用盛土と河川堤防について整理したものを表 4.1.33 に示す。表は最も上位の現行の基準等を基に整理されたものである。

以下その他も含めた関連する主な技術基準類を示す。

- 工作物の埋戻し：「道路土工-カルバート工指針、平成 22 年 3 月」（(社)日本道路協会）
- 建築物の埋戻し：「公共建築工事標準仕様書(建築工事編)、令和 7 年 3 月」（国土交通省）

  「建築工事監理指針、令和 4 年 10 月」（(一社)公共建築協会）
- 土木構造物の裏込め：「道路土工-盛土工指針、平成 22 年 4 月」、「道路土工-擁壁工指針、平成 24 年 7 月」、「道路土工-カルバート工指針、平成 22 年 3 月」、「道路橋示方書　Ⅳ下部構造編、平成 29 年 11 月」（(社)日本道路協会）
- 道路用盛土（路床・路体）：「道路土工-盛土工指針、平成 22 年 4 月」（(社)日本道路協会）
- 河川堤防（一般堤防）：「河川土工マニュアル、平成 21 年 4 月」（(財)国土技術研究センター）
- 河川堤防（高規格堤防）：「高帰宅堤防盛土設計・施工マニュアル、平成 12 年 3 月」（(財)リバーフロント研究所）
- 土地造成(宅地造成)：「公共住宅建設工事共通仕様書、令和 4 年度版」（公共住宅事業者等連絡協議会）
- 水面埋立：「港湾の施設の技術上の基準・同解説、平成 30 年 5 月」（(社)日本港湾協会）

表 4.1.33 用途ごとの要求品質の例

用途			道路用盛土		河川堤防	
			路床	路体	高規格堤防	一般堤防
基準等			社団法人日本道路協会：「道路土工－盛土工指針」，平成 22 年 4 月	社団法人日本道路協会：「道路土工－盛土工指針」，平成 22 年 4 月	財団法人リバーフロント整備センター（現公益財団法人リバーフロント研究所）：「高規格堤防盛土設計・施工マニュアル」，平成 12 年 3 月	財団法人国土技術研究センター：「河川土工マニュアル」，平成 21 年 4 月
用途ごとの要求品質	材料規定	最大粒径	100 mm 以下	300 mm 以下	100 mm 以下	(150 mm 以下)
		粒度	—	—	ϕ37.5 mm 以上の混入率 40% 以下	(Fc＝15～50%)
		コンシステンシー	—	—	—	—
		強度	舗装の構造設計で想定している CBR 以上	—	qc≧400 kN/m²	—
	施工管理規定	施工含水比	最適含水比付近	締固め度管理の場合：Dc≧90%が得られる含水比 空気間隙率，飽和度管理の場合：自然含水比またはトラフィカビリティーが確保できる含水比	適含水比より湿潤側で，規定の締固め度が得られる範囲	最適含水比より湿潤側で，規定の締固め度が得られる範囲
		締固め度	RI 計器： 締固め度平均値 Dc≧90% 砂置換法： 締固め度最低値 Dc≧95%（A，B 法）もしくは Dc≧90%（C，D，E 法）（1 回 3 点以上の試験を行った場合の最低値に対するもの）	RI 計器： 締固め度平均値 Dc≧90% 砂置換法： 締固め度最低値 Dc≧90%（A，B 法）（1 回 3 点以上の試験を行った場合の最低値に対するもの）	RI 計器： 締固め度平均値 Dc≧90% 砂置換法： 締固め度最低値 Dc≧85%	RI 計器： 締固め度平均値 Dc≧92%※ 砂置換法： 締固め度最低値 Dc≧90%（A，B 法）（ただし 1 回の試験につき 3 孔で測定し，3 孔の平均値で判定を行う※）
		空気間隙率または飽和度	粘性土： 2 %≦Va≦ 8 %	粘性土： 2 %≦Va≦10% 85%≦Sr≦95%	砂質土（25%≦Fc＜50%）： Va≦15% 粘性土（Fc≧50%）： 2 %≦Va≦10% 85%≦Sr≦95%	砂質土（25%≦Fc＜50%）： Va≦15% 粘性土（Fc≧50%）： 2 %≦Va≦10% 85%≦Sr≦95%
		1 層の仕上り厚さ	20 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下
		その他	—	—	qc≧400 kN/m²	—
備考						※平成 25 年度土木工事共通仕様書「品質管理基準及び規格値」より

出典：建設発生土利用技術マニュアル[第 4 版],H25.9,(独)土木研究所

(2) 土質改良工法

発生土の利用するために適用できる土質改良工法について、適用形態や場所によって表 4.1.34 に示すように大別される。

ここで、「（1）掘削前の適用工法」とは利用しようとする土を掘削前に土質改良を行う工法のことであり、「（2）掘削した発生土への適用工法」とは掘削後に発生場所や中間処理地や利用場所のいずれにおいても実施できる土質改良工法であり、「（3）利用時における適用工法」は利用する場所で直接適用する工法となる。

表 4.1.34 主な土質改良工法の分類

工法分類	（1）掘削前の適用工法	（2）掘削した発生土への適用工法	（3）利用時における適用工法
含水比低下	・水位低下掘削	・水切り ・天日乾燥 ・強制脱水 ・良質土混合	・袋詰脱水処理工法
粒度調整	－	・ふるい選別 ・良質土混合 ・分別搬出	－
機能付加・補強	－	－	・袋詰脱水処理工法 ・サンドイッチ工法 ・流動化処理工法 ・気泡混合土工法 ・軽量材混合土工法 ・繊維混合土工法 ・補強土工法
安定処理等	・改良材混合掘削	・安定処理等	・流動化処理工法 ・気泡混合土工法 ・各種地盤改良工法 ・事前混合処理工法 ・原位置安定処理

出典：JICA 調査団

表 4.1.35 掘削前の適用工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
水位低下掘削	地下水位の高い砂質系の地盤を掘削する時に、掘削地山の地下水位をあらかじめ低下させておき掘削土自体の含水比を下げる掘削補助工法。 水位を低下させる方法は、トレンチ掘削のほか、ウェルポイント工法とディープウェル工法が多く用いられている。
改良材混合掘削（安定処理等）	含水比の高い軟弱地盤を掘削する時に、石灰・セメント系の改良材を原位置で混合しながら掘削し搬出する方法。混合の方法には、フレコン等から改良材を地盤に散布して掘削機で攪拌する方法と、あらかじめ石灰パイルを打設した地盤面を表層から掘削することで土と改良材が混合される方法がある。

出典：JICA 調査団

表 4.1.36 掘削前の適用工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
水位低下掘削	砂質土	集水管、揚水菅、ウェルポイント、ポンプ、水槽など
改良材混合掘削（安定処理等）	砂質土、粘性土	（石灰パイル） クローラークレーン、3 点式ケーシングオーガー、ブルドーザなど

出典：JICA 調査団

表 4.1.37 掘削前の適用工法の特徴（3）

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
水位低下掘削	ウェルポイント工、ディープウェル工法 8,000 円～10,000 円/本	掘削地山周囲に遮水性の土留め壁などの築造が必要になる場合がある。 地下水排水後、数日間経過後に掘削可能になる。
改良材混合掘削（安定処理等）	3,000 円～5,000 円/m^3	石灰パイルを用いる場合は、打設のための施工機械の稼働スペースが必要になる。 フレコンの散布の場合は特に待ち時間不要であるが、石灰パイルの場合は打設して数日後経過してからの掘削が必要となる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.38 掘削した発生土への適用工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
水切り（含水比低下）	水を多量に含んだ掘削土を、水はけの良い地盤上に山状に仮置きして、自重により脱水を図る工法。
天日乾燥（含水比低下）	土を平面状に薄く広げ（厚さ数十 cm 程度）天日にさらして乾燥を待つ方法。 数日ごとにバックホウ等で攪拌や天地返しを行う。
強制脱水（含水比低下）	加圧式もしくは遠心力式等の脱水機を用いて、高含水比で流動性のある土から水を絞りとる工法。
良質土混合（含水比低下、粒度調整）	細粒分の多い軟弱土に砂等の粗粒土を混合して粒径分布を変えることにより、締固め特性などを改善する方法。 混合の方法として、ミキサー等によるプラント混合とバックホウ等を利用した現場混合がある。また、軟弱土と良質土をサンドイッチ状に盛り立てた状態でブルドーザ等による掘削して混合する方法もある。
ふるい選別（粒度調整）	振動式のふるいによって、様々な粒径が混在している礫質土を、粒径別に分類する。
分別搬出（粒度調整）	発生土を利用する側の要求に合わせられるように、掘削した礫や砂の径で分類してストックし、費用に応じて種類ごと、もしくは、混ぜ合わせて搬出する。
プラント安定処理	定置式の混合プラントを用いて発生土と改良材を所定の配合に従って混合する工法である。 改良原理などは原位置安定処理と同様であるが、巨礫の除去などができ品質の安定した処理土とすることが可能で、発生土の性状変化にも対応できる。

出典：JICA 調査団

表 4.1.39 掘削した発生土への適用工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
水切り（含水比低下）	礫、砂礫、砂質土などの粗粒土	バックホウなど
天日乾燥（含水比低下）	砂質土、粘性土	バックホウ、ブルドーザなど
強制脱水（含水比低下）	高含水比の泥土、廃棄泥水	処理施設（脱水機、攪拌・沈殿槽、貯留槽等）など
良質土混合（含水比低下、粒度調整）	シルト、粘性土、有機質土、火山灰質粘性土、泥土	混合プラント、バックホウ、ブルドーザなど
ふるい選別（粒度調整）	礫、礫まじり砂質土	振動ふるいなど
分別搬出（粒度調整）	礫および砂	選別が必要な場合はふるい選別機
プラント安定処理	様々な土に対応	混合機、材料サイロ、ベルトコンベヤー、ホッパーなど

出典：JICA 調査団

表 4.1.40 掘削した発生土への適用工法の特徴（3）

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
水切り（含水比低下）	（一般土工（掘削、敷均し等）	掘削土量に対応した仮置きができるヤードが必要となる。 流動性のある土の場合には、仮置き場周囲に透水性のある擁壁で囲むなどの対策が別途必要となる場合がある。
天日乾燥（含水比低下）	（一般土工（掘削、敷均し等）	可能な限り薄く広げることが必要となるため、広大な敷地が必要となる。 天候、季節、地域特性により効果に差が出る。 粘性土の場合、攪拌（曝気）を行わないと効果が低い。
強制脱水（含水比低下）	脱水機、凝集剤等用いるため、上記工法より高価となる。	流動性の高い泥水等では、あらかじめ凝集剤でブロックを形成してから脱水する必要がある。 脱水機、攪拌・沈殿槽、貯留槽等を組合わせたプラントが必要となる。
良質土混合（含水比低下、粒度調整）	（一般土工（掘削、敷均し等）	改良対象土と同等程度の良質土（粗粒土）の置き場所が必要となる。プラント混合の場合は、さらにプラント用地が必要となる。
ふるい選別（粒度調整）	－	対象土及び選別土の置場としてのヤードが必要となる。 選別機械の規模により処理能力、必要日数が異なる。
分別搬出（粒度調整）	－	掘削対象の地盤について、層序がはっきりとした構成の地盤に限られる。 掘削後に選別が必要となる場合がある。選別は上記のふるい選別など、別工程が必要となる。
プラント安定処理	3,000 円～5,000 円/m3 （混合材によって異なる）	混合プラントのヤードが必要となる。 様々な土に対応可能であるが、対象とする土質性状に適応した混合装置や混合材を選定する必要がある。

出典：JICA 調査団

表 4.1.41 利用時における適用工法の特徴（1）

工種・工法	施工方法の概要
袋詰脱水処理工法（含水比低下、機能付加・補強）	透水性の袋に泥土を充填して、土の分散や流れ出しを防止しながら脱水を促進し、袋の張力を利用して土工材料として有効利用する方法。
サンドイッチ工法（含水比低下）	含水比の高い砂質土や粘性土と、粗粒分の多い砂や排水機能を持つジオテキスタイルをサンドイッチ状に盛り立てて、圧密脱水を図る工法。
流動化処理工法（機能付加、安定処理等）	土に固化材と多量の水を加えて混合することにより、流動性と自硬性を持たせた土とする工法。 地中埋戻管等の埋戻し材や地中内空洞の充填材としての利用可能性が高く、ポンプ等による流し込み施工が可能で、自硬性を持つため締固めが不要である。
気泡混合土工法（機能付加、安定処理等）	粘性土を主体とした建設発生土を高含水比状態に調整し、固化材と事前発泡させた気泡を混合する工法。 施工時の流動性が高いことや、普通土よりも軽量となる利点がある。
軽量材混合土工法（機能付加）	土に固化材及び発泡ビーズ等の軽量材料を混合し、軽量化した安定処理土とする工法。
繊維混合土工法（機能付加）	土または安定処理土に繊維を混合して、靭性、強度増進、侵食防止効果の向上を図った工法。
補強土工法（補強）	細長比が非常に大きく曲げ剛性が小さい補強材を盛土体に水平に配置し、引張補強材として機能させて、斜面の安定性増加など、土塊の安定性を向上させる方法。補強材としてジオテキスタイルが良く用いられている。
事前混合処理工法（安定処理等）	土にセメント等の固化材と分離防止剤を添加・混合したものを盛土等に用いて、そのまま安定した地盤を造成する工法。

出典：JICA 調査団

表 4.1.42 利用時における適用工法の特徴（2）

工種・工法	地盤条件・適用条件	標準的な使用材料・施工機械
袋詰脱水処理工法（含水比低下、機能付加・補強）	高含水比の泥土 特に浚渫土	圧送ポンプ、バックホウ、泥土貯留槽、充てん装置など
サンドイッチ工法（含水比低下）	高含水比の粘性土 砂質土（ジオテキスタイルを用いる場合）	バックホウ、ブルドーザなど
流動化処理工法（機能付加、安定処理等）	高含水比の砂質土、粘性土、泥土	混合・圧送プラント、バックホウなど
気泡混合土工法（機能付加、安定処理等）	粘性土、砂質土	混合プラント、バックホウ、ブルドーザなど
軽量材混合土工法（機能付加）	砂質土、粘性土	混合プラント、バックホウなど
繊維混合土工法（機能付加）	砂質土、粘性土	混合機、バックホウなど
補強土工法（補強）	良質な砂質土、高含水比の粘性土など	盛土施工機械、クレーンなど
事前混合処理工法（安定処理等）	砂質土	ベルトコンベヤー、ホッパーなど

出典：JICA 調査団

表 4.1.43 利用時における適用工法の特徴(3)

工種・工法	施工コスト（国内目安）	留意点
袋詰脱水処理工法（含水比低下、機能付加・補強）	（一般土工（掘削、敷均し等）	掘削土量に対応した仮置きができるヤードが必要となる。 流動性のある土の場合には、仮置き場周囲に透水性のある擁壁で囲むなどの対策が別途必要となる場合がある。
サンドイッチ工法（含水比低下）	（一般土工（掘削、敷均し等）	可能な限り薄く広げることが必要となるため、広大な敷地が必要となる。 天候、季節、地域特性により効果に差が出る。 粘性土の場合、攪拌（曝気）を行わないと効果が低い。
流動化処理工法（機能付加、安定処理等）	脱水機、凝集剤等用いるため、上記工法より高価となる。	流動性の高い泥水等では、あらかじめ凝集剤でブロックを形成してから脱水する必要がある。 脱水機、攪拌・沈殿槽、貯留槽等を組合わせたプラントが必要となる。
気泡混合土工法（機能付加、安定処理等）	（一般土工（掘削、敷均し等）	改良対象土と同等程度の良質土（粗粒土）の置き場所が必要となる。プラント混合の場合は、さらにプラント用地が必要となる。
軽量材混合土工法(機能付加)	－	対象土及び選別土の置場としてのヤードが必要となる。 選別機械の規模により処理能力、必要日数が異なる。
繊維混合土工法（機能付加）	－	掘削対象の地盤について、層序がはっきりとした構成の地盤に限られる。 掘削後に選別が必要となる場合がある。選別は上記のふるい選別など、別工程が必要となる。
補強土工法（補強）	3,000 円～5,000 円/m^3 （混合材によって異なる）	混合プラントのヤードが必要となる。 様々な土に対応可能であるが、対象とする土質性状に適応した混合装置や混合材を選定する必要がある。
事前混合処理工法（安定処理等）	3,000 円～5,000 円/m^3 （混合材によって異なる）	混合用プラントヤードが必要となる。 スラリー式とドライ式があり、用途・条件によって使い分ける必要がある。

出典：JICA 調査団

4.1.2.5 海外展開事例

本項では、本邦で開発された地盤改良技術の海外展開事例等について調査した。

(1) 協会ヒアリング

協会ヒアリングは、以下の協会を対象にアンケートを実施した。

- セメント協会
- ハイグレードソイル研究コンソーシアム
- CDM 研究会
- 浸透固化処理工法研究会
- 日本フライアッシュ協会
- DJM 工法協会
- 真空圧密技術協会
- パワーブレンダー工法協会





協会ヒアリングの内容を下記に示す。ヒアリングは、海外展開事例の基本情報の他、苦労した点、問題点・課題、今後の予定等についてもヒアリングした。

表 4.1.44 協会ヒアリング項目一覧

No.	ヒアリング内容
1	企業名
2	地盤改良技術を海外展開した事例の有無
3	海外展開した国
4	海外展開した時期
5	海外に適用した地盤改良技術の工法名
6	海外に適用した地盤改良技術の日本での単価（材料・施工）
7	地盤改良の対象となった地質・土質情報について
8	地盤改良技術を展開するにあたり、苦労した点、問題点・課題、解決策、現在はどうなっているか
9	今後、地盤改良技術を海外展開していく予定の有無や海外展開していくにあたっての現在の制約・課題等

出典：JICA 調査団

日本フライアッシュ協会は、海外展開無しで今後の海外展開の予定も無いとの回答。

浸透固化処理工法研究会は、海外展開無しで今後の海外展開も難しいと想定しているとの回答。海外展開が難しい理由として、「対象土の化学的特性に品質が大きく左右され、またそれらを検証するための機関が日本にしかないという状況のため、対応が困難になると想定されるため」と回答いただいた。

表 4.1.45～表 4.1.46 に「一般社団法人セメント協会」へのヒアリング結果概要を示す。協会に参加している企業からの回答をいただいた。

海外展開をしている国は、東南アジアが多かった。展開した工法は、固結工法に分類される工法が多く、表層・中層混合処理工法から深層混合処理工法、薬液注入工法の適用事例もあった。対象土質は、頂いた回答では、一般的な軟弱土（砂質土、粘性土）という回答が多く、特殊土を対象にしたものは少なかった。海外に適用するにあたって苦労した点としては、施工機械や使用材料の調達が挙げられており、施工機械は当該国に無いために日本からの輸入が必要であったことや、固化材などは現地調達をする必要があり、本邦で利用されている特殊な固化材（有機質土や火山灰質に対応等）が使用できないといった点が挙げられた。海外展開していく上での課題としては、採算性や現場状況に合った工法というよりも、安価な工法が適用されがちで、本邦企業の提案が通りにくいといった課題が挙げられた。

表 4.1.45 ヒアリング結果概要[その1]（一般社団法人セメント協会）

海外展開事例の有無	海外展開した国	海外展開した工法	対象土質
有	A:インドネシア (2014/9～2024/5)	A:CDM 工法、パワーブレンダー工法、GI コラム工法、薬液注入工法	A：砂質土、粘性土 （特殊土ではない）
	B:スリランカ (2018/2～2018/9)	B:パワーブレンダー工法	B：砂質土、粘性土 有機質混じり粘性土 （特殊土ではない）
	C:フィリピン (2021/2～2021/9)	C:DCS 工法	C：砂質土、粘性土 シルト混じり砂質土 （特殊土ではない）

出典：JICA 調査団

表 4.1.46 ヒアリング結果概要[その2]（一般社団法人セメント協会）

苦労した点	海外展開していく上での課題 等
・資機材の調達。 機器資材の輸入規制(フィリピン)に抵触し、現地調達を余儀なくされた資材があった。また、日本から輸入する必要性が生じ、輸送費が高額になった。 ・日本人施工指導員の確保。 当該国に無い技術のため、施工指導員は必要不可欠だが、日本から海外に人材を派遣できる業者は限定的で人選が難しい。	・採算性 ・固化材として使える材料は、多くの場合普通セメントしかない。特殊土や六価クロムが溶出した場合に対応方法が無いと考えている。 ・機械式攪拌工法などの高価な技術より、圧密促進工法など時間がかかってもリーズナブルな工法が適用されがち。

出典：JICA 調査団

表 4.1.47 ヒアリング結果概要[その1]（ハイグレードソイル研究コンソーシアム）

海外展開事例の有無	海外展開した国	海外展開した工法	対象土質
有	A:シンガポール (2007/1～2008/8)	A:立坑掘削での止水注入 （1 ルジオンまでの止水注入） 二重管複相、パッカー方式 材料：シリカライザー、超微粒子セメント	A：砂質土

出典：JICA 調査団

表 4.1.48 ヒアリング結果概要[その2]（ハイグレードソイル研究コンソーシアム）

苦労した点	海外展開していく上での課題 等
・注入材料の供給、注入材の仕様等の選択に大変苦労した。	・現地の材料で止水注入等を実施する必要がある。 ・シンガポールでは現地の材料で実施している。

出典：JICA 調査団

(2) 文献調査

文献調査は、JICA 案件化調査・普及促進事業において海外展開している企業を複数ピックアップし、表 4.1.49 に示す通り調査した。また、専門家会合参加委員より提供いただいた文献・情報も調査した。表 4.1.50 に文献調査結果一覧を示す。いずれの企業においても、普及に向けて鋭意取り組んでいるところであるが、主に「積算資料の完成・工事発注の仕組みの改善」「現地での適用性（実証実験）および実績の積み上げ」など技術のみでなく、技術以外の課題が存在していることが確認された。

表 4.1.49 文献調査一覧（JICA 案件化調査・普及促進事業）

案件名・企業名	工法・製品名	
ベトナム社会主義共和国メコンデルタ地域における運河・水路護岸構築における地盤改良技術の普及・実証事業（2017/3-2020/3） ・(株)村上重機	MITS 工法 （小型・中型噴射機械攪拌工法）	MITS 工法は、機械攪拌工法の特性とジェットグラウト工法の特性を備えた工法で、攪拌翼により掘削・混合すると同時にセメントスラリーを中圧ジェットで噴射し短時間で均一性の高い改良体を造成する深層混合処理工法の一つ
インドネシア国薬液注入技術を用いた地盤改良工法の普及・実証事業（2016/5-2020/6） ・東曹産業(株)	薬液注入工法 （水ガラス系土質安定注入剤：ジオキープ）	土壌中に水ガラスと硬化剤を混合した薬液を注入することにより、薬液反応による固化を利用して土壌改良・止水に効果を発揮する。
インドネシア国「中層混合処理工法」による地盤改良効果の普及・実証事業（2018/12-2023/1） ・(株)ワイビーエム	中層混合処理工法	地表から一定の深度までの区間をセメント又は石灰などの安定剤と原地盤の土を混合し、柱状体又は全面的に地盤改良して強度を増す

出典：JICA 調査団

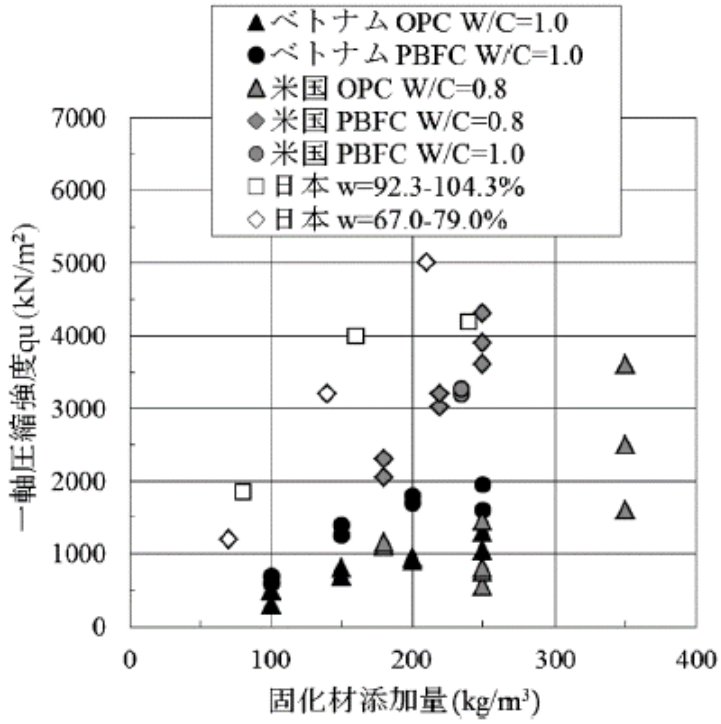
表 4.1.50 文献調査一覧（ビジネス展開にあたっての課題と現在の状況）

案件名・企業名	ビジネス展開にあたっての課題	現在の状況
ベトナム社会主義共和国メコンデルタ地域における運河・水路護岸構築における地盤改良技術の普及・実証事業（2017/3-2020/3） ・(株)村上重機	積算資料が完成していない 法に抵触しない工法協会の設立方法を考える必要 アピールしやすいフィールド（現場）の確保	ベトナム国で工法認定された管理手法をもって、メコン川流域の他国へ水平展開
インドネシア国薬液注入技術を用いた地盤改良工法の普及・実証事業（2016/5-2020/6） ・東曹産業(株)	工事発注の仕組みの改善 事業規模等の前提設定の再検証 設計・施工技術の技術移転や教育の必要	ジャカルタ下水、MRT といった ODA 案件での適用を目指し、その後は、ローカル発注の工事における適用を目指す
インドネシア国「中層混合処理工法」による地盤改良効果の普及・実証事業（2018/12-2023/1） ・(株)ワイビーエム	技術仕様書の確実な承認 施工実績の積み上げ	中層混合処理工法の承認取得、および提案工法の認知向上にかかる活動の継続

出典：JICA 調査団

海外の膨潤性粘土地盤に対する深層混合処理工法の事例が記載されている文献を調査した。文献は、専門家会合の委員の一員である、(株)不動テトラ野津委員より提供いただいたものである。

室内配合試験の結果、日本国内と比較して、ベトナムおよびアメリカでの対象土での強度発現が小さくなる結果が得られている。また、ベトナムでの改良体から採取したコア観察の結果、元の粘性土がダマのような状態で未改良部として残っている状況が確認され、均質な改良体造成が難しい状況に遭遇している。



図—6.2 室内配合試験の結果（ベトナム，米国，日本)[1),2)]



写真—6.3 採取コア中の未改良部（ベトナム北部)[3),4)]

対象土は膨張性粘土である可能性が考えられたが、一般的な粘性土の物理特性と大きくは変わらず、特異な点は見られなかった。

粘土鉱物の違いなどに起因することも考えられたため、電気伝導率試験や陽イオン交換容量試験も実施している。試験の結果、電気伝導率試験値(EC)や陽イオン交換容量試験値(CEC)が通常の沖積粘土よりも高い値を示していることがわかった。

表—6.1 膨張性粘土の物理特性[3)]

	Cc (%)	LL (%)	Ip	Wn (%)	pH	Cv (cm^2/day)
ベトナム南部	40-70	75-100	35-65	65-95	5.4-5.8	10-60
ベトナム北部	20-55	20-70	15-20	35-55	6.8-8.2	—
米国南部	60-80	60-80	20-60	45-60	7.0-8.0	10-50

Cc:粘土分含有率，LL:液性限界，Ip:塑性指数，Wn:自然含水比，
Cv:圧密係数，—:試験未実施

表—6.2 電気伝導率及び CEC 試験結果[1),2)]

国名	場所	EC (mS/cm)	CEC (cmol(+)/Kg)	モンモリロナイト
ベトナム	チバイ港	0.992	18.4	○
	ニンビン市	0.09-0.32	-	○
米国	ルイジアナ州	0.23	20.2	○
バングラデシュ	南部地域	4.84-7.05	-	—
インドネシア	ジャワ島北部	0.810	-	○

○:X線回折試験でモンモリロナイト鉱物を検出，—:試験未実施

出典:地盤工学会誌 Vol.68 No.1Ser.No.744(2020 年 1 月号)

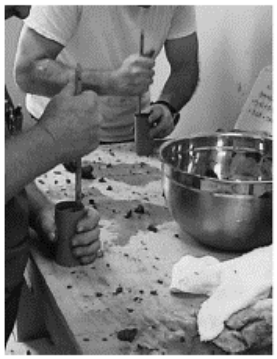
(3) ヒアリング

地盤改良技術の海外展開の経験のある企業等にヒアリングを実施した。

以下にヒアリング結果を示す。

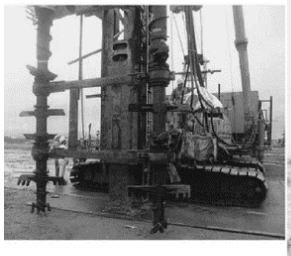
「海外の膨張性粘土地盤に対する深層混合処理工法の事例（(㈱不動テトラ　野津様)」

- 日本国内で通常使用している施工機械（撹拌翼）が国内では考えられないような状況（撹拌翼への絡みつき）に遭遇して、改造を余儀なくされたことがある。
- 一般的な土の物理特性からの判別は難しい。
- セメント系固化材を入れた配合試験を行うことで、通常とは違う性状の土であることがわかる。
- 試験施工による確認が非常に有効である。
- 施工単価は、施工方法の変更等により日本国内を上回ることもある。施工規模や為替の影響にも左右される。
- 海外は明確な積算基準が無いところが多く、施工費の想定が難しい。
- 特殊土等、対応が難しい状況に遭遇した場合、施工費に転嫁できずに持ち出しになってしまう。
- 海外の特殊土に対して、これまでどのような事例があり、リスクがあるのか情報共有できることは非常に重要なことである。





写真―6.1　米国南部の粘土の室内配合試験の様子





写真―6.2　ベトナム南部で稼働の深層混合施工機の状況

出典：地盤工学会誌 Vol.68 No.1Ser.No.744(2020 年 1 月号)

「発生土を利用した土砂改良技術の事例（日本国土開発(株)）」（※回転式破砕混合工法）

- ミャンマー、バングラディシュ、タイ、ベトナムなどで施工実績あり
- 高含水比粘性土や軟岩程度の岩塊や礫にも対応
- 硬質礫やゴミやがれきの除去（分別）も可能
- 添加材としてセメント系固化材や、良質土(砂質土)などが使用できる。
- プラントの機材費や輸送費など初期投資は高額となるが、プラントの構築・撤去にそれほど日数はかからない
- 小規模施工にも対応できる小型・自走式タイプの開発も行っている。



出典：日本国土開発㈱提供資料

4.1.3 調査・設計手法

4.1.3.1 地盤改良に係る調査

本項では、「道路土工　軟弱地盤対策工指針（平成 24 年度版)」を主に参照し、軟弱地盤対策にかかわる一般的な調査・設計手法について概要を取りまとめた。

(1) 日本における軟弱地盤の調査

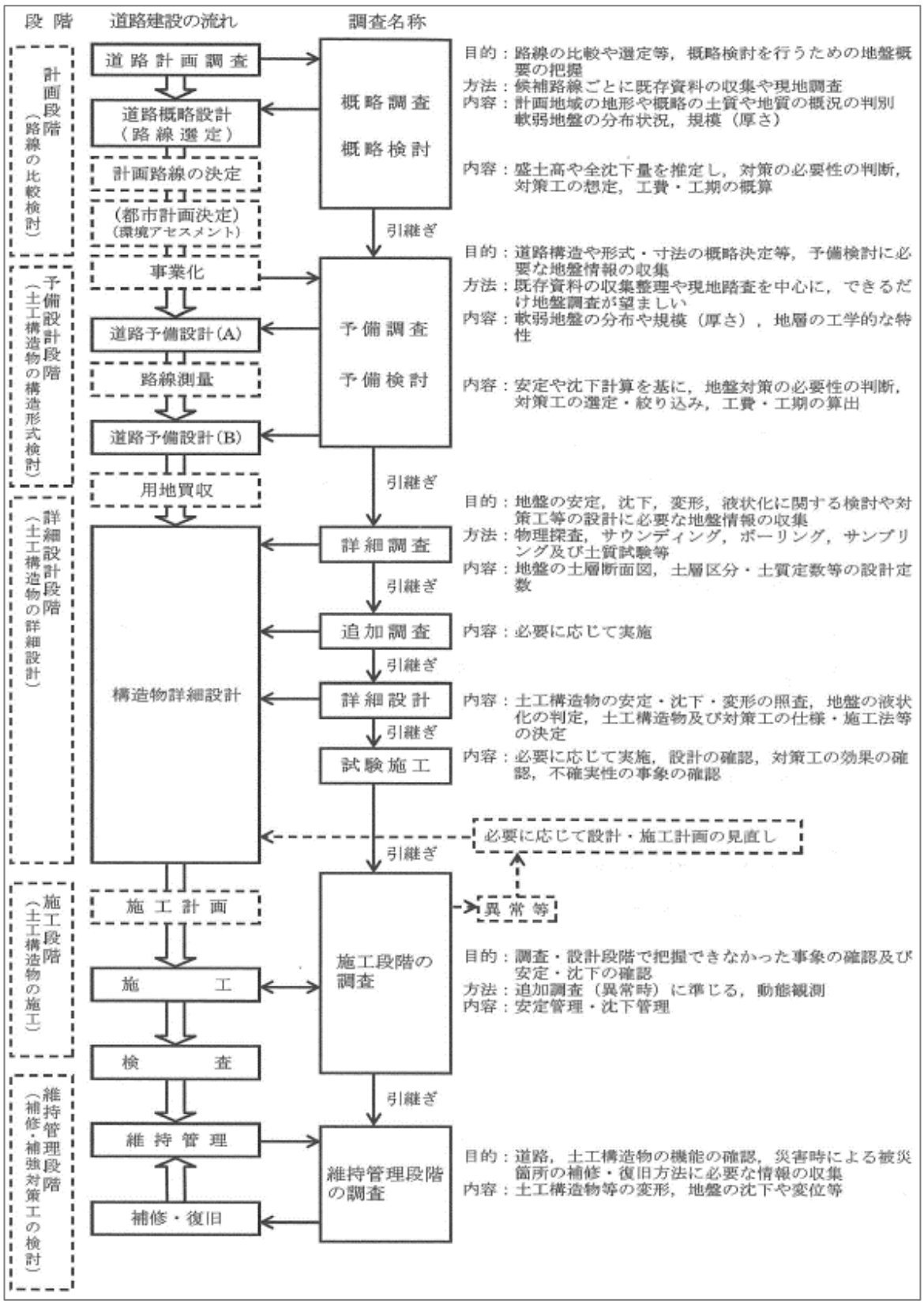
1) 調査・検討の流れ

図 4.1.7 に道路建設の段階と軟弱地盤の調査・検討との関連を示す。道路建設時における軟弱地盤の調査では、①概略調査・概略検討（計画段階)、②予備調査・予備検討（予備設計段階)、③詳細調査・追加調査・試験施工（詳細設計段階)、④施工段階の調査、⑤維持管理段階の調査の大きく５つの段階に分けられる。

①概略調査・概略検討（計画段階）は、道路計画段階で実施される概略検討において候補路線の比較や選定等を行うために、必要な対象域の情報（地形、地質・土質）を概略的に把握し、軟弱地盤の存在や規模を明らかにするものである。既存資料の収集と現地踏査が主体の調査である。概略検討では、候補路線について概略調査で得られた地盤条件に基づいて、通常の盛土が行える普通地盤であるか、問題となる軟弱地盤であるかの概略の判断を行う。軟弱地盤と判断された場合には、対策工法を想定し、概略の工費・工期を算定し、路線決定の資料とするとともに、予備調査・予備検討に進む。

②予備調査・予備検討（予備設計段階）は、路線決定後に軟弱地盤対策の必要性の判断および必要とされた場合の対策工の種類や組み合わせを検討するための情報を得るために実施する。概略調査と同様に既存資料の収集と現地踏査が調査の中心であるが、可能な限りサウンディング等の地盤調査を行うことが望ましい。予備検討では、予備調査の結果に基に原地盤で土工構造物を構築した場合の沈下量や安全率を求め、目標値との比較から軟弱地盤対策の必要性の判断を行う。対策が必要と判断された場合には、対策工法の種類や規模、組み合わせ等の概略の検討及び概略の工費・工期の算定を行うとともに、詳細調査計画の立案等を行う。

③詳細調査・追加調査・試験施工（詳細設計段階）の詳細調査は、土工構造物や軟弱地盤対策工の詳細設計のために実施する調査である。地盤調査は、サウンディング、ボーリング、サンプリング及び土質試験等検討に必要な項目を実施し、土層構成、土質の種類とその強度・変形及び圧密特性等を詳細に把握する。追加調査では、地盤が局所的に著しく軟弱で問題が多い場合や土工構造物や対策工法が変更になった場合等、詳細調査の結果だけでは安全で経済的な設計ができない場合に行うスポット的な調査である。調査項目は、詳細調査の場合とほとんど同じであるが、設計における問題点を解明するために適宜必要項目を追加して実施する。詳細設計では、詳細調査や追加調査の結果を基に、軟弱地盤上に土工構造物を構築する場合の要求性能並びに安定・沈下・変形に関する詳細な検討を行い、最終的な土工構造物の構造・寸法及び必要な対策工法の種類や施工仕様等を決定する。試験施工では、設計に用いた設計値や対策工法の効果を本施工前に確認しておく必要がある場合に実施する。新技術や新工法の効果や施工性等の確認のためにも実施される。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.7 道路建設の段階と軟弱地盤の調査・検討との関連

④施工段階の調査は、工事中に不測の事態や問題点が発見された際の原因解明のために行う調査と、安定管理・沈下管理として地盤や土工構造物が所定の挙動を示しているかを確認するための調査がある。

⑤維持管理段階での調査は、日常的に道路を良好な状態に維持するための保守、または異常が発生したとき、あるいは破損等が生じたときの補修・復旧等の対策を検討するために行う。このほか、特に注意を要する箇所においては継続的に調査を行うこともある。

2) 特に慎重な配慮が必要な調査対象

対象地の地盤条件が、①軟弱層の基盤が傾斜している地盤、②海成粘土、③泥炭地盤、④泥炭と海成粘土からなる地盤の場合には、特に慎重な配慮が必要である。

①軟弱層の基盤が傾斜している地盤上に盛土を行う場合には、軟弱層の厚い側の沈下が大きくなり、また側方への流動に伴いすべり破壊の生じることが多いので特に慎重な検討を必要とする。調査にあたっては、サウンディング調査を主体とした面的な調査を行い、代表的な地点でボーリング調査を行う。また、平地部から山地部にかかる箇所や複雑な地形の谷部では、一般の地質構造が複雑なため、地形状況だけでなく、必要に応じてサウンディング等により軟弱層の広がりや基盤の状態を調査しておく必要がある。

②海成粘土は、本邦では有明粘土等に代表されるように、高含水比で高塑性の海成粘土の中には、粒子間の固結が弱く、施工に伴う乱れにより著しい強度低下を引き起こす軟弱地盤が存在する。このような軟弱地盤には、できる限り乱れの影響の少ない軟弱地盤対策工法採用や、供用開始後の大きな沈下への配慮が求められ、このため調査の段階で、正確な層厚分布や圧密特性および鋭敏比等を把握することが必要である。

③泥炭地盤は、高有機質土(Pm)からなり、未分解の繊維質を多く含む高有機質土の泥炭(Pt)（自然含水比 300%以上）からなるピート地盤及び分解の進んだ高有機質土の黒泥(Mk)からなる黒泥地盤がある。ピート地盤では透水性が高いため慎重な施工を行えば安定上それほど問題となることは少ないが、黒泥地盤では、ピート地盤に比較し、含水比が小さいものの、透水係数が小さく、一度乱した場合、強度低下が著しく強度回復が遅いので安定上問題となることが多い。そのため泥炭地盤では、調査段階においてピートと黒泥の識別をつけておくことが必要である。

④の泥炭層の直下に厚い粘土層が堆積している地盤の場合、安定計算を行うと泥炭層の下端を通るすべり面が最小安全率となることがあるが、実際には泥炭層の圧密速度は速く、早期の強度増加が期待できるため、すべり破壊面が生じるのは、その下端に粘土層であることが多い。このような地盤は、過去の破壊事例の中では特に多く、また粘土層厚が厚い場合には供用後の残留沈下も大きい。そのため、調査にあたっては、泥炭層とともに、その下層の粘土層についての調査を入念に行う必要がある。

3) 概略調査

概略調査では、比較路線を含む必要な調査対象地域について、既存の関連資料（地形図、地質図、周辺の他工事の地質・土質調査報告書及び工事記録、災害記録等）の収集・整理、空中写真の判読、現地踏査等により、計画地域を含む広範囲な地域の概略の地形、地質・土質、水理、災害、建設工事、環境、気象等の情報を入手する。現地踏査では、収集した資料の整理結果の確認と関連する現地の詳細な情報を追加するとともに、地すべり等の斜面変動地形や軟弱地盤等の道路建設上問題となる箇所の発見及び問題の大きさを把握し、巨視的な観点からの現地踏査を行う。

軟弱地盤に関する概略調査として、既存資料の収集の対象とすべき主な項目は次のとおりであり、これらを整理し、軟弱地盤の広がり（分布状況）や軟弱地盤の厚さ、土層の種類と概略の工学的性状等を把握する。

① 計画地域の地形や概略の地質・土質の状況
② 軟弱地盤の分布状況
③ 近隣の過去の施工や発生した災害の状況
④ 自然環境保全のための禁止または制限事項
⑤ その他

4) 予備調査

本段階では、沈下や安定、液状化等の検討を行い、軟弱地盤の状況とその上に構築される土工構造物の種類や構造、さらに工事完成までの期間の長短等に応じて、様々な対策工法の中から幾つかの対策工法の選定・絞り込みが行われる。この選定・絞り込みの適否は、工事の安全性をはじめ、工費・工期に大きく影響する。このため、予備調査および予備検討は極めて重要であり、慎重に実施する必要がある。予備調査では以下の調査を実施する

① 既存資料の利用
② 現地踏査
③ 簡易な地盤調査

①既存資料の利用では、軟弱地盤の存在を知るのに有効な既存資料とされる、地形図、空中写真、地質図、古地図・地形分類図・土地利用図、既存の地質調査結果、周辺の他工事の工事記録及び試験施工の記録、変状・災害記録などを収集・整理する。

②現地踏査では、現地を視察し、上記資料等による調査と合わせて軟弱地盤の状況を明確にするもので、地形図及び空中写真の判読時の疑問点を解明し、地形を確認する。なお踏査時には以下に留意する。

- 地形図、空中写真等から判読された地形と実際の地形の関係が合致しているかを判断する。
- 既存の地盤調査結果の利用の可能性を明らかにするため、その調査地点を調べ、対象地域と同じ生成環境にあるか否かを判断する。

- 軟弱地盤と想定される地域の既存の土木構造物の状況を詳細に調査する。例えば、道路の場合では盛土高、路面の平坦性、沿道の地盤の高低の状況、のり先側溝の沈下や蛇行の有無、横断構造物の沈下や移動、クラック、構造物前後の道路の段差、電柱の並び及び家屋の状況等を観察する。

③簡易な地盤調査では、可能であれば現地踏査と合わせ、以下の簡易な地盤調査をできる限り実施することが望ましい。

- 簡易なサウンディング：

・ 簡易なサウンディングとしては、ポータブルコーン貫入試験、スクリューウェイト貫入試験等があり、土層構成が一定とみなせる範囲で最低 1 箇所程度、軟弱地盤区間が長い場合には、適宜増やす。

- 簡易なサンプリング：

・ 簡易なサンプリングの器具としては、スコップ、ハンドオーガー等があり、これらを用いて試料を採取し、必要に応じて土質分類のための土質試験を実施する。

5) 詳細調査

詳細調査は、軟弱地盤上の土工構造物及び軟弱地盤対策工の詳細設計を行うことを目的として、確定した道路中心線に沿って路線全域に渡って実施するもので、以下の調査を実施する。

① 現地踏査
② 物理探査
③ サウンディング
④ ボーリング
⑤ サンプリング
⑥ 土質試験
⑦ 原位置試験

②物理探査は、弾性波、電気及び重力など様々な方法があるが、計測される対象は物理量であり、地盤の工学的性質そのものを直接示すものではないが、測線に沿って連続的に地質状況がわかる利点もあり、概略の地盤状態や相対的な弱点箇所を把握するのに有効な場合がある。地震応答解析等の詳細な検討を行う際に、PS 検層（弾性波速度検層）を行うことがある。PS 検層は地盤の弾性波速度（P 波、S 波）を得ることができ、地盤のせん断剛性 G や耐震設計上の基盤面の設定などに利用できる。

③サウンディングは、ボーリング、サンプリングに先立って実施し、その結果に基づいてサンプリングすべき位置と深さを決める。表 4.1.51 に主なサウンディング方法の特徴を示す。なお本表は後述する原位置試験についても並記している。本邦で多く用いられているものは、標準貫入試験（N 値）、スクリューウェイト貫入試験及びコーン貫入試験である。

表 4.1.51 サウンディング方法及び原位置試験の特徴

方法	名称	連続性	測定値	測定値からの推定量	適用地盤	可能深さ	特徴	規格
静的	スウェーデン式サウンディング試験	連続	1000N 以下で貫入した場合の荷重(W_{sw})，貫入量１ｍ当たりの半回転数(N_{sw})	N値やせん断強さに換算（数多くの提案式がある）	粘性土地盤や砂質土地盤	10m程度	標準貫入試験に比べて作業が簡単である	JIS A 1221
	ポータブルコーン貫入試験	連続	貫入抵抗 q_c	せん断強さ	粘性土や腐植土地盤	５m程度	簡易試験で極めて迅速	JGS 1431
	オランダ式二重管コーン貫入試験	連続	先端抵抗 q_{cd} (周面摩擦 f_s)	せん断強さ，土質判別	粘性土地盤や砂質土地盤	貫入装置や固定装置の容量による	データの信頼度が高い	JIS 1220
	電気式コーン貫入試験	連続	先端抵抗 q_t 間隙水圧 u (周面摩擦 f_s)	せん断強さ，土質判別，概略の排水や圧密特性	粘性土地盤や砂質土地盤	貫入装置や固定装置の容量による	データの信頼度が高い	JGS 1435
	原位置ベーンせん断試験	不連続	最大トルク	粘性土の非排水せん断強さ	軟弱な粘性土地盤	15m程度	軟弱粘性土専用で C_u を直接測定	JGS 1411
	孔内水平載荷試験	不連続	圧力，孔壁変位量，クリープ量	地盤の水平方向の変形特性（変形係数，初期圧力，降伏応力）	孔壁面が滑らかで自立するあらゆる地盤，岩盤	基本的に制限なし	推定量の力学的意味が明瞭である	JGS 1431
動的	標準貫入試験	不連続最小測定間隔は50cm	N値（所定の打撃回数）	砂の密度，せん断抵抗角，変形係数，液状化強度，支持力，一軸圧縮強さ	玉石や転石を除くあらゆる地盤	基本的に制限なし	普及度が高く，ほとんどの地盤調査で行われる	JIS A 1219
	簡易動的コーン貫入試験	連続	Nd （所定の打撃回数）	N_d=(1～2)N N値と同等の考え方	玉石や転石を除くあらゆる地盤	10m程度（深くなるとロッド摩擦が大きくなる）	標準貫入試験に比べて作業が簡単	JGS 1433

出典）地盤工学会：地盤調査の方法と解説（平成16年）に一部加筆・修正[1)]

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

④ボーリングは、地盤調査において重要な方法の一つとして予備調査から詳細調査までの各段階において多用されている。軟弱地盤の調査では、ボーリング孔を利用して、サンプリングや原位置試験が行われるのが一般的である。ボーリングの孔径は、ボーリング孔の利用目的に応じて異なるので、適切に設定する必要がある。表 4.1.52 にボーリング孔の利用目的と孔径について示す。

表 4.1.52 ボーリング孔の利用目的と孔径

ボーリング孔を利用した試験・サンプリング	孔径 (mm)	利用目的				
		地層判定	盛土の安定	盛土の沈下	側方変形	液状化
標準貫入試験	66	○	○	△	△	○
PS検層	66-116	○	—	—	—	△
固定式ピストンサンプラーによる試料採取	66-116	○	○	○	○	△
二重管/三重管サンプラーによる試料採取	116	○	○	○	○	○

○…適，　△…場合によっては適

出典：道路土工-軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

⑤サンプリングでは、地盤を構成する軟弱層の土質の強度試験や圧密試験などのために、適切なサンプラーを利用し乱れの少ない試料を採取する。これまで様々なサンプラーが開発されているが、基準化されたものを表 4.1.53 に示す。サンプラーによって適用土質が異なる。例えば、砂質土層の動的せん断強度比を室内試験で求める際には、乱れの少ない試料といえどもわずかの試料の乱れが試験結果に大きな影響を与えるので、各種サンプリングの適用にあたっては慎重に検討する必要がある。砂質土層の動的せん断試験のためのサンプリングとしては、高品質のサンプリングが可能な凍結サンプリングや高分子剤を用いてコアを保護するサンプリング方法等が開発され、これらの方法を使用する必要がある。

表 4.1.53 各種サンプラーの適用土質と特徴

サンプラーの種類		構造	地盤の種類							
			粘性土			砂質土			砂礫	
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な
			N値の目安							
			0~4	4~8	8以上	10以下	10~30	30以上	30以下	30以上
固定ピストン式シンウォールサンプラー	エキステンションロッド式	単管	◎	○	—	○	—	—	—	—
	水圧式	〃	◎	◎	○	○	—	—	—	—
ロータリー式二重管サンプラー		二重管	—	◎	○	—	—	—	—	—
ロータリー式三重管サンプラー		三重管	—	◎	◎	○	◎	◎	—	○
ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー		二重管	—	○	○	—	○	○	—	—
ブロックサンプリング		—	◎	◎	◎	○	○	◎	—	○
ロータリー式チューブサンプラー		多重管	—	—	○	—	—	—	—	—

※1）◎：最適，○：適
※2）砂質土に対する適用性はせん断強さ試験についてのものであり，変形係数や液状化抵抗を求める試験への適用性は低い。

出典：道路土工-軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

⑥室内土質試験について、軟弱地盤に対する検討に必要となる代表的な試験方法を表 4.1.54 に示す。物理特性を得るための試験では、試験値を直接使用してすべり安定や圧密の計算をするわけではないが、土層の違いを識別することや、特殊な土質の判別、また強度や変形特性と密接な関係があるので、検討に際し重要な指標となる。

表 4.1.54 試験目的と室内土質試験

		安定検討	圧密検討	地震時検討	規格
物理特性	土粒子の密度試験	◎	◎	◎	JGS0111-2000 JIS A-1202
	土の含水比試験	◎	◎	◎	JGS0121-2000 JIS A-1203
	土の液性限界・塑性限界試験	◎	◎	◎	JGS0141-2000 JIS A-1205
	土の粒度試験	◎	◎	◎	JGS0131-2000 JIS A-1204
	土の湿潤密度試験	◎	◎	◎	JGS0191-2000 JIS A-1225
	土の最小密度・最大密度試験	—	—	○	JGS0161-2000 JIS A-1224
強度特性	土の一軸圧縮試験	◎	—	—	JGS0511-2000 JIS A-1216
	土の非圧密非排水（UU）三軸圧縮試験	○	—	—	JGS0521-2000
	土の圧密非排水（CU）三軸圧縮試験	○	—	○	JGS0522-2000
	土の圧密非排水（$\overline{CU}$ ）三軸圧縮試験	○	—	○	JGS0523-2000
	土の圧密排水（CD）三軸圧縮試験	○	—	○	JGS0524-2000
圧密特性	土の段階載荷による圧密試験	—	◎	—	JGS0411-2000 JIS A-1217
	土の定ひずみ速度載荷による圧密試験	—	○	—	JGS0412-2000 JIS A-1227
地震時特性	土の繰返し非排水三軸試験（液状化試験）	—	—	○	JGS0541-2000
	地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験	—	—	○	JGS0542-2000
	土の変形特性を求めるための中空円筒供試体による繰返しねじりせん断試験	—	—	○	JGS0543-2000

※）◎：重要な試験，○：必要に応じて実施する試験

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

⑦原位置試験は、室内試験においては採取試料の地中応力の解放等の避けられない影響を取り除き、原位置での地盤の状態や性質を調べることが可能なものである。原位置試験として、表 4.1.51 に示した孔内水平載荷試験、ベーン試験等がある。孔内水平載荷試験は軟弱地盤の水平方向の変形特性や強度を調べることができ、広く利用されている。

6) 追加調査

以下に示すような場合に適切な方法による追加調査を行う必要があり、その結果においては、必要に応じてさらに追加調査を実施することもある。

① 道路の位置、形式あるいは規模等が変更になった場合
② 当初の予想より複雑な土層構成であるため、土層の連続性が明確に判断できない場合
③ 軟弱層の深さが地点ごとに著しく異なり、基盤の傾斜が局所的に変化していて道路の不同沈下や安定に不安が持たれる場合
④ 必要な場所における試料採取が不足していて、地盤の土質定数が決定できない場合
⑤ 選定された軟弱地盤対策工の適用性を検討する場合
⑥ 選定された対策工法の実施により、地下水の流れや周辺環境に影響を与える可能性がある場合

7) 試験施工

試験施工の時期は、以下の項目に大きく分けられる。また、試験で確認したい内容や項目等によって規模や方法等が異なる。

① 本工事に先駆けて別途行う試験施工
② 工事期間内において施工の着手前あるいは施工中に行う試験施工

軟弱地盤に対する地盤調査で得られる地盤情報は限られたものであり、また解析手法についても多くの仮定や不確定要素を含むことから、軟弱地盤上における対策工や土工構造物の挙動を厳密に再現できるものではない。

①では、実大規模の土工構造物を構築することにより、実際の挙動と理論的な予測との相違を確実に検証することができ、設定した地盤定数や設計値の妥当性を確認することが可能になる。このため、軟弱地盤の規模が大きく、対策工が工費や工期等に重要な影響を及ぼすことが想定される場合や、圧密沈下における残留沈下の目標値を設定することが重要な場合等では、試験施工を行うことが望ましい。また、新技術や新工法の採用にあたっては、その対策効果の確認や施工機械・材料の適性等を判断するために、試験施工によって確認することが望ましい。

②では、施工着手前に地盤改良材料の比較や良否の判定、建設機械の適用性及び施工方法について簡単な試験施工を試みるものである。これは、施工の途中においてそれまでの施工と異なる状況に遭遇したときなど、その状況に即した施工法を求めるためにも試みられる。

8) 施工段階での調査

施工段階での調査は、必要に応じて以下の調査を実施する。

① 詳細調査段階に把握できなかった地盤条件に対する調査
② 施工管理のための調査

①では、地層条件が複雑であったために調査段階の調査結果とは異なった土質と遭遇する場合や、設計・施工段階で土工構造物の構造や規模が変更になる場合に、必要に応じて施工段階で補足的な地盤調査を実施し、対策工に反映することが必要である。

②では、施工中の当該現場の安定や沈下管理等の管理とともに、工事規模がある程度大きい場合には、試験施工と同様に、工事全体で合理的な設計・施工を可能とするために実施する。例えば、工事規模がある程度大きい工事では、工事区間をいくつかの工区に分割し、先行した工区で施工中の地盤や土工構造物の挙動を計測し、その情報を後の工区で利用し、設計・施工にフィードバックすることで、より精度の高い合理的な設計・施工が可能になる。

(2) 特殊土の調査

第 2 章 2.4 で示したとおり、特殊土の世界的な分布図は限られており、対象とする地域でどのような特殊土がどこに分布しているか調べる地図はあまりない。また、ブラックコットンソイルやラテライトなどある程度のレベルで視認が可能と考えられるものもある一方で、同じような粘性土でナトリウムイオンの有無で膨潤性土になるか分散性土になるか変わるなど、視覚的な分類や一般的な地形要因・堆積環境などから特殊土の有無や対応方針を検討することは難しい。

特殊土の調査においても、国内の調査法と同様に、ボーリングや試掘等により地形地質分布を把握、採取試料により土質試験を実施することを基本とする。土質試験方法の他、試料の採取方法・頻度・採取深度等の検討も特殊土の調査上の課題である。

特殊土を判定するための試験方法の例として、表 4.1.55 に示すものがある。主に膨潤性土や分散性土が対象であるが、同表に示す多くの試験方法は、世界最大・民間・非営利の国際標準化・規格設定機関である ASTM インターナショナルで標準化されている。また、ブラックコットンソイルが広く分布しているインド国では、IS（インド標準規格）で独自に基準化している試験もある（自由膨張率試験）。開発途上国においては、これらの標準化された試験を実施することが出来ない場合が多いことから、膨潤性土や分散性土については、土塊を皿上の水に入れ、体積膨張もしくは土の濁りの広がりを目視で確認して簡易に判定する方法もある。

以降に、代表的な試験方法の概要を整理した。

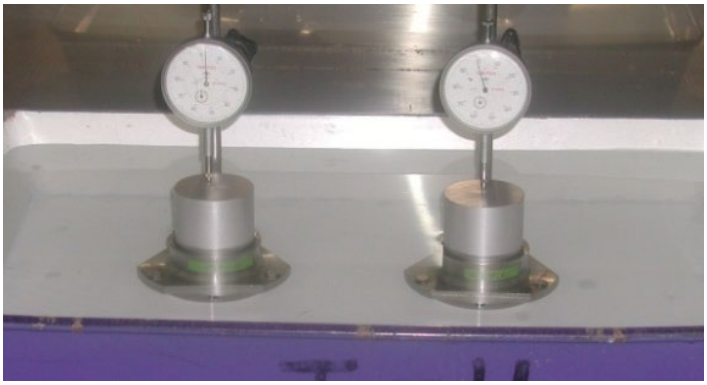
表 4.1.55 特殊土を判定するための試験方法の例

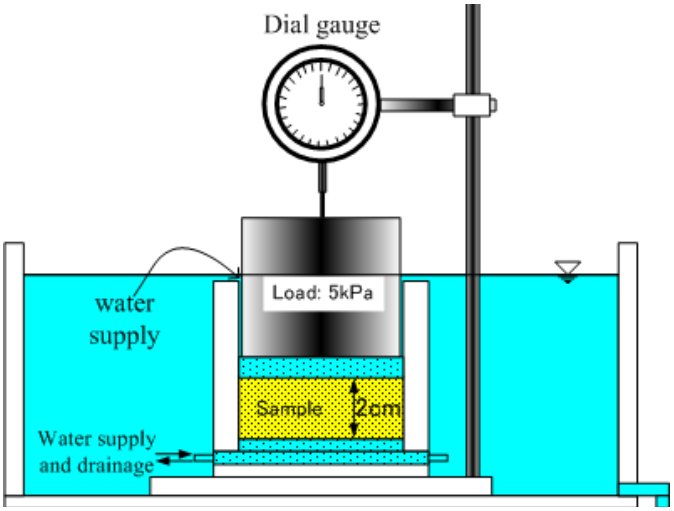
特殊土	簡易的な方法	標準的な方法
膨潤性土	土塊（約 1cm）を皿上の水に入れ、体積膨張を目視で確認	【直接評価】 一次元膨潤圧試験（ASTM D 4546） 自由膨張率試験（IS 2720 40） 【間接評価】 土の液性限界・塑性限界試験（JIS A 1205, D4318－17） X 線回折試験
分散性土	土塊（約 1cm）を皿上の水に入れ、 濁りの広がりを目視で確認 ※ Crumb test と要領は同じ	【直接評価】 クラム試験（ASTM D 6572） ダブルハイドロメータ試験（ASTM D 4221） ピンホール試験（ASTM D 4647） X 線回折試験

出典：JICA 調査団

1) 一次元膨張圧試験（ASTM D 4546）

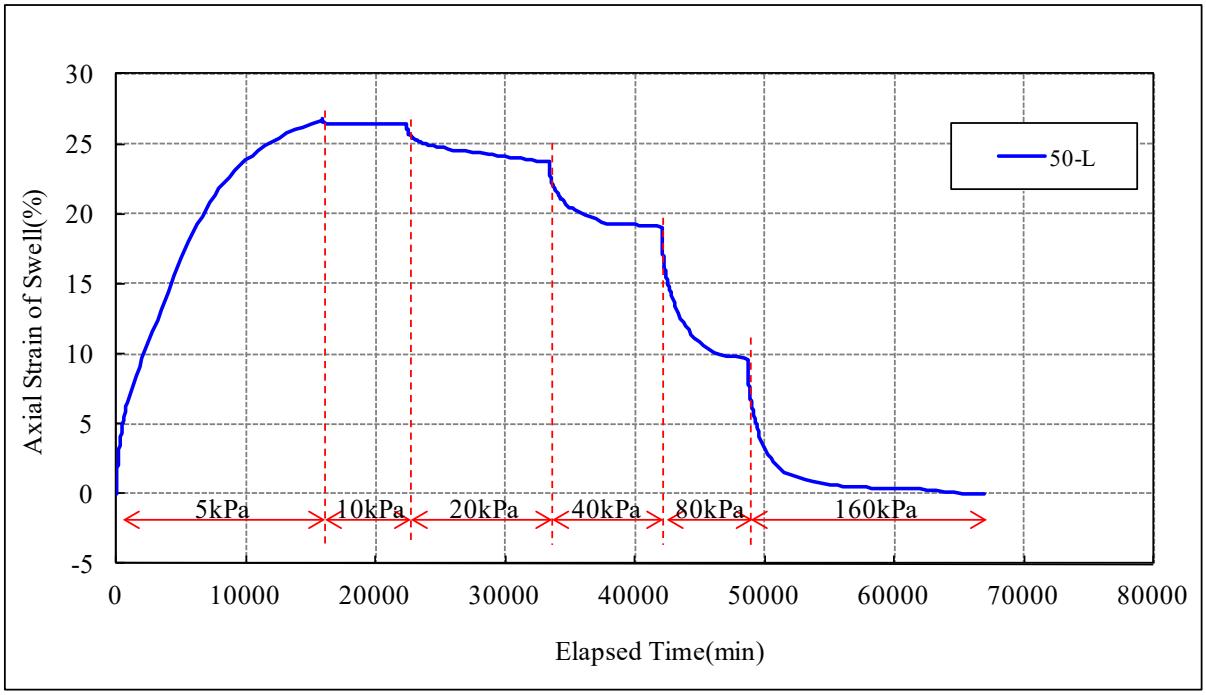
試料を直径 5cm、高さ 2cm の円筒形リング内に装填、水を供給し、膨張過程、圧密過程の順に応力レベルを変化させて各変位収束後の変位を読み取り、膨張圧力や膨潤率を求める試験である。図 4.1.8 に一次元膨潤圧試験の模式図を、図 4.1.9 に一次元膨潤圧試験の測定例をそれぞれ示す。





出典：JICA 調査団

図 4.1.8 一次元膨潤圧試験の模式図



出典：JICA 調査団

図 4.1.9 一次元膨潤圧試験の測定例

2) 自由膨張率試験（IS 2720 40）

自由膨張率とは、425μm ふるいを通過し炉乾燥させた土が、水浸した際に生じる外力によらない体積の増加による膨張、または、膨張の差のことを示し、以下の式より算出する。膨張率は、表 4.1.56 に示す表にて判定ができ、DFS が 50%を超える場合は、非常に膨張率が大きい材料であると判定される。

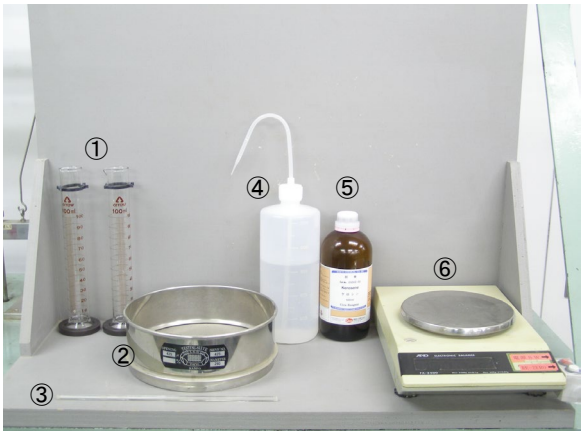
$$自由膨張率＝\frac{V_d－V_k}{V_k}\times 100$$

ここに、 V_d＝蒸留水の入ったメスシリンダーから読み取った土の体積

V_k＝ケロシンの入ったメスシリンダーから読み取った土の体積

表 4.1.56 膨潤性の評価（自由膨張率試験）

自由膨張率 DFS(%)	DEGREE OF EXPANSIVENESS
＜20	LOW
20-35	MODERATE
35-50	HIGH
＞50	VERY HIGH



①メスシリンダー（容量100ml）
②425μmふるい
③ガラス棒
④蒸留水
⑤ケロシン
⑥はかり

出典：JICA 調査団

図 4.1.10 自由膨張率試験器具の例

- 試験方法

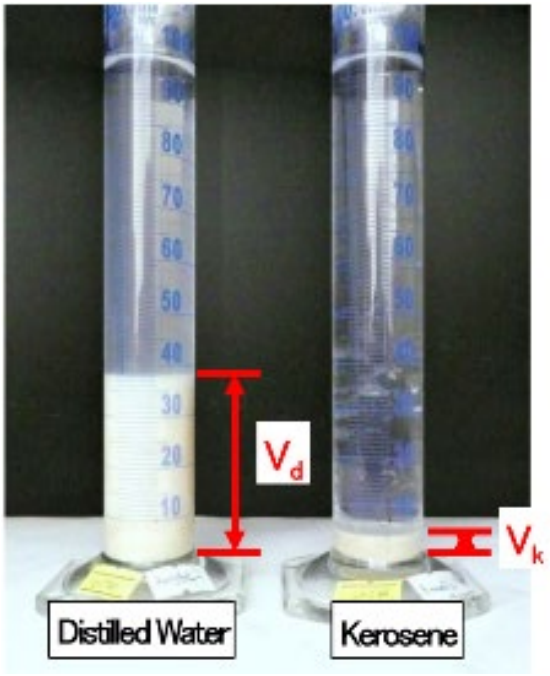
① 425μm ふるいを通過し炉乾燥させた、粉状の試料 10g を 2 個用意する。

② それぞれの試料を、容量 100ml のメスシリンダーに入れ、一方に蒸留水、もう一方には、ケロシンを 100ml の目盛まで注ぐ。

③ メスシリンダーを静かに振とうする、もしくは、ガラス棒でかき混ぜる等により懸濁液を作る。その際、入り込んだ空気は取り除く。

④ メスシリンダーを静置し、沈殿した土の体積を経過時間毎に、少なくとも 24 時間以上の間読み取る。

⑤ 懸濁液の体積の変化が落ち着いたら、それぞれのメスシリンダー内の、最終的な土の体積を読み取る。

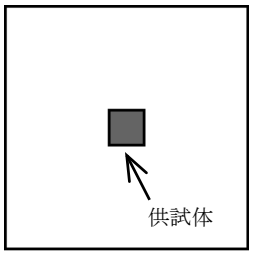
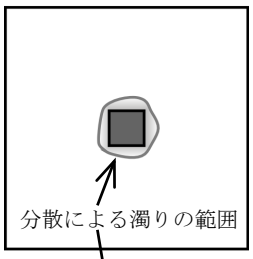
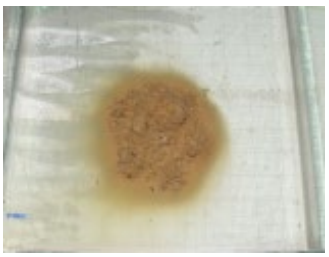
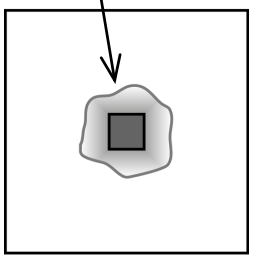
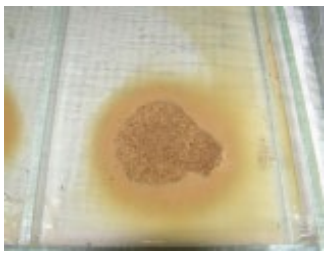
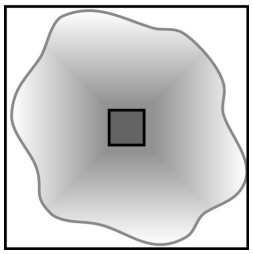
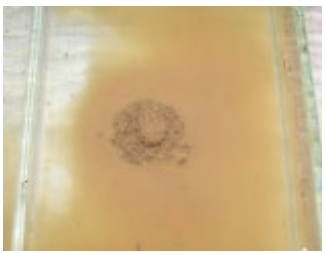


出典：JICA 調査団

図 4.1.11 自由膨張率試験の例

3) クラム試験（ASTM D 6572）

一辺 15mm 程度の立方体試料を水浸させ、一定時間毎（2 分、1 時間、6 時間）に試料の溶解度を観察することで試料の分散性を判定する試験であり、非常にシンプルな試験である。その一方で、図 4.1.12 に分散性の判定方法を示すが、判定方法自体が目視であることから曖昧であり、人為的な誤差の影響を受けやすい。

分散性判定	模式図	参考写真
Grade1：非分散性 ほとんど反応を示さない		
Grade2：中性 僅かに反応するが、試料の分散範囲が非常に狭い		
Grade3：分散性 試料周辺に 1cm 以上の分散範囲が認められる		
Grade4：高分散性 分散の範囲が広く、容器全体に広がる		

出典：カンボジア国全国道路網調査報告書，2006

図 4.1.12 クラム試験の例

4) ダブルハイドロメータ試験（ASTM D 4221）

同一試料に対して、沈降分析を添加材の有無の両方で実施し、粒径 5μm 以下の粘土含有率を比較することで分散性を判定する試験である。分散率 Dp は、以下の式によって定義される。

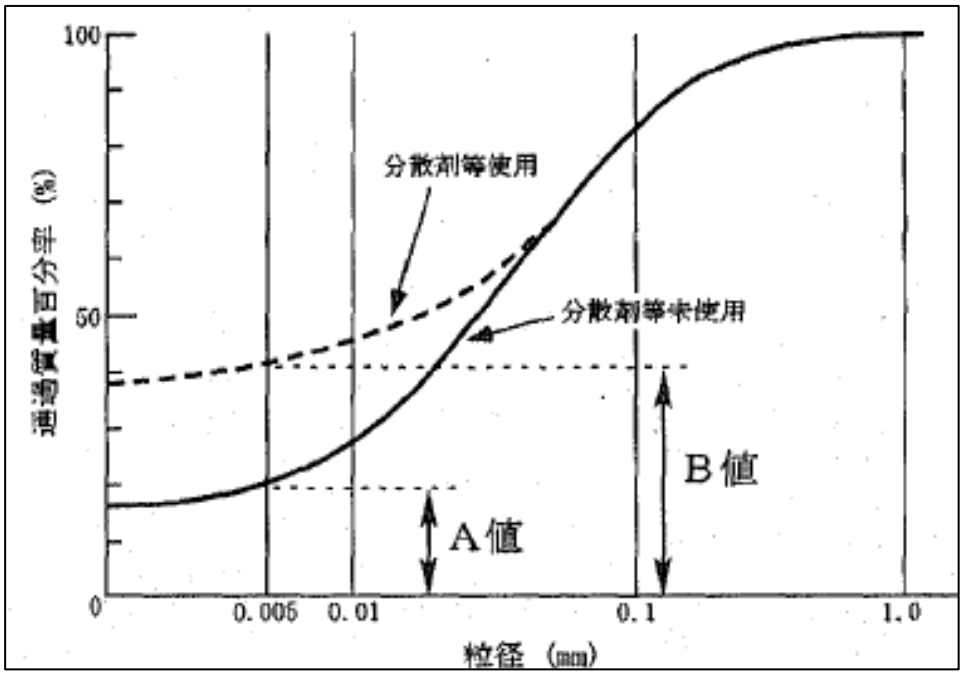
$$D_p = \frac{A}{B} \times 100$$

ここで、

Dp：分散率(%)、A：分散剤等未使用時の 5μm 通過率、B：分散剤等使用時の 5μm 通過率

表 4.1.57 分散性の評価（ダブルハイドロメータ試験）

分散率 Dp(%)	DEGREE OF DISPERSIVE
≦20	NON-DISPERSIVE
30-50	MODERATE
≧50	DISPERSIVE



出典：カンボジア国全国道路網調査報告書，2006

図 4.1.13 ダブルハイドロメータ試験の模式図

(3) 道路の点検技術の動向

供用後の道路の維持管理において、特殊土が原因で道路の凹凸の発生やひび割れ、陥没などの症状が発生する場合がある。このような場合においては、事前調査により特殊土が明らかになっていない場合もあることから、適切なタイミングで道路の点検を行い、点検技術を駆使して大きな影響が発生する前に影響因子を明らかにすることが求められる。点検結果に基づき、対策の必要性・緊急性に応じて(2)で記述した特殊土の調査を適宜実施して原因と対策の明確化を図る。

表 4.1.58 は本邦の道路点検技術の例をまとめたものである。道路点検技術の例としては、FWD、地中レーダ、路面性状調査車、スマートフォンなどが挙げられる。FWD は、一般的な良く実施されている舗装の健全度評価技術で、本邦では道路会社を中心に、各自技術開発が行われている。地中レーダは、道路の内部の空洞等の異変を非接触技術により調査する技術であり、NETIS でも複数の会社が開発した技術を登録している。路面性状調査車は、車に搭載したセンサやカメラを用いて、路面を走行しながら、ひび割れや平坦性などを計測する技術であり、こちらについても NETIS で複数の会社が開発した技術を登録している。スマートフォンは、スマートフォンに内蔵されている加速度を利用して、路面の凹凸の指標 IRI（International Roughness Index）を算出し、地図上に表示させるような技術として「DRIMS」（ドリムズ）などが開発されている（図 4.1.14）。DRIMS は、東京大学、長崎大学、JIP テクノサイエンス等が産学連携して開発を行い、2015 年に JICA のプロジェクトの中で、カンボジア国でその適用性について検証が行われている（図 4.1.15）。具体的には、車に DRIMS（加速度計）を設置し、別途車内に GPS とノート PC を準備することで、データのリアルタイムの取得・確認、各種操作を実行することが可能となる。こちらの加速度計をスマートフォンに内蔵された加速度計で代用する方法が図 4.1.14、図 4.1.15 に示すシステムとなる。活用地方公共事業運輸局（DPWT）職員も、JICA のエクスパートによる指導により、この DRIMS を操作しており、将来的に当該技術を用いて、カンボジア国における道路維持管理能力の向上を図ることを目指している。

表 4.1.58 本邦の道路点検技術の例

手段	概要	技術動向
FWD （ Falling Weight Deflectometer）	重錘を落下させて路面に衝撃を加え、その時に発生する路面のたわみ量を複数のセンサによって測定することにより、舗装の健全度を判定	NIPPO，大林道路（株），鹿島道路（株），大成ロテック（株），日本道路（株），前田道路（株），福田道路（株）など多数
地中レーダ	送信アンテナから電磁波を発して埋設管や空洞で起きた反射を受信アンテナで検知（深さ２m 程度）	・ハイパー・スタッキング機能を有したデジタル型の地中レーダアンテナ（NETIS：KT-220059-A） ・空洞探査向け地中レーダ装置およびシステム（NETIS：KT-230071-A，特許第 5788209 号・第 5789088 号・第 5506214 号）
路面性状調査車	路面性状を測定するため、センサ・カメラなどを搭載 ひび割れ・平坦性などを測定可能	・ひび割れ自動検出システムを備えた路面性状自動測定装置(CHASPA)［NETIS：KT-170103-VR］ ・多機能路面性状測定システム［NETIS：KT-170063-VE］
スマートフォン	スマートフォンに内蔵されている加速度センサにより、路面の凹凸の国際指標（IRI：International roughness index）を算出し、地図上に可視化	・DRIMS（NETIS：KT-170085-VR，特許第 6132304 号） ・バンプレコーダ（NETIS：KT-170105-VR）

出典：JICA 調査団



出典：JIP テクノサイエンス HP

図 4.1.14 DRIMS の概要図

道路性状簡易評価システム（DRIMS）

本プロジェクト は、カンボジア国における道路および橋梁の維持管理能力を向上させることを目的として、2015 年 5 月に開始された。本プロジェクトの主な特徴の 1 つとして、国際ラフネス指数（IRI）を導入した道路維持管理システムの構築が挙げられる。IRI は道路の路面状況を定量的に評価するための指標である（図 1 参照）。IRI の適用により、より効率的な道路維持管理および維持管理予算計画が可能となる。

本プロジェクトでは、最新の IRI 測定機器である道路性状簡易評価システム（DRIMS）のカンボジア国への技術移転を試みている。DRIMS を適用することにより、簡単に IRI を計測することが可能である。DRIMS はノート PC、GPS、加速度計、ドライブレコーダーで構成させる（図 2 参照）。DRIMS はコンパクトかつ利用者にとって使い易い機材であり、DRIMS の導入によりカンボジア国における道路維持管理能力が強化されることが期待される。



図 1：IRI による道路路面状況の分類



図 2：IRI 計測のメカニズム

技術移転の一環として、DRIMS 操作トレーニングが実施された（図 3 および図 4 参照）。MPWT 職員が先立って JICA エキスパートのサポートを受けて DRIMS の操作を習得し、彼らが地方公共事業運輸局（DPWT）職員の指導者となることが期待される。人材育成は、技術移転の継続性を高めるための重要な要素の 1 つである。



図 3：DRIMS 設置状況



図 4：車内における DRIMS 操作状況

出典：JICA プロジェクトニュース（2015 年 6 月）

図 4.1.15 DRIMS の海外適用事例

4.1.3.2 地盤改良に係る設計・施工

(1) 軟弱地盤対策工の設計の基本的な考え方

軟弱地盤上の土工構造物及び軟弱地盤対策工の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性を考慮しなければならない。また原則として、想定する作用に対して土工構造物の要求性能を設定し、それを満足することを照査する。照査方法としては、論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた手法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる手法等を適切な知見に基づいて行うものとする。

軟弱地盤上の土工構造物の要求性能として、盛土を例に示す。

要求性能は、対象盛土の重要度および想定する作用（常時、降雨、地震動(L1・L2)）に応じて、適切に設定する。表 4.1.59 に盛土の要求性能の例を示す。また、盛土の要求性能に対する照査は、基礎地盤と盛土のそれぞれで検討し、性能１では「変形照査」と「安定照査」の 2 種類、性能２と性能３では「変形照査」を実施する必要がある。表 4.1.60 に盛土の要求性能に対する限界状態と照査項目を示す。

軟弱地盤上の土工構造物の設計にあたっては、想定する作用に対しての軟弱地盤対策工を施さずに想定する作用に対しての軟弱地盤上の土工構造物の安定性を照査する。照査の結果、土工構造物の安定性が満足できない場合、あるいは通常の施工に支障を生じるような場合には、軟弱地盤対策工の適用を検討する。

設計にあたっては、地盤調査結果を十分に活用するとともに、軟弱地盤上の土工構造物及び地盤挙動の予測の不確実性に配慮した設計を行うものとする。また、必要に応じて試験施工を実施するものとする。施工にあたっては、情報化施工により、正確な地盤挙動の把握に努めるとともに、必要に応じて設計の見直しを行う等の適切な対応を図るものとする。

要求性能	性能１：想定する作用によって盛土としての健全性を損なわない性能 性能２：想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり、盛土としての機能の回復がすみやかに行い得る性能 性能３：想定する作用による損傷が盛土として致命的とならない性能
重要度	重要度１：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、あるいは、隣接する施設に重大な影響を与える場合 重要度２：上記以外の場合

出典：JICA 調査団

表 4.1.59 軟弱地盤上の土工構造物の要求性能の例（盛土の例）

想定する作用＼重要度		重要度1	重要度2
常時の作用		性能1	性能1
降雨の作用		性能1	性能1
地震動の作用	レベル1地震動	性能1	性能2
	レベル2地震動	性能2	性能3

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

表 4.1.60 土工構造物の要求性能に対する限界状態と照査項目（盛土の例）

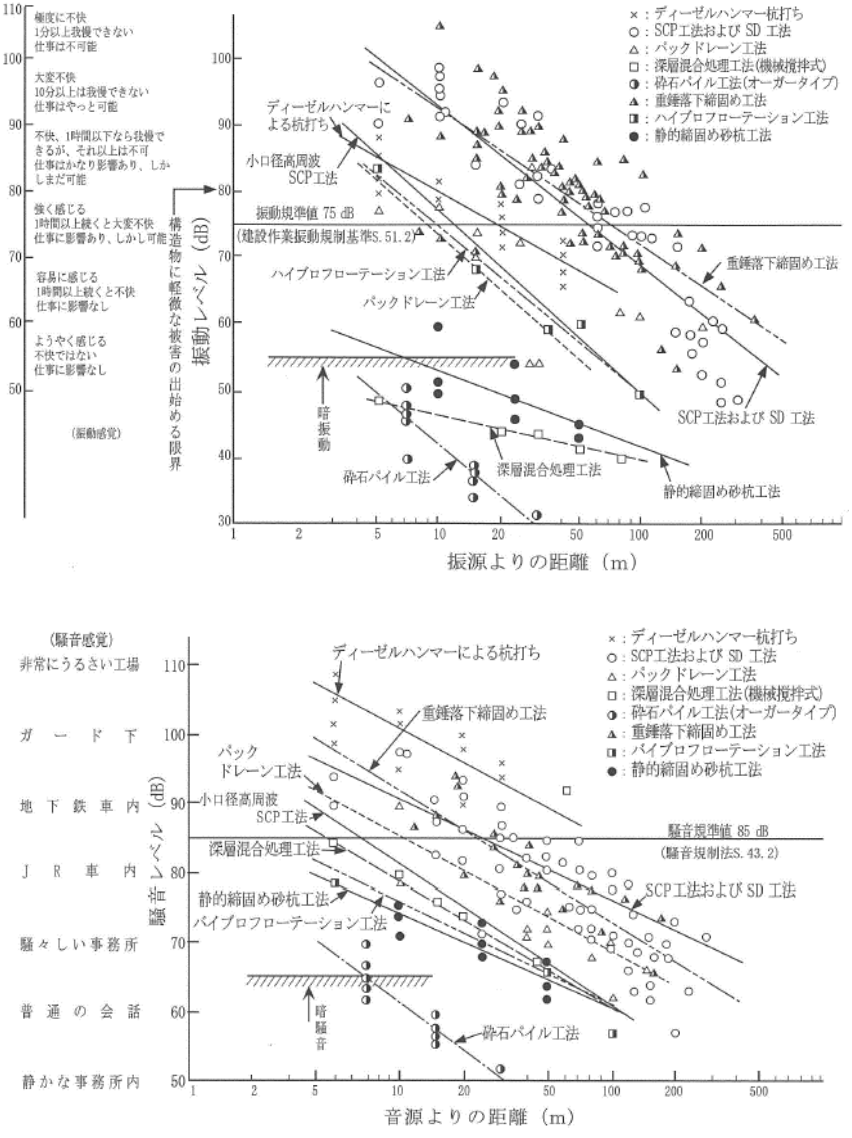
要求性能	盛土の限界状態	構成要素	構成要素の限界状態	照査項目	照査手法
性能1	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が盛土の機能を確保でき得る限界の状態	基礎地盤	基礎地盤の力学特性に大きな変化が生じず，盛土，路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
		盛　土	盛土の力学特性に大きな変化が生じず，かつ路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
性能2	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が修復を容易に行い得る限界の状態	基礎地盤	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛　土	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態	変形	変形照査
性能3	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態	基礎地盤	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛　土	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

(2) 軟弱地盤対策工の設計

1) 対策工の検討・選定

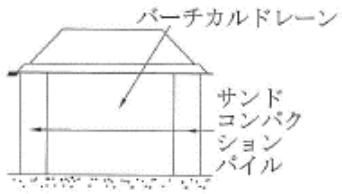
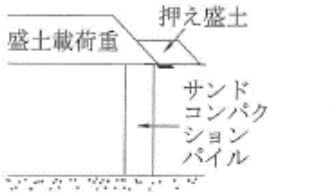
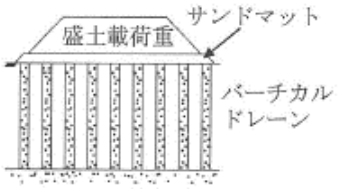
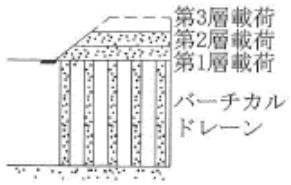
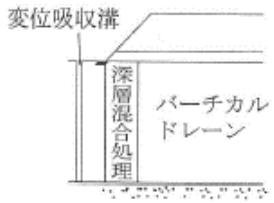
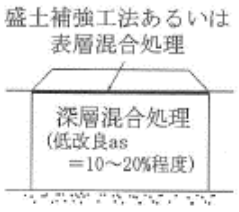
軟弱地盤対策工の検討では、軟弱地盤上の土工構造物で遭遇する沈下や安定、周辺の地盤の変形等の問題を十分に理解し、適切な工法を選定する必要がある。対策工法には 4.1.2.2 で示したとおり、種々の工法があり、それぞれ特徴を持っており、目的とする効果も異なっている。したがって、対策工の適用においては、軟弱地盤対策を必要とする理由や目的を十分に踏まえたうえで、軟弱地盤の性質を的確に把握し、構造物条件・施工条件等の諸条件を考慮するとともに、対策工法の原理、対策効果、施工方法、周辺に及ぼす影響及び経済性等を総合的に検討し、効果が実証された適切な対策工法を選定する必要がある。また、対策工法は単独で適用されることもあるが、組合わせると合理的な場合もあるため様々な角度から最適な対策工法を選定する必要がある。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.16 振動・騒音レベルの距離減衰

表 4.1.61 対策工法の組合せ例

沈下対策		せん断変形対策		安定対策		図例
目的	工法	目的	工法	目的	工法	
沈下の促進	バーチカルドレーン工法 (例)サンドドレーン工法	応力の遮断	コンパクションパイル工法 (例)サンドコンパクションパイル工法	—	コンパクションパイル工法 (例)サンドコンパクションパイル工法	
	盛土載荷重工法	—	押え盛土工法またはコンパクションパイル工法 (例)サンドコンパクションパイル工法	—	押え盛土工法またはコンパクションパイル工法 (例)サンドコンパクションパイル工法	
	盛土載荷重工法とバーチカルドレーン工法 (例)サンドドレーン工法	—	—	—	表層排水工法 (例)サンドマット工法	
	バーチカルドレーン工法 (例)サンドドレーン工法	—	—	強度増加の促進	緩速載荷工法	
	バーチカルドレーン工法 (例)サンドドレーン工法	応力の遮断	深層混合処理工法	すべり抵抗の増加	深層混合処理工法	
		変形の吸収	変形吸収工法 (例)変位吸収溝工法			
沈下の低減	盛土補強工法あるいは表層混合処理と深層混合処理	—	盛土補強工法あるいは表層混合処理と深層混合処理		盛土補強工法あるいは表層混合処理と深層混合処理	

出典：道路土工-軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

2) 対策工の設計

軟弱地盤対策工の設計にあたっては、地盤調査結果を十分活用し、対策を施した軟弱地盤上の土工構造物について想定する作用に対する安定性等を照査し、対策目的を達成するのに必要な対策工法の使用を決定する。軟弱地盤対策工には種々の工法があり、論理的な妥当性を有する方法や実験等による検証がなされた手法、これまでの経験・実績から妥当とみなせる手法等、適切な知見に基づいて行う必要がある。

各工法で設計手法が整理されており、代表的な工法の設計手法を以下に示す。

①サンドドレーン工法（PVD 工法）

サンドドレーンの設計は、粘性土の強度増加を考慮した盛土の安定や圧密残留沈下量の検討から目標とする圧密度の検討を行う。そして、圧密度と圧密時間の関係を計算して、目標圧密度を満足するドレーン打設間隔等を設定する。そのうえで、具体的な改良仕様に基づいて安定及び沈下の検討を行い、設定値が妥当であるかを確認する。

以下にドレーン設置時の圧密度の求め方を示す。

圧密度と圧密時間の関係は水平方向の圧密係数を用いて算定する。**解図 6－53** に示すように通常，三角形または正方形にサンドドレーンが配置され，間隙水は水平方向にのみ流れるものとして，各ドレーンが担当する範囲を面積が等しい円に置き換えて圧密の計算がなされ，この円の直径を有効径 d_e で表す。間隔 d の三角形または正方形でサンドドレーンを配置した地盤においては，圧密時間 t は式（解 6－1）によって求められる。圧密の速さは有効径 d_e が小さいほど，言い換えればサンドドレーンの設置間隔 d を小さいほど促進される。

$$t=\frac{T_h}{c_h}\cdot d_e^2 \quad \cdots\cdots\cdots\

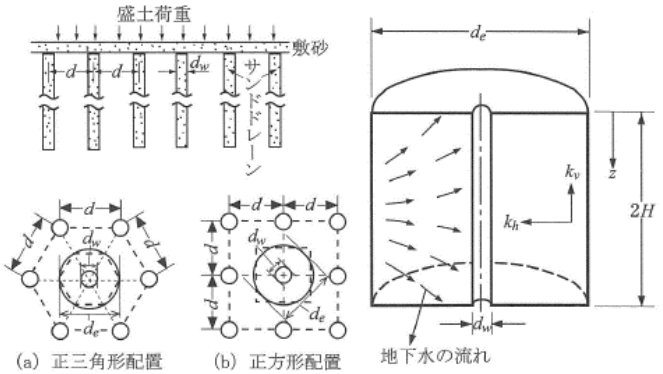
一般には，鉛直方向の圧密排水距離 H に比べて d_e が非常に小さいため，鉛直方向の排水を無視すると，圧密度 U_h と時間係数 T_h は，有効径 d_e とサンドドレーンの直径 d_w の比 n をパラメータとして，**解図 6－54** に示す関係にある。また，近似的には式（解 6－2）で与えられる[6]。

$$U(T_h) = 1 - \exp\left\{-\frac{8T_h}{F(n)}\right\} \quad \cdots\cdots \text{（解 6－2）}$$

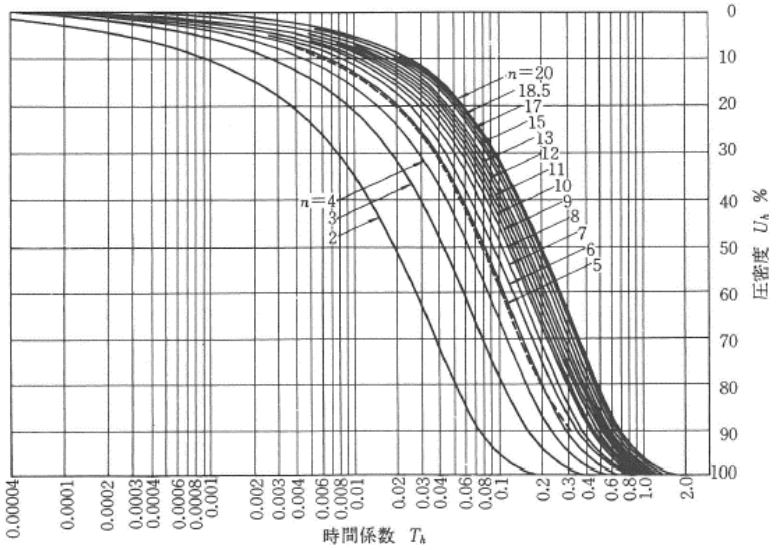
ここに，

$$F(n) = \frac{n^2}{n^2-1}\log_e n - \frac{3n^2-1}{4n^2}$$
$$n = \frac{d_e}{d_w} \quad \cdots\cdots \text{（解 6－3）}$$

d_w：サンドドレーンの直径（m）



解図6－53　サンドドレーンの配置と圧密排水の状況



解図6－54　圧密度 U_h と時間係数 T_h の関係[7]

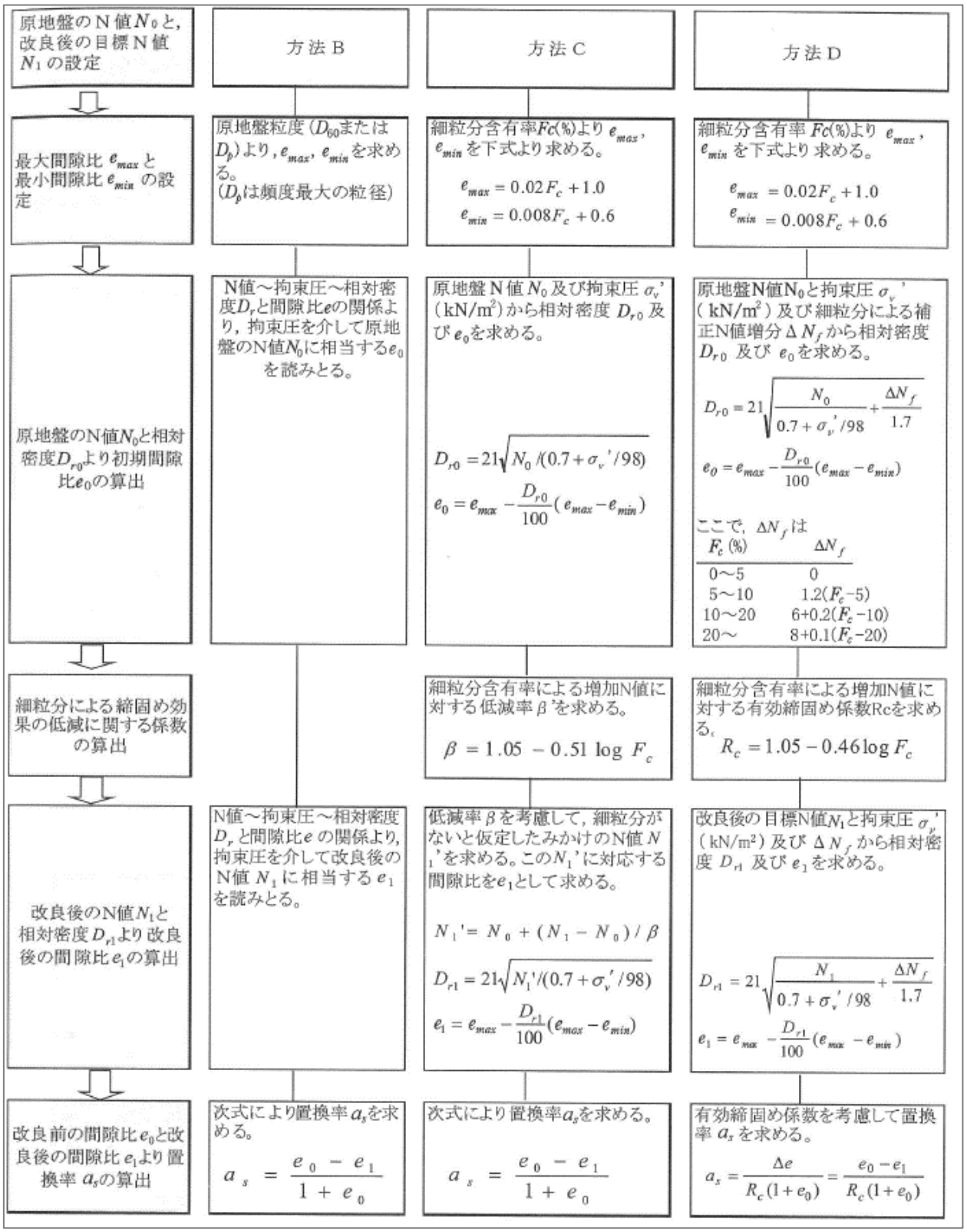
出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

②締固め工法（サンドコンパクションパイル工法）

サンドコンパクションパイル工法の設計にあたっては、改良後に必要な N 値を設定し、それを満足するためのサンドコンパクションパイルの置換率 a_s を求める。

サンドコンパクションパイル工法の具体的な設計では、相対密度 Dr を介して N 値から間隙比を推定する。改良後の N 値は、主に現地盤 N 値と置換率 a_s に支配されるが、その他に原地盤の粒度分布や土被り圧にも影響される。特に 0.075mm 以下の細粒分を多く含む土層の場合には、改良効果が小さいので注意が必要である。

$$a_s = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \quad \cdots\cdots\cdots\



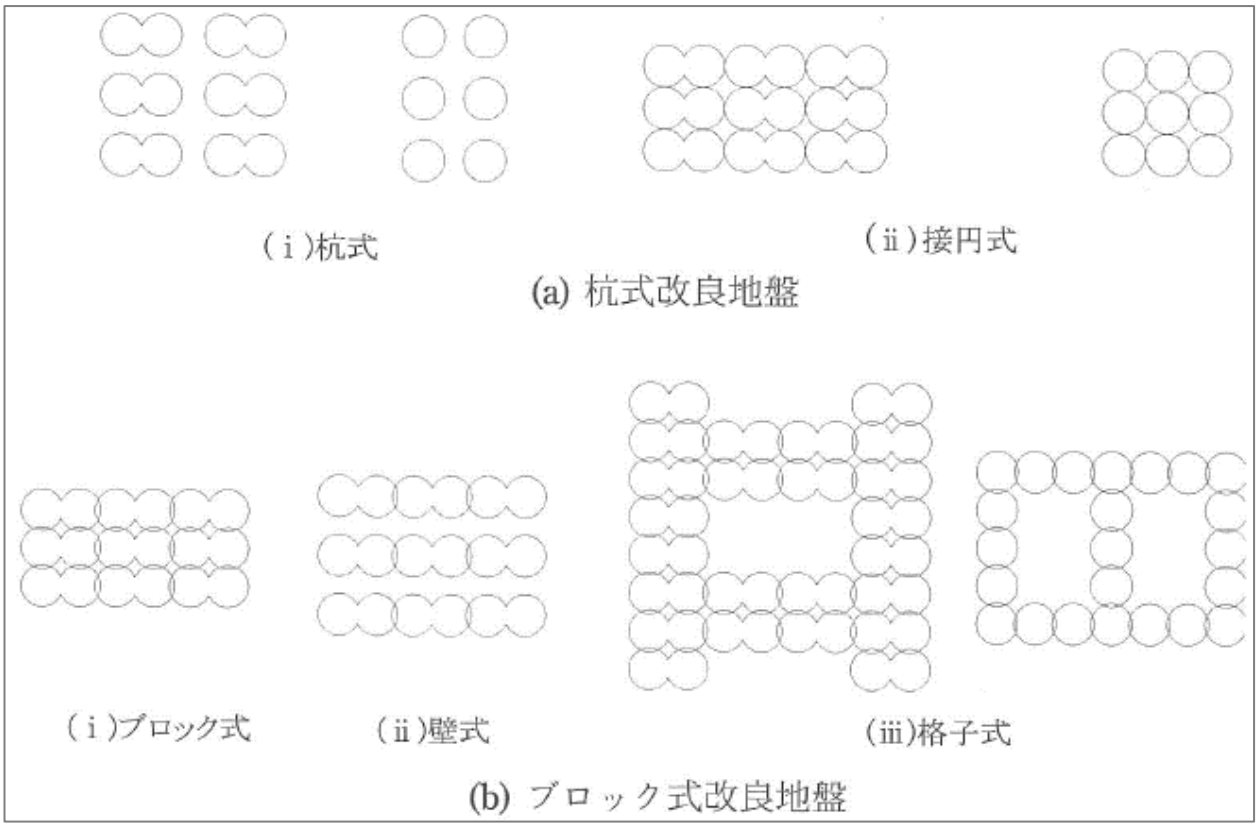
出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.18　サンドコンパクションパイル工法の砂質土地盤に対する設計方法の計算フロー

③固結工法（深層混合処理工法）

設計は、改良目的に応じて必要となる改良範囲、改良深度及び設計強度等の改良仕様の決定と、設計強度を得るための固化材の種類と量についての配合を決定する配合設計からなる。

改良形式は図 4.1.19 に示すように、改良柱体を独立に配置する「杭式」と、改良柱体をオーバーラップさせて複数の改良体を一つの改良体とみなす「ブロック式」に大別される。盛土の安定や沈下板柵には杭式を基本とし、擁壁等の構造物基礎の支持力増加や沈下対策にはブロック式を用いることが多い。液状化対策ではブロック式を基本とするが、経済性の観点から格子状が適用されることが多い。



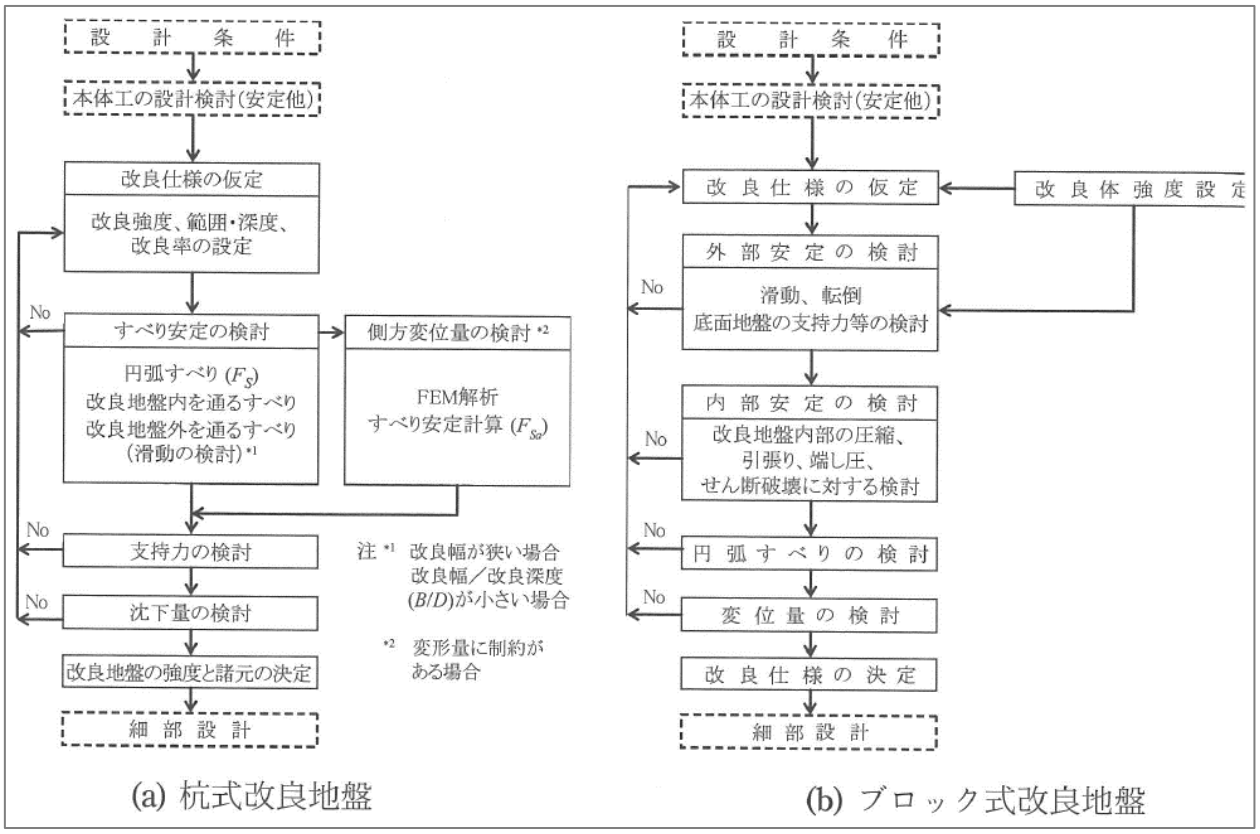
出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.19 改良形式の概要

杭式改良地盤とブロック式改良地盤の設計手法の流れを図 4.1.20 に示す。

盛土等の比較的変形が許容される場合には、杭式改良が適用されることが多い。杭式改良がなされた粘性土地盤は、改良体と無改良の粘性土からなる複合地盤となる。杭式改良地盤では、すべり破壊に対して改良体と無改良の粘性土との平均的な地盤強度が発揮されるとみなして設計を行うのが一般的である。

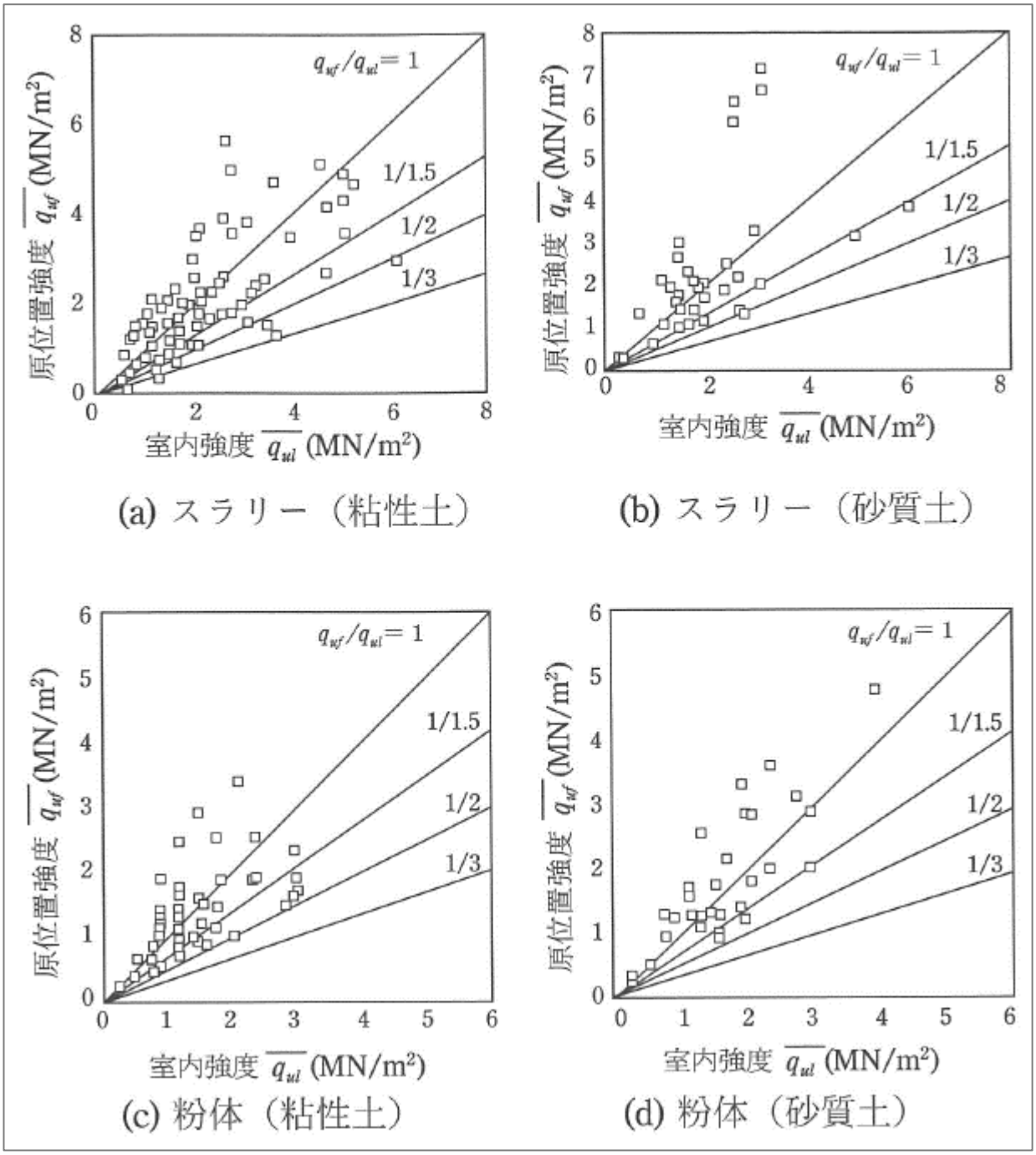
ブロック式改良では、改良された地盤全体を疑似的な地中構造物として設計することが一般的である。設計では外部安定（滑動・転倒・底面地盤の支持力）や内部安定（圧縮・引張・端し圧等）について検討する。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.20 改良地盤の設計手法の流れ

配合設計では、事前に改良対象土について配合試験を行い、目標強度に応じた固化材の種類、配合量を設定する必要がある。配合試験は、「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法（JGS0821）」に基づいて行う。一般には、原地盤での改良強度は、原地盤の土質構成や固化材の混合状態等に起因してばらつきが大きくなる。深層混合処理工法において、現場で得られた平均強度と室内配合試験で得られた平均強度の関係を図 4.1.20 に示す。現場での強度が室内での強度よりも大きい場合もあるが、一方で室内での強度の 1/3 に満たない場合もあり、ばらつきが大きい。このため、原地盤での改良強度は、室内での配合試験強度を割引いて考えておく必要があり、現行では室内強度の 1/2～1/4 の範囲で設定することが多い。図 4.1.21 で示したものは、一部の試験結果の抜粋であり、有機質土や火山灰質土、腐植土等では、強度の発揮具合が異なる。また、一般的な粘性土や砂質土でも含水比などの物理特性や地域性、改良材の水セメント比などでも変わるため、配合試験を十分に実施することが重要である。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.21 室内強度と現場強度の関係

4.1.3.3 発生土の利用に係る調査

土質区分判定のための指標は、表 4.1.62 に示す調査・試験方法で求めるのを標準とする。ただし改良土の場合はコーン指数のみを測定する。また、利用の用途が限定されており、各々の利用の用途に応じた基準等が別途規定されている場合には、別途規定されている基準等によるものとする。

土質材料の工学的分類体系により土質材料を分類するためには、土試料の観察に加えて、土の粒度組成を試験で求める必要がある。また、液性限界・塑性限界と自然含水比は土の基本的な特性把握に必要であるため、同時に試験する。なお、液性限界・塑性限界は細粒土を対象とする。

表 4.1.62 土質区分判定のための調査試験方法

判定指標*1)	試験方法	規格番号・基準番号
コーン指数*2)	締固めた土のコーン指数試験方法	JIS A 1228
土質材料の工学的分類	地盤材料の工学的分類方法	JGS 0051
自然含水比	土の含水比試験方法	JIS A 1203
土の粒度	土の粒度試験方法	JIS A 1204
液性限界・塑性限界	土の液性限界・塑性限界試験方法	JIS A 1205

＊1）改良土の場合は、コーン指数のみを測定する。
＊2）1層ごとの突固め回数は、25 回とする。（参考表参照）

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省

なお、特殊土については、各特殊土の性状を把握できるような十分な試験を行うことが重要であると考えるが、今後の研究、実績等の積み重ねが必要となる。

上記の試験方法のうち、締固めた土のコーン指数試験方法を以下に示す。

表 4.1.63 締固めた土のコーン指数試験方法

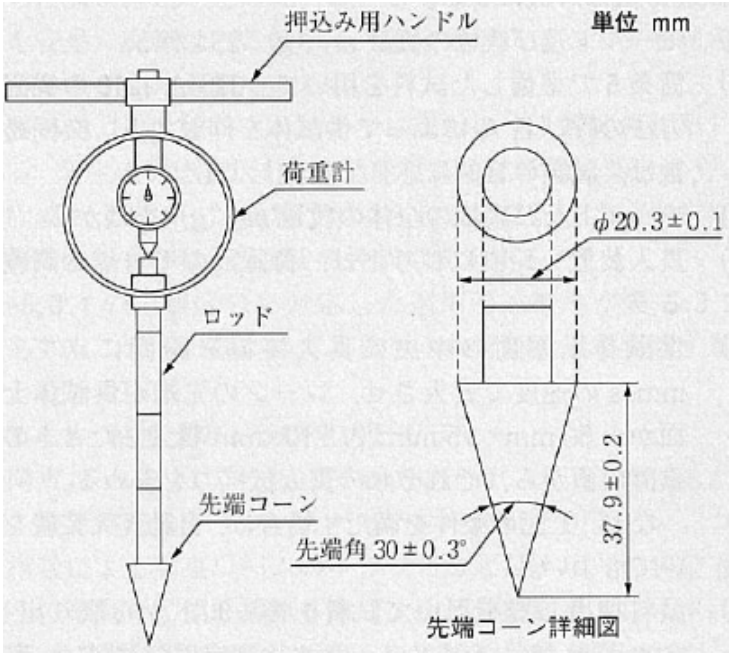
参考表　コーン指数（qc）の測定方法

*「締固めた土のコーン指数試験方法(JIS A 1228)」(地盤工学会編「土質試験の方法と解説　第一回改訂版」pp.266-268)をもとに作成

供試体の作製	試料	4.75mm ふるいを通過したもの。 ただし、改良土の場合は 9.5mm ふるいを通過させたものとする。
	モールド	内径　100±0.4mm 容量　1,000±12 cm³
	ランマー	質量　2.5±0.01kg
	突固め	3 層に分けて突き固める。各層ごとに 30±0.15cm の高さから 25 回突き固める。
測定	コーンペネトロメーター	底面の断面積 3.24 cm²、先端角度 30 度のもの。
	貫入速度	1cm/s
	方法	モールドをつけたまま、鉛直にコーンの先端を供試体上端部から 5cm、7.5cm、10cm 貫入した時の貫入抵抗力を求める。
計算	貫入抵抗力	貫入量 5cm、7.5cm、10cm に対する貫入抵抗力を平均して、平均貫入抵抗力を求める。
	コーン指数（qc）	平均貫入抵抗力をコーン先端の底面積 3.24 cm² で除する。

注）ただし、ランマーによる突固めが困難な場合は、泥土と判断する。

出典：発生土利用基準について,H18.8,国土交通省



出典：地盤材料試験の方法と解説[第一回改訂版],R3.4,(社)地盤工学会

図 4.1.22 コーンペネトロメーターの例

4.1.3.4 発生土の利用に係る設計・施工

発生土は、4.1.2.4(1)適用用途標準を基に利用することが原則となり、設計においては対象構造物の基準に則った設計がなされることになる。

施工においては、発生土を受け入れ利用する側の用途に応じた要求品質を的確に把握し、これを踏まえて発生側と利用側の双方で施工管理を行う項目や頻度等を整理して適切な施工管理を行うことが重要である。

発生側は、発生土の区分、土質性状、発生量および時期等を含めた発生土に関するデータを利用側に提示するとともに、利用側の希望する用途の品質に適合するように努める。その際には、掘削・仮置等の施工方法によって当初計画の発生土の品質が低下しないように施工管理を行う。

利用側は、発生側との協議により決められた項目、頻度等で土質試験を実施し、利用対象の用途において要求する品質に適合していることを確認するほか、場合により試験施工を行うなどして、施工管理を行う。

4.1.3.5 特殊土に係る設計・施工

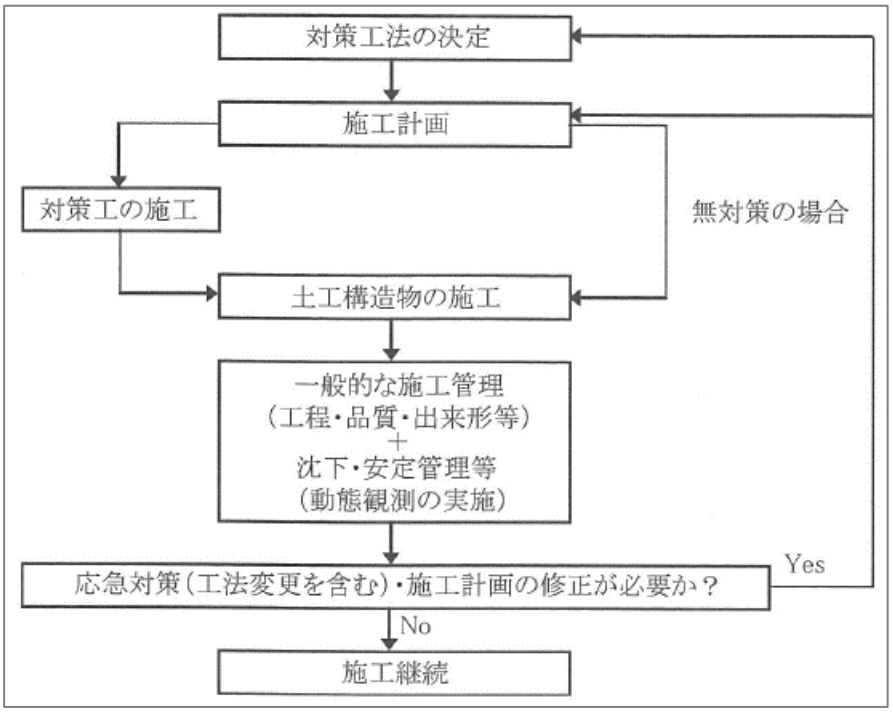
特殊土に対する対策方法は、日本の軟弱地盤や発生土の改良に用いられる対策工法が適用できる可能性があるが、設計・施工法はいまだ確立されておらず、かつ知見も十分でない。これらの対策方法の適用にあたっては、通常の設計・施工では、特殊土に対する対策として不十分な場合が多く、地盤の挙動に応じた特別な対策工法の選定・適用が不可欠となる。

対策工法の適用にあたっては、地域環境、地質・地形条件、施工上の制約等を鑑み、適切な方法を選択することが望ましい。

同じ特殊土の分類だとしても地域によっては適用できないことも想定されることから、現地での適用確認を検証するための調査・試験および試験施工が必要になると考えられる。また、特殊土は、建設時には問題が発生しなくても、経時変化に伴う地域環境の変化、構造物の劣化等を起因として、後で問題が発生する可能性も十分にあることから、施工・維持管理段階において、対策効果に関するモニタリングを行うことも重要である。

4.1.4 対策工の施工管理／監理手法

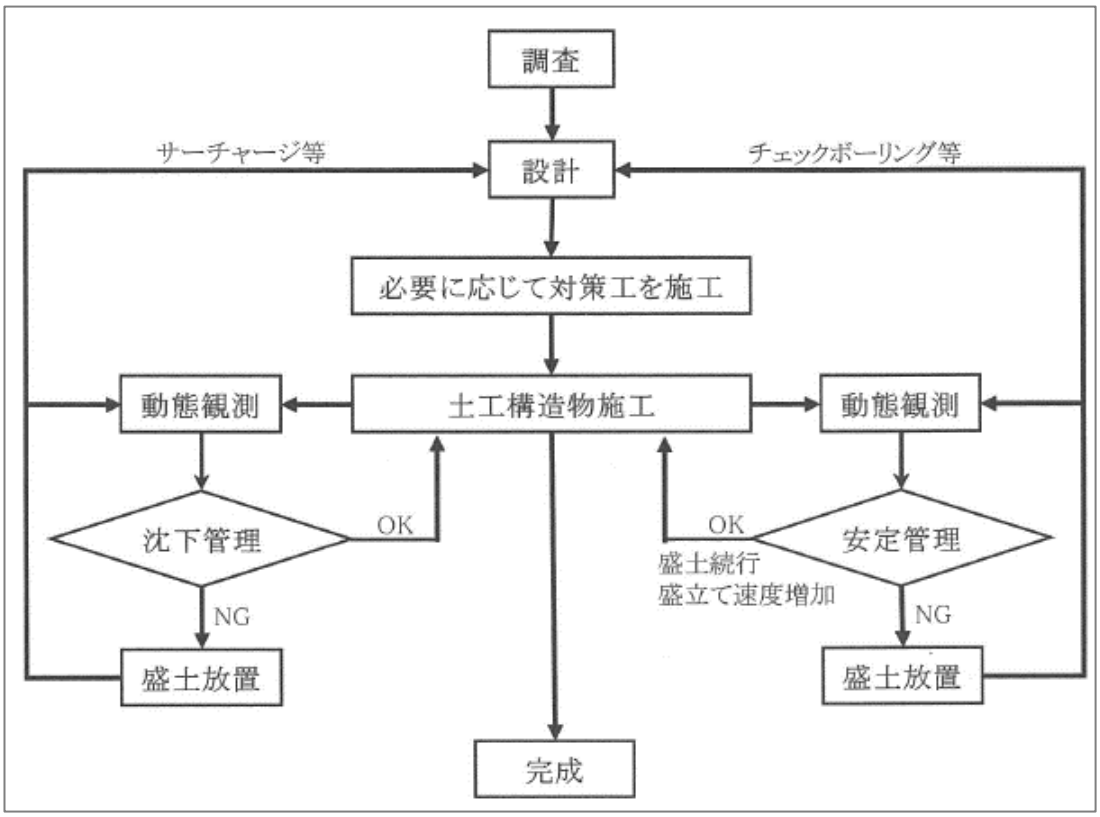
軟弱地盤対策工の目的を満たすためには、対策工の適切な設計とともに施工・施工管理が重要となる。軟弱地盤対策工の施工は、定められた品質及び形状・寸法の構造物等を定められた工期内に経済的に作り上げることが求められる。そのため、対策工法の特性を理解し、現地条件に即した施工計画を立案するとともに、施工前及び施工途中で必要応じて試験施工を行い、工程や品質・出来形等の施工管理を確実に実施する必要がある。加えて、沈下や安定、周辺の地盤の変形等の問題に対し、対策工の目的とする効果が得られたかの確認を行うとともに、地盤の不均質性や予測の不確実性により生じる予測できない事態に対処するために動態観測に基づく情報化施工を実施、沈下や安定に関する施工管理を行う必要がある。軟弱地盤における施工と施工管理のフローの例を図 4.1.23 に示す。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.23 軟弱地盤における施工と施工管理のフローの例

軟弱地盤における土工構造物の施工及び軟弱地盤対策工の実施においては、情報化施工を行うことを原則としている。不確定要素の多い軟弱地盤での施工を、施工段階で得られる情報によって補い、土工構造物を確実に完成させるために実施する。具体的には、適切な計測器を配置したうえで沈下管理や安定管理のための動態観測を実施し、得られた計測情報に基づいた評価を行って、その結果を次の施工にフィードバックすることをいう。また状況によっては、設計から見直す場合もある。情報化施工の実施フローを図 4.1.24 に示す。なお、個別の対策工法の施工・施工管理については、4.1.2.2 で示した各工法の主に留意点としてまとめている。



出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

図 4.1.24 軟弱地盤における情報化施工の実施フロー

動態観測は、調査・設計時に予測した現象が実際に生じているかどうか、対策工法の効果が予測通りであるかどうかを照査し、予測しなかった挙動が生じたときには一刻も早くその原意を追求し、それに対処するために地盤の沈下や水平変位等を計測するものである。軟弱地盤における動態観測のために設置する主な計器を表 4.1.64 に示す。表に示した計器以外にも、深層混合処理工法等の改良体等に作用する鉛直土圧を把握するための土圧計、地盤の水平変位が生じる深度等を把握するためのパイプひずみ計等を利用することもある。

表 4.1.64 各動態観測用の計器

計測項目	使用計器	測定項目	目　　的	備　考
沈下	地表面型沈下計	軟弱地盤表面の全沈下量	盛土量の検測や安定管理(盛土速度のコントロール)，沈下管理(将来沈下予測による残留沈下量の推定)に測定結果を使用する。	施工に際して必ず実施する。
	層別沈下計	土層別の沈下量	軟弱層が厚く土層構成が複雑で,沈下速度の遅い層の圧密度や残留沈下が問題となる箇所に設置し,各層の計算沈下量の検証に使用する。また,改良柱体間の粘土の沈下挙動を把握する。	残留沈下が問題となる箇所では設置が望ましい。施工後の追跡調査にも活用できる。
変位	地表面変位杭	盛土周辺地盤面の水平変位量及び鉛直変位量	盛土周辺地盤の変状の有無を把握して安定管理に用いる。	平地部等の低盛土で隣設地への影響が問題とならない場合を除いて，必ず実施する。
	地表面伸縮計(自記式地すべり計)	盛土周辺地盤面の水平変位量	盛土周辺地盤の変状の量を自動で計測して安定管理に用いる。	地表面変位杭と代替，もしくは併用して用いられる。
	挿入型傾斜計	盛土周辺地盤の地中水平変位量	安定管理に用いる。盛土の進行に伴う土層別の水平変位量を把握する。	地表面変位杭と代替，もしくは併用して用いられる。
間隙水圧	間隙水圧計	土層別の間隙水圧	粘土の圧密による強度増加は,圧密度で評価される。沈下量と間隙水圧では間隙水圧の方が遅れる傾向にあり,沈下量と合わせて総合的に圧密度を把握する。	試験施工等，確実な圧密の進行を把握する必要のある場合に実施する。

出典：道路土工−軟弱地盤対策工指針,H24.8,(社)日本道路協会

4.2 本邦の盛土のり面処理技術

本項では、本邦ののり面処理技術を対象に、本邦技術の歴史、現況、海外展開事例、調査・設計手法、施工管理/監理手法について調査・取りまとめを行った。なお、本調査で取り扱うものは「道路盛土」に関するものを対象とし、「切土」や「斜面防災」に関する事項は基本的に対象外とした。切土のり面、自然斜面については「全世界道路防災のための斜面対策事業の基礎研究（QCBS）2023 年 2 月独立行政法人国際協力機構（JICA）」を参照いただきたい。

4.2.1 本邦ののり面処理技術の特殊土への適用性

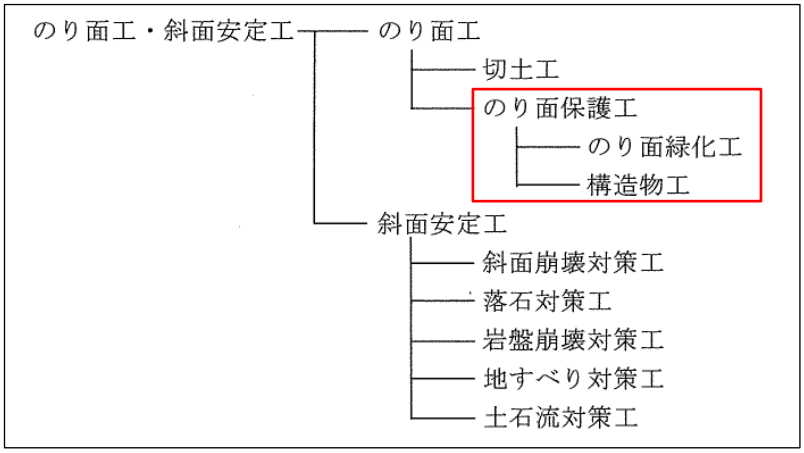
本邦ののり面処理技術は、主に「道路土工　切土・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」にて具体的に取りまとめられている。本邦ののり面処理の対策方法は、のり面緑化による方法と構造物による方法に分けられるが、その適用については降雨条件とその期間、地質・土質、土壌硬度、勾配等によって決定される。本邦ののり面対策方法は、開発途上国でも適用できる可能性が高いと考えられるが、適用にあたっては、気候・気温等の現地条件を十分に考慮の上で実施する必要がある。また、開発途上国において特殊土を盛土材料として用いる場合、各特殊土の性質をよく理解した上でそれに応じたのり面対策（主に、適切な斜面勾配、適切な排水処理、緑化工の場合は適切な養生と植生が繁茂するまでの厳密な維持管理が基本）を行う必要がある。なお、建設発生土の盛土材料等への有効活用については、「4.1.2.3 発生土の有効利用の状況、4.1.2.4 発生土の改良技術の現況」で取りまとめられている。

4.2.2 のり面処理技術の定義

のり面処理技術は、「道路土工　切土・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」によると、図 4.2.1 に示す通り定義される。のり面処理は、切土・盛土に関わらず、「のり面工」-「のり面保護工」に該当する。「のり面保護工」は、植物または構造物でのり面を被覆し、のり面の安定確保や自然環境の保全や修景を行うものであり、「のり面緑化工」と「構造物工」に分類される。また、「のり面緑化工」はさらに「植生工」とその補助を目的とした「緑化基礎工」に分類される。

「のり面緑化工」は、のり面に植生を成立させて風化や侵食を防止し、それと併せて自然環境の保全や修景を行うものである。植物を扱うことから、効果が発揮されるまで時間を要することや施工後の降水量や気温の変動等の影響を受けやすいなどの留意点がある。「のり面緑化工」のうち、「植生工」はのり面全体を植物で被覆し、表流水による侵食防止や凍上による表層崩壊の緩和等を期待して行うとともに、自然環境の保全や修景の効果を期待している。一方、「緑化基礎工」は「植生工」だけでは施工が困難な場合に採用する「構造物工」のことであり、ネットや吹付枠等を用いて植物の生育環境を整備するものである。「緑化基礎工」の目的は①生育基盤の安定化、②生育基盤の改善、③厳しい気象条件の緩和に分けることができ、それぞれの目的や現場の状況に応じて適切に選定する。

「構造物工」は、のり面の侵食や風化及び表層の滑落や崩壊を防止するなどのり面の永続的な安定を図ることを目的として適用するものであり、①「のり面緑化工」が不適なのり面、②「のり面緑化工」だけでは侵食等に対し長期安定が確保できないと想定されるのり面、③表層崩落、崩壊、落石等の不安定化が発生する恐れのあるのり面に用いる。



出典：道路土工　切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，p.11，2009.

図 4.2.1　のり面工・斜面安定工の分類

4.2.3　本邦ののり面処理技術の歴史

4.2.3.1　のり面緑化工の歴史

のり面緑化工は、戦後に開発された技術である。それ以前の土木工事は、人力で切土・盛土を行い造成していたことから、一度に出現するのり面の面積も限られていた。戦後、ブルドーザ等の重機が導入され、短期間で大規模造成工事が行われるようになった。このような背景のもと、一度に出現するのり面の面積も増大したことから、盛土のり面の侵食防止を迅速に行うことが要求され、機械化施工技術が開発された。これにより、導入植物も機械化施工に適したものが要求され、従来の治山緑化工において用いられた根株や苗木を植栽する方法から牧草種子を播種する方法へと変化していった。

表 4.2.1 にのり面緑化工の変遷を示す。1960 年代～1980 年代（第一期）においては、種子散布工、客土吹付工の急速緑化工が発達し、草本・芝草などの外来牧草により早期発芽・成長し、安価にのり面保護を行うことが可能となった。一方で、全国牧草による画一的なのり面が出現した他、夏枯れ・冬枯れによる景観不良が問題となった。1975 年代～1990 年代（第二期）においては、厚層基材吹付工の急速緑化工が発達し、在来草本類の導入や混播へ移行し、硬質・急勾配ののり面緑化や景観面の改善が行われた。一方で、急速に需要が増大するとともに、賃金が上がり、在来草本類の採取地が海外へ移転されることが問題となった。1985 年代～（第三期）からは、厚層基材吹付工の遅速緑化工が発達し、牧草・在来草本類の混播から木本ハギ類を加えた混播へ移行し、立体感のある緑へと景観効果が高まった。一方で、全国にハギ類による単純植生が出現し、偏向遷移化やハギ類種子の採取地が海外へ移転されることが問題となった。1995 年代～および 2005 年代～（第四期）からは、資源循環型厚層基材吹付工の超遅速緑化工法が発達し、在来・郷木木本類による樹林化への移行や埋土種子利用・無播種施工へ移行した。同工法では、景観の他、緑の質の向上および生態系にまで配慮したのり面緑化の効果が期待された。一方で、植物材料の入手が困難であることや超遅速緑化の考え方の理解不足により、緑化目的の達成が困難になる問題があった。

（参考文献：中野裕司：のり面緑化工の変遷について［3］，農業と科学，ジェイカムアグリ株式会社，p.12，2006.）

表 4.2.1 のり面緑化工の変遷

年代		工法	導入植物	緑化の目的	効果	問題点
第一期	1960～1980（S33～S50中）	種子散布工 客土吹付工 （種吹付工） 〈急速緑化〉	外来牧草 （草本・芝草）	侵食を受けやすい軟質な地山を急速に緑化・被覆し法面の侵食防止を行う （法面の防災緑化）	発芽・成長の速い牧草により安価に法面の保護を行うことができる	全国牧草による画一的な法面が出現 夏枯・冬枯による景観不良
第二期	1975～1990（S50中～S60中）	厚層基材吹付工（前期） 〈急速緑化〉	外来牧草による急速緑化より，次第に在来草本類の導入・混播へ移行	無土壌岩石地法面に対する景観・修景対策，夏場の緑の確保 （モルタル・コンクリート吹付工に代る法面保護工）	硬質・急勾配法面の緑化を行い景観面の改善がなされた	急速な需要と高賃金化により在来草本類の採取地が海外へ移転 （用語定義の曖昧さが，外国産在来種を造った）
第三期	1985～（S60～　）	厚層基材吹付工（後期） 〈遅速緑化〉	牧草・在来草本類の混播から，木本ハギ類を加えた混播へ移行	景観・修景対策 緑のボリュウムアップ・立体感の有る緑景観の造成	立体感のある緑に改善され景観効果が高められた	全国にハギ類による単純植生が出現・偏向遷移化 ハギ類種子の採取地が海外へ移転
第四期	1995～（H7～　） 2005～（H17～　）	資源循環型型厚層基材吹付工 〈超遅速緑化〉	在来・郷土木本類による樹林化へ移行中 埋土種子利用・無播種施工へ	自然の回復・復元 画一的な法面緑化より脱却（景観の多様性→生態系の多様性）	景観とともに緑の質の向上 生態系にまで配慮した法面緑化	植物材料の入手が困難 超遅速緑化の考え方の理解不足により，緑化目的の達成が困難

出典：中野裕司：のり面緑化工の変遷について［3］，農業と科学，ジェイカムアグリ株式会社，p.12，2006.

4.2.3.2 構造物工の歴史

構造物工は、従来、石、砂利等の自然材料を基本として、道路盛土や護岸盛土などの土木構造物の他、お城等の建築物にまで幅広く適用されてきた。20 世紀に入ると、コンクリート製品の普及が拡大するとともに、コンクリートを使用した構造物工が各種開発されてきた。構造物工のうち、特に盛土工の歴史に関する情報自体は少ないが､本項では盛土工として良く利用されている｢じゃかご工｣、「ブロック積み擁壁」を対象に歴史について取りまとめた。

(1) じゃかご工の歴史

じゃかごは、古来、竹を主な材料として円筒形のかごを編み、内部に石材等を充填して河川工事等に使用したことに始まる。竹は屈とう性に富み、豊富で入手が容易であったため、じゃかごの材料として最も多く使用されてきた。紀元前 360～250 年の中国では、都江堰の築造にじゃかごを使用したとされていることから、その起源は今を去ること実に 2000 年以上前となる。じゃかごが日本に伝えられたのは、古事記（712 年）の記述から古墳時代～飛鳥時代とされているが、比較的広く使われるようになったのは、安土桃山時代以降であり、大名が自己領土の保全と開発、領土拡張のため、治水工事が行われるようになったことによる。その後、徳川幕府によって全国統一がなされ、河川改修、災害復旧工事が盛んに行われるようになり、多くのじゃかごが使用された。その後、じゃかごは長い時代を経て今日まで引き継がれるなかで、じゃかごの材料・製法・構造は徐々に発展してきた。1908 年（明治 41 年）に材料として亜鉛めっき鉄線を使用することに成功し、1911 年（明治 44 年）には、じゃかご製造機が実用化され、機械生産が可能になった。そして昭和の時代に移り、戦後の荒廃地に毎年のように襲った大水害の際にも、じゃかごは重要な土木資材として使用され、当時の建設省はこれに鑑み、1953 年（昭和 28 年）にじゃかごの基準を制定、さらに、翌年の 1954 年（昭和 29 年）には、当時の通産省が日本工業規格 JIS A 5513 亜鉛めっき鉄線製じゃかごを制定し、これまで以上に品質の確保が重視されるようになった。さらに平成に入ってからは、長期の本設構造物として使用可能な高耐久性の亜鉛-10%アルミニウム合金めっき鉄線が開発され、じゃかごの適用範囲は大きく拡大した。じゃかごは、蛇に似た形からその呼び名が由来するように、元来は円筒形のものだったが、現在の JIS A5513 じゃかごにおいては、円筒形じゃかご・角形じゃかご等の製品が、いくつかの材料と共に規格化され、今日では JIS 規格以外にも各種の工法に合わせた多様なじゃかごが使用されている。

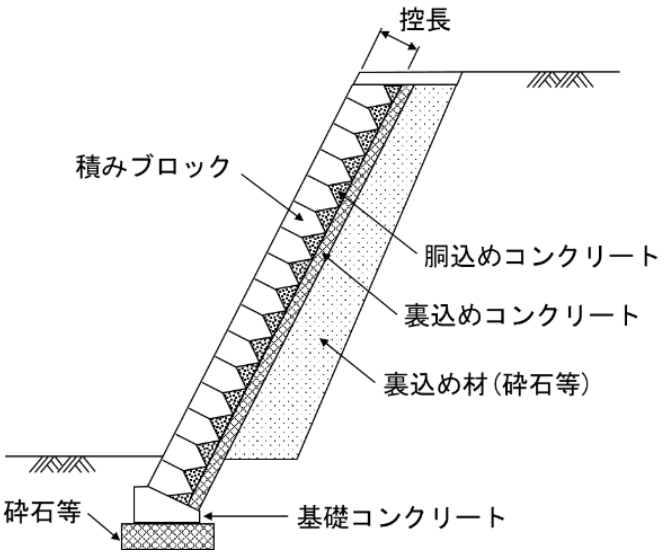
（参考文献：日本じゃかご協会 HP）

(2) ブロック積擁壁の歴史

図 4.2.2 に示すブロック積擁壁は、盛土や切土ののり面の保護のために道路工事や災害復旧工事で使われている。施工の容易さからその歴史は古く、昭和 30 年代から使用されている。一般に、道路ブロック積擁壁には控長（擁壁の厚さ）が 35cm 以上の積みブロック（一般に間知ブロック）が使用されている。さらに、既往の被災事例等の経験を考慮して、積みブロックと積みブロックの間の胴込めに現場打ちコンクリートを使用し、積みブロックはブロックどうしの一体性を確保するために目地がそろわない谷積とすることとされている（図 4.2.3 (a)）。しかし、施工に際して熟練した技術が要求されるため、省力化等を目的に控長はそのままで正面から見たときの寸法をより大型化した積

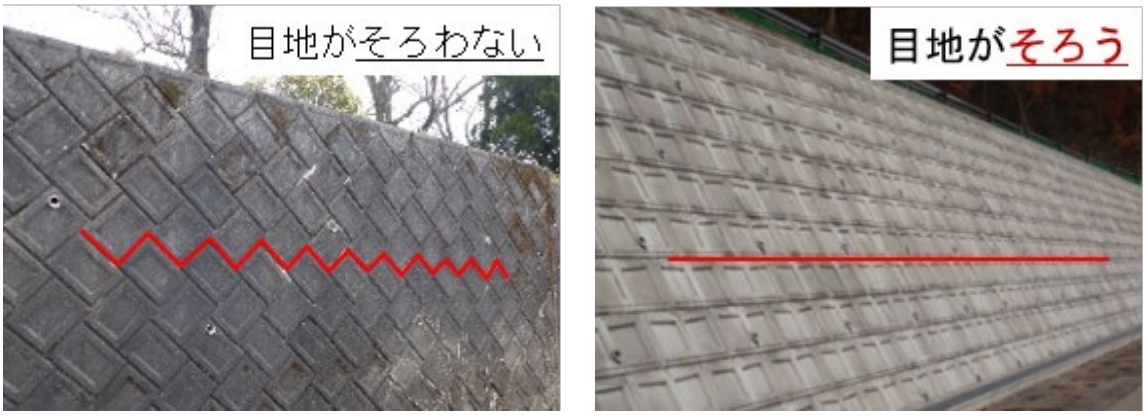
みブロック製品も開発され普及が進んでいる。しかしながら、製品１つ１つが大きいため、従来の経験に基づいた積み方である谷積とすることが困難であり、目地がそろう積み方である布積とする製品がほとんどである（図 4.2.3 (b)）。

（参考文献：国立研究開発法人 土木研究所，大型化した積みブロックの使用によるブロック積擁壁の生産性向上，メールマガジン，
https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/mail-mag/webmag/wm067/kenkyu.html



（参考文献：国立研究開発法人 土木研究所，大型化した積みブロックの使用によるブロック積擁壁の生産性向上，メールマガジン，
https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/mail-mag/webmag/wm067/kenkyu.html

図 4.2.2 ブロック積み擁壁の模式図



(a) 谷積み (b) 布積み

（参考文献：国立研究開発法人 土木研究所，大型化した積みブロックの使用によるブロック積擁壁の生産性向上，メールマガジン，
https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/mail-mag/webmag/wm067/kenkyu.html

図 4.2.3 ブロック積み擁壁の例（谷積と布積）

4.2.4 海外 ODA 事業に適用が期待される本邦技術の現況と開発動向

4.2.4.1 本邦ののり面処理技術の現況

「第 4 章 4.2 4.2.2 のり面処理技術の定義」において、のり面処理技術の定義を示したが、ここでは本邦で取り扱われるのり面保護工の具体的な種類と概要について取りまとめた。のり面保護工の種類や概要については、「道路土工　切土・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」や「建設物価」を参考に取りまとめを行った。

「のり面緑化工」は、大きく分けて①「播種工」、②「植栽工」、③「苗木設置吹付工」の 3 つに分類される。一方、「構造物工」は、大きく分けて 19 種の工法に分類され、用途に応じて豊富な種類から選定することができる。また、19 種の工法のうち、「緑化基礎工」としては 7 種の工法が該当し、「のり面緑化工」と併用する。

下記にのり面緑化工に関する概要及び構造物工に関する概要をそれぞれ示す。

各工法の主な特徴を以下に示す。

■のり面緑化工

- 植栽工は他の工法よりも単価が高い
- 播種工・植生筋工や植栽工は耐侵食性が低い
- 粘性土・砂質土の両方に適用できる工法が多い（土壌硬度の大小で判断）
- 適用のり面は 1：0.8～1：1.5 より緩勾配で、植栽工はその他の工法より勾配が緩い

■構造物工

- じゃかご工・石張工・ブロック張工は、他の工法と比べて単価が高い傾向
- 金網張工・繊維ネット張工・柵工・じゃかご工・プレキャスト枠工・吹付枠工・現場打コンクリート枠工・連続長繊維補強土工は、緑化基礎工と併用可
- 構造物工は、風化しやすい岩や粘着力のない土砂等で主に適用
- 吹付枠工や現場打コンクリート工は、膨張性・収縮性のある岩への適用の際には十分検討する必要あり

表 4.2.2 のり面保護工の種類

のり面緑化工	構造物工
①播種工 ②植栽工 ③苗木設置吹付工	①金網張工（緑化基礎工） ②繊維ネット張工（緑化基礎工） ③柵工（緑化基礎工） ④じゃかご工 ⑤プレキャスト枠工（緑化基礎工） ⑥モルタル・コンクリート吹付工 ⑦石張工 ⑧ブロック張り工 ⑨コンクリート張工 ⑩吹付枠工（緑化基礎工） ⑪現場打コンクリート枠工（緑化基礎工） ⑫石積み、ブロック積擁壁工 ⑬かご工 ⑭井桁組擁壁工 ⑮コンクリート擁壁工 ⑯連続長繊維補強土工（緑化基礎工） ⑰地山補強土工 ⑱グラウンドアンカー工 ⑲杭工

出典：JICA 調査団

表 4.2.3 のり面緑化工の概要

分類	主な出典	工種		概要	
				目的	施工方法
のり面緑化工（植生工）	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	播種工	種子散布工	浸食防止，凍上崩落抑制，植生による早期全面被覆	ハイドロシーダーと呼ばれる吹付機械を使用し、低粘度スラリー状の材料を厚さ1cm未満に散布
			客土吹付工		主にポンプを用いて高粘度スラリー状の材料を厚さ1～3cmに吹き付ける
			植生基材吹付工(厚層基材吹付工)		ポンプまたはモルタルガンを用いて材料を厚さ3～10cmに吹き付ける
			植生シートエ		全面に張り付け，目ぐし等で固定
			植生マットエ		のり面全体に展開し、アンカーピン、止め釘等で固定
			植生筋工	盛土で植生を筋状に成立させることによる浸食防止，植物の侵入・定着の促進	種子帯を土羽打ちを行いながら施工
			植生土のうエ	植生基盤の設置による植物の早期生育 厚い生育基盤の長期間安定を確保	植生土のうまたは植生袋を固定
			植生基材注入工		布製の袋をのり面全体に展開してのり肩部をアンカーピンで固定し，植生基材を専用機械を用いて注入したのち，袋体がのり面に密着するように全体をアンカーピンで固定
		植栽工	張芝エ	芝の全面張り付けによる浸食防止，凍上崩落抑制，早期全面被覆	全面に張り付ける
			筋芝エ	盛土で芝の筋状張り付けによる浸食防止，植物の侵入・定着の促進	切芝を一定間隔で張り付ける
			植栽工（樹木植栽工（植穴利用））	樹木や草花による良好な景観の形成	のり面に植穴を掘削し，樹木を植え付ける 必要に応じて改良土壌等で埋め戻す
			植栽工（樹木植栽工（編柵利用））		編柵を設けて客土して，樹木を植える
		苗木設置吹付工		早期全面被覆と樹木等の生育による良好な景観の形成	コンテナ苗木をのり面に固定し，その上から植生基材吹付工を施工

出典：JICA 調査団

表 4.2.4 のり面緑化工の材料コスト（国内）事例

分類	主な出典	工種		材料コスト(国内) 事例 建設物価2024.3 材料名 [ ]:メーカー	単価(円) [ ]:地域
のり面緑化工（植生工）	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	播種工	種子散布工	イタリアンライグラス バミューダグラス など	650円/kg[全国] 3,830円/kg[全国]
			客土吹付工	[Gソイル客土吹付用緑化基材 40L袋[イヨリグリーンコーポレーション] きよみユーキ3号 客土吹付用緑化基材 40L袋[清見コンポストセンター] ニューソイル7号 7mm以下 客土吹付用 40L袋[自然応用科学] フジミハイグリーン客土吹付用細粒(黒土入)1000L袋[富士見工業] ホートクファイバー客土吹付用(化学繊維入)10kg袋[富士見工業] など	7,00円/袋[近畿] 1,200円/袋[中部] 1,440円/袋[関東] 35,000円/袋[関東] 400円/kg[関東]
			植生基材吹付工(厚層基材吹付工)	グリーンファクター8号 種子肥料付き有機植生基材[日本植生]	300円/m²[関東]
			植生シートエ	肥料袋無 一重ネット 標準品 肥料袋無 一重ネット 環境品	400円/m² 720円/m²
			植生マットエ	肥料袋付(肥料袋間隔:40～50cm)二重ネット	1,230円/m²
			植生筋工	人工筋芝(種子帯)幅 7cm 人工筋芝(種子帯)幅 10cm 人工筋芝(種子帯)幅 15cm	13円/m[関東] 16円/m[関東] 26円/m[関東]
			植生土のう工	種子肥料付 幅40×長60cm	180円/枚[関東]
			植生基材注入工	グリーンファクター8号 種子肥料付き有機植生基材[日本植生]	300円/m²[関東]
		植栽工	張芝工	人工張芝ネット付 幅50-100cm 人工張芝ワラ付 幅100cm	220円/m²[関東] 260円/m²[関東]
			筋芝工	野芝 半土付き 高麗芝 半土付き など	550円/m²[東京] 550円/m²[東京]
			植栽工（樹木植栽工（植穴利用））	常緑種 低木 アオキ 高さ0.3×幅0.2m コンテナ径12cm 種類多	800円/本[東京]
			植栽工（樹木植栽工（編柵利用））	常緑種 低木 アオキ 高さ0.3×幅0.2m コンテナ径12cm 種類多	800円/本[東京]
			苗木設置吹付工	記載なし	記載なし

出典：JICA 調査団

表 4.2.5 のり面緑化工の材料コスト（国内）事例

分類	主な出典	工種		施工コスト（国内）事例 建設物価2024.3 工法名 [ ]：メーカー	単価（円） [全国]
のり面緑化工（植生工）	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	播種工	種子散布工	ロンタイ吹付工事 種子吹付工法[ロンタイ]	230円/m²[全国]
				緑化マルチング工(種子あり)L=80m以内 T=100mm	3,780/m²[全国]
			客土吹付工	NK式客土吹付緑化工法 T3cm 岩盤[日本緑研]	4,591円/m²[全国]
				ストローマット緑化工 わら伏客土吹付・金網併用[飛鳥]	4,402円/m²[全国]
				テンソイル客土吹付工 CS-30T仕様 3cm肥料袋付ネット(3型)[天龍建設]	5,078円/m²[全国]
			植生基材吹付工(厚層基材吹付工)	サングリーン工法T3cm 金網張含む[陽光建設]	4,660円/m²[全国]
				キャトルパン工法T3cm 菱形金網張工含む[ライト工業]	6,565円/m²[全国]
			植生シート工	記載なし	記載なし
			植生マット工	ストローシート50工 金網付植生マット 環境品 SS-50 1×10m施工[前田工繊]	3,619円/m²[全国]
			植生筋工	記載なし	記載なし
			植生土のう工	記載なし	記載なし
			植生基材注入工	バイオ・オーガニック工法 客土注入マット工法 BO-30[西岡国昭建設]	7,280円/m²[全国]
		植栽工	張芝工	記載なし	記載なし
			筋芝工	記載なし	記載なし
			植栽工（樹木植栽工（植穴利用））	記載なし	記載なし
			植栽工（樹木植栽工（編柵利用））	グリーンポケット工法 標準=P4ポケットタイプ4型[高特]	10,630円/m²[全国]
		苗木設置吹付工		苗木設置吹付工[東興ジオテック] ※建設物価に記載なし	記載なし

出典：JICA 調査団

表 4.2.6 のり面緑化工の主な材料

分類	主な出典	工種		材料			
				基材 / 形態	浸食防止材または接合材	種子 or 植物	肥料
のり面緑化工（植生工）	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	播種工	種子散布工	木質繊維（ファイバー）	粘着材，被覆材，高分子系樹脂	草本類	高度化成肥料
			客土吹付工	現地発生土，砂質土，パーク堆肥，ピートモス等	高分子系樹脂，合成繊維等	草本類，木本類	緩効性肥料（山型），PK化成肥料 高度化成肥料（草本導入時）
			植生基材吹付工(厚層基材吹付工)	現地発生土，砂質土，パーク堆肥，ピートモス等	高分子系樹脂，セメント，合成繊維等	草本類，木本類	緩効性肥料（山型），PK化成肥料 高度化成肥料（草本導入時）
			植生シート工	種子，肥料等を接着したシート状のもの	–	外来，在来草本類の種子	化成肥料
			植生マット工	種子等を直接つけたネットに間隔を持たせて肥料袋を装着	–	木本類の種子 外来，在来草本類の種子	化成肥料
			植生筋工	種子，肥料等を装着した繊維帯	–	外来，在来草本類の種子	化成肥料
			植生土のう工	繊維袋に土または改良土，種子等を詰めたもの	–	木本類の種子 外来，在来草本類の種子	堆肥，PK化成肥料，緩効性肥料
			植生基材注入工	種子，肥料，植生基材等を現場で注入した袋	–	木本類の種子 外来，在来草本類の種子	緩効性（山型），PK化成 化成肥料（草本適用）
		植栽工	張芝工	–	–	切芝（ノシバ） ロール芝（外来草本，ノシバ）	化成肥料，緩効性肥料
			筋芝工	–	–	切芝（ノシバ）	化成肥料，緩効性肥料
			植栽工（樹木植栽工（植穴利用））	盛土材が不良な場合，表土利用や土壌改良資材を混入	–	成木，苗木	緩効性の化成肥料
			植栽工（樹木植栽工（編柵利用））	客土（表土利用や土壌改良資材の利用）	–	成木，苗木	緩効性の化成肥料
		苗木設置吹付工		人工土壌または有機基材等及び浸食防止材	–	苗木，草本種子	緩効性の化成肥料

出典：JICA 調査団

表 4.2.7 のり面緑化工の耐侵食性と適用条件

分類	主な出典	工種		耐浸食性	適用条件			
					耐降雨強度	期間	地質・土質	勾配
のり面緑化工（植生工）	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	播種工	種子散布工	–	10mm/hr程度	1～2ヶ月程度（発芽・生育するまで）	主に土砂（土壌硬度23mm以下）の盛土のり面	1:1.0より緩勾配
			客土吹付工	–	10mm/hr程度	1～2ヶ月程度（発芽・生育するまで）	同上及び礫質土の盛土のり面	1:0.8より緩勾配
			植生基材吹付工(厚層基材吹付工)	–	10～100mm/hr程度	1～10年程度	同上及び岩等	1:0.5より緩勾配 主に切土のり面に使用
			植生シート工	高い	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.5より緩勾配
			植生マット工	高い	–	–	同上及び硬質土砂，岩	1:0.8より緩勾配
			植生筋工	低い	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.5より緩勾配
			植生土のう工	高い	–	–	肥料分の少ない土砂， または硬質土砂，岩	1:0.8より緩勾配
			植生基材注入工	高い	–	–	硬質土砂，礫質土，及び岩	1:0.8より緩勾配
		植栽工	張芝工	比較的高い	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.0より緩勾配
			筋芝工	低い	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.5より緩勾配
			植栽工（樹木植栽工（植穴利用））	低い（種子散布工の併用により向上）	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.5より緩勾配
			植栽工（樹木植栽工（編柵利用））	低い（種子散布工の併用により向上）	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:1.2より緩勾配
			苗木設置吹付工	高い	–	–	粘性土（土壌硬度23mm以下） 砂質土（土壌硬度27mm以下）	1:0.8より緩勾配

出典：JICA 調査団

表 4.2.8 構造物工の概要

分類	主な出典	工種	概要	
			目的	施工方法
構造物工	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	金網張工[緑化基礎工]	生育基盤の保持や流下水によるのり面表層部のはく落の防止	のり面整形後，金網を張り付ける
		繊維ネット張工[緑化基礎工]		のり面整形後，繊維ネットを張り付ける
		柵工[緑化基礎工]	のり面表層部の浸食や湧水による土砂流出の抑制	のり面に金属杭や木杭等を打ち込み，これにそだ，竹またはプラスチック製のネット等を組み込んで施工
		じゃかごエ		のり面整形後，かごを組立て・敷設し，中詰めする
		プレキャスト枠工[緑化基礎工]	中詰の保持と浸食防止	のり面を平坦に仕上げた後に部材をのり面に密着するように定着，すべらないように積み上げ
		モルタル・コンクリート吹付工	風化，浸食，表流水の浸透防止	のり面整形、ラス金網張付，水抜き孔設置後，モルタルでは厚さ8～10cm，コンクリートでは10～20cmを標準として吹き付ける
		石張工		基礎を作り，胴がい及び尻がいにて張石を固定し，胴込めコンクリート，裏込めコンクリート及び裏込め材を充填し，天端付近に著しい空隙が生じないように施工する
		ブロック張工		
		コンクリート張工	のり面表層部の崩落防止，多少の土圧を受ける恐れのある箇所の土留め，岩盤はく落防止	のり面整形後，直接のり面にコンクリートを打設 厚さは20～80cm程度
		吹付枠工[緑化基礎工]		凹凸を少なくする下地吹付けを行い，湧水・排水処理を行う 型枠は組立時に補強・養生する
		現場打ちコンクリート枠工[緑化基礎工]		枠は鉄筋コンクリートの現場打ちとし，枠内は石張，ブロック張，コンクリート張，モルタル吹付あるいは植生等により保護する
		石積，ブロック積擁壁工	ある程度の土圧に対抗して崩壊を防止	基礎砕石敷設後，基礎コンクリートを打設する 石材やブロックを積み，裏に裏込めコンクリート，砕石，胴込めコンクリートを充填 天端コンクリートを打設
		かごエ		のり面整形後，かごを組立て・敷設し，中詰めする
		井桁組擁壁工		のり面に鉄筋コンクリート製のブロック桁を井桁状に組み，これを積み上げ，その内部に栗石等を中詰めする
		コンクリート擁壁工		床掘り後，基礎工として基礎砕石・均しコンクリートなどを敷設し，躯体となるコンクリート擁壁を打設する 擁壁の裏込めは良質な材料を用いて適切に締固める
		連続長繊維補強土工[緑化基礎工]		連続長繊維を混入した吹付により補強，かつその表面を植生基材吹付工等で全面緑化
		地山補強土工	すべり土塊の滑動力に対抗して崩壊を防止	鉄筋等の補強材を地山に挿入し，のり面や斜面全体の安定度を高める
		グラウンドアンカーエ		削孔，テンドン組み立て・挿入，アンカー体注入，緊張・定着，頭部処理
		杭工		あらかじめすべり面を切って鉛直に削孔した大口径のボーリング孔に、鋼管やH鋼などを挿入

出典：JICA 調査団

表 4.2.9 構造物工の材料コスト（国内）事例

分類	主な出典	工種	材料コスト（国内）事例	
			メーカー・仕様	単価（円） 建設物価2024.3
構造物工	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	金網張工［緑化基礎工］	菱型金網（亜鉛メッキ2.0×50mm Z-GS2）	320円/m^2［関東］
		繊維ネット張工［緑化基礎工］	繊維ネット 肥料袋付 二重ネット 植生マット（フルボストローFSS-Ⅱ）（肥料袋付き）	920円/m^2［関東］ 1,100円/m^2
		柵工［緑化基礎工］	セトロン編柵D1-050目つぶし［瀬戸内金網商工］ 土留鋼板 PSW1845 0.6×0.435×1815mm ［ニッケンフェンスアンドメタル］	4,240円/m［全国］ 4,150円/枚［全国］
		じゃかご工	角形パネルタイプ GS-3 3.2mm×10×40×120cm 角形パネルタイプ アルミ合金・GS-7 4mm×13×50×120cm	4,440円/m［関東］ 6,180円/m［関東］
		プレキャスト枠工［緑化基礎工］	法面材（プラスチック製）［前田工織］	3,090円/m^2
		モルタル・コンクリート吹付工	モルタル（配合1:1） レディミストコンクリート（普通）（18-18-25(20)）	30,300円/m^3［東京17区生コン］ 19,800円/m^3［東京17区生コン］
		石張工	なべた間知石（自然石） 300×400×350mm［肥後Hkコンクリート工業］	2500円/個
		ブロック張工	コンクリート積みブロック 滑面 250×400×350mm コンクリート積みブロック 滑面 300×450×350mm	700円/個（東京） 800円/個（東京）
		コンクリート張工	レディミストコンクリート（普通）（18-18-25(20)）	19,800円/m3［東京17区生コン］
		吹付枠工［緑化基礎工］	NKフレーム工法 NK-200［西日本金網工業］ ヨン・フレーム工法 FT-200［福岡帝国金網工業］	2,430円/m［全国］ 2,320円/m［全国］
		現場打ちコンクリート枠工［緑化基礎工］	フィットフレーム工法 FIT30N-480 角度調整なし	316,900円/基
		石積，ブロック積擁壁工	コンクリート積みブロック 滑面 250×400×350mm コンクリート積みブロック 滑面 300×450×350mm なべた間知石（自然石） 300×400×350mm［肥後Hkコンクリート工業］	700円/個（東京） 800円/個（東京） 2500円/個
		かご工	角形パネルタイプ GS-3 3.2mm×10×40×120cm 角形パネルタイプ アルミ合金・GS-7 4mm×13×50×120cm	4,440円/m［関東］ 6,180円/m［関東］
		井桁組擁壁工	記載なし	
		コンクリート擁壁工	CLP-3 道路土工擁壁工指針準拠 H1000×W900×L2000mm［千葉窯業］ RPCA-ロードウォールLR-1 H1000×L2000mm［丸栄コンクリート工業］	49,700円/個［東京］ 32,100円/個［東京］
		連続長繊維補強土工［緑化基礎工］	長繊維混入補強土工（ロービングウォール工法 t＝20cm）［ライト工業］ 長繊維混入植生基材吹付（ロービングソイル工法 t=3cm）［ライト工業］ 長繊維混入植生基材吹付（ロービングショット工法 t=5cm）［ライト工業］	9,345円/m^2 3,677円/m^2 6,925円/m^2
		地山補強土工	異形棒鋼ロックボルトD19 SD345（メッキ付き） 異形棒鋼ロックボルトD22 SD345（メッキ付き） Geoベルト plus（材料費のみ）［日鉄建材株式会社］	1,240円/m^2 1,670円/m^2 7,637円/m^2
		グラウンドアンカー工	VSLアンカー工法（材料費）［VSL JAPAN株式会社］ EHDアンカーHP工法（材料費）［VSL JAPAN株式会社］	1,735,263円/10.0m(:13.32本) 1,457,581円/10.0m(:13.32本)
		杭工	プレテン式高強度プレストレストコンクリート杭 A種 300×60mm×7m 外殻鋼管付コンクリートパイル 600×90mm×6m SKK400 ts6	27,400円/本［東京］ 219,000円/本［東京］

出典：JICA 調査団

表 4.2.10 構造物工の施工コスト（国内）事例

分類	主な出典	工種	施工コスト（国内）事例	
			メーカー・仕様	単価（円） 建設物価2024.3
構造物工	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	金網張工[緑化基礎工]	サングリーン工法T3cm 金網張含む[陽光建設] キャトルバン工法T3cm 菱形金網張工含む[ライト工業] 菱型金網張工	4,660円/m^2 [全国] 6,565円/m^2[全国] 1,550円/m^2
		繊維ネット張工[緑化基礎工]	フルボ酸入り植生マット工法	2,042円/m^2
		柵工[緑化基礎工]	記載なし	記載なし
		じゃかご工	ストーンパック(NETIS登録番号 KK-170034-A)	35,600円/m(壁高1.8m) 69,000円/m(壁高3.6m)
		プレキャスト枠工[緑化基礎工]	ハイブロック工[前田工繊]（標準歩掛から建設物価2024.3単価で算定）	5,505円/m^2(中詰工除く)
		モルタル・コンクリート吹付工	ポーラスショット工法 t=10cm [PRM研究会] ポーラスショット工法 t=15cm [PRM研究会] ケミコン吹付工 t=4cm[株式会社飛鳥] エコスロープ工法[岡部株式会社]	9,062円/m^2 12,742円/m^2 7,786円/m^2 7,786円/m^2
		石張工	AZOT-STONE(アゾットストーン)工法[株式会社あずみ野石産]	31,261円/m^2
		ブロック張工	トレスロック工法(大型ブロック張)[株式会社アドヴァンス] ロックル[株式会社高見沢]	18,800円/m^2 23,037円/m^2
		コンクリート張工	記載なし	記載なし
		吹付枠工[緑化基礎工]	フリーリング法枠工標準型 (植生基材t=5cm)施工規模500 スターディフレーム工法TYPE3[ライト工業]	15,429円/m^2 [全国] 16,016円/m^2
		現場打ちコンクリート枠工[緑化基礎工	フィットフレーム工法	記載なし(積算資料あり)
		石積，ブロック積擁壁工	記載なし	記載なし
		かご工	ストーンパック(NETIS登録番号 KK-170034-A)	35,600円/m(壁高1.8m) 69,000円/m(壁高3.6m)
		井桁組擁壁工	記載なし	記載なし
		コンクリート擁壁工	カチオンフレーム工法(基礎工除く)[株式会社ライズ] フレーム式型枠工法「ファンデル」H=1.0m[環境工学株式会社]	12655円/m^2 37,530円/m^2
		連続長繊維補強土工[緑化基礎工]	ロービングウォールⅡ工法	15,631円/m^2(人力39日) 16,108円/m^2(機械施工31日)
		地山補強土工	DGロックボルト工法[株式会社ダイチ] Geoベルト plus[日鉄建材株式会社] アンカーネット工法[株式会社トーエス]	18,094円/m^2 14,208円/m^2 43,261円/m^2
		グラウンドアンカー工	記載なし	記載なし
		杭工	記載なし	記載なし

出典：JICA 調査団

表 4.2.11 構造物工の留意点・併用する植生工の例

分類	主な出典	工種	留意点	併用する植生工の例
構造物工	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	金網張工[緑化基礎工]	網目が小さすぎたり，機能が長期間持続するものは，木本類の成長に支障となる場合あり	客土吹付工 植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
		繊維ネット張工[緑化基礎工]	剛性がないので，凍上や落石への対応が難しい	
		柵工[緑化基礎工]	将来的な機能確保のため木本類の導入（播種工，植栽工）を推奨	植生シート工，植生マット工 植栽工，客土吹付工 植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
		じゃかご工	のり面・斜面からの流出土砂によってかごが目詰まりを起こす恐れのある場合には，周囲を砂利等で保護する	記載なし
		プレキャスト枠工[緑化基礎工]	のり面に発生する土圧には対応できないので，はらみ出し，凍上等を生じる場合は避ける	植生土のう工 客土吹付工 植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
		モルタル・コンクリート吹付工	吹付用の細骨材は細粒分を多く含まない良質な細骨材を用いる 湧水がある場合はモルタル吹付は基本避ける	記載なし
		石張工	湧水等がある場合，裏込めする練張りの場合は不同沈下に備え，10～20m毎に継手を設ける必要がある	記載なし
		ブロック張工		記載なし
		コンクリート張工	原則として土圧等の作用しない箇所に用いる	記載なし
		吹付枠工[緑化基礎工]	膨張性または収縮性のある岩，あるいは，凍結深が深くなる土砂のり面への適用時には十分検討する必要あり	植生土のう工 客土吹付工 植生基材吹付工 （厚層基材吹付工）
		現場打ちコンクリート枠工[緑化基礎工]		
		石積，ブロック積擁壁工	裏込め材は擁壁前面の地山線程度まで設置し，裏込め材直下から基礎コンクリート底面の間に不透水層等を設置することが望ましい	記載なし
		かご工	のり面・斜面からの流出土砂によってかごが目詰まりを起こす恐れのあある場合には，周囲を砂利等で保護する	記載なし
		井桁組擁壁工	適用高さは15m程度以下を基本	記載なし
		コンクリート擁壁工	床掘り時に基礎地盤をゆるめたり，必要以上に掘削しないこと 縦壁は出来るだけ同じ高さでコンクリートを打ち込む	記載なし
		連続長繊維補強土工[緑化基礎工]	湧水や補強土背面の流下水の処理を目的として，排水材をあらかじめ設置する	植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
		地山補強土工	補強材頭部と地山境界付近において表流水により腐食する恐れがあるので，補強材頭部をコンクリートで被覆することが望ましい	記載なし
		グラウンドアンカー工	アンカー体はできる限り風化の進んでいない地盤に設置するのが望ましい アンカー体は推定されるすべり面より深く設置する	記載なし
		杭工	傾斜が急なのり面や斜面では杭背面（谷側）の受働抵抗が十分には期待できないことがあるので注意を要する	記載なし

出典：JICA 調査団

表 4.2.12 構造物工の適用条件

分類	主な出典	工種	適用条件		
			緑化の必要性	地質・土質	勾配
構造物工	道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年）	金網張工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		繊維ネット張工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		柵工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		じゃかご工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		プレキャスト枠工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	記載なし	1:1.0より緩勾配
		モルタル・コンクリート吹付工	なし	風化しやすい岩，表面からの浸透流により不安定化しやすい土質等	記載なし
		石張工	なし	粘着力のない土砂，泥岩等の軟岩，崩れやすい粘性土等	1:1.0より緩勾配
		ブロック張工	なし	粘着力のない土砂，泥岩等の軟岩，崩れやすい粘性土等	1:1.0より緩勾配
		コンクリート張工	なし	割目節理の多い岩盤・崖錐層などのモルタル吹付が困難な場合	1:0.5～1:1.0程度
		吹付枠工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	亀裂の多い岩盤のり面，早期に保護する必要のあるのり面	凹凸のあるのり面でも施工可能
		現場打ちコンクリート枠工[緑化基礎工]	必要に応じて実施	湧水を伴う風化岩や長大のり面等	記載なし
		石積，ブロック積擁壁工	必要に応じて実施	背面の地山が締まっている切土，土圧が小さい場合等	1:0.3～1:0.5
		かご工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		井桁組擁壁工	必要に応じて実施	基礎地盤が良好で，擁壁背面が安定した地山	1:0.3～1:0.5
		コンクリート擁壁工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		連続長繊維補強土工[緑化基礎工]	原則必要	切土のり面，自然斜面 具体的な地質・土質の記載なし	1:0.8より緩勾配
		地山補強土工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		グラウンドアンカー工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし
		杭工	必要に応じて実施	記載なし	記載なし

出典：JICA 調査団

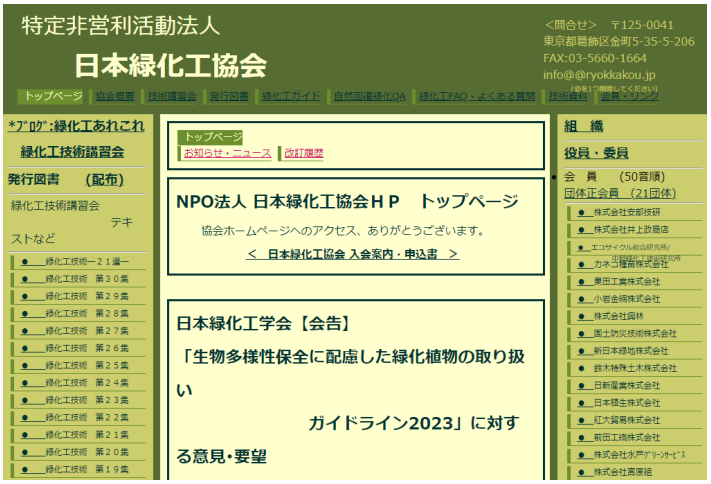
4.2.4.2 本邦ののり面処理技術の海外展開事例

本項では、本邦で開発されたのり面処理技術の海外展開事例について調査した。

(1) 協会ヒアリング

協会ヒアリングは、以下の協会を対象にアンケートを実施した。なお、フリーフレーム協会、法面対策工法協会はアンケートを辞退した。

- NPO 法人　日本緑化協会
- 一般社団法人　全国特定法面保護協会



出典：日本緑化協会 HP



出典：全国特定法面保護協会 HP

図 4.2.4 アンケートを実施した協会

ヒアリングの内容を表 4.2.13 に示す。ヒアリングは、海外展開事例の基本情報の他、苦労した点、問題点・課題、今後の予定等についてもヒアリングした。

表 4.2.14、表 4.2.15 に「NPO 法人　日本緑化工法協会」へのヒアリング結果概要（回答数 7 件）を、表 4.2.16、表 4.2.17 に「一般社団法人　全国特定法面保護協会」へのヒアリング結果概要（回答数 4 件）をそれぞれ示す。海外展開したことがある企業は 30%～50%程度となり、海外展開した国は、主に東アジア、東南アジアが多かった。展開した工法は、いずれも「のり面植生工」であり、「構造物工」を展開した事例は確認できなかった。開発途上国への展開事例であることを踏まえると、費用の制約があり、「構造物工」より費用を抑えられる「のり面植生工」の需要が高いものと推察される。対象のり面は切土・盛土の両方が確認されたが、盛土の事例は少なかった。適用土質は一般的な土質の他、ラテライトの事例が確認された。海外に適用するにあたっての苦労した点としては、人力施工が基本で、本邦の機械施工技術がそのまま適用できない問題があることが確認された。海外展開していく上での課題としては、本邦の種子製品を海外に持ち出すことが難しい点、現地で適用できる機械の選定、人材不足等が挙げられた。

表 4.2.13 ヒアリング項目一覧

No.	ヒアリング内容
1	企業名
2	「のり面保護工」を海外展開した事例の有無
3	海外展開した国
4	海外展開した時期
5	海外に適用した「のり面保護工」の工法名
6	海外に適用した「のり面保護工」の日本での単価（材料・施工）
7	海外に適用したのり面の種類（盛土のり面・切土のり面）
8	のり面の地質・土質情報
9	「のり面保護工」を展開するにあたり、苦労した点、問題点・課題、解決策、現在はどうなっているか
10	今後「のり面保護工」を海外展開していく予定の有無や海外展開していくにあたっての現在の制約・課題等

出典：JICA 調査団

表 4.2.14 ヒアリング結果概要[その1]（NPO 法人 日本緑化工法協会）

海外展開事例の有無	海外展開した国	海外展開した工法	対象のり面	対象土質
全体の約 30%	A:台湾 (2013/4～2014/6)	A:厚マット工 （国内単価： 6,000 円～7,000/m^2）	切土のり面※	A：砂礫混じり泥質土
	B:ブータン (2015/3～2016/8)	B:埋土種子 利用型厚マット工 （国内単価： 6,000 円～7,000/m^2）	切土のり面※	B：砂礫混じり泥質土

※切土のり面であるが、緑化工法は盛土のり面でも活かせると考えられることから対象とした

出典：JICA 調査団

表 4.2.15 ヒアリング結果概要[その2]（NPO 法人 日本緑化工法協会）

苦労した点	海外展開していく上での課題 等
・海外の多くは、国内で標準的に行っている機械化施工が出来る環境になく、人力施工となる場合が多い。 ・現地での種子の調達に苦労 ・埋土種子を採取することに苦労	・採算性 ・吹付機や吹付材料の運搬、現地での調達が困難 ・植生マット工のような張りものは、柔軟に対応できそうだが、コスト的に現地で生産できることが前提 ・野生動物による食害も検討する必要がありそう。 ・標高 2000m、3000m での緑化を確認できたが、現地で利用できる単価を考慮し、いかに資材を選定していくかが課題 ・種子が持ち出せないため、種子無しの製品を海外のグループ会社（中国、タイ）を通じて、現地で製造販売している。

出典：JICA 調査団

表 4.2.16 ヒアリング結果概要[その1]（一般社団法人 全国特定法面保護協会）

海外展開事例の有無	海外展開した国	海外展開した工法	対象のり面	対象土質
全体の約 50%	A：ラオス (2003～2005) ※国交省途上国建設技術開発促進事業として実施	A: （グラスマット付）植生筋工＋石礫被覆工	切土のり面※	A：ラテライト
	B：中国 韓国 台湾 （期間不明）	B:植生マット工	切土のり面※ 盛土のり面	B：切土・盛土 （土質不明）

出典：JICA 調査団

※切土のり面であるが、緑化工法は盛土のり面でも活かせると考えられることから対象とした

表 4.2.17 ヒアリング結果概要[その2]（一般社団法人 全国特定法面保護協会）

苦労した点	海外展開していく上での課題 等
・ラオス国では人力施工や作業員がロープをしないなど前提条件があり、経済的制約など国の特徴に合わせた対策工を検討する必要があり ・現地発注者に製品を理解してもらうために苦労した	・案件次第で海外展開を検討する段階、情報収集程度 ・海外での工事経験がある人材がいない ・海外展開の予定はない ・日本の種子等植物材料を持ち込めない （日本緑化工協会と同じ意見）

出典：JICA 調査団

(2) 文献調査

文献調査は、JICA 案件化調査・普及促進事業において海外展開している企業を複数ピックアップし、表 4.2.18 に示す通り調査した。BSC 工法は、（国研）土木研究所と日本工営（株）が共同開発した土壌侵食防止工法であり、侵食防止植生シートは、ロンタイ（株）が開発した不織布・保水剤・種子・肥料を重ね合わせた植生シートである。

表 4.2.18～表 4.2.19 に文献調査結果一覧を、図 4.2.5～図 4.2.7 に文献調査結果の概要をそれぞれ示す。いずれの企業においても、普及に向けて鋭意取り組んでいるところであるが、主に「現地技術基準への組み入れ」、「現地代理店の取得・選定、輸入手続き」、「現地での適用性（実証実験）」など技術のみでなく、技術以外の課題が存在していることが確認された。実績としては、BSC 工法は販売実績無し、侵食防止植生シートはインドネシア、ベトナム、パラオでの販売実績を有している。

表 4.2.18 文献調査一覧（JICA 案件化調査・普及促進事業）

案件名・企業名	工法・製品名	
ネパール国土壌藻類を活用した環境配慮型斜面復旧技術普及促進事業（2018/12-2021/2） ・日本工営(株)	BSC 工法 （バイオロジカル・ソイル・クラスト）	土木研究所と日本工営が特許を所有する土 壌侵食防止工法である。BSC 工法は、全世界に生息するコスモポリタン種である土壌藻類を土壌表面に散布することで、BSC の早期形成を促し、侵食及び濁水発生防止を図る。
マレーシア国 BSC 工法を用いた上水セクター濁水改善案件化調査（2022/6-2023/7） ・日本工営(株)		
ベトナム国道路のり面の表層崩壊を抑制するのり面保護工技術の案件化調査（2020/2-2022/5） ・ロンタイ(株)	侵食防止植生シート （キルケット）	国内で特許を所有し雨水の排出に寄与する 不織布と保水剤、のり面の緑化に寄与する種子と肥料を重ね合わせたシート

出典：JICA 調査団

表 4.2.19 文献調査結果一覧(ビジネス展開にあたっての課題と現在の状況)

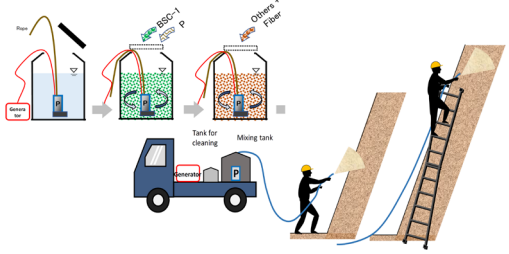
案件名・企業名	ビジネス展開にあたっての課題	現在の状況
ネパール国土壌藻類を活用した環境配慮型斜面復旧技術普及促進事業（2018/12-2021/2） ・日本工営(株)	・技術基準への組み入れ ・普及向上※植生侵入促進工法の普及率が極めて低い ・現地代理店候補の選定と輸入手続き等	新型コロナウイルス世界的蔓延と重なり、BSC ビジネス展開が停止中
マレーシア国 BSC 工法を用いた上水セクター濁水改善案件化調査（2022/6-2023/7） ・日本工営(株)	・信用できる現地代理店の獲得 ・BSC 工法の認知度向上	・道路局へ技術登録、農業局・植物検疫のための委員会での説明を実施中 ・並行して現地代理店候補と代理店契約交渉を実施中
ベトナム国道路のり面の表層崩壊を抑制するのり面保護工技術の案件化調査（2020/2-2022/5） ・ロンタイ(株)	・技術基準への組み入れ ・現地実証実験 ・本邦受入技術セミナー （本調査では実現不可）	現時点で JICA 民間連携事業はないが、今後展開される可能性あり

出典：JICA 調査団

No.	1	プロジェクト名	ネパール国 土壌藻類を活用した環境配慮型斜面復旧技術普及促進事業	
企業名	株式会社日建総本社、日本工営株式会社		発注機関	独立行政法人　国際協力機構（JICA）
期間	2018年12月～2021年2月		対象国	ネパール国
工法名	BSC（バイオロジカル・ソイル・クラスト）工法　［特許：第3718203号、第4412628号、NETIS：OK-170002-VR、国際特許：第6734500号］			
適用土壌	シワリク層（礫混じり土）：土壌の侵食により礫分が抜け落ち、連動して侵食が拡大し崩壊につながりやすい土質			

工法概要

BSC工法は、土壌侵食防止工法のうち自然植生侵入促進工法の一工法であり、日本の国立研究開発法人土木研究所と日本工営株式会社が特許を所有する土壌侵食防止工法である。BSC工法は、全世界に生息するコスモポリタン種である土壌藻類を土壌表面に散布することで、BSCの早期形成を促し、侵食及び濁水発生防止を図るものである。この結果、植生の生育基盤である表層土壌が安定することから、崩壊地等では周辺植生の侵入が促進され、植生の早期復旧を促すとともに、侵食により生じた既往緑化工の緑化不良箇所への補修対策としても活用できる。本工法種において、BSCを人為的に早期形成させるために資材（藻類）を散布するが、この資材は、日健総本社株式会社により生産されている。



資材	BSC-1 資材①＋資材②	肥　料 N 窒素肥料（尿素）	P リン酸肥料（リン酸二アンモニウム）	K カリウム肥料	Mg マグネシウム肥料	ファイバー サバイグラスファイバー	水
製品写真等							－
成分表(%) N-P-K-Mg	（日本製）	46-0-0-0	18-46-0-0	0-0-60-0	0-0-0-9.6	－	－
使用量 g/㎡	①4+②10 ＝14	15	20	15	50	20（乾燥）	(2ℓ)
備　考	日健総本社製	ネパールの商店（カトマンズ市内の肥料販売店）で購入				市内の紙工場等で購入可能	河　川水

市販の吹付用ファイバーがない場合は、比較的安価で入手できる製紙用ファイバーで代用する。

目的と主な成果

■目的

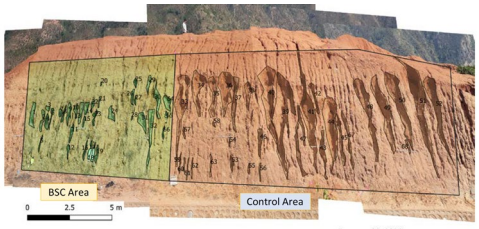
ネパール国のシンズリ道路を事業対象としてBSC資材（BSC-1）の販路拡大を目指すための基礎を形成

■主な成果

・実施機関である道路局に担当部署において、BSC工法の有効性が認識されるとともに、歩掛り（Norm）へ組み入れるための検討が開始された。また、ADB、世銀等のドナー機関においては、特に国立公園内の道路に対して実施する意向が示された。

・6ヶ所のデモサイトで計510m^{2}の斜面にBSC工法を実施した。その後、10ヶ月にわたり、BSC工法の成果についてモニタリングを行った。デモ実施後1か月後に豪雨により、多くの道路法面が崩壊し、土砂が道路に流出したが、BSC工法を実施した斜面においては、多少の侵食はあったものの、対照区と比較して、その侵食防止の効果が高かったことが実証された。

・3回のワークショップを開催し、実施機関、ドナー機関関係者等のBSC工法に対する理解が深まった。また、休眠しているとはいえ生きた植物（藻類）であることから、資材を輸入する際には植物検疫を経る必要があるが、ネ国での植物検疫の手続が確認された。資材を輸入する際の代理店については、代理店候補企業に対して説明を行い、可能性についての理解は得た。



①赤土（pH6～7）。勾配 30～40°。 ②乾燥が厳しく、また種子供給源が少ない箇所における適用性の確認。	・2019年7月の豪雨の影響の差が BSC 区と対照区で大きく生じ、BSC による侵食防止効果がはっきりみえる。 ・豪雨前後の写真解析による比較では、BSC 区は面積、侵食量共に2倍にとどまったのに対し、対照区では面積が4倍、侵食量は12倍に増加している。 ・土量にして、BSC区は6から 14（m^3/1000m^2）の増加、対照区は9から 120 の増加である。	・BSC 区では BSC（藻類）の発達が顕微鏡で確認できたが対照区では確認できなかった。 ・デモ4は土壌・地形・気象条件が大変厳しく、周辺植生が大変乏しい。このため道路開設工事完了後 4 年間以上、草本すら何も生えなかった箇所である。 ・しかし BSC 区では草本の侵入があり、対照区ではほとんどない。数量は少ないが、ゼロからの回復としては大変な変化であり、大きな効果があったと判断される。

同プロジェクト完了報告書より一部抜粋

現在の状況、ビジネス展開へ向けた知見および今後の課題

■現在の状況

新型コロナウイルスの影響により、2020年4月～9月までプロジェクト停止となり、同プロジェクト終了間際に担当者のコロナ感染等により、ネパール国でのBSCビジネスは停滞している。

■ビジネス展開へ向けた現地状況を踏まえた知見

ネパール国の法面造成工事では、日本国のように転圧して平滑に仕上げることはせず、縦方向に重機のバケットの爪痕が残るような仕上げをすることが一般的であることが確認された。この場合、施工面に必ず凹凸が付くことから、日本国内で利用されている侵食防止シートや植生シートは背面に隙間ができ、シート裏が侵食されたり、シートが浮いて植生が活着困難になることから、適用が難しい。しかし、BSC工法は、ラス張り等で支持しなく良い吹付工法であり、このような凹凸のある地表面にも対応できる。このように、BSC工法は、ネパール国の工事特性にも即した手法であることが確認できた。

■今後の課題

・ネパール国技術基準への組み入れ
・ネパール国での普及向上　※植生侵入促進工法の普及率が極めて低い
・現地代理店候補の選定と輸入手続き 等



同プロジェクト完了報告書より一部抜粋

出典：JICA 調査団

図 4.2.5　文献調査結果概要［ネパール国/BSC 工法］

No.	2	プロジェクト名	マレーシア国 BSC工法を用いた上水セクター濁水改善案件化調査	
企業名	株式会社日建総本社、日本工営株式会社		発注機関	独立行政法人　国際協力機構（JICA）
期間	2022年6月～2023年7月		対象国	マレーシア国
工法名	BSC（バイオロジカル・ソイル・クラスト）工法　［特許：第3718203号、第4412628号、NETIS：OK-170002-VR、国際特許：第6734500号］			
適用土壌	具体名称なし。鉱山跡地と記載。			

工法概要

BSC 工法は、人工培養した土壌侵食防止効果の高い土壌藻類を肥料・ファイバーと水に混合して斜面に吹き付けることでBSC を人工的に繁茂させ、斜面が豪雨によって侵食されることを防ぎ、かつ、周辺の植生が入り易い環境を整える工法である。BSC 工法は、日本工営と国立行政法人土木研究所の侵食防止に関する共同特許を元に開発された技術である。BSC 工法に使用する資材BSC-1 という商品名）は日健総本社が開発したもので、特定の土壌藻類を培養し、自然乾燥させたものである。これを施工現場に運搬して使用する。
BSC工法は、従来工法と比較して、凸凹 な斜面にも付着しBSC を形成するため、土工事とラス網等を張る作業が不要である。



BSC工法イメージ　同プロジェクト完了報告書より一部抜粋

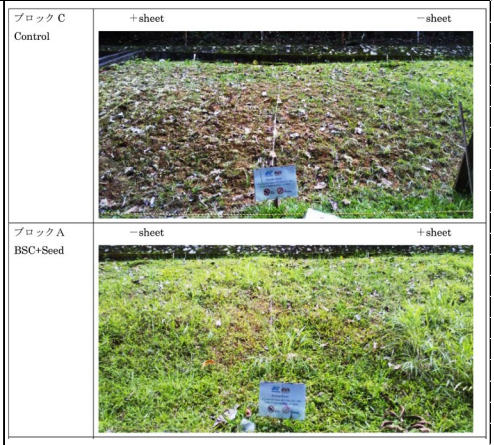
目的と主な成果

■目的

BSC 工法の実演により、マ国天然資源・環境・気候変動省（旧環境・水省：ASA）灌漑局並びに関係省庁の関係者に工法の実態、実施の容易さ、効果を実際に目に見える形で示すことにより、BSC 工法への理解を深め、BSC 工法採用の機運を高める。同時にBSC 工法採用によるBSC 資材やBSC 工法を担う現地施工業者などの現地市場の確認、現地代理店候補の検討等により、今後のビジネス展開の足掛かりをつくる。

■主な成果

・BSC ビジネスに関し、植物検疫以外の制約がないことを確認
・潜在的主要顧客であるDID（砂防関連）、JKR（道路法面）、JMG（鉱山開発跡地）のニーズを確認
・現地代理店を想定した2024 年～2028 年の収支計画を策定
・種子吹付工不成績地へのBSC 工法の効果が定性的に確認（右写真）
・マレーシア国JKR から研究所と協働で試験施工をする提案を受けた
・DID（砂防関連）では山地崩壊対応、JKR では道路法面対応、JMG では鉱山跡地復旧対応として、実証試験施工、小規模工事を経て中大規模工事への参入を計画した。



BSC工法のデモ実施による効果（施工後約6カ月後）
同プロジェクト完了報告書より一部抜粋

現在の状況、ビジネス展開へ向けた知見および今後の課題

■現在の状況

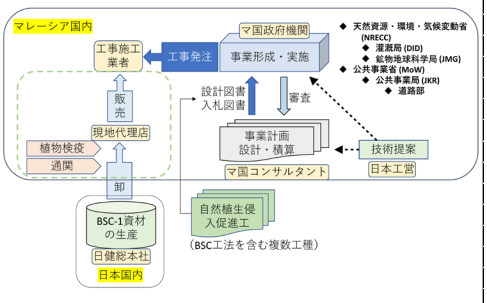
道路局へ技術登録、農業局・植物検疫のための委員会での説明、を実施中で、それと並行して現地代理店候補と代理店契約交渉をしている状況

■ビジネス展開へ向けた現地状況を踏まえた知見

DID、JKR、JMG それぞれに緑化工のニーズがあることが確認できた。DID は水資源に関係する山岳地の崩壊、JKR は道路法面保護、維持管理、JMG は鉱山開発跡地の復旧である。施工単価については、極めて類似した工法であるHydro Mulching 工法の単価と比較して、BSC 工法はかなり単価を抑えることができるので、今後BSC 工法が採用される可能性が高まった。
ビジネスモデルの全体増は右図の通り。

■今後の課題

・信用できる現地代理店の獲得
・BSC工法の認知度向上



同プロジェクト完了報告書より一部抜粋

出典：JICA 調査団

図 4.2.6　文献調査結果概要［マレーシア国/BSC 工法］

No.	3	プロジェクト名	ベトナム国 道路のり面の表層崩壊を抑制するのり面保護工技術の案件化調査	
企業名	ロンタイ株式会社		発注機関	独立行政法人　国際協力機構（JICA）
期間	2020年2月～2022年5月		対象国	ベトナム国
製品名	浸食防止植生シート（キルケット）[製品名]			
適用土壌				

工法概要[製品概要]

シート製品誕生以前の機械による吹付緑化では、施工者の技術能力による品質の不安定さが懸念されていたが、シート製品では工場で製造することで品質が安定し、これまでの工法と比べ施工が容易になるため、のり面の被覆を速やかに行うことができる。加えて、提案製品は品質の安定化、施工の容易性はもとより、浸食・土砂流出防止機能を強化したことによって、豪雨への対応も可能とした植生シートである。

≪製品・技術のスペック・価格≫

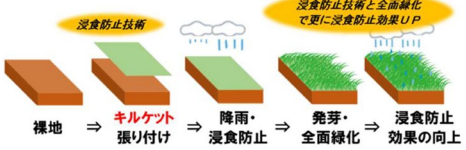
提案製品は、雨水の排出に寄与する不織布と保水剤、のり面の緑化に寄与する種子と肥料を重ね合わせたシートである。ベトナム国では雨季の降水量が100mm/h を越えることが多く、基準降水量を180mm/h として雨水排水試験を実施した結果でも、提案製品は雨水の約85%を排水する結果を得ることができた。

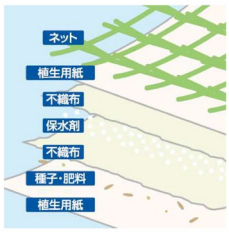
日本での提案製品の販売価格は1,000 円/m^2 であるが、ベトナム国では、将来的に現地生産工場を設立し、現地にて資材を調達し製造することで、コストダウンを想定している。

≪国内外の販売実績≫

日本国内では、特許を保有しており（特許出願公開番号（特開2013-11075））、主に国土交通省、農林水産省、各高速道路会社、地方公共団体に販売している。近年の道路防災対策の必要性を受け、2011 年から現在までに販売量は6.5 倍に伸びている。海外への販売は、2017 年に開始し、インドネシアにて1,225m^2、パラオにて3,750 m^2、ベトナムにて100 m^2の販売実績がある。

<「キルケット」による浸食防止のメカニズム>





目的と主な成果

■目的

ベトナム国における道路のり面災害の被害状況の把握を行い、提案技術による防災効果が有効であるか調査する。また、ビジネス展開する実施体制を確認し、想定しうるリスクを洗出し、対応策を検討する。

提案製品・技術の導入による開発課題解決の可能性及びビジネスアイデアの検討やODA事業での活用可能性の検討を通して、ビジネスモデルを策定する。

■主な成果

・現地適合性確認結果（技術面・制度面）は非公開であるが、事前調査ではベトナム国におけるインフラ整備において、事前調査で高速道路のり面を確認した際、提案製品によるのり面保護が十分可能で有効であると判断している。

・種子選定のための簡易な現地発芽試験は実施

・本邦受入活動：新型コロナウイルスの世界的蔓延により、実現不可。代替え活動として、日本における提案技術の実証事例等を説明。これにより、提案技術に対する理解を高めることができ、技術に関する協議を継続できる効果が得られた。

MOT DRVNより、普及・実証・ビジネス化事業の際に本邦視察を集中的に行い、提案製品の長期的効果を確認したい要望があった。

種子	①ベトナム国内で緑化用種子の栽培状況の確認 ②ベトナム国内への調達(輸入)可能種子の確認 ③調達可能種子の発芽確認(気候適応可能確認)
技術	提案技術のニーズ確認
価格	既存の緑化工法との価格差について確認
法規制	提案技術に対する法規制の確認
許認可	TCCS の許認可手続きの確認


発芽試験（適応可能種子の選定）


15 日後

現在の状況、ビジネス展開へ向けた知見および今後の課題

■現在の状況

今のところ、継続案件（「普及・実証・ビジネス化事業」）なし

■ビジネス展開へ向けた現地状況を踏まえた知見

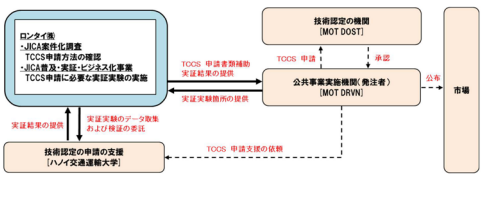
・提案技術の導入にあたっては、設計図書へスペックインする必要があり、スペックインするにはTCCSの取得が必須となる。

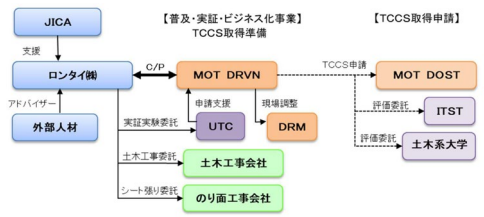
普及・実証・ビジネス化事業の活用により、信用度の高いMOT DRVN をC/Pとすることが可能。その後MOT DRVN がTCCS を取得することで、具体的なのり面対策に関するビジネス展開が一気に進むと想定。

提案製品は緑化技術であるため環境課題への貢献も期待

■今後の課題

・TCCSの取得
・現地実証実験
・本邦受入技術セミナー





出典：JICA 調査団

図 4.2.7　文献調査結果概要[ベトナム国/侵食防止植生シート]

4.2.5 調査・設計手法

本項では、「道路土工　盛土工指針（平成 22 年度版）、切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」をもとに、道路盛土の一般的な調査・設計手法（主に材料の観点）およびのり面保護工の調査・設計手法について概要を取りまとめた。

4.2.5.1 道路盛土の調査

(1) 一般的な調査

図 4.2.8 に道路盛土の建設段階における調査の流れを示す。道路盛土の調査では、①概略調査段階（計画）・②予備調査段階（予備設計）・③詳細調査段階（詳細設計）・④施工段階・⑤維持管理段階の大きく５つの段階に分けられる。

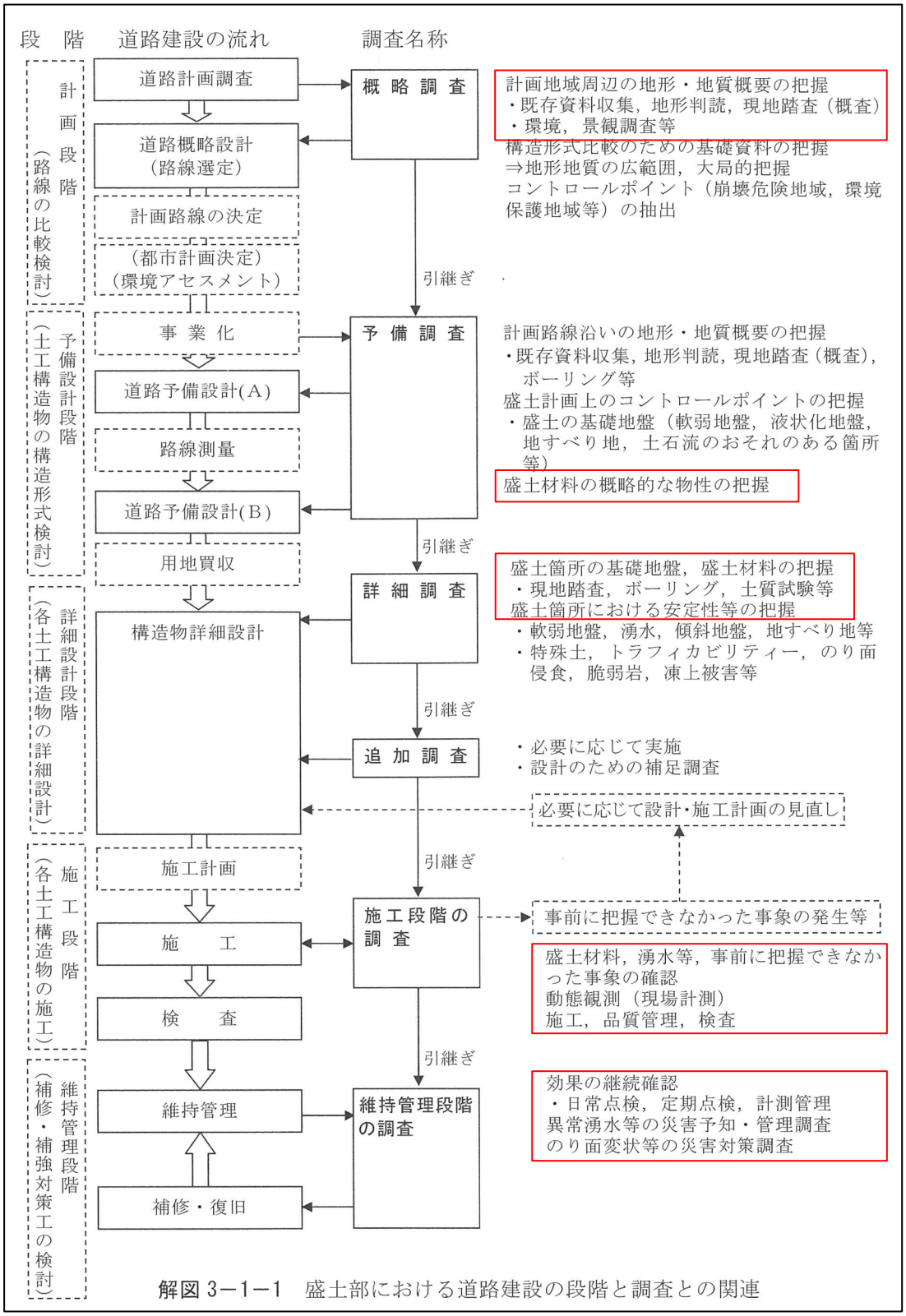
①概略調査段階（計画）では、調査対象地域に対する地形・土質・地質等の全般的な資料を収集・判読し、現地踏査結果をもとに巨視的な観点から各種特徴を明らかにするとともに、路線選定にあたって重大な影響を及ぼす支障事項および複数の路線候補の優劣等を比較する資料を得ることを目的としている。盛土に関連する主な調査結果は、地すべり地、軟弱地盤、沢・湧水等の位置を把握することにある。表 4.2.20 に概略調査で実施する主な項目を示す。

②予備調査段階（予備設計）では、概略調査で選定された計画路線沿いの調査の実施、既存資料の収集・整理、空中写真の判読、現地踏査、および必要に応じてサウンディングや土質試験等の地盤調査により、対象区域の土質・地質、地下水等に関する情報を整理する。特に、地すべり箇所、崩壊多発箇所、軟弱地盤箇所、断層の有無等に留意し調査を行う。表 4.2.21 に予備調査で実施する主な項目を示す。盛土材料については、「路体材料」・「路床及び裏込め材料」の二通りに分けて考える必要がある。「路体材料」については、通常ほとんどすべての材料は盛土材料として使用できるが、ベントナイト、風化の進んだ蛇紋岩、温泉余土、腐植土等は、膨張性及び圧縮性が大きいため、留意する。本邦における特殊土は「火山灰質粘性土」、「まさ土」、「しらす」等が挙げられ、これらの材料を使用する際は、特に留意する。「路体及び裏込め材料」は、自然含水状態及び施工含水状態における強度特性の把握が重要であり、所定の材料・強度に関する規定を満足するか否かに注意を払う必要がある。また、礫混じり土等では礫の風化の程度や耐久性を調査する必要がある。

【火山灰質粘性土】
- 自然含水比が 60～200％と高く、凍上しやすい。
- こね返すと強度の低下が大きく、掘削・運搬・締固め後の強度が低くなり、トラフィカビリティの検討が必要
- 圧縮性が高く、高盛土の安定、沈下については検討が必要

【まさ土】
- 花崗岩系風化残積土で、岩石に近いものからシルト質粘土のような細粒土までの広い範囲が含まれる。
- 表面水によるのり面侵食等の水に対する問題が生じやすい。
- 盛土のり面には洗堀されにくい土羽土を使用する。

【しらす】
- 流水による侵食が著しいため、盛土のり面には土羽土が必要となる。



解図 3－1－1　盛土部における道路建設の段階と調査との関連

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.25，2010.

図 4.2.8 道路盛土の建設段階における調査

表 4.2.20 概略調査で実施する主な項目

種類	調査方法	調査内容	主な成果品
既存資料の収集・整理	既存資料の収集・整理（地形図，空中写真，地質図，周辺の他工事の土質・地質調査報告書，工事記録，災害記録等）	調査の対象となる地域の全般的な既存資料を収集・整理し，路線選定に当たっての問題点を抽出する。	・空中写真判読図 ・概括的な土質・地質平面図 ・概括的な土質・地質縦断図 ・災害記録 ・気象データ ・既存資料一覧表
現地踏査	整理した資料の現地確認（地形，露頭，既設盛土，地表及び植生，地下水位・湧水箇所及び水理等）	広く現地を踏査し，巨視的な視点から盛土地盤や盛土材料に関しての調査重点地域や問題点を抽出する。	・土質・地質平面図，土質・地質縦断図 ・現地踏査結果とりまとめ図 ・災害状況調書 ・周辺の盛土・重要構造物の現況調査
総合解析とりまとめ	上記で得られた結果より総合的に地形・地質を評価する。	支障事項やコントロールポイントの把握	・総括検討事項 ・地すべり，軟弱地盤，既往崩壊箇所，湧水等の位置 ・各区間，各地層別の土木工学的特徴，道路計画上の留意点 ・今後の調査計画提案　等

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.29，2010.

表 4.2.21 予備調査で実施する主な項目

種類	調査方法	調査内容	主な成果品
既存資料の収集・整理	既存資料の収集・整理（地形図，空中写真，地質図，周辺の他工事の土質・地質調査報告書，工事記録，災害記録等）	大規模盛土及び傾斜地盤上の盛土等の注意を要する盛土予定地域の概要，路線に沿う概略の土質・地質，盛土材料，地表水，地下水の状況	・空中写真判読図 ・概括的な土質・地質平面図 ・概括的な土質・地質縦断図 ・災害記録 ・気象データ ・既存資料一覧表 ・今後の調査計画
現地踏査	既存資料の収集・整理結果の現地確認 ・露頭の調査 ・地形，地質の調査 ・既設盛土等の現況調査 ・地表の状態及び植生調査 ・地下水位，湧水箇所，水理の状況	上記盛土予定箇所において，地盤状況・予定盛土材料，地表水，地下水の状況等について可能な限り確認を行う。	・土質・地質平面図 ・土質・地質縦断図 ・現地踏査結果とりまとめ図 ・災害状況調書 ・周辺の盛土・重要構造物の現況調査
サウンディング	・静的コーン貫入試験 ・スウェーデン式サウンディング試験 ・標準貫入試験 等	軟弱地盤，高盛土，傾斜地での盛土等の地形・地質，土質状況の確認	・調査位置案内図，調査位置平面図 ・試験結果 （地盤工学会記録用紙等により整理） ・土質・地質縦断図
土質試験	・土粒子の密度試験 ・液性・塑性限界試験 ・粒度試験 等	土質の判別，分類	・土質調査結果 （地盤工学会記録用紙等により整理）
とりまとめ総合解析	上記で得られた結果より総合的に地形・地質を評価する。	支障事項やコントロールポイントの把握	・地すべり，軟弱地盤，既往崩壊箇所等の位置 ・各区間，各地層別の土質工学的特徴，道路計画上の留意点 ・設計・施工上の留意点　等

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.30，2010.

③詳細調査段階（詳細設計）では、「盛土の基礎地盤の調査」、「盛土材料の調査」、「排水の調査」、「環境・景観調査」、「その他の調査」（例えば、気象状況調査、凍上・凍結の調査、土の化学的性質の調査）等、盛土の詳細設計等に必要な資料を得るために実施する。盛土材料の調査では、土量の配分計画を立案し、切り盛り土量のバランスと運搬距離、適切な建設機械および盛土で要求される品質等を的確に把握する必要がある。盛土材料は切土からの建設発生土や土取場からの採取土を用いる。盛土材料の把握のために切土箇所の調査、ボーリング等による土層分布の把握、土質試験等を実施する。盛土材料としての望ましい条件としては「締固め乾燥密度やせん断強さが大きいこと」、「締固めやすいこと」、「盛土の安定に支障を及ぼす膨張あるいは収縮のないこと」、「有機物を含まないこと」、「施工時に間隙水圧が発生しにくいこと」、「トラフィカビリティを確保できること」、「重金属等の有害物質が溶出しないこと」の 7 つが挙げられる。表 4.2.23 に詳細調査で実施する項目を、表 4.2.24 に盛土材料の検討事項と適用すべき土質試験法をそれぞれ示す。盛土材料として特に注意の必要な盛土としては、表 4.2.22 に示すものがあり、各種特徴があることに留意する。

表 4.2.22 盛土材料として特に注意の必要な盛土

項目	内容
盛土の安定が問題となる土	粘性土のせん断強さが相対的に弱く、粘性土主体の高盛土を構築する場合は、盛土の安定性照査が必要 ⇒こね返しによる強度低下を考慮した三軸圧縮試験等の実施
トラフィカビリティが問題となる土	高含水比の粘土・砂質シルト等を使用する場合、トラフィカビリティの検討が必要 ⇒適切な機械の選定、こね返しによる強度低下特性の把握（コーン指数試験の実施）、良質材との混合によるトラフィカビリティ改善
降雨により侵食を受ける土	まさ土、山砂、しらす等の砂質系材料は、施工中・施工時に降雨の影響により、のり面侵食や崩壊を生じやすい ⇒自然含水比・最適含水比に着目し、含水比の変化と強度変化の関係を確認しておく
風化の早い土（脆弱岩）	新第三紀層の泥岩、頁岩、凝灰岩、風化した蛇紋岩、圧砕岩、風化結晶片岩、変質した安山岩は、スレーキングや破砕の著しい現象を生じる脆弱岩 ⇒岩のスレーキング試験、岩の破砕試験を実施し、スレーキング性を評価する。スレーキング性材料の場合、掘削時に小粒径となる施工方法、薄層敷均し後に破砕転圧するなど、あらかじめ空隙を少なくする施工方法を検討することが望ましい。
敷均しが困難な土（岩塊・転石・玉石）	硬岩材料は、破砕しにくく、一般的な土砂と比べて粒径が大きい ⇒事前調査で最大粒径や粒度分布の把握を行う。また、岩塊盛土の上層に粒度分布の異なる材料を施工する場合、降雨等により岩塊の空隙にその材料が落ち込み不同沈下を生じるおそれがある。このような場合、粒度調整中間層を設けることが有効
凍上の被害が発生やすい土	寒冷地では凍上の被害が生じる可能性がある ⇒凍上性判定のための試験を行い、置換工法等の各種対策を実施

出典：JICA 調査団

表 4.2.23 詳細調査で実施する主な項目

調査項目	主な調査方法	主な調査内容	主な成果品
基礎地盤	・地形判読 ・地形・地質踏査 ・調査ボーリング（地層構成，サンプリング，地下水調査，土質試験） 等	・基礎地盤の支持力と沈下 ・軟弱地盤上の盛土と沈下 ・地下水，湧水，表面水の把握 ・周辺環境への影響が懸念される箇所での調査 等	・土木地形地質図 ・土質・地質縦断図 ・土質・地質横断図 ・柱状図 ・地下水位 ・土質試験結果・コア・コア写真 等
盛土材料	・地形判読 ・地形・地質調査 ・オーガーボーリング ・露頭採取 ・土質試験（**解表 3－4－4** 参照） 等	・代表的な盛土材料の把握 ・不良土の確認，土質改良等の判断 ・特殊な材料の判断，強度特性の確認 ・凍結融解に対する安定性 等	・土質試験結果 等
排水	・気象調査（降雨・気温） ・流域状況（流域面積） ・地下水調査 等	・流出量の決定 ・排水施設の規模を決定する基礎資料 ・流末排水処理 等	・流域図等（調査目的，内容により異なる） ・地形・地質的に滞水しやすい箇所
環境・景観	・周辺環境，気象の調査 ・表土，既存樹木の調査 ・植物材料の市場調査 等	・周辺環境との連続性や調和・植物の選定，施工時期，施工方法 ・表土の物理化学特性や量，既存樹木の種類，健全度，利用価値 等	・調査票（道路土工－切土工・斜面安定工指針　付録７） ・盛土材の pH（酸性土壌または改良材等の場合）
とりまとめ 総合解析	概略，予備調査成果及び上記調査結果の総合的な評価，考察，判定	盛土の設計，施工上の留意点の検討 ・土量の算定，施工性の評価 ・盛土のり面の安定性 ・地下水，湧水処理の検討 ・盛土材料としての評価，土質改良の是非	・地層の分布，構造 ・軟弱地盤，液状化層，地すべり，崩壊，土石流，破砕帯の位置・物性 ・湧水，湿地等の位置・状況 ・土質定数の提案 ・基礎形式の検討結果 ・設計・施工上の留意点

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.45，2010.

表 4.2.24 盛土材料の検討事項と適用すべき土質試験法

調査項目＼調査方法		土質試験																	
		土の含水比試験方法 (w_n)	土の液性限界・塑性限界試験方法 (w_L) (w_P)	土粒子の密度試験方法 (ρ_s)	土の粒度試験方法	突固めによる土の締固め試験方法	締め固めた土のコーン指数試験方法 (q_c)	CBR試験方法（締め固めた土のCBR試験）	土の一軸圧縮試験方法 (q_u)	土の非圧密・非排水(UU)三軸圧縮試験方法	土の圧密・非排水(CU)三軸圧縮試験方法	土の圧密・非排水(C̄Ū)三軸圧縮試験方法	土の圧密・排水(CD)三軸圧縮試験方法	土の圧密試験方法	凍上性判定のための土の凍上試験方法	突固めたセメント安定処理土混合物の凍結融解試験方法	土壌の汚染に係る環境基準について 環境省告示第46号	岩のスレーキング率試験方法	岩の破砕率試験方法
土層の連続性と土質分類		◎	◎		◎														
盛土のり面の安定	粘土,粘性土	△	△		△	△		△	△ 1)	△ 1)	△ 1)	△ 1)		○ 1)					
	細砂,砂質土等	△	△		△	△							△ 1)						
盛土自体の圧縮		○	○	○	○	○	○							○ 1)				○ 5)	○ 5)
施工機械のトラフィカビィリティー		○	○		○	○	○												
路床しての裏込め使用材料の可否	盛土材料に関する試験	◎	◎	◎	◎	◎		○											
	風化・細粒化に対する長期安定性	○	○	○	○ 2)	○		○										○	○
	安定処理試験	○	○	○	○	○		○	○							△	◎		
	凍上・凍結融解に対する安定性	△	△		△			△	△						△ 3)	△ 3)			
締固め管理の基準・方法		◎		◎	◎	◎													

凡例 ◎： 基本的に実施する試験
○： 盛土材料に応じて実施する試験,
△： 設計条件等に応じて実施する試験

注1) 試験はモールド内で突き固めた試料について行う。
2) 突固め後の粒度試験を行う。
3) 特殊な装置を必要とする。
4) 泥岩等スレーキングに対する耐久性

出典:道路土工 盛土工指針, 日本道路協会, p.56, 2010.

④施工段階では、「品質管理または検査のための調査」、「調査段階にまでに把握することが困難な土質に対する調査」の 2 項目について実施する。

【品質管理または検査のための調査】

- 品質確認試験としては、締固め特性、含水比、粒度、液性・塑性限界、強度変形特性等がある。
- 品質管理方法については、各試験項目に対する評価値を詳細設計段階であらかじめ決めておく必要がある。
- 品質確認試験のうち、含水比や密度等については、施工中毎日実施し、経時データとして整理しておく。

【調査段階までに把握することが困難な土質に対する調査】

- 施工時にスレーキングしやすい脆弱岩や強酸性土壌等に遭遇するなど、設計時では把握できなかった土質に対して、調査を実施する。
- 土質調査、土質調査結果を踏まえて、適宜施工段階で施工計画の変更を行うなどの適切な対応が必要となる。
- 特に小規模土工では事前土質調査が不十分な場合があり、既存資料の有効活用や現地踏査に加えて施工段階での土質の確認により、事前調査の不十分さを補う必要性が生じる場合がある。

⑤維持管理段階では、「盛土の変状等に関する定期的な観察・観測」、「異常時における現地踏査、地盤調査等」の 2 項目について実施する。

【盛土の変状等に関する定期的な観察・観測】

- 盛土の安定性を確保するため、盛土の変形、移動、沈下等を定期的に観察することが重要
- 排水施設の不備及びのり面の湧水等の有無の観察は特に十分に観察する必要がある
- 基礎地盤が軟弱地盤の場合、長期的な沈下による路面損傷の発生、排水勾配が確保できないなどの問題が生じる可能性があることから、沈下状況を把握することが望ましい。

【異常時における現地踏査、地盤調査等】

- 異常が発生した場合、現地踏査を主体とした緊急調査を実施し、その結果をもとに応急復旧対策の立案、本復旧対策のための調査方針を立案する。
- 緊急現地調査においては、クラックの位置・方向、深さ、はらみ出しの程度等を調査する。経時変化による変状の進行程度についても確認する。

表 4.2.25 維持管理段階(通常時)の調査例

調査対象	主な調査方法	主な調査内容	主な成果品
路　面	・目視点検，定期巡回 等	・路面のクラック，沈下・段差 ・踏掛版下部の空洞 等	・定期巡回記録等
の り 面	・目視点検 等	・構造的なクラック，開口亀裂の有無 ・のり面下部の洗掘 ・肌落ち 等	・箇所別記録表（盛土） ・安定度調査表（盛土）
基礎地盤	・目視点検 ・動態観測 等	・軟弱地盤の圧密による沈下，変形 ・基礎地盤の変形，クラック 等	
排　水	・目視点検 等	・のり尻部の湿潤の有無 ・流水跡 ・湧水の有無 ・排水勾配の不良 ・側溝，縦排水溝の断面確認 等	

出典:道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.72，2010.

(2) のり面保護工の調査

1) 植生工の調査

植生工でのり面に植生を成立させるのに必要な前提条件を満足させるために、「周辺環境の調査」、「気象の調査」、「表土及び既存樹木の調査」、「植物材料の市場調査」、「造成時点でののり面の調査」を行う。のり面緑化工は植物を材料として取り扱うため、施工場所の立地条件の影響を大きく受ける。表 4.2.26 に植物工の調査内容及び調査結果ののり面緑化工への活用をそれぞれ示す。

表 4.2.26 植生工の調査内容

項目	内容
周辺環境の調査	・対象のり面と周辺環境との連続性や調和を図る目的で、周辺環境の調査を実施 ・使用する植物の周辺環境に与える影響も合わせて調査
気象の調査	・植物の選定、施工時期、施工方法等の検討に必要な気温、降水量、積雪量、風向風速、日照等について調査
表土及び既存樹木の調査	・表土を土羽土や客土として利用することを検討する目的で、表土の土壌調査（理化学性や土量）を実施 ・既存樹木を移植等により利用することを検討する目的で、既存樹木の健全度、利用価値等について調査を実施 ・合わせて、採取候補地の地形、運搬経路、保管場所の有無等の調査も実施
植物材料の市場調査	・国内産の在来種の種子や地域性種苗の使用を予定している場合、市場で入手可能な種と数量をあらかじめ調査の上、設計時の検討資料とする
造成時点でののり面の調査	のり面の形状等の調査において、植物の選定、施工性等の検討を行う目的で、のり面の形状、規模、高さ、方位、勾配、湧水箇所、凹凸の程度、排水溝や構造物の位置等について調査を実施

出典：JICA 調査団

表 4.2.27 調査結果ののり面緑化工への活用

調査項目	調査結果活用上の留意事項
周辺環境と周辺植生の調査	・自然公園・風致地域・山林・原野：周辺の自然環境と調和する，野生動植物の生息・生育に悪影響を及ぼさない植物種を選定する。造成対象地が野生動物の移動経路として利用されている場合には，植生による連続性の確保についても検討する。 ・都市・集落：沿道環境と調和する植物種を選定する。
表土，既存樹木の調査	・表土：利用可能性について現地調査により把握し，植生基材としての利用方法を検討する。また，採取後の仮置きの必要性を検討し，必要な場合には確保する。 ・既存樹木：樹種や活力度，健全度（病虫害，腐朽等）を調査し，移植可能性や移植価値を検討する。また，移植に当たっての仮植が必要な場合には仮植地の検討を行う。
気象の調査	・降水：年間降水量及び施工時期の降雨条件に適応した植生工を選定する。年降水量 1,000 ㎜以下の場合は，基盤，植物及び施工時期等における具体的な乾燥対策を講じる。なお，1,200 ㎜以下となる場合には，対策を検討することが望ましい。 ・気温：最高気温が 30℃以上となる時期の施工は避け，日平均気温 10℃以上が 2 ヶ月以上続くこと等を目安に施工時期を設定する。 ・積雪：現地の特性に応じた植物と施工法を選定する。
植物材料の市場調査	・種子：施工時点で入手可能な種，数量等について調査を行い，植生工設計時の工法や配合等を検討する際の資料とする。 ・苗木：施工時点で入手可能な種，数量，大きさ等について調査を行い，植生工設計時の工法や配植等を検討する際の資料とする。
造成時点ののり面調査	・のり面勾配については，**参表 8－2** を参考に使用植物を選定し，切土の場合は 1：1.0，盛土の場合は 1：1.5 より急勾配を目安に緑化基礎工との併用を検討する。 ・土壌硬度については，**参表 8－3** を参考に使用する植物と施工法を検討する。 ・盛土の土壌透水性に関して，最終減水能の値が 36 ㎜/h（0.01 ㎜/sec）以下の場合，耕転及び土壌改良資材の混入や良質の客土を行った上で，使用する植物と施工法を検討する。 土壌酸度は pH４～８以外では吸着や中和処理，排水または遮水対策の検討を行った上で，使用する植物と施工法を検討する。 ・岩盤のり面では，亀裂の間隔や間隙の大きさ等から，使用する植物を選定し，流亡しにくい植生基材の使用を検討する。 ・流下水が集中する箇所や湧水がある箇所については，地表面あるいは地下排水溝を設置する。

出典：道路土工 切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，p.209，2009.

4.2.5.2 道路盛土の設計

(1) 一般的な設計

道路盛土の設計にあたっては、使用目的との整合性、構造物の安全性、耐久性、施工品質の確保、維持管理の容易さ、環境との調和、経済性、および想定する作用に対して要求性能を設定し、それを満足することを照査する必要がある。しかし、これまでの経験・実績から要求性能を満足するとみなせる仕様（材料、施工方法等）については、その適用範囲においてはこれを活用することができる。

盛土の要求性能は、対象盛土の重要度および想定する作用（常時、降雨、地震動(L1・L2)）に応じて、適切に設定する。表 4.2.28 に盛土の要求性能の例を示す。また、盛土の要求性能に対する照査は、基礎地盤と盛土のそれぞれで検討し、性能１では「変形照査」と「安定照査」の 2 種類、性能２と性能３では「変形照査」を実施する必要がある。盛土の要求性能に対する限界状態と照査項目を表 4.2.29 に示す。盛土の安定性照査は、一般に図 4.2.9 に示すフローに沿って実施される。

要求性能	性能１：想定する作用によって盛土としての健全性を損なわない性能 性能２：想定する作用による損傷が限定的なものにとどまり、盛土としての機能の回復がすみやかに行い得る性能 性能３：想定する作用による損傷が盛土として致命的とならない性能
重要度	重要度１：万一損傷すると交通機能に著しい影響を与える場合、あるいは、隣接する施設に重大な影響を与える場合 重要度２：上記以外の場合

出典：JICA 調査団

表 4.2.28 盛土の要求性能の例

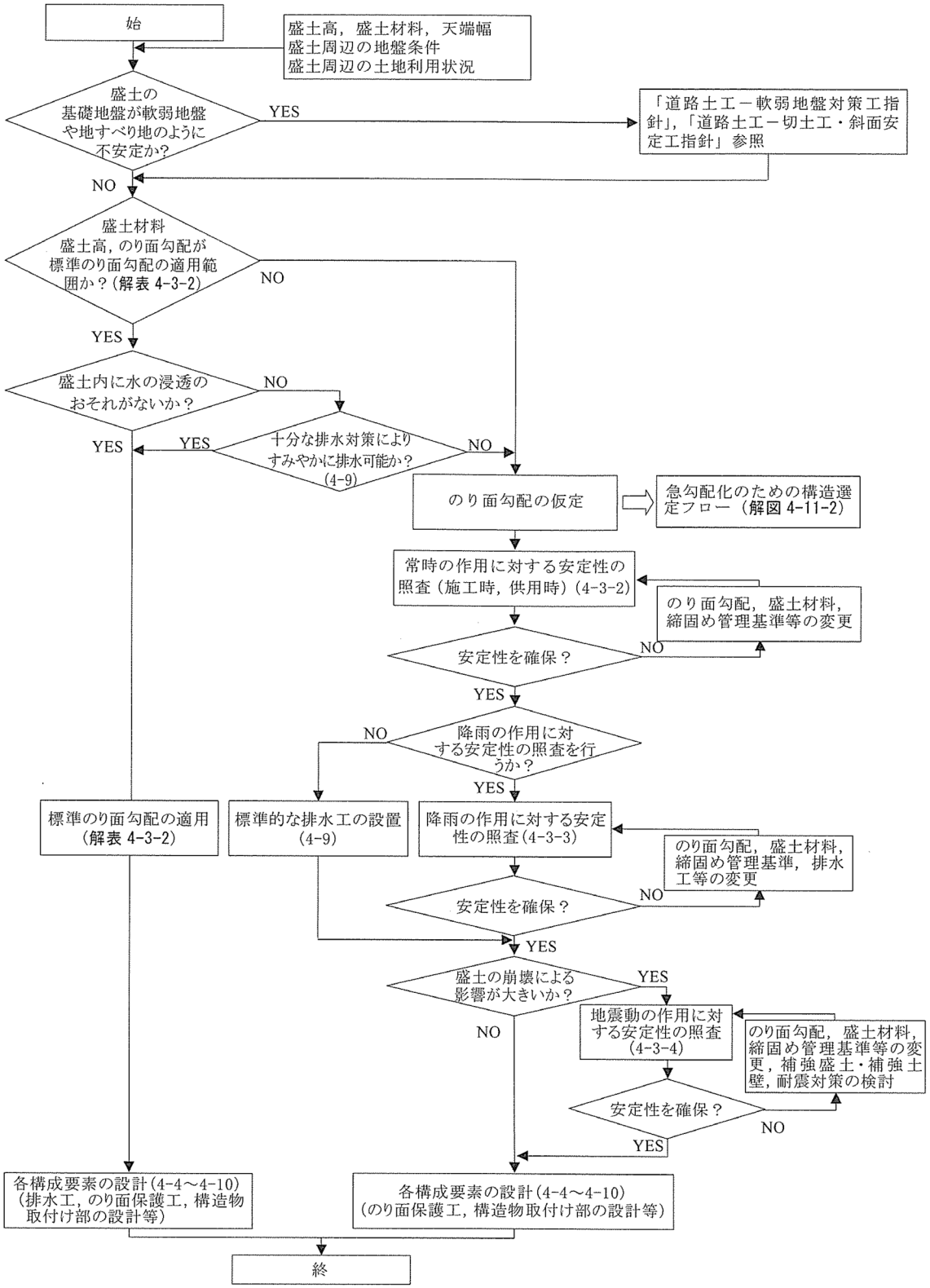
想定する作用＼重要度		重要度１	重要度２
常時の作用		性能１	性能１
降雨の作用		性能１	性能１
地震動の作用	レベル１地震動	性能１	性能２
	レベル２地震動	性能２	性能３

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.85，2010.

表 4.2.29 盛土の要求性能に対する限界状態と照査項目

要求性能	盛土の限界状態	構成要素	構成要素の限界状態	照査項目	照査手法
性能1	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が盛土の機能を確保でき得る限界の状態	基礎地盤	基礎地盤の力学特性に大きな変化が生じず，盛土，路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
		盛土	盛土の力学特性に大きな変化が生じず，かつ路面から要求される変位にとどまる限界の状態	変形	変形照査
				安定	安定照査
性能2	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が修復を容易に行い得る限界の状態	基礎地盤	復旧に支障となるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛土	損傷の修復を容易に行い得る限界	変形	変形照査
性能3	想定する作用によって生じる盛土の変形・損傷が隣接する施設等への甚大な影響を防止し得る限界の状態	基礎地盤	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査
		盛土	隣接する施設へ甚大な影響を与えるような過大な変形や損傷が生じない限界の状態	変形	変形照査

出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.90，2010.

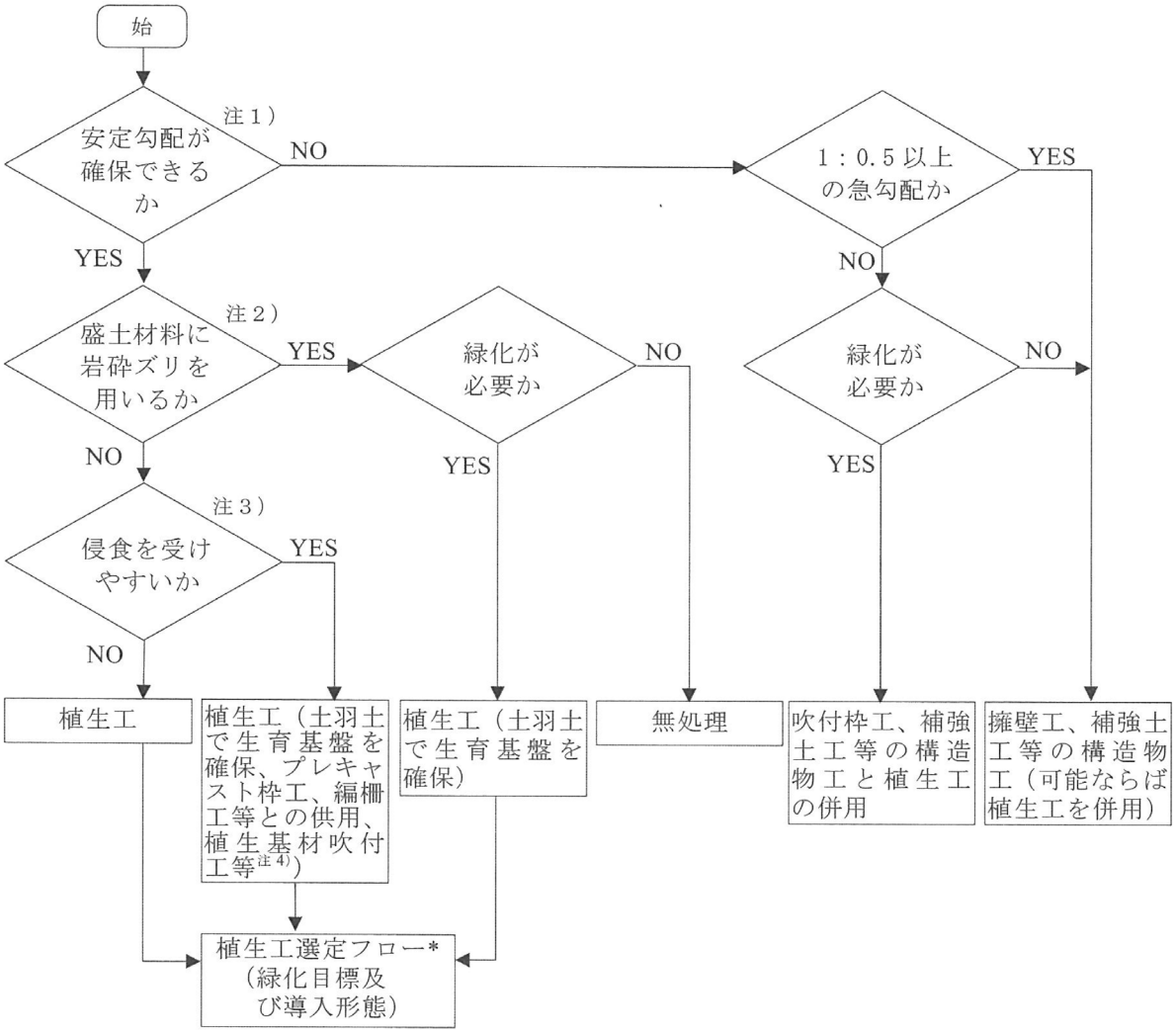


出典:道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.104，2010.

図 4.2.9　盛土の安定性照査のフロー

(2) のり面保護工の設計

のり面保護工の設計にあたっては、現地の状況（地形・地質・材料・景観等）を踏まえて、現地に適した工法を選定する必要がある。一般にのり面保護工は図 4.2.10 に示す選定フローにしたがって、決定される。選定にあたっては、安定勾配の確保や緑化の必要性、使用材料、侵食性等の観点が必要となる。



＊植生工選定フローは，「道路土工ー切土工・斜面安定工指針」を参照する。
注１）盛土のり面の安定勾配としては，**解表 4－3－2** に示した盛土材料及び盛土高に対する標準のり面勾配の平均値程度を目安とする。
注２）ここでいう岩砕ズリとは主に風化による脆弱化が発生しにくいような堅固なものとし，それ以外は一般的な土質に準じる。
注３）侵食を受けやすい盛土材料としては，砂や砂質土等があげられる。
注４）降雨等の侵食に耐える工法を選択する。

出典：道路土工 盛土工指針，日本道路協会，p.147，2010.

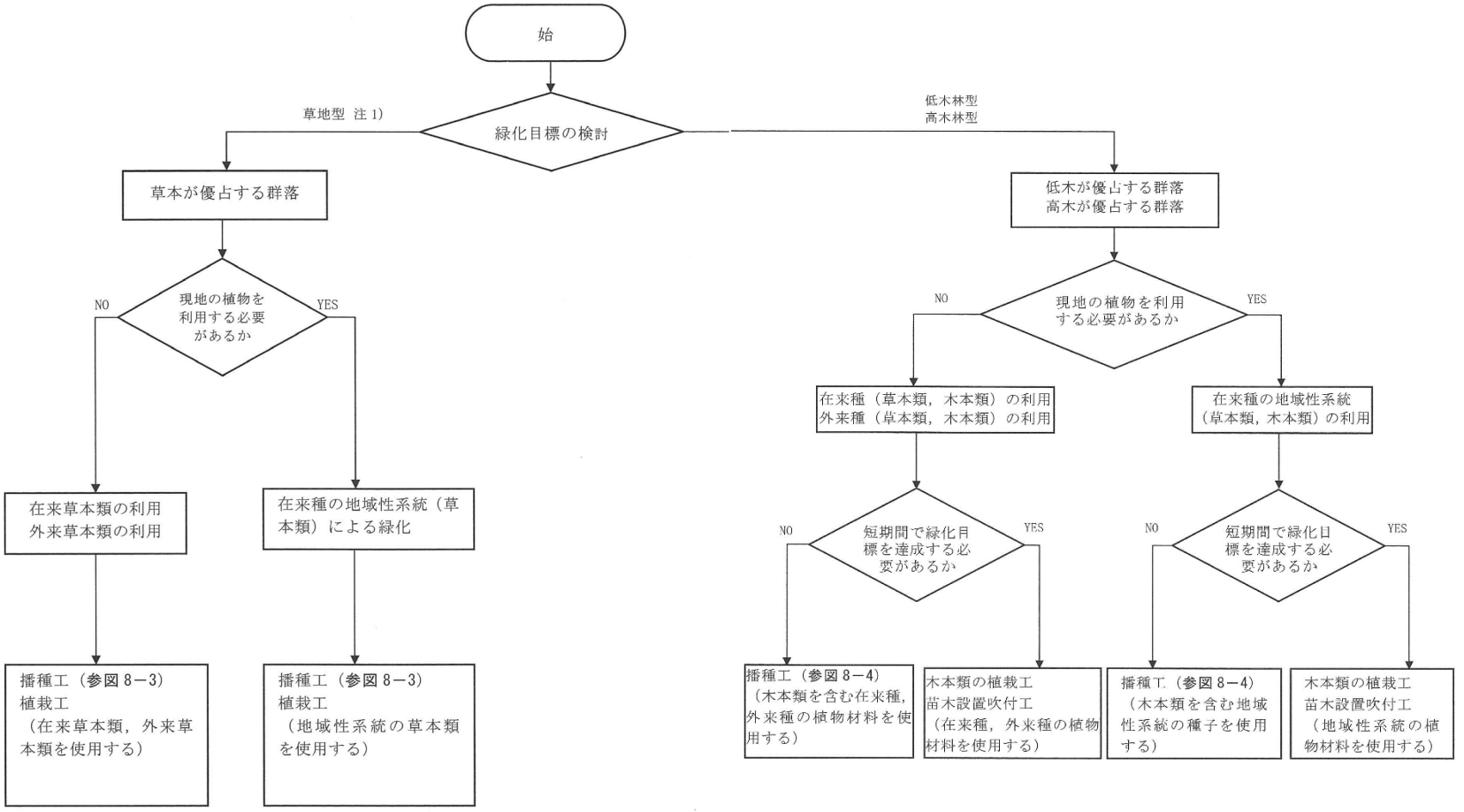
図 4.2.10 道路盛土におけるのり面保護工の選定フロー

1) 植生工の設計

植生工の設計にあたっては、以下の 3 つが規定されている。

① 緑化目標とする植物群落を形成することが可能な立地条件等に適した植物等の材料および工法を選定する。
② 植生工に用いる材料は、外来種、在来種等の緑化する地域の特性に適した種類のものを選定し、生育基盤を形成する材料は、工種、使用植物に適したものを用いる。
③ 植生工は、のり面の維持管理に配慮した設計とする。

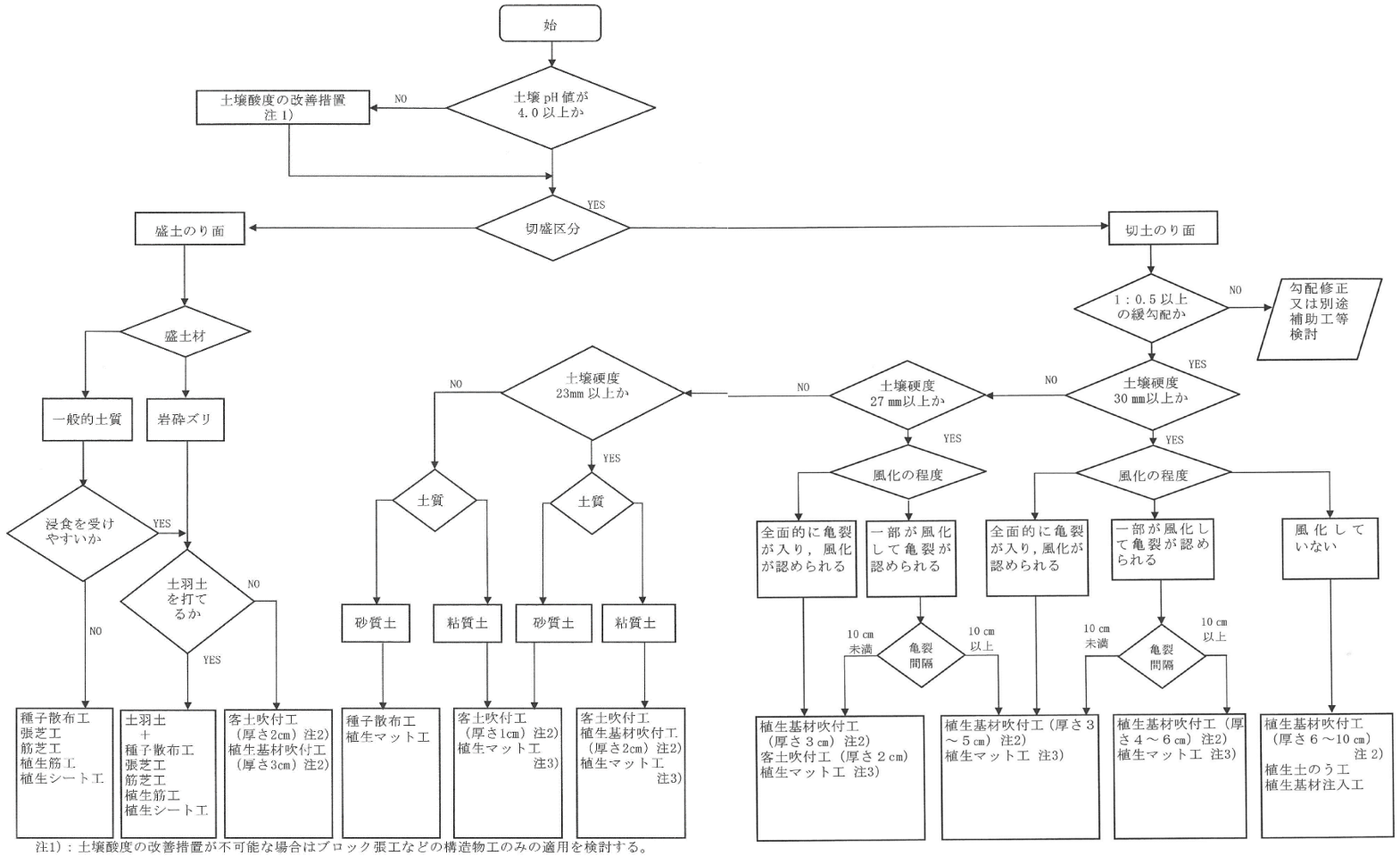
工法の選定にあたっては、植物材料に関する特性の理解、地域の気象、のり面の土質、のり面勾配、施工時期等を考慮した上で工種を選定する。また、緑化基礎工の必要性を検討する。図 4.2.11～図 4.2.13 に植生工の選定フローを示す。



注 1)：初期の目標を草本群落とし，長期間かけて自然の遷移によって木本群落を形成する場合を含む。

出典:道路土工　切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，pp.226-227，2009.

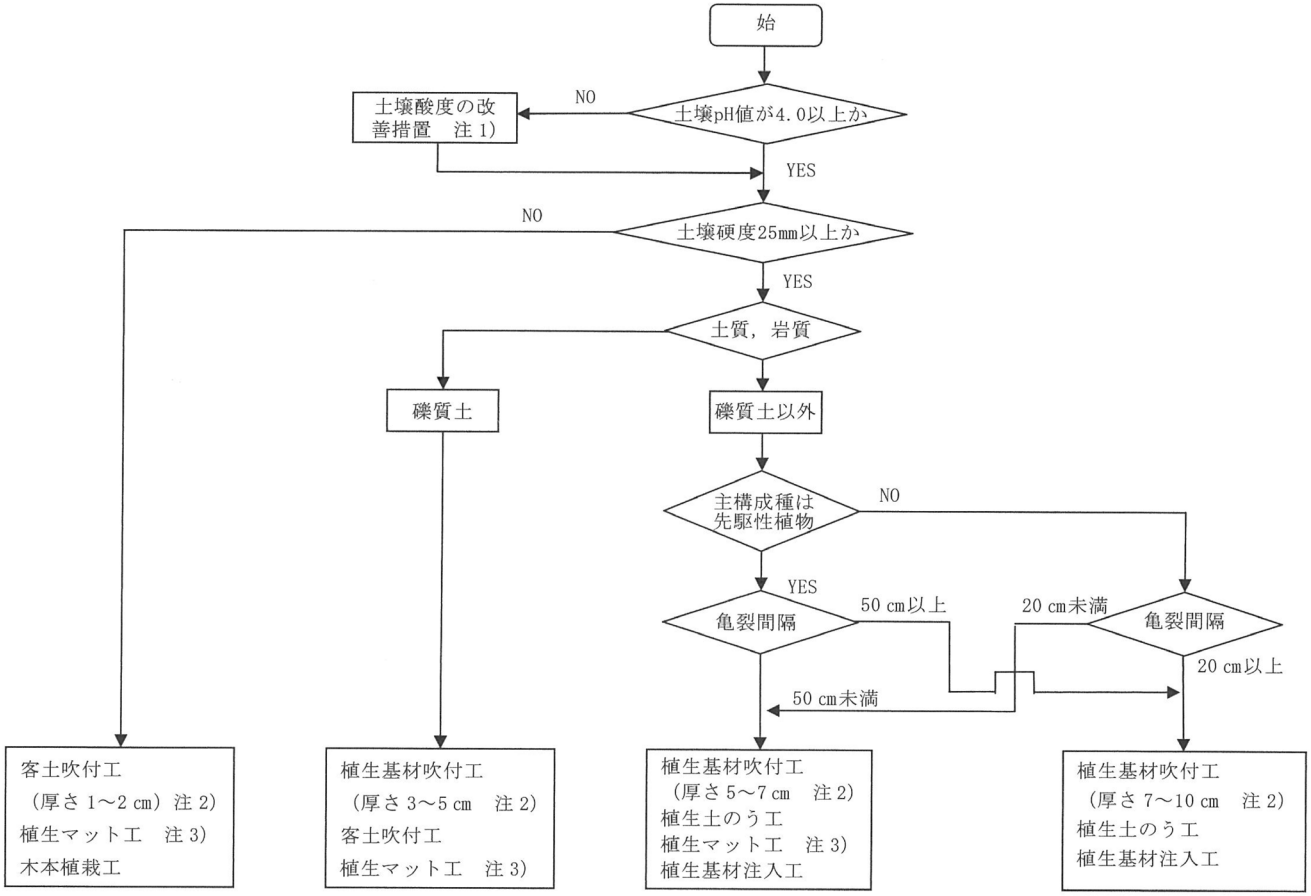
図 4.2.11 植生工選定フロー



注1)：土壌酸度の改善措置が不可能な場合はブロック張工などの構造物工のみの適用を検討する。
注2)：吹付厚さは緑化目標も考慮して決定する。
注3)：植生マットを適用する場合には，植生基材が封入されたもので，その機能が同条件での植生基材吹付工の吹付厚さに対応した製品を使用する。

出典：道路土工　切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，pp.228-229，2009.

図 4.2.12 のり面条件を基にした植生工選定フロー（草本類播種工等）



注1)：土壌酸度の改善措置が不可能な場合はブロック張工等の構造物工のみの適用を検討する。
注2)：吹付厚さは緑化目標も考慮して決定する。
注3)：植生マットを適用する場合には，のり面条件に対応した厚さの植生基材が封入されたもので，その機能が同条件での植生基材吹付工の吹付厚さに対応した製品を使用する。

出典：道路土工　切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，p.230，2009.

図 4.2.13 のり面条件を基にした植生工選定フロー（木本類播種工等）

2) 構造物工の設計

構造物工の設計にあたっては、のり面の長期的な安定を図る観点から、経験的手法または適切な荷重等の設定により、使用材料や形状寸法等の必要な品質等を検討する。また、発生予測規模、埴谷環境への影響度等の調査結果を反映する必要がある。風化、侵食、岩盤剥離、表層崩壊等の発生の除去もしくは軽減する目的で設計する場合は、一般に経験的手法にて使用材料、形状寸法、必要な品質等を決定することが多い。のり面の崩壊には、表流水や地下水等の作用が原因となることが多いため、のり面に湧水がある場合、のり面に流下水が集まる場合等においては、のり面排水工の併用が必要となる。

4.2.6 施工管理／監理手法

本項では、「道路土工　盛土工指針（平成 22 年度版）、切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）」をもとに、道路盛土の一般的な施工管理/監理およびのり面保護工の施工管理/監理について概要（主に基本方針）を取りまとめた。

(1) 一般的な施工管理／監理

施工にあたっては、原則として設計での盛土の要求性能を確保するように設定した施工の条件を遵守する必要がある。しかし、施工時には設計時には想定できなかった発生土に遭遇する場合や想定外の盛土の挙動や天候等に遭遇する場合もあるため、臨機応変に適切に対応することが求められる。図 4.2.14 に道路盛土の施工手順を示す。以下に施工にあたっての基本方針を整理した。

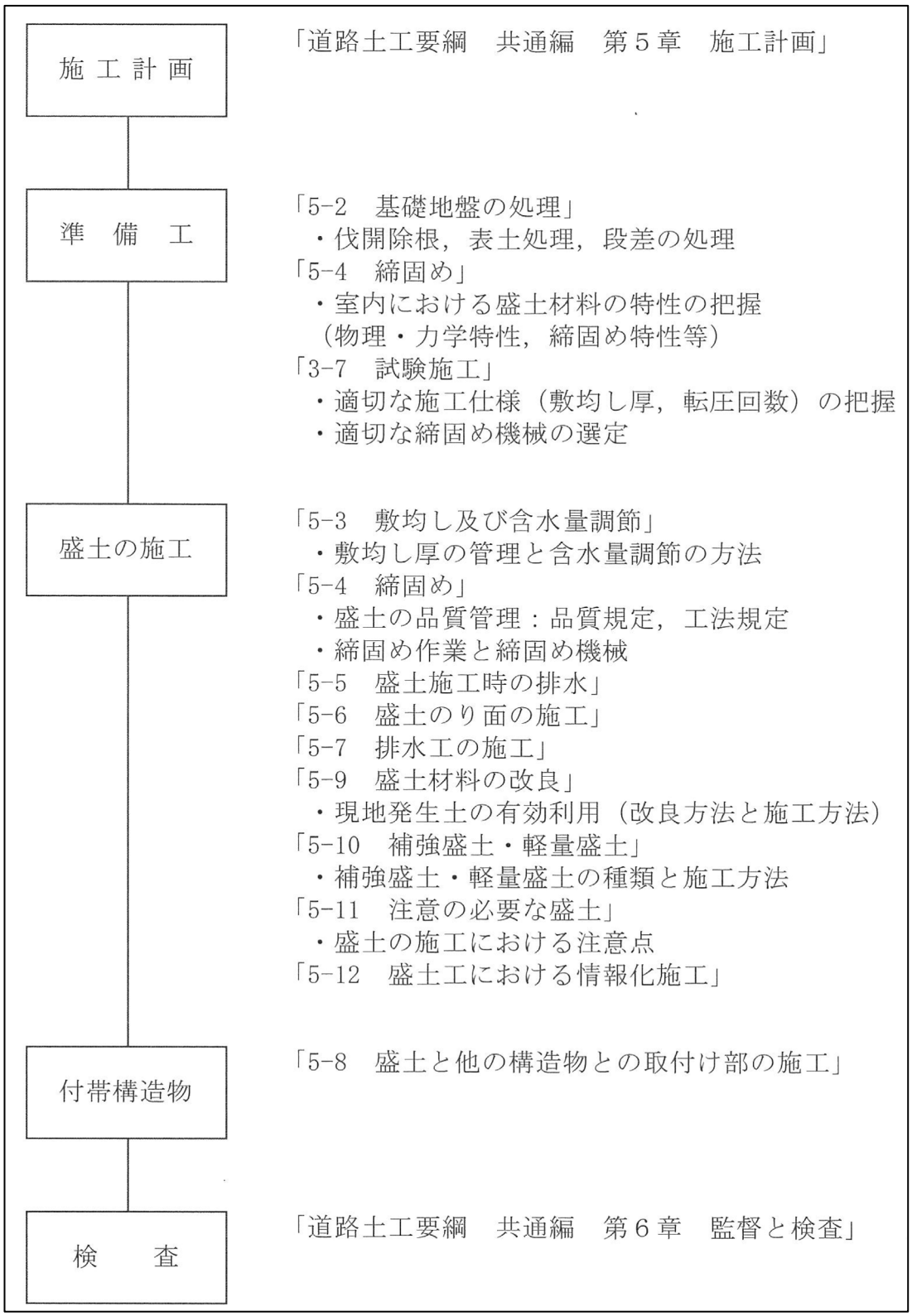
盛土材料については、施工が容易で、盛土の安定を保ち、有害な変形が生じないような材料を用いる必要がある。一方で、盛土材料には可能な限り現地発生土を有効利用する。現地発生土が良好な材料でない場合は、地盤改良等の適切な処置を施した上で使用する。

盛土の施工については、設計図書に示されている形状・品質を現地の地形・地質等に適合させながら的確に築造する必要がある。しかし、実際の施工では気象条件等の自然現象の影響を受ける他、周辺社会環境への配慮も必要である。さらに、経済性・迅速性・確実性・安全性が常に要求される。このような制約のもと、適切に施工するためにも、施工に先立って適切な施工計画を立案することが重要である。施工計画においては、以下の項目を全て盛り込む必要がある。

①土量の配分計画
②各工種の施工法、必要な建設機械の使用計画、施工速度および所要期間
③各工種の施工順序、施工時期、全体工程計画
④資材計画
⑤現場施工体制および仮設備計画
⑥工事用道路その他準備工の計画
⑦事故防止および安全衛生計画
⑦　周辺環境の保全計画

安全の確保については、建設工事における労働災害が全労働災害の中で最も多いことを念頭に置き、安全管理に対する意識の向上、安全施設の充実化、安全施工の徹底等が必要である。道路土工では様々な場所で多種多様な建設機械を組み合わせて施工されていることから、より一層の注意を払う必要がある。

環境への影響については、建設工事に伴い騒音・振動、土砂流出における水質汚濁、土運搬における粉塵、盛土による地盤沈下等が挙げられる。これらの発生は、工事現場周辺の生活環境に影響を及ぼし、かつ工事の円滑な実施にも影響を伴う。したがって、工事の計画・実施にあたっては、工法・建設機械の選定、作業方法等に細心の注意を払う必要がある。



出典：道路土工　盛土工指針，日本道路協会，p.199，2010.

図 4.2.14 道路盛土施工手順

(2) のり面保護工の施工管理／監理

1) 植生工の施工

植生工の施工にあたっては、施工時期、工程管理、品質管理、安全管理等に十分留意するとともに、湧水の状況、気象状況、材料の品質、種子の計量等に留意して実施する。表 4.2.30 に植生工法ごとの留意点を示す。

施工計画：植生工の施工は、使用する植栽の適期を考慮して設定する。

施工管理：

工程管理：施工時期に播種できるように管理する。降雨の直前や降雨の中での施工は避ける。

品質管理：材料は品質にバラツキのないものを用いる。特に播種工においては必要量を正確に計量して行う。所定の吹付厚さを確保し、吹付ムラをなくすように施工し、確実な発芽及び初期成育を確保する。

安全管理：高所及びのり面下の作業者の安全を確保する。

施工上の留意点：植生工の施工は、のり面に表流水の影響や湧水がないことを確認した上で実施する。また、強風時、真夏日等は施工時期であっても施工を避ける。植物材料は、入荷時に品質の確認を行う。趣旨の計量は、種類ごとに厳密に行う。

表 4.2.30 植生工法ごとの留意点

項目	留意点
種子散布工	各材料を計量した後、水、木質材料、侵食防止材、肥料、種子の順序でタンクへ投入し、十分撹拌してのり面へムラなく散布する。
客土吹付工	各材料を計量した後、水、土（または改良土）、肥料、種子等をタンクに投入し、良く混合したスラリー状の材料を、スクイズポンプ等を使用して所定の厚さに吹き付ける。金網張工の上へ厚さ 3cm 以下で吹き付ける場合は、吹き付ける表面に金網が露出することもあるので金網をのり面の凹凸に合わせて固定する。
植生基材吹付工 （厚層基材吹付工）	各材料を計量した後、水、基材、肥料、接合材、種子等を混合してモルタルガンを用いて所定の厚さに吹き付ける。
植生マット工・植生シート工	マットおよびシート類はのり面の凹凸が大きい場合、浮き上がりや飛散に留意し、あらかじめ凹凸をならして設置する。特にマットおよびシートの端部を十分に固定し、のり肩部では巻き込んで固定する。シートを用いる場合は、施工後、表面に播土を行う。機材を注入した植生マットをのり面に施工する場合、のり面への密着を高めるために金網をマット上に設置して固定する。
植生基材注入工	布製の袋をのり面全体に敷設し、のり肩部をアンカーピンで固定する。その後、植生基材（土壌改良資材、客土等）を専用機械で注入する。できるだけ隙間が生じないように付き合わせて、所定の箇所をアンカーピンで固定する。
植生筋工	種子、肥料を装着した繊維帯を、定められた間隔に 2/3 以上が土に埋まるように土羽打ちを行いながら水平に施工する。
筋芝工	切芝は定められた間隔に 2/3 以上が土に埋まるように土羽打ちを行いながら水平に施工する。
枠工内の客土工	盛土のり面に用いられるプレキャスト枠工の枠内の客土は、良質土を用いて枠工下端からよく締め固めながら枠の高さまで施工する。
植生土のう工	植生土のうをのり面に運搬する際、土のう袋を破損しないように注意する。のり枠工の中詰工とする場合には、施工後の沈下やはらみ出しが起きないように十分注意して植生土のう表面を平滑に仕上げる。隙間が生じた場合は、植生土のうの追加等の対策を実施する。
張芝工	芝をのり面へ良く密着するように張り付け、その後目土を施す。
植栽工	植栽時に根系の枯死やルーピング等が確認された樹木は使用しない。盛土面で土壌改良が必要となった場合には、植栽する樹木の大きさに適した範囲を施工する。植栽にあたっては、深植えとならないように根鉢上面が確認できる程度の深さに植え付ける。支柱は樹木が活着するまで転倒防止に必要であるが、大きさの合わないものを使用することにより樹木の幹折れ等を招く恐れがあるため、樹木の大きさに適した支柱を選定する。特に、積雪地や強風地等の苗木植生においては、支柱の結束部での幹折れ障害が多く発生するため、根鉢固定支柱を用いることが適している。また、苗木植栽においては、草本類に被圧されることを防ぐためのマルチングを行うことが望ましい。
苗木設置吹付工	苗木は病害虫が発生しておらず、鉢の中に細根が密生して鉢土と細根が良く密着しており、生育時期であれば葉が開いており大半の葉枯れ落ちたり萎れたりしていないことを施工直前に検査する。のり面に苗木を設置する際には苗木根鉢が地山と密着して空隙ができないよう注意するとともに、根鉢上面が確実に吹付材で覆われるように施工する。また、植生基材吹付時には、設置した苗木を損傷しないように注意する。

出典：JICA 調査団（道路土工 切土工・斜面安定工指針，日本道路協会，pp.254-255，2009. を参考に作成）

2) 構造物の施工

構造物工の施工にあたっては、所要の機能を確保するため、施工中に新たに明らかになった条件についても考慮に加え、施工が行われるよう工程管理、品質管理、安全管理等に留意する。

のり面は、設計時に行われた調査から時間が経過し状態が変化していることや、設計時にはのり面が出現していない場合もあるため、地質状態や湧水状態等を施工開始前や施工中に調査を行う必要がある。その調査結果を踏まえて、所定の機能を確保できるように対処する必要がある。

施工中には、適切な判定基準や検証方法を用い、建造中の構造物が所要の機能を有しているかを確認する必要がある。検証方法としては、現場で試験・検査等を行う方法、工業試験場等での経験・検査や製造業者の試験成績表等で確認する方法がある。

第5章 現地調査（海外調査）

5.1 現地調査計画

5.1.1 対象国の選定

海外現地調査を行う渡航先について、以下の点を考慮して渡航先を選定した。

- 研究対象とする特殊土を網羅するよう、各国の特殊土分布に関する情報を鑑みて渡航先の組み合わせを検討する
- これまで ODA 事業等で特殊土に遭遇し、それに起因する問題が発生した国を渡航先として優先する
- 今後 ODA 事業（特に無償資金協力事業）が継続される可能性を考慮する
- 特殊土についての知見があると考えられる研究機関の有無
- ODA 事業に関わった政府機関や民間企業が確認でき、現地ヒアリングによって特殊土に関する情報を入手する可能性が高い国を渡航先として優先する
- 治安状況等を考慮して現地調査を安全に進めるかを検討する

これまでの特殊土に関する文献収集や ODA 事業についての事例分析、後述する第 1 回意見交換会における特殊土有識者や JICA からのコメント整理結果を踏まえた選定結果を以下の表 5.1.1～表 5.1.5 に示す。

表 5.1.1 海外現地調査の渡航先選定結果（東南アジア）

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
カンボジア	膨潤性土ならびに分散性土が分布する。弊社は農業開発無償事業に携わり、その際に膨潤性土による斜面崩壊・構造物の損傷等の問題に直面し、その調査・対策工の検討を実施し、修復工の管理を行った。	引き続き ODA 事業の継続が想定され、現地情報の更新、本邦技術の需要確認を行う必要性が高く、現地調査実施の必要性が高い。分散性土、膨潤性土、ラテライトに係る調査を主要目的とし、対象国として選定する	膨潤性土 分散性土 Acid Sulfate Soils ラテライト	・現地関係者が所有する膨潤性土、分散性土、ラテライトの分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土壌との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画/写真資料の収集

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
				・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング
インドネシア	膨潤性土が分布している。弊社では工業団地事業の敷地における損傷事例に関し調査を行い対策工を検討した。	特殊土による被害事例が多く膨潤性土に係る学術機関の研究が進められており、最新状況について調査する必要性が高い。膨潤土、火山灰土に係る調査を主要目的とし、対象国として選定する。	膨潤性泥岩（Clay 系）、Latosol Peat（火山灰土）	・現地関係者が所有する膨潤性土、ラテライトの分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング
タイ	膨潤性土が分布していることが確認されており、崩壊土による工事被害が発生した事例がある。	特殊土による被害事例が多く膨潤性土に係る学術機関の研究が進められており、最新状況について調査する必要性が高い。膨潤性土、浸水崩壊土に係る調査を主要目的とし、対象国として選定する	膨潤性土 浸水崩壊土（花崗閃緑岩） Orthent (Skeletal Soils) Gullying Gley Soils	・現地関係者が所有する膨潤性土、崩壊土等の分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング

出典：JICA 調査団

表 5.1.2 海外現地調査の渡航先選定結果（中央アジア）

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
タジキスタン	農地の塩類化が問題となっており、道路建設では	特殊土に関する情報が少なく、ODA 事業も引き続き継続する可	Saline Soil 黄土（Loess, MRD）	・現地関係者が所有する Saline Soil、Loess、Carbonate Soil に関する情報

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
	大規模な地すべり、ガリー浸食による河川系の悪化がある。	能性が高いことから現地調査を実施する必要性が高い。	Erodible Soil Carbonate Soils	・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集
キルギス	特殊土に関する情報は多くないが、膨潤性を持つ岩等の分布の可能性がある。		膨潤性土 黄土(Loess, MRD) Erodible Soil	・現地関係者が所有する膨潤性土、Loess に関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング

出典：JICA 調査団

表 5.1.3 海外現地調査の渡航先選定結果（東アフリカ）

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
エチオピア	ブラックコットンソイルが多く分布しており、無償資金協力で整備された道路も含む多くの区間での損傷を引き起こしている。対策工に係る基準を有する。SATREPS スキームによる改良材の研究が行われている。	特殊土に起因するインフラ施設の問題を抱えており、また本邦技術の適用検討国として、調査の必要性が高い。	ブラックコットンソイル（膨潤性土）	・現地関係者が所有するブラックコットンソイルの分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェ

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
				クトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング
タンザニア	ブラックコットンソイルが多く分布し道路等のインフラ施設の損傷がみられ、置換工等の対策工に係る関連基準を有する。	膨潤性土の被害事例が多く、対策工に係る基準もあることから、現地の最新情報に係る調査を行う必要性が高い。	ブラックコットンソイル（膨潤性土）Sodic Soil Residual Soil	・現地関係者が所有するブラックコットンソイルの分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング
ケニア	タンザニアと同様にブラックコットンソイルが多く分布し、道路等のインフラ施設の損傷がみられ、置換工等の対策工に係る関連基準を有する。	・弊社が実施中の「アヘロ灌漑地区改修計画準備調査」案件から関連情報を収集する。 ・他進行中の案件があるため、現地政府機関とコンタクトは取りやすい。	ブラックコットンソイル（膨潤性土）	・現地関係者が所有するブラックコットンソイルの分布図 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・大学等研究機関の特殊土に関する研究状況の把握 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集 ・特殊土にかかる新規プロジェクトのニーズ把握および国内技術シーズとのマッチング

出典：JICA 調査団

表 5.1.4 海外現地調査の渡航先選定結果（西アフリカ）

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
ガーナ	ラテライトが分布しており、盛土材料として利用するケースでは特性に応じた適切な施工、のり面浸食対策等が必要である。	特殊土に関する情報が少なく、ODA 事業も引き続き継続する可能性が高いことから現地調査を実施する必要性が高い。	ラテライト (Ferralitic Soil) Residual Soil Ferricrete Ferruginous Tropical Soil	・現地関係者が所有するラテライトに関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果
ギニア	既往文献の分布図から、ブラックコットンソイルが分布している可能性が高く、また同国無償事業の報告書から、ラテライトの分布が確認できる。		ブラックコットンソイル（膨潤性土） ラテライト (Ferralitic Soil) Ferruginous Tropical Soil	・現地関係者が所有するブラックコットンソイルの分布図、ラテライトに関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果 ・簡易試験実施による他地域の土との比較結果およびマニュアル作成に活用する動画・写真資料の収集
コートジボワール	ラテライトの分布、およびガリー侵食や侵食しやすい Ferruginous Tropical Soil の存在が確認されている。	ODA 事業が継続する可能性が高い。 安全面では渡航しやすい。	ラテライト (Ferralitic Soils) Ferruginous Tropical Soil	・現地関係者が所有するラテライトに関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果

出典：JICA 調査団

表 5.1.5 海外現地調査の渡航先選定結果（大洋州）

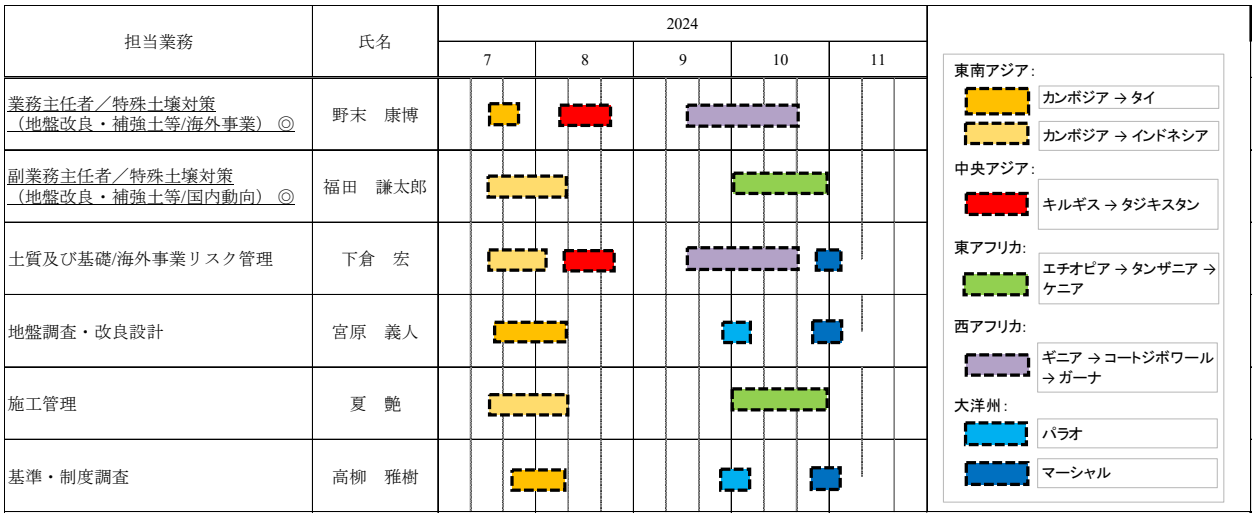
渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
マーシャル諸島	サンゴ礁由来の砂礫を建設土として利用する必要性が高い。（標高 0-5m, Ave.2m)	特殊土に関する情報が少なく、ODA 事業も引き続き継続する可能性が高いことから現地調査を実施する必要性が高い。	サンゴ礁由来	・現地関係者が所有するサンゴ礁由来土に関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果
パラオ	無償事業におい	ODA 事業が継続され	サンゴ礁由	・現地関係者が所有するサンゴ

渡航先候補	概要	選定理由	分布特殊土	現地調査で期待される成果
	て盛土材、砂、骨材は現地産を使用しており、コンクリート・アスファルト舗装用骨材が問題視されていると報告書に記述がある。（標高 0-242m,)	る可能性は高く、ミナト橋架け替え事業が進行中のため現場調査の意義は高い。	来	礁由来土に関する情報 ・ODA 事業における現地政府実施機関および現地民間企業の知見（採用基準、対策工等）の収集 ・ODA 事業が実施された特殊土分布地域の現地踏査結果

出典：JICA 調査団

以上の選定結果から、各要員の渡航スケジュールを表 5.1.6 に示すように計画した。

表 5.1.6 各要員の渡航計画



出典：JICA 調査団

5.1.2 ヒアリング内容

現地調査に先立ち、表 5.1.6 中の表で示した調査において期待する成果・情報について整理し、各機関への質問事項をまとめたヒアリングシートを作成した。各機関へのアポイントの際に送付したレターにヒアリングシートを添付し、事前に質問事項を通知した。ヒアリングの際にもこの質問事項に沿って情報聴取を行った。

表 5.1.7 ヒアリングシート内容例（政府機関、民間企業）

No	質問内容
1	建設事業において、膨潤性土（ブラックコットンソイルなど）や分散性土に関する問題（構造物や舗装の損傷など）が発生したことはありますか。
2	ラテライトやサンゴ由来の土を材料として使用した経験はありますか。また、これら材料に関連する問題はありましたか。
3	上記の土の他に、建設工事に危険をもたらす土は貴国にありますか。
4	国内の特殊土分布図など、特殊土の分布に関する情報をお持ちですか。もしありましたら、ご提供いただけますか。
5	貴国における建設事業における調査方法、対策工事の設計方法、特殊土の施工上の配慮に関する基準、ガイドライン、マニュアルはありますか。ありましたら、ご提供いただけますか。
6	貴国で特殊土を研究している、もしくは政府機関と共同研究している機関や研究者がいましたら連絡先を教えてください。
7	特殊土による被害などの問題が発生した建設事業があれば、その概要を教えてください。
8	現在進行中の建設現場で視察可能なものがあれば、お知らせください。
9	特殊土にかかわらず、軟弱地盤の処理、土質材料の改良、法面保護工法など、自国の建設事業における問題を解決するために、日本や諸外国から期待される技術的要求があれば教えてく ださい。

出典：JICA 調査団

表 5.1.8 ヒアリングシート内容例（研究機関）

No	質問内容
1	貴機関で膨潤性土、分散性土、ラテライト、サンゴ由来の土質材料に関する研究やプロジェクトはありますか。
2	上記の土の他に、建設工事（構造物、舗装、コンクリートへの損傷など）にリスクをもたらす土で、研究対象になっているものはありますか。
3	特殊土の分布に関する情報、特に貴国特殊土分布図はありますか。もしあれば、ご提供いただけますか。
4	貴国において、建設事業における調査方法、対策工事の設計方法、特殊土の施工上の配慮に関する基準、ガイドライン、マニュアルはありますか。ありましたらご提供いただけますか。
5	特殊土に関連する研究を行う上で、困難なことはありますか（試験装置や人的資源の不足など）。今後、どのような支援を希望されますか。
6	これまでに携わった建設事業で、特殊土による被害などの問題が発生した事業があれば、その概要を教えてください。
7	現在調査中で視察可能な現場があれば教えてください。
8	特殊土にかかわらず、軟弱地盤の処理、土質材料の改良、法面保護工法など自国の建設事業における問題を解決するために、日本や諸外国から期待される技術的要求があれば教えてく ださい。

出典：JICA 調査団

5.1.3 各国における主な特殊土と問題点について

現地調査の対象国ごとに問題が発生している主な特殊土とその問題点を表 5.1.9 にとりまとめた。

表 5.1.9 調査地域・対象国と主な特殊土および問題点

調査エリア	調査対象国	主な特殊土	主な問題
東南アジア	タイ	膨張性土	・浸水を原因とするヒービングによる道路、建物への損傷
	カンボジア	分散性土	・降雨、水位上昇による法面崩落、道路の侵食、ドラゴンホール
	インドネシア	膨張性土	・膨張と収縮の繰り返しによる道路の亀裂 ・高い膨張性による道路の変形
中央アジア	キルギス	崩壊性土（Loess）	・地下水による斜面の不安定化 ・舗装の損傷（沈下の可能性）
	タジキスタン	崩壊性土（Loess）	・崩れやすく分散しやすい地盤 ・路面の沈下、道路の陥没
大洋州	パラオ	サンゴ由来土	・骨材の強度不足
	マーシャル諸島	サンゴ由来土	・骨材の強度不足 ・輸入材料による建設コスト増
東アフリカ	エチオピア	膨張性土 （ブラックコットンソイル）	・膨張と収縮による道路舗装の亀裂
	ケニア	膨張性土 （ブラックコットンソイル）	・ボックスカルバート、橋梁、排水構造物への被害
	タンザニア	膨張性土 （ブラックコットンソイル）	・湿度の変化による膨張と収縮に由来する道路、建物への被害
西アフリカ	ギニア	ラテライト	・地域による性質のばらつき ・材料評価に係る情報不足
	コートジボワール	ラテライト	・地域による性質のばらつき ・材料評価に係る情報不足
	ガーナ	膨張性土 （ブラックコットンソイル）	・家屋のひび割れ

出典：JICA 調査団

5.2 調査結果・東南アジア

5.2.1 カンボジア

5.2.1.1 概要

カンボジアの現地調査における調査期間と調査メンバーは以下の通りである。表 5.2.1 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 7 月 17 日～7 月 26 日

調査メンバー　：野末 康博、福田 謙太郎、下倉 宏、宮原 義人、夏 艶、髙柳 雅樹、

（スレン ソッキアン）

サポートメンバー：Prof. Sopheap, Mr. Seng Mengly

表 5.2.1 調査スケジュール（カンボジア）

日時		内容
7/17	AM	JICA カンボジア事務所 公共事業運輸省 MPWT BPWL 民間調査会社・Soil Testing Laboratory（STL）
	PM	カンボジア工科大学（ITC）
7/18	AM	民間調査会社・Cast Lab 現場：カンダルスタン灌漑事業
	PM	現場：プノンペン環状（堤防）道路 メコン河岸侵食（NH1）
7/19		現場：トンレサップ灌漑現場
7/20		現場：地方道路整備事業 BTB-1、PS-11
7/22	AM	水資源気象省　試験室 水資源気象省（MOWRAM）
	PM	道路インフラ局（RID）
7/23	AM	地方開発省（MRD）
	PM	民間調査会社・HAIC Laboratory
7/24	AM	プノンペン都庁（PPCA）
	PM	カンダルスタン・ローレンチュレイ現場視察打合せ
7/25		現場：ローレンチュレイ灌漑現場 現場：カンダルスタン灌漑現場
7/26		現場：国道 6 号線、7 号線、11 号線

出典：JICA 調査団

5.2.1.2 ヒアリング調査

表 5.2.2 にカンボジアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果を取りまとめた。

表 5.2.2 ヒアリング調査結果（カンボジア）

ヒアリング調査先	要旨
公共事業運輸省 MPWT BPWL	● 国道 3 号線に軟弱地盤が確認されている。 ● 分散性土は 8 号線、21 号線で確認されている。 ● クラム試験（ASTM 準拠）以外の試験法について支援をしていただきたい。
調査会社・Soil Testing Laboratory（STL）	● カンダルスタンにおける事業では予算が限られていたため、近隣の土取り場から材料を採取したことが問題発生要因の一つと考えられる。当初計画では 20km 離れたところから材料採取・運搬する計画となっていた。 ● 同地区では表層は普通の土（細砂）だがその下に膨潤性土がある。膨潤性土 は 5～10m の深度など深いところに分布する塑性指数の高い粘性土で、締固めを過度に行うと水分の含有とともに問題が発生する。 ● 政府発注のプノンペン環状道路（堤防道路）では、降雨があるたびにドラゴンホールが発生し、毎年補修している。 ● 主に 9 月、10 月頃に水位が上昇し、浸食が顕著になる。ドラゴンホールは今でも確認できる現場がある。 ● カンボジアは基準が無く、土質試験は ASTM 基準（BS、JIS）に準拠している。
カンボジア工科大学（ITC）	● バッタンバンの道路建設において問題が発生し、膨潤土が原因の可能性がある。 ● 液性限界が 50%を超えると膨潤性粘土と評価される。
調査会社・Cast Lab	● メコン川沿いで特殊土に遭遇したことがある。 ● 分散性土に係る問題は経験しているが、特段の技術的な知見は無い。
水資源気象省　試験室（MOWRAM Labo）	● 膨潤性土に遭遇した経験はないが、分散性土は国道 7 号線の入口付近で遭遇したことがある。そこでは、道路建設で地盤を締め固めても浸食してしまい、ドラゴンホールが発生した。クラム試験を実施したが、分散性が高い結果となった。試験は昔実施されたことから、データは現在存在していない。 ● 分散性土の判別には、蒸留水と自然水でクラム試験をそれぞれ実施することで行っている。基準は、オーストラリアの AS 基準である。
水資源気象省 Ministry of Water Resources and Meteorology（MOWRAM）	● 主に分散性土に遭遇した。カンダルスタンの灌漑事業を除くと、膨張性土の 遭遇事例はない。 ● カンダルスタンでは、今も壊れる度に修復を行っている。 ● カンダルスタン灌漑以外にもカンダルスタンで分散性土が確認される。 ● ラテライトは、礫が含まれていないと、問題になる。一方、礫が含まれていると締め固まって品質が向上する。
MPWT 道路インフラ局 Road Infrastructure Department（RID）	● 軟弱地盤に起因する問題が国道 1 号線、3 号線、6 号線で発生している。 ● 分散性土に起因する問題は国道 1 号線、8 号線、11 号線、21 号線で見られる。 ● 国道 8 号線では分散土に起因する大きな陥没穴が発生し、一旦舗装を撤去して路床・路盤を再構築して修復した。補修の予算に関し、2018～2019 年度は比較的維持管理予算を多く確保することができた。

ヒアリング調査先	要旨
	● 問題が発生している箇所の特定は日常点検の中の目視点検で行う。 ● 国道 11 号線は補修のためにジオテキスタイルを使用した区間もある。 ● ADB のファンドで補修した区間（盛土法面部の崩壊箇所）には、補修時に砂質土にセメントを混合（2～3%）してもので埋め戻した箇所があり、10 年以上問題がなく良好な結果となっている。 ● ラテライトは路盤に使用され、基本的に問題となっていない。
地方開発省 Ministry of Rural Development（MRD）	● コンポンチャム州、6 号線、7 号線北方、11 号線と地方道路では分散性土に起因するホール、ならびに盛土部法面の崩落が多く発生している。 ● 修復方法として、同じ材料でジオテキスタイルシートを水平補強材として配置しながら撒出し・転圧して再構築する方法をとった。 ● ラテライトに関しては塑性指数（PI）30 以下のものを使用することとしており、これまであまり問題となったことはない。しかし、そのような良い材料は少なくなってきている。
調査会社・HAIC Laboratory	● 一般の土質試験の他に分散性試験（クラム試験、ダブルハイドロメータ試験）を実施している。 ● ベトナムの技術者が管理を担当している。ベトナムでも分散性土などに遭遇することがあり、ASTM 等米国の基準に準じて試験・判定する。
プノンペン都庁（PPCA）	● プノンペンの地形は低地帯が多く、池の多い場所だった。埋立地が多く存在することから、プノンペン地盤はゴミや腐植土表層にあり、その下に軟弱性粘土が存在している。 ● プノンペン市のメコン川河岸は以前から崩壊の繰返しが発生したことから、分散性土が存在する可能性が高い。現在は、補強土と排水対策（日本の援助）を実施したため、安定している。 ● Kom Pot 州にある国道 3 号線に軟弱地盤が厚く存在し、地盤沈下が発生しており、問題になっている。 ● 既存道路の改良や修復が主な業務
国土管理・都市計画・建設省 Ministry of Land Management, Urban Planning and Construction (MLMUPC)（7/31 にヒアリング実施）	● 雨季で国土 3 号線や Mundulkiri 州の地すべりなどの被害を受けた。Mundulkiri 州の地すべり問題については、特殊土が原因の可能性あり。 ● 道路の路盤材および盛土材としてラテライトが問題なく使用されている。 ● カンボジア全土の地質断面図、地質マッピング、特殊土分布図が無いため、作成を要望。

出典：JICA 調査団

5.2.1.3 フィールド調査

カンボジアの既往事業や道路などのインフラ施設の状況を確認するため、フィールド調査を実施した。調査位置を図 5.2.1 に示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.2.1 フィールド調査位置図（カンボジア）

表 5.2.3 フィールド調査結果（カンボジア）

No.	写真	概要
1	 現地状況①  現地状況②  膨張性土（当該地の掘削捨土と想定）	【カンダルスタン灌漑計画 コンクリートライニング変状対策計画】 ● 2007 年に完成した幹線水路において、2010 年に MOWRAM よりコンクリートライニングパネル崩落の連絡があり、その後変状原因・対策の検討、補修工事を実施した箇所である。 ● 変状対策として、現在の置換土を撤去し、購入砂にふつうポルトランドセメントを混入攪拌させて埋戻し、コンクリートパネルを張り直した。 ● 2013 年補修工事完了後、約 10 年経過しているが、コンクリートパネル等に変状は特にみられなかった。 ● 施工時の残土は、左右岸の道路の水路反対側の路肩脇に捨土さえており、降雨等にさらされている状況にあった。 ● 当時の膨張性土材料が含まれていると想定され、土塊になっているが、スコップで容易に削れる。降雨を受けるなどして水分を含むと容易に泥濘化する。

No.	写真	概要
	  サンプル採取状況	
2	 現地状況①：堤防道路取付道路  堤防取付道路の陥没状況	【プノンペン環状(堤防)道路】 ● 堤防道路と周辺道路の道路の取り付け盛土部で、陥没や法面侵食が見られた。陥没箇所では、法面にかけて土の吸出しを受けている状況も見て取れた。 ● 堤防道路の法尻部でも一部侵食や吸出し跡が見られた。 ● 河岸の切土面でガリー浸食の状況が見られた。上部と下部で土層が分かれているように見受けられたが、侵食はどちらの土層にも見られた。 ● 河川工等で利用するための工事用道路脇に、掘削残土の土塊・岩塊があった。打撃を加えないと割れない程度の硬さは持っているが、雨水など水分を含むと短時間で泥濘化する。土塊表面は、現地確認時に遭遇した降雨によって、表面に凹凸の雨跡が瞬時につく状況であった。

No.	写真	概要
	 河川切土面のガリー浸食状況  掘削土塊・岩塊の状況  降雨による泥濘化状況	

No.	写真	概要
3	 河岸侵食箇所(上流側)  河岸侵食箇所(下流側)  当時の道路の基盤状況	【メコン川河岸侵食現場(NH1)】 ● 河川水の影響と想定される護岸や道路の侵食被害を受けた箇所である。 ● 当時の道路や護岸の崩壊跡が見られた。侵食崩壊部は内陸部まで大きく入り込んでいた。 ● 現在は崩壊の進行は止まっているように見られた。 ● 崩壊面から当時の路床路盤が確認された。

No.	写真	概要
4	 水路状況  付属水路状況  水路法面  土の状況	【トンレサップ灌漑現場】 ● 水路の構造物に特に変状等は見られなかった。 ● 付属水路は、掘り込み形式の土水路構造をしている箇所があり、現地確認当時は降雨は無かったものの、法尻付近から湧水している箇所も見られた。 ● 水路の水は溶けだした成分により白色にやや濁っており、周辺の土に分散性土が含まれることが示唆された。 ● 頭首工付近では、大きな水量が処理されていた。頭首工などの構造物は健全であった。 ● 頭首工の下流側の河岸において、法面のガリー浸食や、河川横断方向の大きな陥没やひび割れが見られた。

No.	写真	概要
	 頭首工  河岸侵食状況  陥没・ひび割れ状況  対岸の状況	

No.	写真	概要
5	 道路・水路状況  陥没孔状況  陥没箇所で見られた土の状況  法尻の吸出し跡状況	【地方道路整備事業 BTB-1】 ● 水路沿いの道路脇で、陥没孔が見られた。 ● 水路側につながっていると推察され、分散性土等が存在することによる吸出しが発生していたと推察された。 ● 水路法尻付近に、土が流れ出たような痕跡も確認された。 ● 水路沿いの道路の天端は赤色で、ラテライトで仕上げていたと考えられる。一方、陥没孔付近では、白色を呈する土が確認された。

No.	写真	概要
6	 道路状況  陥没箇所状況  試料採取状況  周囲の露頭状況	【地方道路整備事業 PS-11】 ● 道路脇に小規模の陥没が確認された。 ● 道路の天端は赤色で、ラテライトで仕上げていたと考えられる。一方、陥没付近では、白色を呈する土が確認された。 ● 白色を呈する土は、比較的硬く、スコップなどでブロック状で採取される。水分を含むとただちに緩くなった。 ● 現地にて簡易的なクラム試験を実施した。四角に切り出した試料片を水につけると、徐々に砕けて細粒化していった。土の成分はそれほど広がりを見せなかった。

No.	写真	概要
	 簡易クラム試験状況  試料放置後	
7	 水路法面状況  頭首工	【ローレン・チュレイ灌漑水路・頭首工】 ● 灌漑水路整備事業の現場を視察した。 ● 視察当時に大雨のため、簡易な現場確認の結果、水路法面にガリー浸食や侵食の進行による陥没箇所も見られた。

No.	写真	概要
8	 杭施工現場  水路掘削現場  ガリー浸食状況  試料採取状況	【カンダルスタン灌漑水路・頭首工】 ● カンダルスタン灌漑水路・頭首工工事現場を視察した。 ● 杭打ち機による杭施工現場を確認した。 ● 灌漑水路掘削現場では、法面にガリー浸食が見られた。 ● 試料採取時、スコップにある程度の抵抗を感じられる硬さはあったが、水分を含むと泥濘化しやすい状況が見られた。 ● ガリー浸食が見られた箇所の土や降雨で流れ出した水は、比較的白色を呈していた。

No.	写真	概要
9	 国道 6 号線舗装状況  国道 7 号線拡幅工事状況  国道 11 号線近傍のコーズウェイ	【国道 6 号、7 号、11 号】 ● ヒアリング先からの情報提供があった、過去に補修等を実施した箇所や現在拡幅工事等が実施されているとされた、国道 6 号、7 号、11 号の現地を視察した。 ● 国道 6 号は 4 車線道路で比較的交通量の多い道路であるが、アスファルト舗装状況は良好であり、沈下による段差や変状等は特に見られなかった。 ● 国道 7 号は拡幅工事中であった。 ● 国道 11 号は特に変状等は見られなかった。近傍のコーズウェイにおいても段差や変状は見られなかった。

出典：JICA 調査団

5.2.1.4 カンボジアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るカンボジアの基礎情報

1) 気象条件

一年は大きく雨季（6～10 月）と乾季（11～5 月）に分かれており、気温は年間を通じて高く、熱帯性モンスーン気候に属している。雨季には激しい雨が数時間降り、道路が冠水し、衛生状態も悪化することがある。乾季の 11 月から 2 月にかけては暑さが少し和らぎ、比較的過ごしやすくなるが、3 月から 5 月は最高気温が 40℃近くになる猛暑が続く。[1]

降水量は、年間降水量の約 80%が雨季に集中し、年間平均降水量は地域によって異なるが、1,000mm～2,500mm の範囲である。メコン川流域でプノンペンから東側のプレイベン周辺では約 1,500mm である。平野部の気温分布に大きな地域特性は無く、月平均気温の最低は 1 月、最高は 4 月であるが、その差は 5℃程度で、季節による気温の変化は少ない。プレイベン周辺の年間平均気温は 27℃である。[2]

2003 年から 2006 年の 4 年間の平均最高気温は約 34℃で、最高気温が 33℃を超えるのは、3 月と 4 月の雨季が始まる頃であり、38℃に上昇することもある。相対湿度は通常 90%を超え、年間を通して夜に高くなる。乾季の昼間の平均湿度は約 50%であるが、雨季にはそれが約 60%になる。[3]

【参考文献】

[1] 国土交通省：海外不動産データベース,
https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/kokusai/kensetsu_database/ethiopia/index.html（2024 年 12 月確認）
[2] JICA 報告書：カンボジア国　洪水多発地域における緊急橋梁架け替え計画（2020 年 11 月）
[3] JICA 報告書：カンボジア国　洪水対策支援計画（2012 年 8 月）

2) 地質

カンボジアは地質的に 3 つの異なる構造からなっている。カンボジア東部では三畳系からジュラ紀前期ライアス統の内湾成浅海堆積岩類が広く分布し、カンボジア西部にはジュラ紀―白亜紀の陸成砂岩が高地を形成している。それらの間の中央平野には第四紀堆積物が広く分布する。

カンボジアでは先カンブリア系を最下部とし、最上部の白亜紀まで広がる一連の堆積累層が分布するが、これらは全て連続した構造運動と火山活動の影響を受けている。それらの内、第三紀累層はカンボジアの陸域での露出は非常に限られ、シャム湾の海底で厚い層を形成しているが、これが石油･天然ガスの胚胎層準として期待されている。

先カンブリア系の岩石は高変成度の変成岩からなり、カンボジアの北東及び北西における基盤を形成している。Ratanakiri 州の最北東にはコンツム地塊(Kontum Massif)の延長部分にあたる Bokham 統と呼ばれる片麻岩、雲母片岩、輝岩、角閃岩から成る高度変成岩類が分布する。カンボジア北西部の Pailin 火成岩類の露出は比較的少量で、花崗岩、閃緑片麻岩、角閃岩、斑レイ岩化した塩基性片麻岩からなるが、Bokham 統との類似性から先カンブリア系と考えられている。

カンボジア南西の Preah 地塊の中心をなす優白オルソナイスもまた、上位のカンブリア紀の珪岩との位置関係から先カンブリア系とされている。

カンボジアにおけるカンブリア系の存在は、北部で砂質頁岩中から発見･同定されたカンブリア紀三葉虫類(Blainia aff)で確認され、他の露頭も層序位置と層相の類似性からカンブリア系に分類されている。カンボジアのカンブリア紀－シルル紀累層は次の 3 群がある。

・最下層の緑泥石片岩、絹雲母片岩、石英トルマリン片岩からなる累層群
・カンボジア中央部及び南部(Preah, Tvea Kampot 他)における変成珪岩群
・最上部の、低変成度の珪岩群(the Damrey Romeal Group)

デボン系-石炭系はカンブリア系－シルル系の上に不整合に載っており、碧玉と放散虫類の層を伴う砂岩、頁岩、少量のマール、礫岩、石灰岩を含み、非変成の堆積累層の最下部層を形成している。これらは、ペルム紀の石灰岩(Poi Pet 南部)や、三畳紀の砂岩(Tadeth 地塊の南東部の外縁麓)に不整合に覆われる。これらの岩石はカンボジアの南部で孤立した小丘を形成、または地下に広く分布し、第四紀の薄い沖積層に覆われる。デボン系－石炭系は強く褶曲されており、上部は火山及び深成活動の影響を受け、その厚さは 3,000m を越える箇所もある。

カンボジアの上部石炭系－ペルム系は 2 タイプの堆積相、即ち縁海成砕屑相と縁海成生物源相からなる。縁海成砕屑相は、砂岩、石灰岩の挟在を伴う頁岩から成りカンボジアの東部に限定的に分布する。シリーズの年代は、ペルム紀の化石を豊富に含む石灰岩により決定されている。一方の縁海成生物源相は、化石に富む白～灰色石灰岩(中部～上部ペルム紀、一部石炭紀)で特徴づけられ、カンボジアの北部、西部、南部で平野から隆起した孤立丘をなす。下位のデボン系－石炭系などとの関係は不整合で、場所によってはペルム系を欠く。カンボジアのペルム系は火山活動の影響が大きく、Preah Vihear と Stung Treng 高地のペルム系石灰岩中には安山岩質及び粗面岩質の火山及び火山－陸源性累層が挟在される。安山岩巨礫はカンボジア南部 Phnom Tuk Meas のペルム紀石灰岩中でも観られる。

三畳系は海成と亜大陸成の 2 相に識別できる。海成の三畳系はカンボジア東部（Kratie, Stung Treng,Ratanakiri）で一般的で、砂質頁岩、石灰化砂岩、マールからなる。亜大陸相はカンボジア中央部(Rovieng, Srang と Kratie の西部)、西部(TAdethmassif)の多くの場所に分布する。この相は砂岩及び、頁岩とマールが挿入された微角礫岩からなる。これらの地層の大部分は、大陸縁辺起源物質からなる。カンボジアの西部にある Tadeth 地塊ではその厚さは 1,000m に及ぶ。亜大陸成と海成の両シリーズ共に流紋岩質の凝灰岩が存在することから、三畳紀には重要な火成活動が生じたことが分かる。

初期－中期ジュラ系は、カンボジア東部の Ratanakiri 州、Mondulkiri 州、Kratie 州、Stung Treng 州と Preah Vihear 州の大部分を覆い厚さ 2,000m まで発達した”赤色平原”で代表される。このシリーズは西方へ向けて薄くなり Rovieng では数百 m に、さらに Stung Sangke の手前では消滅してしまう。この系は礫岩、緑がかった砂岩、石灰岩、潟起源の海浜成石灰化砂岩層を挟在した赤色砂岩、シルト岩、粘土岩を含む大陸の砕屑岩よりなる。カンボジア西部では、初期－中期ジュラ系累層はわずかに不整合で上位砂岩シリーズと連接している。その初期－中期ジュラ系累層は Rovieng と Sisophon の間の多くの場所で、上位砂岩の下底部分で見られ、その細粒砂岩は Ankor 他の多くの寺院建築に利用された。

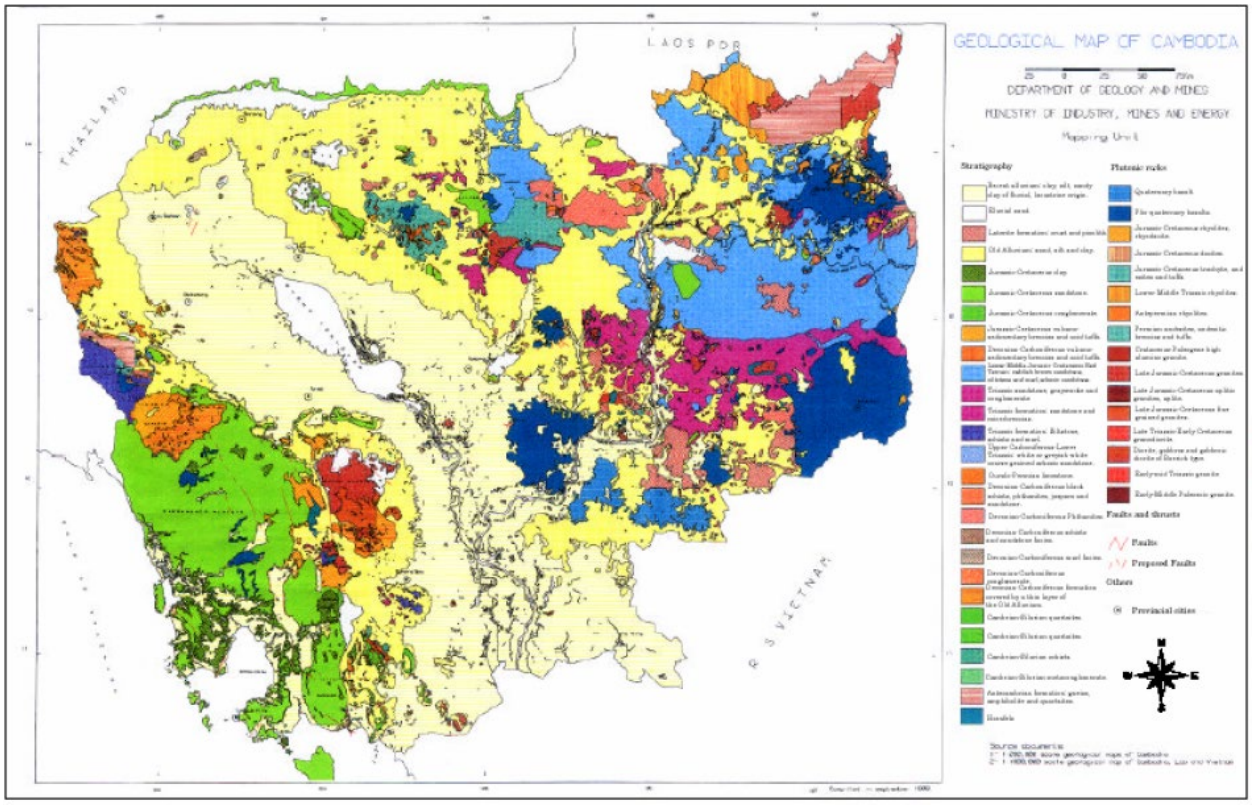
後期ジュラ系－白亜系はカンボジア西部(Phnom Kravanh)と北部 (Phnom Dangrek)と中央(Phnom Kulen,Phnom Tbeng, Phnom Santuk 他)にある準平原高地と卓状台地(mesa)を形成している。この時代の累層は堆積性と火山－堆積(混合)性の 2 つの模式層序で特徴づけられる。堆積性累層は大陸起源の砂岩、シルト岩、礫岩から成り厚さは 2,000m を超える。シリーズの上部の年代は花粉分析により初期白亜紀と決定されている。後期ジュラ系－白亜系の火山堆積層序はカンボジア東部の Stung Treng､Kratie と Ratanakiri だけで発見されており、基底礫岩、赤色砂岩から、上位の安山岩、少量の石英安山岩を伴う凝灰岩から成る。この系の厚さはベトナム側の近くで 800m にまで達する。最も重要な火山活動は砂岩の形成期、特にその最上部形成期に起こった。カンボジア西部の Tumor,Kchol, Khnong Ay における大規模な流紋岩質地塊はこの時代に属する。カンボジア西部で、流紋岩質及び石英安山岩質累層は Cardamom 砂岩地塊の東側前山を覆い、そこでは上部砂岩内にこれら流紋岩層が挟在されているのが確認できる。上部砂岩累層の中には、酸性の火山物質を豊富に含むものもある。

新第三系－更新統この時代の堆積物は 1:20 万縮尺のフランス地質図で「古沖積層」(“The Old Alluvium”)として解釈されていた。これらの堆積物は一般的に海水準 25-150m のレベルでテレーンや平地を形成している。この系統の上部は部分的に強くラテライト化されている。この堆積物の上をより若い年代の玄武岩が覆う事から、その年代は 65 万年より古いと確認される。Pailin では、「古沖積層」が新第三紀-第四紀の玄武岩に挟まれる事から「古沖積層」は、初期第四紀と後期鮮新世、つまり 1.5-2Ma のものと位置づけられる。新第三系－更新統の累層はカンボジア東部の大盆地の中に認められ、よく発達した礫岩層準の上位粘土岩やシルト岩からなり、海岸平野堆積相を示している。新第三系－更新統の累層はまた、Mekong 河の河谷と Tonle Sap 川地域の地溝を埋めているが、より若い沖積物に完全に覆われている。首都 Phnom Pen では、上部新第三系累層は厚さ 25-30m の第四紀沖積土の下でその分布が確認されている。新第三系－第四系のもう一つ別のユニットは鮮新世-更新世の玄武岩で、Ratanakiri 州, Mondulkiri 州, Kampong Cham 州の玄武岩台地、そして幾分少規模の流出であるが Preah Viheasr 州, Pailin 州,Pursat 州, Koh Kong 州の台地も形成している。これらは約 100～140m の厚さの玄武岩、アルカリ玄武岩、高アルミナ玄武岩からなる。この玄武岩の年代は 1.77Ma～2.6Ma まで様々である。Ratanakiri 州の大規模玄武岩台地は堆積性ジルコン鉱床の重要な源であり、一方カンボジア西部(Pailin, Samlot, Chamnop, Chhnuon)の小規模玄武岩露頭は、高品質コランダム、ルビー、サファイア、の主な源である。

第四系の堆積物はカンボジアに広く分布する。特に Mekong 川と Tonle Sap 川系の広い平地において広がり、一般的に海水準 0 から 40m までのレベルを占めている。初期第四系は河川と海起源の砂、シルト、粘土岩からなる。中期第四系は平野の中で海水準 15m より上の段丘を形成する赤色砂質堆積物から成る。中期-後期第四系はカンボジア北部、南東部、北西部に広がり、中央平野の外側部分に位置するより高い起伏地形を造って露出していて砂利、円礫、砂、粘土から成る。このユニットは Battambang 地域では約 200m の厚さになる。完新統は海岸平野と中央平野、および小さな中山形谷(upland valley)に分布し、湖、川、海岸/海浜、浅海起源の最近の堆積物による。堆積物は有機物の遺骸を含む灰色のシルト、砂、粘土からなる。その厚さは非常に薄く、且つしばしば途切れているため下位のより古い累層が地表に表れている。層序分類の最終

にあたる最新のものとしては、砂岩地塊と花崗岩地塊(Koulen, Dangrek, Kravanh,Kchol)の近くに見られる、古期と新期の沖積層を部分的に覆う風化残留砂の累層がこれに属する。

出典：JOGMEC：資源開発環境調査 カンボジア王国, https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/ cambodia_05.pdf



出典：JOGMEC：資源開発環境調査 カンボジア王国, https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/cambodia_05.pdf

図 5.2.2 カンボジア地質図

3) 特殊土の分布図

特殊土の分布図は特に無い状況である。カンボジア政府は、分散性土や膨潤性土が分布していることを把握しているが、調査方法や分布地域の整理方法・データフォーマットなどが確立されていない状況にある。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

1) 問題となる特殊土について

膨潤性土、分散性土、軟弱地盤が問題となっている。

2) 発生している問題

全国の国道において分散性土が確認されており、降雨や水位上昇によってドラゴンホールやのり面崩壊が発生している。トンレサップ湖の灌漑エリアにおいても多くの分散性土が認められ、土が溶けてガリーが発生している様子、崩壊した痕跡が確認された。

カンダルスタンにおいては分散性土によるガリー侵食の他、灌漑事業において膨潤土が確認され、損傷が報告されている。バッタンバンでも膨潤土が問題の原因と考えられるケースが発生している。

3) 現地の対応策

分散性土による道路等の被害はジオテキスタイル等による補修を行っているところもあるが、対策方法が確立されておらず、損傷したら修復することを繰返しているような実情がある。

4) 基準の整備状況

土質試験に係る基準は整備されておらず、ASTM やオーストラリア等の海外の基準を使用している。

5.2.1.5 推奨される支援事業

これまでカンボジアでは無償資金協力、有償資金協力による道路橋梁整備事業を始めとするインフラ整備事業、道路・橋梁維持管理等に係る技術協力事業が実施されてきた。

特殊土に係り、分散性土による被害が多く発生しているが、調査・設計・対策工法に係る基準・マニュアルは整備されていない。関係機関のヒアリングではその整備に係る技術支援の他、研究機関の設立や土質に係る研究環境の整備、試験方法に関する人材育成等の技術協力、また地盤改良技術に係る期待が高いことが判明した。この状況に鑑み、推奨される支援事業として特殊土の調査・対策工法の考え方・設計方法に係る共同研究事業（SATREPS）やマニュアル・基準の整備を含めた技術協力、軟弱地盤対策工法を取り入れた従来型の道路整備事業が有望と考えられる。

なお、国道 1 号線沿いのメコン川河岸侵食現場は大規模な被害が発生、現在も進行中であり現地政府がその対応に苦慮している。問題の解決に向けた技術協力も有意義な支援事業として推奨される。

同国で適用可能性のある本邦技術としては軟弱地盤改良技術に対する期待が大きいことに加え、本邦で開発が進んでいるセメント系固化材を使用した地盤改良技術（浅層・中層・深層改良など）が挙げられる。地盤改良技術への分散性土への適用にあたっては十分な実績・知見が現時点ではなく、上述した河岸浸食防止事業の実現に向けた技術開発プロジェクトの実施が望まれる。

5.2.2 タイ

5.2.2.1 概要

タイの現地調査における調査期間と調査メンバーは以下の通りである。表 5.2.4 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 7 月 30 日～8 月 9 日

調査メンバー　：宮原 義人、髙柳 雅樹

現地エンジニア　：Mr. Wachira Jongkittipong

表 5.2.4 調査スケジュール（タイ）

日時		内容
7/30		民間建設会社・Kajima Road Overseas（KRO）
7/31	AM	チュラロンコン大学（CU）
	PM	地方国道局（DRR）
8/1		国道局（DOH）Central Lab
8/2		現場：東部外環状道路（国道 9 号線）、バンコククレイ分布地域外調査
8/5		民間会社・AMATA Corporation 現場：チョンブリ、ラヨーン建設現場
8/6		現場：国道 3 号線 Bang Pu 道路建設（DOH）
8/7		現場：メーモ発電所周辺
8/8		チェンマイ大学（CMU）
8/9	AM	カセサート大学（KU）
	PM	JICA タイ事務所

出典：JICA 調査団

5.2.2.2 ヒアリング調査

表 5.2.5 にタイで実施した関係機関とのヒアリング調査結果を取りまとめた。

表 5.2.5 ヒアリング調査結果（タイ）

ヒアリング調査先	要旨
建設会社 Kajima Road Overseas（KRO）	● サラブリ県で膨張土（ブラックコットンソイル）に遭遇した。竣工から 2、3 年後に工場の床でひび割れが生じ、擁壁が持ち上がった。施工時には特に問題が無かった。 ● バンコク内・周辺は軟弱地盤が分布するが、道路は軟弱地盤対策を行っていない。 ● ラテライトが分布する地域では沈下の心配は無いが、雨季のぬかるみが問題である。 ● 建設基準は DOH が発行する基準を使用している。 ● コストをかけて特殊工法を採用するより、コストが低いもしくは簡易な手法に関心がある。

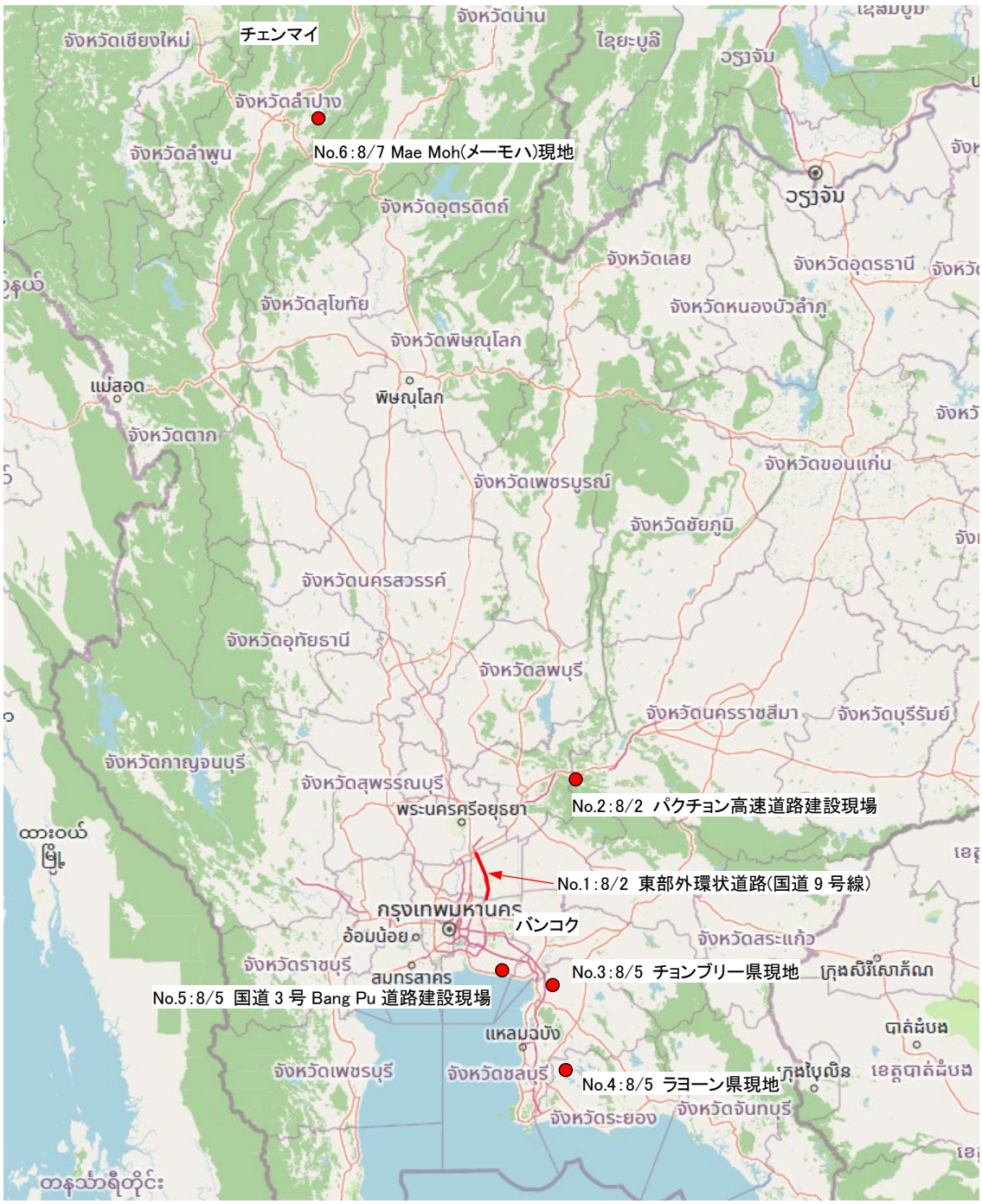
ヒアリング調査先	要旨
チュラロンコン大学（CU）	● 地すべりに関する膨潤性土およびラテライトの研究、タイ中央部に分布する軟弱地盤に関する研究を行ってきた。 ● タイ北東部には黄土（レス）と崩壊性土が分布している。 ● タイ中央部には海洋由来の軟弱土および沖積土が分布している。 ● 植生や生化学的な地盤改良法、膨潤土の改良方法としてセメント・フライアッシュによる安定化の研究を行った。 ● のり面保護の技術として Geosynthetic Cementitious Composite Mat (GCCM)がある。 ● プラスチックをリサイクルした骨材で砂・礫を置換し、セメントで安定化する地盤改良の研究を行った。 ● 特殊土の分布図は無い。関連する基準も無く、DOH の道路/橋梁建設用の基準が採用されている。これらの基準は ASTM や AASHTO を参照している。
地方国道局 Department of Rural Roads（DRR）	● バンコク周辺各地で点検技術を駆使して地盤状態の把握を行っている。 ● Resistance Analysis や Multi-Channel Analysis はボーリング調査より精度は低いものの、道路破損時の緊急補修の際に早く地盤状態を解析することが可能。 ● バンコク周辺の軟弱粘土の分布図はあるが、膨潤土等の特殊土の分布図は所持していない。 ● 道路事業においては主に AASHTO、ASTM を使用する。
国道局 Department of Highways (DOH) Central Lab	● 地盤改良、アスファルト、カーボンニュートラル等の新技術について研究しており、材料部門と研究部門に分かれる。 ● ラテライト、玄武岩、石膏を採掘した現場がマッピングされたデータを所有。 ● 土質試験を行い膨潤性土等の特殊土が現場に分布していると判断された場合、取り除くか地盤改良を行う。 ● 道路事業において AASHTO と ASTM を主に参照する。
民間開発会社・AMATA Corporation	● 工業団地開発において、チョンブリでは盛土で造成、ラヨーンでは切土で造成する。 ● ラヨーン造成地建設中に斜面でガリー侵食が確認された。 ● 造成に使用する土は、その地域で採取された土しか使えない現地の開発ルールがある。 ● 造成の基準を施工業者に示している。
国道 3 号線建設事務所（DOH）	● 現地盤の軟弱粘土は掘削して取り除く。掘削した粘土は基本捨てるが、道路中央やのり面の植生部分に利用することがある。 ● 埋戻し材料はチョンブリから採取した基礎地盤（岩石）の破砕材料を使用。埋め戻し後は次の工程まで 5 か月程度放置期間を設ける。 ● 路盤はチョンブリの材料とセメント（2%以上）を混ぜたもので盛る。 ● 軟弱層は GL-20m 程度堆積しているとボーリング調査等より想定される。 ● チョンブリの材料、軟弱地盤について基本的な物理試験を実施。
チェンマイ大学（CMU）	● 膨潤土が原因で発電所の建物に損傷が生じた。 ● 発電所のエンジニアは地盤について詳しくはなく、膨潤土の性質については把握していなかった。 ● 膨潤土に対する当時の対応策はボトムアッシュによる置換であった。 ● 30 年ほど前に建設された杭基礎の無い建物について、建設 2-3 年後にヒービングが始まった。地下水道管の水漏れが一因だと考えられる。膨潤土の層は 5-6m、膨潤圧は 150kPa であり、建物の荷重 75kPa の 2 倍

ヒアリング調査先	要旨
	の規模だった。 ● 発電所内の道路について、ひび割れと地面の膨張が生じ、フライアッシュと石膏による改良が行われた。
カセサート大学（KU）	● 15 年ほど前に DOH と共同でタイの地盤に係る土質工学のマニュアルを作成した。特殊土の試験結果や分布について記載がある。 ● バンコク周辺に膨潤土が分布している地域があり、舗装のひび割れ等の問題が生じている。 ● 侵食に対して土嚢や植生によるのり面保護に関する研究を行った。材料の一部は日本植生（Nisshoku）から調達した。 ● コンクリートなどのハードなのり面保護はいずれ損傷が生じる。植生などの自然由来の技術がよりサステナブルである。

出典：JICA 調査団

5.2.2.3 フィールド調査

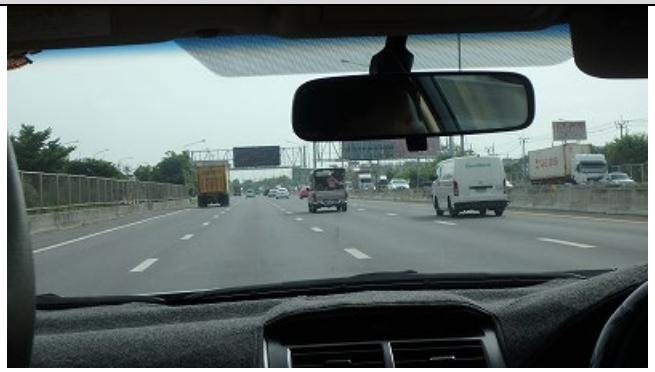
タイの事業や道路などのインフラ施設の状況を確認するため、フィールド調査を実施した。調査位置を図 5.2.3 に示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.2.3 フィールド調査位置図（タイ）

表 5.2.6 フィールド調査結果（タイ）

No.	写真	概要
1	 国道 9 号線  道路脇の補修工事  道路改良工事	【東部外環状道路(国道 9 号線)改修計画】 ● バンコク中心部から東側を南北に貫く主要道路である。バンコククレイが分布する低地上に位置する。 ● 交通量は非常に多いが、沈下に伴う大きな段差は見当たらなかった。橋梁取り付け部でやや起伏があった。 ● 小規模な補修工事などは各所で実施中であった。
2	 高架道路工事現場（上部工工事）	【パクチョン高速道路建設現場】 ● バーンパイン～サラブリー～ナコンラーチャシマー（通称バーンパイン～コーラート）196 ㎞の長距離高速道路の建設が進んでおり、その建設現場の一部を視察した。 ● 上り線の上部工工事と下り線の下部工工事を実施中であった。 ● 下部工工事では、既設杭と思われる構造物撤去工が行われていた。

No.	写真	概要
	 高架道路工事現場（下部工工事）  高架道路工事現場（既設構造物撤去）	
3	 造成工事現場  掘削土の状況	【チョンブリー県現地】 ● チョンブリー県の造成工事現場を視察した。 ● 現地の元地盤の掘削土が山積みされている状況が見られた。

No.	写真	概要
4	 陥没箇所の状況①  陥没箇所の状況②  斜面の状況  斜面の侵食状況	【ラヨーン県現地】 ● ラヨーン県の造成建設現場周辺の斜面等を視察した。 ● 小規模の陥没箇所が見られた。法面背面土砂の吸出しを受けているように見られた。 ● ガリー浸食を受けているような斜面が見られた。場所によって、崩壊性土が分布している可能性があると想定される。

No.	写真	概要
5	 国道 3 号工事現場①  国道 3 号工事現場②  国道 3 号工事現場③  現場事務所の試験室の状況	【国道 3 号 Bang Pu 道路建設現場】 ● 国道 3 号線の拡幅を主体とした道路改良工事の現場事務所を訪問した。 ● 海岸沿いの道路であり、排水処理をしながら工事を実施していた。 ● 現場事務所には、簡易試験室があり、基本的な材料試験（土質試験、コンクリート試験）を実施できる環境にあった。

No.	写真	概要
6	 水路状況  雨水等による陥没・吸出し箇所(想定)  水路脇の斜面状況	【Mae Moh(メーモハ)現地】 ● 文献にて、特殊土が分布していると言及の有った地域を視察した。 ● 過去に膨張性土による建物や道路への亀裂や隆起の発生があった地域である。 ● 一部植生が剥がれ、陥没等が見られる箇所があった。 ● 土の色は周辺と比較して赤みを帯びているように見られた。スコップ等で掘削すると、内部は白色を呈する箇所も見られた。

出典：JICA 調査団

5.2.2.4 タイの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るタイの基礎情報

1) 気象条件

国土の大部分が熱帯モンスーン気候に属し、地方によって季節が異なる。バンコクでは、11 月から 2 月までの乾季、3 月から 5 月までの暑季、6 月から 10 月までの雨季の 3 つの季節に分けられる。乾季は最高気温が 30℃前後で、平均湿度も 50%前後と低く比較的過ごし易いが、大気汚染と相まって風邪等の呼吸器疾患の多い季節である。暑季は最高気温が 35℃前後に達し、外を歩くと疲労し易く十分な休養が必要となる。雨季は暑季に比べ気温は下がるものの湿度が高く、食中毒などを起こし易い季節である。[1]

タイ王国は、南北の距離が最も長い部分で 1,860km、また、南北の緯度の差が 16 度あることから同じ熱帯でも地域により様々な気象変化が見られる。(バンコク)東部外環状道路の周辺地域では、最高気温が約 34℃、最低気温が約 25℃、年平均気温が約 29℃、年間平均降雨量は約 1,500mm である。[2]

【参考文献】

[1] 国土交通省：海外不動産データベース,
https://www.mlit.go.jp/totikensangyo/kokusai/kensetsu_database/ethiopia/index.html（2024 年 12 月確認）
[2] JICA 報告書：タイ王国　東部外環状道路(国道 9 号線)改修計画（2012 年）

2) 地質

タイは、アルプス造山運動帯に含まれているが、それ以前に先カンブリア期、カレドニア期、バリスカン期、インドシナ期の造山運動を被っているために、複雑な地質構造発達史を有する。タイの地質構造は、各造山運動の影響の度合いによって大きく 3 つの構造ユニットに区分される。西側の①シャンタイ(Shan Thai)準卓状地、②コラート・コントム(Khorat Kontum またはコラート)卓状地、その間に挟まれた③雲南－マレイ変動帯である。

シャンタイ準卓状地は、ミャンマー北部からマレーシアまで南北方向に伸長する狭い地域で、深部に達する断層によってブロック化している。先カンブリア紀の基盤岩を古生界および中生界が覆っており、それらは後期中生代の褶曲運動を被っている。

コラート卓状地は、やや北西一南東方向の延びを示して広く分布する。この卓状地は、先カンブリア紀の基盤岩が一般に緩く西に傾いて分布しており、その上位に白亜系、第三系の地層がわずかに南東に傾いて累重している。

雲南－マレイ変動帯は、海洋性地殻を含むカレドニア期とバリスカン期に形成された岩石を基盤とし、これを覆う地層はインドシナ期の造山運動を被り、さらに一部ではアルプス期の造山運動を受けている。北部～中部タイにおいて、この変動帯は、東側のロエイ(Loei)褶曲帯と西側のスコータイ(Sukhotai)褶曲帯に区分される。ロエイ褶曲帯は、インドシナ造山運動の褶曲帯で、スコータイ褶曲帯は最後にアルプス造山運動の褶曲を受けている。

タイの火成活動は、上記の構造運動に伴っていくつかの時期に分かれて認められている。

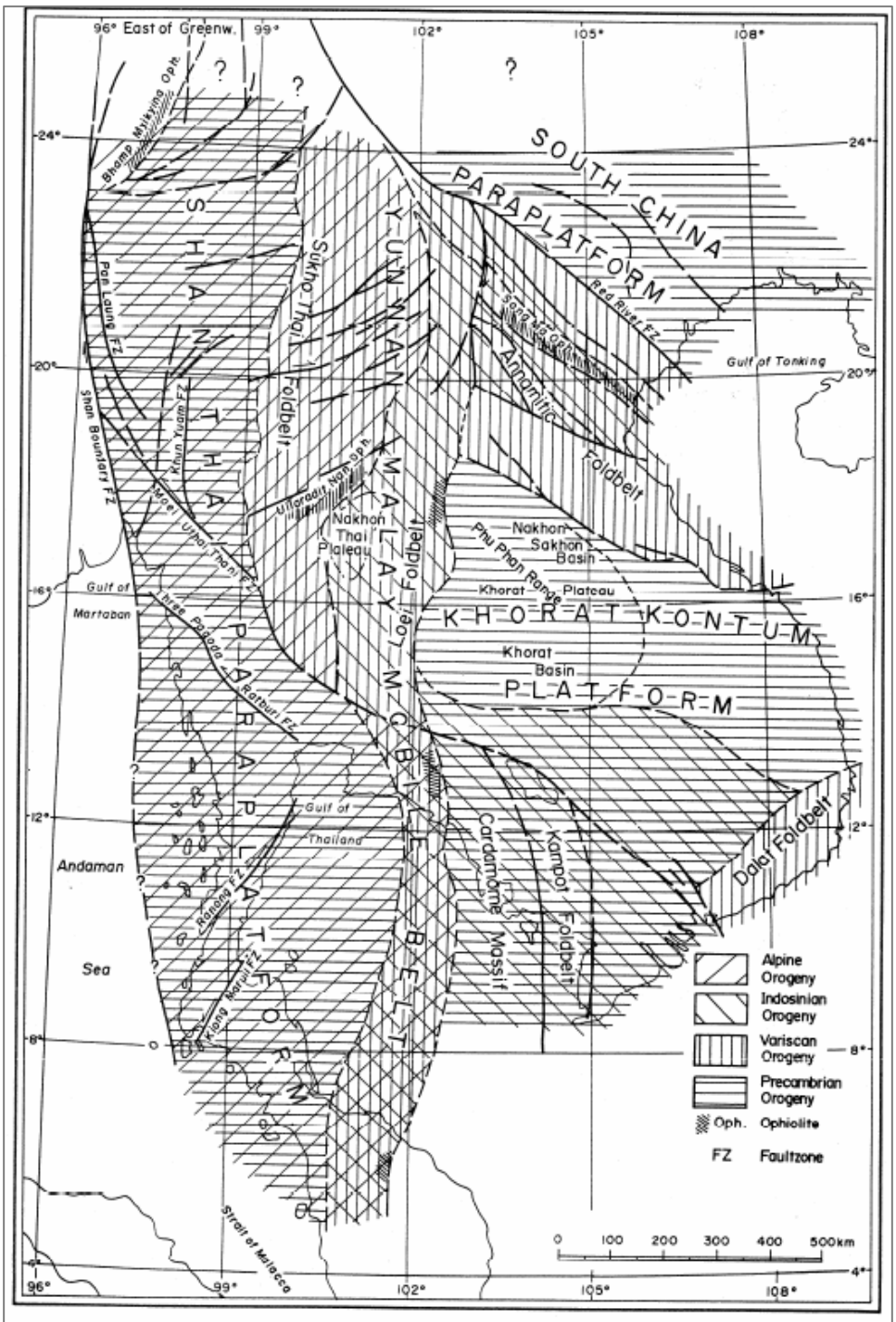
シャンタイ準台地では、堆積岩中に凝灰岩が挟まれると共に、花崗岩の活動が不確かな先カンブリァ紀の花崗岩を除けば 4 時期に認められる。この花崗岩は、ほとんどがイルメナイト系 S タイプに分類される花崗岩で錫・タングステンの鉱化作用と深く関係している。

コラート台地では、新第三紀～後期鮮新世の玄武岩の溶岩を除けば顕著な火成活動は認められない。ロエイ摺曲帯の火成活動は、主にカルクアルカリ岩系の活動であり、コラート卓状地の西縁に沿って南北方向に連続して分布する。

ロエイ摺曲帯の火成活動は、後期デボン～前期石炭紀の玄武岩を中心とした活動に始まり、後期石炭紀や後期三畳～前期ジュラ紀に中性～酸性の火山岩類が活動している。ロエイ摺曲帯の中央部には新生代のバイモーダルな火山活動が認められるが、これを除けば主たる火成活動は後期ジュラ紀までである。ロエイ摺曲帯に貫入する深成岩類は、花崗岩、 花崗閃緑岩、閃緑岩、斑れい岩などがあり、その活動時期は三畳紀とされている。

スコータイ摺曲帯の火山活動は、前期石炭紀のソレアイト～アルカリ岩系の玄武岩活動が西部でみられ、中央部では二畳～三畳紀の酸性～中性の火山岩が卓越する。またこの帯では、新生代での玄武岩の活動も随所に見られる。スコータイ摺曲帯の深成活動は、花崗岩、トーナル岩、花崗閃緑岩などがバソリスと浅所に貫入する岩株として認められるが、これらの貫入時期は放射年代値から三畳紀、ジュラ紀、白亜紀及び第三紀の活動が考えられている。

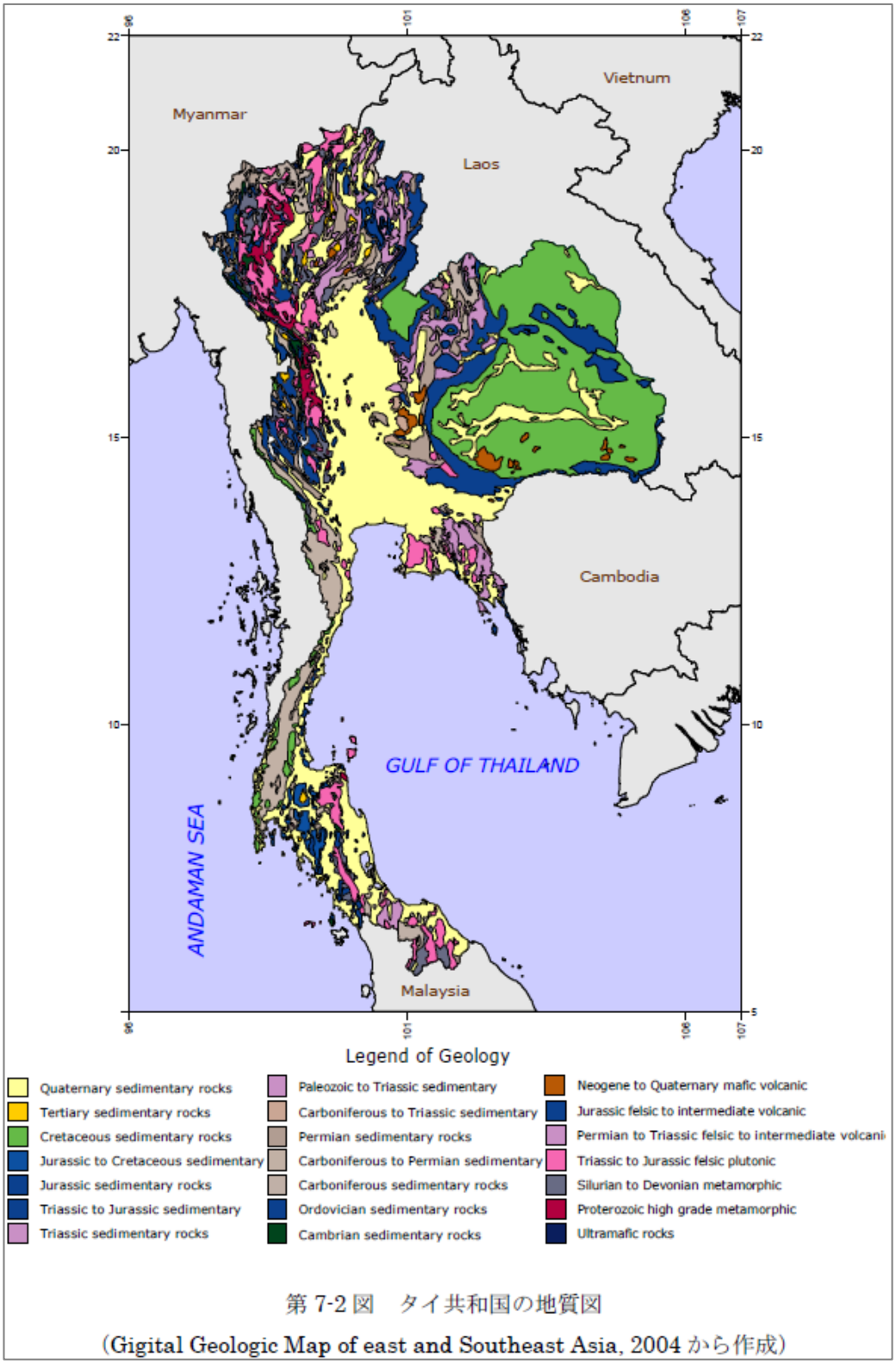
出典：JOGMEC：資源開発環境調査 タイ王国, https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/ thailand_05.pdf



第7-1図　タイ共和国の地質構造図
（平成５年度　資源開発協力基礎調査　ＪＭＥＣ）

出典：JOGMEC：資源開発環境調査 タイ王国, https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/ thailand_05.pdf

図 5.2.4 タイ地質構造図



第 7-2 図　タイ共和国の地質図

(Gigital Geologic Map of east and Southeast Asia, 2004 から作成)

出典：JOGMEC：資源開発環境調査 タイ王国, https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/ thailand_05.pdf

図 5.2.5 タイ地質図

3) 特殊土の分布図

特殊土の分布図は特に無い状況である。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

1) 問題となる特殊土について

膨潤性土、崩壊性土、軟弱地盤が問題となっている。

2) 発生している問題

タイ北部のメーモ発電所では地域に分布する膨潤土が原因で過去に建物への損傷や道路のひび割れが発生した。現在でも貯水池での膨潤土に由来する問題で CMU と管理機関が協議中である。タイ東部では崩壊性土や分散性土が分布しているとされ、造成地において侵食等の問題が発生している。

バンコクをはじめとするタイ中央部では軟弱粘土、通称バンコククレイが原因で構造物の沈下や道路の損傷が多く発生している。都市部に分布しているということもあり、政府機関は軟弱地盤に最も関心があるという印象である。

3) 現地の対応策

現場の土が試験によって特殊土であると判断された場合は基本的に現場周辺の購入土で置換している。メーモ発電所では発電所より発生したボトムアッシュによる混合・置換を行っていたが対応策については研究中である。その他地域における膨潤土や侵食に対しても大学において対応策が研究されている。軟弱地盤についてはセメントソイル等の工法で対策が行われている。

4) 基準の整備状況

DOH、DRR が使用している基準は AASHTO や ASTM を参照しているが、特殊土に関する記述は現状無い。各種土に関する工学的マニュアルは作成されているが、建設に使用されるような基準整備までには至っていない。

5.2.2.5 推奨される支援事業

タイではこれまで多くの円借款・技術協力・無償資金協力などの ODA 事業が実施され、社会・経済発展の後押しをしてきた。現在は ODA 事業は少なくなっているが、DOH からは日本の質が高い道路整備方法、DRR は海外の点検技術に関心が高いことが判明した。このことから、推奨される支援事業として質の高いインフラ整備のためのプロジェクトマネジメントや道路整備・点検に関する技術協力は支援方法として検討できる。タイ各地における特殊土の問題に対しては政府機関の関心は比較的低かったが、大学等で研究が行われており、研究機関との協働による技術開発・輸出も視野に入れられる。協力にあたって適用可能な本邦地盤関連技術としては現地の関心が比較的高い軟弱地盤改良技術（浅層・中層・深層）ならびにその固化材料に係る技術が挙げられる。