5.2.3 インドネシア

5.2.3.1 概要

インドネシ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 5.2.7 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 7 月 23 日～8 月 9 日

調査メンバー　：福田 謙太郎、下倉 宏、夏 艶、（スレン ソッキアン）

現地エンジニア　：Ms. Syifa Fauziah

表 5.2.7 調査スケジュール（インドネシア）

日時		内容
7/24	PM	コンサルタント会社・PT Dardela Yasa Guna
7/25	AM	JICA インドネシア事務所
	PM	建設会社・PT Adhi Karya JICA 専門家
7/26	AM	コンサルタント会社・PT Virama Karya
7/29	AM	コンサルタント会社・PT Rayakonsult
	PM	バンドン工科大学［ITB (Institut Teknologi Bandung)］ Geotechnical Dept.
7/30	AM	地質調査会社・PT Geo Ace
	PM	バンドン工科大学［ITB (Institut Teknologi Bandung)］ Geology Dept.
8/1	AM	現場：カラワン工業団地
	PM	現場：デルタマス工業団地
8/2	AM	道路総局 地盤・トンネル・構造物センター［BGTS (Balai Geoteknik, Terowongan dan Struktur), Bina Marga］
	PM	建設会社・PT Waskita Karya
8/5	AM	現場：ボゴール県チパミンギス川土台建設（現地政府案件）［Pembangunan Groundsill Sungai Cipamingkis 5 & 6 Di Kabupaten Bogor］
8/6	AM	建設会社・清水建設ジャカルタ事務所
	PM	元太平洋セメント 地盤改良に詳しい有識者
8/7	PM	建設会社・PT Jaya Obayashi
8/8	AM	建設会社・PT Wijaya Karya
	PM	コンサルタント会社・PT Jaya Konstruksi 建設会社・日特建設
8/9	AM	道路総局 有料道路局［Direktorat Jalan Bebas Hambatan, Bina Marga］
	PM	建設会社・PT PP (Persero)

出典：JICA 調査団

5.2.3.2 ヒアリング調査

表 5.2.8 にインドネシアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.2.8 ヒアリング調査結果（インドネシア）

ヒアリング調査先	要旨
コンサルタント会社・PT Dardela Yasa Guna	● Cikarang 地域では建物や道路建設において膨潤性土の問題が多数発生している。セメントやライムストーンを使用して混合。 ● ヌサンタラ新首都（IKN）には粘土頁岩（Clay shale rock）がある。粘土岩（Claystone）で硬いが、風化すると頁岩（Shale）になる。 ● 火山性土に関する問題がなく、単に軟弱地盤問題として扱っている。軟弱地盤の問題に対して、地盤改良を行い、建物に杭を使用している。 ● インドネシアのラテライトが広くないため、特に問題はない。 ● 鉄道 Cirebon-Kroya 線プロジェクトで軟弱地盤問題はあったが、深層混合処理工法を使用。
建設会社・PT Adhi Karya	● 膨潤性土に遭遇していないが、主に軟弱地盤。ジャワ島北部で非常に軟弱な土質に遭遇し、深層混合処理で対応した。「Semarang-Demak 1C Toll Road」で軟弱地盤をジオフォームで盛土に置き換えた。 ● 軟弱地盤と硬質地盤の問題に直面している。 ● 新首都（IKN）では、粘土頁岩（Clay shale）が課題。 ● 基準は PUPR 発行「SPESIFIKASI UMUM 2018 REVISI 2.pdf」を使用。
JICA 専門家	● JICA 中小企業支援事業では、北海道ポラコン様実施の基礎調査では、インドネシア各地でサンプリングが採集され、分布図が作成されている。 ● PU 発行のガイドライン：膨張性土の取り扱いガイドライン、一般共通仕様書（国道用、有料道路用） ● インドネシアに存在する特殊土：膨張性土・泥炭（Peat）。 ● 今後は液状化対策が必要。
コンサルタント会社・PT Virama Karya	● Solo-Ngawi 有料道路設計業務で、中部・東ジャワで、特に東ジャワの Mantingan 地域でブラックコットンソイル（BCS）に遭遇した。スマトラ島とカリマンタン全域でも、BCS が多く存在。特殊土に遭遇した実施中のプロジェクトでは、新首都 (IKN) 有料道路（Kariangau － Tempadung 区間）、Borneo プロジェクト、東ブカシの有料道路プロジェクト。 ● 軟弱地盤が主な問題。例えば、スマランからソロへの有料道路プロジェクトでは、膨張性軟弱土が広がっている。ボーリング杭を施工する際、雨が降ると既存の土が再び埋もれて泥状になってしまうため、迅速に施工する必要がある。Tenggarong 橋付近では、土砂が移動しているため、ボーリング杭で土砂の移動を抑制しなければならない。毎年土砂の移動をモニタリングする必要がある。液状化も問題。 ● 日本が提供できる新技術について興味がある。
コンサルタント会社・PT Rayakonsult	● 特に西ジャワのボゴールとプルワカルタにあるプロジェクトで膨張性土の問題が発生。乾燥すると硬いが、水に触れるとせん断強度が低下する粘土頁岩（Clay shale）及び粘土岩（Claystone）がある。粘土頁岩を試験したところ、1週間で硬い粘土頁岩が粘土になる。 ● ボゴールプロジェクト(Groundsill Cipamingkis River)では、地表から約 2 メートルの深さで粘土頁岩が見つかった。 ● プルワカルタでは、斜面に橋があり、擁壁が崩壊しており、最も深い部分

ヒアリング調査先	要旨
	（地表から約 20 メートル）に粘土頁岩が見つかった。 ● 斜面勾配は 1/5 または 1/6 で安定する。 ● スバン層（Subang Formation）に遭遇すると、ほとんどが膨潤性土で構成されている。 ● 膨張性土に関する基準は特に使用していないが、経験に基づいてケースバイケースで対応している。Subang の有料道路では、表面に膨張性土が見つかり、良質の材料に置き換えるか、盛土材料として砂、セメント、ライムストーンを使用して安定化処理した。
バンドン工科大学［ITB (Institut Teknologi Bandung)］ Geotechnical Dept.	● 粘土頁岩（Clay shale）の膨張性土に関する多くの問題が発生。例：ジャカルタ-チカンペック有料道路プロジェクト、チルボン市やボゴール市の近くでも粘土頁岩が多く確認されている。アチェ州プサンガン PLTA（発電所）やサマリンダのトンネル（Terowongan Samarinda）で粘土頁岩が原因で地滑りが発生。 ● 粘土頁岩の膨張性問題に対する化学的な安定化に取り組んでいる。例：セメントキルンダスト、ライムキルンダスト（石灰焼成粉）、高炉スラグ微粉末、ボトムアッシュ（底灰）、石膏、シリカフューム、ビチューメンエマルジョン（アスファルト乳剤）、カルシウム系安定化材料 ● 研究中の膨張性土に対する化学的解決法。例：砂、ライムキルンダスト、セメント、サトウキビの搾りかす、もみ殻灰、シリカ、卵殻、触媒およびナノ材料 ● インドネシアにおける地盤改良について、KAO 社および日系 Chikami Company と協力している。
地質調査会社・PT Geo Ace	● ィモール島では非常に膨張性が高い粘土岩(Clay stone) (ボボナロ粘土)に遭遇した。この粘土の影響で多くの道路が変形した。Sumedang (Jatigede Dam)では、Majalengka 地域と同様に多くの地滑りが発生。 ● バンドンは地震と液状化のリスクが高い。西バンドン（チリリン地域）は火山性物質（粘土や膨張性土）で構成されているため、雨季には地滑りが起こしやすい。マルク地域にはラテライトが多く分布している。
バンドン工科大学［ITB (Institut Teknologi Bandung)］ Geology Dept.	● ハンバラン地域のスポーツセンタープロジェクト：ジャティルフール層（Jatiluhur formation）に位置し、粘土頁岩（Clay shale）が多く分布。粘土頁岩が原因で深刻な損傷・崩壊が発生。 ● 中部ジャワ高速道路（スマラン～ソロ）プロジェクト：大規模な地滑りが発生。上層部は火山性物質、下層部は粘土頁岩で構成され、地滑りや斜面崩壊が発生。親杭（soldier piles）を用いて斜面補強。 ● ジャカルタ～バンドン高速道路（チプララン高速道路）：粘土頁岩及び粘土岩（Clay stone）の問題が発生。 ● 日系企業が粘土頁岩問題に対して斜面植生で斜面安定化に取り組んでいるが、価格面で競争力がなく、高価。 ● バリクパパン～サマリンダ高速道路でも分散性土問題が発生。対策は、炭酸カルシウム粉末の使用、機械的安定化、排水システムの管理、土の置換、化学薬液注入、締固め。 ● スマトラ島やカリマンタン島には泥炭、火山性土（Andosol）、岩塊混じり土（BIM：Block-in-Matrix）が存在し、岩片と土塊が混在したもの。 ● 日本から特殊土に対する解決策を非常に期待している。
道路総局 地盤・トンネル・構造物センター［BGTS (Balai Geoteknik,	● インドネシアでは、軟弱地盤、泥炭、膨張性土、粘土頁岩（Clay shale）、カオリナイト土（スマトラのランプン）などの特殊土がある。 ● サンゴ由来土（粒状ライムストーン）における地滑りの事例: 西スラウェシ

ヒアリング調査先	要旨
Terowongan dan Struktur), Bina Marga］	島マムジュのタメラド-バツ市間国道で発生。対策: ボーリング杭を用いた土留め構造。 ● 軟弱地盤分布図（ATLAS Soft Soil Maps）及び粘土頁岩分布図（ATLAS Clay Shale Problematic Soil Maps）がある。 ● 基準については、SNI 8460:2017 の他、ジオメンブレンを用いた防湿対策による膨張性土処理法、道路建設における膨張性土の処理方法、軟弱地盤における道路盛土に関するガイドラインなどがある。
建設会社・PT Waskita Karya	● 分布図については、ATLAS 発行の粘土頁岩分布図（Clay Shale Problematic Soil Map）、ATLAS 液状化ゾーン図（Liquefaction Zone Map）、ATLAS 軟弱地盤分布図（Soft Soil Map）がある。 ● 粘土頁岩層に対する処理方法：粘土頁岩堆積層を乱さない。粘土頁岩堆積層から離れた場所への移設・ルート再検討。地上設計を構造設計や高架設計に変更。掘削勾配を V:H = 1:4 にする。粘土頁岩層を不透水材料で隔離。
建設会社・清水建設ジャカルタ事務所	● ジャカルタ市内は特殊土がなく、ブカシやカラワンに位置する工業団地に膨潤性土が分布している。膨潤性土に対して対策をしなければ、フラットスラブで膨張圧により最大 20cm 程度床が膨らむケースもあった。 ● 膨潤性土の対策でよく採用されている床対策は、地上から 1m 程度をライムストーンで置換し、構造スラブにすること。建築物の場合は膨張圧がある程度軽減される。その他、必要に応じてセメント改良も提案する。 ● インドネシアでは、特に法面処理・法面保護がなく、切りっぱなしが多いが、日系企業の進出により、法面保護に対するが意識が高まっている。
元太平洋セメント　地盤改良に詳しい有識者	● ラテライトの特徴：鉄分を多く含む赤褐色の土、通常の土より高い強度特性、セメント混合に適した土。 ● 膨張性粘土の特徴：水分吸収により膨潤、含水比が 400-500%に達する場合がある。X 線解析で特殊な鉱物構造を確認、乾季のボーリング結果だけでは設計判断が難しい。膨張性土の締固めは、締めれば締めるほど膨らむ力が強くなる。 ● 地盤改良対策：置換工、表層地盤改良。
建設会社・PT Jaya Obayashi	● 膨張性土の対策：建物内部への水の侵入を防ぐための防水工事、セメントでの改良、フラットスラブ構造で建物と地盤の間に適切なクリアランスを確保することで建物への影響を軽減。 ● どの程度のサンプル数が必要であるかが不明確であり、適切なデータを収集するための基準が定まっていないことが課題 ● 同一敷地内で試験結果に大きなばらつきが見られ、明確な傾向が得られないことが多い ● 契約条件で特殊土に関するリスク分担条項・免責事項、工事保険適用範囲を明確にすることが重要である。
建設会社・PT Wijaya Karya	● ジャカルタでは、主に北ジャカルタ、タムリン - コタの間に軟弱地盤 (砂質および塩分) が非常に多い。 ● 盛土にはラテライト土を使用。赤土は要求仕様を満たす盛土に使用。イライトとモンモリロナイトを含む灰色がかった土は使用しなかった。 ● マンニキン東クパンダム建設で、サンゴ山を爆破してサンゴ由来の土をダム本体に使用した。 ● カリマンタン島のプロジェクトでは、1:2 の斜面掘削設計にもかかわらず地滑りが発生した。該当地域は砂質凝灰岩（sandy tuff）及び若い石炭層（coal）がある。

ヒアリング調査先	要旨
	● 泥を安定した土に固化させる方法や、より安価な軟弱地盤改良方法を期待。
コンサルタント会社・PT Jaya Konstruksi	● 新首都有料道路開発案件では、1:5 の勾配で問題が発生し、対策として斜面保護 (hydroseedin) 用のジオテキスタイルを使用した。 ● カリマンタンとスマトラ: 山岳地帯では特殊土や地滑りがよく見られる。 ● 設計ガイドラインは資金提供者によって異なる。例えば、ADB 案件では英国の基準が採用され、インドネシア基準 (SNI) は AASHTO に基づいている。 ● 期待する技術:プレファブリケート・バーチカル・ドレイン (PVD: Prefabricated Vertical Drain):沈下（圧密）を早めるために使用。コントロールド・モジュラス・カラム (CMC: Controlled Modulus Columns):Menard Technologies が提供している技術で、地盤の強度を高めることができ、コストが高い。
建設会社・日特建設	● インドネシア工業団地の膨張性土対策では、主に表層改良で 1～1.5m までの深さでセメント改良を処理。日特の深層改良技術は、5m～10m までの全面改良が望ましいが、コストが課題で未適用。 ● 工業団地では植生採用が多い。PLTP Lumut balai での成功事例を紹介。 ● 新首都カリマンタンは石炭が多い地域で、土を掘ると発火する問題がある。ピート層の問題も指摘され、20m～30m の深さまでピート層が続く地域がある。 ● セメントや化学薬品を現地の特殊土条件に合わせた技術開発が期待される。
道路総局 有料道路局［Direktorat Jalan Bebas Hambatan, Bina Marga］	● 膨張性土の以外に、その他遭遇した特殊土:Tuffaceous Sand:サマリンダ(Samarinda)とボンタン(Bontang)間の国道で見つかった石灰岩と砂の混合物。Tuffaceous Clay and Sand:バリクパパン(Balikpapan)に分布している。ボボナロ粘土(Bobonaro Clay):東ヌサトゥンガラのティモール島を横断する国道沿いに分布。 ● 軟弱土と粘土頁岩の ATLAS 分布図がある。 ● Pd T-10-2005 B 膨張性土の対策工事ガイドライン、Pedoman No.003/BM/2009 土質改良計画と実施に関するガイドライン、SNI4144:2012 土収縮係数の測定方法などのガイドラインがある。 ● Cisumdawu 有料道路は、粘土頁岩(Clay shale)という特殊土に遭遇した。2023 年 3 月 14 日に発生した Cisumdawu STA 40 地滑りでは、対策としてジオフォーム材が使用されている。 ● 膨張性土の対策として、セメントとライムストーンを使用している。また、カリマンタンと北スマトラでは、ライムストーンの調達が難しいため、ジオテキスタイルも使用されている。
建設会社・PT PP (Persero)	● カリマンタン IKN 新首都:膨張性土の問題があり、特に「ティティク・ノル・IKN ヌサンタラ」の近く、バリクパパンとサマリンダ間で粘土頁岩が問題。ただし、泥炭の問題は報告されていない。 ● 東ヌサトゥンガラ州マニキンダム:粘土頁岩が問題。 ● ラモンガンプロジェクト: 主にライムストーンで、ライムストーン内の空洞が課題。 ● ジャワ北岸の港湾プロジェクト:沈積により非常に軟弱な土が 20～30m の深さまで広がっている問題。 ● パティンバン港:軟弱地盤が問題。深層混合処理工法セメント（CDM）に

ヒアリング調査先	要旨
	よる改良。 ● 薬液注入工法：日特様より水深 15m の杭に薬液注入工法を実施。

出典：JICA 調査団

5.2.3.3 フィールド調査

インドネシア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 5.2.6 に示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.2.6 フィールド調査位置図（インドネシア）

表 5.2.9 フィールド調査結果（インドネシア）

No.	写真	概要
1	 カラワン工業団地付近の高速道路沿いの切土状況  膨張性土による道路脇の排水溝が変形 	【カラワン工業団地】 ● 切りっぱなしの切土が急勾配で、雨水の侵食や地震によって容易に崩壊する可能性がある。 ● 膨張性土は、湿度や水分の変動によって体積が変化するため、構造物に変形がみられる。

No.	写真	概要
	膨張性土である可能性が高い	
2	 膨張性土による構造物の破損  膨張性土が乾燥すると収縮によって表面に亀裂  膨張性土の試掘状況	【デルタマス工業団地】 ● 膨張性土の膨張と収縮が繰り返すと構造物の損傷が見られる。 ● 膨張性土が乾燥すると収縮によって土の表面に亀裂。

No.	写真	概要
3	 チパミンギス川の河床状況  乾燥による表面の亀裂  粘土頁岩(Clay shale)の断面	【ボゴール県チパミンギス川土台建設】 ● チパミンギス川の潮位減少により河床の粘土頁岩(Clay shale)が露出。 ● 広範囲の表層において、粘土頁岩の亀裂が見られる。 ● 層ごとに異なる色の粘土頁岩が見られる。深層部には濃い灰色が見られる。

No.	写真	概要
	 粘土頁岩の試掘状況	

出典：JICA 調査団

5.2.3.4 インドネシアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るインドネシアの基礎情報

1) 気象条件

インドネシアは赤道に近い地域に位置し、熱帯気候が特徴的である。インドネシアの多くの地域が熱帯雨林気候（Af）に分類される。年間を通じて高温多湿で、降水量が非常に多い地域が多い。ジャワ島やスラウェシ島の一部では熱帯モンスーン気候（Am）で、乾季（4 月～10 月）と雨季（11 月～3 月）に分かれる。

降水量は地域によって異なるが、年間を通じて降水量が非常に多い。特に、ジャワ島、スマトラ島、ボルネオ島（カリマンタン）、スラウェシ島の多くの地域で降水量が高く、年間降水量が 2,000 mm～3,000 mm 以上になることが一般的である。降水量は雨季に集中し、乾季でも降水量が少ないわけではないため、年間を通じて湿度が高い傾向にある。

2) 地質

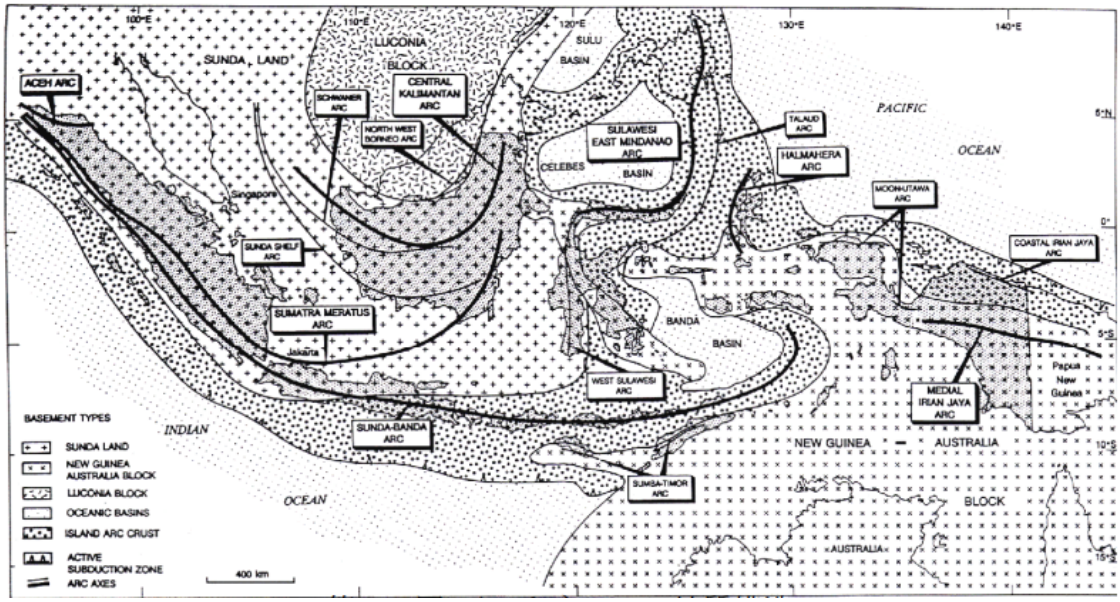
インドネシア地域は巨大な大陸と海洋プレートの接点となっており、地質構造は複雑である（図 5.2.7）。基本的にはユーラシアプレートの東南部に対して東側から太平洋プレートが西北西に沈み込んでおり、南側からインド・オーストラリアプレートが北方向へ沈み込む。これらが交差する広大な地域にその性質や形状の変化しやすい小プレートが存在する。スマトラ島からバンダ海に到る、東西延長約 5,000Km のインドネシア列島は、スマトラ・スンダ・バンダの 3 つの島弧からなり、同国の火山の 80%以上はスンダ弧に集中する。これらのプレートの動きと関連するマグマ活動の多くは、島嶼の分布や地形に反映されている。特に新生代以降の活動とは密接な関連を有し、鉱床分布と地熱徴候地との関連性については周知のことである。

ユーラシアプレートの東南部は、インドネシア地域ではスンダ剛塊、スンダ卓状地あるいは陸棚と呼ばれ、スマトラ島、カリマンタン島、ジャワ島北側の基盤を構成している。図においては、

マレー半島からインドシナ半島へ続く大陸地殻として表示され、SUNDA LAND とされる。SUNDA LAND は二畳紀～ジュラ紀のインドシナ期造山運動によって大陸地塊(craton)となり、その後のヒマラヤ期造山運動はこれを取り囲むように起こった。この大陸地塊は白亜紀後期（または第三紀初頭）までに形成され、その後約 40 °反時計回りに回転したことが古地磁気学的に推定されている。南側のオーストラリアプレートは、ニューギニア島へと連続し太平洋プレートと接している。

出典：資源開発環境調査 インドネシア共和国

https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/indonesia_05.pdf



出典：Mineral Resources Assessment, Development and Management Series Volume 6, United Nation

図 5.2.7 インドネシア地質図

3) 特殊土の分布図

インドネシア地質庁のエネルギー鉱物資源省が 2019 年に ATLAS インドネシアの軟弱土・泥炭分布図及び粘土頁岩分布図を発行した。その他の特殊土分布図については特にないという状況である。



出典：Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi

図 5.2.8 ATLAS 軟弱土・泥炭分布図（Soft Soil and Peat Distribution Map of Indonesia）



出典：Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi

図 5.2.9 ATLAS 粘土頁岩分布図（Clay Shale Distribution Map of Indonesia）

(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

膨張性土、粘土頁岩（Clay Shale）、泥炭（Peat）、火山性土、カオリナイト土、岩塊混じり土（BIM：Block-in-Matrix）、粘土岩（Clay stone）などがインドネシアで問題となっている。また、地域別にみられる特殊土の例が下記となる。

- Tuffaceous Sand：サマリンダ（Samarinda）とボンタン（Bontang）間の国道で見つかった石灰岩と砂の混合物。
- Tuffaceous Clay and Sand：バリクパパン（Balikpapan）地域に分布している。
- ボボナロ粘土(Bobonaro Clay)：東ヌサトゥンガラのティモール島を横断する国道沿いに分布している。

その他、現地建設会社へのヒアリングによると軟弱地盤や硬質地盤も主な問題となっている。

2) 発生している問題

膨張性土では、適切な処理が実施されずに道路建設を行うと、膨張性土の膨張・収縮により道路舗装に亀裂が入るなどの問題が発生している。特にスバン層では膨潤性土が多く分布している。分散性土及びラテライトの分布地域は広くないため、特に問題がない。

ヌサンタラ新首都（IKN）では、泥炭と粘土頁岩（Clay-shale）が問題である。ハンバラン地域がジャティルフール層に位置し、粘土頁岩（Clay-shale）が多く分布している。粘土頁岩が原因で深刻な損傷・崩壊が発生。

ティモール島では非常に膨張性が高い粘土岩（ボボナロ粘土）に遭遇した。その影響で多くの道路が変形した。

3) 現地の対応策

建物や道路建設において膨潤性土の問題が多数発生している。ライムストーンへの置換工法やセメント改良が基本となっている。カリマンタンや北スマトラでは、ライムストーンの調達が難しいため、ジオテキスタイルが代替として使用されることもある。

粘土頁岩に対しては、ルートの再検討や、地上設計への変更（構造設計や高架設計）を検討しているが、掘削勾配の調整、堆積層を乱さないことや不透水材料での隔離などが推奨されている。バンドン大学では、粘土頁岩の膨張性問題に対し、セメントキルンダスト、ライムキルンダスト、シリカフュームなどを用いた化学的な安定化技術を取り組んでいる。

泥炭や有機土シルトに対しては、軽量盛土や発泡モルタル盛土が実施されている。軟弱地盤に対しては、深層混合処理工法やジオフォームの置換工法が採用されている。

サンゴ由来土や粒状ライムストーン地域では、地すべりが発生することがあるため、ボーリン

グ杭を用いた土留め構造が有効な対策として導入されている。

4) 基準の整備状況

インドネシアでは、一部の特殊土に関して基準やガイドラインがあり、膨張性土や泥炭などに遭遇した際の道路建設における対策などに言及している。

(a) 国家標準機構（BSN: Badan Standardisasi Nasional）発行の国家規格（SNI 8460:2017, Geotechnical Design）地盤工学設計基準：土質調査、基礎設計、地盤改良などの分野で使用される規格である。

- SNI 4144:2012：土質の収縮係数の測定方法に関する規定で、土質が湿潤・乾燥によって体積がどの程度収縮・膨張するかを評価するための試験方法を示している。膨張性土を取り扱う際に必要な測定基準である。

(b) 公共事業・住宅省（PUPR）発行の軟弱地盤上の道路建設（Road Embankments on Soft Soils）のためのガイドライン：

- GeoGuide 1: Occurrence & General Nature of Soft Soils (Pt T-08-2002-B)：軟弱地盤の基本的性質と構造
- GeoGuide 2: Site Investigation of Soft Soils Design & Field Work (Pt T-09-2002-B)：軟弱地盤の地質調査と設計
- GeoGuide 3: Site Investigation of Soft Soils Laboratory Testing (Pt M-01-2002-B)：軟弱地盤の室内土質試験
- GeoGuide 4: Design and Construction (Pt T-10-2002-B)：設計と施工
- Guideline Road Construction over Peat and Organic soils (207)：泥炭及び有機土での道路建設ガイドライン
- Pedoman Pd T-10-2005-B：膨張性土の取り扱い（道路工事用）
- Pedoman Pd T-11-2004-B：防湿材としてのジオテキスタイルによる膨張性土の取り扱い
- Pedoman No.003/BM/2009：ジオシンセティックスによる地盤改良の計画と実施
- 仕様書 Skh-1.3.8 項：ジオメンブレンの仕様（材料選定、作業手順、品質管理、受け入れ基準及び支払条件）：道路建設における膨張性土の対策として有効である。

(c) PUPR 傘下の道路総局（Bina Marga）発行の道路橋梁建設工事に関する一般共通仕様書（Spesifikasi Umum, 2018）（国道用・高速道路及び有料道路用）

5.2.3.5 推奨される支援事業

関係機関のヒアリング結果から、以下に示す日本からの新技術への関心が高いことが判明した。

- のり面保護 : インドネシアでは、特に切りっぱなしののり面が多く、のり面保護が十分に行われていない状況である。日系企業の進出により、のり面保護に対する意識が高まっており、日本からの技術支援が期待されている。日本の技術は、品質の高さとともに、価格面で競争力があり、現地のニーズに対応するために非常に有益とされている。

- 地盤改良技術 : 深層混合処理、ソイルセメント工法、薬液注入工法などの地盤改良工法がインドネシアで適用され、多くの現地建設会社が高い関心が寄せられている。

- 現状では、特殊土の対策は、経験や専門家への相談を基にしたケースバイケースで対応が行われている。今後、日本との共同研究などを通じて、より効果的な対応策を模索することが期待される。

- 地盤沈下や地滑り防止のためのモニタリング技術の導入や、セメントや化学薬品を現地の特殊土条件に合わせた技術開発が期待される。例 : プレファブリケート・バーチカル・ドレイン (PVD: Prefabricated Vertical Drain) : 沈下（圧密）を早めるために使用。コントロールド・モジュラス・カラム (CMC: Controlled Modulus Columns) : Menard Technologies が提供している技術で、地盤の強度を高めることができ、コストが高い。

このことから、今後推奨される支援事業として、特殊土とその対策に係る質の高いインフラ整備に係る技術協力、上記の新技術などを適用したインフラ整備事業などが有望だと考えられる。

5.3 調査結果・中央アジア

5.3.1 キルギス

5.3.1.1 概要

キルギス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 5.3.1 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 8 月 9 日～8 月 15 日

調査メンバー　　：野末 康博、下倉 宏

表 5.3.1 調査スケジュール（キルギス）

日時	内容
8/10	現地調査・イシ・ククル州
8/12	国家建設地域開発庁（Gosstroy)
8/13	民間建築設計会社・MICHA
	国家地質研究所
8/14	地質調査会社・Kyrgyz GIIZ
	運輸通信省・運輸局
8/15	民間建設会社・IMARAT STORY
	キルギス建設業協会

出典：JICA 調査団

5.3.1.2 ヒアリング調査

表 5.3.2 にキルギスで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.3.2 ヒアリング調査結果（キルギス）

ヒアリング調査先	要旨
国家建設地域開発庁（Gosstroy)	● キルギスは山岳国なので、分布する土はバラエティに富んでいる。 ● 建設事業の実施にあたっては既政府組織・現民間会社ギース（Kyrgyz GIIZ）が地盤調査を実施し、調査結果を踏まえて計画する。 ● 一般的にビシュケクは基本的に地盤は良好だが、Jibek Jolu 通りの北側には問題となる地盤が認められる。 ● オシュやイシ・ククル州には問題となる地盤が多く、大きい構造物・建物を建設する場合には地盤の改良を行うことがある。地盤の改良の方法は土質ごとに決まり、方法は良質土への置換工法やセメント改良など。 ● 計画にあたってはキルギス建築基準（受領）に準じ地点ごとに PGA（地表面最大加速度）を参考とする。本基準は Gosstroy で策定している。 ● 現在、本組織・国内には地質技術者、土の研究者が不足している状況にあり、特殊土に関する十分な情報は無い。 ● 調査機材、ボーリング機械等を調達する計画としている。非破壊検査・電気探査機の導入にも興味があり、調査している。

ヒアリング調査先	要旨
	● 日本・他国に期待することとして、耐震・免震関連の技術に興味があり、建築基準の改訂の参考としたい。技術移転のための人材交流にも興味がある。
民間建築設計会社・MICHA	● 特殊土が問題となった事例について、キルギスでは全国で地域ごとに土質の性状はばらついている。 ● 建築事業の実施にあたってはまず地盤調査（GIIZ が実施）を行い、それに基づき耐震レベルを決定する（建築基準では PGA によって 9 段階のレベル区分があり、地域ごとにレベルは異なる）。 ● キルギスでは杭基礎が一般的に使われない事もあり、北部の方、オシュなどは地盤が悪いところは 2 階以上の建物の建築ができない。 ● キルギスでは 1911 年に大きな地震があったこともあり、耐震技術に対する興味・技術協力への希望が多い。
国家地質研究所	● キルギスの特殊土に関して、南方では黄土（Loess）が問題となっている。Takyr と呼ばれる膨潤土はカザフスタンにはあるがキルギスでは問題となっていない。西側・東側の地方部では黄土ではなくシルト質・砂質のロームが問題となることがある。 ● イシ・ククル地方では液状化が発生する可能性のある地盤がある。 ● ボフタルーレヴァカント道路の視察を推奨、路床部分の締固め石灰等による改良が行われている。 ● 地質図・土質図等は所有しているものについては、正式な研究協力・MOU の締結等の手続きがあれば可能。 ● 日本に期待する事項として、応用地質に係る調査の機器材の供与、耐震設計に係る技術移転等が挙げられる。
地質調査会社 Kyrgyz GIIZ	● キルギスには特殊土として崩壊性土（5～20m の層厚で堆積）、永久凍土（標高 3,000m 以上の地区）が分布しており、問題となっている。 ● 膨潤土が分布するところもところどころある。 ● GIIZ で実施する試験はいずれもロシア基準に準拠する。特殊土への対応はロシア基準に準拠して行う。 ● GIIZ では、プロジェクトごとに委託された試験を実施するが、種々の土の分布状況やその性状については地質研究所の方に多くのデータがある。 ● 土の分布図については 1970 年頃に作られたものがあると思うが、詳細は分からない。地質図は 50 万分の 1 で整備されており、国土を8枚でカバーしている。 ● 永久凍土に係る対応：中国ーウズベキスタンーキルギス間の鉄道事業等で遭遇、凍土が分布する区間は適切な深度まで杭を打設、パイルスラブのような構造とする。
運輸通信省・運輸局	● 運輸通信省では現在いくつかの新設道路の建設を手掛けている。南部の Jalal-Kazarman 道路のキルギス最長の道路トンネル（Kok-Art トンネル 3.89km）もその一つで調査の不足もあり、建設に時間がかかっていたが間もなく完了の見込み。 ● 特殊土の事例として、Naryn 近郊の道路で山頂付近にある小さな池からのものとみられる地下水によって地層（赤い砂岩地層）に穴があき、斜面が不安定化する区間がある。排水施設の設置と地下水処理により、問題を抑制している。 ● 同付近の他、年間 20cm 程度沈下が進行する道路（A365）がある。 ● 北部の既存道路は断層を通過しており斜面の安定が保てない区間があったため、北側に代替道路を建設した事例がある。

ヒアリング調査先	要旨
	● ビシュケクの西側の道路（山岳部）では舗装の破損が継続して進行する区間があり、補修を繰り返し排水施設なども整備しているが問題は未解決となっている。沈下している可能性もあり、メカニズムの解明のための調査と検討、対策の検討が必要な状況である。不良区間の対応として、不良土の置換、排水施設の設置、捨てコン(30cm)の設置などがあるが基準、ガイドライン等は特にない。 ● 日本に期待する技術として、落石防護対策など安全性向上に向けた技術支援があげられる。
民間建設会社 IMARAT STORY	● イシ-ククル州のリゾート開発を行った際に特殊土が問題となったことがある。事業の実施にあたっては 5m の深度で土を採取する調査を行う。 ● 建築物の計画・建設にあたってはマグニチュード8を想定した耐震対策を実施している。 ● 一般的にビシュケクにおいてチュイ道路の北側は地盤が悪く、南側は良好である。北側は 5 階建てまで、また基礎部の不良土が問題となることがあり、そのためにコンクリートスラブを設置することがある。南側では 25 階建てのビルの建設が可能で、北側と比較して開発が進んでいる。 ● 用地造成にあたって（膨潤土などの）特殊土が問題となった事例は無い。 ● キルギスでは杭基礎の技術が無く、地表面から 6m 以内に良質な支持地盤が確認できない場合にはビルの建設は実施しない。 ● 日本に期待する技術として耐震技術、免震構造の技術などが挙げられる。
キルギス建設業協会	● 会社はいずれもビル等の建築物の建設を手掛けている。土木工事は政府機関が携わる。国際入札となる事業では、トルコ・中国・その他の企業が請け負うことがある。 ● 建築プロジェクトの実施にあたり、特殊土が問題となった事例は会員企業内では経験が無い。 ● 日本に期待する技術として、耐震関連の技術が挙げられる。

出典：JICA 調査団

5.3.1.3 フィールド調査

現地調査において、キルギスの道路などのインフラ施設の状況、堆積している地質・土質の確認のため、フィールド調査を実施した。調査ルートを図 5.3.1 に示す。



出典：JICA 調査団

図 5.3.1 フィールド調査ルート（キルギス）

フィールド調査の概要・写真を表 5.3.3 にとりまとめて示す。

表 5.3.3 フィールド調査結果（キルギス）

No.	写真	概要
1	 (a) 土取り場跡地	【イシ・ククル湖周辺部土取り場跡地】 ● 上層部の砂礫採取後、黄土地盤を確認した。 ● 黄土層はガリ浸食の痕跡ならびに表流水の侵入・パイピングによるものとみられる穴が多くみられる。(左写真 b) ● 表層部は非常に硬く固結している。 ● 採取した黄土層のクラム試験（左写真 d）・簡易沈降分析を実施した結果、分散性をやや有する土であると判断された。

No.	写真	概要
	  (b) 浸食・パイピング孔がみられる表面部　(c) 固結した表層部   (d) 簡易クラム試験結果	
2		【道路沿いの切土跡地】 切土部は急こう配をなすが、ガリ浸食や地表の崩壊が起こりやすい。

No.	写真	概要
3		【ビシュケク南部・ビシュケク駅近隣のビル建設現場】 地盤は玉石を含む砂礫地盤で極めて良好。

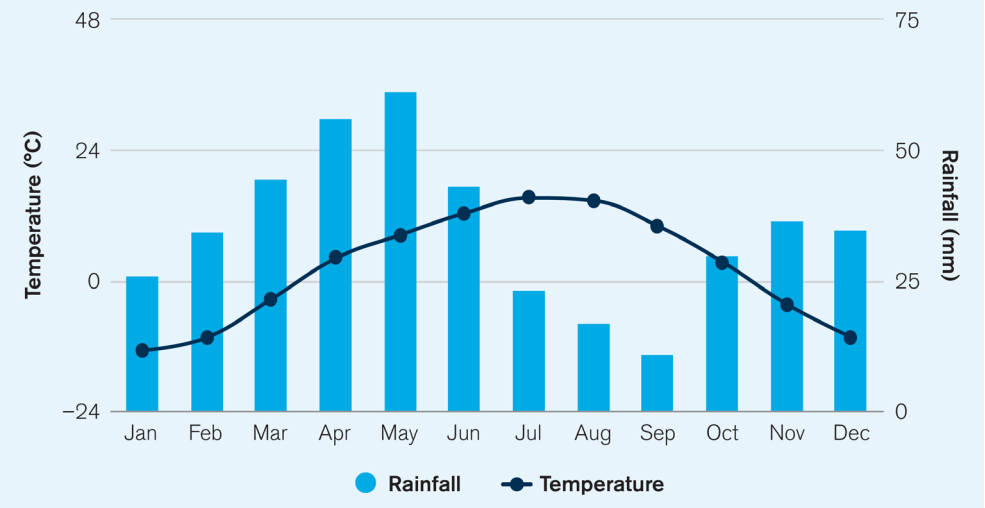
出典：JICA 調査団

5.3.1.4　キルギスの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1)　特殊土に係るキルギスの基礎情報

1)　気象条件

キルギス共和国は典型的な大陸性気候であり、国土の大部分は乾燥し、高山地帯のため雲が多く降水量が多い。国土が北半球に位置し、ユーラシア大陸の中央部にあり、主要な水域から離れ、砂漠が近くにあることが同国の気候に影響している。気温は年較差ならびに地域ごとの変動が大きく、年間平均気温は Tien Shan 山脈の高地部では-10℃以下から北部や西部の低地では 12℃以上となっている。ビシュケクやオシュ周辺の低地では、6 月から 8 月にかけて気温が 30℃を超えることが多いが、12 月から 2 月にかけては-5℃以下となる。最新の統計では年間平均降水量は 378.3(mm)であったが、降水量は地域によって異なり、通常 100mm～1,000mm となっており、Jalal-Abad 周辺部で最も多くなっている。図 5.3.2 に月間平均気温と降水量を示す。



出典：Kyrgyz Republic, Climate risk country profile

図 5.3.2 月間平均気温と降水量（キルギス、1991−2020）

【参考文献】

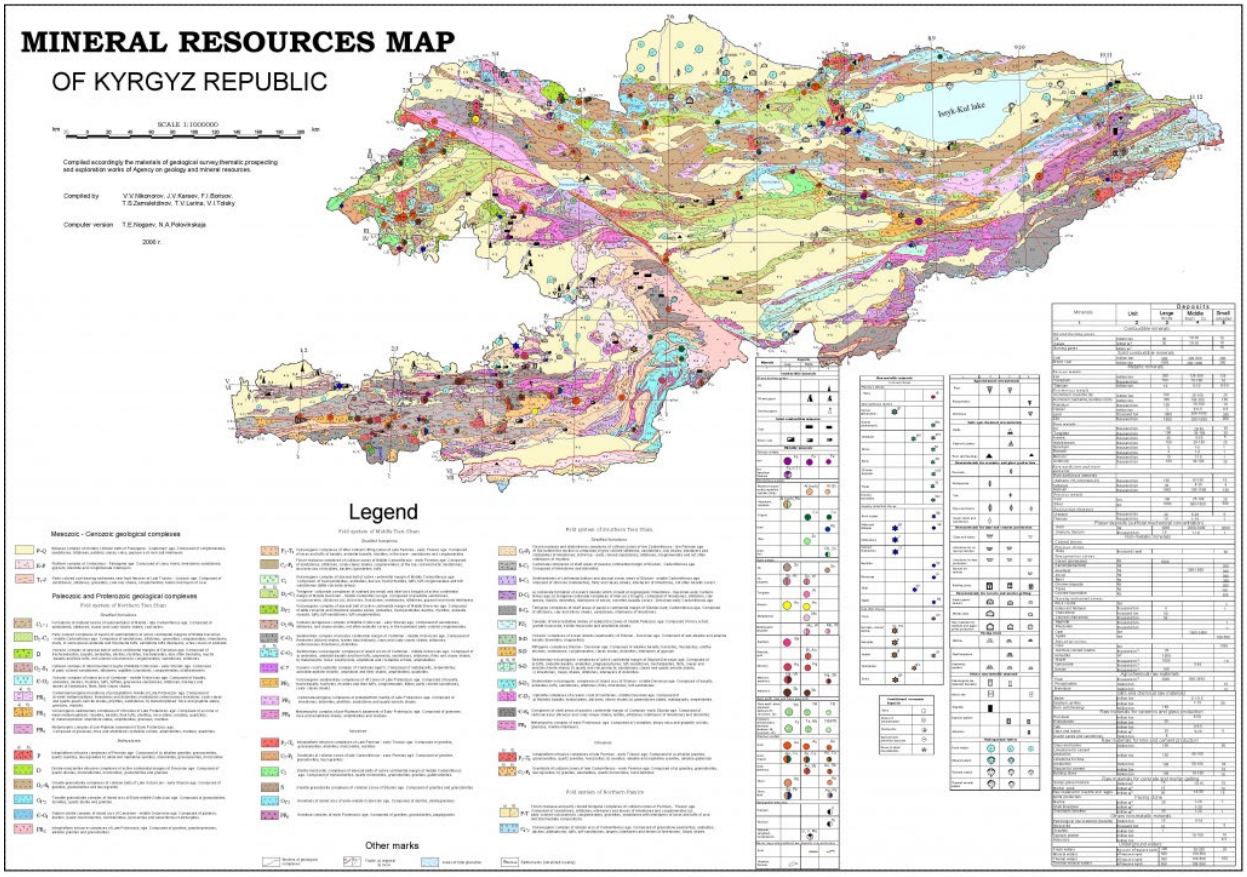
[1] QB/ADB：Kyrgyz Republic, Climate risk country profile

https://www.adb.org/sites/default/files/publication/706596/climate-risk-country-profile-kyrgyz-republic.pdf

2) 地形地質

キルギス国の地質は、天山山脈を構成する複雑な地層からなっている。山脈は、国土を西から東に貫く弧を描き、ほぼ平行な山脈が山間盆地と谷によって隔てられている。国土の大部分は天山褶曲地帯に位置しており、その地向斜発達は古生代末期 (2 億年前) になされた。新第三紀 (3000 万～2000 万年前) の比較的静かな台地発達段階の間には、激しい地殻変動が散発的に発生し、それが現在まで続いており、地形を特徴づけている。4 億年前の北天山のカレドニア (オルドビス紀～シルル紀) 褶曲系と、3 億年前の中部および南部天山のヘルシニア系の 2 つの地域が区別され、深い断層帯によって分割されており、これらの地域がしばしば地震の震源となっている。

山間地域には、中生代および新生代の大陸堆積岩が厚く堆積している。天山北部（カレドニア）の構造は、5 億年前の原始基盤岩の上にある前期古生代褶曲複合体も含んでいる。ヘルシニア系は、大部分が大陸堆積複合体と火山複合体で構成されている。カレドニア花崗岩質マグマ活動は一般的な特徴であり、片麻岩と花崗岩質は古生代岩の基盤岩を構成している。



出典：geoportal-kg.org

図 5.3.3 キルギスの地質図

【参考文献】

[1]IAEA INFCIS: Kyrgyzstan Geography Geology

https://infcis.iaea.org/udepo/Resources/Countries/Kyrgyzstan.pdf

[2] geoportal-kg.org：Mineral Resources map of Kyrgyz Republic

https://geoportal-kg.org/geological-maps/

3) 特殊土の分布図など

特殊土を含む土に係る分布図は整備されていない。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

黄土層、もしくはシルト岩に起因する基礎の沈下や地滑り・斜面の不安定化などが問題となっている。建設事業においてはインフラ整備事業の調査・計画・設計は主にロシア基準に準拠して行われており、不良土が分布する地盤などで置換工法やセメント等の改良材の混合による土質改良が行われているが、これらの考え方に関する明確な基準・ガイドラインは確認できていない。

ヒアリング調査において山岳道路などで遭遇する黄土層の区間では、斜面ならびに路床の不安定化を発生させている事例があることを確認している。対策として適切な排水設備の設置などにより対策効果がみられた区間、排水設備の設置や路床改良などを実施したが対策効果がみられず、変状が進行し続ける区間の事例があるとのことだが、対策前に十分な地質調査・メカニズムの分析等は行われていない。

5.3.1.5 推奨される支援事業

キルギスでは無償資金協力による道路橋梁整備事業、雪崩対策を含む道路防災に係る計画や技術協力が行われてきている。

特殊土に係る支援事業としては、各機関から他国に期待することとして挙げられた地盤調査に係る研究・技術協力、特殊土（黄土層と想定される）に起因する区間の対策工整備事業（地滑り地を迂回した橋梁整備事業など）などが挙げられる。また、多くのヒアリング機関から耐震関連技術への興味・技術協力に係る期待が挙げられたことから、これらの協力事業に耐震関連の技術の技術移転を含むものとすることも一案である。

5.3.2 タジキスタン

5.3.2.1 概要

タジキスタン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 5.3.4 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 8 月 17 日～8 月 21 日

調査メンバー　　：野末 康博、下倉 宏

表 5.3.4 調査スケジュール（タジキスタン）

日時	内容
8/18	現地調査・ドゥシャンベ北部（Anzob トンネル他）、ドゥシャンベ南西部近郊
8/19	運輸省・運輸省設計局（DITI)
8/20	運輸省・建設局
	運輸省・交通局
	現地調査・ドゥシャンベ－ボフタル道路現場
8/21	現地調査・ドゥシャンベ～オビガルム～国境道路

出典：JICA 調査団

5.3.2.2 ヒアリング調査

表 5.3.5 にタジキスタンで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.3.5 ヒアリング調査結果（タジキスタン）

ヒアリング調査先	要旨
運輸省・運輸省設計局（DITI)	● ヴァフダット-ラビハル-カラミク道路では黄土（Loess）、シルト岩などの層が崩壊性を示しており、KM63～67 の区間では新設橋梁・右岸側橋台が移動・沈下し、解体された。 ● ヴァフダット-ラクシュ道路では土石流で損傷した区間がある。地滑り危険地帯はカラミクと呼ばれ、アルマ村～キルギス国境までの 9 地域が含まれる。特殊土として砂質シルト岩や黄土（砂質ローム）などがあり、擁壁が破壊されるなどの被害が発生している。 ● ドゥシャンベ国境道路～ログン市までの道路において、地滑りが多発する区間がある。黄土（砂質ローム）などが原因となっている。 ● オビガルム-ヌロボド間の道路において、土砂災害が発生、黄土（シルト質ローム）が問題。 ● ドゥシャンベ-ボフタル道路、ボフタル-ニジニ・ピャンジ高速道路では分散土が問題になっている。 ● ドゥシャンベ-クリャブ-クルマ道路では土砂崩れ、地滑りが発生している。シルト岩に起因している。またジェロンディ～クルマ峠までの区間では分散土が問題となっている。 ● その他地滑りや浸食、土砂崩れが問題となっている道路が各地にある。 ● ラテライトやサンゴ由来の土は分布していない。

ヒアリング調査先	要旨
	● タジキスタンで分布する特殊土は弱いシルト岩、石膏（Gypsum）が含まれるシルト岩のような粘性土、黄土などである。 ● 特殊土に関連するマップは特に整備されていない。 ● 自然災害に対する対策、耐震対策、建築物・構造物の基礎、災害に対する建築物・構造物の工学的対応策に関してロシア基準を適用する。 ● 特殊土に関する知見を持つ研究機関・研究者は国内には特にいない。 ● 日本に期待することとして、地盤調査の方法、分布図の作成に係る技術協力があげられる。
運輸省・建設局	● タジキスタンの特殊土として、膨潤土は湖や河川の近くに分布することがあるが、山岳部には分布していない。 ● 分散性土はドゥシャンベーボフタル道路などで、浸水すると溶けて沈下するような性状を示すものがみられる区間がある。 ● タジキスタンは山岳国だが、南東側・北側で地質が異なり複雑な様相を呈する。 ● 建設局には自然条件（地質、耐震など）の専門家がおり、調査・検討を行っている。 ● タジキスタンの国土では洪水、落石、なだれ、土石流、地盤災害が問題となっている。
運輸省・交通局 Inland and Transportation Dept. MOT	● 本局は基本的に交通のオペレーションを管轄しているので建設には直接関わっておらず、質問事項に対する技術的な情報はあまりない。 ● オペレーション時、道路の被害の対応としては、例えば春期には雪崩と地滑りが多く発生し、その際 4～6 時間通行止めを行うことが良くある。日本と同様に地震災害もあり対応している。 ● 本局で道路ネットワークの問題を確認した場合には、建設部と連携し、復旧対応を行う。 ● 日本に期待すること：道路の運営維持管理について、JICA より支援をしてもらっている。多くの専門家が動員されており、感謝している。日本の維持管理を含めた道路整備は魅力的である。その他に鉄道事業への支援なども期待する。

出典：JICA 調査団

5.3.2.3 フィールド調査

現地調査において、タジキスタンの道路などのインフラ施設の状況、堆積している地質・土質の確認のため、フィールド調査を実施した。調査ルートを図 5.3.4 に示す。



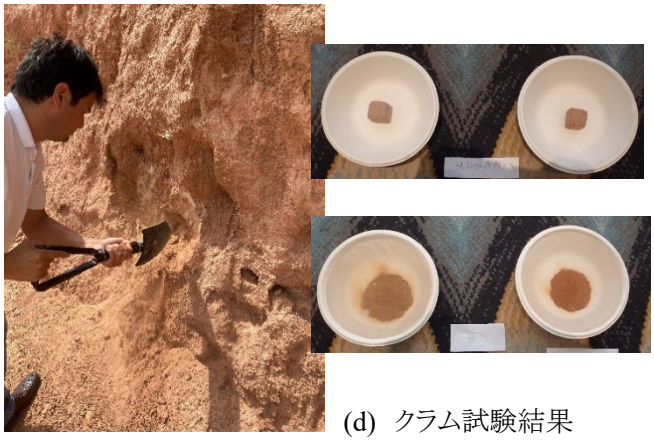
出典：JICA 調査団

図 5.3.4 フィールド調査ルート（タジキスタン）

フィールド調査の概要・写真を表 5.3.6 にとりまとめて示す。

表 5.3.6 フィールド調査結果（タジキスタン）

No.	写真	概要
1	 (a) 道路側部にできたガリー浸食地  (b) 浸食は道路際に迫っている	【ドゥシャンベ南西部】 ● ドゥシャンベ南西部、赤褐色の細粒砂～シルト岩層が分布する地域（Bulbulchashma 付近） ● 山の裾部に大規模なガリ浸食地形が認められ（写真 a）、浸食部は道路際部（写真 b）まで迫っている。 ● 地質は赤褐色の細粒砂～シルト岩で表面のガリ浸食がみられ、ところどころパイピング孔が認められる。表面は硬く固結している。（写真 c） ● 採取した材料でクラム試験（写真 d）・簡易沈降試験を実施したところ分散性がやや認められた。

No.	写真	概要
	 (d) クラム試験結果 (c) 近隣部で確認した地層	
2		【ドゥシャンベーボフタル道路】 ● 分散性のある黄土層が問題となり、路床の置換・改良等を実施している。 ● 固結したシルト岩。ハンマーで容易に採取できる。
3		【ドゥシャンベ南部・Dahanakiik 付近】 ● 国道沿いの切土斜面 ● 地層境界を挟んで軟質なシルト岩層の表面に大規模なガリ浸食がみられる。 ● 地層境界部には Gypsum の結晶がみられる。

No.	写真	概要
4	 	【ドゥシャンベ東部・Faizobod-Takhtakhamit 区間】 ● 黄土、シルト岩層が問題となり、大規模な変状、道路の沈下、舗装の損傷が進行し、補修・対策（路床の改良・再舗装・排水対策など）の効果がない。 ● 岩は固結しているが崩れやすく水分により容易に粒子間の粘着力が失われると想定される。
5	 (a) 道路の損傷状況	【ヴァフダット-ラビハル-カラミク道路】 ● ドゥシャンベ側橋台ならびに橋脚が沢の下流部方向に移動した。 ● 変状が確認されてから運輸省が増し杭、フーチングの拡幅、などの対策を行ったが変状が止まらず橋梁を維持できなくなったため、橋梁を撤去して閉鎖した。 ● 調査結果に基づく地層状況をヒアリングしたところ、事前に十分な調査が実施されておらず、関連する情報は無いとのことであった。 ● 上流側に作られた盛土による道路は橋梁区間からドゥシャンベ側に 30m 程度の区間で沈下・変状がみられ、舗装の劣化が進行している。 ● 沢の上流側は緩勾配の斜面とな

No.	写真	概要
	 (b) 撤去した橋梁跡部  (c) 河川上流側	っており、砂岩地盤が露岩している。

出典：JICA 調査団

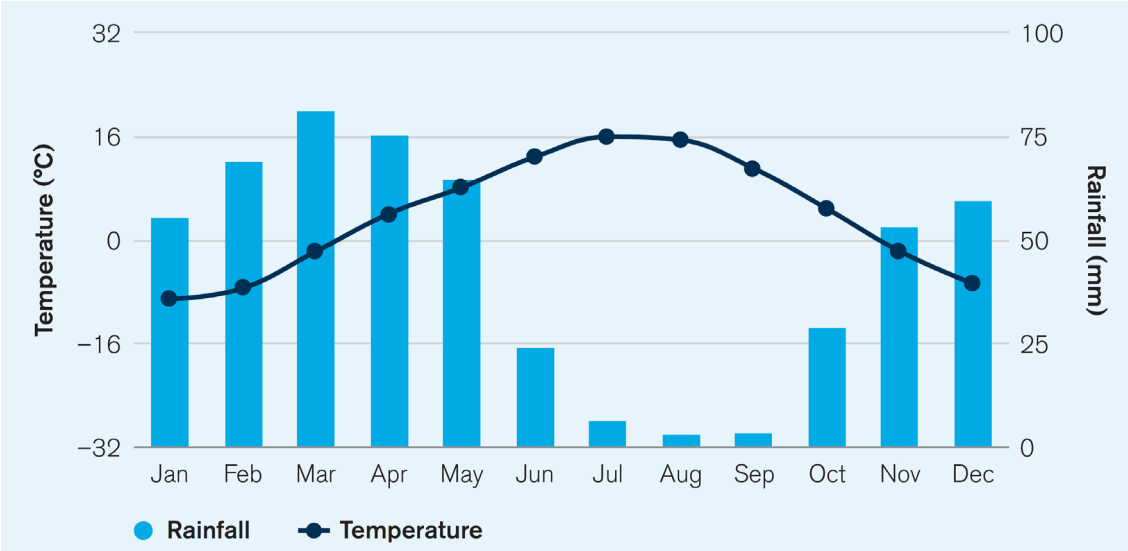
5.3.2.4 タジキスタンの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るタジキスタンの基礎情報

1) 気象条件

タジキスタンの気候の特徴として、乾燥、極端な気温、顕著な年較差、地域ごとのばらつきの多さが挙げられる。このばらつきはタジキスタンが南東の熱帯と北のシベリアからの大気の循環の交差部に位置していることにより引き起こされている。年間平均気温は南部の 17℃からパミール高原では-6℃となるなどばらつきがあり、最高気温は通常 7 月、最低気温は 1 月に観測される。東パミールでは-50℃以下の最低気温が記録される一方、南部では最高気温が 40℃を超えることもある。タジキスタン北部の低地、砂漠、東パミールの寒冷な山岳砂漠地の年間降水量は平均 70～160mm であるが、タジキスタンの中央部では年間 1,800mm を超えることもある。7～

9 月の降水量はごくわずかであり、干ばつが頻発している。図 5.3.5 に月間平均気温と降水量を示す。



出典：Tajikistan, Republic, Climate risk country profile

図 5.3.5 月間平均気温と降水量（タジキスタン、1991−2020）

【参考文献】

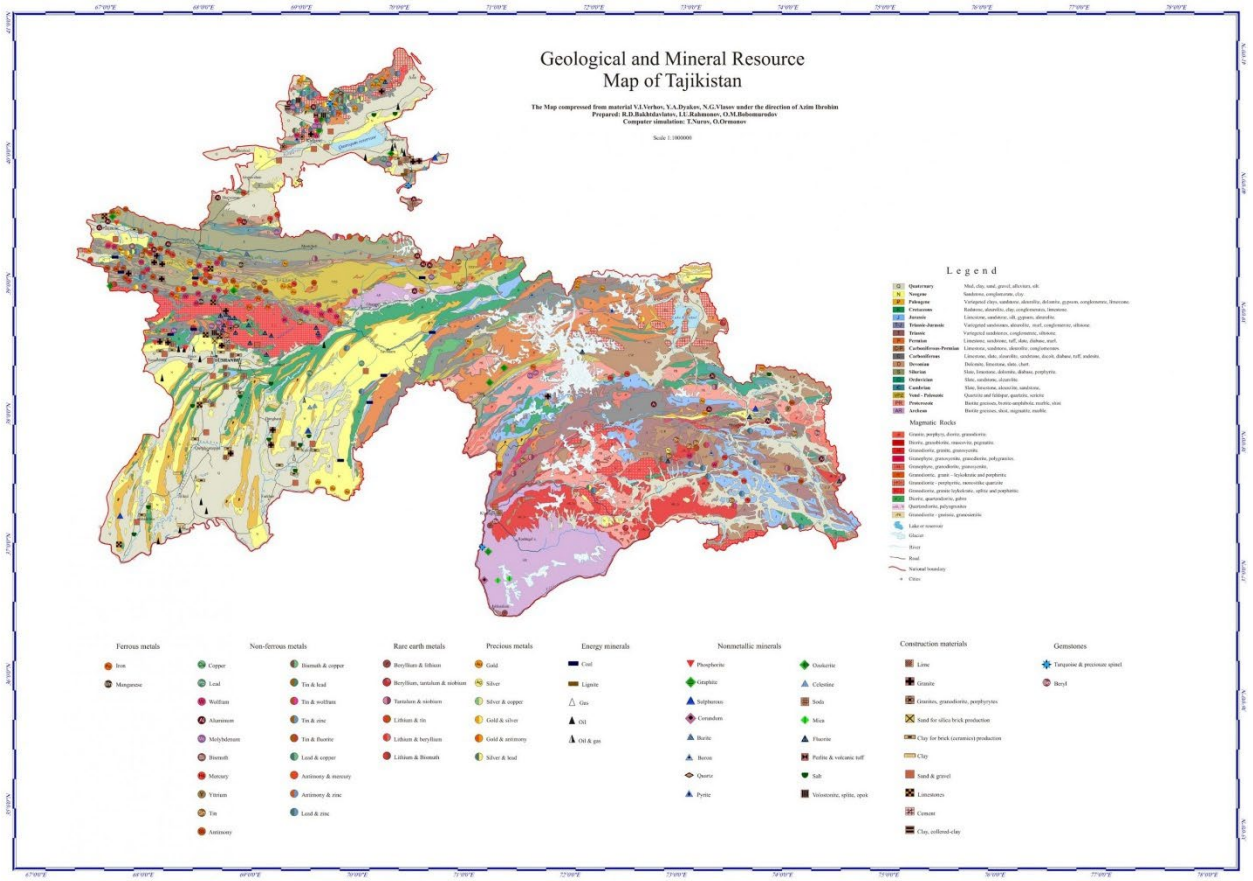
[1] QB/ADB：Kyrgyz Republic, Climate risk country profile

https://www.adb.org/sites/default/files/publication/706596/climate-risk-country-profile-kyrgyz-republic.pdf

2) 地質

タジキスタンは中央アジアの山岳地帯の内陸国で、南のアフガニスタン、西のウズベキスタン、北のキルギスタン、東の中国との国境に接している。パミール高原の山岳地帯が国土の 90%、また国土の 50%以上が標高 3,000m 以上の高地にある。低地の主な地域は北部と南部の Kofarnihon 川、Vakhsh 川の渓谷で、二つの河川が合流して Amu-Darya 川を形成している。ドゥシャンベはこの渓谷の南側斜面に位置している。

タジキスタンの地質は極めて多様、複雑で多くの岩石が分布し、その地質時代は広範である。国の南西部と北部には、第四紀、新第三紀、古第三紀の地層がみられる。タジキスタン中央部では、カンブリア紀、オルドビス紀、石炭紀、ペルム紀、ジュラ紀、白亜紀の地層と貫入岩が優勢であり、パミール高原では、貫入岩とともに、カンブリア紀後期、石炭紀、ペルム紀、三畳紀、ジュラ紀の地層が分布している。



出典：geoportal-kg.org

図 5.3.6 タジキスタンの地質図

【参考文献】

[1]IAEA INFCIS: Tajikistan Geography Geology

https://infcis.iaea.org/udepo/Resources/Countries/Tajikistan.pdf

[2] geoportal-tj.org：Mineral Resources map of Tajikistan

https://geoportal-tj.org/deposits/

3) 特殊土の分布図など

特殊土を含む土に係る分布図は整備されていない。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

黄土層に起因すると想定される地滑りや地盤の沈下等が道路・橋梁構造物に深刻な被害をもたらした事例を確認した。建設事業においてはインフラ整備事業の調査・計画・設計は主にロシ

ア基準に準拠して行われており、不良土が分布する地盤などで置換工法やセメント等の改良材の混合による土質改良が行われているが、これらの考え方に関する明確な基準・ガイドラインは確認できていない。フィールド調査結果に示した橋梁の変状が発生した事例では、変状を止めるための増杭などの対策が取られたが変状は止まらず橋梁の撤去に至っている。なお、施設の計画・対策の計画段階で十分な地質調査・メカニズムの分析等は行われていない。施設の計画にあたっては周辺の地形・地質を十分に調査し、大規模な変状の発生可能性などを判断した上で適切な計画がなされる必要がある。

5.3.2.5 推奨される支援事業

タジキスタンでは無償資金協力による道路橋梁整備事業、道路維持管理に係る技術協力が行われてきている。

特殊土に係る支援事業としては、各機関から他国に期待することとして挙げられた地盤調査に係る技術協力、本邦の調査技術を活用した特殊土（黄土層と想定される）に起因する区間の対策工整備事業（地滑り地を迂回した橋梁整備事業など）などが挙げられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、沈下などの変状が止まらない区間の対策工としての地盤改良技術（浅層～中層）が挙げられる。なお、地盤改良技術の現地地盤への適用実績は無く、施工データ・知見がないため、適用に当たっては有用性の確認のための調査・試験施工が必要となる。

5.4 調査結果・東アフリカ

5.4.1 エチオピア

5.4.1.1 概要

エチオピ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。調査メンバーのサポートとして、アジスアベバ科学技術大学の Dr. Fitsum Tesfaye 氏、Dr. Teshome Birhanu 氏、現地エンジニアの Merid Girma 氏にそれぞれ協力いただいた。表 5.4.4 に調査スケジュールを示す。

調査期間　：令和 6 年 10 月 2 日～9 日
調査メンバー　：福田 謙太郎、夏 艶
サポートメンバー　：Dr. Fitsum Tesfaye（アジスアベバ科学技術大学）
　：Dr. Teshome Birhanu（アジスアベバ科学技術大学）
現地エンジニア　：Mr. Merid Girma

表 5.4.1 調査スケジュール（エチオピア）

日時		内容
10/2	AM	JICA エチオピア事務所
	PM	アジスアベバ市道路局［AACRA (Addis Ababa City Roads Authority)］
10/3	AM	エチオピア道路局道路研究センター ［ERA RRC(Road Research Center of Ethiopian Roads Administration)］
	PM	ゴンドワナ エンジニアリング株式会社［Gondwana Engineering PLC.］
10/4	AM	アジスアベバ科学技術大学 ［AASTU(Addis Ababa Science and Technology University)］
		現場：スマートリテールステーションと 2B+G+14 ビルプロジェクト ［The SMART Retail Station and 2B+G+14 Building Project (Ethiopian Engineering Corporation: EEC)］
	PM	ゼウディ エスキンダーエンジニアリング株式会社 ［Eng. Zewdie Eskinder &Co.PLC］
10/7	AM	都市インフラ省［MUI(Ministry of Urban and Infrastructure)］
	PM	アジスアベバ工科大学［AAiT(Addis Ababa Institute of Technology)］
10/8	AM	現場:チャカプロジェクト［eTOILE Construction］
	PM	現場:エチオピア航空グループ従業員住宅プロジェクト Phase II ［Sunshine Construction］
10/9	AM	JICA エチオピア事務所
	PM	計画開発省［MoPD(Ministry of Planning and Development)］

出典:JICA 調査団

5.4.1.2 ヒアリング調査

表 5.4.2 にエチオピアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.4.2 ヒアリング調査結果（エチオピア）

ヒアリング調査先	要旨
アジスアベバ市道路局［AARCA (Addis Ababa City Roads Authority)］	● ブラックコットンソイル、赤色粘土、ラテライトなど、エチオピアには様々なタイプの特殊土がある。 ● ブラックコットンソイルの対策として、主に置換工法を用いているが、石灰処理のような代替工法もある。 ● ブラックコットンソイルの深さは 0.6～1m 程度が一般的であるが、時には深さ 1m を超える場合もある。 ● 特殊土分布図に関して、アジスアベバの土質分布図はあるが、20 年以上更新されていない。 ● AACRA は独自の基準を持っており、現在ガイドラインと基準の更新を進めている。 ● 日本から期待される技術として、土の安定化処理技術がある。 ● エチオピアでは毎年、全国のブラックコットンソイルの置換に約 40 億ブルが費やされている。 ● エチオピアでは急速な都市開発により、アジスアベバ近郊の処分場や砕石場の不足に直面している。 ● 道路盛土ののり面処理は、コンクリート擁壁、石積み擁壁、植生工法が使用されている。
エチオピア道路局道路研究センター［ERA RRC(Road Research Center of Ethiopian Roads Administration)］	● エチオピアの膨潤性粘土は、水分の体積変化により、道路に重大な損傷を引き起こしている。また、膨潤性粘土の特性に関する十分なデータがなく、道路の設計を困難にさせている。 ● エチオピア政府道路研究センターでは、危険分類システムの構築、GIS ベースでの土質分布図、土の安定化処理技術について、研究開発を行っている。 ● ラテライトは一部の道路で使用された実績がある。 ● サンゴ由来の土は、エチオピアでは内陸国のため一般的ではない。 ● その他、塩類土や崩壊土も特殊土であると認識している。 ● SATREPS MNGD プロジェクトで、ブラックコットンソイルの土の安定化処理技術について日本と共同研究を行っている。 ● エチオピア政府道路研究センターでは、GIS ベースの特殊土分布図を作成しており、MOU を結ぶことよりデータを共有することができる。 ● 道路建設における調査・と設計のためのガイドラインは存在するが、現在の研究に基づく更新が必要である。 ● ERA RRC パンフレット、特殊土に関する論文、ERA の道路設計マニュアルを入手した。
ゴンドワナ エンジニアリング株式会社［Gondwana Engineering PLC.］	● エチオピアの国土の 60%以上、特に中央エリアにおいてはブラックコットンソイルが広大に分布している。 ● エチオピア道路局（ERA）では、ブラックコットンソイルに関する対策マニュアルを公開しているが、膨張土を 60cm 掘削し、良質な材料で置換する規定の方法は必ずしも効果的ではない。 ● ブラックコットンソイルは水を吸収し、乾燥・収縮するため、舗装の損傷に

ヒアリング調査先	要旨
	つながる動きを引き起こしている。 ● ブラックコットンソイルは、その損傷の程度または膨張性（大・中・小）によって分類され、塑性指数、液性限界、収縮量と関連付けられる。これらの特性を理解することは、土の損傷リスクを判断する上で極めて重要である。 ● サンゴ由来の土は、稀である。 ● ラテライトは、一般的に使用されており、特に地下水の動きが良い傾斜地では良く確認される。また、路床としてよく利用され、砂利が含まれる場合は路盤や基層として利用されることがある。 ● エチオピア道路局の基準が通常遵守されるが、ゴンドワナ・エンジニアリングはマニュアルに記載されている方法以外の代替案も提案し、実施している。例えば、エチオピア道路局が規定する高価な置換工法ではなく、ブラックコットンソイルの上に土砂を盛るという方法を採用することで、より費用対効果の高いことが証明された。 ● 土質分布図はあるが、建設目的ではない。エチオピア道路局は、特殊土の大まかな分布を把握しているものの、詳細なコアデータが不足していることが多い。具体的には、ブラックコットンソイルは全て同じ挙動を示すわけではなく、その厚さも様々である。地表のマッピングだけでは、ブラックコットンソイルの深さやリスクを評価するのに十分なデータが得られない可能性がある。 ● エチオピア道路局により道路の設計マニュアルが公表されている。 ● 試験室を保有していた。CBR 試験機、圧密試験機、一面せん断試験機、三軸圧縮試験機など ● アンケート回答書を受領した。
アジスアベバ科学技術大学 ［AASTU(Addis Ababa Science and Technology University)］	● SATREPS MNGD プロジェクトで実施している研究成果の一例について紹介された。ブラックコットンソイルの安定化のために、農業廃棄物（竹、もみ殻、麦わら）から得られるセルロースベースの繊維添加剤の使用を検討した研究である。セルロース含有量は竹（59%）、次いでもみ殻（43%）、麦わら（41%）の順で高い結果が得られた。セルロース繊維はそれぞれ異なる速度で水を吸水し、土質水分のばらつきを低減することで、収縮やひび割れを緩和するのに役立つ。膨張土は引張強度が低いが、セルロース添加剤を使用することにより、全体的な性能の改善に役立つ。ブラックコットンソイルの安定化のための別の方法として、裁断した紙から抽出したセルロース（セレドロン，日本輸出品）を使用こも提案されている。同発表資料を受領した。 ● 試験室を保有していた。一面せん断試験機、CBR 試験機、圧密試験機、三軸圧縮試験機など。JICA から無償提供された試験機が多く確認された。 ● アンケート回答書を受領した。
ゼウディ エスキンダーエンジニアリング株式会社 ［Eng. Zewdie Eskinder &Co.PLC］	● エチオピアにおける一般的な特殊土の種類として、膨張性土、崩壊性土、分散性土、低強度土、ラテライト、塩類土などがある。 ● 特殊土の分布エリアは以下の通り把握されている。 ● 膨張性土：中央部・北西部・東部高地、Gambella 周辺の西部低地、リフトバレーの一部 ● 崩壊土：Omo 川南部、Zeway、Shashemene、Awassa 周辺の中央部および南部、砂丘で形成されている Afar 地域 ● 分散性土：リフトバレー、南部・東部低地、Afar、Somali、Tigray 地域、他

ヒアリング調査先	要旨
	地域における孤立した事例 ● ラテライト：Jimma、Metu、Assosa 周辺の西部・南西部の一部、雨の多い他の地域 ● マニュアルには、エチオピア道路局の設計マニュアルが使用されており、地盤調査マニュアルの第 7 章では特殊土に焦点が当てられている。しかし、現行基準には課題があることを指摘し、特に盛土高さ（0.5m、1.99m、6m など）毎の対策指針が同じであることが指摘された。これらの基準は改善の余地があると提案された。 ● 日本から期待される技術としては、費用対効果の高い土質安定化技術、水分制御のためのシーラント、ラテライトの識別施設、斜面安定化技術、地すべり防止方法 ● 試験室を保有していた。ふるい、液性限界試験機、三軸圧縮試験機、CBR 試験機、コア抜き機など ● 会社パンフレット、アンケート回答書および回答等をまとめたプレゼン資料を入手した。
都市インフラ省 ［MUI(Ministry of Urban and Infrastructure)］	● エチオピアにおける一般的な特殊土の種類として、膨張性土の他、固結していない緩い堆積物（沖積、エオリアン）、古い湖の湖底堆積物、バレ地域の泥炭、リフトバレーのテフ質火山灰などが含まれる。 ● ブラックコットンソイルによる道路のクラックや縦方向のひび割れなどを経験した。 ● 現在、建設管理研究所（MoUI 担当）は、アジスアベバ科学技術大学と共同で、低価格住宅用の中空コンクリートブロックの代替品として、生物酵素安定化インターロッキング土ブロックの製造に取り組んでいる。この研究プロジェクトは完成間近であり、現在、このバイオ酵素土壌安定化技術を道路路盤安定化に適用するためのコンセプトノートが作成されている。特に、ブラックコットンソイルや粘着性の低い土壌などの地盤工学上の問題のある土に焦点を当てている。 ● 学術目的（主に修士論文）で、地盤工学的に問題のある土の特性評価やマッピングが散発的に行われている以外には、エチオピアにおける地盤工学的に問題のある土壌に関する適切に特性評価、マッピング、整理された情報は存在しない。1986 年 Bantayehu Uba によって作成された膨張性土の大まかな分布地図がある。 ● エチオピア道路局の道路設計マニュアルが使用されている。 ● 膨張性土（ブラックコットンソイル）やラテライトは、エチオピアの建設業界にとって大きな課題となっている。現状の対策である置換工法は、必ずしも十分な成果を上げていない。土の特性をよく理解し、対策を改善していくために、全国の特殊土分布図のより体系的なアプローチが必要である。 ● 現在、室内土質試験は政府系の大学によって実施されているが、試験手順の標準化が欠如している。試験室間、さらには同じ試験室内でも試験によって試験結果に違いが生じていることから、日本で実施されているような機器の年次校正の必要性が浮き彫りになってきている。 ● 進行中の国会統合マスタープランプロジェクトにおける主要課題は、埋設インフラからのデータ収集の難しさである。地中レーダー（GPR）を導入すれば、データ収集の取り組みが大幅に強化され、プロジェクトの成果が改善されると期待している。 ● 土の挙動、斜面保護、地すべりの軽減といった複雑な問題に対処するた

ヒアリング調査先	要旨
	めには、データ主導のアプローチが不可欠であることを述べた。そこで、建設および地盤工学プロジェクトにおける調査と意思決定の改善に不可欠なステップとして集中分析センターの設立が提案された。 ● 日本から期待される技術として、中程度の危険性のある地すべり発生地域を特定し、マッピングする技術、および地すべりの移動を監視し対策する技術がある。 ● アンケート回答書を入手した。
アジスアベバ工科大学［AAiT(Addis Ababa Institute of Technology)］	● 膨張性土、特にブラックコットンソイルはエチオピアにおける代表的な特殊土であり、インフラや高層ビルの建設に影響を与えている。エチオピア北部での大規模なインフラの損傷はブラックコットンソイルが原因とされている。 ● 分散性土や崩壊土は、エチオピア南部に分布しており、こちらについても技術者のアプローチを複雑にする特殊土である。 ● ラテライトの建設工事での利用方法について、学術的な研究や数多くの論文が存在するが、現場への応用は限られている。 ● 塩類土も様々な地域に分布しており、建設工事を更に複雑にしている。 ● 全国土質マップは存在するが、農業分類に重点を置いており、時代遅れである。土木用の土質分類は含まれておらず、更新が必要である。このマップを共有することができるが、建設時の土の挙動に関する詳細な情報が不足している。 ● エチオピア道路局（ERA）が道路設計マニュアルを公開している。同マニュアルの中で膨張性土の取り扱いに関するガイドラインが示されている。膨張土の対策として、置換工法が主に使用されているが、最近の更新ではより深い掘削を行うことが推奨されている。石灰やセメントなどの代替処理方法も研究されているが、実際にはほとんど適用されていない。置換工法は、膨張土の処分やリサイクルが適切に行われないと、環境悪化につながる問題がある。 ● 日本から期待される技術として、地すべりを軽減するための技術がある。
計画開発省［MoPD(Ministry of Planning and Development)］	● 道路の建設に大きな影響を与える特殊土としてブラックコットンソイルがある。ブラックコットンソイルの膨張と収縮を繰り返す性質により、道路維持費が高額になる。 ● 地すべりを起こしやすい土として、崩壊土があり、これには塩類土、浸食されやすく崩れやすい土などがある。 ● エチオピアでは地すべりが深刻な問題となっている。 ● 地下水下の土の挙動に関する研究が不十分であり、ほとんどの地すべりは降雨によって誘発され、道路などのインフラ建設と併せて発生することが多い。 ● 日本から期待される技術として、地すべりによるリスクを軽減するための、地すべりマップ、モニタリングシステム、早期警報システムや能力開発がある。

出典：JICA 調査団

5.4.1.3 フィールド調査

現地調査において、エチオピ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。図 5.4.1 に調査位置を示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.4.1 フィールド調査位置図（アジスアベバ，エチオピア）

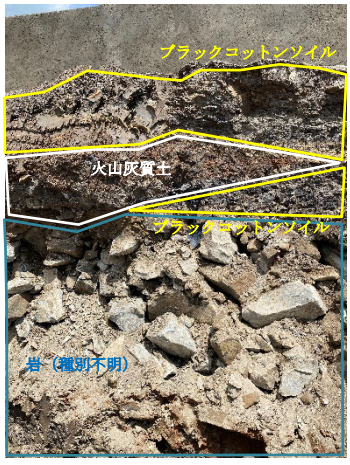
表 5.4.3 にフィールド調査の概要・写真を取りまとめた。

表 5.4.3 フィールド調査結果（エチオピア）

No.	写真	概要
1	 工事看板  膨張土の由来となる玄武岩の断面	【スマートリテールステーションと2B+G+14 ビルプロジェクト】 ● スマートリテールステーションと2B+G+14 ビルの建設プロジェクトである。 ● アジスアベバ科学技術大学がコンサルタントを実施している。 ● 掘削時に膨張性土に遭遇しており、その断面を確認できた。 ● 膨張土の由来となる岩質である玄武岩の断面も確認できた。

No.	写真	概要
	 膨張性土の断面  掘削後の土留めの状況	
2	 のり面処理状況（植生工使用）	【チャカプロジェクト】 ● アジスアベバ市行政のイェカ丘に隣接するイェカ副都市の 503 ヘクタール以上の土地における開発プロジェクトで「スマートシティ」開発計画の一部である。 ● 主にのり面処理技術について視察した。自然景観を意識した道路建設が数多く実施されていた。 ● 建設現場でブラックコットンソイルが確認された。

No.	写真	概要
	 岩盤斜面（無対策）に彫刻加工  ブラックコットンソイル  建設状況	

No.	写真	概要
3	 工事看板  基礎工事状況  掘削断面 （ブラックコットンソイルと火山灰質土と岩の境界部）	【エチオピア航空グループ従業員住宅プロジェクト Phase II】 ● エチオピア航空グループの従業員が住居するためのアパート建設プロジェクトである。 ● 掘削時にブラックコットンソイルに遭遇した。 ● ブラックコットンソイルは全部除去することを基本として工事を行っている。 ● ブラックコットンソイルと火山灰質土と岩の境界部を確認した。

出典：JICA 調査団

5.4.1.4 エチオピアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るエチオピアの基礎情報

1) 気象条件

首都アジスアベバは、標高 2,400m の高地にあるため、年間を通して最高気温 25℃前後、最低気温 15℃前後であり、日較差があり朝晩は冷え込むが、その緯度に比して過ごしやすい気候である。また、広大な国土は高低差に富み平均気温が 50℃と極めて暑い地域もある。気候は小雨季（2 月～5 月）、大雨季（6 月～9 月）、乾季（10 月～1 月）に分かれている。[1]

降水量は、標高、気圧、および地域の特性により大きく異なる。低地では降水量は通常非常に少なく、一方、南西部、中央部、北西部ではかなりの量の降雨があるが、そのパターンは様々である。南西部では、月ごとの降水量の分布は比較的均一であるが、青ナイル川流域を含む北西部および西部地域では、熱帯モンスーン型の気候が一般的であり、6 月から 9 月にかけての降水量が著しくなる。エチオピアには主にベルグ（小雨）とキレムト（大雨）の 2 つの雨期がある。[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] Enyew BD and Steeneveld GJ: Analyzing the Impact of Topography on Precipitation and Flooding on the Ethiopian Highlands, Geology & Science, Vol.3, No.6, p.1000173, 2014.

2) 地質

エチオピアは、先カンブリア紀の変成岩類、花崗岩類、超塩基性岩類などを基盤として、それらを不整合に覆い局部的に分布する古生層、やや広範囲に分布する中生層、さらに、これらを不整合に覆う第三紀の厚い火山岩層、第四紀の堆積岩層と火山岩層とからなっている。

先カンブリア紀の岩石類は、エチオピアの北部、南部、西部に広範囲に露出し、一方、東部では Chercher 山脈地域 (Asbe Tafari～Harrar 間)の河谷底に露出している。その露出面積は、国土面積の約 21%(252,000km^2)を占めている。エチオピアにおける先カンブリア紀の構成岩類は、花崗岩質片麻岩、黒雲母片麻岩、砂質片麻岩、珪岩、角閃岩、角閃石片岩、緑泥石片岩、泥質片岩、チャートなどの変成岩類、かんらん岩、輝岩、蛇紋岩などの超塩基性岩類、造山期貫入の花崗岩類などである。これらは、先カンブリア紀末期または古生代初期といわれている花崗岩類に貫入されている。

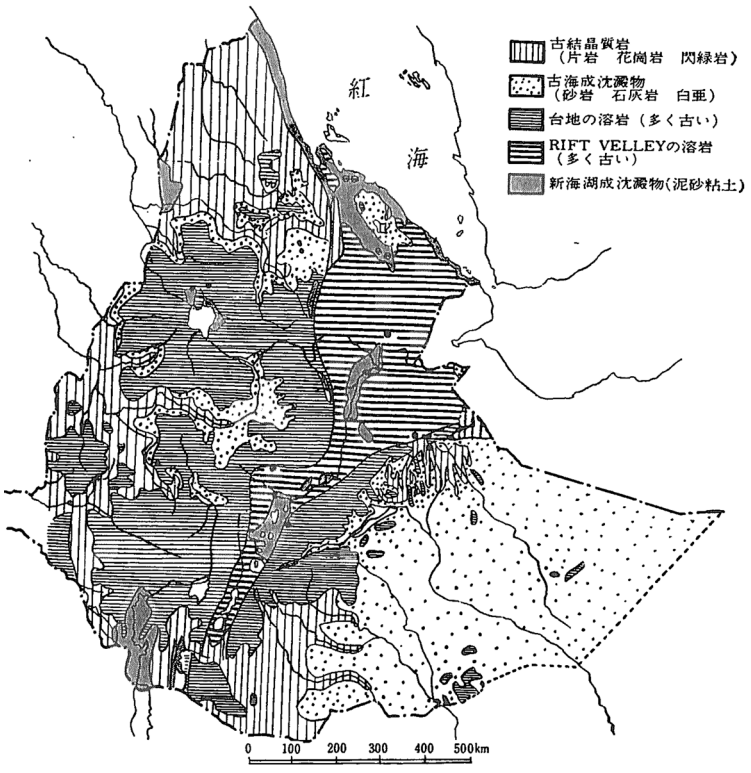
古生層は、北部の Tigre 州地域及び青ナイル川渓谷の一部に局部的に露出し、主として氷河堆積物からなり、古生代オルドビス紀または二畳紀～石炭紀と考えられている。中生層は、主に北部の Tigre 州、青ナイル川渓谷地域及び南東部諸州の広範な地域に分布し、先カンブリア系、古生界の削剥された平坦面を不整合に覆い、基底礫岩、砂岩、石灰岩、泥灰岩、頁岩、石膏層などからなり、水平または極めて緩い傾斜を示している。これらは、三畳紀から白亜紀にわたる浅海性堆積岩層である。第三紀層の大部分は、エチオピア中央部の高原地帯に分布し、始新世ないし中新世の台地玄武岩層(plateau basalt)とその中に挟在される薄い砕屑岩層で、Trap basalt series と

区分されている厚い火山岩層である。紅海沿岸地域には、中新世～鮮新世の砂岩、頁岩、石灰岩などの堆積岩類が分布する。台地玄武岩層は、アルカリ玄武岩質溶岩、凝灰角礫岩層、凝灰岩層の厚い繰り返しからなり、基盤の古生界、中生界の削剥平坦面を不整合に覆い、水平または極めて緩い傾斜を示している。全層厚は 3,000m 余りに達する地域がある。第四紀層は、海成～湖成の泥、粘土、砂などからなるが、主な地層は洪積世後期の厚い含カリ岩塩層で、Afar Depression の北部、Danakil 付近に分布している。鮮新世～洪積世には、中新世の台地玄武岩の噴出、大地溝帯の形成に引き続いて地溝帯の内部縁辺部及びその他の局部地区(Tana 湖周辺、Blue Nile 渓谷地域、Harrarghie 州東部)では、玄武岩、安山岩、粗面岩、各種アルカリ火山岩の噴出が継続し、その一部は現在に至るまで活動している。また、これらの火山活動と同時期に地溝帯内部には湖成層が堆積している。

エチオピアにおける最大の構造線は、Rift Valley であり、中新世末期から鮮新世にかけて形成された東アフリカ大地溝帯の東部分岐である。この地溝帯は、エチオピア高原を両断して中央部を北東－南西方向及び北－南方向に走り、エチオピア南西部の Lake region(ケニア国境の Rudolf 湖から北東方の Zwai 湖に至る湖泥地帯)および Afal Depression(Massawa-Awash-Djibouti を結ぶ三角地帯)の陥没低地帯をつくっている。

出典：JOGMEC：資源開発環境調査 エチオピア連邦民主共和国

https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/ethiopia_05.pdf

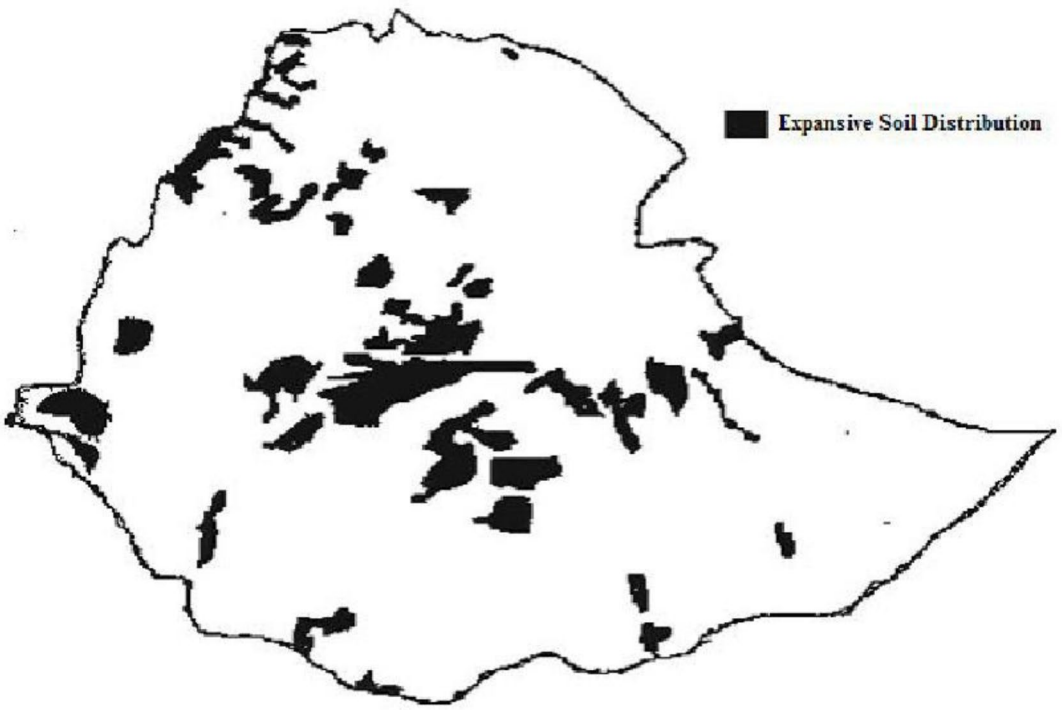


出典：高橋 清：東南アフリカ事情③ エチオピアの現状と鉱物資源，地質調査総合センター，地質ニュース，No.11，pp.44-61，1985.

図 5.4.2 エチオピア地質図

3) 特殊土の分布図

膨張性土の分布図は図 5.4.3 に示すものがあるが、大まかな分布図であり建設目的ではない。エチオピア道路局道路研究センター（ERA RRC）では、GIS ベースでの分布図を作成しているが、改良途中にある。



出典：Bantayehu Uba, Expansive soils in Ethioipa : a Review , Environmental Science, Engineering, 2017.

https://www.semanticscholar.org/paper/Expansive-soils-in-Ethioipa-%3A-a-Review-Uba/e73316ec2d06920e7316f9bbe9448e8a2b96ad4b (2024 年 12 月確認)

※出典は上記であるが、分布図自体は 1986 年に作成されたもの（MUI ヒアリングによる）。

図 5.4.3 エチオピアにおける膨張性土の分布図

(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

膨張性土、崩壊性土、分散性土、ラテライト、塩類土、泥炭、火山灰質土などが問題となっている。

2) 発生している問題

膨張性土では、適切な処理が実施されずに道路建設を行うと、膨張性土の膨張・収縮により道路の舗装に亀裂が入るなどの問題が発生している。　崩壊性土、分散性土、塩類土の地域では、地すべりの素因となっており、地すべりの問題が発生している。

ラテライトは､道路の路盤材として使用されることがあるが､地域性･風化の程度などにより、塑性指数が高く、CBR が低い場合がある。

3) 現地の対応策

膨張性土は、置換工法が基本となっている。エチオピア道路局による道路設計マニュアルに基づき、対策が実施されているが、膨張性土を 60cm 掘削し、良質な材料で置換する規定の方法は必ずしも効果的ではないケースがある。また盛土高さ（0.5m、1.99m、6m など）毎の対策指針が同じであることも問題と認識されている。

エチオピアでは毎年、全国の膨張性土（主にブラックコットンソイル）の置換に約 40 億ブルが費やされており、高価な工法として認識されている。ゴンドワナ・エンジニアリングは、マニュアルに記載されている方法以外の代替案として、置換工法ではなく、ブラックコットンソイルの上に土砂を盛るという方法を採用することで、より高い費用対効果が得られることを証明している。

SATREPS の MNGD プロジェクトにおいて、ブラックコットンソイルの地盤改良に関する共同研究が実施されており、マニュアルが作成されているところである。

4) 基準の整備状況

2013 年にエチオピア道路局（ERA）により発刊された道路設計マニュアルがある。しかし、3)で挙げたような問題点が確認されており、現行基準による対策は十分とは言えない状況である。また、アジスアベバ市道路局（AACRA）においても独自に舗装設計マニュアルが作成されており、路盤評価の章において特殊土に言及している。

5.4.1.5 推奨される支援事業

ヒアリングの結果、日本に期待する技術として、主に「地盤改良技術」、「防水処理技術」、「ラテライトの判定技術」、「斜面安定化技術」、「地すべり防止技術」が挙げられた。特に、「地すべり防止技術」に関する意見が多く、具体的に中程度の危険性のある地すべり発生地域を特定し、マッピングする技術、地すべりの移動を監視し対策する技術、および早期警報システムなどが挙げられた。

エチオピアの現状ならびにヒアリングの結果を踏まえ、今後推奨される支援事業として、引き続き膨潤性土・崩壊性土等の分布や特性、遭遇した場合の対策工、地滑りに係る対策等に係る共同研究や技術協力事業が挙げられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、膨潤性土の改良のための改良材やその施工技術、表層部の改良のための浅層改良やその固化材の技術が挙げられる。

5.4.2 タンザニア

5.4.2.1 概要

タンザニ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 5.4.4 に調査スケジュールを示す。

調査期間　　：令和 6 年 10 月 11 日～18 日

調査メンバー　：福田 謙太郎、夏 艶

現地エンジニア　：Mr. Yoshua Kimario

表 5.4.4 調査スケジュール（タンザニア）

日時		内容
10/11	AM	JICA タンザニア事務所 ダルエスサラーム大学［UDSM (University of Dar es Salaam)］
	PM	技術者登録委員会［ERB (Engineers Registration Board)］
10/15	AM	タンザニア地方道路公社［TARURA (Tanzania Rural and Urban Roads Agency)］
	PM	タンザニア道路公社[TANROADS (Tanzania National Roads Agency)］ ドドマ大学［UDOM (University of Dodoma)］
10/16	AM	国家建設審議会［NCC (National Construction Council)］ 建設規制委員会［CRB (Contractors Registration Board)］
		現場:ドドマ市内環状道路建設計画（JICA 無償資金協力）[Dodoma City Inner Ring Road］
	PM	現場:標準軌鉄道（SGR）付近斜面対策（タンザニア政府案件）[Slope Countermeasures Near SGR］
10/17	AM	タンザニア道路公社 研究開発ユニット［TANROADS RDU (Research and Development Unit)］
	PM	ダルエスサラーム大学［UDSM (University of Dar es Salaam)］
10/18	AM	現場:キルワ道路拡幅計画（JICA 無償資金協力）［Widening of Kilwa Road］
	PM	JICA タンザニア事務所

出典：JICA 調査団

5.4.2.2 ヒアリング調査

表 5.4.5 にタンザニアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.4.5 ヒアリング調査結果（タンザニア）

ヒアリング調査先	要旨
ダルエスサラーム大学 University of Dar es Salaam	● ブラックコットンソイル（BCS）は、特に大きな河川地域の近くに存在する。一部の研究者は、BCS の影響を受ける地域を示す地図を作成しており、Kibaha や Rufiji などが含まれている。 ● 火山灰土(Volcanic Ash Soil): キリマンジャロ (特に Rombo) などの地域に見られ、水にさらされると急速に浸食されやすい傾向がある。

ヒアリング調査先	要旨
	● 崩壊性土(Collapsible Soil): ドドマでよく見られ、崩れたり沈下したりし、インフラに損傷を与えることがある。 ● 膨張性土: Mbeya やタンザニア中央部 (Singida など) などの地域に存在し、湿度の変化によって膨張したり収縮したりするため、道路にひび割れを引く起こす。 ● 分散性土：特に丘陵地帯や谷間地帯で問題となり、水にさらされると容易に溶解して浸食される。 ● サンゴ由来土：主にタンザニアの沿岸地域に見られ、強度が低い。 ● 特殊土によるインフラの損傷を防ぐために、ジオテキスタイルやジオグリッドなどのジオシンセティックスなどの材料を使用し、道路や建物の安定性と強度を向上させる。
技術者登録委員会 Engineers Registration Board	● 膨張性土（ブラックコットンソイル）と分散性土に関連する問題が発生している。ラテライトはタンザニアで広く使われている。しかし、ラテライトに含まれる高い水分含有量が原因で構造物の崩壊や損傷が報告された。 ● 特に軟弱地盤、地盤改良、斜面保護方法などの分野で、日本からの技術に対する需要は非常に高い。 ● 下記の実施活動について協力支援が期待される。 ・School of Professional Engineering(SoPE)：技術専門学校への支援。 ・Structured Engineers Apprenticeship Programme (SEAP)：技術者見習いプログラムの持続可能性確保。 ・STEM Support Programme (SSP)：中学校の生徒が早い段階で科学、技術、工学、数学を学習できるように STEM プログラムの導入。
タンザニア地方道路公社 TARURA	● タンザニアには、「pure soils」と呼ばれる特殊土があり、アルーシャの Lengijave, Olmotonyi, Kilimamoto and Njombe などの地域に見られる。 ● Geita 一部の地域には、建設に適した良好な土がある。 ● TARURA は現在、1999 年に制定された「舗装及び材料設計マニュアル(Pavement and Material Design Manual)」と、2016 年に制定された「低交通量道路マニュアル(Low Volume Roads Manual)」の 2 つのマニュアルを使用している。 ● アルーシャの Kisongo から Mwandeti までの道路は、特殊土が原因で問題が起きている。 ● 日本からの技術支援の要望に関して、TARURA は直面している課題を共有し、それらの問題に対処するための適切な技術を日本が提案することで、建設コストと時間の両方を削減できる。
タンザニア道路公社 TANROADS	● TANROADS の全てのプロジェクトを支援している道路専門家がいる。道路専門家を紹介し、必要な情報提供が可能。 ● TANROADS 出版の設計マニュアルと試験マニュアルの提供が可能。
ドドマ大学 University of Dodoma	● タンザニアには、酸性土(acidic soil)、ナトリウム土(sodic soil)、砂質土(sandy soil)、崩壊性土(collapsible soil)、排水不良土(poor drainage soil)など、多くの特殊土が存在する。 ● Vigwaza や Nyakanazi から Bukoba へ続くルート沿い、カゲラ州の Nyakanazi から Lusumu にかけて、膨張性土の堆積がある。 ● 建物の基礎において特殊土がしばしば影響を及ぼす。 ● タンザニアは大規模な建設プロジェクトが進行中の発展途上国だが、特殊土を判定する技術スキルが不足しているという大きな課題に直面している。日本から新しい技術を導入し、特殊土への対策を講じる準備ができている。

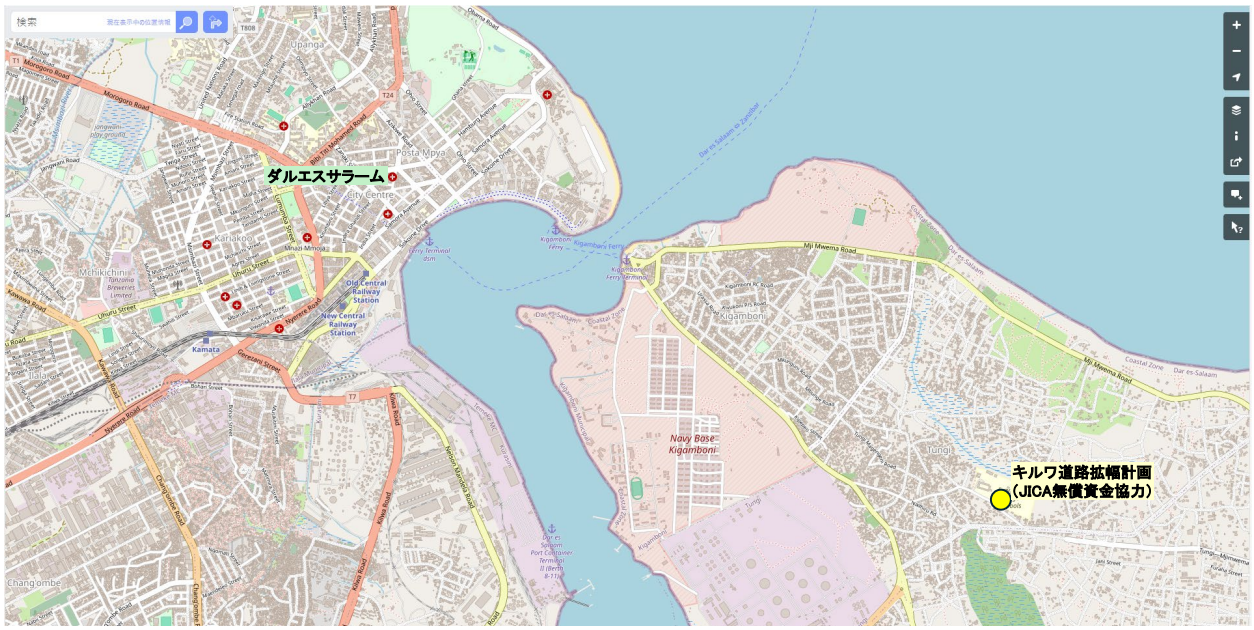
ヒアリング調査先	要旨
	● ドドマ大学は、特殊土に関連する研究、プロジェクト、トレーニングに参加する土木技術者を派遣することが可能。また、指定された場所から土サンプリング、実験室での実験の実施を支援することも可能。
国家建設審議会 National Construction Council	● BCS は、Kisesa, Mwanza, and Horohoro, Tanga などの地域で見られる。対策としては、砂や砂利などの適切な材料への置き換えが必要。置換工の厚さは場所によって異なるが、通常は約 600 mm 程度である。水のたまりを減らすために適切な排水システムが重要である。 ● サンゴ由来の土:ダルエスサラーム（Kunduchi, Kigamboni）、Kisarawe、ムベヤの Songwe などの沿岸地域で見られる。塩分が多く含まれているため、建設材料として弱める可能性がある。対策として、石灰やセメントを使用して改良することで、塩分の影響を軽減することが可能。 ● 分散性土:タンザニアのいくつかの地域に存在し、水による浸食の影響を受けやすい。対策として、石灰やセメントなどの添加剤を使用して土の凝集力を高め、雨季の侵食を防ぐ方法がある。 ● ドドマ土:粘土質で、塩分やシルト分が多い可能性があると考えられている。対策として、石灰の使用や排水システムの設置が有効である。 ● アルーシャとキリマンジャロの火山性土:Sanya やタンザニア国境沿いに見られる。肥沃で保水性に優れているため農業には適しているが、建設においては課題がある。対策として排水システムの改善や基礎補強などがある。 ● 日本の技術:環境に優しく、自然の土質構造を変えない限り、日本の技術は期待される。特に土の安定化における日本の技術は、タンザニアの特殊土問題に解決策を提供できる可能性がある。
建設規制委員会 Contractors Registration Board	● BCS は、特に湖岸地方(Mwanza, Shinyanga)で見られる。 ● 分散性土は、タンガや南部高地(Morogoro, Iringa, Songea) などの地域で見られる。対策としては、置換工やセメント改良。 ● サンゴ由来の土は、ダルエスサラーム、タンガ、ムトワラなどの沿岸地域で見られる。サンゴ石灰岩を使用し、安定化対策。 ● 塩性土、シルト土、北部地域 (キリマンジャロとアルーシャ) で見られる火山灰土など、その他特殊土もある。 ● インフラへのさらなる損傷を防ぐために、地盤処理、材料改良、のり面保護方法に関する日本の高度な技術が必要。
タンザニア道路公社 研究開発ユニット TANROADS Research and Development Unit	● ラテライトは、全国の道路建設に広く使用されている。ラテライトの強度には大きなばらつきがあり、非常に高い CBR から非常に低い CBR まで様々であるため、慎重に利用されている。 ● サンゴ由来の土は、タンザニアの沿岸地域 (ザンジバル、マフィア諸島など) で建設資材の主な供給源である。アスファルト工事の骨材として使用する際の主な課題は、ビチューメンの吸収率が高く、低い TFV（強度）、固有の石灰特性により早期硬化が加速され、早期にひび割れが発生しやすくなる。 ● 火山性土 (スコリア)、塩性土、硫化物の多い土、強度の低い土 (CBR<3%)、雲母、特にスメクタイトの多い土などの他特殊土がある。 ● TANROADS には、地盤調査マニュアル(2003)、室内土質試験マニュアル(2000)、舗装及び材料設計マニュアル(1999) - 第 6.0 章、低交通量道路マニュアル(2016)、道路工事標準仕様(2000) があり、特殊土のサンプリング、試験、設計、施工を網羅している。 ● タンザニアで実施された全ての建設工事は TANROADS ガイドラインが

ヒアリング調査先	要旨
	適用されている。 ● TANROADS が期待する技術: ・斜面の不安定性（特に切土・高盛土での斜面崩壊への対策） ・地盤工学（探査技術および解析ソフトウェア） ・気候耐性設計 (タンザニアの気候マップの見直し) ・軟弱地盤の処理 ・限界材料の改善 ・崩壊性土（シンクホールなどを引き起こす）への対応 ・丘陵地帯を通る道路における地下水の浸出への対応 ・湿地での建設技術
ダルエスサラーム大学 University of Dar es Salaam	● Kihaba 付近で見られる灰色の膨張性土。ブラックコットンソイル（BCS）ではなく、建物に深刻なひび割れが発生している。 ● BCS を安定化するには、石灰を使用して可塑性を低減し、セメントを使用して強度を向上させる。 ● ラテライトは主に道路工事で使用される。一部のラテライトが若いため、セメントによる安定化が必要。 ● サンゴ由来の土は、ダルエスサラーム、タンガ、リンディ、ムトワラなどの沿岸地域でよく見られ、強度が十分ではないため軽量建築に使用される。 ● アルーシャとキリマンジャロには火山性土もあり、浸食されやすい。 ● 特に丘陵地帯では、土が谷に流されてナトリウムと塩分を含む鉱物が残るため、ナトリウムと塩分を含む土も存在する。例:マニャラやシニャンガの一部。 ● リン酸土もマニヤラで見受けられる。 ● タンザニアでは通常、浅層安定化が一般的に使用されている。日本の土質安定化技術が非常に必要とされている。特に深層混合法（Deep Mixing Method）やのり面保護に関心がある。

出典:JICA 調査団

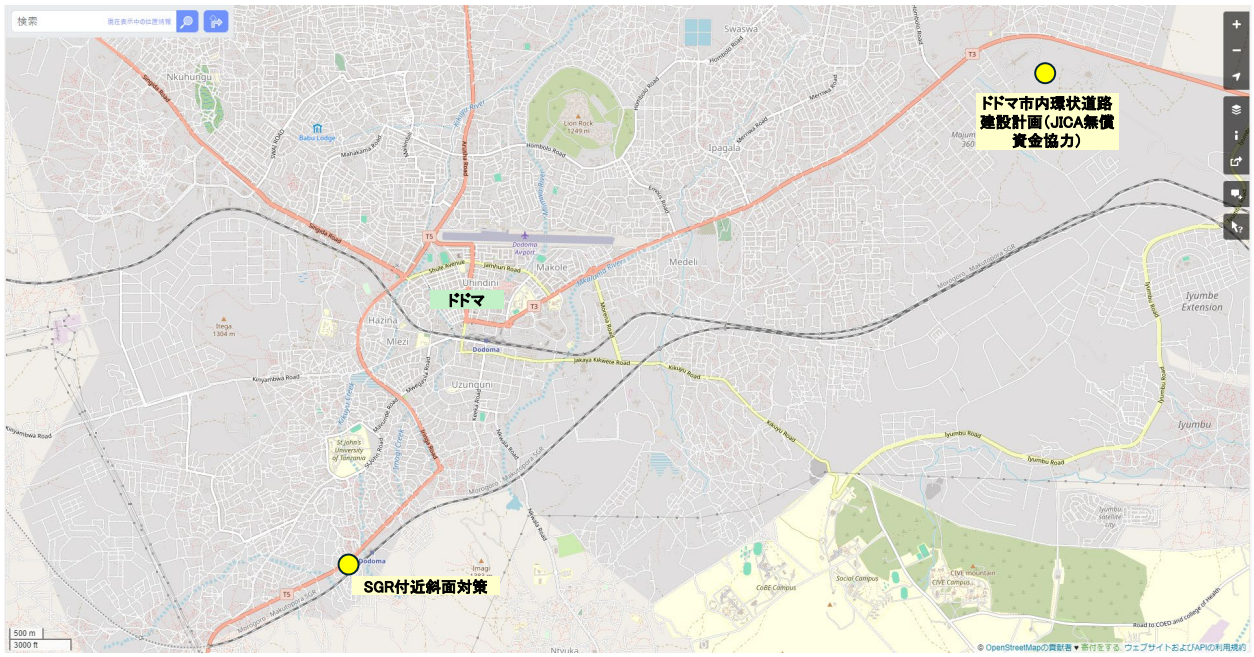
5.4.2.3 フィールド調査

現地調査において、タンザニ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。調査ルートを図 5.4.4～図 5.4.5 に示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.4.4 フィールド調査位置図（ダルエスサラーム，タンザニア）

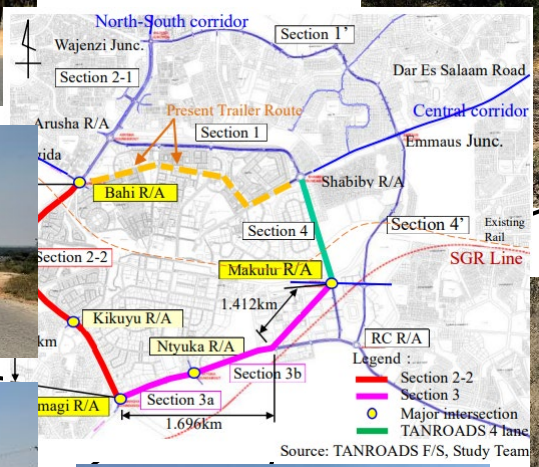


出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.4.5 フィールド調査位置図（ドドマ，タンザニア）

表 5.4.6 にフィールド調査の概要・写真を取りまとめた。

表 5.4.6 フィールド調査結果（タンザニア）

<table>
<tr><th>No.</th><th>写真</th><th>概要</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">【ドドマ市内環状道路建設計画（JICA 無償資金協力）［Dodoma City Inner Ring Road］】
● 候補地では、特に特殊土が見られない
 
 
 
 

 
 
  </td></tr>
<tr><td>2</td><td> 
のり面処理状況（無対策）</td><td>【標準軌鉄道（SGR）付近斜面対策（タンザニア政府案件）［Slope Countermeasures Near SGR］】
● 道路ののり面処理に関する視察。処理なしの斜面が多く見られた。
● 一部はネット工法による斜面保護。</td></tr>
</table>

No.	写真	概要
	 のり面処理状況（無対策・雑草生え）  のり面処理状況（無対策・浸食あり）  のり面処理状況（ネット工法）	

No.	写真	概要
4	 道路沿いの盛土現状  道路沿い盛土の堆積状況  砂とみられた土の触手状況	【キルワ道路拡幅計画（JICA 無償資金協力）［Widening of Kilwa Road］】 ● 盛土路体の滑りが発生。 ● 一部道路沿い盛土には砂がみられた。 ● 砂とみられた土が外部から持ち寄られた可能性がある。

出典：JICA 調査団

5.4.2.4 タンザニアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るタンザニアの基礎情報

1) 気象条件

タンザニアは赤道に近い位置にあり、主に熱帯気候である。気候帯は以下のように分類される。

- 沿岸部（インド洋沿岸）：典型的な熱帯モンスーン気候である。湿度が高く、年間を通して高温で、特に沿岸部では昼夜の温度差が小さい。
- 内陸部：標高の高い場所もあり、気温は沿岸部よりもやや低めだが、依然として熱帯気候の特徴を持っている。乾季と雨季の区別がはっきりしている。
- 高地（山岳地域）：標高が高い地域、例えばウガラ山やキリマンジャロ山周辺では、気温が低く、冷涼な気候になる。標高の高い場所では、夜間に冷え込むこともある。

タンザニアの降水量は主に 2 つの雨季（長雨と短雨）によって特徴づけられる。長雨は通常、3 月から 5 月にかけて降り、最も降水量が多い時期で、インド洋からの湿った風が沿岸地域や内陸部にも影響を与え、強い雨が降る。特に沿岸部や東部地域、南部では降水量が多く、湿度が高くなる。一方、短雨は、10 月から 12 月にかけて降り、一般的に局所的であり、数日間続く強い雨の後、晴れる日が多いのが特徴である。特に北部や南部で降水量が増えることが多いが、長雨ほど降水量は多くない。乾季（6 月～9 月）は降水量が少なく、特に内陸部や北部では乾燥した気候になる。

2) 地質

タンザニアの地質は、中央部に始生界のタンザニア剛塊（Tanzanian Craton）、東部に原生界のウザガラン系（Usagaran System）、北西部にカラヴェーアンコレ系（Karagwe-Ankolean System）、そして南西部にウベンデアン系（Ubendian System）が分布しており、楯状地（Shield）を形成しているタンザニア剛塊以外はいずれも原生界に属している。

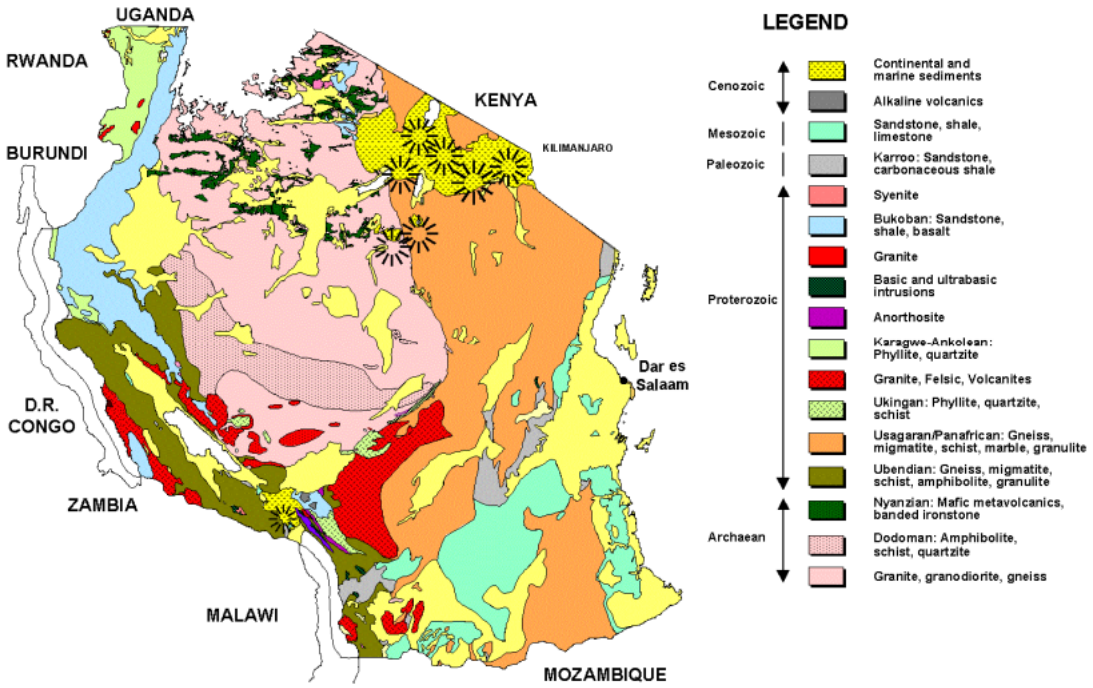
原生代の下位の地層は、ウサガラン及びウベンディアン系（Usagaran and Ubendian System）と呼ばれ、高度の変成作用を受けて片麻岩となっている。一般に角閃岩相を呈し、稀にグラニュライト相を示す。剛塊の東部のものをウサガラン系、南西部のものをウベンディアン系と称する。カラグエ・アンコレ系（Karagwe-Ankolean System）は、タンザニアの北西端に分布し、低変成岩の結晶片岩、千枚岩、珪岩、泥質岩よりなる。本系はウサガラン及びウベンディアン系より若く、しかもこれらとは全く違った堆積岩を主とする岩相と構造を持っている。ニッケル・錫・タングステンの鉱床を胚胎する。

原生代－古生代の境界付近にまたがる層準としては、ブコバン系（Bukoban System）がある。本系はタンザニア西部に分布し、砂岩、礫岩、珪岩、頁岩、ドロマイトからなり、一部溶岩も伴う。また、弱い変形は認められるものの変成作用は受けていない。カルー系（Karro System）は clastic sedimentary rock を主とし、南部では完全な陸成層、北部では一部海成層を伴う。時代は二畳紀後期からジュラ紀にわたる。上部中生界としては、海岸地方の堆積盆に、石灰岩、砂岩、

泥岩及び石膏、硬石膏、岩塩等蒸発岩が見られる。これらは、中生代に発生したゴンドワナ大陸分割時に時を同じくして生成された。

新生代は、中生代に始まったアフリカ・プレートの東側の開口の加速化で特徴づけられ、東アフリカ大地溝帯（East African Rift System）が形成された。本リフト系は、雁行状のグラーベンとリフト・バレーを形成した。タンザニアではタンガニイカ湖、ニヤサ湖をつくった Western Rift とそして東部の Eastern Rift からなる。堆積岩類としては、中生代のカルー系に加え、海岸堆積盆の一部で海成層の堆積が行われた。これらの堆積岩類の時代は、第三紀中新世及び中新世以降と推定される。また、火成岩類は、第三紀中新世より現世にかけて、リフト・バレー沿いにアルカリ岩、サブ・アルカリ岩類の噴出岩、一部迸入岩の活動があった。

出典：国際鉱物資源開発協力協会（1994）



出典：資源開発環境調査 タンザニア連合共和国

https://mric.jogmec.go.jp/public/report/2005-10/tanzania_05.pdf

図 5.4.6 タンザニア地質図

3) 特殊土の分布図

タンザニアでは公式な特殊土分布図は作成されていないが、分布図に関する情報収集について、様々な研究機関が取り組んでいる。また、一部の研究者は、ブラックコットンソイルの影響を受ける地域を示す地図を作成しており、Kibaha や Rufiji などが含まれている。

(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

タンザニアで問題となる特殊土について、ブラックコットンソイルを含む膨張性土の以外に、分散性土、崩壊性土、火山灰土、サンゴ由来の土、ラテライト、酸性土（Acidic Soil）、アルカリ性土（Sodic Soil）、砂質土（Sandy Soil）、排水不良土（Poor Drainage Soil）、塩性土、硫化物の多い土、雲母、特にスメクタイトの多い土など、多くの特殊土が存在する。

2) 発生している問題

特殊土による発生している問題の一部を下記に示す。

- 膨張性土：タンザニア中央部の一部（Singida など）や Mbeya などで確認されており、湿度の変化により膨張と収縮を繰り返すため、道路にひび割れが生じることがある。また、キバハからチャリンゼにかけての地域では、膨張性土による建物が影響を受けている。特にキバハのトゥンビ地区では建物に亀裂が発生している。

- 分散性土 : 特に丘陵地帯や谷間地帯では、水にさらされると容易に溶解して浸食される。タンザニアのいくつかの地域に存在し、このような浸食の影響を受けやすい状況である。対策として、石灰やセメントなどの添加剤を使用して土の凝集力を高め、雨季の侵食を防ぐ方法が有効とされている。

- 崩壊性土（Collapsible Soil）: ドドマでよく見られ、崩れたり沈下したりし、インフラに損傷を与えることがある。

- 火山灰土（Volcanic Ash Soil）: キリマンジャロ（特に Rombo）などの地域に見られ、水にさらされると急速に浸食されやすい傾向がある。また、アルーシャとキリマンジャロには火山性土が広がっており、特にサンヤやタンザニア国境沿いで確認されている。肥沃で保水性に優れているため農業には適しているが、建設においては課題がある。対策として、排水システムの改善や基礎補強などが有効である。

- サンゴ由来の土 : 主にタンザニアの沿岸地域で建設資材の主な供給源である。サンゴの破片を含み、構造的強度が低いため、特別な技術なしには建設が困難である。塩分が多く含まれており、建設材料として使用する際には強度が低下する可能性がある。

- ラテライト:一部の建設プロジェクトでは、ラテライトに含まれる高い水分含有量が原因で、構造物の崩壊や損傷が報告されている。ラテライトは、タンザニア国内の道路建設に広く使用されており、特に道路基盤材として利用されている。ラテライトの強度には大きなばらつきがあり、非常に高い CBR から非常に低い CBR まで様々で、利用に際しては慎重な検討が必要である。

- ドドマ土：粘土質で、塩分やシルト分が多い可能性があると考えられている。対策として、石灰の使用や排水システムの設置が有効である。

3) 現地の対応策

TANROADS の舗装及び材料設計マニュアル（1999）は、特に道路建設において特殊土に対処する方法が記載されている。土の安定化のために石灰やセメントを使用する方法が示されており、土の改良方法について具体的に説明されている。また、適切な排水システムも重要であり、水分管理は道路損傷を防ぐために有効である。

ブラックコットンソイルの対策としては置換が一般的であり、場合によってはセメントを使用して安定化を図ることもある。置換工の厚さは地域により異なるが、通常約 600 mm 程度である。また、ブラックコットンソイルに対して、適切な排水システムの配置が重要である。

特殊土によるインフラの損傷を防ぐためには、ジオテキスタイルやジオグリッドなどのジオシンセティックス技術の活用が有効である。これらの材料は、道路や建物の安定性と強度を向上させるために、広く使用されている。

サンゴ由来の土は、強度が不十分なため、主に軽量建築に使用される。対策としては、石灰やセメントを使用して改良し、塩分の影響を軽減することが可能である。特にアスファルト工事で骨材として使用する場合、ビチューメンの吸収率が高く、低い TFV（強度）や固有の石灰特性によって早期硬化が加速し、早期にひび割れが発生しやすくなる課題がある。

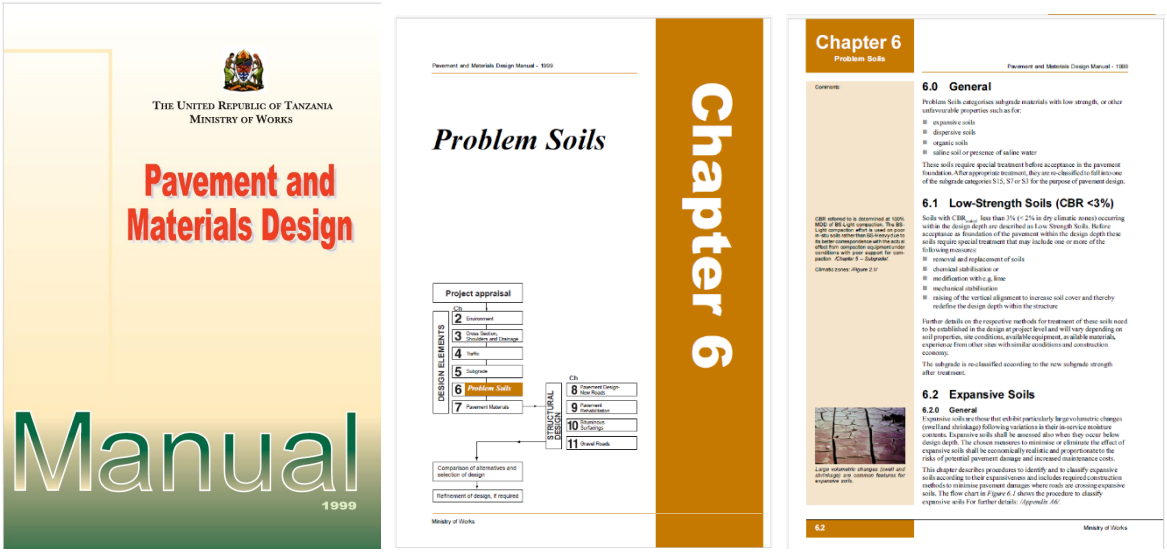
タンザニア道路公社の研究開発ユニットは、同国の様々な土質に関する広範な研究を行っている。その結果が土質特性に基づいた効果的な建設手法の開発に重要な役割を果たしている。

4) 基準の整備状況

タンザニア道路公社（TANROADS）は、特殊土のサンプリング、試験、設計、施工に関する詳細なマニュアルを発行している。特に、図 5.4.7 に示すように、舗装及び材料設計マニュアルの第 6 章では、低強度土（CBR<3%）、膨張性土、分散性土、塩性土などの特殊土に関する記載がある。

- Field Testing Manual (2003)：地盤調査マニュアル
- Laboratory Testing Manual (2000)：室内土質試験マニュアル
- Pavement and Materials Design Manual (1999), Chapter 6.0：舗装及び材料設計マニュアル
- Manual for Low Volume Roads (2016)：低交通量道路マニュアル
- Standard Specifications for Road Works (2000)：道路工事標準仕様

現状では、タンザニアに実施されたすべての建設工事は、上記のガイドラインが適用されている。特殊土に関しては、マニュアルに基づき対策が実施されているが、それにもかかわらず問題が発生している。



出典：Pavement and Materials Design Manual (1999)

図 5.4.7 特殊土に関するマニュアル抜粋（タンザニア）

5.4.2.5 推奨される支援事業

タンザニアでは、特に軟弱地盤、地盤改良、安定化技術、のり面保護工法などの分野において、日本からの技術に対する期待が高いことが判明した。現状では特殊土の判定や対策に課題があるため、特殊土に関連するリスクを軽減するための、調査・計画・効果的な対策に係る技術力の向上が求められている。また、技術者への技術移転及び教育プログラムへの協力支援の要請もあり、タンザニアでは技術者の育成と共に、現場で活用できる高度な技術の導入が急務である。

特に、以下の分野で高度技術が期待されている。

- 斜面の不安定性対策：特に切土や高盛土での斜面崩壊への対策が求められている。
- 地盤工学：地盤探査技術や解析ソフトウェアを活用した地盤解析。
- 気候耐性設計：気候変動に対応するタンザニアの気候マップの見直し。
- 限界材料の改善：限界材料を使用した地盤改良技術の向上。
- 崩壊性土（シンクホールなどを引き起こす）への対策。
- 丘陵地帯を通る道路での地下水の浸出への対応や湿地での施工技術など。

この現状ならびにヒアリングの結果を踏まえ、今後推奨される支援事業として、特殊土の調査・設計に係る共同研究や技術協力事業が挙げられる。また引き続き道路整備の需要は高く、上記の技術などを含めた道路をはじめとするインフラ整備事業が有望であると考えられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、膨潤性土の改良のための改良材やその施工技術、軟弱地盤改良やその固化材に係る技術が挙げられる。

5.4.3 ケニア

5.4.3.1 概要

ケニ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。調査メンバーのサポートとして、Koei Africa の Edward Gichuki 氏にそれぞれ協力いただいた。

表 5.4.7 に調査スケジュールを示す。

調査期間 ：令和 6 年 10 月 22 日～30 日
調査メンバー ：福田 謙太郎、夏 艶
現地エンジニア ：Mr. Edward Gichuki（Koei Africa）

表 5.4.7 調査スケジュール（ケニア）

日時		内容
10/22	AM	日本工営ナイロビ事務所
	PM	ジョモケニヤッタ農工大学 ［JKUAT (Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology)］
10/23	AM	JICA ケニア事務所
	PM	現場：ムエア灌漑プロジェクト［Mwea Irrigation Project］
10/25	All Day	現場：モンバサ SEZ、モンバサゲートブリッジプロジェクト ［Mombasa SEZ, Mombasa Gate Bridge Construction Project］
10/28	AM	ケニア道路・建築技術研究所 ［KIBHIT (Kenya Institute of Highways & Building Technology)］
	PM	ケニア都市道路局［KURA (Kenya Urban Roads Authority)］
		ケニア道路局［KeNHA (Kenya National Highways Authority)］
10/29	AM	材料試験・研究総局［MTRD (Materials Testing & Research Division)］
	PM	現場：レッドヒルーワイヤキリンク道路、リムル道路（KURA プロジェクト） ［Red Hill-Waiyaki Way Link Road, Limuru Road (KURA Project)］
10/30	AM	現場：ナイロビのモンバサ通り沿いにある A8 歩道橋（KeNHA プロジェクト） ［A8 footbridges along Mombasa Road in Nairobi (KeNHA Project)］

出典：JICA 調査団

5.4.3.2 ヒアリング調査

表 5.4.8 にケニアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.4.8 ヒアリング調査結果（ケニア）

ヒアリング調査先	要旨
ジョモケニヤッタ農工大学［JKUAT (Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology)］	● JKUAT 周辺ではブラックコットンソイルが多く分布している。建設中にこの土に遭遇すると、その土は使用できず、他の材料と置換する必要がある。 ● ブラックコットンソイルの厚さは最大 6m に達することもあり、そのすべてを掘削して置換しなければならず、コストが増大する。 ● ブラックコットンソイルの掘削土の廃棄も環境問題の観点から問題視されている。 ● ラテライトは良質な材料であり、ブラックコットンソイルの置換材料として使用されている。 ● ラテライトの CBR は約 8～12%であるが、場所によって異なる。一方、ブラックコットンソイルの CBR は 0～2%の範囲である。ケニアの道路における CBR の基準値は約 8%である。 ● 各地域の土壌マップは存在しないが、全国の土壌マップはインターネットで無料で入手できる。 ● モンバサ港付近にはブラックコットンソイルが分布している。 ● サンゴは、モンバサ沿岸線沿いに主に分布しており、主にセメントの生産に使用されている。 ● ブラックコットンソイルは、排水不良の平地に多く見られる。赤土は標高 1800～2500m の高地に広く分布している。 ● ケニアでは主に英国規格（BS）が使用されている。ただし、道路に関しては ASTM と ASHTO が使用されている。 ● BS には土壌の膨潤圧試験が含まれているが、JKUAT にはその設備が整備されていない。 ● 自由膨潤率試験とブラックコットンソイルの分類は JKUAT の研究室で実施されている。 ● 土質分布図とブラックコットンソイルの試験データを入手した。
ムエア灌漑プロジェクト［Mwea Irrigation Project］	● 建設中にブラックコットンソイルに多く遭遇したが、他の特殊土には遭遇していない。 ● 水路の建設にあたり、ブラックコットンソイルが除去され、マーラムと呼ばれるラテライトに置き換えられている。マーラムは良質な材料である。 ● 日本から期待される技術は、ブラックコットンソイルの置換技術である。
ケニア道路・建築技術研究所［KIBHIT (Kenya Institute of Highways & Building Technology)］	● ケニア道路・建築技術研究所は研修を目的としており、材料試験は材料試験・研究総局 (MTRD)が担当している。 ● ケニア道路・建築技術研究所は、地盤調査が適切に実施されていない場所で建物の崩壊に遭遇したこともある。その一例がトゥルカナ郡のプロジェクトで、目視観察では土は砂質であると判断されたが、試験の結果、膨張性粘土であることが判明した。結局土を安定化させることができず、カクマの実証道路建設には他の材料で置き換える必要があった。 ● ブラックコットンソイルはイシオロ郡とショキマウに分布している。

	● ラテライトやサンゴ由来の土は主に沿岸地域で見られる。問題はそれらの土が軽量であるため、耐荷重材料として使用できないことである。それらは充填材としてのみ使用できる。 ● ケニアの一部地域、例えば South Nyanza（キスム）では、ブラックコットンソイルのような挙動を示す粘土質土があるが、支持力が非常に低い。対策は、他の材料に置き換えることである。 ● 通常、粘性土やブラックコットンソイルは、深さ 1m 以上ある。 ● ケニア道路・建築技術研究所は問題のある土壌マップの存在に関する情報は有していない。しかし、地質図は材料試験・研究総局で入手できる。 ● 基準とマニュアルも MTRD にあり、ウェブサイトからアクセスできる。 ● 日本から期待される技術は、擁壁など特殊土対策に関する研修セミナーへの資金援助、洪水対策、のり面処理技術、研修や啓発セミナーなどがある。
ケニア都市道路局 ［KURA (Kenya Urban Roads Authority)］	● ケニア都市道路局が管轄する道路では、膨張土により、ボックスカルバート、橋、暗渠などの排水構造物に被害が出ている。また、さまざまな道路で膨張土による舗装の損傷が報告されている。 ● Mlolongo や Katani などの地域では、主に膨張土が使用されており、良質な素材で 1m 以上の深さまで土を置換した場合でも、舗装の著しい変形や損傷が確認されている。 ● ラテライト砂利は、問題が小さく、塑性指数の変動と過剰な浸食に対する保護対策として活用されている。 ● その他の特殊土として火山灰質土があり、浸食や大雨時の土砂崩れが起こりやすい。 ● 赤土の上に建設されたレッドヒル・ワイヤキウェイ沿いで崩落が発生した。 ● 沿岸地域の表土の下にあるサンゴ岩は、雨水の浸透を妨げるため、排水に問題が生じる。 ● サンゴ砂利はケニア沿岸の一部、例えばラムで容易に入手できる。一般的な問題として、高い耐荷重能力（CBR4%以上）であるにもかかわらず、サンゴ砂利は高い塑性指数（PI=12）以上を示す傾向がある。この性質は、雨期には砂利が変形する可能性があるため問題となる。 ● 道路設計マニュアルでは、年間降雨量が 500mm 以下の乾燥地域での使用のみを許可している。 ● ブラックコットンソイルの対策として CRB 値の高い砂利などの良質な材料への置き換えである。 ● ケニア都市道路局では、フライアッシュを使用した特殊土の地盤改良について研究している。 ● 農業用の土壌分布図はあるが、特殊土分布図はなし。 ● ナイロビ、ニャンザ州、カジアド周辺にはブラックコットンソイルが分布している。 ● 火山灰質土は、リフトバレーの断層線や、マアイ・マヒウ、ススワ、ナクル、ナロクの一部の周辺に広がっている。 ● 道路省の道路設計マニュアル第 3 部には、ケニアにおける土質分布に関する地質調査が記載されているほか、その特性に基づく舗装の建設方法についてのソリューションも提供されている。 ● ケニアの道路および橋梁建設に関する標準仕様書では、特殊土に関する指針が提供されている。

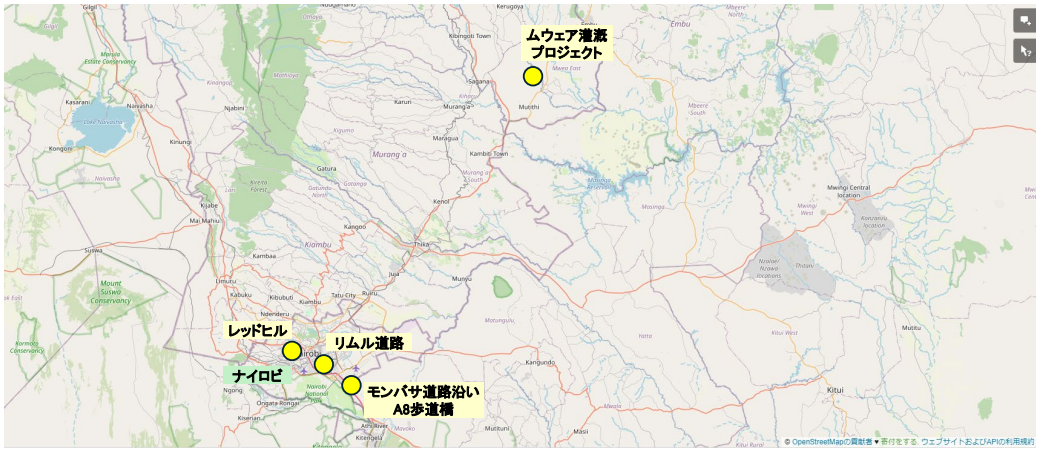
	● 日本から期待される技術として、ジオテキスタイル、のり面処理技術、排水処理技術、地盤補強技術とその方法、セメント・石灰に代わるより効率的な材料安定化技術などがある。
ケニア道路局［KeNHA (Kenya National Highways Authority)］	● マイマヒウ-ナロク道路周辺で見られる火山灰質土は、雨が降ると土が流され、道路が寸断される。 ● ブラックコットンソイルの厚さは通常、1.5m 程度である。 ● 海岸沿いには、塑性指数が高い細粒の沖積土が堆積しており、これが問題となっている。 ● 沿岸部には、露出すると崩壊する頁岩もある。これらは建設には使用されないが、細粒砂の塑性指数を減らすために使用されることがある。 ● ブラックコットンソイルは、主にケニア中央部と沿岸地域に見られる。 ● ケニア中央部では、2 つの道路（ニエリ・オタヤ・カンゲマ道路とカンゲマ・ガチャラゲ道路）が損傷した。これらは赤土の上に建設されているが、この地域は地すべりが起こりやすい。 ● モンバサ港湾地域開発プロジェクトでは、分散性土のために海岸で斜面崩壊が発生した。その斜面の高さは 35 メートルもあり、杭で破壊した。対策は、より深い杭を打つことだった。 ● ブラックコットンソイルの対策は、入れ替えか、層全体を貫通する杭を使用することである。 ● 地すべり対策としては、擁壁、杭、ガビオンボックスなどの構造物工がある。 ● 特殊土分布図はないが、地質図については鉱山地質局から入手することができる。 ● 1986 年に作成されたケニア道路設計マニュアルがある。現在見直し中で、今後 2～5 ヶ月で完成する予定である。新しいマニュアルでは、特殊土をカバーしている。
材料試験・研究総局［MTRD (Materials Testing & Research Division)］	● 膨張性土は、主に火山灰のあるマイマヒウやススワ地域に分布している。雨が降ると火山灰が流され、構造物に影響を与える。 ● 空港近くのモンバサには崩壊性土がある。これらの土が水に触れると崩壊する。この問題は現在、モンバサ空港の滑走路に影響を及ぼしている。 ● ラテライトに関しては、微粒子のために塑性指数が高いことが主な問題である。舗装に使用する場合は、石灰やセメント、アスファルトと混合しなければならない。また、ラテライトは必要な塑性指数を満たしていない。 ● サンゴ由来の土もまた、非常に密であるにもかかわらず、高い塑性指数を持つ。 ● その他の特殊土には、崩壊性土、飽和度土、砂質土などがある。砂質土は結合粒子を含まないため、締め固めるのが難しい。使えるようにするには、PI 値の高い材料と混ぜて締め固める必要がある。 ● メルーには軽い土があり、ススワ地域には火山性土があるため、高い乾燥密度を得るのは難しい。 ● 火山灰は路床には使われないが、盛土として使われることがある。 ● 特殊土は、全国的にマッピングされていない。通常、プロジェクトがあるところではニーズベースで行われている。しかし、計画されている材料マッピングのプロジェクトはまだ始まっていない。入手可能な資料は地質図だけである。 ● 1987 年に作成された道路設計マニュアルには、膨張性粘土に関する

	章がある。低ボリュームの道路の舗装設計ガイドラインもある。これには、膨張性粘土や、分散性土や崩壊性土のような特殊土に関する章が含まれている。室内土質試験に使用されるガイドラインは、BS3877 と AASHTO である。 ● 日本から期待される技術としては、特殊土分布図作成に関する支援、地すべり防止のためののり面保護技術 ● 道路に関する基準やガイドラインを入手した。

出典：JICA 調査団

5.4.3.3 フィールド調査

現地調査において、ケニ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。図 5.4.8～図 5.4.9 に調査位置を示す。



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.4.8 フィールド調査位置図（ナイロビ，ケニア）



出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.4.9 フィールド調査位置図（モンバサ，ケニア）

表 5.4.9 にフィールド調査の概要・写真を取りまとめた。

表 5.4.9 フィールド調査結果（ケニア）

No.	写真	概要
1	 ブラックコットンソイルの断面  建設中の灌漑水路	【ムエア灌漑プロジェクト［Mwea Irrigation Project］】 ● Thiba ダムから供給される灌漑用水路の建設プロジェクト ● 建設時にブラックコットンソイルに遭遇 ● 分布状況、施工状況、対策状況などを視察 ● 上流側の Thiba ダム（ロックフィルダム）も状況も視察

No.	写真	概要
	 ブラックコットンソイルの仮置き状況  灌漑用水の供給元となる Thiba ダム （ロックフィルダム）	
2	 切土斜面崩壊現場（修復済）	【モンバサ SEZ、モンバサゲートブリッジプロジェクト（モンバサ GBP）［Mombasa SEZ, Mombasa Gate Bridge Construction Project］】 ● モンバサ SEZ の道路整備状況（主に道路のり面）、モンバサ GB の建設予定箇所の視察 ● モイ国際空港近くの切土斜面の元崩壊現場を視察（分散性土、地下水位が要因と推定されている）。モンバサ周辺に分散性土（or 崩壊性土）が多く分布し、浸食が多く確認された。 ● モンバサ SEZ の道路のり面は、一部日本企業によって設計されており、排水処理が適切に実施さ

No.	写真	概要
	 分散性土の状況（浸食箇所有り）  モンバサ SEZ のり面処理状況  モンバサ GB 施工予定箇所	れていた。 ● モンバサ GB では、橋梁基礎部における土質調査の品質確保が課題となっていた。

No.	写真	概要
3	 のり面処理状況（擁壁）  のり面処理状況（無対策・赤土）  のり面処理状況（ブロック積） 工事中	【レッドヒルーワイヤキリンク道路、リムル道路（KURA プロジェクト）】 ● 道路ののり面処理に関する視察。一部は過去に崩壊が発生した箇所。 ● 擁壁やブロック積みが使用されているところもあったが、処理無しの斜面が多く見られた。赤土はガリーが発達していた。

No.	写真	概要
	 のり面処理状況（蛇篭） 工事中	
4	 基礎施工状況  ブラックコットンソイル堆積状況	【現場：ナイロビのモンバサ通り沿いにある A8 歩道橋（KeNHA プロジェクト）［A8 footbridges along Mombasa Road in Nairobi (KeNHA Project)］】 ● モンバサ通り沿いのA8歩道橋の建設プロジェクト ● 建設中にブラックコットンソイルに遭遇 ● 対策は除去＆置換が基本。ナイロビ市内にもブラックコットンソイルが広く分布していることを確認

No.	写真	概要
	 ブラックコットンソイル試掘状況  ブラックコットンソイル触手状況	

出典：JICA 調査団

5.4.3.4 ケニアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るケニアの基礎情報

1) 気象条件

首都ナイロビは高地にあるため一年を通して気温は 15 度～25 度と涼しく、湿度も低くて過ごしやすい。一方、第二の都市モンバサはインド洋に面しており、一年中高温多湿であり、第三の都市キスムはヴィクトリア湖に面した港湾都市で、マラリアの多発する地域にある。ナイロビの雨期は年 2 回あり、3～5 月が大雨期、10～11 月が小雨期である。6～8 月が冬で寒く、ナイロビでは暖房が必要なこともある。[1]

年平均気温は、ナイロビで 17.5 度、モンバサで 26.4 度、北部低地のワジルで 28 度を示す。1 月から 3 月までが暑期で、6 月から 1 月までが涼期といわれているが、気温の年較差は 3 度程度と小さい。しかし日較差は 10 度以上と大きく、特に標高の高い地域で著しい。年降水量は、国土の中央・南西の高原地帯と海岸部で 600~1400mm、それ以外の地域では 400mm 以下である。月降水量の分布特性は、ケニアに到来する 3 つの気団により規制され、これらは 11 月から 3 月のサハラ砂漠からの乾燥した風、3 月から 5 月のインド洋からの南東貿易風、7 月の南西貿易風からなる。ケニア中央・南西部の高原地帯では 4 月と 11 月に 200mm 以上のピークを持つ雨期があり、1 月と 7 月には 50mm 以下の乾期となる。ヴィクトリア湖畔ではこの乾期は認められず、いずれの月も 100mm 近い降雨をもつ。海岸地方は 5 月に 300mm 以上のピークをもつ雨期があり、1～2 月に 20mm 以下の乾期を伴う。国土北部の低地は、4 月と 11 月に 100mm 程度のピークをもつ雨期を有するが、それ以外の月の降水量は 10mm 前後である。[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：アフリカ地域地下水開発・利用調査研究国別情報ファイル ケニア（平成 7 年）

2) 地質

国土の中央から西部に露出する先カンブリア代の片麻岩類を基盤とし、古生代から中生代の海成層が国土の東部でこれを不整合で覆う。ケニア高地の大部分とリフトバレーは、新第三紀の玄武岩に広く覆われ、リフトバレー地溝底は第三紀～第四紀の砕屑物で埋められる。東部低地では、第三紀の海成層と第四紀の表層土が広く分布する。

先カンブリア界は、国土の中央から西部の大部分と北東の一部に露出する。一般に、古い順からニャンザ・カビロンド系(Nyanzian and Kavirondian Systems)、ベースメント系(BasementSystem)、ブゴバン系(BukobanSystem)の 3 つの層準に大別され、前 2 者は始生界、後者は原生代後期といわれている。先カンブリア界の大部分はベースメント系で占められ、ニャンザ・カビロンド系とブゴバン系はヴィクトリア湖東岸にわずかに分布するのみである。岩相は、激しく摺曲し、広く

花閖岩の貫入を受けた片麻岩、結晶片岩、片麻状花尚岩類等からなり、全体に南北性の構造が顕著に発達する。

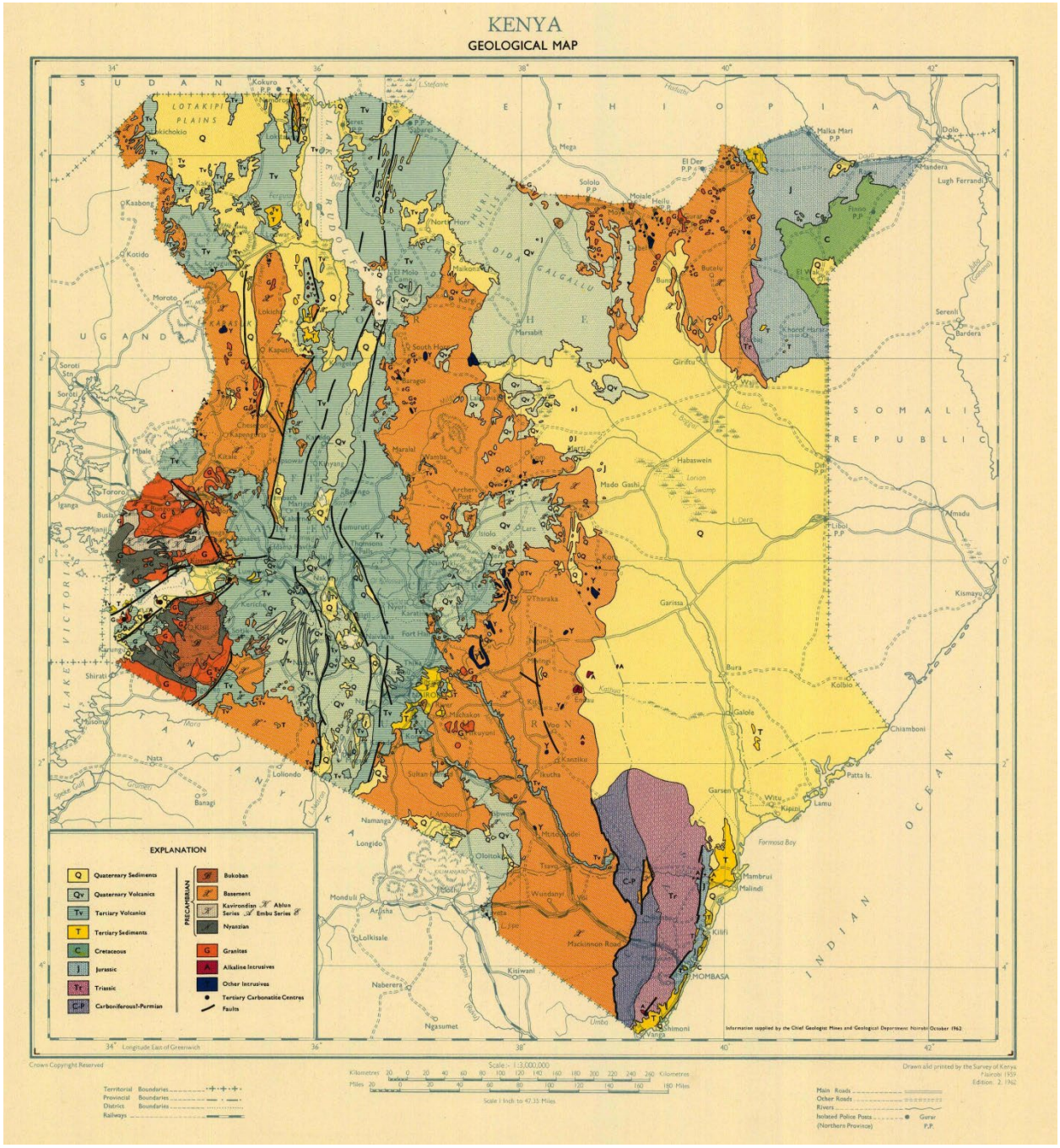
古生界と中生界は、国土の南東部と北東部にまとまって分布する。南東部は石炭紀から三畳紀のデュルマ砂岩(Durma Sandstone)とこれを不整合に覆うジュラ紀の海成層からなり、北東部はジュラ紀から白亜紀の石灰岩や頁岩などの海成層からなる。

新生界は、ケニア西部のリフトバレーの活動に伴う火山岩類と、東部の低地や海岸部さらにトルカナ湖に分布する堆積岩からなる。火山活動は、中新世の玄武岩の噴出に始まり、その後、ネフェリナイト、カーボナタイト、フォノライトおよび粗面岩等のアルカリ岩の噴出が続いた。活動のピークは鮮新世から更新世とされるが、現在もなお継続している。これらの火山岩は、現在のケニア高地の大部分とリフトバレーの全域を覆う。堆積岩類は、東部低地では鮮新世の浅海堆積物である未固結の砂層と現世の崩積成表層土が広く分布し、東部海岸では中新世から鮮新世の海成の砂岩が海岸に沿って南北に露出する。トルカナ湖周辺、特にその西岸では、中新世後期から更新世の湖成堆積物が分布する。沖積層は東部低地のデラ川(DeraRiver)流域とリフトバレーの地溝底を広く覆うほかは、その分布は小規模である。

図 5.4.10 にケニアの地質図を示す。

【参考文献】

JICA 報告書：アフリカ地域地下水開発・利用調査研究国別情報ファイル ケニア（平成 7 年）

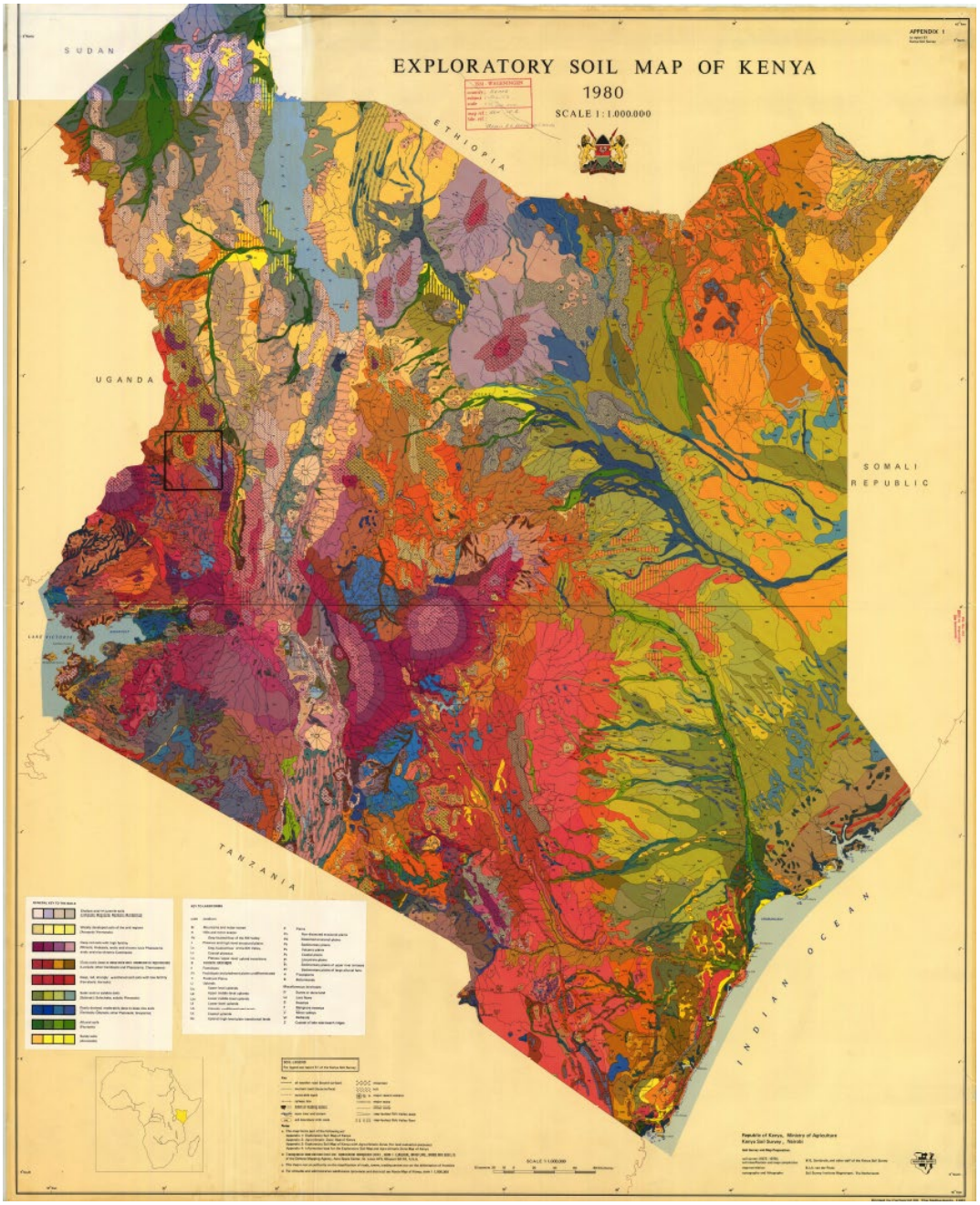


出典：Survey of Kenya, Nairobi, 1962.

図 5.4.10 ケニアの地質図

3) 特殊土の分布図

ケニアでは特殊土分布図は作成されていないが、大まかな土質分布図は 1980 年に作成されている（図 5.4.11）。



出典：Republic of Kenya. Ministry of Agriculture. Kenya Soil Survey, Nairobi, 1980.

図 5.4.11 ケニアの土質分布図

(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

膨張性土、崩壊性土、分散性土、ラテライト、赤土、火山灰質土などが問題となっている。

2) 発生している問題

膨張性土により、ボックスカルバート、橋、暗渠などの排水構造物に被害が出ている。また、さまざまな道路で膨張性土による舗装の損傷が報告されている。

モンバサ周辺では、分散性土（or 崩壊性土）のためにガリ浸食や斜面崩壊が発生している。

ラテライトに関しては、微粒子のために塑性指数が高いことが主な問題である。

3) 現地の対応策

膨張性土は、置換工法が基本となっている。ムウェアの灌漑プロジェクトでは、水路の建設にあたり、ブラックコットンソイルが除去され、マーラムと呼ばれる良質なラテライトに置き換えられた事例がある。また、別の対策事例としては、層全体を貫通するように杭を使用する事例もある。ケニア都市道路局では、フライアッシュを使用した特殊土の地盤改良について研究している。

4) 基準の整備状況

1987 年に材料試験・研究総局（MTRD）により発刊された道路設計マニュアルがある。同マニュアルには、膨張性粘土に関する章がある。現在マニュアル改訂に向けて進められており、特殊土に関する対策をカバーする予定である。また、2017 年に発刊された低ボリュームの道路の舗装設計ガイドラインもあり、これには、膨張性粘土や、分散性土や崩壊性土のような特殊土に関する章が含まれている。

材料試験に関しては、主に英国規格（BS）が使用されている。ただし、道路に関しては ASTM と ASHTO が使用されている。BS には土壌の膨潤圧試験が含まれているが、試験できる環境が整備されていない。

5.4.3.5 推奨される支援事業

ヒアリング調査により、日本に期待する技術として、主に「膨張性土の置換技術」、「特殊土対策に関する研修セミナーへの資金援助」、「洪水対策」、「のり面処理技術」、「排水処理技術」、「地盤改良技術」等が挙げられた。地盤改良技術に関しては、セメント、石灰に代わるより効率的な材料安定化技術が期待されている。ケニアでは多くの ODA 事業が進行中であるが、今後の支援事業としてこれらの技術を含めたインフラ整備事業や、特殊土に係る調査、地盤改良対策等に係る技術協力事業などが挙げられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、膨潤性土の改良のための改良材やその施工技術、軟弱地盤改良やその固化材に係る技術、のり面処理に係る技術が挙げられる。

5.5 調査結果・西アフリカ

5.5.1 ギニア

5.5.1.1 概要

ギニ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 5.5.1 に調査スケジュールを示す。

調査期間　：令和 6 年 9 月 17 日～28 日

調査メンバー　：野末　康博、下倉　宏

通訳兼現地エンジニア　：Mr. Talhatou Sow

表 5.5.1 調査スケジュール（ギニア）

日時		内容
9/18	PM	JICA ギニアフィールドオフィス
9/19	AM	インフラ省(Ministere Des Infrastructures Et Des Travaux Publix)
	PM	インフラ省インフラ総局 The Direction Nationale Des Infrastructure 公共建築試験室 Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Public (LBTP)
9/20	AM	コンサルタント会社・GIC-MALI
	PM	建設会社・GUICOPRES コフィアナ大学 Université Koffi Annan de Guinée 建設会社・BEGEC-TP コンサルタント会社・CIRA
9/22 ～ 9/25		（現地調査） コナクリ→国道 3 号線・スンバ橋現場→マムー→国道 1 号線・ファラナ橋現場→キシドゥグ→ンゼレコレ
9/27	AM	JICA ギニアフィールドオフィス 大使館報告

出典：JICA 調査団

5.5.1.2 ヒアリング調査

表 5.5.2 にギニアで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.5.2 ヒアリング調査結果（ギニア）

ヒアリング調査先	要旨
インフラ省(Ministere Des Infrastructures Et Des Travaux Publix)	● ギニアでは 4 つの地域ごとに異なる地盤の特徴がみられる。 ● ラテライトはギニア全土で採取可能で建設材料としてラテライトを使用するが、良質なものもあれば悪いものもある。森林ギニアでは表層部に砂礫質のラテライトがあり、その下にシルト・粘土が分布する。材料として適さないラテライトはセメントや砂礫を混ぜて改良して使うことがある。 ● 質の悪い土質材料としてシルト（limon）がある。これらの対処法について

ヒアリング調査先	要旨
	は熱帯地域の国の地盤条件に適合する舗装設計のガイドライン（フランス支援で作成）があり、これに従って対処している。 ● 地下水が高い場合に道路に多くのクラックが発生するなどの問題がある。道路下に悪い土層がある場合は 50cm の厚さで良質土に置換する。 ● 日本の技術について、土質試験・研究などの技術移転、耐震関連技術を期待する。
インフラ省インフラ総局 The Direction Nationale Des Infrastructure	● 訪問先として適切な建設会社とコンサルタント会社 ● Construction companies: GUICOPRES、BEGEC-TP ● Consulting engineer offices: GIC-MALI、CIRA
公共建築試験室 Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Public (LBTP)	● ギニアでは特殊土に関して多くの問題に直面している。4 地域の中では森林ギニアが最も深刻。良質なラテライトがあればいいが、細粒分の多い材料しかない場合が問題である。圧縮性が高いこと、すべりや支持力の低下などが懸念され、花崗岩の粒調砕石やセメント等を混合する改良を行うことがある。 ● 使用するガイドラインは ECOWAS の共通のもので、フランスの支援による熱帯地域の国の道路事業に関するものである。適切に解釈して事業に適用すれば問題ないと考えているが、ギニアに適した固有の基準があるならばその方が望ましい。 ● 土質分布図(Soil Map)を作るプロジェクトを実行したいが予算がない（Islamic Bank などに打診済み）、道路のコンディションに係るデータベースはあるが土質と連動しておらず、未完成な状態である。日本にも協力を期待したい。
コンサルタント会社・GIC-MALI	● コナクリの地盤は 90～95%の地域で極めて良好であり、地盤の掘削のためにブレーカーをしなければならない地区も多いが、Camayenne 地区などの沿岸部、市場に沿った Babondy 道路の建設現場などではシルト質粘土などの不良土が分布し、1.5m 掘削、良質な岩石を敷き詰めて建設する必要があった。 ● マムー・ファラナ間の道路はところどころ不良な粘性土地盤があり、また適用した材料品質が悪かった。実施機関から 3 年間の耐用年数での発注を受け修復事業に携わったが、現在では耐用年数を超過し、損傷が激しい状況となっている。 ● 政府から調査・監理を受託して携わった中部ギニア・Kuramandy の Labé-Koundara 道路の基礎地盤は粘土層を主体としたため、多くの区間で不良土の除去・置換が必要であった。 ● 測量を行い、地下水が高い湿潤な地域では岩石を敷き詰めによる置換、乾燥した地域ではラテライトへの置換を行った。舗装構成は路床に 20cm のラテライト層、路盤に 15cm の砕石層（0-31.5）、5cm の As 層の構成とした。
建設会社・GUICOPRES	● プロジェクトの現場、基礎に不良土が分布する場合には全て除去し置換する。 ● コナクリは鉄分を含み高い CBR を示す良質な土質材料の採取が可能な地区である。一方、Coyah や Dubreka などのコナクリ近郊の地区では軟弱地盤が分布している。 ● ギニアで悪い土質が多く分布するのは森林ギニアの地域であり、75～80%は粘性土地盤となっている。本地区では通常、プロジェクトの実施にあたって固化材によって表層や土質材料の改良が行われる。 ● 森林ギニアでは良質なラテライトの採取が困難なため、使用する土質材

ヒアリング調査先	要旨
	料の改良のため、プロジェクトコストが多大となる。 ● 上ギニア、Kouroussa-Siguiri 回廊付近でも支持力が不足する粘土地盤に遭遇する。これらの地区で道路を建設する場合には不良土を除去し、砂層を施工したのち、岩石を敷き詰め、その上に路体・舗装を構築する。なお、この付近では良質なラテライトの採取が可能である。 ● 日本に期待する技術として、地盤材料の改良に関する技術、耐久性の高い道路の建設技術等が挙げられる。
コフィアナ大学 Université Koffi Annan de Guinée	● ギニア国内の4つの地域ごとに、土質の特性は異なっている。問題となる粘土は 3 種類あるが森林ギニアにある膨潤性土(Swelling Clay)が最も問題である。道路などを建設したあとにすぐに損傷するケースがある。 ● これまでギニアでは特殊土に関する十分な研究がなされておらず、試験方法や分類方法が規定されていない。参照しているガイドライン（フランス基準ベース）があるが、ギニアの土質条件にマッチしていない部分があることが問題だと考える。4 つの地域で土質が違うが、海岸地区と森林ギニアで同じ方法で道路を建設している。 ● 森林ギニアでは道路が 3 年以上持たないことが多くある。上記の通り十分な調査が行われていない、設計が適合していないことが問題。地下水が高い区間では縦断を上げ、排水施設を設けるなどの対策をするが十分ではない。 ● 本大学でも試験室があり、機材がそろっているが使用できる人材がいない。日本には大学間の技術移転協力や、耐震技術などの技術支援を期待している。
建設会社・BEGEC-TP	● 説明を受けた特殊土を含み、各地で問題となる土壌に遭遇している。特に森林ギニア、また沿岸ギニア・Boffa 地域のプロジェクトで不良地盤に遭遇している。同地域では建設に不適な黒い粘土質土が分布しており、不良土の掘削・除去を行い、岩石を敷き詰め、ジオテキスタイルを配置し、この上に路体、舗装工を実施した。これは軟弱粘性土地盤における一般的な施工手順である。置換部の掘削深度は 1.2m であった。 ● カルバート構築の際にも不良土の除去を行い、30cm の捨てコン層を構築し、それを基礎として構造物を構築した。 ● 日本に期待する技術として、コンクリートプラント機材、その他建設重機が挙げられる。
コンサルタント会社・ CIRA	● 粘性土地盤などの不良地盤に遭遇した場合には、不良土を除去し砂礫などの良質土で置き換える。 ● ラテライトの使用の適否については土質に係る基準（締固め・粒度・CBR など）に準じて判断する。良質なラテライトはプロジェクト現場近くで採取可能な場合もあるが、遠方から運搬しなければいけない場合にはプロジェクトコストが多大になる。 ● 道路事業に係り、適用する基準は多くの場合フランス基準である。ギニアには固有の基準がないため、そのような運用となっているが、適切に解釈して適用した場合には問題は少ないと考えられる。 ● ギニアの道路で建設後早い段階で損傷が激しくなる原因として、地下水が高い地区での不十分・不適切な水処理、大型車の過積載が主なものとして想定される。また小規模なポットホールが発生し始めてから、早い段階で補修が行われないため、大規模な損傷（エレファントホールなど）まで損傷が進行してしまうことが多いと考える。

出典：JICA 調査団

5.5.1.3 フィールド調査

現地調査において、ギニ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。調査ルートを図 5.5.1 に示す。



出典：JICA 調査団

図 5.5.1 フィールド調査位置（ギニア）

フィールド調査の概要・写真を表 5.5.3 フィールド調査結果（ギニア）にとりまとめて示す。

表 5.5.3 フィールド調査結果（ギニア）

No.	写真	概要
1		【国道 3 号線】 ● 舗装の損傷･劣化が激しく、車両の速度が 10km/h 以下となっている。 ● 舗装損傷後、対策のために大粒径の石材（砕石 or 玉石）を敷設した跡がみられるが、平坦性は確保されず、走行性は極めて悪い。

No.	写真	概要
2		【スンバ橋】 ● 2023 年に無償資金協力により完成した道路橋。 ● 前後の接続道路区間の舗装状況は良好で問題は認められない。
3		【カアカ橋】 ● 2017 年に無償資金協力事業により完成した道路橋 ● 舗装は一度補修されているが一部損傷がみられる（過積載車両が原因と想定） ● 境界部で接続道路（マムー側）の舗装に陥没穴ならびに補修のための石材の充填がみられるが、走行性が悪化している。
4		【土取り場】 ● 1 号線沿い（Tabili 付近）の土取り場のラテライト ● 礫分を主体とするが、ハンマーにより破砕可能 ● 表層から礫分を主体とする層があるが、その下位には細粒な層が分布しており、深いガリ浸食跡がみられた。

No.	写真	概要
5		【盛土法面処理】 ● 1 号線（Labota 付近）盛土部の法面処理工 ● 排水施設を法面に沿って施工し、中央部に植生がみられる。 ● 中国の支援による区間
6		【国道1号線】 マムー～ファラナ間。舗装が損傷し、未舗装の状態となっている区間が多くみられ、車両の速度が 10～30km/h 程度に制限される。 細粒のラテライトが表面部に分布しぬかるんだ区間がみられる。
7		【鉄道路線建設現場】 ● 国道 1 号線に並行する区間（Tonfili 付近） ● 30m 規模の切土工が実施されている ● 切土部は細粒砂・シルト岩で急こう配で自立するが施工溝に沿ったガリ浸食の発達が認められる。

No.	写真	概要
8		【ファラナ橋現場】 ● 国道 1 号線・ファラナ市に係るベイリー橋。無償資金協力による新設橋建設事業が進行中。 ● 前後区間の接続道路は幅員は狭いが舗装の状況は比較的良好で、走行性が確保されている。
9		【国道1号線】 ● キシドゥグ～ンゼレコレ間（Irie-Nzebela 付近） ● 亀甲状のクラックが発達する範囲に舗装の陥没穴・損傷が発生している区間が多くみられる。 ● 路盤・路床の性状、舗装の品質、地下水等が損傷の要因の可能性があるが未特定 ● 補修工事は未確認
10		【土取り場】 ● 1 号線沿い（Bonkamadou 付近）の土取り場のラテライト ● 細粒砂～シルト岩状を呈しており、路盤材として不適、路体盛土材料としても慎重な判断が必要

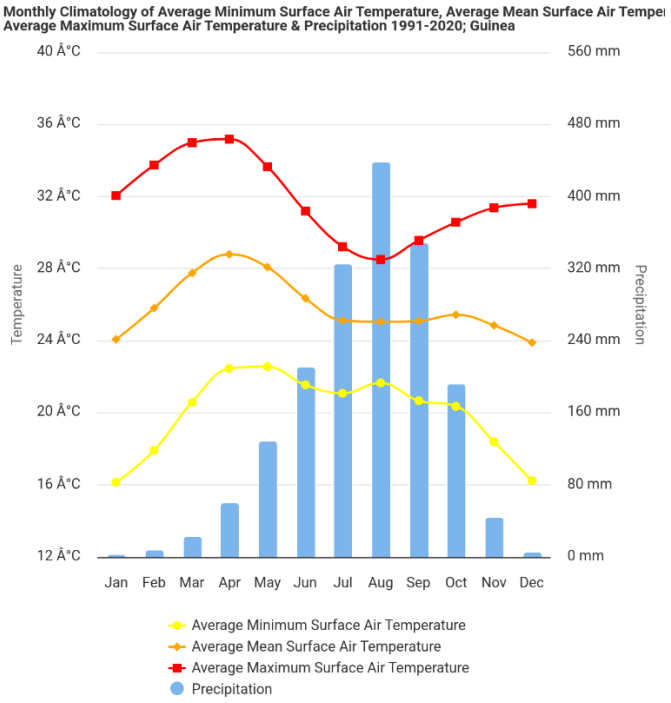
出典：JICA 調査団

5.5.1.4 ギニアの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るギニアの基礎情報

1) 気象条件

ギニアは国土の大部分が熱帯気候、南東ギニアが亜赤道気候の 2 つの気候帯に区分される。年間降雨量は単峰性で、1 年は乾季と雨季の 2 つの明確な季節に区分される。雨季は 5 月～10 月まで 11 月～ 4 月までが乾季となっている。ギニアは、地形の多様性に起因する著しい気候差が特徴であり、低地ギニアの亜ギニア熱帯気候では、平均気温は 23° C から 25° C とほぼ一定で、降雨量は 2,100 mm から 5,000 mm の間で多く、8 月には月間最大降雨量が 1,000 mm を超過する一方で、中部ギニアの熱帯山岳気候では、2 つの季節の長さはほぼ同じで、降雨量は 1,600 mm から 2,000 mm の範囲となっている。図 5.5.2 に月間平均気温と降水量を示す。



出典：Climate change knowledge portal

図 5.5.2 月間平均気温と降水量（ギニア、1991-2020）

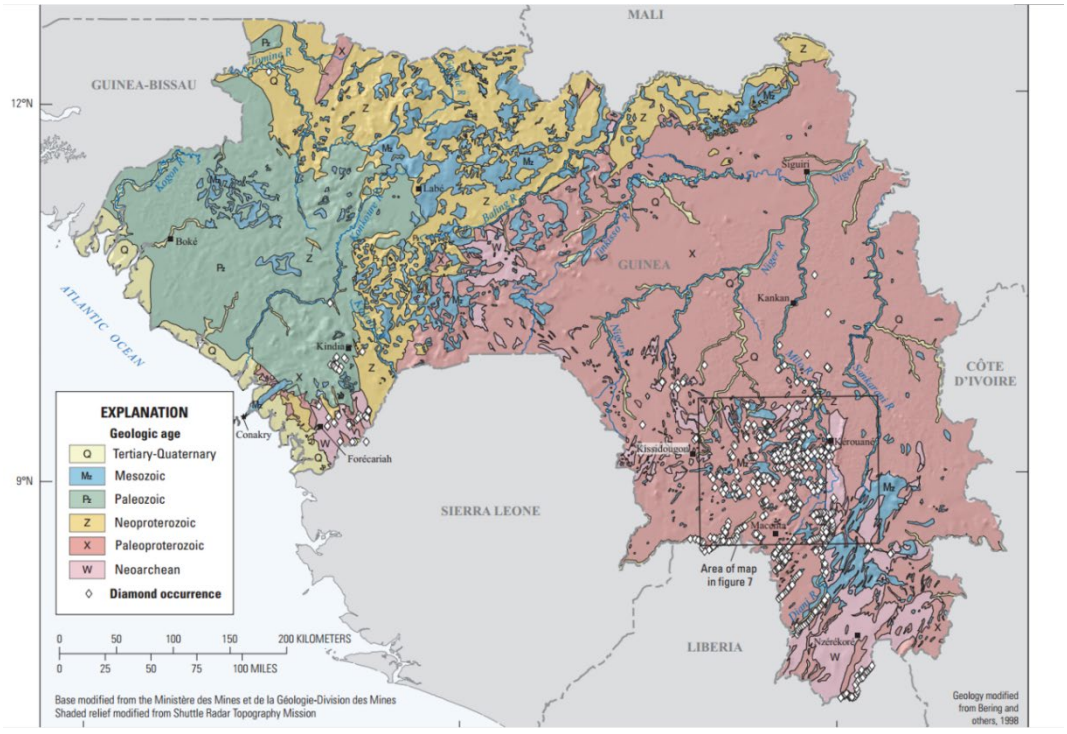
【参考文献】

[1] WB：Climate change knowledge portal

https://climateknowledgeportal.worldbank.org/

2) 地質図

ギニア国の大部分は西アフリカ・クラトンの南部を形成する先カンブリア時代の岩石で覆われている。国土の東側の 3 分の 2 はケネマ・マン領域と古生代のビリミアン・システムの地質で占められている。新生代および古生代の堆積物は、基底に泥岩、その上に砂岩、泥灰岩、石英岩を持ち、ギニア北部の広い範囲を形成している。海岸沿いには新第三紀の海成堆積物と沖積堆積物の帯がある。ロケライド造山帯の西部にある結晶質基盤岩は、新アルケアン紀（2,700 Ma）から古原生代（2,000 Ma）のものと考えられている。これらは片麻岩、片岩、ミグマタイト、花崗岩相に変成したマイロナイトからなる。東側では、ウアンキフォンディ層群がバニア層群として知られる火山堆積岩列として分布している。安山岩、珪長岩、閃緑岩、閃緑岩からなり、ビニア山では枕状岩が見られる。ギニア北部では、ワリディアラ層群も新第三紀のもので、基底ティライトを含む。ギニア南部で露出するコレンテ層群も新第三紀とカンブリア紀の境界をまたぐと考えられている。コレンテ層群は一般に、基部付近では緑色を帯びた岩石と砂からなり、後者は上部に向かって細粒化する。タバン層群の赤色砂岩と礫岩は、ボヴェ盆地のすぐ南にあるギニアのいくつかの小盆地で産出する。タバン層群は流紋岩起源と考えられ、後起源のモラセスと解釈されている。このユニットはギニア西部の大部分を覆っている。



出典：Carte Geologique de la Guinee a 1/500,000. － Ministere Mines, Geologie, l＇Environment, l＇appui technique BRGM, Aide et Cooperation francais.

図 5.5.3 ギニアの地質

【参考文献】

[1]IAEA INFCIS: Guinea Geography Geology

https://infcis.iaea.org/udepo/Resources/Countries/Guinea.pdf

[2] geoportal-kg.org：Mineral Resources map of Kyrgyz Republic

https://geoportal-kg.org/geological-maps/

3)　特殊土の分布図

特殊土を含む土に係る分布図は整備されていない。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

ギニアでは軟弱な表層土の存在とその掘削・置換などの対策が取られていることがヒアリング調査においてきかれたが、膨潤性や分散性などの特殊土による被害と考えられる事例については収集されなかった。一方、現地調査結果から幹線道路においても舗装の損傷・老朽化が極めて深刻で、乗用車の走行速度が 10~20km 以内に限定され、円滑な交通の妨げとなり多大な旅行時間を要する区間が多くみられた。

同国では建設土として一般的にラテライトが多く使われているが、その性状は採取する地域・深度ごとに特性が異なり、礫分が多く盛土を構築した際に高い CBR 値が確保される材料から細粒分が多く路床土として適さない低 CBR のものまで特性の幅が広い。設計や施工は主にフランス基準、もしくはフランスの支援で作られたガイドライン等に沿って行われているが、調査、設計に係り現地の地質・土質特性に特化した詳細なものは整備されていない。ラテライトについては、長期的な安定性も含め、材料としての評価に係る情報が少ないため、ギニアの道路の維持管理事情にも鑑みその使用にあたって事業実施時には十分な調査・検討が必要と考えられる。

5.5.1.5　推奨される支援事業

ギニアでは無償資金協力による道路橋梁整備事業が実施されてきている。

同国の道路網は脆弱なうえ、上述したように幹線道路の維持管理状況が極めて悪い状態である。舗装の劣化・損傷は不適切な基礎地盤の処理、排水処理の不足、不適な材料の使用、施工時の不十分な品質管理、維持管理不足等様々な原因によって発生している可能性が想定されるが、現地の状況からそのメカニズムや主要因は明らかにはなっていない。

特殊土に係る支援事業としては、各機関から地盤調査に係る技術協力、地盤情報なども含めたデータベースの強化、当地に適合したマニュアルの作成などが挙げられている。

これらの状況を踏まえ、これまでと同様に橋梁の整備や道路の建設事業に加え、ギニアの産官学とともに実施する道路建設・維持管理の質の向上に向けた研究協力（SATREPS）事業や、データベース強化や維持管理能力向上などを含めた道路事業の質の向上に向けた技術協力事業が今後の支援事業として推奨される。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、土質材料としてラテライトを安定した品質で利用するための改良技術（粒度調整・固化材による改良など）が挙げられる。

5.5.2 コートジボワール

5.5.2.1 概要

コートジボワール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 5.5.4 に調査スケジュールを示す。

調査期間 ：令和 6 年 9 月 28 日～10 月 8 日

調査メンバー ：野末　康博、下倉　宏

通訳兼現地エンジニア ：Mr. Talhatou Sow

表 5.5.4 調査スケジュール（コートジボワール）

日時	内容
10/1	道路局・L'Agence de Gestion des Routes (AGEROUTE)
	国際土木技術学校・Ecole Internationale des ponts et chausses
10/2	住宅局・Agence National de l'Habitat (ANAH)
10/3	現地視察・移動（アビジャン→ヤムスクロ）
10/4	Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-BH)
10/5	現地視察・移動（ヤムスクロ→アビジャン）
10/7	運輸省試験室・Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP)
	民間建設会社・SONITRA – DGPE - Société Nationale Ivoirienne de Travaux
	交通総局・La Direction Générale des Transports Terrestres et de la Circulation (DGTTC)

出典：JICA 調査団

5.5.2.2 ヒアリング調査

表 5.5.5 にコートジボワールで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨・入手資料）を取りまとめた。

表 5.5.5 ヒアリング調査結果（コートジボワール）

ヒアリング調査先	要旨
道路局・L'Agence de Gestion des Routes (AGEROUTE)	● コートジボワールでは膨潤土は見られない。 ● 土質材料としてラテライトは良く使用される。CBR が 50 以上の良質なものを用い、それ以下のものは使用しない。 ● 道路建設の際、基礎地盤に不良土がある場合には掘削して置換する（層厚 30cm 程度が多い）。 ● コートジボワール南部、北部で地盤が違う。南部・沿岸域には分散性土がみられる。細粒分含有率が 20%程度の細かい砂質土を主体とする。北部にはラテライトが多い。 ● ラテライトによる盛土の法面の安定に特に問題はないが、植生のために表土を法面部に配置する。 ● 設計基準はフランス基準（NFP)を適用している。対策については LBTP が作ったガイドラインを適用している。

ヒアリング調査先	要旨
	● 分布図に関し、地質図があり、マスタープランの策定時などで参照するが、特定の土質・特殊土に関するものは特にない。 ● 日本に期待することとして、現在組織内のイノベーション研究室が進めている文書管理、土質材料（試験結果）やマップを含む多目的なデータベースの構築への協力、試験室の機材供与などが挙げられる。
国際土木技術学校・Ecole Internationale des ponts et chausses	● コ国に分布するラテライトは日常的に多くのプロジェクトで使われている。曝露すると性質が変化していき、セメント改良等が必要になることもある。ラテライトの扱いに係る知見はコ国で蓄積されており、特に問題とはなっていない。 ● ラテライトは気泡状の形態をもつ鉄鉱石で新鮮な状態では切断が容易だが、空気に触れると硬化するため、建築資材として活用することが可能である。 ● コ国南部、アビジャンのマコリー地区などには砂質シルト・粘土を主体とする問題となる層が分布しているため、分布図を整備することが有用だと考えられるが、作成のためのさらなる研究には資金が十分ではない。正式な協力要請があれば、ラテライトやコ国の特殊土に係る情報やデータを共有することが可能である。共同研究などの協力を期待する。
住宅局・Agence National de l’Habitat (ANAH)	● ANAH は低コスト住宅の建設・供給を担当する組織・公社で 1963 年に設立した。 ● 住宅の建設に係り、計画地の地盤調査を行い、建設に不適と判断した場合には事業を実施しないため、事業開始後、問題に遭遇することは殆どない。（不良地盤の対策にはコストがかかるため）。 ● ラテライトは材料として良く使用するが、セメントや石灰を混合することにより改良しないと使用できない場合も多くある。また沿岸砂も用いることがあるが安定性に問題がある。 ● 分布図について特に一般的なものはないが省内で参照しているものはある。必要な場合は提供することも可能である。 ● 基準はコートジボワールのものはなく、フランス基準・マニュアルを使用する。必ずしも現地に適合しないため、何らかのマニュアルを本業務で作った場合には提供してほしい。 ● 日本に期待する技術として軟弱地盤対策、斜面安定対策が挙げられる。
Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-BH)	● フェリックス・ウフェ＝ボワニ国立工科大学(INP-HB)はヤムスクロにある高等教育機関である。 ● そのうち、NPHP 研究所は Engineer と Technician の教育機関であり、道路を含む建設、地質・資源、化学（石油）、貿易、農業、環境、工業、IT などをカバーしている。11 のトレーニングコースと2つの博士課程を有する西アフリカの中心的な大学である。 ● École Supérieure des Travaux Publics (ESTP)は、本学 (INP-HB) の機関の 1 つで、1963 年に設立、建築・公共事業、都市計画などを含む土木工学の教育課程を有し、雇用市場の需要を満たす有能なエンジニアの養成を使命としている。また、様々な学術機関・専門機関と連携している。 ● コートジボワールでも紹介された特殊土（膨潤土・分散土・Collapsible Soil）に起因する問題は発生している。 ● 砂・粘土からなる細かい材料を使用すると問題が多く発生するが、使わなければならない地区もある。 ● 膨潤土はモンモリロナイトを含んでおり雨季に膨張、乾季に乾燥してクラ

ヒアリング調査先	要旨
	ックが発生する。そこに荷重がかかると崩れやすくなる。対応は難しい課題と認識している。このような土は CBR が 30 以下で、使う時にはセメント改良を行う。適切に混合すると強度の確保、膨潤性の抑制が可能である。 ● 事業実施前に調査をして土質を評価する。主に細粒分含有率で判断、X 線分析なども実施することがある。 ● 日本に期待することとして、土質材料の評価や、道路維持管理に関する技術など研究・教育に係るコラボレーションが挙げられる。
運輸省試験室・Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP)	● 特殊土はコートジボワール各地で認められる。 ● アビジャン地域は沿岸域に扱いが困難な地盤があるなどの課題があるが、基礎地盤の深度等も含めた土質分布図を LBTP が製作した。 ● アビジャンにはラグーンの周辺など埋め立てにて造成された地区が多くある。橋梁建設プロジェクトでは 16m 程度の軟弱地盤が堆積しており、構造物には 70m の基礎杭の構築を要した。 ● 特殊土・特に軟弱地盤の扱いについては種々の技術に興味がある。上記の土質図の更新なども合わせ、研究に係るコラボレーションを希望する。
民間建設会社・SONITRA － DGPE - Société Nationale Ivoirienne de Travaux	● 道路施工に係る品質管理に関しては仕様書に基づきコンサルタント事務所が管理する。参考に関連部分の仕様書を共有する。（注：路体・舗装施工に係る仕様書。特殊土に係る記述は特にない）
交通総局・La Direction Générale des Transports Terrestres et de la Circulation (DGTTC)	● 本組織は道路の運用に係るもので事業実施の検討、事業評価、モニタリングを担当している。 ● 技術的な検討・調査は管轄しておらず、問い合わせ内容に関する回答は本組織ではできないが、沿岸地域などでは軟弱土などの問題となる地盤があるのではないか。特に大西洋の沿岸域では海岸浸食が問題となっている。 ● 日本とは Smart Traffic Light の導入などで協力実績があるが、引き続き何らかの技術協力を希望する。

出典：JICA 調査団

5.5.2.3 フィールド調査

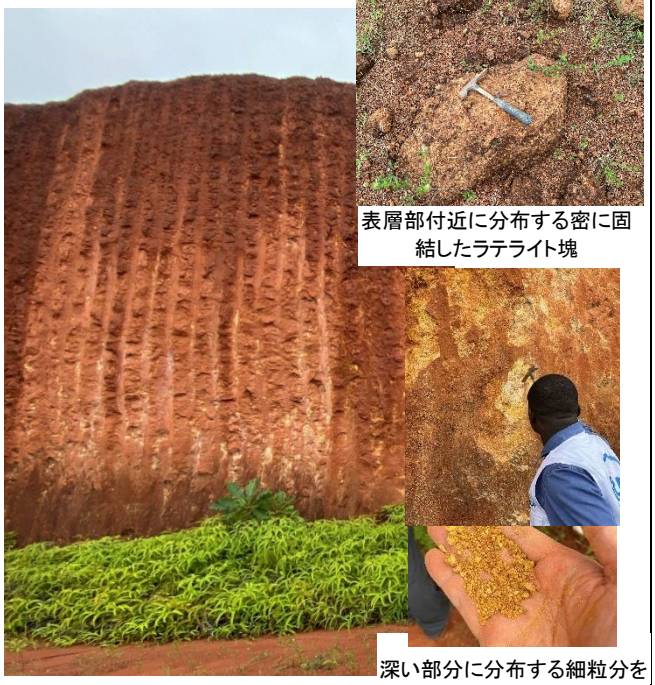
現地調査において、コートジボワールの既往事業や道路などのインフラ施設の状況を確認するため、フィールド調査を実施した。調査位置図を図 5.5.4 に示す。



出典：JICA 調査団

図 5.5.4 フィールド調査位置（コートジボワール）

表 5.5.6 フィールド調査結果（コートジボワール）

No.	写真	概要
1		【アビジャンーヤムスクロ高速】 舗装の劣化・損傷が進みやすく、毎年補修工を実施している。 地下水が高いことが原因の一つと想定した管理者・AGEROUTE が排水施設の改良・設定を行った。 対策工・補修の実施は 1 年前だが既に深刻な劣化がみられ、路床の膨潤性も問題と管理者は想定している。
2	 表層部付近に分布する密に固結したラテライト塊 深い部分に分布する細粒分を	【ヤムスクロ近郊・建設現場】 ラテライト層の切土面、10m 程度の急崖状に安定している。 ラテライト層は表層部付近の堅固な層から深度が深くなるにつれ、砂礫状を呈し、下部は細粒砂・シルト状を呈する。 硬く固結したラテライトは比較的強度が高く、加工性が良好なため、レンガの材料となり、家屋の壁面材などに利用されている。 下層部の細粒分を主体とする地層は建設材料として不適。

No.	写真	概要
		【アビジャン西部 Layo 付近】 沿岸部の道路建設で、軟弱な地盤が問題となった区間。 現状では舗装の損傷・段差の発生など顕著な問題は見られないが、AGEROUTE が基礎部の処理が困難であった区間として紹介。

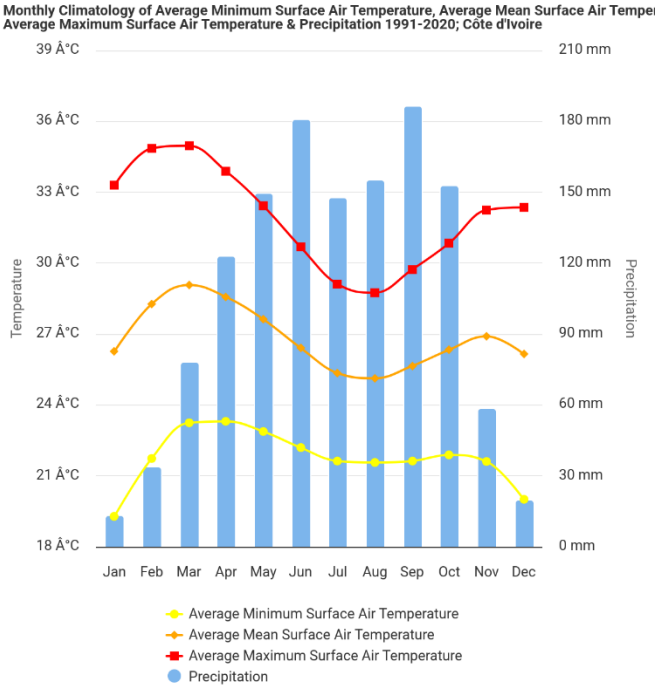
出典：JICA 調査団

5.5.2.4　コートジボワール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

コートジボワールは、国土の南部を特徴づける湿潤な赤道直下気候と、北部の乾燥した熱サバナ気候の地域からなる。沿岸部から内陸にかけて徐々に標高が上がり、最北部では約 500m となる。同国の雨季は一般的に 6 月～10 月で、年間平均気温は 24～28℃である。コートジボワール南部では、一般的に四季がある。5 月～6 月にかけては雨が多く 8 月～9 月にかけてやや短い雨が降る。10 月～11 月にかけて乾燥し、12 月から 4 月が主な乾季となる。図 5.5.5 に月間平均気温と降水量を示す。



出典：Climate change knowledge portal

図 5.5.5 月間平均気温と降水量（コートジボワール、1991-2020）

【参考文献】

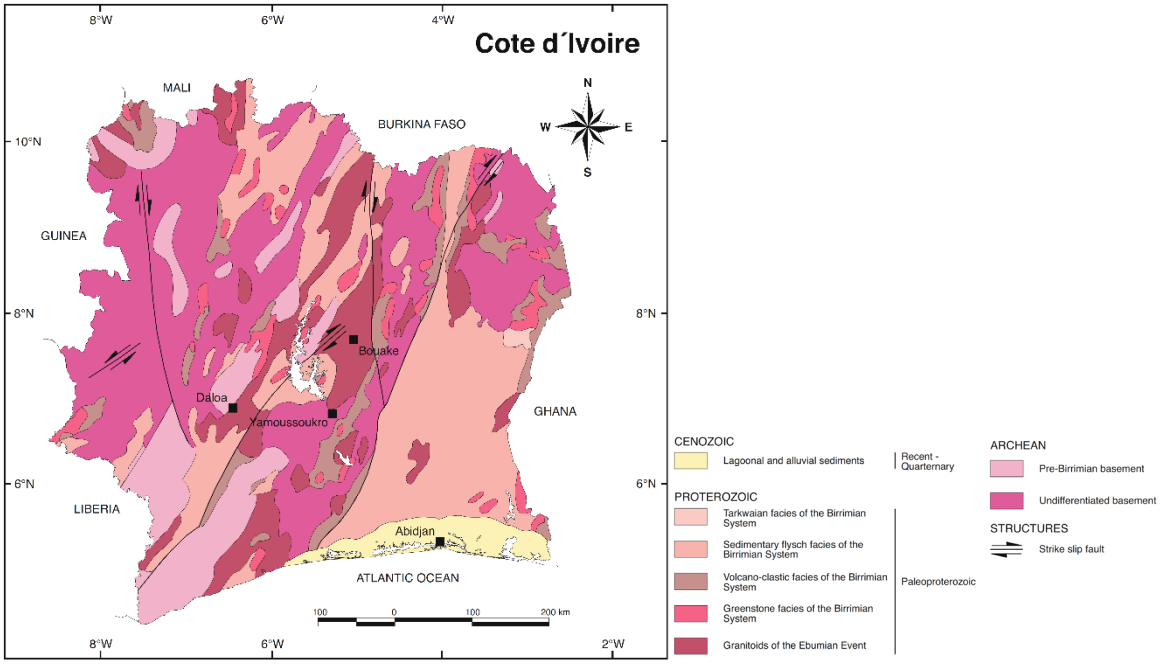
[1] WB：Climate change knowledge portal

https://climateknowledgeportal.worldbank.org/

2) 地形地質

コートジボワールの地形は南部の海岸域から北部の約 500m の標高まで徐々に高くなる台地から形成される。南東部はガーナ国境から東半分の約 300m は沿岸内陸ラグーンで特徴づけられる。南西部は熱帯湿潤林で覆われている。

コートジボワールの地質は、ほぼ全域で西アフリカクラトンに属する先カンブリア時代（始生代および古原生代）の岩石で覆われており、南部および南東部の海岸地帯に沿ってのみ、石油およびガスを含む、主に新生代の堆積物が分布している。



出典：Geological Atlas of Africa

図 5.5.6 コートジボワールの地質図

【参考文献】

[1] Thomas Schluter: Geological Atlas of Africa

3) 特殊土の分布図

特殊土を含む全土の土質分布図は同国において整備されていない。アビジャン都市圏は LBTP が埋め立て土や軟弱地盤の堆積層厚を含む土層の分布図を整備し公開・販売している。

(2) 建設事業における扱いと留意事項

コートジボワールでは軟弱な表層土の存在とその掘削・置換などの対策が取られていることがヒアリング調査においてきかれたが、膨潤性や分散性などの特殊土による被害と考えられる明確な事例については確認できなかった。高速道路の一部区間で舗装の劣化・損傷が進行し続ける区間については原因が明確ではないが膨潤性を示す特殊土などの存在が要因となっている可能性がある。

同国では建設土として一般的にラテライトが多く使われているが、その性状は採取する地域・深度ごとに特性が異なり、礫分が多く盛土を構築した際に高い CBR 値が確保される材料から細粒分が多く路床土として適さない低 CBR のものまで特性の幅が広い。設計や施工は主にフラン

ス基準に沿って行われており、調査に関しては同国の試験所 LBTP が策定したものがある。設計に係り現地の地質･土質特性に特化した詳細なものは整備されていない。ラテライトについては、長期的な安定性も含め、材料としての評価に係る情報が少ない。

5.5.2.5 推奨される支援事業

コートジボワールでは無償資金協力による交差点改良など道路橋梁整備事業が実施されてきている。同国の高速道路の整備状況は比較的良好であるが、部分的に維持管理状況が良好とは言えない区間が認められる。特殊土に係る支援事業としては、各機関から地盤調査に係る技術協力、地盤情報なども含めたデータベースの強化、当地に適合したマニュアルの作成などが挙げられている。

これらの状況を踏まえ、これまでと同様に橋梁の整備や道路の建設事業に加え、コートジボワールの産官学とともに実施する道路建設・維持管理の質の向上に向けた研究協力（SATREPS）事業や、データベース強化や維持管理能力向上などを含めた道路事業の質の向上に向けた技術協力事業が今後の支援事業として推奨される。また、アビジャンを含む沿岸部など軟弱地盤が分布する地域があり、軟弱地盤対策の技術移転に係る期待がヒアリングできかれている。道路の建設事業の実施にあたっては、適切な調査方法、軟弱地盤対策による地盤への配慮を含めたパッケージとすることも一案と考えられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、土質材料としてラテライトを安定した品質で利用するための改良技術（粒度調整・固化材による改良など）ならびに膨潤性土の改良のための改良材やその施工技術が挙げられる。

5.5.3 ガーナ

5.5.3.1 概要

ガーナ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 5.5.7 に調査スケジュールを示す。

調査期間 ：令和 6 年 10 月 9 日～18 日

調査メンバー ：野末　康博、下倉　宏

兼現地エンジニア ：Ackuayi Seth Kwashie、Albert Ampadu

表 5.5.7 調査スケジュール（ガーナ）

日時		内容
10/9(水)	AM	JICA ガーナ事務所
	PM	道路省［MRH (Ministry of Roads and Highways)］ 地方道路局［DFR (Department of Feeder Roads)］
10/10(木)	AM	地方道路局［DFR (Department of Feeder Roads)］
	PM	コンサルタント会社・Associated Consulatants
10/11(金)	AM	現地調査：Tema-Aflao Road Project(N1、膨潤土道路工事)
	PM	現地調査：Dorrumu（膨潤性土建築）Osuwen-Nyigbenya Feedr Road Project
10/12(土)		現地調査：西地区 Takoradi - Goaso Road Project (Ascon)
10/14(月)	AM	現地調査
	PM	Architectural and Engineering Services Limited (AESL), Geotech Division, Director ガーナ地質調査局［Ghana Geological Survey Authority］
10/15(火)		Accor → Kumasi 移動：現地調査(Sampling)
10/16(水)	AM	クワメ・ンクルマ科学技術大学［KNUST (Kwame Nkrumah University of Science and Technology)］ Civil Engineering Department, Geo Group
	PM	建築・道路研究所［BRRI (Building and Road Research Institute)］
10/17(木)		現場調査:高速道路建設現場(第二次国道8号線改修計画) Newly Constructed 1.47KM Goaso - Bibiani Bypass Project Kimusi → Accor 移動
10/18(金)	AM	JICA ガーナ事務所

出典：JICA 調査団

5.5.3.2 ヒアリング調査

表 5.5.8 にガーナで実施した関係機関とのヒアリング調査結果（機関・要旨）を取りまとめた。

表 5.5.8 ヒアリング調査結果（ガーナ）

ヒアリング調査先	要旨
道路省［MRH (Ministry of Roads and Highways)］（高速道路を管轄）	● ガーナにはブラックコットンソイル（膨潤土）が分布しており、問題となっている。対策工法として良質土への置換、十分な排水施設の設置による問題土内への水の流入の防止が挙げられる。 ● いくつかのプロジェクトで問題となる土に遭遇した。管理・対策はプロジェ

ヒアリング調査先	要旨
	クトごとにケースバイケースである。 ● 地域ごとに地質が異なることから、プロジェクト近隣で良質な材料を得ることが難しいことも多く、使用を満たす適切な材料の運搬のために100km を超える長距離輸送が必要になるなどの課題がある。その場合には、固化材等による改良処理を検討し適用している。 ● 特殊土に関する分布範囲や対策については特に取りまとめられたものはない。 ● 建設材料に適した土質材料が入手困難（細粒分過多など）な問題となっているプロジェクトの事例として、西部の The Takoradi － Agona 道路（建設中）ならびに アクラ東部の Borteyman 道路（完成）がある。訪問を推奨する。 ● 道路関連の設計基準は JICA の支援により、1991 年以前の GHA 設計ガイドラインに替わる新しい設計ガイドが発行され(2023)、その中に特殊土に関する言及がある。このガイドラインに適合させ国の仕様書を改訂する可能性がある。 ● 更に詳細な情報を得るために地盤関連の業務経験が豊富な Associated Cosultants (ACON)の主任エンジニアを訪問することを推奨する。 ● 特殊土については今後適切な対応を検討していくために官学の協力の必要性が高い。
地方道路局［DFR (Department of Feeder Roads)］ （地方道路を管轄）	● 膨潤土(Black Cotton Soil)はアクラの東側に主に分布するが西側にも時々みられる。 ● Central Region には頁岩があり、水分により泥質な材料に変化しやすく水の侵入を防止する対策が適用される。 ● ラテライトは分散性を示す（特に西側で多い）ことがある。タマリでは洪水時に土粒子が流出し、家屋が被害受ける事例がみられる。 ● 沼地の跡地などで軟弱土の分布があり、道路が波打つなどの被害を受けることがある。 ● 特殊土を含む土質分布を示したマップ、道路建設事業計画・実施にあたって参考となるものは特に整備されていない。（地質図の注釈として土質分布に関し一部記載がある） ● 従ってプロジェクトごとに調査を行い、対策を行うことになるが特に基準・ガイドラインについても整備されていない。 ● 対策は固化材を用いた土質改良などを採用することがあるが、建設会社が提案してきたものを PJ ごとに DFR で確認し、承認して採用するなどの手続きが取られる。 ● 特殊土が問題となった道路事業（The Takoradi － Agona 道路、Borteyman 道路等）のコンタクト先を共有する。 ● 日本に期待することとして、文書管理に関する技術、土質を含めたデータベースの構築に係る協力などが挙げられる。
コンサルタント会社・Associated Consultants Limited	● ガーナで問題となる特殊土について、モンモリロナイト・カオリンナイトを含む膨潤土、Dahomeyan 群の片岩(Schist)などが挙げられる。 ● 日本の事業、テマ交差点の近くではブラックコットンソイル（BCS）が一部確認された地点があった。 ● 不良土が出た場合には掘削し、プルーフローリングによる締固め度の確認を行い、砂礫などの良質材で置き換える。ジオテキスタイルを使う場合や、セメント・石灰などの固化材の混合による改良が行われることもある。 ● BCS の上部に建屋が建設されたところではスラブのクラックの発生など

ヒアリング調査先	要旨
	の問題があった。 ● 特殊土として西側で主にみられる Phylite（千枚岩）が挙げられる。切土により急崖状で安定するが表流水によりガリ浸食がすすみやすい。アイボリー色の粘板岩状。 ● Phylite の地層を掘削して土質材料として使用する場合には、水による泥質化などで予想以上の沈下が発生するので、シートにより防水措置が取られることがある。 ● 固化材による改良を採用したケースでは一軸試験により配合量を決定する。 ● その他、ジオセルやストーンコラム（トルコ企業）、セメントミルクを混ぜるスタビライザーによる改良などが適用されることがある。 ● ガーナの基準として GHA の Road and Bridges Specification には不良土の改良工法に関する記載がある。（十分な記載ではないと認識） ● 日本の技術に期待することとして、直近でも設計ガイドラインが JICA 支援によって更新されたがこのような技術協力を歓迎する。
Architectural and Engineering Services Limited (AESL), Geotech Division, Director	● ガーナの特殊土は母岩となる地質に起因する。Dahomeyan 群の角閃岩(Amphibolite)がブラックコットンソイルの母岩で、風化しブラックコットンソイルとなる。テマからアシャマの一帯に分布する。 ● 東部回廊の一部区間はこの Dahomeyan 群の一帯に位置し、片岩、片麻岩、大理石、ガーネット、角閃石鉱物が存在しており、この地区（例として Tema や Ashaiman、Afienya など）ではブラック・コットンソイルが良くみられる。 ● 支持力が問題となる土壌がデンス川流域に分布する。 ● ガーナにおいて、小規模な家屋が膨潤性土の被害を多く受けるのは小規模な建物を作る際に地盤技術者が関わらず、知見がなく適切な対応がとられないため発生している。 ● 建築基準では 3 階建て以上の構造物に関してのみ地盤調査が必須とされており、小規模な建物は対象外となっている。一方、支持力以外にも土質の特性を総合的に理解することが特殊土の問題を防止することに繋がるため、この 3 階建て未満の構造物を対象外とする要件には同意できない。 ● 膨潤性土については土質試験を行い細粒分含有率ならびに液塑性限界の値で膨潤性の有無を判断する。 ● N2 に沿った地域は問題のある土壌が多い。この地区では骨材の入手が困難である。角閃岩などの変成岩がコンクリート骨材として利用されるとコンクリートの品質低下を招く。
ガーナ地質調査局［Ghana Geological Survey Authority］	● 地質調査所では地質図を整備しており、粘性土の分布に係る情報も含まれているが、特殊土に関する分布図は無い。 ● 本地質図は購入可能である。
クワメ・ンクルマ科学技術大学［KNUST (Kwame Nkrumah University of Science and Technology)］	KNUST は 50 の program、10 万の学生数をもち、70 年以上の歴史のある西アフリカ地区で最有力の科学技術大学で、留学生比率が高くナイジェリアから多くの学生を受け入れている。 ガーナの特殊土としては膨潤性土（ブラック・コットン・ソイル BCS）が挙げられる主にグレーターアクラ地域、Tsopoli 地区、 Dawhenya 地区、 Doryumu 地区やその他北部の一部、Nyankpala 地区などに分布、確認されている。 BCS の分布により多くの建物が被害を受けている（JICA 調査団も Dawhenya 地区を訪問、被害を受けている建物を確認した）。これらの建物は特殊土に対

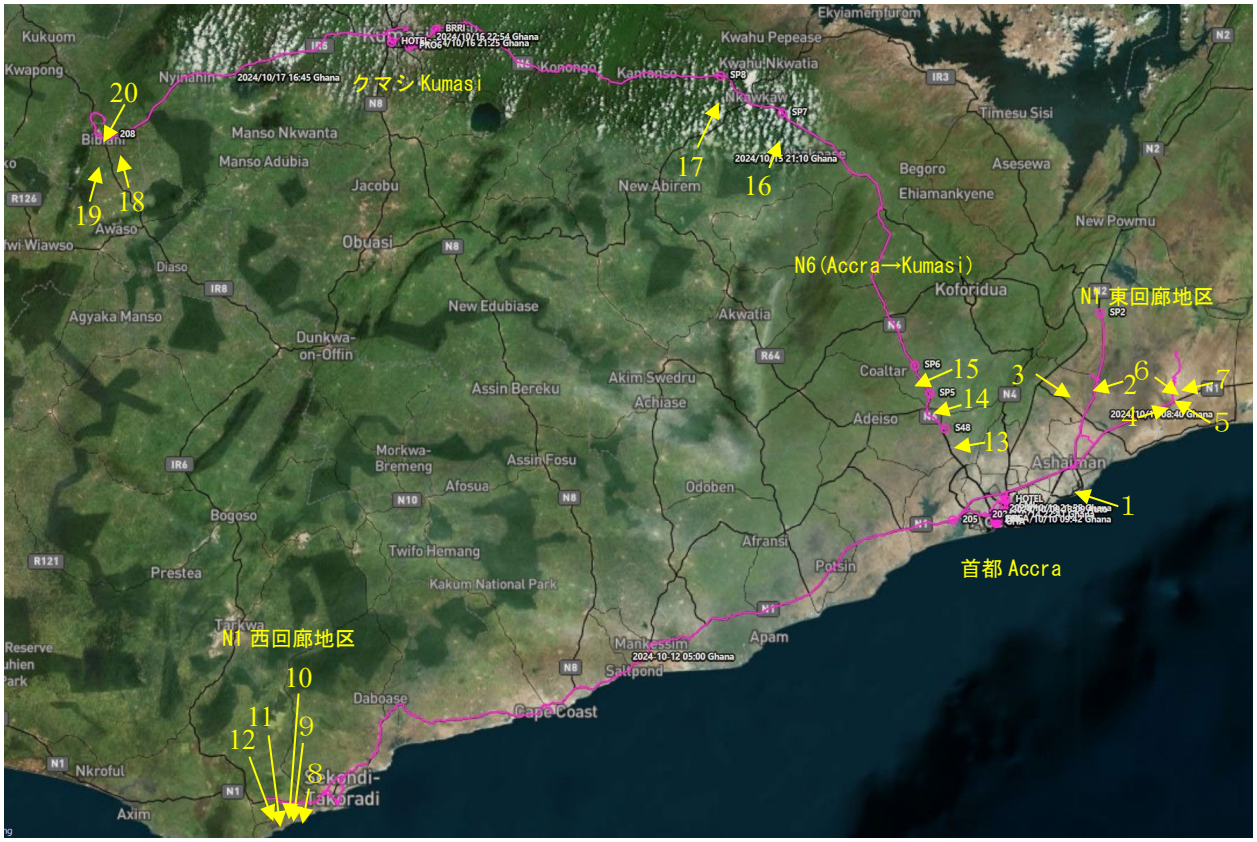
ヒアリング調査先	要旨
	する技術的知見がなく、計画・建築されているために被災しており、居住者は頻繁な補修費用が発生していると言っている。 膨潤性土による被害額は地震災害による損害をはるかに上回ると思われるが、被害者は保険ではなく自費で修理・改修を行っており、注目されていない。 ラテライトの使用、それに係る問題については ISSMGE で Prof.Ampadu が講義の動画を配信しており参考になる。ラテライトは材質が地域・採取深度で異なるため、材料としての適性を評価するためにプロジェクトにおいては事前に調査することが重要。 ラテライトについては以下の文献や ISSMGE の Web サイトで行った講義が参考になる。 Lyon Associates Inc. and BRRI (1971), Laterite and lateritic soils and other problem soils of African, Kumasi Ghana. An engineering study for Agency for International Development, Ampadu, S.I.K, Ackah P., Owusu-Nimo F., Ayeh, F.J.F. (2015), The Effect of pretreatment on index and compaction properties of a lateritic gravel, Proceedings, 16th African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 27-30 April 2015, ISBN 978-9938-12-936-6Tunisia, Eds. Bouassida, M. Khemakhem M and Haffoudhi, S. E. -560, pp 553 http://virtualuniversity.issmge.org/courses/course-v1:ISSMGE+TC102-002+2017/ 他の特殊土として雲母質（Micacious）の岩を母岩とする土質材料が挙げられる。土壌に雲母が存在すると、圧縮時の乾燥密度と道路材料の CBR 強度が低下する可能性がある。水によって締固め特性が変化し、想定以上の沈下が発生する。また骨材としての使用もコンクリート品質低下を招く。 Phylite を母岩とする土質材料も問題となる。風化すると砂状となり、強度が低くなるため、斜面の安定性に係るリスクが高くなる。 各地で良質なラテライトを多く採取してきたため、近年良質な土質材料が採取できず、細粒分含有率が高いラテライトも使用せざるを得ないケースが多く、改良が必要となっている。 特殊土の分布に関するマップは、ガーナ地質調査所から入手できる地質図ならびに粘性土の分布図、農業用の土壌図以外には特に整備されていない。 特殊土に関する基準として、建築基準の 18.3.5.3 に膨潤土に係る記載があるが、その他にはない。インド・オーストラリアの建築基準法に多少記載があると認識している。 KNUST の地盤グループは特殊土に係る主導的な研究グループであると言える。CSIR-BRRI も過去に良い研究を行っており、その研究資料は価値がある。 特殊土の対策は様々な方法が試行されているが、Bibiani-Goaso 道路でも改良処理が行われている。対策は施工業者（改良材の会社）が提案し、道路局が承認すると採用される。 日本に期待する技術として地盤補強材料(Geosynthetics、ポリマーやチップスなど含む)の適用に係るものなどが挙げられる。
建築・道路研究所 ［BRRI (Building and Road Research Institute)］	● 千枚岩に由来する雲母質土は、雲母含有量に応じて圧縮特性と CBR 強度を低下させる傾向がある。また、炭酸塩岩、例えば石灰岩は酸との急速な反応により急速に劣化し、タルクワ鉱山地域を含むガーナの鉱山地帯で主に見られる。チームは、花崗岩内の雲母もセメントなどのアルカリ性物質と反応することが知られており、生産されるコンクリートの耐久性

ヒアリング調査先	要旨
	を低下させる可能性がある。 ● 黒綿土はモンモリロナイトなどの膨張性粘土鉱物が含まれており、このような問題のある土は実験室分析によって特定できる。黒綿土は独特の色と、乾季のひび割れや降雨後の滑りやすさなど、目視で特定できる ● 黒綿土が下にある建物は、特に適切な工学設計と調査なしに建設された場合、多くのひび割れが発生する傾向がある。 ● これらの問題のある土の範囲と深さは母岩に依存すると述べた。 ● 特殊土の対策方法：問題のある土の安定性と強度を高めるために、土に圧縮される砂利や玉石 (直径 25mm - 100mm) などの粒状物質を混合する。また黒綿土をポゾラン石灰で処理することが、代替地盤改良方法として非常に有効な結果を示していると説明した。排水システムも考慮すべき要素として挙げられる。 ● 特殊土に係る設計基準やガイドラインは整備されていない。 ● 本研究で整備されるマニュアルは翌年 5 月以降に公開予定である（JICA 調査団）。 ● 地質工学チームリーダーの Bernard Ofosu 氏は、現在進行中の特殊土に係るプロジェクトはないが、前任者が問題のある土について多くの研究を行い、多くの出版物を発表しており、ダウェニャの黒綿状粘土の基礎処理やアクラ-クマシ高速道路の Nkawkaw 区間の斜面安定対策など、その情報を JICA 研究チームと共有する用意があると強調した。ただし、この情報のほとんどはデジタル化されておらず、まとめるのに時間がかかることも言及された。 ● 日本や他の国に期待する技術・協力として、建設プロジェクトの計画と設計プロセスに係る包括的な GIS 土壌データベースと土分布マップの必要性について言及した。また、研究や調査を強化するために、高容量コンクリート破砕機、非破壊補強検出センサー、土壌特性を迅速かつ簡単に判定できる機器など、高度な実験室および現場試験機器なども必要で協力を期待する。

出典：JICA 調査団

5.5.3.3 フィールド調査

現地調査は現在フライオーバー工事をしている Tema-Aflao Road Project、DFR から紹介された問題のある地区(N1 東回廊付近)、AESL から紹介された問題のある地区(N1 西回廊)、首都アクラからクマシに向かう N6 道路と MRH から紹介された高速道路の建設現場を調査した。N6 道路においては HWSD の代表的な土壌分類地域において、Google Earth から土取場と考えられる地点を観察し、試料採取を行った。図 5.5.7 に調査位置を示す。



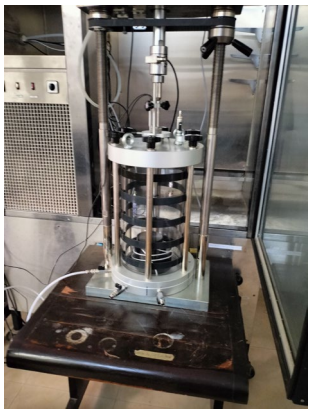
出典：OpenStreetMap に加筆

図 5.5.7 フィールド調査位置図（ガーナ）

調査地点の説明：

1: Tema-Aflao Road Project、2:道路工事現場、3:膨潤土による家屋のひび割れ、4:特殊土(塩類土、炭酸塩土?)、5:小型横断水路の穴、6:炭酸塩土(?)、7:N1 道路掘削廃棄土、8:N1 道路拡張工事、9~11:N1 道路切り土面、12:N1 掘削底面砕石投入、13:N6 道路試料採取 SP3、14:N6 道路試料採取 SP4、15:N6 道路試料採取 SP5、16:N6 道路試料採取 SP6、17:N6 道路試料採取 SP7、18:資材置き場、19: 高速道路建設現場、20:路盤材土取場

表 5.5.9 現場調査地点の写真と説明

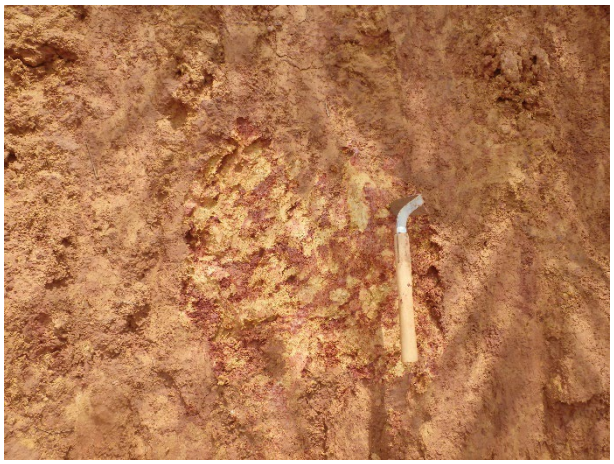
地点 No.	写真	概要
1	  土質試験機	MRH の試験室 ● 土質試験器具は特殊土に対応できる良好な機械設備が準備されている。
	 	MRH の試験室 ● 道路用の CBR 試験機、アスファルト試験機、鉄筋せん断機など充実した設備で、多くの試験に利用されている。
2		Tema-Aflao Road Project ● 国道を横断する工事 ● 一部膨潤性土があったが、置換して対策した。

地点 No.	写真	概要
3		道路工事 ● 路盤に礫混じりラテライトが用いられている
4		膨潤性土が分布する地域 ● 家屋にひび割れが入っている
5		特殊土 ● 地盤沈下等の変状が起きる箇所 ● 灰色の粘性土に白いものが浮いている。塩類土、炭酸塩土か? ● 周辺は地下水が高い地域と判断される。雨季には河川があると考えられる地形
		

地点 No.	写真	概要
6		横断水路に開いた穴
		路盤は礫混じりのラテライト
		コンクリートの側壁が劣化している(塩害か)

地点 No.	写真	概要
7		炭酸塩土(?)の母材
7		炭酸塩土か?
		層状に堆積する炭酸塩土(?)

地点 No.	写真	概要
8		道路掘削廃棄土 細粒のラテライト
9		N1 号道路拡張工事
		路床掘削(置換工) 細粒シルト質ローム

地点 No.	写真	概要
		白い硬い物質を含む。Phylite か Shist か?
10		ラテライト切り土面
		ラテライト切り土面に見られる黄土色と赤褐色のまだら模様

地点 No.	写真	概要
11		N1 道路切り土面
		同上切り土面に入る白い物質(風化した Shist か)
		同上切り土面に入る細かい白い筋

地点 No.	写真	概要
		同上切り土面に入る母岩か酸化鉄が固まったものか?
		同上切り土面の細粒のラテライト
12		掘削置換基礎低部に敷き詰められた砕石 最大粒径が大きい

地点 No.	写真	概要
13		N6 道路付近切り土観察 Leptisol 細粒なラテライト
		N6 道路付近切り土観察 Leptisol 試料採取 SP-3 細粒なラテライト、黄土色と赤褐色のまだら
14		N6 道路土取場観察 Luxisol 試料採取 SP-4 礫混じりの砂→ラテライトか不明

地点 No.	写真	概要
		N6 道路土取場観察 Luxisol Shist?を挟む
		N6 道路土取場観察 Luxisol Shist?
		N6 道路土取場観察 Luxisol 筋状のまだら

地点 No.	写真	概要
15		N6 道路土取場観察 Fluvisol 試料採取 SP-5
16		N6 道路土取場観察 Fluvisol ラテライトの土取場
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 母材の岩が残っている

地点 No.	写真	概要
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 母材から溶け出したものが縦状の縞となっている
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 試料採取 SP-6
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 黄土色のラテライト

地点 No.	写真	概要
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 母材の岩が筋状に残っている。 母岩は片岩か?
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 母岩(片岩?)が残っている
		N6 道路土取場観察 Fluvisol 母岩は Shist か?

地点 No.	写真	概要
17		N6 道路土取場観察 Acrisol 黄土色の細粒ラテライト
		N6 道路土取場観察 Acrisol 黄土色の細粒ラテライト 試料採取 SP-7
		N6 道路土取場観察 Acrisol 赤褐色の細粒ラテライト

地点 No.	写真	概要
18		資材置き場 ● 掘削底部に敷く砕石(Shist)
19		高速道路建設現場 ● 側道部は路床部をセメント改良している。改良率は 1.5%と小さい。 ● 本車線は砕石(Shist)置換している。
		高速道路建設現場 ● ラテライト切り土 ● 硬化したラテライトが多い。

地点 No.	写真	概要
		高速道路建設現場 ● ラテライト切り土 ● 硬化がやや少ないラテライト(明るい黄土色となっている)斜面。風化土に合わせて切り土勾配を緩めている。 ● 植生工は施していない。
20		高速道路建設現場 ● 路盤材土取場跡地 ● 上層の礫混じりラテライトを路盤材として採取している。
		高速道路建設現場 ● 路盤材土取場跡地 ● 上層の礫混じりラテライトを採取

出典: JICA 調査団

5.5.3.4 ガーナの特殊土と建設事業における扱い・留意事項

(1) 特殊土に係るガーナの基礎情報

1) 気象条件

ガーナの気候は、主に 2 つの気団の相互作用によって決まる。1 はサハラ砂漠上に形成される暑く乾燥した大陸性気団、もう 1 つは南大西洋上に形成される暖かく湿った海洋性熱帯気団である。両方の気団は半球風に乗って赤道に向かって移動し、毎年数か月間ギニア海岸で出会う。

大陸性の気団は北東貿易風(西アフリカではハルマッタンと呼ばれる)に乗って南に移動し、海洋性熱帯気団は南西貿易風に乗って北に移動する。これらの気団が収束するゾーンは、季節的な線状スコールの降水が特徴となる。

収束ゾーン自体は、頭上の太陽と熱赤道の季節的な動きに従って南北に振動する。8 月には中央サハラの北緯約 21 度で最北端に達し、1 月にはガーナ海岸線の数マイル北の北緯約 7 度で最南端に達する。海洋性熱帯性の気団が優勢な時は雨が降り、大陸性気団とハルマッタンが優勢な時は干ばつが広がる。

ガーナの熱帯性気候は、その緯度の割には比較的穏やかで、東海岸地帯は暖かく比較的乾燥しており、ガーナの南西端は暑く湿気が多く、ガーナの北部は暑く乾燥している。

ガーナの気候は熱帯性で、雨季と乾季の 2 つの主な季節がある。森林地帯の最北端を示すクワフ高原は、重要な気候区分となっている。

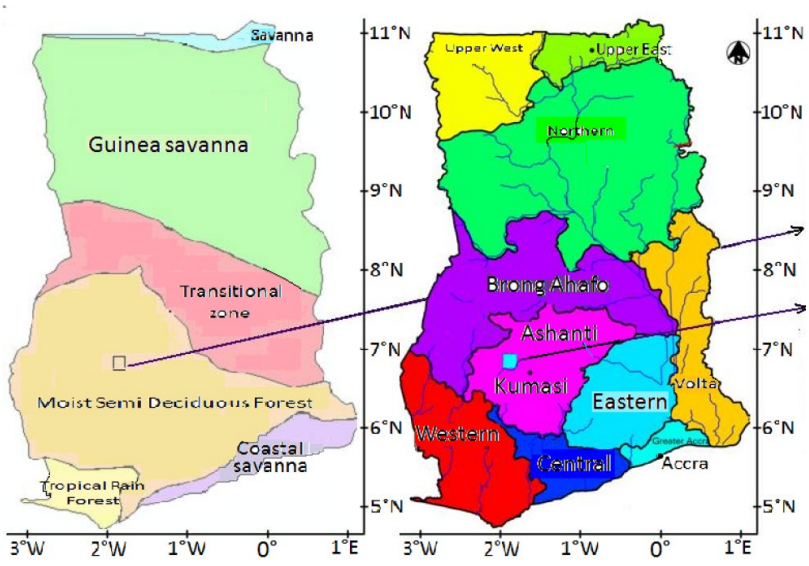
クワフ高原の北側では 11 月から 3 月下旬または 4 月まで乾燥した暑い日と比較的涼しい夜を特徴とするハルマッタンの乾季と 4 月から 10 月中旬まで雨季がある。雨季には 3 月から 4 月にかけてスコールが発生し、8 月下旬または 9 月にピークに達する雨期が続く。

クワフ高原の南と南西部では、4 つの別々の季節がある。大雨は 4 月頃から 6 月下旬にかけて降る。8 月の比較的短い乾期の後、9 月に別の雨季が始まり、11 月まで続く。その後、より長いハルマッタン期の乾季が始まり、サイクルが完了する。

北から南までの年間平均降雨量が 1,250～2,150mm である。クマシでは年間平均降雨量が約 1,400mm で、より乾燥した北部サバンナのタマレでは年間 1,000mm の降雨がある。タコラディから東のアクラ平原、低ボルタ地域まで、降雨量は年間平均わずか 750～1,000mm となる。

気温は、通常、年間を通じて全国的に高い。標高が高いほど、気温は快適となる。最北では、最高気温が 31℃になる。国の南部は、一般的に湿度が高い。これは特に夜間に顕著で、湿度が 95～100%になることもある。国の北部では、雨季にも湿度が高くなる。ただし、ハルマッタンの季節には、北部の湿度が 25%まで下がる。

ガーナの乾季と雨季がある気候、降水量、気温変化の差は岩の風化を促進し、特殊土形成上の重要な因子となる。特に乾季と雨季がある気候は膨潤性土の発達に重要な因子となる。



出典: Basic research on problem soil measures encountered in construction works in developing countries all over the world and measures to reinforce local natural geomaterials (project research)

図 5.5.8 ガーナの地域区分

2) 地形

ガーナは、多様で変化に富んだ地形を持つ国である。ガーナの風景は、山、谷、低地、平野、高原が混在する特徴があり、地理的に豊かで多様な国となっている。

ガーナの地形と地勢は、ギニア湾に位置し、赤道に近いことから影響を受けている。国の南部は低地の海岸平野が特徴で、中央部と北部は高地、台地、渓谷が広がっている。西アフリカ最大の川の 1 つであるボルタ川も国の東部を横切って流れ、川の渓谷と盆地を形成している。

ガーナの山脈にはアクワピム-トーゴ山脈とクワフ高原がある。東部に位置するアクワピム・トーゴ山脈は、ガーナで最も有名な山脈の 1 つである。これらの山脈は、急な斜面、深い谷、密集した植生が特徴となっている。最高峰はアファジャ山で、海抜 885m である。

クワフ高原はガーナの東部に位置する山岳地帯である。この高原は起伏のある丘、深い峡谷、肥沃な谷となっている。

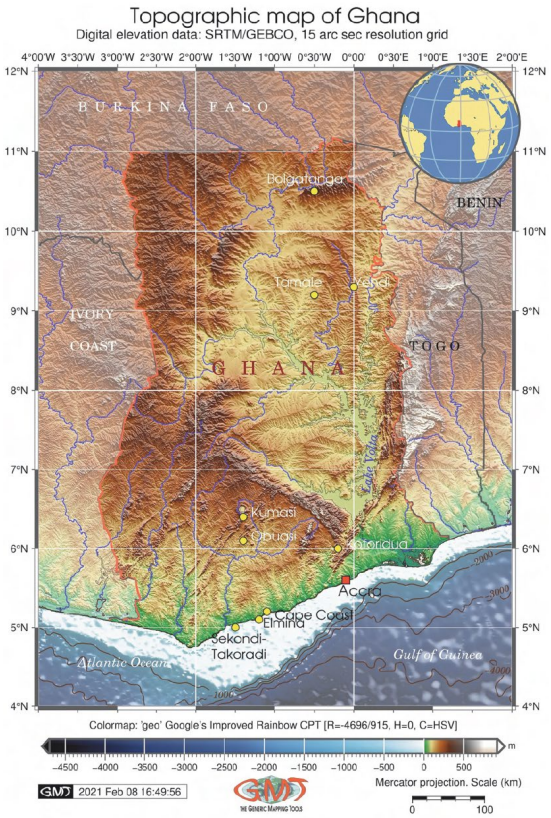
ガーナの北東部にはマンプルシ高原もある。

ガーナの渓谷と低地にはボルタ盆地やデンス盆地などがある。東部に位置するボルタ川流域は肥沃な平野、川の谷、湿地となっている。ボルタ川流域には、アフリカ最大級の水力発電所であるアコソンボダムもある。ガーナの南部に位置する海岸平野には砂浜、ラグーン、マングローブの沼地がある。

ガーナには中央部に川や小川があるアシャンティ平原と北部に草原、低木、散在する樹木があ

る広大なサバンナ平原がある。

ガーナの高地、中央に広がる盆地、海岸側に広がる平地は気候の影響と相互に絡まって特殊土を形成する因子となる。特にガーナに広く分布するラテライトの仲間となる土は地形と気候により、良い材料として使用できるものを残すこともあり、逆に粘土化して道路などの基礎地盤として問題となる土を形成する可能性がある。



Slika 1. Topografska karta Gane izrađena s pomoću podataka GEBCO. Kartiranje: GMT. Izvor: autorica.
Fig. 1 Topographic map of Ghana using the GEBCO dataset. Mapping: GMT. Source: author.

出典: Geophysical Mapping of Ghana Using Advanced Cartographic Tool GMT, Polina LEMENKOVA(2022)

図 5.5.9 ガーナの地形

3) 地質

ガーナの地質は主に非常に古い結晶質の基盤岩、火山帯、堆積盆地であり、火成活動期と 2 つの主要な造山運動の影響を受けている。現生代の過去 5 億 4,100 万年以内に海岸沿いに形成された現代の堆積物や一部の岩石を除けば、ガーナの岩石の多くは 10 億年近く前、あるいはそれより古いもので、5 種類の金鉱床を形成し、この地域の旧名ゴールドコーストの由来となっている。

古原生代、新原生代、そしておそらく古生代初期の古代の岩石は、古生代、中生代、新生代の岩石がよく見られる海岸近くを除いて、ガーナのほぼ全域を覆っている。

古原生代(25～16 億年前)の岩石は、西アフリカ全域に共通しており、ガーナの北西部と南西部

に分布している。岩石は 2 種類あり、1 つは礫岩、砂岩、頁岩で覆われた千枚岩、凝灰岩等の堆積岩であり、もう 1 つは火山性岩である。火山岩は数百キロメートルの帯を形成しており、ソレアイト溶岩の低度の変成作用がある。

火山帯は北東から南西に向いており、火山帯の間には、デイサイト、粘土岩、火山砕屑岩、花崗岩で満たされた盆地がある。盆地と火山帯の間の移行部には、チャート、炭酸塩、マンガンに富んだ堆積物の小さな露頭がある。

火山岩と堆積岩は 22 億年から 20 億年前のエブルネ造山運動中に褶曲され、花崗岩が侵入している。

新原生代(10 億～5 億 3,900 万年前)は汎アフリカ造山運動の影響を受けている。汎アフリカ移動帯地形はガーナ東部と南東部に広がっている。ダホメヤン系は苦鉄質片麻岩と珪長質片麻岩、トーゴ系は珪岩、頁岩、および少量の蛇紋岩、ブエム層群は、頁岩、砂岩、玄武岩、粗面岩、火山砕屑岩などの堆積物と火成岩の混合物となっている。

ボルタ盆地は新原生代に形成され、11 億年から 7 億年前に形成された厚さ 1 キロメートルの砂岩と粘土岩となっている。6 億年から 7 億年前には泥岩とドロマイト石灰岩が形成され、底部には重晶石と珪石が豊富で、上層にはシルト岩と粘土岩がある。

顕生代(5 億 3,900 万年前-現在)は、主にガーナの海岸沿いにある。新生代の 6,600 万年には、主に海、潟、河川の堆積岩、および国土の大部分を覆う未固結の堆積物を形成している。

ガーナの岩として火成岩である玄武岩は黒綿土の母材で有り、火山岩の花崗岩類や変成岩類(片麻岩、デイサイト、千枚岩 Slate、片岩 Shist)はラテライトの母材となっている。また、泥岩、頁岩、シルト岩、粘土岩等の堆積岩も膨潤性土の母材となり得る岩種であり、ガーナの多様な土壌形成の因子となっている。また、ヒアリングの中では雲母を含む土壌も問題を引き起こすとされているが、前記の岩類は雲母を生み出す母材となる。

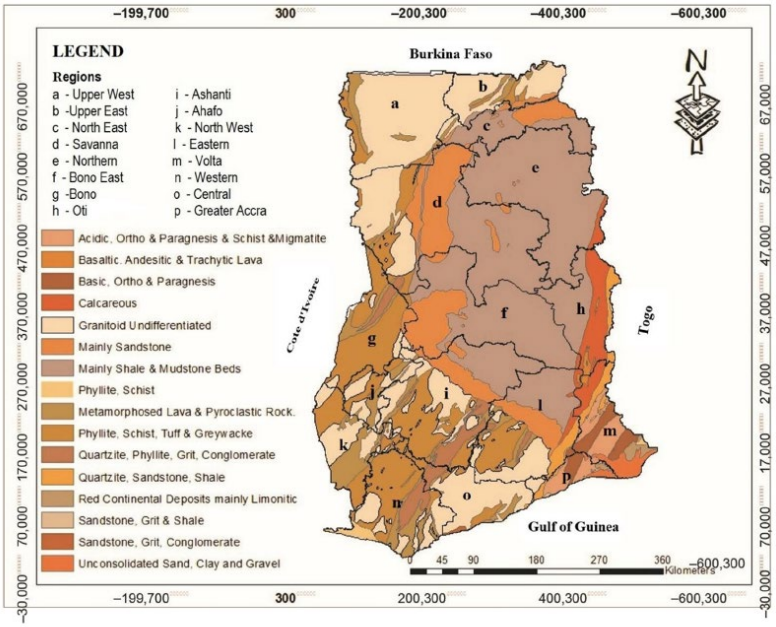


Fig. 2. Geological map of Ghana showing administrative regions.

出典: Basic research on problem soil measures encountered in construction works in developing countries all over the world and measures to reinforce local natural geomaterials (project research)

図 5.5.10 ガーナの地質図

4) 土壌

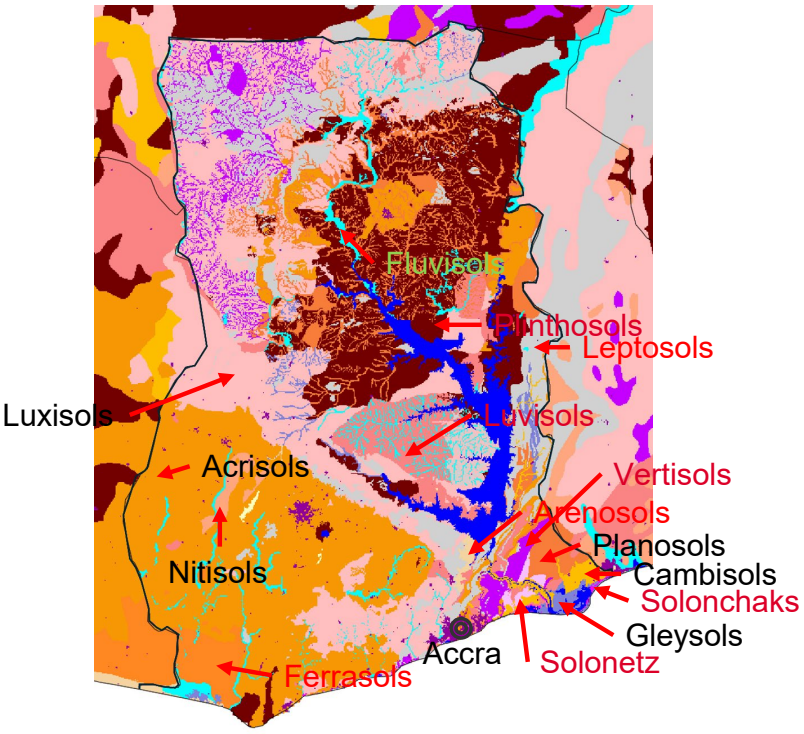
Harmonized World Soil Database(HWSD)によるとガーナの土壌は Acrisol, Luxisols, Leptosols, Vertisols, Luvisols, Plinthosols, Ferrasols, Cambisols, Fluvisols, Nitisols, Gleysols, Planosols, Solonchaks, Solonetz, Arenosols 等の様々な土壌が分布している。

南東部には Vertisols が分布する地域があるが、黒綿土(Black cotton soil)で膨潤性土である。北西部にも細かく点在する地域がある。

Acrisols はラテライトのひとつであり、粘土分を多く有するため膨潤性土の可能性を有する。Ferralsols と Lixisols もラテライトの仲間と考えられる。Plinthosols もラテライトの仲間と考えられるが、上部に硬化した層もしくは未風化の硬い層を有し、下位に行くほど細かくなる。Luvisols は灰褐色の色を呈するためラテライトと判定される可能性がある。

Arenosols はシルトを少し含む砂質土で崩壊性土になる可能性がある。Leptosols は岩の上に薄く堆積するが、風や水による浸食を受ける可能性がある。

海岸側には Solonchaks(塩類土)と Solonetz(炭酸塩土)がある。コンクリートや鋼構造の劣化と分散性の問題を引き起こす可能性があるが、分布域が狭いことと土地利用されていないためかガーナからのヒアリングで問題視されていない。



出典：JICA 調査団(WDSD Ver.2.0 を用いて作成したものに加筆)

図 5.5.11 ガーナの HWSD による土壌分布図

(2) 建設事業における扱いと留意事項

ガーナのヒアリング及び現地調査で建設に問題となる特殊土としては膨潤性土、細粒なラテライト、雲母を含む土などが取り上げられ、それらを形成する母材となる岩種について知ることも重要であると報告された。

ラテライトは砂・礫混じりのものは良質な土質材料として使用されている。ラテライトは上部に良質な材料となる材料があるが、道路建設でそれを切り土するとその下には細粒な(シルト・粘土を多く含む)ラテライトが出現する可能性があり、問題となる。ガーナではそれらが出ると採石層をいれて対策しているが、必ずしも良好な対策となっていないようである。

基本的には対策費用が安価な良質土による置換対策が主流になっており、対策工としては功を奏しているようである。

高速道路現場では交通荷重が小さい側道部にラテライトにセメント混合処理する試み(現地ではチャレンジと呼ばれていた)が行われていた。改良率が 1.5%と低くても対策効果が得られているみたいだが、低い改良率の場合は混合が良くないと問題が生じる可能性があり、試行によりより良い対策方法が確立されていくものと推察される。

クマシにある Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST)は西アフリカの中では地盤工学で優良な大学のひとつと考えられ、研究者や卒業生で特殊土の対策に対して解決

していく能力を十分有していると考えられ、今後の活躍が期待される。

なお、塩類土や炭酸塩土も海岸側に分布しており、今後の開発により問題土として検討しなければならない可能性がある。

なお、アフリカの全ての国で考えられることであるが、開発が進められている地域は土壌が良いところから行われている可能性があり、将来国土発展に伴い新しい地域での開発や巨大構造物の建設等が進められて行くと新たな土質の問題が生じる可能性を有している。

5.5.3.5 推奨される支援事業

日本に期待する技術としては以下のものが挙げられた。

- 特殊土については今後適切な対応を検討していくために日本を含めて官学の技術協力。
- 文書管理に関する技術、土質を含めたデータベースの構築に係る協力。
- JICA 支援によって更新された設計ガイドラインに関するような技術協力。
- 地盤補強材料(Geosynthetics、ポリマーやチップスなど含む)の適用に係る技術導入。
- 問題のある土についてガーナで行ってきた多くの研究情報のデジタル化と効率的・迅速な利用システムの導入と特殊土に関する情報の共有化。
- 建設プロジェクトの計画と設計プロセスに係る包括的な GIS 土質データベースと土質分布マップの作成技術の導入。
- 高容量コンクリート破砕機、非破壊補強検出センサー、土壌特性を迅速かつ簡単に判定できる機器など、高度な実験室および現場試験機器などの導入。

この状況を踏まえ、特殊土に関する調査法・対策工法に係る共同研究事業（SATREPS）やガイドラインの作成、データベースの強化等に係る技術協力事業などが今後推奨される支援事業として挙げられる。

今後適用可能性のある本邦地盤関連技術としては、土質材料としてラテライトを安定した品質で利用するための改良技術（粒度調整・固化材による改良など）ならびに膨潤性土の改良のための改良材やその施工技術が挙げられる。