

全世界

道路防災のための斜面对策事業の基礎研究
(プロジェクト研究) (QCBS)

ハンドブック第三部：
無償資金協力事業における斜面对策の
参考資料およびFAQ (落石・斜面崩壊編)

2023年2月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル
国土防災技術株式会社
株式会社 エイト日本技術開発

資金

JR

23-005

全世界

道路防災のための斜面对策事業の基礎研究
(プロジェクト研究) (QCBS)

ハンドブック第三部：
無償資金協力事業における斜面对策の
参考資料およびFAQ (落石・斜面崩壊編)

2023年2月

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

株式会社 オリエンタルコンサルタンツグローバル
国土防災技術株式会社
株式会社 エイト日本技術開発

目 次

図目次
表目次
略語表

	ページ
第 1 章 専門用語の解説	1
1.1 調査・設計に関する主な専門用語.....	1
1.2 施工に関する主な専門用語.....	2
1.3 海外事業における斜面災害に関連する専門用語.....	3
第 2 章 日本と海外の技術基準の比較	9
2.1 調査に関する技術基準等の比較.....	9
2.2 設計に関する技術基準等の比較.....	10
2.3 施工に関する技術基準等の比較.....	11
2.4 製品に関する技術基準等の比較.....	12
第 3 章 日本の斜面对策工の設計計算と照査のポイント	13
3.1 吹付けのり枠工.....	13
3.2 アンカー工.....	14
3.3 地山補強土工（鉄筋挿入工）.....	15
3.4 落石対策工（共通）.....	17
3.5 落石防護柵工（通常型）.....	18
3.6 落石防護柵工（高エネルギー吸収型）.....	18
3.7 覆式落石防護網工.....	19
3.8 ポケット式落石防護網工.....	20
第 4 章 日本の調査・設計手法の特徴－その背景と設計思想	21
4.1 道路土工における斜面对策の基本的な考え方－調査から維持管理までの思想.....	21
4.2 調査種の相互補完.....	22
4.3 日本の標準切土勾配における地山分類の考え方.....	22
4.4 不統一な抑止工の必要抑止力算定方法の背景.....	24
4.5 抑止工に関連する設計手法の不統一への対応.....	25
4.6 斜面对策工の設計ソフトの日本と海外の違い.....	27
4.7 参考資料（技術ノート）.....	31
第 5 章 本邦技術による海外の斜面对策事例	34
5.1 スリランカでの斜面对策事例.....	34
5.2 フィリピンでの斜面对策事例.....	35
5.3 ホンジュラスでの斜面对策事例.....	37
5.4 ブータンでの斜面对策事例.....	38
第 6 章 相手国政府・技術者からの想定問答集 Q&A（FAQ）	40
6.1 調査・設計に関する想定問答集.....	40
6.2 施工に関する想定問答集.....	43
6.3 維持管理に関する想定問答集.....	44

目次

	ページ
図 1-1	Varnes による Landslide の分類.....4
図 1-2	バイオエンジニアリングの施工状況.....7
図 3-1	のり面工係数 f_a とのり面工低減係数 μ の関係.....16
図 4-1	Sarma 法での非円弧すべりの安定解析例.....28
図 4-2	Partially anchored bulb.....30
図 4-3	1971 年当時の地すべり対策事業で採用された粘着力とすべり面の最大深さの関係.....31
図 4-4	吉岡・伊藤（1971）が用いたデータの地すべり地の所在地.....32
図 5-1	世界銀行の CRIP プロジェクトで施工された日本の落石対策工.....34
図 5-2	JICA 有償案件(LDPP)で整備された鉄筋挿入工とアンカー工を併用した法砕工.....34
図 5-3	JICA 有償案件(LDPP)で整備されたアンカー工（左）と軽量盛土工（右）.....35
図 5-4	JICA 事業で整備されたポケット式落石防護網工.....35
図 5-5	1993 年から 2001 年に実施された日本の Rosario－Pugo－Baguio 道路修復事業で 施工されたロックシェッド.....36
図 5-6	1993 年から 2001 年に実施された日本の Rosario－Pugo－Baguio 道路修復事業で 施工された落石防護柵工.....36
図 5-7	日本の ODA で実施した国道 6 号線の地すべり対策工(Sta.14.7km)。排土工，吹付 けコンクリート工，アンカー工.....37
図 5-8	日本の ODA で 2019 年に実施した国道 6 号線沿いの地すべり対策の 2021 年 8 月 の状況（Sta.22km）.....37
図 5-9	日本の ODA での 2019 年の鋼管杭工の施工状況.....38
図 5-10	マクロネット工法（国道 1 号線）.....38
図 5-11	落石防護土堤（国道 5 号線）.....39
図 5-12	ノンフレーム工法の試験施工サイト（国道 1 号線）.....39
図 6-1	ピーク強度、完全軟化点、残留強さの関係.....42

表目次

	ページ
表 2-1	調査に関する技術基準等の日本と海外の違い.....9
表 2-2	設計に関する技術基準等の日本と海外の違い.....10
表 2-3	施工に関する技術基準等の日本と海外の違い.....11
表 2-4	製品に関する技術基準等の日本と海外の違い.....12
表 3-1	主な のり面保護工の「のり面工低減係数」の目安.....16
表 4-1	道路土工における日本の地質分類（岩の分類）.....23
表 4-2	道路土工における作業性を重視した日本の地質分類（土の分類）.....23
表 4-3	重機での作業性と弾性波速度を用いた日本の土工での地質分類の目安.....24
表 4-4	都道府県による砕材自重の取り扱いの違い.....25
表 4-5	関連する技術基準等における記述内容.....26
表 4-6	日本の設計ソフトの概要（2022 年 9 月時点）.....27
表 4-7	欧米の主な設計ソフトが対応する安定解析式（2022 年 9 月時点）.....27
表 4-8	欧米の主な設計ソフトの特徴的な機能（2022 年 9 月時点）.....28

略語表

略語	英文	和文
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials	米国全州道路交通運輸行政官協会
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
ALOS	Advanced Land Observing Satellite	陸域観測技術衛星「だいち」
ASTM	American Society for Testing and Materials	アメリカ材料試験協会
AW3D	Advanced World 3D map	全世界デジタル 3D 地図
B/A	Bank arrangements	銀行取決め
BOQ	Bill of Quantity	数量単価表
BOT	Build, Operate and Transfer	建設、運営、移譲
BS	British Standard	英国規格
CBR	California Bearing Ratio	CBR
Ch.	Chainage	測定長、距離程
C/S	Construction Supervision	施工監理
DB	Design Build	設計施工
DCP	Dynamic Cone Penetration test	動的コーン貫入試験
D/D	Detailed Design	詳細設計
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DGPS	Differential GPS	差分 GPS
DLP	Defect Liability Period	瑕疵担保期間
DNP	Defect Notification Period	瑕疵通知期間
DOD	Draft Outline Design	概略設計案
DoR	Department of Road	道路局
DPRM	Disaster Risk Reduction and Management	災害リスク管理
DSM	Digital Surface Model	数値表層モデル
E/N	Exchange of Note	交換公文
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
EL	Elevation	標高
EOT	Extension of Time	工期延長
EPC	Engineering, Procurement and Construction	設計・調達・建設
EPS	Expanded Poly-Styrene	発砲スチロール
FCB	Foamed Cement Banking	気泡混合盛土
FIDIC	Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils / International Federation of Consulting Engineers	国際コンサルティング・エンジニア連盟
F/S	Feasibility Study	フィジビリティ調査
Fs	Factor of Safety / Safety Factor	安全率
G/A	Grant Agreement	贈与契約
GCC	General Condition of Contract	標準契約約款

略語	英文	和文
GCP	Grand Control Point	地上基準点
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GL	Ground Level	地表面
GNP	Gross National Product	国民総生産
GoJ	Government of Japan	日本国政府
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GSI	Geological Strength Index	GSI法による岩盤評価
H.W.L.	High Water Level	高水位
ICB	International Competitive Bidding	国際競争入札
IEE	Initial Environmental Examination	初期環境調査
In-SAR	SAR Interferometry	干渉 SAR
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JGS	Japanese Geotechnical Society	公益社団法人 地盤工学会
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JIS	Japanese Industrial Standards	日本産業規格
JPY	Japanese Yen	日本円
L/A	Loan Agreement	借款契約
L/A	Land Acquisition	土地取得
LCB	Local Competitive Bidding	国内競争入札
L/D	Liquidated Damage	遅延損害金
LiDAR	Light Detection And Ranging	光による検知と測距
M/D	Minute of Discussion	議事録
MDB	Multilateral Development Bank	国際開発金融機関
MLIT	Ministry of Land Infrastructure, and Transport	国土交通省（日本）
MoRTH	Ministry of Road Transport, and Highway	道路交通省（インド）
MoFA	Ministry of Foreign Affairs	外務省
MVS	Multi-View Stereo	マルチビュー・ステレオ
Mw	Momentum Magnitude	モーメントマグニチュード
NEXCO	Nippon EXpressway COmpany Limited	日本高速道路株式会社
NOC	No Objection Certificate	同意書
OD	Origin Destination	出発地 目的地
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
O&M	Operation and Maintenance	維持管理
PC	Pre-stressed Concrete	プレストレストコンクリート
PFI	Private Finance Initiative	民間資金活用事業
PMU	Project Management Unit	プロジェクト管理チーム
PPP	Public Private Partnership	官民連携

略語	英文	和文
PQ	Pre Qualification	予備審査
PRISM	Pico-satellite for Remote-sensing and Innovative Space Missions	リモートセンシングと革新的な宇宙ミッション用超小型衛星
P/S	Preparatory Survey	準備調査
R/D	Record of Discussion	議事録
RFP	Request for Proposal	業務指示書／企画競争説明書
RMR	Rock Mass Rating	RMR 法による岩盤評価
ROW	Right of Way	道路事業用地
RQD	Rock Quality Designation	RQD（岩石コアの評価指標）
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー
SfM	Structure from Motion	ストラクチャー・フロム・モーション
SMR	Slope Mass Rating	SMR 法による斜面岩盤評価
SOW	Scope of Work	業務範囲
SPT	Standard Penetration Test	標準貫入試験
T/C	Technical Cooperation	技術協力
TOR	Terms of Reference	業務指示書／作業要綱
TS	Technical Specification	技術仕様書
TTB	Telegraphic Transfer Buying	電信買相場
TTS	Telegraphic Transfer Selling	電信売相場
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人航空機
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization	ユネスコ
USD	US Dollar	米ドル
USGS	United States Geological Survey	アメリカ地質調査所
VAT	Value Added Tax	付加価値税
V/O	Variation Order	設計変更
WB	World Bank	世界銀行

第1章 専門用語の解説

1.1 調査・設計に関する主な専門用語

(1) ダブルコアチューブ

ダブルコアチューブとは、二重管方式のコアチューブで、ボーリング時の循環水がボーリングコアに直接触れないように、内側のコアチューブの外側を循環水が流れるようにしたもの。亀裂の多い不均質な地質や軟弱層などのコア採取に適している。

(2) ROW

Right of Way の略で、道路事業用地という意味で用いられ、土地取得範囲としても理解されているが、斜面对策事業は、土地を借用して実施することもあるため、注意が必要である。

(3) ボーリング作業日報:

所定のシートに日毎の使用機械、掘削深度や保孔管の挿入深度、孔内水位、地質名、色調、標準貫入試験結果、コア長、ビット情報（孔径、種類、回転数、荷重）、ポンプ情報（送水量、送水圧、排水量等）記事（特徴）などを記載し、ボーリングの作業状況を詳細に記録するもの。

(4) 掘進水頭図:

調査ボーリング削孔時の孔内水位変化状況を表した図で、試錐日報解析図とよぶこともある。ボーリングの作業前水位と作業後の水位の経時的な変化は、地下水の賦存状況を把握する重要な情報となる。

(5) 作業前・作業後水位:

作業前水位と作業後の水位の経時的な変化は、地下水の賦存状況を把握する重要な情報となる。試錐日報解析図などとして整理して、有圧地下水や透水層、漏水層などの地下水の賦存状況等を解析することができる。

(6) LiDAR:

LiDAR とは Light Detection And Ranging（光による検知と測距）の略称で、レーザ光や可視光、紫外線を使って対象物に光を照射し、その反射光を光センサでとらえ距離を測定するリモートセンシングである。航空機やドローンに LiDAR の装置を掲載して詳細な地形情報を得るためにも利用されている。電波を用いる同種の装置はレーダー（radar）としてよく知られている。

(7) 災害シナリオ:

災害シナリオとは、その場所の荒廃状況や亀裂等の地表変状、地形・地質条件、気象条件、地震動によって起こる可能性のある災害の種類と規模等を想定することである。斜面災害については、豪雨、強風、地震、人為的な土工など誘因毎に起こりうる災害の種類を推定し、誘因毎に想定される災害の大まかな規模や発生範囲を予想する必要がある。

(8) スレーキング

「スレーキング」とは堆積岩類が乾燥と湿潤を繰り返した結果、短期間で細粒化（土砂化）する現象である。新第三系の泥岩や凝灰岩などに多い。切土直後は新鮮な岩であってもスレーキングによって土砂化し斜面崩壊が発生することがある。スレーキング特性を調べるには、岩のスレー

キング試験（JGS2124）等がある。スレーキング現象もしくは類似の岩の細片化現象は、ヨーロッパアルプスやイタリアのアペニン山地、ブータンやインドなどのヒマラヤ山脈でも発生している。

(9) リフトオフ試験

「リフトオフ試験」は既設アンカーの残存引張力を調べるための繰り返し引張試験である。

(10) Early Warning System (EWS)

日本語では「早期警戒システム」であるが、一般には豪雨災害のみでなく地震、津波、弾道ミサイルなどのような対象毎に存在する。斜面災害に関する Early Warning System は、ODA や国連の事業などの海外事業において、高密度な雨量観測情報システムやレーダー雨量情報システムが整備されていない国で道路などのインフラの災害のソフト対策として導入する雨量計とデータ管理システムを指すことが多い。日本の道路管理においては「気象情報システム」や「道路情報提供システム」などとして整備されており、雨量以外に風向風速や地震情報、渋滞情報などが提供される。

1.2 施工に関する主な専門用語

(1) ロータリーパーカッションボーリングマシン

回転力と打撃力を併用して掘削する方式のボーリング用の掘削機械。アンカー打設にも利用される。

二重管式ロータリーパーカッションボーリングマシンは、掘削とケーシング挿入を同時に行うもので、ケーシングによる孔壁の崩壊防止機能が特徴である。アンカー工、ロックボルト工、及び排水横ボーリング工は、材料の挿入やグラウト注入前に孔壁の崩壊防止を図る必要があり、二重管式ロータリーパーカッションボーリングマシンは、我が国の斜面災害対策技術の施工では重要な役割を占めている。

(2) ダウンザホールハンマ工法

コンプレッサーからのエアでハンマーピストンを往復運動させ、ハンマービットで地盤を打撃することにより岩盤を掘削する工法

(3) 丁張

盛土切土などを行う際に用いる目安。一般的に等間隔に配置した木杭とそれに水平あるいは斜めに打ち付けた板で構成される。英語では Slope Stake と呼ばれることが多い。

(4) 安全帯

高所作業において作業者の墜落や転落などの労働災害を防止するための保護具。通常、人の墜落を阻止するためのベルト（=帯）と命綱（ロープ等）の組み合わせ。

(5) ノズルマン/ガンマン

ノズルマンはモルタルやコンクリートを吹き付けするホースの先端を持つ作業員。ガンマンは吹き付ける材料を圧送するための特殊な機械（吹付機械）を操作するオペレーター。

(6) スライム

ボーリング掘削中に発生する削りカス。排出しないと孔内試験やアンカーなどの構築を適切に行えない。

(7) ワーカビリティ

生コンクリートの施工（運搬、打込み、締固め、仕上げなど）のしやすさ。粘性、流動性、材料分離に対する抵抗性などが影響する。

(8) スランプ

硬化前のコンクリートの軟らかさの指標。上の内径 10cm、下の内径 20cm、高さ 30cm の鋼製中空のコーンにつめたコンクリートが、コーンを引き抜いた後に最初の高さからどのくらい下がる（スランプする）かを示す。

(9) レイタンス

コンクリート打設後にセメントや砂が原因で表面に薄膜状に生じる泥状の物質。ブリーディングに伴い、内部の微細な粒子が浮上してコンクリート表面に形成される。

(10) ガビオン

石詰め籠の総称で日本では「じゃかご」と呼ばれる。仮設土留めとして広く利用されている。

1.3 海外事業における斜面災害に関連する専門用語

海外事業における斜面災害に関連する専門用語の一部を取り上げ、以下に解説する。ただし、海外工事契約に関連する専門用語は取り扱わない。海外工事契約に関連する専門用語は、JICA 無償資金協力事業の標準契約約款、或いは FIDIC MDB 版を参照されたい。

(1) Landslide

日本における「地すべり」という用語は、降雨による地下水位上昇などを誘因として、緩斜面が緩慢に或いは中程度の速度で繰り返して滑動する現象を指す。一方、英語での Landslide は、それが使われる国や地域によって受け取られる意味は異なるが、日本語における「地すべり」が差す現象だけでなく、斜面崩壊や落石も含んでいる場合が多い。また、土石流も Landslide として表現される場合もある。Landslide という英単語が持つ幅の広さの一例として、アメリカ地質調査所の Landslide Handbook¹ の定義を以下に引用する。

For our purposes, landslide is a general term used to describe the downslope movement of soil, rock, and organic materials under the effects of gravity and also the landform that results from such movement

欧米で、そして欧米で教育や研修を受けた途上国のエンジニアにとって広く受け入れられているのは、図 1-1 に示す Varnes の Landslide 分類である。

¹ The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides, Page 4
<https://pubs.usgs.gov/circ/1325/>

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		Rock fall	Debris fall Scree Debris cone	Earth fall Colluvium Debris cone
		Rock topple	Debris topple Debris cone	Earth topple Cracks Debris cone
	Rotational	Single rotational slide (slump) Failure surface	Multiple rotational slide Crown Scarp Head Scarp Minor Scarp Failure surface Toe	Successive rotational slides
SLIDES	Translational (Planar)	Rock slide	Debris slide	Earth slide
		Spreads Cap rock Clay shale Thinning of beds Plane of decollement Competent substratum	Earth spread Normal sub-horizontal structure Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planed off by erosion) e.g. cambering and valley bulging	
FLOWS		Solifluction flows (Periglacial debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
	COMPLEX	e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

BGS © NERC

図 1-1 Varnes による Landslide の分類

(British Geological Survey より引用)

Varnes の分類は、ODA 事業に関わる本邦技術者にとっても、素養として理解しておきたい分類である。

(2) Marl

欧州や地中海地域に分布する問題地質であり、我が国では泥灰岩と呼ばれる。泥岩と石灰岩の中間にあたり、炭酸塩鉱物を 35-65%含むもの。固結していないものは、泥灰土と呼ばれる。英語で Marl と表記する場合は、必ずしも泥灰岩を意味せず、泥灰土も Marl と呼ばれることがある。

Marl には顕著な膨潤性を示すケースがあり、しばしば工学的な問題を引き起こす。また、応力開放や曝気により細片化する傾向も認められており、本邦における凝灰岩や泥岩などに認められるのと同様の工学的な問題を生じる可能性がある。

本研究で訪れたアルプス地域において、山体崩壊や地すべりなどが問題となる地域では、Marl が分布していた。

(3) Black Cotton Soil

インドやアフリカなど、基盤岩に玄武岩トラップが分布する地域で認められる問題地質であり、顕著な膨潤と乾燥収縮を特徴とする。玄武岩起源の二次堆積物であり、黒色を呈する。乾燥した状態では、亀甲状の収縮亀裂を発生する。二次堆積物であることから、分布は谷部に限られるため、切土斜面の安定上は、大きな問題とならないが、道路の基礎地盤としては問題が多い。この点に関しては「JICA 無償資金協力事業道路舗装ハンドブック（2020）」に詳しい。

(4) Local Geology

Marl や Black Cotton Soil の他に、世界にはその地域に特有の問題地質が分布する。この点は、グリーンタフや片岩などを抱える我が国も同様である。ヒマラヤ地域では、Phylite という変成岩の分布域には、斜面崩壊が頻発する傾向にある。Phylite には応力開放や曝気により細片化する傾向があるものが認められている。また、長石を多く含む片麻岩では、長石の風化に伴う粘土化により、急激に強度を低下させ、地すべりの素因となるものもある。

これらの地域に特有の問題地質に関しては、現地の地質学者・地質技術者が詳しいので、自然条件調査に際しては、現地の地質学者・地質技術者、或いは道路管理者にヒアリングを行うと、有益な情報を得ることができる。

道路管理者は、崩壊箇所を良く知っており、そこに分布する問題地質の名前を知っていることも期待される。道路管理者と共に問題が頻発する箇所を巡り、経験を積んだ斜面技術者が崩壊頻発地に分布する地質状況を観察することができれば、問題地質の存在に気付くはずである。

(5) RMR 法、GSI 法

RMR 法：

Bieniawski (1974)によりまとめられた岩盤強度の推定方法。日本のボーリング柱状図でも表示する RQD に加え、一軸圧縮強度、亀裂間隔、亀裂の状態、亀裂の方向、地下水状況を加味して点数評価するもの。RMR 法は類似の岩盤分類法とまとめて、ASTM D 5878 にまとめられている。

GSI 法：

RMR 法は比較的良質な岩盤に適用可能だが、RMR 値が低い不良岩盤や、RMR 値が算出できない著しく破碎された岩盤などを評価するために、Hoek(1998)が提唱した手法。岩盤の状態に依じた分類指標として Geological Strength Index (GSI)が提唱された。(土木学会：岩盤力学委員会ウェブページより)

(6) Soil Nailing

ボーリングマシンなどで斜面などに削孔し、鋼棒とグラウトを注入し、斜面を補強する工法。グラウンドアンカー工とは異なり、プレストレスを掛けない。ロックボルトと同じく、補強効果を鋼棒とグラウト及びグラウトと地山の摩擦抵抗に期待するものであるが、補強鋼材の挿入長は長く、20mを越えるものもある。また、ロックボルトと同様に、自穿孔タイプの補強鋼材もある。

英国基準（BS）による設計施工法²が、途上国ではしばしば利用されている。

(7) Brake System

高エネルギー吸収型の落石防護柵を構成する要素となる。落石を受け止めるスチールやケーブルのネットと、地山にネットを固定するアンカー体の間に位置し、落石のエネルギーを吸収する部材となる。本研究の視察において、リング状にケーブルを束ねたもの、アルミ柱の引張抵抗を利用するもの、ステンレス鋼棒や鋼板の曲げ抵抗を利用するものなどが認められた。

(8) Attenuator

落石対策工の一種。覆式落石防止網に類似の構造だが、網の上端は上方斜面からの落石をトラップする構造となっている。上端のトラップから捉えた落石は、スチール/ケーブルネットと崖面の間を滑り降りるが、その間にネットと崖面から受ける抵抗でその落石エネルギーを失う。落石エネルギーを失った落石は、安全に落石ポケットに誘導される。

Attenuatorは「減衰器」という意味。

(9) Bio Engineering / Soil Bio Engineering（HB 第一部、8.6 節の再掲）

バイオエンジニアリングは、斜面表層の安定に資する植物の持つ機能を、より積極的に利用しようとする技術である。本邦における植生工は、主として表層の保護と保持を植生に期待するのに対し、バイオエンジニアリングでは、捕捉(catch)、保護(armour)、補強(reinforce)、固定(anchor)、保持(support)、排水(drain)の6種類の機能を期待し、それらを積極的に活用できるように植生を配置するものである。一部の途上国においても普及しつつあり、ネパールでは、英国の援助機関 DFID が作成したバイオエンジニアリングのマニュアルが、道路斜面で活用されている。

欧州三か国においては、国や地方自治体による程度の差異はあるものの、バイオエンジニアリングの普及が認められた。

特に、バイオエンジニアリングを積極的に行っているのは、イタリアアルプスを抱える北西イタリアのピエモンテ州、ロンバルディア州、及び北東イタリアのトレント自治県（南チロル地方）である。さらに、スイスでも表層崩壊対策として認知されている。

イタリアの上記の州においては、植生を用いたバイオエンジニアリングは「成長する」対策工として認識されており、施工後は劣化する一方の構造物対策とは対照的なものとして認識されている。

しかし、バイオエンジニアリングは斜面表層の深さ 1~2m 程度までを保護する効果しかなく、表層崩壊対策の域を出ない。しかし、スイスでは、95%の斜面崩壊が表層崩壊であるという観点から、構造物による対策よりも安価なバイオエンジニアリングで表層崩壊を抑制することにより、より大きな崩壊に発展することを防ぐことができる、としている。

バイオエンジニアリングの注意点として、それぞれの国土や地域に適合した植物種を選定する必要があることに加えて、崩壊した斜面を徐々に補強してゆく過程において、時期ごとに異なる植物種を適用する必要があるという点がある。これらの植物種は、プロジェクトサイト以外の種

² BS EN 14490: Execution of special geotechnical works — Soil nailing

苗育成地において生育したものを利用する前提である。また、効果発現まで5年程度の期間が必要であり、工期の限られたプロジェクトでは採用しにくいという点にも注意が必要となる。

さらに、バイオエンジニアリングによる対策は、ある程度の失敗、つまり対策を施したにも関わらず崩壊の発生を許容するものであるという点にも注意が必要となる。構造物対策の様に、対策を施せば崩壊の発生が防げる、という視点に立つものではなく、ある程度抑止される程度という認識となる。

バイオエンジニアリングはしばしば構造物対策と組合せて設計・施工されるが、その効果発現タイミングが異なることから、この組み合わせは有効な手段と目されている。構造物対策は、施工直後から抑止・抑制効果を発現するが、適切なメンテナンスが必要であり、メンテナンスを行わない限り、効果は徐々に低下してゆく。一方、バイオエンジニアリングは特定の植物種が成長した後に、或いは、当初繁茂した植物種から長期間にわたって抑止・抑制に効果を発揮する植物種に遷移し成長した後に、効果が発現する。

ただし、バイオエンジニアリングもメンテナンスが必要となる。これは、抑止・抑制効果を発現する植物種の育成を促進する、或いは過剰に繁茂した植生を伐採するなどの作業となる。

植生を積極的に利用することから、適切に管理される限りにおいて、バイオエンジニアリングは景観上の優位性を持つ。



谷側の丸太井桁による盛土構築



斜面崩壊対策

図 1-2 バイオエンジニアリングの施工状況

(JICA 調査団作成)

無償資金協力事業では、斜面对策工は確実な斜面崩壊抑止の機能発現が求められており、この点において、バイオエンジニアリングの無償資金協力事業への活用は、難しいと言わざるを得ない。また、種苗の育成からサイトへの定着に5年程度の期間が必要となる点も、プロジェクトの実施期限が限られた無償資金協力事業には不向きである。

しかし、現地で調達可能な材料を使い、現地の労働力を活用でき、かつ安価なバイオエンジニアリングは、途上国政府の独自事業や円借款事業において、今後の拡大が期待される手法であるとも言える。

(10) Coir Mat / Jute Mat

Coir mat はヤシの実の繊維を編んだマット。Jute mat はジュート繊維のマット。どちらも、植生を斜面に定着させる際の基材として利用されているほか、上記のバイオエンジニアリングでは、木で作った水路のライニングにも用いられていた。

斜面緑化のための coir mat や jute mat は、植生の種子や肥料を塗布したものを斜面に展張し、併せて浸食防止の機能も期待するものが多い。

出典：

USGS(2008): The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides, By Lynn M. Highland, United States Geological Survey, and Peter Bobrowsky, Geological Survey of Canada

BGS: How does BGS classify landslides?

http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

土木学会：岩盤力学委員会

<http://www.rock-jsce.org/>

Bieniawski,Z.T. : Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling, Proc, 3rd Int, Cong. Rock Mech., Vol.2, Part A, pp27-32, 1974

Hoek, E. : Reliability of the Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.Vol. 35, No. 1, 63-68, 1998

第2章 日本と海外の技術基準の比較

ここでは、欧米（フランス、スイス、イタリア、米国カリフォルニア州）や開発途上国（スリランカ、ネパール、エチオピア、インドネシア、フィリピン、ホンジュラス、ブータン）と日本の公的なマニュアルや技術基準等の主な違いをまとめた。

2.1 調査に関する技術基準等の比較

道路の斜面对策に関する調査の主な項目の記載内容について、日本と欧米と開発途上国を比較した。

表 2-1 調査に関する技術基準等の日本と海外の違い

(JICA 調査団)

項目	日本	欧米	開発途上国
地形図・地質図の活用	道路開発における地形判読や地質図の着目点などが道路土工要綱等（日本道路協会，2009a，2009b）等に詳述されている。	Landslide と地形・地質の関係や地質図の作成方法を詳述しているマニュアル類はあるが、道路開発における既存の地形図や地質図の活用方法について詳述されているものは確認されていない。	地形図や地質図の活用については、公的なマニュアル類に記載されていることが多いが、日本のように地形判読や地質図の着目点が詳述されているものは少ない。
空中写真判読	道路開発における空中写真判読に関する着目点などが、道路土工要綱等（日本道路協会，2009a，2009b）に詳述されている。	空中写真を利用した地すべり地形の判読に関するガイドラインが整備されている国もあるが、必要な調査の一つとして掲載しているのみの場合や公的基準類に空中写真判読に関する記述がない国もある。また、道路特有の着目点などに関する記述もない。地すべりの調査・対策に関する世界的に著名な TRB(1996)は空中写真を利用した地すべり地形の判読に関する記述が充実している。	空中写真判読に言及しているマニュアル類は少ない。リモートセンシングの活用などがマニュアル類に記載されている場合があるものの、日本のような判読の着目点などを詳述したものは少ない。
調査ボーリング／コアサンプリング	道路開発における調査ボーリングやサンプリングなどの各種地盤調査の要点や実施間隔の目安、切土箇所の横断面での配置などが道路土工要綱等（日本道路協会，2009a，2009b）に掲載されている。	必要な調査のリストの中にある国はあるが、道路開発における要点や配置に関して記述されている技術基準等は確認されていない。	ボーリング調査やコアサンプリングの目的や必要性については、公的なマニュアル類に記載されていることが多いが、実施間隔などの記述がない国が多い。一部の国では道路の切土箇所の横断面での配置が記載されている場合もある。
土質試験／原位置試験	道路開発時に必要な室内試験や原位置試験の要点が道路土工要綱等（日本道路協会，2009a，2009b）に掲載されている。	必要な調査のリストの中にある国はあるが、道路開発における要点等について記述されている技術基準等は確認されていない。	必要な土質試験や原位置試験の種類が道路関係の公的なマニュアル類に記載されていることが多い。

出典：

日本道路協会（2009a）：道路土工要綱

日本道路協会（2009b）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

TRB(1996):Landslides - Investigation and mitigation, Transportation Reserch Board, special report 247.

2.2 設計に関する技術基準等の比較

道路の斜面对策の設計に関する主な項目の記載内容について、日本と欧米と開発途上国を比較した。

表 2-2 設計に関する技術基準等の日本と海外の違い

(JICA 調査団)

項目	日本	欧米	開発途上国
標準切土勾配	日本独自の地山分類に応じた標準切土勾配が道路土工指針等(日本道路協会,2009,北陸地方整備局,2020)に掲載されている。	日本のような標準切土勾配を記述した技術基準等はない。すべての切土のり面で。技術者が個別に安定度評価をすることを前提にしている。	ほとんどの国で道路開発での標準切土勾配を設けている。一部の国では1種類のみの場合もある。また、一部の国ではすべての切土のり面で安定度評価を実施することを前提に標準的な勾配を定めていない場合がある。
安定解析式の指定	道路土工一切土工・斜面安定工指針(日本道路協会,2009)は地すべり対策で利用可能な安定解析式の種類を複数示しているが安定計算の基本的な考え方の項で指定されているのは修正 Fellenius 式である。斜面崩壊対策では、アンカー工の効果算定式として修正 Fellenius 式のみが示されている。	米国では設計ソフトや一般的に利用されている複数の安定解析式を公的なマニュアル類で明示している。欧州では安定解析式を指定した公的基準類は確認されていないが、様々な解析式が利用されている。	JICA 事業で整備された技術マニュアルで安定解析式の選択フローが示されていることがあるが、国独自の技術基準類では確認されていない。
のり面緑化工や排水工(基本的なのり面保護工)	道路土工指針(日本道路協会,2009)にのり面緑化工法の種類や選定方法が詳述され、のり面排水工の設計・施工についても詳述されている。	欧州ではバイオエンジニアリングのガイドラインを整備して植生を利用した斜面防災対策を推奨している国や地域もある。	斜面对策工の一覧表の中などに概要が説明されている場合があるが、技術基準類に記載がない国も多い。 一部の国では欧州主導でバイオエンジニアリングマニュアルが整備されている。JICA 業務で整備された技術マニュアルではのり面緑化工の種類と適用を紹介し、のり面排水工の機能と配置について詳述されている。
計画安全率の指定	道路土工指針には地すべり対策と盛土の場合の計画安全率が掲載されているが、斜面崩壊対策や切土工については明示されていない。	米国では自治体毎に斜面の計画安全率が指定されている。欧州では計画安全率を指定した公的な基準類を確認していない。(個別に設定する)。	公的な基準類に計画安全率を明記している国が多い。斜面の安定解析を実施しない国では計画安全率を設定していない。
対策工の設計方法	道路土工指針や落石対策便覧、急傾斜地崩壊防止工事技術指針に各種対策の設計方法の要点が詳述されている。	斜面对策工の概要等に関する記載があり、設計方法も示されている。欧州共通の基準である Eurocode7 Geotechnical design に設計方法の基本が示されており、限界状態設計法が導入されている。米国でも限界状態設計法が一般的となっている。	技術基準類に対策工の種類や概要を示している国はいくつか確認できているが、設計方法について示している国は確認できていない。JICA 業務で整備された道路関係の技術マニュアルでも計画論までの記載である。

出典：

日本道路協会（2009）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

日本道路協会（2010）：道路土工－盛土工指針

日本道路協会（2017）：落石対策便覧

北陸地方整備局（2020）：設計要領－道路編

全国治水砂防協会（2019）：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止工事技術指針

2.3 施工に関する技術基準等の比較

道路の斜面对策の施工に関する主な項目の記載内容について、日本と欧米と開発途上国を比較した。

表 2-3 施工に関する技術基準等の日本と海外の違い

(JICA 調査団)

項目	日本	欧米	開発途上国
施工監理	施工監理を発注者が行う体制であることから、都道府県や国など、発注者側の工事監督要領や受注者側の施工管理に関する公的な実施要領やマニュアル類が整備されている。	施工監理はコンサルタントが実施する体制の国が多い。米国では連邦高規格道路の施工管理に関するマニュアルが整備されている。	施工監理はコンサルタントが実施する体制の国が多く、施工監理に関する技術基準類は整備されていない。
出来形管理	最終的な工事検査を発注者が行う体制であることから、都道府県や国など、発注者側の工事検査要領や受注者側の出来形管理に関する公的な実施要領やマニュアル類が整備されている。	出来形管理はコンサルタントが実施する体制の国が多く、出来形管理に関する技術基準類は確認されていない。	出来形管理はコンサルタントが実施する体制の国が多く、出来形管理に関する技術基準類は整備されていない。
品質管理	最終的な工事検査を発注者が行う体制であることから、都道府県や国など、発注者側の工事検査要領や受注者側の品質管理に関する公的な実施要領やマニュアル類が整備されている。	欧州の工種毎の品質管理の規定や米国の ASSHTO の品質管理の規格が利用されている。	一部の国では省令で指定する社斜面对策工の技術仕様書の中で品質管理に関する記述がある場合がある。ASSHTO の品質管理の規格を採用している国もあるが。

2.4 製品に関する技術基準等の比較

道路の斜面对策の製品に関する主な項目の記載内容について、日本と欧米と開発途上国を比較した。

表 2-4 製品に関する技術基準等の日本と海外の違い

(JICA 調査団)

項目	日本	欧米	開発途上国
斜面对策工の製品	アンカー工や落石対策工など、対策工としての製品が存在するものについては、主に建設技術審査証明事業(JIACIC)で認定された対策工が利用されている。国土交通省の新技术提供システム(NETIS)に登録された対策工も利用される。	ASTM や BS などを始めとして、各国で基準を持つが、EU では、EU 規格が決められ、加盟各国の基準は欧州規格に沿った細則により、国ごとに最適化している。	道路の斜面对策を積極的に導入している国では省令でアンカー工やソイルネイルの技術仕様を明記し、それが間接的な製品の指定となっている。それ以外の国では製品の指定は無い。
斜面对策工に利用する資材	汎用的な資材を斜面对策工に利用する場合は JIS 規格及び市販の月刊誌「建設物価」に掲載された資材が利用される。	同上	道路の斜面对策を積極的に導入している国では省令でアンカー工やソイルネイルに用いる資材の技術仕様を明記している国がある。それ以外の国では資材の指定は無い。
斜面对策工の製品の技術仕様書	建設技術審査証明事業(JIACIC)で認定された製品や国土交通省の新技术提供システム(NETIS)に登録された製品は、その中で技術仕様が明確化されている。	一般的な構造物は共通仕様書で規定している。サプライヤーが主導で開発された工法では、サプライヤーが技術仕様書案を提供している。	道路の斜面对策を積極的に導入している国では省令として、斜面对策工の技術仕様を規定する場合がある。

第3章 日本の斜面对策工の設計計算と照査のポイント

概略設計と詳細設計の両方を考慮して、設計計算と照査のポイントを整理した。この章は参考資料利用者の便宜のために作成したものであり、設計法、施工法についての留意点をすべて網羅したものではなく、指針類をオーバーライドするものでもない。実際の設計施工にあたっては、工種ごとの指針類、製品仕様書等を確認することが必要である。

3.1 吹付けのり枠工

(a) 法面展開図の妥当性の検証

法面展開図は法枠に使用する資材の数量を知るためにも、施工時の図面としても大変重要である。その妥当性を以下の方法で検証する。

- ①法面展開図作成に使用した平面図、縦断図、横断図（道路事業での縦断と横断）が現況地形と整合しているかを確認する。
- ②横断図上で基準点からの距離と標高差から斜長（法長）を計算し、法面展開図での当該横断面位置での法長との整合性を調べる。
- ③各横梁の位置における横梁の長さの合計と標高から、平面図での当該標高での等高線の長さとの整合性を調べる。
- ④法面展開図と平面図の整合性について違和感がないかをチェックする。

なお、法面展開図は、どこを中心に展開するか、或いは斜長の取り方で個人差がでることから、法面の中心から展開することが望ましい。また、のり枠工は実施工時に法面の形状がある程度変わること、吹付枠工の割り付けを施工業者がやり直すことが通例となっているため、設計時の法面展開図と施工後の法面展開図の整合性については問題としない。

(b) 設計計算における法枠自重等の取り扱いの検証

斜面安定計算を行う場合、枠重量、中詰材重量を見込んでいるかを確認する。特にアンカー工や鉄筋挿入工などの抑止工を併用する場合に法枠自重等を考慮しない事例があるが、「急傾斜地崩壊防止工事技術指針（全国治水砂防協会,2019）」及び「地山補強土工法設計施工マニュアル（地盤工学会，2011）」では法枠自重を考慮することが明記されている。

(c) 鉄筋の最小かぶりの照査

鉄筋のかぶりは、のり枠工の品質を長期的に維持するために重要な項目である。モルタルの基準強度に応じた計算式（全国特定法面保護協会,2013）を利用した値以上に設定されているかを照査する必要がある。また、腐食性環境では計算式で算出される最小かぶりよりも大きなかぶりを設定するか、エポキシ塗装やメッキ加工などの防錆処理を実施した鉄筋を用いるかのどちらが採用されているかの検証も必要である。

(d) 主鉄筋の照査

例えば、枠サイズが 300mm の場合に、D13 を使用する場合と D16 を利用する場合がある。設計計算書と標準図が整合しているかを確認する。また、指定された鉄筋の仕様（基準強度を含む）が当該国で入手可能であるかの確認も必要である。

(e) 抑止工を併用する場合の杵サイズの照査

抑止工を併用する場合は杵の交点に挿入用の穴を確保する必要がある。そのため、例えば、アンカー工を併用する場合は400mm以上の杵サイズが必要となる。

(f) 仮設方法の照査

どのような仮設方法を前提としているかを確認し、施工の可能性を評価する。

出典：

全国特定法面保護協会(2013)：のり杵工の設計・施工指針

全国治水砂防協会（2019）：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止工事技術指針

地盤工学会（2011）：地山補強土工法設計施工マニュアル

3.2 アンカー工

(a) アンカー工設置方向での定着地盤の分布推定の根拠

個々の箇所のアンカーの掘削長は、定着地盤の3次元的な分布の推定結果を元に設定される。その定着地盤の分布の妥当性を詳細調査の結果から検証する必要がある。

(b) アンカー配置の適正

以下の点からアンカー配置の適正を照査する。

- ①施工段数は2段以上であるか。1段配置の場合は千鳥配置を採用しているか。
- ②各段のアンカー本数が同一か。段毎のアンカー本数が異なる場合は、その理由と設計・施工上の留意点が記載されているか。
- ③孤立しているアンカーや施工段がないか（アンカー工は少なくとも2～3段を1セットとして面的に配置する必要がある）。
- ④法杵工に施工する場合は、法杵の端部での施工は受圧面積の不足を招くことため避ける必要がある。

(c) 自由長とアンカー体長の照査

定着荷重の管理やアンカーとしての機能を発揮するために、自由長は4m以上が必要である。また、一般的な周面摩擦型のアンカーはアンカー体長を3m以上で、10m以下にする必要がある。アンカー体長が10m程度となる場合は長期の安定性に懸念があることから、削孔径を大きくするなどの対応で7m以下となるようにすることが望ましい。

(d) 定着地盤の適性の検証

以下のような地盤はアンカー工の定着地盤として不向きである。

- ①N値が極端に小さく（10未満）、周面摩擦力が期待できない地盤。この場合は拡孔支圧型の採用を検討する。
- ②開口亀裂や空隙が多く、グラウトの大量流出が懸念される地盤。この場合はシームレスパッカー併用で対応を検討する。
- ③強風化の凝灰岩などで、ストレス導入後のクリープ変形が大きくなる地盤。
- ④砂礫地盤等で、地下水の自噴や逸水により、グラウトが流出する恐れがある地盤。

⑤pH4.0以下になると腐食が激しくなる。H2.0未満の強酸性地盤では一般的なアンカー工は適用不能となる。

(e) 周面摩擦抵抗の妥当性の検証

道路土工指針（日本道路協会）に掲載された一般値は、重機等での土工の施工性により分類した地山分類に応じた日本での経験値であり、かつ、1つの地山分類での値の範囲が大きい。そのままでは海外で適用できない。日本と同様に、原則は、対象地での引抜き試験を実施して周面摩擦抵抗を設定する必要がある。

(f) 定着地盤からの土かぶりの検証

各施工段のアンカー体について、アンカーの定着層となる良質な地盤の土かぶりが、1m以上あることを確認する。

(g) 乗り越えすべりの検証

最上段のアンカーの受圧板（特にその中心のアンカープレート）位置を起点とした乗り越えすべりが発生する危険性がある。その乗り越えすべりの安全性を検証しているかを確認する。

(h) 打設間隔や打設角度の経済比較の検証

同じ斜面安定効果を得るためのアンカー工でも、打設間隔や打設角度、及びアンカー材の種類によって費用が異なる。これらを変化させた場合の施工費用を比較しているかを確認する。

(i) 法枠工併用の場合の検証

法枠工を支承構造物とする場合は以下の検証が必要である。

- ①設計計算における法枠自重等の取り扱いの検証（3.1節（b）を参照）。
- ②法枠の端部での施工は受圧面積の不足を招くため避ける必要がある。

(j) 仮設方法の照査

どのような仮設方法を採用しているかを確認し、施工の可能性を評価する。

出典：

日本道路協会（2009）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

3.3 地山補強土工（鉄筋挿入工）

(a) 定着地盤の分布と鉄筋長の算定根拠

個々の箇所の鉄筋長は、定着地盤の3次元的な分布の推定結果を元に設定される。その定着地盤の分布の妥当性を詳細調査の結果から検証する必要がある。

(b) のり面工低減係数 μ の妥当性の検証

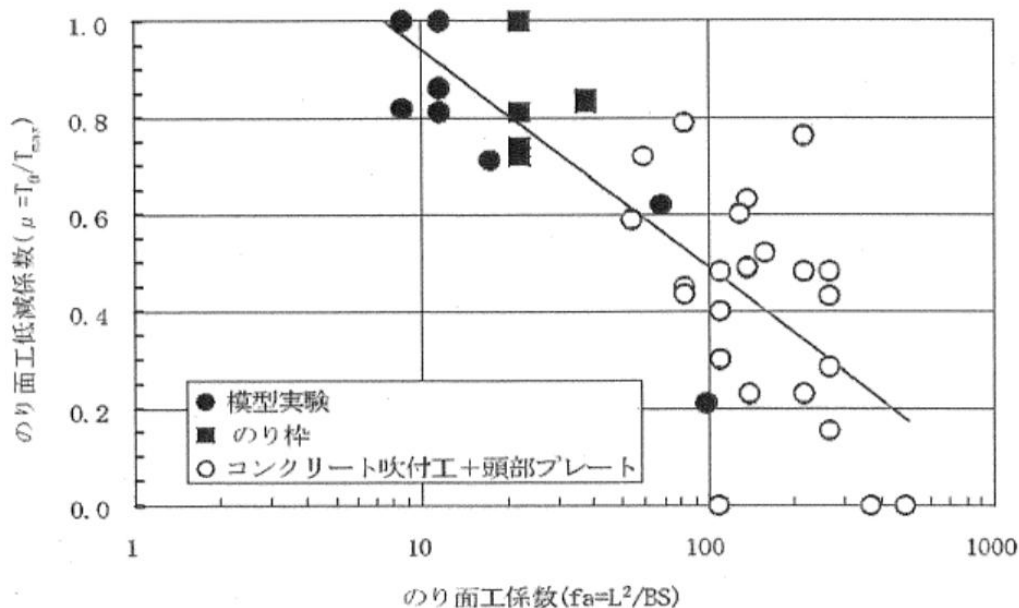
設計時ののり面低減係数は鉄筋挿入工の効果に直接的に影響する重要なパラメータであるため、その妥当性を以下の図表から検証する。表3-1は一般的なのり面工低減係数の範囲であるが、設計抑止力が大きい場合は、図3-1によりのり面工低減係数を検証する必要がある。また、コンクリート吹付工に鉄筋挿入工を併用する場合は頭部プレートのおおきさでのり面工低減係数が

異なることに注意が必要である。なお、この「のり面工低減係数」は日本独自の考え方である。米国のソイルネイルにも類似の考え方があるが、係数の算定方法が異なる。欧州では確認できていない。

表 3-1 主な のり面保護工の「のり面工低減係数」の目安

(NEXCO,2007)

のり面保護工のタイプ	μ	備考
植生工のり面	0	
コンクリート吹付工	0.2~0.6	
のり枠工	0.7~1.0	
擁壁類	1.0	連続した板タイプのり面工



L:補強材長さ、S:補強材平均打設間隔($S_v \cdot S_h$)^{1/2}、B:補強材1本あたりの有効のり面工幅($A^{1/2}$)、 T_0 :のり面工に作用する補強材引張力、 T_{max} :最大補強材引張力、 S_v 、 S_h :補強材の縦方向と横方向の打設間隔、A:補強材1本あたりののり面工の受圧面積
注)コンクリート吹付工の場合、Bは頭部プレートの幅とする。

(NEXCO,2007)

図 3-1 のり面工係数 f_a とのり面工低減係数 μ の関係

(c) 周面摩擦抵抗の妥当性の検証

日本で一般的に利用されている値 (NEXCO,2007) は、重機等での土工の施工性により分類した地山分類に応じたアンカー工の周面摩擦抵抗を参考にして、地山分類に対する周面摩擦抵抗の取り得る範囲の下限値の8割の値を採用した参考値である。アンカー工の周面摩擦抵抗が同一の地山分類、例えば、軟岩に対して下限値と上限値が示されているのは、同じ軟岩でも強度にバラツキがあるためである。強度のバラツキを無視し「下限値の8割の値」に限定したことに地盤工学的な根拠はないため、対象地盤の真の値との誤差により過大設計となる危険性がある。日本と同様に、原則は、対象地での引抜き試験を実施して周面摩擦抵抗を設定する必要がある。

(d) 鉄筋挿入工施工後の最小安全率のすべりの検証

鉄筋挿入工は対象斜面に面的に配置し、対象斜面のどこでも計画安全率を満足する必要がある。鉄筋挿入工施工後の最小安全率のすべりの安全率 F が計画安全率 F_p を上回っているかの検証が実施されているかを照査する必要がある。

(e) 法枠工併用の場合の検証

法枠工を支承構造物とする場合は以下の検証が必要である。

①設計計算における法枠自重等の取り扱いの検証（3.1節（b）を参照）。

(f) 仮設方法の検証

どのよう仮設方法を採用しているかを確認し、施工の可能性を評価する。

出典：

NEXCO(2007)：切土補強土工法設計・施工要領

3.4 落石対策工（共通）

(a) 調査結果と設計条件の整合性

調査では対象斜面の転石や不安定岩塊の個々の諸元（大きさ、斜面傾斜角等）を調査するが、一部の落石対策工は個別の転石等の諸元を用いて設計を行うことから、設計の対象となる転石等の諸元と設計条件が一致しているかを確認する。

(b) 落石の跳躍高の妥当性

落石の跳躍高は標準値（2m以下）で良いか、落石シミュレーションが必要となる地形条件（斜面上部緩い、斜面下部が急で斜面上部からの落石が大きく跳躍する等）でないかの確認と、設計でのそれらの取り扱いの妥当性を検証する。

(c) 落石の運動エネルギーに用いた設計パラメータの妥当性

採用した等価摩擦係数や落下高さ（最大値 40m）が適正であるかを確認する。

(d) 支柱等の設置位置の地盤条件に対応した技術仕様の妥当性

ロープや支柱固定用アンカーの種類や長さは、現況地盤を踏まえて決定しているかを確認する。また、設置位置の地盤をどのように想定しているか、その想定 of 妥当性も検証する必要がある。

(e) 設計計算書と図面の整合性の確認

多くの落石対策工はさまざまな部材によって構成される。柵高などの対策工のサイズや部材の規格等が設計計算書と図面で整合性がとれているかを確認する。

3.5 落石防護柵工(通常型)

(a) 柵高の妥当性

柵高は想定した落石跳躍高を踏まえて決定しているかを確認する。

(b) 採用する製品の規格の妥当性

対象となる落石エネルギーを吸収できる規格かを確認する。豪雪地の場合は耐雪型であるかも確認する。

(c) 基礎工の設計方法の確認

基礎工は常時と落石時で検討しているかを確認する（擁壁基礎の場合は地震時も検討が必要）。

(d) 基礎地盤条件の妥当性

重力式擁壁などを併用する場合は、支持地盤の土質強度パラメータや単位体積重量、斜面傾斜角等の設計パラメータとして利用する地盤条件の妥当性を検証する。

(e) 基礎工の施工性の確認

以下のことについて確認する必要がある。

- ①基礎工に使用するコンクリートの打設が可能か。
- ②基礎工の型枠設置時に必要な余掘（0.4～0.5m）を確保しているか。
- ③基礎工の根入れは十分か。深さ 0.5m，水平土被り 1m 程度を目安とする。

(f) 計算断面(設計断面)と端部断面の整合性

落石防護柵工は道路の縦断方向の延長が長くなる場合がある。設計計算に利用した設計断面と端部の断面で地形が大きく異なる場合は、設計断面での設計結果の妥当性を検証する必要がある。

3.6 落石防護柵工(高エネルギー吸収型)

(a) 設置位置の地盤の安定性の確認

高エネルギー吸収型の落石防護柵工は斜面の中腹に設置されることも多い。設置位置が斜面崩壊の危険性の高い地盤であれば設置位置として不適切である。

(b) 計画方針の妥当性

高エネルギー吸収型であっても吸収可能な落石運動エネルギーは製品毎に制限がある。対象とする大きな転石等が除石や発生源対策で対応できないかを検討した上で、高エネルギー吸収型の落石防護柵工が最適であるとしたことの妥当性を確認する必要がある。

(c) 計画位置と柵高の妥当性

落石シミュレーションが必要な地形（3.4節(b)参照）の場合は、計画位置や柵高がその結果に対応したものであるかを確認する。

(d) 落石運動エネルギーに対応した規格であるかの確認

設計計算書と図面を確認し、落石防護柵工の規格が、想定した落石運動エネルギーに対応しているかを確認する。

(e) 落石の拡散範囲を想定した柵延長の妥当性

落石便覧（日本道路協会,2017）では、落石発生源からの落石経路の広がりには最大で45°程度であるとしている。落石防護柵の延長が、対象とする全ての転石の落石時の平面的な広がり（±45°）を考慮しているかを確認する。

(f) 柵延長での設置位置の標高差の検証

斜面の中腹に設置することも多いため、標高差が大きいと特殊な部材が必要となる。また、凹凸による隙間処理が必要となる場合もある。柵延長での設置位置がほぼ同標高で、かつ、凹凸が少ないことを確認する。

(g) 施工条件の確認

斜面の中腹に設置する場合は以下の施工条件を確認する必要がある。

- ①仮設工及び仮設計画は適切か。
- ②削孔機械等の運搬方法（クレーン、モノレール等）。
- ③仮設工の足場幅は使用機械に準じているか。

(h) 維持管理に必要な部材の整理

高エネルギー吸収型の落石防護柵工は、大きな落石を受け止めた後に交換の必要がある部材が特定されており、製品毎に異なる。採用した製品についての交換部品が整理されているかを確認する。

出典：

日本道路協会（2017）：落石対策便覧

3.7 覆式落石防護網工

(a) 縦横のロープの規格と間隔の確認

覆式落石防護網工で最も重要な部材であることから、設計計算書と図面の整合性を確認する。

(b) 設計条件の妥当性の確認

以下の設計条件について妥当性を確認する。

- ①設計計算で金網の自重は考慮しているか。
- ②地山と落石の摩擦係数は適正か（通常は0.5）。
- ③縦横のロープの破断荷重に関する安全率は適性か（安全率は2.0）。

(c) 面積計算や展開図の妥当性

設計に用いた平面図や断面図が現地地形と整合しているかを確認した後、各断面での斜長（法長）を計算し、面積計算や展開図との整合性を確認する。

(d) 施工条件の確認

以下の施工条件を確認する必要がある。

- ①仮設工及び仮設計画は適切か。
- ②資材や削孔機械の運搬方法（クレーン、簡易ケーブルクレーン、モノレール等）。

3.8 ポケット式落石防護網工

(a) 計画位置の地形条件の確認

計画位置がポケット式を適用可能な地形条件（遷急線位置）となっているか確認する。

(b) 設置位置の地盤の安定性の確認

ポケット式の場合、頭部のポケット支柱やパイプアンカー位置で斜面崩壊により、機能を喪失する可能性がある。それらの設置位置が斜面崩壊の危険性の高い地盤であれば設置位置として不適切である。

(c) 縦横のロープの規格と間隔の確認

重要な部材であることから、設計計算書と図面の整合性を確認する。

(d) 部材の規格の整合性の確認

以下の部材について設計計算書と図面の整合性を確認する。

- ①縦横ロープの径と間隔。
- ②横ロープ長，支柱高，吊りロープの長さ。
- ③支柱の断面積

(e) 施工範囲と原地形との整合性の確認

設計に用いた平面図や断面図が現地地形と整合しているかを確認した後、各断面でのロープ長を計算し、ロープ長さやネット面積が対象となる範囲を網羅しているかを確認する。

(f) 落石の拡散範囲を想定した網の延長(施工範囲)の妥当性

落石便覧（日本道路協会,2017）では、落石発生源からの落石経路の広がりには最大で45°程度であるとしている。落石防護網の延長（施工範囲）が、対象とする全ての転石の落石時の平面的な広がり（±45°）を考慮しているかを確認する。

(g) 施工条件の確認

以下の施工条件を確認する必要がある。

- ①仮設工及び仮設計画は適切か。
- ②資材や削孔機械の運搬方法（クレーン、簡易ケーブルクレーン、モノレール等）。

出典：

日本道路協会（2017）：落石対策便覧

第4章 日本の調査・設計手法の特徴－その背景と設計思想

4.1 道路土工における斜面对策の基本的な考え方－調査から維持管理までの思想

ここでは日本の道路土工指針やその上位基準である道路土工構造物技術基準に記載されている道路の斜面对策に関連する基本的な考え方の中から、見過ごされがちだと思われる重要な考え方、かつ、無償資金協力事業においても重要であると思われる内容をまとめた³。

(a) 大きな不確実性に対する段階的な対応

道路土工構造物は、計画及び設計の前提となる条件の設定に対して実際の現場において生じる不確実性が大きいという特徴を有している。そのため、道路土工構造物の性能を確保するためには、調査、設計及び施工において段階的に不確実性を低減していくことが重要である。道路土工構造物の基礎地盤を例としてみると、調査の段階でボーリング等の調査を密に実施することにはおのずと限界があり、ある程度の不確実性を残さざるを得ない。一方、施工の段階で掘削等による基礎地盤が露出することで事前の調査では把握できなかった事象の分布や基礎地盤の実態をより明確に把握することができ、必要に応じて設計や施工方法を変更することで、不確実性を低減することができる。また、施工が終了して供用を開始した時点でもすべての不確実性を解消することは困難であることから、供用中の適切な点検、補修等を通じて性能を維持しつつ、段階的に不確実性を低減していくことが重要である（道路土工構造物技術基準・同解説（日本道路協会,2017），P.16）。

(b) 経験に基づく工学的判断の適用とその限界

道路土工構造物の安定性を調査や試験、工学的計算の結果に基づいて定量的に評価し得る度合いは高くなく、既往の実績・経験等に照らして総合的に判断しなければならないことが多いため、土工構造物の設計では経験的技術が重要視されている。例えば、盛土や切土の標準のり面勾配はその一例であり、所定の適用限界のもとで、かつ適切な排水工の配置と適切な施工等を前提に、我が国の自然環境のもとで交通に大きな支障となる被害が避けられる基準をこれまでの実績に照らして設定したものである。このような経験的技術の適用はこれまで通り可能であるが、適用限界を超えた高い盛土、大きな切土、近接して重要な諸施設がある場合等では、必要に応じて各種の解析や情報化施工等の適用を検討する（道路土工要綱（日本道路協会,2009a），P.14）。

(c) 道路土工構造物の相互補完

道路土工構造物は、想定される一つの災害発生源に対して擁壁、吹付け、グラウンドアンカー等の複数の道路土工構造物を配置し機能を組み合わせることによって、道路の安全性を確保するといった特徴を有している（道路土工構造物技術基準・同解説（日本道路協会,2017），P.17）。

(d) 災害誘因等の不確実性への対応

道路土工構造物に作用すると想定される事象は多くの不確実性を含んでいることから、いかなる条件においても道路土工構造物のみで安全かつ円滑な交通の確保を達成しようとすることは現実的ではない。例えば、降雨の作用のうち局所的大雨等に対しては適切な道路通行規制を実施す

³ 基準、指針類は、斜面に関する砂防その他の専門分野の知見を活用し、道路管理における経験も加味して作成されている。したがって、基準、指針類に記載されている設計の考え方については他分野の指針類も理解していることが強く望まれる。

ることで安全を確保することを前提としたうえで、道路土工構造物の設計において考慮する降雨の作用を設定することも必要となる（道路土工構造物技術基準・同解説（日本道路協会,2017），P.17）。

(e) 施工中の斜面災害への配慮

いかに綿密な調査、計画及び設計を行っても、施工中に予測し得ない状況が生じて道路土工構造物が崩壊するといった事態にならないとは限らない。したがって、設計及び施工にあたっては、道路土工構造物に崩壊等が発生しても、これによる影響を抑制するような設計上の配慮と施工上の対策を検討しておくことが重要である（道路土工構造物技術基準・同解説（日本道路協会,2017），P.17）。

出典：

日本道路協会（2017）：道路土工構造物技術基準・同解説

日本道路協会（2009a）：道路土工要綱

日本道路協会（2009b）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

4.2 調査種の相互補完

自然斜面の地盤は、地質構造や地質分布が複雑なことが多く、破碎や風化によって土木工学的な地盤構造が更に複雑となっている。加えて地下水文的な条件も複雑であることが多い。地盤の調査には物理探査や物理検層、調査ボーリング、地中動態観測などさまざまな調査種があるが、1つの調査種で3次元的な異方性も含めて地盤の情報を正確に把握することは困難である。また、1つの調査種には、測定誤差や調査・測定の限界もある。よって、地盤の調査に当たっては、複数の調査種の結果を相互補完して、より正確に地盤の情報を入手することが重要である。

4.3 日本の標準切土勾配における地山分類の考え方

日本の道路土工における地質分類は土工の作業性を重視した日本独自の分類であり、日本の標準切土勾配を当該国に適用する場合は、この地質分類の手法を理解し、現地の地質との類似性を考慮する必要がある。以下に日本での岩と土の分類の考え方を示す。

表 4-1 道路土工における日本の地質分類（岩の分類）

（「北陸地方整備局（2020）：設計要領―道路編」より抜粋、一部加筆）

名 称			作業性と地質の状態	摘 要
A	B	C		
岩塊 玉石	岩塊 玉石		岩塊、玉石が混入して掘削しにくく、バケット等に空けきのでき易いもの。岩塊、玉石は粒径 7.5 cm以上とし、まるみのあるものを玉石とする。	玉石まじり土、岩塊、 破碎された岩、ごろ ごろした河床
軟岩	軟岩	I	第三紀の岩石で固結の程度が弱いもの。風化がはなはだしくきわめてもろいもの。指先で離しうる程度のものでクラック間の間隔は 1~5 cmくらいのもので、及び第三紀の岩石で固結の程度が良好なもの。 風化が相当進み多少変色を伴い軽い打撃で容易に割れるもの。離れ易いもので、き裂間隔は 5~10 cm程度のもので	弾性波速度 700 ~2,800 m/s
		II	凝灰質でかたく固結しているもの。風化は目にそって相当進んでいるもの。 き裂間隔が 10~30 cm程度で軽い打撃により離しうる程度。異質の岩がかたい互層をなしているもので層面を楽に離しうるもの。	
硬岩	中硬岩		石灰岩、多孔質安山岩のように特にち密でなくても相当のかたさを有するもの。風化の程度があまり進んでないもの。硬い岩石で、間隔が 30~50 cm程度のき裂を有するもの。	弾性波速度 2,000 ~4,000 m/s
	硬岩	I	花こう岩、結晶片岩等で全く変化していないもの。き裂間隔が1m内外で相当密着しているもの。かたい良好な石材を取りえるようなもの。	弾性波速度 3,000 m/s 以上
		II	けい岩、角岩など石英質に富む岩質で最もかたいもの。風化していない新鮮な状態のもの。き裂が少なくよく密着しているもの。	

表 4-2 道路土工における作業性を重視した日本の地質分類（土の分類）

（「日本道路協会（2009a）：道路土工要綱」p.85 及び「日本道路協会（1986）：道路土工―土質調査指針」p.295 より抜粋、一部加筆）

名 称	土工の作業性	対象の地質	摘 要
礫混り土	礫の混入があつて掘削時の能率が低下するもの	礫の多い砂、礫の多い砂質土、礫の多い粘性土	礫{G}、砂礫{GS}、細粒分まじり礫{GF}
砂	バケット等に山盛り形状になりにくいもの	海岸砂丘の砂、まさ土	砂{S}
砂質土 (普通土)	掘削が容易で、バケット等に山盛り形状にし易く空けきの少ないもの	砂質土、まさ土、粒度分布の良い砂	砂{S}、礫質砂{SG}、細粒分まじり砂{SF}、シルト{M}
粘性土	バケット等に付着し易く空けきの多い状態になり易いもの、トラフィカビリティが問題となり易いもの	粘性土、条件の良い火山灰質粘性土(ローム)	シルト{M}、粘土{C}、 火山灰質粘性土{V}
高含水粘性土	バケット等に付着し易く特にトラフィカビリティが悪いもの	条件の悪い粘性土	シルト{M}、粘土{C}、火山灰質粘性土{V}、有機質土{O}
(有機質土)			有機質土{Pt}

表 4-3 重機での作業性と弾性波速度を用いた日本の土工での地質分類の目安

（「日本道路協会（1986）：道路土工－土質調査指針」の記述より JICA 調査団が作成）

地質分類	重機での作業性	弾性波速度
土砂	・ブルドーザ(21t 級)の排土板で直接掘削できるもの	700 m/s 程度以下
軟岩	・ブルドーザ(32t 級)のリッパによって掘削できるもの。	2.0 km/s 程度以下
硬岩	・ブルドーザ(32t 級)のリッパ作業が容易でなく、爆破によらなければ掘削できない程度の硬さのもの。	2.0 km/s 程度以上

出典：

北陸地方整備局（2020）：設計要領－道路編

日本道路協会（1986）：道路土工－土質調査指針

日本道路協会（2009a）：道路土工要綱

日本道路協会（2009b）：道路土工－切土工・斜面安定工指針

4.4 不統一な抑止工の必要抑止力算定方法の背景

欧米の学術的な文献等でも採用されているアンカー工の効果算定式は以下のようになる。

$$F_p = \frac{\sum S + R_s}{\sum T - R_T}$$

ここに、 F_p : 計画安全率、 $\sum S, \sum T$: 安定解析式の分子項と分母項、 R_s : 抑止工によるせん断強度に関する量の増分(スカラー値)、 R_T : 抑止工による滑動力の減少量(ベクトル値)

地すべり鋼管杭の効果も杭の曲げ反発による R_T の効果と鋼材のせん断強度による R_s の効果に分けると同様の効果算定式が導かれる（ただし、どちらか一方を考慮するのが一般的）。

日本ではアンカー工における R_s を締め付け効果、 R_T を引き止め効果と表現するが、この表現は日本オリジナルの表現で、欧米ではこの表現は使用されない。この算定式は、日本では地すべり対策に関する技術基準のいくつか（日本治山治水協会（2013）、日本道路協会（2009）の地すべり対策の章）で採用されているものの、日本の公的な技術基準書の多くではアンカー工の効果算定式を以下のように引き止め効果 R_T を分子に加算する方法が主流となっている。

$$F_p = \frac{\sum S + R_s + R_T}{\sum T}$$

河川砂防技術基準－設計編の平成 9 年版（建設省河川局,1997）の改訂に関する解説書には、「抑止工の効果は力学的には分母から引く方法が正しいが、安全側をみて分子に加算する方法を採用した」という主旨の説明がなされていた。しかし、この方法は「抑止工はすべりに対する抵抗力を増加させる工法」という概念論から生まれた算定式であり、地すべり等防止工が施行された昭和の時代から日本では広く定着していた。昭和の後期に力学的な正確性を主張する研究者等から「抑止工はすべりの滑動力を低減させる工法である」という冒頭の式が提案されたため、古い概念論に基づく算定方法は「安全側の設計」という論調に置き換わった。その後も、古くからの概念論を優先するグループと力学的な正しさを優先するグループに分かれ、地すべりの所管（建設省、林野庁、農村振興局）毎に取り扱いが分かれる結果となった。力学的正しさを優先する立場から見た場合、この算定方法(二つ目の式)を用いることで必要抑止力が 5～15%程度大きくなり、

必要な対策工数量が 5～15%程度増加する過大設計（overdesign）となる。よって、事業量がその分過大となる。

日本では鉄筋挿入工の効果もアンカー工と同様に鉄筋挿入工の「補強材の設計引張力」による締め付け効果 R_S と引き止め効果 R_T としてアンカー工と同様に考えられている。地盤工学会(2013)では鉄筋挿入工の効果は冒頭の式が力学的に正しいが、実務では2つめの式が採用されることが多いと説明されているように、日本では鉄筋挿入工の効果アンカー工と同様に力（荷重）による補強効果だとする考え方が主流である。一方、欧米では鉄筋挿入工を、プレテンションを与えない Passive anchor に区分し、補強材の強度による補強効果だという考え方がある。Rocscience社の設計ソフト Slide2 はその考え方に基づいており、結果として日本の主流と同じ効果算定式を採用している。

出典：

建設省河川局（1997）：改定新版 建設省河川砂防技術基準（案）設計編Ⅱ，山海堂

日本治山治水協会（2013）：治山技術基準解説（地すべり防止編）

榎田充哉(2012)：斜面防災分野の学術論文に蔓延する不思議な数学，日本地すべり学会誌，Vol.49，No.3，pp.106-108.

NEXCO(2007)：切土補強土工法設計・施工要領

日本道路協会（2009）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

地盤工学会（2013）：地山補強土工法設計・施工マニュアル，171p.

4.5 抑止工に関連する設計手法の不統一への対応

アンカー工や鉄筋挿入工を併用する場合の法枠工の設計方法は、日本の都道府県毎に微妙に異なる。表 4-4 はその一部であるが、設計時の枠材自重の取り扱いが都道府県によって異なることを示している。表 4-5 は枠材自重の取り扱いに関する公的な基準書の記述内容であるが、斜面安定解析においては枠材自重を考慮することが明記されており、これに統一することが望ましい。

表 4-4 都道府県による枠材自重の取り扱いの違い

(榎田,2021)

No.	枠材自重の取り扱い	主な理由の例
1	のり枠工の自重は原則的に考慮しない。	アンカーとのり枠は一体的な構造物として、すべり面を抑止する方向の力で評価しているため、のり枠の鉛直方向のみ荷重を考慮する必要はない。鉄筋挿入工も同様。
2	全ての抑止工で、のり枠工の自重を考慮する。	急傾斜地崩壊防止工事技術指針(全国治水砂防協会)や地山補強土工法設計施工マニュアル(地盤工学会)に準拠。
3	アンカー工併用の場合は考慮しないが、鉄筋挿入工の場合は自重を考慮する。	アンカー工の場合は、のり枠工に圧縮力が作用しているため自重を考慮しない。鉄筋挿入工の場合は、のり枠工に圧縮力が作用していないため自重を考慮する。
4	地すべり対策の場合は割合が小さいので自重を考慮しない。崩壊対策の場合は割合が大きいので考慮する。	移動土塊全体の自重に対するのり枠の自重の割合を考慮する。

表 4-5 関連する技術基準等における記述内容

(榎田,2021)

併用抑止工	技術基準等	記述内容
グラウンドアンカー工	新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止技術指針(全国治水砂防協会, 1982, 2003, 2019)	グラウンドアンカー工の設計における安定解析の説明の中で以下の記述がある。 「 ΔW :各スライスの土塊重量+構造物の自重」
鉄筋挿入工	地山補強土工法設計施工マニュアル(地盤工学会,2011)	「解説表-52 設計に考慮する荷重の種類例」の表の中の「永久荷重(死荷重)」の項目に「土・表面材の自重」と明記されている。
グラウンドアンカー工, 鉄筋挿入工	のり枠工の設計・施工指針(改訂版)(全国特定法面保護協会, 2013)	抑止工併用時の自重取扱いに関する記載なし。
グラウンドアンカー工, 鉄筋挿入工	フリーフレーム工法設計・施工の手引き(フリーフレーム協会, 2003)	抑止工併用時の自重取扱いに関する記載なし。

その他に、安全率最小のすべりと抑止力最大のすべりに対して、現状安全率を調整する手順や施工後の最小安全率すべりの検証の手順も統一されていない(榎田,2021)。現状安全率 F_s ($F_s=1.0$) に対して土質強度パラメータを調整するのは安全率最小のすべりに対してのみ実施することが望ましい。抑止力最大のすべりに対して現状安全率 F_s ($F_s=1.0$) による土質強度パラメータの調整を行うと過大設計となり不適切である。また、抑止工施工後の最小安全率についての検証は必須であり、その最小安全率が計画安全率以上であることを確認する必要がある。

アンカー工の場所打ち受圧板の設計方法も統一されていない(榎田,2018)。開発途上国でアンカー工を採用する場合、既製品の受圧板ではなく場所打ち受圧板を採用することが増える可能性があるため、「土木研究センター(2004):グラウンドアンカー受圧板設計・試験マニュアル」や「榎田充哉(2018):アンカー工 RC 受圧板の設計方法の統一について」を参照して、設計方法を統一することが望ましい。

出典:

榎田充哉(2021):抑止工を併用した吹付のり枠工の設計手法の課題と対応－設計手法の統一に向けて,日本地すべり学会誌,Vol.58, No.5,pp.225-230.

榎田充哉(2018):アンカー工 RC 受圧板の設計方法の統一について,日本地すべり学会誌, Vol.55, No.3, pp.26-29.

全国治水砂防協会(2019):新・斜面崩壊防止工事の設計と実例－急傾斜地崩壊防止技術指針 本編, 327p.

全国特定法面保護協会(2013):のり枠工の設計・施工指針(改訂版第3版), 99p.

地盤工学会(2011):地山補強土工法設計施工マニュアル,171p.

地盤工学会(2012):グラウンドアンカー設計・施工基準-同解説,224p.

フリーフレーム協会(2008):新版フリーフレーム工法 性能照査型による限界状態設計例, 101p.

土木研究センター(2004):グラウンドアンカー受圧板設計・試験マニュアル,pp.13-24.

4.6 斜面对策工の設計ソフトの日本と海外の違い

(a) 設計ソフトの機能等の違い

日本の設計ソフトは日本の公的な技術基準に準拠し、抑止工の効果算定式が統一されているのに対し、欧米の設計ソフトはそれぞれが採用している抑止工の効果算定式が異なり、入力パラメータの確率評価への対応、限界状態設計法への対応、有限要素法や個別要素法等の高度な解析手法との連携強化が特徴である（これらは2022年9月時点の状況）。

表 4-6 日本の設計ソフトの概要（2022年9月時点）

(榎田,2022)

対応する安定解析式	抑止工の効果算定式	その他の機能
<ul style="list-style-type: none"> 崩壊対策⁴で必要となる繰り返し円弧すべり計算（最小安全率計算）は主に Fellenius 式、修正 Fellenius 式に対応しており、簡易 Bishop 式には対応しない設計ソフトも存在する。繰り返し円弧すべり計算で簡易 Janbu 式に対応した設計ソフトはほぼ無い。 Morgenstern-Price 法や Spencer 法などに対応した設計ソフトは無い。 	<ul style="list-style-type: none"> 公的な技術基準に準拠した設計式を採用している^{注)}。 採用している効果算定式が技術基準によって異なる。 主な斜面对策の効果算定式を欄外に記述^{注)}。 	<ul style="list-style-type: none"> 公的な技術基準に準拠 繰り返し円弧計算 ニューマーク法（鉄道総研法）に対応 谷埋盛土造成地の安定計算に対応

注) 日本の技術基準ではアンカー工と鉄筋挿入工に同一の効果算定式を採用することが主流である。

$$F_P = \frac{\sum S + R_s + R_T}{\sum T}$$

ここに、S:安定解析式の分子項、T:安定解析式の分母項、R_s:締め付け効果、R_T:引き止め効果

表 4-7 欧米の主な設計ソフトが対応する安定解析式（2022年9月時点）

(榎田,2022)

設計ソフト(販売元、国)	対応する安定解析式
Slide2 (Rocscience 社、カナダ)	Fellenius、簡易 Bishop、簡易 Janbu、Spencer、Corps Engineers#1、Corps Engineers#2、Sarma、Lowe-Karafiath、一般化極限平衡法 (GLE)、Morgenstern-Price
SLOPE/W (Geo-SLOPE 社、カナダ)	Fellenius、簡易 Bishop、簡易 Janbu、Janbu 一般化法、Lowe-Karafiath、Corps Engineers#1、Corps Engineers#2、Sarma、Spencer、Morgenstern-Price、一般化極限平衡法 (GLE)
Slope (GeoStru 社、イタリア)	Fellenius、簡易 Bishop、簡易 Janbu、Bell、Sarma、Spencer、Morgenstern-Price、Zeng e Liang

⁴ 崩壊対策の設計手順に関しては、HB 第一部 4.3 節(b)を参照されたい。

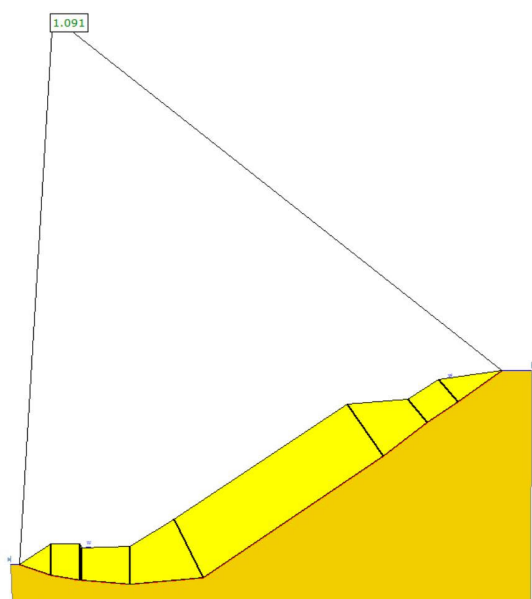


Figure 5.3 – Factor of Safety for Defined Failure Surface in Slide Using Sarma

この3つの設計ソフトに共通な Sarma 法は移動層内の境界線が鉛直線ではないことが特徴である。

図 4-1 Sarma 法での非円弧すべりの安定解析例
(Rocscience 社 HP より, Rocscience,2022)

表 4-8 欧米の主な設計ソフトの特徴的な機能（2022 年 9 月時点）

(榎田,2022)

設計ソフト(販売元、国)	主な特徴
Slide2 (Rocscience 社、カナダ)	<ul style="list-style-type: none"> ①土質パラメータの感度分析が可能。 ②入力パラメータの確率分布による破壊確率やその信頼性指数を算出することができる。 ③地下水位の感度分析や有限要素法の浸透流解析が可能。 ④切土による応力開放による地盤劣化に関する対象領域の安定度評価機能を有する。 ⑤地盤を異方性材料(異方性強度、異方性機能、異方性線形など)として取り扱う機能を有している。 ⑥非円弧すべりの最小すべり検索にも対応している。 ⑦Eurocode7(Geotechnical design)に対応した限界状態設計法が利用できる。
SLOPE/W (Geo-SLOPE 社、カナダ) (注:2022 年 12 月時点では米国 Bentley Systems に移管)	<ul style="list-style-type: none"> ①入力パラメータの不確実性に対応するため、モンテカルロ確率論的解析を行う機能がある。確率論的解析を行うことで、安全率確率分布、信頼性指標、破壊確率を算出可能。 ②有限要素解析の浸透流解析と連携し、間隙水圧条件をインポート可能。 ③静的有限要素法応力解析と連携し、斜面応力をインポート可能。 ④動的有限要素法応力解析と連携:動的荷重や地震荷重を受ける土構造物を QUAKE/W で解析し、計算された応力状態を統合できる。 ⑤ブロック破壊モードの解析にも対応。 ⑥Eurocode7(Geotechnical design)に対応した限界状態設計法が利用できる。
Slope (GeoStru 社、イタリア)	<ul style="list-style-type: none"> ①個別要素法(DEM)に対応 ②Newmark 法に対応(各種地震応答解析ソフトとの連携) ③Eurocode7(Geotechnical design)に対応した限界状態設計法が利用できる。 ④地震動解析機能に対応。 ⑤湛水斜面の安定解析に対応 ⑥非円弧すべりの最小すべり検索にも対応している。

(b) Slide2(Rocscience 社、カナダ)での抑止工効果の考え方

欧米ではアンカー工やボルト、Nailなどを総称して anchor と表現するが、プレストレスを与える「active anchor」とプレストレスを与えない「passive anchor」を区別することが多い。Rocscience社の設計ソフトはそれを明確に区分している。

< active anchor の効果算定式 >

$$F = \frac{\text{resisting force} + T_N \tan \phi}{\text{driving force} - T_S}$$

ここに、 T_N :Anchor の法線力、 T_S :Anchor の接線力

< passive anchor の効果算定式 >

$$F = \frac{\text{resisting force} + T_N \tan \phi + T_S}{\text{driving force}}$$

(c) Slope/W(Geo-Slope 社、カナダ,2022年12月時点では米国 Bentley Systems に移管)での抑止工効果の考え方

Geo-Slope社の設計ソフトは active anchor と passive anchor を明確に区分していない。一般的には Anchor の効果は分母から減算されるとし、Anchor の効果を分子に加算する場合は部分安全率を設定する必要があるとしている。

< 一般的な Anchor の効果算定式 >

$$FS = \frac{\sum \text{resisting forces}}{\sum \text{driving forces} - \sum \text{anchor forces}}$$

< Anchor の効果を分子に加算する場合は部分安全率を設定する >

$$FS = \frac{\sum \text{resisting forces} + \sum \text{anchor forces}}{\sum \text{driving forces}}$$

一般化極限平衡法 (GLE) を用いた場合の Anchor 効果算定式を以下に示すが、打設方向のアンカー力 D を直接使用しており、アンカー工の締め付け効果 (すべり面のせん断強度の $\tan \phi$ に依存する効果) は無視している。

$$F_m = \frac{\sum \{c' \beta R + (N - u\beta) R \tan \phi\}}{\sum W_x - \sum N_f \pm \sum D_d}$$

$$F_f = \frac{\sum \{c' \beta \cos \alpha + (N - u\beta) \tan \phi \cos \alpha\}}{\sum N_s \sin \alpha - \sum D_c \cos \omega}$$

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{(c' \beta \sin \alpha + u\beta \sin \alpha \tan \phi)'}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}}$$

$$X = E\lambda f(x)$$

(d) Slope (GeoStru 社、イタリア)での抑止工効果の考え方

GeoStru 社の設計ソフトでは active anchor と passive anchor を明確に区分している。また、アンカー工の締め付け効果 (すべり面のせん断強度の $\tan \phi$ に依存する効果) は無視している。anchor 効果は分力の考え方 ($R_{ij} \times \cos \alpha$) ではなく、抑止効果の考え方 ($R_{ij} \div \cos \alpha$) を採用していることが特徴である。

<水平方向の Anchor strength の算定式>

$$R_j = T_d \cdot \cos \psi_i \cdot (1/i) \cdot (L_e/L_a)$$

ここに、i: anchor 間隔, ϕ_i : anchor の水平打設角, L_e :有効な anchor 体長, L_a : anchor 体長

< active anchor の効果算定式>

$$FS = R_d / [E_d \cdot \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot (1/\cos \alpha_i)]$$

ここに、 R_d :安定解析式の分子項, E_d :安定解析式の分母項, $R_{i,j}$:i 番目のスライスの j 番目のアンカー力の水平成分

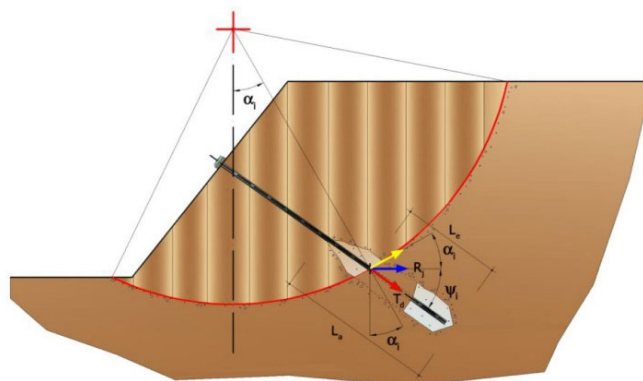


図 4-2 Partially anchored bulb

(GeoStru,2021)

< passive anchor の効果算定式>

$$FS = [R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot (1/\cos \alpha_i)] / E_d$$

出典：

GEO-SLOPE(2015):Stability modeling with SLOPE/W.

GeoStru(2021): Slope stability analysis , <https://www.geostru.eu/blog/2016/06/13/slope-stability-analysis/> Accessed 18 Jun 2021.

Rocscience(2022):HP, <https://www.rocsience.com/help/slide2/overview>, Accessed 4 Oct 2022.

榎田充哉 (2022)：海外と日本の斜面对策工設計ソフトの違い、日本地すべり学会第 61 回研究発表会発表資料.

4.7 参考資料(技術ノート)

本節は、本邦技術に関する理解を深めるための、参考資料として記載したものである。ODAの現場で他の先進国や途上国のエンジニアと対する必要のある技術者に、有益な情報となることを期待する。

＜技術ノート(1):すべり面深度から粘着力cを設定する手法の背景＞

土質強度パラメータの設定において、すべり面深度からすべり面の粘着力 c を設定する手法は国土交通省所管（旧建設省所管）の地すべり対策事業で採用された手法であるが、近年は、急傾斜地等での斜面崩壊対策の設計でもこの手法を利用する不適切な事例が確認されている。JICA 事業で整備された開発途上国の道路の設計基準類にもこの手法がそのまま転載されていることがある。地すべり対策事業ではすべり面粘土の残留強度を主に用いるのに対し、急傾斜地等での斜面崩壊対策では地山のピーク強度を主に用いる。よって、本質的には急傾斜地等での斜面崩壊対策ではこの手法は利用できない。

国土交通省所管の地すべり対策事業でこの手法が利用されるようになった背景を多くの日本の技術者が知らないことも、この手法を斜面崩壊対策で安易に用いることや開発途上国の技術基準に安易に転載する原因の一つであると考えられることから、この手法の背景を説明する。

図 4-3 は建設省土木研究所の吉岡・伊藤（1971）が全国の地すべり対策事業で採用され土質強度パラメータ等をアンケート調査によって調べた結果である。

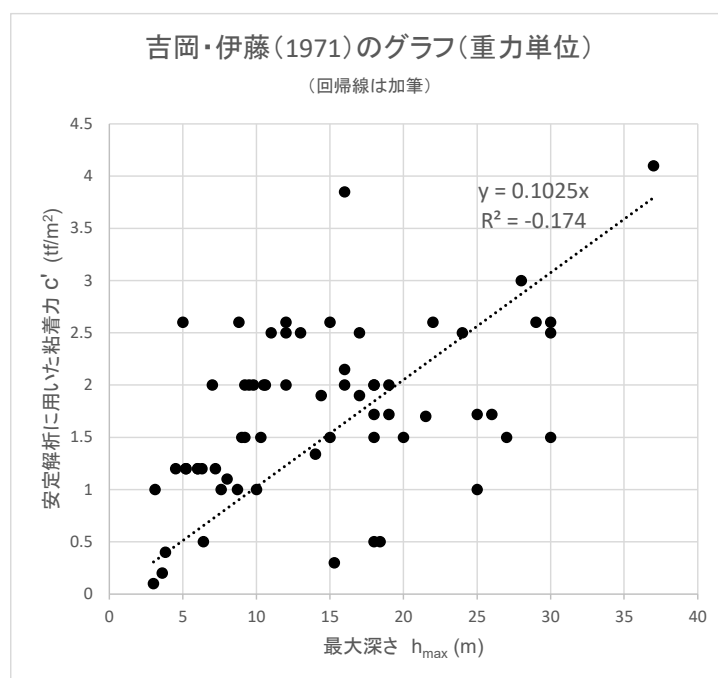
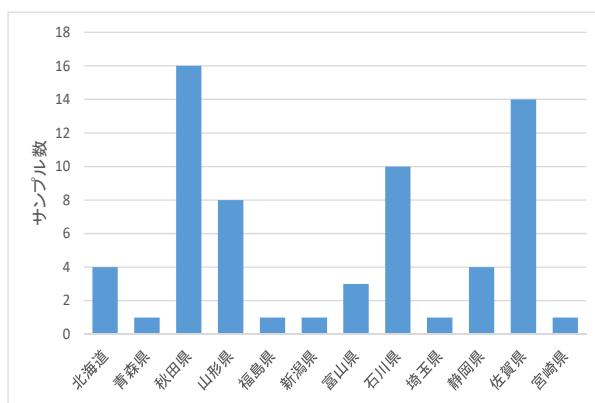


図 4-3 1971 年当時の地すべり対策事業で採用された粘着力とすべり面の最大深さの関係

図中の回帰線は加筆したものであるが、吉岡・伊藤（1971）はこのグラフに関して、すべり面の最大深さ h_{\max} と粘着力 c の関係には顕著な傾向はないと考察している。両者の回帰式の決定係数は $R^2 = -0.174$ であり、相関があるとは言いがたい。また、この粘着力 c は当時の地すべり対策事業で採用された値であり、すべり面粘土の真の粘着力である保証はない。また、図 4-4 に示すよ

うに対象の地すべり地の所在地に偏りがあり、主に秋田県、佐賀県、石川県、山形県の4つの県のデータが利用されている。土木研究所の他の研究者が後年になって、このグラフを見直して、 $c \doteq h_{\max}/10$ の関係を見だし、それを建設省河川砂防基準（案）・計画編（建設省，1976）に採用したことが、2022年現在でも国土交通省系の技術基準書で踏襲されている。しかし、図4-3は1971年当時の建設省所管の地すべり対策事業では、 $c \doteq h_{\max}/10$ の関係にない粘着力が多く採用されていたことを裏付けている。



(榎田,2022)

図4-4 吉岡・伊藤（1971）が用いたデータの地すべり地の所在地

急傾斜地等での斜面崩壊対策における逆解析では、対策工設計で特に重要となる内部摩擦角を先に設定して粘着力を逆算する方法を推奨するが、何らかの理由で粘着力 c を設定して逆算法で内部摩擦角 ϕ を求める必要がある場合は、すべり面深度を用いる手法を採用せず、現位置試験や土質試験結果などから粘着力 c を設定すべきである。関連する技術内容は第1部の4.3節に詳述している。

出典：

吉岡良朗・伊藤和行（1971）：地すべり安定解析に用いる土の強度定数の検討，土木技術資料 13-5, pp.26-29.

榎田充哉（2022）：総合システム web セミナー「斜面安定計算と対策工設計の初心者向けセミナー（応用編）」講義資料.

建設省（1976）：建設省河川砂防技術基準（案）・計画編

<技術ノート(2):日本の斜面对策関連事業での土質強度パラメータ設定方法の変遷>

日本の斜面崩壊対策において重要な安定解析は順解析ではなく逆解析である。現状安全率を技術者が設定して逆解析によって調整した土質強度パラメータを用い、現状安全率からの安全率の相対的な変化を評価して対策工の設計を行う。

一方、日本の斜面崩壊対策において順解析を利用するのは希である。対象斜面が均質な地盤かそれに近い場合は順解析の信頼性もあるが、日本で一般的に認められる複雑な山間地の地盤では、順解析は良い結果を示さない。

日本地すべり学会斜面对策技術国際化委員会の聞き取り調査によると、昭和40年代前後の古い時代は日本の道路斜面对策でも土質試験結果をそのまま用いて安定解析をする順解析で斜面对策を検討していたが、問題が多発したので順解析を利用しない方向となった。道路土工一切土工・

斜面安定工指針（日本道路協会,2009）では、切土工の基本的考え方として個々に安定度を評価するとしているものの、具体的な切土のり面の安定計算の項では安定計算を基本的に実施しないと記述されているのは、このことが影響している。

一方、地すべり対策事業においても上述の吉岡・伊藤（1971）のアンケート調査結果では各地すべり地の土質試験結果と逆算結果が併記されており、昭和46年当時は土質試験を実施した上でその試験結果を参考にして逆算法で土質強度パラメータを決めていたことがわかる。昭和51年に発行された建設省河川砂防基準（案）・計画編（建設省，1976）の「第13章地すべり防止施設計画」にすべり面深度から粘着力を設定する表が掲載されると、利用上の手軽さからこの方法が主流となり、土質試験を実施する習慣が無くなってきた。今では、特に重要な地すべり地やすべり面深度を用いて設定した土質強度パラメータでは地すべりの鎮静化が出来なかった事例などにおいて、すべり面粘土の残留強度を求める試験（すべり面粘土を使った不攪乱すべり面せん断試験やリングせん断試験）を実施し、内部摩擦角 ϕ' を残留強度に設定して、粘着力 c' を逆算する方法が採用されている。関連する技術内容は第1部の4.3節に詳述している。

出典：

吉岡良朗・伊藤和行（1971）：地すべり安定解析に用いる土の強度定数の検討，土木技術資料 13-5，pp.26-29.

日本道路協会（2009）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

建設省（1976）：建設省河川砂防技術基準（案）・計画編

第5章 本邦技術による海外の斜面对策事例

5.1 スリランカでの斜面对策事例

図 5-1 は Kandy から西側に延びる国道 A026 号線沿いにあるポケット式落石防護網工とロープ掛け工である。世界銀行の気候レジリエンス改善プロジェクト (CRIP) で 2014～2016 年の間に施工された。実質的な設計はメーカーである東京製鋼が実施し、施工は日特建設と地元の ELS が担当した。この区間では数十m離れた複数の斜面で各種落石対策工が施行されていた。



図 5-1 世界銀行の CRIP プロジェクトで施工された日本の落石対策工

図 5-2 は JICA 有償案件の国国土砂災害対策事業(LDPP)で対策を行った国道 A07 号線沿いにある Diyagala landslide の鉄筋挿入工併用の吹き付け法砕工（左）とアンカー工（右）である。2017～2020 年の間に施工された。枠内に植生が侵入し、自然な森の状態に移行しつつある。



図 5-2 JICA 有償案件(LDPP)で整備された鉄筋挿入工とアンカー工を併用した法砕工

図 5-3 は同じく JICA 有償案件(LDPP)で対策を行った国道 AB013 号線沿いにある Nawalapitiya landslide のアンカー工と軽量盛土工である。変状も無く健全な状態である。これも施工時期は 2017～2020 年である。



図 5-3 JICA 有償案件(LDPP)で整備されたアンカー工（左）と軽量盛土工（右）

5.2 フィリピンでの斜面对策事例

図 5-4 は JICA 事業の道路・橋梁の建設・維持に係る品質管理向上プロジェクトフェーズ 3(TCP-III)のパイロット事業として 2018 年頃に施工されたポケット式落石防護網工である。2022 年 5 月に確認した時点では、この斜面の上部で発生した幅 10m、長さ 20m 程度の崩壊により頭部の支柱の 1 本が被災し、宙づりになっていたが、本対策工のメーカーである東京製綱の現地技術者の話では補修の計画はないとのことであった。



図 5-4 JICA 事業で整備されたポケット式落石防護網工

図 5-5 は Baguio から西に延びるアスピラス・パリスピス Highway(Route208, 旧マルコス Highway) の沿線のロックシェッドである。1990 年の大地震で被災した旧マルコス Highway の道路復旧事業として JICA 事業の ROSARIO-PUGO-BAGUIO 道路修復事業（1993 年～2001 年）が実施された。図 5-6 は同事業でその隣の斜面に施工された落石防護柵工である。



図 5-5 1993 年から 2001 年に実施された日本の Rosario-Pugo-Baguio 道路修復事業で施工されたロックシェッド



図 5-6 1993 年から 2001 年に実施された日本の Rosario-Pugo-Baguio 道路修復事業で施工された落石防護柵工

5.3 ホンジュラスでの斜面对策事例

図 5-7 は 2018 年からの日本の ODA で施工された国道 6 号線沿いの地すべり対策工(Sta.14.7km)である。アンカー頭部の変状は無く、目視確認では対策工は健全であると推定される。



図 5-7 日本の ODA で実施した国道 6 号線の地すべり対策工(Sta.14.7km)。
排土工，吹付けコンクリート工，アンカー工

図 5-8 は 2019 年の日本の ODA で施工された国道 6 号線沿いの地すべり対策工(Sta.22km)の 2021 年 8 月時点の状況である。この未舗装部に地すべり抑止工として鋼管杭工が施工されている。未舗装地点の地盤表面に変状が見られないこと，舗装部の路面にも変状が見られないことから，鋼管杭工が機能を発揮していると考えられる。図 5-9 に 2019 年の施工時の状況を示す。



図 5-8 日本の ODA で 2019 年に実施した国道 6 号線沿いの地すべり対策の
2021 年 8 月の状況 (Sta.22km)



図 5-9 日本の ODA での 2019 年の鋼管杭工の施工状況

(INSEP 提供)

5.4 ブータンでの斜面对策事例

JICA の中小企業支援スキームによって、プロテックエンジニアリング（株）により実施された斜面对策を、2 か所で確認した。一つは国道一号線におけるマクロネット工法であり、もう一つは国道 5 号線のトンネル北側坑口に設置された落石防護土堤である。



マクロネット工法の看板



マクロネット工法

図 5-10 マクロネット工法（国道 1 号線）



トンネル坑口手前の落石防護土堤



落石防護土堤背後の岩盤斜面

図 5-11 落石防護土堤（国道 5 号線）

図 5-11 に示す落石防護土堤は、ジオテキスタイルを用いた補強土工法により構築されたものである。

また、Design Division and O&M Division と京都大学、日鐵建材(株)によるノンフレーム工法の試験施工サイトも国道 1 号線で確認された。



ノンフレーム工法の試験施工サイト



試験施工の看板

図 5-12 ノンフレーム工法の試験施工サイト（国道 1 号線）

出典：

本章に掲載の写真は、注記ない場合、JICA 調査団によるもの。

第6章 相手国政府・技術者からの想定問答集 Q&A（FAQ）

本章では、ODA の現場においてしばしば遭遇するであろう、相手国政府の職員や技術者から本邦技術による落石、斜面崩壊対策工に対して投げかけられる質問を想定し、回答の一案を提示した。本回答を是とするか否とするかは、各技術者が質問と回答の内容を良く理解の上、それぞれで判断されたい。

6.1 調査・設計に関する想定問答集

(1) Q1:日本では斜面の安定解析式に Fellenius 式や修正 Fellenius 式をよく使っているが、なぜ、Morgenstern-Price 式や Spencer 式などの高度な安定解析式を使わないのか？

A1:Morgenstern-Price 式や Spencer 式などの高度な安定解析式は、移動土塊を剛体と仮定する極限平衡法という解析手法の中で高度な手法であるが、極限平衡法そのものが実際の地盤の性質を計算に都合よく単純化した解析手法であるため、高度な安定解析式であっても斜面の真の安全率を算出することはできない。その意味では Morgenstern-Price 式などの高度な安定解析式と Fellenius 式などの簡易な安定解析式の相違はない。日本の斜面崩壊対策事業では基本的に現状安全率を設定して土質強度パラメータを逆算する逆解析を利用しており、主に斜面对策工による相対的な安全率の変化を評価するために安定解析式を利用している。この方法においては 1960 年代から現在まで日本の斜面对策事業で Fellenius 式や修正 Fellenius 式を一貫して利用続け問題が発生していないという実績が、その有効性を示している。ただし、Fellenius 式や修正 Fellenius 式を順解析で用いる場合は、簡易 Bishop 式や簡易 Janbu 式、Spencer 式などの一般的な安定解析式よりも明らかに小さい安全率を算出する傾向になるため、安定な斜面を不安定と誤判定する可能性がある。

切土を予定している斜面の事前の安定度評価など、すべり面を特定できないために順解析が必要な場合は、より高度な安定解析式が必要であるが、冒頭に述べた極限平衡法の本質的な課題があることから、簡易 Bishop 式や簡易 Janbu 式程度の安定解析式で十分である。

<Q1 に関連する内容は第 1 部の 4.3 節に記述している。>

(2) Q2:安定解析に使う c , ϕ はどうやって決めたらよいか？

A2:切土を予定している斜面の事前の安定度評価を実施する場合は、原位置試験、室内土質試験などの結果を。その他に標準貫入試験やサウンディング試験の試験結果と経験式により土質強度パラメータ (c , ϕ) を推定する方法もある。

逆解析を行う場合は、地下水排除工や抑止工（鉄筋挿入工やアンカー工）の効果推定に大きく影響する ϕ を上記の原位置試験等で求めて、 c を逆算する方法を推奨する。

<Q2 に関連する内容は第 1 部の 4.3 節に記述している。>

(3) Q3:日本ではすべり面深度から粘着力 c を推定する経験的手法が用いられているが、日本のこのパラメータは、日本のデータの蓄積によるものなので、我が国には適応できないのではないかと？我が国には日本のようなデータの蓄積はない。どうしたらよいか？

A3:すべり面深度から粘着力 c を推定する経験的手法は日本の地すべり対策事業で採用されている経験的手法であるが、1971 年当時の日本の地すべり対策事業で採用していた土質強度パラメータを調べた結果を元としている。土質力学的な根拠に乏しい。排土工の効果は粘着力 c の影響を大きく受けるため、土質力学的な根拠の乏しい粘着力 c による排土工の効果の信憑性が低くなる。また、逆算で求めた内部摩擦角 ϕ には極限平衡法の解析上の誤差（地盤を剛体と仮定すると 3 次元の移動土塊を 2 次元で解析することなどによる誤差）が含まれることになり、内部摩擦

角 ϕ の影響を大きく受ける地下水排除工の効果やアンカー工の締め付け効果の信頼性が低くなる。日本の経験値は日本固有のものである点はその通りである。貴国での経験値は、データの蓄積が必要なので、今後の研究を促進されたい。

経験値を使わない手法として、現地で発生している崩壊やすべり面の傾斜角を測定し、それを内部摩擦角 ϕ と仮定し、逆算法で粘着力 c を求める方法がある。

<Q2に関連する内容は第1部の4.3節に記述している。>

(4) Q4:安定解析手法は、なぜ逆解析を使っているのか？順解析の方が良いではないのか？

A4：日本で逆解析が利用されているのは、現地調査の結果から斜面崩壊対策や地すべり対策が必要であることが明確になった場合に限られている。逆解析の場合は、対象斜面の安全率の相対的な変化を対策工効果の指標としており、対象斜面の変動状況から推定した現状安全率を元に土質強度パラメータを逆解析で求め、そこから計画安全率まで安全率を上昇させるために必要な対策工の工種や配置・数量を検討するために安定解析を利用する。

極限平衡法の安定解析式は、移動土塊を剛体と仮定するなど、実際の地盤条件とは異なる仮定条件を複数採用しているため、順解析であれ逆解析であれ、斜面の真の安全率を算出することが困難である。そのため、我が国では安全率の相対的な変化に着目しており、逆解析を用いている。

一方、切土斜面の安全性を事前に評価する場合など、特定のすべり面を指定できない場合には順解析を利用する。

<Q4に関連する内容は第1部の4.3節に記述している。>

(5) Q5:逆解析の場合、すべり面全体を通して、同じ c , ϕ を仮定するが、現実とは異なるのではないのか？すべりの頭部、中央部、端部では、異なる c , ϕ となるのではないのか？

A5：強度特性の異なる複数の地層を想定した安定解析を実施することもできるが、その場合の逆解析は逆解析の対象とする地層を1つに絞る必要がある。さらに対象の地層を変えて逆解析を実施し、そのケースがより危険になるか、などを検証して最適な逆解析結果がどれかを検証する必要がある。

しかし、極限平衡法の安定解析式は、移動土塊を剛体と仮定するなど、実際の地盤条件とは異なる仮定条件を複数採用しているため、斜面の真の安全率を算出することが困難であることから、そのような複雑な検証を行った結果が、移動土塊の地層を均質と仮定した場合の簡単な逆解析よりも優れているという保証はない。特に逆解析を利用して、対策工による安全率の相対的な変化に着目する場合は、地層を詳細に区分することで得られる利点は少ない。

<Q5に関連する内容は第1部の4.3節に記述している。>

(6) Q6:なぜ、現地で採取した試料を使った室内試験の結果を使わないのか？(地すべり地内だが、すべり面とは関係ない部分をサンプリングして、ピーク強度を求めた試験を想定)

A6：斜面の崩壊対策の場合に安定解析で利用するのは対象地盤のピーク強度である。よって、対象地盤の強度を代表する(最も弱い地層の強度)サンプルを使った室内試験は有効である。一方、再滑動型地すべりの場合に安定解析で利用するのは既存のすべり面に存在するすべり面粘土の残留強度である。残留強度を求めるためには、対象地のすべり面の粘土を採取してリングせん断試験などの特殊な室内試験を実施する必要がある。その場合、すべり面の粘土ではない他の地層のサンプルでの試験結果は利用できない。

<Q6に関連する内容は第1部の4.3節に記述している。>

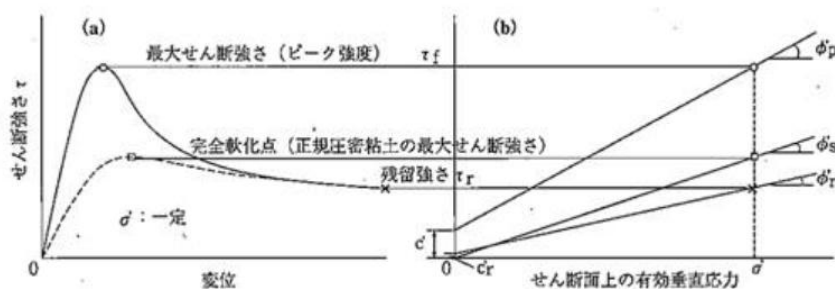


図 6-1 ピーク強度、完全軟化点、残留強さの関係
 (「日本道路協会 (2009)：道路土工一切土工・斜面安定工指針」)

(7) Q7:地すべり対策や斜面对策を行う際、どの契約形態を用いるべきか？

A 7：地すべり対策や斜面对策は、目に見えない地下条件が工事を制約する条件となるので、頻度の多い数量変更が予想される。そのため、数量変更に対応できる契約形態が望ましく、その意味では一括契約方式よりも数量単価方式⁵が状況の変化に対応しやすい。

(8) Q8:事業用地は買収しなければならないか？(仮設道路や仮設備用地を含む)

A 8：多くの場合、斜面对策を行う事業用地は道路管理者の所有地の外となるので、工事期間中の占有が必要となる。しかし、斜面对策や地すべり対策により、道路に隣接する斜面の所有者は利益を蒙る為、工事期間中の無料借用と、メンテナンスの為のアクセス許可を貰う交渉をする事で、事足りると思われる。

また、国によっては、地すべりや崩壊の対策は、土地所有者の責任である場合もあるが、殆どの場合、土地所有者に対策を実施する能力はないので、国や行政機関が代わりに施工を行う事となる。その場合でも、工事期間中の無料借用とメンテナンスのためのアクセス許可を合意する必要があるだろう。

(9) Q9: RocScience 社の Slide2 などでは、入力パラメータの感度分析の機能があるし、すべり面を指定することもできる。これらの機能を使って、逆解析と類似の事が可能だが、Slide2 を使って斜面对策や地すべり対策の設計を行っても良いか？

A 9：適切なパラメータを用いて、適切な安定解析を行う事が必要であり、どの解析手法かに深くこだわる必要はない。但し、アンカー工やソイルネイリングなどの抑止工の効果算定式が市販ソフト毎に異なる点に注意が必要である。これによって設計結果(必要な対策工の数量や配置)がソフト毎に異なる。当然、日本の市販の設計ソフトとも抑止工の効果計算式が異なる。

<Q9に関連する内容は本書の4.7節に記述している。>

(10) Q10:逆解析のソフトはどこから入手できるか？

A 10：Rocscience 社の Slide2 などは、材料パラメータを変化させた場合の感度分析にも対応しており、逆解析と類似の操作が可能である。

⁵ BOQ (Bill of Quantity) 契約、或いは Item Rate 契約と呼ばれることが多い。設計施工 (Design Built) 契約は、コントラクターが設計と施工を行うもので、支払いは一括契約方式 (Lump-sum) となる。この場合、工事数量の変化が支払い金額の変化には直接結びつかない。ただし、V/O が発生した場合はその限りでない。

本邦企業の提供するソフトウェア⁶は、逆解析に対応している。

<Q10に関連する内容は本書の4.7節に記述している。>

(11) Q11: 斜面の安全率や計画安全率の概念は日本と欧米で同じか？

A11：欧米も日本と同じく極限平衡法の安全率を元に斜面の安全率や計画安全率を設定している。順解析による安定解析を基本とする欧米では極限平衡法の安全率を対象斜面や地すべりの安定度を表す指標としている。一方、日本では極限平衡法の安全率が対象斜面や地すべりの安定度を表す指標ではないと断言し、対象斜面や地すべり等の現状の活動状況から技術者が推定した現状安全率に対して、各種対策工による相対的な安全率の変化を評価するための指標と考えている。また、日本での一般的な保全対象での計画安全率 F_p の上限が $F_p=1.2$ であるのに対して、欧米では $F_p=1.5$ とする事例が多い。欧米では対象地盤の土質試験などから土質強度パラメータを設定して安全率を求める（順解析）が、対象地盤中の最も脆弱な箇所からのサンプリングは難しいことから、サンプリングが可能な比較的良質な地盤の土質強度パラメータを使用することとなり、算出される安全率が大きめに評価される危険性がある。そのことと極限平衡法そのものの解析誤差を考慮して大きな計画安全率を設定していると推定できる。

<Q11に関連する内容は第1部の4.3節に記述している。>

出典：

日本道路協会（2009b）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

6.2 施工に関する想定問答集

(1) Q1: 施工には一般の土工では使わない特殊な機械が必要か？なぜその機械を使う必要があるのか？

A1：のり面の造成（のり切り）や植生工の施工だけなら、一般的な重機で対応が可能である。しかし、ロックボルトやソイルネイリングなどの鉄筋挿入工や、グラウンドアンカー工（テンションアンカー工）、さらに排水横ボーリング工は、水平から若干斜め上、若しくは斜め下方向に掘削したボーリング工を用いて材料やグラウトを挿入／注入するため、ボーリングマシンが必要となる。効率よくかつ効果的にボーリングを行うには、ロータリーパーカッションボーリングマシンを利用することが多い。更に、上記の対策工では、材料やグラウトの挿入／注入前にボーリングの孔壁が崩壊してしまうと、対策工が適切に施工できず、またその機能が適切に発揮されないため、ボーリングの孔壁が崩壊しないように適切に保護する必要がある。その目的の為に、我が国では二重管式ロータリーパーカッションボーリングマシンが開発され、殆どの斜面对策工事で利用されている。

<Q1に関連する内容は第2部の5.4節、5.5節および5.10節に記述している。>

Q2 施工には足場仮設が必要なのか？クレーンで機械と人を釣り上げて、ソイルネイリングを掘削する方法をこれまで使ってきたが、これではだめなのか？

A2：機械と人を釣り上げる、或いはワイヤで機械と人を斜面に固定して、適切にソイルネイリングの鉄筋が挿入され、かつグラウトが実施されるなら、その方法でも問題ない。自穿孔型のロックボルトやソイルネイリングは、上記のような工法で施工されることが多く、鉄筋の挿入に

⁶ 代表例として、富士通 Japan 株式会社の COSTANA を挙げる。

<https://www.fujitsu.com/jp/group/fjj/solutions/industry/construction/plan/costana/>

問題はないが、グラウトが適切に注入されるかどうかの問題となる。また、上記のような方法では、足場が確保されないため、安全対策上は、足場を仮設する方法に比べて劣る。

足場仮設の利点は、作業の安全性が確保される事と、重機を設置できることである。(1)で説明した二重管式ロータリーパーカッションボーリングマシンは、足場仮設が必要である。ロックボルトやソイルネイリングは、自穿孔での施工も可能だが、グラウンドアンカー工や排水横ボーリング工では自穿孔による施工は困難であるため、二重管式ロータリーパーカッションボーリングマシンを利用する必要があり、足場仮設が必要となる。

<Q2に関連する内容は第2部の7.3節、7.4節および7.5節に記述している。>

(2) Q3斜面上に資材を運搬する良い方法はないか？

A 3：日本では簡易モノレールや索道を使っている。小型のクローラー運搬も活用されている。一般的には、ウィンチとそりを活用する方法もあるが、索道と同様、安全性には留意が必要である。

予算がある場合は、ヘリコプターによる運搬も考慮される。或いは、軽い材料や建設機材を使う工法を採用して、荷重を減らすことも一考に値する。

<Q3に関連する内容は第2部の7.2節に記述している。>

(3) Q4急傾斜斜面上で安全に重機を使う方法はないか？

A 4：日本では無人エクスカベーターを斜面の上から吊り下げて使っている⁷。

<Q4に関連する内容は第2部の5.2節および7.2節に記述している。>

6.3 維持管理に関する想定問答集

(1) Q1:グラウンドアンカー(アクティブアンカー)工に張力管理が必要であり、水抜きボーリング工に清掃が必要なことは理解した。その他の工種には維持管理は不要なのか？

A 1：基本的にはすべての斜面对策工で維持管理は必要である。例えば、コンクリート吹付工は表面のひび割れや背面の空洞化が発生しやすく、それらを定期的に点検して異常があれば補修・補強が必要となる。法枠工も同様である。落石対策工は、日頃から背面に堆積した土砂や落石を除去する作業が必要となり、ブレーキシステムがある対策工では落石を受けた後の交換が必要となる場合もある。また、落石等によって支柱やワイヤなどの部材の破損が生じた場合は交換が必要である。こういった点検や維持管理を継続的に行えるような体制整備や予算確保、並びに民間企業の育成が課題となる。

<Q1に関連する内容は第2部の9.2節に記述している。>

(2) Q2グラウンドアンカー(アクティブアンカー)工の維持管理は何をすればよいか？必要な機材は？

A 2：グラウンドアンカー工の維持管理で重要な事は頭部の変状の定期的な確認と緊張力の管理である。頭部の変状の確認は目視による近接点検で十分であるが、緊張力の管理には、リフトオフ試験などの特殊な試験が必要となる。リフトオフ試験には荷重の測定装置の他にアンカーを

⁷ 和文のみであるが、参考となるリンクを以下に示す。

<https://www.jice.or.jp/award/detail/211>

<http://www.kumagaigumi-aso.com/mujin.html>

<http://www.kenmukyou.gr.jp/>

再緊張するための特殊な油圧ジャッキなどが必要となる。これらの測定装置や機材は、施工時に合わせて調達することが推奨される。

<Q2に関連する内容は第1部の4.6節と第2部の9.2節に記述している。>

(3) Q3:グラウンドアンカーの維持管理スケジュールは？何年に一度、張力を確認するか？点検頻度は？

A3：グラウンドアンカー工は破断した頭部が飛び出して通行車両や通行人に損傷を与えるなど、第三者影響度の高い対策工であることから、職員等による日常点検（道路からの目視点検）は月に1回程度か半年に1回程度が望ましい。日常点検で異常が確認された場合は、近接点検などの詳細な点検を実施する必要がある。アンカー工は頭部の変状や被災が多い工種であることから、近接点検（アンカーキャップ内部の防錆剤の状況と頭部のアンカー材の状況確認など）は、設置直後は年に1回程度、5年経過以降は最低5年に1回程度実施した方が良い。残留緊張力の確認は、近接点検で荷重低下や過緊張が懸念されるような頭部の変状が確認された場合に実施することが多い。

<Q3に関連する内容は第1部の4.6節と第2部の9.1節に記述している。>

(4) Q4:頭部キャップがなくなったグラウンドアンカー工があるが、対応は必要か？（ホンジュラスでアンカーキャップの紛失を放置されていた事例が確認された）

A4：アンカー工の劣化・被災の頻度が多いのは頭部である。頭部キャップはアンカー材の頭部の腐食を防止する重要な部材であり、破損や紛失が確認された場合は速やかに更新することが望ましい。

<Q4に関連する内容は第1部の4.6節と第2部の9.2節に記述している。>

(5) Q5:アンカー工の頭部キャップにコンクリートキャップを使用しているが、交換が必要か？

A5：日本でも1990年以前はコンクリートキャップが多く採用されていたが、防水性能が経年的低下し頭部の腐食を招くこと、頭部の点検や補修が困難なことから1990年以降は採用されていない。日本の高速道路では2015年頃からコンクリートキャップを使った旧タイプアンカーの更新作業（旧タイプアンカーを残置して、近傍に新タイプアンカーを増設）を進めている。当該国にコンクリートキャップを採用したアンカーがある場合は、鋼製のアンカーキャップに更新を検討した方が良いが、アンカーキャップのみの更新ができない場合は、日本の高速道路と同様の更新作業が必要となる。

<Q5に関連する内容は第1部の4.6節と第2部の9.2節に記述している。>

(6) Q6:水抜きポーリング工施工の維持管理には何をすればよいか？必要な機材は？

A6：孔口の閉塞状況を、年1回を目安に定期的に確認する。スライム等による管の閉塞が確認される場合は、ビルの配水管の清掃などに利用される高圧洗浄機で孔内を洗浄する必要がある。

ヨーロッパなど石灰岩の多い地域では、地下水中の石灰分が固化して閉塞する場合があります、酸を用いた清掃が行われているケースもあるが、環境への影響に注意が必要である。

<Q6に関連する内容は第2部の9.2節と9.3節に記述している。>

(7) Q7:水が出てこなくなったので水抜きポーリング工の洗浄をしたが、水は出てこない。どうしたらよいか？

A7：水抜きポーリングの設置直後は大量の地下水流出が確認された孔でも、経時的に流出量が低下し、無降雨時は流出がなくなる事例は多い。これは該当の地盤位置の地下水帯に賦存して

いた地下水が除去されたことを意味する。その地下水帯に他の地下水帯と接続していれば豪雨の直後には地下水の流出が確認できることがあるので、水抜きボーリング工としての機能は維持されており、そのままの状態を維持することが重要である。

豪雨の直後等でも、地下水の流出が確認されない場合は、既存の水抜きボーリング工の近傍で新たな水抜きボーリングを掘りなおす必要がある。

<Q7に関連する内容は第2部の9.2節と9.3節に記述している。>

以上

巻末資料（引用・参考文献一覧）

榎田充哉(2012)：斜面防災分野の学術論文に蔓延する不思議な数学，日本地すべり学会誌，Vol.49，No.3，pp.106-108.

榎田充哉（2021）：抑止工を併用した吹付のり砕工の設計手法の課題と対応—設計手法の統一に向けて，日本地すべり学会誌，Vol.58，No.5，pp.225-230.

榎田充哉（2018）：アンカー工 RC 受圧板の設計方法の統一について，日本地すべり学会誌，Vol.55，No.3，pp.26-29.

榎田充哉（2022）：総合システム web セミナー「斜面安定計算と対策工設計の初心者向けセミナー（応用編）」講義資料.

榎田充哉（2022）：海外と日本の斜面对策工設計ソフトの違い、日本地すべり学会第 61 回研究発表会発表資料.

フリーフレーム協会（2008）：新版フリーフレーム工法 性能照査型による限界状態設計例，101p.

建設省河川局（1997）：改定新版 建設省河川砂防技術基準（案）設計編Ⅱ，山海堂

地盤工学会（2013）：地山補強土工法設計・施工マニュアル，171p.

地盤工学会（2012）：グラウンドアンカー設計・施工基準-同解説，224p.

土木学会：岩盤力学委員会

<http://www.rock-jsce.org/>

土木研究センター（2004）：グラウンドアンカー受圧板設計・試験マニュアル，pp.13-24.

日本道路協会（1986）：道路土工—土質調査指針

日本道路協会（2009a）：道路土工要綱

日本道路協会（2009b）：道路土工一切土工・斜面安定工指針

日本道路協会（2010）：道路土工—盛土工指針

日本道路協会（2017）：落石対策便覧

日本道路協会（2017）：道路土工構造物技術基準・同解説

日本治山治水協会（2013）：治山技術基準解説（地すべり防止編）

北陸地方整備局（2020）：設計要領—道路編

全国治水砂防協会（2019）：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例—急傾斜地崩壊防止工事技術指針

全国特定法面保護協会（2013）：のり砕工の設計・施工指針（改訂版第3版），99p.

吉岡良朗・伊藤和行（1971）：地すべり安定解析に用いる土の強度定数の検討，土木技術資料 13-5，pp.26-29.

BGS: How does BGS classify landslides?

http://www.bgs.ac.uk/landslides/how_does_BGS_classify_landslides.html

Bieniawski,Z.T. : Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling, Proc, 3rd Int, Cong. Rock Mech., Vol.2, Part A, pp27-32, 1974

GEO-SLOPE(2015):Stability modeling with SLOPE/W.

GeoStru(2021): Slope stability analysis , <https://www.geostru.eu/blog/2016/06/13/slope-stability-analysis/>
Accessed 18 Jun 2021.

Hoek, E. : Reliability of the Hoek-Brown estimates of rock mass properties and their impact on design, Int.
J. Rock Mech. Min. Sci.Vol. 35, No. 1, 63-68, 1998

NEXCO(2007)：切土補強土工法設計・施工要領

Rocscience(2022):HP, <https://www.rocsience.com/help/slide2/overview>, Accessed 4 Oct 2022.

TRB(1996):Landslides - Investigation and mitigation, Transportation Reserch Board, special report 247.

USGS(2008): The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides, By Lynn M. Highland,
United States Geological Survey, and Peter Bobrowsky, Geological Survey of Canada