

トピックス

掘削のり面技術に関する基本的考察



平野 勇
常任参与

1. はじめに

人間の活動舞台である土地は、傾斜地よりも平坦地が有利である。このこともあって人類はより有利な土地の確保を巡って、軍事的手段（Military Engineering）を使って争奪を繰り返してきた。一方、平和的手段を用いて、自らの汗をもって劣悪・不利な土地に働きかけ、居住、農耕、産業、交通、教育、文化、宗教活動などのために、平坦地を営々と造ってきたのも事実である。

近代文明が支配する現在、我が国のような山がちで狭小な国土では、土地の居住性、生産性を高めて有効利用を図ることが極めて重要である。その方法の一つとして、平和な工学的手段すなわち土木工学（Civil Engineering）を用いて、斜面掘削と平坦地造成が盛んに行われている。

一般に、山地や丘陵地の斜面掘削や平坦地造成では掘削のり面をともなうが、そのための工事費はもちろん、のり面崩壊やその対策のために工事費の増大、環境・景観との不調和など、問題を生じることが多い。

これを踏まえて、建設工事における掘削のり面の原点に立ち戻り、その意味や基本的な考え方、問題点について考察してみる。

2. 掘削のり面とは

斜面の一部を掘削して行う平坦地造成の意味は、傾斜地を“平坦な役に立つ土地”と“急勾配の役に立たない土地”の二つに分離することにある。後者はもちろん掘削のり面である(図-1(1))。また、地山や斜面における構造物の基礎地盤の造成、骨材・盛土材など建設材料の採取、地山や斜面の自重軽減のための排土などによっても、その周囲に掘削のり面が形成される(図-1(2)(3)(4))。

つまり、掘削のり面は、地山や斜面から有用な平坦地や基礎地盤、建設材料などを取り出し、不要・有害なものを除去した後に残される、いわば“建設副産物”である。

斜面掘削によって出現する空間と自然地山との境界は、二次元的には掘削線、三次元的には掘削面、ある程度



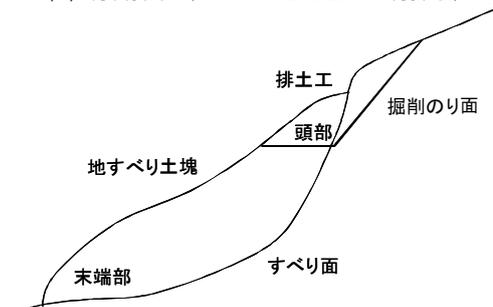
(1) 平坦地造成（バス車庫）



(2) 構造物基礎掘削（ダムのアバット部）



(3) 材料採取（フィルダムのロック材採取）



(4) 排土工（地すべり対策）

図-1 掘削のり面の形成理由



(1) のり面安定工（アンカー工）



(2) のり枠工



(3) のり枠工 ((2)の左端部)



(4) のり面緑化工（基盤工）



(4) のり面緑化工（完成形）

図-2 道路掘削のり面の事例

以上の勾配ものは掘削のり面（掘削斜面）とよばれる。掘削のり面は地山で構成されるので自然物であり、工事によって形成されるので人工物でもある。

建設工事から見ると、掘削のり面は、①平坦地や基礎地盤など造成した空間と自然斜面とのすり合わせ、②掘削施工の安全性・施工性確保などともなって二次的に形成されるものであり、施設・構造物建設、材料採取など建設プロジェクトの“主たる工事”に付随する“従たる工事”といえる(図-1、図-2)。

したがって、掘削のり面自体は、①建設プロジェクトに対して何らプラスの機能も効果も直接には求められず、機能や効果を発揮するための構造上の要件がない、②必ずしも幾何学的な機能美を有せず、景観的に違和感を招きやすい、という“宿命”を背負っている。

これらの“宿命”によって、掘削のり面は、①できるだけ小規模で、②対策工なしで自ら安定を保ち、③“主たる工事”に調和し、④施工および管理が効率的、経済的で、⑤周囲の土地利用や環境・景観などとも調和する、というのが課せられた“理想”となる。

同時に、掘削のり面は自然物であるが故に、人間の都合や期待、説明や釈明とは全く無関係に、斜面掘削とのり面形成という人間の行為を冷徹に評価し、自らの原理によって何の躊躇いもなく回答を与える“厳しさ”を持ち合わせている。時として、変状や崩壊を生じて“主たる工事”の機能と安全を損ない、人命、財産を脅かす。

掘削のり面については、その“主たる工事”の計画・設計・施工との関わりはもちろん、このような“宿命”と“理想”、“厳しさ”を十分に認識しておく必要がある。

3. いくつかの基本的問題

1. “掘削のり面ありき”の議論

掘削のり面は、その“宿命”から、発生させないことを含めて選択肢が広く、一律的な基準は馴染み難い。

もともと、建設分野における掘削のり面技術は、地山の掘削分類、設計後の土工、既設のり面の維持・管理などをベースとして生まれ、また、個々のルートやサイトにおいて、適宜、実務的、経験的に課題解決が図られてきたこともあって、既存の技術基準類や技術書の多くは“掘削のり面ありき”の議論から始まっている。

建設プロジェクトにおける掘削のり面の意味や考え方、

設置の要否の判断、計画・設計の理念や方法などが、基準類や技術書に、ましてや実際の掘削のり面の計画・設計時に、さらにはその前段階のプロジェクトサイトやルート計画・選定時に、しっかりと存在しておくべきであるが、これらを意識し、系統立てて議論し、検討した事例はあまり見あたらない。

多くの場合、“掘削のり面ありき”として自然斜面と同列に論じられており、これが掘削のり面にまつわる様々な技術的問題の原因の一つと考えられる。

2. “掘削しながら様子を見る” 伝統手法

掘削のり面については、地形判読や現地踏査、必要に応じてボーリング調査などを行い、斜面の地質的な特徴と地山分類の分布状態を推定し、地山分類に対応する標準勾配とその適用上の注意¹⁾²⁾をもとに標準勾配の適否を判断する。適用可能と判断すれば標準勾配を用いて、掘削のり面の形状と用地範囲を決定する。地山状態を見ながら掘削を進め、必要に応じて斜面安定工などを導入するのが一般的である。

このような標準勾配を使って“掘削しながら様子を見る”手法は、道路や鉄道などの計画ルートに沿って多数の掘削のり面が出現する大規模工事に限らず、建設分野の斜面掘削の伝統的手法として広く行われてきた。この手法は、相応のコストを要する詳細な地質調査と計画・設計よりも、施工時に判明する地山状態によって適宜対応しようというものであり、今日の情報化施工^{*)}に通じ、非常に合理的に見える。

しかし、この手法は地質や地山が不均質、不連続、複雑なことによる不確実性とそれにとまなうリスクが大きい。また、地形や地質の特徴、土地利用や環境・景観への心遣いや創意工夫に欠けた機械的な計画・設計に陥りやすい。

結果的に無用な長大のり面を生じたり、不安定のり面を生じて斜面安定工を必要としたり、変状や災害を発生したり、対策に予期せぬ工事費や工期を必要としたり、などのおそれが増大し、問題が大きい。

3. 標準勾配の適用の難しさ

技術基準類¹⁾²⁾の標準勾配は一般に地山分類によって硬岩 1:0.3~0.8、軟岩 1:0.5~1.2の勾配^{**)}となっている。しかし、地山分類、勾配とも大まかすぎ、また、長大のり面に対しては明確でないところがある。その上、標準勾配の適用にあたって注意すべき地形・地質条件、不確実性やリスクの存在が見落されがちである。このため“掘削しながら

様子を見る” 伝統手法と相俟って大きな不確実性やリスクが残され、施工時にトラブルを発生するおそれがある。

4. 基本条件としての地形の見落とし

立体物である斜面は、地山と地形、すなわち実体とその外形からなる。掘削のり面は、立体物である斜面を傾斜した平面で切ったときの断面である。よって、その形状は斜面の立体形状すなわち地形と、それを切る平面すなわち掘削のり面ののり先の位置、方向、勾配によって幾何学的に決まる。

掘削のり面の背面とそれに続く地形と地山は、力学的、水理的にそして実体としての掘削のり面を構成し、さらに掘削のり面の安定性を規定し、変状や崩壊発生のもととなる。つまり、地形と掘削面の幾何学的関係によって掘削のり面が決まり、地山条件が加わって安定性が規定される。これが掘削のり面の成り立ちである。

掘削のり面の計画・設計の基本条件として、地山条件とならんで地形条件を欠かせないのは、斜面の安定解析や数値解析からもいえる。境界条件としての地形がなければモデルも解析もできない。

つまり、地形を抜きにして掘削のり面の議論は原理的に成り立たない。地山分類の分布状態と標準勾配のみから掘削のり面の断面形状を決める手法は、果たして理に合っているだろうか。

掘削のり面の計画・設計において、地山分類と標準勾配の関係が強調、重用され過ぎている。地山とならんで地形を基本条件として取り込んだ掘削のり面の計画・設計手法の確立が必要である。

脚注

*) 情報化施工の概念には二つある。一つは、施工時の地盤や地山の地質観察、挙動観測情報等を積極的に評価、活用し、物性値把握、安定解析及び評価、設計・施工などに反映させる循環システムを構築して、設計・施工の高度化、合理化を図ろうとするものである。もう一つは、設計・施工に関する様々な技術情報を電子化し、制御装置を介して建設機械を動作させるとともに、機械の動作や施工対象の状況を計測して情報化することによって制御と管理を行い、施工の自動化、効率化と品質確保、出来高管理など情報集積を図ろうとするものである。ここでは前者の概念によっている。

**) 斜面勾配は、鉛直高さを1としたときの水平距離がnの場合、1:nと表示し、1:2は2割勾配、1:0.5は5分勾配という伝統的な呼び方が行われている。

4. 発想の転換と対応策

掘削のり面はその“宿命”から、発生させないことを含めて無限の選択肢があり、心遣いも創意工夫も無限の選択肢がある。この無限の選択肢を活かし、“技術的空白や思い込み”による基本的問題を克服し、掘削のり面という建設工事としての特殊な“宿命”と“理想”、“厳しさ”を見据えた合理的な計画・設計が必要である。

1. 安定性に関わる不確実性とリスクの低減

掘削のり面の安定性に関わる問題は、不確実性やリスクをどのように評価し対応するかに依存している。“掘削しながら様子を見る”伝統手法から脱却し、計画・設計段階に綿密な地形・地質調査を行い、掘削のり面の計画から維持・管理まで、地質や地山が不均質、不連続、複雑なことによる不確実性とリスクの回避、低減を図る必要がある。

2. 計画・設計における綿密な調査の必要性

計画・設計の対象とする斜面や尾根の地形、地質構造、緩み、風化、浸食など地形・地質条件、土地利用や環境・景観条件はそれぞれの地域や地点に固有なものである。そのため、掘削のり面調査は、土地利用や環境・景観条件を含めた幅広い観点から、的確で質の高い調査を行う必要がある。

掘削のり面の安定性の把握と評価を主眼とする調査は、“主たる工事”の計画・調査に沿いながら、詳細な地形判読や現地踏査を主体に弾性波探査やボーリング調査などによって行う。近年一般化した航空レーザー測量の細密地形図は、露岩や被覆層、遷急線や滑落崖など微地形の判読、地すべりなど不安定地形の抽出に大変有効である。

不確実性とリスクは調査および計画・設計のできるだけ初期段階から回避、低減する必要がある。一般に斜面のリスク抽出のための調査手法は単価が安く、リスク低減のための調査手法は高い。前者は資料調査や地形判読、現地踏査などであり、後者は弾性波探査やボーリング調査などである。まず前者をフルに活用すべきであり、それ抜きでリスク抽出も後者による効率的な調査もあり得ない。

綿密な調査・設計に要するコストは、時折発生するトラブルによる調査費や対策工事費、工期延長などによる損失にくらべると、一般に比較にならないほど小さい。

3. 綿密かつ幅広い観点の計画・設計の必要性

“掘削しながら様子を見る”伝統手法から脱却した計画・設計法の確立が必要である。

まず、花崗岩やシラスなど¹⁾²⁾の例のように岩種別や地域別の安定性評価を目的とした、きめ細かな基準を策定する必要がある。しかし、それらの基準や標準勾配の機械的適用は避ける。掘削のり面を規定する地形と地山条件を基本に据え、掘削のり面を出現させる“主たる工事”の計画・設計と調整し、土地利用や環境・景観条件を加味して、のり先の位置、方向、勾配などを工夫し、効率的、経済的な計画・設計を行う。これらの方針や細部技術を分かりやすく示した、サイトやルート、建設プロジェクトごとのローカルルールの設定も必要だろう。

標準勾配は非常に便利である。地山分類の分布状態が想定できれば標準勾配を使って掘削勾配を決め、のり先の位置を決めれば、自動的に掘削のり面形状とのり面の範囲が決まる。しかし、原理的な問題がある。標準勾配によって掘削勾配を決めて安定性を確保したとしても、それが最適勾配とは限らない。なぜなら、前述のように、掘削のり面長、のり面積、土工量、対策施工量などの算定、長期的安定性の評価、および周囲の土地利用や環境・景観との調和、品質の確保・向上、そして建設・管理コストの見積もり、その何れもが地形条件抜きでは成立しないからである。

景観対策のためにのり面緑化工を導入する場合は、緑化目標の確実な実現を図るため、必ずしも標準勾配にはよらないのが一般的である¹⁾。しかし、のり面緑化や環境・景観の観点だけにとらわれることなく、掘削のり面について、基本的かつ幅広い観点から計画・設計の在り方を考える必要がある。

4. 取りあえずの対応策

残念ながら抜本的、具体的な対応策は持ち合わせていないので、ここでは取りあえずの対応策をいくつかあげておく。

掘削勾配は、標準勾配が適用可能でも機械的に採用せず、それを出発点として、地形など諸条件に照らして総合的に決定する(図-3、4)。

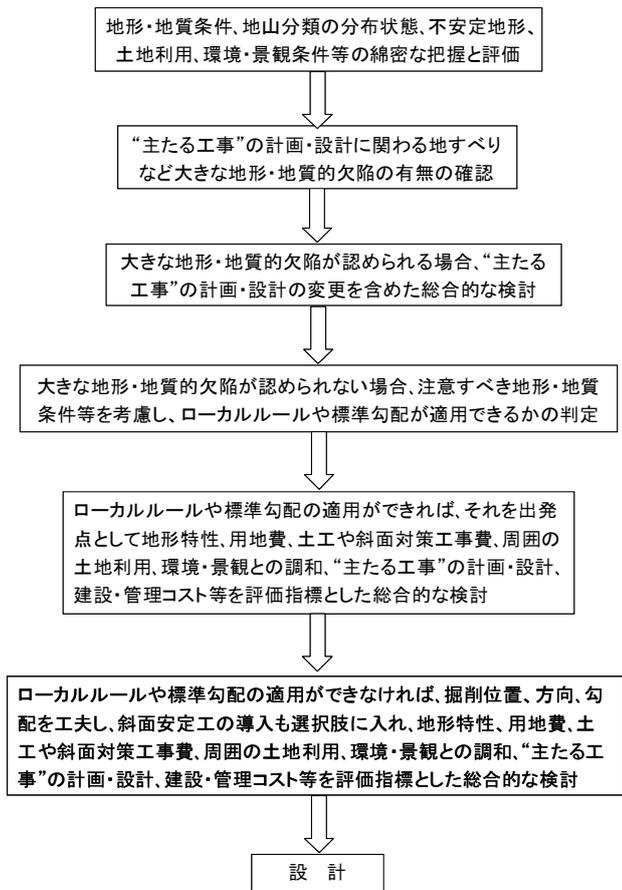


図-3 掘削のり面の調査と計画・設計の流れ⁶⁾

4.1 緩勾配化が有利な可能性のあるケース

施工段階で設計時の想定よりも不良な地山状態が判明すれば、斜面安定工の導入や緩勾配への切り直しを要する場合もある。もともと、掘削のり面は、豪雨や地震などの外的作用や経年劣化も避けられない。

掘削のり面の不確実性やリスクは不可避であり、その確実な低減、および周囲の土地利用や環境・景観との調和、コスト縮減など総合的に評価して、有利となれば、標準勾配などに拘らず、緩勾配の計画・設計を積極的に導入すべきである(図-4(1)~(6))。

4.2 急勾配化が有利な可能性のあるケース

掘削基面以上の尾根や斜面高が大きく、かつ急傾斜のときは、標準勾配による掘削は長大のり面を生じ、不確実性やリスクが高まり、周囲の環境・景観との不調和を招き、建設・管理コストも大きくなるおそれがある。このため、“主たる工事”の計画・設計との調整、掘削のり面の急勾配化と斜面安定工の組み合わせなどによって、のり面長の抑制を図る必要がある(図-4(7)、(8)、図-5)。

ただし、急峻、長大な自然斜面は、安定工と急勾配掘削による法長抑制を実施しても、その上方に残された自然斜面が崩壊や落石の発生源となっていることもあるので、十分に注意を払う必要がある(図-5(2))。

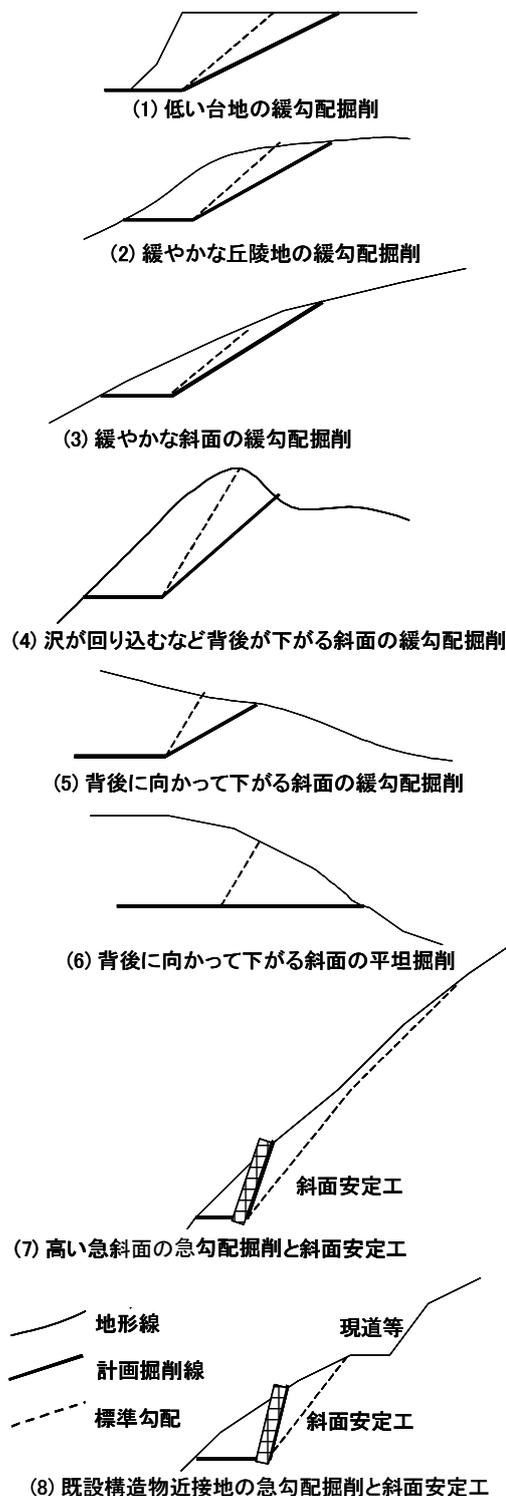


図-4 安定性から標準勾配などの適用が可能と判断されても、地形条件などからその妥当性を検討すべき代表例⁶⁾



(1) アンカー工による長大化抑制 (ダムサイト)



(2) アンカー工による長大化抑制と落石対策 (ダムサイト)

図-5 標準勾配によらない掘削のり面の工夫の事例

4.3 情報化施工的手法の適切な導入の必要性

(1) 調査および計画・設計段階での導入は禁物

情報化施工の視点は、計画・設計段階の地質調査の
①技術的・コスト的限界を理由に調査を削減して導入する、
②技術的限界を認めつつ適切に調査する、の二つがある。
①は“掘削しながら様子を見る”伝統手法との違いは紙一重である。

綿密な地質調査と計画・設計を行っても、施工時に予想外のトラブルを生じがちなのが掘削のり面技術の現状である。ましてや計画・設計段階での①の視点からの情報化施工的手法の導入は、計画・設計に必要な地質情報の致命的な不足を招き、不確実性とリスクを飛躍的に高めるおそれがある。

しかも、施工時に生じうる変状に対処する有効な手段、すなわち変位速度や範囲、変状や崩壊に至るシナリオを的確に予測・評価する技術的手段、それに基づいて迅速かつ適切に制御する物理的手段がないため、変状が発生すると制御不能に陥るおそれが大きい。結局は、経験的判断と押さえ盛土や排土などの伝統的な緊急対策に頼らざるを得なくなる。

(2) 施工段階での積極的な導入が必要

一方、施工段階では地山状態と斜面挙動に対して情報化施工的な鋭敏さと対応の迅速性が求められる。施工前から斜面挙動の調査・計測を開始し、斜面クリープや降雨・降雪、気温による影響などバックグラウンドを把握しておく必要がある。

変状などの兆候が認められた場合は、目視調査や斜面計測を拡充するなど詳細な挙動把握、変状機構解明、安定性評価を行い、安全管理や対策工の設計・施工に迅速に移行する必要がある。

もちろん、具体的対応は“主たる工事”の特徴、および掘削のり面ののり先位置、規模、ならびに変位速度、変状範囲や要因、そのほか諸々の現場状況などによって大きく異なるのはいうまでもない。

5. おわりに

半世紀以上にわたる先人の努力によって構築された掘削のり面技術を学びつつ原点に立ち戻り、見方や発想を変えてみたとき、浮かび上がってくるいくつかの基本的問題について諸賢のご批判をおそれつつ述べさせて頂いた。

掘削のり面の背負う“宿命”、強いられる“理想”、自然物としての“厳しさ”を見据え、“技術的空白や思い込み”を補い繕いながら、心遣いと創意工夫に満ちた掘削のり面技術の発展が図られる必要がある。

なお、2009年6月に発刊された改訂指針⁵⁾は、旧指針¹⁾についてまったく新たな視点から抜本的改訂が行われており、引き続き我が国の掘削のり面・斜面技術の羅針盤となるべきものであることを書き添える。

最後に、本レポートは、拙論⁶⁾をベースとして書き改めたものであることをお断りしておく。

参考文献

- 1) 日本道路協会編：道路土工－のり面工・斜面安定工指針、丸善、1999。
- 2) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物、2007。
- 3) 地盤工学会編：切土のり面の調査・設計から施工まで、地盤工学会、1998。
- 4) 出口尚武・平野勇：ダムにおける法面とその景観対策、土と基礎、Vol.44、No.6、pp.13-16、1996。
- 5) 日本道路協会編：道路土工－切土工・斜面安定工指針、丸善、2009。
- 6) 平野勇：掘削のり面技術のいくつかの基本的問題と提案、土木技術資料、vol.52、No.3、土木研究センター、2010。