

掘削のり面技術のいくつかの基本的問題と提案



*平野 勇

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り軍事的手段を使って争奪を繰り返してきた。一方、平和的手段を用い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、宗教活動等のために、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、土地の付加価値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、平和的な工学的手段すなわち土木技術を用いて、人々に役立つ様々な目的のために斜面掘削と平坦地造成が盛んに行われている。

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り、傾斜地から有用な平坦地を取り出した後に残される、いわば“建設副産物”である。

これを踏まえて、小論では土木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、対応策について私見を述べる。

2. 掘削のり面とは

土木分野の斜面掘削の目的には主に、①有用空間の創出、②施設や構造物建設のための基礎地盤の確保、③斜面や地山の自重軽減による安定化、④土質や岩石等の土木材料の採取がある。

斜面掘削で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、工事で形成されるので人工物でもある。

掘削のり面は、土木施設や構造物の建設、材料採取などプロジェクトの“主たる工事”に付随する“従たる工事”、すなわち①創出する空間や構造物の基礎地盤と自然斜面とのすり合わせのための工事、②材料採取など掘削施工の安全性・効率性確

保のための工事等によって二次的に形成される。

掘削のり面自体は、①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。

掘削のり面は、その“宿命”によって、できるだけ小規模で、対策工なしで自ら安定を保ち、“主たる工事”と調和し、施工及び管理が効率的、経済的で周囲の土地利用や環境・景観等とも調和する、というのが課せられた“理想”（制約）である。

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”を有している。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。

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

3. 掘削のり面技術のいくつかの基本的問題

3.1 “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。このためか、既存の多くの基準や技術書は“掘削のり面ありき”の議論から始まっている。

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・設計の理念や方法等が、基準や技術書に、ましてや実際の掘削のり面の計画・設計時、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、それを意識し、系統立てて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”で自然斜面と同列に論じられ、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。

*財団法人国土技術研究センター 常任参与 (元独立行政法人土木研究所地質監)

3.2 “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等を行い、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及びその適用上の注意¹⁾²⁾³⁾をもとに標準勾配の適否を判断する。適用できれば標準勾配を使い、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等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、道路や鉄道等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、土木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や斜面挙動の観測情報を使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伴うリスクが大きい。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。結果的に無用の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、等の恐れが増大し、問題が大きい。

3.3 標準勾配の適用の難しさ

技術基準類¹⁾²⁾³⁾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、長大のり面に対しては明確でないところがある。また、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不確実性やリスクが残され、大きなトラブルを発生する恐れがある。

3.4 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、変状や崩壊発生の場合となる。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。

斜面安定工の一つに排土工があるように、掘削のり面の形成は必ずしも斜面を不安定化させることではない。もとの斜面勾配より掘削のり面が急であれば不安定へ、緩やかであれば安定へ、掘削基面以下の斜面に限ると斜面掘削は安定へ、大局的に向かう。掘削のり面の形成は地形次第で不安定要因にもなれば、安定要因にもなるのである。

掘削のり面の計画・設計の基本条件として、地山条件と並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、果たして理に適っているだろうか。

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。地山と並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。

4. 掘削のり面技術の発想の転換と提案

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、3.に述べた“技術的空白や思い込み”などを克服し、掘削のり面という土木構造物の特殊な“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。

4.1 掘削のり面の安定性に関わる不確実性

掘削のり面の安定性に関わる問題は、不確実性

*) 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、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。小論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。

やリスクをどのように評価し対応するかに大きく依存している。掘削のり面の不確実性には表-1のようなものがある。“掘削しながら様子を見る”伝統手法から脱却し、4.2に述べる綿密な調査を行い、掘削のり面の計画から維持・管理まで不確実性とリスクの回避、低減を図る必要がある。

表-1 掘削のり面の安定性に関わる不確実性

①	地質構造、地山分類の分布状態の不均質性
②	地下水位など水理構造の不確実性
③	豪雨、地震など外的作用の不確実性
④	風化など外的作用による長期劣化の不確実性
⑤	①～④についての調査及び評価の不確実性
⑥	⑤による設計性能の不確実性
⑦	⑥による安定性の不確実性

4.2 綿密な掘削のり面調査の必要性

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の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等によって行う。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及び計画・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、現地踏査等であり、後者は弾性波探査やボーリング調査等である。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、工期延長等による損失とは比較にならないほど小さい。

4.3 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、花崗岩やシラス等の例¹⁾²⁾³⁾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。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、勾配等を工夫し、効率的、経済的な計画・設計を行う。掘削のり面のサイトやルートごとの総合的な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推定できれば標準勾配を使って掘削勾配が決まり、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、3.4のように掘削のり面長、のり面積、土工量、対策施工量等の算定、長期的安定性の評価、及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。しかし、のり面緑化に限らず、根源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。

4.4 計画・設計における取りあえずの対応策

掘削勾配は、標準勾配等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-1,2)。

(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。また、完成後の豪雨や地震等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、及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検討し、有利となれば、標準勾配等に拘らず、緩勾配の計画・設計を積極的に導入すべきである(図-2①～⑥)。

(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、標準勾配等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・管理コストも大となる恐れがある。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

斜面安定工の導入等によって、のり面長の抑制を図る必要がある(図-2⑦、⑧)。

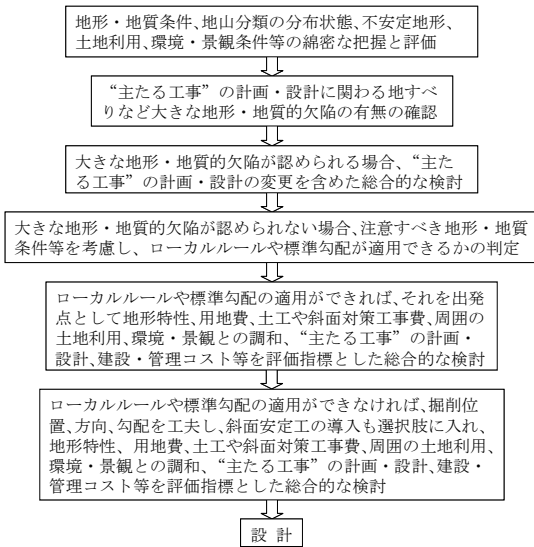


図-1 掘削のり面の調査と計画・設計の流れ

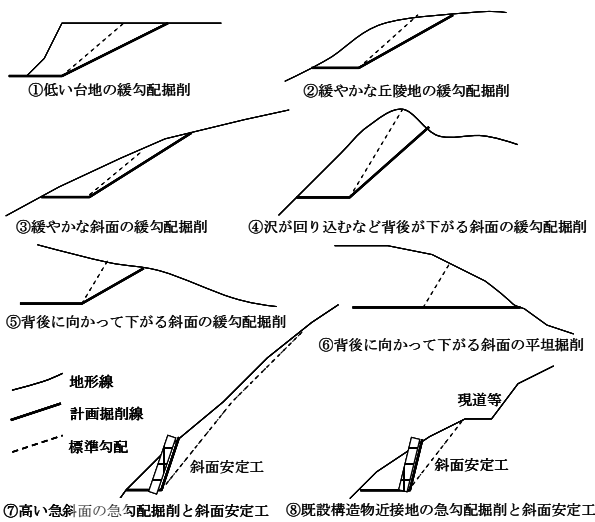


図-2 安定性から見て標準勾配等の適用が可能と判断されても、地形条件等から見てその妥当性を検討すべき代表例

4.5 情報化施工的手法の適切な導入の必要性

(1) 調査及び計画・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打ち切って導入する、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”伝統手法との違いが紙一重である。

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恐れがある。

しかも、施工時に生じうる挙動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、変状発生時に制御不能に陥る恐れが大きい。結局は、経験的判断と押さえ盛土や排土等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。

変状等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。

具体的対応は“主たる工事”の特徴、及び掘削のり面ののり先位置、規模、並びに変位速度、変状範囲や要因、現場状況等によって異なる。

5. おわりに

先人の長年の努力による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恐れつつ述べ、提案させて頂いた。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のり面技術の発展が図られる必要がある。

最後に、2009年6月に発刊された改訂指針⁴⁾は、かつて筆者も改定作業に携わった旧指針¹⁾等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。

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、1986.
- 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、1998.
- 4) 日本道路協会編：道路土工—切土工・斜面安定工指針、2009.