

—落石対策に関わる諸問題—

1. 目標安全率の設定について(H24.8.17 加筆)
2. 危険度評価手法について
3. 発生源対策における抑止力の求め方について
4. 落石対策用アンカーについて
5. 部材の防食性について
6. 接着工法について(H24.8.17 加筆)
7. 落石対策において、滑動と転倒のいずれを重視すべきか(H24.8.17)

1. 目標安全率の設定について

1.1 落石発生源対策における現状

落石対策便覧（社団法人日本道路協会）の“まえがき”には、現状の落石対策技術が“指針”等になり得ない“便覧”であることを強調している。

そのためか目標安全率の設定も、同じ発生源対策でありながら工法（メーカー）毎に異なる取り扱いをしているのが現状である。例えばワイヤーロープ掛工の場合では、落石対策便覧等の設計例：F=2.0, A,B 工法：F=1.2, C 工法：F=1.0 といった具合である。

このような状態では落石対策技術の健全な発展は望めず、少なくとも目標安全率については早急に基準を統一すべきと考える。

1.2 安全率について

安全率について、例えば「講義ノート：もの作りのための機械設計工学，独立行政法人海上技術安全研究所」では、以下のように安全性とコストのトレードオフとして概説している。

「設計上，許容できる最大応力を許容応力という。すなわち，実際の部材に作用する荷重は常に許容応力よりも小さくなければならない。一般に許容応力は次式で求められる。

$$\text{許容応力} = \text{基準の強さ} / \text{安全率}$$

ここで，基準の強さとは破損の限界を表す応力であり，引張り強さなどを用いる。安全率は，材料強度のばらつきや荷重の見積もり誤差などの不確定な要因を考慮して設定するものである。」

▶ 安全率の目安

実際に機械を設計する場合，機械や部材に作用する力を精度よく見積もることは難しい。安全率が低すぎると危険性が増し，安全率が高すぎると機械の重量や製作コストが増すので好ましくない。表 2.1 は，基準の強さを破断する際の応力とした場合の安全率の目安である。あくまでも目安であるが，これらの値をベースとして設計を進めるとよい。

表 2.1 安全率の目安

材料	静的な荷重	安全率		
		動的な荷重		激しい繰り返し荷重，衝撃的な荷重
		片振り繰り返し荷重 (引張りまたは圧縮のどちらかのみ)	両振り繰り返し荷重 (引張りと圧縮の両方)	
鋼	3	5	8	12
鋳鉄	4	6	10	15

1.3 地すべり対策の場合

かつて，我国地すべり対策の先駆者である渡正亮先生の講義を受けたことがある。そのなかで「地すべりが滑動するときや停止するときの安定数を求めると，極限平衡状態 F=1.0 から±5%程度のバラツキがあるようだ。対策工において目標安全率を F=1.1 程度とした場合まれに失敗することがあるが，F=1.2 程度とした場合はほとんどトラブルがない。ダムなどを対象とする場合は破壊された場合の被害が甚大となることから F=1.5 を採用している。」といった趣旨のお話をされた。

地すべり対策の場合、規模の大きいものは0.1の安全率を上昇させるのに数億円の工事費を要するケースもある。そのため目標安全率は経験値に基づきながら、ぎりぎりの設定を行っているものと理解される。

1.4 落石発生源対策の場合

一般に落石調査では目視が主体であり、埋没部分は推定するしかほかない。しかも倒木による落石が多発しており、そのメカニズムを適正に評価することも不可能と思われる。

ここで“地すべりが何故動くのか良く分からない”（数十年前の中村浩之先生の講義にて）のに分かったつもりで対策をしているのに比べれば、落石の発生メカニズムはそれ以上の難問であり、したがって目標安全率も少なくとも地すべり対策以上の値を設定すべきと考える。

これは地すべりと比べて移動速度が極めて速いこと、抑止岩塊量が極めて小さい（工事費少）ことなどからも当然と思える。

落石対策便覧等では設計例等で以下のように設定しており、落石発生源対策ではこれらを基準とし、倒木等の外力は地震力に置き換えるといった方法が妥当と考えられる。

- ・ 目標安全率：平常時 $F=2.0$ ，地震時 $F=1.0$ ・・・ロープ掛工に準ずる
- ・ 検討項目：滑動および転倒計算（平常時，地震時）・・・落石対策技術マニュアル（財団法人鉄道総合技術研究所）に準ずる

2. 危険度評価手法について

発生源における浮石等の危険度は、現状では石の置かれた環境（地形、勾配等）に評価点を与え、例えば“総合点が90点以上は危険である”といった判定に基づき対策が施工されている。この場合の問題点として、対策の要否を決定する根拠が曖昧であり、しかも個人差を伴いやすいことなどがあげられる。

さらに評価項目においても、例えば球状のものと扁平なものでは前者の危険度が高いとされているが、一旦回転運動に移行した場合は後者が遠方まで転落しやすく危険であるなど、からずしも妥当な内容となっていないことなどがあげられる。

あるいは写真のように埋没状態の石でも倒木により落石する恐れが高く、当然ながらなんらかの対策が必要である。

要は転落する可能性があるか否かであり、そのためには安定計算に基づく方法が最も妥当である。石の形状が多様であり、しかも埋没し不明な部分があるなど必ずしも容易ではないが、誰がやっても簡単に求められる方法として以下のものを提案する。



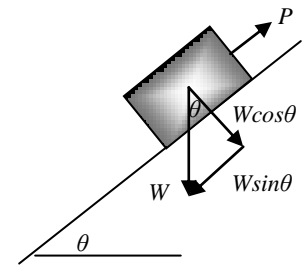
- 一般に対策を必要とする危険な石の露出度は高く、全体の形状を把握しやすい状況にある。
- その形状を平行六面体と見なし、これに合わせた寸法測定を行う。
- これにより、石の滑動および転倒計算が容易となり、石の安定度をより合理的に求めることができる。

ちなみに写真に示すものは露出した状態を想定し、検討することとなる。

3. 発生源対策における抑止力の求め方について

発生源対策の主流として交点アンカー付格子状ネットが普及しているが、その抑止力は待ち受け対策である覆式落石防護網工に準じた設計(目標安全率 $F=1$) となっている。

すなわち、次式において現状の摩擦係数 $\mu=0.5$ とし、滑動しないための抑止力 P を求めている。



$$P=W\sin\theta-W\cos\theta\cdot\mu \quad (1)$$

式 (1) を展開すれば

$$W\sin\theta=W\cos\theta\cdot\mu+P$$

$W\sin\theta$ で両辺を割れば

$$1=(W\cos\theta\cdot\mu+P)/W\sin\theta=F_p \text{ (目標安全率)} \quad (2)$$

さらに落石対策における安定計算は粘着力の項を無視して行っており、現状安全率 F は次式のように示される。

$$F=W\cos\theta\cdot\mu/W\sin\theta=\mu/\tan\theta=\tan\varphi/\tan\theta \quad (3)$$

ここに φ : 摩擦角, θ : 傾斜角

ここで、摩擦係数 $\mu=0.5$ より摩擦角 $\varphi=26.6^\circ$ となり、したがって傾斜角 θ がこれより緩い場合は常に対策が不要となる。

実際には倒木等による落石が多発しており、傾斜角 θ や摩擦角 φ によってのみ安定評価をすることはできない。当然ながら転倒に対する検討が必要であるほか、倒木等の外力を適当に評価することができないことから、便宜的に地震力を与えることで処理する必要がある。すなわち落石の安定計算は滑動および転倒について行い、しかも地震力を考慮することが適当と考えられる。

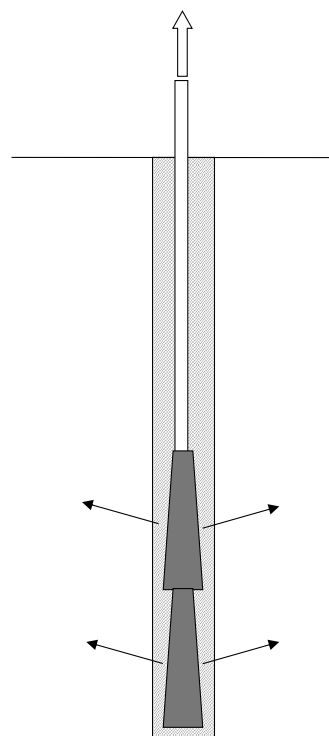
4. 落石対策用アンカーについて

写真はポケット式落石防護網工の土砂用アンカーが引抜けた状態である。発注機関によっては積雪荷重が一つの要因とみなし、ネット背部に雪が堆積しないような形で敷設することを提案している。

しかし落石斜面は通常急峻であることが多く、表土層のクリープ変位も相対的に活発であると考えられる。このような環境において積雪や風等による繰り返し荷重を受ければ、土砂用アンカーがゆるみをきたし引抜けに至ることは容易に想定される。したがって落石対策において永久構造物としての長期耐久性を期待するのであれば、少なくとも岩用アンカーを採用すべきと考える。



写真は同じく岩用アンカーにおいて、節理の発達した定着地盤が剥離し初期の定着長が失われた状態のものである。このように岩盤であってもアンカーロープを介してネットに負荷する外力が繰り返し作用し徐々に剥離が進行することが分かる。そのため、打設地盤の選定に十分留意する必要があるほか、この現象を避けるには図のような地中内部に荷重が作用するくさび方式が適当である。



5. 部材の防食性について

写真は海岸沿いに設置した落石防護柵支柱の腐食状況を示すものである。海岸沿いのみならず山間部でも道路沿いのものは融雪剤により支柱根元の腐食が著しく進行している。

このようにかつて永久構造物として設計したものが、その防食性において十分な耐久性を示しておらず、今後の維持管理費の増加を抑えるためにもこの方面での改善が求められている。



6. 接着工法について

①接着のメカニズムと留意点

接着のメカニズムは明瞭でないと言われているが、一つの考え方として以下のものがある。

「二つの材料が接着状態を維持するには、接着剤が二つの被接着材内部に浸透することで接着剤および被接着材に引張やせん断抵抗が働き、破壊することなく恒久的にこの状態を保持できること」

落石対策においてはこのことが定量的に保証できるかといった問題があるため、落石対策便覧(P104)等ではその取り扱いに留意するよう促しているように思われる。

②接着工が難しいことの実例

右の写真はセメントミルクの中にハンマー（鉄）をどぶ付け状態にしておいたものであるが、養生後簡単に剥離している。

これはハンマー表面が平滑なため、接着材（セメントミルク）が上記に示したように非定着材内に浸透できなかつたためと考えられる。



写真は玄武岩斜面で施工された接着工法であり、地震直後の状況である。接着面を境に凹凸のある上面はしっかりと保持されているが、平面をなす下面は剥離している。

したがって接着効果を確実に期待するには、非定着材が互いに凹凸のある面で接していること等が条件となるように思われる。



7. 落石対策において、滑動と転倒のいずれを重視すべきか

写真-7.1 は地震や倒木等により転倒が懸念されるものであり、写真-7.2 はその恐れが比較的低いものである。後者の場合、転倒しないものとすればそのまま放置しても良いように思われる。

このように、落石調査においてその危険性を感じるのは“転倒”現象に対してであり、したがってその対策もこれに対する検討が不可欠である。

実例として、写真-7.3, 7.4 はすべり面傾斜が緩いため滑動のみの検討で“対策不要”とされていた。しかし頭部の立木（根茎）により剥離が進行している実態があり、これを踏まえた転倒に対する検討に基づき所要の対策が実施された。



写真-7.1 転倒が懸念される石



写真-7.2 転倒の恐れが低い石



写真-7.3 滑動計算により“対策不要”とされた浮石
(割れ目に立木の根茎が進入し、浮石化を助長している)

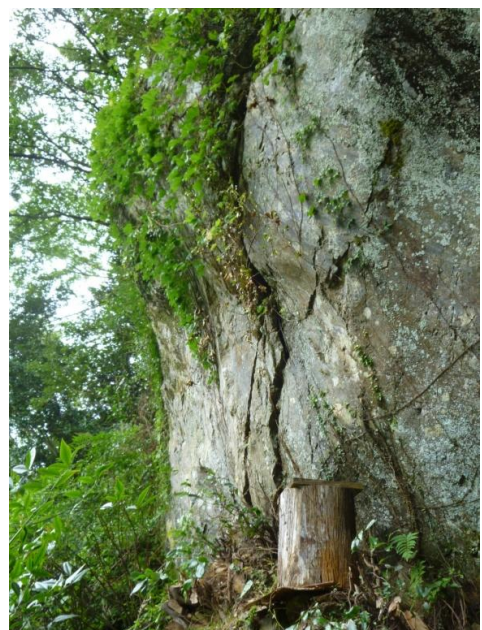


写真-7.4 同左、断面