

24. 花崗岩未風化岩塊分布斜面における

落石対策の調査・設計事例

復建調査設計株式会社 ○西村 一彰
井上 基
坂本 省吾
香川県高松土木事務所 寒川 貴之

1. はじめに

「落石対策便覧」¹⁾における落石予防工の設計は、落石の大きさやタイプ（抜落ち型・剥離型）などの要因とそれに適している対策工種の関係が示されており、各工種の予防効果の適正が定性的に述べられている。しかしながら、落石予防工の抑止効果については、その評価に不明な点が多く、定量的根拠が示されていない。また、落石の大きな要因である地震を考慮した耐震設計については基準化されていない。

本報告では、花崗岩未風化岩塊における現地調査から抑止効果の定量的評価および耐震設計を考慮した落石予防工に至るまでの調査・設計事例について報告する。

2. 現地概要

今回の調査・設計対象斜面は、香川県高松市中心地より南南東約 20km に位置する香川郡塩江町下中徳地区である（図-1 参照）。

地形は、標高 200m 前後、比高差 60～70m のほぼ南北に延びる丘陵地であり、その東側は、南東から北西に流下する香東川沿いに幅広い谷が形成されている。丘陵地の東側斜面にあたる調査地の斜面は、傾斜 40～50° の急斜面であり、所々に風化・侵食により露出した岩盤が多数認められる。また、山腹斜面下部の遷緩線より下側は、傾斜 30° 前後とやや緩やかとなっており小規模な崖錐地形を呈している。

地質は、中生代白亜紀に貫入した領家花崗岩類に属する花崗岩が基盤岩として分布し、山裾や谷部を中心に、崖錐堆積物が基盤岩を被覆している。山頂付近および山腹斜面上部の花崗岩は、土砂状風化帯が厚く形成されている。一方、山腹斜面下部では、降雨や香東川などの侵食作用を受け、土砂状風化帯の大部分が侵食され、一部の未風化岩塊が地表に露出している。

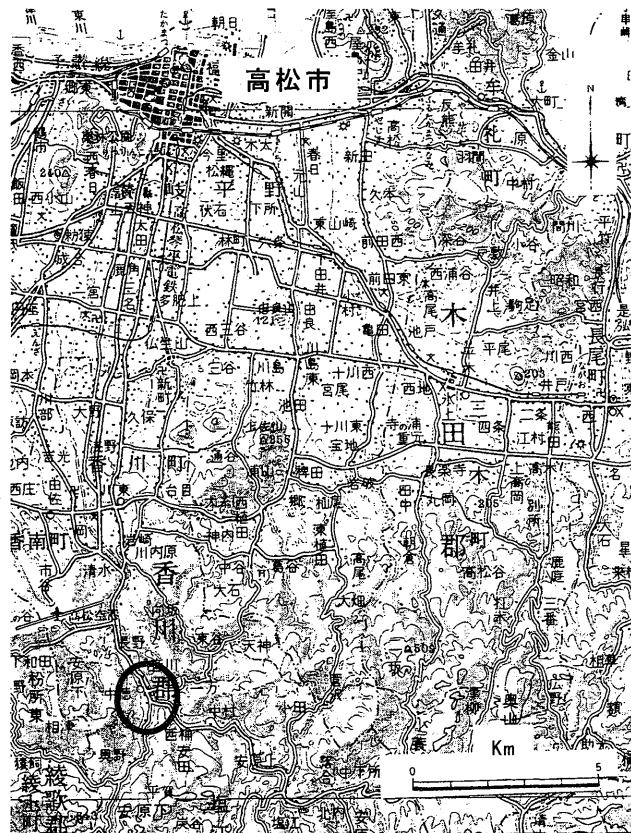


図-1 現地位置図 (○印：現地)

3. 調査結果

(1) 転石、浮石の分布状況

調査は、斜面に分布する転石や浮石の分布、岩塊の風化・亀裂の発達状況、斜面の形状などを把握するために地表地質踏査を実施した。

地表地質踏査の結果、斜面中腹から下部にかけてφ40~80cmの浮石や転石が多く認められた。特に、図-1に示す○印箇所（A~Cの3測線上）においては、1m³を超える（8~27m³）浮石状の巨大な未風化岩塊が認められた。

各未風化岩塊の特徴は、露出が比較的小さい不完全な浮石から、完全に地山から分離した浮石（図-2、写真-1の①、②岩塊参照）や、鉛直方向に細長い形状の浮石（図-3、写真-2の①~③、⑤岩塊参照）も認められた。また、いずれの未風化岩塊も、岩質が硬質であるものの、ほぼ水平方向の密着亀裂が発達している。

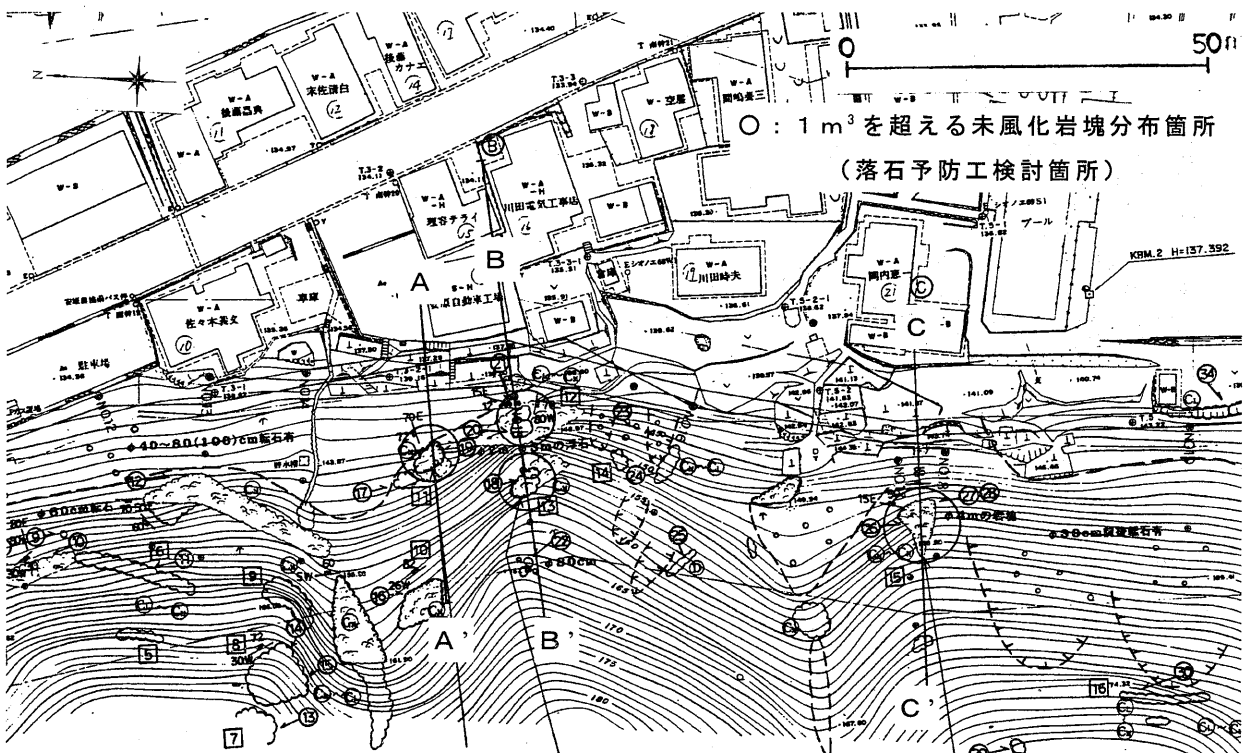


図-1 落石調査・設計対象斜面平面図

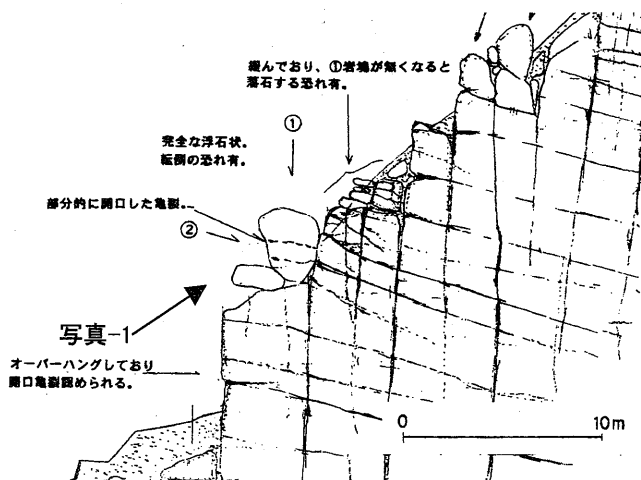


図-2 推定地質断面図（B-B'測線）

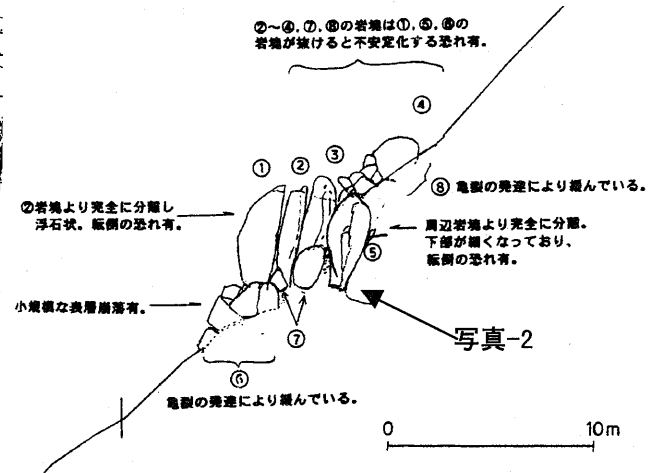


図-3 地表面上での不安定岩塊分布断面図（C-C'測線）



左写真-1 B-B'測線上の基岩から完全に分離した未風化岩塊

上写真-2 C-C'測線上の鉛直方向に細長い形状の未風化岩塊

(2) 安定度評価

今回の調査対象斜面における落石の安定度評価は、「道路防災カルテ点検要領」²⁾により行った。なお、点検箇所および点検対象項目は、調査対象斜面全体を「落石・崩壊」とし、 1 m^3 以上の不安定な未風化岩塊が分布するA～Cの3測線を「岩石崩壊」とした。

その結果、いずれも70点以上となり、対策工が必要と判断される結果となった。

(3) 落石エネルギーの計算

今回の調査対象斜面に分布する転石や浮石のうち、落石および岩石崩壊が考えられる不安定な浮石・転石について、「落石対策便覧」より落石エネルギーの計算を行い、落石防護柵（吸収可能エネルギー： $50\text{ kN}\cdot\text{m}$ ）での対応の可否について検討した。

その結果、3測線上に分布する 1 m^3 を超える各未風化岩塊は、落石防護柵での対応が不可能であり、別途落石予防工の検討が必要と判断された³⁾。

4. 落石予防工設計方針の検討

今回の落石予防工の検討は、定量的に抑止効果を評価出来る工種を選定することを設計方針とした。また、現況より、対策工の選定上、以下の留意点があげられた。

- ①除去工を実施した場合、未風化岩塊背後の斜面表層部が不安定化し、崩壊する危険性がある。
- ②未風化岩塊周縁の基岩部は、開口した亀裂の発達でやや緩んだ岩盤状況であり、固定する工法では、基岩部の補強が必要となる。
- ③ロックアンカー工の場合、未風化岩塊に常時緊張力が作用するため、密着亀裂に沿って亀裂が開口し、小ブロック化した岩塊が落石する危険性がある。

④一部の未風化岩塊の形状が、完全な浮石状、または鉛直方向に細長く立った重心の高い特殊な形状であり、地震時の加速度によって地山と異なった挙動を起こす可能性がある。

よって、今回の現場における対策工は、以上の留意点および施工性や経済性を考慮し、基岩や不安定な未風化岩塊への影響が低く、かつ固定する工法としてロープネット工およびロープ掛工を主たる落石予防工として選定し、図-5 に示す設計フローで検討を行うものとした。

5. ロープネット工の設計

(1) 基本構造

ロープネット工は、落石の恐れがある斜面に対してワイヤーロープを格子状に張設し、地山との結合力を失いつつある岩石を現位置で拘束するものである（図-6 参照）。

なお、ロープ、アンカーなどの主要部材は、軽量かつ高強度の部材を使用する。

(2) 耐震設計の必要性について

ロープネット工の耐震設計については、下記①および②の理由により、ロープネット工および未風化岩塊ともに地震時に地山と同じ挙動を示すものと判断し、地震時の慣性力について考慮せず、耐震設計を必要としないものとした。

- ①ロープネット工が未風化岩塊を地山に一体化させた設置構造となっている。
- ②ロープネット工の対象となる不安定な未風化岩塊が、露出の比較的小さい地山に貼り付いた分布・形状である。

(3) 設計計算

ロープネット工における設計計算は、「落石対策便覧」より求められる各未風化岩塊の落石荷重より、縦ロープおよび横ロープの 4 m^2 当たりの落石荷重を計算し、計算結果と主ロープやアンカーの設計許容荷重との比較を行い、ロープネット工による対応の可否を検討した。

なお、主ロープは、標準型（ $\phi 12\text{ m/m}$ ）と強化型（ $\phi 14\text{ m/m}$ ）があるため、それぞれについて設計計算を行った。また、主ロープの設計許容荷重は、不安定岩塊から常に荷重を受けるため、安全率を3以上とした⁵⁾。

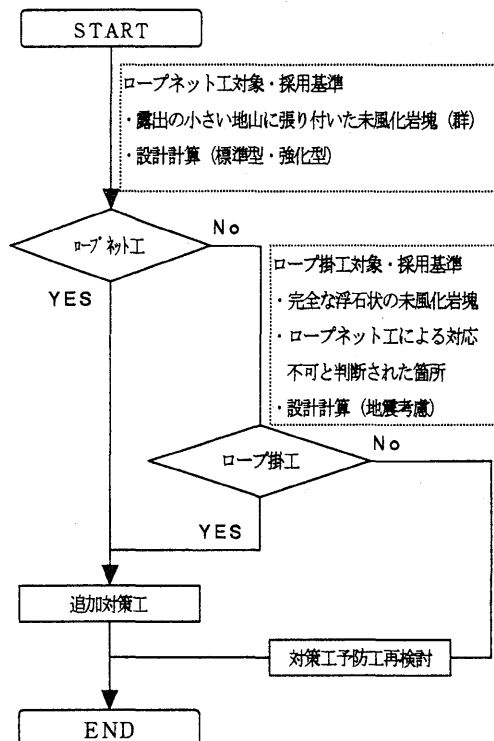


図-5 ロープネット工およびロープ掛工を主体とした落石予防工の設計フロー

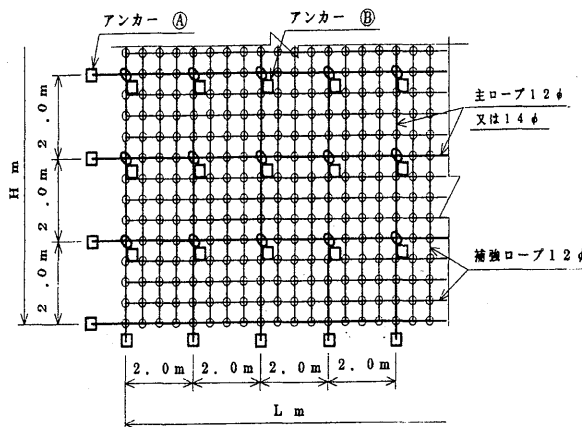


図-6 ロープネット工の構造図

6. ロープ掛工の設計

(1) 基本構造

ロープ掛工は、一般に単体の巨大な未風化岩塊を対象として実施するものである。ロープ掛工に使用部材は、ロープネット工と同一である。その構造は、横主ロープおよび縦ロープにより囲んだ格子状にロープを張設し、単体巨岩を覆い込む交点に締結力の高い十字クリップを取り付ける構造となっている（図-7 参照）。

(2) 耐震設計の必要性について

ロープ掛工の耐震設計については、下記①および②の理由により、ロープ掛工および未風化岩塊ともに地震時に地山と異なった挙動を示すものと判断し、常時の落石荷重に加え、地震時の慣性力についても考慮するものとした。

①ロープ掛工が、その主ロープの両端のみにアンカーを設置する構造であり、ロープネット工と比較して地山との一体感にやや欠けた構造である。

②ロープ掛工の対象となる未風化岩塊の形状が、完全な浮石状、または鉛直方向に細長く立った重心の高い形状である。

なお、ロープ掛工の耐震設計の考え方は、「道路橋示方書・同解説 V耐震設計編」を参考とし、設計水平震度（ $K_h=0.17$ ）および地震時の慣性力（ $P=K_h \cdot W$ ）を求めた⁶⁾。

(3) 設計計算

ロープ掛工の設計計算については、現時点で基準化されていない。このため、今回の設計計算では、単体の未風化岩塊全体が縦ロープ、横ロープ（端点全てアンカー設置）を介して各横ロープのみに均等に働くものと仮定して横ロープ1本当当たりの張力を求めた。また、その計算結果とロープおよびアンカーの設計許容荷重との比較検討により、採用可能となる横ロープの必要本数を算出した。

なお、主ロープの設計許容荷重は、常時を安全率3以上、地震時を不安定岩塊の他に地震時の慣性力が短期的に加わるため安全率2以上とした。

7. 追加対策工の検討

設計計算の結果、落石防護柵で対応不可能と判断された未風化岩塊は、ロープネット工、またはロープ掛工による対応が可能と判断された。しかしながら、各工法による効果および安定性を高めるうえで、以下の留意点が残されていた。

①単体の未風化岩塊およびそれを支える基盤岩周縁の侵食・風化防止

②地震によるロープからの単体の未風化岩塊、または小ブロック化した岩塊の抜け出し

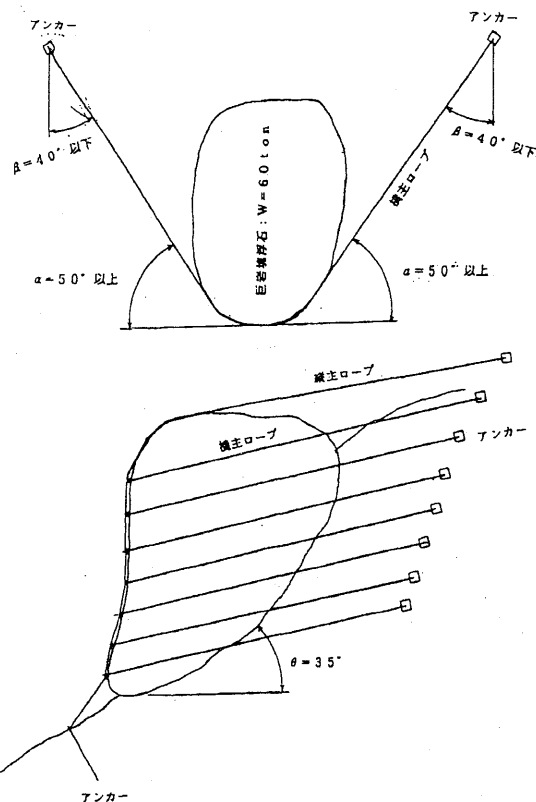


図-7 ロープ掛工の一般的な設置状況図

以上の留意点より、ロープネット工およびロープ掛工の追加対策工として、根固工およびモルタル吹付工を併用するものとした（図-8 参照）。特に、根固め工については、ロープ掛工による効果および安定性を確保する疑似岩盤としての役割を担ううえでも必要と判断し、採用することとした。

8. おわりに

本報告では、落石対策工の調査、ロープネット工およびロープ掛工の採用による抑止効果の定量的評価および「落石対策便覧」において基準化されていない耐震設計を考慮した落石予防工の設計事例について報告した。

しかしながら、今回の調査・設計では、

- 1) 落石の発生形式（剥離型、浮石型など）に応じた落石荷重の求め方
- 2) ロープ掛工における横主ロープにかかる荷重の考え方（基準化）
- 3) 耐震設計の基準化

など多くの課題も残されている。今後は、今回の落石対策の調査・設計事例のフォローアップを行いながら、各課題について検討していく必要がある。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：落石対策便覧，2000
- 2) (財) 道路技術センター：防災カルテ作成・運用要領，1996.
- 3) 香川県高松土木事務所：平成 10 年度下中徳地区急傾斜地崩壊防止工事設計業務委託 報告書，1998.
- 4) 香川県高松土木事務所：平成 12 年度下中徳地区急傾斜地崩壊防止工事設計業務委託 報告書，2000.
- 5) シーシーエム協会：1.ロープネット工 技術資料，1999.
- 6) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996

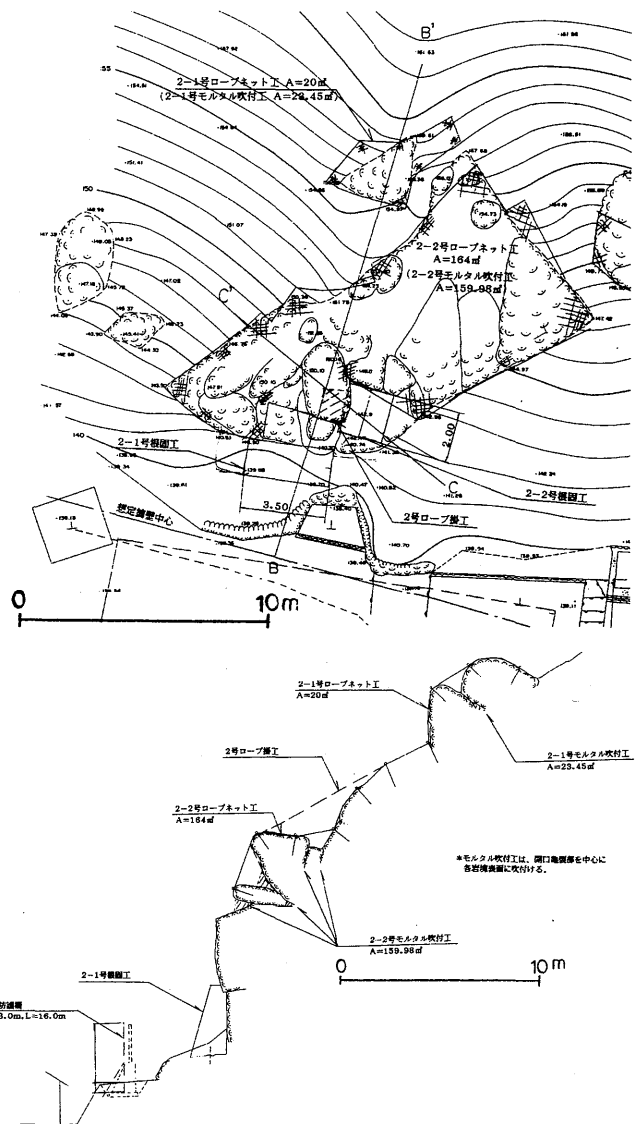


図-8 B-B'測線における落石対策工の設計事例（上図：平面図，下図：断面図）