

切土、地山補強土工事の工費・工期分析および設計合理化について

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○ 山田孝弘 藤本清克
(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺健治

1.研究の背景 切土、地山補強土の設計は、一般に施工以前に得る地山・地盤情報が限られること、地山の不確実性により地山補強の効果の定量的評価が難しいこと、などにより設計諸定数は安全側に設定されることが多い。例えば、地山補強で最も一般的に用いられるロックボルトの引抜特性は、地山の状況や施工品質に大きく依存するため十分に明らかになっていない。設計では地山の強度定数・拘束圧等からロックボルトの引抜強度を算定し、地山の安定解析を行うことが一般的であるが¹⁾、設計に用いる引抜強度は地山特性や施工のばらつきを考慮し、一般に安全側の設定を行っている。本論文では、山陰本線複線化工事（京都駅～園部駅間）に伴って施工された切土工事や地山補強工事（合計 5 箇所）のうち代表的な 2 箇所の工費・工期分析を行った。その結果を用い、切土工事、地山補強土工事の設計合理化（工費削減・工期短縮）の可能性について検討したので報告する。

2.切土・地山補強土の現場概況 山陰本線複線化工事の詳細、施工の概況については文献 2) を参照されたい。図 1、表 1 に本論文で検討対象とした 2 箇所の切土・地山補強土工事の断面図および施工条件を示す。第 1 工区は、風化頁岩主体の地山であり、局所的に小規模な破碎帯が存在するものの地山全体としては安定しており、掘削後の安全率が所定値を満足するため引留め式土留め壁構造を採用した。ロックボルトは長さ 1.5m の棒鋼 (D22) を 1.5m 間隔で一律に打設している。一方、第 2 工区は地山全体に破碎が深い位置まで進展している不安定な地山であり、地山掘削後の円弧すべり安全率が所定の値（常時 1.4、地震時 1.1）を満足しない非自立性地山であるため、地山補強土工法を採用した。ロックボルトは設計上のすべり面（図 1 参照）を貫通する深さまで打設することとし、長さ 1.5～6.5m の棒鋼 (D22～D29) を 1.5m 間隔で一律に打設した。

3.切土・地山補強土の工費・工期分析 図 2 に各工区の工期・工費の内訳を示す。切土、地山補強土の施工は土工（地山の掘削）、吹付けコンクリート打設（仮のり面工）、ロックボルト打設、フリーフレーム構築の順で行うため、ここではこの 4 つに大別して工費・工期分析を行っている。ここで、工費は

表 1 施工条件の比較

	第 1 工区	第 2 工区
地山の自立性	自立性地山	非自立性地山
工法	フリーフレーム+ロックボルト形式	
構造諸元	・ロックボルト(D22)@1.5m 削孔径：65mm 長さ：1.5m×1355 本 ・フリーフレーム (RC 造) 300mm×300mm 断面	・ロックボルト(D22～29)@1.5m 削孔径：65mm、90mm 長さ：2～6.5m×710 本 ：1.5m×320 本 ・フリーフレーム (RC 造) 300mm×300mm 断面
最大切土高さ	33m	23m
小段	5 段	1 段
切土延長	160m	150m
切土土量	12000m ³	8000m ³
切土法面積	3170m ²	2800m ²
地山土質	風化頁岩	頁岩・砂岩・チャートの互層
崩壊履歴	なし	あり (平成 16 年、大雨)

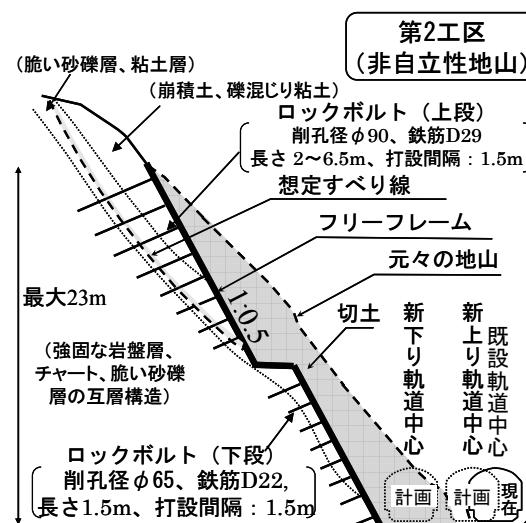
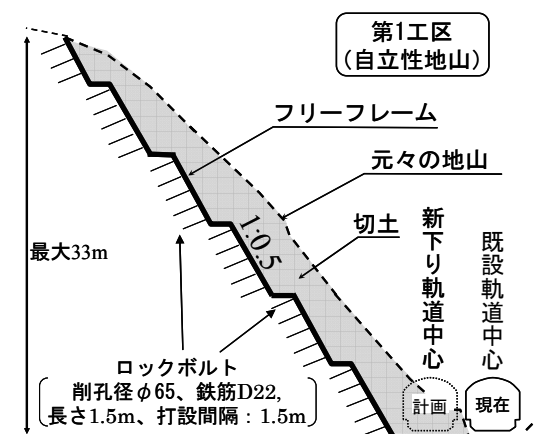


図 1 切土断面図

キーワード：切土、地山補強土、設計合理化、ロックボルト、情報化施工

連絡先：京都府亀岡市追分町下島 40-1 JR 西日本京都工事事務所亀岡派出所 Tel.0771-22-6175 Fax.0771-22-6176

直接工事費、工期は実績値(のべ日数)を、それぞれ第1工区の土工を100とした時の比率で示している。また、第1工区の施工は完了しているが、第2工区は本論文執筆時点で最終掘削断面の掘削が進行している段階(進捗率80%程度)であり、特にフリーフレームの構築、ロックボルト打設の工期については今後増える見込みである。この図から以下が考察できる。

- ・ 地山補強に関わる施工(ロックボルト、フリーフレーム)が全体工費・工期の半分以上を占める。非自立性地山ではその傾向が顕著である。特に、ロックボルトの打設は地山の自立性の有無によって大きく異なり、長尺・太径のロックボルトを打設した第2工区の工費・工期は第1工区よりも比率が高い。
- ・ 土工、吹付コンクリート打設は、工費・

工期ともに地山の自立性の有無にはあまり依存せず、掘削土量、切土法面積に依存することから、掘削勾配、小段の有無等、切土の基本諸元に大きく依存すると言える。

4.設計合理化の提案 ロックボルト打設、フリーフレーム構築、土工に関する設計合理化について検討する。まず、ロックボルトの引抜強度は鉄道標準においては地山特性や施工のばらつきを考慮し、安全側の設定を行っている。しかしながら、過去に実施されたロックボルトの引抜試験結果によると、施工管理が十分に行われた場合、設計値を大幅に上回る引抜耐力を有し、降伏後も高い靱性能を示した³⁾。事前に試験施工や載荷試験を実施することにより、ロックボルトの径・本数を合理化することが可能であり、全体工費・工期の削減効果は大きい。

フリーフレームについては、非自立性地山は構造計算に基づいて諸元決定されるために大幅な合理化は難しいが、自立性地山については地山の特性や掘削勾配によって合理化できる。第2工区では、掘削中の地山の状態を確認し、特に地山が安定している部分についてはフリーフレームの仕様を変更し、工期・工費の合理化を図った。

土工については、例えば掘削勾配を緩くすることや小段を設けることにより、掘削土量や用地買収面積の増加によりコストが増加する一方、掘削後の地山の安定化に伴う地山補強の軽減、不安定な表土除去に伴うロックボルトの引抜耐力の向上などによりロックボルト・フリーフレームの設計合理化が期待できる。以上より、切土の基本諸元を決定する際には切土後の地山状態と所要の補強効果を総合的に検討することが重要となる。

5.まとめ 切土・地山補強土の工費・工期分析を行った結果、地山補強に関する設計(ロックボルト、フリーフレーム)を合理化することで全体工費・工期を最も効果的に削減できることが分かった。しかしながら、ロックボルトの抵抗特性は地山の特性や施工の品質に大きく依存し、その評価法は十分に確立されていない。そのため、今後は引抜試験データ等を蓄積し、地山補強の評価法や具体的な設計合理化法を検討したい。

また、鉄道標準¹⁾は性能照査型設計法へと抜本的に改定され、事業者側が構造物に対する性能を定められるようになり、施工管理の品質を設計に反映できるようになった。そのため、施工以前の地盤調査・載荷試験等を実施することや、掘削中の地山の状態に応じて施工法や補強の程度を弾力的に変更すること(情報化施工)が重要となる。

参考文献: 1) 鉄道総研: 鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物)、2007 2) 藤本、山田: 山陰本線複線化工事における地山切土について、第62回土木学会年次学術講演会、2007 3) 渡辺、藤本、山田: 地山補強土工法に用いるロックボルトの引抜特性の評価、第43回地盤工学研究発表会、2008

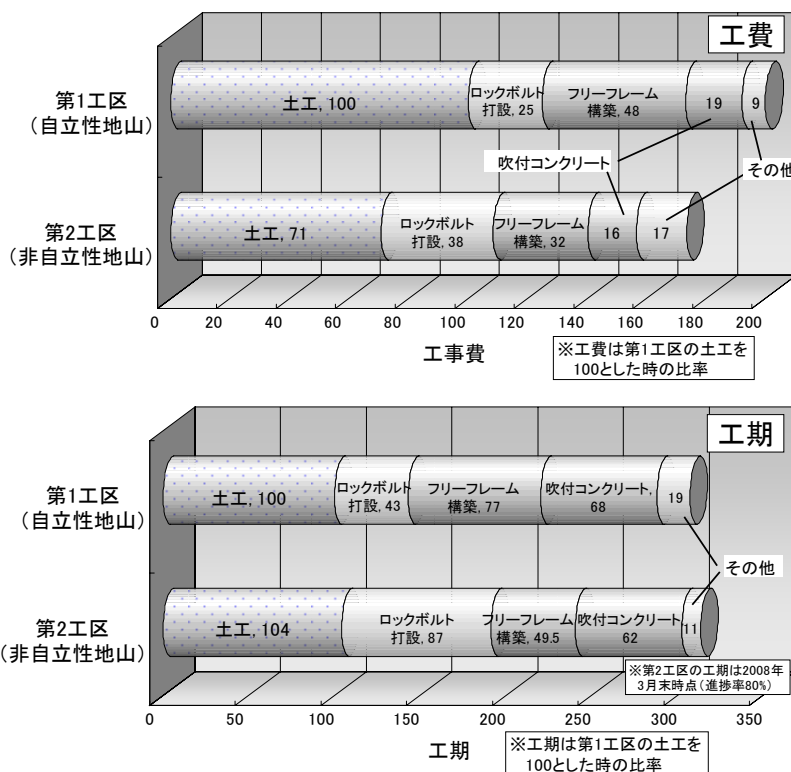


図2 各工区の工期・工費分析