

地山補強土工法における情報化施工の適用性に関する検討

補強土, 情報化施工, 切土

(公財) 鉄道総合技術研究所

国際会員 渡辺健治

正会員 栗山亮介, 野中隆博

複合技術研究所

正会員 三平伸吾

1.はじめに 一般に切土工事に際しては施工以前に地山に関する情報をできるだけ多く得ることが設計合理化にとって重要であるが, 事前に地盤調査を十分に行うことは現実的には難しい場合が多く, 得られる情報は限定的である. そのため, 地山の安定性や地山補強材による補強効果については安全側に低めに評価する機会が多い. しかしながら, 施工開始後には地山の層構成や物性に関する情報, 地山補強材の引抜試験による引抜抵抗特性に関する情報等, 設計時点では得られにくい情報を多く得られるため, これらの情報をその後の施工に反映すること(情報化施工)が重要となる.

切土の施工現場において情報化施工が実施され, 設計の合理化(補強の簡素化等)がなされる事例は少ない. これは, 情報化施工が有効であるという認識が少なく, 補強材配置等の再設計が必要となる場合は現場判断が難しいためである. 本研究では, 情報化施工の1手法として, 一般に施工開始後に実施される地山補強材の引抜試験に着目し, その結果を用いた場合の設計合理化の可能性について, 鉄道の複線化のために実施された切土補強土擁壁を対象に検討した.

2.情報化施工を行う上での着目点の整理 表1に情報化施工を行う上での着目点と合理化方法の例を示す. 情報化施工により設計の合理化が期待できるのは, 地山補強材の引抜特性, 背面地山の物性, に着目した場合だと考えられる.

着目点 地山補強材の引抜特性: 一般に地山補強材の引抜抵抗特性はばらつきが大きい¹⁾. 鉄道標準²⁾においては土質諸数値(C, ϕ , δ)あるいは背面地山のN値から極限周面摩擦力を求め, 地山補強土の設計を行っているが, これらの方法で求めた極限周面摩擦力は, 実際に行った引抜試験の最低値レベルに相当し, 実際にはこれより高い抵抗特性が得られる場合が多い. そのため, 施工開始直後に対象地山において引抜試験を行った場合には, その結果や試験本数に応じて極限周面摩擦力を修正し, 再設計を行うことにより地山補強土の設計を合理化することが可能となる.

着目点 背面地山の物性: 地山補強土の設計のためには地山の諸数値が必要となるが, 設計以前に三軸試験等の要素試験を多数本行うことは稀である. そのため, 実務設計においては数本の三軸試験(あるいは一軸試験)結果と, 現存する地山に対する逆解析結果から, 工学的判断に基づいて土質諸数値を決定することが多い. 切土の施工開始後は, 目視や切土面におけるPS検層, あるいは地山補強材の打設のための削孔により, 設計時の想定よりも対象地山内部の岩盤層が多く広がっている(表層の崩積土の分布幅が小さい)等, 設計時の地山の層構成と実際が異なることも考えられる. この場合, 例えば地山下層部の自立性が高いと判定できれば, 補強材や壁体の仕様を大幅に低減できる.

3.地山補強材の引抜試験に基づいた情報化施工

3.1.対象地山での引抜試験に基づく極限周面摩擦力の推定 本節では, 実施された切土補強土擁壁において, 対象地山で実施された地山補強材の引抜試験に基づいて, 仮想的に情報化施工を行った場合の効果を試算する. 対象地山は, 地山掘削後の円弧すべり安全率が所定の値(常時: 1.4, L1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ている(図1). 地山の性状は風化頁岩, 砂岩, チャートが著しい互層構造となっている. 切土勾配は5分(1:0.5)であり, 壁体はフリーフレーム構造である.

切土補強土擁壁の設計, 地山補強材の極限周面摩擦力は各地層(崩積土, 破砕帯D, D')の土質諸数値に基づいて算定され, 地山補強材の仕様(打設間隔, 長さ, 径)については切土施工時およびL1地震時における補強土体の安定で決定されている. また, 当該現場においては施工開始後に地山補強材の引抜試験を7本実施している. 本節では, 現場で実施された引抜試験, および対象地山と類似した地山(N値30~40程度の砂礫地山, 砂質地山)において過去に実施された引抜試験データに基づいて情報化施工を試み, どの程度設計が合理化されるか検討する.

表2に対象地山で実施された地山補強材の引抜試験の試験条件と試験結果を示す¹⁾. これらの試験結果から対象地山における地山補強材の極限周面摩擦力度の平均値は353kN/m², 変動係数は0.35であった. 対象地山のN値が40程度であることを考慮すると, 現場の引抜試験結果の平均値は文献³⁾に示される基準値(280kN/m²)よりも大きい. 一方, 対象地山と同等の地山において過去に引抜試験の事例は10データあり³⁾, その平均値は300kN/m², 変動係数0.33であった. これらのデータから,

表1 情報化施工を行う上での着目点と合理化方法の例

情報化施工における着目点	現場で情報を得る手法	事例	反映方法	再設計の必要性
地山補強材の引抜強度	当該地山での引抜試験	設計時の想定よりも高い引抜強度が得られる場合	補強材長さ, 本数, 径の軽減	要
背面地山の物性	(地山の層構成) 目視, PS検層 地山掘削の硬さ	設計時の想定よりも岩盤層が多く広がっている	下層部を「引き留め式土留め壁」に変更	不要
	(地山の強度) 要素試験 掘削に伴う地山の変位量	設計時の想定よりも高い土質諸数値が得られる場合	補強材長さ, 本数, 径の軽減 壁体の簡素化	要

Application of observational construction control system to earth reinforcement for earth cut: Kenji WATANABE, Ryosuke KURIYAMA, Takahiro NONAKA (Railway Technical Research Institute), Shingo MIHIRA (Integrated Research Institute)

対象地山における地山補強材の極限周面摩擦抵抗力の平均値を推定し、そこから補強材の引抜けに対する抵抗係数 f_{rg} を算出する。

対象地山における引抜抵抗力の平均値の推定

引抜抵抗力の平均値 μ (無次元量) は

$$\mu' = \frac{R_t}{R_k} (1 - k_s V') \quad (1)$$

で求まる⁴⁾。ここで R_t : 対象地山で実施した引抜試験から求める極限周面摩擦力度の平均値 (353kN/m²)、 R_k : 過去の試験結果から推定した極限周面摩擦力度の基準値 (280kN/m²)、 k_s : 信頼水準および試験本数に応じた係数、 V' : 補正した変動係数、である。また、 k_s については、文献⁵⁾に基づいて超過確率 $p=0.5$ として、試験本数 (7 本) を考慮して 0.253 と設定した。また、 V' については基礎標準⁴⁾と同様に以下により算定した。

$$V' = \sqrt{V^2 - V_{site}^2} \geq 0.20 \quad (2)$$

ここで、 V : 対象地山での変動係数、 V_{site} : 過去の試験結果の変動係数、である。また、 V の最低値については杭基礎では 15% と示されている⁴⁾が、地山補強材の極限周面摩擦力のばらつきは杭基礎よりも大きいと想定されるため、ここでは 20% と設定した。これより、 μ は 1.197 と求まり、引抜抵抗力の平均値は 335 kN/m² ($=\mu R_k$) と推定された。

地山補強材の引抜けに対する抵抗係数 f_{rg} の算定

鉄道標準では L1 地震時の抵抗係数 f_{rg} は 0.80 と示されているが、ここでは引抜試験結果を勘案し、以下で算定する⁶⁾。

$$f_{rg} = (1 - \alpha\beta V') \mu' \quad (3)$$

ここで、 α : 感度係数、 β : 目標信頼性指標であるが、本検討では感度係数を 1.0、目標信頼性指標を 0.85 (限界状態超過確率 20% に相当) とした。式(3)より地山補強材の引抜けに対する抵抗係数 f_{rg} は 0.994 と算定され、当該地山での極限周面摩擦力の設計用値は 278 kN/m² ($=f_{rg} \times R_k$) と定められる。鉄道標準²⁾による設計用値 (0.80 \times $R_k=224$ kN/m²) と比較すると、現場で引抜試験を実施することにより極限周面摩擦力を 25% 程度、増加することが可能となる。

3.2 情報化施工による地山補強材の打設本数の低減の試算

3.1 の検討により、図 1 に示す切土補強土擁壁の設計合理化について検討する。対象地山においては地山補強材 (ロックボルト) が水平・鉛直方向ともに 1.5m ピッチで打設されているが、鉛直方向の打設間隔については、施工時 (各掘削段階) において背面地山の安定性を担保するためにこれ以上の打設間隔を広げることができなかつた。また、L1 地震時に円弧すべり危険度を満足するために補強材長さを短くすることはできなかつた。しかしながら、水平方向 (線路方向) の打設ピッチについては、情報化施工により現行 1.5m から 2.0m に拡幅することができ、地山補強材の総打設本数を 25% 程度削減することができる。当該現場では 1000 本以上の地山補強材が打設されており、全工費および全工期に占める地山補強材打設工の割合がそれぞれ 22%、27% であることを勘案すると¹⁾、仮に情報化施工を実施した場合には、工費、工期を 5~6% 程度削減できると考えられる。

4 まとめ

本研究では、切土施工における情報化施工の着目点を整理した。さらに、地山補強材の引抜強度に着目し、鉄道の切土工事において実施された切土補強土擁壁を対象として、仮想的に情報化施工の実施を試みた。当該現場で施工開始直後に実施した引抜試験および過去に実施された引抜試験データにより地山補強材の極限周面摩擦力を評価したところ、設計基準値よりも 25% 程度高い値が期待できることが分かった。この例に見られるように、施工開始直後に地山補強材の引抜試験を実施し情報化施工を行うことにより、設計を大幅に合理化できることが分かった。

参考文献 1) 渡辺健治, 館山勝, 山田孝弘, 藤本清克: 地山補強土工法による切土工事の施工事例および設計合理化の可能性について, 地盤工学シンポジウム, Vol.54, pp.491-496, 2009.11 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物, 2012.1, 3) 地盤工学会: 地山補強土工法 設計・施工マニュアル, 2011.8, 4) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物, 2012.1, 5) 土木学会: 構造工学シリーズ 18 性能設計における土木構造物に対する作用の指針 付録- 2 荷重の不確定性と設計用荷重, 2008, 6) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986

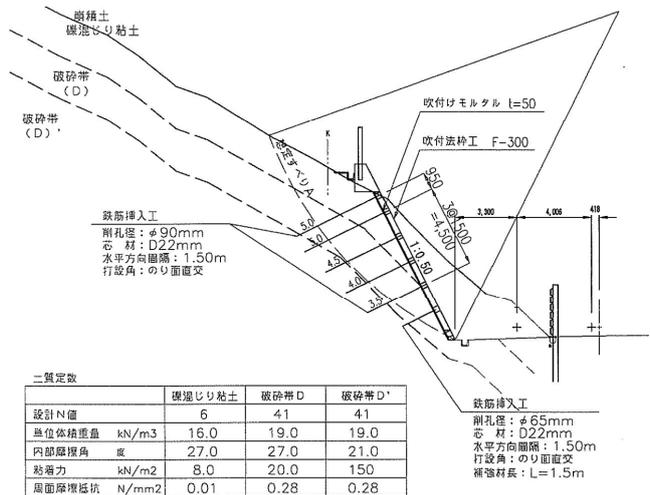


図 1 情報化施工の検討対象とした切土補強土擁壁

表 2 対象地山で実施された地山補強材の引抜試験結果

ケース名	鉄筋	削孔径 (mm)	補強材長 (m)	定着長 (m)	極限周面摩擦力度 (kN/m ²)	
					計算値	実験値
Case1	D22	90	4.5	1.1	184	424
Case2			4.0			180
Case3			5.0			463 ²⁾
Case4			4.5			463 ²⁾
Case5	D25	90	1.5	1.5	182	398 ²⁾
Case6			1.5			398 ²⁾
Case7	D22	65	1.5	1.5	140	144

1: 実験では引抜けなかつたため、芯材の破断強度から算定

2: 地山補強材の最奥部のみ定着させて引抜試験を実施