

引拔試験データに基づく地山補強材の極限周面摩擦抵抗力の評価

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 渡辺健治、館山勝
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 米澤豊司
 (株) 複合技術研究所 正会員 三平伸吾

1.はじめに 地山補強土工法等で多く用いられる地山補強材（ロックボルト）の引抜き抵抗力は、①地山と定着材（セメントミルク）間のすべり、②補強材（鉄筋）と定着材の付着切れ、③補強材の破断のいずれかで決定されるが、一般には①（以下、極限周面摩擦抵抗力）で決定されることが多い。鉄道基準¹⁾では極限周面摩擦抵抗力をロックボルト周辺の地山の土質諸数値（ C 、 ϕ 、 γ ）から算出している。一方、道路基準²⁾では地山の土質および N 値によって示されているグラウンドアンカーの基準付着力度の最低値³⁾に対して、0.8 掛けした値を用いている。これは、グラウンドアンカーでは定着材を加圧注入するのに対して、ロックボルトの場合、ほとんど無加圧注入で施工されることを考慮しているためである。いずれの方法においても、(1)施工以前において地山の強度定数等の地盤情報は限られていること、(2)ロックボルトの引抜特性は地山の土質状況や施工の品質に大きく依存すること、(3)過去に載荷試験等によってロックボルトの極限周面摩擦抵抗力を評価した実績が少ない、などを考慮し、安全側の設定を行っている。

本研究では、地山補強材の極限周面摩擦抵抗力の評価を行うために、過去に実施された引抜き試験データを収集したので、その取りまとめ結果と今後の課題について述べる。

2.収集したデータについて 収集したデータ数のうち、地山に関する情報（地山の土質、 N 値等）や地山補強材に関する情報、載荷試験条件が明らかなデータは 167 データ存在し、そのうち極限状態まで載荷している試験は 19 データ存在した。当初予想されたように、施工現場において補強材の所定の性能・品質を確認する「品質保証試験」は必ず実施されるが、極限状態まで載荷を行う「調査設計試験」のデータは少なかった。そのため、データ数の少なさを補間するための措置として、極限状態まで載荷していない試験データについても、補強材径の 10% (0.1D) まで載荷を行っているデータについては 10% 変位時点を極限状態と定義し、0.05～0.10D まで載荷を実施しているデータについては荷重-変位関係を 0.10D まで外挿し、極限周面摩擦抵抗力を推定した。

なお、収集したデータの中には定着材を加圧注入する工法も含まれていたが、加圧注入をした場合には削孔径に対して地山補強材径が大きくなる可能性があるため今回のデータ整理には含めていない。ただし、加圧注入されたものでも試験後の掘り返し調査により補強材径を計測しているものについてはデータ整理に含めている。以上より、極限周面摩擦抵抗力の評価に用いることができる試験データとして 49 データ（砂礫 20 データ、砂 16 データ、粘性土 13 データ）収集することができた。

3.引抜試験の実施事例 ここでは収集した引抜試験データの 1 例として鉄道の切土工事現場における試験を紹介する⁴⁾。試験は油圧制御の載荷試験装置を用いて実施され、載荷によりロックボルト

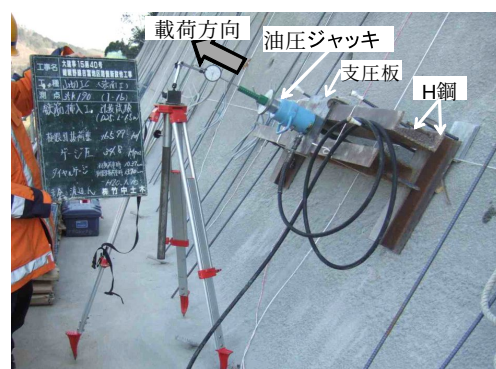


図1 鉄道の切土工事現場における地山補強材の引抜試験の実施の様子

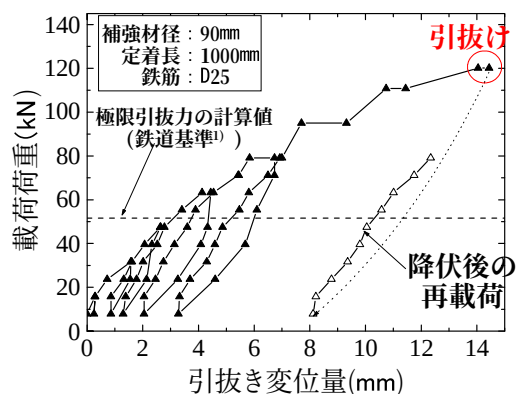


図2 荷重-変位関係の一例

キーワード：切土、地山補強土、ロックボルト、引抜試験、極限周面摩擦力

連絡先：東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部基礎・土構造 Tel.042-573-7261 Fax.042-573-7248

周辺の拘束圧が増加する影響をできるだけ排除するために、ロックボルトから左右1.2m離して設置したH鋼に荷重試験装置を支持させている(図1)。荷重試験は約7kNの初期荷重を与えた状態から開始し、鉄筋の破断強度の90%程度を最大荷重として多サイクル荷重を実施した(図2)。実験結果の詳細は文献4)に示すが、当該現場で実施した引抜試験(10データ)で得られた極限周面摩擦抵抗力の実験値は計算値^{1), 2)}よりも大きかった。鉄道標準¹⁾に基づき、当該地山の土質諸数値から算出される極限周面摩擦抵抗力の計算値は実験値の下限値レベルに相当した。これはロックボルトの引抜特性が定着材-地山間の単純な摩擦力に加えて、周面の地山の受働的な抵抗分によって発揮されているためだと考えられるが、詳細については不明である。

4.収集した全ての引抜試験結果のまとめ 図3に収集した引抜試験データのうち、砂礫地山および砂質地山(N値20~40)において得られた極限周面摩擦抵抗力の頻度分布を示す。また、

図4には、今回収集した全引抜試験データおよび道路基準²⁾における極限周面摩擦抵抗度と地山のN値の関係を示す。これらより、地山が同種でありN値が同レベルであっても極限周面摩擦抵抗力のばらつきは大きいことが分かる。これは地山補強材周辺のローカルな地山特性や施工のばらつきに加えて、荷重試験方法(補強材頭部の拘束条件)の影響に起因していると考えられる。また、N値が同レベルであっても砂礫地山と砂質地山で明確な差が見られた。

5.今後の課題 本研究では、地山補強材の引抜試験データを収集し、極限周面摩擦抵抗力の評価を行った。しかしながら、収集したデータのうち、地山・補強材情報、荷重試験条件が明

らかであり、極限状態まで荷重したデータは49データに過ぎず、データ数は十分とは言えない。今後、さらなるデータ収集・追加試験を行い、地山種別毎の極限周面摩擦抵抗力の統計的性質を評価する必要がある。

さらに、ここでは地山補強材1本の引抜抵抗特性に着目しているが、実際の地山補強土は地山の变形に対して2次元(面的)に打設された地山補強材全体で抵抗していると推定される。そのため、地山補強材同士が剛性の高い壁面工(壁体コンクリートや格子枠)に剛結されている場合には、各地山補強材の極限摩擦抵抗力がバラつきを有している場合でも、引抜力の下限値レベルではなく平均値に近い値を安定計算等の設計計算に用いても良いと考えられる。これについても今後検討を行い、地山補強土工法の設計を合理化していきたい。

謝辞：本研究で用いた引抜き試験データは「地山補強土工法の適用・評価に関する研究委員会」において各事業者や協会、施工業者の協力を得て提供していただいたデータである。ここに深謝の意を表す。

参考文献：1)鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物、鉄道総合技術研究所編、平成19年1月。2)切土補強土工法設計・施工要領、東日本・中日本・西日本高速道路(株)、平成19年1月。3)グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説、地盤工学会、平成17年5月。4)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、2009.11

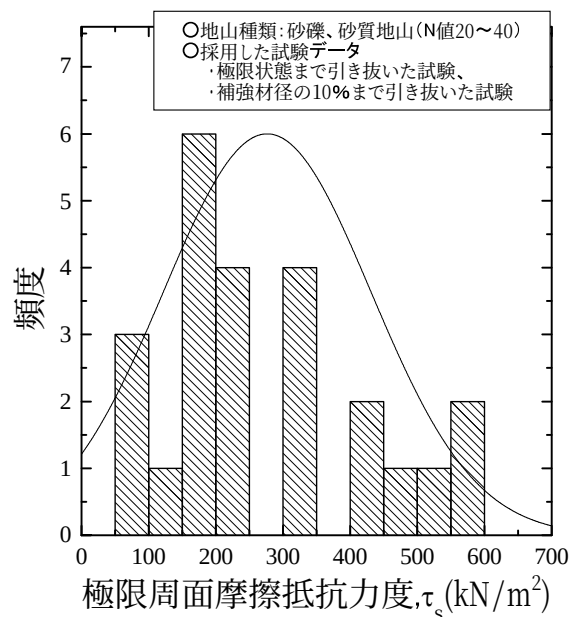


図3 地山補強材の引抜特性の統計的評価の例

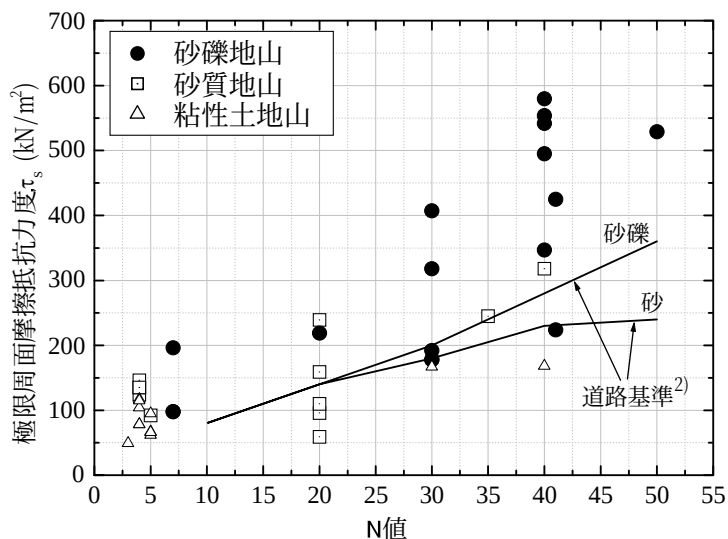


図4 地山の種類毎の極限周面摩擦抵抗度とN値の関係