

簡易な地盤調査装置でのり面工を背面劣化による土砂災害から守る



高柳 剛
Tsuyoshi Takayanagi
防災技術研究部
地盤防災研究室
主任研究員

はじめに

鉄道の切土のり面には風化作用からのり面を防護する目的で「のり面工」¹⁾が施工されることがありますが、経年による背面地山（地盤と岩盤を含む）の劣化により地山が不安定化し、崩壊に至ることもあります（図1）。しかし維持管理の実務において、のり面工背面地盤を目視調査することは困難であり、また背面地盤を簡易に調査する方法は確立されていませんでした。そこで鉄道総研では、のり面工背面地山の劣化度を低コストに把握するサウンディング試験として自由打撃簡易貫入試験を開発しました。

貫入試験による

のり面工背面地山の調査法

自由打撃簡易貫入試験の概要

自由打撃簡易貫入試験は、既往の簡易動的コーン貫入試験²⁾（地盤工学会基準JGS1433、図2）を参考に開発したものです。既往の簡易動的コーン貫入試験（以下、鉛直貫入試験と呼びます）は、打撃ハンマーを一定の落下高さ h から自由落下させて試験機を地盤に貫入させるため、貫入試験の方向は鉛直に限られていました。そこで鉄道総研では人力で任意方向（主に横方向）に貫入させる自由打撃簡易貫入試験

図1 のり面工の崩壊事例¹⁾



のり面工

盛土や切土のり面に対して配置されるコンクリート製（または石造り）の板状・はり状の構造物であり、主にのり面の侵食防止や風化防止を目的に設置されるものをのり面工と呼びます。格子枠工、張コンクリート工、吹付工、岩座張りなどがあります。

サウンディング試験

地盤の状態を示す土質定数の推定などを目的に実施される現地試験を一般的にサウンディング試験と呼びます。サウンディング試験として、標準貫入試験、簡易動的コーン貫入試験、スウェーデン式サウンディング試験などがあります。

を開発しました。同試験機の構成と仕様を図3に示します。この貫入試験には、標準的な仕様であるI型(図3(a))と、より小型軽量で急こう配なり面での作業により適したII型(図3(b))の2種類を提案しています。本稿では自由打撃簡易貫入試験のI型をI型貫入試験、II型をII型貫入試験と呼びます。これらの自由打撃簡易貫入試験の特徴として、横方向など任意方向に貫入試験を行うことができるため、例えばのり面工に水抜きのために設けられた既設の孔^{あな}などを通じて、簡易に背面地盤に対して貫入試験を実施することができます。I型およびII型貫入試験のいずれも、打撃ハンマーでロッドを地山に打撃貫入させ、100mmの貫入に必要な打撃回数を試験値とします(I型貫入試験では試験値を N_e 値、II型試験では N_f 値と呼びます)。

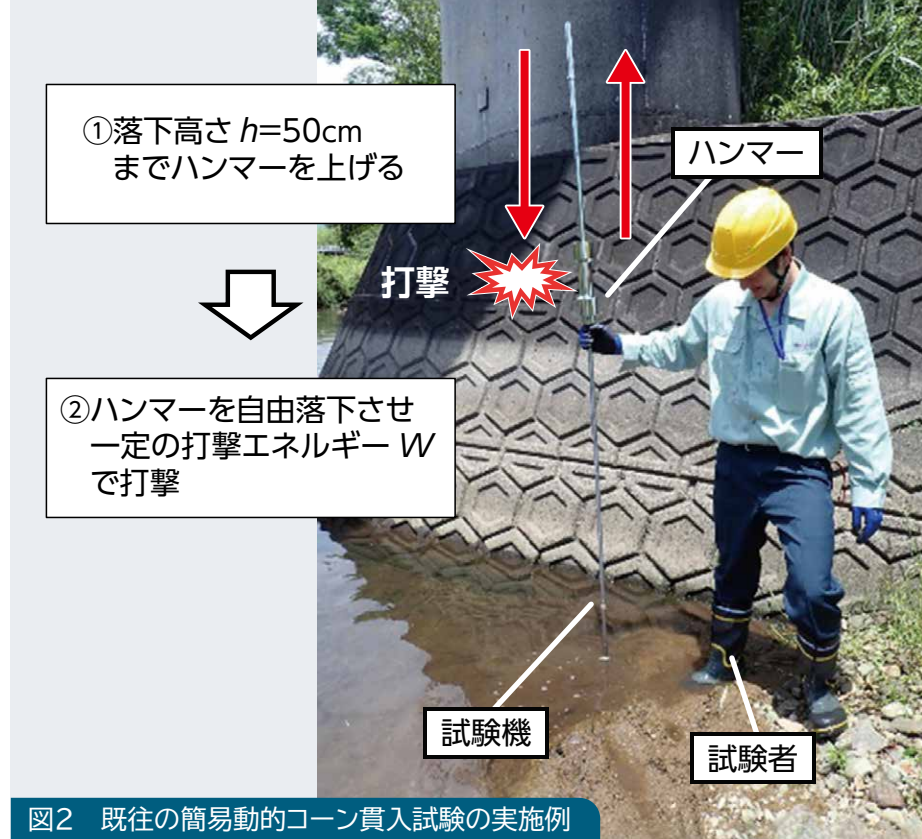


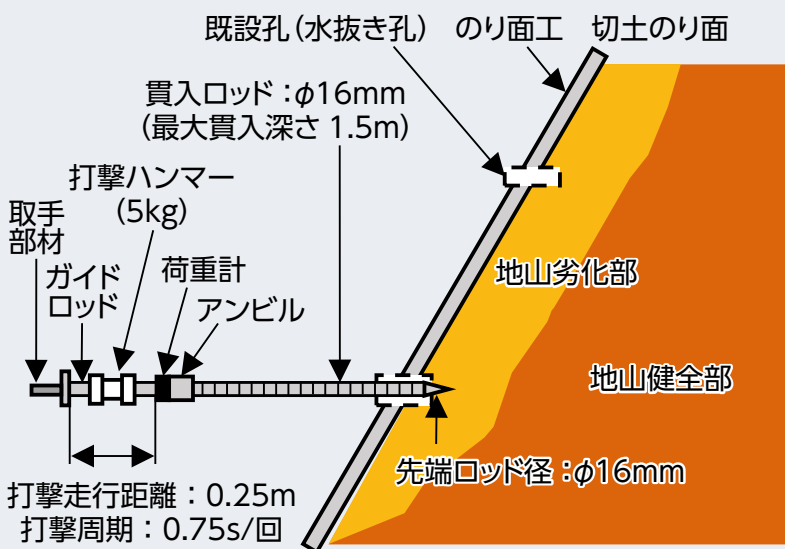
図2 既往の簡易動的コーン貫入試験の実施例

簡易動的コーン貫入試験²⁾

簡易動的コーン貫入試験は $\phi 16\text{mm}$ の貫入ロッド、先端に取り付けられた先端コーン $\phi 25\text{mm}$ 、5kgのハンマーで構成される機材を使用し、ハンマーを一定の高さ $h=0.5\text{m}$ 位置から自由落下させることで、一定の打撃エネルギー W で接地させた貫入ロッドの頭部(アンビル部)を打撃し、先端コーンを地中に鉛直貫入させる試験です。この一定の打撃で貫入ロッドを100mm貫入させるために必要な打撃回数が、地盤の状態を示す試験値 N_d になります。一般に N_d が低い値であるほど地盤は緩んでいると判断されます。

図3 新しい「自由打撃簡易貫入試験」の構成と仕様 (I型・II型)

(a) 自由打撃簡易貫入試験 (I型)



(b) 自由打撃簡易貫入試験 (II型)

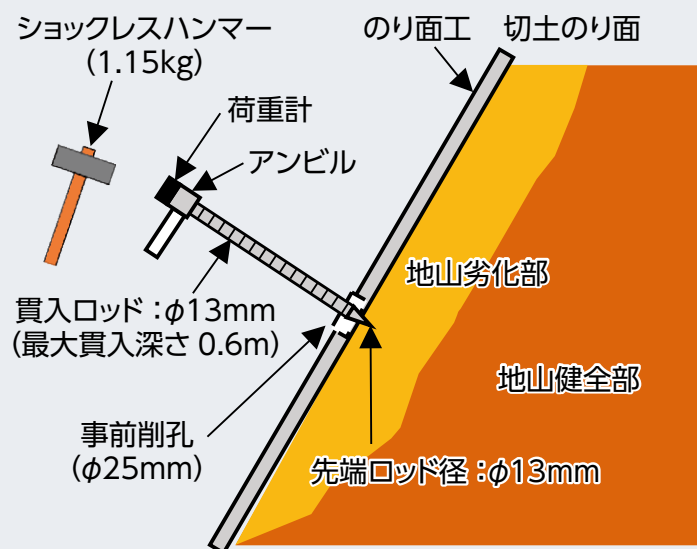


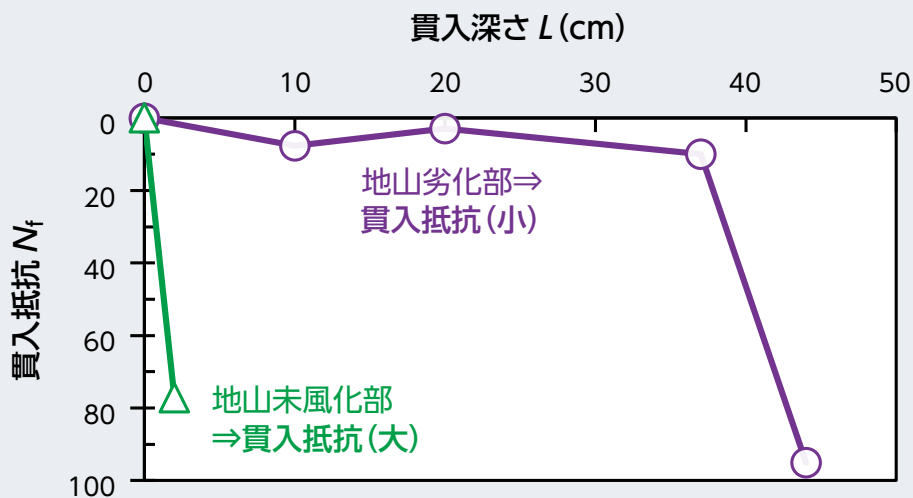


図4 II型貫入試験の実施状況の写真

一例として、のり面工背面地盤を対象にII型貫入試験を実施している状況の写真を図4に、試験結果の例を図5に示します。図5に示されるように、低い貫入抵抗値がより深くまで続く結果が得られた場合には、背面地山の劣化が進んでいると判断されます。

ここで、自由打撃簡易貫入試験の技術的な課題として、人力によって任意方向に打撃貫入するため、既往の鉛直貫入試験(図2)と比べて、試験精度を低下させる原因となる打撃のばらつきが生じやすい点を挙げられます。そこで自由打撃簡易貫入試験には、打撃のばらつきを抑制する打撃ルール、また試験者によるハンマー打撃の打撃力 F を計測して試験値を補正する方法を導入しました。ここで打撃力 F の計測データに基づいて試験値を事後的に補正する試験を「詳細試験」と呼び、補正しない試験を「簡易試験」と呼びます(図6)。これらの試験は、試験目的、試験条件などに応じて選択します。

図5 II型貫入試験の試験結果の例



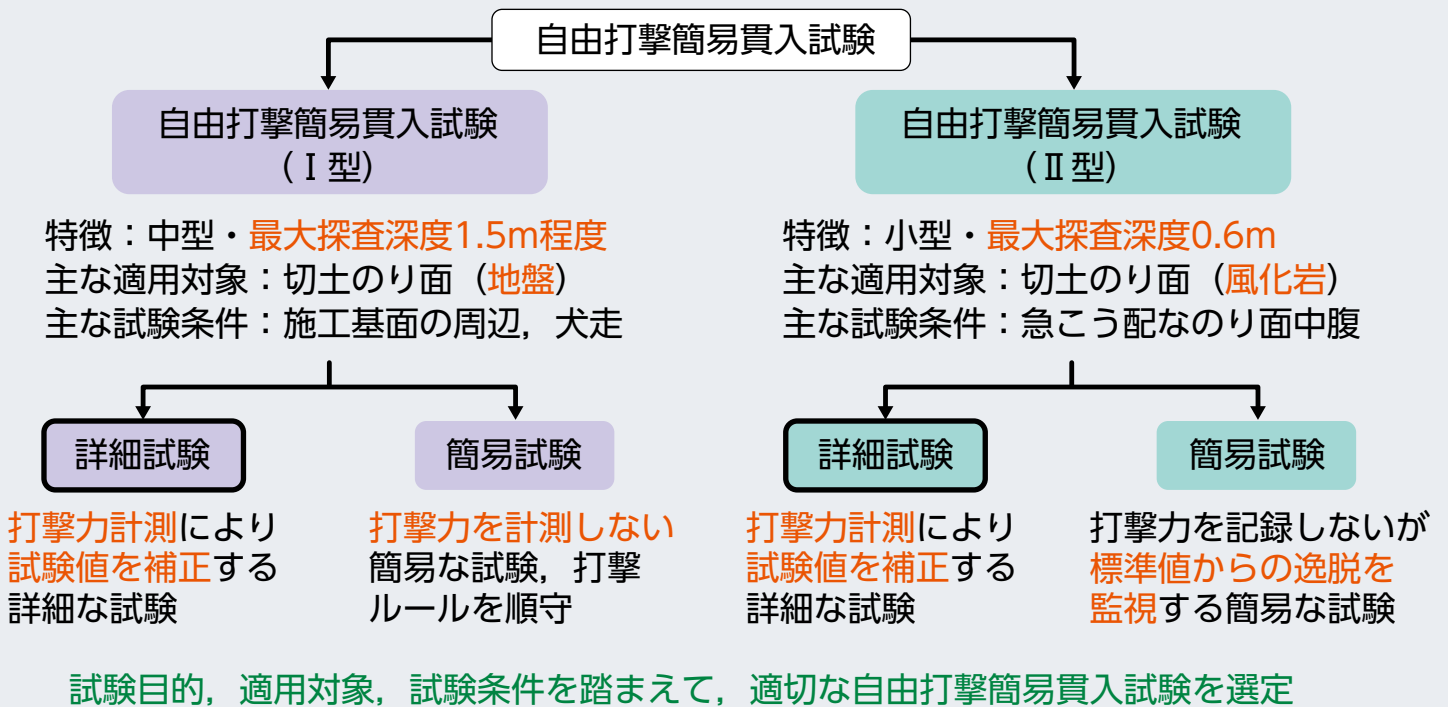


図6 「自由打撃貫入試験」の選定の考え方

I型貫入試験の具体的な実施方法

I型貫入試験(図3(a))は試験者と補助者の2名以上で実施します。I型貫入試験機の特徴としてハンマーがスライド移動できるガイドロッドを備えています。試験手順として、試験者は試験機を任意方向に据え付け、人力によってハンマーをガイドロッド内で振り子状に一定周期(0.75秒に一回の打撃周期)で往復運動(打撃走行距離は0.25m)させてアンビルに対して打撃を繰り返し、ロッドを地盤内へ打撃貫入させます。補助者は打撃回数と貫入量の関係を記録し、これにより試験値 N_e を把握します。なおこの打撃周期と打撃走行距離に関する打撃ルールは、打撃のばらつきを抑制するために定められたものです。なお詳細試験の場合は、補助者はハンマーによる一打撃ごとの最大打撃力 F_{max} を計測し、計測結果に応じて試験値を補正します。この補正の考え方については次章で説明します。

II型貫入試験の具体的な実施方法

II型貫入試験(図3(b))の試験手順および人員は基本的にI型貫入試験と同様であるものの、II型貫入試験ではガイドロッドが装着されていないためI型貫入試験のような打撃ルールを規定することができません。そこでII型試験では、補助者は試験者の一打撃の最大打撃力 F_{max} がおおむね管理基準である $14.5\text{kN} \pm 5\text{kN}$ の範囲にあることを監視しつつ試験を実施します。なお詳細試験の場合は、I型貫入試験と同様に、補助者はハンマーによる一打撃ごとの最大打撃力 F_{max} を計測し、計測結果に応じて試験値を補正します。

室内試験による試験値補正方法の検証³⁾

自由打撃簡易貫入試験における試験値の補正の考え方を説明します。図7に貫入試験における打撃ハンマーによる打撃速度 v 、貫入試験機で計測される打撃力 F およびロッドの貫入量 d

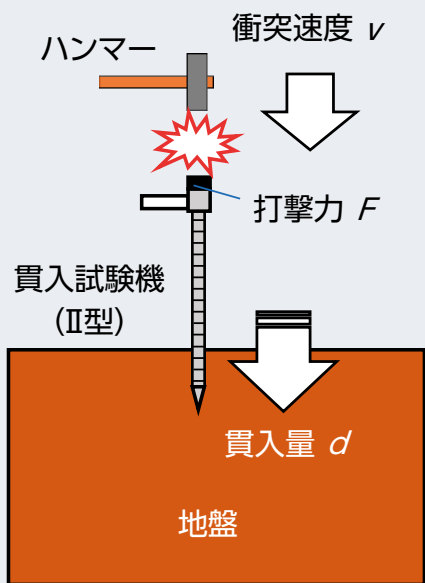


図7 貫入試験のハンマー衝突速度 v 、貫入試験機の打撃力 F 、貫入量 d の概念図

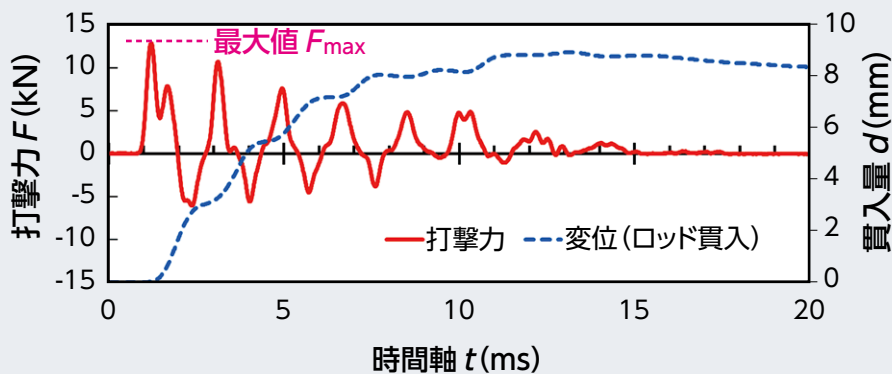


図8 貫入試験の打撃力波形とロッド貫入変位の関係の例

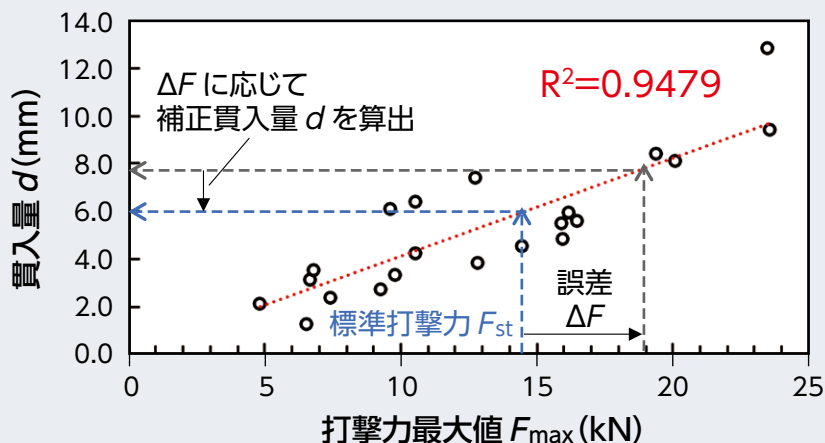


図9 最大打撃力 F_{max} と貫入量 d の関係の例 (II型貫入試験による)

の概念図を示します。図8に貫入試験において打撃ハンマーが貫入試験機に衝突した瞬間の打撃力 F の波形とロッド貫入量 d の関係の例を示します。自由打撃簡易貫入試験の補正においては、この打撃力 F の最大打撃力 F_{max} を管理基準値として利用します。この最大打撃力 F_{max} を用いたI型およびII型貫入試験の試験値の補正方法については、地盤の固さや密度が異なるさまざまな模型地盤を用いた室内貫入試験をあらかじめ実施し、最大打撃力 F_{max} とロッドの貫入量 d を比較しています。その結果、最大打撃力 F_{max} と貫入量 d には高い相関関係が期待されることがわかりました(図9)。この関係を利用することで、I型およびII型貫入試験の詳細試験を実施する場合には、現地試験での実際の打撃が標準打撃力 $F_{st}=14.5\text{kN}$ と比べて誤差

ΔF を生じた場合でも、標準打撃力 F_{st} で打撃した場合の本来の試験値(N_e 値もしくは N_f 値)に補正することができます(図9)。また試験対象の地山が砂地盤の場合には、I型貫入試験の試験値 N_e 値は「 $N_d=0.43N_e$ 」³⁾、II型貫入試験の試験値 N_f 値は「 $N_d=0.31N_f$ 」³⁾として既往の鉛直貫入試験の N_d 値に換算することも可能です。

現地試験による検証例

最後に、鉄道総研敷地内の切土のり面において、I型貫入試験(簡易試験)の現地試験を実施した事例を紹介します。現地試験では、同一箇所4名の作業者がI型貫入試験(簡易試験)を2回実施し、劣化部の判定を同様に実施できるか確認しています。試験結果を図10に示し

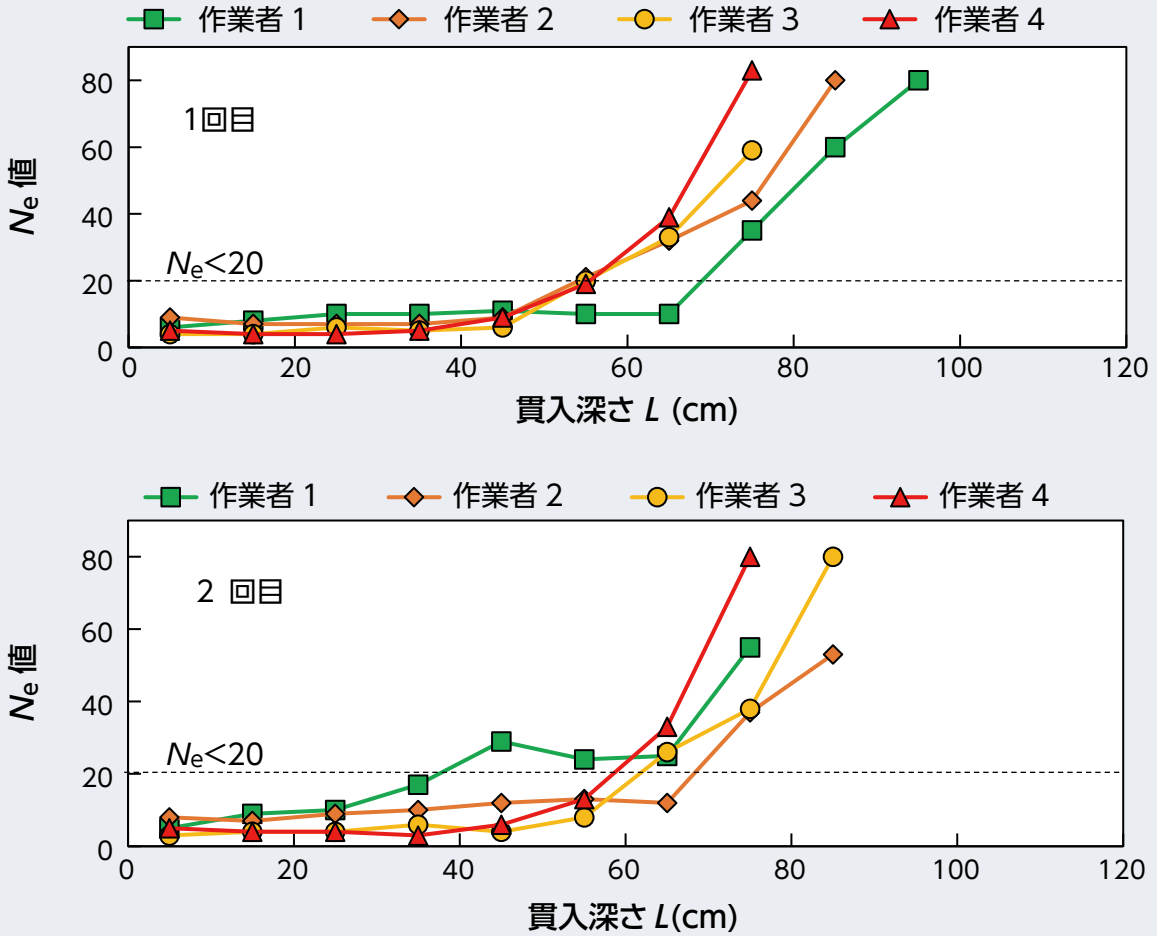


図10 日野試験所切土における現地試験の結果（I型貫入試験）

ます。なお劣化部の判定の目安として、暫定的に過去の切土のり面で斜面災害が発生した箇所の表層の N_d 値の平均値を踏まえて、 $N_e < 20$ ($N_d < 8$) を設定しています。各作業者の結果はおおむね同一に深さ60cm程度を劣化部と判定する結果となっており、作業者によるばらつきが少ないことを確認しました。

まとめ

今回はのり面工背面地山の劣化度を低コストに把握する自由打撃簡易試験についてご紹介しました。今後は現地試験の適用事例などを増やし、また試験機の普及に向けて試験データの整理を簡略化するためのソフトウェアの開発などを進めて行く予定です。RRR

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所 鉄道技術推進センター：事故に学ぶ鉄道技術（災害編），p.82，2012
- 2) 地盤工学会：簡易動的コーン貫入試験方法，地盤調査の方法と解説，2013
- 3) 飯久保雄太，高柳剛，加藤豊，西脇博也：自由打撃簡易貫入試験によるのり面工背面地山の劣化度評価方法の検討，第59回地盤工学研究発表会，2024