

河川堤防でのSH型貫入試験の適用

(株)アサノ大成基礎エンジニアリング ○町田 敦、山田 紀之

< 要約 >

河川堤防の法面表層に亀裂が確認された。この発生原因の把握には、表層部の硬軟と土質性状の面的な把握が必要と考えた。このため、SH型貫入試験（簡易動的コーン貫入試験の改良型）を用いて調査を行った。この手法は、一打撃ごとの貫入量が専用ロガーに自動記録でき、土質の硬軟を連続的に把握できるため、簡易動的コーン貫入試験と比較して、土層中の強度分布を詳細に捉えることができる。

また、ソイルコアサンプラーを使用することにより、土質試験が可能な量の試料採取を行うことができる。今回は、実際に試料採取をして得られた試料を用いて土質試験を行い、物理特性を把握した。その結果、SH型貫入試験結果から得られた強度分布と、土質試験から得られた物理特性に関係あることが示された。この関係について考察を行い、滑り面、滑り範囲、変状の原因を特定した。

1. はじめに

本発表は、SH型貫入試験装置¹⁾(NETIS登録番号:KT-070043 - A)及びソイルコアサンプラーを用いた河川堤防の法面調査の結果に関するものである。

SH型貫入試験は簡易動的コーン貫入試験の改良型で、重錘を3kg + 2kgの着脱型としている特徴があり、土層の硬軟をより詳細（連続的）に把握することができるとともに、一打撃ごとの貫入量が専用のロガーに自動記録されることで人為的エラーが生じない。また、ソイルコアサンプラーを使用することで、土質試験を行うことができる量の試料採取が可能である。

調査は、河川堤防の川表法面に全長約5mの亀裂が河川巡視員によって確認され、この変状原因についての解明を目的として実施した。ここでは、SH型貫入試験が河川堤防の変状調査に有効であることについて報告する。

2. SH型貫入試験について

今回の調査で使用したSH型貫入試験について以下に記す。

2.1. SH型貫入試験の試験方法と試験機について

図-1にSH型貫入試験機の概要を、表-1にSH型貫入試験の特徴を、写真

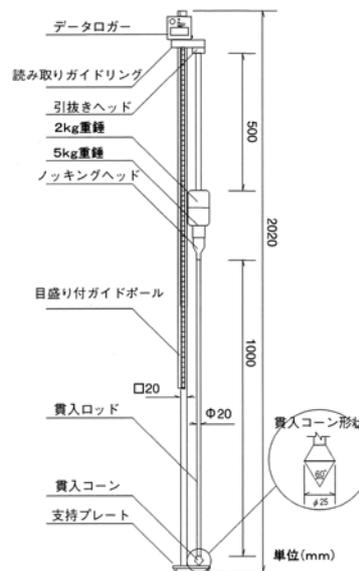


図-1 SH型貫入試験機概要

-1に着脱式重錘をそれぞれ示す。SH型貫入試験は、貫入コーンを最初軟らかい土層を3kgの打撃力で貫入させ、硬くなってきたら（貫入量が4mm程度以下が10回程度連続したら）2kgを追加して5kgの打撃力で貫入させることで表層部の微細な構造を把握する。これによりN値10以下の軟弱層を詳細に把握することが可能となった。このために打撃用重錘は3kgと2kgに分解できるタイプとなっている。2つの重錘が完全に一体化しないと5kgのエネルギーがコーンに

伝わらないため嵌合体方式となっている。試験機は貫入部であるロッドと打撃用重錘、それを支持するガイドポール、および貫入量を自動記録するデータロガーから構成されている。

表-1 SH型貫入試験の特徴

測定方法	3kgと、5kgの重錘(2kgの重錘を追加)を50cmの高さから落下させ1打撃ごとの貫入量を自動記録しNd/drop値を求める。
取扱い	3kgの重錘を使用し、軽量で調査の肉体的負担が少ない、また指つめの防止対策を講じており安全に調査することが可能である。
記録方法	データロガーにより1打撃ごとの貫入量を0.1mmの精度で自動記録できる、人為的なミスがなく正確で客観的なデータが得られる。
N値換算	1打撃ごとにN値に換算することが可能である。 N値10以下で、最小Nd/drop値:N値が1:1

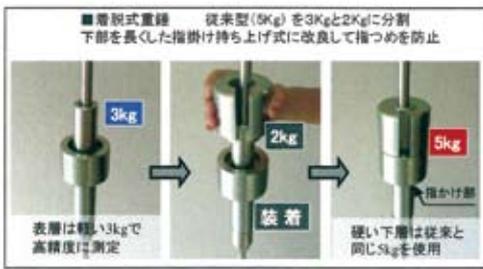


写真-1 着脱式重錘

図-2にSH型貫入試験の試験方法を示す。試験する位置を決めたら、貫入ロッドを鉛直に立て、データロガーを上部にセットした後3kg重錘を50cm持ち上げ自由落下させて先端コーンを貫入させる。このときデータロガーは1打撃毎の貫入量を自動的に記録する。試験深度は5m程度までとしている。また、従来の簡易貫入試験機で起き易かった指つめ事故を防止するためにSH型貫入試験機の重錘部には把持部が有り安全性も高められている。1打撃毎のデータを0.1mmの高精度で自動記録できるデータロガーによって、人的なエラーを排除すると共に高精度な読み取りで作業効率の向上がはかられている。

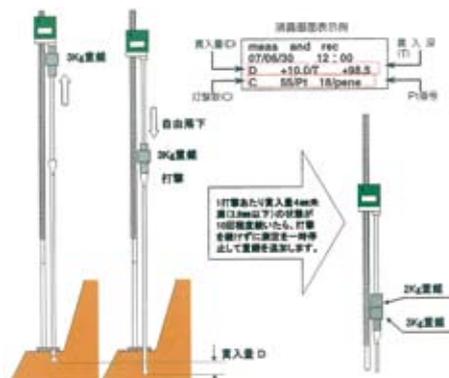


図-2 SH型貫入試験方法

また、参考のために、図-3に簡易動的コーン貫入試験とSH型貫入試験の比較を示す。SH型貫入試験の方が、データをより詳細(連続的)に捉えることができ、僅かな弱部も見落としにくいことが表されている。

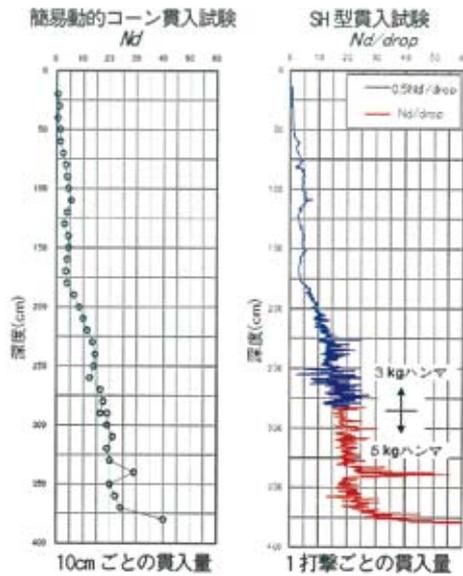


図-3 簡易動的コーン貫入試験とSH型貫入試験の比較

2.2. 試験結果の整理とN値との相関

1打撃ごとの貫入深さから貫入抵抗Nd/drop値は以下のように算出される。なお試験開始時に自重沈下があった場合にはその分の貫入深さで補正される。

(1) Nd/drop値

Nd/drop値とは、質量5kgのハンマーを500 ± 10mmの高さから自由落下させ、コーンを100mm貫入させるのに要する打撃回数である。この試験では次式を用いて1打撃ごとにNd/drop値を求める。

$$Nd/drop = \frac{1}{3kg+2kgハンマー1打撃におけるコーン貫入量(mm)} \times 100(mm)$$

(2) Nd'/drop値

Nd'/drop値とは、質量3kgのハンマーを500 ± 10mmの高さから自由落下させ、コーンを100mm貫入させるのに要する打撃回数である。

(3) Nd/drop値とNd'/drop値の関係

Nd/dropとNd'/dropとの関係は次式が示されている。また、図-4に3kg打撃と5kg打撃の関係を示す。

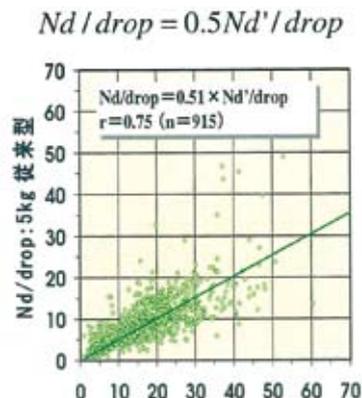


図-4 3kg打撃と5kg打撃の関係

グラフとして出力する場合は、 N_d' / drop を N_d / drop に換算して一本の連続グラフとして図化するが線の色を変えて 3kg と 5kg の違いが分かるようになっている。

従来型の簡易動的コーン貫入試験では、急傾斜地で実施した調査から地層の種類と硬軟に関わらず、 $N_d = (1 \sim 3)N$ の関係がほぼ適用できることが示されている。SH 型貫入試験の場合には、標準貫入試験併用のボーリング調査結果と対比した結果、表層の $N_d / \text{drop} < 10$ の柔らかな土層では、 N_d / drop 値が最小となる深度での貫入抵抗値 ($(N_d / \text{drop})_{\min}$ と表現) は、 $(N_d / \text{drop})_{\min} \approx N$ の関係がほぼ成立することがわかっている。ただし確認・精査するためには、調査地において標準貫入試験を行った箇所直近で SH 貫入試験を行い、対比することを推奨している。

2.3. ソイルコアサンプラーによる試料採取

写真-2 にソイルコアサンプラーによる試料採取を示す。SH 型貫入試験では、試験箇所の地中の土を直接目視確認するために、ソイルコアサンプラーを準備している。土質試料採取は、 N_d / drop 値と土層状況の関係を把握する上で有効である。特に設計を行う際の粘性土か砂質土かを判断する根拠となるため、代表的な試験箇所で、 $N_d / \text{drop} < 10$ までの区間（または深さ 2m まで）、SH ソイルコアサンプラーによる試料採取を推奨している。サンプラーによる試料採取の方法は、SH 型貫入試験での貫入コーンを $\phi 20\text{mm}$ 、 $L=250\text{mm}$ の SH ソイルコアサンプラーに付け替え、3kg ハンマーで打撃し、20cm ごとに土層のサンプルを採取する。地山と採取試料の縁切りはノッキングブロックの穴へ引き抜き棒を差し込み回転させることで行う。サンプル採取状況を標尺と並べる形で写真撮影した後、土質や色調等を確認して土層図にし、各土層を代表するサンプルを標本瓶に収納する

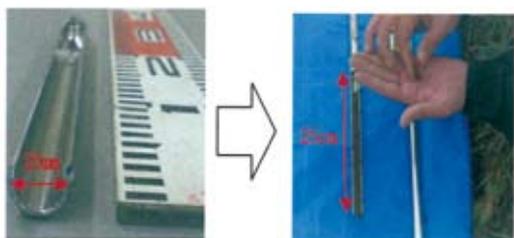


写真-2 ソイルコアサンプラーによる試料採取

3. 調査内容

調査は図-5 に示す位置で SH 型貫入試験を 14 カ所、ソイルコアサンプリングを 2 カ所行った。

4. 変状の原因について

SH 型貫入試験結果並びにソイルコアサンプラーを使用して採取した試料による土質試験結果を以下に示す。

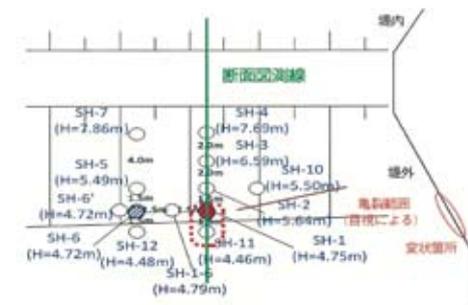


図-5 調査箇所及び断面図測線

4.1. SH 型貫入試験結果及びコア採取結果

図-6 に変状箇所と変状のない箇所の N_d / drop 値のグラフを示す。また、写真-3 に SH-2 (変状箇所) と SH-5 (変状のない箇所) でソイルコアサンプラーを使用して採取したコアの写真を示す。

図-6 を見ると、SH-2 (変状箇所) では、 N_d / drop 値 5 以下 (極端な弱部) が $GL - 1.3\text{m}$ 付近の深度まで認められるが、SH-5 (変状のない箇所) では、 N_d / drop 値 5 以下 (極端な弱部) が $GL - 0.5\text{m}$ 付近までしか認められず、強度分布の違いが明確に認められた。また、写真-3 を見ると、SH-2 (変状箇所) ではコアの含水量が多く泥濁化しているが、SH-5 (変状のない箇所) ではコアの含水量が少なく乾いた状態であった。

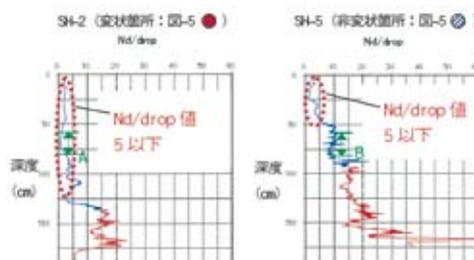


図-6 Nd 値の違い

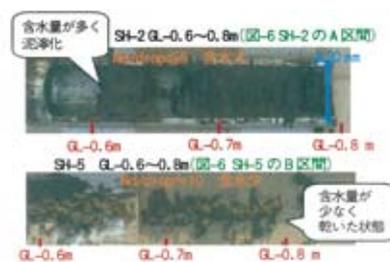


写真-3 採取されたコア

4.2. 土質試験結果

土質試験は、ソイルコアサンプラーを用いて試料を採取したSH-2(変状箇所)、SH-5(非変状箇所)の試料を用いて行った。試験内容は含水比試験と粒度試験である。図-7にSH-2(変状箇所)とSH-5(非変状箇所)の表層部の違いをそれぞれ示す。



図-7 表層部の違い

図-7より、以下のようにまとめられる。

- SH-2(変状箇所)では、細粒分含有率が35%以上の範囲はGL-1-3mまでであった。また、含水比は試料採取を行ったGL-1.4mまで概ね30%程度であった。
- SH-5(非変状箇所)では、細粒分含有率が40%以上の範囲はGL-0.45mまでであり、含水比はGL-0.45mまでは30%程度であったが、GL-0.45m以深は22~27%程度であった。

4.3. 調査結果のまとめ

4.1.4.2をまとめたものを以下に記す。

- Nd/drop値が5以下の極端な弱部の深度と細粒分含有率35%以上の深度は概ね一致する。
- Nd/drop値が5以下の極端な弱部の深度と含水比が30%程度の深度は概ね一致する。
- 変状箇所と非変状箇所を比較すると変状箇所の方がNd/drop値が5以下の極端な弱部の層が厚く、細粒分含有率、含水比ともに高い。
- ①~③より、変状箇所では弱部を形成しやすい細粒分含有率が高くなり、含水比の高い地層が厚くなっていることが確認された。

5. 変状の原因について

図-8に亀裂範囲を含む測線の断面図を示す。なお、断面図に使用した測線は図-1の「断面図測線」である。図-8に示すとおり、地下水位よりも高い位置で変状が起きている。地下水位よりも高い位置で変状が起きた原因は、表層あるいは堤防川裏側からの浸透水により、難透水材料が厚い部分で含水が多くなったために泥濁化してNd/drop値が5以下の極端な弱部が発生し、結果的に表層滑り破壊が起きたと考えられる。

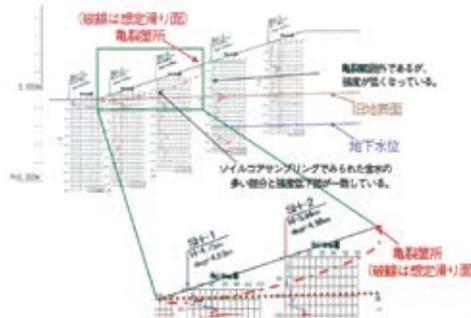


図-8 想定滑り面を記入した断面図

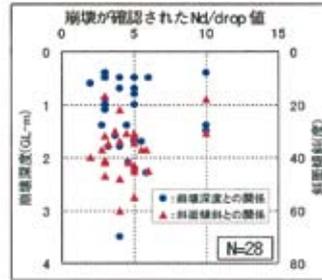


図-9 崩壊深度におけるNd/drop値と崩壊深度・斜面傾斜との相関(表土層調査技術研究会より)

図-9に過去の実績によるNd/drop値と崩壊深度、斜面傾斜の相関を示す。この図より、崩壊は、Nd/drop値が5以下の地盤に集中しており、Nd/drop値が5以下の部分を想定滑り面とした今回の考察と一致している。

6. おわりに

SH型貫入試験及びソイルコアサンプラーを用いた今回の調査手法は、強度分布並びに物理特性の組合せによって変状範囲の把握と原因について考察し、SH型貫入試験が河川堤防の変状調査に有効であることが示された。

SH型貫入試験は、比較的新しい手法であり、河川堤防における実績はあまり多くないものの、昨年度改訂された「河川砂防技術基準(調査編)」に「表層構造調査用の簡易貫入試験」として明記されたので、今後は堤防調査での活用が多くなっていくと思われる。また、表面波探査との組み合わせも示されており³⁾、さらなる活用が期待できる。

参考文献

- 表土層調査技術研究会: 斜面崩壊対策におけるSH型貫入試験調査基準, pp1~9, 2009.
- 砂防・地すべり技術センター機関誌「sabo」技術ノート vol.113, pp18~21, 2013.1: SH型貫入試験(表層構造調査用簡易貫入試験)、網木亮介・藤川富夫
- 河川技術論文集第18巻: EPS盛土を使った堤体横断面の表面波探査, pp315~320, 2012.6. 杉井俊夫・前田健一・斉藤秀樹・小林剛・尾畑功