

土層強度検査棒による地盤性状の把握 ～河川堤防基礎地盤調査における検討～

品川俊介・矢島良紀・山本定雄・阿南修司

1. はじめに

河川堤防の出水による被災要因として、越水、侵食、浸透の3つが重要である。そのうち、浸透については堤体材料やその築造方法に起因するもの（堤体浸透）と基礎地盤の構造に起因するもの（基盤浸透）に分類することがある。

基盤浸透によって破堤に至る国内の代表的な事例としては、1953年の遠賀川左岸14.1k付近¹⁾や、近年では2012年の矢部川右岸7.3k付近²⁾がある。これらの事例では、川表から川裏方向に延びる砂層が浸透経路となり、川裏の地盤漏水が拡大して堤体直下の砂層が吸い出しを受け、すなわちパイピングが発生したために堤防の沈下が起こって破堤に至ったものと推測されている（図-1）^{1),2)}。

自然地盤は、侵食や堆積の結果として形成されることから、地質構造を適切に把握することにより、浸透経路の推定や予測ができる可能性がある。しかしながら矢部川の実例のように、透水経路が

局所的に分布する場合もあることから、地盤調査の空間分解能は数m以下であることが望まれる。

このような地盤調査において、通常のボーリング調査は費用の制約から全面的な適用が困難である。また簡易動的コーン貫入試験（以下「簡易貫入試験」という。）などの安価で多点の調査が可能なサウンディング試験では、土質推定ができないことが課題である。

そこで、迅速・簡便に地盤性状が把握可能な機器である土層強度検査棒³⁾（以下「土検棒」という。）を河川堤防基礎地盤の漏水原因に関する調査に用いたところ、その有効性が明らかになってきた^{4),5)}。具体的には、漏水原因調査においては、透水経路となる砂層・砂礫層の分布を把握する必要があるが、ボーリング調査やトレンチ調査等との比較により、土検棒の貫入限界深度分布が砂礫層などの上面深度と概ね一致することがわかった。そのため、土検棒調査をボーリング調査などと組み合わせることによって漏水機構の解明に資する情報を得ることができる。

また、土検棒調査では限界貫入深度に加え、調査時の音や振動、手応えから土質や硬さの情報が得られる可能性があるが、その精度については十分検証されていない。

そこで本論では、土検棒による土質推定および地盤の硬さ判定について、トレンチ壁面の観察や粒度分析の結果、および簡易貫入試験結果との比較により、その把握精度について検討する。

2. 土検棒の地盤漏水箇所への適用調査

2.1 調査機器

調査に用いた土検棒は、先端コーンが付いた直径10mmの金属製ロッドを主体とする、小型で軽量のサウンディング試験機（図-2）である。これを人力で地盤に押し込むことにより、深さ5mまでの表土の厚さや性状が把握できる。土検棒は迅速・簡便に調査が行えるため、多点調査による地盤の不均質性の評価が可能となるほか、静的に貫入を行うため、貫入時の音や振動や手応えが調査

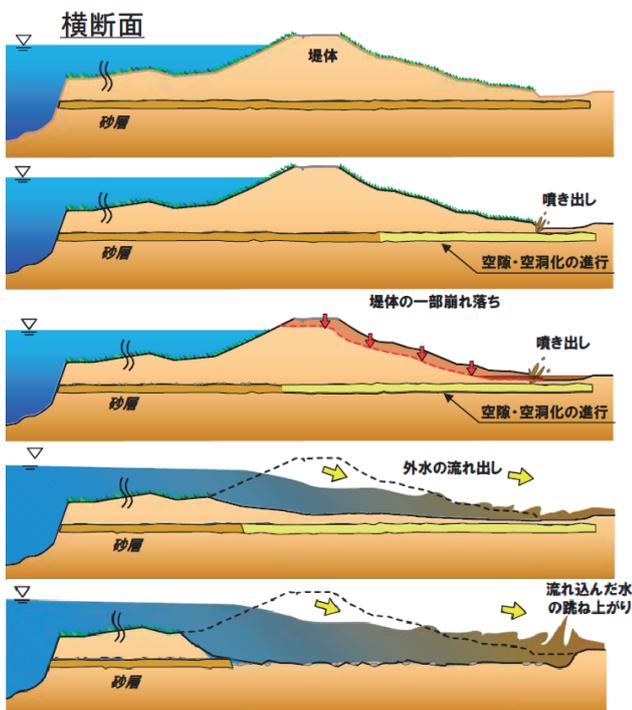


図-1 基盤浸透による被災プロセス図²⁾



図-2 土層強度検査棒

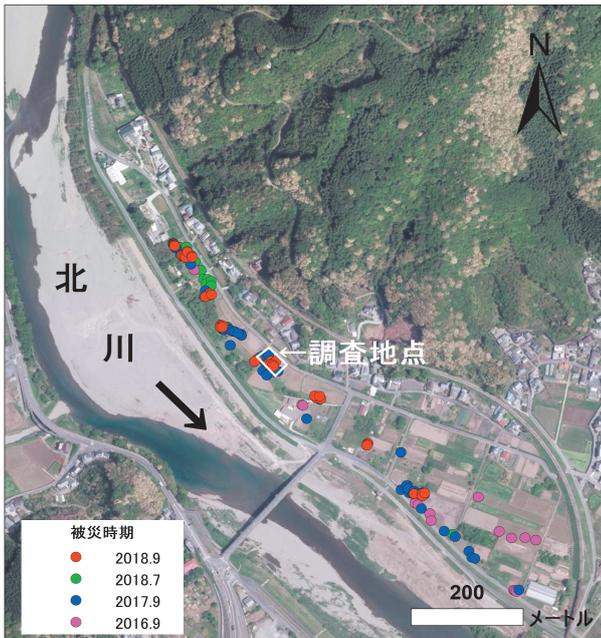


図-3 調査地点および周辺の地盤漏水地点
(被災情報は石原ほか⁶⁾、空中写真は地理院地図による。)

者に伝わりやすく、それを基に地盤の定性的な土質の推定や硬軟の判定を行える可能性がある。

2.2 調査地点

宮崎県北部の延岡市北川町長井の水田を調査地点とした。当該地点は五ヶ瀬川の最大支川である北川の左岸堤防から40～60m程度堤内側に位置している(図-3の白枠)。周辺では旧河道の地形を中心に度々地盤漏水が発生しており、近年では2016、2017、2018年と3年連続で地盤漏水に伴う多数の噴砂や陥没が確認された⁶⁾。また、開削調査により、調査地の地質は表層より、水田耕作土(砂質シルト)、深度0.3m付近の硬質な水田基盤層、下位にシルト質砂を主体とする河川氾濫堆積物、深度3～4m以深に砂礫層や礫層が分布する。また、一部に人為的に投入されたと考えられる礫や瓦が確認された。さらに、トレンチ壁面の観察から、噴砂脈は深度3m以深の砂礫から発生していた(図-4)ことから、砂礫層の分布の状況が漏水と密接に関わっていると考えられる。

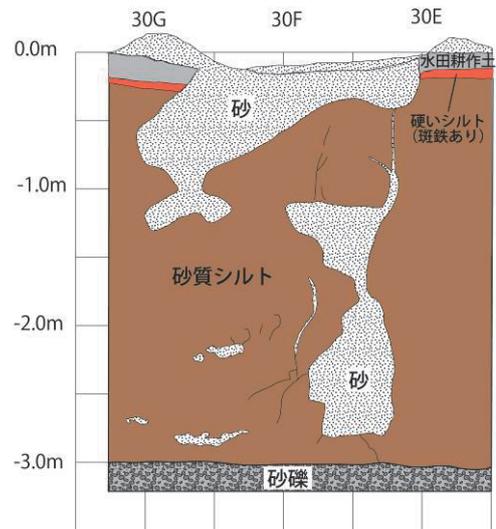


図-4 噴砂の断面スケッチ



図-5 調査地点図

2.3 調査方法

地盤漏水箇所を含む20m×40mの範囲に1～2m間隔のグリッドを設定し、その交点364箇所です土検棒調査を実施した。またそのうち64箇所では比較のために簡易貫入試験を実施した(図-5)。

土検棒調査では、人力で貫入できなくなる深度や地盤の硬さ、土質を調査者の主観に基づき深度別に記録した。貫入方法は原則として静的貫入としたが、硬い層にあたった場合はロッドを一旦引き上げて勢いよく押し込むような打撃貫入に近い方法も用いた。調査は2～3人1組で編成された計4班で行い、1つの班内でも調査者を交代しながら作業を行った。なお地盤の硬さや土質区分の判

定に関して、調査者間における事前のすりあわせは行っていない。

簡易貫入試験は、原則的に貫入深さ10cmごとの打撃回数を記載し、一部を除いて概ね20回以上になる深度まで実施した。

2.4 土質の把握方法の検証

土質推定結果の一部について、トレンチ掘削面における地質観察結果や粒度分析結果との比較を行った。粒度分析試料は10cm間隔で連続サンプリングを行った。また、地盤の硬さ判定については簡易貫入試験の結果との比較を行った。

3. 結果

3.1 土質推定結果の検証

トレンチ壁面における地質観察結果と土検棒による土質推定結果との比較例を図-6に示す。本地点（測線31-32、測点B～Q）のトレンチ壁面の地質観察結果によると、表層から深度約0.4mまでは水田耕作土および締め固められたシルト質の水田基盤層で、その下位より深度約1～1.2mまではやや軟弱で均質な砂質シルト層が分布する。また測点M～P付近の深度約0.4～1mには礫層が分布する。本層は淘汰が悪い角礫で構成され、乱雑に堆積していることから、過去に発生した陥没の埋土と考えられる。さらにその下位には砂質シルト層中の複数の砂層が、見かけ上緩く北東に傾き下がるように深度約1.8mまで分布する。この砂

層は上位の砂質シルト層よりやや硬く、北東側に向かって粗粒化し、測点N～P付近では礫を含む。

一方、測線31-32における土検棒による深度別土質推定結果について、地質境界の判定は観察結果と整合し、礫の分布域を概ね的確に捉えていた。また、深度約0.4～1m前後までの砂質シルトを、複数の調査者が一様に柔らかい砂と誤推定し、その下位の砂を、やや硬いシルト混じり砂や砂質シルトと誤推定するが多かった。このように土質の違いは感じる事ができたものの、砂とシルトの識別には課題があることが分かった。

図-6の土検棒調査結果（下図）において、図の青線部に挟まれた範囲が同一調査者による一連の作業結果であるが、例えば地質観察結果（上図）の深度1.5m前後の砂層部分について、いずれの調査者も土質の差異を認めており、境界位置の判定については個人差が少ないと言える。一方、土質推定結果には一部に個人差が認められる。例えば深度1.5m前後の砂層を含む部分について、測点B-CおよびO-Qの調査者は、その他の調査者に比べてより細粒に推定する傾向が認められた。

測点22Dおよび24Dにおけるトレンチ壁面の地質観察結果、粒度分析結果と土検棒による土質推定結果との比較を図-7に示す。地質は測線31-32と非常に似ている。また粒度分析結果は地質観察結果とよく合った。一方、土検棒による土質推定結果は、測点22Dは測線31-32と同様であるが、

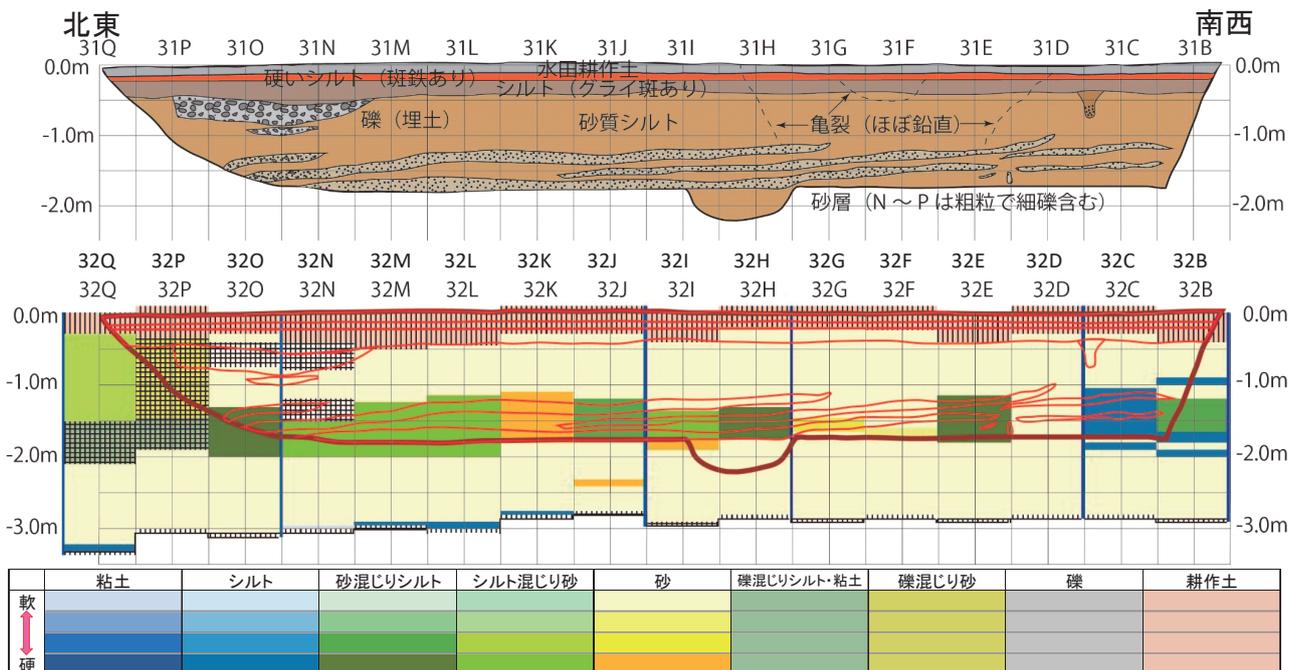


図-6 トレンチ壁面の地質観察結果（上）と土検棒による深度別土質推定結果（下）との比較

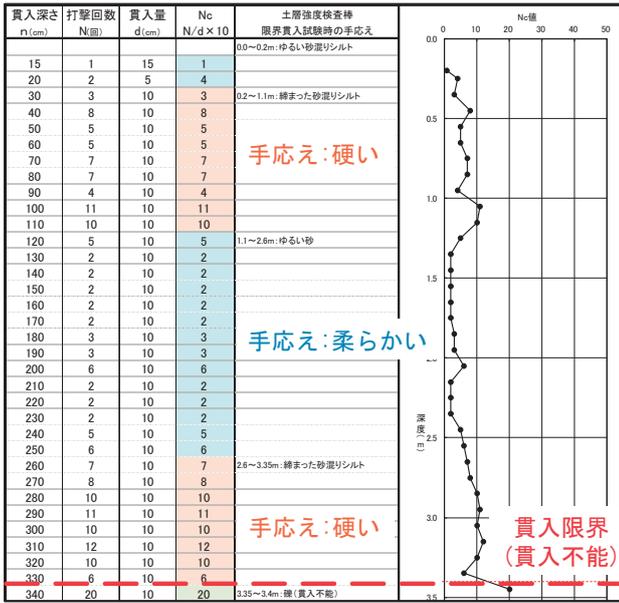


図-8 土検棒調査と簡易貫入試験の結果比較例

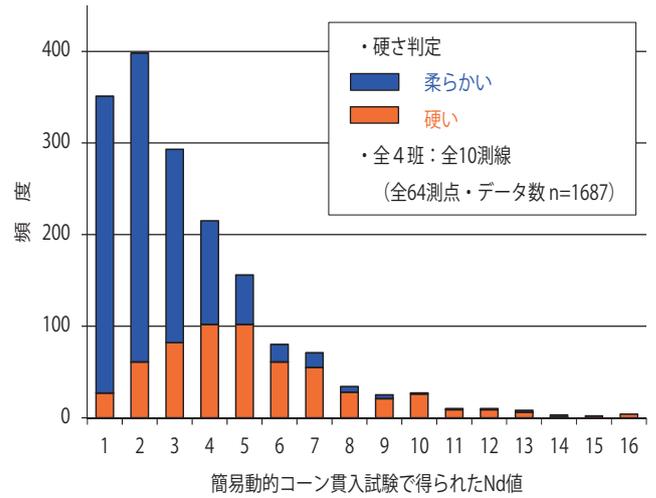


図-11 土検棒による地層の硬さ判定とNd値との関係⁷⁾

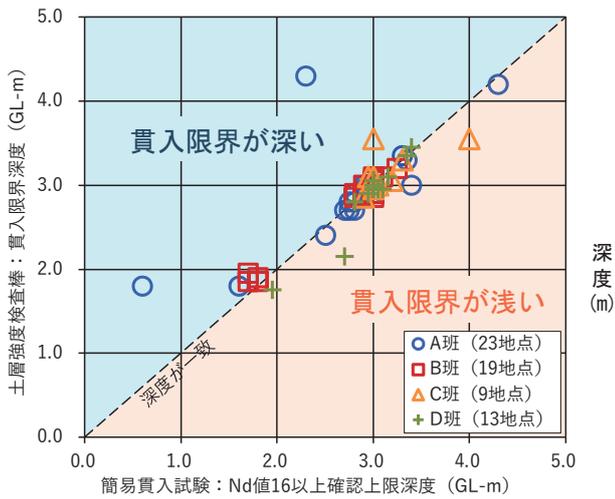


図-9 Nd 値 16 以上確認上限深度と土検棒の貫入限界深度との関係⁷⁾を改変

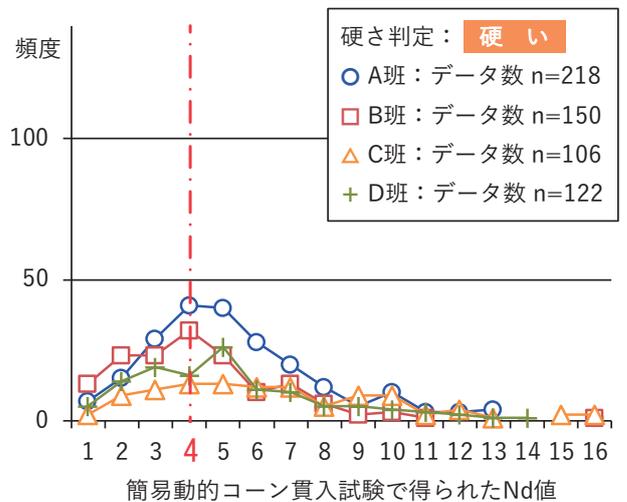
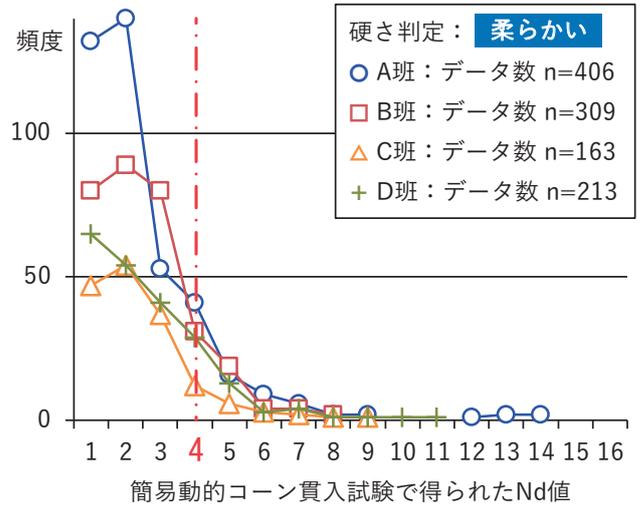


図-12 調査班ごとの地層の硬さ判定とNd値との関係⁷⁾を改変 (上: 柔らかいと判定した結果、下: 硬いと判定した結果)

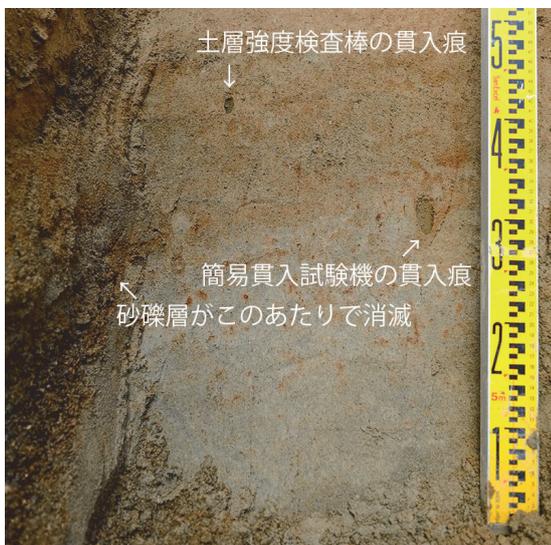


図-10 掘削による砂礫層深度急変部の確認状況⁷⁾

調査者による有意な差は確認できず、限界貫入深度については均質な評価ができていたことがわかった。

(2) 定性的な地盤の硬さ判定とNd値の関係

土検棒による地盤の硬さ判定に関して、各調査者が主観で判定・記載を行った結果は、一般的に「柔らかい」とした区間はNd値が小さく、「硬い」とした区間はNd値が大きい。

地盤の硬さ判定結果とNd値との関係を図-11に、調査班ごとの硬さ判定結果とNd値との関係を図-12に示す。硬さ判定の感覚について事前のすりあわせを行っていないが、調査者によらず概ねNd値4より小さな層を「柔らかい」、4より大きな層を「硬い」と区分しており、調査者の感覚による判定結果は、ある程度定量的な区分と対応することがわかった。

4. まとめ

洪水に伴って地盤漏水が繰り返し発生した堤内地盤において、土検棒による土質推定および定性的な地盤の硬さ判定の精度を確認した。

その結果、以下のことが明らかになった。

1. 土検棒の貫入によって、地質境界の区分が可能である。土質推定に関し、礫の分布域については概ね的確に把握可能であるが、砂とシルトの識別については誤推定することがある。誤推定の原因については不明である。
2. 土検棒による地盤の硬さ判定は、調査者によらず簡易貫入試験によるNd値4前後を境に硬軟の区分がなされ、かつ人力による貫入限界はNd値15程度であった。すなわち、土検棒の人力貫入による地盤硬さ判定および貫入限界は定量的な土の強度との対応が認められる。

今後は、現在開発中のセンサーを用いた土質推定方法の検討、土検棒貫入装置の実用化を進め、本調査手法の現場普及を目指す。

謝 辞

本調査を実施するにあたり、地権者および宮崎県延岡土木事務所の全面的なご協力を頂きました。また、簡易貫入試験データは名古屋工業大学、愛媛大学と土木研究所による共同調査の結果を使用させて頂きました。ここにお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 古賀雷四郎、内田一郎：遠賀川の堤防決壊及び漏水について、土と基礎、Vol.2、No.4、pp.4～7、土質工学会、1954
- 2) 矢部川堤防調査委員会：矢部川堤防調査委員会報告書、2013、国土交通省九州地方整備局筑後川河川事務所ホームページ、http://www.qsr.mlit.go.jp/chikugo/site_files/file/torikumi/01-plan_course/tyosa/saisyu/houkokusyo.pdf
- 3) 佐々木靖人：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル（案）、土木研究所資料、No.4176、40p.、土木研究所、2010
- 4) 品川俊介、日外勝仁、佐々木靖人：土層強度検査棒による河川堤防基礎地盤の高密度サウンディング調査、第1回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム委員会報告・講演概要集、pp.64～65、土木学会、2013
- 5) 品川俊介、矢島良紀、西塚大、阿南修司：河川堤防基礎地盤漏水現場におけるトレンチ調査、日本第四紀学会講演要旨集、No.48、p.7、日本第四紀学会、2018
- 6) 石原雅規、上田秀一、安部知之、品川俊介、笹岡信吾、富澤彰仁、佐々木亨、杉山詠一、佐々木哲也：北川における漏水の変遷と地形及び堤防構造等の関係、河川技術論文集、Vol.25、pp.517～522、土木学会、2019
- 7) 山本定雄、矢島良紀、品川俊介、富澤彰仁、杉山詠一、松尾達也、植田律、西塚大、前田健一、岡村未対：土層強度検査棒による地盤硬さ判定と簡易動的コーン貫入試験結果との比較、第54回地盤工学研究発表会講演集、pp.125～126、2019

品川俊介



土木研究所地質・地盤研究グループ地質チーム 主任研究員
SHINAGAWA Shunsuke

矢島良紀



土木研究所地質・地盤研究グループ地質チーム 主任研究員
YAJIMA Yoshinori

山本定雄



研究当時 土木研究所地質・地盤研究グループ地質チーム交流研究員、現 応用地質(株)
YAMAMOTO Sadao

阿南修司



土木研究所地質・地盤研究グループ地質チーム 上席研究員
ANAN Shuji