

# NSWSによる地盤陥没領域の調査

地盤陥没 玉石混じり砂礫 NSWS

日本物理探鑿 正会員 風嵐健志  
K & O corporation 正会員 近藤 巧  
大北耕商事 正会員 大北耕三

## 1. はじめに

我が国の発展や国民生活の安全を支えてきた社会資本は、建設後 50 年を超える構造物も見られるようになり、その技術も建設から維持・管理へと移ってきている。そして、これら構造物を有効に活用し、その機能を継続させるための再生及び評価技術が必要になって来ている。

河川堤防について見ると、各時代の土木技術を利用して構築されていると同時に、戦後の機械化施工の流れの中で、洪水対策機能が付加され、その目的を達成している。しかし、一方では、異常な集中豪雨の多発により堤防の決壊等が発生しており、河川災害の発生に対し、現状を評価し、補修や対策工に対する方向性を提示する調査方法が必要となっている。

しかしながら、従来の貫入試験やサウンディングのような測定頻度では、世代の異なる土質構成、地層境界、水みち位置の特定、空洞の有無、その周辺地盤のゆるみ等の状態を把握するに不十分である。少なくとも 5cm 以下の頻度の計測が必要と考えられる。合わせて、調査の迅速性、経済性はむろんのこと、データの連続性、原地盤の拘束圧の下で現状をリアルタイムに評価できる原位置試験方法が求められている。

スウェーデン式サウンディング(SWS 試験機)は、移動が容易、調査時間が短く調査方法も簡単、そして機械ボーリングに比べて調査費が安価である反面、密な砂質地層、礫・玉石層には適用できない試験方法である<sup>1)</sup>。このSWS試験機の載荷と回転貫入抵抗による計測システムを利用し、載荷荷重の空油圧制御化と測定頻度の細分化の機能を備え、超軟弱領域の特定化が可能な原位置地盤調査機、NSWS(GS-型)が開発されている<sup>2)</sup>。本機は以下の特徴を有している。

- ・ 駆動・載荷部自重に対し負圧載荷させ、0N から 1000N までの連続載荷。
- ・ 2.5cm ピッチで載荷荷重、回転数、沈下時間を測定。
- ・ 沈下時間計測により沈下速度を定義し、速度値をパラメータとした空洞・ゆるみ範囲の特定。
- ・ 鉛直～傾斜～水平方向の計測。

本稿では、玉石混じり砂礫を主体とする河川堤防の陥没箇所にNSWS試験を適用した事例を報告する。

## 2. NSWSによる陥没領域の調査

### 2.1 調査内容

本調査地は、扇状地頂部付近にあたり、河床勾配が急激に緩くなり砂礫層が厚く、地表付近から玉石が多く混入した礫質土主体の土質構成となっている。また、堤体盛土は 20～60mm の礫を主体に 100mm 程度の玉石が混入し所々密集する粒度構成となっている。

この玉石混じり砂礫層を掘削する河川横断シールド工事の施工中、その直上の河川堤防川裏法尻部で直径 2.5m、深さ 0.5m の陥没が発生し、緊急に陥没地周辺のゆるみ範囲を特定し、堤体への影響を検討することが必要となった。この目的に対し、NSWS 試験を実施した。(写真 1 NSWS 鉛直計測状況 図 1 陥没箇所状態図参照)

試験位置は、図 2 に示すように、直径 2.5m の陥没箇所を中心として、直径 8.0m の範囲内に 25 箇所、陥没箇所から離れた上流側斜面に 6 箇所、下流側斜面に 6 箇所、そして上方部の斜面に 3 箇所の計 40 箇所とした。

陥没箇所では 25 箇所に加え、写真 2 に示すように傾斜計測も 2 箇所で行った。傾斜計測は、およそゆるみ範囲が陥没箇所付近に限定される状況が判明した時点で、ゆるみ領域の境界面を探る目的で実施したものである。陥没箇所以外の 15 箇所は、陥没箇所の計測結果との比較を目的に実施したものである。

緊急性を考慮し、NSWS 試験機は 3 台使用し、合計 42 箇所を 3 日間で終了した。

### 2.2 空洞とゆるみ領域の特定

NSWS 試験機は、沈下時間から沈下速度を定義し、その設定値をパラメータとして回転・載荷を制御し、空洞やゆるみ領域を特定している。すなわち、図 3 の計測結果例に示すように、設定値 5cm/s(可変)以上を検知した時点で、回

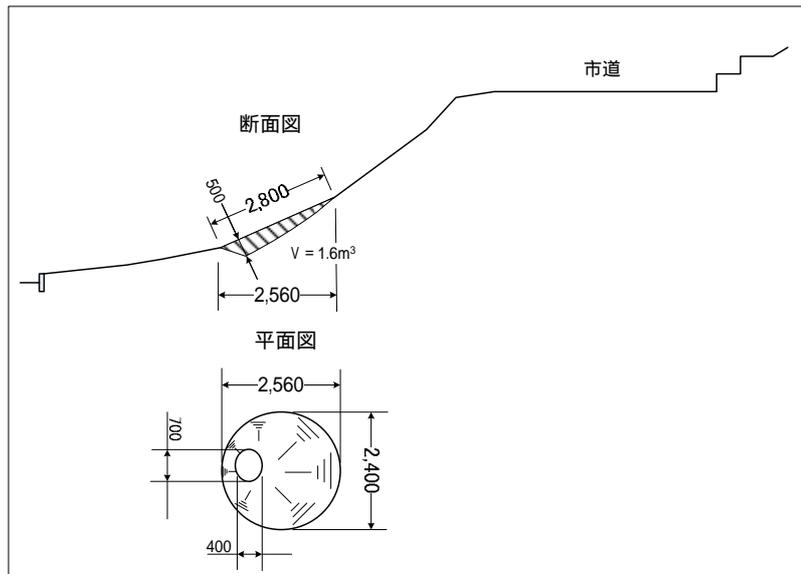


図1 陥没箇所状態図

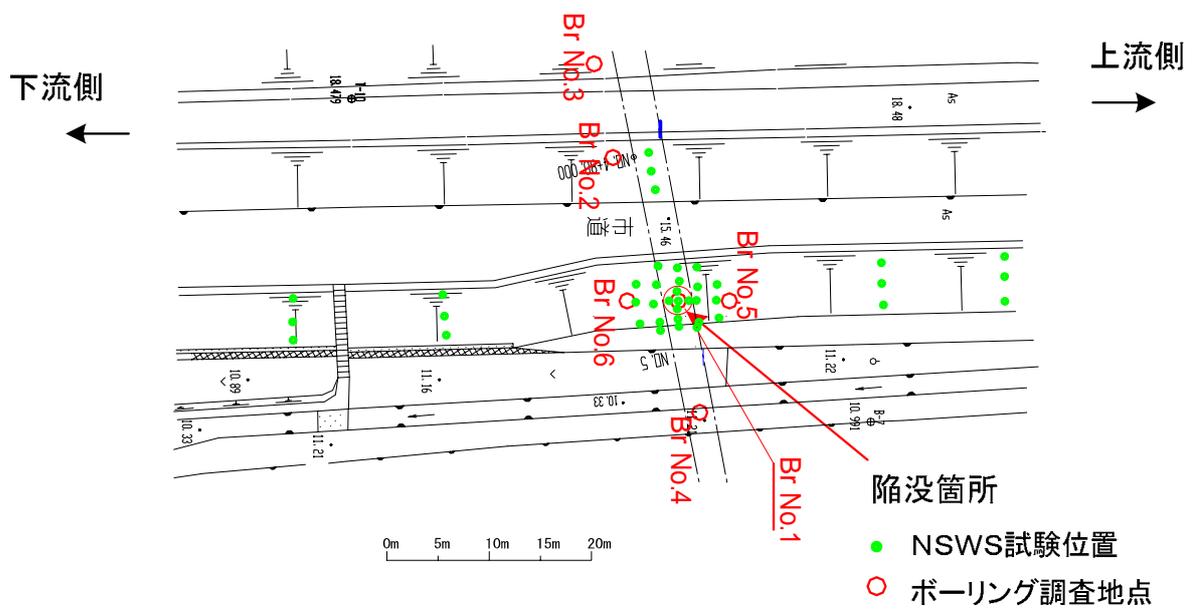


図2 NSWS試験位置図



写真1 NSWS鉛直計測状況



写真2 NSWS傾斜計測状況

転・載荷を一旦停止し、載荷重を ON に戻し、計測を再開するシステムによって、地盤内の異常領域を検出する。そして、載荷重が0側に大きく変化する位置が自沈位置であり、空洞あるいはゆるみ領域の頂部と判定する。図3では深度0.75~1.5m間で4箇所の異常領域が検出されており、この区間で陥没によるゆるみが生じていると判定できる。

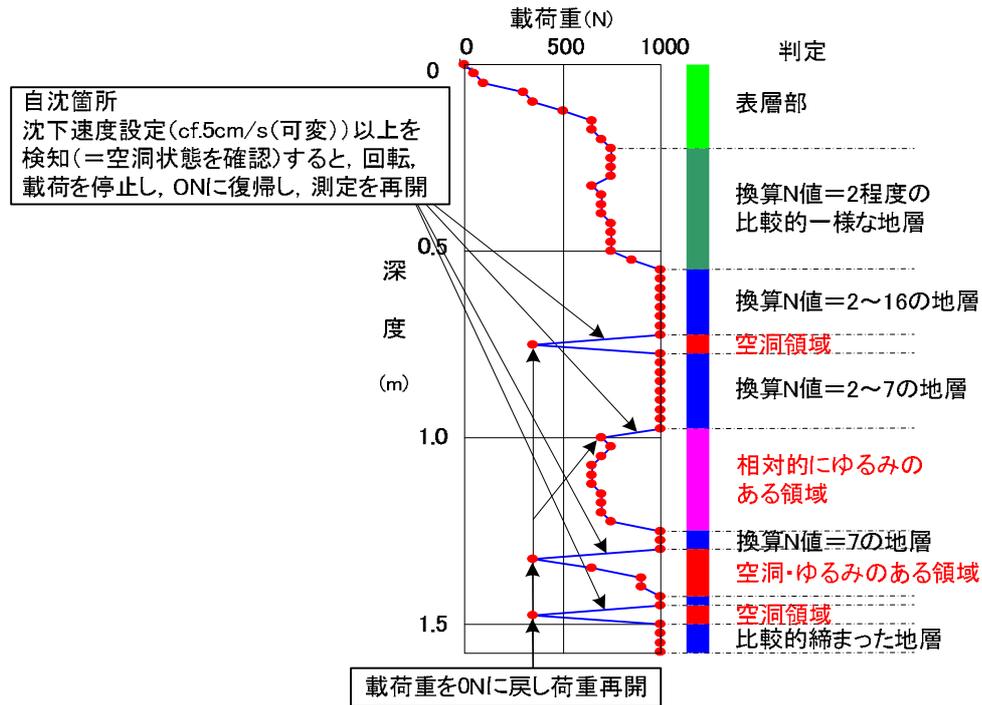


図3 N SWS計測結果例

### 2.3 陥没箇所以外の調査結果

図4は、陥没箇所の下流30mにおける堤防横断方向の計測結果 (N SWS 載荷重と換算N値 [稲田式] 及び打ち止め深度) である。

打ち止め深度は、ロット周辺に玉石が落ち込み、ジャーミング現象による回転不能や、ロット先端がまともに玉石に当たり貫入不能となった時点の深度と考えられる。

計測状況は、GL±0m から GL-0.5m の浅部では載荷重が順当に増加し、途中玉石の存在が想定され回転数の増加が見られる箇所もあるが、換算N値 10 未満で推移している。計測深度も平均 1.51m と短く玉石当たりの影響が出やすい地盤であると判断される。

陥没箇所の上方面部、上流側 45m、25m、下流 20m の 12 地点においても、これら計測結果とほぼ同じ傾向を示しており、平均自沈回数は 1.0m 当たり 2.5 回で、法尻付近では表層から深度 1.0m 付近まで、法肩付近では表層から深度 2.0m 付近まで、玉石当たりにより換算N値の上昇はあるものの緩い地盤状態であると判断できる。

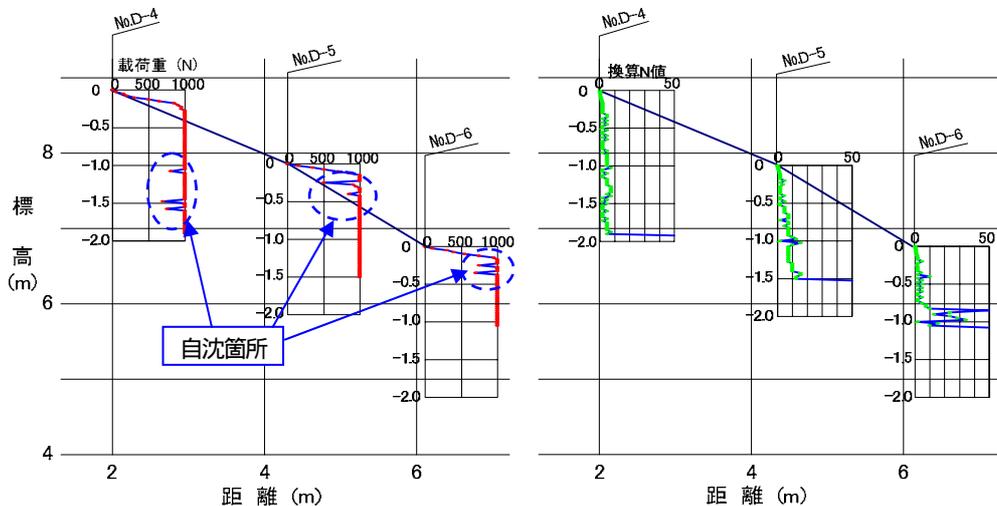


図4 陥没箇所から下流30m位置 N SWS 載荷重・換算N値 [稲田式] と打ち止め深度

## 2.4 陥没箇所及び周辺領域の調査結果

図5は、陥没領域及びその周辺領域の計測結果（NSWS 載荷重と打ち止め深度[ 1- 3 横断，陥没箇所直上横断 4- 8，陥没箇所中心横断]）と計測位置平面図である。

載荷重について見ると 先の陥没箇所以外の計測結果に比べ 載荷重 1,000N 未満の領域及び自沈箇所が頻度高く現れ，地表から GL-0.5m までの緩い表層を超えて深度方向に継続する区間は，陥没によるゆるみや地層の乱れを捉えたものと考えられる。

また，載荷重が 1,000N を超え，回転が計測された後に自沈，載荷重の減少，減少に続く載荷重増加傾向の出現といった挙動が繰り返し計測される。この事象は，玉石の下が空洞あるいは非常にゆるんだ土砂となっている地盤状況を想定すると説明できる。すなわち，一旦玉石に当たり，計測値の上昇に続いて玉石がずれてその下のゆるみ領域で自沈となる。自沈が繰り返し計測されている状況は，先に記した陥没箇所以外の地点とは異なり，ゆるみが深度方向にも発達した地盤状況にあると考えられる。

表1に見るように，25 箇所の計測結果を打ち止め深度及び m 当たりの自沈回数で整理すると，いずれの値も陥没中心位置に向かって増加する傾向を示し，陥没箇所，陥没影響領域，そして影響外領域の3つに区分することができる。そして，陥没影響領域は堤防横断方向に長径約 6m，短径約 5m の楕円状で，その中心線が幾分下流側に偏る形で分布すると考えられる。

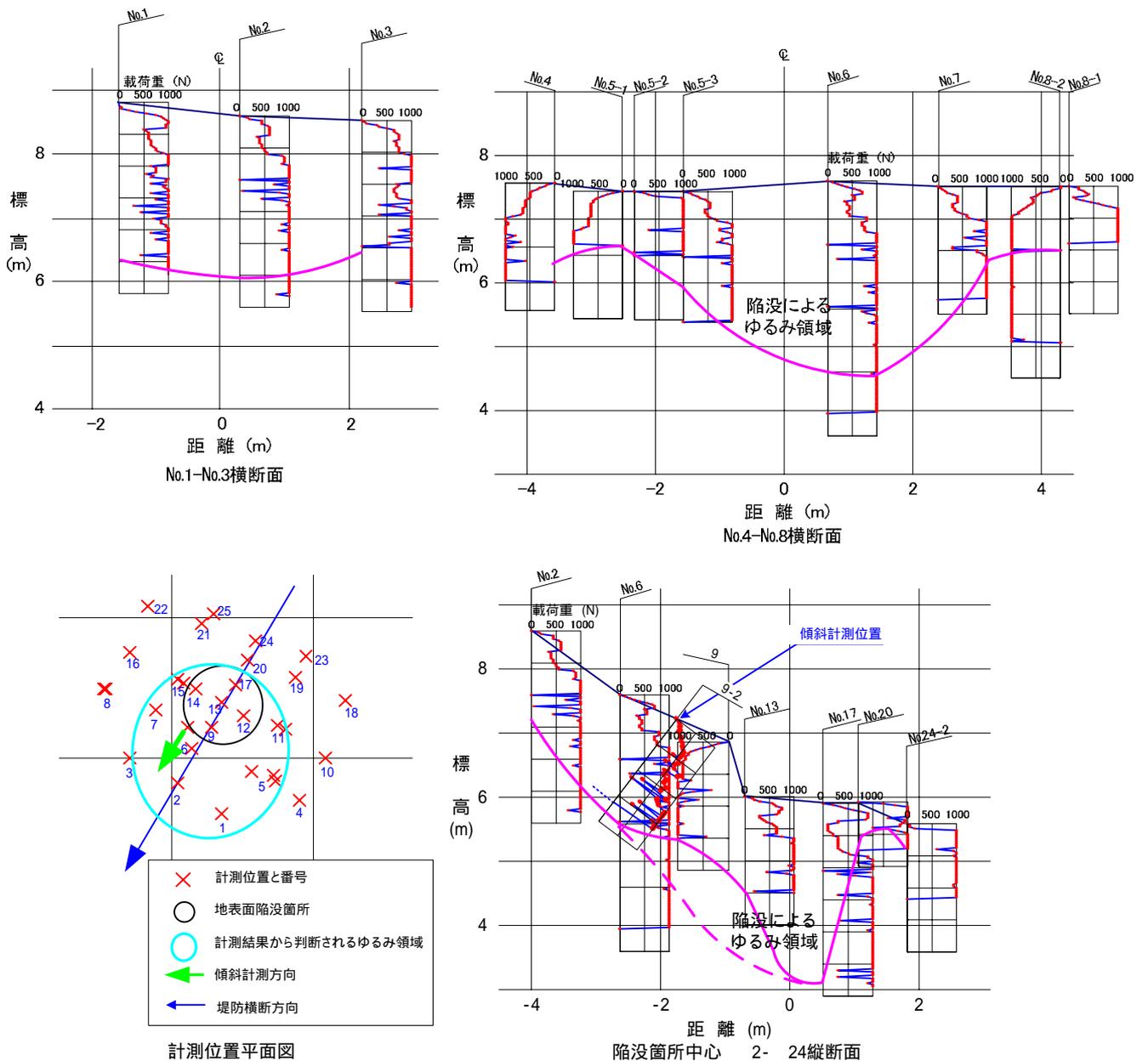


図5 陥没領域及びその周辺領域の計測結果

表 1 各領域における単位m当たり自沈平均回数と平均調査深度

	m当たり自沈平均回数(回)	平均調査深度(m)	
陥没箇所	4.5	1.83	
陥没影響領域	3.8	1.88	
陥没影響外領域	2.3	1.13	
陥没箇所以外	2.5	1.51	

## 2.5 傾斜計測結果

写真 2 に示したように、陥没影響領域の検証を目的に陥没箇所内の 9 測点近傍から堤防法肩方向に傾斜角 53 度にて傾斜計測を実施した。(図 5 陥没領域とその周辺領域の計測結果、計測位置平面図参照)

計測結果は、打ち止め深度が 1.65m、自沈回数 10 回であり、自沈領域では載荷重の変化も大きく、鉛直計測結果と同程度以上の緩い地盤状況が検証され、打ち止め深度は陥没影響領域と影響外領域の境界を示すものと推定される。

## 3. 考察

礫層や玉石混じり砂礫層はスウェーデン式サウンディング試験が適用できない地層とされている。しかし、今回の調査地点の堤体盛土は、細粒分を含み、20～60mm の礫を主体に 100mm 程度の玉石が点在する地盤であり、その玉石は中下流域に分布する幾分扁平性のものである。この形状が本来不得意とする玉石まじり砂礫層で NSW S による計測が可能となった理由と考えられる。

すなわち、堤防造成時、転圧により玉石楕円体の長軸方向が水平状態にあっても、回転が付加されたスクリーポイントの貫入に伴い、玉石がよけるように移動することが可能な分布状態であったこと、また、図 6 (右) に示すように、陥没によって周辺土がゆるみ、スクリーポイントの貫入をより容易にしたものと考えらる。

さらに、NSWS に採用されている空油圧による載荷システムが緩い玉石混じり砂礫層への貫入にプラスの作用を及ぼしている。すなわち、NSWS は一様な載荷ではなく、貫入抵抗に対し、微小ではあるが、空気の容積が収縮と反発を交互に繰り返す載荷を行っており、この載荷の特性が玉石混じり砂礫層への貫入に寄与していると考えられる。

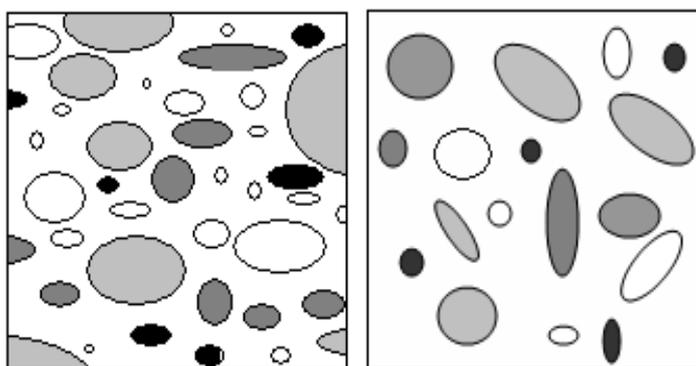


図 6 堤体の玉石分布推定図

図 6 堤体の玉石分布推定図

計測は 42 箇所を 3 台×3 日間で終了し、陥没箇所を中心に半径 4m の円内 25 地点、最大調査深度 3.6m の結果から、陥没によるゆるみ領域は長径約 6m、短径約 5m の比較的狭い範囲であることが特定できた。

そして、この結果を基に、ボーリング調査が実施された。調査地点は、堤防断方向には、陥没中心点 1 箇所と非影響範囲とした上流下流側各 1 箇所(中心から 4.0m 離れた地点)の計 3 箇所である。

図 7 は、その結果の浅部を抜粋したものであり、陥没箇所では、深度 8m まで N 値=0～5 で非常に緩い地盤となっているのに対し、非影響範囲とした箇所では、深度 3m 以深で N 値=20～31 で中くらいの地盤となっている。これらボーリング調査の結果は、NSWS による調査結果と整合性が得られている。

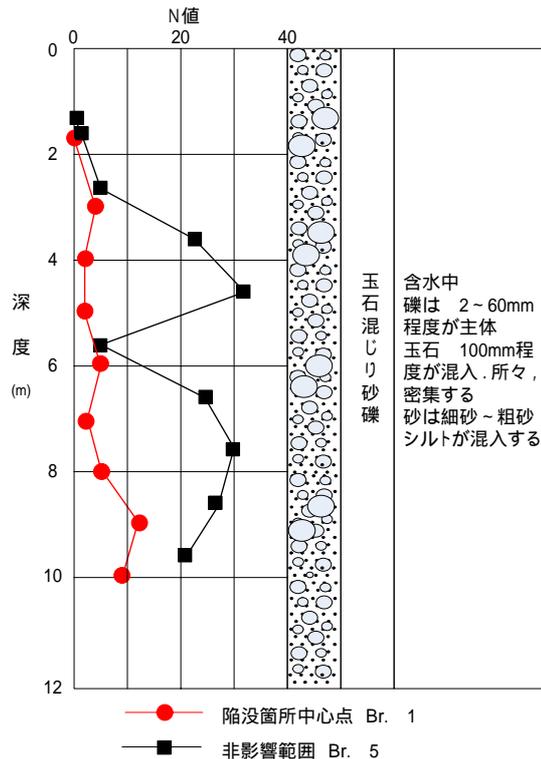


図7 陥没中心部No.1とこれより4.0m上流側No.5のボーリング調査結果（浅部抜粋）

#### 4. おわりに

陥没に伴うゆるみ範囲の特定と堤体への影響評価を目的とし、初期の調査段階で玉石まじり砂礫層にNSWSを適用した。載荷重、貫入量、回転数の計測結果に加え、NSWS特有の沈下速度をパラメータとする自沈の頻度に注目することによっても陥没によるゆるみ範囲を特定できた。その結果はボーリング調査の実施によって検証され、陥没箇所を中心とするゆるみが比較的狭い範囲であり、堤体への影響も甚大では無いことが早期に判定された。

今後、NSWSの特色を生かし、陥没や崩落による地盤のゆるみとその性状変化、境界位置の特定と広がり調査と軟弱層から玉石混じり礫層に至る様々な地盤への適用事例を重ねることによって、新たな地盤の計測技術として確立できるものと考えている。

本調査実施に当たり、近畿大学大野先生には現地でのNSWS適用に関し、ご指導いただいたことに改めて御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 地盤工学会：「地質調査の方法と解説」, pp.280～289, 2004.
- 2) 近藤 巧・大北耕三：「地盤内空洞自沈領域の詳細調査方法およびその調査機」, 地盤工学会誌, Vol.56, 9, pp.30～31, 2008