

原位置 NSWS 試験に基づく地盤陥没影響領域の特定

稲積 真哉* 風嵐 健志**

近藤 巧*** 大北 耕三****

Identification of Influence Region on Ground Subsidence based on In-situ NSWS Testing

by

Shinya INAZUMI*, Kenji KAZARASHI**,

Takumi KONDO*** and Kozo OKITA****

The Swedish weight sounding test machine (SWS test machine) used in the in-situ ground investigation method, is easy to move, shortens test time, is simple to use for testing, and less expensive compared to mechanical boring test. However, this method cannot be used in dense sand layers and stones/cobblestones layers. An in-situ ground investigation machine, NSWS (Nippon Screw Weight System) that enables identification of super soft zones and has the functions for controlling hydraulics and pneumatics of loading, and for segmentation of measuring interval was developed by utilizing the measuring system (using load and rotational penetration resistance) of the SWS test machine.

In this paper, we report a case in which the NSWS test (machine) was used for identifying the subsidence locations on the river bank made up mainly of cobble-mixed gravels. Specifically, the NSWS test (machine) was used for cobble-mixed gravel layers in the initial investigation stage with the purposes of identifying the area loosened due to ground subsidence and assessing its impact to the dam's body. In addition to the measurement results of the amount of load, the penetration rate and the number of rotations, the area loosened due to ground subsidence was identified by paying attention to the scuttle frequency considering subsidence frequency specific to a NSWS test (machine) as a parameter. The test result was verified by boring measurement, and the loosened area was relatively small at the subsidence locations. Moreover, at an early stage, it was determined that the impact on the dam's body was not devastating.

Key words: Conversion N-value, Ground subsidence, In-situ ground investigation, Loosening, NSWS testing machine

1 緒 言

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みられるようになり、その技術も建設から維持・管理へと移ってきている。換言すれば、これら社会資本を有効に活用し、その機能を継続させるための再生および評価技術が必要になってきている。¹⁾ 河川堤防についてみると、各時代の土木技術を利用して構築されていると同時に、戦後における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。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て現状を評価し、補修や対策工に対する方向性を提示する調査・試験方法が必要となっている。¹⁾

原位置地盤調査の一つである貫入試験やサウンディング試験のような計測頻度では、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、ならびに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。^{2), 3)} 少なくとも 5cm 以下の頻度の計測が必要と考えられる。³⁾ 同時に、調査・試験の迅速性ならびに経済性は無論のこと、実拘束圧の下で計測値の連続性を確保しつつ、原地盤の現状をリアルタイムに評価できる原位置試験・調査方法が求められている。

原位置地盤調査法のひとつであるスウェーデン式サウンディング試験機 (SWS 試験機) は、移動が容易、試験時間が短く試験方法も簡単、さらに機械式ボーリングに比べて試験費が安価である反面、密な砂質地層、礫層、および玉石層には適用できない方法である。^{4), 5)} 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計測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試験機、NSWS (Nippon Screw Weight System) を開発している。当該 NSWS 試験機は以下の特徴を有しており、詳細については文献 6), 7) にて述べている。

(1) 駆動部と載荷部自重に対して負圧載荷を与えること

+ 原稿受理 平成23年2月8日 Received

* 正 会 員 京都大学大学院 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-2-234, Kyoto University, Nishikyo, Kyoto, 615-8540

** 非 会 員 日本物理探査(株) 〒550-0027 大阪市西区境川2-5-27, Nippon Geophysical Prospecting Co., Ltd., Nishi, Osaka, 550-0027

*** 非 会 員 (有)K&O Corporation 〒598-0063 大阪府豊能郡豊能町希望ヶ丘6-6-3, K&O Corporation, Toyono, Osaka, 598-0063

****非 会 員 (株)大北耕商事 〒598-0063 泉佐野市湊4-3-35, Okita-Ko Co., Ltd., Minato, Izumisano, 598-0027



Fig. 1 Vertical measurement by NSWS testing machine

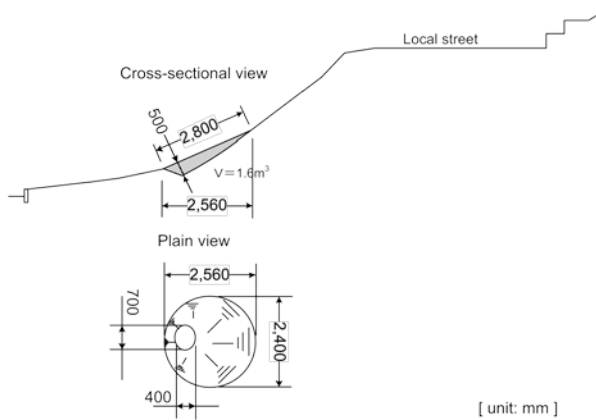


Fig. 2 Condition of ground subsidence point

- で、0 から 1000N までの連続載荷
- (2) 2.5cm ピッチで載荷荷重、回転数、沈下時間を計測
- (3) 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
- (4) 鉛直～傾斜～水平方向の計測

本論文では、玉石混じり砂礫を主体とする河川堤防の地盤陥没箇所の影響領域の特定に NSWS 試験(機)を適用した事例を報告する。

2 NSWS 試験を用いた地盤陥没影響領域の調査

2.1 調査概要

当該調査地は扇状地頂部付近に位置しており、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φ20～60mm の礫を主体として、φ100mm 程度の玉石が混入し、かつ局所的に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の施工中、その直上の河川堤防川裏法尻部で直径約 2.5m、深さ約 0.5m の地盤陥没が発生し、緊急に当該地盤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であった。そこで、この目的に対して原位置にて NSWS 試験(機)を用いた地盤陥没影響領域調

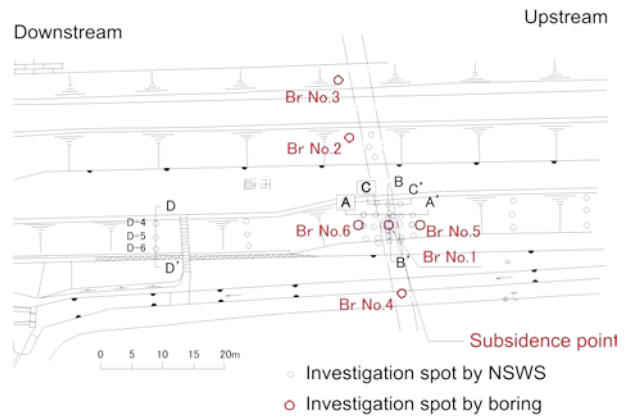


Fig. 3 Position and number of in-situ tests for influence region on ground subsidence



Fig. 4 Inclination measurement by NSWS testing machine

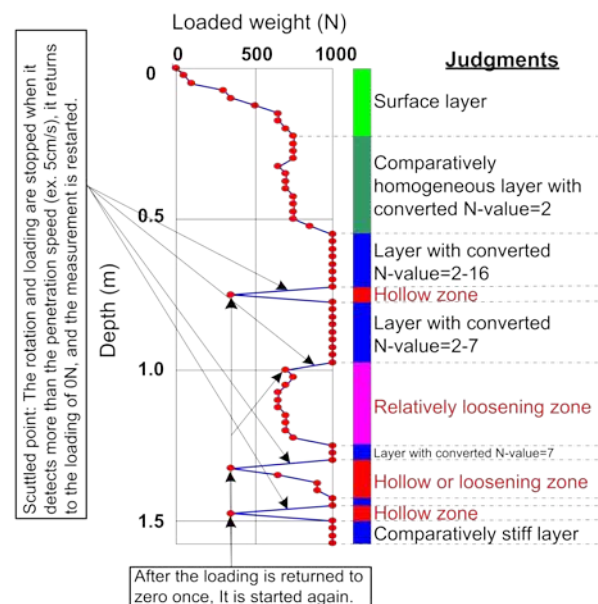


Fig. 5 Example of measured results by NSWS testing machine

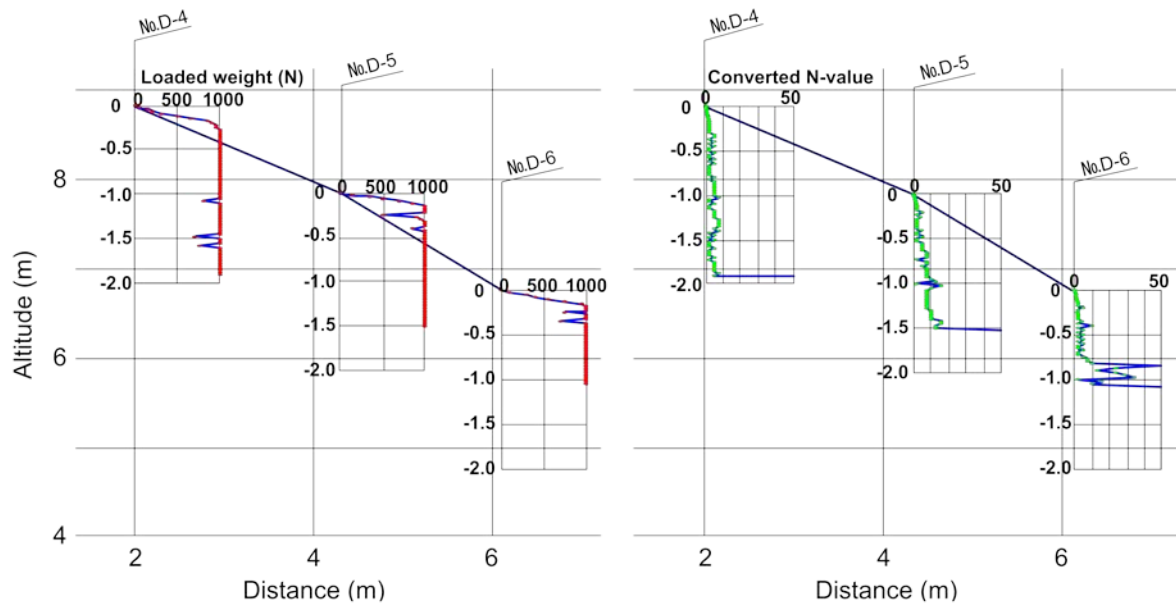


Fig. 6 Loaded weight, conversion N-value and maximum penetration depth at downstream 30m in point from ground subsidence point

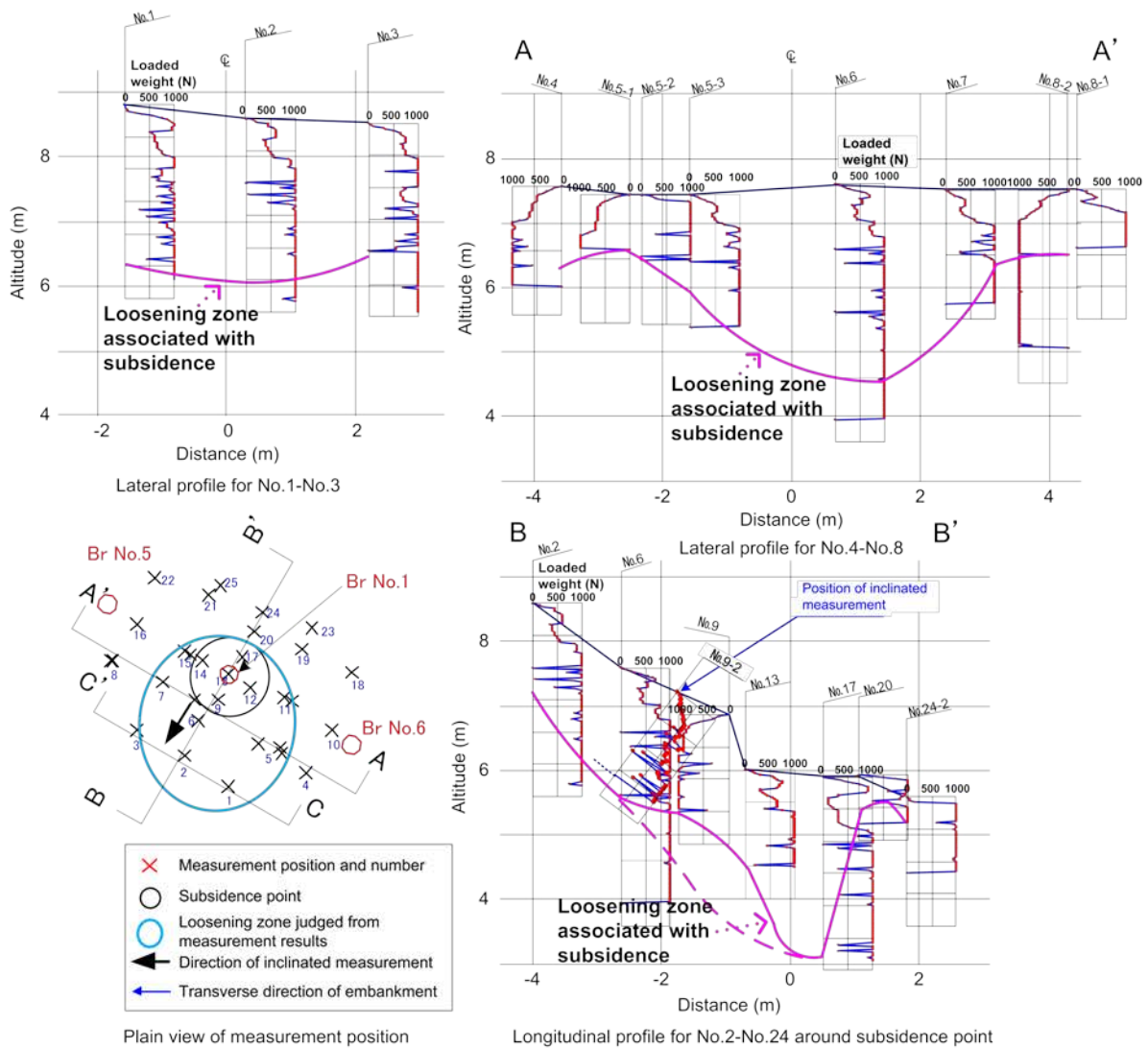


Fig. 7 Measured results at ground subsidence point and around regions

Table 1 Averaged scuttled number and depth of investigation at each region

	Averaged scuttled number with unit meter	Averaged depth of investigation	
Subsidence point	4.5	1.83	
Influenced region of subsidence	3.8	1.88	
Not influenced region of subsidence	2.3	1.13	
No subsidence point	2.5	1.51	

査を実施した (Fig. 1 および Fig. 2 参照).

地盤陥没影響領域調査は Fig. 3 に示すように、直径約 2.5m の地盤陥没箇所を中心として、直径約 8.0m の範囲内に 25 箇所、地盤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、および上方部の斜面に 3 箇所の計 40 箇所とした。さらに、地盤陥没箇所では 25 箇所に加え、Fig. 4 に示すように傾斜計測も 2 箇所で実施した。ここで、傾斜計測は、ゆるみ範囲が地盤陥没箇所付近に限定される状況がおおよそ判明した時点で、ゆるみ領域の境界面を探る目的で実施したものである。一方、地盤陥没箇所以外の 15 箇所は、地盤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。なお、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。なお、一連の地盤陥没影響領域調査では、付随的に計 6 箇所の地点において機械式ボーリング調査も実施している。

2.2 NSWS 試験による空洞とゆるみ領域の特定

NSWS 試験(機)は、沈下時間から定義・設定した沈下速度をパラメータとして回転および载荷を制御し、空洞やゆるみ領域を特定している。すなわち、Fig. 5 の計測結果例に示すように、沈下速度が 5cm/s (可変) 以上を検出した時点で、回転・载荷を一旦停止し、载荷重をゼロに戻し、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、载荷重がゼロ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。Fig. 5 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、この区間で地盤陥没によるゆるみが生じていると判定できる。

2.3 地盤陥没箇所以外における計測結果

Fig. 6 は、地盤陥没箇所の下流 30m における堤防横断方向の計測結果 (载荷重、稲田式に基づく換算 N 値および打止め深度) の一例である。ここで、稲田式による換算 N 値に対する NSWS 試験および SWS 試験の相関については、文献 6) にて報告しており、両者間に高い相関性が認められることを明らかにしている。

打止め深度は、ロット周辺に玉石が落ち込み、ジャミング現象による回転不能や、ロット先端が直に玉石に当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 の浅部では载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み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、玉石当りの影響が出やすい地盤であると判断される。

地盤陥没箇所の上流部、上流側 45m、25m、下流 20m の 12 地点においても、上記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 あたり 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。

2.4 地盤陥没箇所および周辺領域における計測結果

Fig. 7 は、地盤陥没箇所およびその周辺領域の計測結果 (载荷重と打止め深度、No.1~No.3 横断、地盤陥没箇所直上の No.4~No.8 横断、地盤陥没箇所直上の No.2~No.24 横断) の一例と計測位置平面である。

载荷重についてみると、前述した地盤陥没箇所以外の計測結果に比べ、载荷重 1000N 未満の領域および自沈箇所が頻度高く現れる。よって、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、地盤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、载荷重が 1000N を超え、回転が計測された後に自沈、载荷重の減少、減少に続く载荷重増加傾向の出現といった挙動が繰り返し計測されている。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、先に記した地盤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。

Table 1 に示されるように、25 箇所の計測結果を打止め深度および単位 m あたりの自沈回数で整理すると、いずれの値も地盤陥没中心位置に向かって増加する傾向を示している。さらに、自沈回数に基づき、地盤陥没箇所、地盤陥没影響領域および影響外領域の 3 つに区分することが可能である。ただし、地盤陥没箇所、地盤陥没影響領域および影響外領域の区分における自沈回数の閾値に統一的なものではなく、各現場では経験的・総合的に固有の閾値を決定している現状にある。よって、当該閾値の統一的な決定は課題の一つである。なお、地盤陥没影響領域は、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。

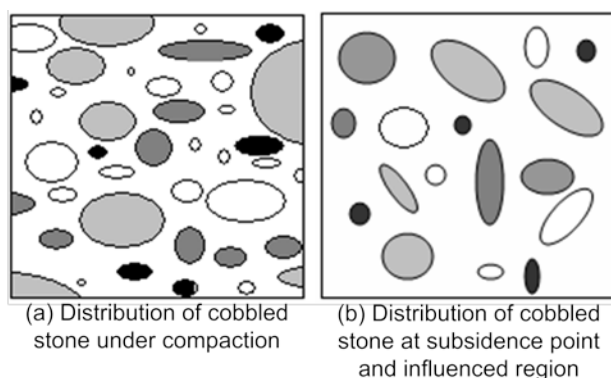


Fig. 8 Assumed cobbled stone distribution in embankment

2.5 傾斜計測結果

Fig. 4 に示したように、地盤陥没影響領域の検証を目的に地盤陥没箇所内の No.9 測点近傍から堤防法庫方向に傾斜角 53°にて傾斜計測を実施した (Fig. 7 参照)。

計測結果は、打止め深度が 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、打止め深度は地盤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 SWS 試験が適用できない地層とされている。なお、今回の調査地点の堤体盛土は、細粒分を含み、 $\phi 20 \sim 60\text{mm}$ の礫を主体に $\phi 100\text{mm}$ 程度の玉石が点在する地盤であり、当該玉石は中下流域に分布する幾分扁平性のものである。この形状は SWS 試験が本来不得意とする玉石混じり砂礫層であり、すなわち、NSWS 試験(機)による計測を実施した理由の一つである。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、玉石が避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、Fig. 8 に示すように、地盤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れる。さらに、NSWS 試験(機)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良作用を及ぼしている。すなわち、NSWS 試験(機)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拡大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。

計測は 42 箇所を 3 台×3 日間で終了し、地盤陥没箇所を中心に半径 4m の円内 25 地点、最大計測深度 3.6m の結果から、地盤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。

NSWS 試験(機)を用いた計測結果を基本として、機械式ボーリング調査が実施された (Fig. 3 参照)。調査地点は、地盤陥没中心点 1 箇所と非影響範囲とした上流下流

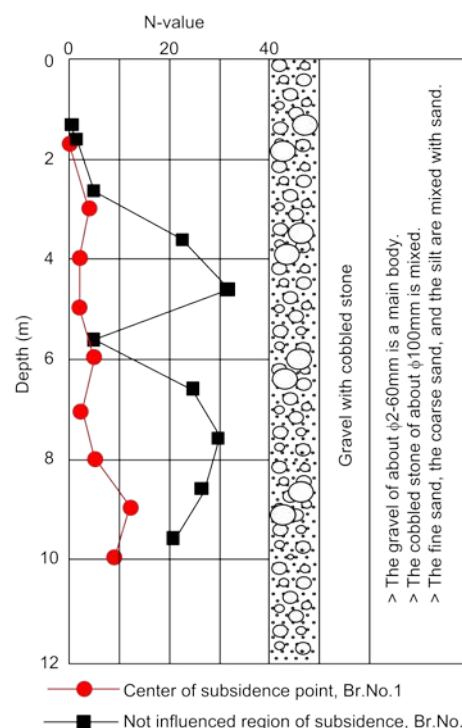


Fig. 9 Measured results by boring at center of ground subsidence point and not influenced region on ground subsidence

側各 5 箇所 (中心から 4.0m 離れた地点) の計 6 箇所である。Fig. 9 は、機械式ボーリング計測結果の浅部を抜粋したものであり、地盤陥没箇所の相対密度は深度 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「中ぐらい」の地盤となっている。これら機械式ボーリング計測の結果は、NSWS 試験(機)による計測結果と整合性が得られている。

4 結 言

地盤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混じり砂礫層に NSWS 試験(機)を適用した。載荷重、貫入量、回転数の計測結果に加え、NSWS 試験(機)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地盤陥没によるゆるみ範囲を特定できた。その結果は機械式ボーリング計測の実施によって検証され、地盤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ないことが早期に判定された。

今後、NSWS 試験(機)の特色を活かし、地盤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、および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。

参 考 文 献

- 1) Fukue, M.: Review of geotechnical and geoenvironmental investigation methods for the last decade, Tsuchi-to-Kiso, Vol.54, No.4, pp.1-3 (2006).

- 2) Lunne, T., Robertson, P.K. and Powell, J.J.M.: "Cone penetration testing in geotechnical practice", Blackie Academic & Professional, pp.149-151 (1997).
- 3) Kondo, T. and Okita, K.: "New ground survey of natural subsidence (the cavern is included) area, Geotechnical Engineering Magazine, Vol.56, No.9, pp.30-31 (2008).
- 4) Dahlberg, R. and Bergdahl, U.: "Investigations on the Swedish ram-sounding method", Proc. of the European Symposium on Penetration Testing, pp.93-102 (1973).
- 5) Tamura, M., Kawamura, M., Edahiro, T., Mizutani, Y., Fujii, M. and Koguchi, K.: "The present condition and the subject of the foundation investigating method by Swedish weight sounding", Tsuchi-to-Kiso, Vol.52, No.4, pp.8-10 (2004).
- 6) Okita, K., Takashimizu, H., Shinozuka, J. and Okuno, H.: "A basic study on evaluation of ground by new swedish weight sounding (NSWS)", Proc. of the 2010 National Symposium on Environmental and Measuring Technology of Ground, pp.145-152 (2010).
- 7) Inazumi, S., Shishido, K. and Okita, K.: "Survey and repair for void in ground using NSWS", Proc. of the 9th National Symposium on Ground Improvement, pp.233-236 (2010).