

# Detailed Investigation Method and Its Investigation Apparatus for Natural Subsidence due to In-Ground Caverns

Takumi Kondo - K&O Corporation Co.,Ltd, Representative Director, Engineer  
Kozo Okita - Okita-Ko Co.,Ltd, Representative director

## 1. Introduction

An objective of Swedish weight sounding (SWS) test is a comprehension of soil stratum's composition by firstly measuring static penetration resistance of a stratum with weight load penetration and rotation and secondly judging its hardness/softness or stiffness.

Although in the Western nations it is widely used as one of simplified sounding methods, and despite its convenience in Japan it is not widely used because it is incapable of sampling and the intricacy of Alluviums 1)

I would like to report about NSWS which is developed as an in-situ investigation apparatus, its features, and its field experiment result. NSWS conforms to the SWS test, which is capable of collecting penetration resistance by rotating, and loading, and is capable of detecting ultra soft areas, in-ground caverns included, by applying 0 to 1000 N loading which was conventionally thought impossible to embody and controlling sinking speed with segmentalized measurement frequency.

## 2. Functions of NSWS

### 2.1 Weight Loading

Although a recent trend of developments of loading devices of the SWS test is to streamline procedures and it is widely spread, it has problems such as that it cannot measure from 0N because total weight of a motor and a gondola for loading becomes close to 500N which makes impossible to measure less than 500N for initial loading.

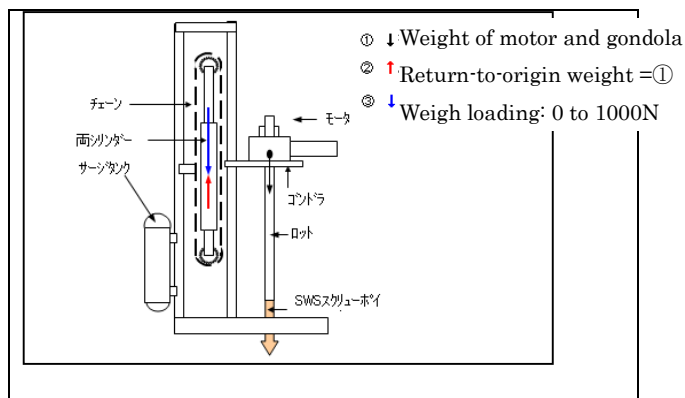


Fig. 1 - The Mechanism of NSWS and a Weight Being Loaded.

As depicted in Fig. 1, NSWS enabled itself to measure from 0 to 1000N continuously by creating zero loading state by applying an equal amount of a load created by both cylinders, air-oil pressured, opposed to total weight of the motor and gondola as indicated by ② return-to-origin loading.

### 2.2 Diagonal Measurement

Diagonal measurement is embodied because a loading control of NSWS is an air-oil pressure control system, and loading does not depend on measurement directions.



Photo Picture 1 - NSWS Measurement Scene

### 2.3 Measurement Resolution

A gear which is fixed to a cylinder functions as a movable pulley, and a gondola is attached to a chain like a chain hoist. The chain moves twice a moving distance of the cylinder, and a chain pitch which is equal to a gear pitch is 1.75 cm so the measurement resolution is  $1.75 \times 2 = 2.5$  cm. Compared to a conventional SWS machine, which has a measurement resolution of 25 cm, NSWS can gain more detailed data.

Also, by segmentalizing a measurement frequency, calculation of sinking speed become possible. This enabled NSWS to detect a self-scuttling, which the system recognize as such when it sinks 5 cm within one second, and ultra soft areas such as caverns.

## 3. Field Experiment

### 3.1 An Investigation Result of Soft Alluvium

Photo Picture 1 is a field experiment scene using NSWS at double-track railway line construction work venue which was at JR Sagano line in Yagi district, Nantan-city, Kyoto prefecture.

Also, fig. 2 depicts boring data, which are a boring log and soil classification, measured 20 m away from the venue, and NSWS data which include number of rotation, loading weight, soil classification according to NSWS, Inada-style converted N-values.

A measurement location is a soft ground area developed over time by accumulating deposits at a bottom of a valley. Its layers are from the top a gravels mixed clay layer( "GT" layer thickness 0.05 m ), a Upper clay stratum( "C" layer thickness 1.95 m ), a humus soil layer("C" layer thickness 5.25 m ), an alluvium sand and gravel layer, a diluvium cohesive soil layer, a diluvium sand, and a gravel layer. An embankment had been extended for a double-track construction work, and a soil improvement had been conducted as a safety measure.

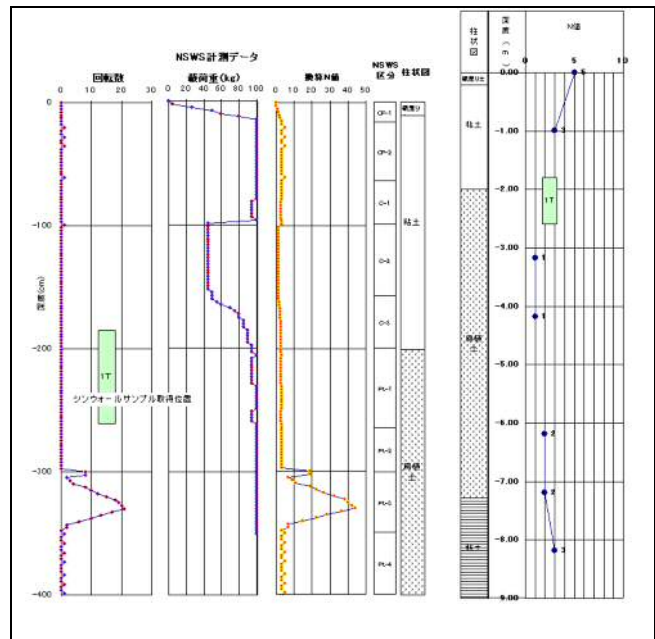


Fig. 2 - An Investigation Result Using NSWS and a Boring Investigation Nearby

※Translation of Fig. 2 is posted at the end of this paper.

|                                 |             |       |
|---------------------------------|-------------|-------|
| 資料番号                            | 1T          |       |
| 深度(NSWSに換算)                     | 1.865~2.615 |       |
| 観察土質名                           | 腐植土         |       |
| 工学的分類                           | 記号          | Pt    |
|                                 | 分類名         | 高有機質土 |
| 湿潤密度 $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup> | 1.057       |       |
| 土粒子密度                           | 1.798       |       |
| 自然含水比 $W_n$ %                   | 413.7       |       |
| 液性限界 $WL$ %                     | 331.8       |       |
| 塑性限界 $WP$ %                     | 163.9       |       |
| 塑性指数 $IP$                       | 167.2       |       |
| コンスパンション指数 $IC$                 | -0.46       |       |
| 1軸圧縮強さ $qu$ kN/m <sup>2</sup>   | 44.4~46.2   |       |
| 圧縮指数 $C_c$                      | 5.50        |       |
| 圧密降伏応力 $P_c$ kN/m <sup>2</sup>  | 29.0        |       |

Fig. 3 - Soil Test Result

※Translation of Fig. 3 is posted at the end of this paper.

Followings are verified by comparing a number of rotation, weight loading, which are the result of NSWS measurement, and existing soil documents

- ① One can tell based on number of rotation with a measurement resolution of 2.5 cm that the upper gravels mixed clay layer extends down to about GL-60 cm. This sorting is indicated at Fig. 2 by GT-1 and GT-2 at NSWS soil partition column.
- ② One can tell by weight loading data

where converted N-values are equal or less than two that there is a new soft humus layer on top of the upper clay layer. This sorting is depicted at NSW soil partition column of Fig. 2 as CT-1, CT-2, and CT-3 which are the partitions of the clay layer.

③ Thin-walled sampling was carried out at the humus layer where a weight loading was equal to or more than 95 kg and equal to or less than 100 kg without rotation. A softer layer on top of that layer was confirmed.

④ In the vicinity of GL-3.3 m where an increase in a number of rotation was indicated one could notice the drill was dragging some objects as investigating; the boring document indicates the presence of volcanic ash(silt), wood, and grass. NSW soil partition column segmentalizes the humus layer into Pt-1, Pt-2, Pt-3, and Pt-4.

### 3.2 Diagonal Measurement

Fig. 4 shows the relationship of two NSW investigation results at the same location, one was measured vertically while other was measured at 30 degrees. One can explain the downward shift of weight loading as well as rotation of the diagonal measurement is due to depth calibration, vertical depth = diagonal depth x cos(30). One can tell the increase in loading amount of the diagonal measurement in comparison to the vertical measurement; the diagonal measurement increased overburden pressure more than the vertical measurement. I believe that a decrease in number of rotation is due to anisotropy of soil shear resistance in measurement direction.

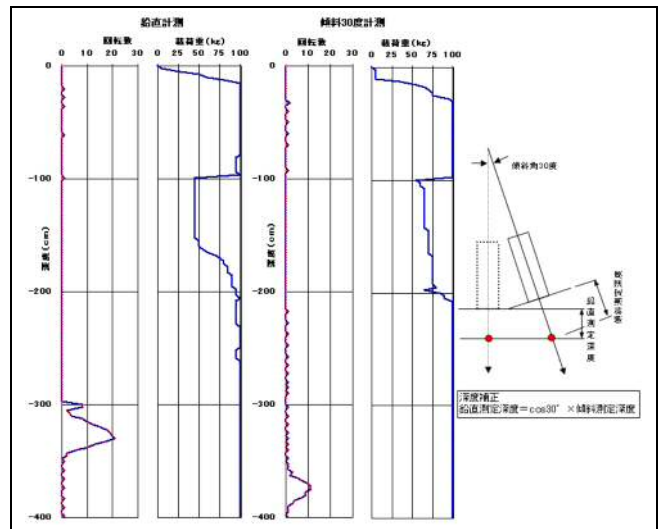


Fig. 4 - Vertical Measurement and Diagonal Measurement

※Translation of Fig. 4 is posted at the end of this paper.

### 3. Conclusion

Further research of development of handling method for data which are collect by segmentalizing measurement frequency and the difference in shear resistance due to anisotropy or nearby friction resistance are necessary.

On the other hand, NSW is capable of providing data which is impossible to collect with conventional machines. And it is an effective machine for establishing reconstruction technology and disaster prevention technology for river levees, reservoirs, valley-filled embankments, extensions of existing embankments, back cavitation investigation which recently have been talked often.

Lastly, I'd like to appreciate Takenaka Civil Engineering & Construction Co.,Ltd for providing us the venue for the field experiment and existing soil documents, and Yamaichi Kensetsu Co.,Ltd for supporting the investigation.

## Reference

- 1). The Japanese Geotechnical Society: "A Method and Its Explanation of Soil Exploration" pp280~294, 2004.
- 2). An Investigation Report of Sagano Line Transportation Improvement Construction Work (Accepted a copy in January 18th, 2008)

### \* A Main Point of This Paper

This paper awarded the ground technology prize by the Japanese Geotechnical Society Kansai in 2009.

A main point of this paper is that Boring SPT N-value does not accurately reflect the soil property. Therefore, the construction work mentioned above sampled soil at a layer which was not the weakest.

Verification of soft layers is a must for construction works, safety measures, and safety precaution, and NSWS is best suited for solving these matters.

### A Definition of SPT N-Value

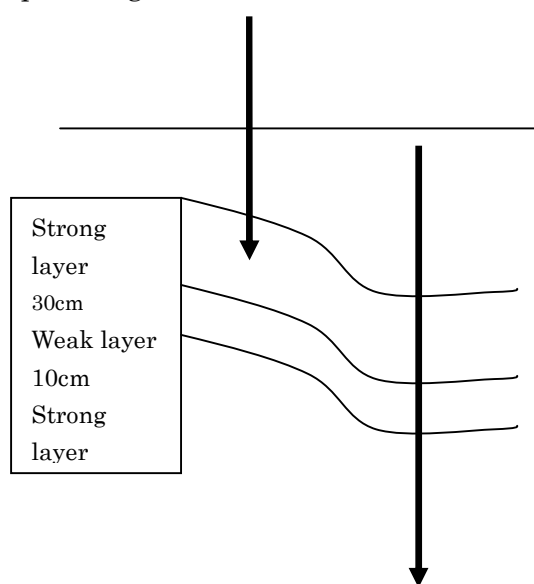
A following is a quotation of Standard Penetration Test from Wikipedia:

#### "Procedure

The test uses a thick-walled sample tube, with an outside diameter of 50 mm and an inside diameter of 35 mm, and a length of around 650 mm. This is driven into the ground at the bottom of a borehole by blows from a slide hammer with a mass of 63.5 kg (140 lb) falling through a distance of 760 mm (30 in). The sample tube is driven 150 mm into the ground and then the number of blows needed for the tube to penetrate each 150 mm (6 in) up to a depth of 450 mm (18 in) is recorded. The sum of the number of blows required for the second and third 6 in. of penetration is termed the "standard penetration resistance" or the "N-value". In cases where 50 blows are insufficient to advance it through a 150 mm (6 in) interval the penetration after 50 blows is recorded. The blow count provides an indication of the density of the ground, and it is used in many empirical geotechnical engineering formulae."

### An Explanation of SPT N-Value and Behavior of a Boring

At the presence of a strong stratum within 30 cm N-value will be measured. If there were a 100 cm weak stratum underneath the strong stratum, it will be recorded as 100cm+, and the distinction between those strong and weak layers will not be made. This is causing a major influence over safety design. On top of that it is impossible to penetrate gravels with SWS, CPR, simplified penetration method, which means an investigation stops once gravel is encountered.



NSWS was developed to overcome these problems.

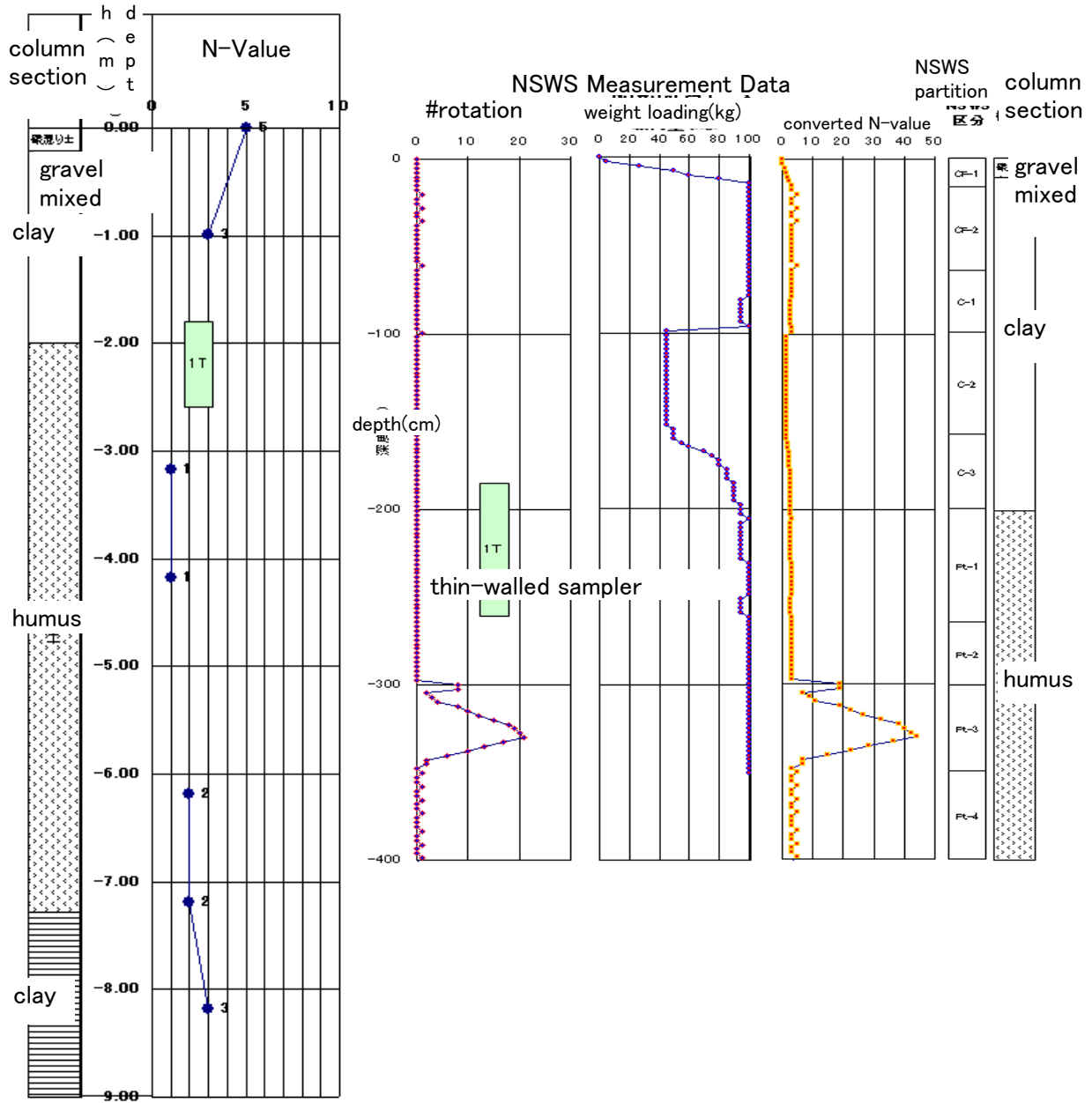
NSWS has been improved since the publication of this paper which deals with 2nd version of NSWS. Current version of NSWS is 7. Followings are the features of NSWS:

1. Data recording capability with a measurement resolution of 1.08 cm.
2. Cutting and penetration capability of gravels
3. In-situ shear data collection ability
4. Density, soil sampling, water level measurement

### Conclusion

SPT N-value has been used worldwide, yet understanding of this problem and an improvement of existing technology need to done.

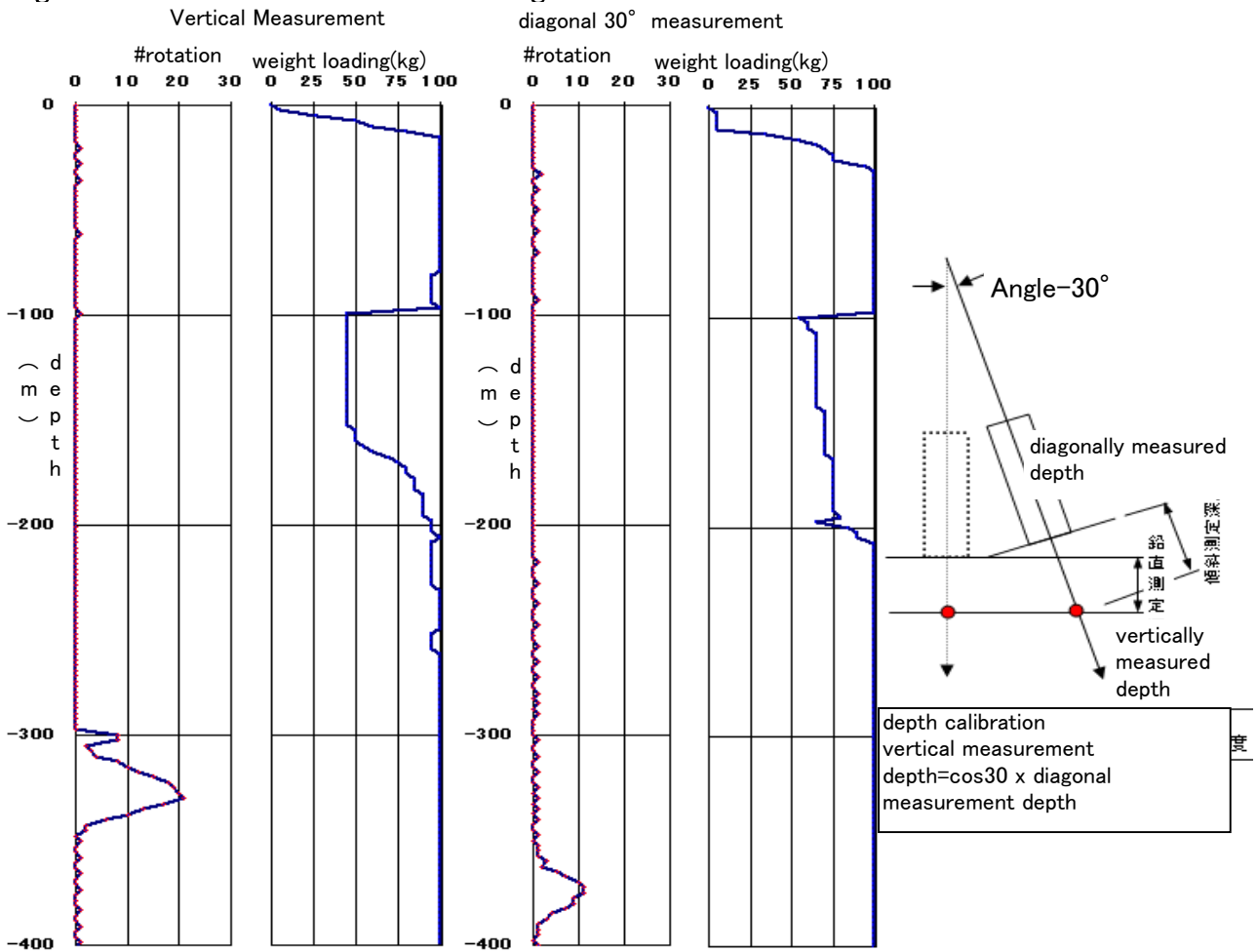
Fig. 2 - An Investigation Result Using NSWS and a Boring Investigation Nearby



**Fig. 3 – Soil Test Result**

|  |                      |                     |
|--|----------------------|---------------------|
| document number                                      |                      | 1T                  |
| depth(Converted to NSWS)                             |                      | 1.865~2.615         |
| soil type  |                      | humus               |
| engineering classification                           | sign                 | Pt                  |
|  | category             | Highly organic soil |
| wet density $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup>               |                      | 1.057               |
| soil particle density                                |                      | 1.798               |
| natural moist water percentage Wn %                  |                      | 413.7               |
| [  | liquid limit WL %    | 331.8               |
|  | plastic limit WP %   | 163.9               |
|  | plasticity index IP  | 167.2               |
|  | consistency index IC | -0.46               |
| unified compression strength $q_u$ kN/m <sup>2</sup> |                      | 44.4~46.2           |
| compression index Cc                                 |                      | 5.5                 |
| consolidation yield stress $P_c$ kN/m <sup>2</sup>   |                      | 29                  |

**Fig. 4 - Vertical Measurement and Diagonal Measurement**





# 地盤内空洞自沈領域の詳細調査方法及びその調査機

New ground survey of natural subsidence (The cavern is included) area

近藤 巧 (こんどう たくみ)  
(有)K&O corporation 代表取締役 技術士

大北 耕三 (おおきた こうぞう)  
(株)大北耕商事 代表取締役

## 1. はじめに

スウェーデン式サウンディング (SWS) 試験は、荷重載荷による貫入と回転による貫入により対象地盤の静的貫入抵抗値を測定し、その硬軟または縮まり具合を判定し地層構成を把握することを目的としている。

欧米諸国では簡便なサウンディングの一手法として多用されているが、日本ではその利便性にもかかわらず複雑な沖積層であることや、資料採取できないなどを理由として、一般的である標準貫入試験に比べ利用されない試験方法として定着している。<sup>1)</sup>

今般、この載荷と回転貫入抵抗値を取得できる SWS 試験に準拠し、従来の試験装置が不可能としていた 0~1000N 載荷領域と測定頻度の細分化による沈下速度の制御等により、地盤内の空洞を含む超軟弱領域を詳細に検出する原位置調査機として開発した NSWS (GS-IV 型) についてその機能並びにフィールド実証試験結果について報告する。

## 2. NSWSの機能

### 2.1 載荷荷重

今日、SWS試験の載荷装置については、作業の効率化を目的として自動試験機が開発普及しているが、回転装置であるモータと載荷ゴンドラの合計自量が 500N 近くになり、500N 未満の初期載荷重に対し測定不能領域が存在しゼロ N からの計測が不可能などの問題がある。

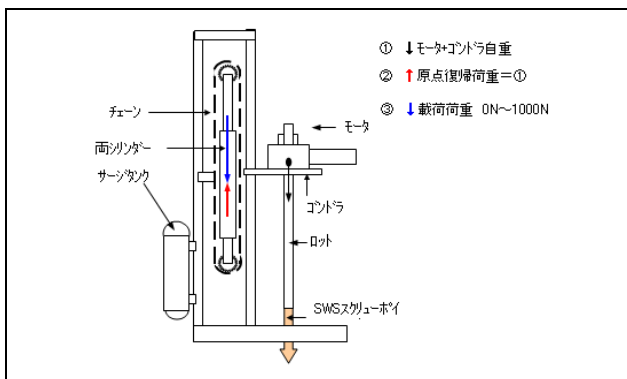


図-1 NSWS 構造及び載荷荷重作用状態

NSWSは、図-1に示すように空油圧作動の両シリンダーによりモータ+ゴンドラ自重に対し反対方向荷重 (図-1に示す②原点復帰荷重) を作用させゼロ載荷状態を作り出し、ゼロ N から 1000N までの連続載荷荷重に

よる計測を可能にすることができた。

### 2.2 傾斜計測

NSWSの荷重制御は空油圧制御システムであるため荷重作用方向に関係無く載荷が可能であるため傾斜面での計測が可能となった。



写真-1 NSWSによる計測状況

### 2.3 測定ピッチ

NSWSは、シリンダーに固定されたギアを介してゴンドラを動滑車状態でチェーン懸垂した構造で、シリンダー移動距離に対して2倍のチェーン繰り出し量 (チェーンピッチ=ギアピッチ)  $1.75 \times 2 = 2.5 \text{ cm}$  をセンサーで感知し計測単位としており、2.5 cm を計測単位とする従来型の SWS に比べ詳細なデータの取得が可能となった。

また、測定頻度の細分化により沈下速度の定義が可能となり、自沈状態 (沈下スピードを 1 秒の間に 5cm 沈下と規定) や空洞領域等の超軟弱領域の検出が可能となった。

## 3. フィールド実験

### 3.1 沖積軟弱地盤調査結果

写真-1 は京都府南丹市八木地区の J R 嵯峨野線複線化工事現場において NSWS を用いフィールド実証試験を実施した結果である。

また、図-2 に、付近ボーリング資料 (測定箇所より 20m 離れ) と NSWS の計測結果である回転数・載荷重・NSWS 土質区分及び稲田式による換算 N 値を標記したものを示すが、NSWS の資料から判断される土層区分と柱状図を併記した。

計測場所は地表面より礫混じり粘土 (「GT」層) 厚 0.05

m) 上部粘土層 (「C」層厚 1.95m) 腐植土層 (「PT」層厚 5.25m) 下部粘土層 (「C」層厚 3.2m) 以下沖積砂礫層及び洪積粘性土層と洪積砂礫層が、谷間を層状に堆積しいわゆる谷筋に発達した軟弱地盤地帯で、複線化に伴う腹付け盛土に対しその安全性を考慮し地盤改良も実施されている場所であった。<sup>2)</sup>

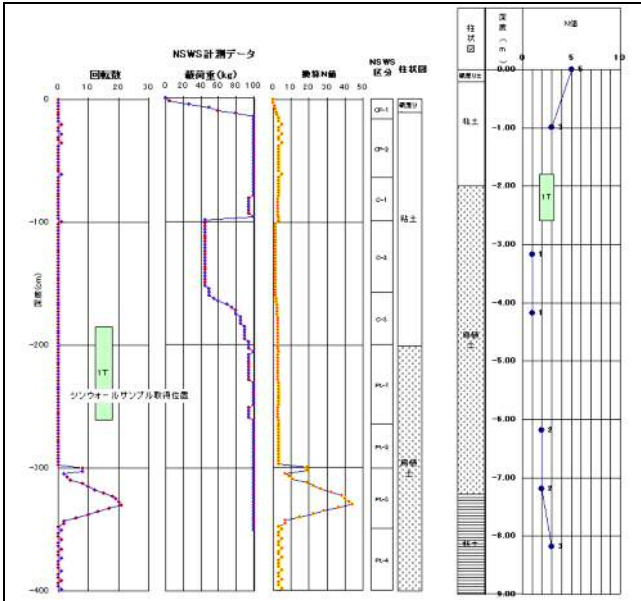


図-2 NSWS 計測結果及び付近ボーリング調査

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| 資料番号                            | 1T          |
| 深度(NSWSに換算)                     | 1.865~2.615 |
| 観察土質名                           | 腐植土         |
| 工学的分類                           | Pt          |
| 分類名                             | 高有機質土       |
| 湿潤密度 $\rho_t$ g/cm <sup>3</sup> | 1.057       |
| 土粒子密度                           | 1.798       |
| 自然含水比 $W_n$ %                   | 413.7       |
| 液性限界 $WL$ %                     | 331.8       |
| 塑性限界 $WP$ %                     | 163.9       |
| 塑性指数 $IP$                       | 167.2       |
| コンステナー指数 $IC$                   | -0.46       |
| 1軸圧縮強さ $q_u$ kN/m <sup>2</sup>  | 44.4~46.2   |
| 圧縮指数 $C_c$                      | 5.50        |
| 圧密降伏応力 $P_c$ kN/m <sup>2</sup>  | 29.0        |

図-3 土質試験結果

NSWS の計測結果である回転数、載荷荷重と既存土質資料の比較において以下のことが確認された。

- ① 上部礫混じり粘土層は 2.5 cm おきに計測された回転数から判断して GL-60 cm 付近まで存在する。「NSWS 区分において GT-1 と GT-2 で区分」
- ② 載荷荷重 (換算 N 値で 2 以下) による新たな軟弱腐植土層が上部粘性土層内に存在する。「粘土層を NSWS 区分において C-1 と C-2、C-3 で区分」
- ③ シンウォールサンプル取得場所は回転を伴わない載荷荷重 95 kg 以上 100 kg 以下の腐植土層で、その上にそれより軟弱な層が確認された。
- ④ GL-3.3 m 付近の回転数増加領域は計測中異物を引きずっているような挙動であったが、ボーリング資料標記の中で記載されている【火山灰(シルト)木、

草片主体でやわらかい】を検出している。「腐植土層を NSWS 区分において Pt-1、Pt-2、Pt-3、Pt-4 で区分」

### 3.2 傾斜計測

図-4 は同一地盤にて NSWS を鉛直と鉛直に対し 30 度の傾斜で行った傾斜計測の回転数と載荷荷重の関係を示すが、回転数、載荷荷重における変化点の下方へのずれは傾斜計測に対し深度補正 (鉛直深度 = 傾斜深度  $\times \cos 30^\circ$ ) することにより説明される。

傾斜計測において載荷荷重計測値が鉛直計測より増加しているが、傾斜によりロットに作用する上載圧が付加された結果と考えられ、回転数減少は傾斜方向に対する土のせん断抵抗の異方性によるものと判断される。

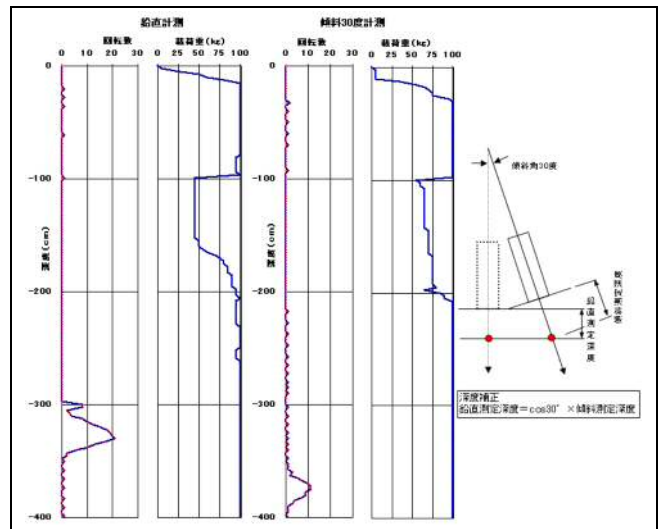


図-4 鉛直計測と傾斜計測

### 3. おわりに

測定頻度細分化に伴う測定値の取り扱い方法、傾斜計測における周辺摩擦抵抗や異方性によるせん断抵抗の相違については今後調査資料の収集を通して研究していかねばならない課題と考えています。

一方、NSWS は、従来の計測では得られないより詳細な地盤情報を我々に提供してくれる調査機であり、今日問題となっている河川堤防、ため池、谷埋め盛土、急傾斜地腹付け盛土、海岸及び河川構造物背面空洞調査、下水等道路埋設物による道路陥没箇所調査などに対して、地盤構造物の再生技術や防災技術を確立する上で有効な調査技術であると考えています。

最後にフィールド実験に当り実験場所及び既存土質資料の提供いただいた(株)竹中土木及び、調査に協力いただいた山一建設(株)の皆様にお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 地盤工学会：「地盤調査の方法と解説」, pp280~294, 2004.
- 2) 嵯峨野線輸送改善工事土質調査報告書

(原稿受理 2008.1.18)



### \*本論文の主旨

本論文は2009年関西地盤工学会にて地盤技術賞を拝受した論文である。その骨子は

ボーリングSPT-N値が強弱を明確に表現できていない。このために一番軟弱層以外の部分で試料採取した土で物理試験をして設計をしていた事例である。特に工事、安全対策、安全予防のために弱層の確認が必要である。解決のためにNSWSを利用できる。

### SPT-N 値の定義説明：

#### 「試験方法[編集]

本試験は、あらかじめ所定の深度まで掘進したボーリング抗を利用して行われる。

質量  $63.5\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$  (本来は 140 ポンド、10 ストーン) のドライブハンマー (通称、モンケン) を  $76\text{cm} \pm 1\text{cm}$  (30 インチ) の高さから自由落下させてボーリングロッド頭部に取り付けたノッキングブロックを打撃し、ボーリングロッドの先端に取り付けられた標準貫入試験用サンプラー[1]を規定貫入量である 30cm 打ち込むのに要する打撃回数 (=N 値) を求める。

ドライブハンマーの自由落下による予備打ち 15cm (6 インチ) を行った後、同様の方法で 30cm の本打ちを行う。打撃 1 回ごとに貫入量を記録するのが基本であるが、N 値の利用目的により、10cm ごとの打撃回数を測定する場合もある。予備打ちで 15cm、本打ちで 30cm に至るまでに最大打撃数 50 回に達した場合は、N 値 50 以上とし、「50/累計貫入量」と記録して試験を終了する。この時、累計貫入量が 1cm に満たない場合は、貫入不能と記録する。また、打撃前に自沈 (後述) した場合は、自沈した深さを測定する。この際の深さが 45cm (18 インチ) 以上であった場合、本打ちは行わない。

JIS A 1219 では最大打撃回数を 50 回としているが、土木技術の発展に伴い道路基礎工等では N 値=50 前後が設計定数として必要になるため、最大打撃回数を 60 回とする場合もある (旧道路公団等)。

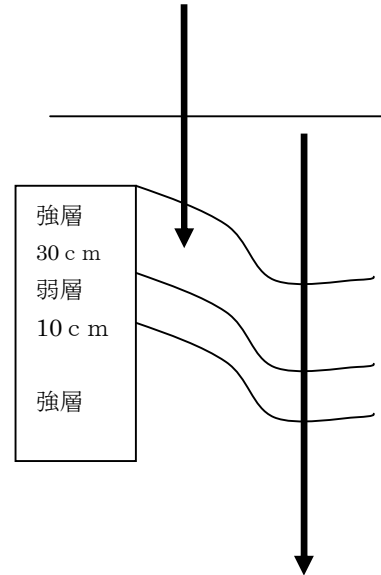
落下高さは、以前の日本では 75cm とされていたが、2001 年の改訂で、もともとの定義である 30 インチの換算値 76.2cm と諸外国の定義値を考慮して  $76\text{cm} \pm 1\text{cm}$  と再定義された。

試験によって得られる情報は、N 値、自沈 (ドライブハンマーの落下を伴わず、ボーリングロッドやドライブハンマーの自重のみでサンプラーが貫入した状態。サンプラーを降ろした状態で貫入するロッド自沈と、ドライブハンマーをノッキングブロックに静かにのせた状態で貫入するハンマー自沈の2つがある)、貫入不能 (50回の打撃での累計貫入量が1cm未満) の3つが定義されている。」(ウィキペディアの標準貫入試験より引用)

### SPT-N 値の動き説明

30 cm 範囲に強層がある場合その中でN値が

でる。その下に弱層が100cmあると続くデータは 100cm+で表現される。その強、弱の境界は表現されない。これが、安全設計に大きな影響を与えている。さらに、SWS, CPT, 簡易貫入方式では礫にて貫入不可能となる。その部分よりの調査は停止される



NSWSはこれらの問題を解決するように開発されてきた。

その効果は (本論文発行時のNSWSは、Ver. 2であったが、2014年現在では、Ver. 7となっている。) 以下となっている。

- 1) 1.08 cmでのデータ
- 2) 礫の切削貫入
- 3) 現位置せん断データ採取
- 4) 密度、サンプリング、水位データ

### まとめ

世界的にSPT-N値を利用しているが、この問題についての不備の理解と使用技術の改善を目指す必要がある。