

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。¹⁾

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。

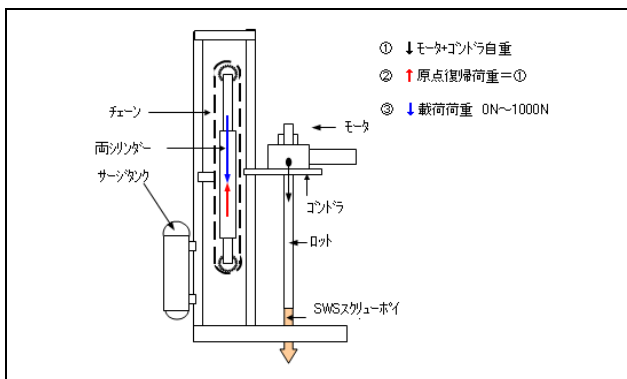


図-1 NSWS 構造及び載荷荷重作用状態

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JR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。²⁾

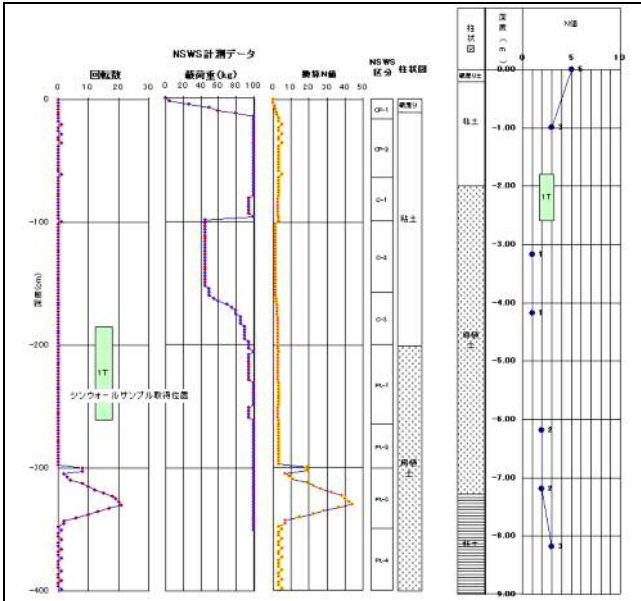


図-2 NSWS 計測結果及び付近ボーリング調査

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 ρ_t g/cm ³	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 ²	44.4~46.2
圧縮指数 C_c	5.50
圧密降伏応力 P_c kN/m ²	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。

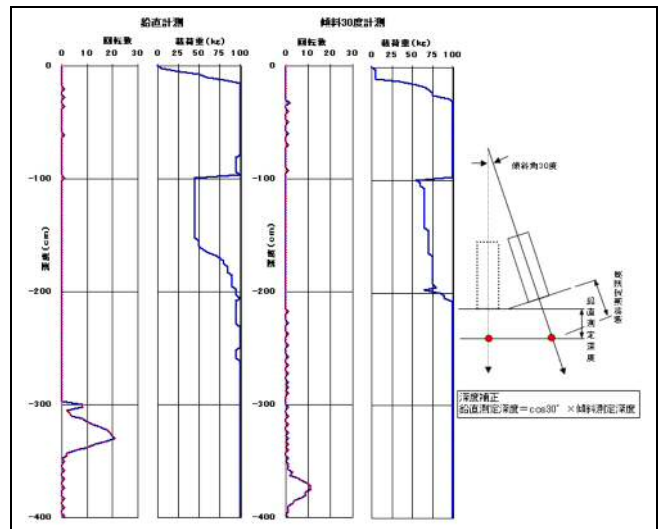


図-4 鉛直計測と傾斜計測

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)。

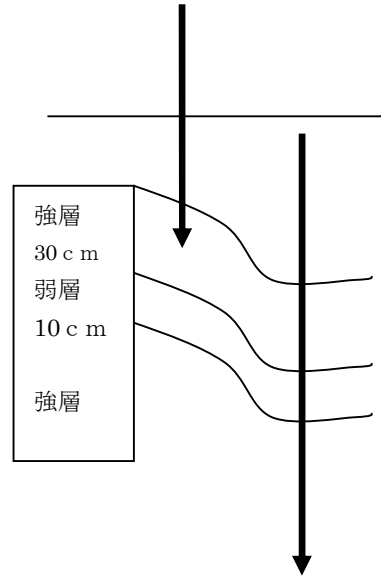
落下高さは、以前の日本では 75cm とされていたが、2001 年の改訂で、もともとの定義である 30 インチの換算値 76.2cm と諸外国の定義値を考慮して $76\text{cm} \pm 1\text{cm}$ と再定義された。

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。