

NSWS を用いた地盤内空洞調査と簡易グラウトによる地盤補修

○稲積真哉¹・宍戸賢一²・大北耕三³

¹京都大学大学院・²(株)トーメック・³(株)大北耕商事

1. はじめに

スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）は荷重載荷ならびに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、その硬軟または締まり程度を判定し、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、試料採取できない等を理由として、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⁾。

本論文では、この荷重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 SWS 試験装置が不可能としていた 0～2500 N 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 Nippon Screw Weight System (NSWS (GS-V 型)) (写真-1 参照) について、その機能ならびに現場実証試験結果を報告する。

2. NSWS の概要

2.1 NSWS の開発・特徴

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、および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 5 cm 以下の頻度の計測が必要と考えられる。合わせて、調査の迅速性および経済性は無論のこと、データの連続性および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試験機（SWS 試験機）は、移動が容易、調査時間が短く、調査方法も簡単、さらに、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、礫ならびに玉石層には適用できない試験方法である¹⁾。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、すなわち、NSWS (GS-V 型) が開発されている²⁾。

NSWS (GS-V 型) は、以下の特徴を有している。

- (1) 駆動・載荷部自重に対し負圧載荷させ、0 から 2500 N までの連続載荷
- (2) 2.5 cm (3.8cm)ピッチで載荷荷重、回転数、沈下時間を測定
- (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
- (5) BSP（超硬）による特殊刃で軟岩程度の貫入が可能
- (6) 2500 N にて回転を併用する場合、載荷試験機としての使用が可能

2.2 NSWS の機能

2.2.1 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重が 500 N 近くになり、500 N 未満の初期載荷重に対し測定不能領域が存在し、0 N からの計測が不可能等の問題がある。

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 0 載荷状態を作り出し、0 から 2500 N 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る。



写真-1 NSWS の全景

2.2.2 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用作用方向に関係なく載荷が可能であるため傾斜面での計測が可能となる。

2.2.3 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、 25 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る。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 5 cm (7.2 cm) 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る。

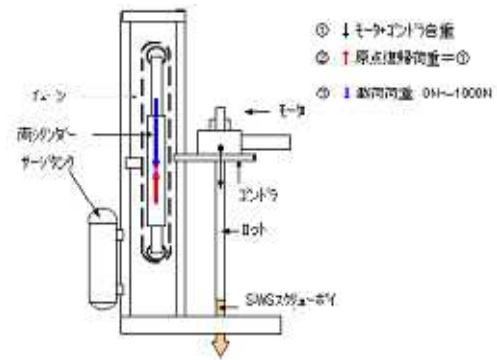


図-1 NSWS 構造および載荷荷重用状態

3. 現場実証試験

3.1 現場写真と原因推測

現場は茨城県にある荒川付近の建築された建物（具体的には建物内浴室）直下の地盤である（図-2 参照）。当初より当該地盤では漏水が確認（写真-2 参照）されており、最近、陥没事故が生じた。その後、建物内の浴室の改造を施すことで現在は漏水は確認されていない。しかしながら、当該地盤には写真-2 で示されているように大きな陥没が残存している。そこで、陥没周辺地盤の軟弱状態を簡易的に確認するため、パイプならびにカメラを挿入したところ、当該地盤周辺において空洞の存在を確認することができた（写真-3 参照）。

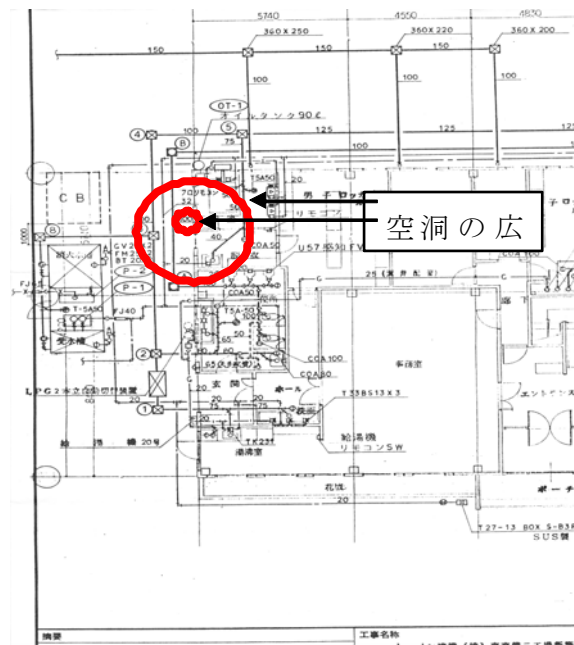


図-2 現場調査箇所

3.2 試験工程と傾斜測定

試験工程は、①現場概略測定、②測定位置確認、③現場にて評価、および④簡易グラウトである。この一連で従来と大きく違う点は、調査状況とともに地盤の強弱がすぐグラフとして NSWS 画面上にて確認することが可能である。

傾斜測定においては、壁面に対して 57 度とした（写真-4 参照）。壁下には地中梁が存在しており、その下に入るには 57 度までする必要があった。本来、陥没に求められる物として広がりや挙げられるが、建物全体まで何本も調査する余裕はなかった。傾斜測定より得られた結果は図-3 である。ここで、一般的なグラウトでは完全空洞にセメントおよび砂等を投入するが、その下に更に空洞のようなものがあることが分かった。よって SP の上部のグラウト穴を所定の脆弱部分に引き上げた。なお、測定角度が 57 度であるため、図-3 の深度については 0.84 を乗じる必要がある。



写真-2 陥没状況

3.3 鉛直測定による違った測点による調査

多地点にて測定することは経費時間的に不可能であったため、離れた 1 点を決めて鉛直測定をした。この場合、どこまで調査深度とするかは大きな大前提となるが、ま



写真-3 空洞状況

ずそここの数字が見えるまで進めた。結果、-6 m の深度に至った。これは現場にて沈下状態と NSWS で表示されるグラフを確認すると簡単に判断できる。

図-3 および図-4 を考察すると、傾斜測定では空洞下すぐに雨水等または初めから地層として少しの強度増加がみられる (図-3 参照)。一方、鉛直の場合 (図-4 参照) はみられない。これは建物を作った場合の強度増加かもしれないが、判断は難しい。鉛直測定によると、途中-1.5 m まで達しないと少し強度の有る層がみられない。これは、元々鉛直の状態に構築物と変状のため傾斜のような状態になったようだ と推測すると相当弱い地層にこの建物が建っていることが理解できた。本当の意味で地盤改造を考えるためには大きな課題を抱えたものであるが当面の雨水等の流入を防止するためにも簡易的な対策を施さなければならない。すべてを理解した場合の対策工と表面的な部分での対策工との違いを理解した上で判断しなければならないことの難しさを理解しつつ、あくまで応急とした対策工の現実を報告する。

3.4 簡易グラウト

エア式による排圧管理型高粘性ポンプで 1 回ストロークにつき約 1 L 排出する。最高排出圧は 30 kg/cm^2 と相当な高圧排出の可能なポンプである。さらに使用後の洗浄を鑑みワンタッチ分解を導入したポンプである。練るためにはハンドミキサーにて水セメント比率を確認しながら充填を実施した。

一般的な充填では上部完全空洞の部分のみの充填で済ませるのが通例と理解している。今回はその下脆弱部分に充填孔を位置して充填を始めた。これは従来の考え方に中深層の空洞、脆弱層について考察したものである。ある程度原因を今一度検討した対策工にするため、このような手順を試みた。充填に要する時間は 200 L につき、約 1 時間となっている。近くまでのエアホースの搬送量を大きくすれば、時間は多少とも早くなる。セメント / 水の比率は 1.25 / 1 にて十分にペンキ用攪拌機にて混ぜた物を搬送した。ただ、図-3 から当初確認したのでは脆弱層として理解したのであまり入らないだろと思っていたが、実際良く入った (200 L)。やはり広がりが大きいため確認の方法もなく、濃い目に練ったものにて塞ぎ、上部空洞部の充填に移った。全部で使用したのは、セメント 150 kg、水 120 L として空洞まで埋まった。

図-4 を考えると、周辺の脆弱状態がはっきりとしているため、今回はあくまで陥没穴の封鎖を第 1 目的とし、その下は調査試行という意味において作業を終了した。当該現場に対する今後の考察として、丁寧に建物の 4 隅については図-4 程度の調査を実施して本来の層の確認はしておく必要があると考えられる。

NSWS の調査とその場の判断と簡易グラウト作業者が一業者にて済むことの利点と中深層の対応が可能なことより技術、経費両面の利点を考えることができた。

4. おわりに

この建物は既に 20 年近く経過しており、建設当時今のような調査の提案されていない時であったからいたしかたないのであるが、同様な状態の建造物がたくさんあることが考えられ、今後の課題となるように思われる。現場は特に利根



写真-4 NSWS による傾斜測定

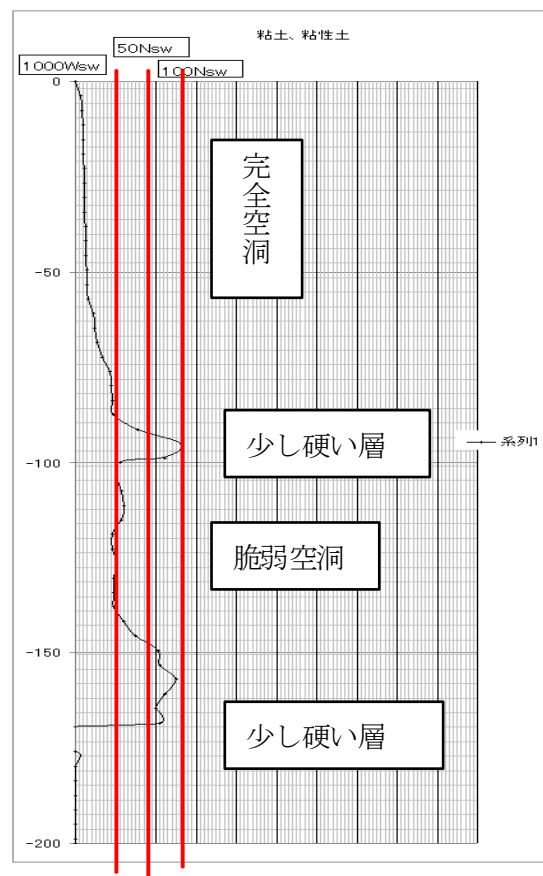


図-3 調査結果 (傾斜測定)

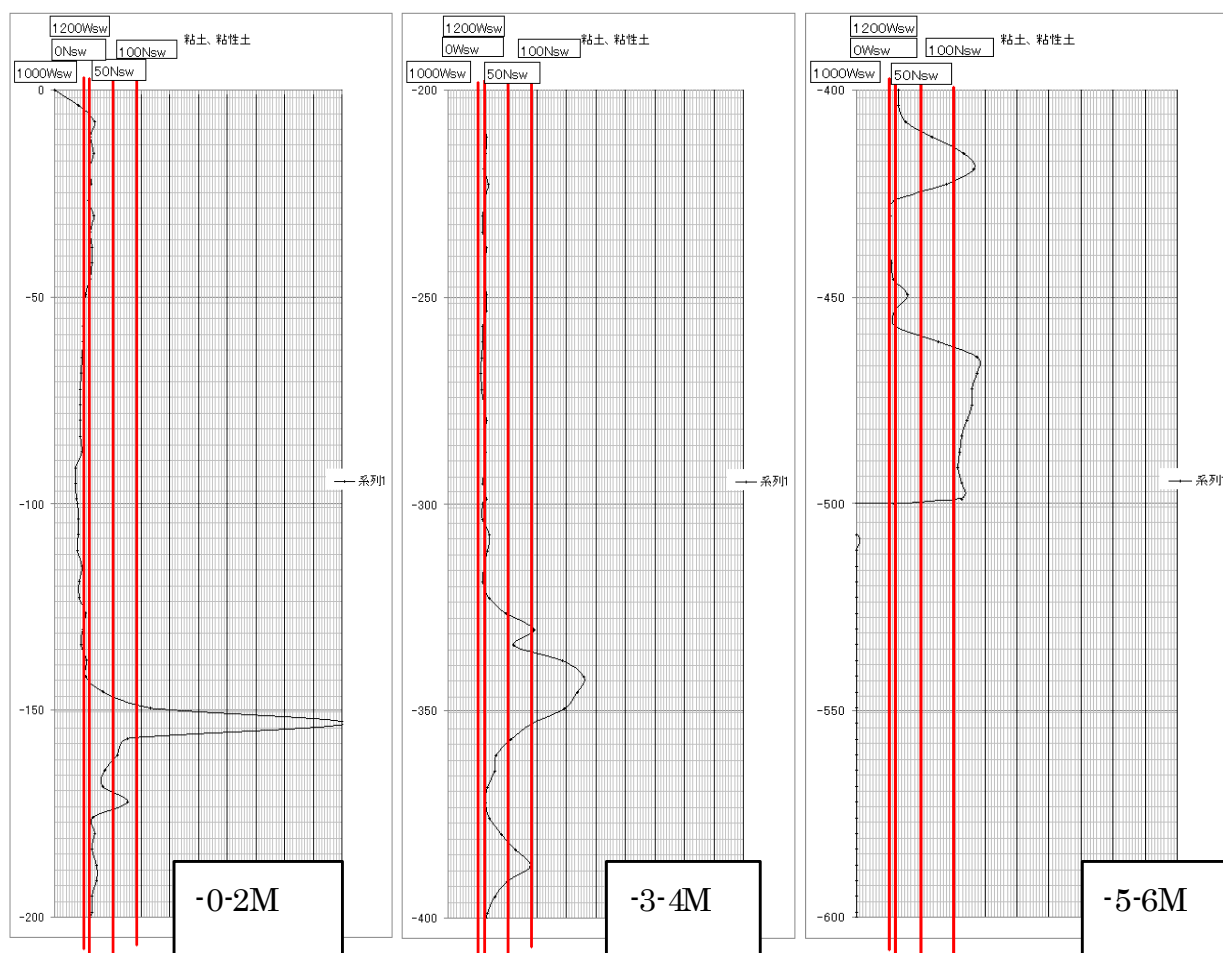


図-4 調査結果（鉛直測定）

川の堤防に近く、堤防の一部に隣接していることもあって特にこのような状態かもしれない。

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等に対して、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られる。

【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.