サウンディングによる鉄道路下と盛土調査

風嵐健志[1]・近藤巧[2]

[1]日本物理探鑛㈱関西支店　（〒543-0033大阪府大阪市天王寺区堂ヶ芝1-3-24）

[2]㈲ K&O　Corporaion　（〒563-0214 大阪府豊能郡豊能町希望ヶ丘6丁目6-3）

鉄道盛土，河川堤防など土構造物は，縦断方向にも横断方向にも不均質である．この不均質性が浸透性や地震に対する強度に影響を与えている．土構造物の安全度の調査には，目視観測さらに局所的な確認ボーリング調査，これに先行した，地中レーダ探査，比抵抗探査，表面波探査などが採用されている．本稿では，鉄道盛土の維持管理の観点から，目視等による変状箇所の詳細な土質構成・強度を把握する目的で新しいサウンディング試験装置NSWS試験機を使用，実施した調査結果を紹介する．

キーワード　鉄道盛土，安全度，新しい調査技術，NSWS試験機

1. はじめに

古い土構造物の河川堤防はもとより，比較的新しい鉄道盛土を含めて，均質に見えても内部の土質構成は不均質で，強度も同様に一様ではない．通常こうした土構造物に対してもボーリング調査が実施されるが，今回，これに代わる簡易な地質調査手法として，新しいサウンディング調査手法のNSWS試験機を用いた調査を実施した．

傾斜貫入測定や傾斜地での簡便な移動など，NSWS試験機の特徴を生かした調査によって，有効な結果が得られたので，その方法と結果を報告する．

2. NSWS試験機[1)]（NETIS登録　KK-070026）

NSWS試験機（Nippon Screw-Weight System）は荷重による貫入と回転貫入を併用したスウェーデン式サウンディング試験に準拠した試験装置である．図-1に示すように，小型発電機，コンプレッサー，空気圧制御装置，作動制御・記録器で構成され，従来の最荷方式と異なる空気圧を油圧に変換する空／油圧の制御機構を採用した装置である．本体は，ロッド回転用モータと載荷のためのサージタンクとシリンダーで構成され，1.08cmピッチで載荷・荷重，回転数そして貫入速度を自動記録する．

主な仕様と特徴は以下のとおりである．

主な仕様

・載荷：空圧載荷（高い貫入能力0～2500N可変）
・計測：回転数，載荷荷重，貫入速度の自動計測
・計測間隔：1.08cm
・形状　：50cm×50cm×170cm（幅×奥行×高さ）

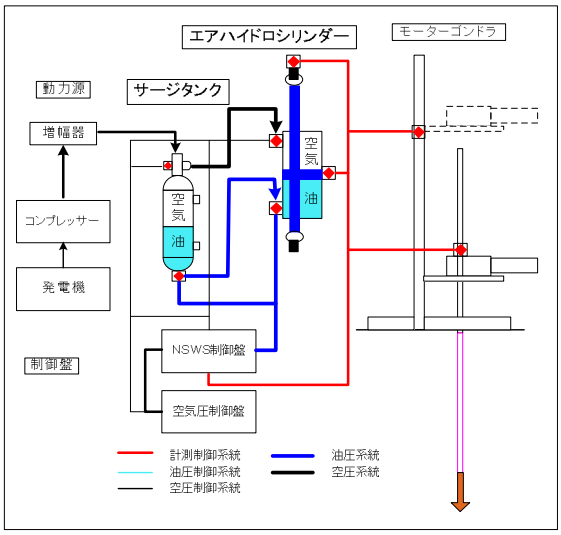

図-1　NSWS試験機の構成と載荷システム

・本体質量：W=75kg
・付帯設備：ロッド(φ19mm),ドリルビット(φ22mm),
　　サンプラー

特徴

・回転数，載荷荷重から換算N値，支持力，一軸圧縮強度の算出(1.08mピッチ)
・貫入速度の設定(可変)による貫入自動停止機能
・自沈～軟弱層を含め，土層構成の詳細な把握
・鉛直，傾斜，水平方向の貫入測定
　⇒構造物直下の試験，同一地点での二次元，三次元的プロファイリング，すべり面や軟弱層厚など地盤変状の特定

図-2　NSWS試験機設置状況　左)鉛直，右)傾斜方向

図-2に本体装置の設置状況写真を示す．

また，ロッドの先端はスクリューポイントに替えて，コンクリート 用 ドリルビット(φ22mm)を採用している．

スクリューポイントの場合，礫を多く含む地盤では，貫入に限界がある．ドリルビットを使用することによって，貫入能力が高く，ロッドの直進性もよく，礫層など貫入不能な地層に対しても最大荷重2500Nを生かし，穿孔と連続した計測を行うなど，広範な地盤への対応が可能である．そして，土槽実験や，原位置実験によって，換算N値等強度算出の 測定結果がスクリューポイントを用いた場合とほぼ同等の結果が得られている．

3. 調査内容

調査は鉄道盛土A，Bの２箇所で実施した．いずれも延長約90m，盛土高は5～6mである．調査地点は目視による盛土の変状と高密度表面波探査の結果を参考に決定した．図-3に調査作業流れ図を示す．

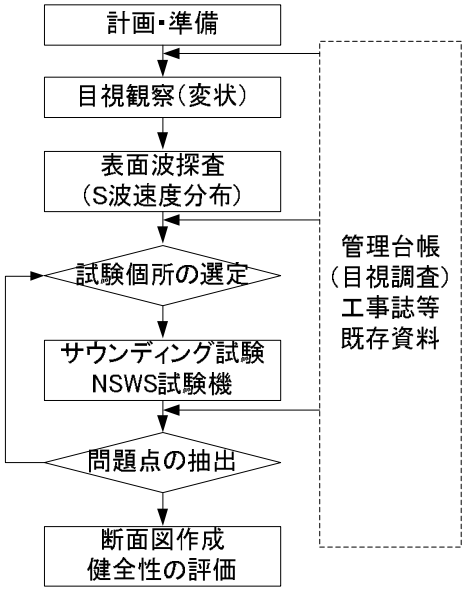

図-3　鉄道盛土調査流れ図

4. 盛土A

4.1 調査地点の選定

盛土Aは法肩，法面共に開口や沈下など，大きな変状は無いが，調査地点は幾分沈下が認められる型枠工の端部に選定した．調査は図-4に示すように盛土横断方向に鉛直方向２箇所，傾斜方向に１か所で実施した．

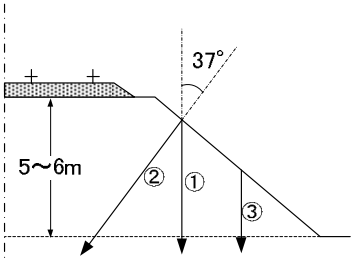

図-4　盛土A　調査地点

4.2 サウンディング試験

1)　ロッドの摩擦による影響

前述のとおり，ドリルビット径(φ22mm)とロッド径(φ19mm)に差がないため削孔長や土質によってロッド部の摩擦が計測値に影響を及ぼすことが考えられる。この点を評価するため，①地点で通常の貫入試験と0.5m離れた地点で2m毎に調査孔を拡幅し摩擦の影響を無くした状態で貫入試験を実施した．その結果，図-5に示すように，0.～5m間では，２孔の試験結果に差異は無く，摩擦による計測値への影響は極めて小さいことが確認された．

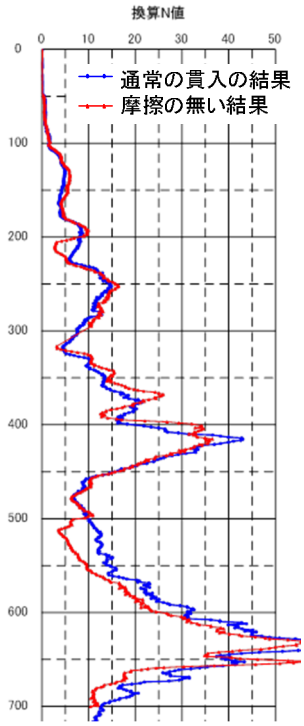

図-5　ロッドの摩擦による影響評価

2)　土質区分

試験孔の土質は，試験時の貫入音とサウンディング試験終了後に図-6に示す逆回転の機構による少量サンプラーを用いた採取試料の観察によって決定した．

図-7に採取試料の一部を示し，表-1に監察結果を示した．

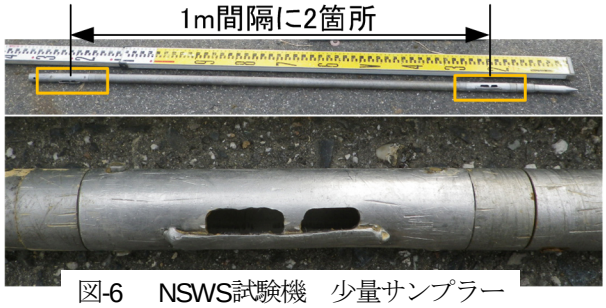

図-6　NSWS試験機　少量サンプラー

GL-3.2m シルト混じり砂（盛土材）灰含水少

GL-5.5m 砂質粘土（地山）褐灰　含水少

表-1　盛土A　No.1孔　採取試料（観察による）

採取深度(m)	土　質		色調	含水状態
0.5	礫混じり砂	盛土材	茶褐	なし
1.2	粗砂		黄褐灰	微少
2.2	粗砂		黄褐灰	少ない
3.2	シルト混じり砂		灰	少ない
4.5	砂質粘土		褐灰	少ない
5.5	砂質粘土		茶	少ない

3)　サウンディング結果

図-8に盛土A①地点のNSWS試験結果図，換算N値，載荷荷重[Wsw]，半回転数[Nsw]を示した．

換算N値は以下の稲田のN値換算式(1)を用いた．

$$N = 0.002W_{SW} + 0.067N_{SW} \quad (1)$$（砂質土主体の場合）

換算N値の結果に注目すると，深度1～3.2mでは0→10，深度3.2～4.2mで10→20と漸次増加する傾向に加え，0.5～1mの間隔で５箇所に階段状の変化(0.1m間で急な上昇)が特徴的である．この変化点は，それぞれが盛土施工段階の転圧上面の位置に相当するもの考えられる，このうち

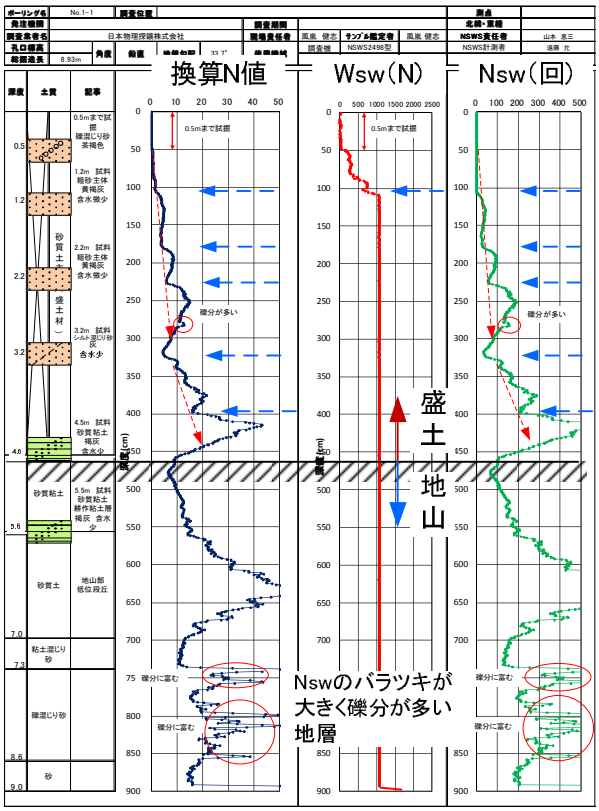

図-8　盛土A　①地点鉛直方向　試験結果図

GL-3.2mの境界は土質，色調，換算N値の増加傾向が異なることから，上部盛土と下部盛土の境界面と考察される．下部盛土では換算N値の変動幅が大きい特徴があり，礫分の混入が多い盛土材が使用されていることも推定される。

図.9には横断図を示した．傾斜方向②の結果は鉛直方向①の結果同様，深度1mから換算N値が漸次増加し，転圧面を示す変曲点も類似した結果であり，図-9に示す土層構成が推定された．一方，③地点では深度2mまで，換算N値≦4で，非常に軟らかい相対密度となっていることも判明した．

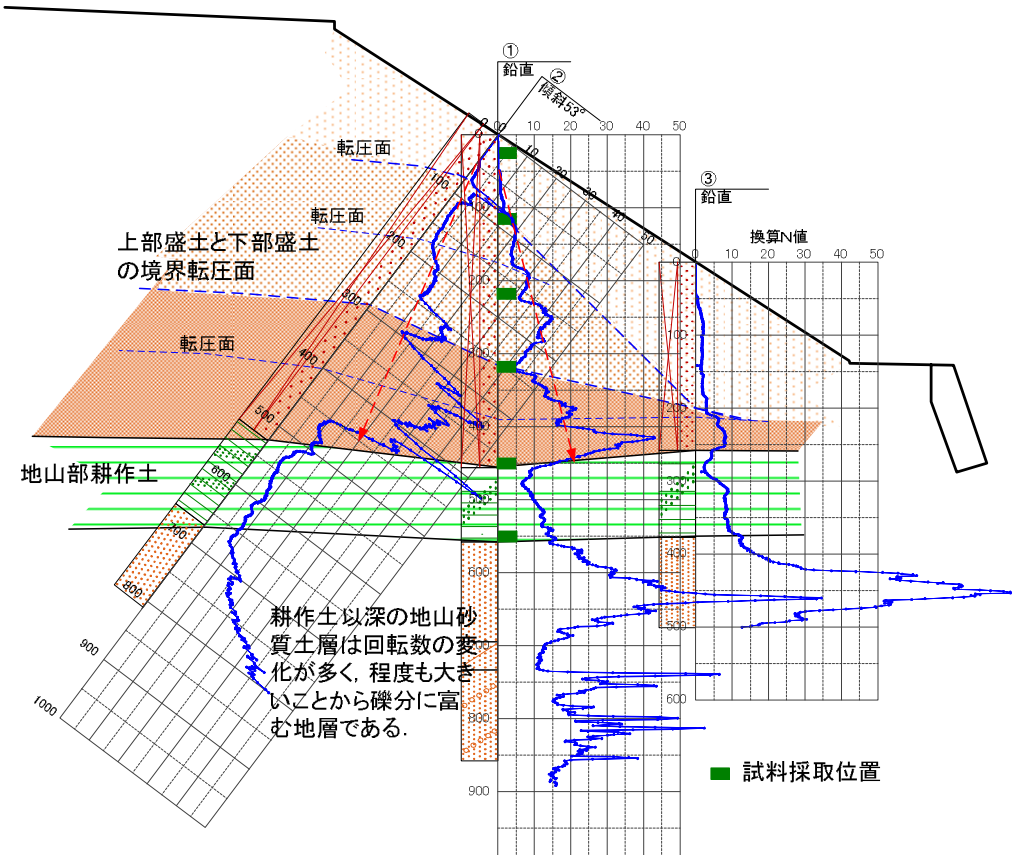

図-9　盛土A　サウンディング試験結果横断図

5. 盛土B

5.1 調査地点の選定

盛土Bは，図-10に示すように，法肩部に開口，型枠工上部に沈下(痩せ)の変状が認められている．したがって，調査地点は図-11に示すように，この変状部の法肩近傍縦断に鉛直方向3箇所，傾斜方向1箇所を設定した．

図-10　盛土B　開口変状　痩せ変状

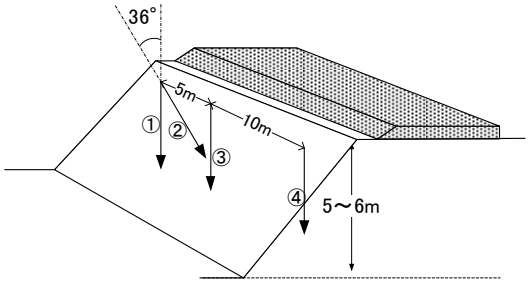

図-11　盛土B　調査地点①，②，③，④

5.2 サウンディング試験

図-12に①鉛直測定，図-13に②傾斜測定を示した．

盛土Aと同じく盛土Bは砂質土主体であるが，盛土Aでは換算N値の深度方向増加の傾向を示したのに対し，盛土Bの①鉛直孔ではGL-4mまで，②傾斜孔ではGL-5mまで換算N値≦4の「非常に緩い」相対密度であることが判明し．特に，①鉛直孔のGL-3.0～3.5m間は300～400Nの載荷で自沈する極めて緩い状況であり，試料採取の結果(表-2，図-14)から，含水が多く，飽和状態に近いことが確認された。

一方，②傾斜孔では図-13に見るように載荷荷重は1.2mから1000Nで一定で，GL-3m以深では換算N値が約8となり，①とは異なる地盤状況であった．したがって①の飽和状態の軟弱層は盛土中心部方向への広がりは無いと判断し，縦断方向に追加調査地点を設定した．

表.2　盛土B　①地点鉛直孔　採取試料（観察による）

採取深度(m)	土　　質		色調	含水状態
1.2	礫シルト混じり砂	盛土材	淡黄灰	少ない
2.2	粘土混じり砂		淡黄灰	少ない
3.2	砂質シルト		黄褐	多い
4.2	礫混じりシルト質砂		黄褐	多い

図-14　①地点GL-3.2m，　③地点GL-3.4m

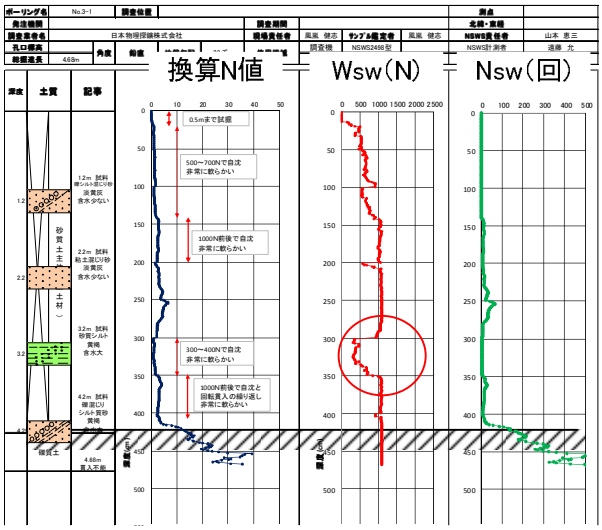

図-12　盛土B　①地点鉛直方向　試験結果図

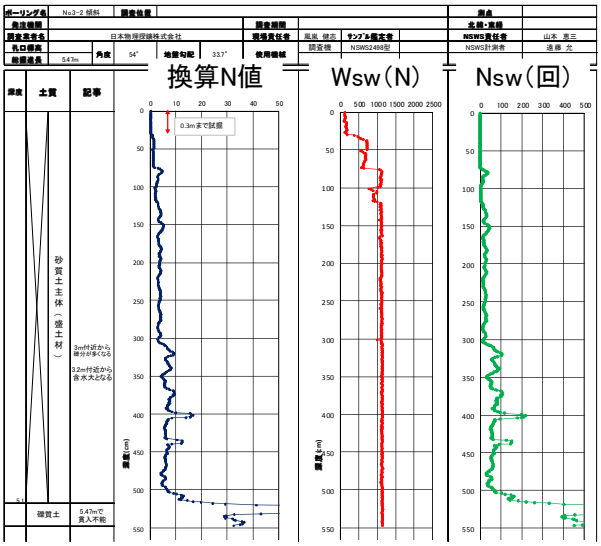

図-13　盛土B　②地点傾斜方向　試験結果図

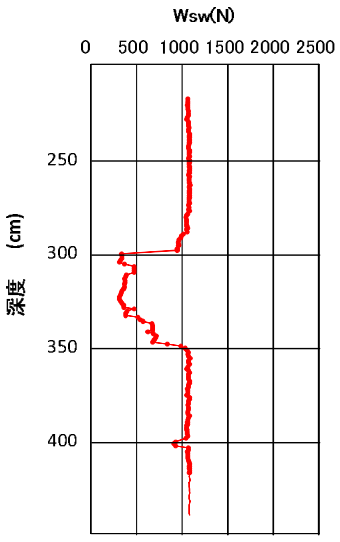

図-14　①鉛直孔
GL-3m前後のWsw

図-14は①鉛直GL-3m付近の載荷荷重[Wsw]の結果を示したもので，，NSWS試験機の自沈検出動作の一例である．GL-3mの手前で，貫入速度が設定値を超えて急激に大きくなり，その時点で貫入，回転が自動停止．続いて荷重を0Nに戻し，再度測定を開始し，3.3mまで300～400Nで自沈，3.3mから3.5mまで漸次1000Nまで増加し，3.5mから回転を開始した動作である．

図-15，16に①②地点の横断図，①-③-④の縦断図を示した.

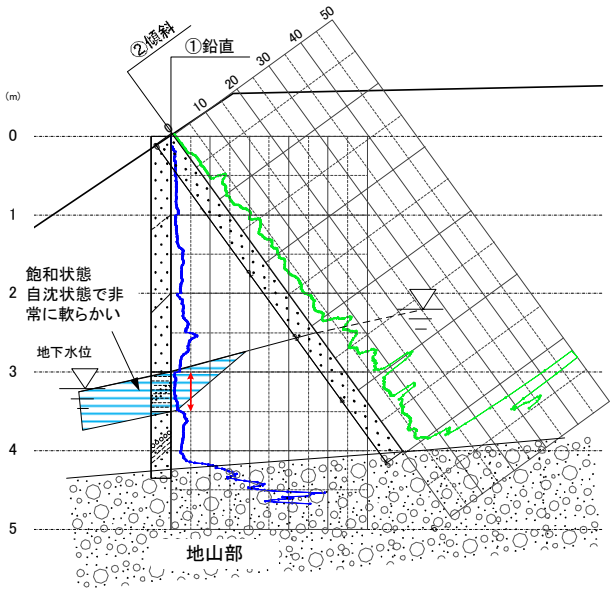

図-15　①②地点　換算N値　横断図

縦断図に見るようにその範囲において換算N値に増加傾向は認められず，深度4m付近まで，換算N値が5以下の緩い砂質土主体の層である。そして，①と③では深度3mと深度4m層厚0.5mの極めて緩い飽和粘性土層が検出された。この緩い範囲は，盛土中央部への広がりはないが，法肩部の開口変状，法面の沈下の範囲と呼応しており，変状の要因の一つと考えられる.

6. まとめ

２つの鉄道盛土でNSWS試験機を用いてサウンディング試験を実施した。

盛土Aでは，上部盛土と下部盛土の境界面を含む転圧面などより細かな土層構成の結果が得られ，深度とともに強度が増加する盛土の特徴のあることが明確となった。

盛土Bでは，盛土が地山部までの5～6m間「非常に緩い」相対密度状態にあること，またその中に厚さ0.5mで飽和状態にある非常に軟らかい粘性土層の分布を確認するなど，盛土の安全度を評価する上での極めて重要な地盤情報を得て，早急な対策工が必要であることを報告できた.

今後，降雨時直後のデータと比較をすることや，NSWS試験機による原位置せん断試験，あるいは原位置透水試験を行うことによって盛土の安全性を検証し，ゲリラ豪雨など土砂災害の防止・軽減に寄与できるものと考えている.

参考文献

1)『地盤内の空洞自沈領域を詳細に検出する原位置地盤調査機の開発』日本工業出版株式会社 建設機械 '08 4月
2)『地盤内空洞自沈領域の詳細調査方法及びその調査機』地盤工学会誌 Vol.56 No.9 Ser.No.608 土と基礎
3)『新しいスウェーデン式サウンディング試験(NSWS)による地盤評価に関する基礎的研究』地盤工学会 「地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2010」論文集 H22年11月
4) 『サウンディング試験機を用いた盛土斜面の原位置孔内回転せん断試験方法』第47回地盤工学研究発表会論文集2012年7月

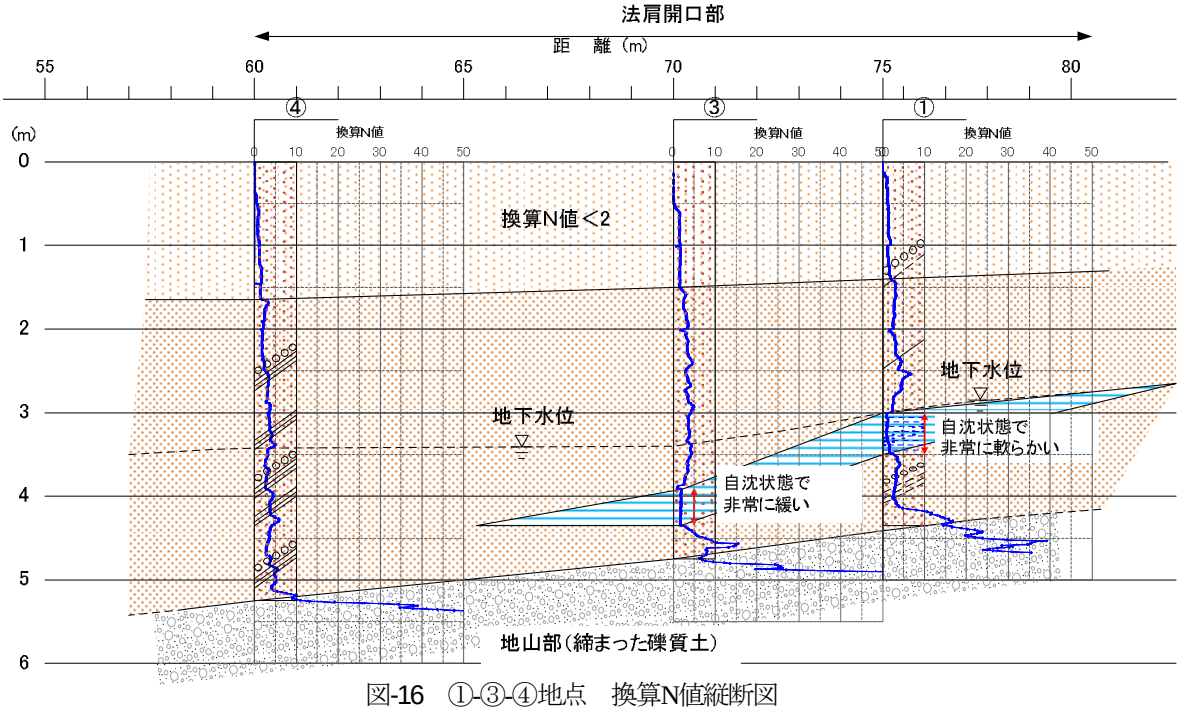

図-16　①-③-④地点　換算N値縦断図