

既設盛土内部の現況機能を把握するための各種調査

岐阜大学工学部 国際会員 八嶋 厚 佐藤 健 沢田 和秀
 NPO 地盤防災ネットワーク 国際会員 村田 芳信
 株式会社オオバ 正会員 末松 治

1. はじめに

既に造成されている大規模盛土を、新たに開発する必要が生じた。このためには、長期間放置されていた既設盛土の地盤工学的特性を把握し、今後の追加盛土や長期安定について評価しておかなければならない。そこで、のり面に若干の変状が進行していると考えられる盛土を対象に、次の各種調査を実施した。①のり面の経年変状を把握するための縦断測量、②のり面の詳細観察(踏査)、③小段ならびに天端での2次元表面波探査、④探査結果に基づく位置での小型動的貫入試験である。これら一連の調査による評価は、それぞれ相関性が高く、既設盛土の安定性評価に簡便でありながら高精度で有用な情報を与えることが分かった¹⁾。

本論文では、各種調査に基づいて、既設盛土の機能ならびに工学的特性について評価した結果を述べる。

2. 既往盛土の材料特性と施工管理

開発地は、土岐市北部の標高 250~350m の山頂を連ねる丘陵地で、美濃層群と称される中生代の砂岩ならびに珪岩よりなる岩盤で構成され、頂部には土岐砂礫層と称される新生代第三紀の段丘堆積物が分布する地域である。開発総面積は約 101 ha におよび、初期の宅地開発の認可に伴う造成工事は、1996 年 10 月から 1998 年 8 月にかけて実施された。造成後の空中写真(図-1)が示すように、開発地のほぼ中央を蛇行する谷部などを周辺の切土からなる 318 万余 m³ の盛土で埋立て施工したものである。



図-1 造成地の空中写真(1998年11月)と盛土検討位置

表-1 盛土材料の材料特性(三軸圧縮試験結果)

区分	供試体条件			試験結果		
	D値または 相対密度 D, D _r (%)	乾燥密度 ρ _d (kN/m ³)	含水比 (%)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗角 φ, φ' (度)	
土質材料	土岐砂礫(P=41%)	D=93	17.35	13.5	c _{cu} =31	φ _{cu} =28.57
	美濃層群(P=48%)		18.79	9.7	c _{cu} =18	φ _{cu} =31.72
	美濃層群(P=48%, 水浸)				c _{cu} =16	φ _{cu} =31.40
岩石材料	強風化部(n=0.3)	D _r =85	20.62	1.9	c' _v =0	φ' _v =38.18
	強風化部(n=0.4)		19.78	4.2	c' _v =1	φ' _v =38.87
	未風下部(n=0.35)		19.96	3.9	c _d =0	φ _d =39.35
	未風下部(n=0.45)		20.43	4.3	c _d =0	φ _d =39.48

表中のPは最適含水比, nはタルボット指数を表す。

盛土材料は、土岐砂礫層を主体とする土質材料と美濃層群の岩石材料に大別される。さらに岩石材料は強風化部と弱風化部に細分され、それぞれの材料特性(三軸圧縮試験結果)は表-1のとおりである。また、図-2のそれぞれの盛土材料の粒径加積曲線が示すように、弱風化の岩石材料(ロック材)は最大礫径が300mmを超える巨礫を混入する優性な粗粒材料である。このため、図-3の盛土標準断面に示すように、ロック材をのり面のすべり安定対策として必要な範囲に選別的に用いている。

この盛土の施工管理は、土質材料についてはD値(D≥93%)と飽和度(S_r≥60%)、また岩石材料については相対密度(D_r≥93%)とタルボット指数(n=0.4~0.7)により管理され、それぞれ10万m³に1回の割合で試験が実施された。表-2ならびに図-4に示すように、当初設計における盛土材料の予測賦存量と施

工後の確認盛土量を比較した結果、土質材料ならびに岩石材料の強風化部が予想以上に増えており、これが先の図-3の盛土材料の選別利用の要因となっている。

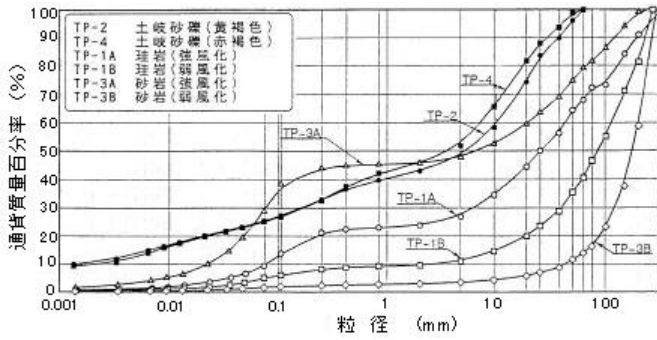


図-2 既往盛土材料の粒径加積曲線

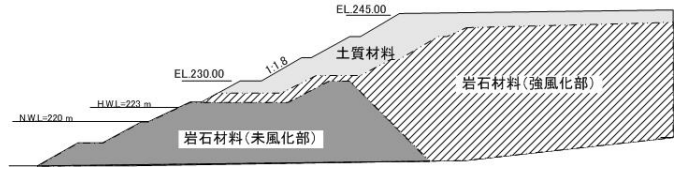


図-3 既往盛土の標準断面図

表-2 当初予想と実施工による土量の比較表

区分	材料名	弾性波速度Vp (km/s)	岩級区分	設計当初想定賦存量 (m ³)	最終盛土量 (m ³)		
土質材料	土岐砂礫層	< 1.0	—	1,023,000	1,415,000		
	砂強風化	< 1.0	D~E	170,500			
岩石材料	美濃層群	砂岩弱風化	1.0~2.0	C _L	170,500	1,133,400	
		未風化	2.0 <	C _H ~C _M	341,000		
	珪岩類	強風化	< 1.0	D~E	341,000		
		弱風化	1.0~2.0	C _L	1,023,000		
	珪岩類	未風化	2.0 <	C _H ~C _M	341,000		637,000

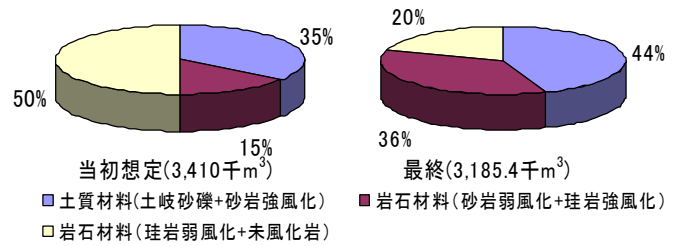


図-4 当初予想と実施工による土量の比較図

3. 既往盛土ののり面調査

今後の開発で計画される造成範囲と既往盛土のり面の断面位置を図-5に示す。これにより、今回新しく追加盛土が計画されるのは、イーイ、ハーハ、ニーニ、ホーホ、リーリの5断面である。

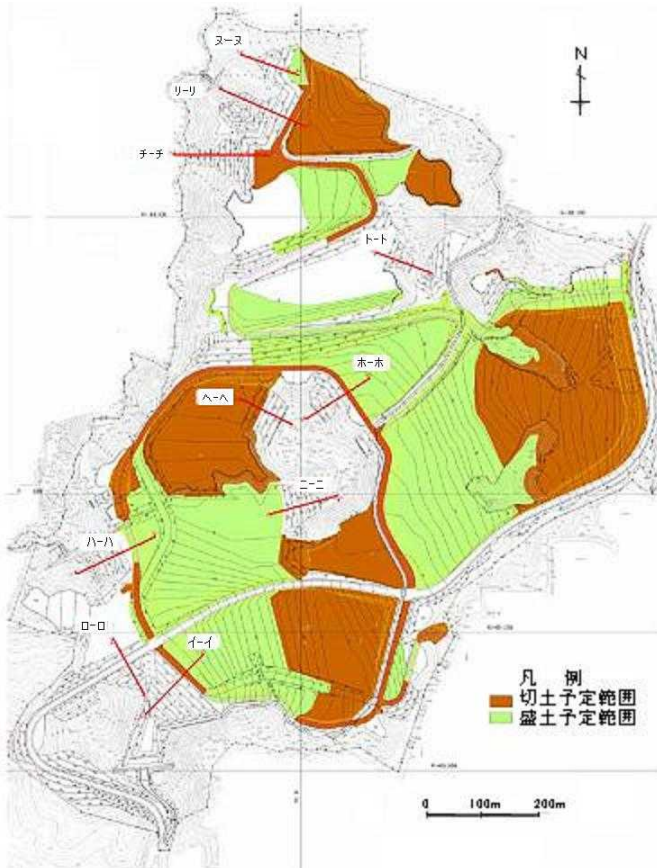
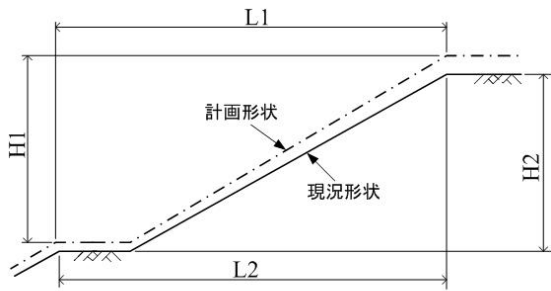


図-5 新規開発計画と盛土のり面の位置図

十分に施工管理された盛土であっても、長期間にわたり放置されることで、雨水の浸入や地下水の高揚などにより、地盤工学的特性に変化を生じる。当該地においても、盛土のり面の植生工の根付きが不十分で雨水の浸入を許したり、地下水の浸透などにより、部分的に洗掘や陥没などの変状が生じていることが確認された。このため、盛土のり面を対象に、次の各種調査を実施して、その結果に基づいて盛土の安定性を評価した。

- ①のり面の経年変状を把握するための縦断測量
- ②のり面の詳細観察(踏査)
- ③小段ならびに天端での2次元表面波探査
- ④2次元表面波探査で抽出された低速度部での小型動的貫入試験

まず全ての盛土のり面において縦断測量を実施し、計画形状と比較した。図-6に示すように、初期計画形状のり面の垂直高さ(小段間)ならびに水平距離(のり肩間)に対する測量結果との変化量を、それぞれ垂直高さならびに水平距離の百分率とし(変化率)、図-7にプロットして示す。この結果には、測量精度



垂直距離の変化率 = $(H2-H1)/H1 \times 100$ (%)
 水平距離の変化率 = $(L2-L1)/L1 \times 100$ (%)

図-6 縦断測量による計画形状との比較

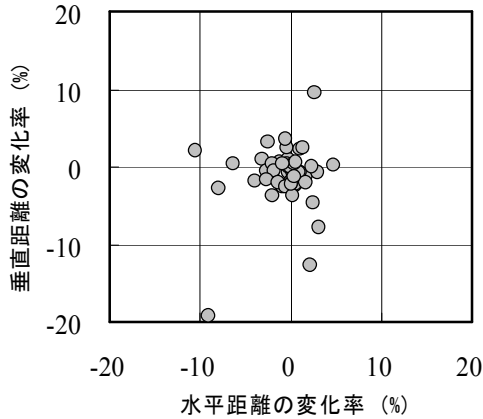


図-7 計画形状に対する現況のり面の変化率

以外の誤差が大きく影響すると考えられるが、大局的にみて沈下やすべり破壊などのり面全体に変化を及ぼすような傾向的な動きは無いと判断される。

次いで、同じく全ての盛土のり面において、踏査による詳細観察を実施した結果、表-3に示す状況が確認された。

表-3 踏査結果 (確認された変状の内容)

対象区分		確認された変状の内容
高盛土 検討対象 のり面	イ	隣接水路天端のコンクリート欠損, 転石堆積, 湧水, 流水による浸食跡, 部分崩壊・土砂堆積(U字溝埋没)
	ハ	U字溝の壁面腐食, U字溝のずれ・脇の沈下, 流水による浸食跡
	ニ	湧水(浸みだし), 流水による浸食跡
	ホ	湧水(浸みだし)
	リ	陥没, U字溝のずれ・浮上がり, U字溝脇の洗掘, 流水による浸食跡
高盛土 非検討対象 のり面	ロ	U字溝のずれ・割れ, U字溝下の空洞化・コンクリートの亀裂
	ヘ	U字溝の沈下
	ト	U字溝下の空洞化, U字溝の割れ・ずれ
	チ	U字溝下の空洞化, U字溝脇の沈下, U字溝の沈下・亀裂の発生, U字溝の割れ・破
	ヌ	湧水(浸みだし・ぬかるみ), U字溝の破損, U字溝周辺の陥没, U字溝下のすべり破壊・陥没

いずれも小規模な変状であるものの、陥没や湿潤化による盛土の緩み、さらには湧水による洗掘などの現象については、今後の追加盛土や長期安定を検討する上で、その影響範囲と原因の究明が必要である。

このため、盛土の内部の状況を迅速かつ簡便に把握するため、2次元表面波探査を用いて盛土の2次元S波速度構造を調査した。調査は、追加盛土が計画される5つの検討対象のり面の小段部ならびに天端部の平らな部分に測線を設けて実施した。探査方法は、2mピッチで24個の受振器をほぼ直線上に配置して、測線に沿って4mごとにカケヤによって地表面を打撃した際に発生する地震動を観測するもので、観測波形のうち卓越する表面波の分散特性を利用して地下のS波速度構造を求める。

図-8にイ断面の盛土のり面で行った探査結果のうち、中段の小段で実施したイー②測線の結果を示す。

図の測線75~90m間に見られる表層の低速度部分は、湧水による湿潤箇所と一致する。また、測線10~60m間の深さ5m付近に帯状の低速度帯が見られ、これは、計画では5m以深に岩石材料(未風化)が分布しており、その直上の岩石材料(強風化)ならびに土質材料部分に相当する。

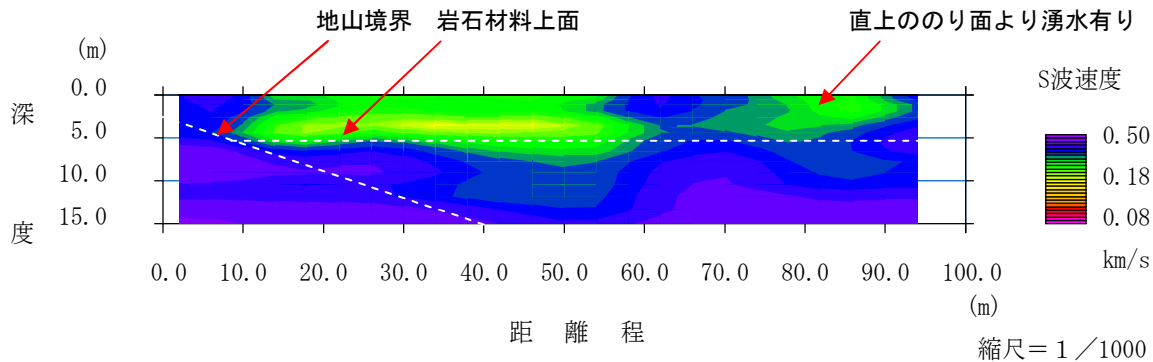
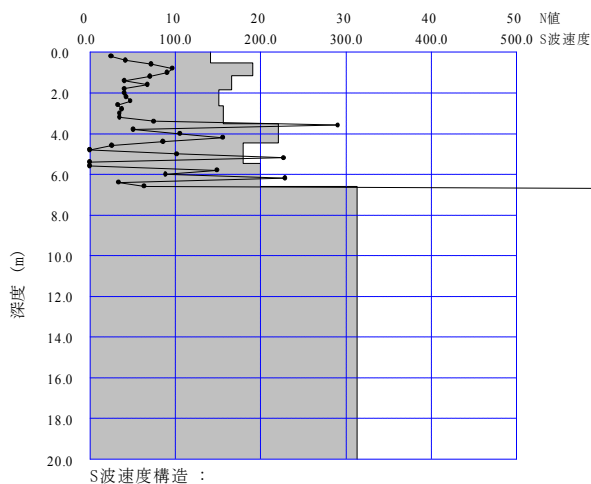


図-8 2次元S波速度断面(イ断面, イー②測線)

このように、2次元表面波探査結果とのり面の変状箇所や盛土構造とが一致する傾向が見られたことから、確認した低速度部分を中心に、探査測線に3~4箇所を標準として、小型動的貫入試験(DP:Dynamic Proving)により直接的に盛土の貫入抵抗値を調査した。小型動的貫入試験は、20 cm 毎に標準貫入試験による N 値と等価な貫入抵抗値 N_a 値を連続的に求めることが可能である。ただし、小型動的貫入試験の打撃エネルギーは標準貫入試験の1/2程度と小さいことから、 N 値30 (V_s がおよそ0.25 km/s)以上の地盤への連続した貫入は難しく、礫打ちにより貫入が不可能となる場合が多い。

curve=11 Distance=46.000000m



の連続した貫入は難しく、礫打ちにより貫入が不可能となる場合が多い。

次いで、小型動的貫入試験により求めた貫入抵抗値 N_a を用いて、図-9 に示すように、既往の $N \sim V_s$ 関係式 ($V_s = 0.091N^{0.337}$, Imai, T., 1977) より盛土の初期 S 波速度モデルを設定し(図-10(a)には2次元 S 波速度モデルを示す)、先に観測したデータを用いて最小二乗法によるインバージョン解析を行った。図-10(b)に解析結果を示すように、図-8 の解析結果に比べて、低速度部分の境界ならびにコントラストがより明確となり、その分布の深さも若干浅く補正されることが分か

図-9 N_a 値を用いた S 波速度モデルの作成 (DP-2-2)

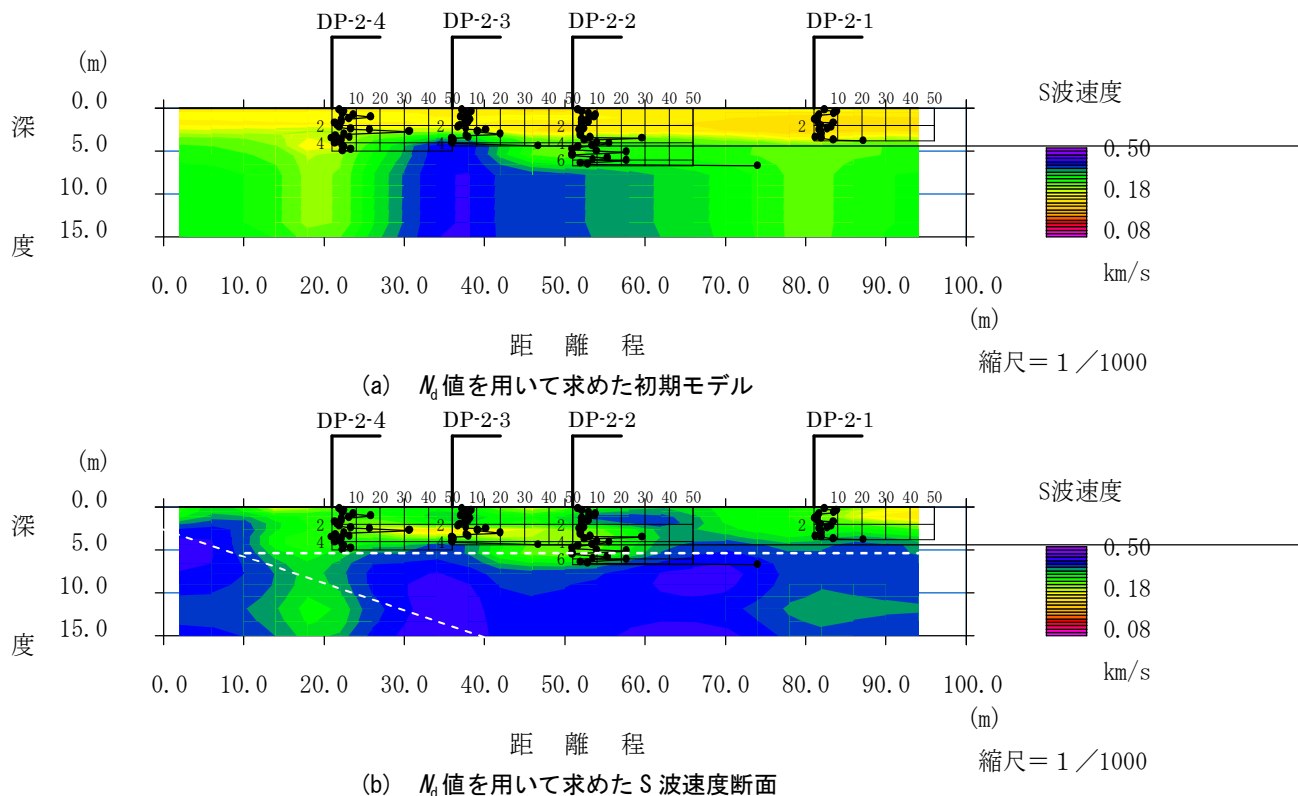
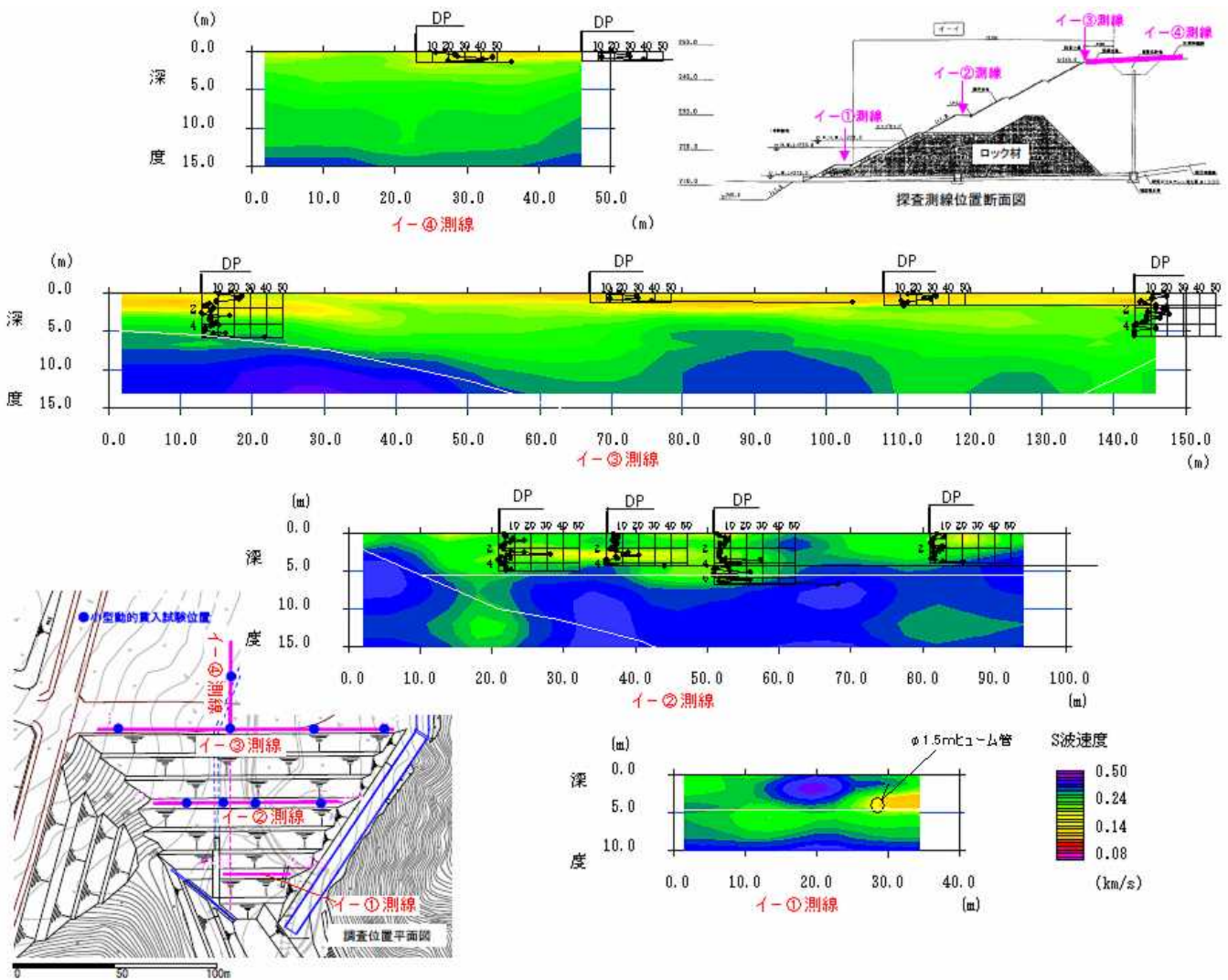


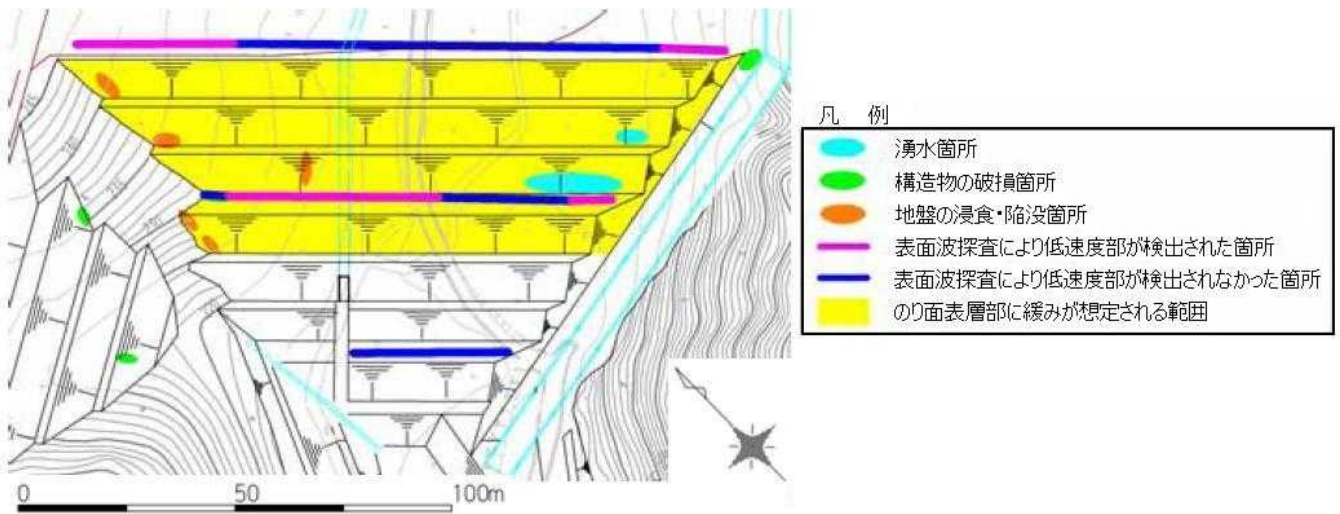
図-10 N_a 値を用いた再解析結果 (イ断面、イ-②測線)

る。図-11 に、イ断面における盛土のり面状況の調査結果をとりまとめる。図より、踏査により確認された湧水や構造物の変状などの状況と2次元表面波探査による V_s の低速度部がよく整合することが分かる。また、最下段の測線は、岩石材料上での探査であり、材料の S 波速度が高速であることから、下部の低速度層や盛土中の構造物($\phi 1.5$ m有孔管)の探査が困難であると予想されたが、それぞれよく探査結果に現れた。さらに、岩石材料の直上に分布する低速度部は N_a 値も低いことから、のり面から浸入した浸透水による細粒分

の吸出しによって、盛土内部に緩みが発生しているものと想定することができる。このような地表には現れていない潜在的な緩みの存在についても把握することができた。



(a) 2次元表面波探査によるのり面調査結果



(b) 盛土のり面評価結果とりまとめ図

図-11 イ断面盛土のり面調査結果および評価結果

4. 既往盛土の工学的特性評価

表-4 ならびに図-12 に、 N_d 値を用いて 2 次元表面波探査の結果を見直し、その結果評価された S 波速度 V_s とその同じ位置の N_d 値の関係を整理する。低速度を示す盛土部分にもかかわらず、平均 V_s は 0.23 km/s と比較的速い速度を示す。また、 V_s の標準偏差は 0.07 km/s であることから、表面波は大局的な盛土の速度を表している。

一方、 N_d 値は一般的な堆積地盤の $N \sim V_s$ 関係（図-12 中点線）に比べて小さい値を示す傾向にあり、平均 N_d 値は 11.5 とやや低い値を示す。また、標準偏差は 12.2 と大きく、ばらつきが非常に大きい。打撃エネルギーの小さい小型動的貫入試験は、先端コーンの断面積が小さく排土量が少ないので、盛土材料の粗い粒径の影響（礫打ち）による N_d 値の過大評価や、間隙（空隙）が発達した盛土では N_d 値の過小評価の影響が顕在化するものと考えられる。

これらより、低速度部の盛土は、主に雨水の浸入や地下水の浸透による湿潤化により、盛土を構成する粗粒材料のなかの一部の細粒分が吸出（流失）されて、間隙を生じているものと考えられる。特に V_s が平均値を大きく下回るような（経験的に $V_s < 0.2$ km/s）箇所については、その状態を掘削調査などによって確認して、必要な対策を施すことが重要である。また、今後は盛土内に雨水の浸入を防止することで、盛土の長期安定を確保する必要があると考えられる。

図-13 には、I 断面の盛土のり面天端において実施したボーリング結果の N 値分布と採取コア写真を示す。盛土は比較的径の大きな礫を所々に混入するものの、細粒分を多く含む砂礫からなり、採取試料に湿潤化や緩みなどは見られない。地下水位も GL-28.8m と谷底の堆積物と考えられる礫層内に確認した。また、 N 値 50 以上を除く盛土の平均 N 値は 23.4（標準偏差 11.1）であることから、比較的均質で優勢な盛土地盤である。これは、2 次元表面波探査において、のり面やごく表層の低速度部以外の盛土の S 波速度が 0.3 km/s 以上を呈することと整合しており、盛土本体の健全性が評価できる。

5. おわりに

既往盛土のり面調査に、2 次元表面波探査ならびに小型動的貫入試験を併用することで、のり面の状況ならびに地盤工学的特性の変化を定量的に把握することができた。これらの手法は、簡便で迅速な調査手法であることから、造成盛土の再評価や長期的安定のモニタリングに有効と考えられる。

表-4 盛土低速度部の N_d 値と S 波速度 V_s の平均値と標準偏差

	N_d 値	V_s (km/s)
平均値	11.5	0.23
標準偏差	12.2	0.07
個数	843	

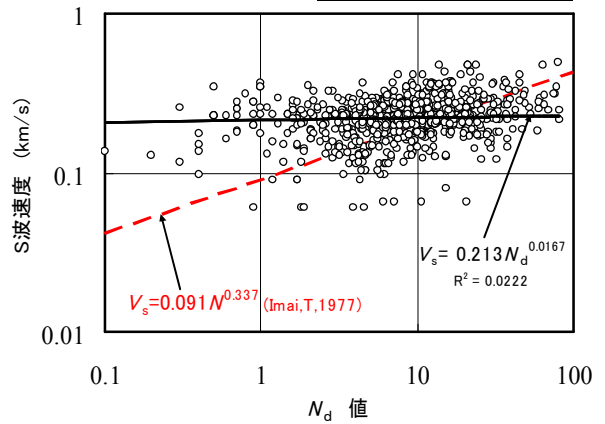


図-12 N_d 値と S 波速度の関係図（2 次元表面波探査）

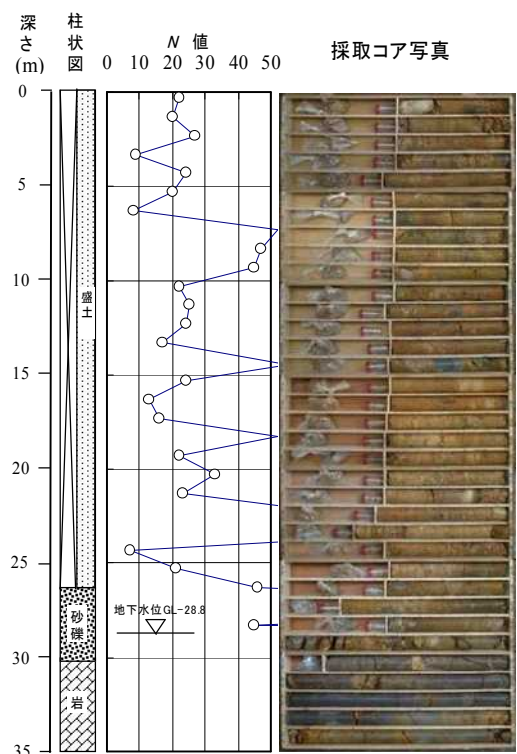


図-13 ボーリング調査結果（I 断面、天端部）

謝辞：本調査は土岐アクアシルヴァの依頼により実施したものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) 土岐アクアシルヴァの開発計画に係る高盛土の施工技術検討業務，報告書，合)アクアシルヴァ・岐阜大学,2007.4.
- 2) Imai,T.:P- and S-wave Velocities of the Ground in Japan, Proceedings of 9th ICSMFE, 1977.