

静岡空港高盛土への補強土壁工法の適用について

THE APPLICATION OF REINFORCED SOIL RETAINING WALL FOR HIGH LANDFILL AT SHIZUOKA AIRPORT

伊藤民夫*・中村幸生*・川畑 智*・津田雅丈**・白石保律**
 Tamio ITO, Yukio NAKAMURA, Satoru KAWAHATA, Masatake TSUDA and Yasunori SHIRAISHI

At the “Fujisan-Shizuoka Airport”, currently under construction, the government of Shizuoka Prefecture decided to apply geotextile-reinforced soil retaining walls to preserve rare and endangered species that were found in two valleys adjoining the eastern end of the runway. This would involve surveying, designing, and constructing Japan’s tallest geotextile reinforced soil retaining wall, mostly of a height of 21 m. This paper describes the high-quality reinforced soil retaining wall. Nippon Koei Co., Ltd. undertook surveying, design, construction management and field observation.

Keywords : Environmental preservation, high landfill, reinforced soil retaining wall, foundation strength, quality control, field observation

1. はじめに

静岡県は本州の中央に位置し、東海道新幹線や東名自動車道などの陸上交通の便に恵まれた地理的優位性を背景に、社会・経済・文化を発展させてきた。図-1の位置に建設中の「富士山静岡空港(以降、静岡空港と呼ぶ)」は、静岡県の交通の利便性をさらに向上させ、ビジネスチャンスの拡大、スポーツ・文化の振興、災害時における緊急輸送の拠点など多くの役割を期待したものであり、静岡県の経済力を高めるとともに、魅力ある地域づくりを進めるための必要不可欠な社会資本として位置づけられている。

静岡空港は、牧之原市と島田市に位置する延長 2,500m の滑走路を有する第三種空港であり、平成 21 年 3 月の開港を目指して用地造成工事を進めている(表-1)。当該工事は、最大盛土高が 75m、総盛土量が 2,600 万 m³ に及ぶ大規模高盛土工事であり、平成 19 年 1 月までの施工実績は、盛土量 2,392 万 m³、進捗率 92% となっている。空港の建設は「人と自然にやさしい空港づくり」を基本として、地域住民の生活環境はもとより、自然環境の保全にも十分配慮して進めており、用地造成工事では、郷土種による森林復元を目的として、1:2.0 勾配の盛土法面にポット苗を植栽して自然環境の復元を図っている。



図-1 空港位置図

表-1 静岡空港の概要

名称	静岡空港(第三種)
設置者	静岡県
建設地	牧之原市、島田市
管理面積	約190ha(周辺部含む総面積約500ha)
滑走路	延長2,500m,幅60m,標点132m
設置許可	平成8年7月26日
開港予定	平成21年3月

当工事のなかで、図-2に示す滑走路東端の沢部には、県が保全対策を進める移植困難な貴重植物などが多数確認されたため、環境保全の見地から、当該箇所には環境負荷が少なく、湿潤な谷環境を残すことのできるジオテキスタイルを用いた補強土壁工法を採用した。

* 名古屋支店 技術部
 ** コンサルタント国内事業本部 地球環境事業部 地盤環境部

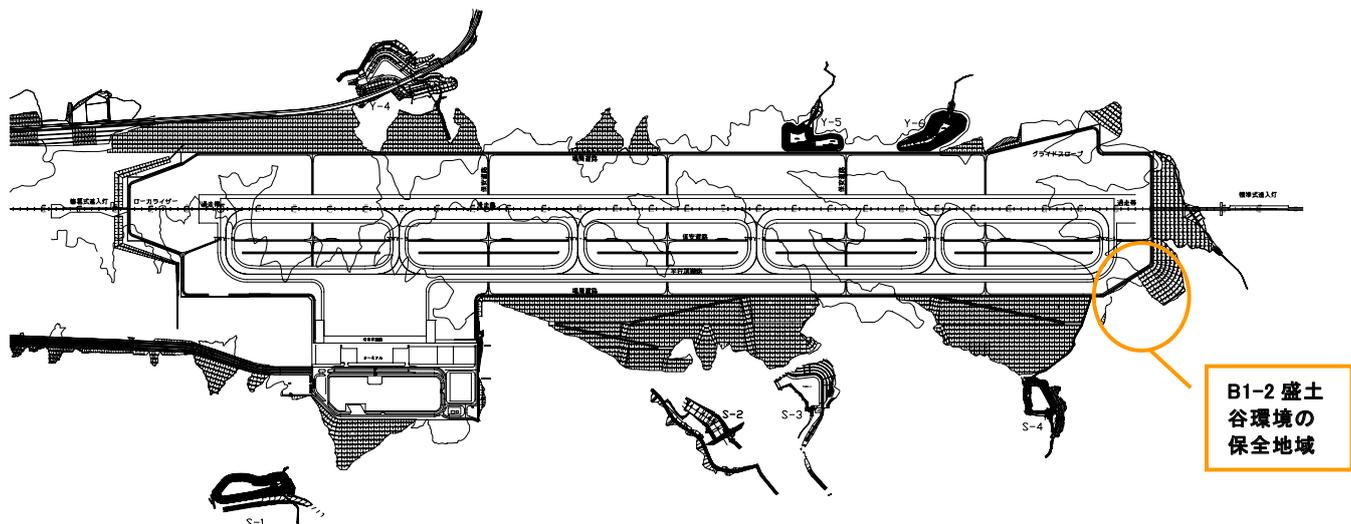


図-2 空港平面図

本論文では、空港高盛土に対してジオテキスタイルを用いた補強土壁工法を採用した経緯ならびに、その調査・設計から施工において留意した事項や盛土の品質管理および動態観測結果を述べ、結果として高品質の補強土壁が構築されたことを報告する。

2. 空港形状変更と環境保全対策

図-2 および写真-1 に示す B1-2 盛土の下流部には、千頭ヶ谷池へ続く谷地形があり、環境影響評価実施以降に発見されたタシロランをはじめ、ナギラン、クサナギオゴケなど貴重な植物が確認されている。そのため、県は現存する谷環境を可能な限り残す保全対策を計画した。

土構造に直壁構造物を採用して、改変に伴う影響を軽減した。この結果、改変エリアを 2ha 縮減することができた。②については、ジオテキスタイル壁に植生基材を吹きつけて、緑化するとともに、通常の盛土法面には植樹を施すものとし、樹種として郷土種を植樹することとした。

なお、B1-2 盛土は図-3 に示すように環境保全対象となる沢が 2 つ(1 の沢、2 の沢)あり、両沢とも、施工性、経済性、環境への影響等を比較検討のうえ、ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法を採用した。このうち 1 の沢は補強土壁背後に上部盛土を有しており、2 の沢は直壁構造物の背後は直接着陸帯となっているため盛土法面はない。

本論文は、施工が完了している 2 の沢(以下 B1-2-2 と呼ぶ)の補強土壁工法を対象とするものである。



写真-1 B1-2 盛土部(東側より望む)

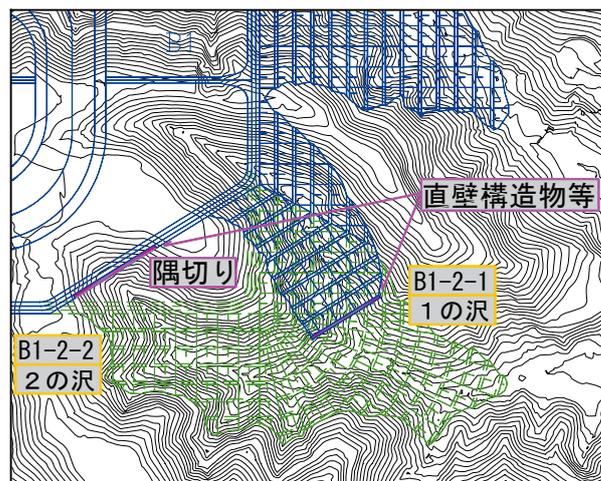


図-3 B1-2 盛土部空港基本形状(変更後)

当該地区の盛土構造については、①自然環境を保全するために改変エリアを極力少なくすること、②改変エリアにおいても、極力自然環境の復元を図ることの 2 点を環境配慮の方針として掲げ検討を行った。①の対応としては、空港平面形状に空港基本機能に影響しない範囲で、図-3 に示すとおり隅切りを加え、さらに、図-4 に示すように盛

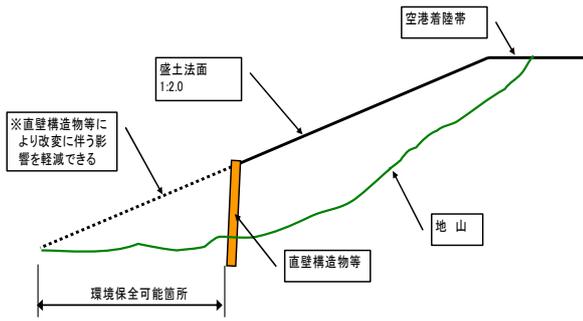


図-4 環境保全イメージ図

3. 基本検討

(1) 基本設計の概要

基本設計は、盛土の基本形状の決定を目的として、当地域における地質・土質調査、設計条件の設定、工法比較検討および工法の選定を行った。以下に各項目の概要を、図一五に設計検討フローを示す。

- ① 地質・土質調査では、盛土基礎部の地質区分、各土層の層厚および強度等を把握する。
- ② 設計条件の設定では、盛土構造の設計検討に必要な各条件を設定する。
- ③ 工法比較および選定では、基本計画によって設定された盛土形状について比較案を策定し、安全性、施工性、経済性、環境、景観等の総合的な検討により、構造物の種類、位置、規模等の基本形状を決定する。なお、盛土全体の安定性の検討は、他の盛土地区と構造が大きく異なるため、円弧すべりによる静的解析のほか動的解析もあわせて実施する。

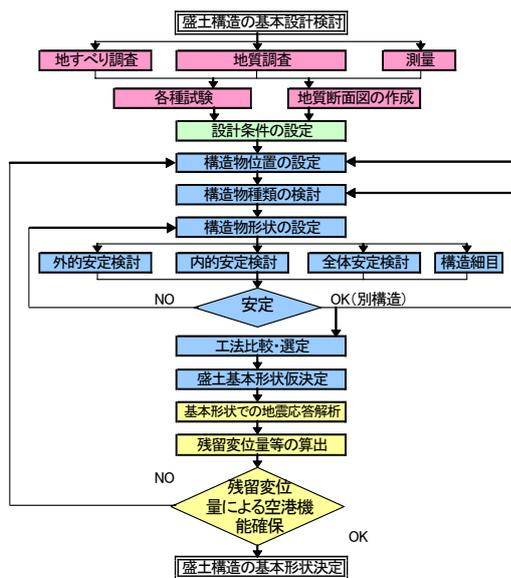


図-5 B1-2 基本設計検討手順

(2) 設計条件の設定

設計条件の設定では、安定検討方法、各項目に対する安全率および許容値、設計水平震度、土質定数、地下水位等を設定した。

1) 安定検討方法

盛土構造の設計方法は、以下に示す3方法である¹⁾。

- ・ 内的安定・構造物の強度等の検討
- ・ 外的安定・構造物の滑動・転倒・支持力の検討
- ・ 全体安定・構造物を含む盛土全体のすべり検討

2) 安全率および許容値

盛土構造の設計に関する安全率および許容値は表-2のとおりであり、適用欄のマニュアルに準拠して設定した。

表-2 安全率および許容値一覧表

項目	短期		長期		適用	
	常時	地震時	常時	地震時		
全体安定 (安全率)	1.2以上	1.0以上	1.3以上	1.1以上	盛土安定解析専用	
外的安定	滑動 (安全率)	1.5以上	1.2以上	1.5以上	1.2以上	土木研究センターマニュアル
	転倒 (偏心距離)	$e < B/6$	$e < B/3$	$e < B/6$	$e < B/3$	土木研究センターマニュアル
支持力	安全率	2	1.5	2	1.5	土木研究センターマニュアル
	地盤反力値	600 kN/m ² 以下	900 kN/m ² 以下	600 kN/m ² 以下	900 kN/m ² 以下	道路橋示方書・同解説

3) 設計水平震度

設計水平震度は、「空港高盛土工設計指針」より算定した設計水平震度に、静岡空港の重要度を勘案して表-3に示す震度を設定した。

表-3 設計水平震度

項目	短期	長期
設計水平震度	0.10	0.20

4) 地盤強度定数

地盤強度定数の設定は、地質・土質調査結果をもとに表-4に示す値とした。なお、本補強土壁盛土は、切盛境における地山からの地下水は盛土内に設置した地下排水工により、盛土表面の雨水は仮排水工により場外に排水する設計となっているため、補強土壁盛土内に水位を形成させない盛土体となっている。

表-4 地盤強度定数

項目	飽和密度 (kN/m ³)	湿潤密度 (kN/m ³)	短期		長期		備考
			内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	
崖線堆積物(FG)	20.5	20.0	6.5	41.0	33.0	4.0	出典:平成13年度 B1-10盛土基礎調査
風化土(N値20未満)(Fa1)	20.5	20.0	12.0	22.5	33.5	9.5	出典:平成13年度 B1-10盛土基礎調査
軟岩 I SR(CL層)	23.5	23.5	34.0	22.5	40.0	90.0	出典:平成14年度 B1-2盛土基礎調査
軟岩 I SR(CM層)	23.5	23.5	38.0	22.0	40.0	48.0	出典:平成14年度 B1-2盛土基礎調査
礫質土(盛土)	20.0	19.0	24.0	19.5	35.0	8.5	出典:第6回静岡空港建設技術委員会資料
軟岩 I (盛土)	20.5	19.5	20.5	44.0	34.5	2.5	出典:第6回静岡空港建設技術委員会資料
MX(盛土)	20.0	19.0	7.5	68.5	33.0	1.5	出典:第6回静岡空港建設技術委員会資料
礫質土(地山)	20.5	20.0	20.0	70.0	30.0	90.0	出典:平成15年度 進入灯橋地質調査

(3) 工法の選定

1) 基本工法の選定

基本設計の擁壁位置より、当地に用いる土留擁壁工は高さ10mを超えるものとなり、ここで、10mを超える条件で擁壁工を選定すると以下のものが候補として挙げられる。

- ・ 大型ブロック積
- ・ 井桁組擁壁
- ・ 控え式擁壁
- ・ 補強土壁

上記のうち、大型ブロック積および井桁組擁壁は控え長に製品的制限があり、当地のように背後斜面が高い場合、土圧に対し自重が小さく対応できない。控え式擁壁の場合、大きな土圧が縦壁等にかかるため、壁面の安定性から、壁面が厚くなるなど経済的に高価となり、また、控え壁があるなど躯体および背面土の施工性が悪く、当地には適応しにくい。したがって、擁壁の工法を検討するにあたっては、補強土擁壁工が最も優位にあると判断しこれを基本として詳しい比較検討を行った。

2) 工法の比較決定

B1-2-2 盛土部は、誘導路端部(盛土法肩)の計画高と基礎地盤高で約17mの高低差がある。これに加え、以下の基本的条件を考慮して工法選定の検討を行った。

- ・ 環境監視機構との協議により、誘導路端部位置(法肩位置)にて直壁構造物(補強土壁工)で対応することを決定。
- ・ 設置位置の基礎地盤は礫質土であり、深度約16mでCL級の軟岩が出現する。
- ・ 設置位置前面の地形は約35°であり、斜面上の基礎検討が必要である。

図-6にB1-2-2の断面図を示す。

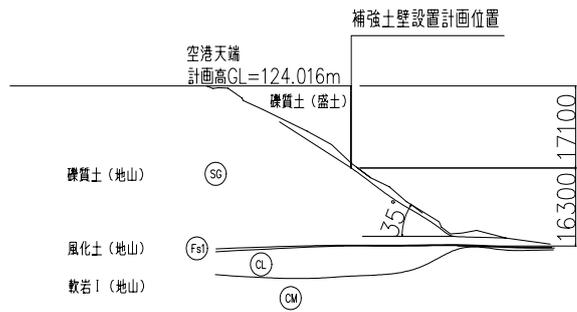


図-6 B1-2-2 断面図

比較検討として選定した工法は、補強土壁工法の代表的なものとしてされるテールアルメ壁工法、ジオテキスタイル工法、多数アンカー式工法の3種であり、その比較検討結果を表-5に示す。各工法の比較一覧表を示す。この結果より、経済性、景観に最も優れているジオテキスタイル壁工法を実施工法として採用した。

4. 礫層の地山強度

(1) 地山強度の確認

上述したようにB1-2-2は、ジオテキスタイル壁工法で実施する計画となった。ジオテキスタイル壁工法の補強材の長さは、礫層の強度が支配的となり、礫層の強度の評価が、経済性および安定性に大きな影響を及ぼす。このため、ジオテキスタイル壁工法の実設計に先立って、現場一面せん断試験による地山強度(礫層の強度)の確認を行った。

(2) 調査方法

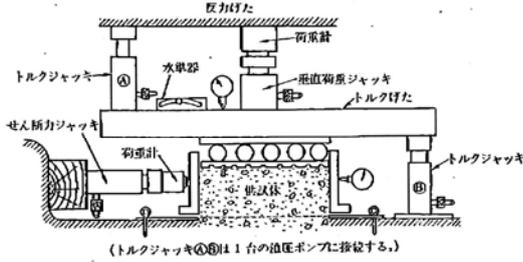
現場一面せん断試験の概略図および試験状況を図-7、写真-2に示す。現場一面せん断試験は、鉛直変位の収束を確認後、0.25mm/minの速度でせん断する緩速せん断試験を実施した。

表-5 工法比較一覧表

項目	テールアルメ壁工法						ジオテキスタイル壁工法						多数アンカー式壁工法					
断面図																		
工法概要	<p>《長所》 ○誘導路端部(法肩)から直壁となり、環境への影響が最も少ない。</p> <p>《短所》 ○前面はコンクリートパネルとなり、景観は悪い。 ○補強材が長く、接合等に時間がかかり、施工性は悪い。</p>						<p>《長所》 ○前面に緑化ができ、景観は良い。 ○最も安価である。</p> <p>《短所》 ○誘導路端部(法肩)から3分となり、環境保全地域が他の工法に比べ約7m少なくなる。</p>						<p>《長所》 ○誘導路端部(法肩)から直壁となり、環境への影響が最も少ない。</p> <p>《短所》 ○空港での実績が少ない。 ○前面はコンクリートパネルとなり、景観は悪い。 ○最も高価である。</p>					
判定	施工性	実績	環境	景観	経済性	総合評価	施工性	実績	環境	景観	経済性	総合評価	施工性	実績	環境	景観	経済性	総合評価
	△	○	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	△	○	△	△	△

表－6 設計強度(礫層地山)

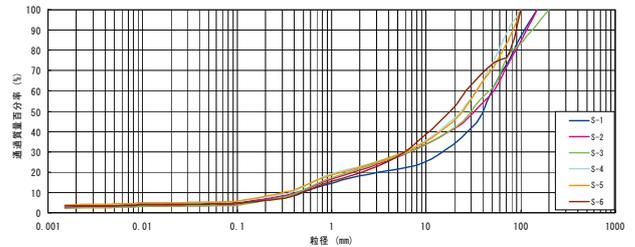
	単位	長期	短期
飽和重量	γ_{sat} kN/m ³	20.5	20.5
湿潤重量	γ_t kN/m ³	20.0	20.0
粘着力	C kN/m ²	60.0	60.0
内部摩擦角	ϕ 度	27.0	27.0



図－7 現場一面せん断試験装置の一例



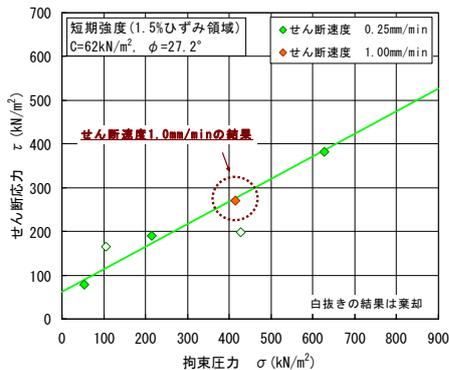
写真－2 現場一面せん断試験状況



図－9 粒径加積曲線

(3) 調査結果

当該地で実施した現場一面せん断試験から設定した設計強度を図－8 および表－6 に示す。せん断中に排水する時間を与える排水条件での試験は、短期、長期強度ともに、せん断速度 0.25mm/min の緩速せん断で行った結果、設計強度は、短期、長期ともに同一であった。当該地区の礫質土の地山は、図－9 に示すように礫分が主体となるため排水性は良好であり、十分に圧密した状態であることから、長期強度と短期強度の差はないものとした。また、短期強度においては、排水する時間的余裕を与えないせん断速度 1.00mm/min とする急速せん断を行った結果、せん断強度は、せん断速度 0.25mm/min で設定した強度ライン上にあることから、せん断速度の違いによる強度特性の相違ないことも確認した。



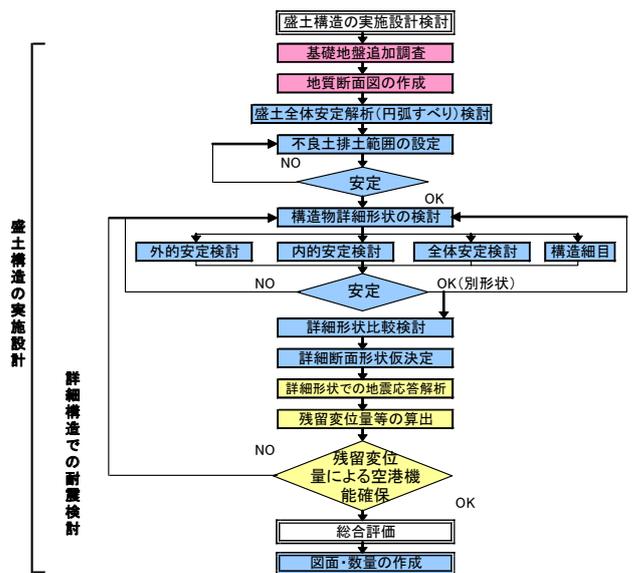
図－8 短期強度

5. 実施設計

(1) 実施設計概要

実施設計は、盛土の最終形状の決定を目的として、当区域における地質・土質の詳細調査、詳細設計条件の設定を行い、各解析測線で安定検討を実施し、図面・数量を作成した。図－10 に実施設計のフローを示す。

実施設計を行った補強土壁工の断面規模は表－7 に示す 3 ケースである。なお、補強土擁壁の支持の検討は、地形および地質をモデル化した全体安定と支持応力度から安定性を検討し、前面が急傾斜となることから、全体安定、支持応力度に加え、斜面上の基礎としての安全率も算出し安定を照査した。



図－10 B1-2 盛土実施設計実施フロー

表-7 B1-2-2 ジオテキスタイルの断面規模

項目	測線名	幅B(m)	高さH(m)
2の沢	2-2測線	8.5	12.8
	2-4測線	22	21.1
	2-6測線	7.1	10.2

(2) 断面位置

設計断面は設置領域が長いことと沢地形で設置高が異なることから図-11に示す3測線とした。

図-11に示す2-4測線は、沢の中心を通る斜面の最急勾配方向であり、壁高が最大となる。2-2および2-6測線は補強土壁の設置範囲端と2-4測線の約半分となる位置である。

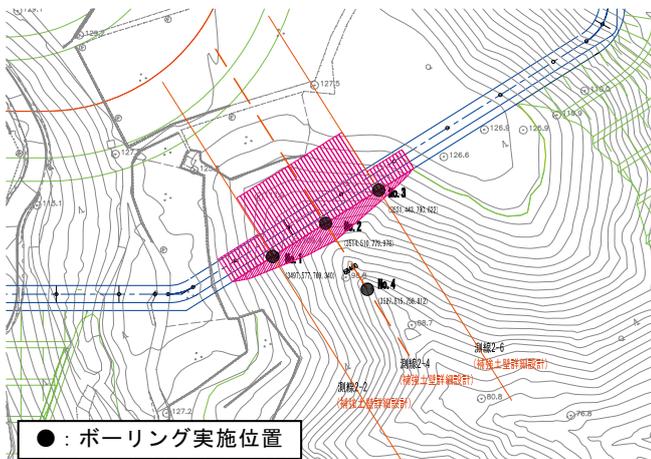


図-11 B1-2-2 平面図

(3) 計算結果

断面2-4側線について、安定計算結果を図-12および表-8に示す。この結果から、本断面における補強材としてのジオテキスタイルの長さは図-13に示すように22mが必要となったが、これは長期地震時における全体安定の

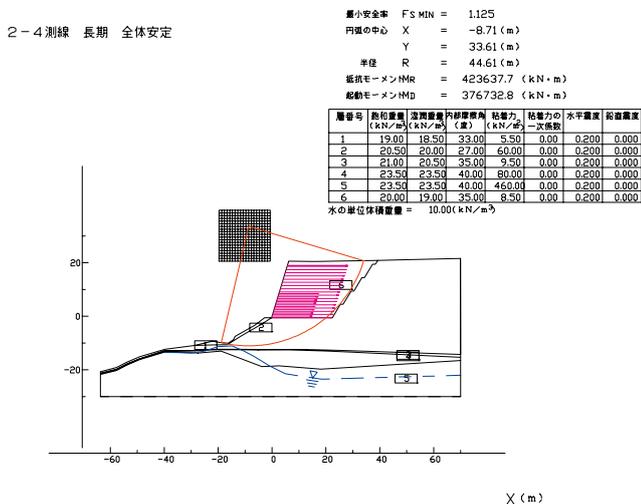


図-12 補強土壁工安定解析断面図 (2-4 測線)

$F_s=1.13 > 1.1$ と外的安定の支持力 $F_s=1.58 > 1.5$ の条件が決定要因となっている。

表-8 安定検討結果一覧表(2-4 測線)

項目	全体安定安全率		外的安定							
	滑動安全率		転倒				支持力			
	常時	地震時	常時	地震時	常時	地震時	常時	地震時	常時	地震時
短期	1.32	1.19	6.00	2.39	-2.76	-1.56	415	406	2.51	1.98
長期	1.40	1.13	12.41	2.02	-2.99	-0.77	417	414	3.34	1.58
許容値	短期:2 長期:3	短期:1.0 長期:1	$F_s=1.5$ 以上	$F_s=1.2$ 以上	$B/8=3.67$ (m)以下	$B/3=7.33$ (m)以下	$\sigma=600$ (kN/m²)以下	$\sigma=800$ (kN/m²)以下	$F_s=2.0$ 以上	$F_s=1.5$ 以上
	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

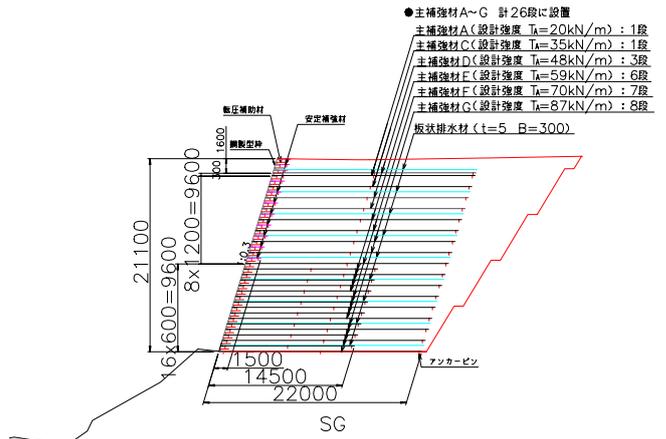


図-13 B1-2-2 断面図(2-4 測線)

(4) 補強土壁の斜面上の支持力調査

2の沢は基礎地盤が洪積の礫層であり、前面が急斜面となっていることから斜面部における円弧すべりを用いて支持安全率を算出した。円弧すべりによる支持力の照査は擁壁底版に生じる実荷重とすべり安全率が $F_s=1.0$ となる極限荷重の比率にて照査する。許容安全率は常時で $F_s=2.0$ (極限荷重/実荷重)、地震時で $F_s=1.5$ である(安全率および許容値一覧表参照)。表-9に支持安全率算出結果を、図-14に極限荷重による円弧すべり図(2-4 測線)を示す。

表-9 支持安全率算出結果(2-4 測線)

項目	鉛直荷重 (kN)	底版幅 B(m)	偏心力 e(m)	有効幅 (m)	分布荷重 (kN/m)	集中荷重 (kN)	円弧すべり安全率	支持安全率 (荷重倍率)	
ジオテキスタイル壁工 (2-4測線)	短期	常時	9121	22	2.76	16.5	553.1	833.4	2.51 > 2.0 (許容値)
			8932	22	1.56	18.9	473.1	1755.5	1.98 > 1.5 (許容値)
	長期	常時	9179	22	2.99	16.0	572.9	421.1	3.34 > 2.0 (許容値)
			9105	22	0.77	20.5	444.8	2626.9	1.58 > 1.5 (許容値)

2-4測線 長期支持検討 $F_s=1.58$

最小安全率 $F_s \text{ MIN} = 1.001$
 円弧の中心 $X = -7.31 \text{ (m)}$
 $Y = 27.17 \text{ (m)}$
 半径 $R = 39.69 \text{ (m)}$
 総積モーメント $M_R = 461875.9 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$
 総軸モーメント $M_D = 461358.7 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$

層番号	飽和密度 (kN/m^3)	空隙率 (%)	内摩擦係数 ($^\circ$)	粘着力 (kN/m^2)	粘着力の 一次係数	水平露度	総面積 (m^2)
1	19.00	18.50	33.00	5.50	0.00	0.200	0.000
2	20.50	20.00	27.00	60.00	0.00	0.200	0.000
3	21.00	20.50	35.00	9.50	0.00	0.200	0.000
4	23.50	23.50	49.00	60.00	0.00	0.200	0.000
5	23.50	23.50	49.00	46.00	0.00	0.200	0.000

水の単位体積重量 = 10.00(kN/m^3)

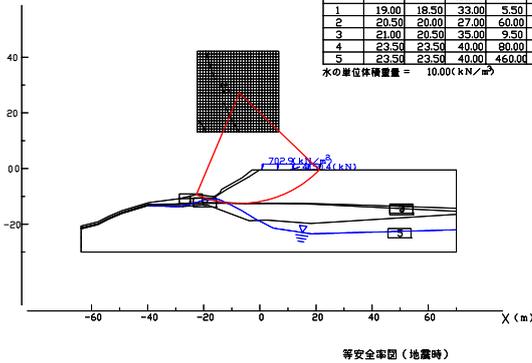


図-14 支持力検討図(円弧すべり法)

(5) 耐震検討

地震時安定性検討の流れを図-15に示す。静的設計により決定された断面に対して地震応答解析²⁾を実施し、補強土を含むB1-2高盛土の耐震性能照査を行った。

本解析では、過去の静岡空港高盛土の地震時安定性検討を実施した際に用いられてきた図-16に示す想定東海地震(M8クラス、基盤入力波形)を入力地震動として検討した結果、ジオテキスタイルを考慮した渡辺・馬場法によるすべり安全率は最小で1.11であり、所期の耐震性能を確保していると判断した。

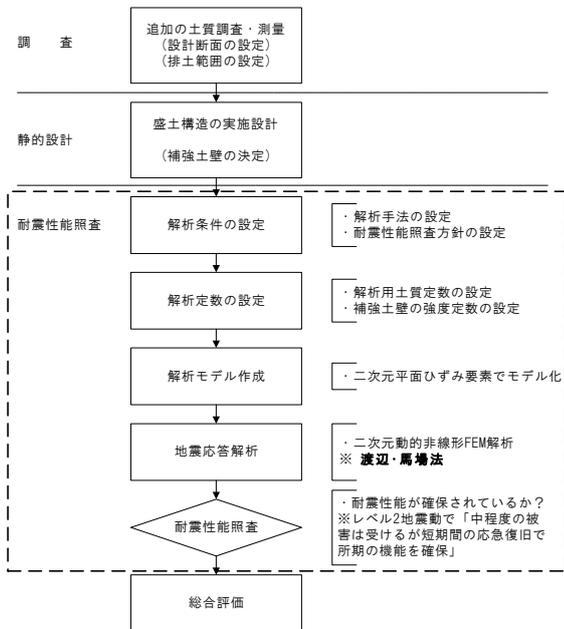


図-15 地震時安定性検討の解析方法

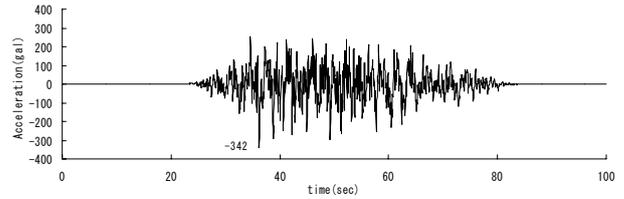


図-16 想定東海地震波形(静岡空港の工学的基盤面入力波形)

6. 試験施工

(1) 試験施工概要

試験施工は、補強土壁の盛土の施工性や品質確保と盛土施工に伴うジオテキスタイルの損傷状況を施工前に現地確認するとともに、所要の品質を確保するための転圧機種、転圧回数等の施工仕様を決定することを目的として実施した。

転圧試験後に盛土体を開削して、ジオテキスタイルの損傷の有無について目視確認を行うとともに、ジオテキスタイルをサンプリングして引張試験を行うことで損傷状況の確認を行った。補強土壁の盛土の施工仕様は、現場密度試験(RI法)による施工後の盛土品質、ジオテキスタイルの損傷状況等を整理、検討し、総合的に最も有効な仕様を設定した。

図-17、18に試験ヤード平面・断面図を、表-10に試験仕様を示す。ジオテキスタイルは設計引張強さの相違するものを3タイプ敷設した。盛土材は、現地発生土のうち最大の強度が得られ盛土の耐侵食性にも優れている礫質土(玉石混じり段丘礫)とし、このうち含水比16%以下のもの(礫質土I)を選別して使用した。壁面から50cmの範囲は施工性を考慮し粒度調整砕石(M-30)を用いた。

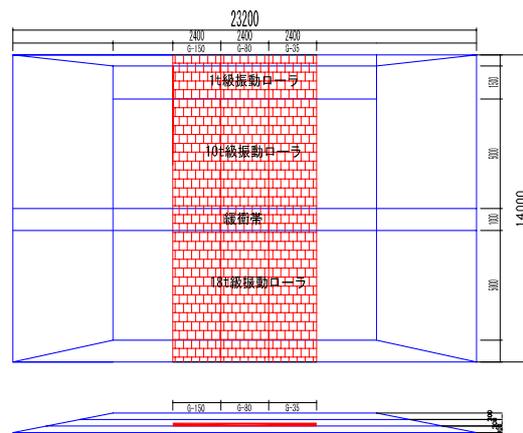


図-17 試験ヤード平面図



図-18 試験ヤード断面図

表-10 試験仕様

材料	仕上り厚*	転圧機種	転圧回数	締固め基準	管理基準
礫質土 I + ジオテキスタイル	30cm	10t級振動ローラ	6, 8, 10回	E-c法 (4.5Ec)	D \geq 90% ($\rho_{max} \times 90\%$)
		18t級振動ローラ	4, 6, 8回	E-c法 (4.5Ec)	D \geq 90% ($\rho_{max} \times 90\%$)

(2) 試験結果

写真-3 にジオテキスタイルの敷設状況を示す。ジオテキスタイル敷設に当たっては、ジオテキスタイルを損傷させないように施工すること、壁面材の勾配確保(前倒れ防止)に留意して施工することが重要であることから、転圧エネルギーの大きい18t級振動ローラよりも10t級振動ローラで徐々に締固めるほうが良いと考えた。



写真-3 ジオテキスタイル敷設状況

表-11 に試験結果のまとめを示す。試験後のジオテキスタイルの状況を確認したところ、10t級振動ローラおよび18t級振動ローラ等の各転圧によるジオテキスタイルの損傷は認められなかった(G-35・G-80・G-150のすべてが良好である)。今回使用するレキ質土の粒径は全般的に丸い(玉石類)ため、建設機械の走行等によるジオテキスタイルへの応力の集中や衝撃の影響による損傷は、非常に少ないと判断した。

表-11 試験結果のまとめ

施工	現場密度試験 (10tと18tの比較)	10tの場合、転圧回数6回では締固め度が増加する余地があり、転圧回数8回以上になると収束する。
	施工に伴う沈下傾向 (10tと18tの比較)	転圧回数の増加に伴い、沈下も増加する。
壁面材背面の変位	土荷重の増加(壁高の増加)に伴う盛土材料の圧縮変位により、壁面材に変位が発生することには十分に考えられるので、入念な施工、締固めは非常に重要である。	
	壁面材背面の締固め度	粒度調整砕石(M-30)は、粒度や塑性指数の規定された材料であるため、小型転圧機械でも十分に締固めが可能(Dc=97.3%)である。
ジオテキスタイルの損傷	目視確認	10t級振動ローラ及び18t級の各転圧によるジオテキスタイルの損傷は認められない。
	引張試験	施工後のジオテキスタイルの引張強度は、基準強度を満足している。

7. 本施工

(1) 施工概要

B1-2-2の施工は平成17年12月末～平成18年4月中旬までのおよそ4ヶ月半の期間で施工した。施工期間中は、天候にも恵まれ、壁面材1段(60cm)当たり平均約3日のペースで盛立てた。

図-19 に施工フローを、表-12 に転圧仕様を示す。

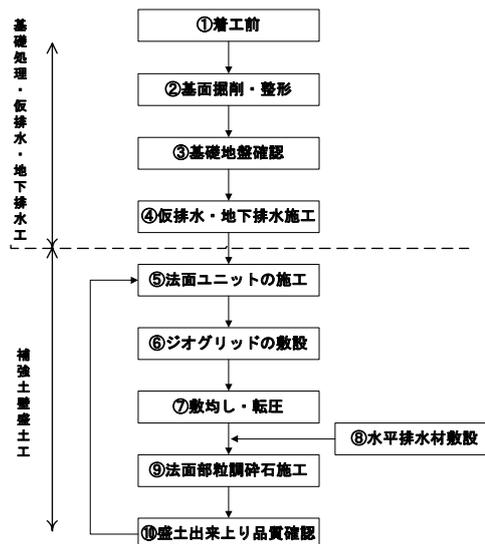


図-19 B1-2-2 施工フロー図

表-12 転圧仕様

施工箇所	材料	仕上り厚 (敷均し厚)	転圧機種	転圧回数	締固め基準 (D値: 締固め度)	管理基準	試験頻度
盛土部	礫質土	30cm (33cm)	10t級振動ローラ	8回	E-c法 (4.5Ec)	D \geq 90% ($\rho_{max} \times 90\%$)	1回/1,000m ²
壁面部	粒度調整砕石	15cm	振動コンパクト1t級振動ローラ	-	E-c法 (4.5Ec)	D \geq 90% ($\rho_{max} \times 90\%$)	3箇所/層

(2) 排水工

補強土壁の設計では盛土内に間隙水圧が生じない条件としているため、降雨や地山からの浸透水を迅速に排除する必要がある。排水工は、盛土の表面水を排水する仮排水工としてφ400の高密度ポリエチレン管を敷設した(写真-4)。また、盛土底部両翼の地山境に有孔集水管を敷設するとともに盛土内に水平排水材(厚さ5mm×幅300mm)を壁面積3m²につき1箇所の割合で敷設した。これらの排水の流末処理として、写真-5に示すように布団籠および砕石土嚢による洗掘防止の根固めを行った。



写真-4 仮排水工(φ 400 高密度ポリエチレン管)



写真-5 流末処理の状況

(3) 補強土壁盛土の施工

ジオテキスタイルの敷設状況を写真-6 に示す。壁面材は L 字型のエキスパンドメタル製(内側に吸出し防止シート設置)で直高 60cm である。



写真-6 ジオテキスタイル敷設状況



写真-7 補強土壁(2 の沢)全景

各段(全 35 段)の壁面材の設置に当たっては壁面の挙動をチェックして設置位置を調整した。使用した壁面材は耐

候性を有しており、壁面材前面に植生の定着・繁茂を促進させるための植生シートを装着した。ジオテキスタイル壁面部は、壁表面から直接流入する雨水の排水処理と締固め度の品質確保を満足するために粒調砕石を用いた。図-20 に壁面部の詳細を示す。写真-6 に完成した補強土壁の状況を示す。

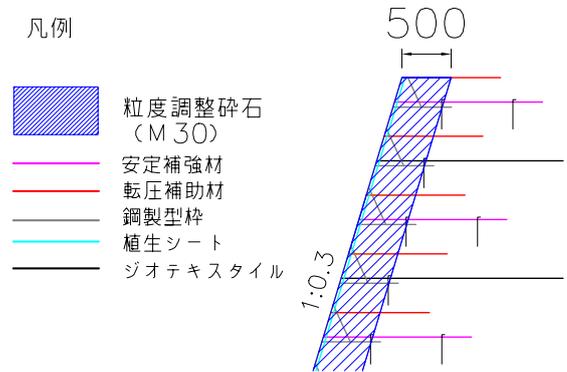


図-20 補強土壁面部詳細図

(4) 品質管理結果

現場密度試験(RI 法)の品質管理試験結果を図-21 に示す。図-21 に示す締固め度は、平均で 97.5% であり品質管理基準である $D \geq 90\%$ を満足する結果となっている。さらに $D \geq 95\%$ の割合は 90% 以上を占めており非常に締め固まった盛土体と評価することができる。壁面部に用いた粒調砕石(M-30)の品質管理試験結果(砂置換法)を図-22 に示す。締固め度は、平均で 95% 程度あり、壁面部は十分に締め固まった状態といえる。

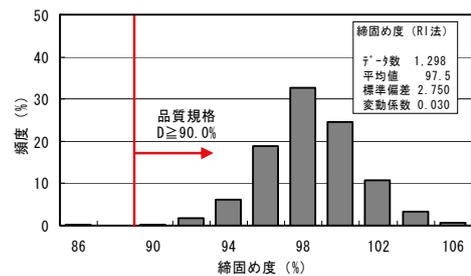


図-21 締固め度のヒストグラム(RI 法)

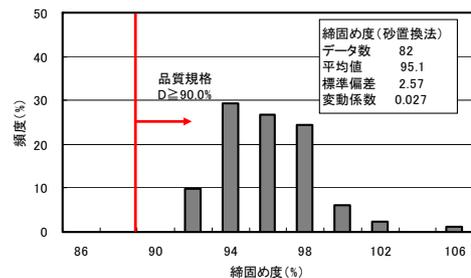


図-22 締固め度のヒストグラム(砂置換法)

8. 動態観測

(1) 動態観測計画

ジオテキスタイル壁の安定検討は、内的安定、外的安定、全体安定の3方法により確認されている。

動態観測計器の選定にあたっては、これらの安定検討項目を網羅できるように計画した。表-13に設置した動態観測計器を、図-23に各盛土地区の計器位置断面図を示す。写真-8に観測計器設置状況を示す。

表-13 動態観測計器の設置計画

計器名	計測項目	採用理由
層別沈下計	盛土の沈下量	①他の盛土地区にも採用 ②全体安定
孔内傾斜計	盛土、ジオテキスタイル壁の水平変位	①他の盛土地区にも採用 ②外的安定 ③全体安定 ④技術委員会での意見
土中土圧計	盛土内の土圧	①他の盛土地区にも採用 ②全体安定
間隙水圧計	盛土内の間隙水圧	①他の盛土地区にも採用 ②全体安定 ③技術委員会での意見
ひずみゲージ	ジオグリッドの引張力	①内的安定

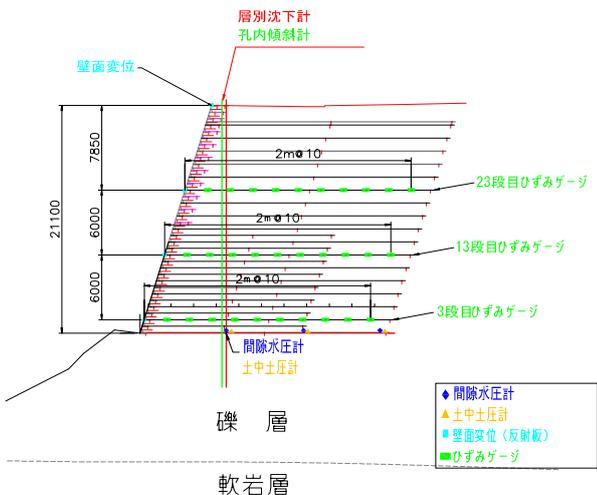


図-23 動態観測計器配置断面図

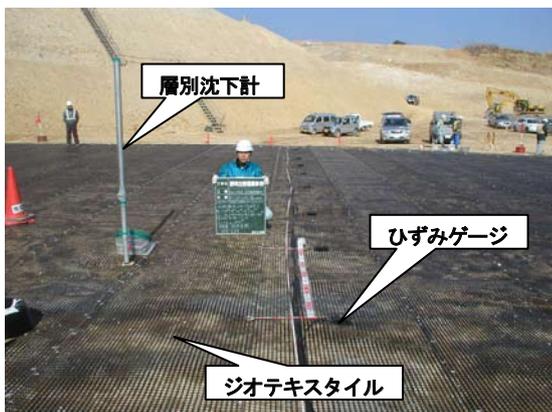


写真-8 観測計器設置状況

(2) 観測結果

層別沈下の観測結果を図-24に示す。観測結果によると、沈下は盛土の進捗に伴い発生しており、盛土完了時点での沈下量は、盛土高約21mに対して8cm程度と非常に小さかった(盛土高に対する沈下量の割合は0.4%)。盛土完了後の残留沈下はほとんど発生しておらず、観測期間中に150mmを超える降雨も観測されたが降雨による沈下の発生はなかった。

図-25に孔内傾斜計の鉛直方向1mごとの観測結果を示す。盛土部の水平変位は、盛土開始から施工完了までの間、盛土の進捗に伴って変位が沢側(壁方向)に増加する傾向を示したが、発生した変位量は最大でも1cm以下と小さかった。施工完了後のH18.7.27、H18.12.20の観測グラフをみると変位の発生状況は施工完了時とほぼ同じであり、施工完了後に変位は増加していない。

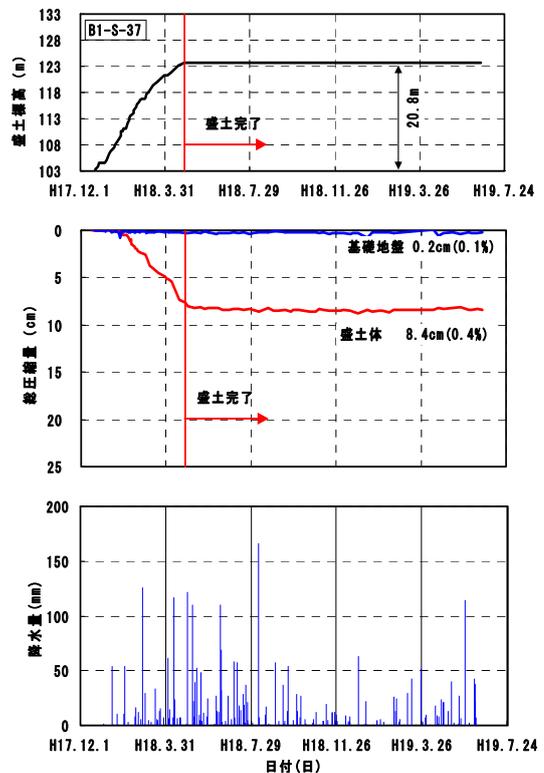


図-24 層別沈下計の観測結果

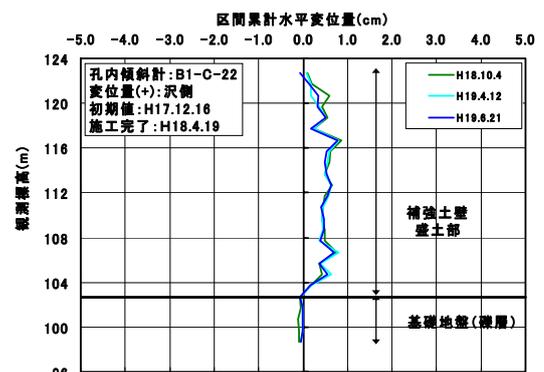


図-25 孔内傾斜計の観測結果

沈下、水平変位が小さかった理由として、盛土の施工が敷均し厚 30cm で入念に施工できたこと、ジオテキスタイルにより盛土の支持力が向上したため、締固めによる盛土の側方への移動を拘束できたことが考えられ、十分に締固められた盛土体が構築されたことが確認できた。

図-26 に 13 段目に設置したひずみゲージの発生状況を示す。ひずみは、盛土開始から盛土完了までの期間、盛土の進捗に応じて増加し、最終的には 0.5% 程度発生した。ひずみは壁面から 2m、4m の位置が大きい傾向となっている。壁面付近は、壁前面方向が開放されているため変形しやすく、ジオテキスタイルに発生する引張力によってバランスするためと考える。発生しているひずみは最大で 0.5% 程度であり、図-27 に示すジオテキスタイルが破断する伸び率約 4.0% に対して小さかった。また、盛土完了後の H19.6.1 の観測結果をみると、各位置におけるひずみは、盛土完了時から増加していないことから、ジオテキスタイルのクリープによる変形も認められていない。

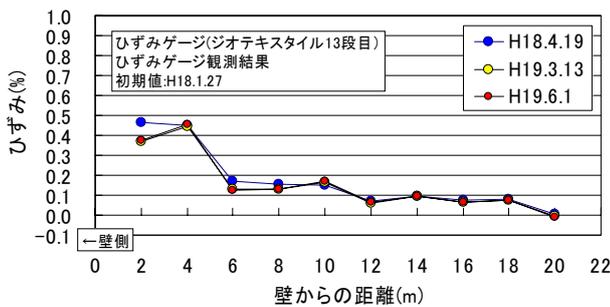


図-26 ひずみゲージの経時変化

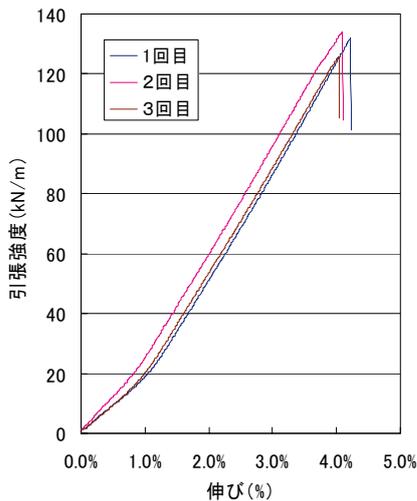


図-27 ジオテキスタイルの応力と伸びの関係

図-28 に 13 段目の壁面の変位の発生状況を示す。施工中は壁面の前面方向と鉛直下方に変位の発生がみられたが、変位は施工完了時で壁前面方向に 5cm 程度、壁下方に 7cm 程度であった。壁面の出来形の規格値として、当該位置における壁高の 3% 以下(23.4cm)が設定されてお

り、発生している壁前面方向の変位は規格値内に収まっている。また、施工完了後の変位はほとんど発生しておらずほぼ収束状態にあることが確認できる。

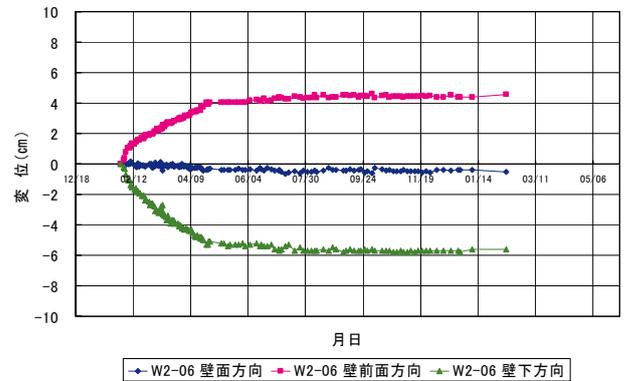


図-28 壁面変位観測結果

(3) 観測結果のまとめ

層別沈下計、孔内傾斜計の観測結果から、盛土内における沈下、水平変位はほとんど発生していないことを確認した。ジオテキスタイルのひずみの観測から、施工中にジオテキスタイルに発生している引張力は、破断の伸び率に対しても十分に小さく内的安定も問題はないと判断できる。動態観測結果より、施工中に発生した変位量は微小であること、施工完了後の変位はほとんど発生していないことが確認できた。本動態観測結果から、高品質な補強土壁が構築されており、施工完了後現在も安定した状態にあることが確認されている。

9. おわりに

空港造成地に生息する貴重植物の保護という環境保全の立場から、地形改変エリアの縮小を図るために、大規模かつ急勾配なジオテキスタイルを用いた補強土壁工を導入した。完成した壁面は構造的に極めて安定しており、現在、壁面に厚層基材の吹付けを行い植生が発芽している状態にある(写真-9)。



写真-9 壁面の厚層基材吹付け完了状況

補強土壁の設計にあたっては礫層の原位置における地山強度を把握し、補強土壁基礎前面が急斜面であることを考慮するなど設計に十分に配慮した。施工中は排水処理に留意し、締固めを十分に行い高品質な補強土壁盛土体を構築した。その結果、施工中、施工後に実施している動態観測結果からも極めて変位量の少ない安定した補強土壁盛土体であることが確認できた。

今回採用した補強土壁は、国内最大級のものであり、本事例が今後の類似工事の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 財団法人 土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 改訂版、pp.136-137、2000.
- 2) 運輸省航空局：空港高盛土工設計指針、pp.5-60～5-61、1999.