

富士山静岡空港の工事概要および効率的な施工と品質管理について

Effective Execution and Quality Control in Mt.Fuji Shizuoka Airport Construction

杉 山 雄 二 (すぎやまゆうじ)

静岡県静岡空港建設事務所 工事課主幹

1. はじめに

静岡県は、日本列島のほぼ中央部に位置し、面積は約7800 km²、総人口は約380万人を超えている。

本県は東京と名古屋の2大都市圏の中間にあって、高速道路・高速鉄道等が早くから整備され、地理的優位性を有していた。しかし、近年、空港や高速道路等の全国的な整備が展開される中で、本県の立地上の優位性の低下が懸念されてきた。また、静岡県においては、空港が無い状況においても年間210万人が富士山静岡空港(以降、静岡空港と呼ぶ)の航空圏域の対象となる国内遠隔地と行き来しており、時間価値等の高まりを背景に航空需要が増加している現在、静岡空港を早期に整備することが本県の発展にとって不可欠になっていた。

以上の状況に鑑み、昭和62年12月、空港建設地を静岡県のほぼ中央部に位置する牧之原台地の一角に決定し、平成10年11月から本体用地造成工事に着手した。本稿では、静岡空港建設における用地造成工事の特徴、高盛土への補強土壁工法の適用および現地発生土を利用した

安定処理工法等を報告する。

2. 静岡空港建設における用地造成工事

静岡空港の用地造成は、最大盛土高が75 m、総盛土量が2600万 m³に及ぶ大規模盛土工事であり、山岳空港としては国内最大級である。ここでは、安全な盛土構造を確保するために実施した設計・施工について簡単に説明する。

2.1 盛土ゾーニング

当空港の造成工事は最大盛土高さが75 mの高盛土となるため、図-3に示すように、空港施設の重要度に応じ発生する盛土材料の特性を考慮した盛土ゾーニングを計画し、沈下やすべりに対する安全性を確保した。盛土の安定に重要な法表面から20 mの範囲には、強度特性、施工性が良好な礫質土Ⅰを、含水比が高く施工性に劣る礫質土Ⅱは、圧密排水による強度増加を期待して水平排水材を敷設し、誘導路下部に配置した。軟岩は、施工時に細かく破碎し空隙の小さい盛土を構築して、滑走路下部に配置した。

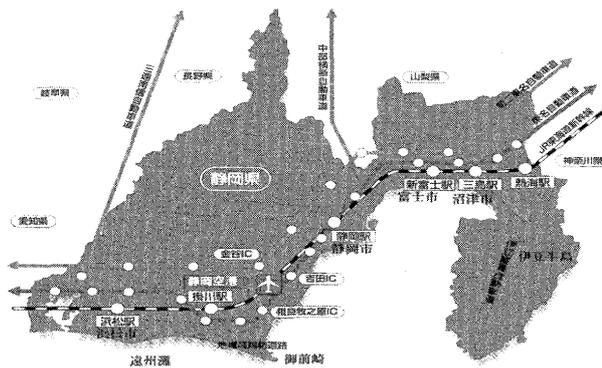


図-1 空港位置図

表-1 静岡空港の概要

名 称	静岡空港 (地方管理空港)
位 置	静岡県牧之原市
標 点 の 位 置	北緯 34度47分46秒
(世界測地系)	東経138度11分22秒
標 点 の 高 さ	標高132m
管 理 面 積	約190ha (周囲部含む総面積約496ha)
滑 走 路	延長2,500m 幅60m アスファルト コンクリート 舗装
誘 導 路	延長2,997m 幅30m アスファルト コンクリート 舗装
エ プ ロ ン	面積54,245 セメント コンクリート 舗装 大型ジェット機用2ベース (予備1含む) 中型ジェット機用1ベース 小型ジェット機用2ベース
駐 車 場	約2,000台の無料駐車場

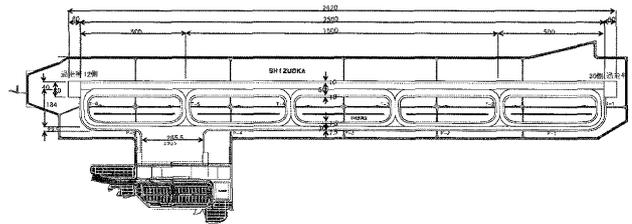


図-2 静岡空港基本施設平面図

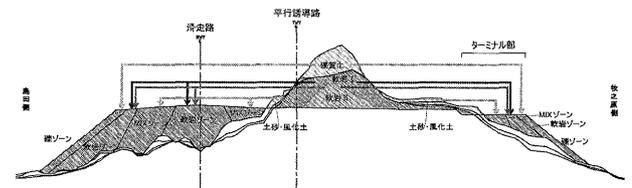


図-3 発生材料と盛土ゾーニング

表-2 発生材の指標

材料名	礫質土Ⅰ	礫質土Ⅱ
指標	①含水比16%以下	①含水比16%超過
(判定目安)	②礫の絶対比重2.3g/cm ³ 以下、吸水率8%以下	②礫の絶対比重2.3g/cm ³ 未満、吸水率8%超過
材料名	軟岩Ⅰ	軟岩Ⅱ
指標	①含水比15%以下	①含水比15%超過
(判定目安)		

2.2 施工の効率化

静岡空港では、掘削・積込・運搬を表—3に示すような大型建設機械の組合せにより行うこと、さらに起振力の大きな18t級振動ローラを用いて1層の施工厚を一般土工の標準厚30cmから増加させることにより施工の効率化・迅速化を図った。

一方、厚層化施工により、締固め不足による盛土品質の低下が懸念されたが、軟岩は1層50cmを25cmずつ2回に分けて均(なら)すことで盛土品質の均一化を図り、所定の締固め度を確保した。

2.3 軟岩施工における留意事項

スレーキング特性を有する軟岩は、盛土内へ雨水や地山からの地下水を浸透させないことが重要である。その対策として、敷均し・締固め時には、大型機械(44t級ブルドーザー、18t級振動ローラ)による岩塊破碎を入念に行い、空隙の小さい盛土を構築するとともに、地山と盛土の境界部には地下排水有孔管を設置した。その結果、施工完了後のスレーキングを起因とする沈下を抑制することができた。

2.4 品質管理

盛土品質は、RI計器による締固め度管理(D値管理)を行った。軟岩については、スレーキングによる施工完了後の圧縮沈下の抑制を目的として、空気間隙率の規定も設けた。盛土の品質管理基準を表—4に示す。

3. 高盛土への補強土壁工法の適用

静岡空港の建設に際しては「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、1:2.0勾配の盛土法面には、郷土種による森林復元を目的としてポット苗を植栽して自然環境の復元を図った。

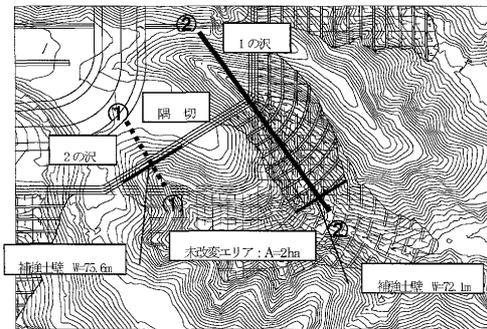
滑走路東端の沢部には、図—4に示すように環境保全対象となる沢が二つあり、貴重植物などが多数確認されたため、両沢とも、施工性、経済性、環境への影響等を

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。「1の沢」の補強土壁断面図を図—5に、「2の沢」の補強土壁断面図を図—6に示す。図—6に示すように「2の沢」の補強土壁は、壁高21.1m、幅75.6mの国内で最大級のものとなり、ジオテキスタイルの長さは22m、最大設計引張り強さは87kN/mとなった。

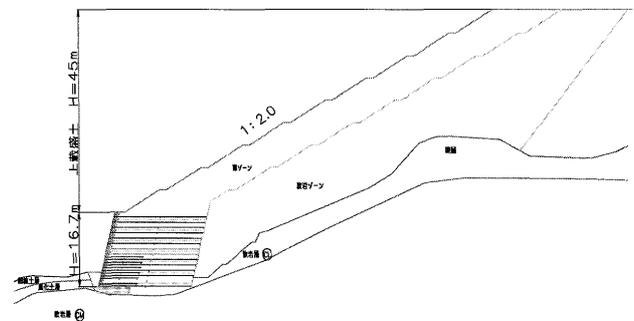
3.1 補強土壁の施工

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Iを、壁面から50cmの範囲は施工性を考慮し、粒度調整砕石(M-30)をそれぞれ用いた。

ジオテキスタイルは設計引張り強さ20~87kN/mのジオグリッド(G-35~150)を、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)を



図—4 滑走路東端の空港平面形状



図—5 補強土壁断面図(1の沢②-②)

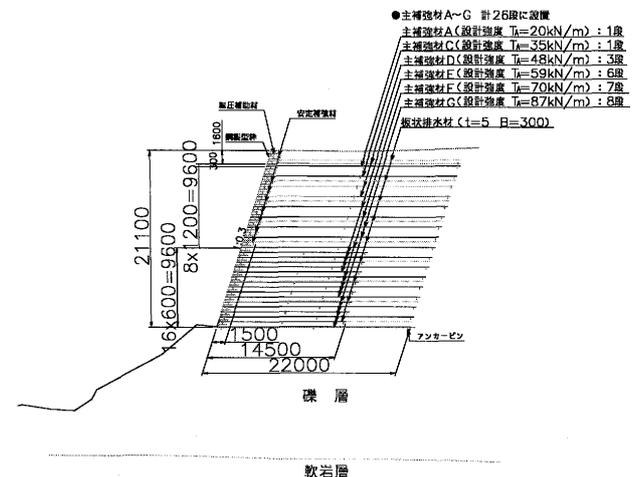
表—3 施工機械の組合せ

項目	施工機械	台数	セット
掘削・押土	60t級ブルドーザー (3本爪)	1	8
積込	12m ³ トラクタショベル (3~10m ³ 級バックホウ)	1	
運搬	90t積ダンプトラック	5	
敷均し	44t級ブルドーザー	2	
転圧	18t級振動ローラ	1	

*礫質土 IIの転圧は、10t級振動ローラ

表—4 盛土の品質管理基準

材料	礫質土 I	礫質土 II	軟岩 I	土砂・風化土
測定方法	RI法 (総源長30cm)			
測定頻度	2,000m ² に11点			
規格値	締固め度	平均値D ≥ 92% 最小値D ≥ 91%	平均値D ≥ 92% 最小値D ≥ 90%	平均値D ≥ 92% 最小値D ≥ 91%
	空気間隙率	-	-	平均値Va ≤ 12% 最小値Va ≤ 13%



図—6 補強土壁断面図(2の沢①-①)

報告

表—5 転圧仕様

施工箇所	材料	仕上り厚 (敷均し厚)	転圧仕様	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	30 cm (33 cm)	10t振動ローラー	8回	E-c法 (4.5 Ec)	$D \geq 90\%$ $\rho_{dmax} 90\%$	1回/1,000m ²
壁面部	粒度調整碎石	15 cm	振動コンパクト 1t振動ローラー	-	E-c法 (4.5 Ec)	$D \geq 90\%$ $\rho_{dmax} 90\%$	3箇所/層

表—6 動態観測計器の設置

設置箇所	計器名	計測項目
盛土部	層別沈下計	盛土の沈下量
	孔内傾斜計	盛土の水圧変位 盛土基礎地盤の変位
	土中土圧計	盛土内の土圧
	間隙水圧計	盛土内の間隙水圧
ジオテキスタイル	ひずみゲージ	ジオテキスタイルのひずみ
	光波距離計	ジオテキスタイルの壁面変位

使用した。

ジオテキスタイルの敷設状況を口絵写真—5に、盛土の転圧仕様を表—5に示す。

また、当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、盛土底部両翼の地山境に有孔集水管を埋設するとともに、盛土内に水平排水材（厚さ5 mm×幅300 mm）を壁面面積3 m²につき1箇所の割合で敷設した。

品質管理として壁面部（粒度調整碎石）は砂置換法、一般部（礫質土I）はRI法による現場密度試験を実施した結果、締固め度 D_c 値は平均値97.5%、標準偏差2.75%（変動係数3%）の正規分布を示し、規格値 $D_c \geq 90\%$ を十分に満たす良好な結果となった。

3.2 補強土壁の動態観測

「2の沢」の補強土壁は、壁高21.1 m、壁面勾配1：0.3の高盛土であるため、盛土の安定ならびに施工の安全性を確保するために動態観測を行った。表—6に「2の沢」に設置した動態観測計器を示す。

沈下は盛土の施工中に伴い徐々に大きくなったが、盛土完了時点での沈下量は、盛土高約21 mに対して8 cmと非常に小さく、残留沈下もほとんど発生していない。また、水平変位も盛土の進捗に伴って変位が沢側の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1 cm以下であり、施工完了後も変位は発生していない。

ジオテキスタイルに発生したひずみについては、盛土の進捗に応じて増加し最終的には0.5%程度発生したが、ジオテキスタイルの破断伸び率約4.0%に対して小さかった。壁面変位は施工完了時で壁前面方向に5 cm程度、壁下方向に7 cm程度発生したが、壁面の出来型の規格値（当該位置における壁高の3% = 23.4 cm以下）に収まっており、完了後の変位もほとんど発生しておらず収束傾向にあることが確認できている。

4. 現地発生土の有効利用について

静岡空港では環境アセスメント上、空港内への資材運

コンクリート版 $t=37\text{cm}$
(無筋コンクリート、曲げ強度 (σ_{28}) = 5.0/Nmm²)

上部路床 $t=15\text{cm}$ (現地発生土有効利用)

下部路床 切土路床

セメント安定処理土の適用

図—7 エプロン部の舗装構造

搬車両台数を制限したので、建設資材を多く搬入する舗装工事においては、この制約条件を考慮する必要があった。さらに、ゼロエミッションの考えに基づき環境面への負荷を軽減するため、可能な限り現地発生土を有効活用することとした。

その結果、航空機の駐機するエプロンのコンクリート舗装部においては、現地材を利用したセメント安定処理路床を施工し、セメント安定処理土の製造手法に新技術である回転式破碎・混合工法を導入した。図—7にエプロン舗装部の代表構造を示す。

4.1 破碎・混合工法の適用

セメント安定処理材の母材となる礫質土は最大粒径300 mmの円礫が含まれ、15 cmの対象層にはそのまま適用できない。また、セメント安定処理の品質変動を抑えるには粒度や含水比の管理を行うことが重要となる。その解決策として、現地に回転式破碎・混合機（口絵写真—6）を設置して、礫の破碎、セメントの混合を行った。

回転式破碎・混合工法とは円筒内で高速回転するチェーンの打撃力で礫の破碎を行うとともに、添加材の均質な混合を行うことができる工法であり、粒度の調整と均質なセメント混合の2工種を同時に行うことにより、コスト縮減と品質管理を実現させた。

4.2 セメント安定処理土の施工管理

良質なセメント安定処理土を構築するためには、要求性能である締固め度 $D_c \geq 95\%$ 、一軸圧縮強度 $q_u \geq 2\text{N/mm}^2$ （材齢7日）の達成度を現地において確認することが重要となる¹⁾。

従来、セメント安定処理土の施工管理は、砂置換法等による密度管理（締固め度）が用いられ、密度が確保できれば、強度も確保できるといった手法が用いられる。しかし、密度管理は孔を設けること等から確認できる数量が限定されたり、 D_c 算定時は分母となる最大乾燥密度を代表値として評価するため、原位置における真の締固め状況を現していないといった課題がある²⁾。面的に広大なエプロンといった特徴からは、品質確認数量を増加させ、面的管理を行うことも重要である。また、近年では舗装の設計法が性能照査型設計法へ移行してきていることを鑑み、静岡空港のセメント安定処理土の施工管理は要求性能である荷重支持性能を、小型FWD試験を用いて照査することが有効と考えた。

4.3 品質管理における小型FWDの適用

小型FWD (Potable Falling Weight Deflectometer)³⁾

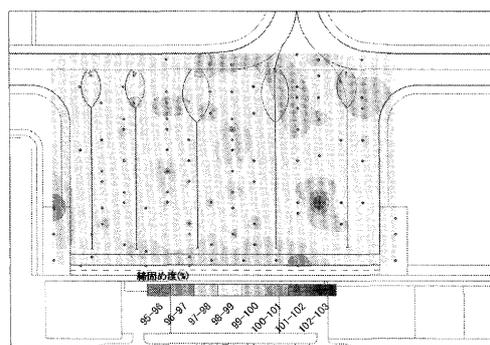


図-8 締固め度の分布



図-9 地盤弾性係数の分布

は、人力で持ち運びできる大きさの測定器であり、重錘を落とした際の衝撃荷重と変位を測定することで、下式により地盤弾性係数 (E_{FWD}) が求められる。

$$E_{FWD}(\text{MN}/\text{m}^2) = \frac{2 \times (1 - \nu^2) \times P}{\pi \times r \times D}$$

P : 荷重 (MN), D : 変位 (m), r : 載荷板半径 (m),
 ν : ポアソン比

今回、実施した小型 FWD 試験の試験仕様は、載荷板直径100 mm、重錘質量10 kg、落下高さ50 cm、ゴムバッファ硬度60が3個であり、品質管理仕様を設定するために試験ヤードで施工直後および7日養生後に試験を行った。

実施工での品質管理は従来の管理手法である締固め度(砂置換法)による確認に、小型 FWD 試験による地盤弾性係数 E_{FWD} の照査を加えた。締固め度は図-8 に示すように $D_c = 95 \sim 102\%$ (平均98.4%) となり、基準値95%を十分満足した結果が得られた。小型 FWD 試験による地盤弾性係数は図-9 に示すように、 $E_{FWD} = 560 \sim 1520 \text{ MN}/\text{m}^2$ (平均857 MN/m^2) となり、試験ヤードで定めた最小目安値に対する達成度は99%となった(平均値に対しての達成度は57%)。

強度に着目した品質管理として、簡便な非破壊試験である小型 FWD 試験を導入し面的な管理、強度の達成度を確認することができた。小型 FWD 試験を採用するための今後の課題としては、人的誤差抑制などの試験精度の向上、室内試験と現場試験値の関連性把握等の適用事例の蓄積が必要と考えられる。

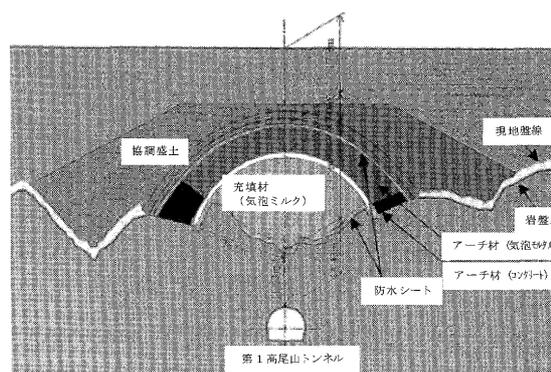


図-10 トンネル防護工標準横断面図

5. 新幹線トンネル防護工

静岡空港建設地直下には東海道新幹線のトンネル ($L = 1775 \text{ m}$) があり、土被りが約15 m と薄い箇所約50 m の盛土を施工するため防護工事が必要となった。このような工事は、県はもちろん JR にとっても経験のない工事であったので学識経験者や(財)鉄道総合技術研究所などで構成するトンネル対策検討委員会ほかにおいて、数値解析や模型実験、材料試験などを加えながら検討した。その結果、図-10に示すように、構造の基本となるアーチ本体部には気泡モルタル、充填材には気泡ミルクという特殊な材料を使用し、調整盛土として一部盛土を同時施工することとした。防護工事終了後、今日まで計測管理を行っているが変状は見られない。

6. おわりに

前述したように、静岡空港は大規模土工を要するため各種試験調査による盛土設計と地震時安定性評価による安全性の検証、そして確実な品質管理と動態観測による盛土の安定性の確認等により工事の安全性の確保に努めた。また、学識経験者からなる「静岡空港建設技術委員会」を設置し、専門的な立場からの検討や助言を得て安全な設計・施工を行った。

当地に静岡空港建設が決定してから20年以上が過ぎ、その間、土地収用法の手続きを経て、現在、平成21年6月4日の開港に向け最終調整と開港後の準備を行っている。しかしながら空港西側進入区域に樹木等の抵触物件があるため、滑走路の東側2200 m を使ったの暫定供用にならざるを得ない状況にある。

今後は1日も早い完全運用を目指すとともに、静岡空港の利用促進を図り、地域発展や産業活性化に取り組む所存である。

参考文献

- 1) 国土交通省航空局監修：空港土木工事共通仕様書，2007。
- 2) 龍岡文夫：地盤工学における技術革新の特徴と展望，基礎工，Vol. 36, pp. 3~11, 2008。
- 3) 土木学会：FWD および小型 FWD 運用の手引き，舗装工学ライブラリー，2002。

(原稿受理 2009.1.19)