

技術報文

富士山静岡空港における高盛土への補強土壁工法の適用について

静岡県静岡空港建設事務所 杉本 敏彦

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・文化が発展してきた。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、本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、本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。

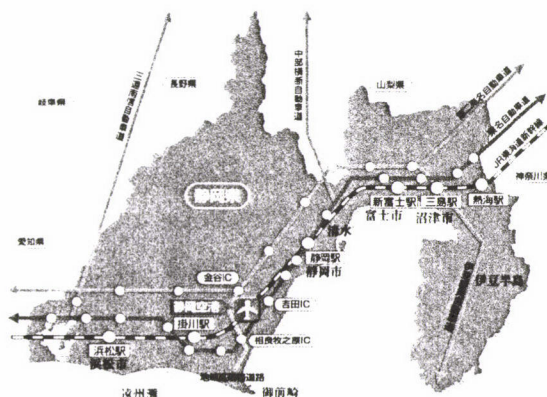


図-1 空港位置図

2. 工事概要

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-1参照）。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3月までの施工実績は、盛土量2,140万m³、進捗率82%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。

表-1 静岡空港の概

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	1996/7/26
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。本報文では、ジオテキスタイルを用いた補強土壁の盛土構造の設計概要、施工方法及び動態観測について記述する。

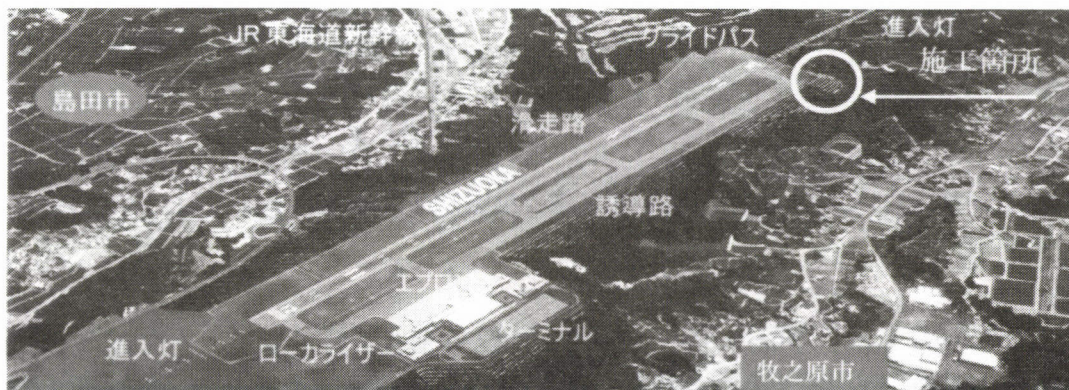


図-2 空港完成予想図及び施工位置

3. 計画・設計

(1) 盛土構造および形状

当該地区の盛土構造は、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、空港平面形状は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行った。さらに、盛土構造に1:0.3の急勾配としたジオテキスタイルを用いた補強土壁工法を採用した。この結果、改変エリアをA=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、緑化するとともに、通常の盛土法面には郷土種を植樹することとした。

(2) 補強土壁の設計

当該地区には、図-3に示すように環境保全対象となる沢が2つあり、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。本報告では、工事が完了した「2の沢」について報告する。

以下に補強土壁の設計に際して留意した事項を記述する。

ジオテキスタイルを用いた補強土壁の設計においては、設置箇所地形・地質などの条件が安定性、経済性に非常に大きな影響を及ぼすため、詳細に把握することが重要である。「2の沢」は、図-4に示すように礫層が厚く堆積しており、この礫層が補強土壁の基礎地盤となる地質的な特徴があった。ジオテキスタイルをもちいた補強土壁工法の補強材の長さも、礫層の強度が支配的となることから、礫層の強度を精度よく把握することが必要となった。このため、補強土壁基礎部において現場一面せん断試験を実施し、礫層の地山強度を設定した。また、補強土壁設置位置の前面の傾斜は、約35°であり、斜面上の基礎として検討を行った。補強土壁の設計にあたっては、内的安定、外的安定、全体安定に加え、動的解析も実施し、安定性を十分に確認した。その結果、当該地におけるジオテキスタイルを用いた補強土壁は、図-4に示すように壁高21.1m、幅75.6mの国内で最大級のものとなり、補強材（ジオテキスタイル）の長さは22m、最大設計引張強さは87kN/mとなった。

4. 施工方法

(1) 盛立て

盛土の転圧仕様を表-2に示す。転圧仕様を決定するため試験施工を事前に実施した。1層の施工厚さ（仕上り厚）はジオテキスタイルの敷設間隔（60cm又は120cm）を踏まえて

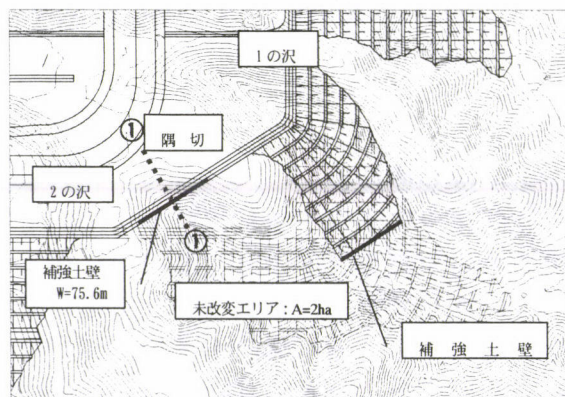


図-3 滑走路東端の空港平面形状

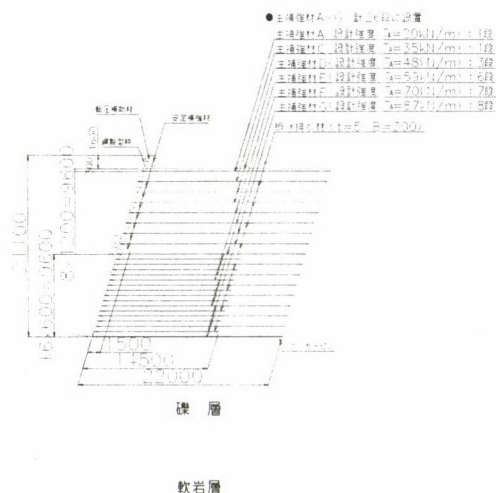


図-4 補強土壁断面図(2の沢①-①)

30cm に設定した。試験施工において転圧機械に 10t 級及び 18t 級振動ローラを用いた結果、10t 級振動ローラは転圧回数が多くなるものの 18t 級と同等の締固め度 (D_c =約 96%) が得られ、また転圧時の壁面材の前倒れ防止の観点では軽量の機種が望ましいことを勘案して 10t 級振動ローラを採用した (写真-3)。壁面部 (粒度調整碎石) は大型の締固め機械が近付けないため 1t 級振動ローラ及び振動コンパクタを使用した。

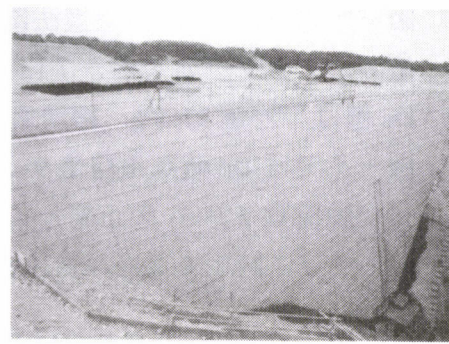
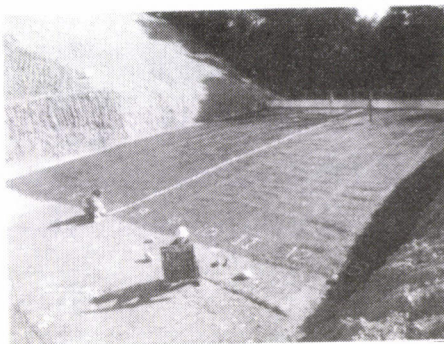


写真-1 補強土壁(2の沢)全景

写真-2 ジオテキスタイル敷設状況

表-2 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)	$D \geq 90\%$ ($\rho_{dmax} 90\%$)	1回/1,000m ²
壁面部	粒度調整碎石	15cm	振動コンパクタ 1t級振動ローラ	-	E-c法 (4.5Ec)	$D \geq 90\%$ ($\rho_{dmax} 90\%$)	3箇所/層

当盛土の施工期間は平成 17 年 12 月末から平成 18 年 4 月末までの約 4 ヶ月で、天候に恵まれ壁面材 1 段 (60cm) 当たり平均約 3 日のペースで盛立てた。

(2) 雨水・地下水対策

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、降雨や地山からの浸透水を迅速に排除する必要がある。このため盛土底部両翼の地山境に有孔集水管を埋設する

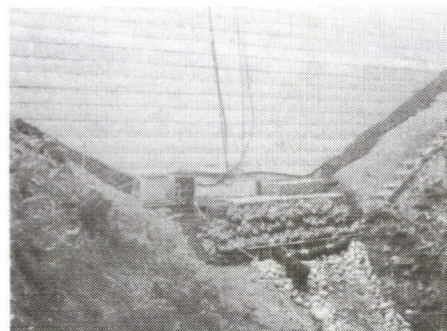
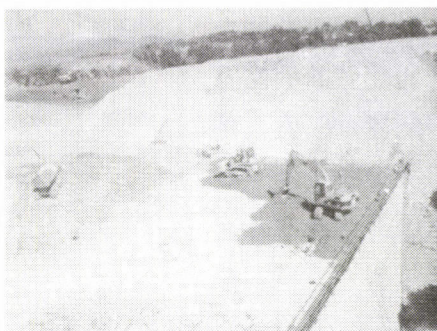


写真-3 盛土施工状況

写真-4 流末処理の状況

とともに、盛土内に水平排水材 (厚さ 5mm×幅 300mm) を壁面面積 3m² につき 1 箇所の割合で敷設した。壁面部の粒度調整碎石は、水平排水材からの流末及び壁面部への降雨をスムーズに排水する役目も担う。

この他、施工中の盛土天端における雨水排水のため、仮排水立坑を設置した。これらの排水の流末処理として、写真-4 に示すように布団籠及び碎石土嚢による洗掘防止の根固めを行った。

(3) 品質管理

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)は RI 法による現場密度試験を実施した。RI

表-3 盛土材の材料試験結果 (平均値)

材料	データ数	土粒子の密度 $\rho_s(g/cm^3)$	粒径37.5mm未満自然含水比 Wn(%)	粒度特性(粒径300mm以下)(%)			最大乾燥密度 $\rho_{sd}(g/cm^3)$	最適含水比 Wopt(%)
				礫分・砂分 (2mm以上)	砂分 (2~75 μ m)	細粒分(75 μ m未満)		
礫質土	6	2.71	13.9	73.2	13.5	13.2	2.015	11.0
粒調碎石	1	2.676	6.2	63.7	29.4	6.9	2.203	7.2

法の試験頻度は施工 1,000m² につき 1 回(1 回につき 11 点測定)とし、締固め度 D_c 値の基準となる最大乾燥密度 ρ_{dmax} は施工土量 10,000m³ 毎に材料試験(表-3)を行って更新した。盛土全体にわたる礫質土の RI 法による含水比及び締固め度 D_c 値のヒストグラムをそれぞれ

図-5, 6 に示し、砂置換法による粒度調整砕石の D_c 値のヒストグラムを図-7 に示す。図-6 の締固め度 D_c 値は平均値 97.5%、標準偏差 2.75% (変動係数 3%)、図-7 では D_c 値は平均値 95.1%、標準偏差 2.57% (変動係数 2.7%) 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。

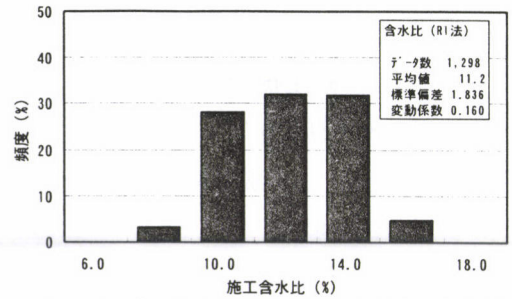


図-5 含水比のヒストグラム (礫質土)

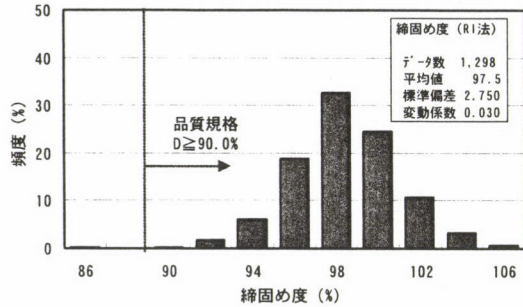


図-6 D_c 値のヒストグラム (礫質土)

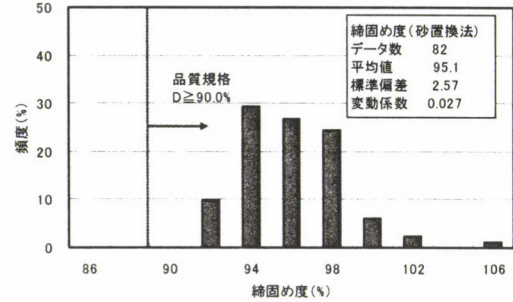


図-7 D_c 値のヒストグラム (粒調砕)

5. 動態観測

(1) 観測計器の種類

表-4 に「2 の沢」に設置した動態観測計器を、図-8、写真-5 に動態観測計器配置断面図と計器設置状況を示す。観測計器の配置は、盛土部においては層別沈下計と孔内傾斜計を各 1 基ずつ、盛土基礎地盤部に土圧計と間隙水圧計を各 3 基ずつ配置した。ジオテキスタイル部においては、盛土の基礎地盤から設置している壁面ユニットの 3、13、23 段目の各ジオテキスタイルにひずみゲージを 2m 間隔で 10 箇所配置した。壁面には、光波測距儀の観測を行うために反射板を 14 箇所配置した。

動態観測は、施工中はもとより施工後も継続して実施している。

表-4 動態観測計器の

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	盛土の水平変位
		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
	光波測距儀	ジオテキスタイルの壁面変位

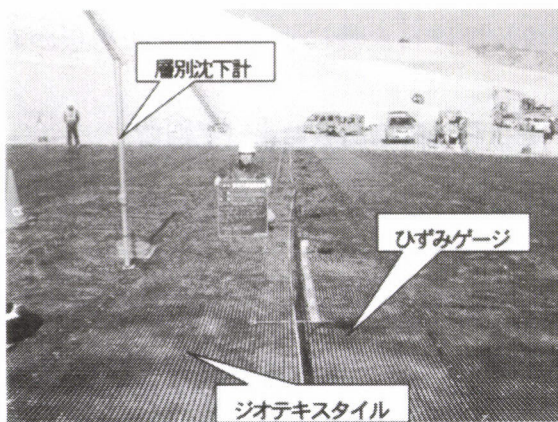


写真-5 観測計器設置状況

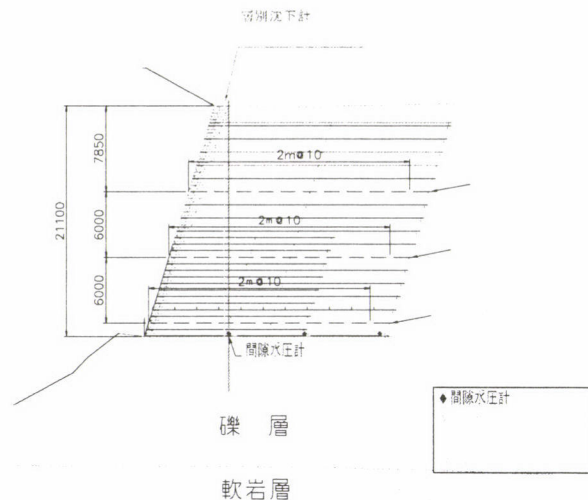


図-8 動態観測計器配置断面

(2) 動態観測結果

1) 盛土部

図-9に盛土体の層別沈下計の観測結果を示す。観測結果によると、沈下は盛土の施工中に伴い徐々に大きくなるが、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、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-10に孔内傾斜計の鉛直方向1m毎の観測結果を示す。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1cm未満と小さい。施工完了後のH19.4.12、H19.6.21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発生していない。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ている。

2) ジオテキスタイル

図-11に13段目のジオテキスタイルに発生しているひずみの観測結果を示す。ひずみは、盛土開始から盛土完了の期間、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かかる引張力が大きくなったためと考える。発生しているひずみは最大で0.5%程度であり、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-12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。変位は施工完了時で壁前面方向に5cm程度、壁下方に7cm程度発生した。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収束傾向にあることが確認できている。

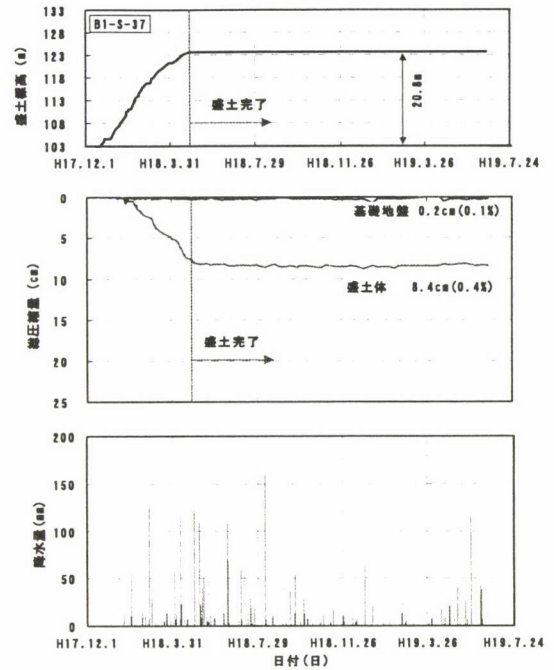


図-9 層別沈下計観測結果

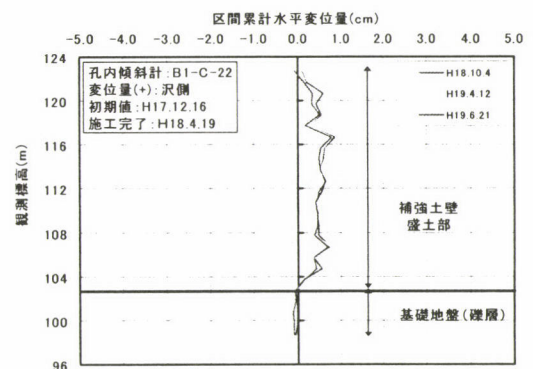


図-10 孔内傾斜計観測結果

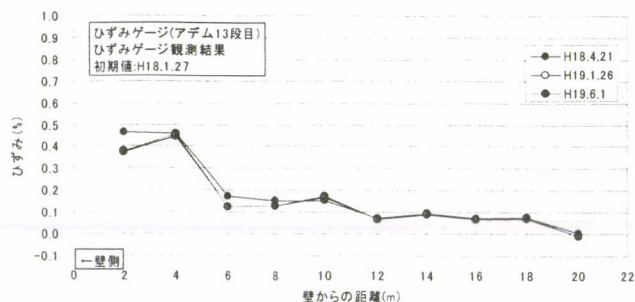


図-11 ひずみゲージ観測結果

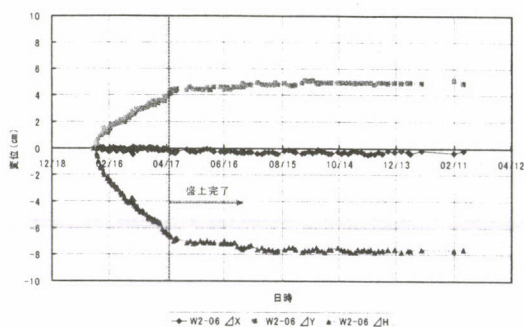


図-12 壁面変位観測結果

3) 総括

各動態観測結果において、施工中に発生した変位量は微小であり施工完了後の変位もほとんど発生していないことから、高品質な補強土壁が構築され、施工完了後現在も安定した状態にあることが確認できた。

6. 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。今回採用した補強土壁は、国内最大級のものであり、本事例が土木技術の発展に寄与できれば幸いである。

盛土構造の検討に際しては、「静岡空港建設技術委員会（土木、舗装の専門家などで構成される）」の指導を受けるとともに、「静岡空港自然環境巡視連絡会（環境の専門家などで構成される）」の意見も反映した。最後に、当工事の調査、設計、施工にあたって、ご指導、ご協力をいただいた関係各位に厚く感謝の意を申し上げます。