ESR 工法による改良土の長期耐久性調査 (信濃川堤防 瑞雲橋左岸・五反田左岸)

報告書

平成 24 年 11 月

株式会社興 和

1. 調査概要・・・・・・・・・・・ 1
 調査内容の計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2-1. 調査内容······6
2-2. 調査位置の配置計画・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
 各調査・試験の方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
3-1. 既存資料の収集・現地調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
3-2. 改良土および在来盛土材による築堤部物性調査・・・・・・・・・・ 9
(1)鋼ボーリングと足場仮設・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(2)サンプリング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
(3)フェノールフタレイン試薬による混合状態確認試験・・・・・・・・14
(4) 小型動的コーン貫入試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
(5) 室内土質試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
4. ESR 工法の配合仕様・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・17
5. 調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
5-1. 現地調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
5-2.ボーリング・小型動的コーン貫入試験結果・・・・・・・・・・・・23
5-3.フェノールフタレイン試薬による混合状態確認試験結果・・・・・28
5-4. 室内土質試験結果······29
(1)物理特性・・・・・・31
(2)締固め特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(3) 強度特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(4) 透水性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
(5)浸水耐久性・・・・・・38
6. まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

目

次

—— 巻末資料 ———

- ・ボーリング柱状図
- ・小型動的コーン貫入試験(ミニラムサウンディング試験)結果
- ·室内土質試験結果
- ・ボーリングコア写真
- ・現場作業写真
- ·室内土質試験写真
- ・原稿電子データ(CD)

1. 調査概要

本調査は、数年前に河川堤防の構築に利用された ESR 工法による改良土と在来盛土材の物理 特性、強度特性、透水性さらに浸水耐久性について調査を行い、ESR 工法による改良土の長期 耐久性について検討したものである。

1)調査場所

調査場所(調査対象工事)は、施工時期がほぼ同じ築堤工事とし、ESR 工法による改良土を利用 して築堤された場所として「瑞雲橋左岸築堤その2工事」、在来盛土材を利用して築堤された場 所として「五反田築堤その2·3工事」を対象とした。

可川名	信濃川					
理機関	信濃川下流河川事務所					
工事名	瑞雲橋左岸築堤その2工事					
施工時期	平成 20 年 9 月~平成 21 年 6 月					
場所	三条市上須頃地先(瑞雲橋左岸下流部)					
工事名	五反田築堤その2・3工事					
施工時期	平成 19 年 12 月~平成 21 年 7 月					
場所	加茂市後須田地先(五反田橋左岸上流部)					
	可川名 理機関 工事名 施工時期 場所 工事名 施工時期 場所 新工時期					

表 1-1. 調査場所

※詳細な調査位置は図 1-1,2 参照。

3)調查内容

ESR 改良土と在来盛土材の物性確認調査

φ66mm コアボーリング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2 箇所	計 10.6m
φ86mm ノーコアボーリング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2 箇所	計 7.3m
小型動的コーン貫入試験(ミニラムサウンディング試験)・・・・・・・・4 箇所	計 25.4m
室内土質試験・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1 式	
既存資料の収集・現地調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1 業務	
資料整理とりまとめ(報告書作成含む)・・・・・・・・・・・・・・・・・1業務	
※調査数量の詳細は、表 1-2 参照。	

4)調査期間

平成 24 年 9 月 11 日~平成 24 年 11 月 30 日

(現場作業:平成24年9月11日~平成24年9月20日)

5)調査主幹

新潟県土質改良事業協同組合

〒959-1811 新潟県五泉市三本木 2 丁目 1 番 14 号 TEL&FAX 0250-43-1222

担当(事務局):伊藤 和浩 e-mail:esr@niigata-sia.or.jp

6)調查担当

株式会社 興 和 土質試験センター

〒950-0951 新潟県新潟市中央区鳥屋野4丁目7番22号 TEL 025-281-5135 FAX 025-281-0258

- 担当 中野 義仁 e-mail : y-nakano@kowa-net.co.jp 鈴木 直文 e-mail : n-suzuki@kowa-net.co.jp
- 本社 〒950-8565 新潟県新潟市中央区新光町6番地1 TEL 025-281-8815(調査部) FAX 025-281-8834(調査部)



図 1-1. 調査計画位置 S=1:25,000 (ESR 工法築堤部:瑞雲橋左岸築堤その2工事)



図 1-2. 調査計画位置 S=1:25,000 (在来盛土材築堤部:瑞雲橋左岸築堤その 2・3 工事)

調查·試驗項目				数量										
		仕様	単位	ESR改良土築堤部 (瑞雲橋左岸下流部) 在来盛土材築堤部 (五反田橋左岸上流						部 〔部〕	合計			
				CB-1	SB-1	D-1	D-2	D-3	計	CB-2	SB-2	D-4	計	
	ボールング	φ66mm⊐ア、粘性土	m	5.0					5.0	5.6			5.6	10.6
現			m		3.7				3.7		3.6		3.6	7.3
地調本	サンプリング	シンウォールサンプリング	本		3				3		3		3	6
重 • 試	機材運搬	3tonユニック車、往復	П	1	CB-1 と 併用				1	1	CB-2と 併用		1	2
験	仮設足場	傾斜地(15°~30°)	箇所	1	CB-1 と 併用				1	1	CB-2と 併用		1	2
	小型動的コーン貫入試験	ミニラムサウンディング	m			5.6	6.6	5.6	17.8			7.6	7.6	25.4
	フェノールフタレイン試験		П	1					1				0	1
	土粒子の密度試験		試料		3				3		3		3	6
	土の粒度試験	沈降分析(フルイ分析含む)	試料		3				3		3		3	6
室	土の含水比試験	3個/試料	試料		3				3		3		3	6
内土	土の湿潤密度試験	ノギス法、3個/試料	試料		3				3		3		3	6
質試	土の三軸圧縮試験(uu)	3供試体/試料	試料		3				3		3		3	6
験	土の締固め試験	A-a法	試料		3				3		3		3	6
	土の透水試験	粘性土(変水位法)	試料		3				3		3		3	6
	土のコーン指数試験	25回/層×3層突高め	試料		3				3		3		3	6
	浸水崩壊度試験 ^{※1} (スレーキング試験)		試料		3				3		6		6	9
既存	資料の収集・現地調査		業務						1					1
資料	整理とりまとめ	報告書作成含む	業務						1					1

表 1-2. 調查実施数量

※1 浸水崩壊度試験(スレーキング試験)は、試料を乾燥した後に浸水する試験であるが、在来盛土材については、原位置と同じ湿潤密度状態に ついても実施した。 2. 調査内容の計画

2-1. 調査内容

ESR 工法による改良土の長期的な耐久性を確認するための調査は、前出表 1-1 に示した各調 査場所において、図 2-1 に示すように基本的に同工法による改良土を利用した築堤部とほぼ同時 期に施工された在来盛土材による築堤部の物性(物理特性、強度特性、透水性、浸水耐久性)やボ ーリング・サウンディング結果を比較して検討した。また、可能な範囲で施工当時の施工・品質 管理情報も収集し、検討の参考資料とした。なお、比較対象とする在来盛土材による築堤部は、 ESR 工法による築堤部に近い場所が望ましいが、近くに同時期に施工された築堤工事がなかっ たため、在来盛土材築堤部の調査位置は、ESR 工法改良土築堤部の下流約 11km で実施された 築堤工事で計画した。



図 2-1. 基本的な調査内容

1)既存資料の収集・現地調査

①現地調査

調査対象とした築堤箇所を確認し、計画する調査・試験が可能な位置を選定する。また、 現地調査に際して関係機関との調整を行う。

②既存資料の収集(資料が入手できる場合)

施工時(配合時)の改良土のコーン指数試験結果などを調査し、今回実施する調査・試験結 果と比較できるように整理する。

2) 改良土築堤部の物性確認調査

①混合状態確認調査

a.観察による混合状態確認

改良土を利用した築堤範囲(延長)中央の堤内地側法肩付近でオールコアボーリングを 行い、そのコア試料を観察して改良土の混合状態を確認する。また、この時のボーリン グ情報により改良土の範囲を確定し、土質試験用試料のサンプリング深度を検討する。

b.試薬による混合状態確認

上記 a で採取したコア試料に試薬(フェノールフタレイン試薬)を散布し、改良材の混合 状態を確認する。

②物性確認調査

a.サンプリング(不攪乱試料採取)

改良土を利用した築堤範囲(延長)を3等分し、各区間中央の堤内地側法肩付近で改良部 の上部、中部、下部の3深度で土質試験に必要な不攪乱試料を採取する。

b.物理・締固め特性の確認

上記 a で採取したサンプリング試料を利用して土粒子の密度試験、湿潤密度試験、含水比試験、粒度試験、締固め試験を行い、湿潤密度、乾燥密度、含水比、粒度特性、締固め特性(締固め度)を確認する。

c.強度特性の確認

上記 a で採取したサンプリング試料を利用して三軸圧縮試験(uu)、コーン指数試験を行い、強度特性を確認する。また、配合時の品質管理で実施されたコーン指数試験とも比較する。さらに、サウンディング(ミニラムサウンディング試験)により、深度方向の連続的な強度変化を把握する。

d.透水性(透水係数)の確認

上記 a で上部、中部、下部から採取したサンプリング試料を利用し、室内での透水試験で透水性を確認する。

e.浸水時の形状維持特性の確認

浸水による安定性を確認するため、浸水崩壊度試験(スレーキング試験)を行い、浸水に よる形状変化を追跡し、形状維持特性を確認する。

3) 在来盛土材築堤部の物性確認調査

在来盛土材築堤部の調査は、改良土を利用した築堤部の比較対象として、上記 2)②a~eの 調査・試験を代表1箇所で実施する。 4) 改良土の耐久性の検討

改良土の耐久性は、在来盛土材を利用した築堤部の各調査・試験結果と比較して行う。改良 土による築堤部が在来盛土材による築堤部と同等の性状である場合は、改良土の耐久性は在来 盛土材と同等と判断する。また、施工時(配合時)の各管理記録があり、比較できる場合は、配 合時からの変化も検討する。

2-2. 調査位置の配置計画

現場における調査位置の配置は、図 2-2-1 に示す形態とした。なお、詳細な調査位置については、「3-1.現地調査結果と調査位置の選定」に示すように、現況を確認して周辺の各種施設などに影響がないように計画した。



図 2-2-1. 現場における調査位置の配置計画

3. 各調査・試験の方法

3-1. 既存資料の収集・現地調査

(1) 現地調査

前出表 1-1 に示した調査対象の 2 箇所(瑞雲橋左岸下流部、五反田橋左岸上流部)を踏査し、堤 防管理者(北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 三条出張所)と協議して一般車両の交通や堤 防管理上支障とならない位置を選定した。

(2) 既存資料の収集

新潟県土質改良事業協同組合より入手可能の範囲で ESR 工法の配合設計資料や施工時の施 工・品質管理記録などを貸与頂き、「4. ESR 工法の配合仕様」に基本情報としてまとめた。

3-2. 改良土および在来盛土材による築堤部物性調査

改良土および在来盛土材築堤部の物性調査は、ボーリングコア観察やサウンディング結果によ る改良土の状態確認やサンプリング試料(不攪乱試料)による各種土質試験によって各物性値を 評価する。以下に利用する各調査・試験方法を示す。

(1) コアボーリングと足場仮設

コアボーリングは、改良範囲と改良土の状態を確認 するための試料を採取するために「地盤調査の方法と 解説:地盤工学会」に準じて φ 66mm で実施した。

ボーリング機械は、図 3-2-1 に示すような油圧型(ハ イドロリックフィード型)ロータリーボーリングマシ ンを使用した。掘進の基本原理は、ロッドの先端に取 り付けられたビットにスピンドルを経て油圧による 給圧と回転を与えて切削し、掘屑は泥水などの循環流 体によって孔外に排除することを基本的機構とする 図 3-2-1. ハイドロリックフィード式機械機構 ものである。油圧型マシンは、高速回転が可能であり、 給圧も油圧によって任意に調整できるので、軟弱土か ら硬質土まであらゆる地盤に適用でき、かつ掘進性能 に優れている。また、ボーリング孔の安定性が高く、 孔底下の土の乱れが少ない特徴を有している。

ボーリング中の循環流体(泥水)の循環機構を説明す ると、図 3-2-2 に示すように、ボーリングロッドの上 端はウォータースイベルが接続されており、デリバリ ーホースを介して泥水ポンプに連結されている。泥水 ポンプから送られた泥水はロッドを通って孔底に送 られ、堀屑(スライム)を含んだ泥水となって地上に上 がってくる。地上に上がってきた泥水は溝または泥水 バックに一度溜められ、堀屑を沈殿・分離され、再び サクションホースを介して泥水ポンプから孔底に送 られるようになっている。



(地盤調査の方法と解説:地盤工学会)



図 3-2-2. ボーリング装置の全体 (地盤調査の方法と解説:地盤工学会)

9

また、コア採取は、混合状態を確認するには改良土の構造や含水比ならびに化学的性質をなる べく変化させないように採取する必要があるため、在来盛土材による築堤部も同様に図 3-2-3 に 示すロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラー(地盤工学会基準 JGS 1224)を利用した。

ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーは、コア試料をサンプラーのインナーチューブに 内蔵されたプラスチックフィルムのスリーブに包み込まれながら採取されるものであり、砂地盤 や軟岩〜硬岩、そして改良体など幅広い地盤に適用できるサンプラーである。硬質な地盤である 場合は、ビット先行型サンプラーが適し、比較的軟質な地盤である場合はシュー先行型サンプラ ーが適す。今回は、改良土でも改良材の添加量が少ないため、比較的軟質な状態であると想定さ れることから、シュー先行型サンプラーを利用した。

同サンプラーによるコア採取過程を以下に示す。

- a 組み立てたサンプラーを所定の深度まで降ろす。
- b 押し込み荷重、ロッドの回転数、掘削流体の送水量などを調整し、先端のビットで徐々に 切削しながら無理なく連続的にサンプラーを押し込む。
- c 押し込み終了後、サンプラーの押し込み長をはかり、試料採取終了深度とする。
- d 終了深度測定後、サンプラーを速やかに衝撃を与えないように地上に引き上げる。
- e インナーチューブを取り外し、その中のスリーブで包まれたコア試料を静かに取り出す。
- f コア採取した区間をボーリングで拡孔・保孔する。
- g 計画深度まで a~fの作業を繰り返し、オールコアリングする。





ボーリング時の足場仮設は、必要最小限とし図 3-2-4 に示すような形態で設置した。また、資 機材の搬入は、堤防天端の管理道路が利用できる状況であったため、天端よりトラック(3ton ユ ニック)で搬入した。なお、ボーリング終了後は、ボーリング孔を砂で水締めによって充填して 閉塞し、作業範囲を原形復旧した。



図 3-2-4. ボーリング時の仮設形態

(2) サンプリング

サンプリングは、各種土質試験に供する乱れの少ない土試料(不攪乱試料)を採取する目的で実施した。不攪乱試料を採取するサンプラーには、表 3-2-1 に示すように種々のものがあり、構造、 適用地盤(土質)、採取される試料の状態、採取試料径などに違いがある。

今回のサンプリングは、φ66mm コアボーリングおよびミニラムサウンディング試験の結果 より、固定ピストン式シンウォールサンプラー(エキステンションロッド式)での対応が可能(概ね N値≦10)と判断されたことから、地盤工学会基準(JGS 1221)に準じ、同サンプラーにより実施 した。

表 3-2-1. 各種サンプラーの構造と適用地盤

(地盤調査の方法と解説:	地盤工学会)
--------------	--------

<u></u>			地盤の種類											
		1.45	*	出性 土	性土		砂質土		砂礫		岩盤		2	
サンプラーの種類	۹. I	構	軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な				
		造		N 値 の 目 安									硬岩	
			$0\sim 4$	4~8	8以上	10以下	10~30	30以上	30以下	30以上				
固定ピストン式	エキステンションロッド式	単管	0	0		0								
シンウォールサ ンプラー	水圧式	"	0	Ø	0	0						_		
ロータリー式二	重管サンプラー	二重管		O	0	1						i		
ロータリー式三	重管サンプラー	三重管		Ø	Ø	0	O	Ô		0				
ロータリー式スリープ内蔵二重管サンプラー		二重管		0	0		0	0			Ô	0	0	
ブロックサンプリング		-	0	0	0	0	0	O		0	0			
ロータリー式チューブサンプラー		多重管			0						O	0		
		·	···· ·) 最高.(こ適	

試料の状態 押込方式 ピストン ボーリング 構造 地盤の種類 試料径 備 考 サンプラーの種類 乱れが 少ない 乱れた 孔径 有 無 静的 打撃式 ロータリ・ 砂・砂礫 0 任意 1 凍結サンプリング 岩盤を除く 単管 0 75, 90 135, 146 2 ワイヤーライン式サンプラー 0 0 0 地 緫 二重管 97 146 大口径もある 3 礫層サンプラー 二重管 0 Ο 礫 質 土 0 主として珊瑚 砂質土 4 バスケット型コアキャッチャー 86, 116 0 68, 81 単管 0 0 礫混じり土 礫混じり土用 付固定ピストン式サンプラ-0 70 116 5 固定式二重管サンプラー 二重管 0 0 廃棄物 砂質土 50, 70 Ο 86 6 ツイストサンプラー 二重管 \circ 0 超軟弱土 超軟弱土 0 50 7 超軟弱土用サンプラー 二重管 0 0 8 シェルビーチュープサンプラー 0 0 粘性土 0 72 86 単管 フリーピストン式シンウォール 86 粘性土 0 75 0 単管 \bigcirc サンプラ・ 10 コンポジットサンプラー 二重管 0 0 粘性土 0 75 116 11 NGI サンプラー 粘 性 土 0 54 86 単管 0 0 0 硬質粘性土 0 72 116 12 ピッチャーサンプラー 三重管 0 ラバル式追切り 13 大口径サンプラー 粘性土 0 208 300 単管 Ο 0 粘性土 _ O. 68 闺管 \cap 14 フォイルサンプラー 0 ゆるい砂質土 粘性土 0 120 180 0 0 15 土圧パランス式サンプラー 三重管 砂質土 砂質土 0 53 116 16 改良型ビショップサンプラー 単管 0 Ο 粘性土 45, 50 66 0 0 17 倍圧サンプラー 単管 0 砂質土 75 86

固定ピストン式シンウォールサンプラー(エキステンションロッド式)固定ピストン式シンウ オールサンプラー(エキステンション式)の構造図を図 3-2-5 に示し、サンプリング方法を以下に 示す。

12

ーサンプリング方法ー

- サンプラーにボーリングロッド及びピストン を継ぎ足し、ロッドを継ぎ足しながらサンプ ラーを静かに、且つゆっくりとボーリング孔 底まで降ろす。
- サンプラー押し込み中にピストンが下方に動 かないように、ピストン継ぎ足しロッドを介 してピストンを一定位置に固定する。
- 採取予定長さまで衝撃を加えることなく連続 的且つ速やかにサンプリングチューブを押し 込む。なお、断続的な押し込みは、試料に亀 裂を発生させるので避ける。
- チューブ押し込み長の測定が終了したら、 直ちにサンプラーを引き上げる。引き上げ後 のサンプリングチューブは、直ちに長さ及び 状態を確認する。
- 採取した試料を速やかに試験室へ振動を与えない状態で搬入する。



図 3-2-5. 固定式ピストン式シンウォールサンプラー模式図 (エキステンションロッド式) (3) フェノールフタレイン試薬による混合状態確認試験

オールコアリングした改良土のコア試料にフェノールフタレイン試薬を散布し、色調の変化から改良材の混合状態を調べる。試験の方法は、「JISA1152 コンクリートの中性化深さの測定方法」に準じる。

コンクリートは、中性化していない場合はアルカリ性であることから、フェノールフタレイン 試薬を散布すると赤紫色に変色する。ESR 工法で利用されている改良材は、セメント系や石灰 系であることから、これらを混合した改良土はコンクリートと同様にアルカリ性となっていると 推察され、フェノールフタレイン試薬散布により、図 3-2-6 に示すように変色の具合を確認し、 改良材の混合状態を評価する。



図 3-2-6. フェノールフタレイン試薬を散布した改良土(セメント系)の変色の例

(4) 小型動的コーン貫入試験(ミニラムサウンディング試験)

小型動的コーン貫入試験(ミニラムサウンディング試験)は、動的コーン貫入試験の種類の1つ であり、先端コーンに順次ロッドを継ぎ足しながら連続的に打ち込み、20cm 毎に打撃回数を測 定するものである。また、粘性土地盤では、ロッドの周面摩擦を補正するために、貫入後のロッ ドをトルクレンチで回転させてトルクを測定する。今回使用したミニラムサウンディング試験機 の仕様と試験手順を以下に示す。

試験機の仕様

ミニラムサウンディング試験機は、下図に示すようにコンパクトな試験機であり、1 打撃力は 小さいものの、その総打撃エネルギーは、標準貫入試験の2倍となるように設計されている。



35cm
作動油15L、42kg
50×84×250cm、135kg
ϕ 16×19cm、30kg
36×59×43cm、44kg
ϕ 50 × 64cm, 49kg
¢28mm×1m、4.7kg

図 3-2-7. ミニラムサウンディング試験機の仕様

②試験の手順

ミニラムサウンディング試験の手順を以下に示す。

- a.クラッチハンドルを両手で10cm ほど持ち上げ、自動打撃貫入を開始させる。このとき、 軟らかい地盤の場合、1回の打撃で急激に貫入することがあるので、注意する。
- b.貫入ロッドが 20cm 貫入したら、クラッチハンドルを両手で下げて、自動打撃貫入を終 了させる。
- c.打撃回数を記録したら、トルク値の測定を行う。トルク値の測定はトルクレンチを用い て、貫入ロッドを時計回りに2回転させて、その中で最大値を記録する。
- d.貫入ロッドの残りの深度が 40cm 程度になったら、貫入ロッドを継ぎ足す。
- e.貫入試験の終了は、基本的に調査計画深度までとするが、目的に応じてトルク値で補正 した換算N値が 50以上確認された場合とする。ただし、貫入不能となった場合は、そ の深度までとする。

f.貫入試験が終了したら、専用の引抜き装置を使ってロッドを引抜く。

③測定結果の補正と整理方法

ミニラムサウンディング試験の貫入力は、一般に以下の式で定義される。

 $Rd = \frac{M \cdot g \cdot H}{A} \times \frac{N}{D'}$ Rd:貫入力 M:ハンマー重量 H:落下高さ A:先端コーンの断面積 g:重力加速度 D':所定の貫入深度間隔 N:所定のD'に達する打撃回数

上式より、ミニラムサウンディング試験機は、打撃回数が標準貫入試験(N値)の2倍になるようにハンマー重量(30kg)、落下高さ(35cm)が設計されている。

実際に測定したデータを標準貫入試験の N 値に換算して活用する場合の式は、砂質土地盤では、次式で求められる。

砂質土地盤: N= <u>1</u> × Ndm N:標準貫入試験の値(N値) Ndm:ミニラムの打撃回数(回)

粘性土地盤では、貫入ロッドに掛かる周面摩擦力の影響により、上式で N値に換算した場合、 過大に評価する可能性があるため、次式を用いて貫入ロッドに掛かる周面摩擦力による影響を取 り除き、N値に換算する。ただし、Nam<10の場合は、その限りではない。

(5) 室内土質試験

改良土と在来盛土材による築堤部から採取した乱れの少ない土試料(不攪乱試料)に対して下 表に示す土質試験を実施した。各試験方法は、日本工業規格(JIS)または地盤工学会基準(JGS) に準拠した。

なお、改良土と在来盛土材による築堤部共に、礫が部分的かつ不規則に混入し、トリミングに よる供試体作製が困難であった。このため、三軸圧縮試験および透水試験は、不攪乱試料で測定 した湿潤密度で試料を再構成(密度調整)して供試体を作製した。さらに、締固めた土のコーン指 数試験は、ボーリングコアを利用して実施した。

	試験の種類	規格 ^{※1}	得られる主な物性値				
	土粒子の密度試験	JIS A 1202	土粒子の密度				
地和王田	土の粒度試験 (フルイ分析+沈降分析)	JIS A 1204	土の判別・分類 粒度組成				
特性	土の含水比試験	JIS A 1203	土の含水状態 軟弱土の判別				
	土の湿潤密度試験 (ノギス法)	JIS A 1225:	土の湿潤密度(単位体積重量) 間隙比 乾燥密度 飽和度				
締固め 特性	突固めによる 土の締固め試験	JIS A 1210	最大乾燥密度 最適含水比				
強度	締固めた土の コーン指数試験	JIS A 1228	締固めた土のコーン指数(25回/層×3層)				
特性	土の三軸圧縮試験 (uu)	m JGS~0521	全応力(非圧密非排水)でのせん断強さ(粘 着力)				
透水性	土の透水試験	JIS A 1218	透水係数 (粘性土:変水位、砂質土:定水位)				
浸水時 形状維持 特性	浸水崩壊度試験 (スレーキング試験)	JGS 2124	浸水時の形状維持特性 スレーキング指数				

表 3-2-2. 室内土質試験項目

※1 JIS:日本工業規格 JGS:地盤工学会基準。

1

瑞雲橋左岸下流部で施工された ESR 工法は、表 4-1 に示すように平成 21 年 1 月 21 日~平成 21 年 4 月 1 日の間で配合され、第 3 種建設発生土に要求されるコーン指数 $q_c \ge 400$ kN/m²を確認して施工されている。また、改良材は、一般軟弱用固化材(デンカ SP-20)が利用され、その添加量は日々母材のコーン指数 q_c や含水比 w を確認して決定されており、概ね 35~80kg/m³となっている。

改良前の母材については、詳細な土質は不明であるが、プレロード盛土に利用された材料や河 道を掘削した材料であり、そのコーン指数 *q*_eは概ね 200kN/m²以下、含水比 *w* は概ね 30~50% であり、軟弱な状態であったことが推察される。

		配合前の内内の注入												
母材	配合日	11	ューン指数	$p q_{c} kN/n$	n^2	含水比	封殿口	添加量	苯 十 口 粉	:	コーン指数	数 $q_{\rm c}$ kN/I	m^2	含水比
		1	2	3	平均	w %	时间 日	kg/m ³	食土日奴	1	2	3	平均	w %
	H21,1,21	141.8	146.6	137.1	141.8	31.5	H21,1,23	35	2	732.8	690.2	661.9	695.0	23.8
プ	H21,1,22	132.4	151.3	127.6	137.1	32.2	H21,1,24	42	2	605.1	642.9	605.1	617.7	22.9
レ	H21,1,23	156.0	141.8	132.4	143.4	33.8	H21,1,25	42	2	638.2	624.0	605.1	622.4	25.1
П	H21,1,24	122.9	141.8	127.6	130.8	36.2	H21.1,26	52	2	609.9	619.3	614.6	614.6	23.0
ĺ	H21,1,26	160.7	165.5	113.5	146.6	146.6	H21,1,28	52	2	600.4	619.3	614.6	611.4	23.4
ド	H21,1,27	113.5	141.8	132.4	129.2	37.2	H21,1,29	52	2	600.4	619.3	638.2	619.3	24.1
撤	H21,1,28	127.6	132.4	165.5	141.8	36.5	H21,1,30	52	2	614.6	638.2	633.5	628.8	24.8
去	H21,1,29	255.3	260.0	274.2	263.2	35.2	H21,1,31	47	2	614.6	690.2	628.8	644.5	24.9
材	H21,1,30	174.9	189.1	193.8	185.9	35.7	H21,2,1	47	2	534.2	538.9	529.5	534.2	25.3
	H21,1,31	160.7	165.5	160.7	162.3	36.1	H21,2,2	52	2	619.3	614.6	638.2	624.0	25.9
	H21,2,5	132.4	137.1	141.8	137.1	49.7	H21.2,8	79	3	685.5	642.9	633.5	654.0	28.9
	H21,2,6	151.3	165.5	146.6	154.5	48.3	H21,2,9	79	3	605.1	609.9	595.7	603.6	28.8
	H21,2,7	160.7	151.3	137.1	149.7	48.8	H21,210	79	3	619.3	609.9	586.2	605.1	29.0
	H21,2,9	127.6	151.3	151.3	143.4	49.1	H21,2,12	79	3	600.4	652.4	609.9	620.9	30.5
	H21,2,10	160.7	165.5	113.5	146.6	48.9	H21,2,13	79	3	600.4	619.3	614.6	611.4	28.7
	H21,2,11	151.3	160.7	146.6	152.9	49.0	H21,2,14	79	3	595.7	605.1	619.3	606.7	28.4
	H21,2,12	165.5	184.4	174.9	174.9	48.2	H21,2,15	79	3	614.6	638.2	633.5	628.8	29.5
	H21,2,13	193.8	174.9	165.5	178.1	49.6	H21,2,16	79	3	609.9	614.6	609.9	611.5	31.2
्रेन	H21,2,14	170.2	179.6	174.9	174.9	48.5	H21,2,17	79	3	586.2	619.3	619.3	608.3	28.8
诸	H21,2,16	160.7	165.5	160.7	162.3	49.9	H21,2,19	79	3	605.1	619.3	614.6	613.0	31.3
垣堀	H21,2,18	160.7	122.9	160.7	148.1	49.8	H21,2,21	79	3	605.1	609.9	590.9	602.0	30.3
山山	H21,2,19	250.6	184.4	193.8	209.6	48.1	H21,2,22	79	3	590.9	609.9	633.5	611.4	31.1
可以	H21,2,20	170.2	160.7	212.7	181.2	48.4	H21,2,23	79	3	595.7	609.9	609.9	605.2	30.9
光	H21,2,23	113.5	160.7	156.0	143.4	49.0	H21,2,26	79	3	695.0	638.2	600.4	644.5	29.8
土	H21,2,25	122.9	160.7	165.5	149.7	48.2	H21,2,28	79	3	614.6	609.9	581.5	602.0	30.9
L I	H21,2,26	170.2	170.2	160.7	167.0	48.5	H21,3,1	79	3	373.5	425.5	406.6	401.9	30.3
	H21,2,27	241.1	250.6	236.4	242.7	48.7	H21,3,2	79	3	609.9	595.7	751.7	652.4	29.2
	H21,2,28	174.9	165.5	222.2	187.5	48.1	H21,3,3	35	3	595.7	595.7	619.3	603.6	26.6
	H21,3,26	222.2	203.3	174.9	187.5	43.9	H21,3,29	64	3	605.1	628.8	647.7	627.2	27.6
	H21,3,27	189.1	184.4	222.2	187.5	45.4	H21,3,30	69	3	685.5	666.6	633.5	661.9	26.8
	H21,3,28	241.1	198.6	170.2	187.5	44.9	H21,3,31	69	3	789.5	794.2	799.0	794.2	25.1
	H21,3,30	293.1	274.2	288.4	187.5	44.1	H21,4,2	69	3	799.0	794.2	794.2	795.8	26.5
	H21,3,31	274.2	274.2	288.4	187.5	43.2	H21,4,3	64	3	642.9	628.8	638.2	636.6	28.9
	H21,4,1	217.5	193.8	231.7	187.5	42.7	H21,4,4	64	3	747.0	761.1	765.9	758.0	26.3
	平均				168.0	47.2		66					628.6	27.6

表 4-1. 瑞雲橋左岸下流部の ESR 改良土築堤部の配合仕様 (新潟県土質改良事業協同組合より)

副公弦の歴史

1

町へ並の回社の歴史

5. 調査結果

5-1. 現地調査結果(調査位置の選定)

ESR 工法による改良土で築堤された「瑞雲橋左岸下流部」と在来盛土材で築堤された「五反 田橋左岸上流部」の現地の状況を確認し、前出図 2-2-1 に示した調査配置計画に基づいて堤防管 理者(北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所 三条出張所)と協議した結果、各調査対象とした区 間における調査は、表 5-1-1 および図 5-1-1~4 に示す位置とした。

場所		ESR 改良土築堤部 (瑞雲橋左岸下流部)		在来盛土材築堤部 (五反田橋左岸上流部)
孔番	D-1	CB-1(SB-1) D-2	D-3	CB-2(SB-2) D-4
調査 位置	No.4 付近 堤内地法肩	No.6+10 付近 堤内地法肩	No9+10 付近 堤内地法肩	No.1 付近 堤内地法肩
調査 試験 内容	・ミニラム サウンディング試験	 ・コアボーリング ・サンプリング ・ミニラム サウンディング試験 	・ミニラム サウンディング試験	 ・コアボーリング ・サンプリング ・ミニラム サウンディング試験

表 5-1-1. 調查位置選定結果

※調査位置の測点 No は、各築堤工事時の測点である。



図 5-1-1. ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)の調査配置

19



a. ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)の調査対象区間(上流側より)



b.ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)の調査対象区間(下流側より)



c.D-1 サウンディング位置(No.4 付近)





d.CB-1 ボーリング・SB-1 サンプリング・D-2 サウンディング位置 (No.4+10 付近) 図 5-1-2. ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)の調査位置写真

e.D-3 サウンディング位置(No.9+10 付近)



図 5-1-3. 在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)の調査配置





a.在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)の調査対象区間(上流側より)



c.CB-2 ボーリング・SB-2 サンプリング・D-4 サウンディング位置 (No.1 付近)





d.No.6 付近から終点側の天端道路の状況

図 5-1-4. 在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)の調査位置写真

5-2. ボーリング・小型動的コーン貫入試験結果

ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)と在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)で実施した コアボーリングと小型動的コーン貫入試験(ミニラムサウンディング試験)の結果を取りまとめ て表 5-2-1 に示す。また、これら結果より、各築堤部の推定地質断面を作成し、図 5-2-1,2 に示 した。

なお、ESR 改良土築堤部における改良土の範囲および土層区分は、採取したコアの土質・セ メント臭などの変化およびミニラムサウンディング試験による推定 *N*値の変化から判断した。

表 5-2-1. ボーリング・ミニラムサウンディング結果

ESR改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)

層区分			CB-1, I	D-2	D	-1	D-3		
		深度(m)	土質	色調	推定N值	深度(m)	推定N值	深度(m)	推定N值
堤	衣土 覆土	0.0~0.75	砂質シルト	茶褐~褐	2.2~3.2	0.0~0.6	1.7~2.7	0.0~0.8	2.0~3.7
体	改良土	: 0.75~4.74 ESR改良土		褐灰	2.5~12.5	0.6~4.0	3.5~6.5	0.8~4.0	3.5~11.0
原地	砂質土	4.74~5.4	微細砂	暗灰	14.5~20.0	4.0~5.2	6.0~14.5	4.0~5.2	10.5~25.5
盤	粘性土	5.4~	粘土質 シルト	_	1.9~4.4	5.2~	0.3~0.8	5.2~	0.2~5.7

※ 原地盤(粘性土)の深度は、ミニラムサウンディング試験結果から推定し、土質は近隣既往ボーリングデータから推定した。

在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)

層区公			СВ-2, І	D- 4		
)	盲区刀	深度(m)	土質	色調	推定N值	
堤	衣土 覆土	0.0~0.47	砂質シルト	茶褐	3.3~4.8	
体	在来 盛土材	0.47~5.5	岩片混じり 粘土質細中砂	褐灰	2.0~9.0	
原地	粘性土	5.5~6.6	砂混じり粘土	暗灰	2.1~4.5	
地盤	砂質土	6.6~	シルト質細砂	_	9.5~11.5	

※ 原地盤(砂質土)の深度は、ミニラムサウンディング試験結果から推定し、土質は近隣既往ボーリングデータから推定した。

以下、各築堤部で確認された各層の特徴についてまとめる。

瑞雲橋左岸下流部 ESR工法による築堤部推定地質断面図





図 5-2-1. ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)推定地質断面

層区分			主要土質		
堤体	衣土·覆土		砂質シルト		
	改良土		ESR改良土 (砂質シルト・シルト質砂)		
原地盤	粘性土		粘土質シルト(推定)		
	砂質土		微細砂		

土層区分

※粘性土層の主要土質は、近隣の既往ボーリングデータより推定 ※推定N値は、ミニラムサウンディング試験のNdからの推定値



<u>推定地質横断図 S=1:100</u>



土層区分

	層区分		主要土質	
堤体	衣土・覆土		砂質シルト	
	在来盛土材		岩片混じり粘土質細中砂	
百年書	粘性土		砂混じり粘土	
原地盤	砂質土		シルト質細砂(推定)	

[※]砂質土層の主要土質は、近隣の既往ボーリングデータより推定 ※推定N値は、ミニラムサウンディング試験のNdからの推定値



◎ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)で確認された各層の特徴(図 5-2-3 参照)

衣土・覆土

砂質シルトを主体とし、色調は茶褐〜褐色を呈す。深度 0.5m 付近より、所々に ϕ 5~10mm 位の礫を混入する。

<u>改良土</u>

全体にセメント臭があり、色調は褐灰色を呈す。土質は、固化材による硬化の影響もあり、 粒子がやや粗い部分も確認されるが、砂質シルト〜シルト質砂を主体とし、母材(改良前の 材料)は同土質の材料であったと推察される。また、深度 1.5m 以浅では不規則に ϕ 5〜20mm 位の礫を少量混入する。ミニラムサウンディング試験から推定される N値は、上流の D-3 でやや大きい傾向であるが、全体的には推定 N値=3〜10 前後が得られ、極端に小さい部分 も確認できないことから、均質に施工されたことが伺われる。また、後述する在来盛土材築 堤部の推定 N値より若干大きい傾向である。

砂質土

含水が多く緩い状態であり、色調は暗灰色を呈す。セメント臭が確認できないことから、原 地盤の土質と判断される。上層部では、少量のシルト分を混入する。

粘性土

ボーリングでは確認していないが、ミニラムサウンディング試験結果から推定される N値 が極端に小さくなることから、軟弱な粘性土であると推察される。土質は、同試験では確認 できないが、近隣既往ホーリングデータ(H18 瑞雲橋左岸築堤および陸閘詳細設計 ボーリ ング No.1)より、粘土質シルト主体と推察される。



4.74m

図 5-2-3. CB-1 ボーリングコア

◎在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部) で確認された各層の特徴(図 5-2-4 参照)

衣土・覆土

砂質シルトを主体とし、色調は茶褐色を呈す。深度 0.3m 以浅では、 ϕ 5~15mm 位の礫を 混入する。

在来盛土材

堤防本体を構築している材料であり、土質は不規則に脆い岩片を混入する粘土質細中砂を主体とし、中間土的な土質である。また、色調は褐灰色を呈し、深度 1m と 2m 付近ではそれら前後に比べてやや含水が多い状態である。ミニラムサウンディング試験から推定される *N* 値は 2~9 前後であり、深度 1m 付近の含水がやや多い部分で若干小さい傾向である。

<u>粘性土</u>

含水が多く軟質な状態であり、色調が暗灰色を呈すことから、原地盤の土質と判断される。 また、 φ 20mm 位の砕石を混入し、築堤前は農道であった様子であることから、その名残 と推察される。

砂質土

ボーリングでは確認していないが、ミニラムサウンディング試験結果から推定される N値 が極端に大きくなることから、砂質土であると推察される。土質は、同試験では確認できな いが、近隣既往ホーリングデータ(ほくりく地盤情報システム ボーリング P-e-4, 9)より、シ ルト質細砂主体と推察される。



図 5-2-4. CB-2 ボーリングコア

5-3.フェノールフタレイン試薬による混合状態確認結果

ESR 改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)からオールコアリングした改良土のコア試料にフェノ ールフタレイン試薬を散布した写真を図 5-3-1 に示す。同図より、深度 0.75m~4.74m 間で色調 が赤紫色に変化し、その変化はほぼ均一であることが確認された。また、代表箇所でコア試料の 断面にフェノールフタレイン試薬を散布した結果を見ると、コア芯部まで均一に色調が変化する ことが確認された。この結果は、ボーリング結果より判断した改良土の範囲が妥当であり、改良 材が均一に混合されたことを裏付けるものであると言える。また、施工から約 3 年経過しても 中性化していない状況である。



4.74m



4.74m 上:散布前、下:散布後

図 5-3-1. CB-1ESR 改良土コア試料のフェノールフタレイン試薬による色調変化

物理・強度特性、透水性、浸水に対する形状維持特性の観点から ESR 改良土の長期耐久性を 把握する目的で、同改良土と在来盛土材による築堤部から表 5-4-1 に示す各深度でサンプリング した乱れの少ない土試料(不攪乱試料)に対して前出表 3-2-2 に示した各種試験を実施した。

場所	対象土	試料 No	採取深度(m)
		上部	$1.20 \sim 1.73$
瑞雲橋左岸下流部	ESR 改良土	中部	$2.50 \sim 3.06$
		下部	$3.70 \sim 3.98$
		上部	$1.00 \sim 1.53$
五反田橋左岸上流部	在来盛土材	中部	$2.40 \sim 2.94$
		下部	$3.60 \sim 4.16$

表 5-4-1. ESR 改良土と在来盛土材築堤部からのサンプリング結果

なお、3-2(5)でも述べたが、改良土と在来盛土材による築堤部共に、礫が部分的かつ不規則に 混入し、トリミングによる供試体作製が困難であったため、三軸圧縮試験および透水試験は、不 攪乱試料で測定した湿潤密度で試料を再構成(密度調整)した供試体で実施した。さらに、締固め た土のコーン指数試験は、ボーリングコアを利用して実施している。表 5-4-2 に各試験で利用し た試料の状態を整理する。また、各試験結果を表 5-4-3 に一覧する。

以下、物理特性として粒度特性と密度・含水比、そして締固め特性、強度特性、透水性、浸水 耐久性についてまとめる。

	試験の種類	利用した試料	
	土粒子の密度試験		
ald warm of the first	土の粒度試験(フルイ分析+沈降分析)	乱れの少ない試料 (不攪乱試料)	
物理特性	土の含水比試験		
	土の湿潤密度試験(ノギス法)		
締固め特性	突固めによる土の締固め試験	物理試験実施後試料	
改由性社	締固めた土のコーン指数試験	ボーリングコア試料	
强度特性	土の三軸圧縮試験(uu)	密度調整試料 (物理試験実施後試料を利用)	
透水性	土の透水試験		
浸水耐久性 (形状維持特性)	浸水崩壊度試験(スレーキング試験)	乱れの少ない試料 (不攪乱試料) ※在来盛土材の湿潤密度状態での 試験は、密度調整試料で実施	

表 5-4-2. 各試験で利用した試料

		ESR改良土築堤部(瑞雲橋左岸下流部)		在来盛土材築堤部(五反田橋左岸上流部)				
試験項目		上部	中部	下部	上部	中部	下部	
湿潤密度。 a/am ³		(1.20~1.73m)	(2.50~3.06m)	(3.70~3.98m)	(1.00~1.53m)	(2.40~2.94m)	(3.60~4.16m)	
物理特性	湿潤密度 ρ_t g/cm ²		1.//	1.75	1.86	2.00	1.98	2.02
	乾燥密度 $\rho_{\rm d}$ g/cm ³		1.32	1.30	1.43	1.65	1.67	1.72
	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³		2.66	2.65	2.65	2.66	2.68	2.66
	自然含水比 w "%		33.9	34.5	30.1	21.1	18.9	17.2
111	間隙比 e		1.02	1.04	0.85	0.61	0.61	0.55
	飽和度 S	r %	88.8	88.1	93.2	91.0	83.5	83.7
	石分(75n	nm以上) %	0	0	0	0	0	0
积	礫分(2~	75mm) %	2.0	2.4	3.1	6.4	7.7	6.7
度	砂分(0.075~2mm) %		55.4	60.1	42.3	60.7	67.1	60.4
特世	シルト分(0.005~0.075mm) %		26.3	24.0	34.8	11.0	13.1	10.4
1生	粘土分(0	.005mm未満) %	16.3	13.5	19.8	21.9	12.1	22.5
	最大粒径 mm		19	19	19	19	19	19
	最大乾燥密度 $\rho_{\rm dmax}$ g/cm ³		1.446	1.455	1.516	1.755	1.795	1.785
特雷	最適含水比 w opt %		25.9	26.7	24.0	16.2	15.7	15.2
性め	締固め度 D (ρ _d /ρ _{dmax}) %		91.3	89.3	94.3	94.0	93.0	96.4
	空気間隙率 V_a %		5.6	6.1	3.0	3.2	6.1	5.8
础	コーン	$q_{\rm c} {\rm kN/m^2}$	1025.5	650.4	935.3	468.5	672.3	557.2
度	指数	含水比w %	33.8	35.9	30.6	22.5	20.7	20.9
特世	せん断強さ C_{uu} kN/m ²		56.5	47.7	75.0	48.2	47.7	47.0
1生	せん断抵抗角 ቀ ա。		12.0	7.7	11.3	3.1	10.5	2.9
透水性	透水係数	(<i>k</i> m/s	9.29E-09	1.10E-07	1.07E-08	4.92E-09	7.28E-09	7.19E-09
	浸水 崩壊度 〔乾燥〕	含水比(浸水前=乾燥後)%	2.5	5.2	3.2	2.1	1.5	1.9
浸		含水比(浸水試験完了後)%	27.9	36.4	29.5	77.5	81.6	66.5
水		スレーキング指数	0	0	0	4	4	4
久	浸水	含水比(浸水前)%	_	_	_	27.3	20.0	14.0
性	崩壊度	含水比(浸水試験完了後)%	—	_	_	33.8	31.8	33.0
	〔湿潤〕	スレーキング指数	_		_	2	2	3

表 5-4-3. 室内土質試験結果一覧

※湿潤密度ρ_t、乾燥密度ρ_d、自然含水比w、間隙比eは、サンプリングによる乱れの少ない試料で実施した結果である。

※ 空気間隙率V。は、以下の式による。

$$V_{a} = 100 - \frac{\rho_{d}}{\rho_{w}} \left[\frac{100}{\rho_{s}} + w \right] \quad (\%)$$

ここに、 ρ_d:乾燥密度 ρ_s:土粒子の密度 ρ_w:水の密度 w:含水比

- ※ コーン指数は、JIS A 1228「締固めた土のコーン指数試験」による。また、サンプリング試料では試料量が不足であったため、ボーリ ングコアを利用して実施した。よって、コーン指数のデータシートの深度には、コアを含めた試料採取範囲を示している。
- ※ 三軸圧縮試験uuと透水試験は、サンプリング試料をそのまま利用した供試体の作製が困難であったため、湿潤密度試験結果の 密度に調整した試料で実施。
- ※ 浸水崩壊度の〔乾燥〕は、JGS 2124に準じて乾燥後に浸水した場合の結果である。また、〔湿潤〕は、湿潤密度試験結果の密度に 調整した試料を乾燥せずに浸水した場合の結果である。
- ※ 浸水耐久性における含水比(浸水試験完了後)は、ESR改良土および湿潤密度状態で実施した在来盛土材は浸水24時間後の含水比であり、乾燥後に浸水した在来盛土材は泥状化を確認して浸水試験を完了した時点における含水比である。

(1) 物理特性

①粒度特性

図 5-4-1,2 に ESR 改良土と在来盛土材の粒径加積曲線と粒度組成図を示す。両図より、ESR 改良土の粒度特性は、上・中部では細粒分(粘土・シルト分)が 37~42%程度、砂分が 55~60% 程度、礫分が 2%程度と砂分が優勢な状態であり、砂分が優勢な状態である。一方、下部では細 粒分が 55%程度、砂分が 42%程度、礫分が 3%程度であり、細粒分がやや優勢な状態である。 粒度特性から判断する地盤材料の分類としては、細粒分質砂~砂質粘性土に分類され、粘性土と 砂質土の中間的な材料であると言える。

在来盛土材については、上・中・下部共に細粒分が25~33%程度、砂分が60~67%程度、礫 分が6~7%程度であり、砂分が優勢な状態である。地盤材料の分類としては、何れも礫混じり 粘性土質砂に分類され、改良土と同様に粘性土と砂質土の中間的な材料であると言える。

このように、瑞雲橋左岸下流部の築堤に利用された ESR 改良土と五反田橋左岸上流部の築堤 に利用された在来盛土材の粒度特性は、細粒分と砂分の含有量に若干の違いはあるものの、いず れも粘性土と砂質土の中間的な材料であると言え、大きな違いはない。



図 5-4-1. ESR 改良土と在来盛土材の粒径加積曲線



図 5-4-2. ERS 改良土と在来盛土材の粒径組成

また、河川土工マニュアル:平成21年4月(国土技術研究センター)では、フィルダムの場合で あるものの、堤体材料の粒度分布として図5-4-3を参考例として示している。同図の各材料の粒 度範囲をESR改良土と在来盛土材の粒度試験結果に照らし合わせると、図5-4-4に示すように、 両材料共に概ね@不透水性部材料の範囲となり、粒度特性からは堤体材料として良質な材料であ ると言える。



図 5-4-3. 堤体材料の適性範囲参考例 (河川土工マニュアル:平成 21 年 4 月,国土技術研究センター)



図 5-4-4. ESR 改良土と在来盛土材の粒度特性と堤体材料適用範囲

②密度·含水比

図 5-4-5 に ESR 改良土と在来盛土材の土粒子の密度 *p*s、湿潤密度 *p*d、乾燥密度 *p*d、自然含水 比 *w*nの深度分布を示す。ESR 改良土と在来盛土材の土粒子の密度 *p*s は同等であり、ほぼ同じ 鉱物で構成されていることが伺われる。

湿潤密度 ρ 、乾燥密度 ρ d、自然含水比 w_n については、在来盛土材の方がやや低含水・高密度の状態であり、①粒度特性で述べたように、在来盛土材は ESR 改良土に比べて砂分が多いことがこの違いに影響していると推察される。



図 5-4-5. 土粒子の密度、湿潤・乾燥密度、自然含水比の深度分布

(2) 締固め特性

最大乾燥密度と乾燥密度、現状の締固め度、最適含水比と自然含水比の深度分布を図 5-4-6 に 示す。瑞雲橋左岸下流部の ESR 改良土築堤部の最大乾燥密度は ρ_{dmax} =1.45~1.52g/cm³、対し て乾燥密度が ρ_{d} =1.30~1.43 g/cm³であることから、現状の締固め度 D は約 89~94%となる。 表 5-4-4 に示す締固め度の規定では、細粒分が 15%以上 25%未満の砂質土の場合ではあるが、 その平均締固め度(推奨値)は D_{e} =90%とされており、現状の締固め度はほぼこの推奨値がえられ ていると言える。また、自然含水比(現状の含水比) w_{h} は、最適含水比 w_{opt} と ρ_{dmax} ×90%の含水 比 $w_{90\%}$ の間で得られており、図 5-4-7 に示す適正な含水比の範囲にある。

在来盛土材についても ρ_{dmax} =1.76~1.80g/cm³、 ρ_{d} =1.65~1.72 g/cm³であることから、現状の締固め度 Dは約 93~96%となり、ESR 改良土と同様に表 5-4-4 に示す「砂質土」の平均締固め度の推奨値(D_{e} =90%)が得られている。また、 w_{n} についても、 w_{opt} と ρ_{dmax} ×90%の含水比 $w_{90\%}$ の間で得られていることから、図 5-4-7 に示す適正な含水比の範囲にある。



 (a)最大乾燥密度と乾燥密度
 (b)締固め度
 (a)最適含水比と自然含水比

 図 5-4-6.最大乾燥密度と乾燥密度、締固め度、最適含水比と自然含水比の深度分布

土質分類 名称	土質分類 粗粒質		砂質土 SF (25%≦75μm<50%)	粘性土 Cs	
平均締固め度(Dc)	90%	90%	—	_	
施工含水比(wn)	_	—	トラフィカビリティーを 確保しうる範囲	トラフィカビリティーを 確保しうる範囲	
空気間隙率(Va)	—	—	$V_{\mathrm{a}}{\leq}15\%$	$2\% \leq V_{\mathrm{a}} \leq 10\%$	
飽和度(Sr)	—	—		$85\% \leq S_{ m r} \leq 95\%$	
品質合格率	—	—	90%	90%	
品質下限値		80%	_	_	

表 5-4-4. 締固め度の規定

34

(河川土工マニュアル:平成21年4月,国土技術研究センター)



図 5-4-7. 土の締固め曲線 (河川土エマニュアル:平成 21 年 4 月,国土技術研究センター)

また、ESR 改良土と在来盛土材の細粒分は、約25~ 55%であることから、表 5-4-4 に示す砂質土(細粒分が 25%以上、50%未満)にも類似する。この場合、下式で 求められる空気間隙率 V_aによる規定が適応される。

※空気間隙率: $V_{a} = 100 - \frac{\rho_{d}}{\rho_{w}} \left[\frac{100}{\rho_{s}} + w \right]$ (%) ここに、 ρ_{d} :乾燥密度 ρ_{s} :土粒子の密度 ρ_{w} :水の密度 w:含水比

ESR 改良土と在来盛土材の V_a を上式でもとめ、その 深度分布を図 5-4-8 に示す。同図より、ESR 改良土と 在来盛土材の V_a は、約 3~6%の範囲にあり、表 5-4-4 に示した規定値 $V_a \leq 15\%$ となり、締固め度も含めて良 好な締固め状態が保持されていると言える。



図 5-4-8. 空気間隙率の深度分布

(3) 強度特性

図 5-4-9, 10 に締固めた土のコーン指数試験結果と三軸圧縮試験結果を示す。図 5-4-9 には、 ESR 改良土配合時(養生 2~3 日後)に品質管理で実施された平均コーン指数と平均含水比、そし て建設発生土利用技術マニュアルで河川築堤に利用可能とされる第 3 種建設発生土に要求され るコーン指数も示している。

図 5-4-9 より、ESR 改良土のコーン指数 q_e は、約 650~1025kN/m²の範囲にあり、在来盛土 材(q_e =470~670 kN/m²)よりも大きく、第 3 種建設発生土に要求される $q_e \ge 400$ kN/m²以上と なっている。また、配合時の q_e よりも大きくなっていることから、その後固化作用が進行し、 強度が増加したものと推察される。在来盛土材については、含水比は ESR 改良土より低いもの の、 q_e は ESR 改良土よりも小さい傾向である。しかし、第 3 種建設発生土に要求される $q_e \ge 400$ kN/m²以上となっており、品質としては問題ないと言える。



※第3種建設発生土に要求されるq。は、建設発生土利用技術マニュアル(平成16年9月)による

図 5-4-9. コーン指数と試験時含水比の深度分布

図 5-4-10 より、ESR 改良土のせん断強さ C_{uu} とせん断抵抗角 ϕ_{uu} は、それぞれ $C_{uu} \approx 48 \sim 75 \text{kN/m}^2$ 、 $\phi_{uu} \approx 8 \sim 12^\circ$ の範囲にあり、上・下部に比べて中部がやや小さい傾向である。これ は、上・下部の締固め度に比べて中部がやや低い傾向であることから、締固め度の僅かな違い影響しているものと推察される。在来盛土材については、 $C_{uu} \approx 48 \text{kN/m}^2$ 、 $\phi_{uu} \approx 3 \sim 10^\circ$ の範囲に あり、 C_{uu} の変化は殆どない状態である。

また、ESR 改良土と在来盛土材を比較すると、*C*uu と φuu の何れも中部では ESR 改良土と在 来盛土材はほぼ同等であるが、上部と下部では ESR 改良土の方がやや大きく、平均的には ESR 改良土の方がやや大きい傾向である。この傾向は *q*c と同様である。



(4) 透水性

ESR 改良土と在来盛土材の透水試験結果を図 5・4・11 に示す。各材料による築堤部の透水係数 は、ESR 改良土では k≒1×10⁻⁸~10⁻⁷m/s、在来 盛土材では k≒5~7×10⁻⁹m/s の範囲にある。

一般に堤体材料は、河川水の浸透に対して安 定性が確保される材料であることを前提として おり、できるだけ不透水性である材料が望まし いとされているものの、具体的な透水係数の規 定はない。ただし、粘土やシルトを主体とする 材料である場合、堤体の安全性を確認するため に行う解析でのパラメーター設定におけるもの であるが、以下に示す透水係数が目安値とされ ている。

-河川堤防の構造検討の手引き:平成14年7月 (国土技術研究センター)
 粘性土については、特別な条件(亀裂が多い等)がない
 限りは、飽和透水係数ksとして
 シルトを主体とする場合 ks=1×10⁻⁵ cm/s
 (=1×10⁻⁷ m/s)
 粘土を主体とする場合 ks=1×10⁻⁶ cm/s
 (=1×10⁻⁸ m/s)
 を設定しても良い。



ESR 改良土と在来盛土材は、①粒度特性で述べたように、粘性土と砂質土の中間的な材料であるため、一概に上記の目安値と比較はできないものの、各材料による築堤部の透水係数は、図 5-4-11 に示すように概ね1×10⁻⁷m/s 以下となっており、透水性は低い状態であると言える。

また、ESR 改良土の中部は、上・下部に比べて透水係数が1オーダー程度大きくなっている。 これは、強度特性と同様に、上・下部の締固め度に比べて中部がやや低い傾向であることから、 締固め度の僅かな違い影響しているものと推察される。

(5)浸水耐久性

浸水耐久性の評価は、堤体内部が大きく乾燥するような現象は殆どないと考えられるものの、 岩のスレーキング試験を準用し、不攪乱試料を利用して乾燥・浸水によって供試体に生じる細粒 化などの形状変化(スレーキング)を観察して、相対的な比較によって行った。また、在来盛土材 については、密度調整(現状の湿潤密度状態に調整)した試料を乾燥せずに浸水させた場合につい ても形状変化を観察した。図 5-4-12~14 に各試験結果を示す。

図 5-4-12 より、ESR 改良土(乾燥後浸水)は、乾燥しても亀裂は発生せず、その後 24 時間浸水 させたが、側面の肌落ちや細粒化するなどの変化は全く無く、スレーキングに強く形状維持特性 が極めて高い結果であった。また、前出表 5-4-3 に示したように、浸水 24 時間後の含水比は、 乾燥前の含水比(自然含水比)とほぼ同じである結果であった。これは、ESR 改良土は、固化作用 によって土粒子間結合力が強くなり、また大きな間隙が埋められて間隙が固定されるために、水 分の侵入(吸水)が固定された間隙部のみに限定され、長時間浸水しても含水比は元に戻る程度し か変化しないものと考えられる。

在来盛土材については、乾燥後に浸水した場合は、図 5-4-13 に示すように、乾燥による亀裂 はないものの、浸水直後から細粒化が激しく進行し、約 2 時間で殆どが泥状化する結果であっ た。また、浸水して泥状化後(約 2 時間後)に測定した含水比は、前出表 5-4-3 に示したように、 乾燥前の含水比(自然含水比)の約 4 倍近い含水比となっており、吸水性が非常に大きく、極端な 乾湿が繰り返された場合はスレーキングし易く形状維持特性が悪いことが解った。しかし、現状 と同じ湿潤密度状態で浸水した場合は、図 5-4-14 に示すように、浸水によって細粒化はするも のの、その進行は非常に遅く、24 時間浸水しても供試体高を確保しつつ芯部が残る状態であり、 形状維持特性は比較的良い結果であった。浸水 24 時間後の含水比についても前出表 5-4-3 に示 したように、乾燥前の含水比(自然含水比)の約 2 倍の含水比に留まっており、現状の湿潤密度状 態では浸水しても大きく吸水することはなく、スレーキングに対して比較的強い状態であると言 える。 ESR改良土上部(乾燥後水浸)













水浸開始6時間後 水浸開始24時間後

ESR改良土中部(乾燥後水浸)



乾燥前











水浸開始6時間後 水浸開始24時間後

ESR改良土下部(乾燥後水浸)





水浸開始30分後





乾燥前



水浸開始2時間後

水浸開始6時間後 水浸開始24時間後

在来盛土材上部(乾燥後水浸)



乾燥前









水浸開始30分後



水浸開始1時間40分後

在来盛土材中部(乾燥後水浸)



乾燥前



乾燥後

水浸開始4分後



水浸開始11分後



水浸開始30分後



水浸開始2時間後

在来盛土材下部(乾燥後水浸)



図 5-4-134 在来盛土材浸水崩壊度試験(スレーキング試験)結果(乾燥後浸水)

在来盛土材上部(湿潤状態のまま水浸) 水浸開始1時間後 水浸開始4時間後 水浸開始2時間後 水浸開始24時間後 浸水前 水浸開始4分後 水浸開始16分後 在来盛土材中部(湿潤状態のまま水浸) 水浸開始21分後 水浸開始4時間後 浸水前 水浸開始2分後 水浸開始1時間後 水浸開始2時間後 水浸開始24時間後 在来盛土材下部(湿潤状態のまま水浸) ----

図 5-4-14. 在来盛土材浸水崩壊度試験(スレーキング試験)結果(湿潤密度状態で浸水)

水浸開始1時間後

水浸開始2時間後

水浸開始4時間後

水浸開始24時間後

水浸開始23分後

浸水前

水浸開始6分後

6.まとめ

約3年前に河川堤防の構築に利用された ESR 工法による改良土と同時期に施工された在来盛 土材による築堤部の物理特性、強度特性、透水性、浸水耐久性について調査を行い、ESR 工法 による改良土の長期耐久性について検討した。以下にそれら結果をまとめる。

- ① ESR 改良土は、全体にセメント臭があり、砂質シルト~シルト質砂を主体としている。ミニラムサウンディング試験による推定 N値は、全体的に 3~10 前後が得られ、極端に小さい部分も確認できないことから、均質に施工されたことが伺われる。また、在来盛土材築堤の推定 N値(2~9 前後)よりも若干大きい結果であった。
- ② ESR 改良土にフェノールフタレイン試薬を散布した結果、深度 0.75m~4.74m 間で色調が 赤紫色に変化し、ボーリング結果から判断した改良土の範囲が妥当であることが裏付けられ た。また、コア試料の断面にも同試薬を散布した結果、コア芯部まで均一に色調が変化する ことが観察され、改良材の混合は均一であり、施工から約3年経過しても中性化していない 状況であることが確認できた。
- ③ ESR 改良土と在来盛土材の粒度特性は、細粒分と砂分の含有量に若干の違いはあるものの、いずれも粘性土と砂質土の中間的な材料であると評価される。また、各材料の粒度加積曲線は、河川土エマニュアルによる堤体材料の適性範囲にある@不透水性部材料の範囲内となり、堤体材料として良質な材料であることが確認できた。
- ④ ESR 改良土の締固め度 Dは約 89~94%、在来盛土材の Dは約 93~96%であり。各築堤部 共に、河川土工マニュアルによる平均締固め度(推奨値) D_{e} =90%がほぼ得られている。また、 何れの材料も含水比が w_{opt} と $w_{90\%}$ の間で得られており、空気間隙率も $V_{a} \leq 15\%$ であること から、良好な締固め状態が保持されていることが確認できた。
- ⑤ ESR 改良土のコーン指数は、 $q_c = 650 \sim 1025 \text{kN/m^2}$ であり、在来盛土材($q_c = 470 \sim 670 \text{kN/m^2}$)よりも大きく、第3種建設発生土に要求される $q_c \ge 400 \text{kN/m^2}$ 以上となっている。 また、三軸圧縮試験(uu)による $C_{uu} \ge \phi_{uu}$ も $q_c \ge 同様の傾向であり、平均的には ESR 改良 土の方が大きい結果であった。$
- ⑥ ESR 改良土と在来盛土材は、粘性土と砂質土の中間的な材料であるが、それらの透水係数 k は何れの材料も1×10⁻⁷m/s 以下であり、透水性は低い状態であることが確認できた。
- ⑦ ESR 改良土は、乾燥後 24 時間浸水させたが、細粒化するなどの変化は全く無く、スレーキングに強く形状維持特性が極めて高い結果であった。在来盛土材については、乾燥後に浸水させた場合は、スレーキングし易く形状維持特性が悪いことが解った。しかし、現状の湿潤密度状態で浸水した場合は、24 時間浸水しても供試体高を確保しつつ芯部が残る状態であり、形状維持特性は比較的良い結果であった。

以上のように、約3年前に築堤に利用された ESR 改良土と在来盛土材に対して各種試験を実施した結果、ESR 改良土の各物性は、在来盛土材と同等以上であることが確認された。特に、 浸水耐久性については、スレーキングに強く形状維持特性が極めて高いことが確認された。さら に、締固め特性や強度特性などは配合時(施工時)から大きく変わっておらず、良好な締固め状態 が保持されていることが確認された。

以 上