

ESR工法による安定処理土の長期耐久性

安定処理土，発生土，長期耐久性

(株)興和 国際会員 中野 義仁
新潟大学 国際会員 大川 秀雄
新潟県土質改良事業協同組合 伊藤 敏夫

1. はじめに

河川築堤工事では、現場で発生した軟弱土を有効利用するため、セメント系固化材などで安定処理し、築堤材に要求される品質に改良して利用されることが多い。このような安定処理土の長期的な物理特性や強度特性などは、室内で固化材を配合し、人工的に条件を変えて養生した試料による試験結果より多々検討されている^{1)~3)}。しかし、既設の安定処理土による築堤盛土から試料を採取し、長期的な性状を確認した例は少ない。

本稿は、同時期に施工され、施工から3~4年経過したESR工法(Ecologic on-site Plant System for Soil Restoration Method)⁴⁾による安定処理土と在来の良質土(在来盛土材)で構築された河川堤防より、乱れの少ない試料を採取して各種試験を行い、各材料の物理特性、強度特性、透水性および浸水耐久性について比較し、ESR工法⁴⁾による安定処理土の長期耐久性について検討した結果を報告するものである。

2. 調査地の概要と築堤材

調査地は、新潟平野を北流する信濃川中流域の平成20~21年に施工された既設左岸堤防であり、在来盛土材およびESR工法による築堤部は、河口からそれぞれ約30kmと約40kmの位置となる。各築堤部で利用された築堤材の土質特性を表-1に示す。同表のESR築堤部は、安定処理前の母材の特性を示している。ESR築堤部の母材は、近隣の河道掘削などで発生した現場発生土であり、建設発生土利用技術マニュアル⁵⁾による土質区分基準では泥土bに分類され、非常に軟質な材料であった。一方、在来盛土材築堤部で利用された盛土材は購入土であり、築堤材として良質な材料であった。

表-1.各築堤部の母材の土質特性

調査地	ESR築堤部	在来盛土材築堤部
母材の種類	現場発生土	購入土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.605 ~ 2.635	2.677 ~ 2.697
自然含水比 w_n (%)	32.1 ~ 44.3	19.1 ~ 19.9
礫分 (%)	0.3 ~ 3.2	4.5 ~ 7.0
砂分 (%)	28.1 ~ 40.1	71.9 ~ 77.7
粘土・シルト分 (%)	59.6 ~ 68.7	15.3 ~ 23.6
土質分類	砂質粘性土	細粒分質砂 ~ 礫混じり細粒分質砂
最大乾燥密度 d_{max} (g/cm ³)	1.521 ~ 1.626	1.744 ~ 1.785
最適含水比 w_{opt} (%)	17.8 ~ 20.1	15.1 ~ 18.0
室内コーン指数 q_c (kN/m ²)	46 ~ 63	1500以上 (貫入不能)
発生土区分	泥土b	第2b種

3. ESR工法と配合仕様

従来のバックホウやスタビライザーなどによる安定処理は、事前室内配合試験に対して混合率が低下する他、現場配合時において母材の含水比変化に応じた固化材添加量を細かく調整することが難しい。これに対し、ESR工法⁴⁾は効率的な配合とするため、事前配合試験で母材の含水比変化を考慮した配合仕様を決定し、それを基に日々品質管理を行いながら自走式土質改良機によって安定処理するものであり、事前調査から施工管理までを一貫して行う技術となっている。

ESR工法の配合仕様は、図-1に示す流れで決定している。なお、目標とする品質は、普通ブルドーザ(15t級)による施工であったことから、そのトラフィカビリティの確保と河川築堤に利用できる第3種建設発生土以上の品質となるようにコーン指数で規定し、JIS A 1228(締め固めた土のコーン指数試験)によるコーン指数(室内 q_c) 625kN/m²、現場コーン指数(現場 q_c) 500kN/m²とした。また、固化材は事前配合試験の比較検討結果からセメント系固化材(一般軟弱土用)を用いており、その添加量は含水比管理を実施しながら調整した結果 35~79kg/m³であった。

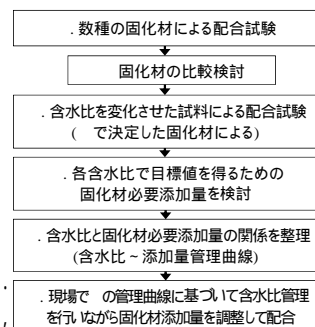


図-1.ESR 配合仕様決定の流れ

4. 調査結果

4.1 ポーリング・サウンディング結果

図-2に各築堤部の土層横断面を示す。図中の推定N値は、ミニラムサウンディング試験による結果である。ESR改良土は、ポーリングコア観察より、深度0.75~4.74m間が安定処理土と判断され、施工図と同様であった。また、在来盛土材築堤部の購入土による本体部も深度0.47~5.50m間と判断され、施工図と同様であった。推定N値については、ESR改良土で3~10前後(平均6.2)、在来盛土材で2~9前後(平均5.1)であり、ほぼ同等の結果であった。

図-3は、ESR築堤部から採取したポーリングコアにフェノールフタレイン試薬を散布した結果である。同図より、試薬散布によるコア試料の色調変化は深度0.75~4.74mで確認され、コア観察から判断されたESR改良土区間と同様であった。また、コア断面にも試薬を散布した結果、コア芯部まで均一に色調変化し、混合状態が均一で中性化していない状態であることが確認された。

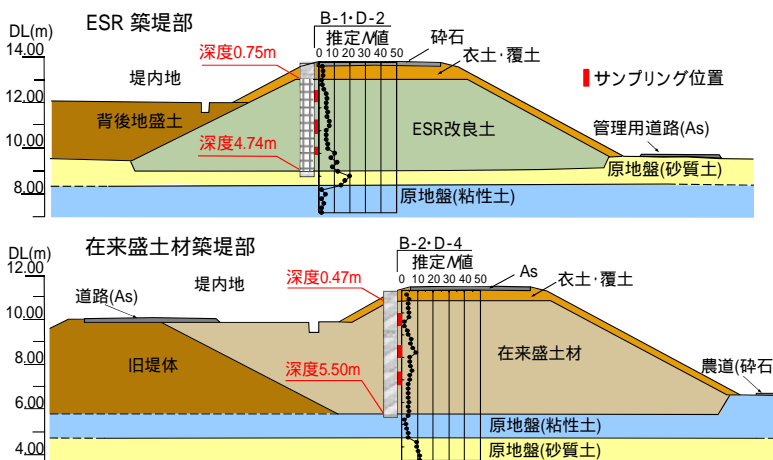


図-2.各築堤部の土層横断面

“Long-term durability of stabilized soil by ESR method.” Nakano Yoshihito (Kowa Co.,Ltd.), Ohkawa Hideo (Niigata University), Itou Toshio (Niigata soil quality improvement association).

4.2 室内試験結果

図-2 に示した各築堤部の上・中・下部でサンプリングした試料による粒度試験結果を図-4 に示す。図中には、河川堤防やフィルダム材料の部材別の適用範囲⁶⁾も示している。ESR 改良土と在来盛材の粒度組成はほぼ同様で A 不透水性材料の範囲にあり、築堤材として良好な粒度組成であることが確認された。

図-5(a)と(b)に、コア試料を利用した締固め試験とサンプリング試料による乾燥密度から評価した締固め度 D と含水比の深度分布を示す。同図(a)には締固め度の施工管理基準値も併示している。ESR 築堤部と在来盛土材築堤部の平均 D は、それぞれ 91.6%と 94.5%であり、施工管理基準値より大きく、良好な締固め状態が保持されている結果であった。また、各部の自然含水比 w_n は、最適含水比 w_{opt} ~ 湿潤側の 90%最大乾燥密度時の含水比 $w_{90\%}$ の範囲にあり、含水状態も良好であることが確認された。

図-5(c)と(d)は、コア試料を利用した JIS A 1228 による室内 q_c とサンプリング試料を利用した三軸圧縮試験(3u)によるせん断強さ C_u と q_c 10 C_u の関係から評価した現場 q_c の深度分布である。同図には ESR 改良土に対する q_c の各目標値も併示している。同図(c)より、在来盛土材に対する q_c の規定はないものの、各材料の室内 q_c は、第3種建設発生土に要求される q_c (400kN/m²)より大きく、ESR 改良土については目標値以上となっていることも確認された。また、ESR 改良土の現場 q_c についても同図(d)に示すように、目標値以上となっている結果であった。

図-5(e)は、サンプリング試料による透水試験から得た透水係数 k の深度分布である。各材料の k は、ESR 改良土中部の k が他の試料に比べ約 1 オーダー大きいものの、全体には概ね $k=5 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-7}$ m/s の範囲にあり、透水性は低く、河川堤防の構造検討の手引き⁷⁾でシルトを主体とする材料である場合の k の目安値(1×10^{-7} m/s)以下となっている状況であった。

図-6 は、サンプリング試料による浸水試験結果であり、浸水前・乾燥後・浸水 24 時間後の状態を示している。なお、在来盛土材は乾燥せずに不攪乱の状態でも浸水しているが、ESR 改良土は乾燥による影響も調べるため、乾燥後に浸水している。同図(a)より、ESR 改良土は乾燥後および浸水 24 時間後も形状に変化はなく、乾燥および浸水耐久性に優れていることがわかった。一方、在来盛土材は浸水完了後約 40 分位から側面が崩壊し始めるものの、その進行は緩慢であり、同図(b)のように 24 時間浸水しても供試体高さを確保しつつ芯部が残る状態であった。さらに、その崩壊角度は約 1:0.75 であり、現堤防はそれよりも緩い法面勾配(1:2)で構築されていることから、在来盛土材築堤部も浸水に対して安全な状態であると考えられる。

5. まとめ

軟弱土を ESR 工法で安定処理した材料による築堤部の各土質特性は、在来盛土材による築堤部と同等以上であり、各材料による築堤部は施工から 3~4 年経過した時点でも締固め特性や強度特性は管理基準値や目標値より大きく、良好な締固め状態が保持されていることがわかった。さらに、ESR 工法による安定処理土は、浸水時形状維持特性が極めて高いことがわかった。謝辞

本調査は、河川管理者である国土交通省北陸地方整備局河川部、同信濃川下流河川事務所、同信濃川下流河川事務所三条出張所にご了解を頂いて実施した。また、調査期間中は、多々ご配慮を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献: 1)澤・友久・神田(2005):河川堤体材料の浸水時の形状維持特性と耐浸食性に関する研究。明石工業高等専門学校研究紀要 第 48 号, pp. 37~44. 2)友久・澤・内藤・黒田・中川(2006):河川築堤材料の強度特性に関する研究。明石工業高等専門学校研究紀要 第 49 号, pp. 68~75. 3)中村・北詰(2006):セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験。港湾空港技術研究所資料, No.1128. 4)伊藤・帆苺・平方(2007):自走式土質改良機による土質改良技術(ESR 工法)。建設の施工企画, No.689, pp. 37~41. 5)土木研究所(2004):建設発生土利用技術マニュアル 第 3 版, pp.27~30. 6)国土技術研究センター(2009):河川土工マニュアル, pp. 62~70. 7)国土技術研究センター(2012):河川堤防の構造検討の手引き(改訂版), p50.

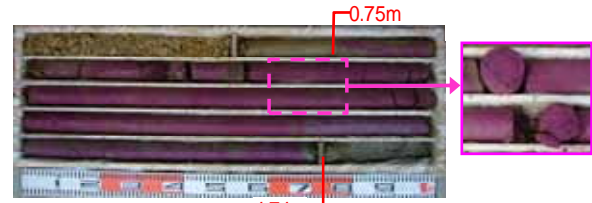


図-3.コア試料のフェーノールフトライン試薬による色調変化

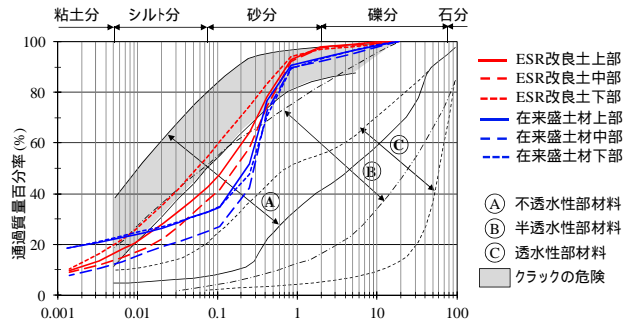


図-4.粒度試験結果

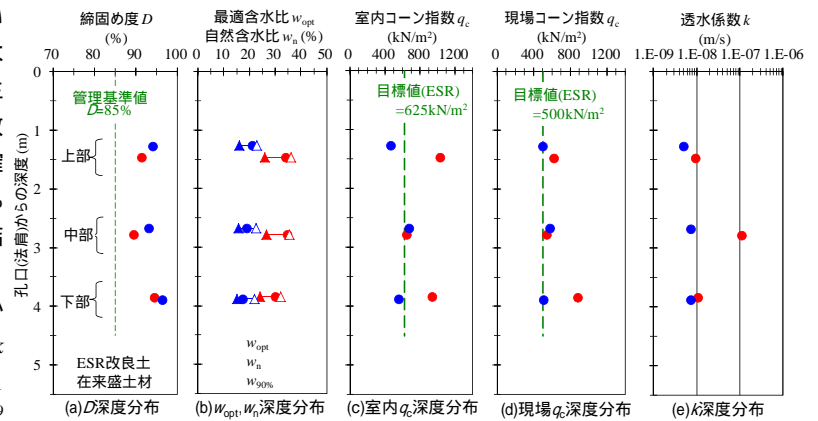


図-5.締固め度, 含水比, コーン指数, 透水係数深度分布



(a) ESR築堤部(上部)



(b) 在来盛土材築堤部(中部)

図-6.浸水試験結果