

堺2区(北泊地)海域環境改善実験事業における 盛土にカルシア改質土を活用した実験施工について

鶴ヶ崎 和博¹・今野 光夫²

¹東洋建設(株) 総合技術研究所 鳴尾研究所 (〒663-8142兵庫県西宮市鳴尾浜1-25-1)

²東洋建設(株) 大阪本店 土木部 (〒541-0043大阪市中央区高麗橋4-1-1 興銀ビル7F)

カルシア改質土は鉄鋼スラグのうち転炉系製鋼スラグを成分管理、粒度調整したカルシア系改質材と浚渫土との混合土である。今回、大阪湾臨海部の堺浜において人工海浜の基盤材としてカルシア改質土を活用した実験施工が行われた。施工法としては管中混合固化処理工法が採用された。施工の結果、排出土は事前の室内配合実験と同等の性状を示し、空気圧送により改良土は適切に混練されていた。また施工中のpHや濁度なども目標基準値未満に抑制できた。施工後のコーン貫入試験や沈下測定の結果、改質土は目標以上の強度発現を示すとともに、不等沈下なども認められず、安定した海浜基盤が形成されていることがわかった。

キーワード 製鋼スラグ、浚渫土、カルシア改質土、管中混合固化処理工法

1. はじめに

大阪湾の臨海部に位置する堺浜は商業施設や大規模先端工場の集積など、新たな臨海拠点としての整備が進められている。ただ、これらの用地で囲まれた泊地は、かつて航路として利用されていたことから水深が深く窪地形状になっており、海水の交換が少ないため水質は悪化している状況である。そこで堺市建築都市局では人工海浜を造成することにより海域の水環境の改善を図るとともに、市民が憩える親水空間の創出に取り組んでいる。この海浜造成には浚渫土砂の利用が予定されているが、安定性や沈下、波浪に対する形状維持等が課題となった。そこで、今回これらの課題に対処するため、人工海浜の底部基盤材の一部にカルシア改質土を活用した実験施工が行われた。図-1に施工位置を示す。



図-1 施工位置 (大阪府堺市堺浜)

2. 施工内容

(1) 概要

カルシア改質土(以下:改質土)は鉄鋼スラグのうち転炉系製鋼スラグを成分管理、粒度調整したカルシア系改質材(以下:改質材)と浚渫土との混合土である。混合により浚渫土の強度改善、硫化水素やリン酸およびスラグ中の高アルカリ水の溶出抑制効果等が期待される。今回は近畿地方整備局発注の大阪港主航路の浚渫工事で発生した浚渫土を使用した。施工は事前の練混ぜを特に必要とせず、大規模・急速施工に対応可能な空気圧送による管中混合固化処理工法¹⁾を採用し、海浜部に隣接する護岸側道脇に施工機械・設備を配置するとともに直径100mm、延長約100mの圧送管を敷設し、海浜底部へ改質土を投入した。図-2に施工フローを示すとともに、施工設備の配置および改質土投入エリアを示す。施工中は改質土の含水比・密度、フロー値等の品質管理を行うとともに周辺海域のpH、濁度等に関するモニタリングを行った。また施工後は沈下測定および電気式コーン貫入試験による地盤調査を実施し、人工海浜の基盤材としてのカルシア改質土の適用性を確認した。

(2) 投入材料の特性および配合実験

実験施工では合計200m³の改質土を、図-2に示す5ヶ所の干満帯エリアと常時水没エリアに投入した。浚渫土および干満帯エリア1で用いた改質土の特性を表-1に示す。浚渫土は大阪港主航路の浚渫工事で発生したシルト・粘

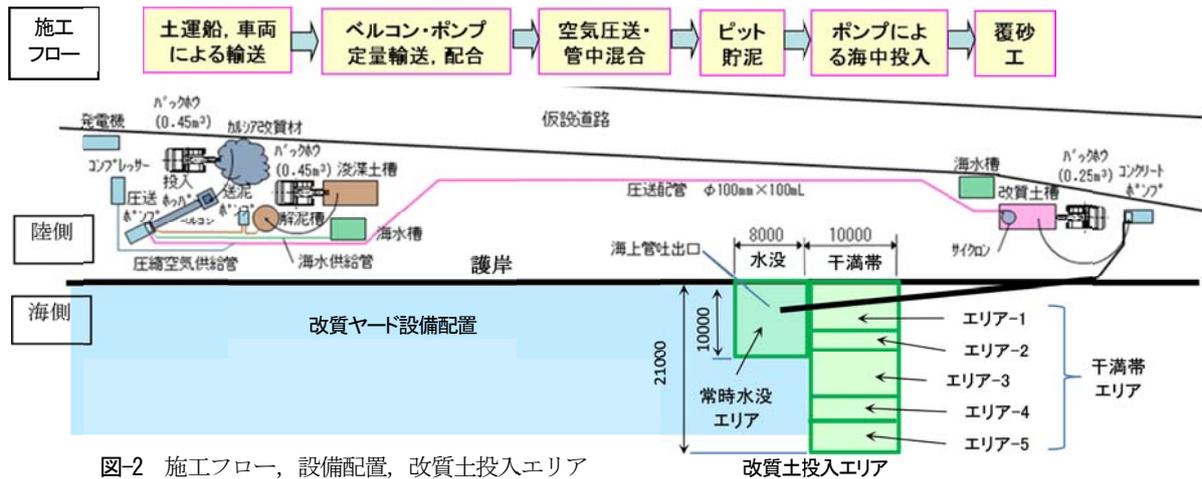


図-2 施工フロー, 設備配置, 改質土投入エリア

土分を主体とする軟弱な土砂であった。一方、改質材は粒径25mm以下を使用した。浚渫土の初期含水比および改質材の混合比率を変化させた配合試験結果を表-2に示す。空気圧送工で目標とする混合土の特性は、直径80mm×高さ80mmのシリンダーフロー試験値を90mm以上、一軸圧縮強度 q_u を材齢28日で100kN/m²以上（現地換算28日コーン指数 q_c が400kN/m²以上に相当）とした。表-2より両条件を満足するのはケース1およびケース3となったが、実際の施工では浚渫土の基準含水比を1.5WL（≒190%；WLは液性限界の含水比）を目安とし、浚渫土と改質材の配合比は実質体積比で7：3とした。

表-1 浚渫土および改質材の物性

| | 浚渫土 | 改質材 | |
|----------------------------|------------|-------|-------|
| 土粒子密度 (g/cm ³) | 2.652 | 3.225 | |
| 含水比 (%) | 185.21 | 5.17 | |
| 液性限界 (%) | 123.63 | | |
| 塑性限界 (%) | 32.89 | | |
| 強熱減量 (%) | 13.508 | | |
| 粒度 | 粗礫分 (%) | 0.00 | 0.76 |
| | 中礫分 (%) | 0.00 | 50.84 |
| | 細礫分 (%) | 0.00 | 20.50 |
| | 粗砂分 (%) | 0.43 | 8.33 |
| | 中砂分 (%) | 2.12 | 7.27 |
| | 細砂分 (%) | 3.40 | 6.12 |
| | シルト分 (%) | 75.48 | |
| | 粘土分 (%) | 18.57 | 6.18 |
| | 最大粒径 (mm) | 2.000 | 26.5 |
| | 均等係数 U_c | 21.25 | 39.41 |
| 曲率係数 U_c' | 8.26 | 4.25 | |

(3)施工状況

解泥された浚渫土とベルトコンベアで定量輸送された改質材は圧送ポンプのホッパー内で合流し（写真-1）、その後、空気圧送管内を輸送・混合され、減勢装置（サイクロン：写真-2）を経て、改質土槽へと排出される。このとき土槽内の混合土に対して品質調査を行い、必要に応じて含水比調整のための加水や改質材の供給量を調整した。なお含水比調整用の加水は既往の圧送実験結果²⁾を参考に、空気圧送中での混練が可能であるものとして、圧送直前のポンプホッパー内に直接行った。その後、混合土は海側の圧送ポンプへと積み替えた後に海底に打設した。なお、海底打設時には混合土の水中分離及び濁りの拡散を避けるために、配管先端を泥面内へ貫入させて打設した。

表-2 事前配合試験結果

| ケース | 初期含水比 (液性限界 W_L 比) | 配合比 (浚渫土:改質材) | フロー値 (mm) | q_u (kN/m ²) 28日養生 |
|------|----------------------|---------------|-----------|----------------------------------|
| ケース1 | 1.5 | 7:3 | 90 | 163.71 |
| ケース2 | 1.8 | 7:3 | 116 | 73.59 |
| ケース3 | 1.8 | 6:4 | 99 | 158.37 |
| ケース4 | 2.1 | 6:4 | 131.5 | 75.12 |



写真-1 圧送ポンプホッパー

写真-2 サイクロン

3. 圧送結果

(1) 圧送時の管内圧力

圧送時の排出量は時間あたり約10m³とし、圧送時には図-3に示す位置での管内の圧力計測を行った。図-4は投入部圧力計からの距離と管内圧力の関係を示している。同図より、一様な勾配で圧力は分布しており、平均圧力勾配は3程度を示した。図-5は圧力勾配と排出土のフロ

ー値の関係である。フロー値が大きくなるにつれ圧力勾配が低下する傾向を示した。この圧力勾配については管中混合固化処理工において、フロー値、管径や流量といった諸量との関係で整理されており¹⁾、今後同様の調査およびデータの蓄積により、プラント構成を検討する際の重要な指標になるものと考えられる。

(2) 排出土の性状

サイクロンからの排出土の性状を表-3に示す。表-2と比較して同等のフロー値や一軸圧縮強度となり、空気圧

送により混合土は適切に混練されたものと評価できる。

4. 投入時の水質調査

改質土の水中投入時に周辺海域の水質調査を行った。

図-6に調査位置を示す。泊地内に3測線を取り、施工位置から100m離れた地点を監視地点、延長線上にさらに500m離れた地点を対照地点 (BG) として上層 (海面から0.5m下) と下層 (海底から0.5m上) の2深度で調査した。調査は投入期間中の毎日午後1回実施した。管理基準値としてはpHが8.6未満、濁度はSS値に換算してBG地点との差が10mg/l未満とされた。改質土投入期間中の計測結果を図-7, 8に示す。いずれも上層の結果のみとするが、施工期間中において基準値を超えるような値は計測されなかった。下層についても同様の結果であった。

5. 施工後の調査

図-2の施工フローに示したように、改質土投入後に覆砂を行って、施工は完了した (写真-3, 4)。施工後にコーン貫入試験および沈下計測を行った。

(1) コーン貫入試験

改質土投入後の4週目にコーン貫入試験を行った。調査区域は干満帯エリア-1~5である。貫入位置を図-8に、改質土の推定層厚を表-4に示す。また写真-5, 6に装置、試験状況を示す。試験は各エリアにおいて、覆砂前に設置した沈下板兼用の鋼管を利用して実施した。図-9に試験結果を示す。試験は基本的には想定される層厚までの貫入としたが、コーン指数が継続して3000kN/m²以上、あるいは下部の堆積層への貫入と見られる急激な低下を示した場合には試験を終了した。図中の点線は28日基準強度の $q_c=400\text{kN/m}^2$ を示す。図より基準値を超えており、養生期間中の十分な強度発現が認められる。

(2) 沈下計測

覆砂完了 (改質土投入約2週目後) 2週間後の各エリアの沈下計測結果を表-5に示す。期間中の沈下量は約1cm前後であった。改質土の投入層厚や覆砂層厚などの差は

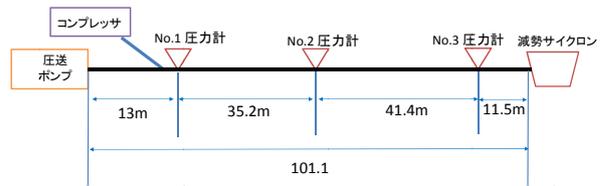


図-3 配管圧力の計測位置

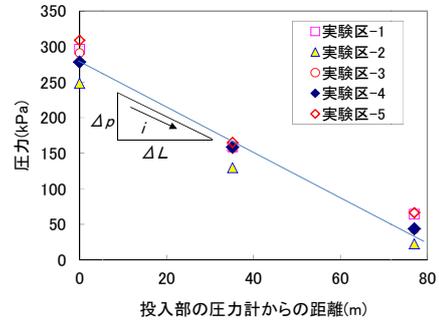


図-4 各計測位置の平均圧力と圧力勾配

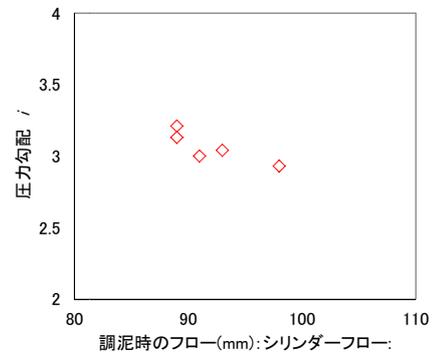


図-5 排出土のフローと圧力勾配

表-3 排出土の性状

| 調査項目 | 排出土 |
|--------------------------------|--------|
| 含水比(%) | 45.20 |
| フロー値(mm) | 91 |
| 湿潤密度(g/cm ³) | 1.969 |
| 28日 q_c (kN/m ²) | 190.83 |

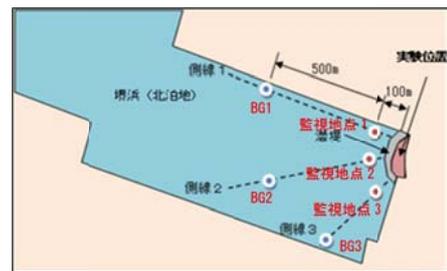


図-6 水質調査位置

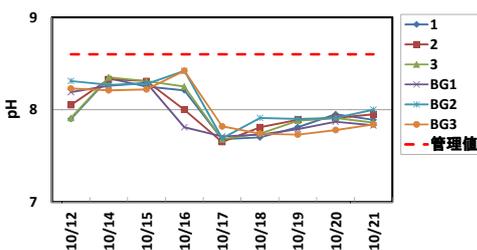


図-7 pH計測結果

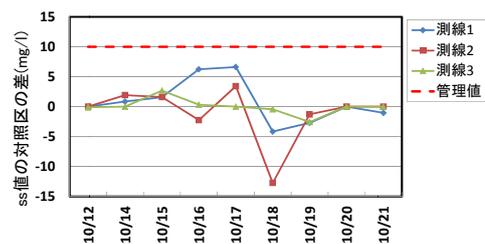


図-8 SS計測結果



写真-3 改質土投入後の覆砂工



写真-4 覆砂工完了後



写真-5 コーン装置



写真-6 試験状況

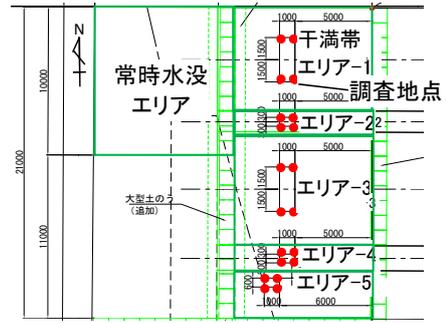


図-8 コーン試験位置 (沈下計測兼用)

表-4 投入改質土の推定層厚

| エリア-1 | | エリア-3 | | エリア-4 | エリア-5 |
|----------|--------|--------|----------|----------|----------|
| 北側 | 南側 | 北側 | 南側 | 0.8-1m | 0.4-0.5m |
| 0.6-0.7m | 1-1.1m | 0.9-1m | 1.2-1.3m | 1.3-1.4m | |

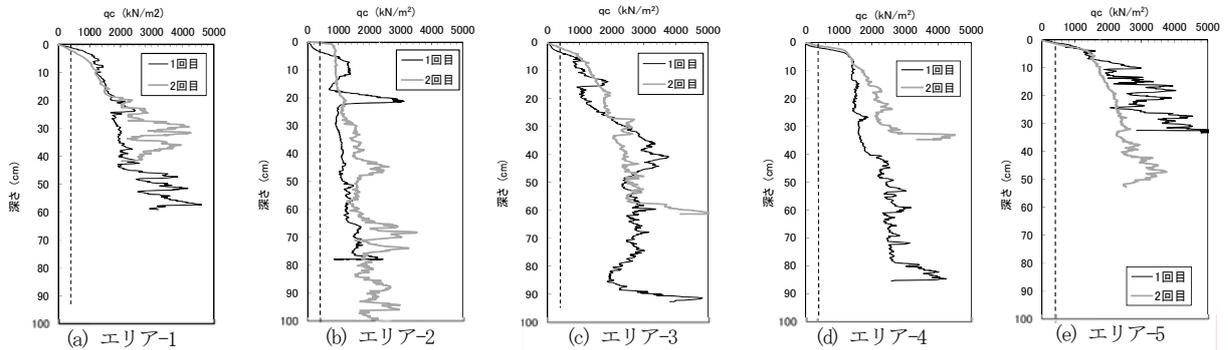


図-9 コーン貫入試験結果 (改質土投入後 28 日後) 点線は基準値 $q_c=400\text{kN/m}^2$

表-5 沈下計測結果

| 測点 | 2012/11/5 | 2012/11/19 | 期間中の沈下 (m) | |
|-------|-----------|------------|------------|-------|
| エリア-1 | 北-東 | 1.748 | 1.742 | 0.006 |
| | 北-西 | 1.728 | 1.722 | 0.006 |
| | 南-東 | 1.771 | 1.751 | 0.020 |
| | 南-西 | 1.636 | 1.629 | 0.007 |
| エリア-2 | 北-東 | 1.686 | 1.678 | 0.008 |
| | 北-西 | 1.600 | 1.586 | 0.014 |
| | 南-東 | 1.712 | 1.705 | 0.007 |
| エリア-3 | 南-西 | 1.612 | 1.603 | 0.009 |
| | 北-東 | 1.929 | 1.921 | 0.008 |
| | 北-西 | 1.760 | 1.752 | 0.008 |
| | 南-東 | 1.853 | 1.844 | 0.009 |
| エリア-4 | 南-西 | 1.647 | 1.637 | 0.010 |
| | 北-東 | 1.666 | 1.657 | 0.009 |
| | 北-西 | 1.308 | 1.298 | 0.009 |
| | 南-東 | 1.691 | 1.678 | 0.013 |
| エリア-5 | 南-西 | 1.357 | 1.347 | 0.010 |
| | 北-東 | 1.459 | 1.446 | 0.013 |
| | 北-西 | 1.390 | 1.381 | 0.009 |
| | 南-東 | 1.632 | 1.623 | 0.009 |
| | 南-西 | 1.573 | 1.564 | 0.009 |

あったものの不等沈下などは見受けられなかった。

5. まとめと今後の課題

人工海浜の基盤材としてのカルシア改質土の適用性に関する実験施工を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) 管中混合方式によって圧送された改質土は、事前の室内配合実験で確認されたフロー値や湿潤密度等を満たしており、管内で適切に混練され、バラツキの少ない安定した改質土が作製されたことを確認した。
- 2) 水中投入時のモニタリング結果からpHや濁度は基準値以下であった。
- 3) 施工後に電気式コーン貫入試験および沈下計測を行った結果、目標強度を十分満足するとともに改質土地盤の過大な沈下や不等沈下などは見受けられず、カルシア改質土の海浜基盤材としての適用性を確認した。

現在、大阪湾環境再生研究・国際人材育成コンソーシアム (CIFER) によるモニタリングが継続中である。今後、カルシア改質土を干潟や浅場造成材として適用する場合の地盤の安定性や環境改善効果および生物生息活動等について詳細に検証される予定である。

謝辞：本実験施工は、(一社) 日本鉄鋼連盟から発注さ

れた業務成果の一部をとりまとめたものです。堺市建築都市局、鉄鋼連盟、工事関係者およびカルシア改質土研究会の方々に多大なるご指導とご協力をいただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) (財) 沿岸技術研究センター：管中混合固化処理工法技術マニュアル (改訂版)，平成20年7月。
- 2) 鶴ヶ崎他：カルシア改質土の空気圧送実験，土木学会第67回年次学術講演会講演概要集，VI-292，2012