

## 第23回 国土技術開発賞 入賞

カルシア改質土の  
土運船混合管理システム

〔受賞者〕 東洋建設株式会社

〔本稿執筆者〕 和田 眞郷  
わだ まさと

以下に、第23回 国土技術開発賞で入賞した「カルシア改質土の土運船混合管理システム」を紹介します。

## 1. はじめに

コンテナ船やクルーズ船の大型化は近年の国際的な動向であり、これらに対応するため、航路や泊地の整備が積極的に実施されている。しかし、航路や泊地の整備においては、土砂処分用地がなく、また、これらの新規造成が困難な場合が多い。そのため、航路浚渫や泊地浚渫で発生した土砂（以下、「浚渫土」という）をカルシア改質土に改良し、浅場造成や防波堤などの強靱化のため、盛土材適用などへ有効利用されている<sup>1)</sup>。

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改質材と浚渫土を混合したものである。近年、技術マニュアル<sup>2)</sup>なども整備されて、埋立用材として港湾工事などで活用されている。

本稿では、カルシア改質土製造による施工の効率化、品質の均一化を図るため、「カルシア改質土の土運船混合管理システム」を用いた施工を行った適用事例を紹介する。

## 2. カルシア改質土

カルシア改質土とは、浚渫土と転炉系製鋼スラグを原料とするカルシア改質材との混合土である。高含水比でシルト・粘土などの細粒分を多く含む浚渫土と、カルシウムなどの水和固化成分を含むカルシア改質材を混合することにより、浚渫土の含水比低減や粒度改善、水中投入時における濁り低減、材齢時間とともに増加する強度発現性、赤潮や青潮に対する底質浄化機能など、さまざまな効能を有した土砂に改善される。

写真-1に各材料の混合状況と水中投入時の濁り抑制の効果について示す。

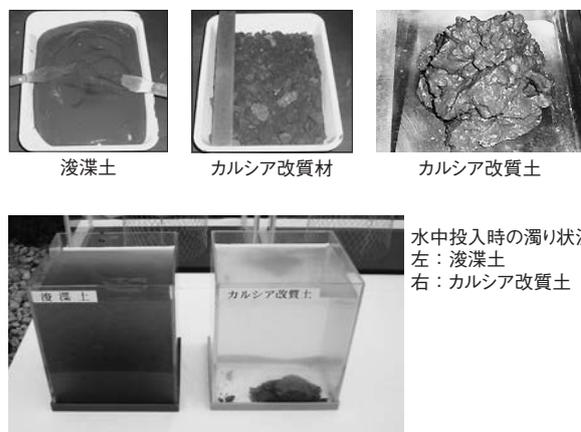


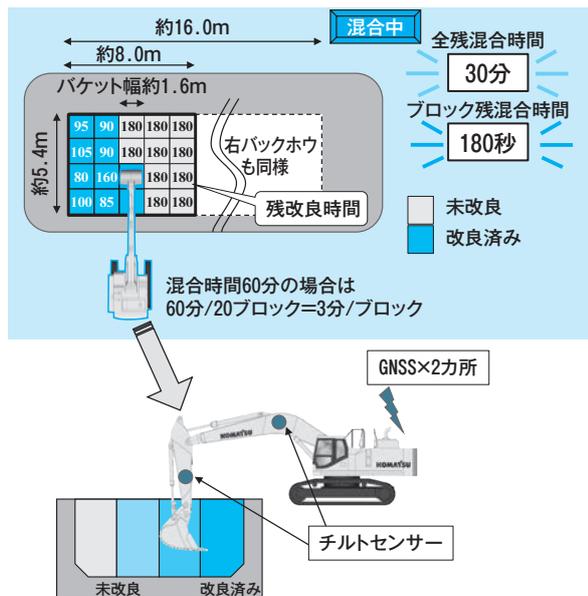
写真-1 カルシア改質土

### 3. システムの概要

カルシア改質土の混合方法として、連続式ミキサー混合工法、管中混合工法、バックホウ混合工法、落下混合工法等があげられ、「カルシア改質土の土運船混合管理システム」は、そのうちのバックホウ混合工法に着目したものである。

当工法は、土運船泥倉内に投入された浚渫土にカルシア改質材を投入し、バックホウにて均一になるまで攪拌混合する工法である。これまでバックホウによる混合攪拌や攪拌時間の設定は、作業指示者やオペレーターの判断で行われていたため、未改良部分の発生や混合不足等が生じる可能性があり、改質土のばらつきや攪拌時間が長くなる等の課題があった。

当システムは、カルシア改質土を製造する混合プロセスにおいて、オペレーターの熟練度によらず短時間で土運船泥倉内の土砂を均一に混合することを目的に構築された。図-1に示すように、バックホウに「マシンガイダンスシステム (GNSS 2カ所、チルトセンサーをアーム2カ所)」を装備してICT化し、泥倉内を複数のブロックに分割し、バケット刃先の位置と混合残時間の履歴を



※実際のモニター上では、未混合は黄、改良済みは赤で表示されています。

図-1 土運船混合管理システム概要図

ブロックごとに色別してモニターに表示することで、泥倉内全体を均質に混合できるシステムである。

例えば、泥倉全体を60分混合する場合、バックホウ1台当たりの施工エリアを20ブロックに分割すると、1ブロック当たりの混合時間は3分(180秒)となる。オペレーターはモニター上でバケット位置を確認しながら、未混合の状態(黄色)から混合済みの状態(赤)に変わるまで「可視化」によって混合状況を把握できる。そのため、オペレーターの技量やヒューマンエラーによる未改良部分や混合不足等が生じることなく、確実な混合作業が可能となる。

### 4. 適用事例

#### (1) 工事概要

当システムを函館港若松地区-10m泊地浚渫工事に適用した。函館港では、大型クルーズ船の寄港を目的とした港湾整備が進められており、港内の泊地などの整備が現在進行中である。

図-2に函館港における施工概要を示す。函館港若松地区の泊地整備において発生した浚渫土は北ふ頭岸壁まで運搬され、土運船内においてカルシア改質材を投入後、バックホウにより攪拌・混合を行う。その後、西防波堤背後の盛土を施工するものである。

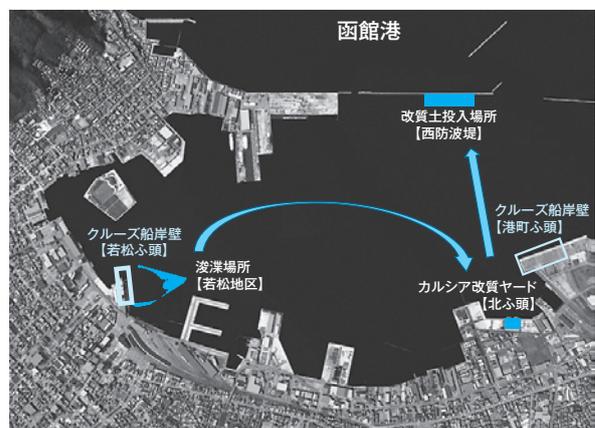


図-2 函館港での施工箇所概要

(2) 室内配合試験

施工時における浚渫土とカルシア改質土の混合比率を決定するために、室内での配合試験を実施した。

カルシア改質土の設計基準強度は 25 kN/m<sup>2</sup>(室内配合強度 66 kN/m<sup>2</sup>) と設定され、当初の浚渫土に対するカルシア改質材の容積混合率は 20% と予定されていた。室内配合試験の結果、浚渫土の含水比が 1.1 WL (WL：液性限界) 以下であれば、カルシア改質材容積混合率 20% の配合で目標強度を達するものと評価された。

しかし、浚渫土の含水比が 1.1 WL を超過する場合は目標室内強度を満足しなかったため、容積混合率は 30% が必要となった。容積混合率 30% の場合、コストが高くなること、改質土容量が増加し浚渫土の処分量が減少すること、発現強度には十分な余裕があることなどから、より経済的な配合を目標に容積混合率を低減することを検討した。種々の条件で行った室内配合試験結果から、含水比に応じたカルシア改質土の容積混合率を表-1 に示すとおりに決定した。

表-1 カルシア改質材の容積混合率

浚渫土の含水比範囲	カルシア改質土の容積混合率
1.1 WL 以下	20%
1.1 ~ 1.5 WL	22%
1.5 ~ 1.8 WL	25%

(3) カルシア改質土の混合プロセス

当工事の浚渫土は含水比が比較的小さく、土運船内の浚渫土には粘土のかたまりや浚渫区域表層部に堆積している有機物が含まれていた。加えて、浚渫時に土砂と一緒に積み込んだ余水が上水として溜まっていた。このままカルシア改質材を投入すると、改質土のばらつきや攪拌時間が長くなる可能性があった。そこで、混合時間短縮、混合品質の一様性をより高めるため、カルシア改質土混合の施工手順の見直しを行った。

図-3 にカルシア改質土の施工フローを示す。

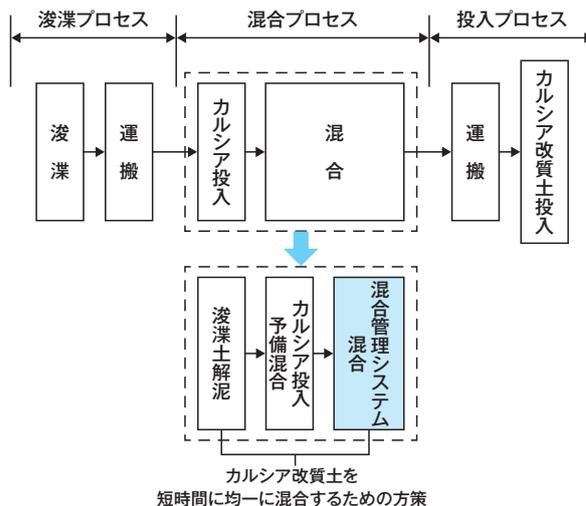


図-3 カルシア改質土の施工フロー



写真-2 バックホウ先端の混合装置

まずは土運船内の土砂を均一にし、改良時の品質のばらつき低減と正確な浚渫土の含水比を把握するために、カルシア改質材投入前に浚渫土のみをバックホウで混合する解泥を行った。解泥はバックホウにスタビライザーなど(写真-2)の混合装置を装着し実施する。

解泥時間は、浚渫土の状態や上水の量により異なるが、おおよそ 15 ~ 20 分程度を目安とした。解泥が十分であるかの確認は目視で行い、カルシア改質材投入前に土運船の 3 カ所から試料を採取し、含水比試験にばらつきがないことを確認した。その後、含水比試験の結果から表-1 の容積混合率に基づき必要量のカルシア改質材を投入し、2 台のバックホウによりカルシアの混合を行った。解泥およびカルシア混合の実施状況を写真-3 に示す。



写真-3 解泥とカルシア混合の状況

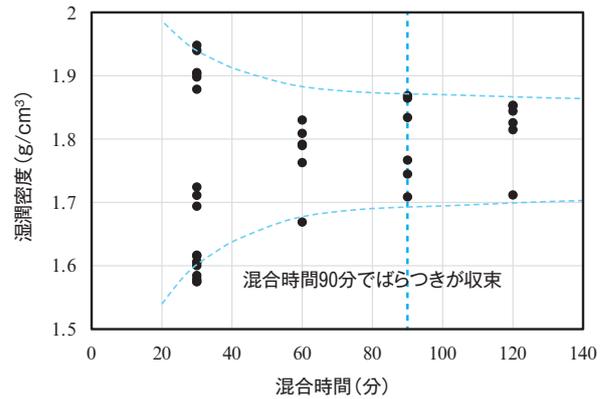
#### (4) システム導入による効果

バックホウ混合時の重要な管理項目は均一性であり、これは混合時間により管理することができる。バックホウ混合工法における当システム導入前の試験施工において、土運船内にカルシア改質材を投入後、混合時間ごと(30, 60, 90, 120分)に土運船内6カ所から試料を採取して湿潤密度を計測し、カルシア改質土の密度のばらつきが収束する混合時間を調査した。

図-4は、試験施工における混合時間と湿潤密度の関係を示したもので、湿潤密度データのばらつきは混合時間の経過とともに小さくなり、混合時間90分でばらつきの収束を確認し、施工における混合時間を90分に設定した。

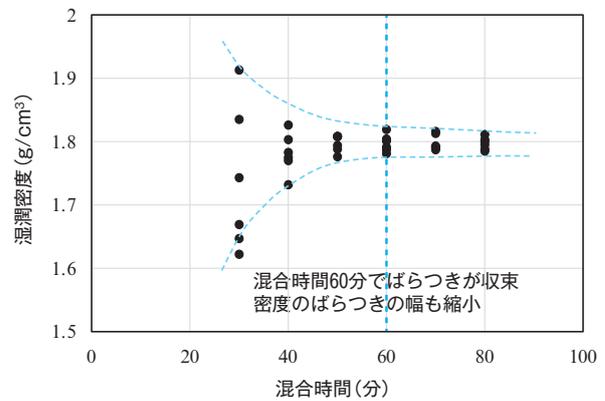
当システムを導入後、同様にカルシア改質土の湿潤密度の混合時間ごと(30, 40, 50, 60, 70, 80分)の変化を計測したところ、図-5に示す混合時間と湿潤密度の関係が得られ、湿潤密度のばらつきはシステム適用前と比べて小さく、混合時間も30分短い60分でばらつきが収束する結果となった。

本施工において混合時間は60分に設定され、土運船混合管理システムの有効性を確認し、施工効率の向上が図られた。さらに、湿潤密度のばらつきも低減できることから、含水比に応じたカルシア改質材の容積混合率を含水比に応じて変化させても、改良品質を高いレベルで維持することができることを確認した。



混合時間(分)	30	60	90	120
平均(g/cm³)	1.720	1.776	1.798	1.817
標準偏差	0.142	0.052	0.061	0.049
変動係数(%)	8.3	2.9	3.4	2.7

図-4 混合時間と湿潤密度の関係(システム適用前)



混合時間(分)	30	40	50	60	70	80
平均(g/cm³)	1.738	1.782	1.797	1.797	1.798	1.797
標準偏差	0.105	0.029	0.012	0.013	0.012	0.009
変動係数(%)	6.1	1.6	0.7	0.7	0.6	0.5

図-5 混合時間と湿潤密度の関係(システム適用後)

#### (5) 品質管理試験

カルシア改質土の品質管理として、混合完了後土運船ごとに湿潤密度およびフロー値を測定し、基準値内であることを確認した。また、1日1回供試体を採取し標準養生(20℃)を行い、一軸圧縮試験(σ7, σ14, σ28)を実施し、強度の確認を行った。

図-6に期間中、潜堤下部に投入されたカルシア改質土の一軸圧縮強度(σ28)の分布を示す。目標強度66 kN/m²に対して平均値は99.9 kN/m²となった。全89供試体を実施し78供試体が室内配合強度を上回り、11供試体(12.4%)が不良で

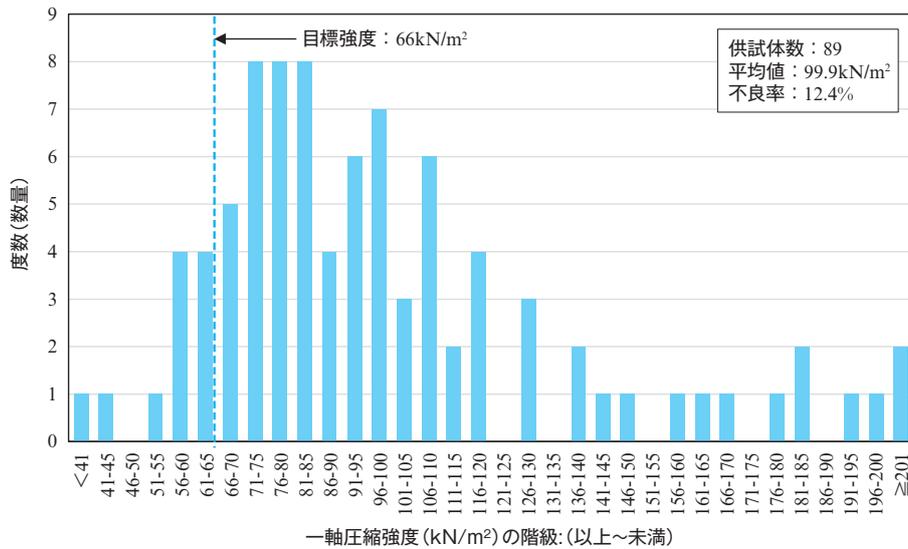


図-6 投入改質土の28日強度

あった。当初室内配合強度には25%の不良率が考慮されていたことから、設定値内であったと評価でき、当システムの導入で混合品質も良好であることを確認した。

本施工では、目標強度を満足する最も経済的な容積混合率での施工が要求事項であり、結果として、不良率12.4%の不良で収まり、非常に経済的な容積混合率にて施工を行い、浚渫土の処分量も確保できた。

## 5. おわりに

「カルシア改質土の土運船混合管理システム」の導入により、カルシア改質土の湿潤密度のばら

つきの抑制、混合時間の短縮を実現し、オペレーターの熟練度によらず安定した品質のカルシア改質土を製造することができるようになった。熟練技術者の高齢化に対応したICT技術による熟練技術の継承に役立ち、生産性向上の一助となればと思っている。

最後に、当システムの開発および施工に関係された多くの方々に謝意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 国土交通省 港湾局, 航空局: 港湾・空港等整備におけるリサイクルガイドライン, 2015。
- 2) 一般財団法人沿岸技術研究センター: 港湾・空港・海岸等におけるカルシア改質土利用技術マニュアル, 2017。