

# 名古屋港ケーソン中詰材の改質施工 プレミックス船工法

常世田 勝己・野村 浩・坂本 暁紀

名古屋港高潮防波堤は、伊勢湾台風被害を教訓に建設された。建設から、約50年が経過し、ケーソンの老朽化に加えて、南海トラフ巨大地震時に沈下するなどの防護機能の低下が懸念されている。これらの問題に対応するため、平成24年度より高潮防波堤の改良工事が開始された。改良工事は、防波堤の基礎となるケーソン内の中詰材を撤去し、固化処理して再度埋め戻す方法が採用された。

本報告では、中詰材の固化処理に対応するために改造したプレミックス船の概要とその施工概要について報告する。

キーワード：名古屋港、高潮防波堤、ケーソン、中詰材、固化処理、プレミックス船工法

## 1. はじめに

名古屋港の高潮防波堤（図-1）は、昭和34年に来襲した伊勢湾台風被害を契機に建設され、昭和39年に完成した。高潮防波堤は、建設から約50年が経過した現在も、伊勢湾台風級の大型台風に対する防護機能としての役割を果たしている。



図-1 名古屋港高潮防波堤位置

しかしながら、2011年に発生した東日本大震災を契機に津波被害軽減の重要性が改めて認識されるなど、高潮防波堤に期待される役割は、大きく変化してきている。

このような現状を踏まえ、名古屋港では、発生頻度の高い地震が起こった場合にも、従来の高潮防波堤機

能を維持し、津波を越流させないように見直しが行われ、平成24年度より高潮防波堤の改良工事が開始された<sup>1)</sup>。

改良工事では、防波堤本体の耐波性維持、向上を図るため、上部工嵩上げに先立ち、老朽化したケーソンの補強として、中詰材の固化処理工法が採用された。中詰材を固化処理することで、ケーソンの底版や側壁が破損しても中詰材は流出しないため、より粘り強い防護効果が期待できる。

中詰材の固化処理には、プレミックス船工法（以下「本工法」という）(Plant Mixing Vessel-Method)が採用された。本工法は、細砂や粘性土などの軟弱土を専用船を用いて固化処理し、裏埋め材等として有効活用する工法である。

本報告では、中詰材を安定的に固化処理するために行ったプレミックス船（以下「本専用船」という）の改造内容とその施工実績について報告する。

## 2. 本工法の概要

### (1) 工法概要

本工法は、揚土、固化処理、打設の一連作業を専用船により行う工法である。主に対象となる原料土は浚渫粘性土であり、現在までに浚渫土のリサイクル工法として数多くの施工実績がある。

本工法の専用船には、混合方式によりバッチ式と連続式の2種類があり、今回使用した本専用船は、400 m<sup>3</sup>/h級のバッチ式専用船である。

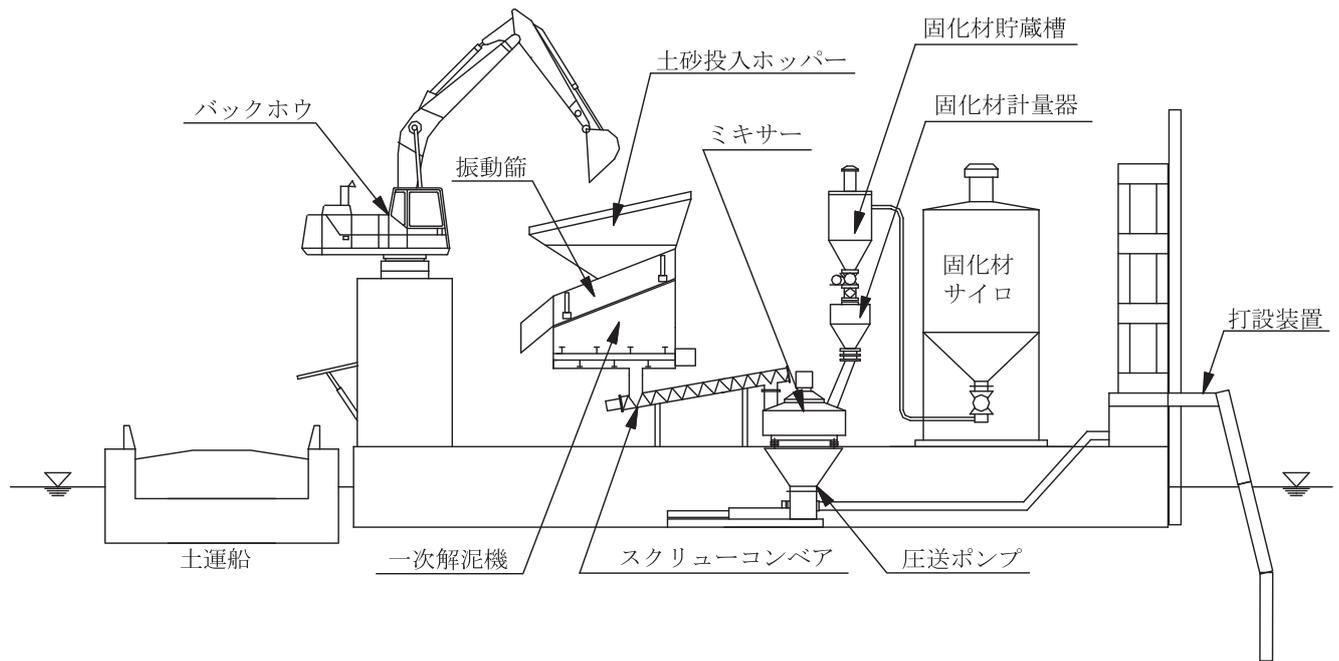


図-2 システムフロー（粘性土）

図-2に本専用船のシステムフロー（粘性土）を示す。バックホウで揚土した土砂は、ホッパーに投入し、振動篩にて障害となる石や木材を除去する。振動篩を通過した土砂は、一次解泥機にて均質になるよう攪拌混合し、スクリューコンベアによって所定量をミキサーに供給する。ミキサーでは、固化材（粉体）および海水を所定量計量して投入し、混合完了の後に排出する。こうして製造した固化処理土は、ピストン式圧送ポンプにて、所定の位置に打設する。

## (2) 本工法の特徴

本工法の特徴を以下に示す<sup>2)</sup>。

- ・ 浚渫粘性土の場合で、300～400 m<sup>3</sup>/hの能力で固化処理可能である。
- ・ 処理設備が1隻の作業船で完結しており、比較的狭い海域での施工が可能である。
- ・ 固化処理土はポンプ圧送が可能で締め固めを要しない。
- ・ 固化処理土の流動性や強度は、用途に応じて任意に設定可能である。

## 3. 工事概要

### (1) 工事概要

工事名：平成24年度名古屋港外港地区防波堤（鍋田堤）改良工事

発注者：国土交通省 中部地方整備局

工期：自 平成25年2月27日

至 平成26年1月31日迄

工事場所：名古屋港 高潮防波堤（鍋田堤）

工事数量：鍋田堤31函（改質土量：約16,500 m<sup>3</sup>）

### (2) 中詰材改質工の概要

鍋田堤ケーソン断面の一例を図-3に示す。1函当たりの中詰材改質量は最大約560 m<sup>3</sup>である。内部は、隔壁により、6区画の隔壁がある。

中詰材の改質工は、ケーソン内の中詰材を水中サンドポンプで一時撤去し、プレミックス船で固化処理して、ケーソン隔室内へ打設することで行う。固化処理土を打設する時には、ケーソンの安定性を確保するためのバラスト水があり、水位を管理しながら打設する必要がある。

また、施工時は、ケーソンから中詰材を撤去した状態となるため、高潮防波堤の本来の機能を考慮すれば、中詰材の固化処理は、出来るだけ早急かつ安定的に行うことが望まれる。

### (3) 中詰材の性状

中詰材の粒度試験結果を図-4に示す。中詰材は、粒径2 mm以上が約50%を占める礫質砂である。細粒分（粘土、シルト、細砂）については、数%以下と著しく少ないため、そのままでは材料分離が激しく、ポンプ圧送可能な流動性を確保するのは難しい性状である。

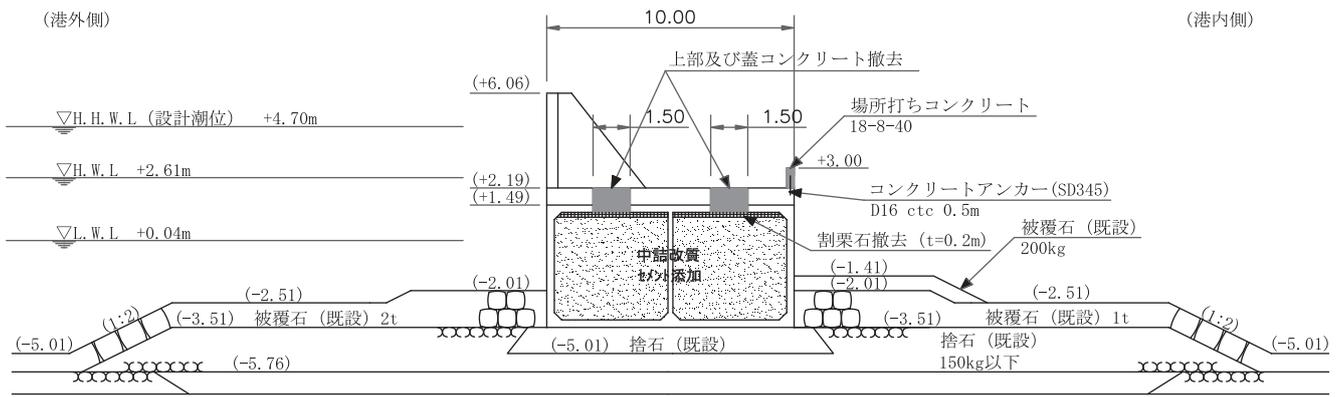


図-3 ケーソン標準断面

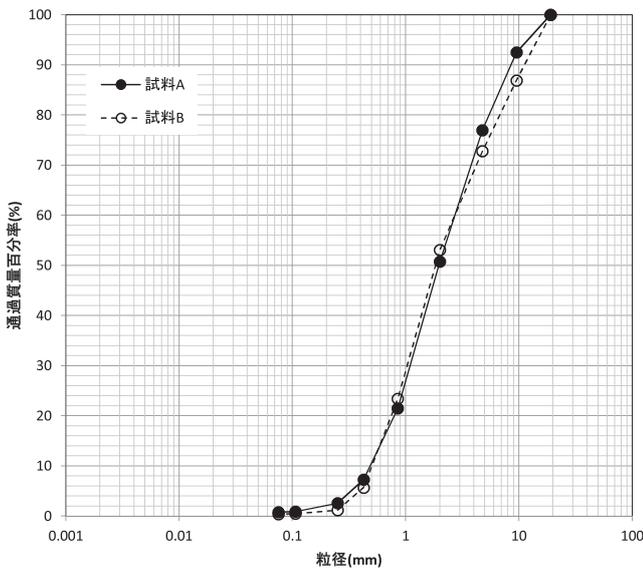


図-4 中詰材の粒度試験結果

る方法で実施した。事前配合試験の結果、表-1に示す標準配合を設定した。標準的なセメント添加量を  $600 \text{ kg/m}^3$  とすることで、所定の強度と施工可能なシンリンダーフロー 150 mm~200 mm (JHS A 313) が確保可能とされた。

#### 4. 本専用船の改造

##### (1) 本工法の適用に当たっての課題

###### ①機械負荷が大きく安定稼働が望めない

本専用船で中詰材を固化処理する場合、粘性土よりも比重や摩擦が大きいことや、取扱時の性状が大きく異なることから、従来設備のままでは、施工能力が著しく低下したり、過負荷により機器が停止したりするなどのトラブルが予想される。

特に、一次解泥機は、粘性土の処理を前提とした設備であるため、中詰材の処理を考えた場合、砂分が圧縮されて供給不能になることや、スクリーが過負荷により停止するなどの問題が想定された(写真-1)。

###### ②固化材添加量が多く硬化が早い

通常、埋立工事等で設定される固化材添加量は、概ね  $60 \sim 100 \text{ kg/m}^3$  が多い ( $qu_{28} = 200 \text{ kN/m}^2$  以下程度)。このような場合、配管内に残留した固化処理土

#### (4) 配合計画

中詰材を使用した固化処理土の配合設定では、必要な現場強度 ( $qu_{28} = 5 \text{ N/mm}^2$ ) と、ポンプ圧送可能で材料分離しない流動性を同時に確保することが求められる。加えて、サンドポンプで撤去した中詰材からは、細粒分がさらに失われることも考慮する必要がある。

こうしたことから、事前配合試験は、施工環境を再現した細粒分の無い中詰材を用い、細粒分をセメントで補うことで材料分離しない粘性と目標強度を確保す

表-1 標準配合

混合材料		水 W	単位 セメント量	中詰砂 G	流動化剤
単位重量 ( $\text{kg/m}^3$ )	絶乾状態	339	600	1,254	1.50
	飽和状態	25	600	1,568	1.50
1 $\text{m}^3$ 当たり体積		0.024	0.197	0.779	

※実施工では、ケーソン毎の中詰材の細粒分含有量に応じてセメント量を修正した現場配合を設定した。



写真-1 一次解泥機

は、半日程度以内であれば、閉塞することなくポンプ圧送を再開できる。

しかし、今回の固化材添加量は、 $600 \text{ kg/m}^3$ と非常に大きな値が設定されており、初期強度の発現が非常に早く、配管閉塞のリスクが大きいことが予想された。

室内実験で確認した初期強度は、混練後5時間で $q_u = 100 \sim 200 \text{ kN/m}^2$ であり、シリンダーフロー値は、混練り直後16 cmの場合で、1時間後には9 cmまで低減することが確認された。

これらのことから、配管が閉塞することなく、ポンプ圧送可能な施工時の中断時間は、概ね1時間～2時間以内であると推定された。

## (2) 処理設備の改造

### ①改造に当たっての要件

今回、改造するに当たって以下の要件を考慮した。

- ・土質は、レキ分50%以上でも安定的に処理可能な設備とする。
- ・処理能力は1日1函程度（最大約 $560 \text{ m}^3/\text{h}$ ）を施工できる能力として、 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上を確保する。
- ・配管閉塞のリスクを回避するため、信頼性の高い設備とする。
- ・バックホウのリーチ制限を考慮し、投入位置の変更は行わない。
- ・既存の設備をできるだけ有効利用し、改造にかかる費用および工期を圧縮する。
- ・改造前後で必要動力が大幅に変動しない。

### ②設備の構成

中詰材を安定的に処理でき、かつ、信頼性の高い設備とするため、中詰材の供給装置には、振動フィーダーを採用した（表—2、写真—2）。振動フィーダーは、比較的薄形なため省スペースで設置でき、構造が簡易なため作動時の信頼性が高いことが、大きなメリットである。振動フィーダーで切り出した中詰材は、既設のスクリーコンベアを介してミキサーに投入することとして、費用と工期の圧縮を図った。改造は、一次解泥機を撤去して、振動フィーダーと換装する方法で行った。

表—2 振動フィーダーの緒元

振動モータ	3.7 kW × 2
振動数	1,000 回 / min (50 Hz)
振幅	10 mm / 回
設計吐出量	306 $\text{m}^3/\text{h}$ (最大)



写真—2 搭載した振動フィーダー

### ③制御方法の見直し

振動フィーダーで切り出した中詰材は、スクリーコンベアでミキサーに投入する方式を採用した。粘性土の場合、スクリーコンベア内には、常時、粘性土が充填された状態であり、供給量の調整は、スクリーコンベアの発停によって行う。しかし、中詰材で同様の供給方式とすると、スクリーコンベアに掛る負荷が大きく、損耗が激しくなることが想定される。

そこで、中詰材の供給量は、振動フィーダーをインバーター制御で可変可能とし、さらに、スクリーコンベアと発停を連動することで、スクリーコンベア内に必要以上の中詰材が残存しないようにした。

## 5. 実施工への適用

### (1) 施工条件

中詰材改質工の施工に当たっては、ケーソン側壁、隔壁の損傷防止、固化処理土の充填性を考慮して、以下の項目について仕様書規定がある。

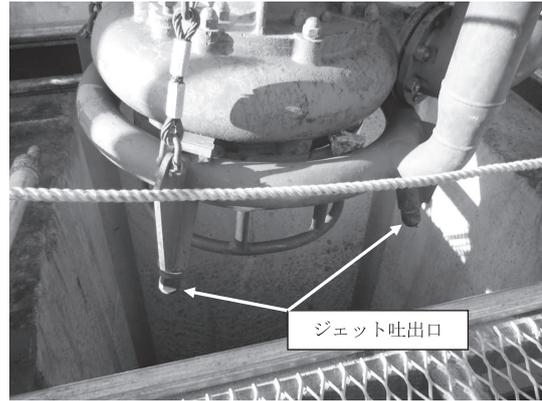
- ①中詰材および、固化処理土の隣接する隔壁の高低差は3 m以内とする。
- ②バラスト水は、ケーソン満水位の1 m以内を確保する。
- ③バラスト水は、現場内で循環利用する。
- ④ケーソン上端から1 mの範囲は、充填性向上のためバラスト水など不純物を除去し、ドライな状態で、流動化剤を添加し隔壁内の隅々まで充填させる。

### (2) 中詰材撤去

中詰材の撤去は、専用架台に設置したサンドポンプ6台（写真—3）により、6梃／函を同時に吸引・撤去し（写真—4）、高低差が生じないようにした。吸引・撤去した中詰材は、隔壁と角落しを犠牲した土運船に積込み、中詰材と余水を効率良く分離回収すること



写真—3 中詰材撤去設備



写真—5 ジェット吐出口



写真—4 中詰材の積込状況

で、含泥率の低い余水をバラスト水として循環させた。また、サンドポンプ先端には、余水を利用してジェット水を吐出し、効率的に吸引できるようにした(写真—5)。

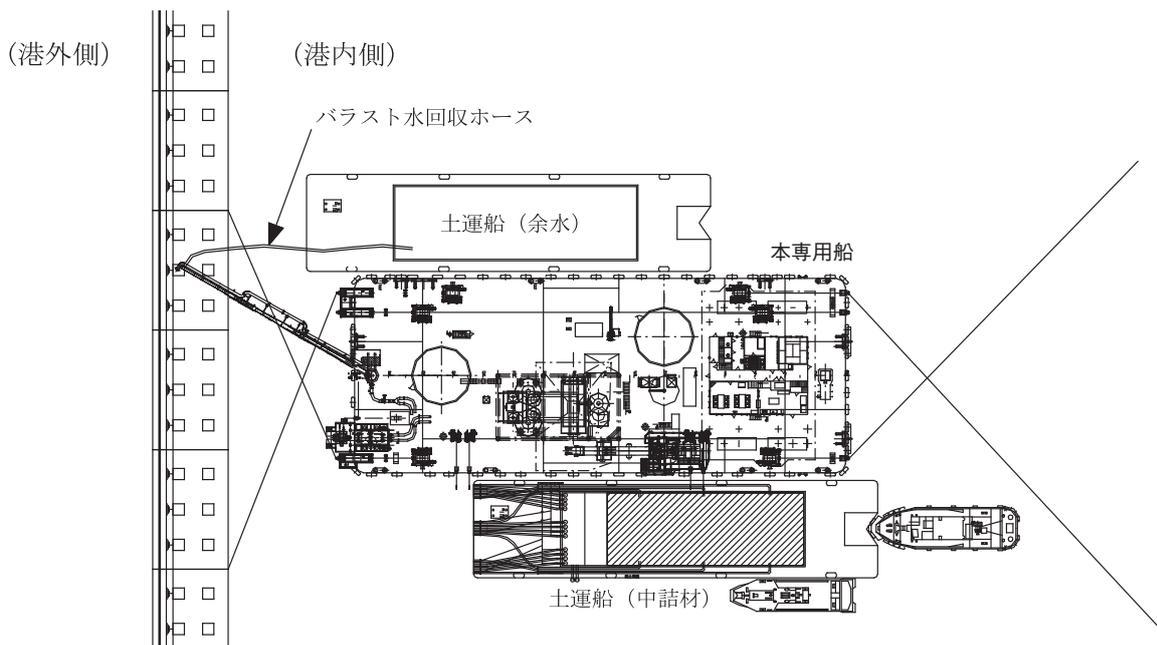
(3) 固化処理土の打設

本専用船の船団配置を図—5に示す。船団は、本専用船と中詰材を運搬する土運船、打設に伴って発生する余剰バラスト水を回収するための土運船で構成される。

バックホウで揚土した中詰材は(写真—6)、振動フィーダーとスクリーンコンベアを介して、所定の重量となるようにミキサー(写真—7)に投入し、別途計量したセメントを投入して混合し、固化処理土を作製した。バッチ式ミキサーでの製造量は、1バッチ当たり1.5 m<sup>3</sup>とした。

作製した固化処理土は、適時、ミキサーから試料を採取して、シリンダーフロー試験を行い、所定の流動性が確保されていることを確認しながら施工した。

作製した固化処理土は、ピストン式圧送ポンプにてディストリビューターを介して隔室内に打設した(写



図—5 施工状況図



写真一六 中詰材の揚土状況



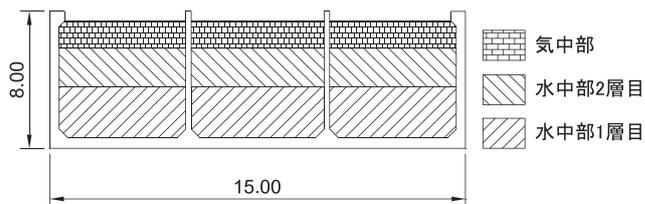
写真一七 ミキサー攪拌翼



写真一八 ディストリビューターによる打設状況



写真一九 打設完了



図一六 打設割り付け図



写真一〇 バラスト水位調整

真一8,9)。打設は、図一六に示す3層に分割して行った。固化処理土の打設に伴って生じる余剰バラスト水は、水中ポンプで土運船に回収して適切な水位となるように管理した(写真一〇)。

また、施工時の現場配合は、ケーソン毎の中詰材の細粒分含有量のばらつきに応じて、セメント添加量を修正して設定した。中詰材の細粒分含有量は、土運船内の中詰材を採取し、簡易的なふるい分け試験によって測定した。本船は、バッチ式本専用船であり、固化処理土の品質確保のために行う現場配合の修正や、打設量の微調整に伴う製造量の変更を即座に適用でき、固化処理土の製造ロスを最小限に抑制することが可能であった。

## 6. 施工結果

### (1) 施工能力

当初目標とした1函/日の施工を概ね達成することができた。換装した振動フィーダーは、構造が簡易で信頼性も高く、安定した施工能力の確保に大きく貢献した。

また、中詰材はサンドポンプで撤去したことから、性状が比較的安定しており、圧送に支障をきたすような障害物がなかったことも安定稼働に寄与した。

### (2) 固化処理土の流動性

施工中に測定した固化処理土のシリンダーフローは、流動化剤が無い場合で約18cm、気中部での充填

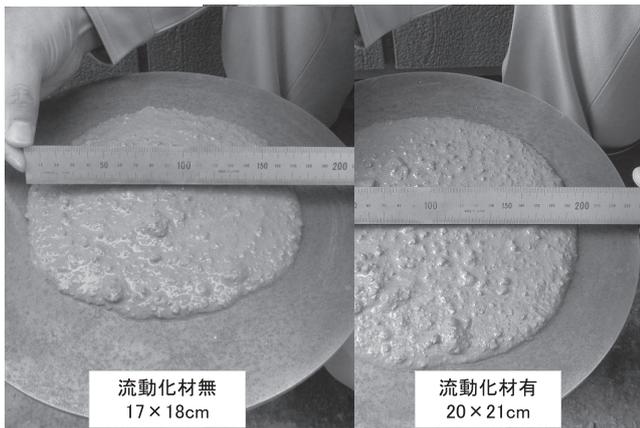


写真-11 固化処理土のシリンダーフロー（測定例）

性を高めるために流動化剤を添加した場合で約 20 cm 程度を確保することが可能であった。

### (3) 清掃・摩耗対策時間の確保

今回のセメント添加量  $600 \text{ kg/m}^3$  という配合は、予想以上に、ミキサー等の機械部品に固化処理土が付着し、硬化が進んでいた。このため、通常施工と比較して、施工終了後の清掃に時間を要した。

また、配管の曲がり部などの摩耗は想像以上に早く、計画的に補修作業を行う必要があった。

## 7. おわりに

本報告では、従来、適用が難しいとされた礫質砂に対応するために改造した本専用船「第57扇栄」の概要とその施工実績について紹介した。振動フィーダの採用により、中詰材の安定供給が可能となり、セメントで細粒分を補うことで材料分離を抑制し、施工可能な流動性を確保した。

今回の改造が、将来、プレミックス船の適用土質を拡大していく上での一つのモデルケースとなり、今後の同工法の更なる発展に寄与できれば幸いである。

最後に、本船による名古屋港の高潮防波堤改良工事は、本稿で紹介した鍋田堤をはじめとして、知多堤にも採用頂いた。高潮防波堤改良工事の完成の暁には、万一の災害時に期待通りの防護機能が果たされることを切に願っている。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 菊地洋二, 廣瀬紀一, 佐藤 誠, 横田 勉: 名古屋港高潮防波堤の防護機能と沈下対策について, 沿岸技術研究センター論文集 No.10, pp17-20, 2010年
- 2) プレミックス船工法協会: プレミックス船工法 技術資料 第1版, pp1-2, 2104年1月

### 【筆者紹介】



常世田 勝己 (とこよだ かつみ)  
りんかい日産建設(株)  
名古屋支店 土木部  
主事



野村 浩 (のむら ひろし)  
㈱小島組  
工事部



坂本 暁紀 (さかもと あきのり)  
信幸建設(株)  
東日本支社 統括工事部 機電工事部  
部長