

# 粘り強く効果を発揮する「高潮防波堤」の改良工事 ～南海トラフ巨大地震に備える～

太田一之<sup>1</sup>・森下倫明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中部地方整備局 名古屋港湾事務所 保全課（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）

<sup>2</sup>中部地方整備局 名古屋港湾事務所 沿岸防災対策室（〒455-0045 名古屋市港区築地町2番地）

名古屋港高潮防波堤では、今後発生すると想定されている南海トラフ地震等の大規模地震及びその後に来襲する高潮・津波に備えるため、平成25年度よりケーソン補強（セメント混合による中詰砂改質）を開始した。事前調査の結果、中詰砂の粒度が様々であったため、室内配合試験で決定する一定のセメント混合量では中詰改質材の材料分離が発生する等の問題が判明したが、幾多の試験を実施した結果、中詰砂の粒度とセメント混合量に相関性があることが分かったことから、この相関性を用いて、中詰砂の粒度状況から必要セメント混合量を求める簡易方法を検討し、現地工事で採用した。

キーワード：防波堤改良、粘り強い防波堤、中詰砂のセメント改質

## 1. はじめに

名古屋港高潮防波堤は、昭和34年の伊勢湾台風直を契機に昭和39年に築堤された（写真-1）。築堤から約50年が経過しており、施設の老朽化が非常に著しい状況である（図-1）。

また、現状のままでは、南海トラフ地震等の大規模地震発生時に地盤の液状化による沈下が発生し、その沈下した状況下で、伊勢湾台風クラスの高潮や南海トラフ地震等の大規模地震後の津波が来襲した場合、防波堤を越流し、被害は甚大になると考えられている（図-1）。

そうした背景から、当事務所では、老朽化した高潮防波堤の再生・機能強化に関する取り組みを開始している。具体的には、①大規模地震による防波堤沈下後でも高潮・津波に対して必要高を確保するための上部コンクリートの嵩上げ、②防波堤本体が嵩上げに伴う荷重の増加に耐えるようにするためのケーソン補強、③経年劣化の著しい箇所の老朽化対策（断面補修）、④捨石の洗掘防止対策を実施している（図-2）。

現地では、平成25年度から大規模なケーソン補強（セメント混合による中詰砂改質）を着手している。本報告では、全国初となる大規模な既設防波堤ケーソンの中詰砂改質施工及び工事内で検討した中詰砂改質の新たな品質管理方法について紹介するものである。



写真-1 伊勢湾台風の被害（左）と建設中の高潮防波堤（右）

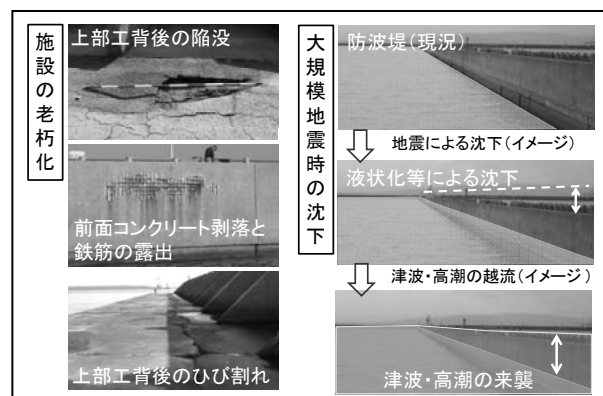


図-1 現状の高潮防波堤の課題（老朽化と地震後の沈下）

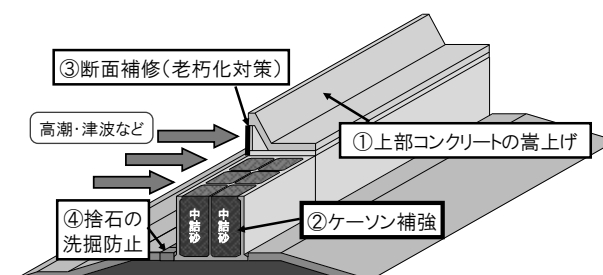


図-2 高潮防波堤改良のイメージ（標準部）

## 2. 中詰砂改質の施工方法

ケーソン補強は、施工の確実性や経済性等の要因により、一旦、中詰砂を全て撤去し、船上にて中詰砂をセメント改質する方法を採用し、補強に求める性能は、上部コンクリートの嵩上げに伴う荷重等の増加により、ケーソン側壁や底板が損傷し、中詰砂が流出しないことを目的とする強度(5N/mm<sup>2</sup>)とした。

中詰砂改質を行うためには、まず中詰砂をすべて撤去する必要があるが、その前段として、上部コンクリートに開口部を設ける必要があり、コアボーリング削孔やワイヤーソーイング切断により1.5m四方の開口部を設けた(写真-2 ①)。

次に開口部から大型水中サンドポンプにより中詰砂を土運船内に吸い上げ、一旦仮置き、中詰砂に含まれる含水比を一定の割合にするための調整を行う(写真-2 ②)。なお、ケーソン内に中詰砂が無くなるとケーソンが軽くなり安定しないため、撤去する砂と同量の水(バラスト水という)を同時にケーソン内に注入する必要がある。

その後、中詰砂を土運船からバックホウですくい、プラント船でセメントと水と混合し、言わばモルタルのような中詰改質材を造成し、再びケーソン内にコンクリートポンプで打設するという方法で実施する(写真-2 ③)。

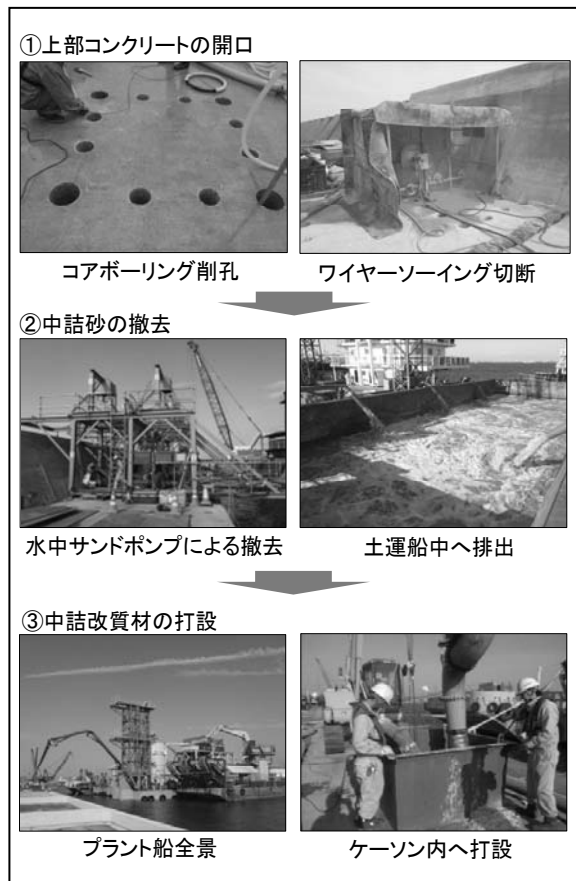


写真-2 中詰砂改質の施工方法

## 3. 中詰砂改質の新たな品質管理方法

### (1) 中詰砂の材質

中詰改質材の品質を決めるうえで、中詰砂の材質(粒度)は非常に重要な要素である。元々ケーソン内に入っていた中詰砂は、防波堤建設当時の資料によると、SCP砂相当の材料が使用されていた。SCPに使用する砂は細粒分(シルト~粘土)の含有量が僅かであると言われているが、各防波堤(鍋田堤、中央堤西側・東側、知多堤)で採取した中詰砂を調査した結果、それぞれの粒度が異なっており、更に、一般的なコンクリート用砂(標準粒度)に比べて、細粒分含有量が僅かであったため、セメント粒子が砂の間隙から抜けやすく、材料分離が発生しやすい材質であった(図-3)。

また、水中サンドポンプによる施工は、粒径が小さく沈降速度の遅い細粒分は土運船内に堆積しにくく、バラスト水内を浮遊することが想定される。そのため、水中サンドポンプ施工により、微少な細粒分が更に減少することを想定しておく必要があった。

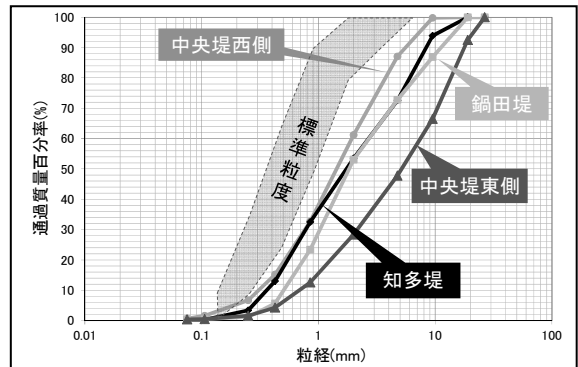


図-3 各防波堤で採取された中詰砂の粒度分布(抜粋)

### (2) 施工上の前提条件

所定強度を発現させるためには、施工中にセメントと砂の分離を起こさせないことが重要である。そのため、打設ポンプの管内圧送を可能とする品質が必要であり、文献をもとにフロー値150~210mmの場合、管内で材料分離が発生せず施工できると考え、フロー値による管理値を設けた。

また、中詰改質材に含まれる水分量が多いほど材料分離を促進させるため、施工において砂の含水比を一定に保つことが可能な砂の飽和状態の最低水分量(W/S(海水/中詰砂)=0.27)にて配合設計を行った(図-4、写真-3)。

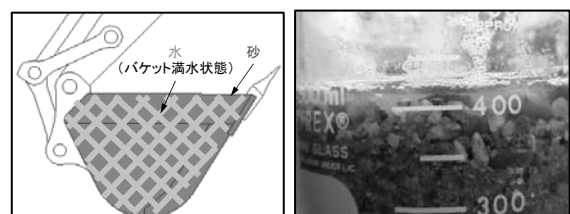


図-4 砂採取イメージ

写真-3 W/S=0.27

(3) 室内配合試験

最適なセメント混合量を決定するため、防波堤毎に現地中詰砂を用いた室内配合試験を実施した(写真-4)。室内配合試験は、施工を鑑みて限りなく細粒分が無い状態(細粒分を意図的に洗い流す)の中詰砂を用い、W/Sを一定として配合設計を行い、ポンプ圧送が可能なフロー値を確認する必要があった。

その条件のもと、図-5のように最適セメント混合量が確認出来るまで、トライアル試験を実施した。結果は、最小500kg/m<sup>3</sup>(中央堤西側)、最大650kg/m<sup>3</sup>(中央堤東側)であった。



写真-4 練混(左)とテーブルフロー試験(右)の状況

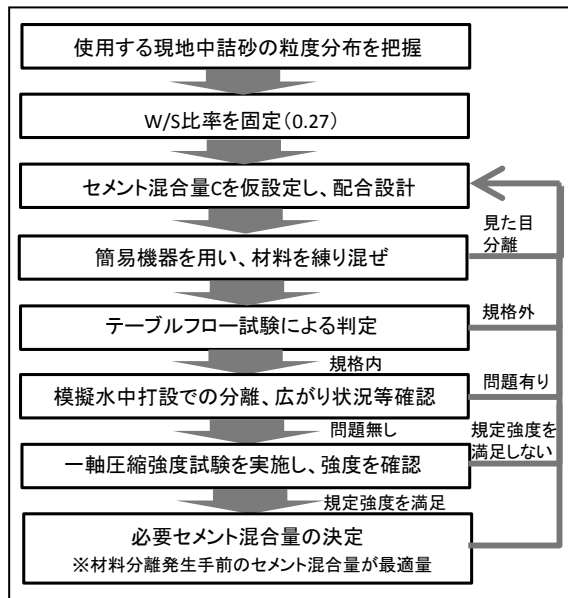


図-5 室内配合試験の実施フロー

(4) セメント混合量の簡易設定方法の検討

a) 現地中詰砂の問題点

各防波堤で採取された中詰砂の粒度は異なり、混合する最適なセメント量もバラツキが大きい状況であった。実際の施工では、試験した粒度以外の砂が発生する可能性もあり、一定のセメント混合量で設計した場合、材料分離が発生し中詰改質材の品質が安定しないことや必要以上にセメントを混合し不経済になる等の問題が生じる可能性がある。

この問題を解決するためには、粒度が異なる砂に対し、その都度、室内配合試験を実施し、最適なセメント混合量を決定すれば良いが、最適な配合割合を見つけるためには、試験をトライアルで実施するため、非常に手間が掛かり、現実的ではない。その

ため、粒度が異なる砂に対し、最適なセメント混合量を簡易的に設定する方法について、室内配合試験で得られた知見をもとに検討する必要があった。

b) 簡易設定方法の検討(その1)

繰返し実施した室内配合試験から得られた最適セメント混合量と、各防波堤より採取された中詰砂の粒度分布の関係を図-6に示す。傾向として、セメント添加量は、粒度分布がグラフ中の左寄りであれば少なく、右寄りであれば多くなる。また、大きな粒径が含有されている割合が多い場合、必要となるセメント量が多くなる。以上から、異なる粒度分布と、必要となるセメント混合量の相関性を評価するために、図-7のようなパラメータ「粒度分布面積A」を定義した。

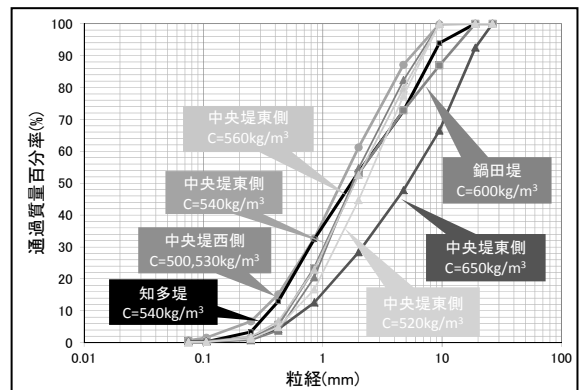


図-6 最適セメント混合量と中詰砂粒度分布

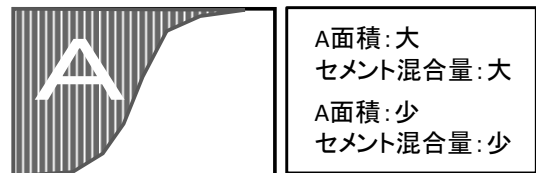


図-7 粒度分布面積Aの概念

最適セメント量と粒度分布面積Aの相関関係を図-8に示す。各試験結果との相関性は良好であり、粒度分布面積Aがパラメーターとして妥当であると言える。

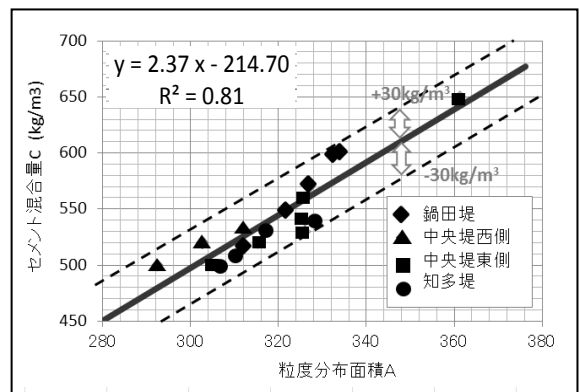


図-8 最適セメント混合量と粒度分布面積Aの相関性

c) 簡易設定方法の検討 (その2)

中詰改質材が分離を起こす理由は、砂自体の粒度が粗く、セメント粒子が砂骨材の間隙から抜け出やすいためである。また、水分は粒子表面に付着する性質のため、単位質量あたりの表面積が大きいほど（粒径の小さな粒子が多いほど）抜け出にくい。以上より、砂に含有される微粒子（細砂～粘土）の量が多ければ、間詰及び保水力効果により分離が抑制されやすくなると考えられる。

この考え方をもとに、水中サンドポンプ施工後の中詰砂の微粒子量を現場で即座に評価してやれば、限りなく細粒分が無い状態で算出された最適セメント混合量（図-8の相関式）から、セメント量を低減することが可能となり、経済的になる。

そのため、フライアッシュや細砂で意図的に微粒子量を調整した試料で最適セメント量と砂の表面積の相関性を検討した（パラメータ「表面積量P」として定義）。その結果、最適セメント量は微粒子の含有量により、反比例の関係で近似式として表せることが確認できた。

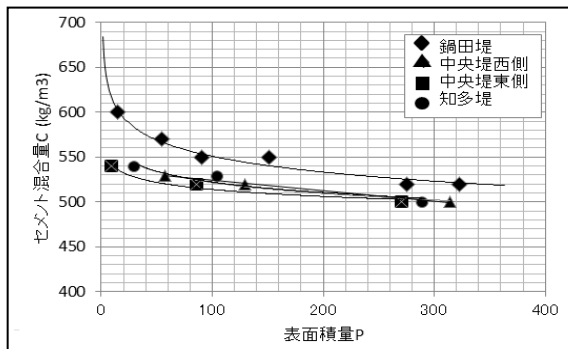


図-9 最適セメント混合量と砂の表面積量Pの相関性

(5) 現場での対応と結果

a) 最適セメント混合量の決定方法

これまでの検討から、最適セメント混合量は、「粒度分布面積A」「表面積量P」と関係が深いことが分かったが、水中サンドポンプ施工後の中詰砂の全粒度を現場で即座に測定することは不可能であるため、2段階の手順（図-10、写真-5）により、ケーソン毎に最適セメント量を決定することとした。

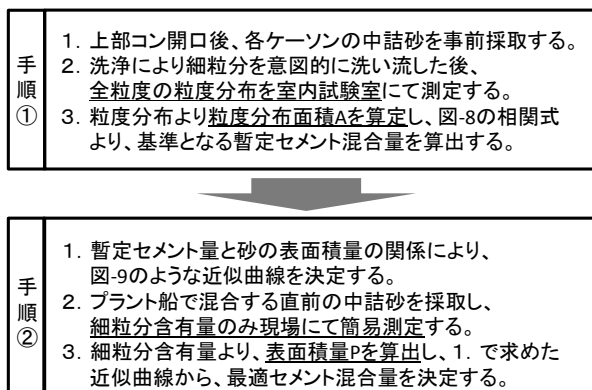


図-10 最適セメント混合量の決定手順



写真-5 室内粒度試験（左）と現場簡易測定（右）

b) 各防波堤の最適セメント混合量の結果

各防波堤にて実際にケーソン毎に算出された最適セメント混合量の結果を表-1に示す。今回採用した手法を用いことで、室内配合試験の結果のみで判断されていたものより、より中詰改質材の品質が安定し、経済性が追求出来た。

表-1 各防波堤での最適セメント混合量の結果

| 防波堤名  | 最適セメント混合量(単位: kg/m3) |     |     | ～参考～<br>室内試験 |
|-------|----------------------|-----|-----|--------------|
|       | 平均値                  | 最小値 | 最大値 |              |
| 鍋田堤   | 578                  | 560 | 600 | 600          |
| 中央堤西側 | 571                  | 530 | 600 | 500,530      |
| 中央堤東側 | 577                  | 560 | 590 | 520～650      |
| 知多堤   | 565                  | 530 | 590 | 540          |

※H25d未迄のデータ。  
※現場での最適セメント混合量は30kg/m3の安全代を見込む。

(5) まとめ

本検討の内容をまとめると、以下の通りである。

- セメント混合量は、中詰砂の粒度分布の面積と関係性が深く、パラメーター「粒度分布面積A」でその相関性を評価できる。
- セメント混合量は、中詰砂の微粒子（細砂～粘土）の量と関係性が深く、パラメーター「表面積量P」でその相関性を評価できる。

4. おわりに

今回紹介した名古屋港高潮防波堤の中詰改良工事は全国的にも類を見ない大規模な工事であったが、全国的にも同様な構造の防波堤が多く、今後、各地でセメント混合による既設ケーソンの中詰改良が行われる可能性は非常に高い。そのため、先進的な事例として、施工方法及び今回検討した中詰砂改質の新たな品質管理方法について、広く普及させたいと考えている。

謝辞：本報告の作成にあたり、ご指導・ご協力を頂いた関係者の方々に深く感謝し、御礼申し上げます。