

重力式係船岸増深のための基礎構造に関する研究（中間報告）

社団法人 日本埋立浚渫協会 共同研究 WG

独立行政法人港湾空港技術研究所（以下、港空研という）と社団法人日本埋立浚渫協会（以下、埋浚という）は、平成21年度から重力式係船岸増深のための基礎構造に関する共同研究を行っている。主な研究テーマは、既設重力式係船岸の捨石マウンドの一部を固化・掘削することで増深化を図る工法（図-1）の検討である。これまで、モデル断面に対する設計検討¹⁾、注入固化した捨石マウンドの力学・変形特性や改良効果に関する研究²⁾³⁾、室内注入実験による注入材の強度確認⁴⁾等を実施し、着実に実用化に向けた研究成果が得られている。本稿は、中間報告として現在の課題解決に向けた取り組みを中心に報告するものである。

1. 研究の目的

国際的に海上輸送船舶は大型化の傾向にあり、我が国においても国際競争力確保のための対応策が求められてきている。そのためには係留施設の大型化が不可欠であるが、公共事業が縮小される中、ますます既存施設を有効利用して船舶の大型化に対応していける技術の開発が重要になってきている。

本研究は、図-1に示すように、既設重力式係船岸の捨石マウンドの一部を固化させてから、マウンドを掘り下げて増深する構造の設計法、施工法、施工管理手法の検討を行っている。本技術が確立され、技術的に重力式係船岸の増深が可能になれば、経済的にも非常に有効な手段となることが期待できる。

2. 研究の内容

本研究は、港空研（地盤研究領域の土質研究チーム、地盤改良研究チーム、基礎工研究チーム）と埋浚（技術委員会）との共同研究である。また、東京理科大学

の菊池喜昭教授には港空研のときからご指導を受け、現在は専門委員として参加いただいている。

研究期間は、平成21年12月～平成25年5月となっている。

検討項目と概略スケジュールを図-2に示す。平成21、22年度は、課題解決を行うためのモデル断面を設定し、既存技術による設計・施工方法の検討、改良体の要素実験や振動台模型実験等を実施して、設計・施工上の課題の整理を行った。これらの検討を通して、

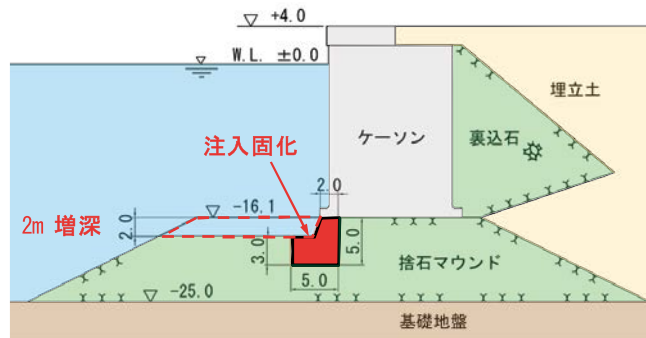


図-1 本研究のモデル断面

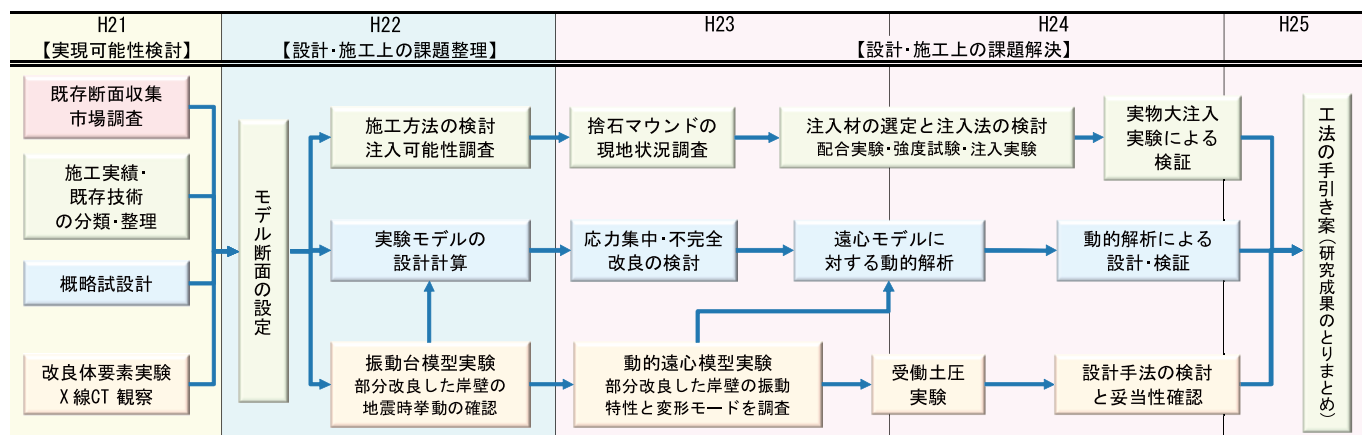


図-2 検討項目と概略スケジュール

捨石マウンドの一部を固化させることにより、増深が可能となるばかりでなく、耐震性の向上にも有効であることが分かってきた。

以下、平成23年度以降に実施している設計・施工上の課題解決のための検討内容と、今後の課題について紹介する。

3. モデル断面

モデル断面（図-1）は、図-3の設計フローに従って設定した断面であり、それぞれの検討には既存の設計法を用いている。改良体の必要強度は、線形弾性FEM解析による改良体内部応力の検討から、2.5MPaと設定された。

なお、改良体に作用する外力の概念図を図-4に示すが、改良体の存在による底面反力の変化や、改良体に作用する力の検証、および地震時挙動を反映した設計手法の検討と検証が今後の課題である。

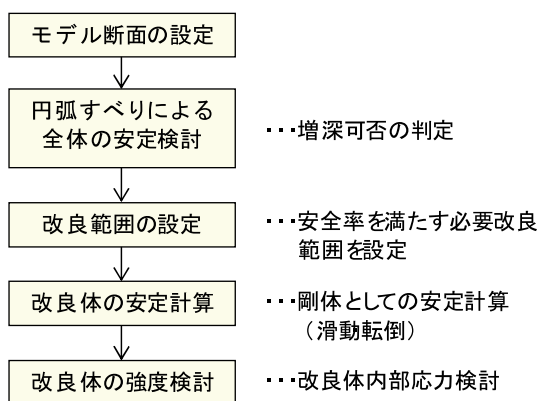


図-3 モデル断面の設計フロー

4. 模型実験

港空研において、部分改良された捨石マウンドの力学特性・変形特性の検討が進められている。ここでは、地震時挙動を調査するために実施した遠心模型振動実験結果³⁾について紹介する。

土槽（L730 × B200 × H500）において重力式岸壁の模型を作成し、遠心場において振動台で加振して岸壁の挙動を調査した。入力波は実物大スケールで2Hzの正弦波とし、最大加速度を100、200、250、300Galの4段階に変化させ、それぞれ50波加振するステップ加振を行った。

加振後の模型地盤の状況を図-5に示す。

Case1は、改良も増深も行わないケースであり、ケーソンが前傾しながら変位していく。ケーソン前趾がマウンドにめり込みながら滑動するというケーソン岸壁

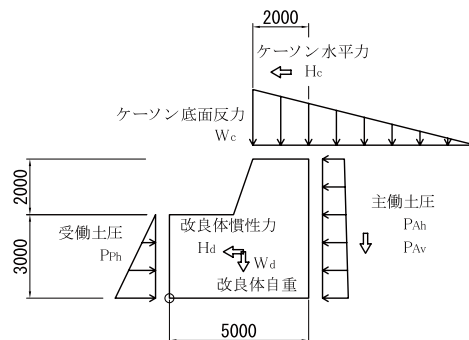


図-4 改良体に作用する外力の概念図

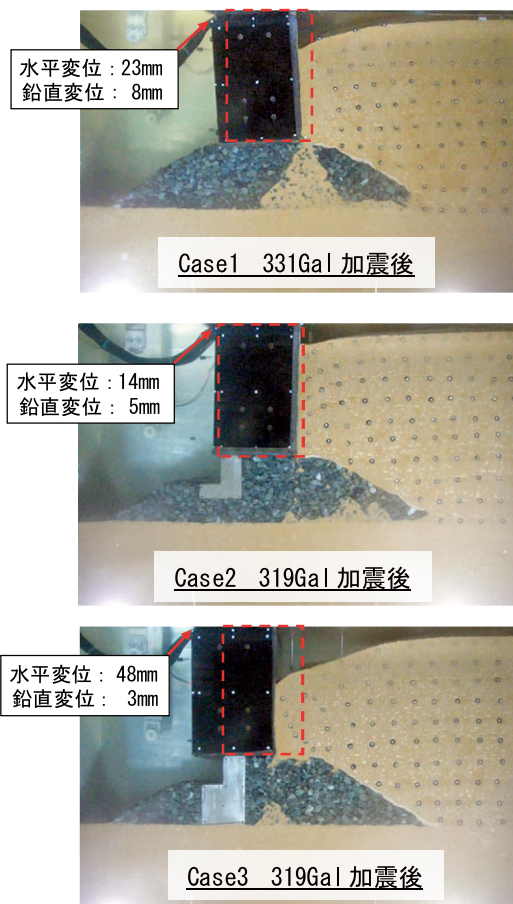


図-5 加振後の地盤状況

の一般的な挙動がみられた。

Case2は、モデル断面（図-1）と同様な浮き型の改良範囲で増深を行ったケースである。ケーソンが後傾し、海側へ変位しているが、固化体そのものが海側へ変位しており、ケーソンと固化体の相対的な位置関係は大きく変化しない。また、加振中は、海側への加速度が最大となる時、ケーソンは後趾を支点として陸側へ傾き、陸側への加速度が最大となる時、海側へ滑動しているものと考えられる。

Case3は着底型の改良範囲で増深を行ったケースであり、後傾し、海側へ大きく変位している。最終的にケーソン後趾においてほとんど底面反力が発揮されおらず、底面反力や摩擦力が集中している可能性がある。

以上のように、改良パターンによって、地震時挙動が大きく異なることがわかった。また、同実験では、振動中の加速度、ケーソンの側圧および底面反力を計測しており、設計法検証のための貴重なデータが得られている。

5. 施工方法の検討

(1) 施工に関する課題

施工に関しては、捨石マウンドの事前調査方法、注入材と注入方法、施工管理・品質管理方法、捨石マウンドの掘削方法等、多くの課題が挙げられる。それら課題のうちで実用化の可否を握る重要課題は、ランダムに分布している捨石マウンドの間隙に、注入材を均一に、かつ注入範囲を制御しながら注入固化できる施工方法の実現にある。したがって、平成23年度以降、注入材料の選定と注入方法の課題解決に重点的に取り組んでいる。

(2) 注入材料の選定

既設捨石マウンドの現地調査⁵⁾によると、ケーソン直下の捨石は空隙が残された状態で付着物もみられなかったが、捨石内部は土砂混入の可能性がある。よって、使用条件別に、必要改良強度 $q_{uck}=2.5\text{MPa}$ 以上が得られる注入材料を表-1のように選定した。

表-1 選定された注入材料

注入材	使用条件
① 水中不分離性モルタル	捨石間隙に土砂等の混入物が無い状態での適用を想定
② 懸濁型薬液	捨石間隙に土砂が混入された場合の適用を想定
③ セメントベントナイト	捨石内に砂がランダムに混入している場合を想定し、1次注入でセメントベントナイトを空隙部に注入後、2次注入として土砂混入部に薬液注入

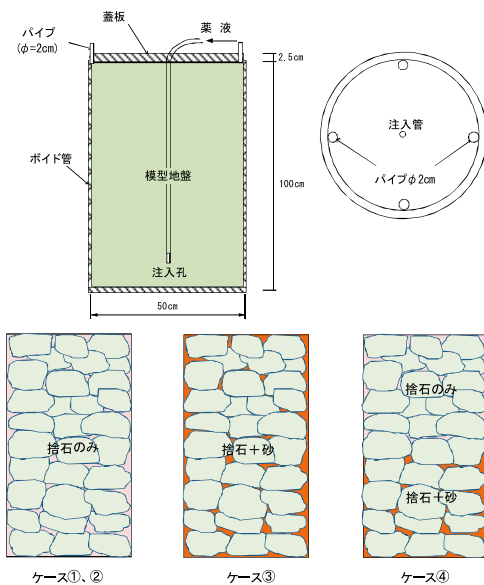


図-6 捨石地盤供試体の概要図

(3) 捨石改良地盤の強度確認試験

ボイド管内に各注入材で改良した捨石地盤を作成し、養生後、アムスラー試験機による大型一軸圧縮試験を実施した。図-6に捨石地盤供試体の概要図を、表-2に各注入材の配合を、表-3に検討ケースと大型一軸圧縮試験結果をそれぞれ示す。なお、捨石は粒度分布をスケールダウンした碎石(最大粒径約200mm)を用い、セメントベントナイトと懸濁型溶液の配合は2種類とした。いずれのケースにおいても、配合を操作することにより目標圧縮強度2.5MPaを満足する結果となった。また、図-7に懸濁型薬液のケースを例として供試体の一軸圧縮試験における破壊状況を示すが、碎石と注入材が剥離したような箇所が観察され、碎石と注入材の境界面での付着破壊が卓越していると考えられる。

表-2 注入材の配合

【セメントベントナイト1L配合】				
高炉セメント B種	ベントナイト	硫酸バンド (硫酸7水ニウム)	水	使用ケース
500kg	50kg (赤城)	—	816ml	①, ④
900kg	30kg (稜名)	30ml	662ml	①

【水中不分離性モルタル1m ³ 配合】				
W/C=60%, S/C=1				
水	高炉セメント B種 C	陸砂 S	高性能AE減水剤	水中不分離性混和剤
446kg	743kg	742kg	C×2%	W×1.1%

【懸濁型薬液 1L配合】				
急冷スラグ高微粉末	硬化促進剤	混和剤	水	使用ケース
350g	30g	2ml	863ml	③, ④
400g	20g	4ml	846ml	③

表-3 検討ケースと大型一軸圧縮試験結果

ケース	注入材	地盤条件	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)		a) / b)
			a) 大型供試体	b) 薬液配合	
①	セメントベントナイト	捨石のみ	950 7,710	4,993 18,219	0.19 0.42
②	水中不分離性モルタル	捨石のみ	10,200以上 (19,600)	39,400	0.50
③	懸濁型薬液	捨石+砂	2,340 3,514	7,106 3,517	0.33 1.00
④	セメントベントナイト+懸濁型薬液	複合地盤	2,650	—	—



図-7 大型一軸圧縮試験破壊状況 (懸濁型薬液)

(4) 小型土槽を用いた捨石への注入実験

図-8のように、小型土槽内に捨石マウンドを想定した模型地盤（最大粒径約200mm）を作成し、注入材の注入実験を行った。注入状況を図-9に示す。

各注入ケースの結果は以下のものである。

ケース① セメントベントナイト（捨石のみ）

外観は著しいものではないが未充填部が散見された。

ケース② 水中不分離性モルタル（捨石のみ）

外観ではほぼ完全に充填されており、捨石間隙内に十分充填可能であると判断できるが、逆に逸散が懸念される。

ケース③ 懸濁型薬液（捨石+砂）

懸濁型薬液の注入は、ある程度の注入圧力が必要であるが、外枠として使用したコンテナと地盤の隙間からの薬液の漏出を防止できず、コンテナ延長の1/2程度までの充填状況となった。

ケース④ セメントベントナイト+懸濁型薬液（複合地盤）

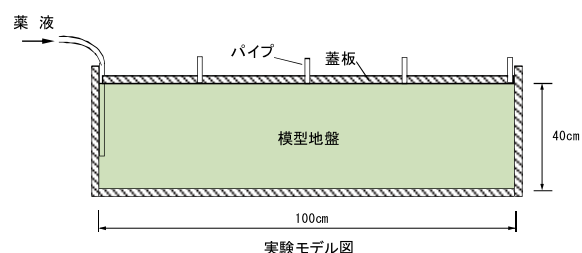
1次注入のセメントベントナイトが懸濁型薬液の漏出対策となったと考えられ、外観では注入状況は良好であった。ただし、サンドゲルとならず、砂のみが観察される箇所も見られた。

ケース③の懸濁型薬液を拘束圧の小さい箇所へ適用する場合には、薬液の漏出防止対策を検討する必要があるが、他のケースについては、概ね適用可能であると考えられる。なお、港空研にて本供試体内部の充填状況を調査中であり、その結果を踏まえた上で注入材の適用性を判断する予定である。

6. おわりに

最後に、今後の設計・施工法に対する研究内容について紹介する。設計法については、動的数値解析によるケーススタディを実施することにより、設計上の必要強度や改良範囲を検証するとともに、改良体に作用する外力評価方法を検討し、設計手法および手順案としてまとめていく予定である。

一方、施工方法については、注入範囲の制御という観点から、注入材の捨石内での詳細な拡散特性の把握と、リーク防止材料および注入材料の適切な配合の検討が、さらに必要である。また、時間的制約から、空隙に土砂の混入が無い理想的な状態を対象に検討を進める方針である。なお、基礎的な注入実験により課題解決の見通しがついた段階で、実物大の捨石を用いた注入実験の実施を予定している。



ケース①：セメントベントナイト

ケース②：水中不分離性モルタル



ケース③：懸濁型薬液



ケース④：セメントベントナイト(1次注入)
+懸濁型薬液(2次注入)



図-8 小型土槽注入実験の概要図



図-9 注入状況（水中不分離性モルタル）

本共同研究の最終目標は、得られた知見を設計・施工の手引き案の形に整理することであり、実用化に当たって参考となる基礎資料を提供したいと考えている。

（文責 東洋建設株式会社 合田和哉）

参考文献

- 1) 加藤, 渡部, 水谷, 田中, 木村: 重力式係船岸の増深のための基礎構造に関する研究(その2) 係船岸増深の設計方法, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, pp.797-796, 2012.
- 2) 水谷, 菊池, 平井, 米山: 捨石マウンドの改良により増深した重力式岸壁の振動台実験, 第46回地盤工学会研究発表会発表講演集, pp.1389-1390, 2011.
- 3) 平井, 水谷, 森川, 菊池, 高橋: 捨石マウンドの改良により増深した重力式岸壁の動的遠心模型実験, 第47回地盤工学会研究発表会発表講演集, pp.1229-1230, 2012.
- 4) 大久保, 森川, 竹内, 高井, 菅原: 重力式係船岸の増深のための基礎構造に関する研究(その3) 捨石改良体の強度試験, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, pp.799-800, 2012.
- 5) 合田, 菊池, 平井, 小滝, 藤田: 重力式係船岸の増深のための基礎構造に関する研究(その1) 捨石マウンドの現地調査, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, pp.795-796, 2012.