

重力式岸壁の増深改良技術について

村上 巧樹¹・松尾 康成¹・原田 翔太²

¹九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 技術開発課
(〒750-0025 山口県下関市竹崎町 4-6-1 下関地方合同庁舎 2 階)

²九州地方整備局 博多港湾・空港整備事務所 三池港分室
(〒836-0034 福岡県大牟田市小浜町 1-2-1 鉾山ビル 3 階)

近年、既存ストックの有効活用、物流の効率化及び大量輸送による船舶の大型化により既設岸壁の増深化が求められている。既設重力式岸壁の原位置での増深改良技術について未だ研究段階で供用されている岸壁での施工事例はない。

本論文では、既設重力式岸壁の増深改良技術の 1 つである、鋼管矢板を重力式岸壁前面に打設し前面を固化改良した技術について、粘性土地盤を対象として梁バネモデルを用いた設計法の適用性を遠心模型実験で検証した結果について報告する。

キーワード 重力式岸壁、増深改良、遠心模型実験、梁バネモデル、

1. はじめに

近年、既存ストックの有効活用、物流の効率化及び大量輸送による船舶の大型化により既設岸壁の老朽化対策と併せて増深化などの機能向上を求められている。既設岸壁の増深に伴う機能向上に関する検討は、過去に散見されるものの、現状として、系統的な検討が行われていない。これは、異なる岸壁構造形式と複雑な地盤条件の組み合わせにより増深に対する岸壁の補強方法が多岐に渡ることが、一つの要因であると考えられている。

このため既設岸壁を増深改良する際は、岸壁法線を前出しして、新規に岸壁を製作する事例が多く見られるが、海域の制約で前に出せないという問題がある場合は、原位置で増深改良を行わなければならない。

既設重力式岸壁の原位置での増深改良技術の 1 つに、受働抵抗を期待して矢板前面地盤を固化改良する技術がある(図-1)。この技術は砂地盤を念頭に梁バネモデルにて設計法が検証されている。

本論文では、粘性土地盤に梁バネモデルの設計法が適用可能か検証した結果を報告する。

2. 検証内容

(1) 検証内容

今回、検証対象とする港湾施設は、既設岸壁(-7.5m)をモデルケースとして検証を行った。

想定した周辺海域には、「有明粘土」と呼ばれる軟弱粘土層が層厚 40m にわたって存在し、当該施設はこの有明粘土と潮位差 4.5m の厳しい自然条件の下に設置されている重力式岸壁である。

これに対して、岸壁(-10m)程度となる 2.5m の増深改良を行うことを検討した。

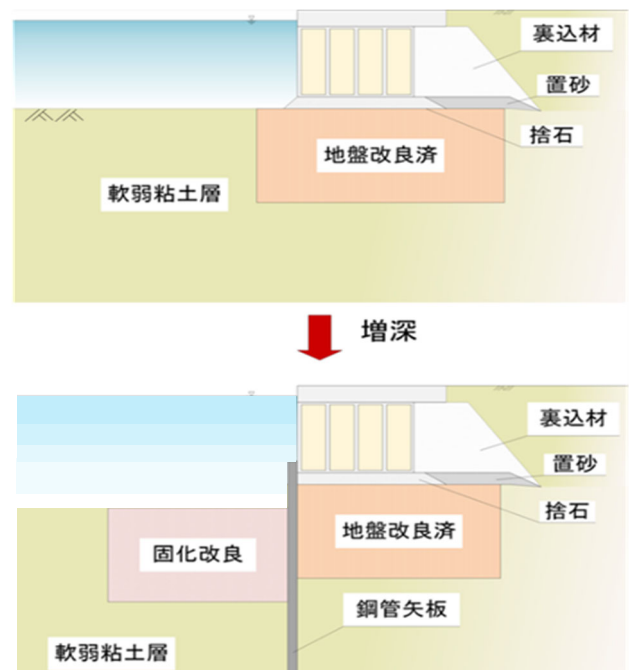


図-1 矢板前面地盤を固化改良した増深改良技術¹⁾

だが、重力式岸壁の原位置での増深改良は設計法が確立されていない。

そこで、ケーソン前面へ土留を目的とした鋼管矢板を打設する方法を想定した。自立鋼管矢板のみで背後からの受働土圧に抵抗する場合、鋼管矢板が海側へ大きく変形する可能性があるため、図-1 で示すように、鋼管矢板の変位抑制を目的に前面地盤を地盤改良することとした。

鋼管矢板の受働抵抗の増大を期待して矢板前面地盤を改良する場合、改良効果の定量評価が設計では重要となる。

特に正規圧密状態の粘性土地盤において鋼管矢板の前面を固化し岸壁背後地盤からの土圧に対する受働抵抗を増大させる場合、受働抵抗の発揮メカニズム、改良範囲と改良効果の関係について不明な点が多く、既往の設計法が適用できるか検証が求められている。

既往の設計法として、梁バネモデルによる簡易設計法を使用するが、この方法は砂地盤への適用を念頭においたものであり、粘性土地盤への適用性は未確認である。

そこで、ケーソン背後地盤からの静的な荷重を対象とした梁バネモデルを用いる設計法の適用性を遠心模型実験で検証した。

(2) 既往の設計法

梁バネモデルを用いた設計法の概念図を図-2 に示す。

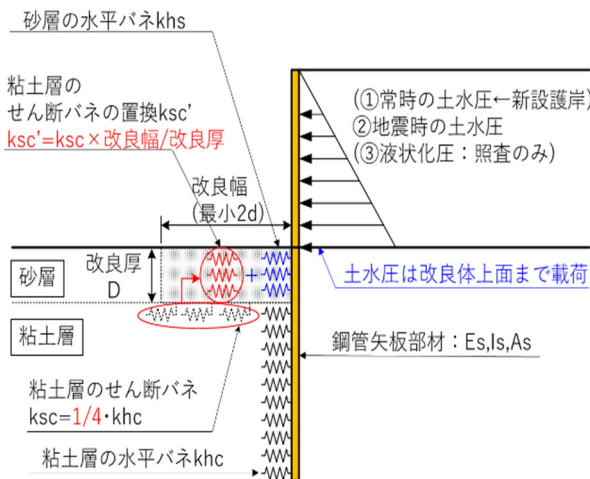


図-2 梁バネモデルによる設計概念²⁾

梁バネモデルを用いた設計法は、河川護岸の耐震補強を目的に作成されたものであり、砂地盤を対象としている。

本実験では、改良体の底面抵抗と改良体前面地盤の受働抵抗が粘性土地盤においてどの程度の割合で寄与するかを調べることを目的とした。

3. 実験の概要と結果

(1) 遠心模型実験

遠心模型実験では、

- ・遠心力を加えて実物相当の力を地盤内に発生させ、現地での変形挙動が再現可能。
 - ・長期間にわたる地盤の浸透現象が、模型内では n^2 ($n=G$) 倍の速さで進行することにより実験時間が短縮される。
 - ・縮小した小型模型を利用するため試験体の製作コストが削減される。
- という利点がある。

(2) 遠心模型実験装置

遠心模型実験は、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所（以下、港空研略）に委託して実験を行った。

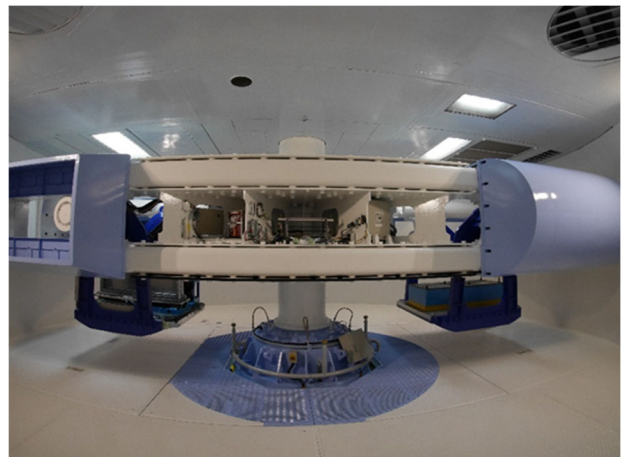


図-3-1 遠心模型実験装置³⁾

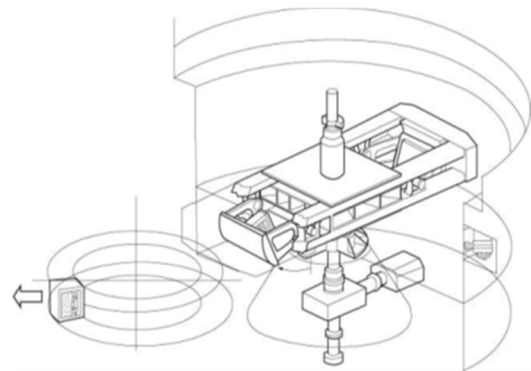


図-3-2 遠心模型実験装置概略図³⁾

遠心模型実験装置(図-3)は、最大で 2.7 トンを超える模型を搭載し、重力の 100 倍以上の遠心力を作用させることができる大型装置である。地震動や波・流れを起こす装置も搭載されており、遠心力を加えた状態で模型地盤に地震力を作用させたり、波や流れを起こしたりすることが可能である。

(3) 実験概要

図-4 に本実験で対象とする既設岸壁 (-7.5m) の断面図を示す。(図-5 参照)

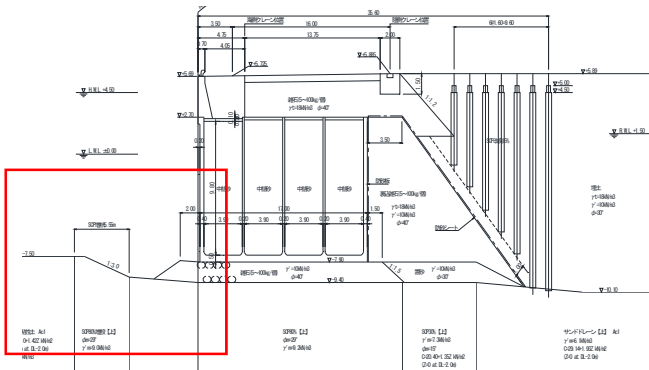


図-4 既設岸壁断面図 (-7.5m)

この断面を遠心模型実験で再現する場合、模型スケール 1.4m×1.4m (実規模換算で 70m×70m) の試料容器が必要となり、港空研の遠心模型実験装置に搭載することが出来ない。

今回、鋼管矢板と鋼管矢板前面の地盤改良する範囲のみ(図-5 中赤枠)を対象にモデル化し、ケーソンの変位に伴い鋼管矢板に作用する荷重は載荷装置による水平載荷により再現した。

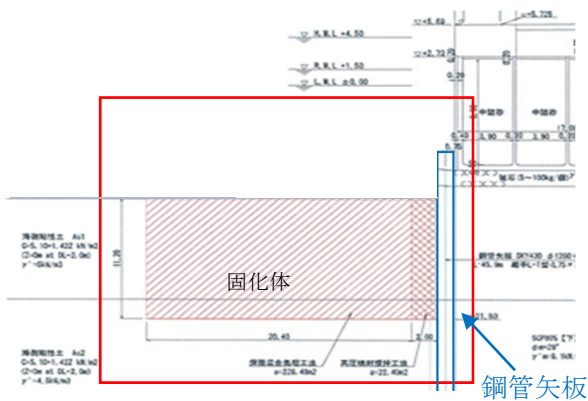


図-5 本実験範囲³⁾

梁バネモデルでは、地盤改良の効果を改良体前面地盤からの受働土圧と底面抵抗を一定の割合で水平バネに置換する(図-2)。

本実験では、改良体の底面抵抗と固化体前面地盤の受働抵抗の寄与割合が、改良範囲の違いによりどのように変化するかを調べることを目的とした。

(4) 実験断面

改良体の有無、改良体のサイズおよび固化体前面地盤の有無をパラメータとして図-6 の計 7 ケースの実験を行った。

Case0 は鋼管矢板前面の地盤改良を施さない無改良のケース、Case1-Case3 は改良範囲を変化させたケースである。ケース名のアルファベット a は、固化体前面地盤の有無、n は無しを表す。

改良範囲はそれぞれ、

- Case1 : W20m, H7.5m,
- Case2 : W10m, H7.5m,
- Case3 : W20m, H3.75m

である。

図-6 中の黄色枠は固化体前面地盤を表す。模型矢板上部の赤枠は載荷点を表す。

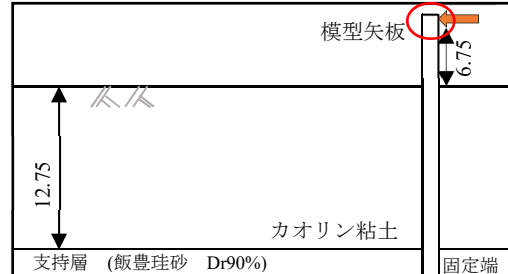


図-6-1 Case0 の概略図

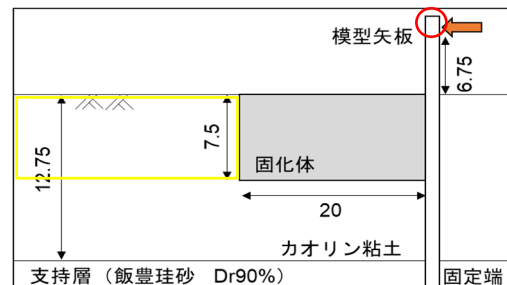


図-6-2 Case1a,n の概略図¹⁾

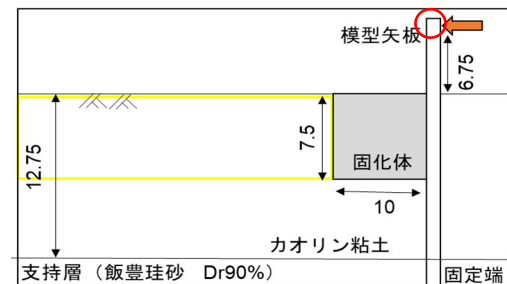


図-6-3 Case2a,n の概略図¹⁾

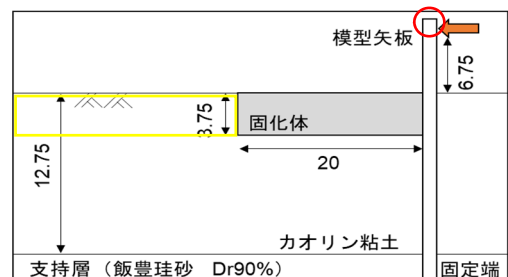
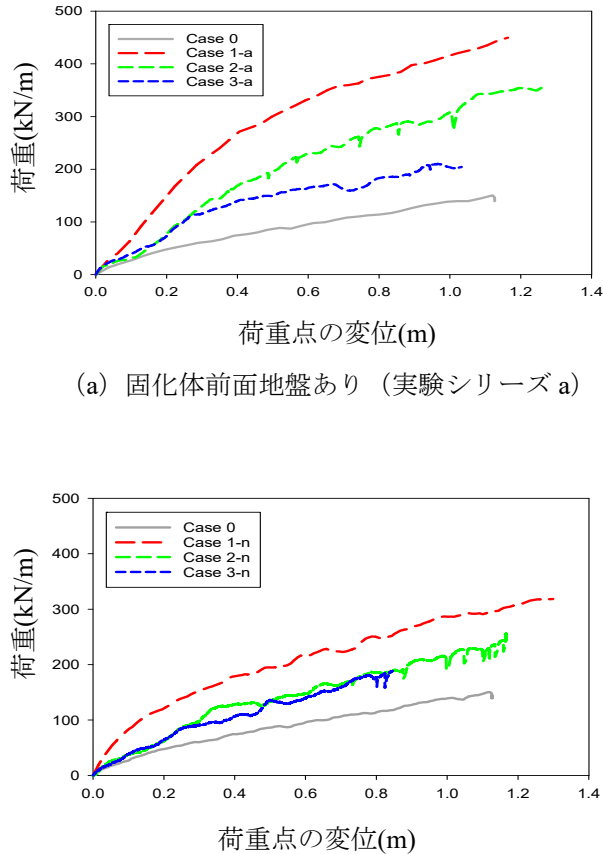


図-6-4 Case3a,n の概略図¹⁾

(5) 実験結果

ここで示す物理量は、特に断りのない限り、実規模換算した値を示す。

図-7に載荷点における単位奥行き長さあたりの水平荷重-水平方向の矢板たわみ関係を示す。



(a) 固化体前面地盤あり (実験シリーズ a)

(b) 固化体前面地盤なし (実験シリーズ n)

図-7 載荷点での荷重-たわみ関係¹⁾

固化体前面地盤の有無で2つのプロットにまとめている。

前面地盤ありのシリーズ aにおいて、矢板前面を改良することで、改良体の形状に関わらず無対策のCase0より大きな荷重を示しており、改良効果が確認できる。また、矢板が同じ変位量の場合、水平荷重はCase1-a, Case2-a, Case3-aの順で大きな値を示している。

改良幅を小さくしたCase2-aのほうが改良深度を小さくしたCase3-aより改良効果が大きい結果となった。

一方、前面地盤なし(実験シリーズ n)では、Case2-nとCase3-nの間でほとんど差がない。

これは、改良深度が大きいCase2のほうが前面地盤からの水平抵抗が全体の抵抗に寄与する割合が大きいため、前面地盤を除去した際に大幅な効果の減少が生じたことによる。

また、改良深度が小さいCase3で前面地盤の有無の影響を比較すると、Case3-aおよびCase3-nで矢板変位1.0m, 200kN/m程度の荷重であり、水平抵抗がほとんど寄与していなかったことがわかる。

図-8のモーメント分布より、Case0の無改良のケースでは、深度7m程度で最大値を示す放物線状の分布を示している。

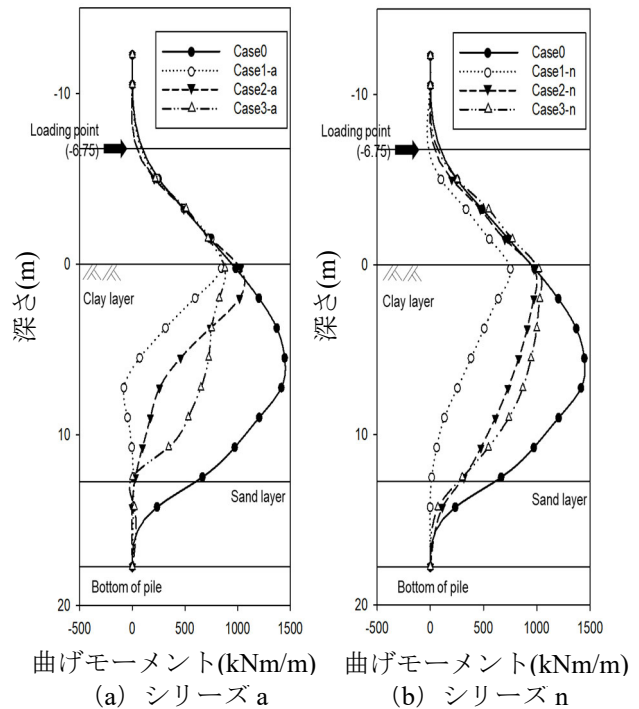


図-8 鋼管矢板模型のモーメント分布¹⁾

一方、鋼管矢板前面を固化改良することで、地盤内のモーメントが低減されていることがわかる。

Case1-a, 2-a, 3-aでは改良体の上部でモーメントのピークが発現しており、前面地盤を固化改良することで、曲げモーメントの極大点の位置が変化することが確認できる。

また、改良体の上部部分でモーメントが最大となっていることより、改良体の角部に応力が集中していることが推察される。

Case1およびCase2では、改良体前面地盤の有無により、モーメント分布が異なる。具体的には、シリーズ a(前面地盤あり)では、地表面をピークに深度方向に著しく減少しているのに対し、シリーズ n(前面地盤なし)では地表面がピークとなることは同じであるが、深度方向に緩やかに減少する傾向が確認できる。

これは、改良体底面の抵抗に加え、前面地盤の水平抵抗が働くことで矢板の変形が抑制されたものと考えられる。

一方、改良深度が小さいCase3では、改良体前面地盤の有無により曲げモーメントの分布に大きな差は見られない。

これからも、改良深度が小さい場合は水平抵抗が矢板の変形に与える影響は小さいことが確認できる。

本実験では、固化体は内部破壊が生じない十分大きな剛性を有し、変位は水平変位が卓越していた。

よって、前面地盤の有無による矢板のモーメント分布の違いは、改良体前面地盤の水平抵抗の有無であると推察できる。従って、両者を直接比較することで改良体の底面抵抗と水平抵抗の比較が可能と考えられる。これより、対象が粘性土地盤であっても改良体の改良効果を水平抵抗と底面抵抗に分割し、水平バネに置換する梁バネモデルを用いた簡易設計法が適用可能であることが確認できた。

4. おわりに

本実験は、2019年度から2021年度の3ヶ年に渡り行い、粘性土地盤でも、梁バネモデルを用いた設計法が適用できることが確認できた。

今後、現地に適用するにあたっては、下記課題も有している。

今回の遠心模型実験では、底面及び前面地盤抵抗の傾向は把握できたが、現地適用の際は最適断面とするための検討が必要である。

しかし、遠心模型実験は圧密から実験まで、1ケースに1ヶ月程度掛かり実験のみで最適断面を設定するには時間・費用が掛かり過ぎる。

このため FEM 等の数値解析にて改良寸法、矢板諸元、土質の影響について傾向を掴んだうえで遠心模型実験を行うことが効率的である。

今回は報告していないが、模型実験とは別に FEM の数値解析も実施している。

実験と解析では、異なる結果もあったため、今後は数値解析の精度・再現性の検証が重要な課題である。

また、固化体の強度の違い、繰り返し荷重時の挙動や荷重速度の違いによる破壊モードを明らかにしていく必要がある。

これら課題を解決していくことで、重力式岸壁の増深改良技術が確立でき、既存ストックの有効活用が期待できる。

参考文献

- 1) 高野 大樹, 森川 嘉之, 杉山 友理, 松尾 康成, 濱野 吉章, 荒井 郁岳: 前面を固化改良した鋼管矢板の受働抵抗に関する遠心模型実験, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 77, No. 2, pp. I_397-I_402, 2021. による図表を一部修正
- 2) 加藤卓彦, 園井啓士郎, 角南進, 大石幹太, 大野雅幸, 片桐雅明, 第41回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 1685-1684, 2006.
- 3) 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所, 土質研究グループ: 令和3年度管内増深検討に関する遠心模型実験業務報告書, 2022.