

港湾技術資料

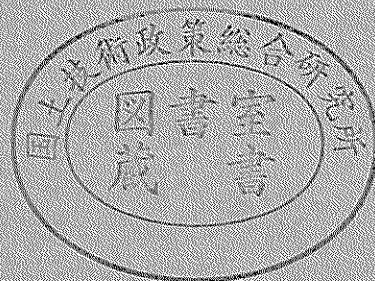
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 781 Sept. 1994

港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討

片	岡	眞	二
高	橋	邦	夫
横	田		弘
菊	池	喜	昭
石	原	弘	一
梶	原	修	治

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	3
1. はじめに	5
2. 港湾構造物の改良・更新事例	5
2.1 調査方法の概要	5
2.2 調査結果	5
2.3 改良事例の分析	9
2.4 典型的な改良事例の抽出	15
2.5 共通技術課題の具現化	17
3. 新旧構造物の相互作用	17
3.1 新旧構造物の荷重分担	17
3.2 荷重分担を仮定する試設計の手法	17
3.3 試設計の結果	18
3.4 構造諸元の荷重分担に与える影響	19
3.5 試設計手法の評価と荷重分担に係る問題点	21
4. 既設構造物の機能評価と活用方法	23
4.1 構造物の機能	23
4.2 残存機能の定義と内容	23
4.3 残存機能の評価方法	24
4.4 既設構造物の活用方法	26
5. 改良・更新における施工上の技術課題	27
5.1 捨石マウンドを貫通して打設される杭の施工法および設計法	27
5.2 液状化対策による周辺構造物への影響	36
6. 新材料・新構造の適用	39
6.1 土圧低減用新材料の利用技術	39
6.2 新形式の補強法	47
7. まとめ	48
謝辞	48
参考文献	48

港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討

片岡 眞二*
高橋 邦夫**
横田 弘***
菊池 喜昭****
石原 弘一*****
梶原 修治*****

要 旨

港湾構造物の老朽化や港湾をめぐる周辺状況の変化などに伴い、改良・更新が要請されている港湾構造物が多くなってきている。港湾構造物の改良・更新にあたっては、新設の際に検討されない様々な制約条件のもとでの設計・施工となる。このため、現行の技術上の基準では十分に対応できないこともあり、技術的な課題に対する検討が必要である。

本資料では、まず港湾構造物の改良・更新についての実態調査を行い、90の事例を収集した。これらの事例を分析することにより、改良・更新の傾向を明らかにし、多くの事例に共通する技術課題として次の5課題を抽出した。

- ① 新旧構造物の荷重分担
- ② 構造物の残存機能の評価
- ③ 捨石マウンドを貫通して打設される杭の設計・施工法
- ④ 液状化対策に伴う周辺構造物への影響
- ⑤ 土質新材料の適用

これらの技術課題についての現状の取組みを整理するとともに問題点の解決方策を検討した。検討にあたっては、試設計による考え方および効果の提示、室内実験などを実施した。また、代表的な更新事例45件を付録に事例集としてとりまとめた。

キーワード：港湾構造物，改良，更新，荷重分担，残存機能，捨石マウンド貫通杭，液状化対策，土圧低減用材料

*企画部長（前計画設計基準部長）

**土質部 基礎工研究室長

***計画設計基準部 設計技術研究室長

****土質部 主任研究官

*****第二港湾建設局横浜機械整備事務所建設専門官（前計画設計基準部 主任研究官）

*****大分県土木建築部港湾課（前計画設計基準部設計技術研究室受託研修生）

Investigation on Technical Problems of Port and Harbour Structures during Reformation

Shinji KATAOKA*

Kunio TAKAHASHI**

Hiroshi YOKOTA***

Yoshiaki KIKUCHI****

Hirokazu ISHIHARA*****

Shuji KAJIWARA*****

Synopsis

Approximately 15 port and harbour structures have been set to reform every year since about 1985 to strengthen deteriorated parts and to meet the needs of the times. The number of structures which are required to reform will be increasing. During design and execution stages of the reformation, special attention has to be paid because of restrictions due to existing structures.

The present design standard is principally referred to newly built structures, and may not be of use in the reformation design.

The present report describes technical problems which will commonly appear in the reformation and schemes for solving them. Ninety actual results or plans of reformation work were collected and analyzed. The following five technical problems appeared commonly:

- 1) Load distribution between an old and a new structures,
- 2) Evaluation of remaining capacity of an existing structure,
- 3) Design and execution methods on piles driven through rubble mounds,
- 4) Effect of liquefaction counter measures on surrounding structures, and
- 5) Application of new materials, particularly light weight soil materials.

To make consideration and provide answers to above five problems, parametric study of trial design, experiments, and so on have been carried out. Forty-five typical examples of the reformation are attached at the end of the report.

Key Words : Port Structures, Reformation, Load Distribution, Remaining Capacity, Pile through Rubble Mounds, Anti-Liquefaction Measure, Light Weight Soil

*Ex-Director of Planning and Design Standard Division

**Chief of Foundation Laboratory, Geotechnical Engineering Division

***Chief of Design and Construction Technology Laboratory, Planning and Design Standard Division

****Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division

*****Ex-Senior Research Engineer, Planning and Design Standard Division

*****Ex-Research Fellow, Planning and Design Standard Division

1. はじめに

わが国の港湾における社会資本整備は、長年の蓄積によりかなり高いレベルにある。すでに整備された施設については、適切な維持・管理を続けることによって良好な状態を維持していく必要があることは言うまでもない。しかし、過度に劣化や老朽化した施設については安全上の観点から改良・更新が必要である。また、港湾をめぐる周辺状況の変化などに伴い、その機能がもはや時代の要請にそぐわなくなった施設などについても、改良・更新などにより適切に対応していく必要がある。このような改良・更新はこれまでも毎年数例ずつ実施されてきたが、今後ますます多くの事例が生じてくると考えられる。

港湾構造物の改良・更新には、老朽化した構造物の補修などのように従前の機能を維持するために行われるものや、船舶の大型化による係船岸の増深のように当初の機能を上回るように改良する場合がある。また、港湾の再開発のように、陳腐化した施設にかわって新たに施設を整備する場合に、既存の施設を有効に利用することも考えられる。いずれの場合でも、港湾構造物の改良・更新にあたっては、新設の際に検討されない様々な制約条件のもとでの設計・施工となる。このため、現行の技術上の基準では十分に対応できないことが懸念される。したがって、改良・更新に特有の種々の技術課題に対して十分な検討を行い、設計・施工の考え方などを提示していかねばならないと言える。

本資料は、このような状況下で、港湾構造物の改良・更新における技術課題に関する検討を行ったものである。まず、アンケート方式による実態調査を通して港湾構造物の改良・更新についての事例分析を行った。その結果、改良内容、改良理由などを整理して傾向を把握したとともに、多くの事例に共通する5つの技術課題を抽出した。このような技術課題に対して、試設計などによる考え方の提案や効果の確認を行い、問題点を解決するための方策の可能性を示した。最後に、これまでに行われた代表的な更新事例45件を付録に事例集としてとりまとめた。

2. 港湾構造物の改良・更新事例

2.1 調査方法の概要

港湾構造物の改良・更新の実態およびこれに関する技術的な課題や問題点を把握することを目的として全国の直轄工事事務所などおよび港湾管理者に対するアンケート方式による調査¹⁾を実施した。調査の対象は、全国の特

定重要港湾および重要港湾133港における岸壁、棧橋、物揚場、護岸などを改良した水深-4m以上の係留施設で、昭和63年度以降に着工した事例あるいは計画中の事例とした。ここで改良・更新事例とは、具体的に以下のものを意味している。

- ① 岸壁および護岸法線の前出し
- ② 既設構造物を一部残しての増深
- ③ 既設矢板護岸へのタイロッドの増設
- ④ ストラットなどによる構造上の補強

言い替えば、既設(周辺)構造物への影響を十分に考慮して行われたものを対象としており、単なる補修・補強などは含んでいない。

2.2 調査結果

表-1に示すように、48港湾から90件についての回答が寄せられた。このうち直轄工事は52件、補助工事は38件であった。なお、改良・更新工事の詳細は巻末付録に事例集としてとりまとめている。

(1) 改良件数の推移

改良年度毎の改良事例件数を今後の予定を含めて集計した結果を図-1に示す。運輸省第四港湾建設局で昭和62年度に実施された港湾構造物の再開発にするアンケート調査²⁾によると、昭和58年度以前は年間5件程度であった改良事例が、昭和59年度を境に年間9~16件と急激に増加していた。今回調査した昭和63年度から平成3年度にかけても年間7~15件の事例があり、平均すると年間10件程度の港湾構造物の改良が実施されている。今後の予定についても同程度の件数が計画されており、技術的課題に対する回答状況から判断しても、港湾構造物の改良に関する早急な技術の確立が望まれていると考えられる。

(2) 改良施設の状況

改良・更新の着手事例および計画事例を施設の種類ごとに分類したものを図-2に示す。同図に示すように、改良はほとんどのものが岸壁を対象としており、棧橋がこれに続いている。言い替えば、係船岸がほぼ全てとなっている。また、実績と計画の割合は全施設数90件に対して実績が64件で、71%を占める。

改良前の水深を構造形式別に分類した結果を図-3に示す。水深-5m未満では重力式が非常に多くなっており、水深-5~8mでは矢板式が多くなっている。このように、重力式は水深が浅く造られたものが多く、このため改良の要請が多くなったことがわかる。また、改良後の水深の変化を構造形式別に見ると、改良に伴って水深が大きく変化する事例は少ないが、やはり重力式で水

深が浅い場合は改良の際に増深されているものが多い。

改良を行った施設のうち、経過年数が明らかな75施設について構造形式別に建設後の経過年数で集計した結果を図-4に示す。建設後20~30年を経て改良された事例が最も多くなっている。また、主な構造形式別の経過年数を図-5~7に示す。

各構造形式で30年未満で改良された施設の割合を示すと、重力式が52%、栈橋式が57.9%、矢板式が76.2%となっている。このように、重力式に比べて栈橋式、矢板式は改良を行う時期が早い傾向が見られる。これは栈橋式および矢板式は鋼構造物であり、腐食などにより比較

的早い時期に改良を行う必要が生じていることが理由の1つであると考えられる。

構造形式ごとに改良を行った施設の完成年度で取りまとめた結果を図-8に示す。矢板式および栈橋式については、昭和30~40年代に建設された構造物に対する改良事例が多い。また、重力式構造物に関しては、戦前を含めた古い時代の構造物に比較的数量多くの事例があることがわかる。

(3) 改良の内容

改良後にどのような構造形式に変わったかを構造形式別に示したのが図-9である。棚式を除くいずれの構造

表-1 実態調査結果の一覧

	港名	構造様式の変化	直轄・補助の別	備考
山形県	酒田港	矢→未	直	
	酒田港	その他→未	直	
	酒田港	重→未	補	
富山県	伏木富山港	その他→重	直	予定
	伏木富山港	棧→棚	直	予定
石川県	金沢港	矢→矢	直	予定
秋田県	船川港	重→重	補	
新潟県	新潟港	矢→矢	補	
青森県	青森港	棧→棧	直	
宮城県	塩釜港	未→未	直	予定
福島県	小名浜港	矢→矢	直	予定
	相馬港	矢→矢	補	
千葉県	千葉港	矢→未	補	予定
	千葉港	矢→未	補	予定
東京都	東京港	棧→矢	補	
神奈川県	川崎港	棧→棧	補	
	川崎港	矢→矢	補	
	横浜港	セル→棧	補	予定
	横浜港	セル→棧	直	
	横浜港	棧→棧	直	予定
	横浜港	矢→矢	直	
	横浜港	棚→棚	直	
	横浜港	重→棧	補	予定
	横浜港	棧→矢	補	予定
	舞鶴港	棧→棧	直	
	舞鶴港	棧→棧	直	
	舞鶴港	重→棧	直	
京都府	舞鶴港	棧→棧	直	
	舞鶴港	棧→棧	直	
	舞鶴港	重→棧	直	
鳥取県	境港	重→重	直	予定
広島県	呉港	棧→重	直	
	呉港	矢→矢	直	
	呉港	矢→矢	直	
徳島県	小松島港	矢→未	直	予定
愛媛県	松山港	棧→棧	直	
	松山港	重→重	直	
大阪府	大阪港	重→重	補	
	大阪港	棧→棧	補	
兵庫県	神戸港	重→棧	補	
	神戸港	矢→重	補	
	神戸港	棧→その他	補	予定
高知県	高知港	矢→棧	補	
	高知港	重→重	補	
山口県	宇部港	重→重	直	
	下関港	重→矢	直	
	下関港	棧→棧	補	

	港名	構造様式の変化	直轄・補助の別	備考
福岡県	北九州港	棧→棧	直	
	博多港	重→重	補	
熊本県	八代港	矢→矢	直	
	八代港	重→棚	補	
鹿児島県	名瀬港	棧→棧	直	
長崎県	厳原港	重→重	補	予定
	方方港	重→重	補	
	長崎港	棧→未	補	予定
宮崎県	細島港	棧→未	補	予定
	細島港	棧→棧	補	
	細島港	棚→未	補	予定
大分県	津久見港	重→重	補	
	津久見港	矢→重	補	
	津久見港	重→重	補	
静岡県	清水港	棧→棧	直	
	清水港	その他→棧	直	
	清水港	その他→棧	直	
	清水港	重→棧	直	
	清水港	重→棧	直	
	清水港	重→棧	補	
	田子の浦港	矢→矢	補	
愛知県	衣浦港	矢→重	直	
	衣浦港	矢→重	直	
	名古屋港	棚→矢	補	
三重県	名古屋港	棚→矢	補	
	四日市港	矢→矢	補	予定
	津松阪港	棧→重	補	予定
北海道	津松阪港	棧→重	補	予定
	稚内港	重→重	直	
	紋別港	重→重	直	
	根室港	矢→重	直	
	根室港	重→重	直	
	釧路港	矢→矢	直	
	釧路港	セル→セル	直	
	釧路港	矢→その他	直	
	釧路港	その他→その他	直	
	苫小牧港	矢→矢	直	予定
	苫小牧港	矢→矢	直	
	小樽港	重→棧	直	予定
	小樽港	重→重	直	
	留萌港	重→矢	直	予定
	沖縄県	平良港	重→未	直
石垣港		矢→矢	直	予定
石垣港		矢→棧	直	
石垣港		矢→棧	直	

でも、改良前と同じ構造形式へと改良される事例が多い。

構造形式別の改良内容について分類した結果を図-10に示す。増深および前出しについては重力式で事例が多い。これは、前述のように、重力式構造物は前面水深が比較的浅いため増深が必要な施設が多くなったためであると考えられる。また、前出しについては重力式構造物はそのままの断面で増深を行うことが困難な構造形式であるため、前出しを行いつつ増深を図る事例が多いためと考えられる。栈橋式では上載荷重の増加が多くなっている。

(4) 既設構造物の取扱い

図-11に既設構造物の取扱いをまとめた結果を示す。

撤去できなかったものを含めて撤去しなかった事例が全体の約2/3となっている。このうち、撤去しなかった事例は重力式の場合に多い。また、栈橋式や矢板式では撤去した事例と撤去しない事例がほぼ同数となっている。これは、重力式構造物を撤去することは経済的や技術的に難しい問題があり、そのまま土留め壁などとして利用した方が有利な場合が多いことによるものと考えられる。また、撤去しなくても支障がないため、そのまま残しておいた事例や、撤去しない方が経済的であると判断されたからによる。一方、栈橋式や矢板式は主に鋼構造物であるため撤去することについては比較的容易であったため撤去された事例も多いと考えられる。

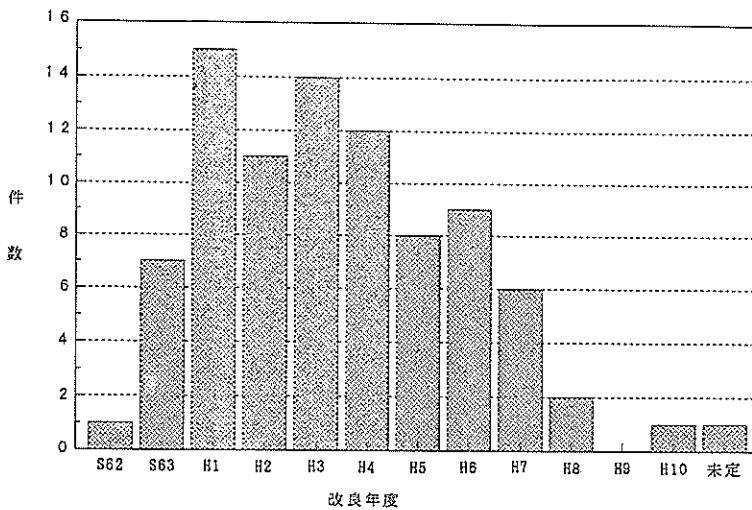


図-1 年度別の改良事例件数

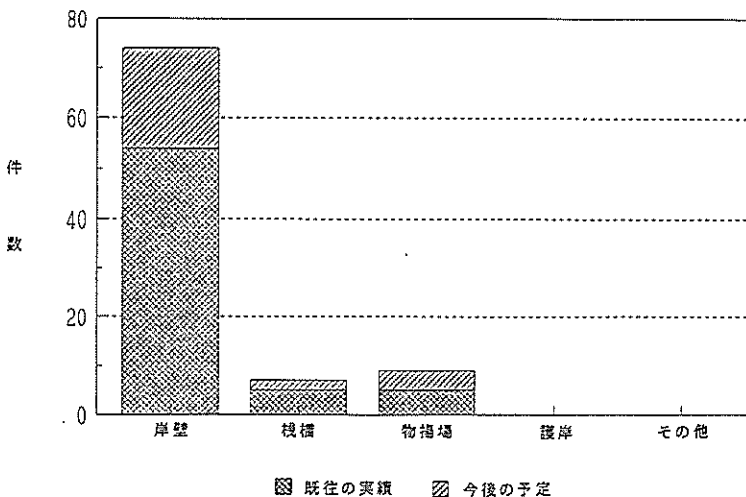


図-2 改良を行った施設の種類

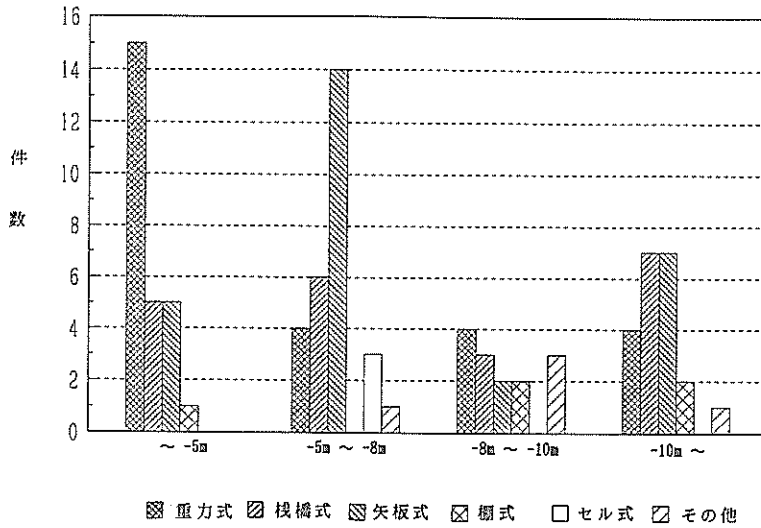


図-3 改良を行った施設の水深

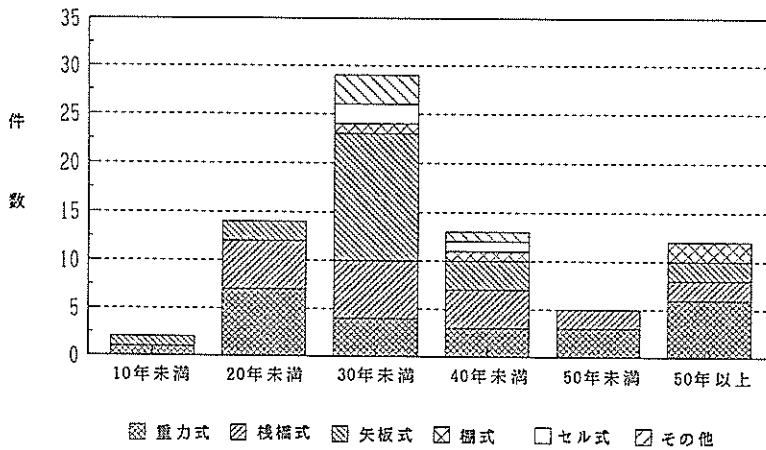


図-4 旧施設の建設後の経過年数

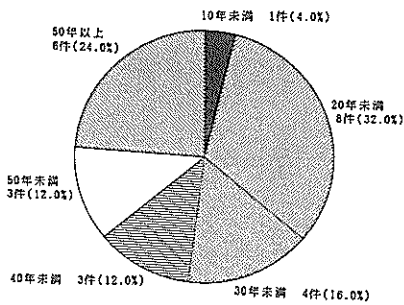


図-5 旧施設の建設後の経過年数 (重力式)

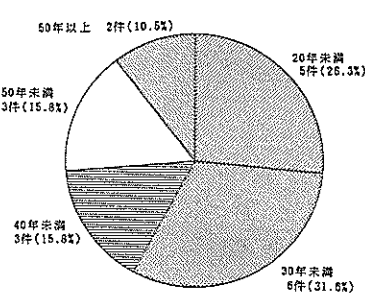


図-6 旧施設の建設後の経過年数 (栈橋式)

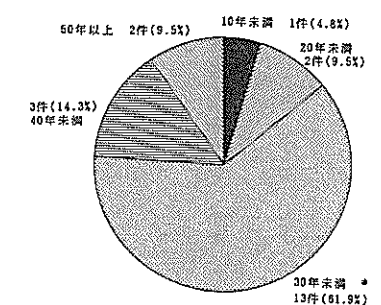


図-7 旧施設の建設後の経過年数 (矢板式)

2.3 改良事例の分析

港湾構造物の更新・改良事例の実態調査結果について、改良の理由、改良前後における構造様式の変化、改良時の制約条件、および技術的課題の観点から詳細に検討する。

(1) 改良の理由

改良・更新を行った背景について、再開発に関わるプロジェクトの一環であるか、個別の改良工事であるかについてとりまとめた結果を図-12に示す。港湾全体の再開発計画の一環として実施されたものは27件で、全体の3割にとどまっている。

改良の理由は、図-13に示すように、以下の5つの理由に集約できる。

- ① 施設の老朽化
- ② 船舶の大型化
- ③ 液状化・耐震対策
- ④ 用地の確保
- ⑤ 貨物、荷役形態の変化

このうち、①および③は安全性の確保からの要請であり、②、④、⑤は機能性の確保からの要請である。

安全性の確保を改良理由にあげている事例が改良施設90件のうち72件と最も多く、重要な課題であることがわ

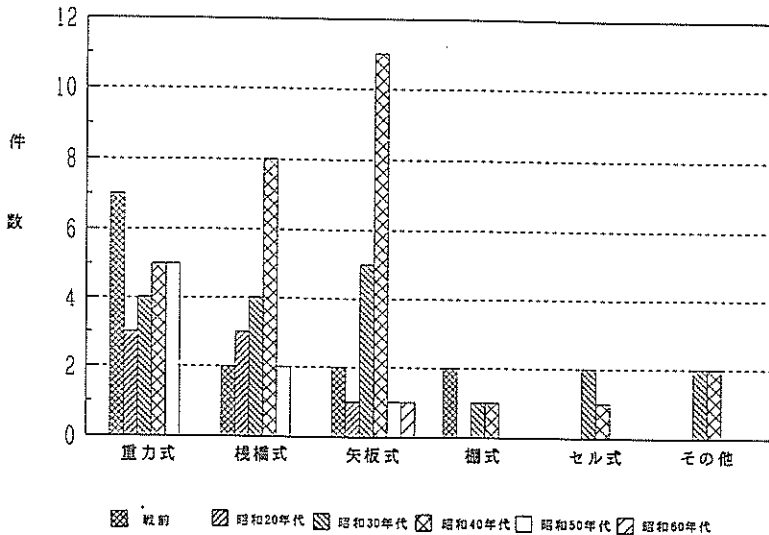


図-8 旧施設の完成年度

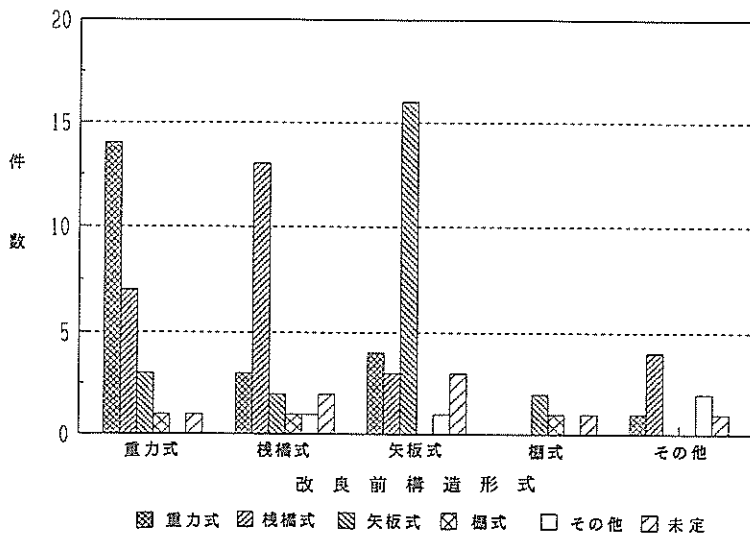


図-9 改良前後における構造形式の変化

かる。そのうち、施設の老朽化への対応は45件と最も多く、次いで液状化・耐震対策が20件となっている。機能性の確保を改良理由にあげている事例は54件で、そのうち船舶の大型化への対応が20件で比較的多くなっている。また、安全性の確保と答えた72件のうち35件は、機能性の確保も改良の理由としている。

構造形式別に整理した改良理由を図-14に示す。施設の老朽化への対応を改良目的としている事例は、各構造形式とも多いが、船舶の大型化への対応は重力式が多く、液状化・耐震対策は重力式、矢板式に多くなっている。

図-15に施設の前出しを行った理由について結果を示す。新設構造物の安定性の確保が最も多くなっている。これは、地盤の支持力などの観点から前出し距離が決定

されたことを示している。しかし、一方では泊地の制限によって前出しが制限された事例も次いで多くっており、既設構造物との相互作用についての考え方を確立する必要性が高いことがわかる。

(2) 改良前後における構造形式の変化

改良前後における構造形式の変化については図-9で示したが、詳しい状況を図-16にとりまとめる。改良前後の構造形式が把握できた78件の事例のうち、重力式、矢板式、栈橋式、棚式の4構造間での変化が70件と89.7%を占めた。改良前の構造形式が重力式、矢板式、栈橋式、棚式のものについての改良後の構造形式の変化の状況を図-17~20に示す。

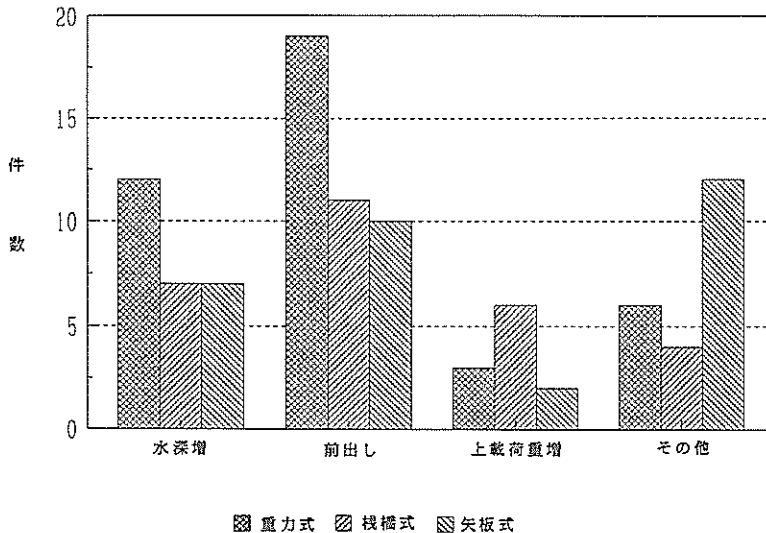


図-10 構造形式別の改良の内容

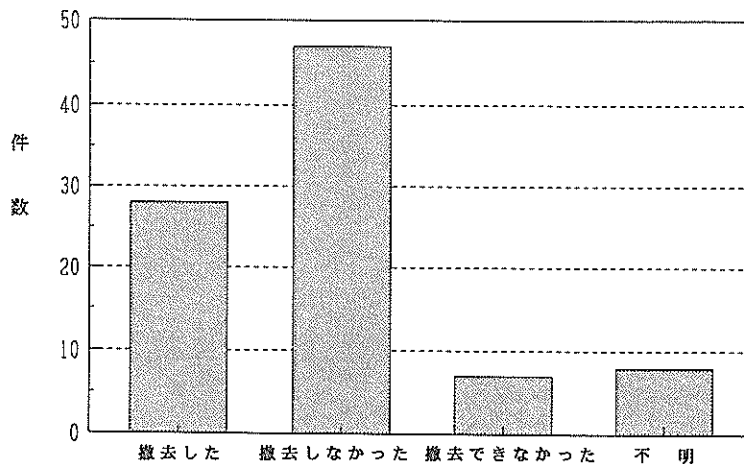


図-11 既設構造物の取扱い

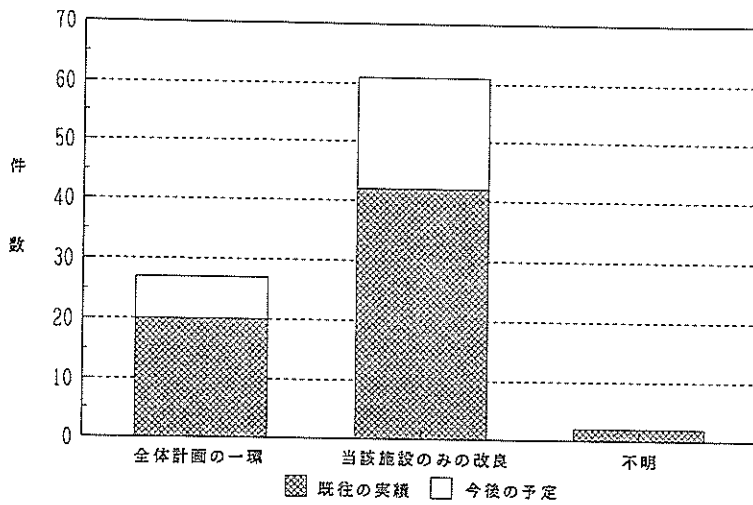


図-12 改良を行った背景

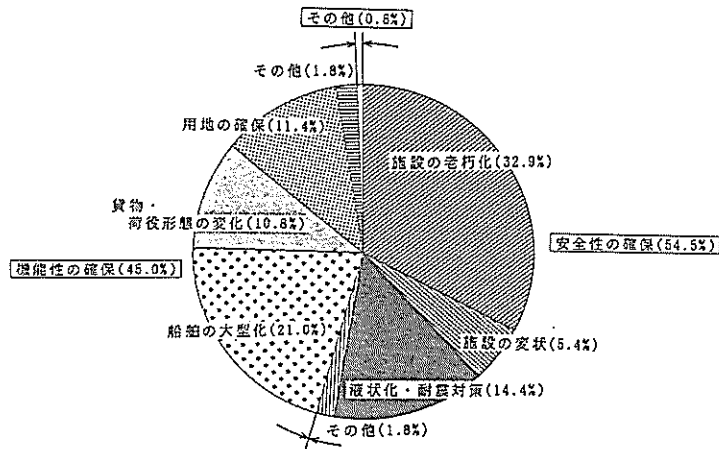


図-13 改良の理由

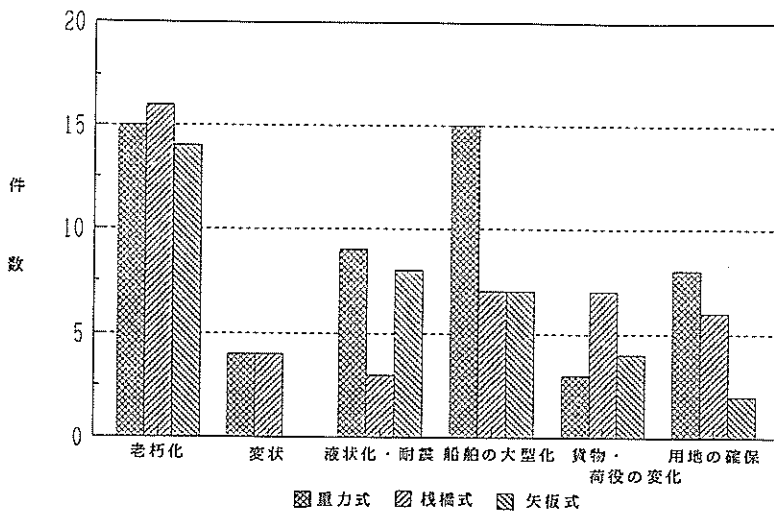


図-14 構造形式別の改良理由

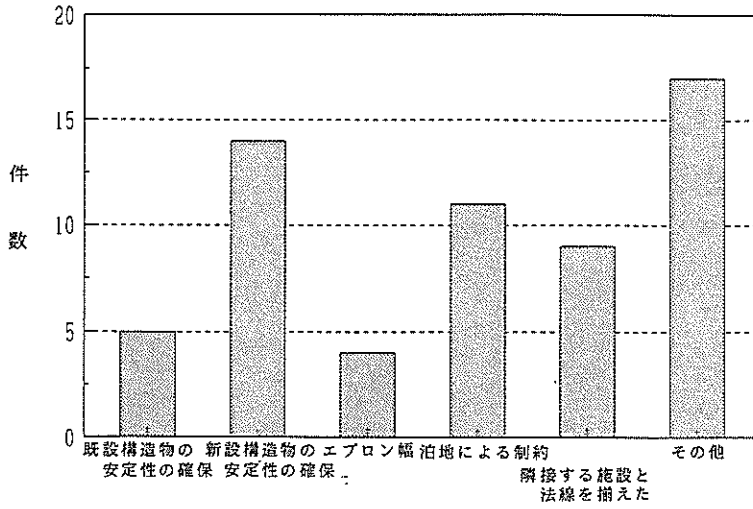


図-15 施設の前出しの理由

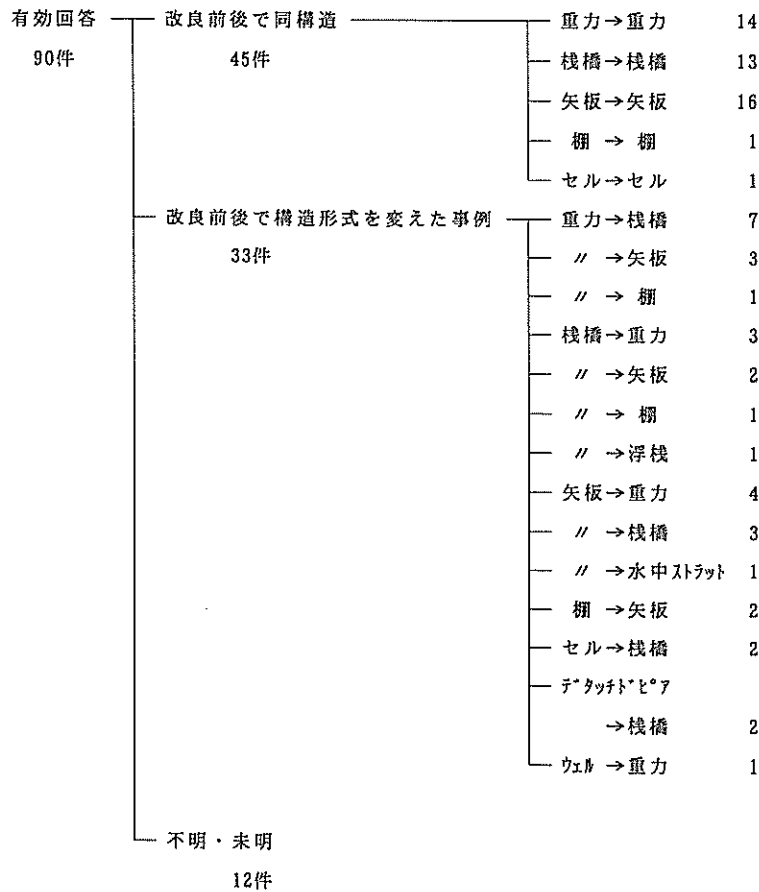


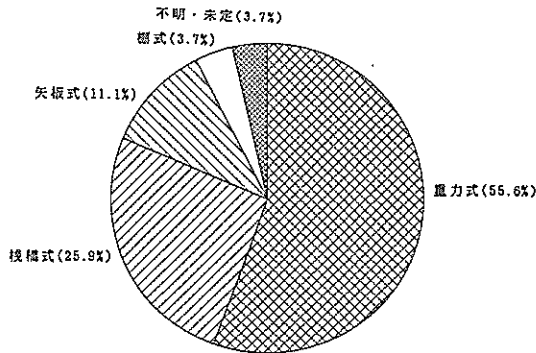
図-16 改良前後における構造形式の変化の内訳

(3) 工法および制約条件の関連性

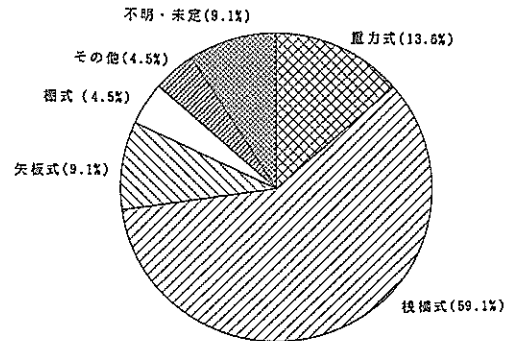
改良前後の構造形式が把握できたものについて、改良にあたっての制約条件との関係を土質条件、使用条件、環境条件、施工方法の観点からまとめた結果を図一

21～24に示す。なお、これらの結果は重複している場合もそのままカウントしている。

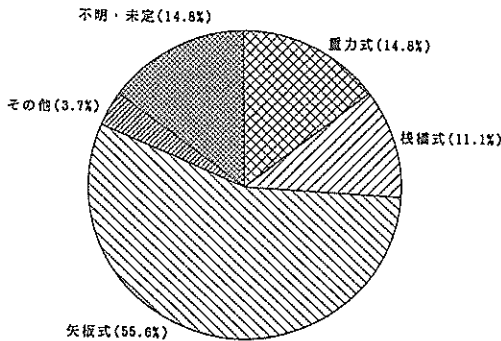
環境上の制約条件をあげている改良事例が93件と最も多く、ついで使用上の制約条件が85件、以下施工法によ



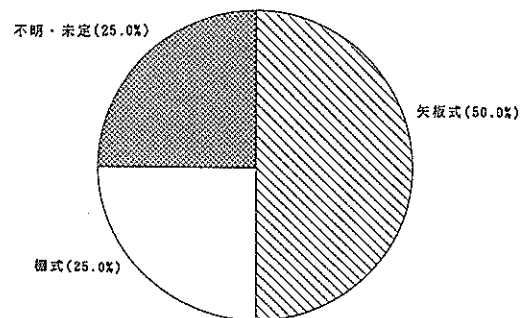
図一17 重力式構造物の改良後の構造形式



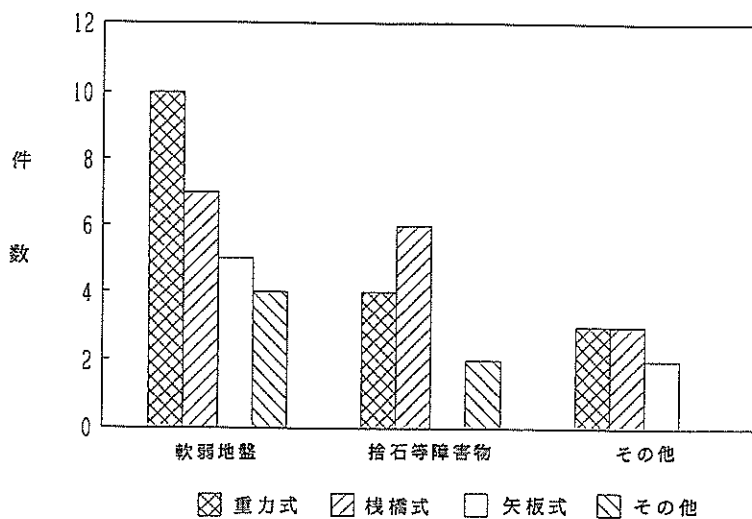
図一18 拱橋式構造物の改良後の構造形式



図一19 矢板式構造物の改良後の構造形式



図一20 欄式構造物の改良後の構造形式



図一21 土質条件が制約となった事例

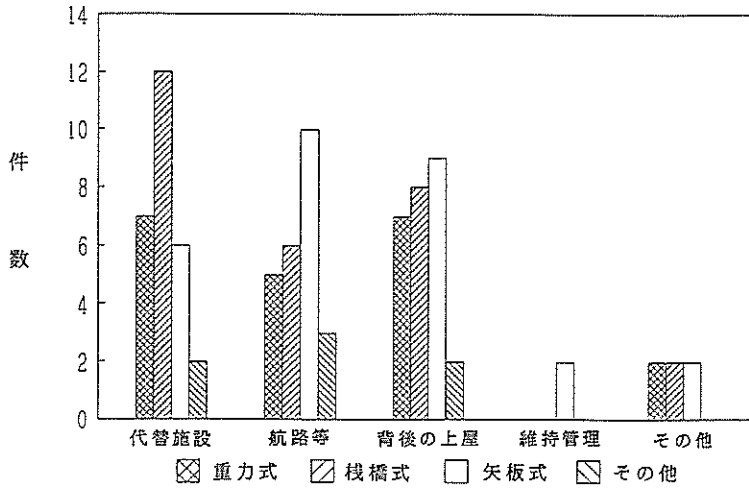


図-22 使用条件が制約となった事例

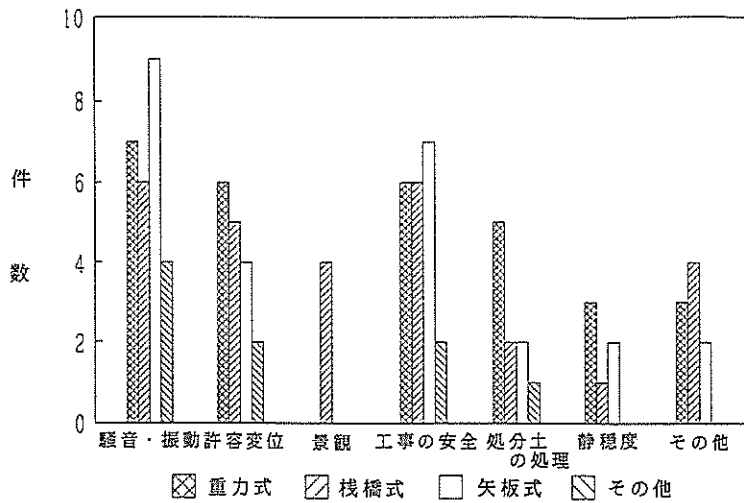


図-23 環境条件が制約となった事例

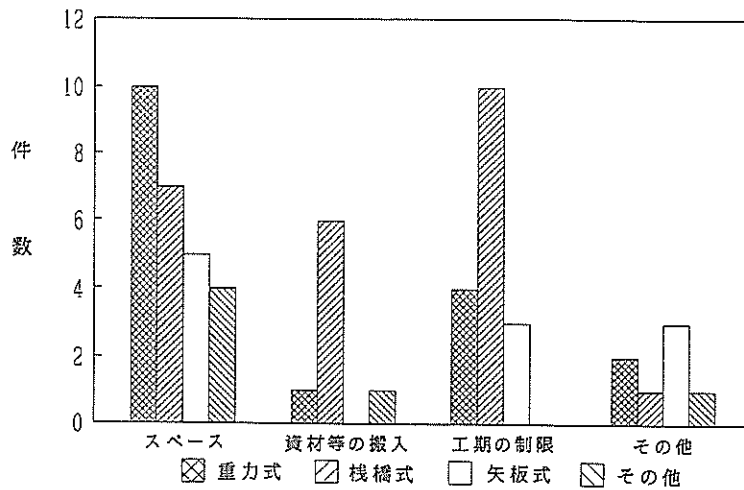


図-24 施工方法が制約となった事例

るものが58件、土質条件によるものが46件となっている。このうち、土質条件では、軟弱地盤が26件で最も多く、捨石などの障害物も問題となっている。使用条件では、代替施設の有無、航路確保、背面上屋の有無が主な制約条件である。環境条件では、騒音・振動、許容変位、工事に伴う安全性の確保が制約条件として多く、構造形式による違いは特にみられない。また、施工法では、工事に必要なスペースの制約はヤードの関係から重力式に多く、工期からの制約は栈橋式に多いのが特徴である。

(4) 改良に伴う技術的課題

アンケート結果から得られた港湾構造物の改良における技術的課題を表-2に示す2種類のキーワードをもとに分類する。分類した結果を図-25に示す。

2.4 典型的な改良事例の抽出

アンケートから得られた90事例について、改良ではなくほとんど新設と判断されるものを除いた事例について改良方法と改良を行う際の技術的課題の点から分類すると、表-3に示すように5つの事例に集約することができる。その他にも前出しおよび増深も多くの事例で見られるが、これらは概ね以下の5例に重複して該当する。

(1) 前面栈橋築造

前面栈橋築造は、既設岸壁法線の前面に直杭または斜杭を用いて横栈橋を築造したもので、19件の事例(代表事例番号6, 18, 25;以下本文中の事例番号は付録事例集に対応している)がある。改良の理由・目的としては、施設の老朽化が最も多く、次いで船舶の大型化、施設用地の確保が多くなっている。また、制約条件については、

表-2 技術課題分類キーワード

キーワードその1	キーワードその2
一体	一般
近接	杭
支持力	地盤改良
施工	土質
止水	作業船
消波	施工
設計	仮設
撤去	浮栈橋
腐食	コンクリート
補強	鋼材
補修	デタッチドピア
利用	栈橋
劣化	耐震
新旧	沈下
設計資料	
流用	

前出し制限、代替施設、軟弱地盤、周辺に対する許容変位などがあげられている。

技術的課題については、岩盤、捨石層への杭の打設工法と設計法、新旧構造物の荷重分担、土留め矢板一体型の栈橋に対する設計法、腐食対策および腐食の進んだ鋼構造物に対する調査・評価法などが共通のものとしてあげられる。

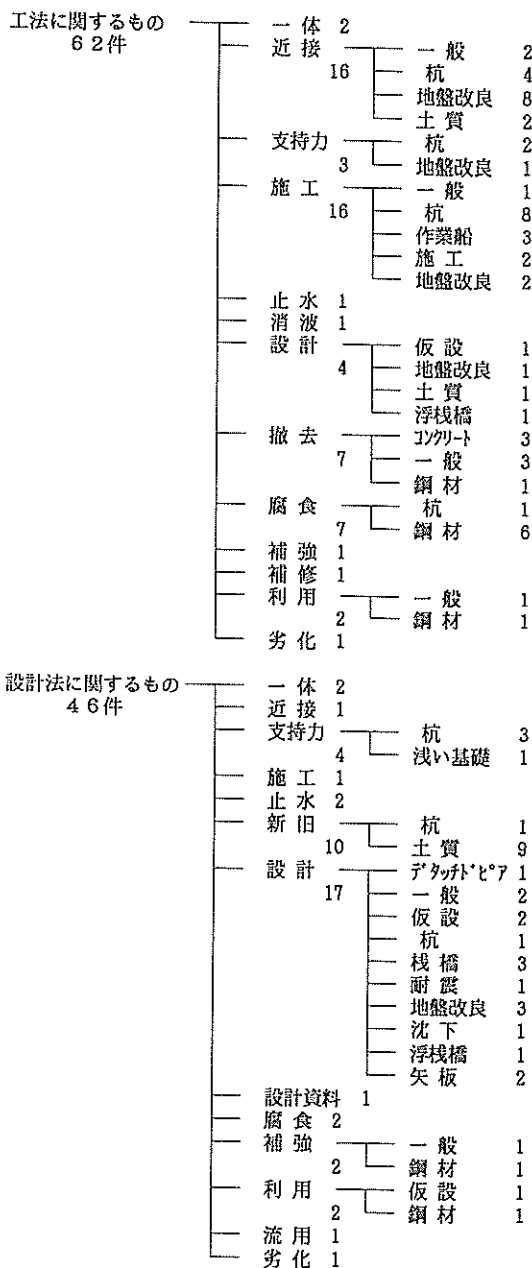


図-25 技術的課題の分類

(2) 直前（背）面矢板打設

直前（背）面矢板打設は、既設矢板式係船岸の直前面もしくは直背面に新規に矢板を打設して既設矢板の断面力不足、根入れ不足に対処したもので、9件の事例（代表事例番号20, 23, 26）がある。施設の老朽化が改良の理由・目的の主なものである。また、前出し制限、背面上屋による制約条件が認められる。

技術的課題については、岩盤、捨石層への杭の打設法と設計法、新旧構造物の荷重分担、土留め矢板一体型の

栈橋に対する設計法、腐食対策および腐食の進んだ鋼構造物に対する調査・評価法などがある。

(3) 増杭による荷重の分散

増杭による荷重の分散は、新しく追加打設する杭に鉛直方向、水平方向の荷重を分散させることにより荷重の増加、耐力の不足に対応するもので、5件の事例（代表事例番号32, 40）がある。改良の理由・目的としては施設の老朽化、荷役形態の変化が多い。制約条件については新たに杭を打設することから捨石などの障害物を挙げ

表-3 改良事例の分類

改良事例	改良形式	技術的課題
前面栈橋築造	既設法線前面に杭を用いて横栈橋を築造した形式	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤、捨石層への杭打設工法およびその設計法 ・新旧構造物の荷重分担 ・土留め矢板一体型の栈橋に対する設計法 ・腐食の進んだ鋼構造物に対する調査、評価法
直前（背）面矢板打設	既設矢板岸壁直前面もしくは直背面に新規矢板を打設し、既設矢板の断面力不足および根入れ不足に対処した形式	<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤、捨石層への杭打設工法およびその設計法 ・新旧構造物の荷重分担 ・既設構造物に対する腐食対策および腐食の進んだ鋼構造物に対する調査、評価およびその利用法
増杭による荷重の分散	新しく追加打設する杭に鉛直方向、水平方向の荷重を分散することにより荷重増加、耐力不足に対応した形式	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの新旧打継ぎ工法・硬質地盤に対する杭打設工法 ・既設構造物と新設杭の荷重分担 ・鉄筋コンクリート、鉄骨コンクリートの撤去工法 ・既設鋼管杭に対する腐食対策
液状化対策	改良工法 <ul style="list-style-type: none"> ・グラベルドレーン ・SCP ・置換 ・ロッドコンパクション 	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化対策工施工に伴う既設構造物への影響 ・止水矢板等仮設構造物の設計法および施工法 ・新旧構造物の一体化の設計法 ・腐食した鋼構造物の評価とその利用法
背面荷重減少	土圧の低減を図るため単純に裏込土に良質ものを利用する形式と、背面に作用する上載荷重を杭に分担させた棚式の構造としたもの	<ul style="list-style-type: none"> 軽量材使用 ・新旧構造物の一体化の設計法 ・既設構造物の部分的撤去工法 ・腐食の進んだ鋼構造物背後の空洞対策 棚形式への改良 ・摩擦抵抗が大きい鋼管杭の開発 ・硬質地盤に対する杭打機の開発 ・水中施工が可能なアースアンカーによる矢板岸壁補強法の開発

ている事例が多い。

また、技術的課題については、岩盤、捨石層への杭の打設法と設計法、新旧構造物の荷重分担、既設コンクリート構造物の撤去、腐食対策および腐食の進んだ鋼構造物に対する調査・評価法、新旧コンクリートの打継工法などがある。

(4) 液状化対策

液状化対策は18件の事例(代表事例番号5, 14, 31)がある。これらの主な工法は、グラベルドレーンが9件、SCPが6件、置換が2件、ロッドコンパクションが2件となっている。改良の理由・目的として液状化・耐震対策が主であることは当然であるが、それに加えて施設の老朽化を挙げている事例も多い。制約条件としては騒音・振動、周辺の許容変位が多い。

また、技術的課題については、既設構造物への影響、止水矢板などの仮設構造物の設計・施工法、新旧構造物の荷重分担、腐食対策および腐食の進んだ鋼構造物に対する調査・評価法などがある。

(5) 背面荷重減少

背面荷重減少は4件の事例(代表事例番号7, 9, 27)があり、構造物に作用する土圧を低減するために裏込土に良質なものをういたもの、軽量材(EPSブロック、水砕スラグ、気泡ソイルセメント)を用いたもの、あるいは背面に作用する上載荷重を杭に分担させたものがある。改良の理由・目的として特に大きな特徴はみられなかった。制約条件としては工事に伴う安全性が比較的多い。

また、技術的課題については、既設構造物の部分的撤去工法、矢板式係船岸の補強法の開発、新旧構造物の荷重分担などがある。

2. 5 共通技術課題の具現化

表-3に示した技術的課題の中で重要と思われ、かつ多くの事例で共通に問題となっているものは次の5つの課題である。

- ① 新旧構造物の荷重分担
- ② 腐食した鋼構造物の評価とその利用
- ③ 捨石マウンドを貫通して打設される杭の設計法および施工法
- ④ 液状化対策工による周辺構造物への影響
- ⑤ 土圧低減用新材料の利用技術

本資料ではこれら5つの技術的課題について検討を行うこととする。

3. 新旧構造物の相互作用

3. 1 新旧構造物の荷重分担

既存の港湾構造物を改良する場合、新設する構造物は既設構造物の存在を考慮せず、新設構造物のみで全設計荷重に対応させるという考え方が広く用いられており、これは安全側の設計法という点では適切なものといえる。しかし、既設構造物の耐力が全くない場合などを除くと、既設構造物についてもある程度荷重を受け持つ能力を有しており、その荷重分担能力をまったく考慮していないことになる。

そこで、既設構造物の荷重分担能力を利用して、改良することによって増加する設計荷重のうち既設構造物の荷重分担能力では不足する分を新設構造物で分担させるように、既設構造物と新設構造物が一体となって全体荷重に抵抗させることができれば新設構造物だけで抵抗させる場合より、新設構造物の断面はより経済的なものになることが期待される。

しかし、こうした考え方に基づいた適切な設計法がなく、そのために先に述べたように既設構造物の存在を無視したような設計を行わざるを得ないものと考えられる。

本章では既設構造物にも荷重を分担させて、既設構造物と新設構造物が一体と考えて設計した場合の妥当性について試設計を行って検討する。

3. 2 荷重分担を仮定する試設計の手法

(1) 対象構造物の選定

試設計を行うモデルは比較的計算の容易な矢板式係船岸とし、事例調査から得られた結果に基づき設定した。試設計の対象である係船岸は、設計水深-7.5mで、施設の老朽化、船舶の大型化のために改良するものである。改良は、係船岸の法線を4.6m前出しすることで行い、このために既設の矢板壁前面に新たに矢板を打設するとともに直杭式控え工を設ける。

(2) 設計計算の仮定

矢板式係船岸に作用する荷重として、ここでは主働土圧、水圧および上載荷重を考える。本構造物では新設する矢板の背面にまだ十分な耐力があると考えられる既設構造物が存在する。この場合作用する土圧の算定手法として次の2つの方法を仮定した。

- ① ケース1：新旧構造物に挟まれた部分の土圧を中詰土圧として取り扱う

この方法は、図-26に示すように、ケーソンの中詰土圧の計算方法と同様に、土圧は新旧矢板間の前出し距離に等しい深さまでは増加するが、これ以深では増加せず

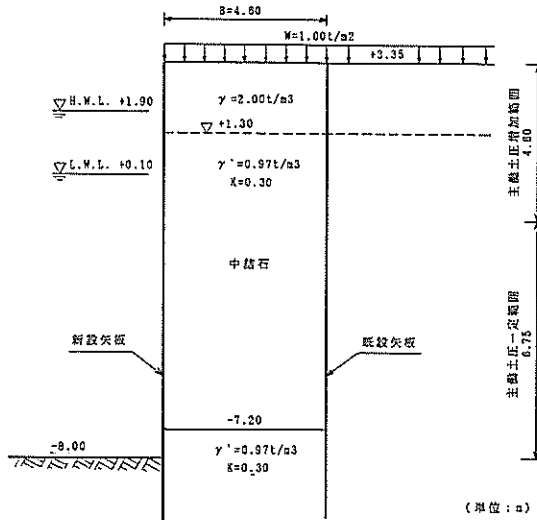


図-26 試設計断面 (ケース1,地震時)

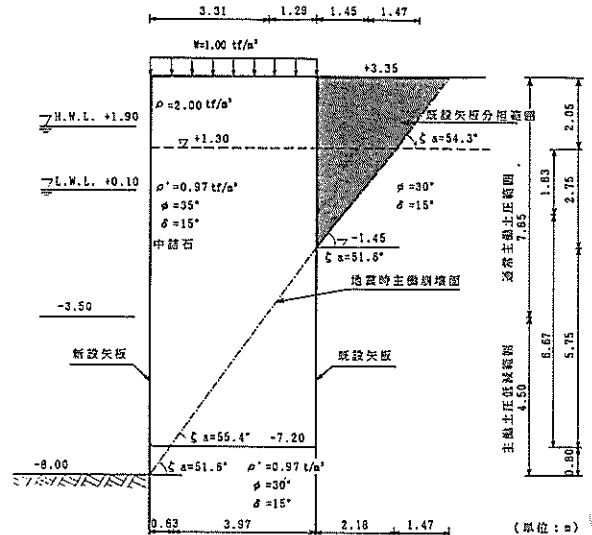


図-27 試設計断面 (ケース2,地震時)

一定であると仮定した。中詰土圧については、既設矢板からの前出し幅が4.6mであり、壁面が拘束され変位が小さいと想定されるので土圧係数として主働土圧係数である0.3を用いた。また、地震時においても中詰土に作用する慣性力を別途作用させるものとして、主働土圧係数は常時と同じ0.3を用いることとした。

②ケース2：土圧の影響範囲を主働崩壊面により考慮する

この方法は、図-27に示すように、新設矢板前面の地表面部から主働崩壊線を引き、既設矢板との交点から背面部分の土圧を既設矢板に分担させるものとした。計算上は、主働崩壊線と既設矢板と地表面部で囲まれた部分の面積分を、その比率に応じて減少させた土圧を用いることになる。特に、地震時には主働崩壊角が小さくなるので、低減される土圧の割合は大きくなる。

3.3 試設計の結果

(1) 荷重および新設矢板の最大曲げモーメント

矢板に作用する最大曲げモーメントは、タイ材取付点および海底面を支点とし、海底面から上の土圧および残留水圧が荷重として作用する単純ばりとして求めた。また、地震時の検討においては、設計震度を0.05に、水中での見掛けの震度を0.10に設定した。

ケース1の方法では、常時荷重によるタイ材取付点回りの曲げモーメントが159.6tfm/m、新設矢板に発生する最大曲げモーメントが28.53tfm/m、地震時にはそれぞれ168.2tfm/mおよび41.17tfm/mと算定された。ケース2の方法では同様に、それぞれ常時が165.2tfm/mおよび

38.46tfm/m、地震時が177.5tfm/mおよび40.90tfm/mと算定された。

(2) 現行設計法との比較

(1)で得られた曲げモーメントに基づき、矢板式係船岸の断面の試設計を行った。同時に、現行の設計法³⁾との比較・検討を実施した。現行の設計法とは、新設矢板の設計を既設矢板を考慮せずに行う方法のことである。検討結果の一覧を表-4に示す。

矢板の断面は、発生曲げモーメントより発生応力の最大値を計算し、許容応力を満足するものを選定した。この際、矢板の常時の許容応力度は1800kgf/cm²、地震時はこの値の5割増しとした。ケース1およびケース2とも現行の設計法による発生応力と比較して数%しか低減されておらず、矢板の材質はいずれの場合もFSP-V_L型となり、荷重分担の効果はほとんど見られなかった。

タイ材の張力については、ケース1の地震時の場合に現行設計に比べて15%程度の増加となり、他の場合もわずかではあるが現行設計法による算定値を上回った。これは、荷重の分担を考慮することで相対的に荷重合力の作用点が上昇したためである。この結果、ケース1の方法では所要タイロープがTR144となり、ランクの上昇が必要であるという結果となった。腹起しに関しても、タイ材の張力に基づいて設計が行われるため、当然のことながらタイ材と同様の傾向が得られた。

控え工は、タイ材張力を水平力として受ける直杭として、技術基準⁹⁾に示されている港研方式(C型地盤)により検討した。鋼管杭を用いて腐食代を1.0mm/年に設定すると、ケース1の方法ではSKK400-φ600×t12が必要

表-4 現行設計法と試設計の計算結果

		現行設計法		ケース1		ケース2	
		常時	地震時	常時	地震時	常時	地震時
矢板	最大曲げモーメント (tf・m/m)	39.51	42.87	38.53	41.17	38.46	40.90
	使用材料	SKSP-V _L		SP-V _L		SP-V _L	
	発生曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 520	1 649	1 482	1 584	1 479	1 573
	許容曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 800	2 700	1 800	2 700	1 800	2 700
タイ材	張力 (tf)	33.85	34.83	34.98	39.96	34.10	35.00
	使用材料	タイロープ TR130		タイロープ TR144		タイロープ TR130	
	許容引張力 (tf)	34.21	52.00	37.89	57.60	34.21	52.00
腹起し	最大曲げモーメント (tf・m)	6.77	6.97	7.00	7.99	6.82	7.00
	使用材料	2[-200×90 ×8×13.5		2[-250×90 ×9×13		2[-200×90 ×8×13.5	
	発生曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 359	1 399	1 048	1 196	1 369	1 406
	許容曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 400	2 100	1 400	2 100	1 400	2 100
控え直杭	変位量 (cm)	1.9	2.2	1.5	1.9	1.9	1.9
	最大曲げモーメント (tf・m)	30.69	32.86	32.90	38.60	30.80	31.80
	使用材料	φ500×t11 (SKK400)		φ600×t12 (SKK400)		φ550×t11 (SKK400)	
	発生曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 376	1 474	1 127	1 322	1 381	1 426
	許容曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1 400	2 100	1 400	2 100	1 400	2 100
	曲げモーメントゼロ点の深さ (m)	6.40	6.66	6.51	6.69	6.37	6.41
	必要根入下端深度 (m)	-8.30	-8.69	-8.47	-8.74	-8.26	-8.32
	根入下端深度 (m)	-8.90		-8.90		-8.40	

となった。他の方法ではいずれもφ550×t11の鋼管杭で十分であった。さらに、必要根入れ深度もケース1では大きな値が算定された。

以上のことから、新旧構造物の荷重分担においては、各ケースとも矢板の断面力についてわずかではあるが減少することが明らかとなったが、現行の設計法に比べて大きな断面の減少には至らなかった。また、ケース1の場合には、土圧分布が平均化され荷重の作用点が上昇したことによりタイ材張力が増大し、このためタイ材、腹起し、控え工には逆により大きな断面性能の材料が必要となった。

しかしながら、これらの傾向は、前出し距離、設計震度、水深の影響を大きく受ける。なぜならば、例えば前出し距離が短いと新旧構造物はより一体的に挙動することが定性的に考えられる。また、前出し距離が短ければ、ケース1の方法では地震時の慣性力が減少することは明白である。したがって、本試計算の構造諸元のみで結論を出すのは適当ではない。そこで、これらをパラメータ

として荷重分担の効果の傾向を以後で検討する。

3.4 構造諸元の荷重分担に与える影響

前述のように、土質条件が等しい場合には前出し距離、設計震度、水深などが計算結果に影響する。そこで、これらの3つのパラメータを変化させて新設構造物に発生する最大曲げモーメントを計算し、荷重分担の効果について定量的に考察する。

(1) 計算方法

計算に用いるモデルは3.2で用いた矢板式係船岸を簡素化した図-28に示すものとする。計算は、前出し距離を2~4.6mに、水深を-4~-8mに、設計震度を0.05~0.25に変化させて実施した。既設構造物の影響評価については3.2で述べたケース2の方法で検討した。

(2) 計算結果および考察

新設矢板に作用する最大曲げモーメントの計算値について既設矢板の存在を考慮しない場合の値との比率（曲げモーメント分担率）を図-29~32に示す。

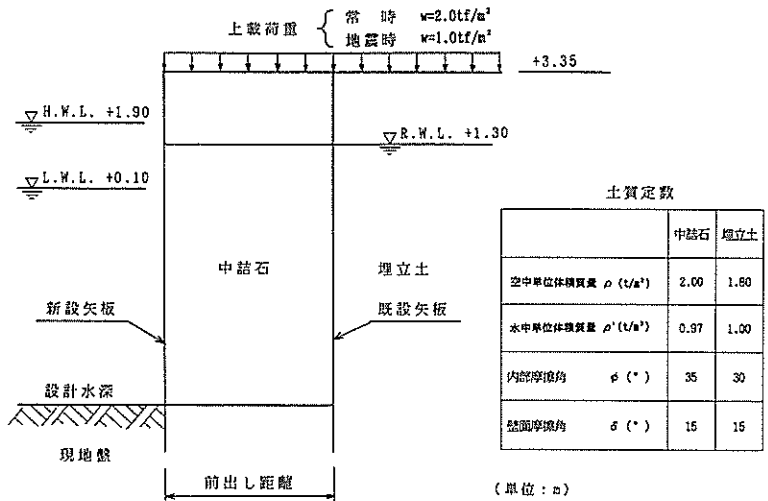


図-28 検討モデル

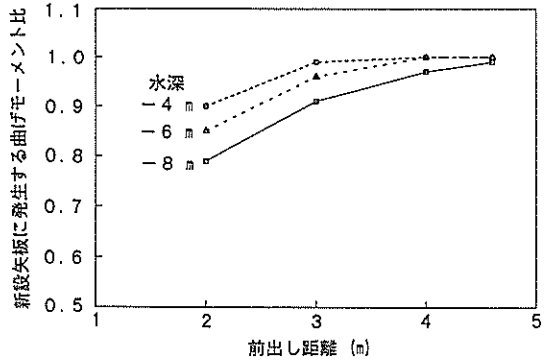


図-29 前出し距離と発生曲げモーメント比との関係 (常時)

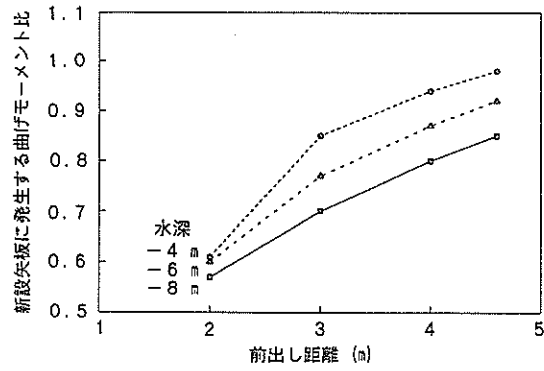


図-31 前出し距離と発生曲げモーメント比との関係 (設計震度0.15)

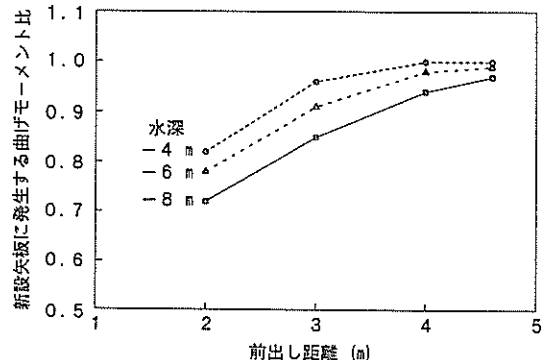


図-30 前出し距離と発生曲げモーメント比との関係 (設計震度0.05)

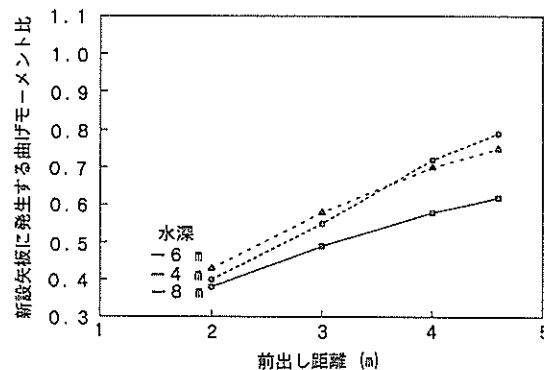


図-32 前出し距離と発生曲げモーメント比との関係 (設計震度0.25)

前出し距離が短くなれば新旧両構造物はより一体的に挙動するようになり、既設構造物の存在効果が顕著になる。つまり分担率は小さくなる。一方、前出し距離が長くなれば、両者はそれぞれ別々に挙動するようになり、分担率は1に近づいてくる。設計震度が0.05程度では、前出し距離が4mを越えると水深によらず、現設計法からの分担率は5%以下となり、既設矢板の影響はほとんどないと考えられる。

前出し距離が4.6mのときについて比較してみると、設計震度が大きくなるほど、また設計水深が深くなるほど分担率が小さくなる。これは設計震度が大きくなるほど主働崩壊角が小さくなり既設矢板が分担する領域が大きくなること、同じ設計震度であっても水深が深くなるほど既設矢板が分担する領域が大きくなるためである。この傾向が強く現れる前出し距離が小さい場合には、設計震度が大きい方が最大曲げモーメントが小さいという逆転現象も起きている。また、水深が浅いほど、また、前出し距離が小さいほど新設矢板に対する曲げモーメントの分担率が大きくなり、既設矢板の存在を考慮した設計法が有効なものになることが明らかになった。

各パラメータの変化による最大曲げモーメントに対する傾向をまとめると次のようになる。

- ① 設計震度が等しい場合、水深が大きいほど前出し距離による影響が大きい。
- ② 水深が等しい場合、設計震度が大きいほど前出し距離による影響が大きい。
- ③ 前出し距離が等しい場合、設計震度が大きいほど水深による影響が大きい。

これらのことから、例えば既設矢板の前面に2m前出しして水深6mの矢板式係船岸を建設する場合、設計震度を0.15とすると新設矢板は既設矢板を考慮しないで求めた曲げモーメントの約60%の値を用いて設計できる可能性があることになる。しかし、これは既設矢板が十分な機能を有している場合のみ適用できる考え方であることに十分注意する必要がある。既設矢板の機能の判

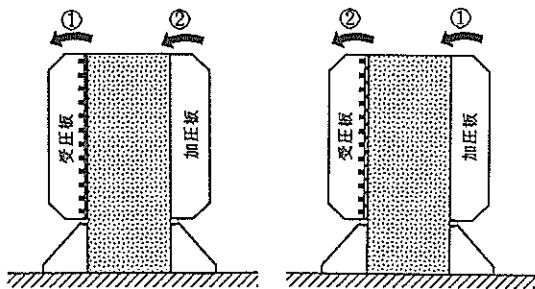


図-33 室内実験の概要

断については4. で言及する。

3.5 試設計手法の評価と荷重分担に係る問題点

本資料で仮定した新旧構造物の荷重分担に係わる設計法は、現時点でその妥当性が確認されているものではなく、実際に適用するには、種々の検討が必要である。実構造物で新旧構造物がどの程度荷重を分担して抵抗しているかは、現地観測などの方法で判断せざるを得ない。しかし、定性的な検証は模型実験などの小規模な室内実験でもある程度可能であろう。そこで、模型実験を行い、試設計手法の妥当性を定性的に検証するとともに、今後の課題を検討する。

(1) 模型実験の概要

模型実験は、近接構造物の変位に伴う土圧の変化を調べることを目的として行った。図-33に示すように、ヒンジより上の可動部分の高さ60cmの受圧板と加圧板の2枚の剛板にはさまれた部分に砂を入れ、板を変位（回転）させたときに受圧板に作用する土圧を測定した。受圧板が新設構造物に、加圧板が既設構造物にそれぞれ相当すると考えてよい。ただし、実験では剛板を使用したのが実際の矢板は柔構造であり、この板の剛性の相違が実験結果に与える影響を考慮する必要がある。しかし、この実験により新旧構造物に作用する荷重の性状をある程度判断することが可能となる。

板の間隔を20~50cmに変えて静止状態において受圧板に作用する水平土圧分布を測定した結果を図-34に示す。図中の実線は、土圧係数を0.35とした場合の土圧分

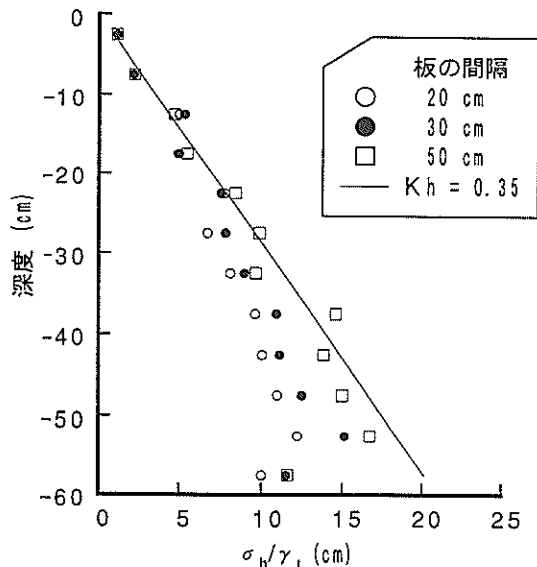


図-34 静止状態での作用土圧の分布

布の計算結果を示している。板の間隔が50cmの場合はおおむねこの直線上に分布しているが、間隔が短くなると深度が深くなるにつれて土圧係数が小さくなる傾向が現れてくる。この傾向について、土圧合力の鉛直荷重（砂自重）に対する比 K_h （土圧合力比）と土圧合力の作用位置の観点から整理したものが図-35である。静止状態に

おいては、板の距離が短くなるにつれ、土圧合力比は小さくなり、作用土圧合力が小さくなることがわかる。また、土圧合力の作用位置は上昇している。すなわち、全水平力は小さくなると同時に、作用位置が上昇することになり、試設計で得られた結果と傾向的に一致していると言える。これは、既設構造物が新設構造物に作用する

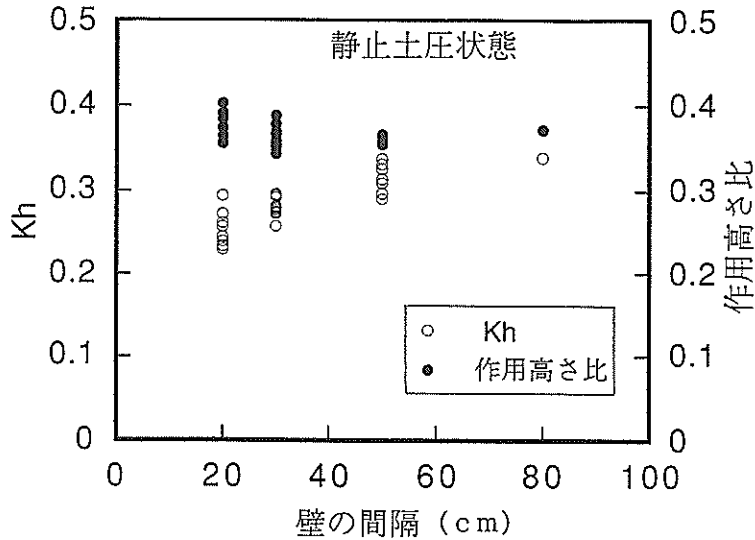


図-35 壁の間隔と土圧係数および作用高さ比との関係

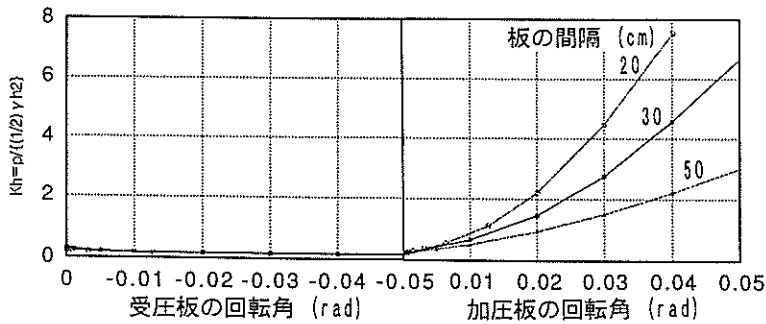


図-36 板の変位が発生土圧に及ぼす影響①

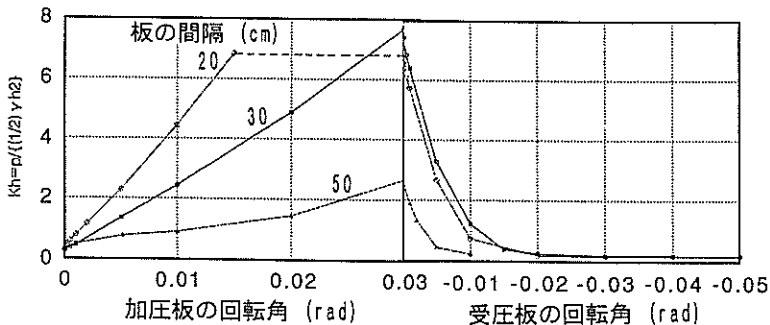


図-37 板の変位が発生土圧に及ぼす影響②

荷重の一部を分担していることに相当する現象である。

板の回転変位の程度と発生土圧合力の関係を図-36および図-37に示す。図-36は受圧板を変位させた後に加圧板を変位させた場合の、また図-37は逆に加圧板を変位させた後に受圧板を変位させた場合の受圧板に作用する土圧合力比を示している。加圧板の上部を受圧板方向に回転させると、急激に土圧合力比が上昇する。これは、新設矢板打設後に何らかの影響で旧矢板が前方に変位するような場合に注意が必要であることを示している。また、両図の傾向を比較すると、最終的に両板の相対的位置が変わらない場合でも、板の変位順序の違いによって作用土圧には大きな差が生じる。例えば、加圧板→受圧板の順序で板を回転させた場合には受圧板には大きな土圧は作用しないが、受圧板→加圧板の順序で回転させた場合にはかなり大きな土圧が発生する結果となった。

これらの実験結果から、新旧構造物の荷重の分担については概ね試設計で仮定した考え方を定性的には踏襲できると判断できる。しかし、土圧係数の設定や分布形状の設定にはさらに検討を必要とする。また、既設構造物に変位が生じた場合には、新設構造物に危険側の影響を与える可能性が示唆されており、既設構造物を撤去せずに埋め殺す場合にも相応の検討あるいは変位を生じさせない対策が必要である。土圧係数の採り方など定量的にはまだ多くの課題が残されており、今後の詳細な検討が必要である。

4. 既設構造物の機能評価と活用方法

4.1 構造物の機能

3. で検討したように、既設構造物を撤去せず有効に活用していくためには、既設構造物に現状ならびに将来の機能に対する正確な評価が不可欠となる。また、実際に構造物の改良に着手する際、あるいは改良を実施する時期を決定する際にも、現状の認識をいかに適切に行うかが必要になる。

言葉を替えると、港湾構造物は厳しい環境条件にあり、劣化が容易に進行するため、劣化の進行した港湾港湾物が現状で有する「機能」に対する正しい評価が不可欠である。構造物の「機能」には、多くの定義が考えられるが、耐力などの力学的指標や供用性、利便性などの使用性能による指標などが一般的なものである。あるいは、見栄え、周囲との調和などの感性による指標も近年話題となっている。これまでの構造物の単なる補修を含む更新事例の多くにおいては、老朽化した構造物が保持している機能を十分に生かした設計がなされているとは言い

難く、逆に老朽化した構造物の保持している機能を安全側に考えて無視するといった設計が広範に渡って行われている。これは、劣化した構造物の残存機能に対する適切な評価手法が定まっていないことに大きな原因があると考えられる。

構造物の改良・更新においては、腐食などの原因で低下した機能と、現状あるいは将来求められる機能との相対差、すなわち残存機能の評価が重要である。この意味から考えると、構造物の残存機能の評価は残存寿命の評価とも言い替えることができる。つまり、残存機能が十分に期待できると判断された場合には、この残された機能をうまく利用する手法が選択できることになる。しかし、期待できないときには、補修・補強などにより機能を回復（上昇）させる、もしくは使用形態の変更により能力を相対的に上昇させる、さらには使用を取りやめて撤去する、というようなより多くの選択肢から判断することになる。つまり、この残存機能の評価手法を定めることは、老朽化した構造物の将来の利用目的の変化を含む多目的発展（将来の利用可否の判定）に多大な貢献をするであろうことは想像に難くない。

ここでは残存機能という言葉の定義・内容について検討を行い、それに基づいて検討を進めていくとともに、これらの課題に関する基本的方向性について考察する。これについては、改良実績で多くの事例がある鋼構造物を取り上げて行う。

4.2 残存機能の定義と内容

腐食した鋼構造物の残存機能を一つの指標で示すことは非常に困難である。例えば、強度（耐力）に着目する場合と変形などの使用上の点に着目する場合、またある一つの部材に着目する場合と構造物全体に着目する場合とで機能の内容は変化する。さらに、作用荷重の大きさや構造物の利用の仕方が変化することによっても、構造物の残存機能は変化する。すなわち、残存機能は構造物の将来の利用形態に基づいて求められる能力と、現状の劣化の程度および現状の荷重の状態との相対的比較によって評価されるべきである。簡単に述べると、現状と将来との2時点における構造物の状態に応じて評価されるものと考えられる。

(1) 力学的安全性を指標とする手法

力学的安全性を指標とする検討方法は、耐力を一義的に評価の指標として考える。耐力の定義としては、部材あるいは構造物全体が破壊に至る際の荷重伝達能力と考える。当然のことながら、現状の利用形態および将来の利用形態によって、必要としている最小耐力の値が異なる

ってくることは疑う余地がない。よって、構造物の残存機能の定義に先立ち、耐力の評価手順を整理することとする。

まず、耐力の算定は基本的には許容値ではなく、いわゆる限界状態的な考え方に基づいて行うものとする。すなわち、鋼材の降伏強度の設計値と腐食して減少した鋼材の肉厚から求める断面係数などにより算定される。次に、腐食した鋼構造物の断面検討の結果から、現状での発生応力度を求める。発生応力度は腐食による断面の欠損、背後土砂の詰まりや緩みに伴う土圧の変化、作用荷重などによって当初設計で想定していた値と異なる場合が多い。例えば、測定した変形量が設計計算上の変形量を下回っていることが明らかにされた場合、時間経過に伴う地盤強度の自然増加などにより、土圧が低減していると判断できる場合などがこれに相当する。図-38は、耐力が時間経過とともに低減し、構造物が崩壊に至る概念を示したものである。耐力の値とその時点における断面力の値との差がその時点における構造物の残存機能ということになる。しかし現状では、構造部材にどの程度の断面力（曲げモーメント、せん断力など）が発生しているかを正確に算定することはきわめて困難な作業であり、例えば変形量から発生断面力を推定する手法の開発などが今後の課題として残されるべき事項である。

(2) 機能喪失を指標とする場合

機能喪失を指標として構造物の残存機能を定義する場合、まず機能喪失の定義を求めておく必要がある。機能喪失とは、例えば鋼矢板岸壁（護岸）において、飛沫帯にある鋼矢板の一部に孔食などがおきている場合で、最大曲げ応力の発生位置などを考慮すると、鋼矢板の力学

上の安定はそれ程損なわれていないと判断できるものの、波浪や潮流などで背後の裏込め土砂が徐々に吸出され、後背地の地盤沈下が起きているようなケースである。また、過大変形が生じて、もはや使用することのできないような構造物もこれに相当する。従って、ここでは簡単に、機能喪失とは構造物の腐食により利用の仕方に制限を受けることが余儀なくされた状態と考えるものとする。

このように機能を喪失した状態にある施設では、現状の使い方を続ける限り残存機能は無し、あるいはきわめて短いと判断できると考えられる。言い替えれば、構造物の残存機能があるという場合、用途利用上の機能を有しているべきということである。しかしながら、このような機能喪失を指標として使用しようとする場合、どの時点で機能を喪失したかを判断する難しさが残されている。ここでは前述したように、何らかの利用制限が生じた時点とするのが妥当と考える。

(3) 残存機能の将来変化

(1)および(2)においても言及しているように、残存機能の定義を考える場合、時間という要素が非常に重要になってくる。これについては、既往のデータから腐食の進行を予測することにより、耐力喪失の時点（耐久時間）の予測を行うことができれば、改良・更新の意志決定をする上では有力な指標になると考えられる。これについては、腐食速度の実績から推定することで現在でも適用されている³⁾。ただし、腐食の将来の進行状況の設定にあたっては、過去の腐食速度からのみ将来の腐食状況を予測するのではなく、周囲の環境変化なども十分考慮して修正を加えることが望まれる。

4.3 残存機能の評価方法

(1) 残存機能の評価の位置づけ

腐食した港湾鋼構造物の改良・更新を検討する場合において、残存機能の評価は図-39に示すように位置づけられる。まず、力学的安全性および機能の喪失という2つの入力情報に基づき、将来という項目を勘案した上で評価・判定が行われる。すなわち、これらの入力情報には、現状はもとより将来の情報も考慮したものが要ということである。

次に、評価・判定結果に基づき今後の対応を検討することとなる。評価・判定結果としては次の3つのケースを想定する。つまり、A) 継続して使用可能なもの、B) 使用形態の変更が求められるもの、およびC) 使用をもはや続けることができないものである。A) やC) の評価結果が得られた場合は技術的にそう大きな問題はないと思われる。一方、B) の評価結果が得られた場合には、今後

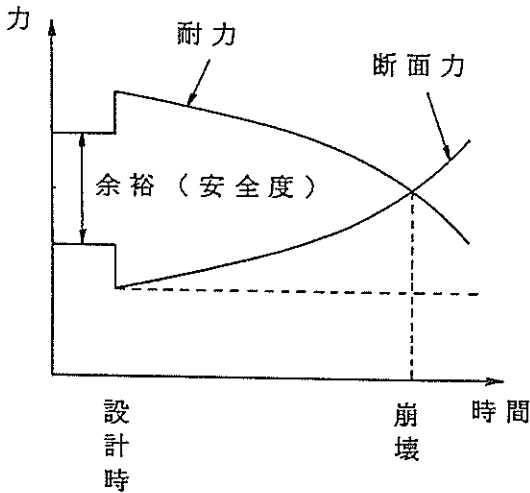


図-38 安全度の経時変化

の種々の見直しや対策を施すことにより、その構造物の存続が認められるような状況である。そして、設計条件など的人為的な変化・見直しを伴う力学的安全性の照査で、構造物の現状あるいは将来の機能が要求される機能を上回ることが求められるわけである。つまり、今回の調査の対象である構造物の改良・更新に最も関係の深い場合である。実際には、構造物の改良・更新はその構造物の現状に係わりなく、行政的な観点から決められる場合も多いと思われる。しかし、「補修が大規模になるのでこの際思い切ってやりかえよう」といった理由で更新が行われる場合の論拠となるのがB)であろう。

(2) 力学的安全性耐力による評価

構造物の更新時における、力学的安全性を指標とする残存機能評価の手順の考え方を図-40にまとめる。評価においては、今後の利用形態がまったく新しいものとなる場合と、これまでの利用形態と類似の役割を担う場合とによって若干異なる。まったく新しい利用形態となる場合には、荷重（外力）による発生断面力との差で評価する。類似の利用形態となる場合には、現在発生している断面力も当然勘案する必要がある。

港湾鋼構造物のうち、代表的な構造形式として鋼杭式構造と鋼矢板式構造物を取り上げ、力学的安全性の検討における注目点と評価項目について表-5にとりまとめ

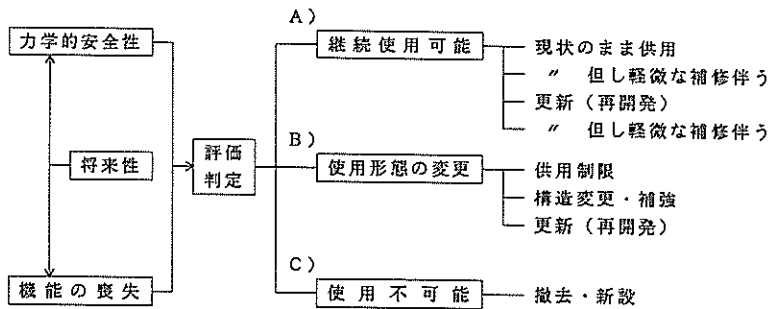


図-39 既設構造物の残存機能の評価

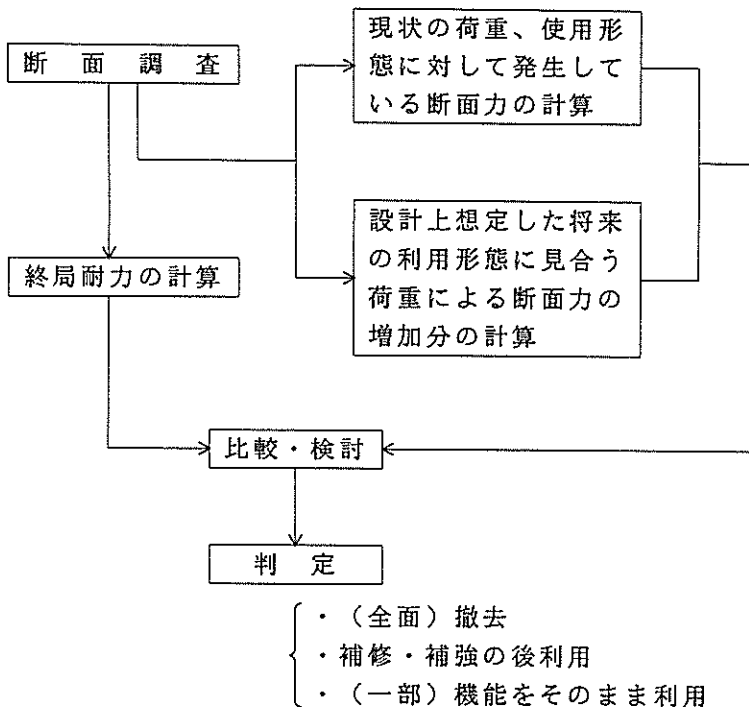


図-40 耐力を指標とした残存機能の評価

表-5 力学的安全性の観点からの着目点と評価項目

	構造形式	力学的安全性	
		着目点	評価項目
防波堤 棧橋	鋼杭式	<ul style="list-style-type: none"> ・洗掘の進行等外形寸法の変化 ・上部工クラック 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼杭根入れ長 ・鋼杭支持力 ・鋼杭応力 ・上部工応力
岸壁 護岸	鋼矢板式	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下等外形寸法の変化 ・上部工の変位 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼矢板根入れ長 ・鋼矢板応力 ・控え杭根入れ長 ・控え杭位置 ・控え杭応力 ・腹起し応力 ・タイロッド応力

表-6 機能喪失の観点からの着目点

	構造形式	利用上の変形・欠陥
防波堤	鋼杭式	<ul style="list-style-type: none"> ・天端高の変化 ・接続性の維持 ・破孔の有無
岸壁 護岸	鋼矢板式	<ul style="list-style-type: none"> ・天端高の変化 ・破孔の有無 ・背面土砂の流失 ・法線の直線性 ・壁体の直立性
棧橋	鋼杭式	<ul style="list-style-type: none"> ・天端高の変化 ・水平変位量 ・床版の平坦性 ・接続法線の直線性

る。具体的な評価手法および検討手法については、腐食プロフィールを用いる方法⁶⁾、平均残存肉厚を用いる方法⁷⁾などが検討されている。さらに有用な手法の開発が今後望まれるところである。

(3) 機能喪失変形などによる評価

機能喪失を指標として構造物の残存機能を評価する場合、どういう現象に着目すれば良いかを、防波堤、岸壁・護岸、棧橋についてまとめたものが表-6である。

これらの項目のそれぞれについて検討を行い、将来までにわたって利用上制限は受けないと判定された場合には、その構造物は残存機能を有していると考えられることができる。また、現時点においてあるいは将来において、何らかの利用上の制限を受けると判定された場合には、残存機能無しということになる。

4. 4 既設構造物の活用方法

以上までの検討に基づき、既設構造物が当初の機能をもはや失っている場合の活用方法についてまとめると下記のようなになる。

(1) 利用条件の変更

利用条件の変更とは、主として供用を制限することであり、設計上載荷重の変更、自動車乗り入れ禁止区域の設定、対象船舶サイズの変更（防舷材の変更）などが考えられる。また供用制限には当たらないが、荷種や荷姿、荷役機械（システム）の変更なども一種の利用条件の変更である。これらの変更を実際に行うためには、周辺施設を含む当該施設の現状の利用状況および将来の利用計画を慎重に検討した上で決定する必要がある。しかし、利用条件の変更は一般的にサービスの低下につながるものと言える。

(2) 構造条件の変更

構造条件の変更とは、すなわち構造物本体に手を加えることであり、変更後の構造物の機能を変えない場合と、機能をアップさせる場合とが考えられる。腐食による構造物の欠陥が軽微で構造物としての残存機能を保持しており、機能も変えない場合には、構造物の残存耐力をアップさせる必要もないので、腐食による欠陥部分のみを補修することで対処できる。一方、構造物としての残存機能を保持していない場合、あるいは残存機能は保持しているが機能をアップさせたい場合には、構造物の一部、あるいは全体に対する補強が必要となる。

3. において検討した、旧構造物前面に新設矢板を打設する方法、6. で紹介する水中結合工法、杭内部補充工法、鉄筋コンクリート被覆工法などは、それらの構造物に対する補強方法の一例ということになる。

(3) 設計条件の変更

設計条件の変更とは、構造物本体には手を加えずに設計の基本となる条件を変更することである。例えば、構造物の前面に消波ブロックを設置して、波力を低減させたり（防波堤）、土圧に対する抵抗力を増したり（護岸）する方法がこれに当たる。また、水砕スラグ、石炭灰、

発泡スチロール、気泡モルタルなどの種々の軽量材で構造物背面の土砂を置換えることにより、背面からの土圧を低減させる方法も一種の設計条件の変更である。

(4) 設計思想の変更

設計思想の変更とは、広い意味での設計条件、設計方法の変更であり、これらの中で取り扱うべき項目としては、残存耐用年数、設計荷重、安全率、腐食速度などが考えられる。しかしながら、これらの検討内容には現行の技術基準の内容と相容れない部分もでてくると考えられ、その検討は慎重に行う必要がある。

既設構造物の残存機能の検討を行う場合には設計耐用年数の設定が重要となる。一般的には、当初設計時より短くなると考えられ、この場合には設計に採用する荷重の再現期間の変更による設計波や設計震度の低減が期待できることになる。これは経済的な観点においても同様であり、期待値の考え方を導入した信頼性設計法も今後考慮していく必要がある。また土構造物において、経年変化による強度増加や自立性の付加による土圧の低減なども検討に値するものである。

5. 改良・更新における施工上の技術課題

5.1 捨石マウンドを貫通して打設される杭の施工法および設計法

港湾構造物の基礎には、根固め、荷重の分散、支持力の増加のために捨石マウンドが用いられている。既に述べたように、改良・更新に際してこの捨石の存在が問題となる例が多く見られる。たとえば、横棧橋の杭を補強する際には、杭を打ち替える必要がでてくることもあるが、このようなときには捨石を貫通して杭を打設する必要がある。また、ケーソン式岸壁の前面を増深する際に、前出しが許容されないケースなどでは捨石部の処理が困難になる場合がある。

ここでは、これらの捨石に関連する問題の中で、特に捨石を貫通して打設される杭の設計・施工法について検討する。

(1) 削孔方式

捨石マウンドおよび類似の地盤を貫通して打設する杭基礎の施工においては、杭の施工に先立ちこれらの層を削孔する必要がある。捨石や岩盤を対象とした削孔方式には、大別すると以下に示す4方式⁹⁾がある。これらの工法の概要および工法の特徴をまず紹介する。

a) オーガー削孔方式

岩盤を対象としたオーガー削孔方式は、岩盤用のアースオーガーにより岩盤あるいは転石を削孔し、スクリュ

ーにより掘削ずりを地上に搬出する方法をとる。このオーガー削孔方式には、オーガー先端に取り付けたビットにより岩盤などを掘削するロックオーガー工法と、オーガーとその外側の先端にビットをもつケーシングを取り付けて互いに逆転させながら掘削するドーナツオーガー工法⁹⁾の方法がある。オーガー削孔方式の概要を工法別に表-7に示し、この概念図を図-41に示す。

b) ロータリー方式

ロータリー方式は、ロッドパイプの先端に取り付けた掘削用ビットを回転させることによって地盤を掘削する工法である。掘削ずりはポンプサクシオン方式またはエアリフト方式により地上に搬出する構造となる。また、ケーシングを用いないため、孔壁は泥水や安定液により安定を保つ方式をとる。表-8にロータリー方式の概要を工法別に示し、工法の概念図を図-42に示す。

c) パーカッション方式

パーカッション方式には、重錘の自由落下による衝撃によって掘削する重錘式工法と、圧縮空気を原動力として先端のビットに衝撃と回転を与えて削孔するダウンザホールハンマー工法の2工法がある。掘削ずりは、ウェット掘削の場合はポンプサクシオンまたはエアリフトにて排出し、ドライ掘削の場合は重錘式ではハンマーグラブを用い、ダウンザホールハンマー式ではバケットやオーガー併用にて排出する。パーカッション方式の概要を重錘式工法とダウンザホールハンマー式工法に分けてまとめて表-9に示し、重錘式工法の概念図を図-43に示す。

d) オールケーシング方式

オールケーシング方式には、ケーシングチューブを動揺・圧入させる方式とケーシングチューブを回転して地盤を切削する方式があるが、捨石および岩盤に対応するのはケーシングチューブを回転させる方式であり、全回転型オールケーシング工法と呼ばれている。ずりの排出にはハンマーグラブを用いる場合が多いが、地盤に応じてロックオーガーやダウンザホールハンマーなどが選択できる機種もある。ケーシング削孔機構の概要を表-10に示し、概念図を図-44に示す。

以上の工法の中から、削孔方式を選定するにあたっては、施工される構造物(基礎杭)の特性、地盤条件、削孔深度、杭径などの施工条件、地形および気象、海象条件、あるいは騒音、振動などの環境条件などについてあらかじめ検討する必要がある。

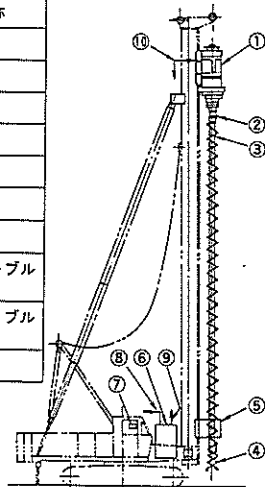
(2) 捨石層の特性

捨石層に削孔して杭を打設しようとする場合に問題となる条件は、地盤条件と施工条件であると思われる。そ

表-7 オーガー削孔方式の概要

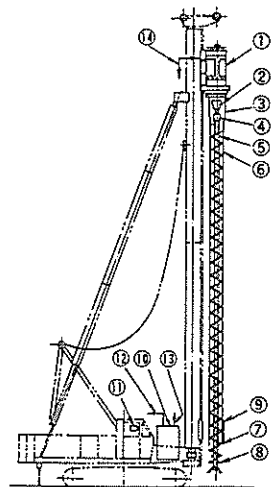
工法名		ロックオーガー工法	ドーナツオーガー (SDA型)	ドーナツオーガー (SMD型)
工 法	概要	1本のオーガースクリューにより削孔を行う単軸式の削孔機構をもつ。オーガーヘッドには、超硬チップ付きのものが用いられ、オーガーの板厚は25mm以上のものが使用される。	互いに逆転する内側のオーガの先端に取り付けた特殊刃先と外側ケーシングの先端に取り付けた特殊刃先により削孔する。	互いに逆転する内側オーガの先端に取り付けた特殊刃先と外側ケーシングの先端に取り付けた特殊刃先により削孔する。
	特徴	ベースマシンのリーダーには大きなトルクが作用するため、専用に設計されたリーダーを必要とする。オーガーヘッドの爪には平形と山形の2種類の形状がある。平形のヘッドは玉石や砂礫を掘り起こすように設計されており、山形は岩盤用である。削孔はオーガーのみで行うため、砂礫層などのように孔壁が崩壊する危険性がある場合には、孔壁崩壊のためのモルタルなどの注入のためのプラントが必要となる。	内側オーガースクリューと外側ケーシングスクリューが独立した掘進機構を持っており、各々の正転・逆転を自由に組み合わせることができる。内側スクリューと外側スクリューを互いに逆転させることにより反動トルクを打ち消しあい、ベースマシンやリーダーに過大な反動トルクが作用しないように設計されている。	内側オーガースクリューと外側ケーシングスクリューの駆動源を同一にし、SDA型をコンパクト化したものである。SDA型に比べ小型のベースマシンに搭載することができる。内側スクリューと外側スクリューを互いに逆転させることにより反動トルクを打ち消しあい、ベースマシンやリーダーに過大な反動トルクが作用しないように設計されている。
使用機械		クローラー式ベースマシン (三点支持式)、ロックオーガー機、オーガースクリュー、オーガーヘッド、発動発電機、補助クローラークレーン	クローラー式ベースマシン (三点支持式)、ドーナツオーガー機 (二軸同軸式)、ケーシング、ケーシングヘッド (回転式)、オーガースクリュー、オーガーヘッド、発動発電機、補助クローラークレーン	クローラー式ベースマシン (三点支持式)、ドーナツオーガー機 (二軸同軸式)、ケーシング、ケーシングヘッド (回転式)、オーガースクリュー、オーガーヘッド、発動発電機、補助クローラークレーン

No.	名 称
1	掘進機構
2	ロッド
3	スクリュー
4	オーガーヘッド
5	下部振れ止め
6	制御盤
7	操作盤
8	キャブタイヤケーブル (1次)
9	キャブタイヤケーブル (2次)
10	グラウトホース



ロックオーガー工法

No.	名 称
1	掘進機構
2	下部カップリング
3	排土カップリング
4	ロッド
5	スクリュー
6	ケーシング
7	カッティングエッジ
8	オーガーヘッド
9	下部振れ止め
10	制御盤
11	操作盤
12	キャブタイヤケーブル (1次)
13	キャブタイヤケーブル (2次)
14	グラウトホース



ドーナツオーガー(SMD型)工法

図-41 オーガー削孔方式概念図

表-8 ロータリー方式の概要

工法名	ビッグマンシビル工法	TRC工法	Jシリーズ工法	Sシリーズ工法	大口径ボーリングマシンLシリーズ工法	シャフトボーリングマシンMD工法
工法	概要	ポンプを内蔵した掘削機本体を掘削孔に直接降下するタイプで、数個のウィングビットを自転させながら公転させ削孔する。	本体は動力源と吊り棒を有する高さ4m前後の比較的小型のものであり、ロッド先端に取り付けられたビットを回転させることにより削孔する。	ドリルロッドの先端に取り付けられたローラービットをロータリーテーブルで回転させ、削孔する。	ドリルロッドの先端に取り付けられたビットをロータリーテーブルで回転させ、削孔する。	ドリルロッドの先端に取り付けられたビットを吊り棒の上部に取り付けられたロータリー装置により回転させ、削孔する。
	特徴	先端のビットは、ウィングビット、ローラービット、ダウンビット、ダウンザホールハンマーの選択が可能である。駆動源には油圧を用い、微小なビット荷重のコントロールができる。傾斜削孔が施工可能である。	水中モーター駆動方式のため、ドリルパイプを必要とせず、地上設備が簡単であり、機械の移設作業が容易である。	マシン本体が比較的小型であるため、長さ2mのドリルロッドを使って高さ4.6mの空間があれば、削孔作業が可能である。傾斜角度が30°までの傾斜削孔が可能である。	動力ユニットはロータリーテーブルと分離した形式であり、建造物の近接施工が可能である。	エアリフト方式による排土で大深度削孔でも掘進速度が低下しない。動力ユニットはロータリーテーブルと分離した形式であり、建造物の近接施工が可能である。
使用機械	ドリルユニット、ケリーロッド、スタビライザー、カウンタウエイト、ロックビット、発動発電機、サクシオンポンプ、沈殿槽	クローラークレール、TRCドリル、リバースロッド、ケリバー、サクシオンポンプ、沈殿槽、発動発電機	マシン本体、ドリルロッド、ビットガイドビット、サクシオンポンプ、沈殿槽、発動発電機	ロータリーテーブル、ケリバー、ドリルロッド、ローラービット、サクシオンポンプ、沈殿槽、発動発電機	ロータリーテーブル、ケリバー、ドリルロッド、ドリルロッド、ロックビット、空気圧縮機、沈殿槽、発動発電機	ロータリー装置、ドリルロッド、ドーナツウエイト、カッター、マスト、サクシオンポンプ、沈殿槽、発動発電機

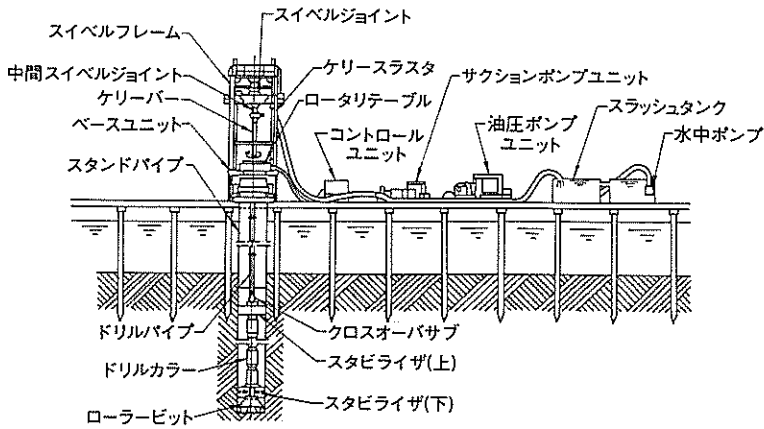


図-42 ロータリー方式概念図

表-9 パーカッション方式の概要

工法名		重錘式工法	ダウンザホールハンマー式工法
工 法	概要	ケーシングパイプ内の重錘をずり排出管をガイドとして油圧駆動ウィンチにより巻き上げ、自由落下を繰り返すことにより、衝撃を加えて削孔する。	空気圧縮機からエアーを供給しシリンダー内のピストンを往復運動させることにより、ビット先端チップに衝撃を与えて削孔する。
	特徴	重錘の落下高さは、0.5～10mの範囲で調整できるなど、運転中にも打撃条件を設定できる。 孔壁の崩壊防止のためのケーシングパイプは、掘進に追従してジャッキにより圧入する。 ウェット掘削では、エアリフト方式にてずりを排出し、ドライ掘削の場合はハンマーグラブにて排出する。	削孔径が小さい場合はエアー循環方式でずりを排出でき、この場合は給水設備が不要である。シンプルな構造のため消耗部品が極めて少ない。 ビット荷重が少なく良好な鉛直性の精度が良い。 逆流防止弁が組み込まれているため、水中施工が可能である。
使用機械		掘削機機械台および塔、重錘、エアリフト送気ホース、ずり排出管、ずり受ホップ、エアリフト送気ホース、空気圧縮機、ケーシングパイプ、発動発電機	ベースマシン（三点支持式クローラークレーン、バックホー、その他専用機）、ダウンザホールハンマー、ハンマーロッド、空気圧縮機、発動発電機

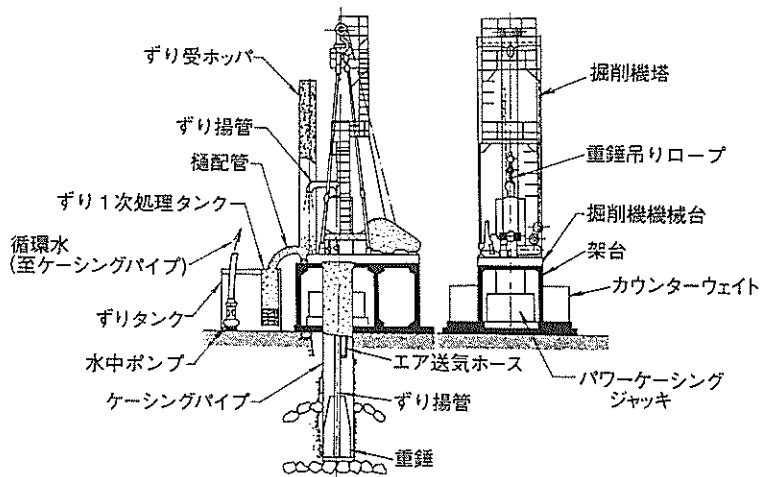


図-43 パーカッション方式（重錘式工法）概念図

表-10 オールケーシング方式の概要

工 法 名		オールケーシング工法
工 法	概要	従来のオールケーシング工法におけるケーシングチューブ先端に硬質チップを取り付け、そのケーシングチューブを掘削全長にわたり回転・圧入しながら掘削し、掘削ずりはハンマーグラブ等によって排出する方法をとる。
	特徴	強力な回転力によって、岩盤、転石、玉石、鉄筋コンクリート等の掘削が可能である。 転石の場合ハンマーグラブによって、つかみ取ることができる。 ケーシングが360°回転するため、高い鉛直性が得られ、フリクションカットに優れ、大深度掘削が可能である。 ケーシングチューブを使用するため、孔壁崩壊の心配がなく、近接構造物への影響も少ない。 掘削地盤の判定が容易である。
使用機械		ケーシング回転掘削機、クローラークレーン、ケーシングチューブ、ケーシングビット、ハンマーグラブ、ハンマークラウト、チゼル、発動発電機（電動式機の場合）

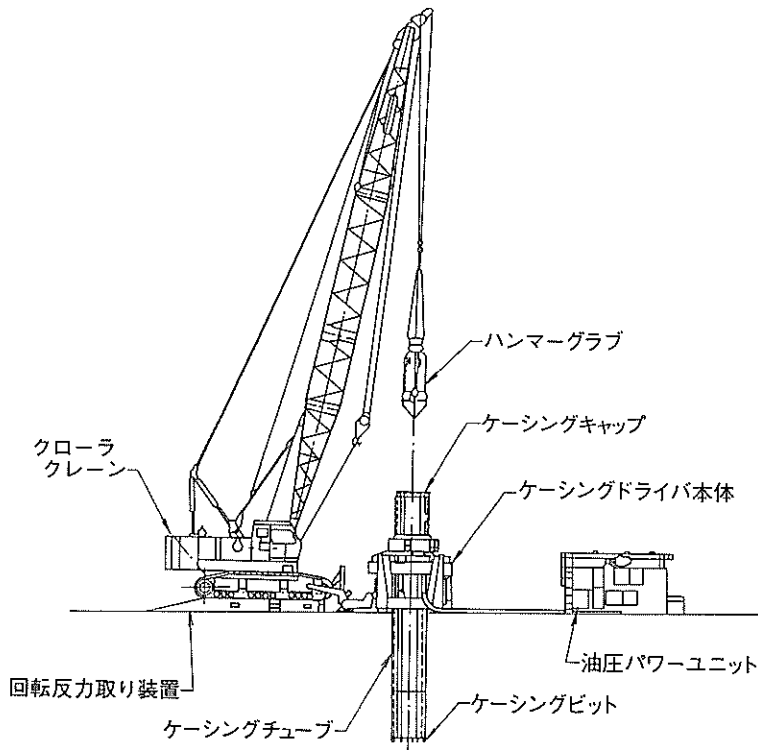


図-44 オールケーシング方式 (CD工法) 概念図

表-11 削孔方式別適用例¹⁾

選定条件		削孔方式		ロータリー方式	パーカッション方式		オールケーシング方式		
		オーガー削孔方式	ロータリー方式		パーカッション方式	オールケーシング方式			
主 要 用 途		<ul style="list-style-type: none"> 鋼矢板・鋼管矢板等の先行削孔工事 土留工事 橋台、橋脚の基礎杭工事 建築の基礎杭工事 地中障害物削孔除去工事等 		<ul style="list-style-type: none"> 橋台、橋脚の基礎杭工事 海上構造物の基礎杭工事 建築の基礎杭工事 地下鉄基礎杭工事 抑止杭・土留杭工事 鋼管矢板等の先行削孔工事等 	<ul style="list-style-type: none"> 橋台、橋脚の基礎杭工事 海上構造物の基礎杭工事 さく井工事等 建築の基礎杭工事 止水・土留等の柱列壁工事等 	<ul style="list-style-type: none"> 橋台、橋脚の基礎杭工事 建築の基礎杭工事 抑止杭工事 止水・土留等の柱列壁工事 鋼管矢板等の先行削孔工事 地中障害物削孔除去工事等 			
		掘 削 種 別		オーガー式	ロータリー式	重錘式	ダウンザホールハンマー式	全回転型オールケーシング式	
施 工 条 件	施工深度 (m)	5未満	◎	◎	△	○	○	○	
		5~15	◎	◎	○	◎	◎	◎	
		15~25	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		25~40	◎	◎	◎	○	○	◎	
		40~50	○	○	◎	△	△	○	
		50~60	△	△	○			△	
		60~80	△	△	○			△	
	施工断面 (φm)	0.6~0.8	◎	◎	△	○	◎	△	
		0.8~1.0	◎	◎	○	◎	◎	○	
		1.0~1.2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		1.2~1.5	○	○	◎	◎	◎	◎	
		1.5~2.0	○	△	◎	◎	○	◎	
		2.0~4.0	△		○	○		△	
		4.0~6.0			△				
地 盤 条 件	* 岩 分 類	軟岩 (I)	◎	◎	◎	○	○	◎	
		軟岩 (II)	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		中 硬 岩	50						
			100	◎	◎	◎	◎	◎	◎
			200						
			300						
			400	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		500							
		600							
		700							
硬岩 (I)	◎	◎	◎	◎	◎	◎			
硬岩 (II)	○	◎	◎	○	◎	◎			
備 考		岩 塊 ・ 玉 石	◎	◎	△	○	○	◎	
		転 石	○	○	△	△	○	◎	
		無 筋 コ ン ク リ ー ト	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
		鉄 筋 コ ン ク リ ー ト	○	○				◎	

凡例：◎施工実績が多い。 ○施工実績がある。 △施工実績が少ない。

*岩分類については表-13を参照

表-12 削孔方式別適用範囲と施工上の留意点¹⁾

項目	削孔方式	オーガー削孔方式	ロータリー方式	パーカッション方式	オールケーシング方式
地盤条件		地盤は岩塊、玉石、転石、軟岩（Ⅰ）～硬岩（Ⅱ）に適する。 ただし、硬岩（Ⅱ）の場合は、パーカッションの併用もあり得る。	岩質に応じて互換性のあるカッター型式の選定ができるため、地盤は軟岩（Ⅰ）～硬岩（Ⅱ）までの掘削に適する。	地盤は岩塊、玉石、軟岩（Ⅰ）～硬岩（Ⅱ）までの掘削に適する。	地盤は岩塊、玉石、転石、軟岩（Ⅰ）～硬岩（Ⅱ）に適する。 ただし、硬岩（Ⅱ）の場合は、パーカッションの併用もあり得る。
施工断面、施工深度		掘削径 φ650～1 500mm、 掘削深度 50m	掘削径 φ800～3 000mm、 掘削深度 70m	掘削径 φ650～2 000mm、 掘削深度 40m	掘削径 φ1 000～2 000mm、 掘削深度 50m
施工条件・施工精度		斜杭の最大施工角度陸上15° 海上20° 施工鉛直精度オーガー式 1/200、オーガー+リングカッター式 1/300	水上施工が可能で施工鉛直精度 1/200～300	水上施工が可能で施工鉛直精度 1/200	斜杭の施工角度陸上12°、施工鉛直精度 1/300～400
施工上の留意点		岩塊・玉石については特殊形状の専用ビットで破碎、削孔ができる。	ドリルパイプ径より大きい岩塊、玉石等が存在する地質の掘削能力は低下する。	巨大で高強度の転石が存在する地盤では、ケーシングの圧入が困難となる。	節理の少ない岩盤掘削には、掘削岩の搬出方法の検討が必要である。

表-13 岩の分類¹⁾

岩 分 類				適用（弾性波速度）
名 称		説 明		
岩	軟 岩	軟 Ⅰ	<ul style="list-style-type: none"> 第3紀の岩石で固結の程度が弱いもの。 風化がはなはだしく極めて柔らかいもの。 指先で離しうる程度のものでクラック間の間隔は1～5cmくらいのものおよび第3紀の岩石で固結の程度が良好なもの。 風化が担当進み多少変色を伴い軽い打撃で容易に割れるもの、離れ易いもので、き裂間隔は5～10cm程度のもの。 	700～2 800m/s
		軟 Ⅱ	<ul style="list-style-type: none"> 凝灰質で、強く固結しているもの、風化が目によって相当進んでいるもの。き裂間隔が10～30cm程度で軽い打撃により離しうる程度。異質の硬い互層をなすもので層面を楽に離しうるもの。 	
	硬 岩	中硬岩	<ul style="list-style-type: none"> 石灰石、多孔質安山岩のように、特にち密でなくても相当の硬さを有するもの、風化の程度があまり進んでいないもの、硬い岩石で間隔30～50cm程度のき裂を有するもの。 	2 000～4 000m/s
		硬 Ⅰ 硬 Ⅱ	<ul style="list-style-type: none"> 花崗岩、結晶片岩などで全く変化していないもの、き裂間隔が1m内外で相当密着しているもの、硬い良好な石材を取り得るようなもの。 けい岩、角岩などの石英質に富む岩質で最も硬いもの、風化しておらず新鮮な状態にあるもの。き裂少なく、よく密着しているもの。 	3 000m/s以上
岩塊玉石	岩塊玉石	<ul style="list-style-type: none"> 岩塊、玉石は粒径7.5cm以上とし、まるみのあるものを玉石とする。 	玉石まじり土岩塊破碎された岩ごろごろした河床	

表-14 捨岩部削孔事例の一覧

事例	削孔箇所	孔 径 (mm)	杭 径 (mm)	最大削孔長 (m)	削孔工法	工 事 概 要
1	基礎捨石	1 200	1 400	14	ドーナツオーガー	ケーソン護岸との取付部の基礎捨石を削孔した後に土丹ズリで置換し鋼管矢板を打設した。
2	裏込石	700	600	9.5	ドーナツオーガー	矢板背面の裏込石を削孔した後に砂で置換し、鋼管杭を打設した。
3	裏込石	1 200 660	1 016 610	9.3 9.3	ドーナツオーガー "	矢板背面の裏込石を削孔した後に砂で置換し、鋼管杭を打設した。
4	基礎捨石	1 200	1 000	3	ドーナツオーガー	護岸前面の基礎捨石を削孔し土砂に置換した後、鋼管杭を打設し、横棧橋を新たに建設した。
5	基礎捨石 裏込石	1 100	900	10	ドーナツオーガー	護岸前面の基礎捨石と裏込石を削孔し、土砂または砂質土にて置換した後、鋼管杭を打設した。
6	捨石マウンド	1 000	800	7.3	ドーナツオーガー	捨石マウンドを削孔して砂で置換した後、鋼管矢板を打設し、鋼管矢板式防波堤を作った。
7	基礎捨石	1 300	1 100	9	ドーナツオーガー	護岸の基礎捨石を削孔して砂で置き換えた後に鋼管杭を打設し、横棧橋を建設した。
8	基礎捨石 裏込石	600~700	500~600	10	ロックオーガー	重力式岸壁を3.5m前出しするにあたり、ブロックの前後の基礎捨石部と裏込石を削孔し、砂に置換した後、鋼管杭を打設した。
9	裏込石	不明	800	8	重錘式パーカッション	岸壁背面の裏込石を削孔した後に、ズリで置換し鋼管杭を打設した。削孔中にケーシングの圧入が困難になり、作業能率が悪かった。
10	基礎捨石	1 300	1 000	9.5	全回転型オールケーシング	既設防波堤に近接した橋脚を施工するに際して、基礎捨石を削孔して、先端部はセメントモルタルを注入し、残りは砂で置換して鋼管杭を打設した。
11	裏込石	1 200	800	9.7	全回転型オールケーシング	連絡橋橋台工事に際し、矢板岸壁背面の裏込石を削孔し、砂で置換して鋼管杭を打設した。

ここで、地盤条件と施工条件について削孔方式別に一般の建設工事での実績をまとめたものを表-11に示す。また、各工法の一般的な適用範囲と留意点を表-12に示す。なお、表-11および表-12における岩の分類は、弾性波速度によって区分された表-13に示すものによる。

港湾工事における捨石は、港湾工事共通仕様書¹⁰において品質が規定されている。通常はJIS A 5006における硬石を用い、一般的には花崗岩もしくは安山岩を用いることが多い。したがって捨石は材質的には表-13に示す硬岩（I）にあたり、堆積の状況から考えると玉石に相当すると考えてよいと思われる。したがって、表-11より、捨石層を対象にした削孔の場合は玉石に対する施工実績の多いオーガー削孔方式およびオールケーシング方式が有効であることが想像される。

(3) 施工事例

捨石層を貫通して打設された杭の施工事例について実態調査より11の事例を収集することができた。これらの施工事例の一覧を表-14に示す。同表からわかるように、11例のうち8例がオーガー削孔方式（ドーナツオーガー工法、ロックオーガー工法）であり、パーカッション方式（重錘式工法）は1例、オールケーシング方式（全回転型オールケーシング工法）は2例であった。なお、事例1では削孔径が杭径よりも小さくなっているが、この場合の孔径はケーシング径を示しており、実際には重ね掘りをしているため、孔の幅は実際には杭径より大きく

なっている。

以上の結果から各工法の実態について以下のような傾向にあることがわかる。

- ① オーガー削孔方式の事例が最も多く、そのほとんど（8例中7例）がケーシングを用いるドーナツオーガー工法であった。ロックオーガー工法は、ケーシングを用いないため、孔壁の安定が困難であり、施工上不利であると考えられる。孔と杭との間のクリアランスは杭径のほぼ1割となっており、全回転型オールケーシング工法よりも狭くてよいようである。
- ② ロータリー方式の事例は今回収集した事例の中にはなかった。ロータリー方式では孔壁の安定に泥水や安定液を用いるの必要があり、捨石層においてはそれが困難である。仮にこの問題が解決できるとしても、ドリルパイプを介してずりを排出する方式であるために削孔能率が非常に悪くなる。
- ③ パーカッション方式については、1例のみであった。この方法は、表-14にも示してあるように、ケーシングの圧入が困難になるなど施工能率が非常に悪かったことが報告されており、捨石層を対象とした削孔には不向きであると考えて良い。
- ④ オールケーシング方式は2事例があった。この工法の場合、海上施工では仮設栈橋などを必要とし、装置が大がかりになりやすい。このため、杭打船に

表-15 ドーナツオーガー工法と全回転型オールケーシング工法の長所と短所

ドーナツオーガー工法	長所	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔機を杭打機に装備して施工するため、海上施工においても作業足場を必要とせず、削孔後はそのまま杭打作業に移れる。 ・ケーシングを貫入するため孔壁崩壊の心配がなく、近接構造物への影響が少ない。
	短所	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔径に比べて捨石が大きいとケーシングとオーガーの間に捨石が挟まることがある。
全回転型 オールケーシング工法	長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーシングを貫入するため孔壁崩壊の心配がなく、近接構造物への影響が少ない。 ・削孔径3000mmまでのマシンが開発されており、大口径の杭打ちに対応できる。 ・ケーシング内の排出にはハンマーグラブを用いるため比較的大きな捨石にも対応できる。
	短所	<ul style="list-style-type: none"> ・海上施工の場合には、仮設栈橋等の作業足場が必要となる。

削孔機を装備でき装置が小さくてすむオーガー削孔方式に比べて、オールケーシング方式が経費的に不利となるためと思われる。孔と杭との間のクリアランスは杭径のほぼ1.5割であった。

港湾施設の改良・更新にあたって、捨石層を対象とした削孔を考える場合は近接して他の構造物があることが多いことなどを考えると、次に示す条件が要求されることが多い。

- ① 孔壁の安定が確かかつ容易に行える
- ② 近接構造物に与える影響が少ない

このような条件での削孔には、削孔全長にわたってケーシングを貫入させる、ドーナツオーガー工法と全回転型オールケーシング工法が有利であることが以上の調査によって示されたといえよう。ドーナツオーガー工法および全回転型オールケーシング工法の長所と短所をまとめて表-15に示す。実際の現場への適用の際には、これらの長所や短所を考慮し、あわせて経済性の観点からの検討も必要である。経済性には掘削速度が大きく影響する。ドーナツオーガー工法と全回転型オールケーシング工法の削孔径1mの場合の一般的な掘削速度を調べると、対象地盤が硬岩Ⅰあるいは玉石の場合には全回転型オールケーシング工法が2～5割程度速いが、中硬岩の場合にはドーナツオーガー工法が2倍程度速い。

これまでに述べた各種工法に関する評価はこれまでの実績によるものであり、これら2工法が捨石層の削孔に特に優れているとは必ずしも言えない面もある。今後、この種の施工の機会が増えるにつれて工法が新しく開発されることが望まれる。

(4) 設計法

岸壁の増深または補強などの工事の増加に伴い、既設構造物の捨石マウンドを貫通して杭を打設するケースは今後増加することが考えられる。そのような場合には、捨石マウンドの削孔工法とともに、このようにして打設された杭の設計法の考え方が重要になると考えられる。捨石層を削孔して打設される杭の設計を行う場合は、削孔された捨石層の杭の周面摩擦力と地盤の横抵抗の評価が重要となる。

これまでの栈橋の設計では、捨石層の杭の横抵抗および周面摩擦力は考慮しないのが一般的である。元来捨石部は、通常地盤とは特性が異なると考えられ、杭径に比較して粒径の大きい捨石が杭の周辺にゆるく堆積しているため、横抵抗や周面摩擦力は大きくないと考えられる。高橋は、捨石層の横抵抗性能を評価するため水平載荷試験を実施し、港研方式の杭の横抵抗計算手法が適用できるとして地盤反力常数から N 値を逆算したところ、

捨石層の N 値は3以下とするのが適当であったと報告している¹²⁾。このように換算された N 値が比較的小さくなる原因として、捨石は粒径が大きくなるとその間隙も大きいので、相対的に細いあるいは小さい杭がわずかに変位しても、地盤が有効な抵抗力を発揮し得ないためではないかとしている。捨石層の横抵抗性能については、捨石層厚が大きくなるとその評価を適切に行いたいという要望があるため、高橋らは室内において捨石層の横抵抗性能を検討するための模型実験を行っている¹³⁾。この実験では、捨石層の横抵抗性能は砂層に比べてほぼ同じ程度に期待できる結果となった。このように現地の結果と実験結果とが傾向が異なる原因としては、捨石層の締めり方が大きく原因しているものと思われる。つまり、室内実験では、捨石層が比較的密に堆積してしまうが、現地の通常の施工では捨石層が十分には締め固められないことが多く、この点について室内実験が現場を再現できていないことが原因となっているようである。このようなことから、もし捨石層の横抵抗を期待しようとする場合には、何らかの方法で締め固めをする必要がある。

これまでの捨石層に削孔した例を見ると、孔と杭の間には数～10数cmのクリアランスがあり、孔壁の保護のために孔内にはズリまたは砂を投入している。孔内に投入されたズリまたは砂は、杭を挿入する際の孔壁の保護にはなるであろうが、長期的には吸い出しを受けて無くなってしまふものと考えられる。ズリがなくなってしまえば、孔は崩れ、杭周辺に捨石がゆるく堆積する形となるであろう。このような状況であれば、削孔した捨石層の杭の周面摩擦および横抵抗は期待できないと考えられる。捨石層の層厚が大きく、杭の横抵抗などを考慮しないと不経済となるような場合には、捨石を特別に締め固めるなどの処置が必要となる。しかし、締め固めの程度と杭の横抵抗などの関係については、現状では一般的な設計に用いることができるような十分な情報は得られていない。

5.2 液状化対策による周辺構造物への影響

水で飽和した砂地盤は地震動により、液状化する事がある。液状化による港湾構造物などの被害事例が数多くあり、その被害程度は極めて甚大となることが多い。このため、近年多くの液状化対策工法が提案されており、既設港湾構造物周辺の液状化対策も順次進められている。

既設構造物の液状化対策は、地盤改良により地盤が液状化しないようにする方法と、地盤が液状化しても支障がないように構造物を補強する方法と大きく2つに分類できる。地盤の液状化に対する抵抗を高めるには、次の

8つの対策のどれかを施せばよい¹⁴⁾。

- ① 密度を高くする
- ② 液状化しにくい粒度分布の材料を用いる
- ③ 土粒子骨格を安定化させる
- ④ 飽和度を低くする
- ⑤ 過剰間隙水圧が早く消散するようにする
- ⑥ 液状化した周辺からの過剰間隙水圧の侵入をしにくくさせる
- ⑦ 初期有効応力を増加させ、せん断応力の初期有効応力に対する比を低下させる
- ⑧ 地震時のせん断変形を小さくさせる

地盤の液状化抵抗を高める工法については、埋立地の液状化対策ハンドブック¹⁵⁾などで多くのものが紹介されている。実際には、現場の立地条件や土質条件、経済性、施工条件などの要因から最適の工法を選定することになる。

液状化対策工を施工することによって、近接する既設構造物の応力の増大、周辺地盤の変位に伴う変位、振動などの悪影響を与えることがある。しかし、液状化対策工を既設構造物に近接して施工することは不可避であるため、対策にあたり種々の工夫が必要となる。

秋田港では1983年5月におきた日本海中部沖地震によって多くの港湾施設が液状化の被害を被った。この被災の復旧にあたり裏埋め砂の液状化防止対策工が施工された。そこでは、矢板のような柔構造物に対する影響を見るために、裏埋め部分に鋼矢板を挿入して試験施工が行われている¹⁶⁾。この場合の対策工は、振動棒工法による締固め工法を基本とし、この工法で特に支障が起きると想定される、構造物に近接した部分にはグラベルドレーン工法を用いることが計画されていた。試験施工の結果、構造物に近接した部分ではグラベルドレーン工法を用いた方が振動棒工法を用いるよりも構造物に対する振動、過剰間隙水圧、残留応力の問題が小さいことがわかった。また、グラベルドレーンの排水機能の効果が及ぶ範囲は4m程度であることがわかり、このことから構造物から3m程度離れたところにグラベルドレーンを打設しても液状化対策工としての効果が期待できるとしている。特筆すべきこととして、グラベルドレーンに近い部分に振動棒工法を採用したところ、グラベルドレーンから間隙水が噴出してきたことが報告されている。以上のことから、液状化対策工として、締固め工法と間隙水圧消散工法を併用することにより、構造物に対する対策工の影響を少なくすることができることが明らかにされ、本工事に活用された。

千葉港船橋西部地区岸壁(-10m)では、振動棒工法が

タイロッド式鋼矢板構造物に及ぼす影響について調べられている¹⁷⁾。それによると、鋼管矢板に発生する応力は振動棒工法施工の進捗に従って増大することが確認された。そこで、一本ごとの鋼管矢板に発生する応力と打設位置について調べたところ図-45のような結果を得た。同図に示したのは、D.L.-9mの位置で鋼管矢板に発生している応力である。この結果から判断すると振動棒工法の影響範囲は30m程度であり、矢板に発生する応力は施工に従って蓄積されると結論している。また、施工にともないタイロッドの張力も増大するが、施工の途中でタイロッド張力を解放すると矢板に発生する応力の一部が解放されることが観察されている。

その他港湾工事以外でも、液状化対策における近接施工の影響を考察した結果が報告されている¹⁸⁻²⁰⁾。

これらの事例の他に、港湾地域において液状化対策工を施工した際に、近接した構造物への影響をどのように予測し評価しているかを実態調査の結果からとりまとめた。その結果を表-16に示す。

既設岸壁の改良を行う際の液状化対策工としては締固め工法か間隙水圧消散工法が用いられている。締固め工法としては振動棒工法を用いた事例が多く、サンドコンパクションパイル(SCP)を用いた事例もある。これら締固め工法は既設構造物に近接した区域では用いない傾向が強い。間隙水圧消散工法としてはグラベルドレーン工法が用いられている。また、締固め工法を採用しようとする場合には、本工事に先立って試験施工をする事例が見受けられ、問題が発生すると考えられる場合には、

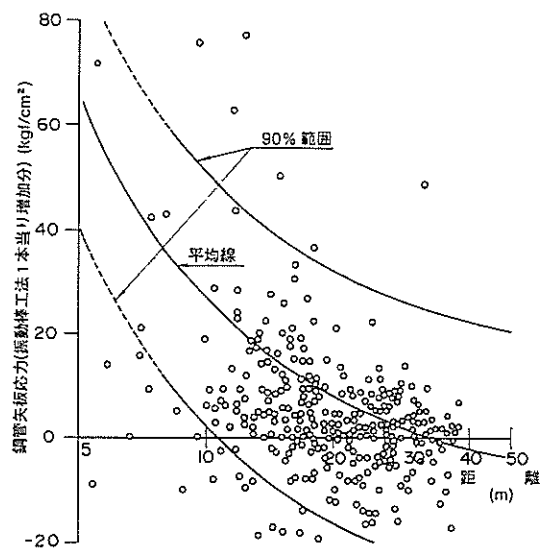


図-45 距離と応力増分との関係¹⁷⁾

表-16 液状化対策工に関する事例調査結果

事例	構造形式	改良工法	生じた現象	注意を払った事項	対策事項
A	タイロッド式 矢板壁	振動棒工法 グラベルドレ ーン工法 (併 用)	特になし	振動棒工法の試験工 事を行ったところ、 特段の問題がなかっ たので、構造物近傍 の2列分をグラベル ドレーン工法を用 い、他のところは振 動棒により改良し た。	特になし
B		グラベルドレ ーン工法	特になし	振動棒工法の試験工 事を行ったところ、 問題が生じたので、 すべてグラベルドレ ーン工法を用いた。	特になし
C	タイロッド式 矢板壁	グラベルドレ ーン工法	改良部分背後の舗装 目地に一部開きを生 じた。改良杭打設で 引き込まれたものと 思われる。	タイロッドに接触し ないように注意し た。摩擦杭上の軌道 に悪影響が及ばない よう注意した。	軌道から2m離して 施工した。
D	タイロッド式 矢板壁	グラベルドレ ーン工法	特になし	対策工施工中に既設 岸壁 (タイロッド式 鋼管矢板) に過大な 応力が発生しないよ う注意した。	土留め矢板、タイロ ッド、控え矢板の応 力を測定しながら施 工した。応力値には 管理値を設定し、そ れを越えないように 管理した。
E	重力式 (L型 ブロック)	グラベルドレ ーン工法	エプロンに一時的な 隆起が生じた。	対策工が周辺に与え る影響について調査 した。	調査項目は、①岸壁 法線の出入りとクラ ック、②エプロンの 隆起と沈下、③背後 の隆起とクラック、 ④背後の上屋での水 平と鉛直振動
F	タイロッド式 矢板壁 (旧施 設は柵式)	サンドコンパ クションパイ ル工法	特になし	SCP打設時に周辺構 造物の変位に注意し た。	既設岸壁から3m離 して施工した。
G	タイロッド式 矢板壁 (旧施 設は柵式)	サンドコンパ クションパイ ル工法	特になし	SCP打設時に周辺構 造物の変位に注意し た。化学薬品タンク に振動を与えないよ うに注意した。	既設岸壁から3m離 して施工した。
H	タイロッド式 矢板壁	グラベルドレ ーン工法 サンドコンパ クション パイル工法 (併用)	SCP打設時に騒音、 振動を伴った。	矢板への影響を考慮 し、1列目はグラベ ルドレーン工法を用 いた。	施工管理上、間隙水 圧計、ひずみゲージ、 傾斜計を設置した。
I	タイロッド式 矢板壁	グラベルドレ ーン工法	特になし	本体構造、背後上屋 への影響を考慮して、 すべてグラベルドレ ーン工法を採用し た。	特になし

間隙水圧消散工法を併用するか、間隙水圧消散工法のみ
に切り替えられるケースがある。これらの事例から判断
すると、液状化対策工としての効果は締固め工法の方が
信頼性があるため優先的に採用したいが、この工法では
振動が大きいため既設構造物に障害をもたらす可能性も
ある。そのため、液状化対策としての効果の信頼性はや
や低いが、振動を伴わない間隙水圧消散工法が用いら
れているものと考えられる。しかし、間隙水圧消散工法は
「粘り」がないことが指摘されており、締め固め工法と
併用することによりその欠点が補われる傾向にある。こ
のように両工法を併用する方法は現在のところバランス
の良い方法であると考えられる。

液状化対策工の施工にあたっては、施工管理、施工手
順が近接構造物に与える影響を左右しかねないため、構
造物に発生している応力や構造物の変位を観測しながら
施工される事例が多い。実態調査の結果では矢板式岸壁
の事例が多く、この形式の場合は背後の液状化対策工が
既設構造物に及ぼす影響が著しいため、特に注意が払わ
れているものと考えられる。

液状化対策工法にはさまざまな種類のものがあるが、
既設構造物の背後地盤の対策工として利用されている工
法の数はいずれも多くない。これには、施工時の振動の問
題や施工の信頼性の問題が大きいと思われる。その結果、
液状化対策を行うにあたって、周辺構造物に対して影響
の少ないグラベルドレーンを構造物付近に適用し、その
背面にサンドコンパクションを用いる方法や液状化対策
工が周辺構造物に影響を及ぼさない位置で施行を行うな
どの方法が取られるケースが多くなっていくものと考え
られる。

液状化対策工法において、各工法が周辺構造物に及ぼ
す影響はそれぞれにより異なり、在来方法では近接構造
物に悪影響がでるおそれがある。この悪影響を軽減する

ために、在来の工法に比べて迅速かつ効率的で、周辺構
造物に与える影響が小さい工法が考案され、平成4年9
月に民間技術評価制度に基づき評価証が交付されている。
また、これらの工法は、在来の工法に比べて同程度の締
固め効果や排水効果を有し周辺構造物に与える影響は少
ない。民間技術評価制度により評価を受けた液状化防止
工法は表-17¹⁵⁾に示すとおりである。

6. 新材料・新構造の適用

6.1 土圧低減用新材料の利用技術

(1) 軽量材の種類と特徴

近年、土構造物の分野においては軽量盛土工法に対す
る関心が非常に高まっている。特に軟弱地盤上の盛土、
構造物の埋戻し、橋台・擁壁の裏込め、仮設道路、急傾
斜地の盛土、自立壁、盛土・造成地の拡幅、地すべり地
の頭部盛土、災害復旧盛土、埋設管基礎、落石対策など
多種多様な土構造物において利用させるケースが増えて
きている。このような状況のなかで、これまで各種の軽
量盛土工法が提案、開発、導入されており、これらをま
とめたものを表-18²¹⁾に示す。

軽量盛土工法の一般的な利点としては、次のものが考
えられる。

- ① 軽量盛土材を用いることにより、盛土荷重の大幅
な低減を図ることが可能となり、地盤への影響を軽
減できる。
- ② 工法の組合せにより、盛土材の単位体積重量およ
び強度をコントロールできる。
- ③ 軽量である上に自立性、自硬性のあるものもあり、
壁面に作用する土圧を低減させることができる。
- ④ 単位体積重量が小さくなると水中における有効重
量の減少が顕著になり、土圧の低減が著しい。

表-17 民間技術評価制度により評価を受けた液状化防止工法¹⁵⁾

評価申請技術名
a) ドレーンパイプ工法
b) KS-HARD工法
c) ディープ・バイブロ工法
d) 締固めと排水効果を併用した液状化防止工法
e) グリッドドレーン工法
f) スパイラルドレーン工法
g) ミニコンポーザー工法
h) 二重管ケーシング押出し式グラベルドレーン施工法
i) 無騒振グラベルドレーン工法

表-18 軽量盛土工法の種類と特徴²¹⁾

工法	使用する材料		単位体積質量(t/m ³)	特 徴
軽量材を用いる方法	発 生 材	軽量土砂 (火山灰土等)	1.2~1.5	・天然の材料を用いることができる。
		水砕スラグ	1.2~1.35	・粒状材であり、取扱いが容易である。 ・原材料の産地や発生工場によっては自硬性をもっている物もある。
		石炭灰	1.2~1.3程度	
		焼却灰	1.0程度	
	人 工 素 材	発泡スチロール	0.02~0.04	・超軽量盛土材であり、施工が容易である。
		気泡モルタル	0.3程度以上	・気泡剤の量によって自重をコントロールすることができ、流動性がある。
		高分子材料	中空の棒状のもの	・超軽量で排水機能をもっている。
		軽量廃棄物(空缶等)	0.1~0.18	・廃棄物の有効利用が図れる。
現地発生土の軽量化による方法	混 合 処 理	現地発生土/軽量材(発泡スチロールビーズ, 気泡材, 石炭灰等)/ 固化材(セメント, 石灰等)	1.0前後	・現地発生土の有効利用ができる。 ・混合する軽量材の量をコントロールすることにより、自重の調整が可能である。 ・固化材を入れることにより、強度を増大させることができる。
	流 動 化 処 理	現地発生土/水/固化材 (セメント系固化材 石灰等)/ 軽量材(発泡スチロールビーズ, 気泡材等)	0.5程度以上	・同上 ・現地の高含水比粘性土の利用が可能である。 ・流動性があり、固化材の作用により締め固めを必要としない。
中 空 構 造 方 法	盛 に 土 設 内 置	コルゲートパイプ	1.0前後	・堅固な構造物とすることができる。 ・構造物自体の沈下や変形を、極力少なくすることができる。
		ボックスカルバート	1.0前後	
	構 物 造	多連カルバート等		

港湾構造物においても、このような軽量盛土工法は護岸や岸壁にかかる土圧の低減や液状化防止などを主目的として採用されるケースが増えてきている²²⁾。ここでは、現状における利用頻度や各工法の将来性なども勘案した上で、水砕スラグ、石炭灰、発泡スチロール、気泡モルタルの4材料の利用技術について検討した。また、軽量材を用いた場合の試設計を行い、通常工法との比較検討をした。ただし、材料特性の詳細については現在不明のものも多く、設計手法が確立していないものがあるので、利用技術の検討に当たっては施工的な観点を中心に行った。

(2) 適用軽量材の供給と施工性

a) 水砕スラグ

高炉で鉄を作る際に副産物として生じる高炉スラグを水で急冷処理した水砕スラグは、セメント用原料、コンクリート用骨材の他、一般土木用および肥料用など多方面で使用されている。鉄鋼スラグ協会の資料²³⁾によると、平成4年度における高炉スラグの使用量実績は約2400万トンであり、そのうち約63% (約1500万トン) が水砕スラグ、残りの37% (約900万トン) が徐冷スラグである。約1500万トンの水砕スラグのうち、1440万トン(96%)がセメント材料、コンクリート用骨材などに用いられ、一般土木用にはおよそ4%の64万トン程度となつて

いる。土木用に利用できる量は少ないため、一時的に大量のスラグを使用するような場合においては、複数製鉄所からの調達、遠距離製鉄所からの調達などの可能性、大規模ストックヤードの必要性なども含めた事前検討を行う必要があると考えられる。

水砕スラグの裏込材としての取扱いに関しては、一般の土砂と同様と考えてよく、特に問題はない²⁴⁾。陸上施工の場合には、逆に通常の土砂のように密度による施工管理が不要であるため、一層の敷均し厚さを増大させられるという利点があり、急速施工に対する対応はよい。また、材料のストックに関しても、通常の土砂と同様に露天に放置しても基本的には問題はない。ただし、放置期間が3ヶ月程度以上となると、スラグの水硬性によりこわばりが生じ、部分的にブロック化することがある。しかしながら、これもスラグの特質に大きな影響を及ぼすものではなく、そのままでも使用できるし、また使用時に不都合であれば、重機で粉砕するなどして対処することができる。

b) 石炭灰

石炭灰は1992年現在、わが国において電気事業で約400万トン、一般産業で約160万トンの計560万トン程度が産出されており、これが西暦2000年には1000万トンを超過するものと推定されている。現在は約560万トンの石炭灰のうち半分以下しか有効利用（セメント用材料、土木材料などとしての利用）されていないのが現状であり²⁵⁾、大部分は各発電所ごとの灰捨場に廃棄物として捨てられている。このように、将来にわたって大量の余剰石炭灰の排出が見込まれていることから、灰捨場の確保および石炭灰の有効利用が今後解決すべき大きな課題となっている。

石炭灰は水砕スラグと同様に比較的軽量で、発生段階の処理の違いによって自硬性があるものもあるので盛土・擁壁の裏込め、法面安定処理材、埋設構造物の埋戻し材などへの適用の他、鋼管セルの中詰材、シールド裏込め注入材などへの適用も考えられる。しかし、石炭灰の品質には石炭の産地や石炭を燃焼したボイラーによってバラツキが大きく各施工箇所に応じて使用前に品質管理を行う必要がある。また、石炭灰の貯蔵・運搬の取扱いは乾燥した状態の新成灰で使用するものか湿らせた状態の既成灰で使用するものかによって大きく異なる。既成灰として使用する場合は、通常の土木材料と同等の貯蔵・運搬方法が適用できるが、新成灰として使用する場合は、貯蔵・運搬に粉塵公害を生じないような特殊な方法を考慮しなければならない。

石炭灰を使用するメリットとしては通常の土質材料にはない軽量性や自硬性があるが、デメリットとして石炭

灰を使用する過程で一旦産業廃棄物と認定されると現状では石炭灰を土木材料として使用することは不可能となることがあげられる。石炭によっては、石炭灰に有害物質が含まれる場合がまれにあり、これに対して環境庁告示などにに基づき厳しくその安全性をチェックしなければならない。また、施工時の飛散などに対する対策も重要である。

c) 発泡スチロール

発泡スチロールは国内では、1960年頃から生産が開始されており、需要の伸長に従って生産量も順調に増大し、平成3年では約30万トン、体積にすると1500万 m^3 の生産量となっている。一方、土木用ブロックとしての使用量は昭和60年に500 m^3 、昭和63年に30800 m^3 であったが、平成3年においては120200 m^3 となっており、急速に伸びている。土木用ブロックの供給能力に関しては、製造設備の稼働率がまだまだ低いため十分に余裕があり、能力的には月間10万 m^3 程度は生産可能である。発泡スチロールブロックは、土木用資材としては通常 $2 \times 1 \times 0.5m$ （重量12~30kgf程度）で製造されており、超軽量であるため、人力による敷設が一般的である。ブロック全体の一体化を図るため、ブロック相互間は緊結金具などで留められる。施工精度の具合や現場合わせのため、異形ブロックが必要な時は、現場で熱したニクロム線により容易に切断、加工を行うことができる。

発泡スチロールは単位体積重量が $0.02 \sim 0.04gf/cm^3$ と超軽量であることが特徴である。このため、上載荷重の低減に極めて効果があり²⁶⁾、側方土圧の低減効果も極めて大きい。このため、圧密沈下量の減少、擁壁の小型化などに効果が大きい。超軽量という利点はそのまま欠点にもなり、浮力が大きくなるため水中部での使用は困難であり、通常は地下水位（あるいは残留水位）より上の部分のみで使用されることが多い。水中部に使用される場合には、周辺をコンクリートなどで覆うことにより自重を調整した例もあるが、一体化には十分な注意が必要である。

発泡スチロールはブロックで用いられる他にも、発泡粒を土やモルタルに混ぜて使用することも検討されている²⁷⁾。これは、次に述べる気泡モルタル同様、土に極めて軽い粒子を混合させることにより全体の単位体積重量を減少できるメリットがある。

発泡スチロールは、一般に濃厚な酸を除いて酸やアルカリには強いが、いくつかの有機溶媒、特に芳香族系炭化水素やその塩化物、ケント類、エステル類には弱い。これらの有機溶媒は多くの塗料や接着剤の中に含まれており、塗布することによって容易に発泡スチロールを溶

解して、体積収縮を起こすので注意が必要である。また、動植物油、パラフィン油、ラノリンなどの油脂も長期的には発泡スチロールの表面を侵し、収縮を起こすので注意を要する。

d) 気泡モルタル

モルタルあるいはセメントミルク中に気泡を分散させた気泡モルタルは、工場だけではなく、現地生産も可能であるため、原材料の供給さえ確保できれば、供給能力的にはあまり問題がないと言うことができる。気泡モルタルは、現場プラントで製造可能であり、大量急速施工

にも適している。

発泡スチロール粒の場合と同様気泡モルタルも土と混ぜて利用されるケースがある²⁸⁾。これは、気泡モルタル単体では材料単価が高くなりすぎるためと、処分に困る浚渫土砂を有効利用しようとするものであり、軽量化とともに強度の増加にメリットがある。

(3) 適用軽量材の比較

水砕スラグ、発泡スチロール、気泡モルタル、石炭灰についての物理特性、供給能力および施工性に関して比較した結果を表-19に示す。

表-19 適用軽量材の比較

		水砕スラグ	発泡スチロール	気泡モルタル	石炭灰	
物理特性	単位体積重量 (tf/m ³)	気中	$\gamma=1.2\sim1.35$	$\gamma=0.02\sim0.04$ (発泡倍率により調整)	$\gamma=0.2\sim1.0$ (気泡率により調整)	$\gamma=1.2\sim1.3$
		水中	$\gamma'=0.5\sim0.7$	$\gamma'=-0.9$		
	強度特性		$\phi=35^\circ$ 以上	一軸圧縮強度 $q_u=1.0\sim3.5\text{kgf/cm}^2$	一軸圧縮強度 $q_u=1.0\sim8.0\text{kgf/cm}^2$	$c=0.4\sim2.0\text{kgf/cm}^2$ $\phi=29\sim37^\circ$
	透水係数 (cm/s)		$1\times10^{-1}\sim1\times10^{-2}$	—	$1\times10^{-2}\sim1\times10^{-3}$	$1\times10^{-4}\sim1\times10^{-7}$
供給能力	製造方法		高炉で発生する高炉スラグを圧力水により急冷却	ポリエスチレン樹脂に発泡剤を加えたものを加熱軟化させ同時に気体を発生させ発泡樹脂としたもの	モルタルあるいはセメントミルク中に気泡を分散させたもの	石炭を燃焼ボイラーで燃焼したとき発生する灰
	生産量		年間1 500万tf中、土木用65万tf (1992) $\gamma=1.3\text{tf/m}^3$ とすれば50万m ³	全生産量30万tf (1991) 土木分野の施工量120 200m ³	現地生産可能	年間約560万tf (1992) 内半分以上は捨場へ廃棄処分
	施工実績		・護岸の裏込め材 ・軟弱地盤上の盛土 ・路床 ・他、多数の実績あり	・軟弱地盤上の盛土 ・仮設道路盛土 ・いずれもEPS部 $t=1\sim3\text{m}$ がほとんど ・軟弱地盤対策工 (1989臨海公園建設工事) 施工量17 000m ³ は世界最大規模	・地下充填、トンネル裏込め、断熱床などの実績は多いが、軽量材としての実績は少ない	・主にセメント混和材として使われ軽量材としての実績は少ない ・路盤材、路床材 ・埋戻し、埋立、盛土などの実績はあるが数は少ない
施工性		・粒状材で取扱いが容易 ・長期間の保存で固化する場合がある	・大型機材が不要 ・急速施工が可能 ・浮力が大きいため水中の施工には特別な配慮が必要になる	・現場においても製造可能 ・気泡率を変えることにより浮力に対応できる	・新成灰は貯蔵・運搬に特殊な設備が必要 ・品質バラツキが大きい	

(4) 軽量材を使用した場合の比較設計

土圧低減用新材料の構造断面に及ぼす効果を調べるために、軽量材を使用した場合と従来の土砂を使用した

場合との比較設計を行い検討した。矢板式護岸を対象として、増深時の対応と断面性能が低下している場合の補修効果についての軽量材の効果を調べた。

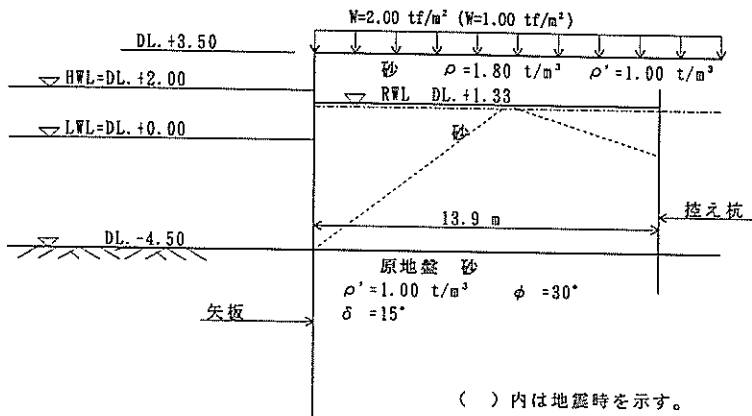


図-46 控え直杭式鋼矢板岸壁 (基本断面)

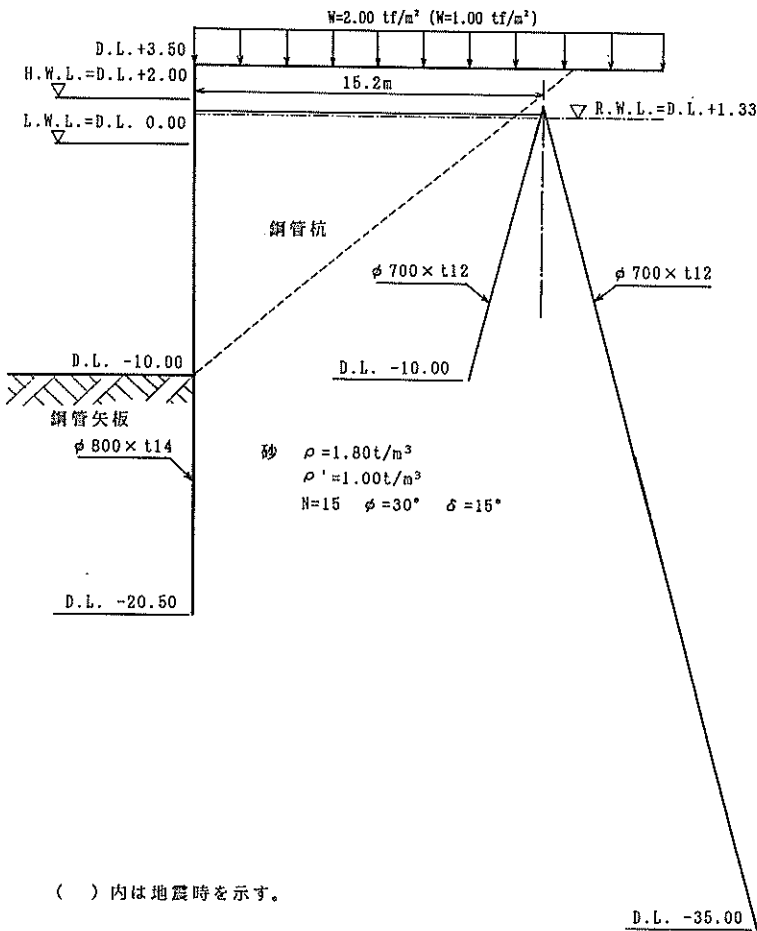


図-47 控え組杭式鋼管矢板岸壁 (基本断面)

a) 増深への対応

図-46に示す断面の鋼矢板式護岸を対象に前面水深を0.5m(ケース1および3)あるいは1.0m増深する(ケース2および4)場合、および図-47に示す鋼管矢板式護岸を2.0m増深(ケース5)する場合を対象とした。ここで、構造物自体を補強することは行わず、DL.+3.00m以深を軽量材によって置換することで対処するものとし、必要となる置換厚さを計算した。置換厚さの計算は、ケース1および2では構造部材が許容応力度を満足する条件で、ケース3、4、5ではこれに加えて矢板の根入れ長さの照査を行った。使用材料は表-20に示すとおりである。また、水砕スラグの空中重量および水中重量は全てのケースで共通で、それぞれ1.3tf/m³および0.7tf/m³とし、内部摩擦角は砂で30°、水砕スラグで35°とした。

鋼矢板護岸を対象とした計算結果を図-48に示す。ケース1とケース2は護岸前面の水深を増深したときに、埋立材料をどの程度軽量材料に置き換えてやれば各部材

がそれぞれの許容応力度を満足するかを検討したものである。その結果、前面水深を原設計より0.5m増深した場合には水砕スラグの置換えが1.0m必要であり、1.0m増深した場合には5.0mの置換えが必要であった。しかし、これらの場合には矢板の根入れ長が不足することになり、不足分は0.5m増深の場合で0.6m、1.0m増深する場合で0.9mとなった。すなわち、増深量とほぼ同じ分だけ根入れ長が不足する結果となった。

根入れ長も満足するように置換量を決定する計算を行った場合(ケース3および4)には、0.5m増深で6.0mの置換層厚が、1.0m増深で12.0mの置換層厚(図-49)が必要となり、海底面以下まで置換しなければ必要根入れ長を確保できないことになった。

基本断面(原設計)の水深や設計震度により傾向が異なる可能性があるが、前面を増深すると部材応力よりも矢板の根入不足の方がクリティカルとなることがわかった。これに対処するように置換量を決めると膨大な量と

表-20 使用材料の一覧

	鋼矢板護岸 (-4.5m)	鋼管矢板護岸 (-10m)
前面矢板	FSP-III 矢板天端 DL. +3.50m 下端 DL. -11.50m	φ800×t14 鋼管矢板天端 DL. +3.50m 下端 DL. -20.50m
控え工	直杭 控杭天端高 DL.+1.70m H300×300×10×15mm 杭の位置 前面矢板より13.9m 杭長 9.0m 地震時は突出長のある杭として計算する	φ700×t12 鋼管天端 DL. +1.70m 鋼管下端 DL. -10.00m(押込み) DL. -35.00m(引抜き) 杭の傾斜角 20° 杭の位置 前面矢板よりL=15.2m
タイロッド	D=38mm セミハイテン	D=60mm セミハイテン
腹起し	2]-150×75×6.5×10	2]-250×90×11×14.5

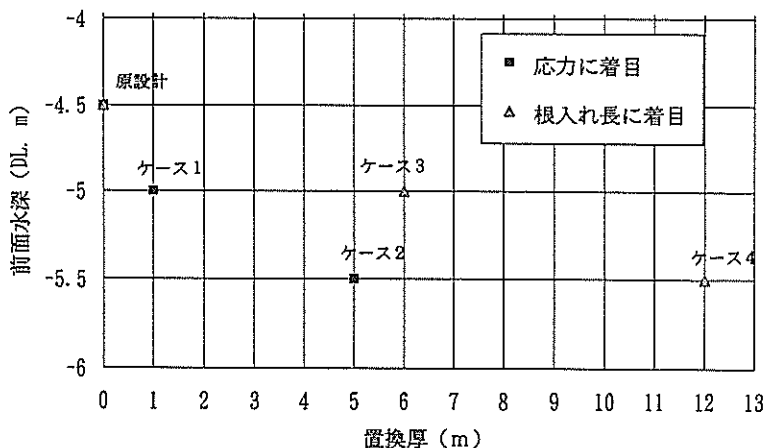


図-48 水砕スラグ置換厚と前面水深との関係

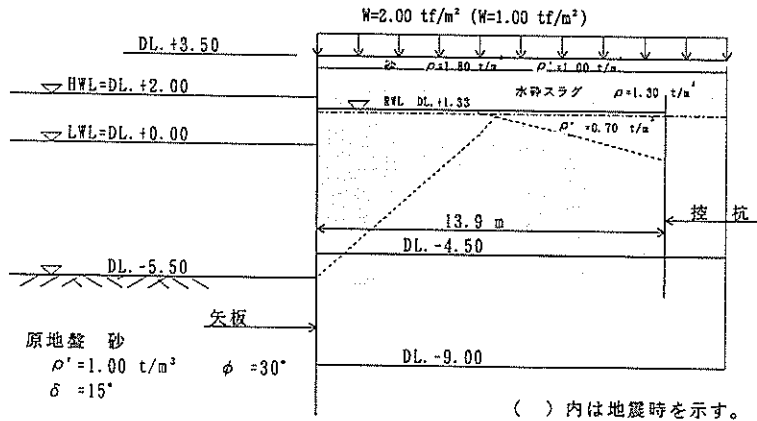


図-49 控え直杭式鋼矢板岸壁 (12m置換)

表-21 増深時の水砕スラグ置換厚さ (ケース5)

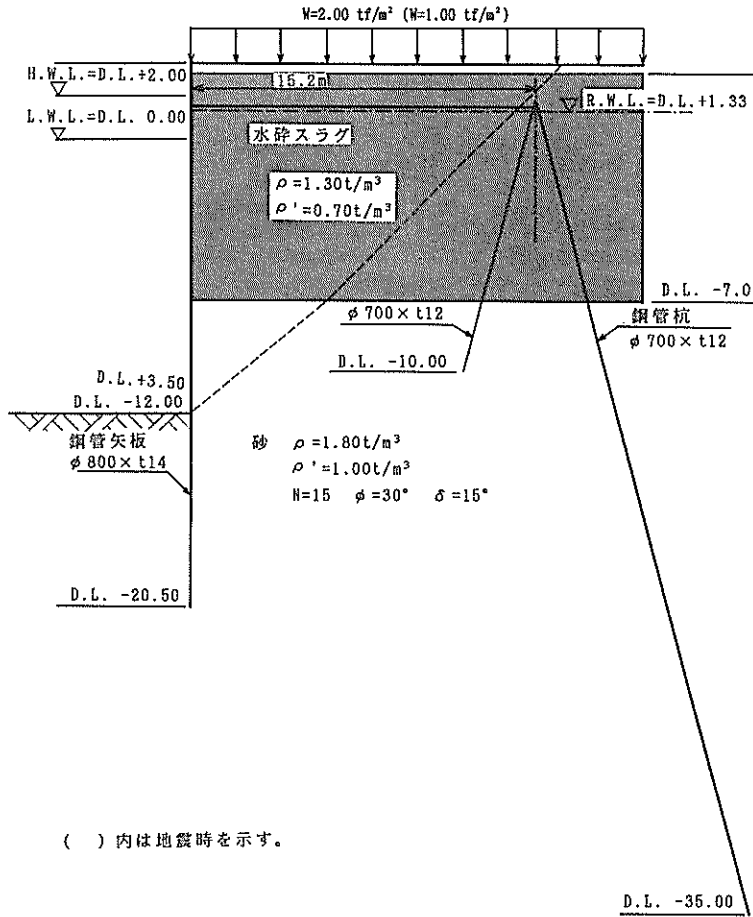
	基本断面		増深断面(ケース5)		
	常時	地震時	常時	地震時	
前面水深 (DL. m)	DL. -10.00		DL. -12.00		
水砕スラグ置換厚さ (m)	0.0		10.0		
鋼管矢板	最大曲げモーメント (tf・m/m)	77.05	116.26	88.33	129.19
	発生曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1210	1825	1387	2028
	許容曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1400	2100	1400	2100
	必要根入れ下端深度 (DL. m)	-16.43	-20.09	-18.39	-21.85
タイロッド	引張応力度 (kgf/cm ²)	1781	2499	1684	2301
	許容引張応力度 (kgf/cm ²)	1800	2700	1800	2700
腹起し	最大曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1343	1884	1270	1735
	許容曲げ応力度 (kgf/cm ²)	1400	2100	1400	2100
控え	押込み力 (tf)	80.83	111.79	76.04	102.82
	許容押込み支持力 (tf)	99.87	166.44	99.87	166.44
	引抜き力 (tf)	66.38	97.34	63.19	89.97
	許容引抜き支持力 (tf)	84.75	101.70	84.75	101.70
組杭	押込み応力度 (kgf/cm ²)	312	431	293	396
	許容押込み応力度 (kgf/cm ²)	1400	2100	1400	2100
	引抜き応力度 (kgf/cm ²)	256	375	244	347
	許容引抜き応力度 (kgf/cm ²)	1400	2100	1400	2100

なり、たかだか1mの増深であっても事実上軽量材で置き換えるだけでは対応が困難となる場合があることが示された。

また、原設計より前面水深が深くなることにより、裏込め材料の内部摩擦角が大きくなっても、主働崩壊面と受働崩壊面の交わる位置が下がる場合がある。この場合には前面矢板と控え杭の距離が不足することがある。今

回の検討原断面では、控え直杭の位置は地震時で決定され、杭の受働崩壊面と矢板の主働崩壊面が杭のタイ材取付点を含む水平面以下で交わらないような設計になっていたが、増深時には交点の位置が下がった。これに対し、ここでは地震時における控え杭は突出長のある杭と考えることで対処したが、設計上注意を要する点である。

鋼管矢板岸壁を対象としたケース5では、護岸前面を



() 内は地震時を示す。

図-50 控え組杭式鋼管矢板岸壁 (10m置換)

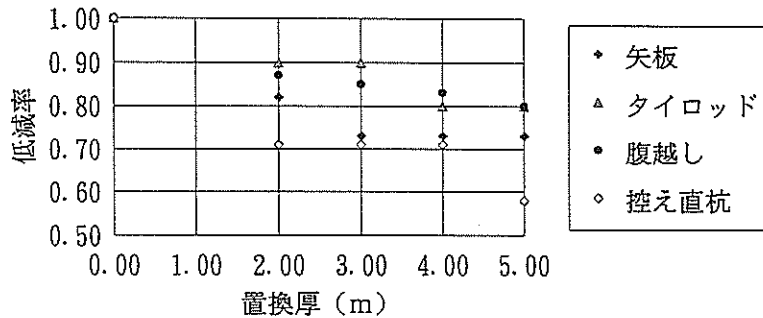


図-51 水砕スラグ置換厚と断面性能低減率との関係

増深し、それによる土圧の増加を低減するために護岸背面の砂を水砕スラグで置換えることとして、その必要置換量の検討を行った。また、この断面では控えが組杭式になっている。その結果、表-21および図-50に示すように、前面水深を2.0m増深するためには背面の砂を10.0m水砕スラグに置換しなければならず、増深によって鋼

管矢板の根入れ深度を深くすることが必要となった。このように、増深に対しては、水砕スラグのような材料を用いた裏込材の軽量化だけでは対応しきれないものと思われ、他の方法との併用が必要である。

ここでの計算では、増深によって海底面が下がると主働崩壊面上側に控え組杭が出るため、支持力算定の際

に主働崩壊面より上の杭の周面摩擦力は考慮していない。このような場合には、控え直杭の場合と同様に、控えの構造についても十分な注意が必要となる。

b) 矢板断面の性能低下への対応

a)で述べた控え直杭式鋼矢板岸壁を対象に、水砕スラグの置換厚を2.0mから5.0mまで1.0m間隔に変えて、それぞれの場合で各部材の断面性能の可能低下量を検討した。その結果、水砕スラグの置換厚が大きくなるほど各部材の断面性能や矢板の根入れ深度を低下できる傾向にあることがわかった。このうち、断面性能低減率についての計算結果を図-51に示す。同図に示すように、断面性能を低減できる度合いは矢板と控え直杭で大きく、タイロッドと腹起しでは小さいが、いずれも3~5mの置換により1~3割低減できることがわかる。断面性能を低減できるということは、既設の鋼矢板式護岸において腐食などにより各部材の断面性能が低下していても、埋立柱を軽量化し作用する土圧を下げることで、施設の機能を低下させなくすることができることを示している。

(1)および(2)で述べた計算の結果から、軽量材を裏埋め材として用いるメリットは、増深への対応の場合よりも老朽化などで生じる断面性能の低下への対応の場合の方がより適しているものと考えられる。また、根入れ不足の問題については軽量材以外の方法で対処するとすれば、水砕スラグで置換する事により対処可能であることがわかった。ただし、増深深さが深くなると必要置換量がかなり増大する傾向にある。

6.2 新形式の補強法

港湾構造物の改良・更新工事に実際に適用された新形式の補強法について、その実施例、基本的力学性、施工性、制約条件などを実態調査の結果からとりまとめた結果を紹介する。

(1) 水中結合工法 (事例番号6参照)

係留施設などの前出しにおいて、水中で鋼製の斜材を接続する構造である。これは、鋼管杭を主材とする構造物において、横方向の剛性を高めるために水中でタイロッド、鋼管などの斜材と鉛直材を接続する工法である。水平耐力を飛躍的に増加させることができるので、結果的に杭本数、杭径を軽減することができる。斜材の構造としては、タイロッドおよび細径鋼管を用いて引張あるいは圧縮部材とする水中格点工法²⁹⁾と太径鋼管を用いて圧縮部材とする水中ストラット工法³⁰⁾とがある。

施工性のポイントは杭と斜材の水中結合部の施工性にあるが、水中ストラット工法では杭と連結用外管の間に

充填材を注入することにより部材を接合させる方法を採用している。杭本数、杭径が軽減することにより、施工機械が小型化し、同時に工期の短縮を図ることができる。ただし、先に打設された杭に外管をかぶせるので、杭打ちにあたっては高い精度が得られるよう、入念に施工する必要がある。外管の取付けにあたっては、被覆材などに損傷を与えないようにする必要がある。

(2) 杭内部充填工法 (事例番号14参照)

腐食の著しい鋼管杭、鋼管矢板などにおいて、断面性能を維持するために杭中に形鋼などを打設し、コンクリートで中詰して一体化させた構造である。

この工法では、外力に抵抗できる材料を充填することによって所要耐力を確保し、コンクリートなどを用いて部材相互間の力の伝達を十分に行わせる。この例として、鉄筋コンクリート中詰工法、中詰鉄骨コンクリート工法、H鋼杭充填補修工法などが考えられる。

施工上はモルタルあるいはコンクリートが管内にしっかりと充填されるよう、念入りに施工を行う必要がある。また、対象杭または鋼管矢板上部のコンクリート、管内およびコンクリートのくりぬき部に外力に抵抗できる材料を充填するので、上部コンクリート上面の使用が制限される。

(3) 鉄筋コンクリート被覆補強工法

この工法は、腐食の著しい鋼管杭、鋼矢板などで、断面性能を維持するために外側表面にスタッドジベルを打設して鉄筋を配置しコンクリートで覆うことにより一体化させるものである。すなわち、鉄筋コンクリートにより劣化した鋼材を被覆する。

この構造は、力の伝達をスタッドジベルを介して行い、主鉄筋あるいはコンクリートによって所定の曲げモーメントおよびせん断力に抵抗できるようにした構造である²⁶⁾。

水中でのスタッド溶接は、特殊な溶接ガンを使用して大電流・短時間で溶接するアーク溶接法であるが、一般のアーク溶接とは幾分おもむきを異にしている。特に水中での施工となると、作業環境も悪くなるので、所定の溶接強度を確保するためには、溶接装置の性能、スタッドの性質、母材の性状、潜水溶接工の選定、作業足場の構築などあらゆる面に万全の配慮を行うことが必要である。また、補修対策に先だち、腐食鋼材表面の付着生物、さびなどを現場条件に応じた最適な方法で確実に除去しなければならない。

7. まとめ

港湾構造物の改良・更新事例の分析および共通技術課題の検討の結果を以下に示す。

- 1) 昭和63年度以後に着手あるいは着手予定の更新事例を90例収集し、代表的なものを事例集としてとりまとめた。
- 2) 更新事例について、改良の内容、既設構造物の取扱い、改良の理由、制約条件などに着目して傾向の分析を行った。
- 3) 更新事例は、前面栈橋築造、直前(背)面矢板打設、増杭による荷重分散、液状化対策、背面荷重の減少の5つの事例に概ね分類することができた。
- 4) 共通技術課題として、新旧構造物の荷重分担、既設構造物の機能評価、捨石を貫通して打設される杭の設計・施工法、液状化対策における周辺構造物への影響、および新材料の適用の5つを抽出した。
- 5) 新旧構造物の荷重分担については、新旧構造物間の距離に応じて荷重分担を行える可能性があることがわかった。また、その際の設計法の一例を示した。しかし、低減率や土圧分布などの荷重の算定手法等については今後の課題である。
- 6) 既設構造物の残存機能の評価については、力学的安全性および変形などの機能喪失の両者を指標とする考え方を整理した。また、既設構造物の活用方策を考察して提示した。
- 7) 捨石マウンドを貫通する杭の施工法としてドーナツオーガー工法と全回転型オールケーシング工法が有効であることを示し、長所および短所をとりまとめた。設計では杭の周面摩擦および横抵抗などがあまり期待できないおそれがあることを示した。
- 8) 液状化対策については、周辺構造物に影響の少ない工法を整理した。
- 9) 土圧低減用の軽量材の活用については、増深への対応および劣化などによる断面欠損への対応について試設計で検討を行った。増深への対応については、構造物の根入れ長の観点から単独で行うことが難しいことがわかった。

現状の技術に基づいて上記の技術課題に関する対応を検討したが、具体的な設計手法など未解決の問題も残されており今後の詳細な検討が待たれるところである。また、技術、とくに施工法の進歩により新たな対応方策が考えられることも期待でき、今後とも情報収集などを継続していく必要がある。

(1994年6月30日受付)

謝辞

本研究を実施するにあたって、ご指導をいただきました第五港湾建設局武藤昭光次長(元計画設計基準部長)および著者の1人が座長を勤めた「港湾施設の改良技術に関する委員会(沿岸開発技術研究センター)」のメンバーの皆様にお礼を申し上げます。また、実態調査にあたって貴重なデータをお寄せいただきました方々に心よりお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 港湾技術研究所土質部・計画設計基準部：港湾構造物の再開発のための技術に関するアンケート調査報告書、業務資料、1993年3月
- 2) 第四港湾建設局下関調査設計事務所：港湾構造物再開発技術調査報告書、1988年
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、改訂版、1989年
- 4) 石渡友夫ほか：港湾鋼構造物腐食評価手法について、港湾港研資料、No.501、1984年
- 5) 沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物補修マニュアル、1986年3月、pp.2-1~2-33
- 6) 松井創・安間清：変断面杭栈橋の応力算定手法について、港湾技研資料、No.645、1989年
- 7) 清宮理・千葉照男・横田弘・阿部正美：栈橋に用いられた鋼管杭の腐食状況と残存強度、港湾技研資料、No.593、1987年
- 8) 葭田誠作：岩盤・転石層を対象とした掘削工法と施工機械、基礎工、Vol.17、No.11、1989年11月、pp.19~33
- 9) 田口常雄・富岡卓也：砂置換工法によるドーナツロックオーガー削孔工事、基礎工、Vol.16、No.11、1988年11月、pp.85~91
- 10) 運輸省港湾局編：港湾工事共通仕様書、日本港湾協会、1991年
- 11) 日本建設機械化協会：大口径岩盤掘削工法の積算、平成5年度版
- 12) 高橋邦夫：大口径鋼管杭に関する試験と解析、港湾技研資料、No.660、1989年
- 13) 高橋邦夫・壱岐幸史：杭の横抵抗における捨石層の評価、港湾技術研究所報告、Vol.30、No.2、1991年、pp.229~273
- 14) 土質工学会編：液状化対策の調査・設計から施工まで、1993年、p.139
- 15) 沿岸開発研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック、1993年、p.119
- 16) 中田邦夫・寺内潔・千代義広：液状化防止対策とその

- 実証試験，土と基礎，Vol.32，No.12，1984年12月，pp.29～37
- 17) 豊田奉節・中里実三・中島豊：振動棒工法施工に伴う既設鋼管矢板岸壁の挙動に関する一考察，第43回土木学会年次学術講演会講演概要集，第III部，土木学会，1988年，pp.756～757
- 18) 池上盛容・林博一・木村孝一・小宮隆：地盤改良（サンドコンパクションパイル）による周辺地盤の水平変位の検討，土木学会論文集，第361号／VI-2，1985年9月，pp.95～98
- 19) 佐々木康：液状化対策としての砕石ドレーン工法の効果，基礎工，Vol.11，No.2，1983年2月，pp.25～31
- 20) 河本憲二・酒井成之：近接施工を可能としたサンドコンパクションパイル工法，基礎工，Vol.20，No.1，1992年1月，pp.90～91
- 21) 久楽勝行：軽量盛土工法の特徴とその適用，基礎工，Vol.18，No.12，1990年12月，pp.2～9
- 22) 奥村樹郎ほか：港湾・空港建設事業における軽量混合地盤材料の用途と課題，第29回土質工学研究発表会，1994年，pp.2399～2402
- 23) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの特性と有用性，1994年1月
- 24) 沿岸開発技術研究センター：港湾工事用水砕スラグ利用手引書，1989年8月
- 25) 石炭利用総合センター：石炭灰の有効利用技術に関する研究，その4，港湾空港工事における石炭灰有効利用調査，1993年3月
- 26) 発泡スチロール土木工法開発機構：EPS工法，理工図書，1993年2月，pp.19～183
- 27) 松井創ほか：発泡ビーズ混合土の水中打設実験－流動特性と強度－，第29回土質工学研究発表会，1994年，pp.2387～2388
- 28) 土田孝ほか：気泡混合土の水中打設実験－流動特性と強度－，第29回土質工学研究発表会，1994年，pp.2413～2414
- 29) 水中格点工法研究会：水中格点構造物設計施工指針（改訂版），1991年3月
- 30) 高橋邦夫・清宮理・佐藤光一：水中ストラット式構造物の実大規模構造物水平載荷試験について，海洋開発論文集，Vol.9，1993年6月，pp.367～372
- 31) 清宮理・野口孝俊・横田弘：腐食鋼矢板の補修工の耐力特性，港湾技術研究所報告，Vol.28，No.3，1989年，pp.147～198

付録 港湾構造物の改良・更新事例集

付表 事例集一覧表

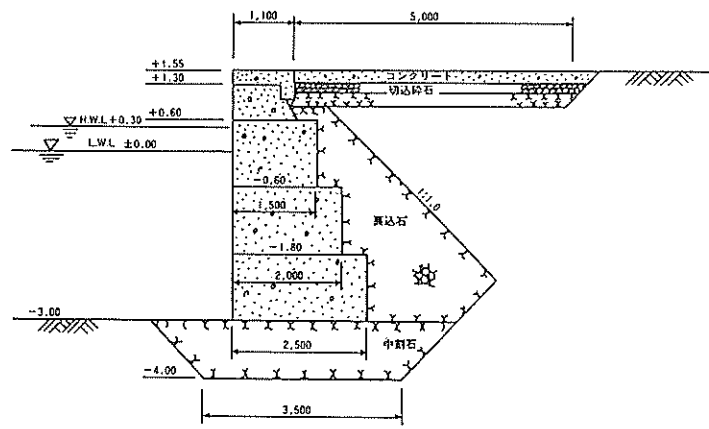
番号	県名	港名	構造形式の変化	主要改良内容の概要
1	北海道	留萌港	重→矢	増深・前出
2	北海道	小樽港	重→棧	増深・前棧
3	北海道	根室港	矢→重	前出
4	北海道	釧路港	セル→セル	液対
5	北海道	釧路港	矢→矢	液対
6	北海道	釧路港	矢→棧	前棧・新構
7	北海道	苫小牧港	矢→矢	荷重
8	北海道	苫小牧港	矢→矢	増深
9	青森県	青森港	棧→棧	荷重
10	秋田県	船川港	重→重	前出
11	山形県	酒田港	重→矢	増深・前出
12	新潟県	新潟港	矢→矢	荷重・液対
13	福島県	相馬港	矢→矢	増深・前出
14	福島県	小名浜港	矢→矢	液対
15	東京都	東京港	矢→矢	液対
16	神奈川県	川崎港	矢→矢	前棧
17	神奈川県	横浜港	セル→棧	増深・前棧
18	神奈川県	横浜港	セル→棧	前棧・矢板
19	神奈川県	横浜港	棧→棧	前出
20	神奈川県	横浜港	矢→矢	矢板
21	神奈川県	横須賀港	重→棧	前棧
22	神奈川県	横須賀港	棧→矢	増深・前出
23	静岡県	田子の浦港	矢→矢	増深・矢板
24	静岡県	清水港	重→棧	前棧
25	静岡県	清水港	重→棧	増深・前棧
26	愛知県	名古屋港	棚→矢	矢板・液対
27	富山県	伏木富山港	棧→他	荷重・液対・増杭
28	富山県	伏木富山港	他→重	液対
29	三重県	津松阪港	棧→重	前出
30	京都府	舞鶴港	重→棧	増深・前棧
31	大阪府	大阪港	重→重	液対
32	大阪府	大阪港	棧→棧	増深・増杭
33	広島県	呉港	棧→重	増深・前出
34	広島県	呉港	棚→矢	前出
35	山口県	下関港	棧→棧	増杭
36	山口県	下関港	重→矢	前出
37	高知県	高知港	矢→棧	増深・前出
38	高知県	高知港	重→重	増深・前出
39	愛媛県	松山港	重→重	液対
40	愛媛県	松山港	重→棧	増杭
41	福岡県	博多港	重→重	前出
42	熊本県	八代港	重→棚	増深・前出
43	宮崎県	細島港	棧→棧	前出
44	沖縄県	石垣港	矢→棧	前棧
45	沖縄県	石垣港	矢→矢	増深・矢板・前出

凡例) 前棧：前面棧橋築造，前出：前出し（法線変更），矢板：直前（背）面矢板打設，液対：液状化対策，荷重：背面荷重減少，新構：新構造形式による補強

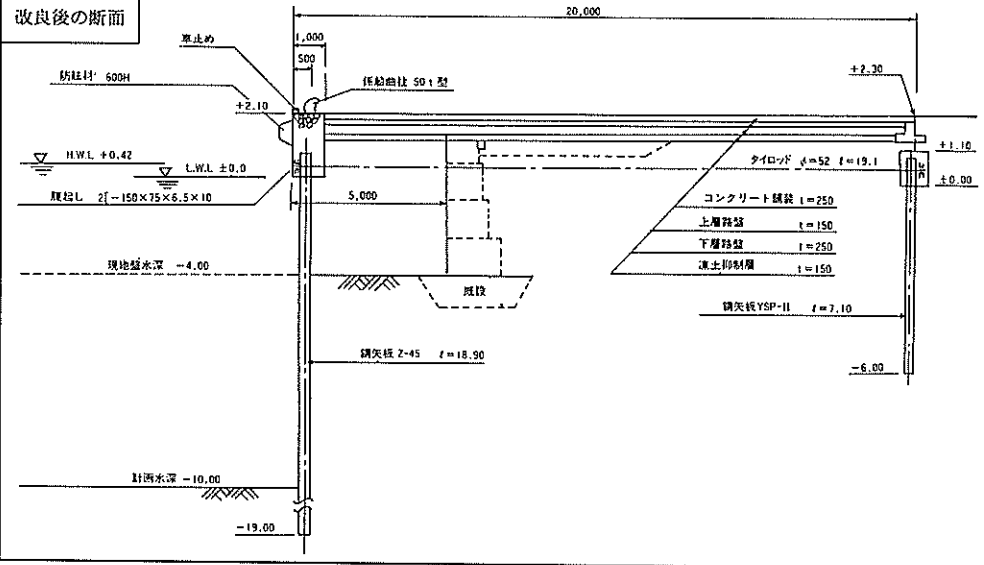
改良・更新事例 1

港湾名: 留萌港(北岸地区)		(事業者: 北海道開発局 留萌港湾建設事務所)		
施設名	改良前	改良後		
構造形式	-3.0m岸壁	-10.0m岸壁		
完成年度	昭和 39年度	平成 7年度(予定)		
計画・設計条件	前面水深	-3.00 m	天 塔 高	+1.55 m
	岸壁の幅	幅 6.10 m, 勾配 1.00 %	幅	20.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	1.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	300 DWT (船種: 貨物船 雑貨類)	10 000 DWT (船種: 貨物船 林産品, 鉱産品)	
改良内容	接岸速度	cm/s	設計震度	12 cm/s
	設計水位	H.W.L. +0.30 m, L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.42 m, L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材	砂質土	砂質土	
	の条件	地表~-5.0mは砂, -5.0m以深は粘性土		
改良内容				
①船舶の大型化, 取扱い貨物の変化に伴う機能性確保のための改良(増深-3.0m→-10.0m). ②既設岸壁前面に斜矢板式岸壁を築造(前出し距離: 0~15m).				

改良前の断面



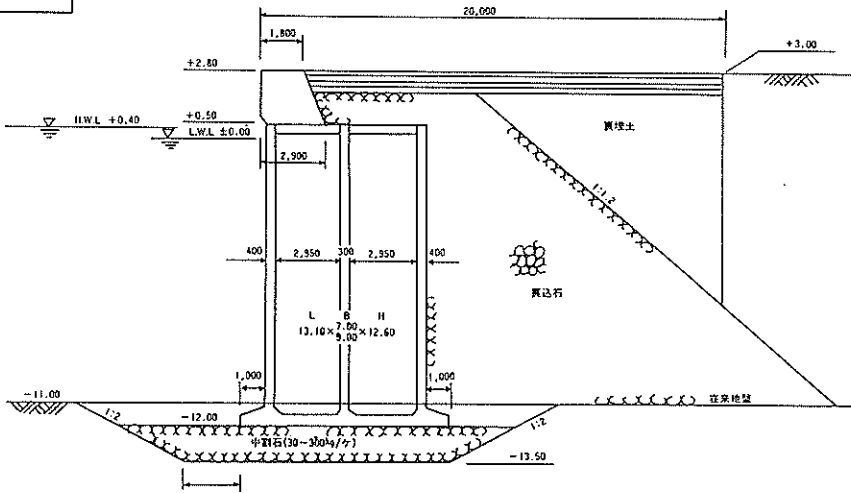
改良後の断面



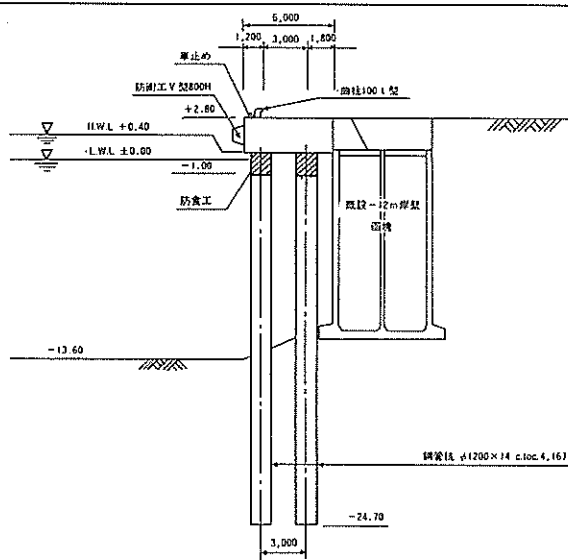
改良・更新事例 2

港名: 小樽港(新納地区)		(事業者: 北海道開発局 函館開発建設部)	
施設名	改良前		改良後
構造形式	重力式岸壁(ケーソン)		杭式横棧橋
完成年度	昭和 53年度		平成 4年度(予定)
計画・設計条件	前面水深	-12.0 m	天端高 +2.80 m
	17°の幅	幅 20.00 m, 勾配 1.00 %	幅 m, 勾配 %
	上載荷重	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), ニュートン・メトリック	
	対象船舶	30 000 DWT (船種)	
接岸速度	cm/s	設計震度 0.10	cm/s 設計震度 0.10
設計水位	H.W.L. +0.40 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.40 m L.W.L. 0.00 m
裏込め材	φ=40°		捨石層があり杭打設にオクシダク工法を採用
改良内容	①船舶の大型化に伴う機能性の確保のための改良(増深-12.0m→-13.0m)。 ②既設重力式岸壁前面に直杭式横棧橋を架造し前出し。前出し距離(6m)は新設構造物の安定性から決定。		

改良前の断面



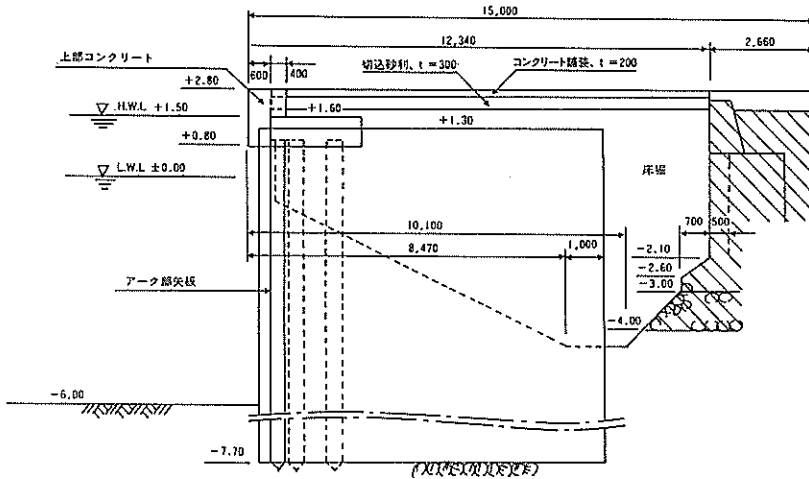
改良後の断面



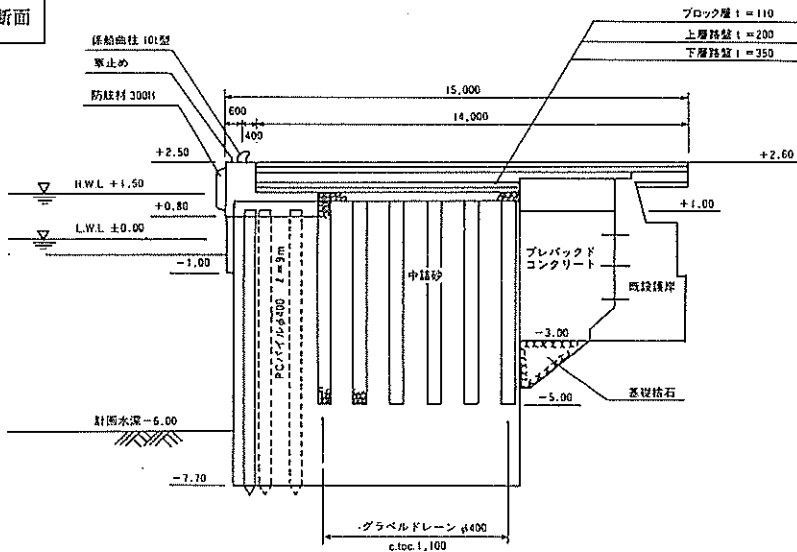
改良・更新事例 4

港湾名:	釧路港(東港地区)		(事業者:北海道開発局 釧路開発建設部)	
施設名	改良前 岸壁(錦町-6.0m)A部		改良後 岸壁(錦町-6m)A部	
構造形式	セル式岸壁		セル式岸壁	
完成年度	昭和 43年度		平成 1年 月	
計画・設計条件	前面水深	-6.0 m	天端高	+2.30 m
	17°の幅	幅 15.00 m, 勾配 1.00 %	幅 15.00 m, 勾配 1.00 %	
	上載荷重	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械なし	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²)	
	対象船舶	500 GT (取扱い貨物: 鮮魚)	500 GT (船種)	
	接岸速度	cm/s	設計震度	0.15
設計水位	H.W.L.	+1.50 m	L.W.L.	0.00 m
	R.W.L.	+1.00 m	R.W.L.	+1.00 m
裏込め材の条件	基礎地盤: -7.5m以深はN=50以上, その上層は砂層を含む埋立土			
改良内容	①背後地の再開発事業により当施設が変状したための改良。 ②背後の埋土の液化化対策(ケラ'が'レーン工法)。 ③法線変更なし。 ④既存施設撤去せず。			

改良前の断面



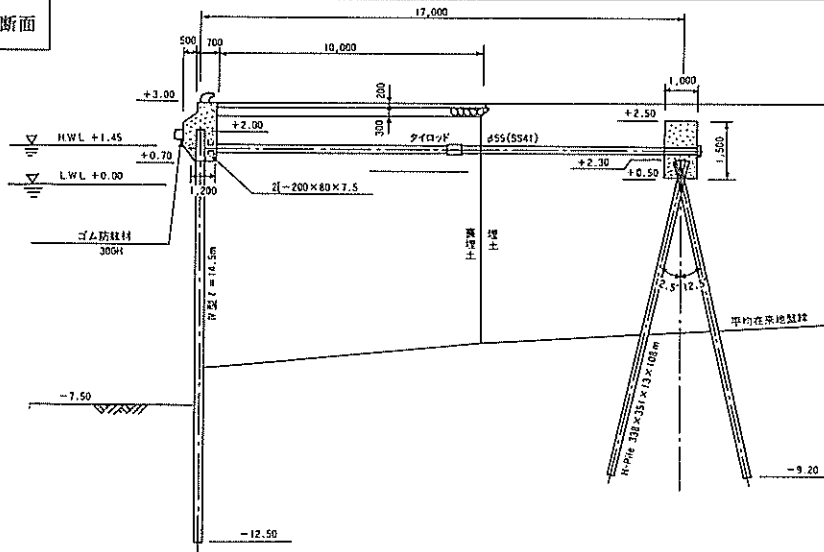
改良後の断面



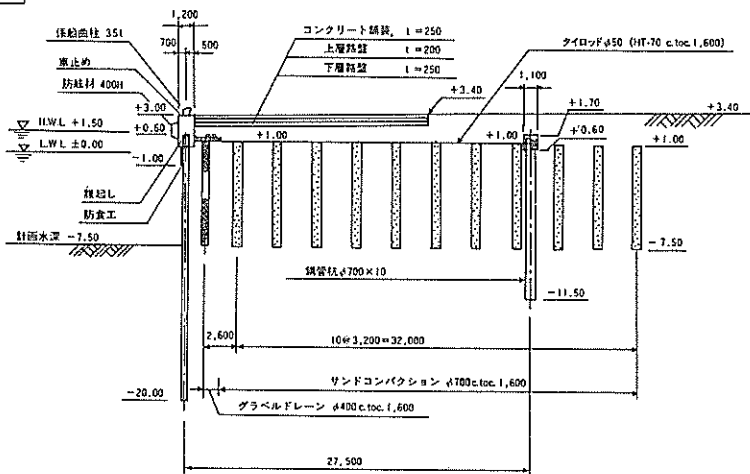
改良 - 更新事例 5

港湾名:	釧路港(東港地区)		(事業者:北海道開発局 釧路開発建設部)	
施設名	改良前 中央埠頭岸壁(-7.5m)第4バース		改良後 中央埠頭岸壁(-7.5m)第4バース	
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁		控え杭式鋼矢板岸壁	
完成年度	昭和 39年度		平成 1年度	
計画	前面水深	-7.50 m	天端高	+3.00 m
	コン幅	幅 m, 勾配 2.00 %		幅 20.00 m, 勾配 2.00 %
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし		2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	DMT (取扱い貨物:雑貨)		5 000 DMT (船種)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	0.15
	設計潮位	H.W.L. +1.45 m L.W.L. +0.50 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.50 m L.W.L. +1.00 m
設計条件	裏込め材の条件 水深-10m,N=50, 以浅は砂層を含む埋立土			
改良内容	①鋼矢板の老朽化および背後地の液状化対策のための改良。 ②河川区域と重複しているため法線変更なし。 ③液状化対策工による本体への影響(変位)を考慮。			

改良前の断面



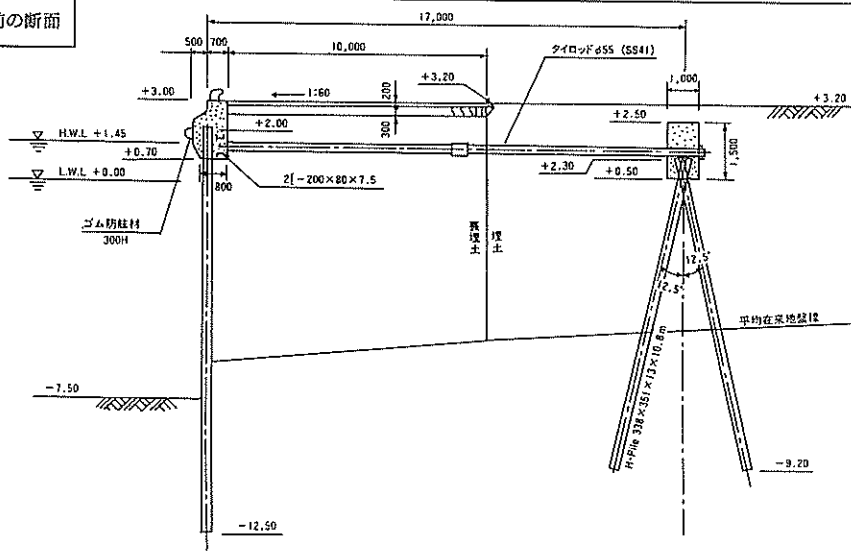
改良後の断面



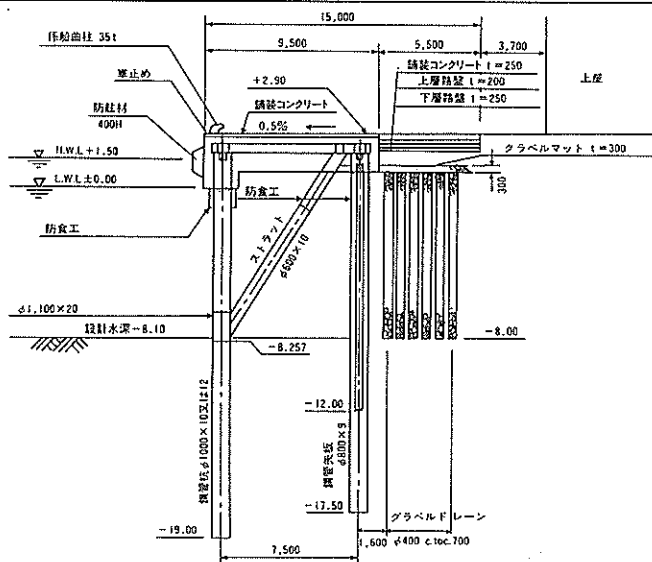
改良・更新事例 6

港湾名:	釧路港(東港地区)		(事業者:北海道開発局 釧路港湾建設事務所)	
施設名	改良前 中央埠頭岸壁(-7.5m)第5バース		改良後 中央埠頭岸壁(-7.5m)第5バース	
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁		杭式横棧橋(水中ストラット工法)	
完成年度	昭和 39年度		平成 3年度	
計画	前面水深	-7.5 m	天端高	+3.00 m
	エブンの幅	幅 10.00 m, 勾配 2.00 %	幅	10.00 m, 勾配 0.50 %
設計	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし		
	対象船舶	DMT (取扱い貨物: 雑貨)		
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	0.15
	設計潮位	H.W.L. +1.45 m R.W.L. +0.50 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.50 m R.W.L. +1.00 m
改良内容	裏込め材 水深-8.0~-16.0m以深はN=50以上, その上層部は埋土を含む軟弱層			
改良内容	①築造後20年以上を経過し老朽化が進んだための改良。 ②水中ストラット工法による補強。 ③背後埋立地盤の液状化対策工(グラベル・レーン工法)。 ④前面航路等の制限により法線変更なし。			

改良前の断面



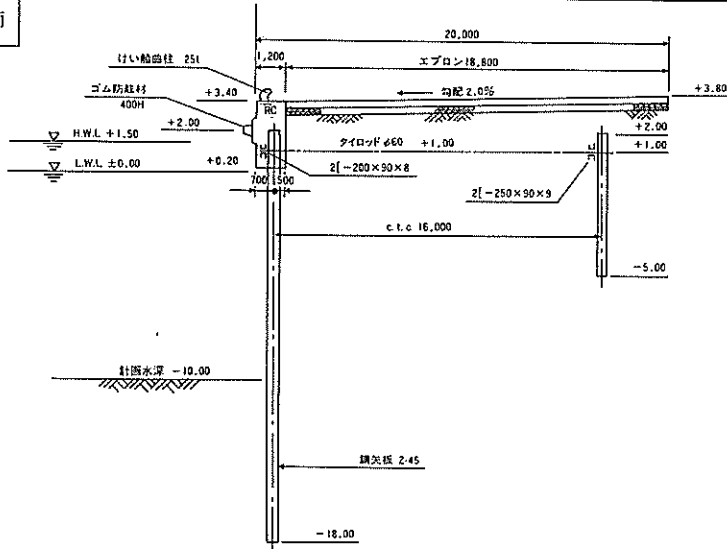
改良後の断面



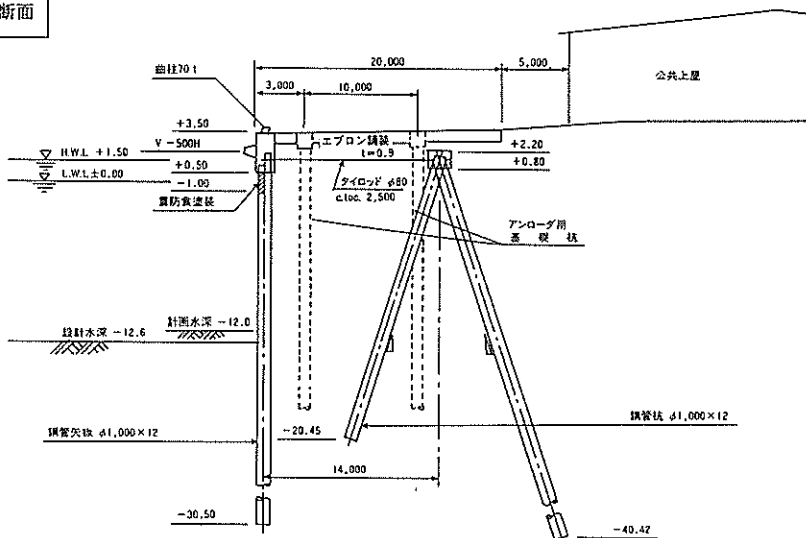
改良・更新事例 8

港湾名： 苫小牧港 (工業港地区)		(事業者：北海道開発局 室蘭開発建設部)			
改良前		改良後			
施設名	中央南-10m岸壁	中央南-12m岸壁			
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁	控え杭式鋼管矢板岸壁			
完成年度	昭和 47年度	平成 6年度(予定)			
計画	前面水深	-10.0 m	天端高 +3.40 m	-12.0 m	天端高 +3.50 m
	エプロン幅	幅 20.00 m, 勾配 2.00 %		幅 20.00 m, 勾配 2.00 %	
設計	上載荷重	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし		2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 穀物用アンローダ	
	対象船舶	15 000 DWT (船種：一般貨物船 雑貨)		30 000 DWT (船種：一般貨物船 穀物類)	
設計条件	接岸速度	11 cm/s	設計震度 0.15	10 cm/s	設計震度 0.15
	設計潮位	H.W.L. +1.50 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.50 m	L.W.L. 0.00 m
裏込め材の条件		砂質土		砂質土	
改良内容 ①船舶の大型化に伴う機能性の確保のための改良(特別整備事業)。増深-10m→-12.0m。 ②岸壁前面矢板、控え矢板を撤去し、鋼管矢板を新規に打設。 ③隣接岸壁と連続バースとして利用するために法線変更なし。					

改良前の断面



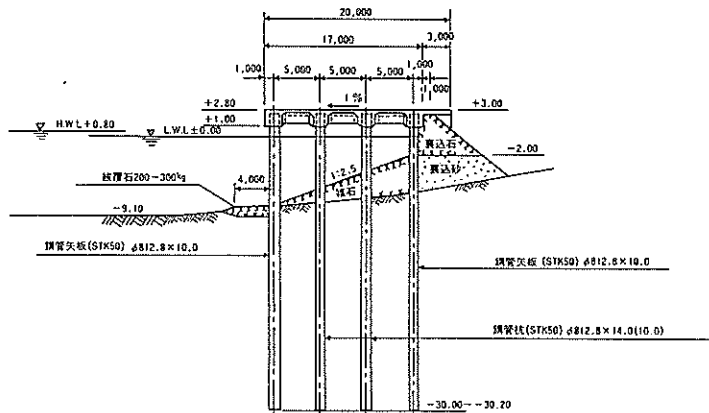
改良後の断面



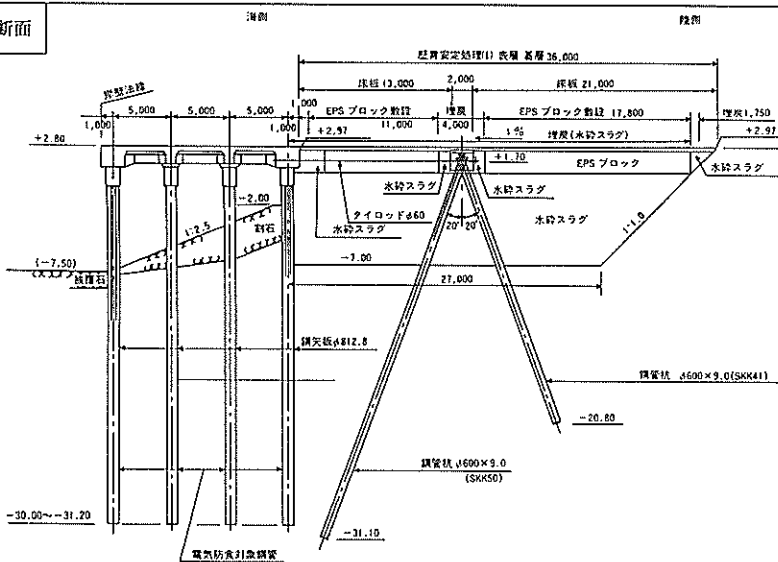
改良・更新事例 9

港湾名: 青森港(神館地区)		(事業者: 第二港湾建設局)		
	改良前	改良後		
施設名	-7.5m岸壁	-7.5m岸壁		
構造形式	杭式横棧橋	杭式横棧橋		
完成年度	昭和 57年度	平成 4年度		
計画	前面水深	-7.6 m	天端高	+2.80 m
	17'0"幅	幅 20.00 m, 勾配 1.00 %	幅 20.00 m, 勾配 1.0 %	
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	5 000 DWT (船種: 貨物船 鉄鉱石, 原木等)	5 000 DWT (船種: 貨物船 鉄鉱石, 原木等)	
設計条件	接岸速度	15 cm/s	設計震度	0.10
	設計潮位	H.W.L. +0.80 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.80 m L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材の条件	割石 基礎地盤〜シルトおよび腐食土の含有大	水砕スラグ	
		①着工直後より予想以上の変位が生じたため、安全性対策が必要。 ②岸壁背後土砂の撤去して土圧を解放。控え組杭とタレットで既設横橋に直結し、かつ土圧軽減のため水砕スラグおよびEPSブロックで埋戻し。 ③法線変更なし。		

改良前の断面



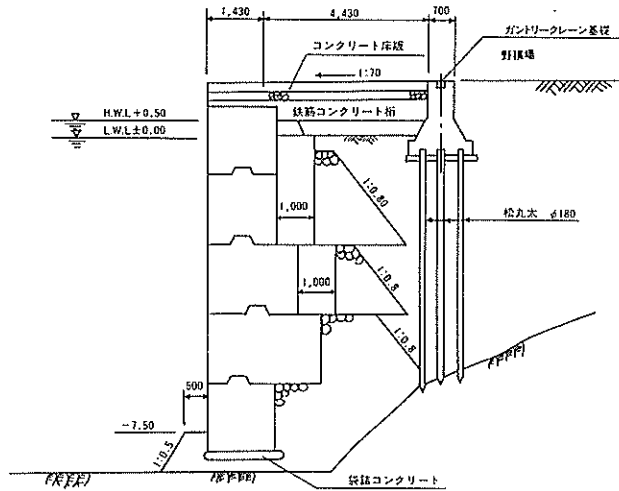
改良後の断面



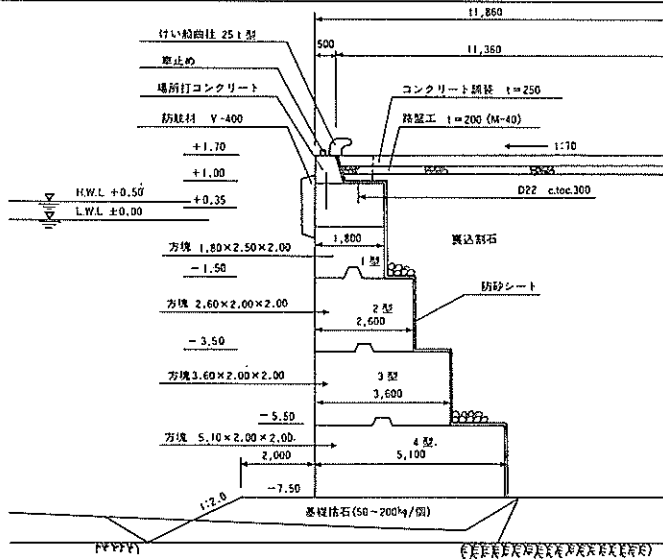
改良・更新事例 10

港湾名： 船川港 (本港地区)		(事業者：秋田県)	
改良前		改良後	
施設名	-7.5m岸壁	-7.5m岸壁	
構造形式	重力(方塊ブロック)式岸壁	重力(方塊ブロック)式岸壁	
完成年度	昭和 6年度	平成 元年度	
計画	前面水深	-7.5 m	天端高 +1.75 m
	幅	4.43 m	勾配 %
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), U-ティンガアあり	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), U-ティンガアあり
	対象船舶	5 000 DWT (船種：タンカー 油類,化学薬品)	5 000 DWT (船種：タンカー 油類,化学薬品)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度 0.10
	裏込め材	砂質土	割石 基礎地盤は泥岩
改良内容	①築造後50年経過しており老朽化が著しく、安定性確保のための耐震対策。 ②既設岸壁前面に新方塊ブロック岸壁を築造(前出し距離0.0m)。 ③供用しながらの施工。 ④危険物配管が隣接しており海上からの施工。		

改良前の断面



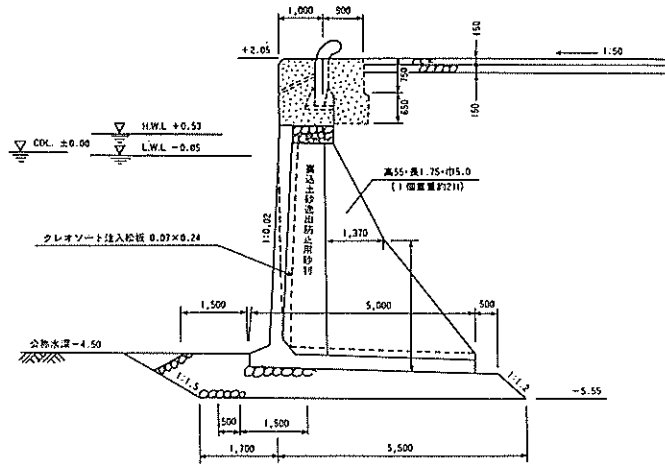
改良後の断面



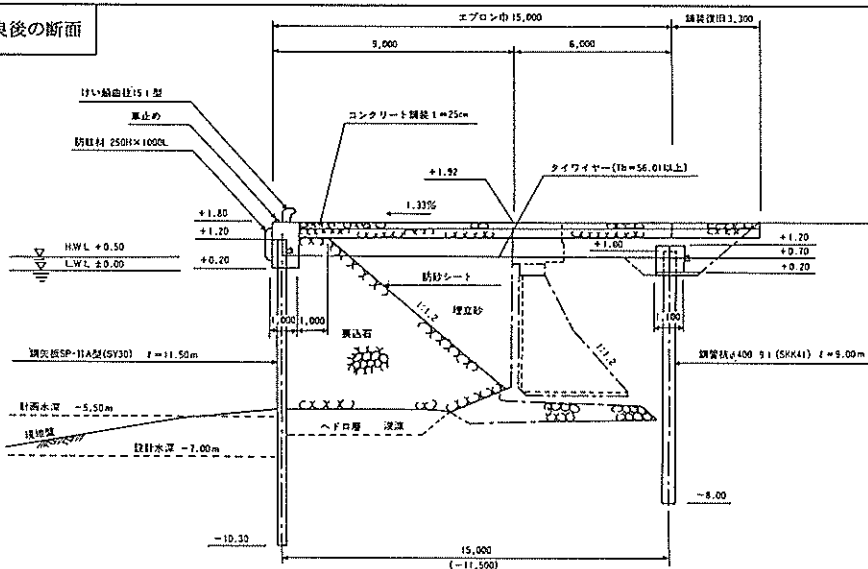
改良・更新事例 1 1

港湾名： 酒田港 (本港地区)		(事業者：山形県 本港)		
	改良前	改良後		
施設名	東埠頭第1埠頭岸壁(-4.5m)	東埠頭第1埠頭岸壁(-5.5m)		
構造形式	重力式(L型ブロック)岸壁	掘入杭式鋼矢板岸壁		
完成年度	昭和 7年度		平成 63年度	
計画	前面水深	-4.50 m	天端高	+1.80 m
	17°の幅	幅 8.50 m, 勾配 2.00 %	幅 15.00 m, 勾配 1.33 %	
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	700 DWT (船種：貨物船 化学肥料, 原塩)	2 000 DWT (船種：貨物船 化学肥料等)	
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	0.10
	設計潮位	H.W.L. m L.W.L. m	H.W.L. +0.50 m L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材		裏込石(φ=40°, γ=1.8tf/m ³)	
	改良内容	①既設施設は築造後60年を経過。対象船舶も大型化しており安全性確保と機能確保が必要。 ②前出し距離(7.0m)。 ③既設構造物は撤去せず。		

改良前の断面



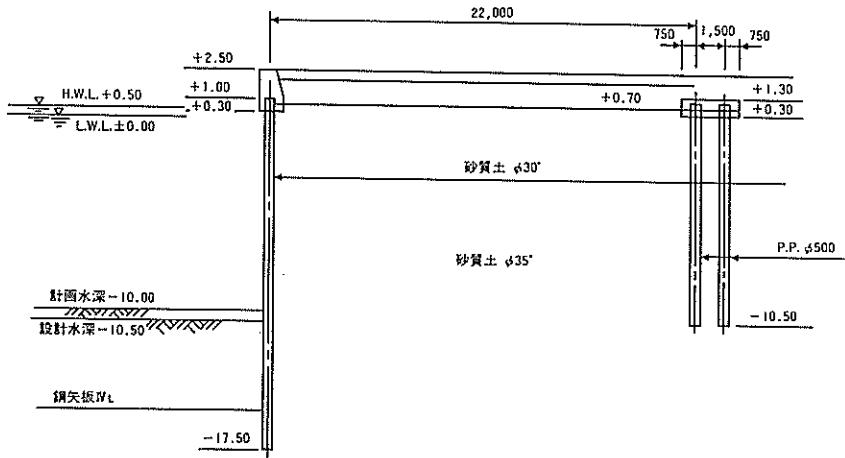
改良後の断面



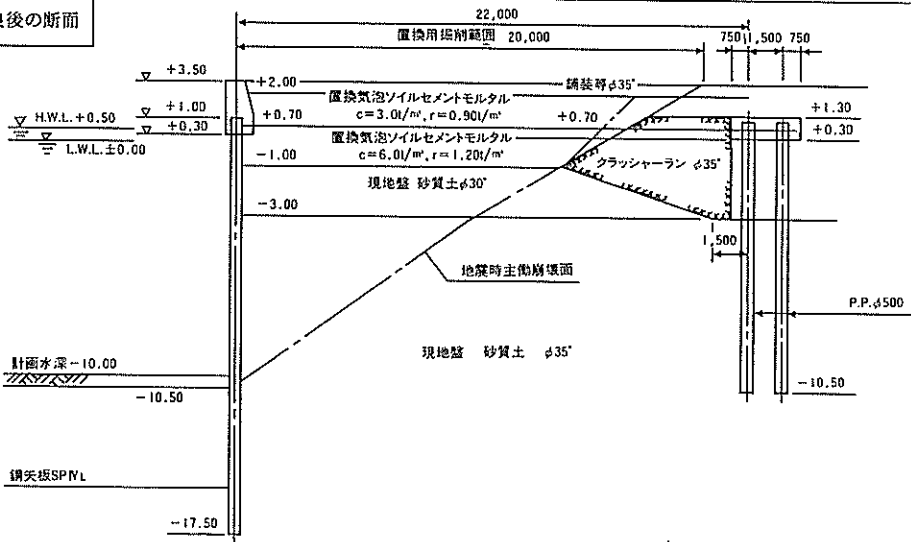
改良・更新事例 12

港湾名：新海港(東港)		(事業者：新海興)					
施設名	改良前			改良後			
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁			控え杭式鋼矢板岸壁			
完成年度	昭和 年 月			平成 3年度			
計画	前面水深	-10.0 m	天端高	+2.50 m	-7.5 m	天端高	+2.50 m
	17°の幅	幅 m, 勾配 %		幅 m, 勾配 %			
設計	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械有り			tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械有り		
	対象船舶	DWT (取扱い貨物：コンテナ)			DWT (取扱い貨物：コンテナ)		
設計条件	接岸速度	ca/s	設計震度	0.12	ca/s	設計震度	0.20
	設計潮位	H.W.L. +0.50 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.50 m	L.W.L. 0.00 m		
	裏込め材の条件	砂質土			ソイルセメント		
改良内容	①地震時の安全対策の一環として耐震構造(背面土：気泡ソイルセメントモルタル)に改良。 ②土圧軽減のため鋼矢板背面土砂の置換え改良を実施。 ③背後地は供用中のコナヤド。 ④法線変更なし。						

改良前の断面



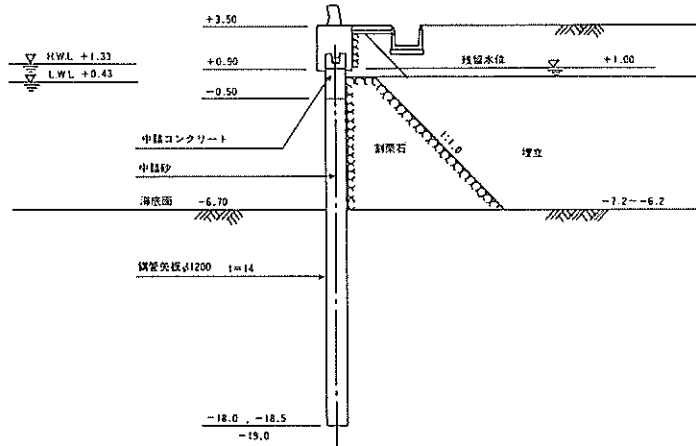
改良後の断面



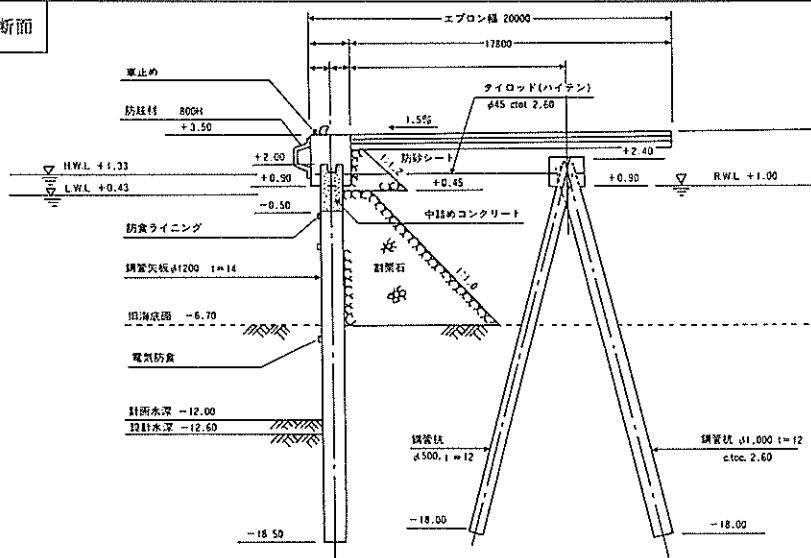
改良・更新事例 13

港湾名: 相馬港(2号埠頭地区)		(事業者: 福島県)			
施設名	改良前	改良後			
構造形式	自立式鋼矢板護岸	控え杭式鋼矢板岸壁			
完成年度	昭和 53年度	平成 6年度(予定)			
計画	前面水深	-6.7 m	天端高 +4.50 m	-12.0 m	天端高 +3.50 m
	幅	m, 勾配 %	幅 20.00 m, 勾配 1.50 %		
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²)		2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	DWT (船種)		30 000 DWT (船種: 貨物船 木材)	
設計条件	接岸速度	cm/s		10 cm/s	
	設計潮位	H.W.L. +1.33 m	L.W.L. +0.43 m	H.W.L. +1.33 m	L.W.L. +0.43 m
改良内容	裏込め材	砂質土		砂質土	
	改良内容	①船舶の大型化に伴う機能性確保のための改良。 ②増深(-6.7m→-12.0a)。 ③上部工天端(+4.50a→+3.50a)。 ④前出し距離をタイロッド、版起し材等のかぶりから決定(20cm)。			

改良前の断面



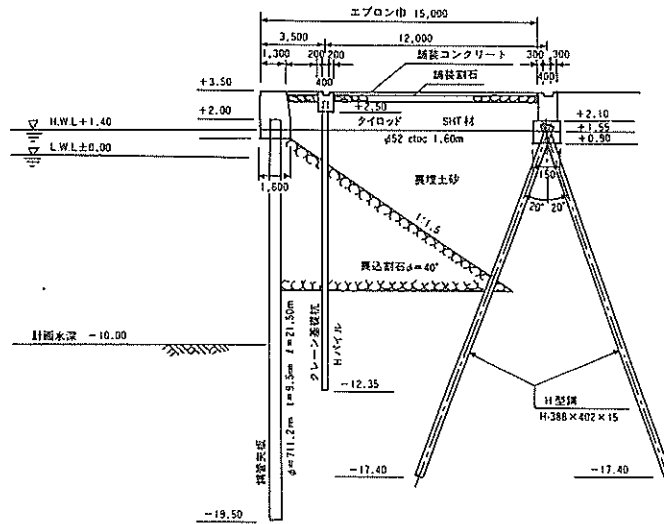
改良後の断面



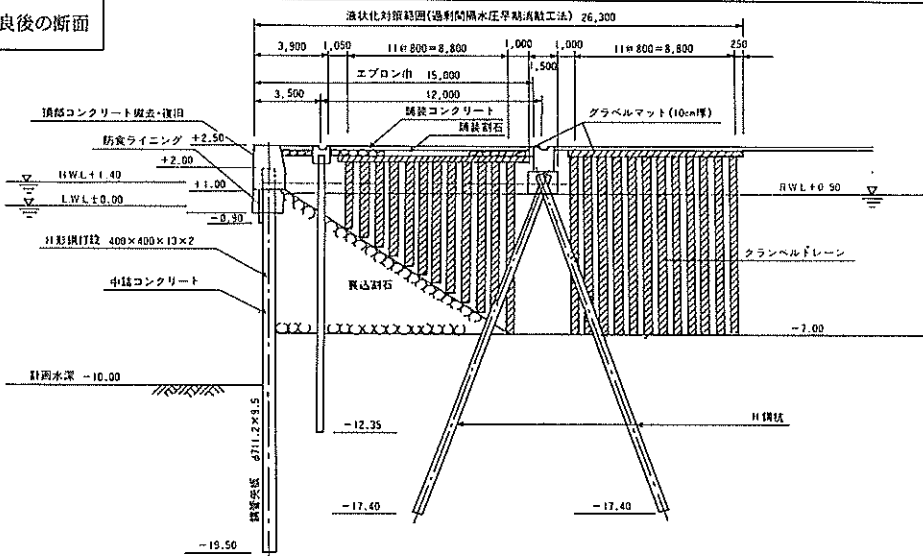
改良・更新事例 14

港湾名: 小名浜港(4号埠頭)		(事業者: 第二港湾建設局)		
施設名	改良前	改良後		
構造形式	-10.0m岸壁 控え杭式鋼矢板岸壁	-10.0m岸壁 控え杭式鋼矢板岸壁(鋼管矢板兼用H杭)		
完成年度	昭和 43年度	平成 4年度(予定)		
計画・設計条件	前面水深	-10.0 m	天端高	+3.50 m
	工 ³ の幅	幅 15.00 m, 勾配 %	幅 15.00 m, 勾配 %	
	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	15 000 DWT (船種: 貨物船 セント, 鉱産品)	15 000 DWT (船種: 貨物船 セント, 鉱産品)	
	接岸速度	10 cm/s	設計震度	0.15
設計潮位	H.W.L. +1.40 m L.W.L. 0.10 m	H.W.L. +1.40 m L.W.L. +0.10 m	R.W.L. - m	
裏込め材の条件	割石および埋立土砂	割石および埋立土砂 (改良済み)		
改良内容	①築造後23年経過した施設のため腐食が著しく、前面鋼管杭内部に補強用のH形鋼を打設し、コンクリート中詰で一体化した補強対策。②地震時の安全性確保のための液状化対策工(グラベルマント)を施工。③岸壁背後に上屋。④供用しながらの施工。⑤法標変更なし。			

改良前の断面



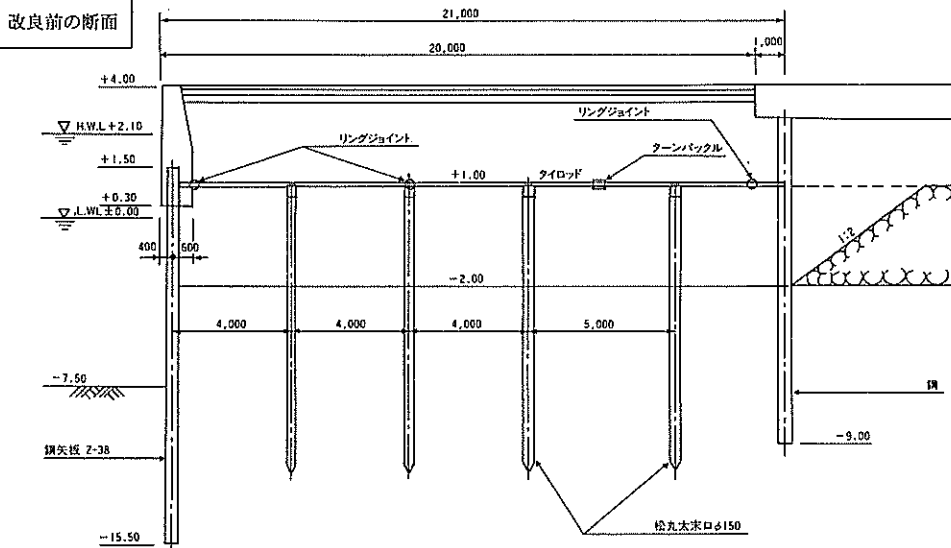
改良後の断面



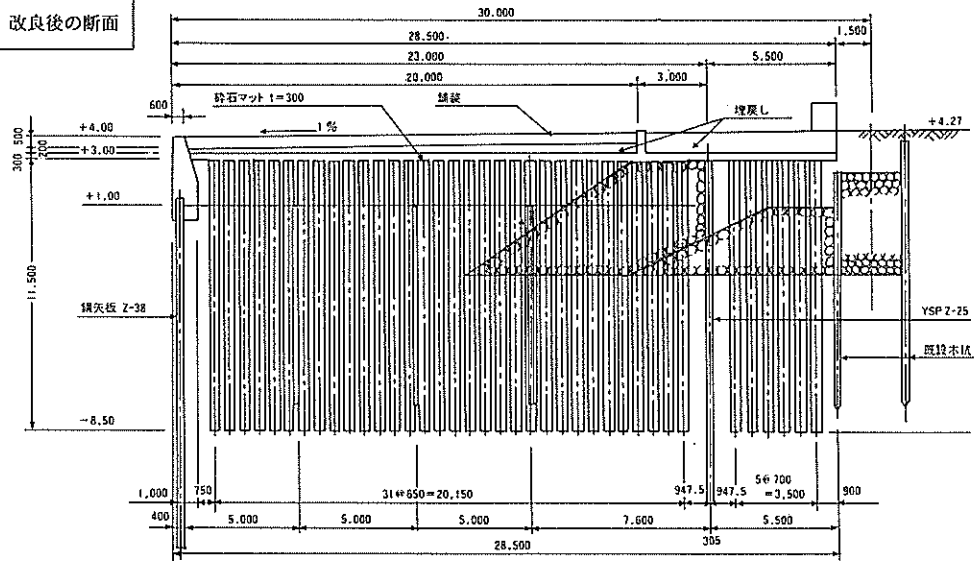
改良・更新事例 15

港湾名: 東京港(10号地その2)		(事業者: 東京都)	
施設名	(不明)	10号地その2(-7.5m)岸壁	
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁	控え杭式鋼矢板岸壁	
完成年度	昭和 年月	平成 元年度	
計画	前面水深	-7.50 m	天端高 +4.00 m
	17°の幅	幅 20.00 m, 勾配 %	幅 20.00 m, 勾配 1.00 %
設計	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	5 000 DWT (船種: 貨物船 輸送機械, 紙等)	
条件	接岸速度	15 cm/s	設計震度 0.20
	設計潮位	H.W.L. +2.10 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +2.10 m L.W.L. 0.00 m
改良内容	裏込め材の条件	砂質土	砂質土
	①地震時における海上輸送機能確保のための液状化対策。		

改良前の断面



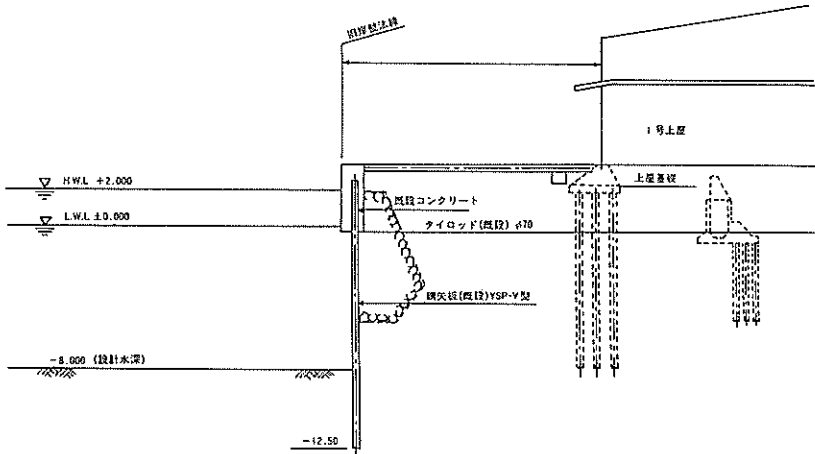
改良後の断面



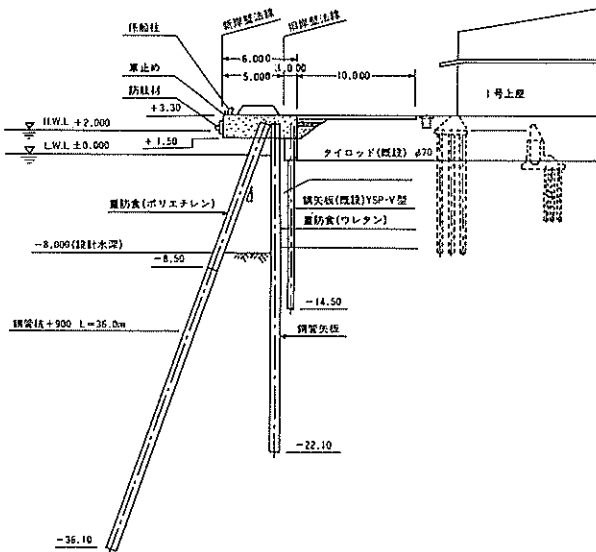
改良・更新事例 16

港湾名：川崎港(千鳥島地区)		(事業者：川崎市)	
改良前		改良後	
施設名	-7.5m岸壁		-7.5m岸壁
構造形式	挖入壁式鋼矢板岸壁		鋼管矢板岸壁(前方斜め杭)
完成年度	昭和 28年度		平成 3年 月
計画・設計条件	前面水深	天端高	-7.5 m 天端高 +3.30 m
	17°D幅	幅, 勾配	幅 19.65 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械あり	
	対象船舶	5 000 DWT (船種 : 貨物船)	
改良内容	接岸速度	ca/s	15 cm/s
	設計震度	設計震度	0.20
改良内容	設計潮位	H.W.L. L.W.L.	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m
	裏込め材	砂質土	
①築造後40年を経過した施設のため鋼矢板腐食が著しく、安全性確保のために改良。 ②前出し距離を新設構造物の安全性から決定(5.2m)。 ③既存構造物は撤去せず。			

改良前の断面



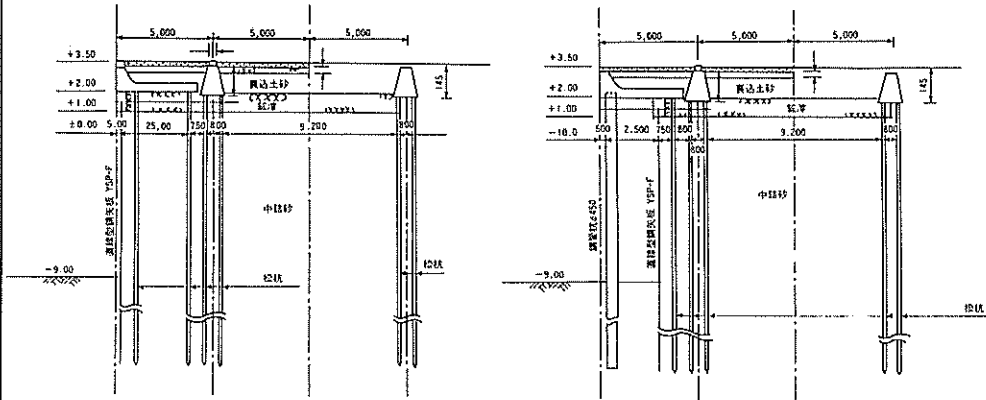
改良後の断面



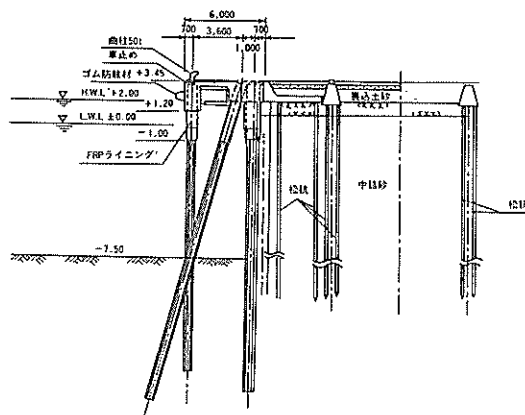
改良・更新事例 17

港湾名:	横浜港(神奈川地区)		(事業者:横浜市)	
	改良前		改良後	
施設名	-7.5m岸壁		-7.5m岸壁	
構造形式	鋼矢板セル式岸壁		杭式横棧橋(前方斜め杭式)	
完成年度	昭和 38年度		平成 5年 月	
計画	前面水深	-7.50 m	天端高	+3.50 m
	勾配	15.00 m, 勾配 1.00 %	幅	21.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	4.0 tf/m ² (1.6 tf/m ²), 荷役機械クレーン	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械7~9t25t	
	対象船舶	10 000 DWT (船種: 貨物船 石炭)	10 000 DWT (船種: 貨物船 青果, 鉄鋼等)	
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	0.10
	設計潮位	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	設計震度 0.20
改良内容	裏込め材の条件 ①築造後30年を経過した鋼矢板セルの腐食が著しく、安全性確保のための改良。②前面に前方斜め杭式横棧橋を築造。③前面航路および背面の上屋が隣接していることから前出し距離を決定(6.0m)。④既存施設は撤去せず。			

改良前の断面



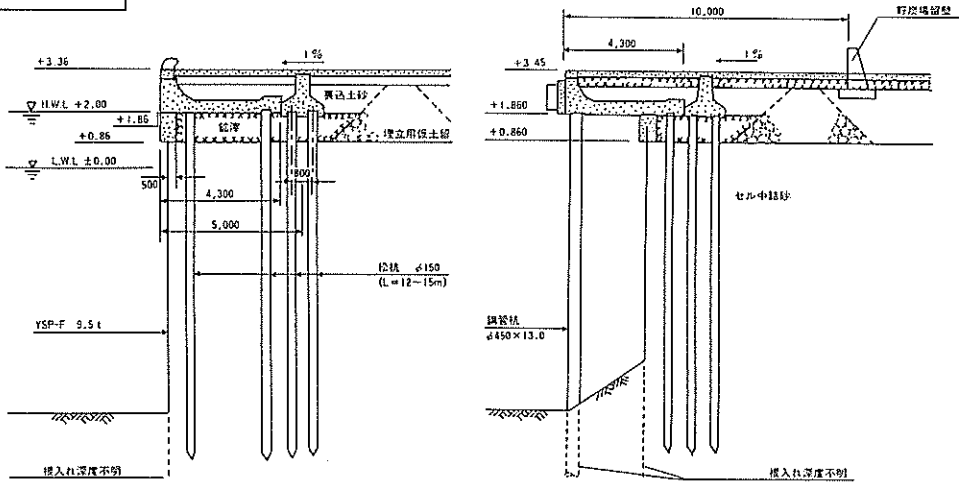
改良後の断面



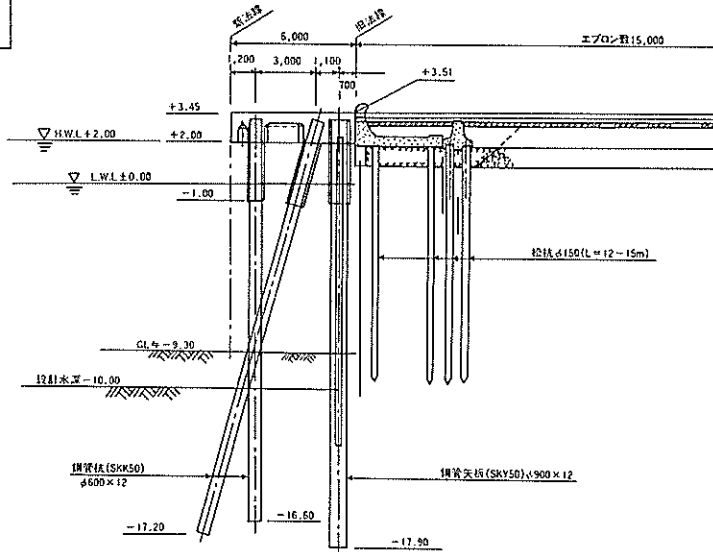
改良・更新事例 18

港湾名：横浜港（神奈川県）		（事業者：第二港湾建設局）	
		改良前	改良後
施設名	岸壁(-7.5m)	岸壁(-7.5m)	
構造形式	セル式岸壁	土止め矢板併用杭式横棧橋	
完成年度	昭和 38年度	平成 4年度(予定)	
計画	前 waterfront 深	-7.50 m	天端高 +3.50 m
	17°D幅	幅 15.00 m, 勾配 1.00 %	幅 21.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	4.0 tf/m ² (1.6 tf/m ²), 荷役機械なし	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	DWT (取扱い貨物：石炭)	10 000 DWT (船種：貨物船 青果, 鉄鋼)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度 0.10
	設計潮位	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	10 cm/s 設計震度 0.20
設計条件	R.W.L.	+2.00 m	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m
	裏込め材の条件		R.W.L. +1.30 m
改良内容	①築造後30年経過した施設のため腐食が著しく、安全性の確保のための改良が必要。 ②セル式構造および背後に上屋があったため、既設施設は撤去不可。③前出し距離(6.0m)。 ④取扱い貨物、荷役形態の変更から上載荷重増加。⑤湾奥部のため仮設橋を架造し施工。		

改良前の断面



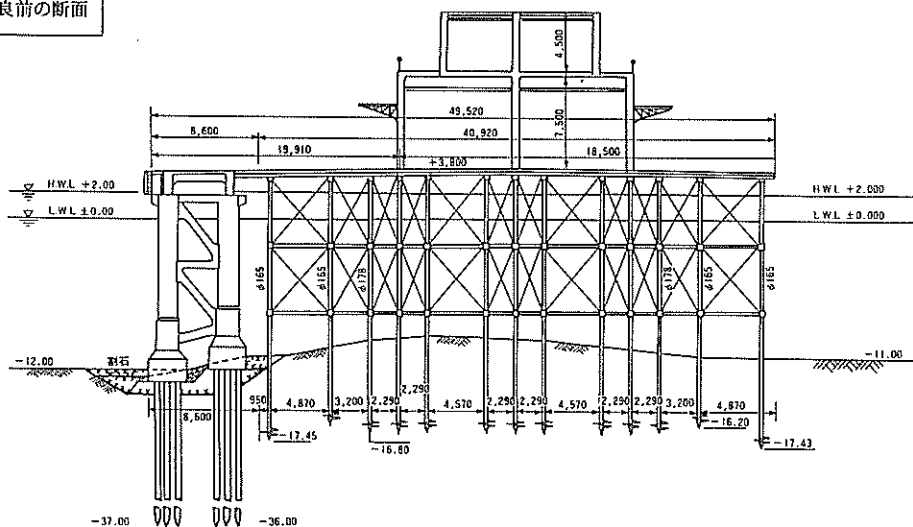
改良後の断面



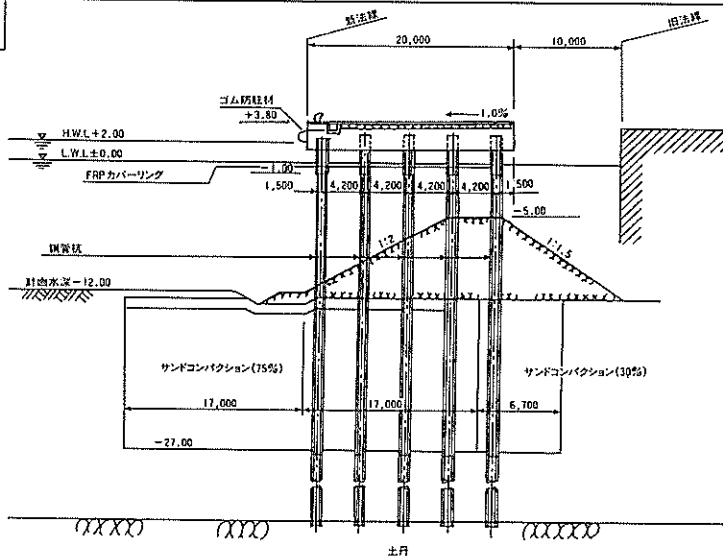
改良・更新事例 19

港湾名: 横浜港(大棧橋埠頭)		(事業者: 第二港湾建設局)	
		改良前	改良後
施設名	棧橋(-12.0m)		棧橋(-12.0m)山下側
構造形式	棧橋		杭式横棧橋
完成年度	昭和 9年度		平成 3年度
計画	前面水深	-12.0 m 天端高 +3.60 m	-12.0 m 天端高 +3.80 m
	17°0'幅	幅 m, 勾配 %	幅 20.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	DWT (船種)	67 140 GT (船種: 旅客船 クイーン・エリザベス号)
設計条件	接岸速度	cm/s 設計震度	10 cm/s 設計震度 0.20
	設計潮位	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m
設計条件	裏込め材の条件	基礎地盤~粘性土層(厚さ15~40m程度)	
	改良内容	①大棧橋再開発の一環。昭和9年に築造され以後種々の補強が施されているが、腐食が著しく埠頭全体の利用計画を含めた再開発事業。 ②取組に配慮した設計。 ③試験工事により地盤改良範囲を設定。 ④前出し距離30mは施設利用計画から決定。	

改良前の断面



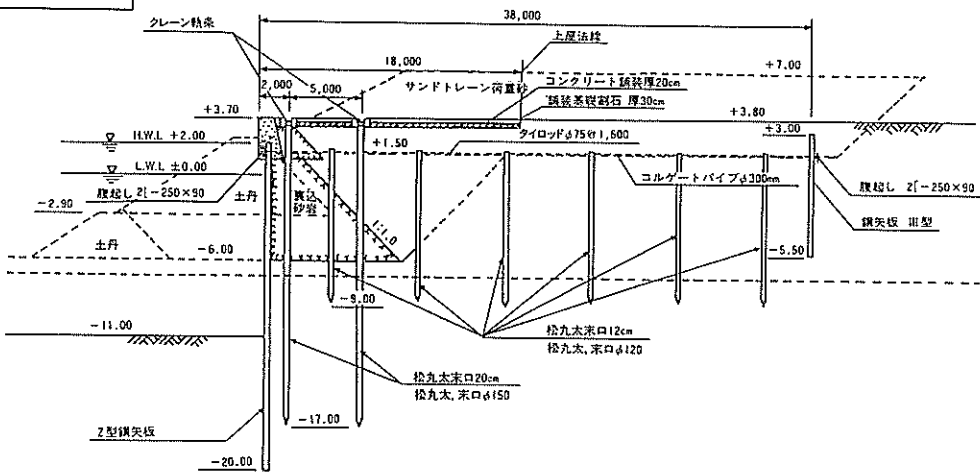
改良後の断面



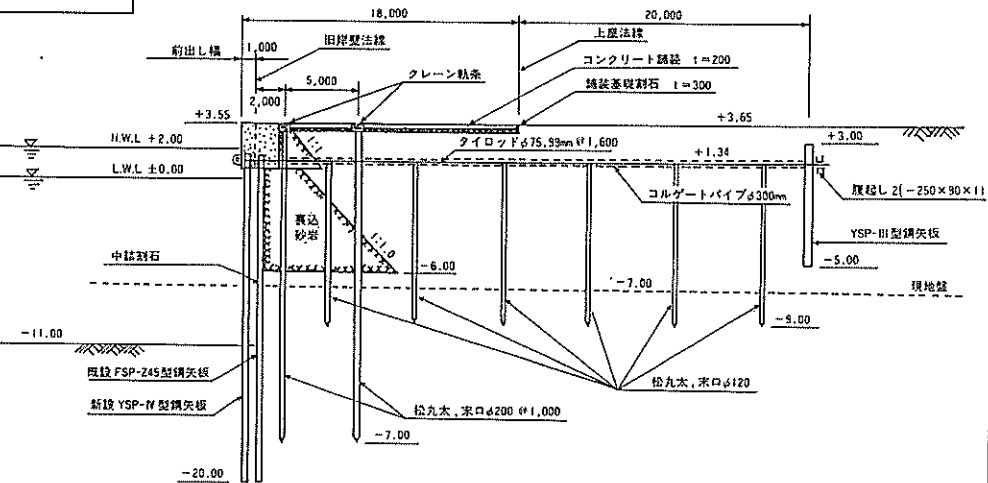
改良・更新事例 20

港湾名:	横浜港(山下地区)		(事業者: 第二港湾建設局)	
施設名	改良前		改良後	
構造形式	岸壁(-10.0m)		岸壁岸壁(-10.0m)第4バース	
完成年度	昭和 38年度		平成 3年度	
計画	前面水深	-11.0 m	天端高	+3.70 m
	W/D幅	幅 18.00 m, 勾配 0.60 %	幅 18.00 m, 勾配 0.60 %	
設計条件	上載荷重	1.5 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	DWT (船種)		15 000 DWT (船種: 貨物船 重車両, 鋼材等)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	10 cm/s 設計震度 0.20
	設計潮位	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材	裏込石, φ=40', γ=1.8tf/m ³ (1.0)		裏込石, φ=40', γ=1.8tf/m ³ (1.0)
	①築造後30年を経過した施設のため鋼矢板の腐食が著しく, 安全性確保のための改良が必要。 ②新たに鋼矢板を前面に打設し, 上部工を一体化。 ③埋立申請をしない条件で前出し距離を決定(1.0m)。 ④上載荷重の増加(1.5tf/m ² →2.0tf/m ²)。			

改良前の断面



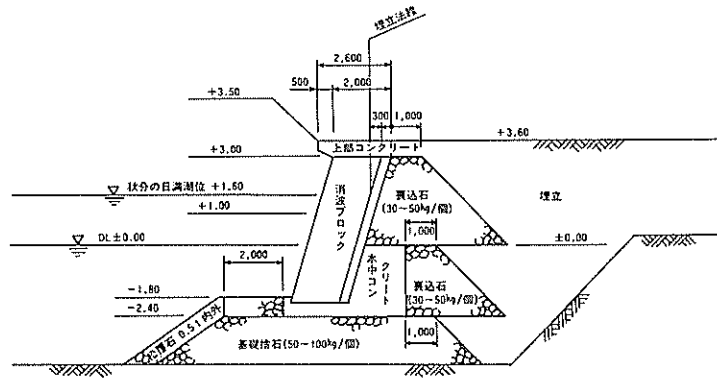
改良後の断面



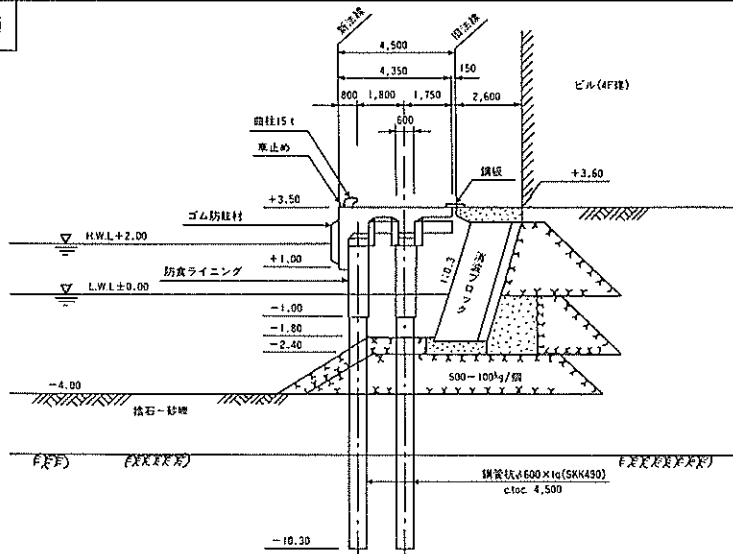
改良 - 更新事例 21

港湾名:	横須賀港 (浦賀地区)		(事業者: 横須賀市)	
施設名	改良前		改良後	
構造形式	消波ブロック護岸		杭式横棧橋	
完成年度	昭和 54年度		平成 年月(予定)	
計画	前面水深	□	天端高	□
	□の幅	□	勾配	%
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²)		1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	DWT (船舶)		500 DWT (船種: 石材運搬船)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	cm/s 設計震度 0.15
	設計潮位	H.W.L. □ L.W.L. □	H.W.L. +2.00 □ L.W.L. 0.00 □	
改良内容	①船舶の大型化および老朽化した施設の再開発事業。 ②航路に面していること、および隣接施設に法線を合わせて前出し距離を決定(4.5m)。 ③背後地の公共施設への影響のない施工法。			

改良前の断面



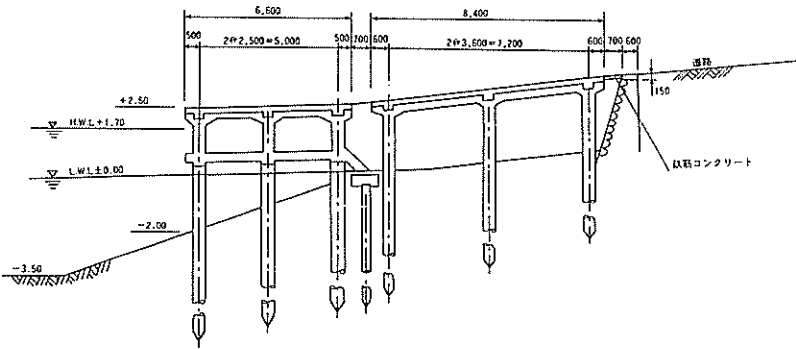
改良後の断面



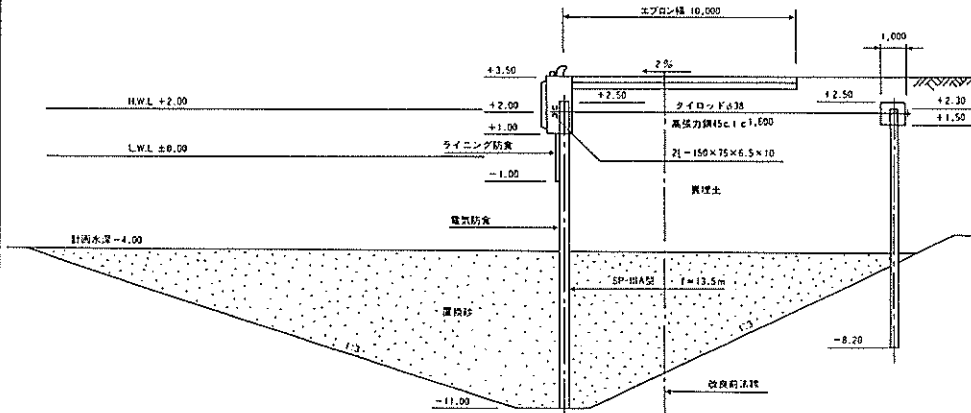
改良・更新事例 22

港湾名： 横須賀港（浦賀地区）		（事業者：横須賀市）	
施設名	改良前	改良後	
構造形式	-2.0m棧橋	-4.0m物揚場	
完成年度	昭和 28年度	平成 7年度(予定)	
計画	前面水深	-2.0 m	天端高 +2.50 m
	17°D/幅	幅 m, 勾配 %	幅 10.00 m, 勾配 2.00 %
設計	上載荷重	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²)	
	対象船舶	DWT (船種)	
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度
	設計潮位	H.W.L. m L.W.L. m	H.W.L. +2.00 m L.W.L. 0.00 m
改良内容	裏込め材の条件 基礎地盤：N値5～14の沖積粘土(厚さ10m)		
①船舶の大型化および老朽化した施設の再開発事業。 ②道路拡張のために背後地(5.0m)が必要。 ③近隣の住宅への振動・騒音の影響の少ない施工法。 ④増深-2.0m→-4.0m。			

改良前の断面



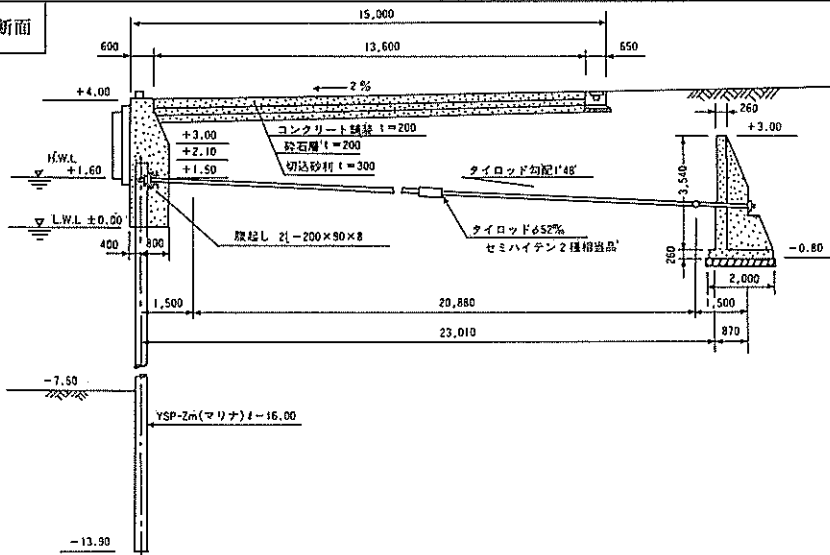
改良後の断面



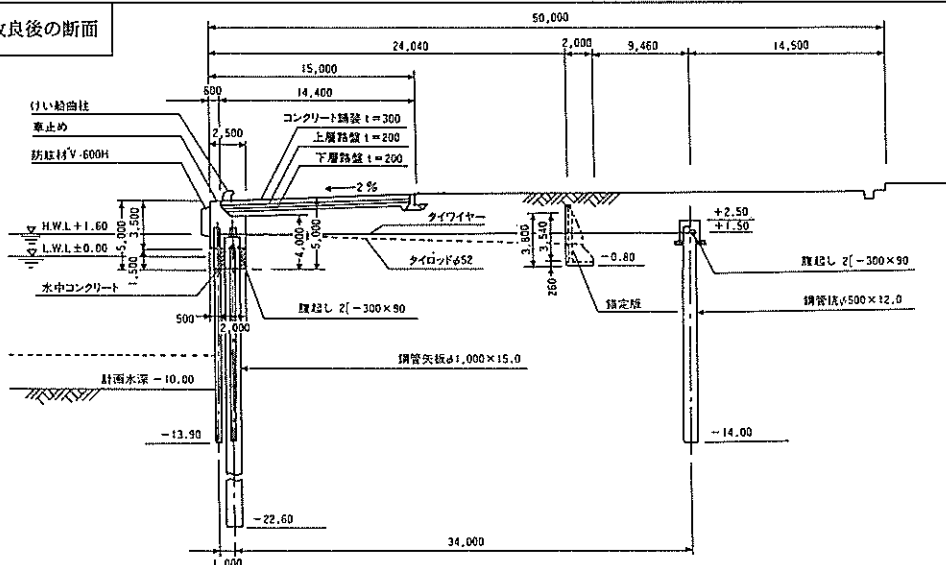
改良・更新事例 23

港湾名： 田子の浦港 (富士地区)		(事業者：静岡県 田子の浦港管理事務所)	
		改良前	改良後
施設名		-7.5m岸壁	-10m岸壁
構造形式		控え版式鋼管矢板岸壁	控え杭式鋼管矢板岸壁
完成年度	昭和 年月		平成 5年度
計画	前面水深	-7.50 m 天端高 +4.00 m	-10.0 m 天端高 +4.00 m
	岸幅	幅 15.00 m, 勾配 2.00 %	幅 15.00 m, 勾配 2.00 %
設計条件	上載荷重	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	5 000 DWT (船種：貨物船)	10 000 DWT (船種：貨物船)
改良内容	接岸速度	cm/s 設計震度 0.20	15 cm/s 設計震度 0.20
	設計潮位	H.W.L. +1.60 m L.W.L. 0.00 m R.W.L. +1.00 m	H.W.L. +1.60 m L.W.L. 0.00 m R.W.L. +1.07 m
裏込め材の条件			
①船舶の大型化への対応および背後の上屋計画と合わせた機能性を確保(増深-7.5→-10m)。 ②既設矢板直背後に鋼管矢板を打設し岸壁を築造。 ③前出しは掘込み港湾のため治地の減少を避けることと隣接バースとの一体利用の点で不可。			

改良前の断面



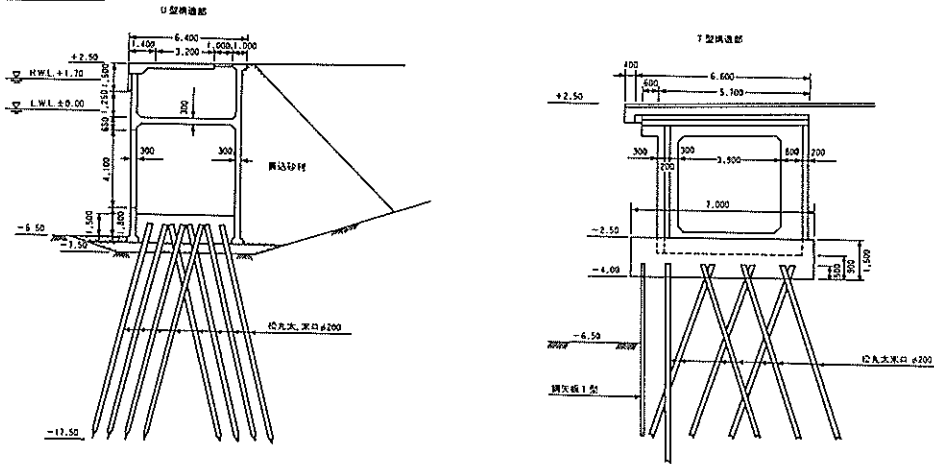
改良後の断面



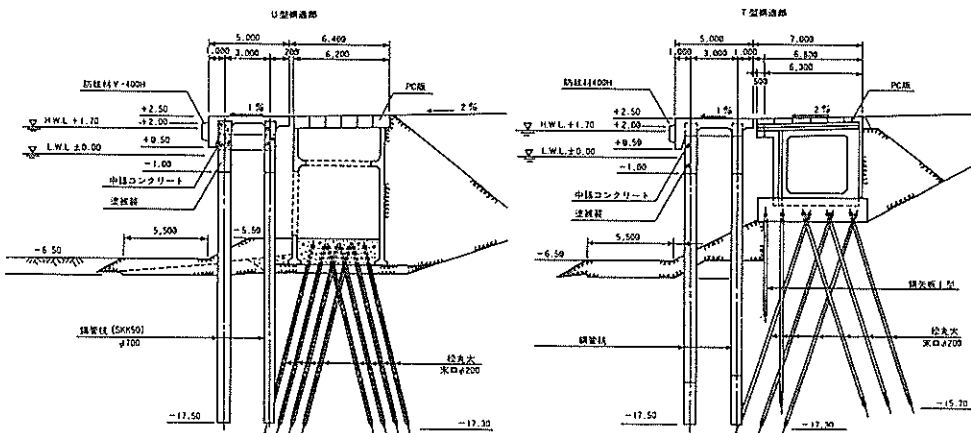
改良・更新事例 24

港名：清水港（江尻地区）		（事業者：第五港湾建設局）		
改良前		改良後		
施設名	-6.5m岸壁	-6.5m岸壁		
構造形式	重力式岸壁（基礎杭あり）	杭式横枝橋		
完成年度	昭和 38年度	平成 3年度		
計画	前面水深	-6.5 m	天端高	+2.50 m
	U ² D ³ 幅	幅 10.00 m, 勾配 2.00 %	幅 5.00 m, 勾配 1.00 %	
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	4 000 DWT (船種: 漁船 水産品)	3 000 DWT (船種: 漁船 水産品)	
設計条件	接岸速度	10 cm/s	設計震度	0.20
	設計潮位	H.W.L. +1.70 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.70 m L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材の条件 割石または砂岩 $\phi=40^{\circ}$, $\gamma=1.8\text{tf/m}^3$			
改良内容 ①築造後約30年を経た施設の老朽化のための安全性の確保。 ②進入車両の大型化に対応した港湾施設(U ² D ³)用地の確保。 ③既設上部の補修および前面に杭式横枝橋を築造。 ④前出し距離(5m)は前面の岩地制限より進入車両の最小幅から決定。 ⑤船舶の大型化→バス延長。				

改良前の断面



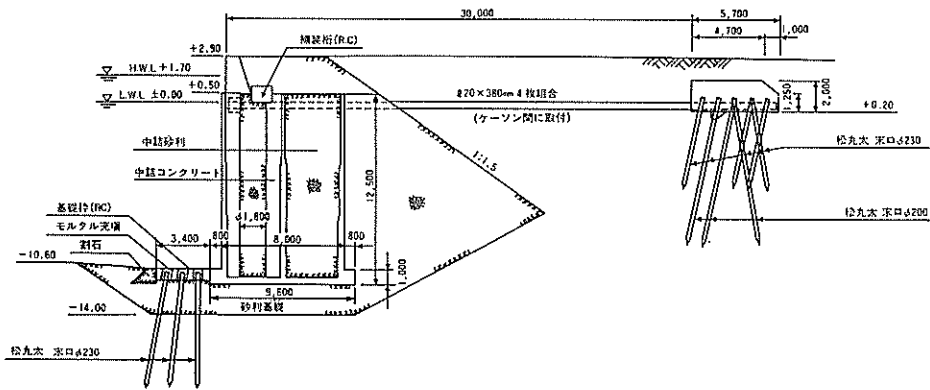
改良後の断面



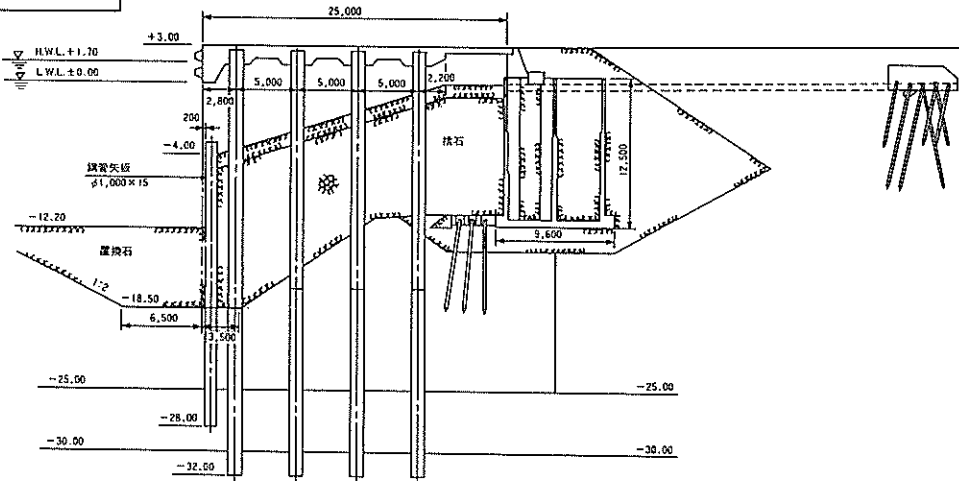
改良・更新事例 25

港湾名：清水港（日の出地区）		（事業者：第五港湾建設局）		
	改良前	改良後		
施設名	-10.6m, -9.0m岸壁	-12m岸壁		
構造形式	重力式岸壁(ケーソン)	杭式横棧橋(土留め矢板あり)		
完成年度	昭和 12年度	昭和 63年度		
計画	前面水深	-10.6 m	天端高	+2.90 m
	W*H幅	幅 10.30 m, 勾配 %	幅 35.00 m, 勾配 1.00 %	
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	20 000 DWT (船種：貨物船 輸送機械)	30 000 DWT (船種：貨物船 紙, バルブ)	
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度	0.25
	設計潮位	H.W.L. m L.W.L. m	H.W.L. +1.70 m L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材の条件			
改良内容	①築造後約60年を経た施設の安全性の確保および耐震対策。 ②船舶の大型化、埠頭用地の確保のための改良。 ③既設岸壁前面に直杭式横棧橋を築造。 ④増深(-9.0, -10.6m→-12.0m)。 ⑤前出し距離(25m)は港湾計画で決定。 ⑥既設施設は撤去せず。			

改良前の断面



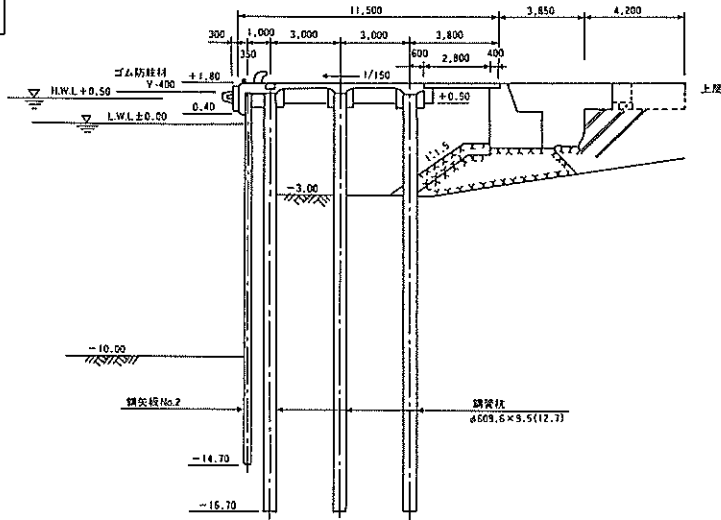
改良後の断面



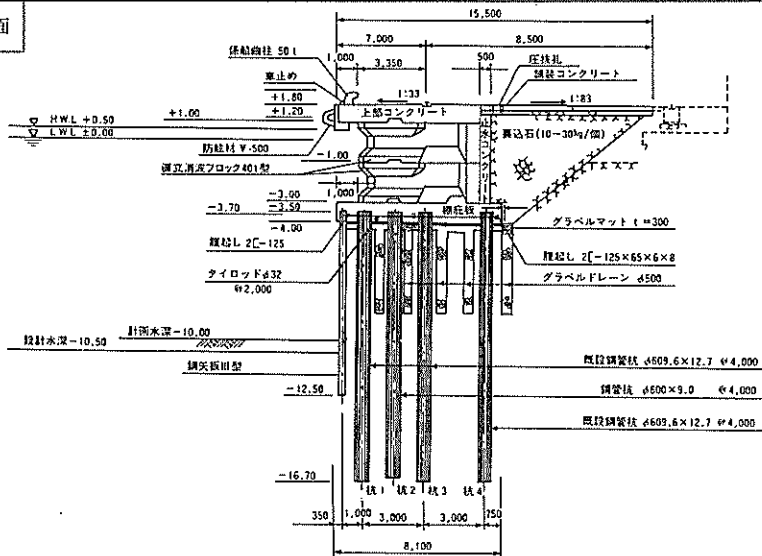
改良・更新事例 27

港湾名:	伏木高山港 (事業者: 第一港湾建設局)		
施設名	改良前	改良後	
構造形式	杭式横棧橋(前面鋼矢板止め壁)	直立消波ブロック岸壁	
完成年度	昭和 40年 月	平成 5年度(予定)	
計画・設計条件	前面水深	-10.0 m 天端高 +1.70 m	-10.0 m 天端高 +1.80 m
	17°防幅	幅 15.0 m, 勾配 0.7 %	幅 15.50 m, 勾配 1~3.00 %
	上載荷重	2.5 tf/m ² (1.3 tf/m ²), 水平引込式770-ター	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 水平引込式770-ター
	対象船舶	15 000 DWT (船種: 一般貨物船)	15 000 DWT (船種: 一般貨物船)
	接岸速度	10~15 cm/s 設計震度 0.10	10 cm/s 設計震度 0.10
改良内容	設計潮位	H.W.L. +0.70 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.50 m L.W.L. 0.00 m
	裏込め材の条件	砂質土	裏込め石10~30kg/箇 捨石等の障害物あり
①腐食、液状化、港内静穏度対策。②既設横橋の鋼管杭を利用して橋式直立消波ブロック構造に改良。③泊地力が狭隘なため前出し不可。④騒動・騒音対策として無騒動・無騒音打込み機械を使用。⑤上屋が岸壁背後にあり使用施工機械に制限。⑥上載荷重の増加。			

改良前の断面



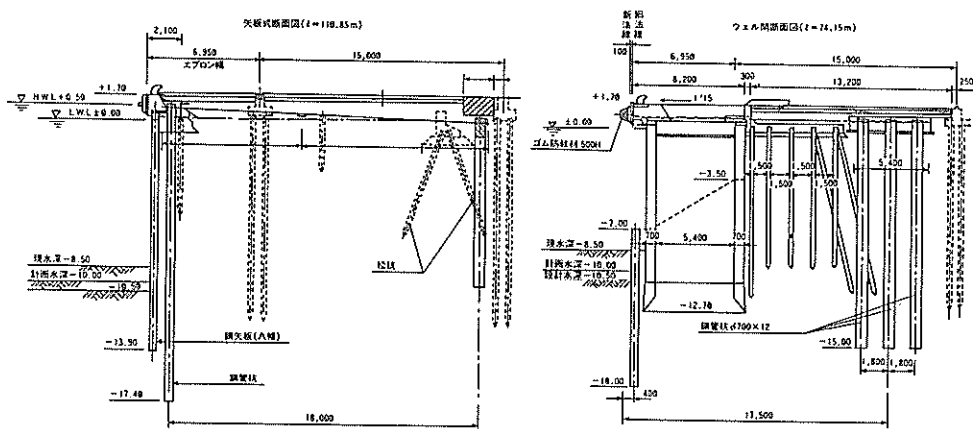
改良後の断面



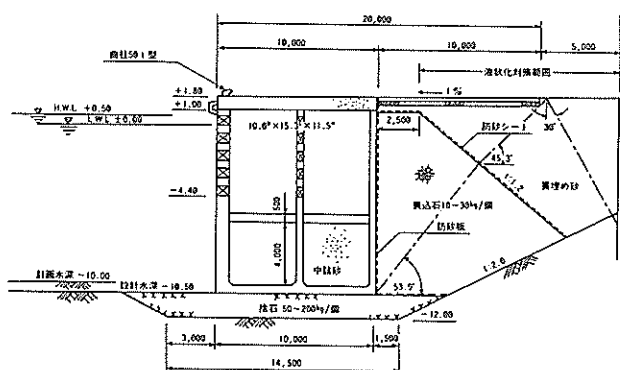
改良・更新事例 28

港湾名:	伏木富山港(富山地区)		(事業者: 第一港湾建設局)	
施設名	改良前 3号岸壁(-10m)		改良後 3号岸壁(-10m)	
構造形式	控え式鋼矢板岸壁、一部ウェル式		ケーソン岸壁(横スリット)	
完成年度	昭和 47年 月		平成 7年度(予定)	
計画	前面水深	-10.0 m	天端高	+1.70 m
	17°D幅	幅 6.95 m, 勾配 1.00 %	幅 20.0 m, 勾配 1.0 %	
設計	上載荷重	4.0 tf/m ² (2.0 tf/m ² , クレーンあり)	3.0 tf/m ² (1.5tf/m ²), クレーンあり	
	対象船舶	15 000 DWT (船種: 一般貨物船)	15 000 DWT (船種: 一般貨物船)	
条件	接岸速度	10 cm/s	設計震度	0.10
	設計潮位	H.W.L. +0.70 m, L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +0.50 m, L.W.L. 0.00 m	
改良内容	裏込め材		裏込め石10~30kg/個	
	裏込め材の条件			
改良内容	①湾内の静穏対策および鋼材腐食が進行したための老朽化対策。 ②既設岸壁を全て撤去し重力式岸壁(サツ式ケツ)を築造。 ③泊地切が狭隘で前出し不可。 ④振動・騒音対策として打込み工法を不採用。 ⑤作業スペースが狭隘。			

改良前の断面



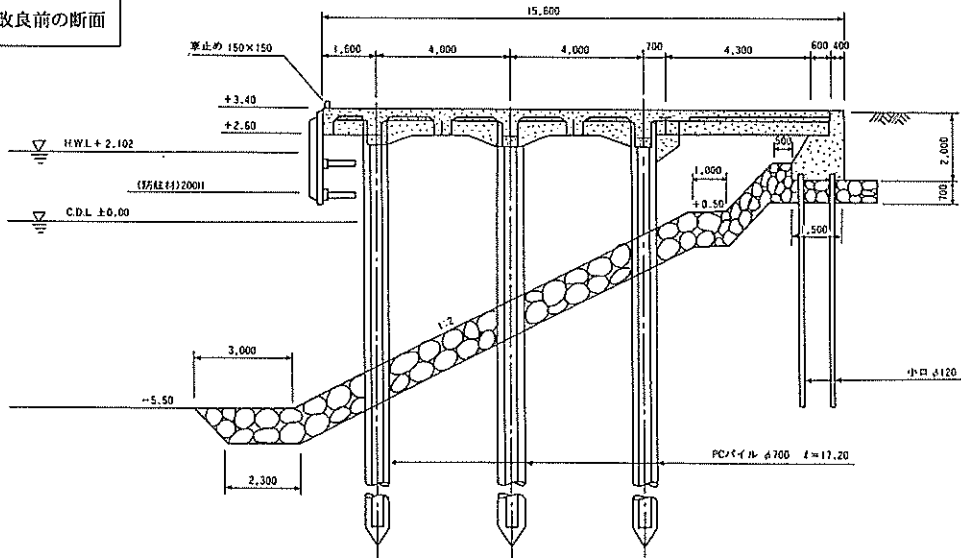
改良後の断面



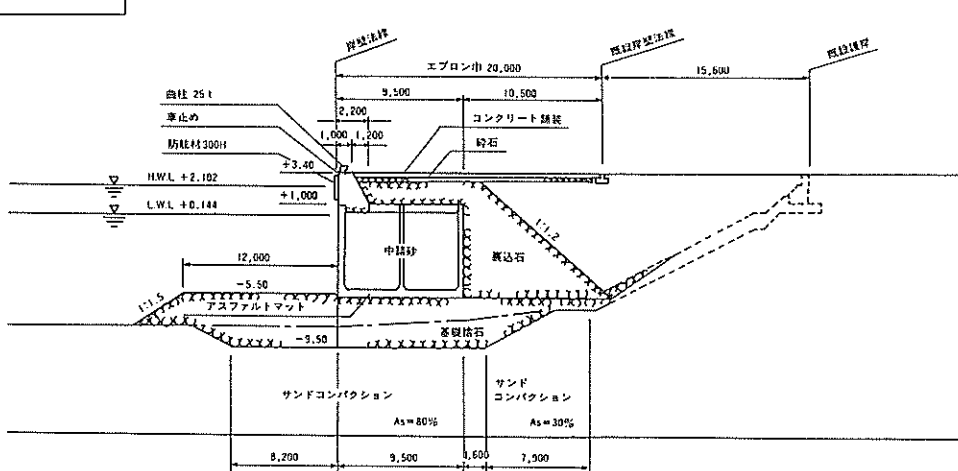
改良・更新事例 29

港湾名： 津松阪港（大口埠頭）		（事業者：三重県港湾課）	
改良前		改良後	
施設名	岸壁(-5.5m)	岸壁(-5.5m)	
構造形式	杭式横棧橋	重力式岸壁(ケーソン)	
完成年度	昭和 35年度	平成 7年度(予定)	
計画	前面水深	-5.5 m	天端高 +3.40 m
	クマの幅	幅 15.60 m, 勾配 %	幅 20.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), ニュートン・メートル ⁻²	
	対象船舶	2 000 DWT (船種：貨物船 珪砂, 磨砂)	
改良内容	接岸速度	ca/s	設計震度 0.25
	設計水位	H.W.L. +2.102 m L.W.L. +0.144 m	H.W.L. +2.102 m L.W.L. 0.144 m
改良内容	裏込め材の条件	割石 40 [#] 、1.8t/m ³ (1.0)	
	改良内容	①施設の老朽化に伴う安全性の確保。②荷崩き場不足に伴う港湾施設用地の確保のための改良。③前出し距離(20m)は荷崩き場の確保および隣接岸壁法線から決定。④耐震岸壁のため岸壁本体下部を地盤改良(SCP工法)。⑤盛上り土の処分。	

改良前の断面



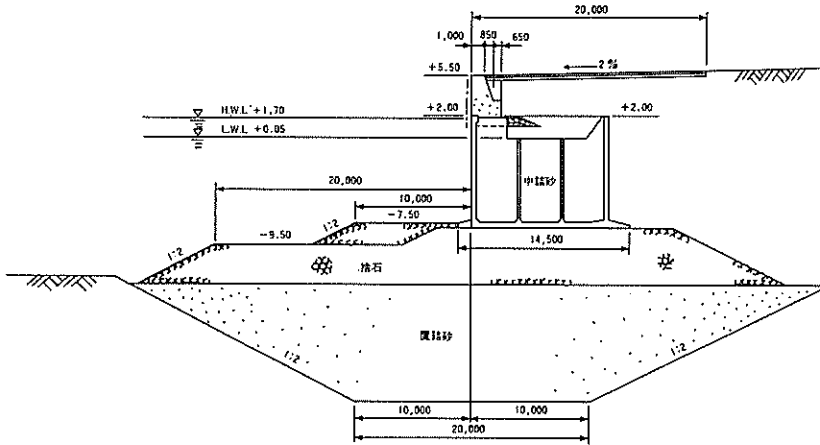
改良後の断面



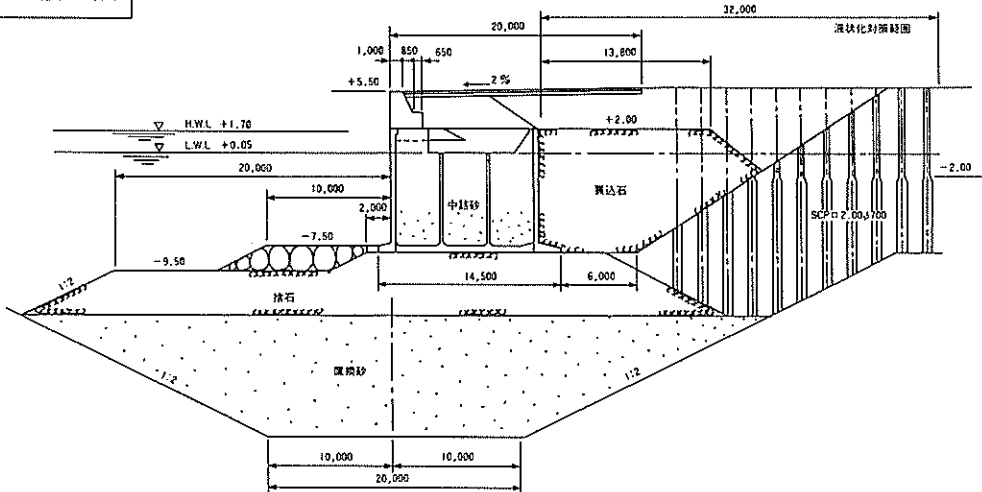
改良・更新事例 3 1

港湾名：大阪港（南港内港地区）		（事業者：大阪市港湾局）	
		改良前	改良後
施設名	-7.5m岸壁		-7.5m岸壁（耐震改良）
構造形式	重力式岸壁（ケーソン）		重力式岸壁
完成年度	昭和 41年度 月		平成 3年度
計画・設計条件	前面水深	-7.50 m	天端高 +5.50 m
	岸幅	20.00 m	勾配 2.00 %
	土載荷重	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	5 000 DWT (船種：貨物船)	
	接岸速度	15 cm/s	設計震度 0.20
設計条件	設計潮位	H.W.L. +1.70 m L.W.L. +0.05 m R.W.L. +0.60 m	H.W.L. +1.70 m L.W.L. +0.05 m R.W.L. +0.60 m
	裏込め材の条件	砂質土	裏込め石10~200kg/個
改良内容	①地震時の住民の避難、物資の輸送等に供するための岸壁耐震改良（液状化対策工：SCP工法、ケーソン背面の土圧軽減（→裏込め礫石へ置換））。 ②供用しながらの施工。 ③無振動・無騒音による施工法。		

改良前の断面



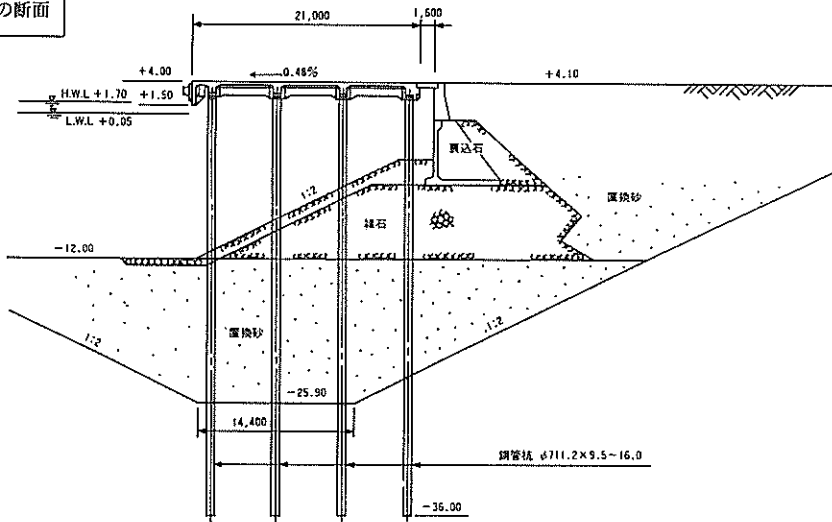
改良後の断面



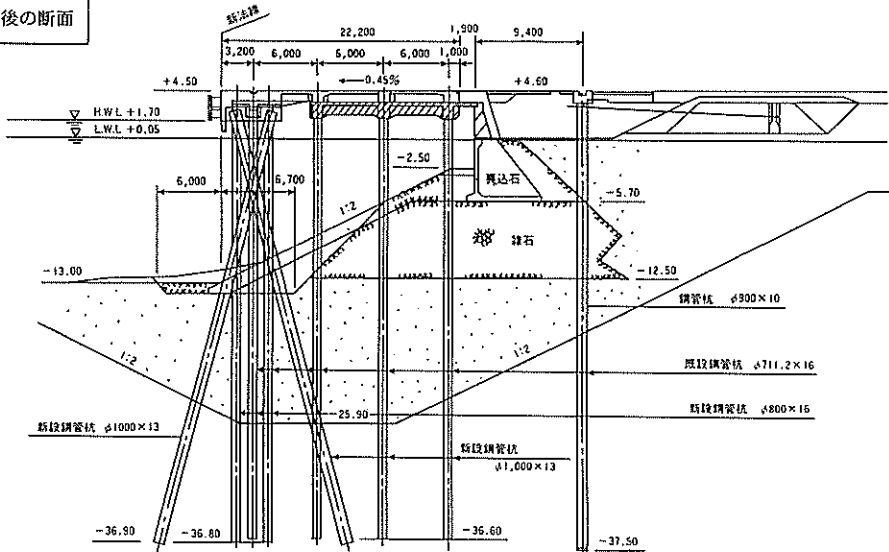
改良・更新事例 32

港湾名：大阪港(南港内港地区)		(事業者：大阪市港湾局)			
改良前		改良後			
施設名	南港第2区岸壁(T-6, T-7)	大阪港コンテナ埠頭第8区岸壁			
構造形式	杭式横棧橋	杭式横棧橋			
完成年度	昭和 46年度	平成 1年度			
計画・設計条件	前面水深	-12.0 m	天端高 +4.00 m	-13.0 m	天端高 +4.50 m
	7°の幅	幅 21.00 m, 勾配 0.48 %	幅 22.20 m, 勾配 0.45 %		
設計内容	上級荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²)		1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械あり	
	対象船舶	20 000 DWT (船種：貨物船 木材)		45 000 DWT (船種：コンテナ船)	
設計条件	接岸速度	15 cm/s	設計震度 0.10	10 cm/s	設計震度 0.20
	設計潮位	H.W.L. +1.70 m, L.W.L. +0.05 m	H.W.L. +1.70 m, L.W.L. +0.05 m, R.W.L. +0.60 m		
改良内容	裏込め材の条件	砂質土		水砕	
	改良内容	①船舶の大型化, 取扱い貨物の変化に伴う機能性を確保する改良(増深-12m→-13.0m, 木材→コンテナ)。②既設横棧橋の一部を撤去。撤去部に増抗し, 上部工を新設。③前出し距離(1m)は新設構造物の安定から決定。④無振動・無騒音の杭打ち工法。			

改良前の断面



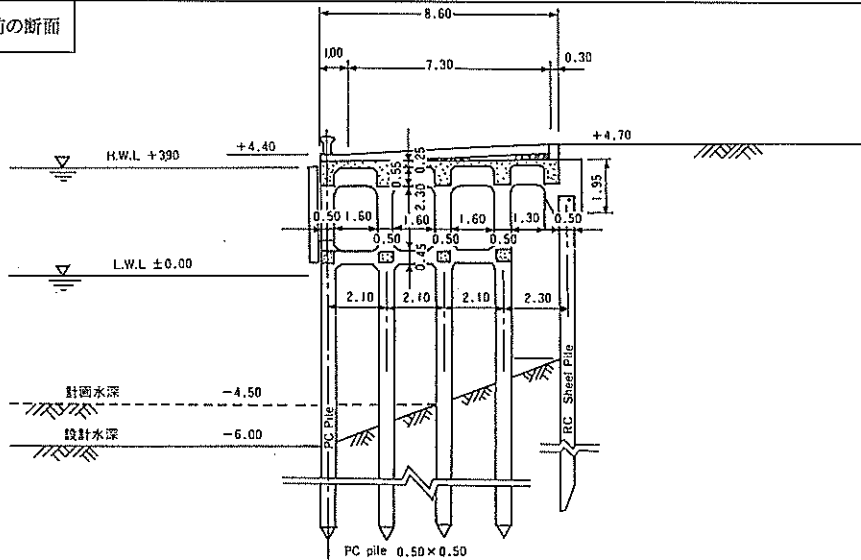
改良後の断面



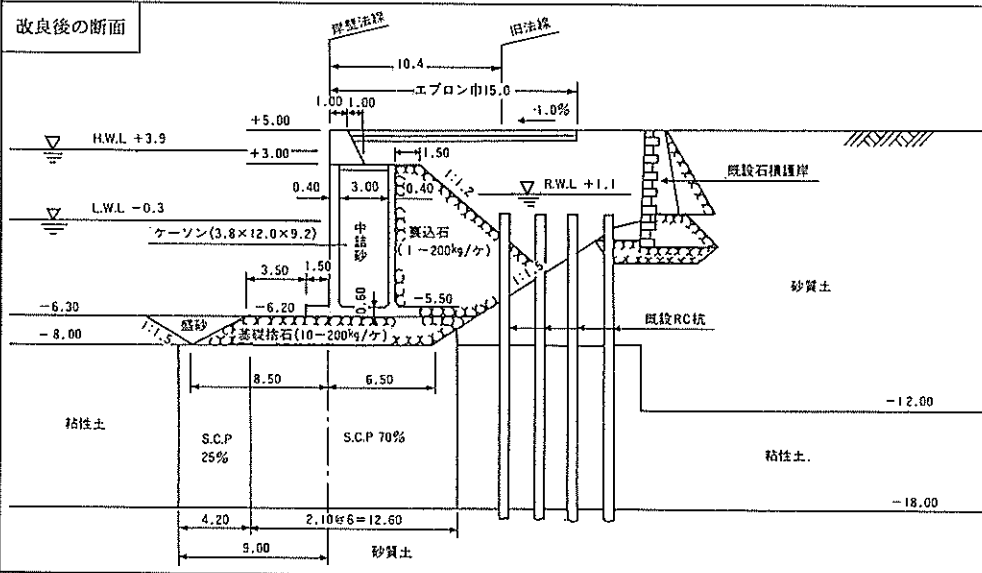
改良・更新事例 33

港湾名： 呉港(宝町地区)		(事業者：第三港湾建設局)			
改良前		改良後			
施設名	岸壁(-4.5m:3m-ス)(-6.0m:1m-ス)	岸壁(-5.5m)(耐震:1m-ス, 一般:1m-ス)			
構造形式	杭式横棧橋	重力式岸壁(ケーソン)			
完成年度	昭和 年月	平成 7年度			
計画・設計条件	前面水深	-4.5m, -6 m	天端高 +5.00 m	-5.5 m	天端高 +5.00 m
	1m ² 幅幅	幅 8.60 m, 勾配 1.00 %		幅 15.00 m, 勾配 1.00 %	
	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役施設なし		2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	DWT (船種)		2 000 DWT (船種:貨物船 砂,砂利,鉄鋼)	
	接岸速度	cm/s	設計震度	cm/s	設計震度
設計水位	H.W.L. m	L.W.L. m	H.W.L. +3.90 m	L.W.L. -0.30 m	
裏込め材の条件			石材(1~200kg/個)		
改良内容	①施設の老朽化, 変状および地震時の液状化に伴う安全性の確保(本体岸壁下部SCP工法)。②前出し距離(10.4m)は隣接岸壁法線から決定。③増深(-4.5m→5.5m)。				

改良前の断面



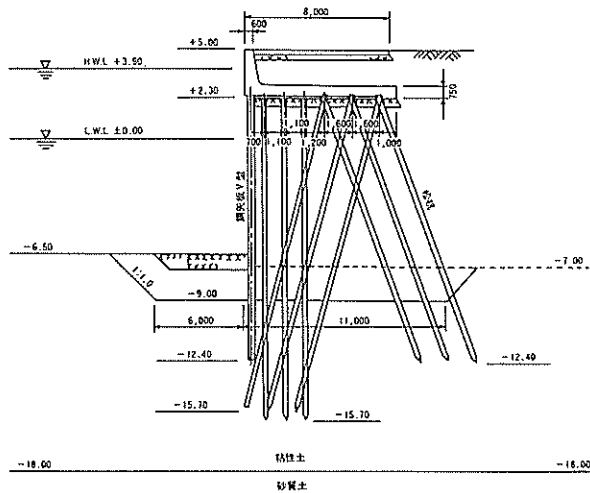
改良後の断面



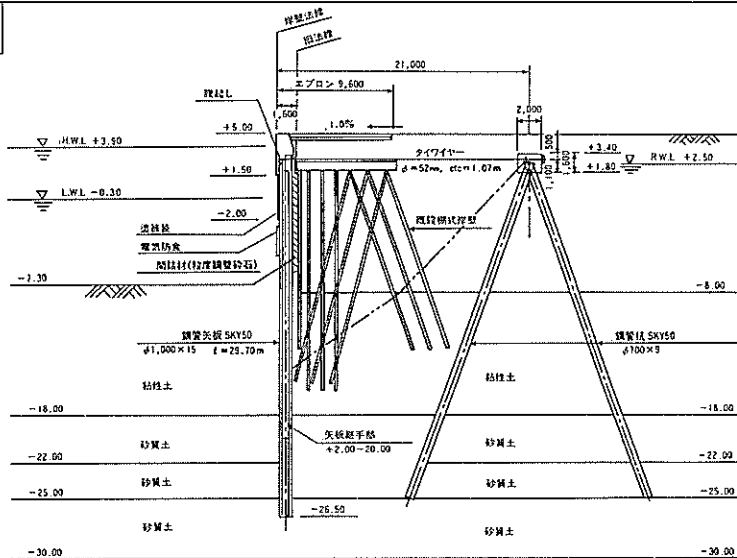
改良 - 更新事例 3 4

港湾名： 真港 (宝町地区)		(事業者：第三港湾建設局)	
施設名	改良前		改良後
	岸壁(-6.5m)		岸壁(-6.5m)
構造形式	棚式岸壁		控え杭式鋼管矢板岸壁
完成年度	昭和 年月		平成 6年度(予定)
計画・設計条件	前面水深	-6.5 m	天端高 +5.00 m
	17°幅	幅 8.00 m, 勾配 1.00 %	幅 9.60 m, 勾配 1.00 %
設計内容	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²)	
	対象船舶	3 000 DWT (船種：貨物船 鉄鋼,金属製品)	
改良内容	接岸速度	cm/s	設計震度 0.10
	設計水位	H.W.L. m, L.W.L. m	H.W.L. +3.90 m, L.W.L. -0.30 m
裏込め材の条件	R.W.L. +1.00 m		R.W.L. +2.50 m
①施設(鋼矢板)の腐食が著しく安全性を確保するための改良(上載荷重の確保：2.0tf/m ²)。②棚式矢板岸壁の前面に鋼管矢板を打設し、矢板岸壁を築造。③前出し距離(1.6m)は埋立て申請の制限より決定。④既設施設は撤去せず。⑤騒音・振動対策。			

改良前の断面



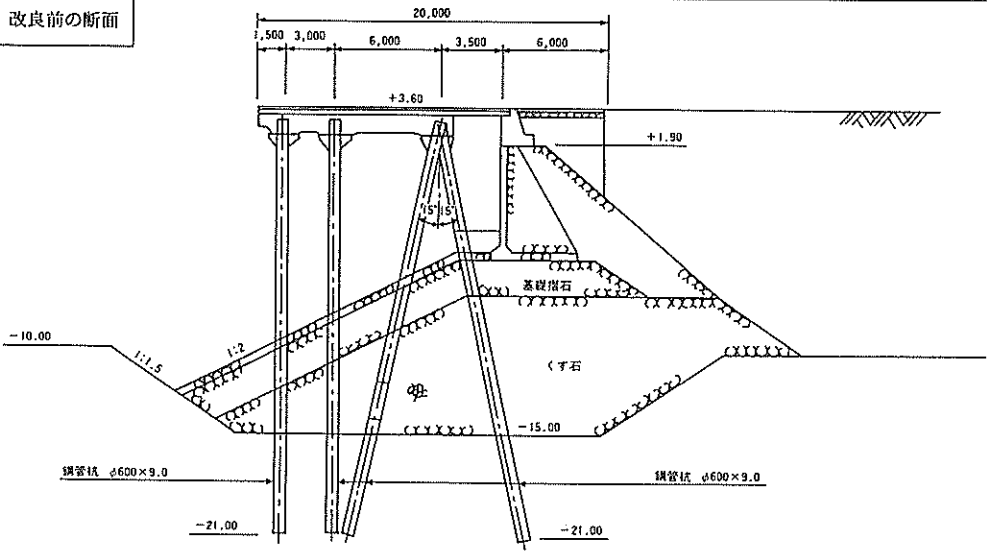
改良後の断面



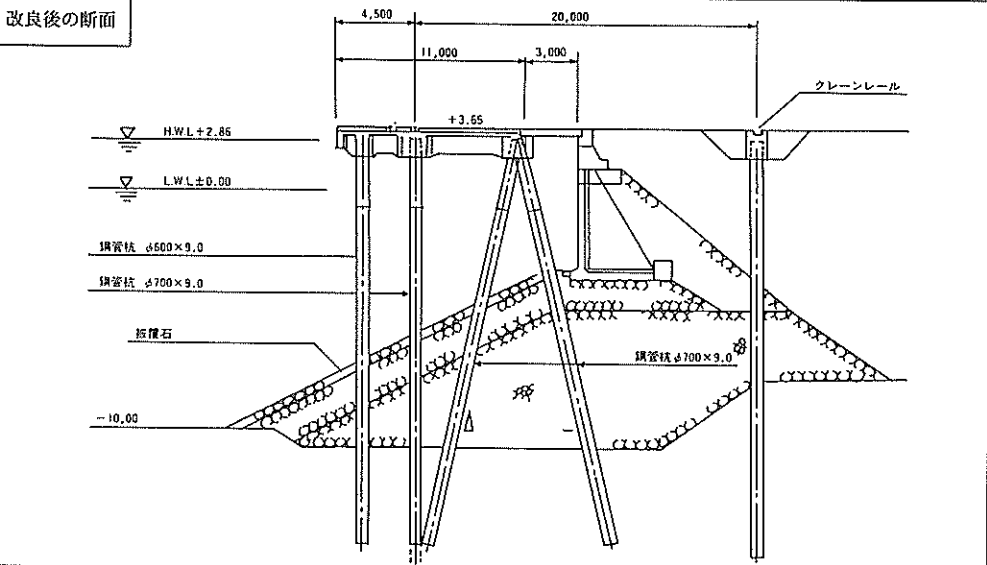
改良・更新事例 35

港湾名： 下関港（岬之町地区）		（事業者：下関市港湾局）	
		改良前	改良後
施設名		岬之町埠頭-10m岸壁	岬之町埠頭-10m岸壁
構造形式		杭式横棧橋	杭式横棧橋
完成年度		昭和 50年度	平成 4年度
計画	前面水深	-10.0 m	-10.0 m
	天端高	+3.60 m	+3~3.6 m
設計	工字幅	幅 20.00 m, 勾配 %	幅 24.50 m, 勾配 0.00 %
	上載荷重	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし	tf/m ² (tf/m ²), 2台1時17分荷役
条件	対象船舶	15 000 DWT (船種：一般貨物船 金属ほか)	14 900 DWT (船種：コンテナ専用船)
	接岸速度	10 cm/s 設計震度 0.05	6~9 cm/s 設計震度 0.05
改良内容	設計潮位	H.W.L. +2.86 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +2.86 m L.W.L. 0.00 m
	裏込め材の条件	埋立土φ30°, γ=1.8tf/m ³ (1.0)	埋立土φ30°, γ=1.8tf/m ³ (1.0)
①取扱い貨物の変化に伴う機能の確保。 ②オンドレーン基礎部に補強杭を打設し、棧橋上の荷重を増強した。③捨石等の障害物あり。 ④工期の制限、工事範囲の制限が厳しい。			

改良前の断面



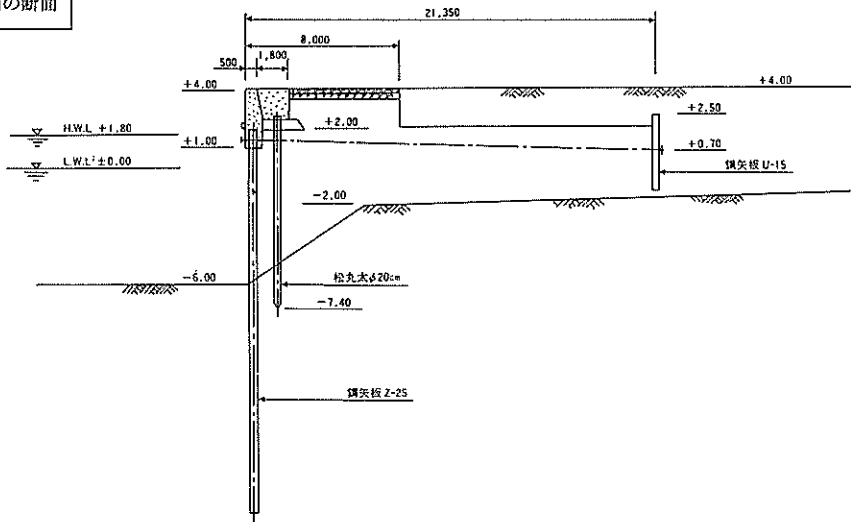
改良後の断面



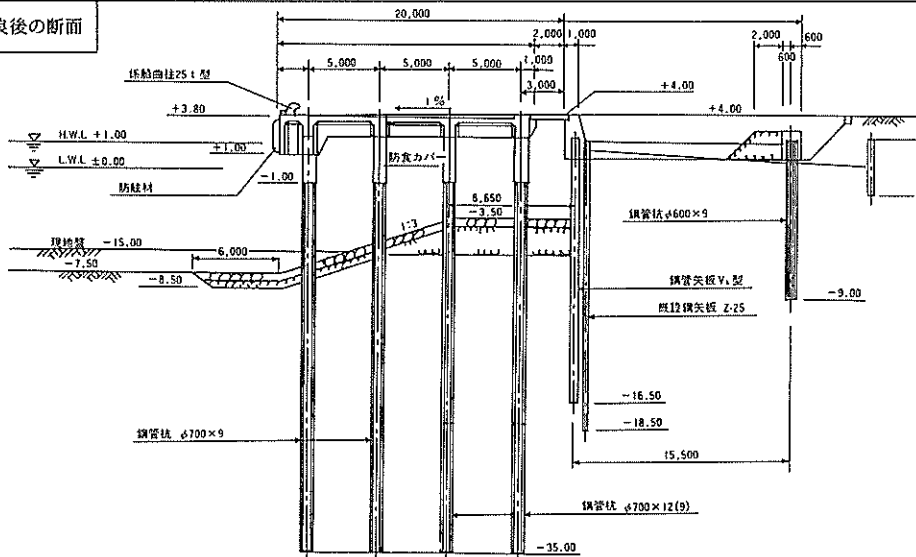
改良・更新事例 37

港湾名：高知港(潮江地区)		(事業者：高知県港湾課)	
		改良前	改良後
施設名	岸壁(-6.0m)		-7.5m岸壁
構造形式	控え壁式鋼矢板岸壁		杭式横棧橋
完成年度	昭和 40年度		平成 3年度
計画	前面水深	-6.0 m	天端高 +4.0 m
	17°U幅	幅 8.0 m, 勾配 %	-7.5 m 天端高 +3.80 m
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	2 000 DWT, 5 000 GT (船種：貨物船, フェリー)	5 000 DWT (船種：貨物船 金属, 日用品)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度 0.15
	設計潮位	H.W.L. +1.80 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.80 m L.W.L. 0.00 m
設計条件	裏込め材の条件	R.W.L. +0.50 m	R.W.L. +0.50 m
改良内容	①施設の老朽化に伴う安全性の確保。 ②対象船舶の大型化(増深-6.0m→-7.50m)。 ③前出し距離(20m)は新設構造物の安定性から決定。 ④既設構造物は撤去せず。 ⑤供用しながらの施工。		

改良前の断面



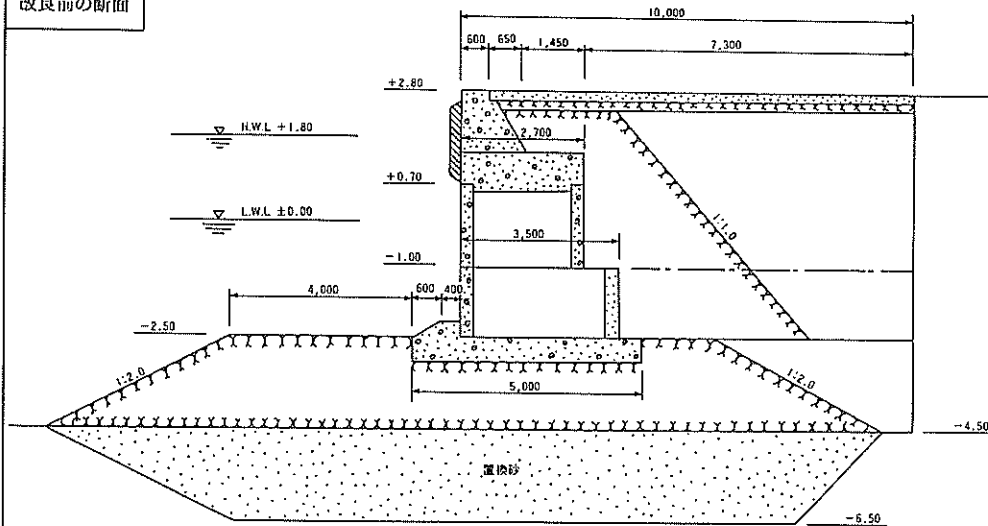
改良後の断面



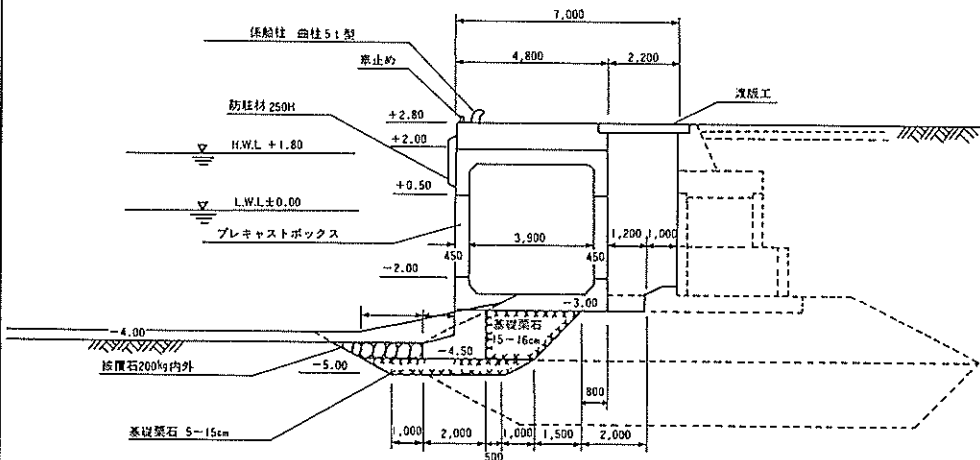
改 良 ・ 更 新 事 例 3 8

港 湾 名 : 高知港 (御禮瀬地区)		(事業者: 高知県港湾局)	
改 良 前		改 良 後	
施 設 名	-2.5m物揚場		-4.0m物揚場
構 造 形 式	重力式岸壁(セルラー)		重力式(プレキャストブロック)
完 成 年 度	昭和 47年度		平成 5年度
計 画	前面水深	-2.50 m 天端高 +2.80 m	-4.0 m 天端高 +2.80 m
	17°幅	幅 10.00 m, 勾配 %	幅 7.00 m, 勾配 %
設 計	上載荷重	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), ハンコハア-	3.0 tf/m ² (1.5 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	10 GT (船種: 漁船 水産品)	40 GT (船種: 漁船 水産品)
案 件	接岸速度	50 cm/s 設計震度 0.10	50 cm/s 設計震度 0.10
	設計潮位	H.W.L. +1.80 m L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.80 m L.W.L. 0.00 m
改 良 内 容	①対象船舶の大型化に伴う岸壁改良(増深-2.5m→-4.0m)。 ②既設岸壁前面にプレキャストブロックを設置し、岸壁を築造(前出し距離7mは新設構造物の安定性から決定)。 ③供用しながらの施工。		

改良前の断面



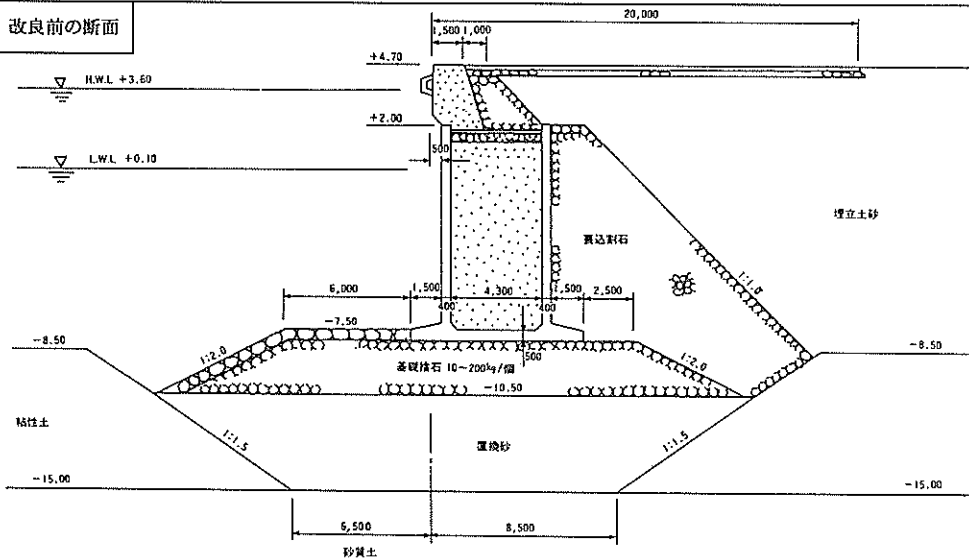
改良後の断面



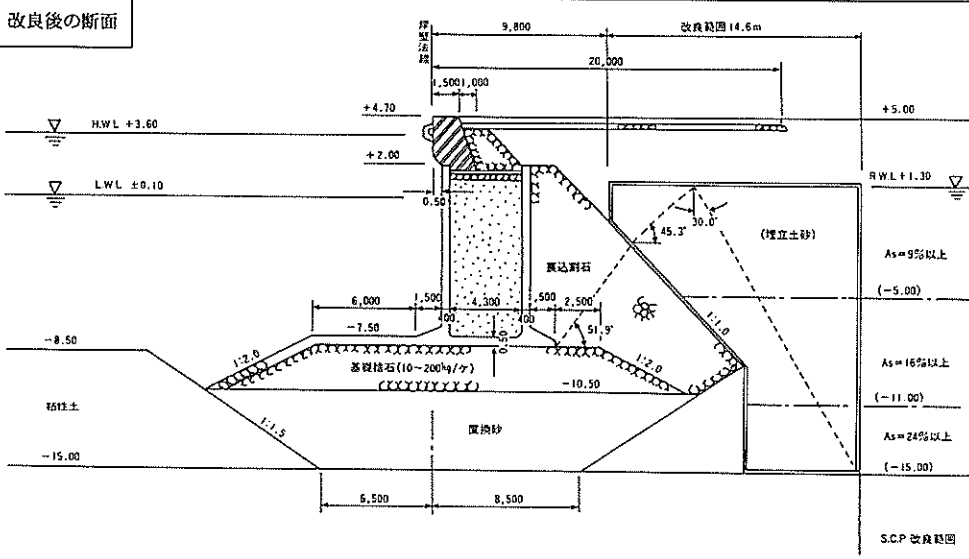
改良・更新事例 39

港湾名:	松山港(外港地区)		(事業者: 第三港湾建設局)	
施設名	岸壁(-7.5m)		岸壁(-7.5m)	
構造形式	重力式岸壁(ケーソン)		重力式岸壁(ケーソン)	
完成年度	昭和 51年度		平成 2年度	
計画・設計条件	前面水深	-7.5 m	天端高	+4.70 m
	幅	20.00 m	勾配	1.50 %
	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし		
	対象船舶	5 000 DWT (船種: 貨物船 金属機械ほか)		
	接岸速度	cm/s	設計震度	0.10
設計水位	H.W.L.	+3.60 m	L.W.L.	+0.10 m
	R.W.L.	+1.30 m		
戻込め材の条件	砂質土		砂質土	
改良内容	①地震時の液状化対策に伴う安全性の確保(液状化対策工: SCP工法)。 ②騒音・振動および変位等の周辺建物(銀行等のビル等)への影響。			

改良前の断面



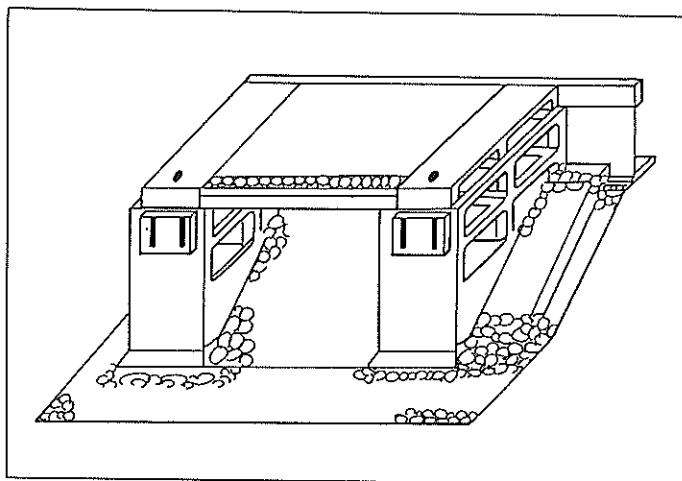
改良後の断面



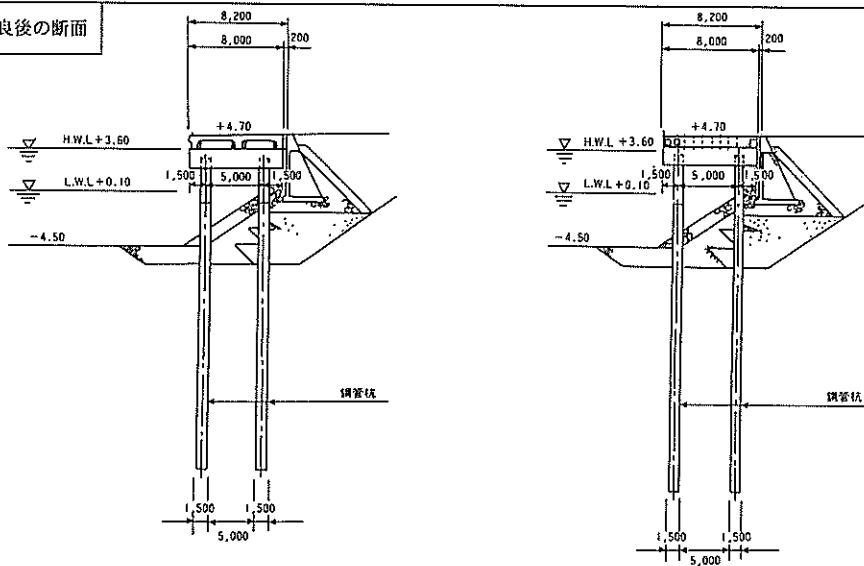
改良・更新事例 40

港湾名：松山港（外港地区）		（事業者：第三港湾建設局）	
施設名	改良前		改良後
	岸壁(-4.5m)		岸壁(-4.5m)
構造形式	重力式横棧橋		杭式横棧橋
完成年度	昭和 38年度		平成 4年度
計画・設計条件	前面水深	-4.5 m	天端高 14.70 m
	17°の幅	幅 8.00 m, 勾配 1.20 %	幅 8.00 m, 勾配 1.20 %
設計条件	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	700 DWT (船種: 貨物船 鉄鋼, 鉄くず, 機械)	
改良内容	接岸速度	cm/s	設計覆度 0.10
	設計潮位	H.W.L. +3.60 m L.W.L. +0.10 m	H.W.L. +3.60 m L.W.L. +0.10 m
裏込め材の条件			
①施設の老朽化に伴う安全性の確保。 ②上載荷重の増加(2.0→3.0tf/m ²)。 ③ケーソンはり・柱部のコンクリート劣化部分の打替え、床版の打替え、および渡橋版の取替え(渡橋部は基礎杭を打設し、上載荷重に対応)。			

改良前の断面



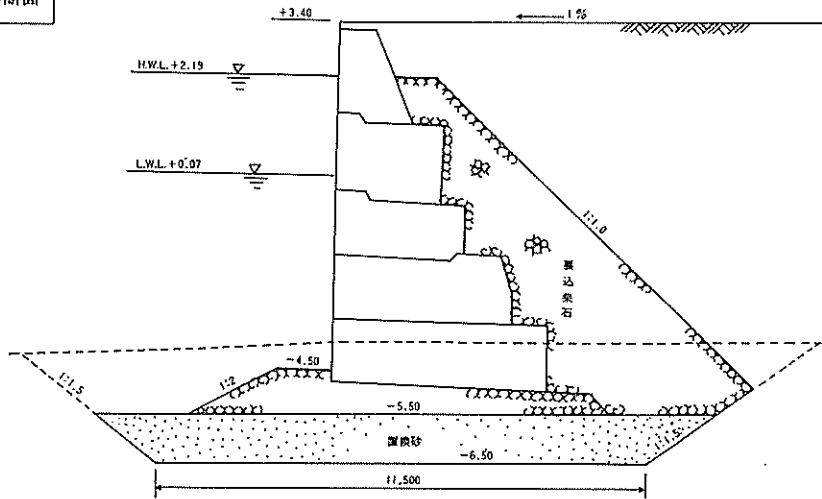
改良後の断面



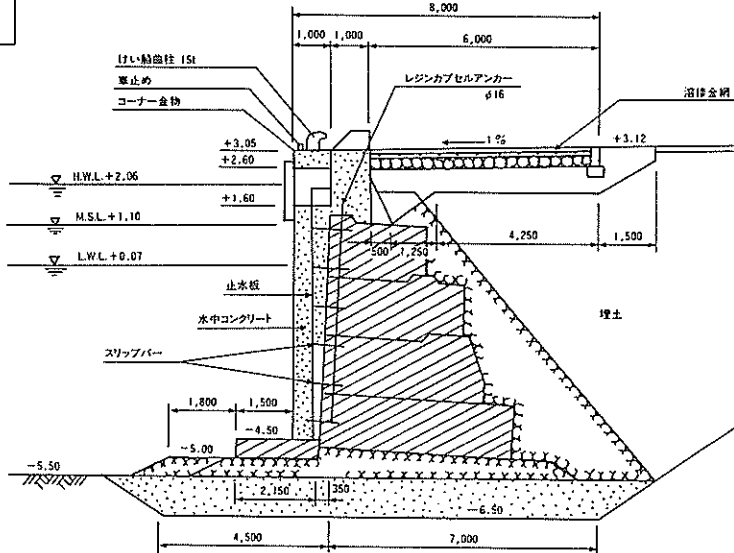
改良・更新事例 4.1

港湾名:	博多港 (東浜埠頭地区)		(事業者: 福岡市港湾局)		
	改良前		改良後		
施設名	東浜埠頭西-4.5m岸壁		東浜埠頭西-4.5m岸壁		
構造形式	重力式岸壁(ブロック積み)		重力式岸壁(ブロック積み)		
完成年度	昭和 38年度		平成 2年度		
計画・設計条件	前面水深	-4.5 m	天端高	+3.05 m	
	17°0'幅	幅 7.00 m, 勾配 1.00 %	幅 8.00 m, 勾配 1.00 %		
	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械あり		2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械あり	
	対象船舶	1 000 DWT (船種: 一般貨物船 鋼材)		1 000 DWT (船種: 一般貨物船 鋼材)	
	接岸速度	15 cm/s	設計震度	0.05	15 cm/s 設計震度 0.05
	設計水位	H.W.L. +2.06 m R.W.L. +0.77 m	L.W.L. +0.07 m	H.W.L. +2.06 m R.W.L. +0.77 m	L.W.L. 0.07 m
改良内容	裏込め材の条件 ①築造後約28年を経た施設で老朽化, 変状および吸い出しが見られ, 安全性の確保が必要。 ②既設前面に約1mのコンクリート(消波構造)を築造。 ③岸壁前面の静穏度確保。 ④供用しながらの施工。				

改良前の断面



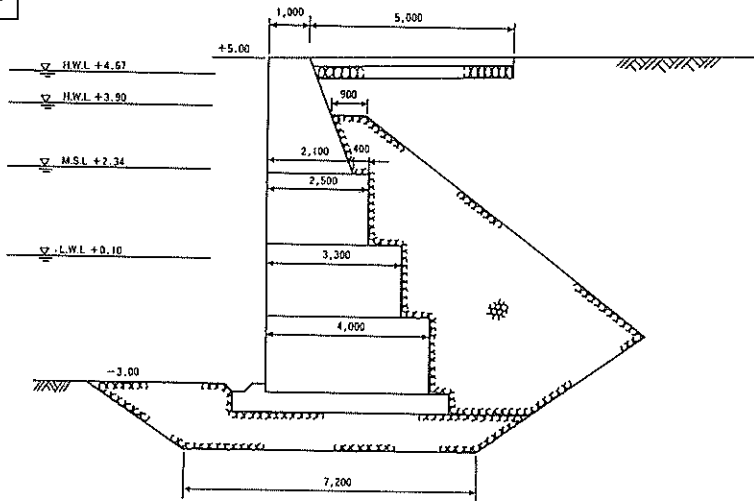
改良後の断面



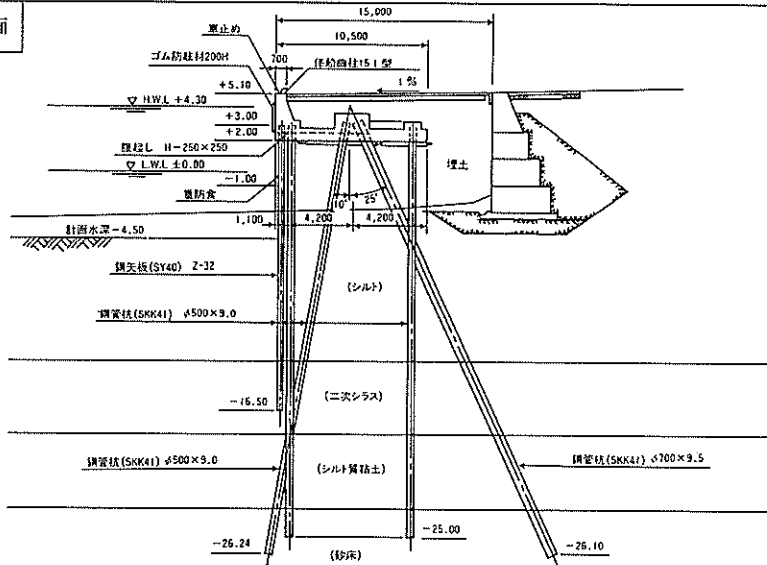
改良・更新事例 4 2

港名:	八代港 (内港地区)		(事業者: 熊本港湾課)	
施設名	改良前		改良後	
施設形式	-3.0m物揚場 重力式岸壁(ブロック積み)		-4.5m岸壁 棚式岸壁	
完成年度	昭和 27~36年度		平成 1年度以降	
計画・設計条件	前面水深	-3.00 m	天端高	+5.00 m
	17°巾幅	幅 6.00 m, 勾配 1.00 %	幅	15.00 m, 勾配 1.00 %
	上載荷重	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²)		
	対象船舶	300 DWT (船種: 貨物船 木材, 建材)		
	700 DWT (船種: 貨物船 木材, 建材)			
接岸速度	ca/s	設計震度	0.10	
設計潮位	H.W.L. +4.30 m R.W.L. +2.90 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +4.30 m R.W.L. +2.90 m	L.W.L. 0.00 m
護込め材の条件			海砂	
改良内容	①築造後約30年を経過した施設の安全性の確保が必要。②対象船舶の変更に伴う増深(-3.0m → -4.5m)。③既設岸壁前面に棚式岸壁を架造(前出し距離15m)は新設構造物の安定性から決定。			

改良前の断面



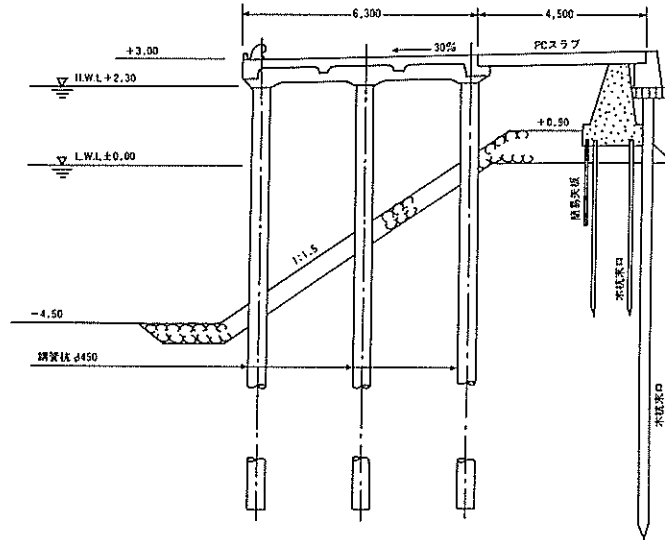
改良後の断面



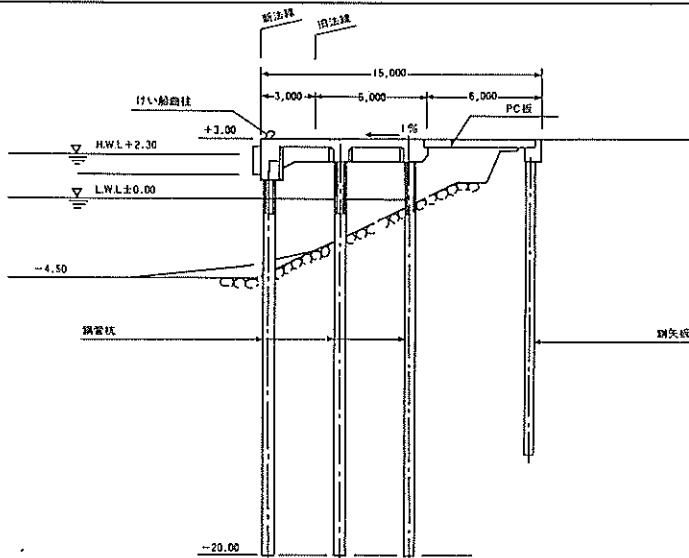
改良・更新事例 43

港湾名： 細島港 (商業港地区)		(事業者：宮崎県港湾課)	
		改良前	改良後
施設名	岸壁(-4.5m)		岸壁(-4.5m)
構造形式	杭式横棧橋		杭式横棧橋
完成年度	昭和 41年度		平成 4年度
計画	前面水深	-4.5 m 天端高 +3.00 m	-4.5 m 天端高 +3.10 m
	1°の幅	幅 6.50 m, 勾配 3.00 %	幅 15.00 m, 勾配 1.00 %
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²), 荷役機械なし	2.5 tf/m ² (1.25 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	700 DWT (船種：貨物船 木材)	700 DWT (船種：貨物船 木材)
	接岸速度	cm/s 設計震度 不明	25 cm/s 設計震度 0.10
	設計潮位	H.W.L. +2.30 m L.W.L. 0.00 m R.W.L. - m	H.W.L. +2.30 m L.W.L. 0.00 m R.W.L. +1.50 m
改良内容	裏込め材の条件		砂質土 シルト(厚さ9.5~17m), 前面に捨石層あり
①施設の老朽化(鋼管杭, 上部コンクリート)に伴う安全性の確保。 ②現横棧の基礎杭, 上部工, 渡橋等を撤去し, 同形式の横棧橋を築造(前出し距離(3m)は泊地に支障をきたさない範囲で決定)。			

改良前の断面



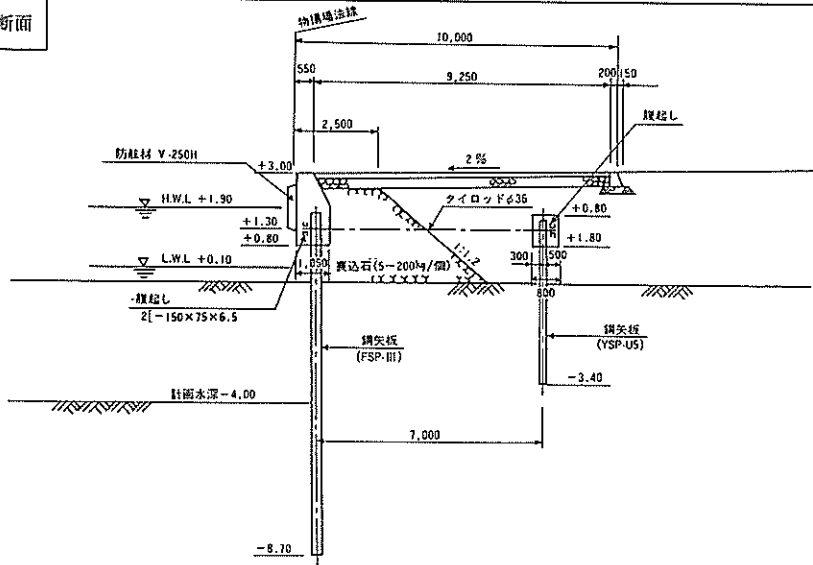
改良後の断面



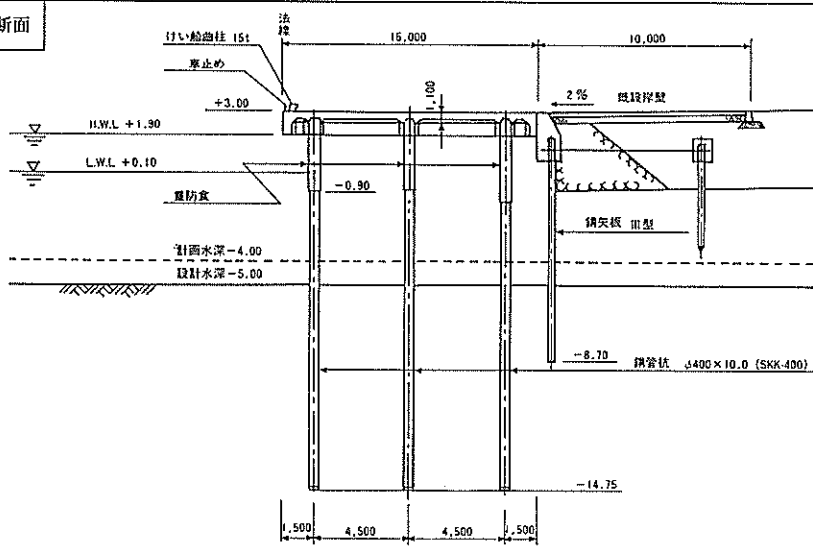
改良・更新事例 44

港湾名：石垣港（登野地区）		（事業者：沖縄総合事務局 石垣港工事事務所）				
	改良前	改良後				
施設名	(-4.0m)物揚場	(-4.0m)物揚場				
構造形式	控え杭式鋼矢板岸壁	杭式横棧橋				
完成年度	昭和 62年度	平成 3年度				
計画・設計条件	前面水深	-4.0 m	天端高 +3.00 m	-4.0 m	天端高 +3.00 m	
	17°の幅	幅 10.00 m, 勾配 2.00 %	幅 22.00 m, 勾配 %			
	上積荷重	1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械なし			1.0 tf/m ² (0.5 tf/m ²), 荷役機械なし	
	対象船舶	200 GT (船種：貨客船 雑貨)			199 GT (船種：フェリー 雑貨)	
	接岸速度	10 cm/s	設計震度 0.05	25 cm/s	設計震度 0.05	
設計潮位	H.W.L. +1.90 m	L.W.L. 0.00 m	H.W.L. +1.90 m	L.W.L. +0.10 m		
裏込め材	砂質土					
改良内容	①対象船舶が貨物船からフェリー変更になったための改良。 ②既設岸壁前面に鋼管杭式横棧橋を築造。 ③前出し距離(12m)は対象船舶の幅により決定。					

改良前の断面



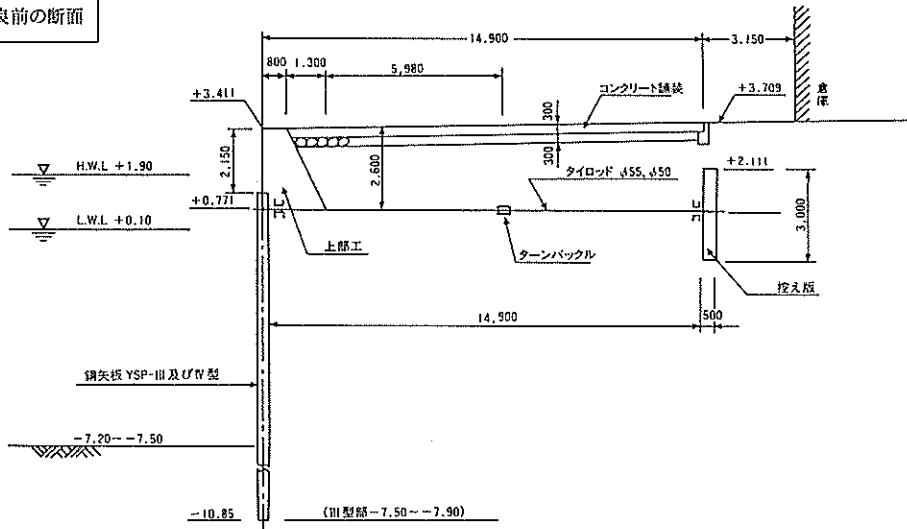
改良後の断面



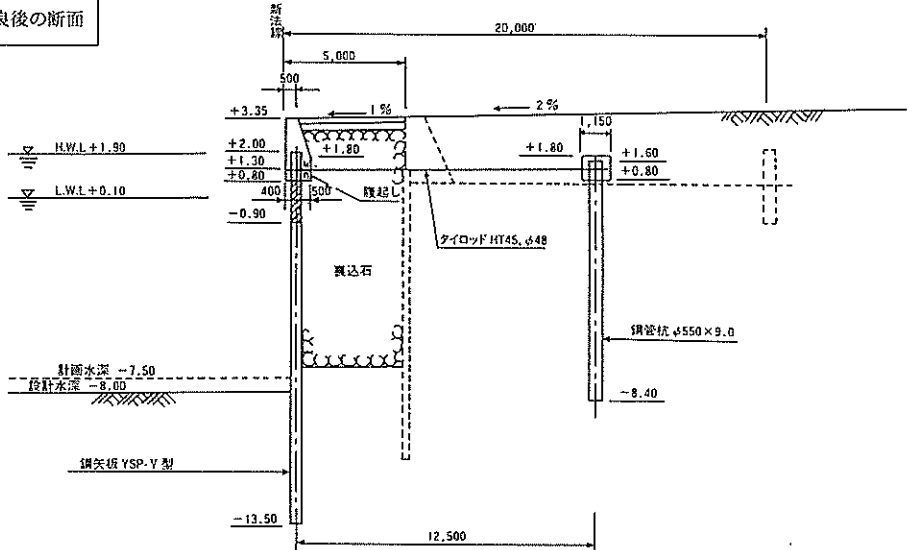
改良・更新事例 45

港湾名：石垣港(本港地区)		(事業者：沖縄総合事務局 石垣港工事事務所)	
		改良前	改良後
施設名		-6.0m岸壁	-7.5m岸壁
構造形式		控え板式鋼矢板岸壁	控え杭式鋼矢板岸壁
完成年度		昭和 40年度	平成 5年度(予定)
計画	前面水深	-6.0 m	天端高 +3.40 m
	勾配	幅 14.90 m, 勾配 2.00 %	幅 20.00 m, 勾配 2.00(前出し部1.0%)
設計条件	上載荷重	tf/m ² (tf/m ²)	2.0 tf/m ² (1.0 tf/m ²), 荷役機械なし
	対象船舶	DMT (船種)	5 000 DMT (船種：貨物船 4x1t, 金庫機械)
設計条件	接岸速度	cm/s	設計震度 0.05
	設計潮位	H.W.L. a L.W.L. m	H.W.L. +1.90 m L.W.L. +0.10 m
設計条件	裏込め材の条件		R.W.L. +1.30 m
	裏込め材の条件		雑石
改良内容	①築造後30年を経過した施設の老朽化対策。②船舶大型化に伴う機能性の確保(増深-6.0m→-7.5m)。③既設岸壁前面に鋼矢板岸壁を築造。④前出し距離(5m)は隣接岸壁法線に合わせて決定。⑤既存施設は撤去せず。		

改良前の断面



改良後の断面



港湾技研資料 No.781

1994.9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Edited by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright ©(1994)by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。