

ISSN 1346-7328

国総研資料 第892号
平成 28 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.892

March 2016

港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目した 断面形状・施工に関する検討

内藤 了二・浅井 正・鈴木 武

Study on Construction Works and Structural Design of Shore Protection Facilities
in Port Areas for Their Improvement and Maintenance

Ryoji NAITO, Tadashi ASAI, Takeshi SUZUKI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目した断面形状・施工に関する検討

内藤了二*・浅井正**・鈴木武***

要 旨

海岸保全施設の改良・補修工事は、今後増大していくと考えられるが、改良・補修工事は場所ごと施設ごとに制約条件が異なるため、施設ごとに改良・補修の方法が異なる。そのため海岸保全施設の改良・補修のための技術を把握し、体系化することが難しい。そこで本研究では、港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目したケーススタディーを5ケース行い、それらの中で施設の断面形状や改良工法の検討、施工方法の検討を行った。検討対象の構造形式は、防潮護岸、防潮壁および海岸堤防である。各構造形式について構造物とその周囲の条件を1～2種類設定してケーススタディーを行い、その中での検討過程から得られた知見をもとに、断面形状、改良工法、施工方法に関する留意点をまとめた。

キーワード：海岸保全施設，改良，補修，施工，防潮護岸，防潮壁，海岸堤防

-
- * 沿岸海洋・防災研究部 主任研究官
 - ** 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長
 - *** 沿岸海洋・防災研究部 部長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5024 Fax：046-844-5068 e-mail: naitou-r852a@mlit.go.jp

Study on Construction Works and Structural Design of Shore Protection Facilities in Port Areas for Their Improvement and Maintenance

Ryoji NAITO*
Tadashi ASAI**
Takeshi SUZUKI ***

Synopsis

The necessity to improve and to maintain shore protection facilities is expected to increase in the future. The proper method of improvement and maintenance differs for each facility, because the constraints on its improvement and maintenance depend on its structure type and location. Therefore, it is difficult to study all of the improvement and maintenance techniques and to organize them systematically.

In this study, five case studies on construction works and structural design to improve and to maintain shore protection facilities were conducted, the structural types of which were coastal revetment, seawall, and coastal embankment. One or two constraints were assumed for each of the structure types in these case studies.

These case studies led to the consideration of some points on the structural shape, the improvement and maintenance method, and the construction process.

Keywords: shore protection facility, improvement, maintenance, construction, coastal revetment, seawall, coastal embankment

* Senior Researcher of Coastal Marine and Disaster Prevention Department, NILIM
** Head of Coastal Disaster Prevention Division Coastal Marine and Disaster Prevention Department, NILIM.
*** Director of Coastal, Marine and Disaster Prevention Department, NILIM

目 次

1. はじめに	1
1.1 海岸保全施設の改良・補修の背景と特徴	1
1.2 海岸保全施設の設計と維持管理の研究動向	2
1.3 研究の目的と構成	3
2. 既設防潮護岸を撤去後に改良をする場合での断面形状・施工方法の検討	5
2.1 改良対象区域の条件設定	5
2.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項	5
2.3 要求性能及び性能規定	6
2.4 設計条件の一覧	7
2.5 改良工法検討の視点	8
2.6 改良工事の施工手順	12
2.7 既設防潮護岸を撤去後に改良する際の留意事項	17
3. 既設防潮護岸を活用した改良・補修をする場合での断面形状・施工方法の検討	19
3.1 改良対象区域の条件設定	19
3.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項	19
3.3 要求性能及び性能規定	20
3.4 設計条件の一覧	21
3.5 改良・補修工法検討の視点	21
3.6 改良・補修工事の施工手順	25
3.7 既設防潮護岸を活用した改良・補修する際の留意事項	29
4. 既設防潮壁の嵩上げと表面補修を行う場合での断面形状・施工方法の検討	31
4.1 改良対象区域の条件設定	31
4.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項	31
4.3 設計条件の一覧	31
4.4 改良・補修工法検討の視点	32
4.5 改良・補修工事の施工手順	33
4.6 既設防潮壁の嵩上げと表面補修を行う際の留意事項	36
5. 既設防潮壁直下を改良する場合での断面形状・施工方法の検討	37
5.1 改良対象区域の条件設定	37
5.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項	37
5.3 設計条件の一覧	38
5.4 改良工法検討の視点	38
5.5 改良工事の施工手順	41
5.6 既設防潮壁直下を改良する際の留意事項	43
6. 既設海岸堤防撤去を伴う改良・補修での断面形状・施工方法の検討	44
6.1 改良対象区域の条件設定	44

6.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項	44
6.3 要求性能及び性能規定	45
6.4 設計条件の一覧	45
6.5 改良工法検討の視点	46
6.6 改良工事の施工手順	49
6.7 既設海岸堤防撤去後に改良する際の留意事項	53
7. まとめ	55
7.1 防潮護岸の改良・補修に着目した留意点	55
7.2 防潮壁の改良・補修における留意点	56
7.3 海岸堤防の改良・補修における留意点	57
7.4 海岸保全施設の改良・補修における共通の留意点	58
7.5 今後の課題	58
8. あとがき	59
謝辞	59
参考文献	59

1. はじめに

1.1 海岸保全施設の改良・補修の背景と特徴

我が国は、約34,000 kmの長い海岸を持つ島国であり、海岸保全施設の整備延長は長い。海岸保全施設は、国土交通省の水管理・国土保全局、港湾局および農林水産省農村振興局と水産庁漁場漁港整備部の4部局で整備・管理されている。図-1.1は、平成24年度版海岸統計から作成した管理区分別の要保全海岸延長の割合であり、一般海岸が36%、港湾海岸が29%、農地海岸が11%、漁港海岸が22%である。港湾海岸は港湾地帯を、農地海岸は干拓地帯を、漁港海岸は漁港地域を基本的に守っている。日本の海岸保全施設は、1959年に発生した伊勢湾台風による高潮災害の後に整備が急速に進められたため、施設の老朽化が進んできている。日本は、T.P.約5 m以下の地域が国土面積の3%であるが、その地域に人口の17%、製造業の25%、商業の42%が集まっている（鈴木，2009）。日本の場合、大きな沿岸都市の多くは海岸部に大規模な港湾地帯が広がっている。図-1.2は、東京湾地域での都市と港湾の位置を示している。東京湾の周囲には、東京、横浜、川崎、千葉等の大都市が所在し、東京湾の海岸線の多くが港湾地域となっている。

こうした状況を踏まえ、本研究では、港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目する。海岸保全施設の改良・補修を行う場合には、海岸保全施設の陸側の都市や産業地帯等の安全性を確保するため、海岸線での防護水準を確保しながら工事を進めなければならない。

海岸の利用形態の変化や海岸保全施設の老朽化にともない、今後、既存の防潮護岸、防潮壁、海岸堤防の改良・補修を行う工事が増加してくると考えられる。その場合、日本の財政事情を考えると、限られた予算のなかで費用を抑えて効率的に事業を実施する必要がある。

港湾海岸の施設延長は、平成22年3月時点で計3,059 kmである。建設後の経過年数が44年以上の施設延長は22%、34年以上が37%であり、34年以上経過している施設は約60%を占める（図-1.3）。

防潮護岸の老朽化では、本体のクラックによる損傷（写真1.1、写真1.2）、護岸目地部の損傷（写真1.3）、護岸上部工のひび割れ（写真1.4）の発生による施設の健全性の低下がみられる。これらの損傷の原因としては、コンクリートの劣化や地盤沈下などが考えられる。こうした施設の損傷を修復していくためには、現地調査などによって施設の変状を的確に捉え、それをもとに施設の改良・補修の断面形状を検討していくことが基本になる。

防潮壁の場合は、古い施設で高潮に対する天端高さの

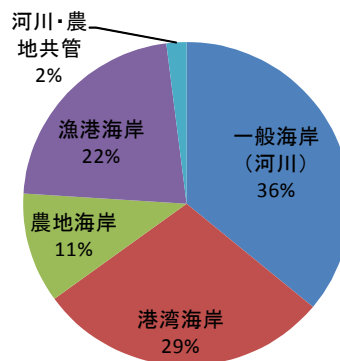


図-1.1 管理区分別の要保全海岸延長の割合



- ・国土地理院電子地図を元に作成
- ・図中の赤破線は、港湾区域を示す。

図-1.2 東京湾における都市と港湾位置

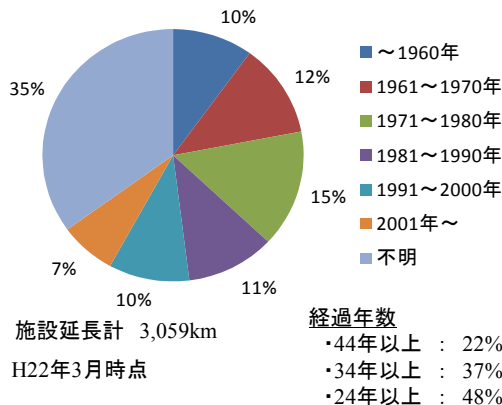


図-1.3 港湾海岸の施設延長と経過年数

不足や、本体部直下の地盤が液状化に対する対策の不足などの事例がみられる。海岸堤防の場合は、堤体部の変形や沈下や、本体部の液状化層の対策不足などがみられる。

港湾域における平均海面の水位は、日本海側の3港湾と太平洋側の4港湾では平均海面水位が上昇傾向にあると報告されている（内藤ら、2015）。海面水位が上昇していけば、高潮災害が増加・大規模化することになるため、それらへの対応が必要になってくると考えられる。そのため海岸保全施設の改良・補修の際には、こうした自然現象の変化を考慮した検討が必要になってくる。

海岸保全施設は海岸線に沿って建設されるため、風雨のみならず長期間にわたって繰り返される波浪にさらされており、陸上に設けられる土木構造物に比べて老朽化の面では厳しい環境にあるといえる（安間ら1986）。同様な環境になる港湾構造物について、片岡ら（1994）は、改良・更新の事例調査を行った。その結果をもとに、多くの事例に共通する技術課題として、新旧構造物の荷重

分担、構造物の残存機能の評価、捨石マウンドを貫通して打設される杭の設計・施工法、液状化対策に伴う周辺構造物への影響、土質新材料の適用を抽出し、これらの技術課題の解決方策について検討をしている。しかし海岸保全施設については、改良・補修に着目して施工上の留意点を調査分析した研究は少ない。

1.2 海岸保全施設の設計と維持管理の研究動向

海岸保全施設に適用される技術上の基準は、海岸法14条に規定されている。海岸保全施設の技術上の基準・同解説（平成16年6月）は、平成11年の海岸法改正を受けて「築造基準」から「技術上の基準」に改められるとともに、性能設計の考え方が導入されている。

平成26年には、「海岸法の一部を改正する法律」により、海岸保全施設の維持・修繕基準の策定が海岸法に盛り込まれた。農林水産省および国土交通省は、「海岸保全施設維持管理マニュアル～堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案～」（農林水産省・国土交

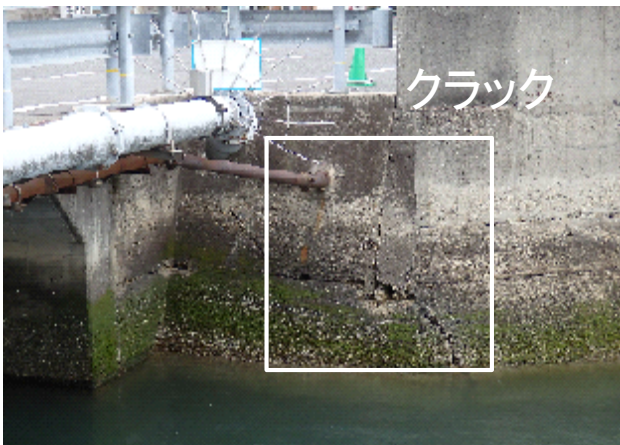


写真 1.1 護岸本体のクラックの状況



写真 1.3 護岸目地部の損傷の状況

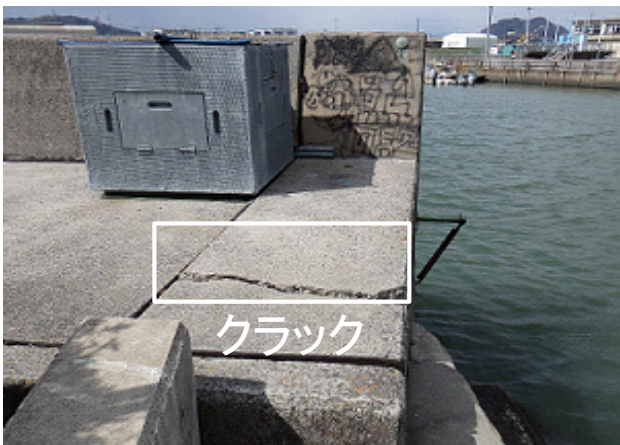


写真 1.2 護岸本体のクラックの状況



写真 1.4 護岸上部工ひび割れの状況

通省，2014) をとりまとめた。このマニュアルは、海岸保全施設において、予防保全型の効率的・効果的な維持管理を推進するため、巡視を含む点検及び評価の標準的な要領を示すとともに、長寿命化計画の立案や対策工法、点検データ等の記録・保存について示し、海岸管理者による適切な維持管理に資することを目的としている。このマニュアルは、「ライフサイクルマネジメントのための海岸保全施設維持管理マニュアル(案)」(平成20年2月)を改訂し、海岸管理者による海岸保全施設の適切な維持管理を推進するための技術的な助言として示すものである。

海岸保全施設の設計事例集は、柴田ら(1984)が、既存の海岸堤防及び護岸の設計条件、設計断面等を収録するとともに、588断面の海岸堤防及び護岸の主要な緒元の分析結果をまとめている。中島ら(1996)は、改良・更新における技術課題の抽出を目的に、海岸保全施設のうち、護岸、堤防、突堤、離岸堤、胸壁、水門、陸閘の7種類の施設について改良・更新事例を調査し、構造物の標準断面図、改良内容、改良理由などを事例集としてとりまとめている。

海岸保全施設の維持管理・長寿命化という観点では以下の報告がされている。古土井ら(1972)は、海岸堤防の劣化指標について、堤防表面にあらわれるクラックや不陸など、堤防各部にあらわれる劣化指標をチェックリストとして判定することを試み、各劣化指標群に対する対処工法について提案している。

土田ら(1980)は、港湾・海岸施設耐震性評価に必要な資料を入手するための調査について説明している。それらは、地盤の地震応答計算、作用震度の決め方、地盤安定の検討、斜面安定の検討であり、施設の構造形式別に耐震性評価の方法を具体的に提案している。

石渡ら(1984)は、港湾構造物腐食評価手法について、腐食評価を担当する技術者の指針となるように、鋼材の腐食調査方法、鋼杭式構造物及び鋼矢板式構造物の発生応力の計算方法、腐食が進行した施設の健全度の評価方法、及び対策工検討の基本的考え方を提案している。

河合ら(2012)は、海岸保全施設の長寿命化の検討に用いる将来の潮位・波浪条件に関する考察を行っており、現行の設計潮位・設計沖波の考え方を生起確率というという観点で、現在の設計潮位・設計沖波に対応する将来の各年の潮位・沖波(目標潮位・目標沖波)を設定する方法を例示している。

海岸における地球温暖化適応戦略検討委員会(2011)では、「海岸保全施設の更新等に合わせた地球温暖化適応策検討マニュアル(案)」を作成している。本マニ

アルでは、地球温暖化の影響による海面上昇等に戦略的に適応するため、海岸保全施設の更新等に合わせた嵩上げ等のハード対策や避難対策等のソフト対策の検討手順を示している。具体的には、潮位や波浪のモニタリングを継続して行い、データの蓄積と分析を行った上で設計外力の設定や災害リスクの想定をする。また施設の健全度評価等の優先順位を設定する方法を示している。

野上ら(2014)は、港湾施設の構造物・部材のうち、鉄筋コンクリート製の栈橋上部工を対象として、維持管理計画等に記載する項目のうち、対策の要否、対策工法および対策の時期、また点検診断の内容及び実施頻度を対象とした計画の策定について検討している。

海岸保全施設の施工という観点では以下の報告がされている。

豊島(1969)は、重力式堤防や傾斜式堤防・護岸、矢板護岸等の施工事例や断面形式の特徴についてとりまとめている。

港湾工事は、海上、海中工事が多く、他の土木工事とは異なる特徴を有している。海岸工事の施工については、港湾工事と施工手順の考え方が共通する部分が多い。港湾空港建設技術サービスセンター(2011)は、新設の工事を対象として、海上での地盤改良工法や基礎工での捨石及び均し、コンクリートブロック据え付けの事例について解説をまとめている。

港湾工事共通仕様書(国土交通省港湾局, 2015)では、港湾及び港湾海岸工事で共通する事項を規定しており、工種ごとに出来形管理基準を設定し、管理項目、測定方法、測定単位、結果の整理方法、許容範囲を規定している。

1.3 研究の目的と構成

海岸保全施設は、沿岸部での厳しい自然環境下におかれるため、構造体の損傷・劣化が生じやすい。改良・補修工事は、場所ごとに異なる制約条件によって設計断面や施工方法を検討しなければならず、他の場所での工事情報そのものを参照することは容易ではない。改良・補修工事を実施するときに、技術的に留意しなければならない事項が幾つかのパターンの工事例について整理されていれば、実務での改良・補修工法の検討の際に一つの参考情報として参考にすることが可能である。

以上及び1.1の海岸保全施設の改良・補修の背景と特徴を踏まえ、本研究では、港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目した5ケースのケーススタディーを行い、その中で施設の断面形状や改良工法の検討、施工方法の検討を行った。そしてケーススタディーの中の検

討の各段階で得られた知見を集め、断面形状や施工の検討を行う際の留意点をとりまとめた。

検討の対象とした構造形式は、防潮護岸、防潮壁、海岸堤防である。ケーススタディーは、海岸保全施設の改良・補修事例を収集分析した上で、筆者ら経験による知見も加えて、ケーススタディーを行う事例を5ケース設定した。既設構造物は、①高潮に対する天端不足、②老朽化による本体部の変状、③耐震性の不足等のシナリオを想定し、それぞれの改良・補修の目的に沿った設計条件の設定を行ない、改良工法を複数工法で比較検討を行い、改良・補修の構造断面の設定を行なった。設定した構造断面における施工方法や注意すべき事項の検討を行なった。検討の各段階において、抽出した留意事項を構造形式ごとに整理してまとめた(図-1.4)。

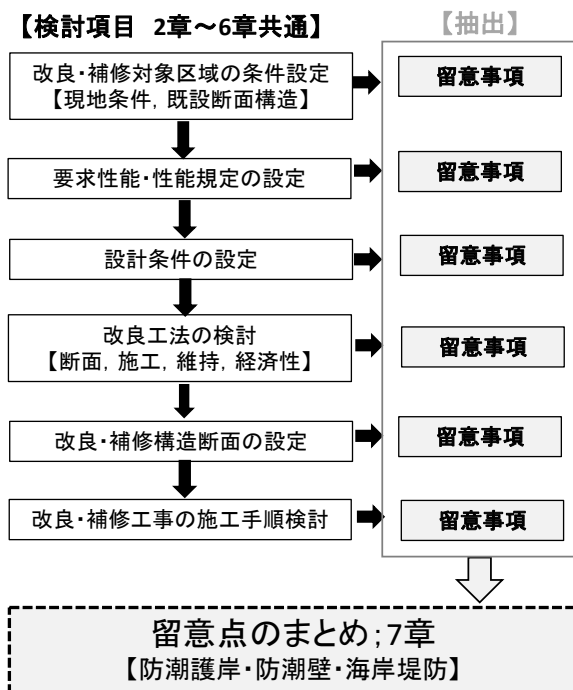


図-1.4 本研究の検討フロー

2. 既設防潮護岸を撤去後に改良をする場合での断面形状・施工方法の検討

2.1 改良対象区域の条件設定

本章では、既設防潮護岸の撤去後に改良をする場合での断面形状・施工方法のケーススタディーを行なった。改良対象とする防潮護岸の条件を下記の通り設定した。

対象区域は、防波堤により遮蔽されている地形でかつ、静穏な港湾域の内湾部に位置し、地盤高が低い場所である。そのため、台風による高潮被害を被ってきており、近年大規模な高潮被害が発生している場所である。また、対象区域の地盤状況は、過去から緩い地盤上に干拓・埋め立て地の造成地が多く、地震に対して脆弱な場所となっている。今後30年以内に50%程度の確率で発生すると予測されている大規模な地震が発生した場合は、液状化が発生するとともに、既設防潮護岸の著しい変形が生じる。そのため、高潮による浸水被害発生と、地震による耐震性の不足が危惧されるため、当該地域では防潮護岸の改良・補修を行う必要がある。図-2.1には、改良対象とした防潮護岸の平面位置図と現況構造物の断面図を示している。改良は、既設構造物を撤去して設計・施工を行う必要があり、当該地区で想定される台風時の設計潮位よりも、天端高さが低いため、防潮護岸天端高さを確保する必要がある。そのため、高潮による浸水対策と耐震性を確保できる改良断面形状の検討を行うこととする。

2.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項

(1) 現地条件からの制約

本ケースで設定した現地条件からの制約事項を抽出する。第一の条件は、既設防潮護岸海側での水深が浅く、海上には、小型船舶の船溜り施設があるため、海上施工

ができないことである。そのため、全て陸上施工で対応しなければならない。第二の条件は、既設防潮護岸の背後に、住宅や駐車場があることから、既設護岸撤去後に、防護ライン確保が必須である。施工に際して、護岸海側に係留している船舶や、背後域の住民等、工事に関する関係者が多岐にわたるため、工事着手前には、事前調整と説明が必要となる。平時には、住民による海岸線付近の空間の利用が多く、地域の生活空間として重要な役割を果たしているから、改良後の断面形状は、利便性や海岸線へのアクセス向上にも配慮して設定しなければならない。

(2) 既設防潮護岸の断面形状からの制約

第一の条件は、既設護岸海側地形部の洗掘対策である。現況の防潮護岸海側には、小型船舶の係留杭が設置されているため、施工時には、連れ込み沈下により既存施設へ損傷を与えないことが必要である。海側の海底地形部は、干満差及び吸出しによる流れや波浪により洗掘や崩壊が生じており、不安定な状態となっている。そのため、改良断面を設定する際には、洗掘・崩壊防止対策及び施工の安全対策を講じなければならない。

第二の条件は、既設防潮護岸背後部での吸出し防止対策である。現況の防潮護岸は、石積護岸のパッチング式構造であり、背後には吸出し対策に必要な裏込石が施工されていないことから、既設防潮護岸背後は、吸出しによる陥没が生じている。そのため、改良断面を設定する際には、吸出し防止対策を講じなければならない。

第三の条件は、地盤の沈下対策が必要なことである。現況地盤が浅いため、改良護岸での沈下量を推定すると、数十センチ程度の沈下が見込まれる。改良対象の防潮護

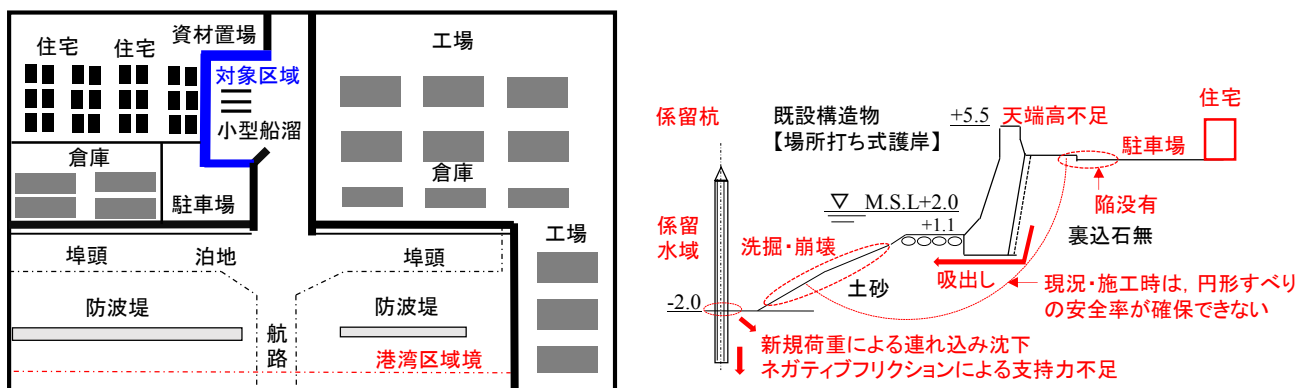


図-2.1 改良対象とした防潮護岸の平面位置図と断面図

岸と背後地盤では施工方法の工夫と維持管理で沈下に対応できるが、防潮護岸海側に設置されている小型船舶用の係留杭は、沈下の影響が大きい。特に、護岸海側への基礎石投入等、新規荷重の増加に伴う連れ込み沈下や改良する防潮護岸の応力分散による沈下、ネガティブフリクションによる支持力不足が懸念される。そのため、改良する際には防潮護岸の沈下対策を講じなければならない。

第四の条件は、防潮護岸本体工の円形すべり防止対策である。改良対象とする護岸の構造形式を重力式とした場合、円形すべりによる安全率が確保できないため、護岸本体での円形すべり対策を講じなければならない。

2.3 要求性能及び性能規定

(1) 目的と機能

本ケースの防潮護岸は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。本ケースでは、以下のすべての機能を有するものとするとして設定を行なった。

- ・高潮及び津波による海水の侵入を防止する機能。
- ・波浪による越波を減少させる機能。
- ・背後域の重要性を勘案し、地震による二次災害の防止を目的として、レベル1地震動及びレベル2地震動による損傷が生じた場合にも、各機能の回復が可能であることとしている。

(2) 要求性能

本ケースでの防潮護岸は、所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとした。防潮護岸は、高潮、津波、波浪、地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものと設定する。当該施設の要求性能は、目的達成性能と安全性能を設定する。目的達成性能は、堤体の健全性と天端高の確保であり、高潮又は津波による海水の侵入を防止し、波浪による越波を減少させる。安全性能は、堤体の健全性と安定性の確保であり、高潮、津波、波浪、地震動、及びその他外力に対して適切な安全性を有することである。

(3) 性能規定

本ケースでの耐震設計は、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）に対しての所要の安全性を確保し、かつ、防潮護岸の機能を損なわないものとする。

さらに、施設の機能及び構造、施設背後地の重要度、

地盤高、当該地域の地震活動度等に基づいてより高い性能が必要と判断されるため、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）を想定し、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能なものとする。

(4) 耐震性能に対する目的達成性能

表2.1には、レベル1地震動とレベル2地震動のそれぞれ耐震性能に対する性能規定の考え方を示す。性能規定に示されている耐震性能を満足するため、照査は、2次元地震応答解析（FLIP）による変形照査を行なった。要求項目は、沈下量を設定した。レベル1地震動での設定方法は、護岸計画天端高に対して、既往最高潮位と50年確率波に対する許容越波量を満足する天端高さの合計からの差とした。レベル2地震動での設定方法は、護岸計画天端高に対して、10年確率高潮位と10年確率波に対する許容越波量を満足する天端高さの合計からの差とした。

表-2.1 改良する防潮護岸の性能規定

耐震性能に対する目的達成性能

レベル1地震動	
性能規定	要求項目
海岸保全施設の機能を損なわないこと。	沈下量
設定方針	設定方法
50年確率波に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－ (既往最高潮位＋50年確率波に対する許容越波量を満足する必要天端高)
レベル2地震動	
性能規定	要求項目
生じる被害が軽微であり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能なこと	沈下量
設定方針	設定方法
機能回復工事中の波浪(10年確率程度)に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－ (10年確率高潮位＋10年確率波に対する許容越波量を満足する必要天端高)
来襲する津波に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－津波高

2.4 設計条件の一覧

本ケースでの防潮護岸の計画条件，利用条件，自然条件は以下のように設定した。

(1) 計画条件

・現況施設

天端高：+5.50 m（基本水準面）
構造；場所打ち式護岸（裏込無）

・改良護岸の計画天端高

C.D.L. +6.50 m（基本水準面）と設定する。越波流量より決定。

・管理道

幅員：3.0 m
計画高さ：+5.40 m

(2) 利用条件

・許容越波量

護岸の越波流量は，0.01 (m³/m/s) と設定。

・上載荷重

管理道

永続状態（常時）：5.0 kN/m²
変動状態（地震時）：2.5 kN/m²
（高潮時）：0.0 kN/m²

背後地

永続状態（常時）：10.0 kN/m²
変動状態（地震時）：5.0 kN/m²
（高潮時）：0.0 kN/m²

背後地の値は，円形すべりの検討に用いる。

変動状態（地震時）は永続状態（常時）の1/2とした。

高潮時には護岸上へ利用者はいないとした。

・設計供用年数：50年と設定した。

(3) 自然条件

・設計潮位

設計高潮位：+6.06m（モデル台風高潮潮位）

モデル台風は，伊勢湾台風規模を設定した。

H.H.W.L.：+4.76m（既往最高潮位）

H.W.L.：+3.76m（朔望平均満潮位）

L.W.L.：+0.03m（朔望平均干潮位）

・設計波高

H_{1/3}は，設計波。H₀'は，換算沖波を示す。

モデル台風波浪：高潮安定照査

H_{1/3}=0.89 m，H₀'=0.98 m，T₀=6.1 s

50年確率相当波浪：レベル1地震後

主方向 SW，H_{1/3}=0.68 m H₀'=0.74 m，T₀=6.1 s

10年確率相当波浪：レベル2地震後

主方向 SW，H₀'=0.49 m，T₀=6.1 s

・地震動

レベル1地震動は，供用期間中に1，2回発生する地震で，再現確率75年と設定した。

レベル2地震動は，M6.5直下型地震と設定した。

・設計震度

K_h=0.16と設定。捨石厚が大きいので，地震時の捨石変形を考慮した栈橋土留めを準用した。

・土質条件の設定と土層の特徴

表層は，沖積砂沖積砂質土であり，約5m程度に堆積する砂質土層で，薄い粘性土を互層状に含んでいる。海側は，N値3から10程度であり，陸側は，埋め立てによる締固めの影響で，N値3～20程度である。

中層では，沖積粘性土であり，約15m程度堆積する粘性土層で，細粒分含有率はほぼ100%でN値1程度の軟弱な粘性土である。下層では，洪積砂質土であり，約2m程度の厚さである。洪積砂質土層であるが，N値2～6と緩い地盤であると設定した。

・耐震対策について

改良対象区域では，上記のとおり粘性土層で構成されており，液状化対策の必要はないと考えられる。耐震対策としては護岸構造物の沈下量の検討が必要である。

(4) その他

・材料の摩擦係数

コンクリートとコンクリート：0.5

コンクリートと捨石：0.6

・鋼材の腐食速度

海側は，下記のとおり。

H.W.L.～L.W.L.-1.0m：0.20 mm/年

L.W.L.-1.0m～海底：0.20 mm/年

海底泥層中：0.03 mm/年

陸側は下記のとおり。

土中（残留水位以上）：0.20 mm/年

土中（残留水位以下）：0.02 mm/年

・動的解析における許容変形量

L1地震時，波浪の場合は，計画天端高一（既往最高潮位+50年確率波に対する許容越波量を満足する天端高）から求め，1.4 mに設定した。

L2地震時波浪の場合では，計画天端高一（10年確率潮位+10年確率波に対する許容越波量を満足する天端高）から求め，1.9 mに設定した。

L2地震時津波の場合では，計画天端高一津波高から求め，2.25 mに設定した。

2.5 改良工法検討の視点

改良工法は、考えられる構造断面形状の中から、2.2節で設定した制約事項や、本ケースでの適用性を考慮したところ、重力式構造と鋼材式構造の2種類の構造形式を抽出した。重力式構造では、本体工を方塊式護岸工法と、場所打ち式護岸工法を抽出し、鋼材式構造では、自立矢板式護岸工法を抽出した。各工法の概要、標準断面図、工法の特徴について表-2.2(1)～(3)に示している。

断面形状検討段階での観点は、護岸海側地形の洗掘、護岸背後の吸出し防止、護岸海側地盤の沈下、護岸の円形すべりといった内容の対策が必要となる。

施工段階での観点は、簡易な工法かつ施工性の良さがあげられる。作業スペースの確保の観点では、陸上での作業ヤードと、方塊ブロック製作ヤードの確保の有無について検討しなければならない。仮設工事の有無は、施工中の防護ラインを確保する際に必要となる視点である。護岸海側海域への濁り拡散の影響と、背後住民の生活利便性の確保、背後域の地盤面の沈下による影響についても必要な視点であると考えられる。

維持管理段階での観点からは、本体工の沈下に対する対応や、地震に対する安定性や被災時の復旧の容易さについての視点があげられる。

経済性の観点からは、施工工期と直接工事費の視点があげられる。

(1) 方塊式護岸工法

方塊式護岸工法は、方塊ブロック2段積とし、裏込石は背後の吸出し防止機能として設置する。仮設工事は、二重矢板式とし、床掘時の仮堤防機能を有する。施工は全て陸上から行う工法である。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、護岸海側地形の洗掘対策が必要なため、海側地形部の全撤去を行うことにより、土砂の崩落と地震時変位抑制機能を有することが可能となる。護岸背後の吸出し防止対策は、新設護岸背後に裏込石を施工することにより、吸出し防止機能を有することが可能となる。護岸海側地盤の沈下対策は、基礎捨石法先の海側に縁切矢板を打設することにより、係留杭の連れ込み沈下の防止機能を有することが

表-2.2(1) 方塊式護岸工法の特徴

対策工法	方塊式護岸工法（仮設工事も含む）	
工法概要	本体は、方塊ブロック2段積、裏込石は吸出し防止機能のみ(土圧軽減効果なし)。仮設は二重矢板式で、床掘時の仮堤防機能を有する。施工は全て陸上施工とする。	
標準断面図		
断面形状	<ul style="list-style-type: none"> 護岸海側地形の洗掘対策 護岸陸側背後の吸出し防止対策 護岸海側地盤の沈下対策 護岸の円形すべり対策 	<ul style="list-style-type: none"> 護岸海側地形の全撤去は、崩落防止、地震時変位抑制機能を有する。 新設護岸の陸側背後に、裏込石を施工し吸出し防止機能を有する。 護岸海側の法先に縁切り矢板を打設し、係留杭の連れ込み沈下防止機能を有する。 護岸海側に打設する縁切り矢板により、円形すべり防止機能を有する。
施工	<ul style="list-style-type: none"> 簡易な工法かつ施工性の良さ 陸上での作業ヤード確保 ブロック製作ヤード確保 仮設工事の必要性 施工中の防護ラインの確保 海域の濁り影響 背後住民の利便性の確保 背後域への沈下対策 	<ul style="list-style-type: none"> 本体部は、方塊ブロック方式である。陸上施工であるが、簡易な工法で施工性が良い。 方塊ブロック天端を概成させると陸上にヤードが確保できる。 方塊ブロックの製作ヤードは別途用地の確保が必要。 二重矢板仮設による施工が必要 二重矢板仮設により仮堤防ができるため、施工時の安全性が高い。 撤去工、基礎工の施工時に濁りが発生するため、汚濁防止膜の設置で対応。 陸上に作業ヤード確保できるため、周辺住民への生活利便性が確保できる。 仮設矢板により、縁切りするため、沈下防止が可能。
維持	<ul style="list-style-type: none"> 本体工の沈下に対する対応 地震に対する安定性、復旧の容易さ 	<ul style="list-style-type: none"> 本体工の沈下は、20cm程度であり、施工方法・維持管理で対応する必要がある。 本体部の壁厚が厚いため地震時変位に強く、復旧も比較的容易。

可能となる。護岸の円形すべり対策は、捨石法先に縁切り矢板を打設することに、係留杭の沈下と円形すべり防止機能を確保することが可能となる。

施工段階での観点から本工法の特徴をみると、本体工は、方塊ブロック式のため、工種が少なく簡易な工法であるため施工性が良い。陸上部での作業ヤード確保は、方塊ブロック据付け後に天端面を概成することで、面積が確保できる。ただし、方塊ブロックを製作するため、別途製作に必要な用地を確保しなければならない。仮設工事は、二重矢板仮設による施工が必要である。施工期間中には、二重矢板仮設により仮堤防ができるため、施工時には高潮の浸水に対する安全性が高い。海域の濁り影響は、土砂撤去時と基礎捨石投入時に濁りが発生するため、汚濁防止膜を設置する必要がある。背後住民の利便性確保は、陸上部に作業ヤードが確保できるため、駐車場の利用や、住民の生活利便性の確保が可能となる。背後域の地盤沈下対策は、仮設矢板を打設して、施工区域と背後地盤の縁切りを行うため、背後地盤の沈下対策

が可能となる。

維持・管理の観点からみると、本体工の沈下に対する対応は、沈下予測が約 20 cm 程度であるため、施工方法と維持管理で対応する必要がある。地震に対する安定性と被災後の復旧の容易さは、本体工の壁厚が厚いため地震時変位に強く、復旧も比較的容易な構造物である。

経済性の観点からみると、施工工期は、工種の輻輳を避けることが可能なため、工期が短縮可能である。本工法は、方塊ブロックを施工区域とは別の場所で製作するため、施工区域での工種の輻輳を避けることが可能である。直接工事費は、本工法による概算工事費を基準としていることから 1 と設定した。直接工事費の内訳は、仮設工事費が全体の約 20% を占めている。

(2) 場所打ち式護岸工法

本体工は、場所打ちコンクリートで施工し、裏込石は背後の吸出し防止機能として設置する。仮設工事は、二重矢板式とし護岸海側の床掘時の仮堤防機能を有する。

表-2.2(2) 場所打ち式護岸工法の特徴

対策工法		場所打ち式護岸工法（仮設工事も含む）
工法概要		本体は、場所打ちコンクリート、裏込め石は吸出し防止機能のみ（土圧軽減効果なし）。仮設は二重矢板式で、前面床掘時の仮堤防機能を有する。施工は全て陸上施工とする。
標準断面図		
断面	護岸海側地形の洗掘対策 護岸陸側背後の吸出し防止対策 護岸海側地盤の沈下対策 護岸の円形すべり対策	護岸海側地形の全撤去は、崩落防止、地震時変位抑制機能を有する。 新設護岸の陸側背後に、裏込め石を施工して吸出し防止機能を有する。 護岸海側の法先に縁切り矢板を打設し、係留杭の連れ込み沈下り防止機能を有する。 護岸海側に打設する縁切り矢板により、円形すべり防止機能を有する。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 陸上での作業ヤード確保 ブロック製作ヤード確保 仮設工事の必要性 施工中の防護ラインの確保 海域の濁り影響 背後住民の利便性の確保 背後域への沈下対策	本体部は、場所打ちコンクリートである。陸上施工であるが、簡易な工法で施工性が良い。 本体天端を概成させることで、陸上にヤードが確保できる。 ブロック製作ヤードは不要。 二重矢板仮設による施工が必要 二重矢板仮設により仮堤防ができるため、施工時の安全性が高い。 撤去工、基礎工の施工時に濁りが発生するため、汚濁防止膜の設置で対応。 陸上に作業ヤードが確保できるため、周辺住民への生活利便性が確保できる。 仮設矢板により、縁切りするため、沈下防止が可能。
維持	本体工の沈下に対する対応 地震に対する安定性、復旧の容易さ	本体工の沈下は、20cm程度であり、施工方法・維持管理で対応する必要がある。 本体部の壁厚が厚いため地震時変位に強く、復旧も比較的容易。

施工は全て陸上から行う工法である。断面形状の観点から本工法の特徴をみると、護岸海側地形の洗掘対策を行うためには、海側地形の全撤去を行うことにより、土砂の崩落と地震時変位抑制機能を有することが可能となる。護岸背後の吸出し防止対策は、新設する護岸背後に裏込石を施工して吸出し防止機能を有することが可能となる。護岸海側地盤の沈下対策は、基礎捨石法先の海側に縁切矢板を打設することにより、係留杭の連れ込み沈下の防止機能を有することが可能となる。護岸の円形すべり対策は、捨石法先に縁切り矢板を打設することにより、係留杭の沈下と円形すべり防止機能を確保することが可能となる。施工の観点から本工法の特徴をみると、本体工は、場所打ちコンクリート式であり、工種が少ない簡易な工法であるため施工性が良いといえる。陸上部の作業ヤード確保は、場所打ちコンクリート打設後に天端面を概成させると陸上部に面積が確保できる。本工法は、場所打ちコンクリート式のため、別途ブロック製作ヤードに必要な用地の確保は必要ない。仮設工事は、二重矢板

仮設による施工が必要となり、施工期間中には、二重矢板仮設により仮堤防ができるため、施工時には高潮に対する安全性が高い。海域への濁り影響は、土砂撤去特と基礎捨石の投入時に濁りが発生するため、汚濁防止膜を設置により周辺海域への濁り拡散を防止ができる。背後住民の利便性は、陸上に作業ヤードが確保できるため、駐車場の利用や、住民の生活利便性も確保が可能となる。背後域の沈下対策は、仮設矢板を打設して、施工区域と背後地盤の縁切りを行うため、背後地盤の地盤沈下対策が可能となる。

維持・管理の観点からみると、本体工の沈下に対する対応は、本体の沈下予測は約 20 cm 程度であり、施工方法と維持管理で対応する必要がある。地震に対する安定性と被災後の復旧の容易さは、本体工の壁厚が厚いため地震時変位に強く、復旧も比較的容易な構造物である。

経済性の観点からみると、施工工期は、施工区域内で工期が幅狭するため、工期は長くなる。本工法は、本体コンクリートが現場打設であり、4 週強度を確認するた

表-2.2(3) 自立矢板式護岸工法の特徴

対策工法		自立矢板式護岸工法
工法概要		鋼管矢板φ1300を用いた自立式構造。鋼管矢板で遮断されるため、護岸の陸側背後は裏埋土を施工する。仮設の設置は必要なく、施工時防護ラインは、現況護岸があるため問題ない。
標準断面図		
断面	護岸海側地形の洗掘対策 護岸陸側背後の吸出し防止対策 護岸海側地盤の沈下対策 護岸の円形すべり対策	鋼管矢板を打設するため、護岸海側の地形はそのまま放置できる。 鋼管矢板で遮断されるため背後は裏埋土の施工で対応。 鋼管矢板打設により、護岸海側の地盤と縁切りがされているので対策は必要ない。 自立鋼管矢板の抵抗力で対応できる。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 陸上で作業ヤード確保 ブロック製作ヤード確保 仮設工場の必要性 施工中の防護ラインの確保 海域の濁り影響 背後住民の利便性の確保 背後域への沈下対策	鋼管矢板の打設以外は施工性が良いが、杭が大口径(φ1300)のため打設が困難。 既設護岸背後の打設となるため、大型重機の使用に際して注意が必要。 作業ヤード確保は困難。既設護岸背後からの施工となる。 本体工が、自立矢板式のため仮設工事は必要ない。 本体工が、自立矢板式のため仮設工事は必要ない。地盤の縁切りも必要ない。 施工時防護ラインは、現況護岸があるため確保できるため問題がない。 撤去工、基礎工の施工がないため海域への水質への影響が少ない。 施工中は、全期間背後用地への交通利用制限が発生する。 特に必要がない。
維持	本体工の沈下に対する対応 地震に対する安定性、復旧の容易さ	護岸天端は、本体が鋼管矢板のため、沈下しない。 地震時変位が大きく、鋼材自体が変形するので復旧は困難である。

めの期間を確保しなければならないことと、施工区域内で工種が輻輳する分、方塊式護岸工法より工期が長くなる。直接工事費は、方塊式ブロック工法による概算工事費を基準とすると、1.02 となった。直接工事費の内訳は、仮設工事費が全体の約 20% を占めている。

(3) 自立矢板式護岸工法

自立矢板式護岸工法は、本体内に鋼管矢板（直径φ1,300）を用いた自立式構造である。鋼管矢板で海域と背後域が遮断されるため、背後は裏埋土を施工する。防護ラインは、現況護岸を残したまま施工するため確保が可能である。そのため、重力式構造では必要となる仮設工事は必要がない工法である。施工は、既設護岸背後域から行う工法である。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、護岸海側部地形の洗掘対策は、鋼管矢板を打設するため、護岸海側の地形はそのまま放置ができる。護岸背後の吸出し防止対策は、鋼管矢板で遮断されるため、背後は裏埋土の施工で対応する。護岸海側地盤の沈下対策は、鋼管矢板打設により、護岸海側地盤と縁切りができていて、対策は必要ない。護岸の円形すべり対策は、自立鋼管矢板の抵抗力で、円形すべり防止機能を確保することが可能となる。施工の観点からみると、鋼管矢板の打設以外は施工性が良いが、杭本体が大口径のため打設が困難である。打設時には、大型重機を使用するため注意が必要となる。陸上部の作業ヤード確保は困難であり、既設護岸の背後地での施工となる。ブロックの製作ヤードは、自立矢板式工法のため必要がない。仮設工事は、本体内が、自立矢板式のため必要がない。鋼管矢板の打設により、施工区域と背後地盤との縁切り可能である。施工中の防護ラインの確保は、現況護岸があるため仮設矢板による施工の必要がない。海域の濁り影響は、既設護岸の撤去と基礎捨石の施工がないため、濁り拡散の影響は少ない。背後住民の生活利便性については、施工期間中は、既設護岸の背後用地の一部を作業ヤードとして利用するため、背後用地や駐車場への通行等の利用制限が発生する。また、背後域の地盤沈下対策は、本体内に鋼管矢板打設することにより、施工区域と背後地盤の縁切りが可能のため、特に必要がない。

維持・管理の観点から本工法の特徴をみると、本体内の沈下に対する対応は、護岸本体部で鋼管矢板を使用しており、沈下の影響は少ない。地震に対する安定性と被災後の復旧の容易さは、地震時変位が大きく、鋼材自体が変形するため復旧が困難な構造物である。

経済性の観点からみると、施工工期は、他の工法より

工種が少ないことから、重力式構造よりは短く設定が可能である。直接工事費は、方塊式ブロック工法による概算工事費を基準とすると、2.11 であった。本工法の場合には、仮設工事費が必要ない。

(4) 改良構造断面形状の設定

改良構造断面の形状を設定するにあたり、本検討におけるケーススタディーは、改良・補修の条件を設定しているため、実際の改良・補修のすべてにあてはまるものではないことに留意が必要である。

2.2 節で設定した現況の断面形状からの制約事項である、既設海側地形部の洗掘対策、防潮護岸の吸出し防止対策、防潮護岸の沈下対策、防潮護岸本体内の円形すべり防止対策に対して対応機能を有することが改良時の必須条件である。方塊式護岸工法、場所打ち式護岸工法、自立矢板式護岸工法の 3 工法ともにこれら対策を行うことが可能であった。

方塊式護岸工法と場所打ち式護岸工法は、基本的には同様な施工方法である。両工法の大きな違いは、本体内の構造形式が異なり、施工期間に差異があることである。場所打ち式護岸工法では、本体コンクリートの施工が、現場打設であり、コンクリートの 4 週強度を確認するための期間を確保しなければならない。方塊式護岸工法の場合は、他工種の施工と併行し、ブロックの製作が可能である。そのため、場所打ち式工法よりも、施工工期が短期間となる。維持管理の面では、両工法ともに本体部の壁圧が厚く、地震時変位に強いいため復旧も容易である。コンクリートの品質確保の面からみると、場所打ち式よりは方塊式ブロックは、品質管理が容易である。経済性の面では、方塊式護岸工法を基準とすると、場所打ち式護岸工法は、直接工事費ベースで 1.02 であった。自立矢板式護岸工法は、施工時の防護ラインは既設構造物を活用することで確保でき、仮設構造物設置が必要ないという利点があった。しかし、鋼管矢板の圧入打設は、杭の直径が大きく施工性がよくない。維持管理の面では、地震時の変位が大きく、鋼材自体が変形するため復旧が困難である。経済性の面では、方塊式工法を基準とすると直接工事費ベースで 2.1 であった。

表-2.2 に示した断面形状、施工方法、維持管理等の観点から各工法の長所と短所を抽出し、改良工法を検討したところ、本ケースにおける防潮護岸の改良では、「方塊式護岸工法」で改良工法を設定した。

図-2.2には、本ケースで設定した改良後の構造断面図を示す。本体工の構造は、方塊式ブロック2段式とし、コンクリートの配合は、高炉（B種）18-8-40とした。上段のブロック重量は、10.4t/個とし、形状は、L2.5m×B1.2m×H1.6mとした。下段のブロック重量は、19.4t/個とし、形状はL2.5m×B1.2m×H1.6mとした。上段ブロックの底部と、下段ブロック天端面上部には、溝形に加工したずれ止めを設置し、据付後の接合面の一体化を図る。本体工の設置基面高は、工事基準面+1.5m、上部工下端（パラペット部下端）は+4.60m、天端高は+6.5mと設定している。基礎工は、基礎捨石10kg～200kgの石材を用いることとした。防護対策工は、仮設二重矢板の施工による仮堤防を設置することで対応する。改良する護岸の背後には、仮設矢板（鋼矢板SP-VL型）を打設後、地盤の縁切りを図り、背後への沈下や騒音・振動対策の機能を確保する。裏込めの背後には、止水矢板（鋼矢板SP-10H型）を設置し、止水機能と吸出し防止機能を確保する。崩落・洗掘している海側地形部は、床掘により全撤去をする。係留杭に対して、改良する護岸の施工に伴い発生する新規荷重による連れ込み沈下を防止のため、縁切り矢板を打設により安全性を確保するものとして、

以上のとおり改良構造断面（方塊式護岸構造）の設定を行った。

2.6 改良工事の施工手順

改良工事の着手に際して、施工時の資機材の調達、工事期間中の安全管理や工程管理の観点から施工手順を事前に計画することが必要となる。2.5節で設定した方塊式護岸工法での施工手順のフロー図を図-2.3に示すとともに、代表的な施工内容を選定し、各工程段階での施工手順の内容を図-2.4(1)～図-2.4(8)に示した。図中の着色部は対象としている施工箇所を示す。

(1) 着手前の準備

工事着手前に、管理用基準面の確認や工事用基準点の設置を行い、現況状況を把握するため事前測量を行う。特に、護岸海側の地盤は、一部で崩落・洗掘されて場所がある。そのため、深浅測量またはレッドを用いた測量により工事区域周辺海域の水深を確認することにより、施工方法の検討や工程管理の参考となる。事前測量の結果、原状不一致が生じた場合は、速やかに対策を検討することが必要である。

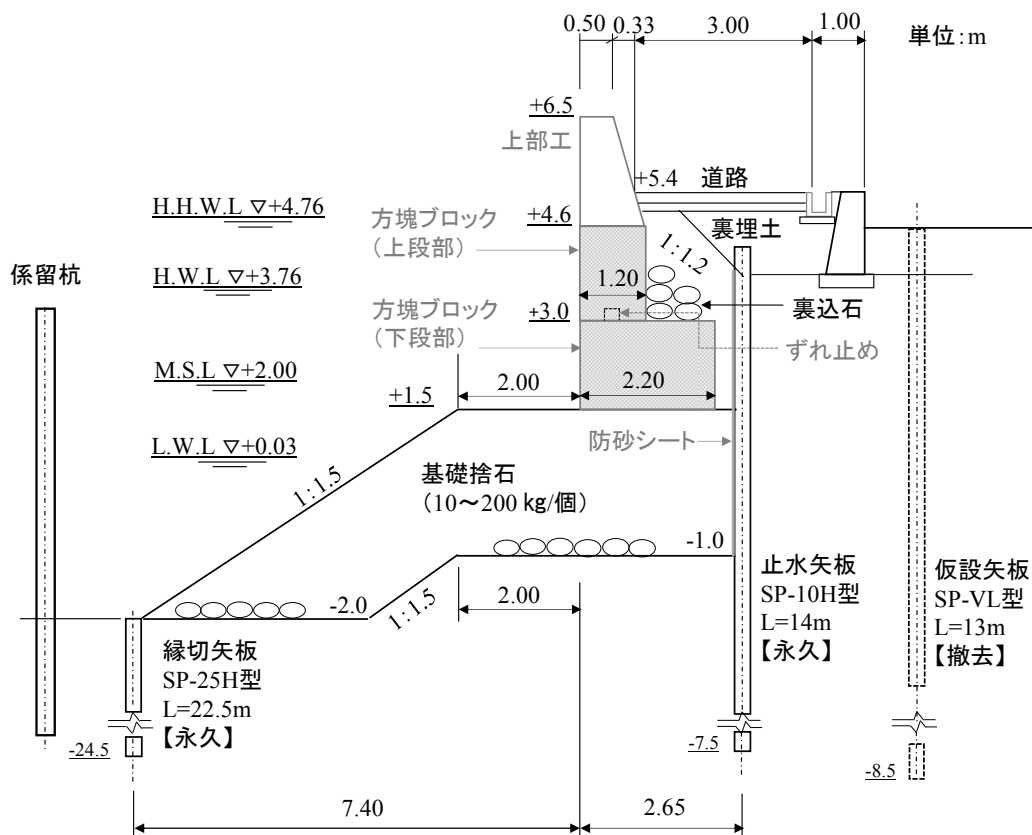


図-2.2 改良断面形状の設定（方塊式護岸工法）

工事場所、資機材等保管場所、工事車両等運搬経路等における公益専用物件等の事前調査を実施し、占用物件の実態を把握するとともに、安全管理の観点から工事実施中の事故防止対策を検討する。

工事場所の車両出入りは、専用ゲート設置する。工事区域場所の作業ヤードと駐車場・道路側境界部には、高さ1.8m程度のネットフェンスと、防塵ネットを設置し、背後域へ埃等の影響が生じないように対策を行う。既設の海岸保全施設を改良する際は、海岸線を利用している関係者が多岐にわたるケースが多い。そのためにも、背後域の関係者にも工事実施前に事前説明を行い、工事が円滑に実施できるように事前調整を図ることが必要である。

工事周辺海域の汚濁防止のため、汚濁防止膜を設置する。水域部での施工となる床掘、既設護岸撤去、土砂撤去、捨石撤去、栗石撤去等の施工期間中は、海域に汚濁防止膜を展張し、水質の監視を行う。汚濁防止膜の構造形式は、垂下型、カーテン丈長さ4m以上とする。

係留施設付近の作業船航行時における安全確保のため、監視船を配備する。また、車両出入りに際しては、専用ゲート部に交通誘導員を配置する。これらの措置を行うことで、航行船舶、車両等との衝突、接触を防止する。

(2) 既設建造物の撤去と仮設建造物の設置

撤去工事は、既設工作物、既設護岸や土砂等の撤去を行うものである。最初に、既設護岸上にある防護柵、転落防止策、フェンス等を撤去する。撤去する工作物は再利用するため、損傷を与えないように撤去する。

既設歩道部のアスファルト舗装版の撤去は、端部縁切り箇所をカッター切断する。撤去したアスファルト殻は、再生処理施設に運搬し再資源化する。

仮設矢板は、2段階の打設により施工を行う。一次打設は、天端高さ+5.5mまで打設、二次打設は、天端高さ+4.3mまで打ち下げる。仮設矢板の打設に先立ち、法線に沿って布掘りをする。布掘りした土砂は土砂埋戻しに流用するため、バックホウで土砂を積み込み、仮置場所にダンプトラックで運搬して仮置きを行う。

仮設矢板の一次打設は、硬質地盤専用圧入機を使用して施工する。図-2.4(1)に仮設矢板打設状況を示す。資機材の搬入は、トレーラで陸上運搬する。荷卸しから建込は、クローラクレーン(65t)を使用する。埋設物等により打込みが困難となった場合は打設方法や対策を検討しなければならない。

仮設矢板打設後、既設護岸と仮設矢板間の土砂を撤去する。土砂撤去はバックホウで行い、撤去した土砂は一

旦現地に集積し、バックホウでダンプトラックに積み込む。発生土砂は、埋戻しで再利用するため、別の場所に運搬し仮置きする。仮置き土砂はシートで覆い埃の飛散を防止して保管する。

防潮対策は、施工期間中に講じなければならない。工事区域端部には、上部工と止水矢板との間に大型土嚢及

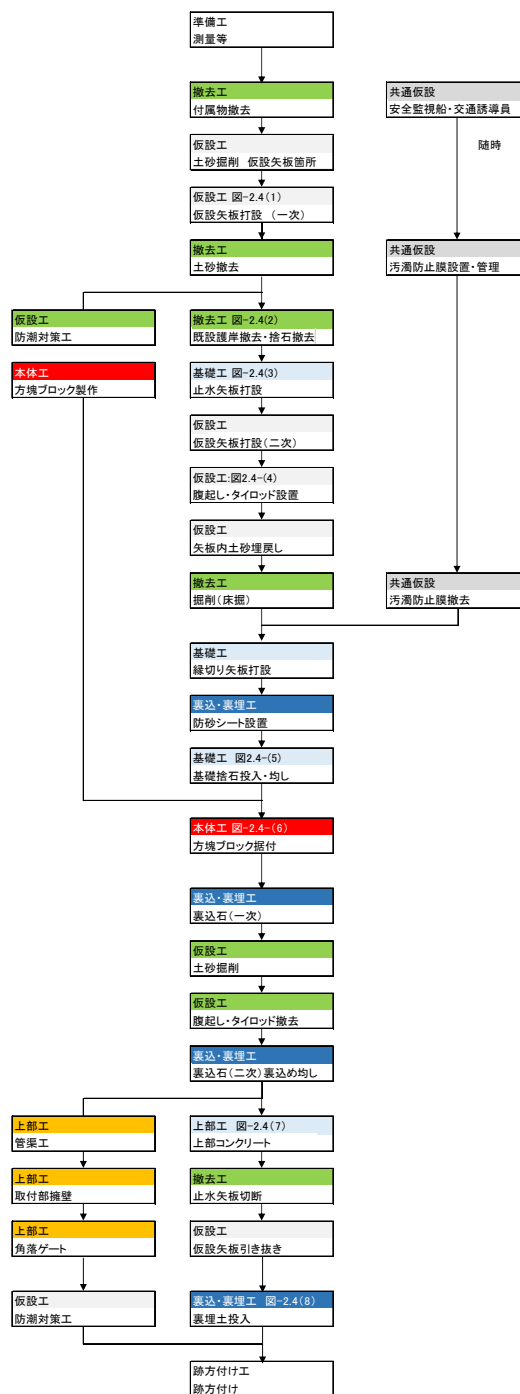


図-2.3 方塊式護岸工法の施工手順

び遮水シートを設置し防潮対策を行う。施工状況の進捗に応じ大型土嚢及び遮水シートを移設する。防潮高さは、浸水を防止するため既設護岸と同程度の+5.5m程度の高さを確保して、浸水を防止する。

既設護岸と仮設矢板間の土砂撤去後に、既設護岸の取り壊しを行う。図-2.4(2)は、既設護岸撤去の状況を示す。撤去は、圧碎機仕様のバックホウで行い、原位置で大割破碎後、施工ヤード内に引き込んで小割する。既設護岸下部は、目視で確認できる低潮位時に撤去を行う。大割時に落下したコンクリート殻は、バケツで撤去を行い、施工ヤード内に集積した後、コンクリート殻を再生処理施設に運搬する。

既設護岸取壊し後、捨石の撤去を行う。捨石は、エクステンションアームを使用した1.6 m³バックホウ使用し、陸上より撤去する。施工時の潮位によっては潮待ちし、目視で捨石が確認できる程の低潮位時に施工する。

止水矢板(SP-25H型、L=13 m)の打設方法を図-2.4(3)に示す。打込み工法は、圧入工法を標準とするが、圧入工法で施工できない場所は、油圧式高周波バイブロハンマー等の騒音・振動に配慮した機械を使用する。鋼矢板の搬入・荷卸し・建込には、クローラクレーン(65t)を使用する。止水矢板打設箇所へは、フライングブリッジ等の渡り足場を設置する。打込に際して、打込が困難となった場合は対策を検討する必要がある。

仮設矢板の二次打設は油圧式高周波バイブロハンマーで打設を行う。クローラクレーン(65t)にてバイブロハンマーを吊りこみ天端高さ+4.3 mまで打ち下げを行う。なお、埋設物等により打込みが困難となった場合は、対策を検討する必要がある。腹起しの設置は、クレーンを使用して行う。腹起しの材料は、溝形鋼を使用する。腹起しの取り付け高さを確認し、受金物(山形鋼)を溶接にて取り付け、下段腹起しをクレーンで吊り込み設置を行う。その際、下段腹起しと上段腹起しの間はプレートで空隙をとり、上段の腹起しを設置する。設置の際に、定着具と腹起しが密着するように、隙間が生じた場合は鉄板等のキャンバーを設置する。海側の施工を行う際は止水矢板からつり下げ式の足場を設置し、作業床を確保して作業を行う。腹起しの設置後タイロッドを設置する。取付け高さを確認し、鋼矢板にガス溶断機で削孔する。削孔後クレーンでタイロッドを吊りこみ設置を行う。設置に際して、定着具と腹起しが密着するように隙間が生じた場合は鉄板等のキャンバーを設置する。現地盤と高低差がある箇所に関しては馬足場を使用して設置を行う。設置後に矢板内の土砂の埋戻しを行う。

タイロッド設置後、基礎捨石投入部の床掘を行う。床

掘はエクステンションアームと取り付けしたバックホウ(1.6m³)を使用して陸上から行う。床掘土砂は、仮置き場所に小運搬し、水切りをおこなからバックホウで土運船に積込みを行う。土運船にて、土砂処分場まで海上運搬し、揚土する。

床掘施工後には、縁切り矢板の打設を行う。図-2.4(4)には、縁切り矢板の設置状況を示す。打込み工法はヤットコ使用圧入工法を標準とする。ただし、圧入工法による施工が出来ない箇所については油圧式高周波バイブロハンマー等の騒音・振動に配慮した機械を使用する。搬入・荷卸し・鋼矢板の建込には、クローラクレーン(100t)を使用する。縁切り矢板打設箇所へは、フライングブリッジ等の渡り足場を設置する。なお、縁切り矢板打込みが困難となった場合は対策を検討しなければならない。

防砂シートは、護岸海側の床掘完了後に止水矢板に沿って防砂シートを設置する。防砂シートの材質はポリアステル製不織布を使用する。敷設はクレーンで行い、クレーンで吊りこんだシートを、潜水士で展張して敷設する。敷設後天端部は、しっかりと固定し、風等で飛散しないように固定する。また、シート設置後は波浪によりシートが動揺して損傷しないよう、速やかに基礎捨石を施工する。

(3) 基礎捨石の投入・均しと本体部の施工

防砂シートの設置後に、基礎捨石を投入する。図-2.4(5)は、基礎捨石投入方法を示している。基礎捨石は、購入材(10 kg~200 kg)とし、硬石の物理的性質を満足する材料を使用する。

基礎捨石は、海上運搬して仮置き場に搬入を行う。陸揚げした基礎捨石は、バックホウでダンプトラックに積込み作業ヤードに運搬する。埃が周辺に飛散しないように積込み時と荷卸し時には散水を行い湿潤状態にする。基礎捨石投入は、陸上からバックホウを使用して施工する。投入前には捨石法尻ラインを明示するため、竹を設置する。石材の投入により波が立たないように水面付近までバケツを下げて静かに投入する。その際には、石材が散乱しないように注意して施工する。また、投入時には、石材が止水矢板に損傷を与えないように注意して投入する。投入後に、本均しと荒均しを行う。均し作業は、潜水士により行う。均し箇所には、丁張を設置し、所定の高さに均す。天端面の荒均しは、±50 cm、本均し±5 cm(国土交通省港湾局、2015)の許容範囲で出来形管理を行う。なお、基礎捨石天端面は方塊ブロックの据付けするため、均し精度の確保に注意して施工することが重要である。

方塊ブロックは、工事区域では他工種と輻輳し製作ヤードが十分確保できないため、別途作業ヤードを確保して製作を行う。コンクリートの配合は、18-8-40BB、水セメント比65%以下とする。差筋用の鉄筋は、錆止め防止のためエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する。

製作に先立ち、アスファルトルーフィングを敷設する。ルーフィング敷設後に、下段ブロックの型枠を所定の寸法に加工して組立てる。下段ブロックのずれ止め部は、ブロック本体と別に製作し、本体型枠と固定する。なお、吊り筋の設置箇所は箱抜きしておき、コンクリート打設前に吊り鉄筋を設置しておく。型枠組立て完了後、型枠内の清掃を行い、不純物等を取り除き、コンクリート打設をコンクリートポンプ車で行う。最初に、ブロック本体天端まで締固めながら慎重に打設する。天端まで打設が完了したら、ずれ止め箇所の打設を行う。全体の打設が完了したら、天端面をコテにて均一にならし、打設後の養生を実施する。型枠の取り外しは、コンクリート標準示方書で定められている圧縮強度(3.5N/mm²)を確認してから行う。

上段ブロックの型枠は、所定の寸法に加工する。底部のずれ止め型枠としてあらかじめ製作した鋼製の型枠をアスファルトルーフィングの上に設置する。その後、順次側壁を組立てながら、底部のずれ止め型枠と側壁部とを固定する。ここで、底部ずれ止め型枠の躯体側の面には脱枠を考慮して、剥離剤を塗布する。上段ブロックの差筋は、コンクリート打設時に所定のピッチで設置する。

製作した方塊は、トレーラに積み込み据付箇所まで運搬する。方塊ブロック据付は、クローラクレーンを用いて行う。図-2.4(6)は、方塊ブロックの据付状況を示している。据付に先立ち、法線平行方向からトランシット等で据付の誘導を行う。下段ブロック据付後にずれ止めを生かして、上段ブロックとの一体化を図る。

裏込石の投入は、タイロッドの撤去前の一次投入と撤去後の2次投入の2段階で施工する。使用する材料は、栗石(5cm~15cm)とし、硬石の物理的性質を満足するものを使用する。一次投入は、タイロッド撤去前に行い、天端高さ+3.3mまで投入する。投入の際には、防砂シートに損傷を与えないように慎重に施工する。一次投入後にタイロッドの撤去を行う。

腹起し・タイロッドの撤去は、止水矢板海側の方塊ブロックを据付けて、裏込石を+3.3mまで一次投入後にタイロッド及び腹起を撤去する。撤去に先立ちタイロッド設置箇所陸側を取付高さ-50cm程度の掘削する。タイロッドはガス切断機で切断し、クレーンでつりこんで撤去し、腹起しも同様の方法で撤去する。撤去が完了した箇

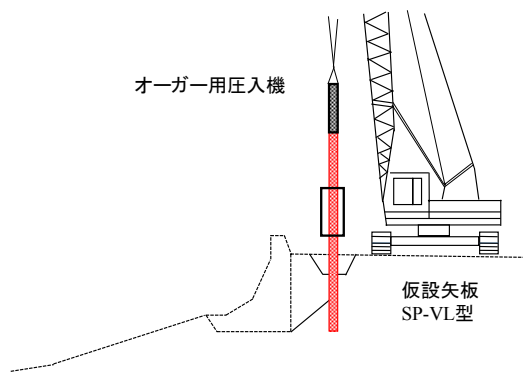


図-2.4(1) 仮設工(仮設矢板打設)

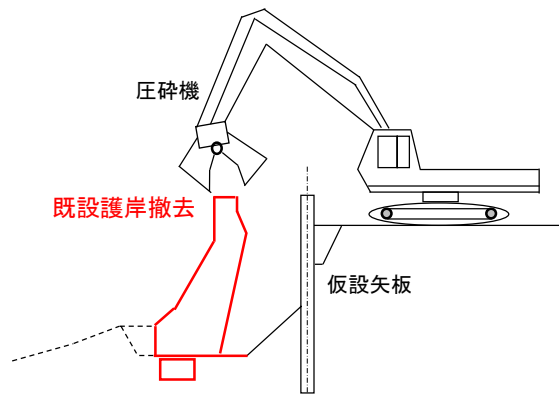


図-2.4(2) 撤去工(既設護岸撤去)

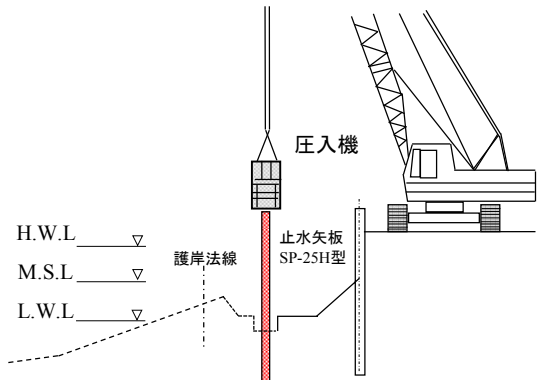


図-2.4(3) 基礎工(止水矢板打設)

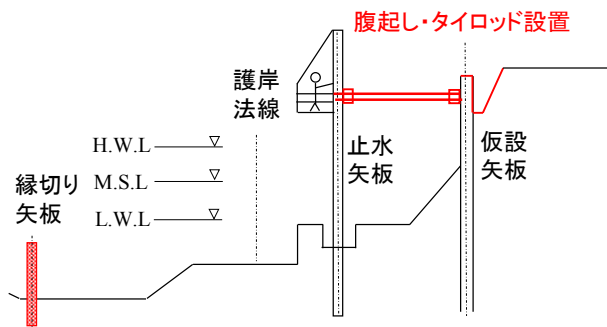


図-2.4(4) 仮設工(腹起し, タイロッド, 縁切り矢板設置)

所は、発生土で埋戻しを行う。

タイロッドの撤去後、裏込石の2次投入を行う。2次投入で仕上がり天端面+4.6 mまで投入する。投入はバックホウを使用し、シートに損傷を与えないように慎重に施工する。

裏込石投入後、丁張を設置し所定の高さで裏込均しを行う。均しは人力及びバックホウ併用で行い、均しが完了した箇所からシートの天端部分をかぶせて固定する。

(4) 上部コンクリート打設と裏埋

方塊ブロック据付完了後、上部工を施工する。上部コンクリートは、方塊ブロック据付後に打設を行う。図-2.4(7)は、上部コンクリートの打設状況を示している。上部工で使用するコンクリートの配合は、18-8-40BB、水セメント比65%以下とする。上部工施工に先立ち、方塊ブロック海側にブラケットを取り付け、作業床を設置する。張出足場設置後、所定の寸法で型枠を組立てる。なお、型枠組立て時は、コンクリートからのノロ等の漏出がないように、空隙の養生を行う。

上部コンクリートには、目地材(厚さ10 mm程度)を設置し、目地材の設置場所には止水板を設置する。止水板は、塩化ビニール製のセンターバルブ型(幅200 mm)を標準として使用する。

型枠・目地材等組みあがった箇所からコンクリート打設用の足場を組立てる。足場は敷板などで足元を安定させ、止水矢板等から壁つなぎをとって堅固に組立てる。

足場の組立てが完了した箇所からコンクリートを打設する。打設にはコンクリートポンプ車を使用し、目地材で区切られたスパンを1スパン置きに歯抜けで打設する。打設時には、型枠を乱さないよう、棒状パイプレータを用いて内部の締固めを行う。

打設完了後、天端面を均一に、養生を行う。型枠の解体は、コンクリート標準示方書に定められている圧縮強度(3.5N/mm²)を確認してから行う。

上部工施工後に、止水矢板の切断・撤去を行う。ガス切断機を用いて+4.0 mの高さで切断する。切断に伴い、現地盤が切断高さより高い場合は、バックホウで鋤取りを行う。また、ガス切断時に防砂シートを損傷しないようコンパネやスパッタシートで養生をする。切断した止水矢板は、クレーンで吊りこんで回収する。

上部コンクリート部に排水構造物工として、管渠(φ300)を設置する。管は高密度ポリエチレン製を使用する。また、管渠海側には逆流防止用のフラップゲートの取り付けを行う。フラップゲートは、φ300ステンレス製を使用する。

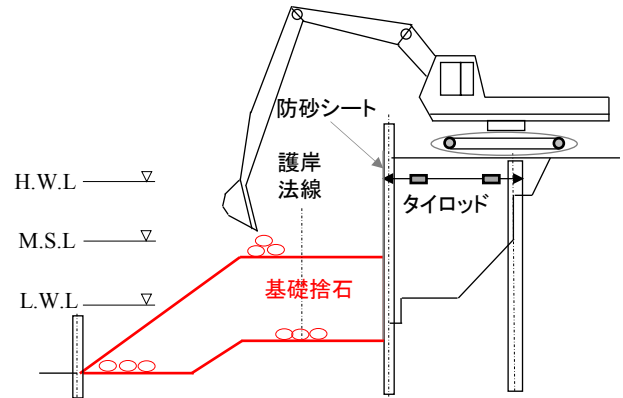


図-2.4(5) 基礎工(基礎捨石投入)

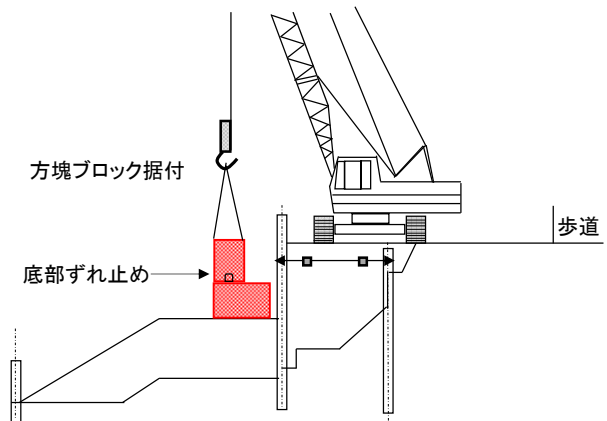


図-2.4(6) 本体工(方塊ブロック据付)

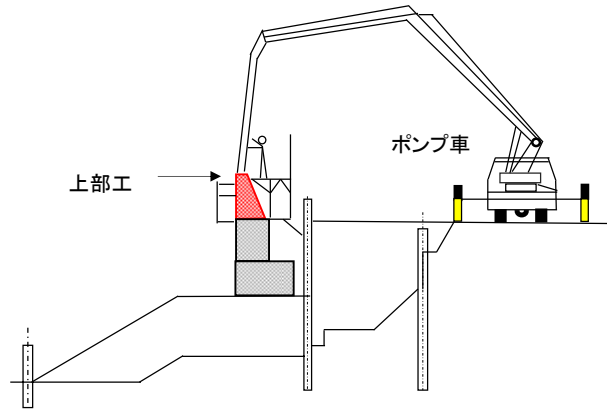


図-2.4(7) 上部工(上部コンクリート打設)

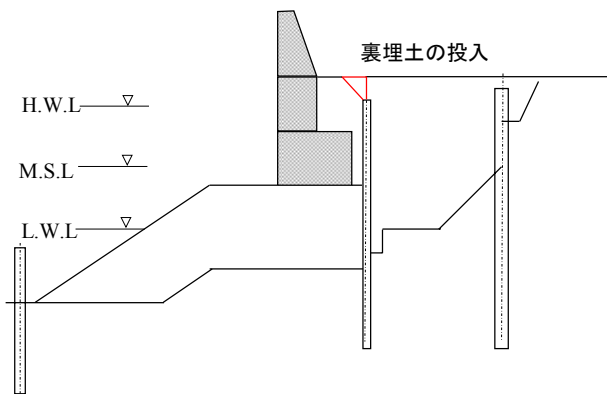


図-2.4(8) 裏埋工(裏埋土投入)

上部工の完了後に、仮設矢板の引き抜きを行う。引き抜きは、油圧式圧入引抜機を使用して行う。施工に先立ち、鋼矢板天端より 1.0 m 深さまで布堀をする。その後、クローラクレーン（65t）を使用し、仮設矢板の引抜・集積を行う。仮設矢板の引き抜き完了後、裏埋を施工する。図-2.4 (8) は、裏埋土の投入状況を示している。裏埋めに使用する土砂は砂質土の購入材とし、天端面 4.5 m まで施工する。投入はダンプトラックで裏埋土砂を搬入後、バックホウで投入する。

2.7 既設防潮護岸を撤去後に改良する際の留意事項

改良対象区域の条件設定（2.1 節）、設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項（2.2 節）に対応できる工法として方塊式護岸工法を設定した。既設防潮護岸の断面形状は、高潮に対する天端高不足でかつ耐震性を有していない断面形状であった。

現地条件からの制約は、既設護岸海側が浅く、小型船係留施設があるため、海上施工ができないという条件であった。そのため、陸上施工を前提とした工法を検討しなければならなかった。

既設護岸陸側背後には、駐車場と住宅があり、施工時の防護ライン確保が必須であることと、護岸海側と背後域での利用があるという条件のため、陸側に作業スペースを確保しつつ、騒音・振動や地盤沈下の影響が少ない工法で対応できる工法を検討しなければならなかった。

本節では、断面形状を検討する際の視点、改良工法を検討する際の視点、施工手順を検討する際の視点における留意事項の抽出・整理を行った。なお、これらの留意事項は本ケースでの条件のみにあてはまる内容であることに留意が必要である。

(1) 断面形状を検討する際の視点

改良工法検討の視点（2.5 節）における結果から、断面形状を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した既設護岸の海底地形は、干満差及び吸出しによる流れや波浪により、洗掘・崩壊が生じており、安定上非常に不安定な状態となっていた。このような制約条件の場合は、洗掘・崩壊防止対策を反映した断面形状を検討しなければならない。そのため、構造物の安定性を確保するため、護岸海側の不安定な地盤の除去を前提とした条件で断面形状の検討を行うことが必要である。

本ケースは、既設護岸背後に、裏込石の施工がないという条件であった。裏込石の施工が無い場合は、吸出しによる陥没が背後で生じている事例が多い。そのため、

改良断面の形状を検討する際には、護岸背面への裏込石の施工により吸出し防止対策の対応を検討する必要がある。

本ケースは、地震発生後に沈下が生じた場合には本体部の沈下対策が必要であった。そのため、地震後の被災による沈下後に補修や復旧しやすい断面形状を検討する必要がある。

(2) 改良工法を検討する際の視点

改良工法検討の視点（2.5 節）における結果から改良工法を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

仮設矢板と止水矢板の打設は、施工中の土砂崩落や水平変位を防止できる機能を確保することになる。矢板打設は、既設構造物撤去を中心とした全体の施工手順を見据え、打設方法と施工手順を検討する必要がある。仮設構造物の検討は安全かつ円滑に施工するためにも、重要な検討内容である。

工事区域が狭隘な場所かつ、水域の利用や、背後域の利用による制約条件がある場合は、小型の施工重機、資材を使用する工法で対応が必要となる。

護岸海側に係留施設がある場合は、その背後地盤の連れ込み沈下を防止するために、鋼矢板による地盤の縁切り施工を検討する必要がある。

(3) 施工手順を検討する際の視点

改良工事の施工手順（2.6 節）における結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

既設構造物は、原位置で大割後、施工ヤードで小割することにより、破碎後のコンクリート殻の集積と撤去が容易となる。また、背後域へ騒音の影響を軽減させるために、コンクリート殻等の破碎音を低廉させる方法で施工することが必要である。

既設護岸下部の撤去は、目視で確認できる低潮位時の時間帯に作業を進めると効率的に施工できる。潮汐変動を考慮した施工手順の設定をすることで効率的な撤去作業が可能となると考えられる。

鋼矢板打設時に、腹起しと鋼矢板との間に隙間が生じた場合は、鉄板等で密着させ安定させることは、仮設構造物の安全面から重要なことである。

新設護岸背後の埋戻は、地盤の崩落防止のため、仮設矢板の打設後に施工することが安全対策の観点から重要と考えられる。

基礎捨石の投入は、投入時に石材が散乱しないように注意し、水面付近までバケットを下げて投入すると、均し作業が容易に施工できるものと考えられる。

止水矢板海側に設置した防砂シートに損傷を与えると、止水性能が低減することから、捨石の投入管理には、シートに損傷を与えないように注意が必要である。

基礎捨石天端面の均し作業は、天端面の上部に方塊ブロック据付けるため、均し精度（±5 cm）を確実に確保しなければならない。均し精度の出来によって、本体部分の出来形に影響を与えるため、施工管理には注意する必要がある。

本ケースにおける本体部の断面形状は、方塊ブロック2段積の構造形式であった。方塊ブロック製作時には、下段ブロック上部と、上段ブロックの底部にずれ止めを設置することにより一体化を図ることができ、水平変位の抑制効果があると考えられる。本体部の安定の観点から重要な施工内容の一つである。

本ケースの場合、上部コンクリートパラペット部と、方塊ブロック天端面との間の接合部に、エポキシ樹脂鉄筋を使用している。構造体の接合部は、波浪等外力に対して弱点になりやすい部分である。構造体の接合部への差筋を腐食させないようにエポキシ鉄筋を施工するといった配慮は、構造物の維持管理の面から重要であると考えられる。

3. 既設防潮護岸を活用した改良・補修する場合での断面形状・施工方法の検討

3.1 改良対象区域の条件設定

本章では、既設防潮護岸を活用した改良・補修する場合での断面形状・施工方法のケーススタディーを行なった。改良・補修対象とした防潮護岸の条件を下記のとおり設定した。

対象区域は、島嶼部により遮蔽されている地形でかつ、静穏な内湾部の河口域に位置し、水深が浅い場所である。そのため台風による高潮被害を被ってきており、近年大規模な高潮被害が発生している。高潮が発生すると、河口域での水位上昇により浸水のおそれがある場所であり、既設護岸は、老朽化している。

対象区域の地盤状況は、過去からの緩い地盤上に干拓・埋め立て地の造成地が多く、地震に対して脆弱な場所となっている。今後 30 年以内に 50% 程度の確率で発生すると予測されている大規模な地震が発生した場合は、液状化が発生し、既存防潮護岸の著しい変形が生じる。そのため、高潮による浸水被害発生と、地震による耐震性の不足が危惧されるため、当該地域では防潮護岸の改良・補修を行う必要がある。図-3.1 には、改良対象とした防潮護岸の平面位置図と現況構造物の断面図を示している。改良・補修は、河口域で行うため、既設護岸を活用した断面形状で設計・施工を行う必要があり、当該地区で想定される台風時の設計潮位よりも、天端高さが低いため、天端高さを確保する必要がある。そのため高潮による浸水対策と耐震性を確保できる改良・補修の断面形状を検討する。

3.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項

(1) 現地条件からの制約

本ケースで設定した現地条件からの制約事項を抽出する。第一の条件は、既設護岸背後に住宅があり、用地買収が出来ないため、陸上部に作業スペースが確保できない。そのため、既設護岸から水域側へ前出しする断面形状を検討しなければならない。既設護岸の陸側背後には、住宅が集積しているため、施工時の騒音や振動、地盤の水平変位による影響を低減できる工法を設定しなければならない。既設護岸背後に住宅が密集していることから、工事着手前には、付近の住民等関係者への事前調整が必要となる。

第二の条件は、河口部水域への影響である。改良・補修箇所は、港湾区域であるが、河川の下流域河口部に位置するため、上流部で水位上昇が生じないよう現況河床幅を極力狭めないよう配慮した断面形状と施工手順の検討を行う必要がある。

(2) 既設防潮護岸断面形状からの制約

第一の条件は、高潮に対する天端高さの不足への対応である。現況護岸は、当該地区で想定される設計潮位に対して、天端高さが不足している。そのため、改良・補修の断面形状は、既設護岸の嵩上げを検討しなければならない。

第二の条件は、既設護岸の老朽化に伴う吸出し防止やひび割れ（アルカリ骨材反応）対策である。既設護岸の構造形式はもたれ式構造である。背後には裏込石が施工されていないため、吸出しによる陥没が生じている。そのため、改良・補修する既設護岸は、吸出し防止対策を

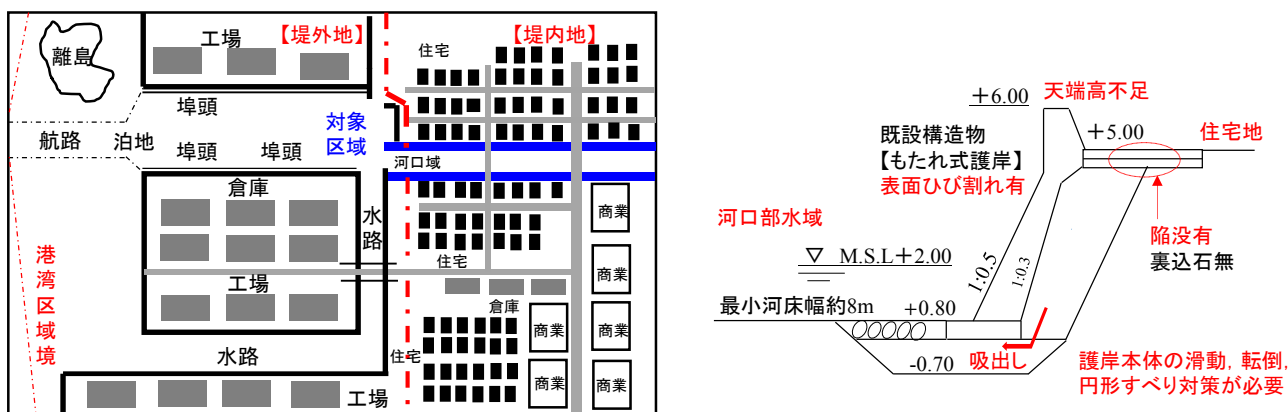


図-3.1 (1) 改良・補修対象とした防潮護岸の平面位置図と断面図

検討する必要がある。また、アルカリ骨材反応等によるひび割れが生じている箇所は、ひび割れ補修対策を検討しなければならない。

第三の条件は、既設護岸本体の静的安定対策の対応である。既設護岸は、静的安定性が確保できておらず、永続状態、変動状態での静的安定対策を検討しなければならない。そのため、本体部の滑動、転倒及び円形すべりを抑制できる断面形状と改良工法の選定を検討しなければならない。

3.3 要求性能及び性能規定

(1) 目的と機能

本ケースにおける防潮護岸は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。本ケースの防潮護岸では、以下のすべての機能を有するものとして設定を行なった。

- ・高潮及び津波による海水の侵入を防止する機能。
- ・波浪による越波を減少させる機能。
- ・背後域の重要性を勘案し、地震による二次災害の防止を目的として、レベル1地震動及びレベル2地震動による損傷が生じた場合にも、上記の各機能を各または機能の回復が可能であることとしている。

(2) 要求性能

本ケースでの防潮護岸は、所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとする。防潮護岸は、高潮、津波、波浪、地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする。当該施設の要求性能は、目的達成性能と安全性能を設定する。目的達成性能は、堤体の健全性と天端高の確保であり、高潮又は津波による海水の侵入を防止し、波浪による越波を減少させる。安全性能は、堤体の健全性と安定性の確保であり、高潮、津波、波浪、地震動、及びその他外力に対して適切な安全性を有する。

(3) 性能規定

本ケースでの耐震設計は、施設の供用期間中に1～2度発生する確率を有する地震動（レベル1地震動）に対しての所要の安全性を確保し、かつ、防潮護岸の機能を損なわないものとする。

さらに、施設の機能及び構造、施設背後地の重要度、地盤高、当該地域の地震活動度等に基づいてより高い性能が必要と判断されるため、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動（レベル2地震動）を想定し、これに対して生じる被害が軽微で

あり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能なものとする。

(4) 耐震性能に対する目的達成性能

表3.1には、レベル1地震動とレベル2地震動のそれぞれ耐震性能に対する性能規定の考え方を示す。性能規定に示されている耐震性能を満足するため、照査は、2次元地震応答解析（FLIP）による変形照査を行なった。要求項目は、沈下量を設定した。

レベル1地震動での設定方法は、護岸計画天端高に対して、既往最高潮位と50年確率波に対する許容越波量を満足する天端高さの合計からの差とした。レベル2地震動での設定方法は、護岸計画天端高に対して、10年確率高潮位と10年確率波に対する許容越波量を満足する天端高さの合計からの差とした。

表-3.1 改良・補修する防潮護岸の性能規定

耐震性能に対する目的達成性能	
レベル1地震動	
性能規定	要求項目
海岸保全施設の機能を損なわないこと。	沈下量
設定方針	設定方法
50年確率波に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－ (既往最高潮位＋50年確率波に対する許容越波量を満足する必要天端高)
レベル2地震動	
性能規定	要求項目
生じる被害が軽微であり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能なこと	沈下量
設定方針	設定方法
機能回復工事中の波浪(10年確率程度)に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－ (10年確率高潮位＋10年確率波に対する許容越波量を満足する天端高)
来襲する津波に対して要求性能を満足させる。	計画天端高－津波高

3.4 設計条件の一覧

本ケースでの防潮護岸の計画条件，利用条件，自然条件は以下のように設定した。

(1) 計画条件

- ・施設延長と現況構造形式
天端高：+6.0 m（基本水準面）
構造：もたれ式護岸，裏込石無.
- ・施設配置条件
海岸保全区域内に配置する.
- ・改良護岸の計画天端高
C.D.L. +6.60 m と設定. 越波流量より決定.

(2) 利用条件

- ・許容越波量
護岸の越波流量は，0.01 (m³/m/s) と設定.
- ・上載荷重
永続状態（常時） : 5.0 kN / m²
変動状態（地震時） : 2.5 kN / m²
- ・設計供用年数：50年と設定した.

(3) 自然条件

- ・設計潮位
設計高潮位：+6.06 m（モデル台風高潮潮位）
モデル台風は，伊勢湾台風規模を設定した。
H.H.W.L. : +4.76 m（既往最高潮位）
H.W.L. : +3.76 m（朔望平均満潮位）
L.W.L. : +0.03 m（朔望平均干潮位）
- ・設計沖波
モデル台風波浪：高潮安定照査
波高 N249°，H₀'=2.70 m，T₀=6.0 s
- ・地震動
レベル1地震動は，供用期間中に1，2回発生する地震で，再現確率75年と設定した。レベル2地震動は，M6.5直下型地震等を設定した.
- ・照査用震度
K_h=0.18~0.25と設定。既設護岸を対象とした.
- ・土質条件の設定と土層の特徴
表層は，沖積砂沖積砂質土であり，約5m程度に堆積する砂質土層で，N値2から8程度の砂質層である。中層では，沖積粘性土であり，約10m程度堆積する粘性土層で，細粒分含有率はほぼ100%でN値5~10程度の軟弱な粘性土である。下層では，洪積砂質土であり，

約2m程度の厚さで，N値8~10と緩い地盤である。

・耐震対策について

改良対象区域は，上記のとおり粘性土層で構成されており，液状化対策の必要はないと考えられる。耐震対策としては護岸構造物の沈下量の検討が必要であった。

(4) その他

- ・材料の摩擦係数
コンクリートとコンクリート：0.5
コンクリートと捨石：0.6
- ・鋼材の腐食速度
残留水位以上：腐食速度0.03 mm×50年=1.5 mm
残留水位以下：腐食速度0.02 mm×50年=1.0 mm

3.5 改良・補修工法検討の視点

改良・補修工法は，考えられる構造断面形状の中から，3.2節で設定した制約事項や，本ケースでの適用性を考慮すると，以下の対策に対応できる工法でなければならない。高潮対策は，既設護岸嵩上げによる対応。老朽化対策は，ひび割れ補修と吸出し防止の対応。静的安定対策は，盛石の投入，鋼矢板打設，堤体増しによる対応が必要である。そこで，以上の条件を満たすことができる断面形状の中から盛石嵩上げ工法，腹付け工法を抽出した。各工法の概要，標準断面図，工法の特徴について表-3.2(1)~(2)に示している。

断面形状検討段階での観点は，護岸本体の滑動・転倒・円形すべりに対する静的安定対策，高潮対策として天端高の嵩上げ，老朽化と吸出し防止対策への対応が必要である。施工段階での観点は，簡易な工法かつ施工性の良さがあげられる。防護ラインの確保についても検討が必要である。既設護岸への増しコンクリートの打設の必要性や水域への影響も検討する必要がある。また，既設護岸背後域の住宅・民地への施工時の影響についても施工検討の際に必要な視点である。維持管理の観点からは，改良・補修後の断面形状管理の視点があげられる。経済性の観点からは，施工工期と直接工事費の視点があげられる。

(1) 盛石嵩上げ工法

盛石嵩上げ工法は、盛石の受動土圧抵抗による護岸の安定性を確保し、鋼矢板は抵抗モーメントの不足分を補うとともに、吸出し防止機能を兼ねる工法である。施工は、基礎捨石下部に鋼矢板を水域からパイプロ打設を行い、盛石は、海上より瀬取り投入となり、石材は、投入と均しの繰り返しとなる。なお、底張コンクリート打設は陸上よりポンプ打設を行う。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、護岸本体の滑動・転倒対策を行うため、盛石の設置による受動土圧抵抗により安定性を図ることにより、静的安定機能を有することが可能となる。護岸本体の円形すべり対策は、基礎捨石下部へ鋼矢板の打設をすることで、円形すべり防止機能を確保することが可能となる。護岸の高潮対策

は、既設護岸から計画天端面まで嵩上げにより、高潮による浸水防止機能を有することが可能となる。護岸の老朽化対策は、基礎捨石下部への吸出し防止用鋼矢板の打設とともに、本体と連結するため底張コンクリートを打設することにより、老朽化防止機能を有することが可能となる。

施工の観点から本工法の特徴をみると、盛石施工は、石材の投入と均しの繰り返し作業となる。施工中の防護ライン確保は、既設護岸を残したまま改良・補修を行うため、確保が可能である。既設護岸水域側部への増しコンクリート打設は、盛石を施工するため必要ない。護岸天端高さの確保は、嵩上げ分をコンクリート打設することで対応する。水域への影響は、盛石の形状が水障構造となる可能性があり、航行船舶に影響があることが懸念

表-3.2 (1) 盛石嵩上げ工法の特徴

対策工法	盛石嵩上げ工法
工法概要	平均水面上の既設護岸形状の変化が小さい。盛石の受動土圧抵抗により護岸の安定性を確保する。鋼矢板は抵抗モーメントの不足分を補うと共に、吸出し防止機能を兼ねる。鋼矢板は海上からパイプロ打設。盛石は海上より瀬取り投入となり、投入と均しの繰り返し施工となる。コンクリートは陸上よりポンプ打設する。
標準断面図	
断面	<p>護岸本体の滑動・転倒対策 護岸本体の円形すべり対策 護岸の高潮対策(天端高不足) 護岸の老朽化対策</p> <p>盛石設置による受動土圧抵抗により安定性を図る。 基礎捨石下部への鋼矢板打設により対応する。 既設護岸から、計画天端面(+6.6m)まで嵩上げを行い対応する。 護岸下部への吸出し防止用鋼矢板打設により対応。</p>
施工	<p>簡易な工法かつ施工性の良さ 施工中の防護ラインの確保 既設護岸への増しコンクリート打設 水域への影響 背後域の住宅・民地への影響</p> <p>盛石施工は、投入と均しの繰り返しになる。 既設護岸を残すため問題ない。 盛石の施工をするため、必要ない。天端面は嵩上げ分を打設。 盛石の形状が水障構造となる可能性があり、航行船舶に影響がある。 鋼矢板打設等騒音の影響と、コンクリート打設時には陸上に用地が必要。</p>
維持	<p>改良護岸の管理</p> <p>盛石部の形状を維持管理する必要がある。</p>

される。背後域の住宅・民地への影響は、鋼矢板打設の際、低騒音・低振動の工法で対応する必要がある。コンクリート打設時は、陸上部に用地が必要の確保が必要となる。

維持・管理の観点からみると、盛石部の断面形状が変化しないよう維持管理が必要となる

経済性の観点からみると、施工工期は、盛石施工が石材の投入、均しの繰り返しになるため、工期が長くなることが考えられる。直接工事費は、腹付け工法を基準とすると、1.01となった。

(2) 腹付け工法

腹付け工法は、転倒防止対策として、本体自重を増加させるために、増しコンクリートを打設する。鋼矢板により護岸の静的安定性及び抵抗モーメントの不足分を補う

と共に、吸出し防止機能を兼ねる工法である。施工は、基礎捨石下部に鋼矢板を水域からパイプロ打設を行い、矢板上部に笠コンクリートブロックを設置する。既設護岸と一体化させるため、既設護岸表面を洗浄後、既設護岸に差筋を設置後、増しコンクリートを打設する。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、護岸本体の滑動対策を行うためには、基礎捨石下部への鋼矢板打設することにより、滑動防止機能を有することができる。転倒対策は、護岸本体の自重を増加させるため、増しコンクリート打設により自重を増加させることにより、転倒防止機能を有することができる。円形すべり対策は、基礎捨石下部へ鋼矢板を打設により対応することにより、円形すべり防止機能を有することができる。護岸の高潮対策は、既設護岸から計画天端面まで嵩上げすることで、高潮による浸水防止機能を有することが可能となる。護

表-3.2 (2) 腹付け工法の特徴

対策工法		腹付け工法
工法概要		既設護岸の老朽化対策を兼ね、最も水域への影響範囲が狭い。転倒対策として、護岸本体の自重を増加させる必要があるため増しコンクリートを打設する。鋼矢板により護岸の安定性及び抵抗モーメントの不足分を補うと共に、吸出し防止機能を兼ねる。なお、鋼矢板は海上からパイプロ打設、コンクリートは陸上よりポンプ打設する。
標準断面図		
断面	護岸本体の滑動・転倒対策 護岸本体の円形すべり対策 護岸の高潮対策(天端高不足) 護岸の老朽化対策	転倒は、護岸本体の自重を増加させるため、増しコンクリートで対応。滑動は、基礎捨石下部への鋼矢板打設で対応。 基礎捨石下部への鋼矢板打設で対応。 既設護岸から、計画天端面(+6.6m)まで嵩上げを行い対応する。 基礎捨石下部への吸出し防止用矢板打設により対応。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工中の防護ラインの確保 既設護岸への増しコンクリート打設 水域への影響 背後域の住宅・民地への影響	コンクリート打設が中心の工法であり、施工性は良い。 既設護岸を残すため問題ない。 既設護岸をチッピング後、アンカー筋を打ち込み、コンクリート打設する。 既設護岸のチッピング時と、水中コンクリート打設時に水質へ影響がある。 鋼矢板打設等騒音の影響と、コンクリート打設時には陸上に用地が必要。
維持	改良護岸の管理	既設護岸の老朽化対策を兼ね、断面形状が安定しているため維持管理は容易。

岸の老朽化対策は、吸出し防止用矢板の打設と、既設護岸に増しコンクリートを打設により対応することで、老朽化防止機能を有することが可能となる。

施工の観点から本工法の特徴をみると、コンクリート打設が中心であり、工種が少ない簡易な工法であるため施工性が良いといえる。施工期間中の防護ライン確保は、既設護岸を残して施工するため対応が可能である。増しコンクリート打設は、既設護岸表面をチップングして表面洗浄後、差筋をアンカー筋として打ち込み、コンクリート打設する。水域への影響は、既設護岸表面のチップング時と水中コンクリートの打設時に水質へ影響があることが懸念される。背後域の住宅・民地への影響は、鋼矢板打設の際、低騒音・低振動の工法で対応する必要がある。コンクリート打設時は、陸上部に用地の確保が必要となる。

維持・管理の観点からみると、本工法では既設護岸の老朽化対策を兼ねることもでき、断面形状が安定しているため、維持・管理は容易である。

経済性の観点からみると、施工効率がよく短期間の工

期で対応が可能である。直接工事費は、本工法による概算工事費を基準としているため、1と設定した。

(3) 改良・補修構造断面の設定

改良構造断面の形状を設定するにあたり、本検討におけるケーススタディーは、改良・補修の条件を設定しているため、実際の改良・補修のすべてにあてはまるものではないことに留意が必要である。

3.2 節で設定した現況の断面形状からの制約事項である、護岸本体の滑動・転倒対策、護岸本体の円形すべり対策、護岸の高潮対策、護岸の老朽化対策に対して対応機能を有することが必須条件である。盛石嵩上げ工法、腹付工法、増しコンクリート工法の3工法ともにこれらの対策を行うことが可能であった。

盛石嵩上げ工法は、盛石の施工するため、既設護岸への増しコンクリート打設の必要がないという利点があった。しかし、盛石施工は、石材の投入と均しの繰り返しの作業となる。投入と均しの繰り返しの作業により施工性がよくないことと、盛石の形状が水障構造となる可能性があり、

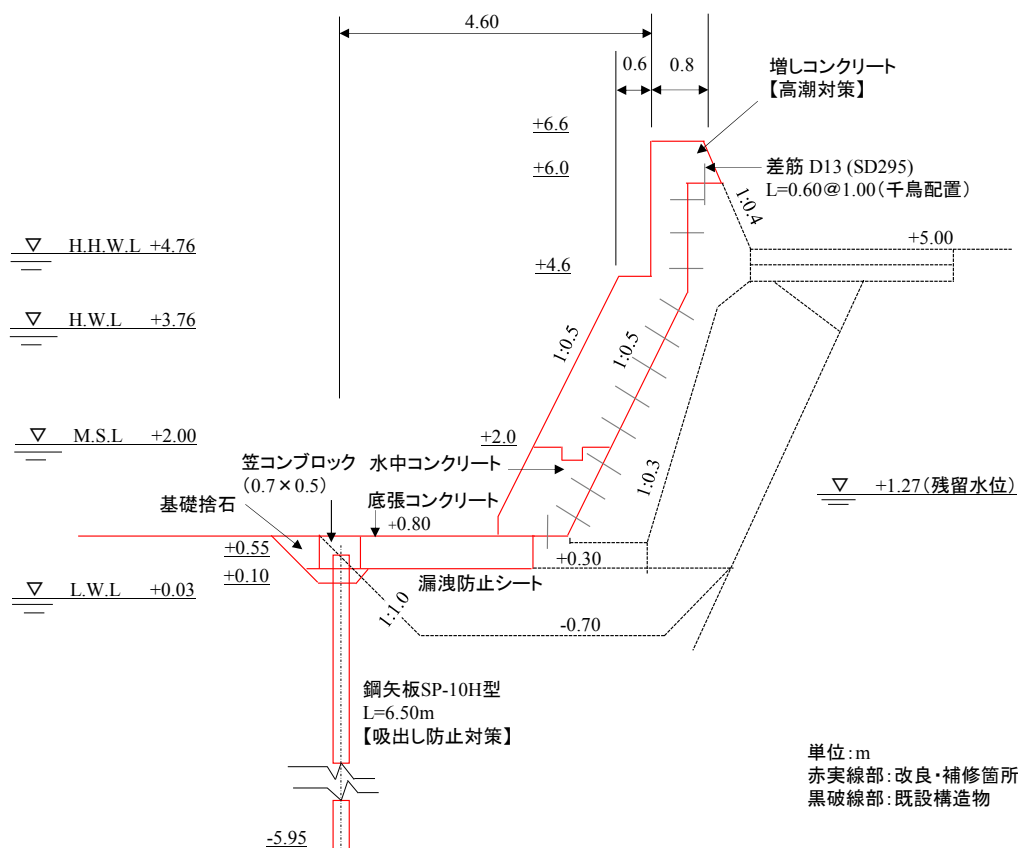


図-3.2 改良・補修断面形状の設定（腹付け工法）

航行船舶に影響があることが懸念される。経済性の面では、腹付け工法を基準とすると、直接工事費ベースで1.01であった。

腹付け工法は、コンクリート打設が中心の工法であり施工性がよいという利点がある。水域への影響は、腹付け工法が盛石嵩上げ工法より断面積が小さく設定できるため、河床幅を極力狭めない工法である。既設護岸チップング時と水中コンクリート打設時には水質に影響があることに注意が必要となる。経済性の面では、腹付け工法を基準としているため直接工事費ベースで1.0であった。

表-3.2に示した断面形状、施工方法、維持管理等の観点から各工法の長所と短所を抽出し、改良工法を検討したところ、本ケースにおける防潮護岸の改良・補修では、「腹付け工法」で改良工法を設定した。

図-3.2には、本ケースで設定した改良後の構造断面図を示す。本体工の構造は、増しコンクリートによる補修である。コンクリートの配合は、高炉（B種）18-12-25とした。

本体工の施工基面高は、工事基準面+0.8m、天端高は+6.6mと設定している。基礎工は、基礎捨石10kg~100kgの石材を用いることとした。施工中の防護ラインは、既設護岸を残すことで対応する。基礎捨石下部には、吸出し防止用矢板（鋼矢板SP-10H型、L=6.5m）を打設して吸出し防止機能と円形すべり防止機能を兼ねる。鋼矢板上部は笠コンクリートで保護を行い、腐食を防止できるようにしている。以上のとおり改良・補修の構造断面（腹付け工法）を設定した。

3.6 改良・補修工事の施工手順

改良工事の着手に際して、施工時の資機材の調達、工事期間中の安全管理や工程管理の観点から施工手順を事前に計画することが必要となる。3.5節で設定した鋼矢板式工法での施工手順のフロー図を図-3.3に示すとともに、代表的な施工内容を選定し、各工程段階での施工手順の内容を図-3.4(1)~図-3.4(12)に示した。図中の着色部は対象としている施工箇所を示す。

(1) 着手前の準備

工事着手の前に、管理用基準面の確認や工所用基準点の設置を行い、現況状況を把握するため事前測量を行う。工事先立ち、磁気の異常点がないか確認するため、潜水士により簡易探査機を使用して探査を行う。事前測量の結果、原状不一致が生じた場合は、速やかに対策を検討することが必要である。磁気探査の結果、異常物が地中

にある場合は、掘削して探査を行い揚収する。その際、爆発の可能性がある場合は、対策を検討しなければならない。

背後地が狭隘な場所であることから、工事場所、資機材等保管場所、工事車両等運搬経路等における公益専用物件等の事前調査を行い、占用物件の実態を把握するとともに、安全管理の観点から工事実施中の事故防止対策を検討する。

既設護岸背後には、住宅が密集していることから、工事実施前に事前説明を行い、工事が円滑に実施できよう調整を図ること必要である。

工事周辺海域の汚濁防止のため、汚濁防止膜を設置する。水域部の施工となる土砂、基礎捨石等撤去、水中コンクリート打設やチップング等の施工期間中は、水域に汚濁防止膜を展張し、水質の監視を行う。汚濁防止膜の構造形式は、カーテン丈長さ1m以上とする。海上工事の作業期間中には、航行船舶の安全確保のため監視船を配備する。

(2) 既設構造物の撤去

撤去工事は、既設構造物や土砂等の撤去を行うものである。土砂撤去は、図-3.4(1)に示すように、ガットバージ船（500m³積、グラブ2m³）で、土砂撤去を行う。土砂撤去後に、被覆捨石と基礎捨石の撤去を行う。その際に流用する基礎捨石は、仮置きをしておく。陸閘とフラップゲートは、付属物設置時に流用するため、損傷しないように撤去を行い、流用までの期間はシート等で覆い作業ヤード内で保管する。

(3) 護岸前面下部の鋼矢板打設

鋼矢板（SP-10H型、L=11m）は、クレーン付き台船（45t吊級）と引船（500ps級）で海上運搬を行う。端部と隅角部区間の打設は、クレーン付き台船にパイプロハンマ（油圧可変超高周波）を装着し、法線方向に導材を打ち込みセットする。図-3.4(2)に鋼矢板打設の状況を示す。打設時には、控鉋にトータルステーションを設置し、鉛直精度、法線精度、法線距離精度を誘導・確認し、基準高をレベルで確認しながら計画打ち止め高さまで打設する。直線区間の打設は、クレーン付き台船にて油圧入機を鋼矢板にセットして、所定の計画高さまで、打設を行う。鋼矢板打設の状況を、図-3.4(3)に示す。

鋼矢板打設後に、既設護岸表面のチップングを行う。チップングの目的は、既設護岸コンクリートの付着を良くするために施工することである。図-3.4(4)チップングの状況を示す。コンクリート表面のチップングは、超

高压洗浄機を使用して施工する。チップング後、表面の水洗いを行い、浮骨材等を完全に除去することに注意して施工しなければならない。騒音防止のため、護岸上部に移動式防音シートを設置する。

チップング終了後、差筋用の穴を電動ドリルにて削孔する。図-3.4 (5) には、アンカー筋、差し筋の施工状況を示す。削孔時に発生する孔内の粉はエア等で十分に清掃を行うことに注意が必要である。孔内清掃後アンカ

一筋 (D16 SD295 L=400 mm) 及び差筋(D13 SD295 L=600 mm)を施工し、既設護岸目地部分に止水板(200×5 mm)を設置する。

チップング、削孔、アンカー筋等の施工後に、鋼矢板を切断する。図-3.4 (6) には、鋼矢板の切断状況を示す。鋼矢板は、天端から 4.5 m 下の箇所をクレーン付台船にて吊った状態で、潜水士にて水中切断して撤去を行う。

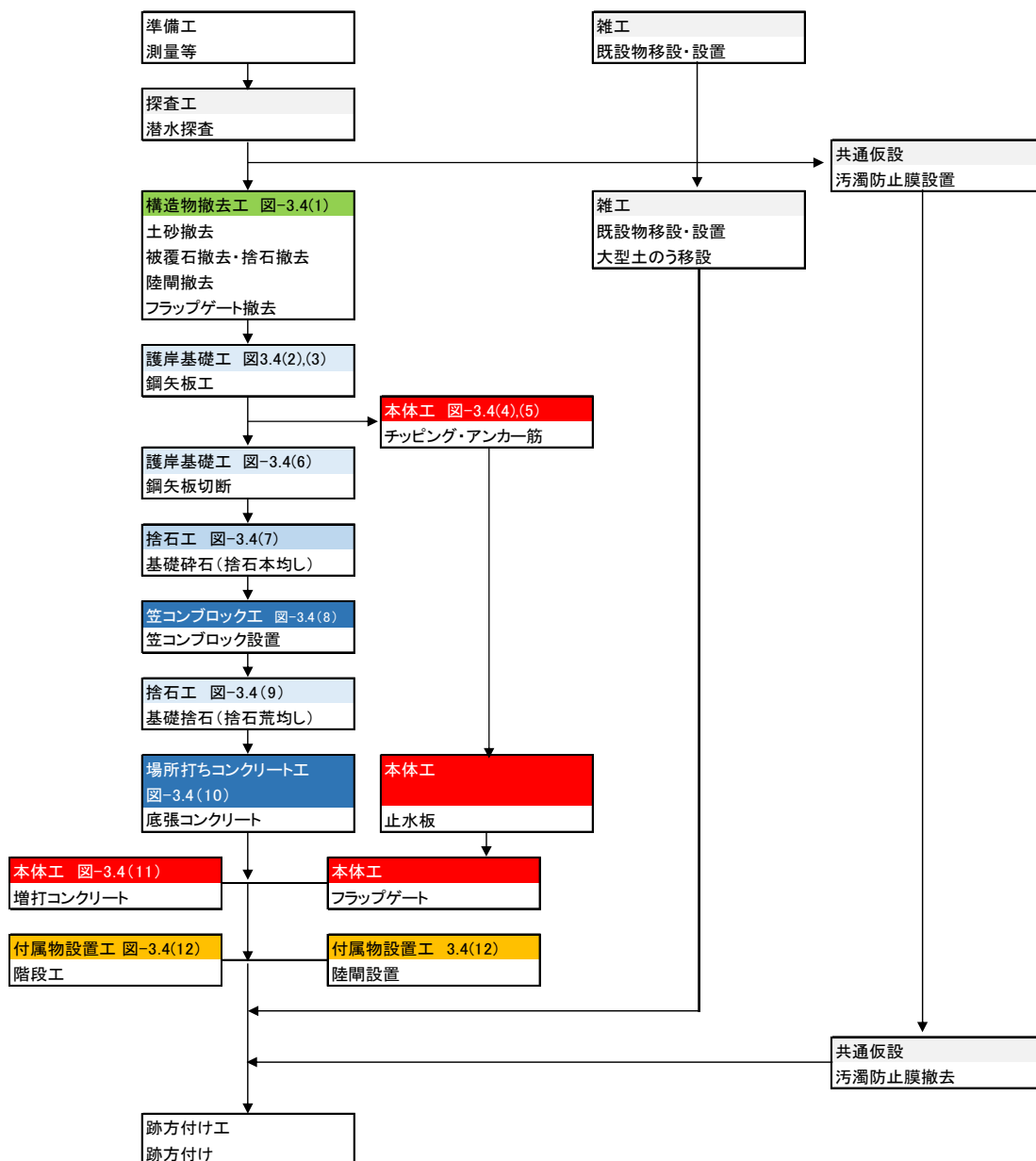


図-3.3 腹付け工法の施工手順

(4) 護岸基礎部の施工

鋼矢板切断後、基礎砕石の投入をクレーン付台船で行う。図-3.4(7)には、基礎砕石本均しの施工状況を示す。基礎砕石は、再生クラッシャーラン(RC-40)を使用する。基礎砕石投入後に、本均しを施工し、所定の高さに仕上げる。出来形管理は、天端面本均し ± 5 cm(国土交通省港湾局, 2015)とし、天端面は場所打ちコンクリートを打設するため、均し精度の確保に注意して施工する必要がある。

基礎砕石本均し後に、笠コンクリートブロックを鋼矢板の上部に据付を行う。図-3.4(8)は、笠コンクリートブロックの据付状況を示す。笠コンクリートブロック(H500×B700×L2000)は、プレキャスト鉄筋コンクリート製品で、塩害対策仕様として工場製作を行う。笠コンクリート据付に先立ち、調整金具を鋼矢板天端に設置する。調整金具設置後、中詰コンクリートの漏洩を防止するため、基礎砕石上に漏洩防止シートを敷設する。漏洩防止シートは、ポリエステル製不織布を使用する。

漏洩防止シート敷設後に笠コンクリートブロックを鋼矢板天端上に据付する。据付は、クレーン付台船(45t吊)を使用し、潜水士にて行う。据付後に、ブロック間をジョイントボルトにて緊結する。

笠コンクリートブロック据付後、中詰コンクリートを打設する。コンクリートは、水中不分離性コンクリートを使用する。配合はセメントの種類高炉B種、設計基準強度18 N/mm²、スランブフロー45 cm、粗骨材の最大寸法が20 mm、水セメント比60%とした。コンクリート打設は、笠コンクリートブロックの隙間や底部よりコンクリートが流出していないか監視を行い、異常がないことを確認しながら打設する。打設中は、ポンプ配管の先端を圧送圧力により動揺しないよう固定し、コンクリートの落下高さが50 cm以下となるように注意して打設をする。

中詰コンクリート打設後には、笠コンクリートブロックのコーナー部分を場所打ちコンクリート(水中不分離性コンクリート)打設で行う。コンクリートの配合は、中詰コンクリートと同様である。型枠は、合板パネルまたはメタルにて組立てを行う。完成したコンクリート構造物の位置、形状および寸法が確実に確保できるよう正確に組立てを行うことに注意する。また、パネルの継ぎ目はモルタル分が漏れないように隙間なく鋼棒セパレーターにて締め付けて、堅固に組立てる。型枠の取り外し時期は、初回打設時に供試体を脱枠確認用として採取し、コンクリート標準示方書で規定している圧縮強度に達したら取り外しを行う。

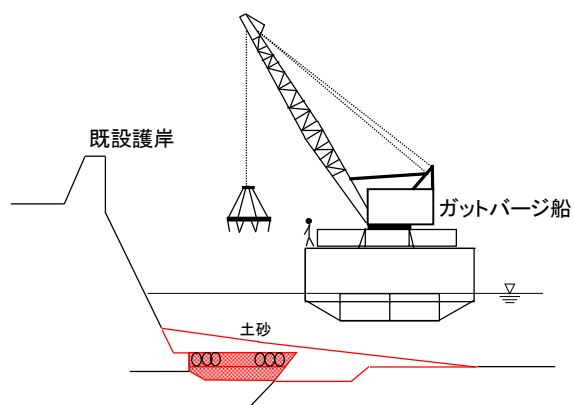


図-3.4(1) 土砂・被覆捨石・捨石撤去

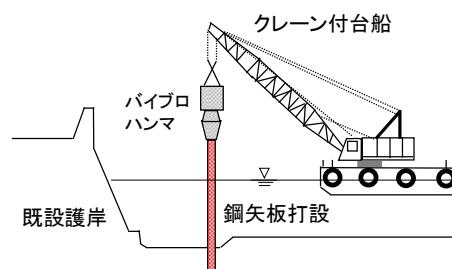


図-3.4(2) 鋼矢板打設

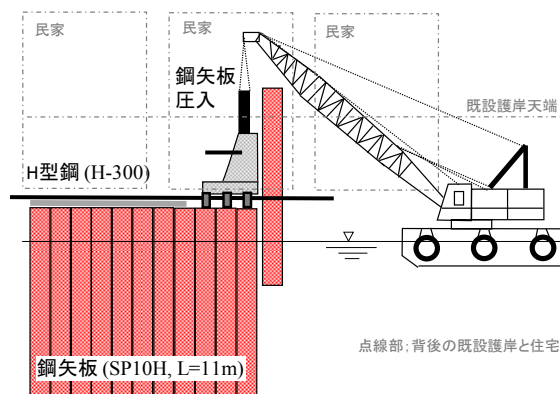


図-3.4(3) 鋼矢板打設(横断方向)

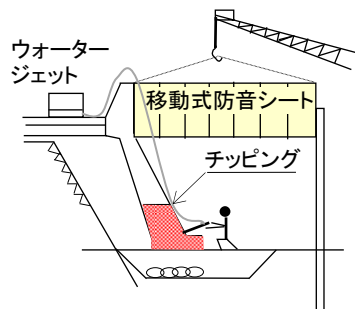


図-3.4(4) 既設護岸表面のチップング

笠コンクリートブロック設置後に、基礎捨石の投入、均し作業を行う。基礎捨石は、既設物撤去の捨石撤去した捨石（10～100kg/個）を流用する。基礎捨石の投入は、**図-3.4 (9)** に示すように、クレーン付台船（45t 吊級）で投入を行い、荒均しは、±30cm の精度（国土交通省港湾局，2015）で施工を行う。

基礎捨石荒均しの施工後は、底張部分の場所打ちコンクリート打設を行う。コンクリートの配合は、笠コンクリートブロック中詰と同様とした。打設に先立ち、底張コンクリートの流出を防止するため、基礎砕石上に漏洩防止シート（ $t=4.2\text{mm}$ ）を敷設する。**図-3.4 (10)** には、底張コンクリート（水中不分離性コンクリート）の打設状況を示す。水中部の打設は、潜水士が行う。

(5) 護岸本体増しコンクリート部の施工

コンクリート打設は、水中部 1 回、陸上部 2 回の 3 段階で打設を行う。**図-3.4 (11)** には、増しコンクリートの施工断面図を示す。1 段目と 2 段目の間には、付着性を高めるため、ホゾの形状としている。1 段目の打設終了後、排水管とフラップゲートの取り付けを行う。

水中部のコンクリートは、水中不分離性コンクリートにて行い、配合は笠コンクリートブロックの中詰コンクリートと同様である。陸上部のコンクリート配合は、セメントの種類が高炉 B 種、設計基準強度 18 N/mm^2 、スランプ 12 cm 、粗骨材の最大寸法が 25 mm 、水セメント比 65% とした。コンクリート打設は、作業ヤードにコンクリートポンプ車を設置して配管を行い、アジテーター車を配置して打設を行う。コンクリートの締め固めは、高周波バイブレーターを使用し、1 層の打設高さを 50 cm 以下として、均等に打設を行う。陸上部の天端養生はコンクリート構造物の露出面にマットを使用して保温・保湿状態を保持する。

本体部での増しコンクリートの打設後に、階段部分のコンクリートを打設する。本体増しコンクリートの上部を、電動ドリルで削孔して、削孔時に発生する孔内の粉は、エア等で清掃後にアンカー筋(D16 SD295)を施工する。型枠組立時に陸間の戸当り装置を設置し、アンカーボルトにて締め付け、堅固に組み立てコンクリートを打設する。コンクリートの打設は、増しコンクリート打設と同様の方法で行う。型枠解体後に陸間門の戸当たり装置に扉体装置を設置する。階段コンクリートと、陸間設置状況を**図-3.4 (12)** に示す。

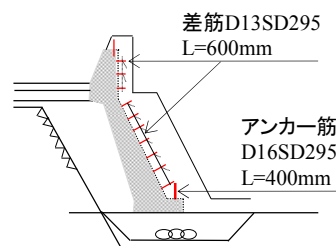


図-3.4 (5) アンカー筋・差筋の設置

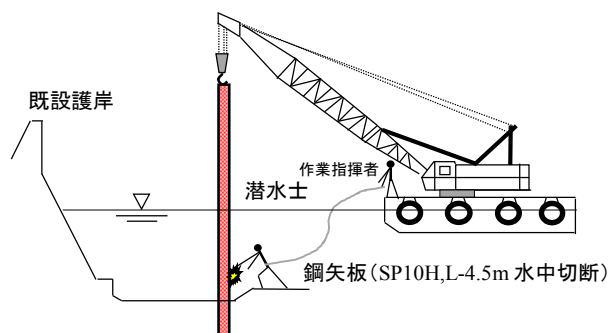


図-3.4 (6) 鋼矢板切断

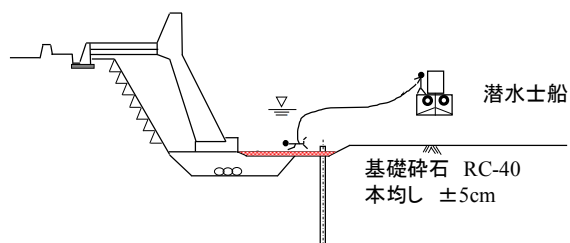


図-3.4 (7) 基礎砕石本均し

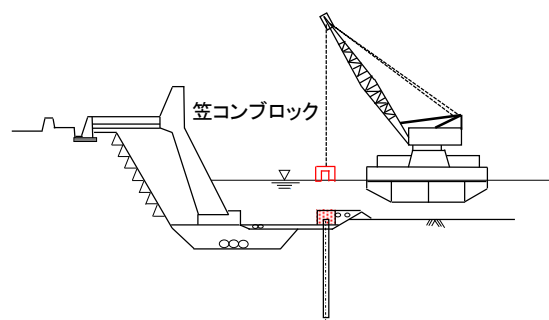


図-3.4 (8) 笠コンブロック据付

3.7 既設防潮護岸を活用した改良・補修する際の留意事項

改良対象区域の条件設定（3.1節）、設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項（3.2節）に対応できる工法として腹付け工法を設定した。既設護岸の断面形状は、高潮に対する天端高不足と現地の地盤条件から耐震性を有していない断面形状であった。

現地条件からの制約は、既設護岸背後に住宅があり、用地買収が出来ないため、陸上部に作業スペースが確保できないことである。そのため、既設護岸水域側への改良・補修を前提とした断面形状を検討しなければならなかった。

改良・補修対象区域は、河口域に位置し、上流部での水位上昇が生じないように河床幅を極力狭めない条件で、断面形状と施工手順の検討が必要であった。

本節では、断面形状を検討する際の視点、改良工法を検討する際の視点、施工手順を検討する際の視点における留意事項の抽出・整理を行った。なお、これらの留意事項は本ケースでの条件のみあてはまる内容であることに留意が必要である。

(1) 断面形状を検討する際の視点

改良・補修工法検討の視点（3.5節）における結果から、断面形状を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した既設護岸は、老朽化に伴う吸出しと、護岸表面にひび割れが生じていた。そのため、吸出し防止対策は、基礎捨石下部へ鋼矢板打設による補強、ひび割れ対策は、表面補修を前提とした条件で断面形状の検討を行うことが必要である。

本ケースは、既設護岸の静的安定性確保されていないという条件であった。そのため、改良断面を検討する際には、鋼矢板打設や増しコンクリート打設により静的安定対策の対応を検討する必要がある。

本ケースは、高潮に対する天端高が不足しているという条件であり、天端面の嵩上げが必要であった。改良断面形状検討の際には、増しコンクリート打設に伴う既設護岸の安全性を照査することが重要であると考えられる。

(2) 改良工法選定の視点

改良・補修工法検討の視点（3.5節）における結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

既設護岸背後に住宅が密集しており、陸上部で用地買収ができないという制約条件がある場合は、既設護岸の水域側への改良・補修ができる工法で対応することが必要である。

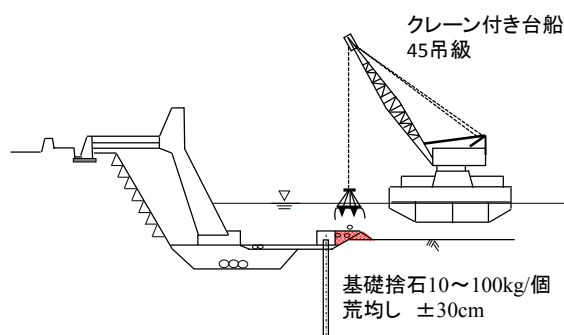


図-3.4 (9) 基礎捨石投入

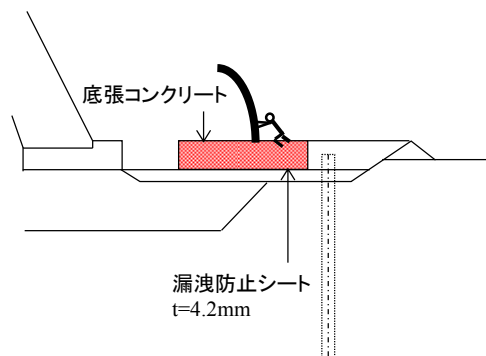


図-3.4(10) 底張コンクリート打設

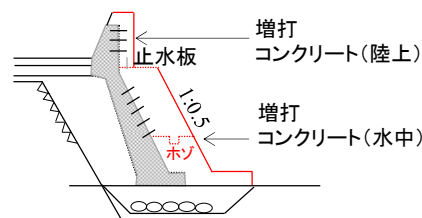


図-3.4(11) 増しコンクリート

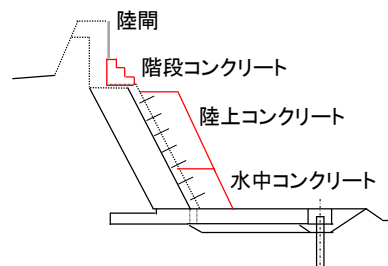


図-3.4(12) 階段コンクリートと陸間設置

施工区域が狭隘な場所かつ、水域利用による制約条件がある場合は、小型の施工重機、資材を使用する工法で対応する必要がある。

改良・補修区域が、河川の下流域に位置する場合は、上流部で水位上昇が生じないように、改良断面が現況河床幅を極力狭めない工法を検討することが必要である。例えば、既設護岸水域側へ増しコンクリート打設する工法を検討する際には、補修後に断面積が広がらないよう工夫することも考えられる。

既設護岸を活用して改良・補修を行う場合は、既設護岸のコンクリートと新設するコンクリート部の付着が十分に確保できる施工方法を検討することが必要である。例えば、既設護岸の表層をチップング後に、削孔部を清掃した上で、アンカー筋の施工が対応方法として考えられる。

(3) 施工手順からの視点

改良・補修工事の施工手順における(3.6節)結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

吸出し防止用の鋼矢板は、腐食防止のため笠コンクリートブロックで保護することが必要である。笠コンクリート間に隙間が生じないようにジョイントボルトにてブロック間を緊結することに注意が必要である。

笠コンクリートの中詰コンクリート打設は、水中部作業であるため、基礎砕石天端面に漏洩防止用のシートの敷設により、コンクリートの漏洩がないよう施工管理には注意が必要である。同時に、既設護岸水域側の水質にも影響がないように注意が必要である。

基礎砕石天端面均し作業は、天端面上部に底張コンクリートと、護岸本体に増しコンクリートを打設する。そのため、出来形確認の際には、均し精度(±5 cm)を確保することが重要である。均し精度の出来によって、本体増しコンクリート部分の出来形に影響を与えるため、施工管理には注意が必要である。

既設防潮護岸への増しコンクリート打設に先立ち、既設護岸表面部を高圧洗浄して浮骨材等を完全に除去することが必要である。既設部分と新設部分でのコンクリートの付着を確保するため施工管理には十分注意する必要がある。

既設防潮護岸へのアンカー筋打設の際には、削孔時に発生する孔内の粉はエアで清掃後に、アンカー筋を施工する。削孔後の孔内処理は、鉄筋とコンクリートの付着性に影響する。そのため、施工管理は十分注意する必要がある。

4. 既設防潮壁の嵩上げと表面補修を行う場合での断面形状・施工方法の検討

4.1 改良対象区域の条件設定

本章では、既設防潮壁の嵩上げと表面補修を行う場合での断面形状・施工方法のケーススタディーを行なった。改良・補修対象とする防潮壁の条件を下記の通り設定した。

対象区域は、静穏な港湾域の内湾部にある水路に位置している。過去に台風による大規模な高潮による被害を被ってきており、高潮が発生すると、港内水位の上昇により浸水のおそれがある場所である。既設構造物が老朽化しているため、改良・補修を行う必要がある。図-4.1には、改良対象とした既設防潮壁の平面位置図と現況構造物の断面図を示している。改良・補修は、当該地区で想定される台風時の設計潮位よりも、天端高さが低いため、防潮壁の天端高さを確保する必要がある。そのため、高潮による浸水対策と老朽化対策ができる改良・補修の断面形状の検討を行うこととする。

4.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項

(1) 現地条件からの制約

本ケースで設定した現地条件から制約事項を抽出する。既設防潮壁の海側は、水路に面しており、既設防潮壁の背後には、近接した場所に倉庫、駐車場、住宅がある。そのため、仮設足場の設置スペースに制限がある。そのため、この制約条件に対応した工法を検討しなければならない。施工に際して、工事に関する関係者が多いことから、工事着手前には、工事内容の事前調整が必要となる。

(2) 既設防潮壁断面形状からの制約

第一の条件は、高潮に対する既設防潮壁の天端高さの不足への対応である。当該地区で想定される設計潮位に対して、天端高さが不足している。そのため、改良・補修する断面形状を設定する際には、既設防潮壁の嵩上げを検討しなければならない。その際には、既設防潮壁の嵩上げによる安全照査も併せて検討する必要がある。

第二の条件は、既設構造物の老朽化に伴うひび割れへの対応である。既設防潮壁本体部には、クラックによるひび割れがみられている箇所がある。そのため、改良・補修する断面形状を設定する際には、ひび割れ補修に対応できる工法を検討しなければならない。

4.3 設計条件の一覧

本ケースでの防潮壁の計画条件、利用条件、自然条件は、以下の通り設定した。

(1) 計画条件

- ・現況構造形式
杭式・L型形式、天端高 5.66 m、海側地盤高 1.56 m
- ・防潮壁の天端高
+6.0 m と設定。

(2) 自然条件

- ・設計潮位
設計高潮位：+5.43m
H.W.L+2.6m
L.W.L+0.0m

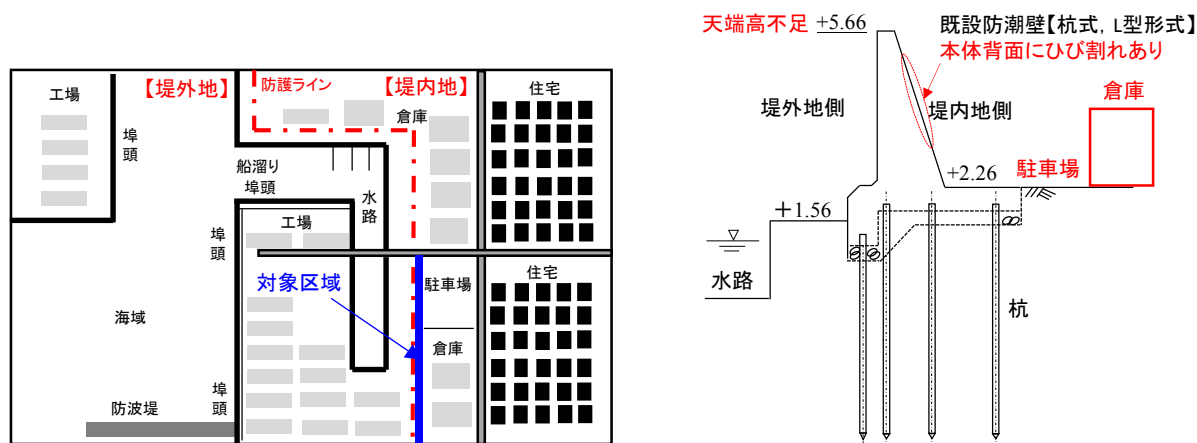


図-4.1 改良・補修対象とした防潮堤の平面位置図と断面図

・設計波等

H=0.64 m, T=4.0 s

4.4 改良・補修工法検討の視点

改良・補修工法は、考えられる構造断面形状の中から、4.2節の制約事項や、本ケースでの適用性を考慮すると、以下の対策に対応できる工法でなければならない。高潮対策として既設防潮壁嵩上げによる対応、老朽化対策は、ひび割れ補修の対応ができることが必要である。そこで、以上の条件を満たすことができる断面形状の中から嵩上げ・補修工法を抽出した。表-4.1には、嵩上げ・補修工法の概要、標準断面図、工法の特徴を示している。

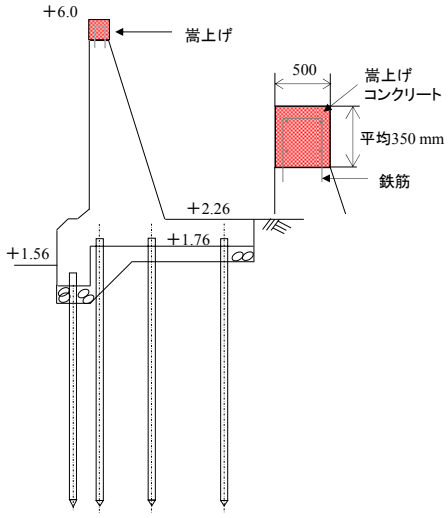
断面形状の検討段階での観点は、防潮壁の高潮対策として天端高嵩上げが必要となる。それに伴い、既設防潮

壁の安定性照査が必要となる。防潮壁の老朽化対策は本体部のクラック進行対策が必要となる。施工段階での観点は、簡易な工法かつ施工性の良さがあげられる。防護ラインの確保についても検討が必要である。既設防潮壁への嵩上げコンクリート打設方法についても検討する必要がある。また、背後域の倉庫・民地への影響についても検討が必要な視点である。維持管理の観点からは、クラック補修後の点検や、嵩上げ後の天端高さ管理の視点があげられる。

(1) 嵩上げ・補修工法

嵩上げ・補修工法は、既設防潮壁の嵩上げと本体部のクラックを補修する工法である。施工は、既設防潮壁の天端表面部を処理し、鉄筋コンクリート構造でコンクリ

表-4.1 嵩上げ・補修工法の特徴

対策工法		嵩上げ・補修工法
工法概要		既設防潮壁の天端面を、鉄筋コンクリートで嵩上げを行うとともに、防潮壁本体表面に発生しているクラックをシリコンシーリング材を用いて補修する工法。
標準断面図		
断面	防潮壁の高潮対策(天端高不足) 防潮壁の老朽化対策	既設護岸から、計画天端面(+6.0m)まで嵩上げを行い対応する。 本体部のクラックは、シリコンシーリング材を用いて補修する。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工中の防護ラインの確保 既設防潮壁への嵩上げコンクリート打設 背後域の住宅・民地への影響	工種が少ない工法のため施工性は良い 既設防潮壁を残すため、施工中は防護ライン確保が可能。 天端面の処理を行ったあと、コンクリートを打設 騒音・振動による影響は少ない。
維持	クラック補修 改良した防潮壁の管理	補修後に、異常がないか定期的に調査が必要。 補修後に、本体部の沈下がないか定期的に調査が必要。

ートの打設を行う。クラックの補修は、シリコンシーリング材を用いて補修する。

断面形状の検討段階での観点から本工法の特徴をみると、天端高の不足による高潮対策は、既設防潮壁から計画天端面まで嵩上げすることで高潮による浸水防止機能を有することができる。既設防潮壁の老朽化対策は、クラック部分にシリコンシーリング材を注入することでひび割れの進行防止機能を有することができる。

施工の観点から本工法の特徴をみると、本工法は、嵩上げコンクリート打設とクラックの補修が主要な工種である。工種が少なく、工程も単純であることから施工性は良いといえる。施工中の防護ライン確保は、既設防潮壁を残したまま改良・補修を行うため、確保が可能である。既設防潮壁の嵩上げは、天端面の研り後に、コンクリート打設することで対応する。背後域の住宅・民地への影響は、騒音・振動による影響は少ないが、仮設足場を設置するための用地の確保が必要となる。足場の占有面積はできるだけ少なくする方法を検討する必要がある。

維持・管理の観点からみると、クラックの補修箇所は、シーリング部分に異常がないか定期的に調査を行うことが重要である。改良・補修した防潮壁の管理は、本体部の沈下の有無を調査し、高潮対策の機能が確保されていることを定期的に確認が必要である。

(2) 改良構造断面の設定

改良・補修の構造断面形状を設定するにあたり、本検討におけるケーススタディーは、改良・補修の条件を設定しているため、実際の改良・補修のすべてにあてはまるものではないことに留意が必要である。

4.2 節で設定した現況の断面形状からの制約事項である、高潮に対する天端高さの不足への対策、老朽化によるひび割れ対策に対応機能を有することが改良・補修時での必須条件である。表-4.1 に示した断面形状、施工、維持管理の観点から長所・短所を抽出し、改良・補修工法を検討したところ、本ケースにおける防潮壁の改良・補修では、「嵩上げ・補修工法」で改良・補修工法を設定した。

図-4.2 (1) には、本ケースで設定した改良・補修後の構造断面図を示す。図-4.2 (2) には、嵩上げ部分の側面図を示す。嵩上げ工の構造形式は、鉄筋コンクリート構造による改良・補修である。コンクリートの配合は、呼び強度 24N/mm²、セメント種類が高炉 (B 種) とした。鉄筋は、SD295A D13 とした。

計画天端高は +6.0 m と設定した。嵩上げ部分の断面形状は、天端幅 500 mm、高さは平均高さ 350 mm と設定し

た。以上のおり改良・補修構造断面 (嵩上げ・補修) の設定を行った。

4.5 改良・補修工事の施工手順

改良工事の着手に際して、施工時の資機材の調達、工事期間中の安全管理や工程管理の観点から施工手順を事前に計画することが必要となる。4.4 節で設定した嵩上げ・補修工法の施工手順のフロー図を図-4.3 に示すとともに、代表的な施工内容を選定し、各工程段階での施工手順の内容を図-4.4 (1) ~ 図-4.4 (4) に示した。図中の着色部は対象としている施工箇所を示す。

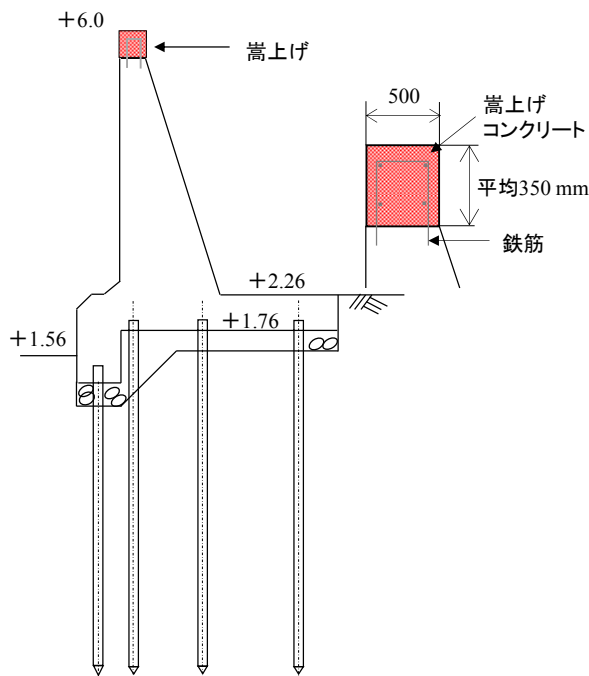


図-4.2 (1) 改良・補修断面形状の設定 (嵩上げ・補修工法)

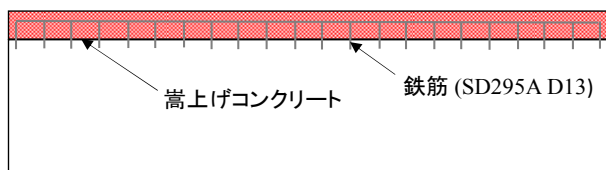


図-4.2 (2) 嵩上げ部分の側面図

(1) 着手前の準備

工事着手の前に、近隣の管理用基準面の確認や工事用基準点の設置を行い、現況の状況を把握するため事前測量を行う。その際に、現況の天端面高さや、クラックの規模等の詳細調査を行うことに注意する必要がある。

事前測量の結果、原状不一致が生じた場合は、コンクリートの打設量や、クラック補修内容等、速やかに対策を検討することが必要である。また、背後地が狭隘な場所であることから、工事場所、資機材等保管場所、工事車両等運搬経路等における公益専用物件等の事前調査を実施し、占用物件の実態を把握するとともに、安全管理の観点から工事実施中の事故防止対策を検討する。

また、既設護岸背後には、住宅が密集していることか

ら、工事実施前に事前説明を行い、工事が円滑に実施できるよう事前調整が必要である。なお、施工区域は、鉄筋柵（H=1.1 m、トラロープ2段）の設置を行う。

(2) クラック補修

図-4.4(1)は防潮壁背面のクラック補修図を示す。施工に先立ち、目視及びクラックスケール等にて検閲を行い、クラックに沿ってマーキングをして補修範囲を確定させる。

施工範囲を確定させた後にUカットを行う。Uカットは、クラックに沿って、ディスクカッターにてUカットを行う。ディスクカッターには、集塵装置を取り付け、カットに時発生するコンクリート粉が飛散しないように施工には注意する。

クラック部分をUカット溝内の切粉をワイヤーブラシ等にて除去を行う。溝内を清掃した後に、プライマーを刷毛でUカット溝内へ均一に塗布を行う。

プライマーの塗布が終了後、シーリング材の充填を行う。補修範囲に沿って養生テープを張り、シーリング材は、コーキングガンを使用してUカット溝内へ充填する。その際、Uカット部分にシーリング材が確実に充填されるよう注意して施工する必要がある。

図-4.4(1)に示すように、シーリング材の充填した後、シール表面の仕上げを行う。シーリング材表面が指触硬化する前にヘラを使用し十分に抑えて平滑に仕上げを行う。シール材の表面が指触硬化する前に養生テープを除

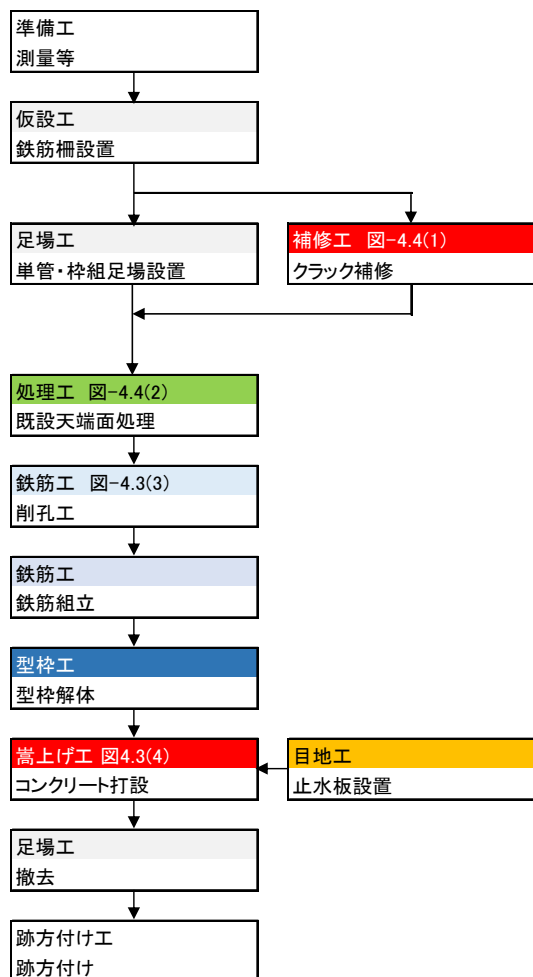


図-4.3 嵩上げ・補修工法の施工手順

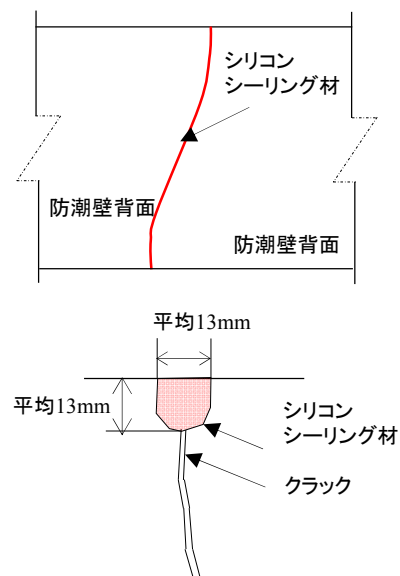


図-4.4(1) 防潮壁背面のクラック補修図

去する。シール材表面の仕上げを人力作業で行うが、仕上げ面の出来形管理は、補修後の機能確保に影響するため、精度よく仕上げるように施工することが重要である。

(3) 天端面の処理とコンクリート削孔

既設防潮壁の天端面は、5.66 mであるため、嵩上げする際には足場の設置が必要である。仮設足場は、図-4.4 (2) に示すように、既設防潮壁の海側には、枠組足場を設置し、陸側背後には単管パイプによる作業用足場を設置する。

足場設置後に、水準測量で現況の天端高を確認するとともに、目地部や変化点の高さを測量し、既設防潮壁のコンクリート研り深さを決定する。研りをする範囲（深さ）にそって、既設防潮壁にスミ出しを行う。

既設防潮壁へのスミ出し終了後、天端面コンクリートの研りを行う。図-4.4 (2)には、天端面の処理と削孔状況を示している。研りは、深さにより削岩機の種類を変える。表面部の研りは、チッパー及びピックハンマーで行い、それ以外の部分はハンドブレーカーを使用する。研りの範囲が10 cmを超えるような箇所は、横方向から、ジャックハンマーにて削孔して、セリ矢での取り壊しを行う。研り作業で発生したコンクリート殻は、これらの作業を人力で行うが、研りの範囲を確実に除去することに注意が必要である。

天端面の研りが終了後に、鉄筋配筋図のとおり削孔する箇所の位置出しを行う。削孔前にハンマードリルのピット部には、深さ確認用のマーキングを行う。その後ハンマードリルにて、マーキングした深さまで削孔を行う。削孔後に孔内に残った粉は、エア等で清掃を確実にを行い、検測器具にて削孔深さの出来形確認を行う。鉄筋を既設防潮壁に所定の深さで設置することが、嵩上げ工法では重要な施工工程である。そのため、深さの確認は確実に管理することが既設部と改良部を一体化させる上で重要である。

削孔と清掃が終了後に、鉄筋組立を行う。図-4.4 (3)には、鉄筋組立の状況を示す。組み立てに先立ち、鉄筋を清掃し、浮き錆などを除去する。鉄筋交点の要所を結束線にて固定し、鉄筋の組立て時には所定かぶり厚さが確保されているかを確認する。なお、スペーサを使用する場合はコンクリート製のものを用いる。鉄筋の継手箇所は同一断面に集まらないように千鳥配置にするように施工する。

(4) 嵩上げコンクリートの打設

型枠は、鉄筋コンクリート構造物の位置及び、形状寸

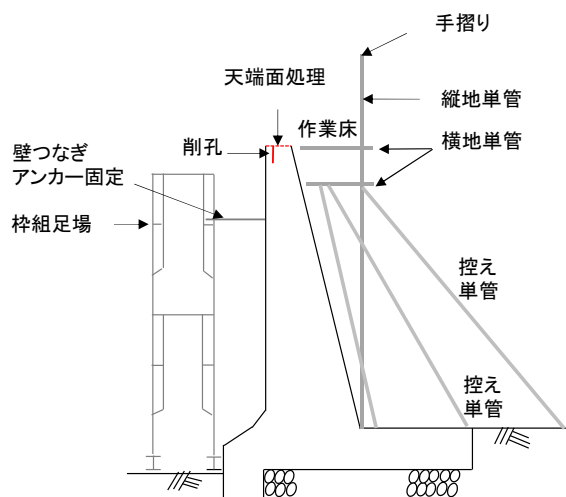


図-4.4 (2) 既設部の天端面処理，削孔

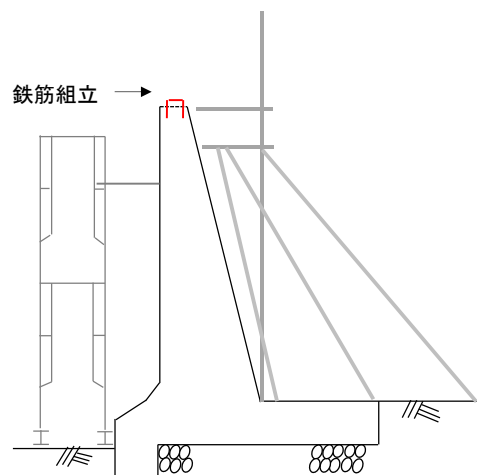


図-4.4 (3) 嵩上げ部の鉄筋組立て

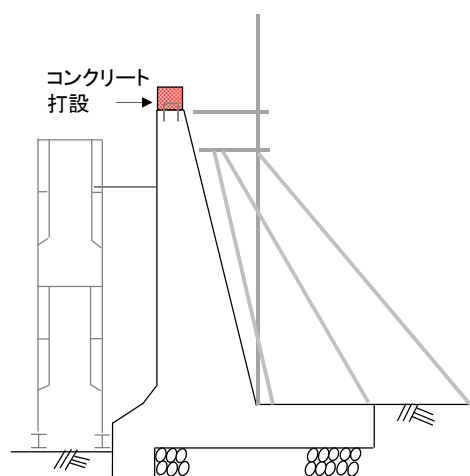


図-4.4 (4) 嵩上げコンクリートの打設

法を正確に確保するため、コンパネ材を使用する。型枠及び支保工はボルト・棒鋼等の締付け材を使用し、堅固に組立てる。型枠内部には、脱型時の仕上がり面を保つため、剥離剤を塗布する。目地材と止水板は、既設防潮壁の目地に合わせて設置を行う。

型枠設置後に、嵩上げコンクリートの打設を行う。打設には、コンクリートポンプ車を使用する。コンクリートの配合は、セメントの種類が高炉 B 種、設計基準強度 24 N/mm² とする。嵩上げコンクリート打設状況を図-4.4 (4) に示す。

コンクリートの打設中は、ポンプ配管の先端を圧送圧力により動揺しないよう固定し、コンクリートの落下高さが 50 cm 以下となるように注意して打設をする。なお、打設作業中に型枠のずれ、浮き上がり、目地材・止水版の離れ、鉄筋の変形等が行わないように作業する。締固めはバイブレータでおこない、仕上げ面の締固めが完了した後に、規程の高さに均しコンクリート表面に染み出た水がなくなるのを待ち、金コテにて天端面の仕上げを行う。コンクリートの露出面を養生シートにて覆い、湿潤状態を確保する。

型枠の取り外し時期は、初回打設時に供試体を脱枠確認用として採取し、コンクリート標準示方書で規定している圧縮強度に達したら取り外しを行う。なお、型枠の組立時に使用した締め付け材の穴等はモルタル材を使用して補修・仕上げを行い出来形を確認することが必要である。

4.6 既設防潮壁の嵩上げと表面補修する際の留意事項

改良対象区域の条件設定 (4.1 節)、設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項 (4.2 節) に対応できる工法として既設防潮壁の嵩上げ・表面補修工法を設定した。既設防潮壁の断面形状は、高潮に対する天端高不足と老朽化のため防潮壁本体へクラックが発生している断面形状であった。

既設防潮壁の海側は、水路に面しており、既設防潮壁の陸側の背後には、近接した場所に倉庫、駐車場、住宅があり、関係者が多い。そのため、嵩上げの施工時には、仮設足場の設置スペースに制限があり、これらの条件に対応できる施工方法を検討しなればならなかった。

本節では、断面形状を検討する際の視点、改良・補修工法を検討する際視点、施工手順を検討する際の視点における留意事項の抽出・整理を行った。なお、これらの留意事項は本ケースでの条件のみにあてはまる内容であることに留意が必要である。

(1) 断面形状を検討する際の視点

改良・補修工法検討の視点 (4.4 節) における結果から断面形状を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した既設防潮壁では、高潮時の天端高不足への対策が必要であった。嵩上げに対する既設防潮壁の安全性の照査を行い、計画天端面までの嵩上げによる改良を前提とした条件で断面形状の検討を行う必要がある。

既設防潮壁は、老朽化に伴い、防潮壁本体部にクラックが生じていた。クラックの深さや長さに適合した表面補修を前提とした条件で断面形状の検討を行うことが必要である。

(2) 改良・補修工法を検討する際の視点

改良工法検討の視点 (4.4 節) における結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

防潮壁本体にクラックが発生している場合の補修工法選定は、クラックの深さや長さを詳細に調査するとともに、補修効果を持続させるためにも、構造物の塩害状況も確認した上で改良・補修工法で対応する必要がある。

既設防潮壁の天端面を嵩上げする場合は、既設部コンクリートと嵩上げ部分のコンクリート付着性が確保できる工法で対応する必要がある。

(3) 施工手順からの視点

改良・補修工事の施工手順 (4.5 節) 結果から以下のように留意事項を抽出・整理した。

既設防潮壁のクラック補修は、シーリング材と既設部分のコンクリートとの間の付着性に大きく影響する。U カットによる切削処理作業とカット後の溝部分に粉塵を残さないように清掃を行うことに注意が必要である。

シーリング材充填後の表面仕上げ面は、出来形管理に注意が必要である。この施工の精度により、補修箇所の機能に影響することから施工管理には十分な注意が必要である。

既設天端面を研り処理する際には、研り作業を確実に行うとともに、削孔部の深さ確保と清掃を確実に行うように注意しなければならない。削孔後の孔内の処理作業は、差筋と新設コンクリート間の付着性に影響するため、施工管理は十分に注意する必要がある。嵩上げ改良部と既設部との接合部は、高潮発生時の波圧に対して弱点となりやすい部分である。嵩上げ改良部分と既設部分の接合を図ることが必要であることから、接合部での各作業の施工管理は重要であると考えられる。

5. 既設防潮壁直下を改良する場合での断面形状・施工方法の検討

5.1 改良対象区域の条件設定

本章では、既設防潮壁直下を改良する場合での断面形状・施工方法のケーススタディーを行なった。改良・補修対象とする防潮壁の条件を下記の通り設定した。

対象区域は、静穏な港湾域の内湾部に位置している。そのため、台風による高潮被害を被ってきており、高潮が発生すると、港内水位の上昇により浸水のおそれがある場所である。また、対象区域の地盤状況は、緩い地盤上での埋立てによる造成地のため、地震に対して脆弱な場所となっている。今後発生すると予測されている大規模な地震が発生した場合は、液状化が発生するとともに、既設防潮壁の著しい変形や倒壊が生じる。そのため、高潮による浸水被害発生と地震による耐震性の不足が危惧されるため、当該地域では、防潮壁の改良・補修を行う必要がある。図-5.1には、改良対象とした防潮壁の平面位置図と現況構造物の断面図を示している。改良・補修は、既設構造物直下を改良する必要がある。そのため、

高潮による浸水対策と、液状化に対する耐震性を確保できる改良・補修の断面形状の検討を行うこととする。

5.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項

(1) 現地条件からの制約

本ケースで設定した現地条件から制約事項を抽出する。第一の条件は、既設防潮壁海側に舥溜りがあり、小型船舶の利用があるため、海上施工を行う場合は制約がある。そのため、海域の利用を見込んだ施工方法を検討しなければならない。

第二の条件は、防潮壁陸側の背後には、倉庫、住宅が密集しているため、陸上部には、大型重機等を設置するスペースが殆どないことである。また、施工時には地盤水平変位が少なくする必要がある。そのため、作業スペースが少なく済み、地盤の水平変位による影響が少ない断面形状と施工手順を検討する必要がある。なお、既設防潮壁背後には、住宅、工場、倉庫が密集していることから工事着手前には、付近住民等関係者への事前調整が必要となる。

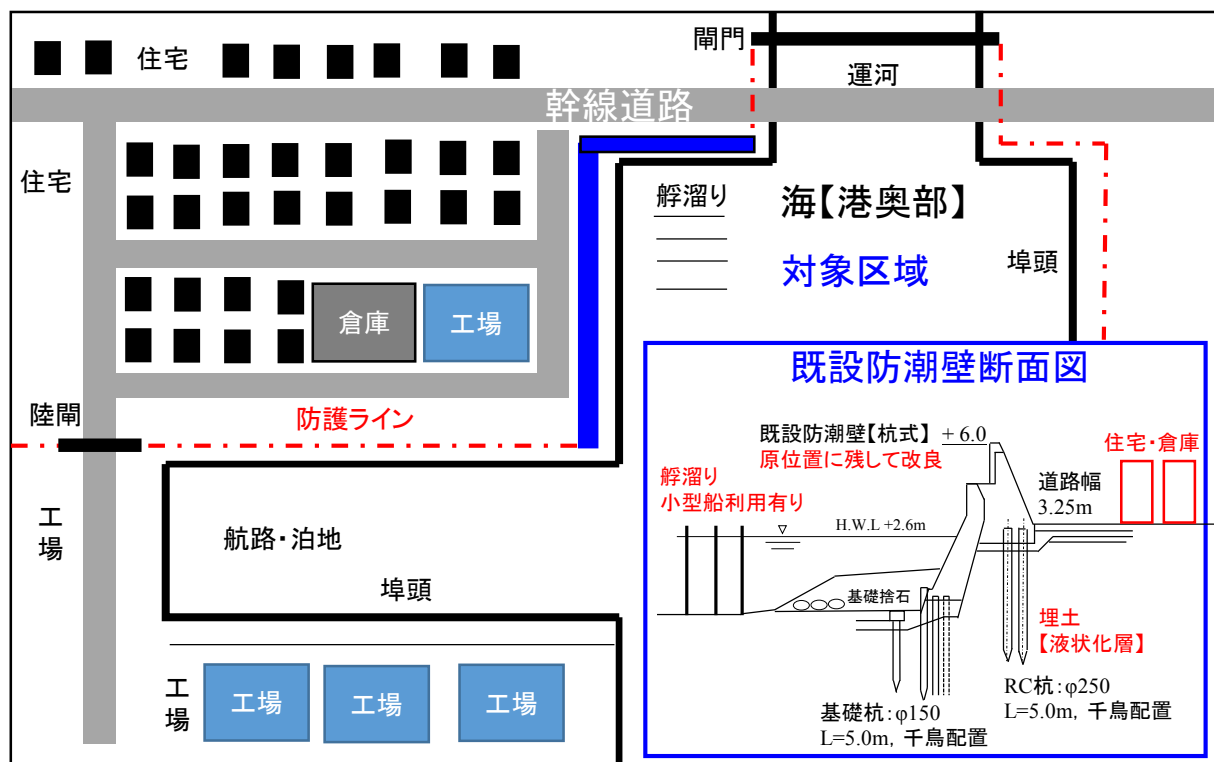


図-5.1 改良対象とした防潮堤の現況位置図と断面図

(2) 既設防潮壁断面形状からの制約

第一の条件は、既設防潮壁本体部を原位置に残したまま改良することである。既設防潮壁は、高潮に対する必要天端高さは確保できている。また、本体部はひび割れ等がないため、本体部での改良・補修の必要がない。ただし、本体部の地震時での安定照査の検討は必要となる。

第二の条件は、既設防潮壁直下の液状化に対する耐震性の不足である。既設防潮壁は杭基礎構造であるため、液状化が発生した際には、基礎杭の支持力が健全な状態で維持する必要がある。そのため、既設防潮壁直下及び基礎杭周辺を耐震補強が可能となる断面形状と施工方法の検討を行なう必要がある。

(2) 自然条件

・設計潮位

設計高潮位：+5.43 m

H.W.L+2.6 m

L.W.L+0.0 m

・設計波等

$H_{1/3}=0.8$ m, $T_0=3.0$ s

・地盤条件

既設防潮壁下端から、約 12 m の範囲がシルト混じり細砂の地層であり、N 値は、0 から 6 の範囲である。この地層部を液状化層として設定した。

5.3 設計条件の一覧

本ケースでの防潮壁の設計条件は、以下の通りである。

(1) 計画条件

・現況構造形式

杭式、天端高 +6.0 m

5.4 改良工法検討の視点

改良工法は、考えられる構造断面形状の中から、5.2 節で設定した制約事項や、本ケースでの適用性を考慮すると、以下の対策に対応できる工法でなければならない地震による液状化対策は、地盤改良による対応。背後域への振動・騒音と水平変位による影響が少ない施工方法

表-5.1 (1) 浸透固化処理工法の特徴

対策工法	浸透固化工法	
工法概要	小型の施工機械で、細い注入管を使用し、浸透性の良い薬液を注入することで、砂地盤の間隙水を恒久薬液に置換する。注入した薬液がゲル化し、粘着力が付加され、地盤のせん断強度を増加させる工法である。既設防潮壁直下の液状化対策が必要な箇所への施工が可能。	
標準断面図		
断面	既設防潮壁直下の地盤改良	浸透固化により、杭基礎周辺まで地盤改良が可能
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工作業スペースの確保 背後域の住宅・民地への影響 地盤の水平変位 海域への影響 施工機器・船舶の調達	基本作業は、陸上から行うため、施工性は良い プラントの設置ヤード(20m×20m)の敷地が必要。 背後道路用地の一時的な占有が必要である。排土処理は必要ない。 騒音・振動による影響はない。 地盤改良による水平変位の影響はない。 海域で施工しないため、影響はない。 小型の施工機械を陸上に配置する。
維持	改良体の品質確認 防潮壁の天端高さ管理	チェックボーリングを行い、改良体の品質(出来形・軸圧縮強度)を確認する。 定期的に、天端高さを水準測量で確認する。

による対応、既設防潮壁の杭周辺への地盤改良による対応が必要である。そこで、以上の条件を満たすことができる断面形状の中から、浸透固化処理工法と排土式深層混合処理工法を抽出した。各工法の概要、標準断面図、工法の特徴を表-5.1(1)～(2)に示している。

断面形状の検討段階での観点は、既設防潮壁直下での液状化による本体部の円形すべり防止対策と、杭基礎部分のせん断変形防止対策への対応が必要である。施工段階での観点は、簡易な工法かつ施工性の良さがあげられる。海上と陸上の施工作业スペース確保は、背後域が狭隘な区域であり、かつ海上での船舶の利用があるため検討する必要がある。背後域の住宅・民地への施工時の影響と、施工に伴い発生する地盤の水平変位による影響を検討しなければならない。海域への影響は、排土による水質への影響を検討しなければならない。さらに、船舶の調達方法も検討しなければならない。維持管理の観点からは、改良体の品質確認のための調査方法や、改良後の防潮壁天端高さ管理の視点があげられる。

(1) 浸透固化処理工法

浸透固化工法は、浸透性の良い薬液を注入することで、砂地盤中の間隙水を恒久薬液に置換することにより粘着力が付加され、せん断強度を増加させる工法である。施工は、小型の施工機械で、細い注入管を使用して薬液を注入する。そのため、既存防潮壁直下の液状化対策が必要な箇所への施工が可能である。（浸透固化処理工法研究会事務局，2016；林ら1999）

断面形状の検討段階での観点から本工法の特徴をみると、浸透固化により、既設防潮壁直下の杭基礎周辺の地盤改良に対応できるため、液状化に対する耐震性機能を有することができる。同時に本体部の円形すべり防止機能も有することも可能となる。

施工段階での観点からみると、本工法の特徴をみると陸上施工で対応するため、海上での潮待ちが発生しないため、施工性は良いといえる。工種についても既設構造物の撤去がない。施工中の防護ライン確保は、既設防潮壁を残したまま改良・補修を行うため、防護ラインの確

表-5.1 (2) 排土式深層混合処理工法の特徴

対策工法		排土式深層混合処理工法【海上施工・台船】
工法概要		台船上に深層混合処理機を搭載し、攪拌軸にスパイラルを装備して、攪拌軸下端より安定材を吐出し攪拌しながら貫入する。改良形式は、格子状。施工に先立ち、海側に鋼矢板を打設による自立土留め壁を設置後に、床掘・捨石撤去を行う。
標準断面図		
断面	既設防潮壁直下の地盤改良	既設防潮壁直下の改良は困難。既設の海側と陸側への改良で対応。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工作业スペースの確保 背後域の住宅・民地への影響 地盤の水平変位 海域への影響 施工機器・船舶の調達	基本作業は、海上から行うため、潮待ちが生じる。捨石撤去の必要あり。 海上に、台船による作業スペースが必要となる。 排土処理が必要。 騒音・振動による影響はない。 地盤改良による水平変位の影響はない。 排土による影響があるため、汚濁防止膜を設置する。 海上施工に必要な船舶・機器を海上運搬により調達する必要がある。
維持	改良体の品質確認 防潮壁の天端高さ管理	チェックボーリングを行い、改良体の品質（出来形・軸圧縮強度）を確認する。 定期的に、天端高さを水準測量で確認する。

保が可能である。施工作业スペースの確保は、プラントの設置ヤード (20 m×20 m) の敷地が必要である。そのため、既設防潮壁背後の道路用地の占有が必要である。本工法は、排土が発生しない施工方法である。背後域の住宅・民地への影響は、既設防潮壁直下に浸透固化薬液を注入するため、背後域への騒音・振動による影響はほとんどない。海域への影響は、陸上施工であるため影響はないといえる。施工機器・船舶の調達は、小型施工機械を道路上に設置する必要がある。ただし、海上施工の工種がないため、船舶の利用はない。

維持管理の観点からみると、地盤改良体の品質確保が重要である。地盤改良の施工終了後には、改良体のチェックボーリングを行い出来形確認をするとともに、改良体から供試体を採取し、一軸圧縮強度を確認する必要がある。

(2) 排土式深層混合処理工法

排土式深層混合処理工法は、深層混合処理により格子状改良体を造成して、液状化層のせん断強度を増加させ

る工法である。施工は、深層混合処理機を使用して地盤改良を行う。施工に先立ち、海側に自立土留め壁を設置後に、床掘を施工して既設部分の基礎捨石を撤去する。

断面形状の検討段階での観点から本工法の特徴をみると排土式深層混合処理工法は、格子状改良体を既設防潮壁の海側と陸側に造成するため、液状化に対する耐震性機能を有することができる。同時に本体部の円形すべり防止機能も有することも可能となる。

施工段階の観点から本工法の特徴をみると、海上施工を行うため、基礎捨石の撤去時には、潮待ち作業となる。施工中の防護ライン確保は、既設防潮壁を残したまま改良・補修を行うため、防護ラインの確保が可能である。施工作业スペースの確保は、海上に台船を設置し深層混合処理機を搭載する必要がある。なお、地盤改良に伴い発生する排土処理のため、排土の仮置き場のスペースと、運搬経路を確保する必要がある。背後域の住宅・民地への影響は、騒音・振動が少なく、既設構造物に近接した施工が可能であるため、騒音・振動による影響はほとんどない。海域への影響は、改良体造成時に排土が発生す

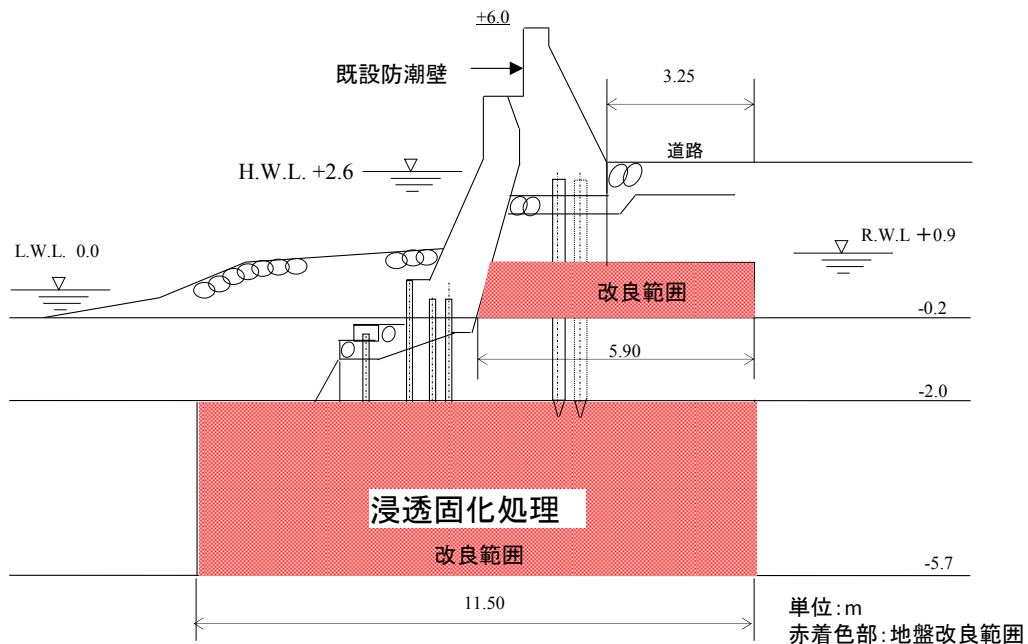


図-5.2 改良断面形状の設定 (浸透固化処理工法)

るため、汚濁防止膜設置による対応が必要となる。施工機器・船舶の調達は、海上作業となるため台船・船舶の回航、艀装の必要がある。

維持管理の観点からみると、地盤改良体の品質確保が重要である。地盤改良の施工終了後には、改良体のチェックボーリングを行い出来形確認をするとともに、改良体から供試体を採取し、一軸圧縮強度を確認する必要がある。

(3) 改良構造断面形状の設定

改良構造断面の形状を設定するにあたり、本検討におけるケーススタディーは、改良・補修の条件を設定しているため、実際の改良・補修のすべてにあてはまるものではないことに留意が必要である。

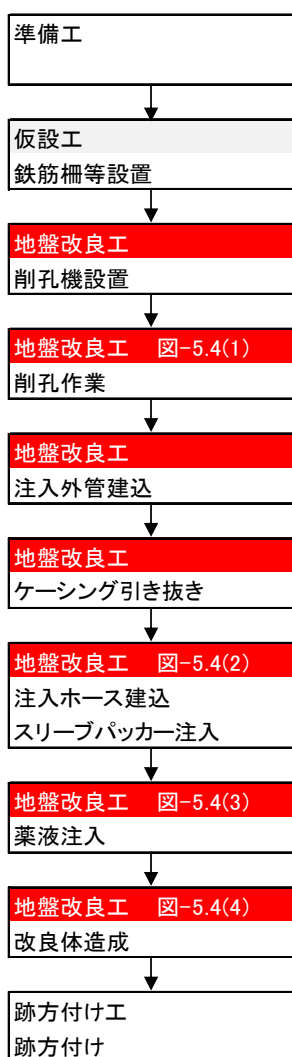


図-5.3 浸透固化処理工法の施工手順

5.2 節で設定した現況の断面形状からの制約事項である既設防潮壁直下及び基礎杭周辺の液状化対策に対して対応機能を有することが改良時の必須条件である。浸透固化処理工法と排土式深層混合処理工法の2工法ともこれらの対策を行うことは可能であった。

浸透固化処理工法は、浸透固化により基礎杭周辺の地盤改良が可能な施工方法である。陸上施工でかつ小型の施工機器で施工が可能であるため、背後のスペースが狭隘な場所でも対応ができる。既設防潮壁直下が施工範囲であるため、地盤改良による背後域への水平変位の影響がない工法である。排土式深層混合処理工法は、深層混合処理により、既設防潮壁周辺部の地盤改良が可能な施工方法である。浸透固化処理工法と比較すると、海上施工となり潮待ち作業があること、基礎捨石撤去等を行う必要があり施工は複雑である。また、施工に必要な船舶・台船等の艀装費用が必要である。地盤改良による背後域への水平変位の影響が少ない工法であるが、排土処理が必要である。維持管理の面では、2工法とも同条件であった。経済性の面では、直接工事費ベースでは大きな差異はないものの、排土式深層混合処理工法は、回航費、艀装費、排土運搬処理費が別途発生する。

表-5.2 に示した断面形状、施工方法、維持管理等の観点から各工法の長所と短所を抽出し、改良工法を検討したところ、本ケースにおける防潮壁の改良では、浸透固化処理工法で改良工法を設定した。

図-5.2 には、本ケースで設定した改良・補修後の構造断面図を示す。既設防潮壁直下の地盤改良は、浸透固化処理方式で行う。既設防潮壁は、直接基礎に近い構造形式である。そのため、改良範囲の設定は、既設防潮壁本体の荷重分散（分散角度 30° ）を考慮するとともに、円弧すべりによる安定照査して設定した。地盤改良幅は、下層部 11.5m、上層部 5.9m と設定し、陸上は、道路部までとした。浸透固化により、既設防潮壁直下の杭基礎周辺部を地盤改良できるため、液状化に対する耐震性機能を確保できる。地震発生時には、本体部の変位、沈下を極力抑えることできる。以上の通り改良構造断面（浸透固化処理工法）の設定を行った。

5.5 改良工事の施工手順

改良工事の着手に際して、施工時の資機材の調達、工事期間中の安全管理や工程管理の観点から施工手順を事前に計画することが必要となる。5.5 節で設定した既設防潮壁直下を地盤改良する施工手順のフロー図を図-5.3 に示すとともに、代表的な施工内容を選定する。各工程段階での施工手順の内容を図-5.4 (1) ~ 図-5.4 (4) に

示した。図中の着色部分は、対象としている施工箇所を示す。

(1) 着手前の準備

工事着手前に、管理用基準面の確認や工事事準点の設置を行い、現況状況を把握するため事前測量を行う。背後地が狭隘な場所であることから、工事場所、資機材等保管場所、工事車両等運搬経路等における公益専用物件等の事前調査を実施し、占用物件の実態を把握するとともに、安全管理の観点から工事实施中の事故防止対策を検討する。

既設護岸背後には、住宅・工場が密集しており、関係者が多岐にわたるケースが多い。そのためにも、関係者には工事实施前に事前説明を行い、工事が円滑に実施できるように事前調整を図ることが必要である。施工区域境には、鉄筋柵 (H=1.1m, トラロープ2段) の設置を行う。

(2) 削孔・注入

所定の注入孔位置に、削孔機を据付け後に、ケーシング (φ100) を所定の深度まで削孔を行う。その際には、削孔位置の十分な精度を確保することに注意が必要である。図-5.4(1)には、既設防潮壁背後でのケーシングによる削孔状況を示している。ケーシングを所定の深度まで削孔した後、ボーリング孔の建込みを行い、図-5.4(2)に示すようにスリーブパッカーを注入する。

スリーブパッカー注入後に、注入ホースから、浸透性の薬液を改良範囲下端部から注入する。図-5.4(3)には、薬液注入の状況を示している。薬液注入の際には、スリーブパッカーを送水圧にて確実に膨らまして施工することに注意が必要である。改良範囲の天端面まで浸透固化処理が終了後、ボーリング孔にセメントベントナイトを確実に注入させ、改良体の造成を行う。図-5.4(4)には、浸透固化処理による改良体造成状況を示す。図中の丸破線の部分は改良体の概念図を示している。

改良体造成後は、防潮壁直下を目視にて視認できない。改良体の品質を確実に管理するため、改良体を任意の箇所で試掘して、一軸圧縮強度試験を行うことが重要である。また、施工完了時には、維持管理の観点から、既設防潮壁の天端高も併せて確認を行うことが必要であると考えられる。

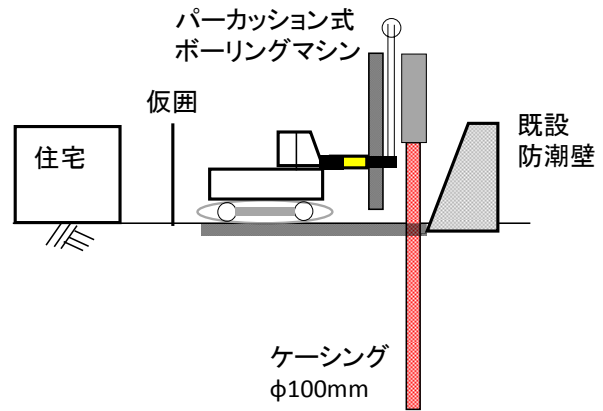


図-5.4(1) 改良範囲の削孔状況

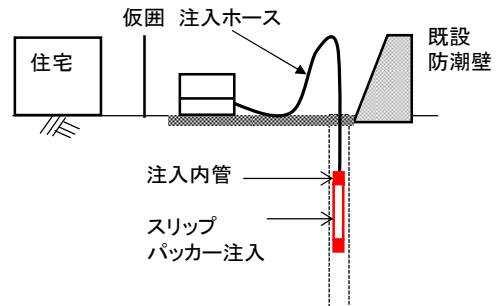


図-5.4(2) スリーブパッカー注入

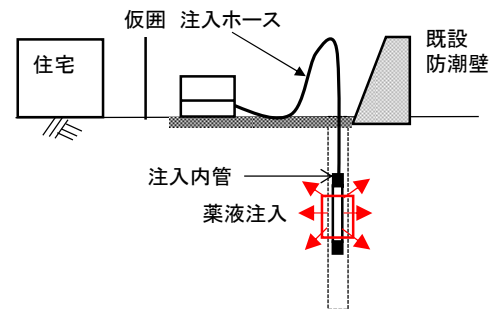


図-5.4(3) 浸透固化薬液の注入

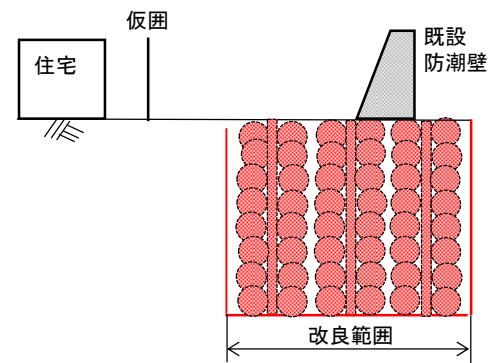


図-5.4(4) 浸透固化処理の地盤改良体造成

5.6 既設防潮壁直下を改良する場合での留意事項

改良対象区域の条件設定（5.1節）、設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項（5.2節）に対応できる工法として、浸透固化処理による地盤改良工法を設定した。既設防潮壁の断面形状は、地震発生に伴う地盤の液状化に対して、耐震性を有していない断面形状であった。現地条件からの制約は、既設防潮壁背後には、倉庫、住宅が密集しているという条件であった。そのため、騒音振動と水平変位の影響が少ない工法を検討しなければならなかった。さらに、既設防潮壁直下の杭基礎周辺を確実に地盤改良による対応をする必要があり、その条件に対応可能な工法を検討しなければならなかった。

本節では、断面形状を検討する際の視点、改良工法を検討する際の視点、施工手順を検討する際の視点における留意事項の抽出・整理を行った。なお、これらの留意事項は本ケースでの条件においてのみ内容であることに留意が必要である。

(1) 断面形状を検討する際の視点

改良工法検討の視点（5.4節）における結果から、断面形状を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した既設防潮壁は、地震時の液状化による耐震性能が確保されておらず、本体部の変位、沈下が生じないように液状化対策が必要であった。このような条件の場合は、既設構造物の安全照査を行なった後、想定される地震に対し、地盤改良を前提とした条件で断面形状の検討を行う必要がある。既設防潮壁は、直接基礎により支持力を確保している構造形式であった。そのため、杭基礎周辺を浸透固化処理による地盤改良は、液状化に対する耐震性能確保の観点から有益であると考えられる。

(2) 改良工法を検討する際の視点

改良工法検討の視点（5.4節）における結果から、改良工法を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

既設構造物を改良する場合は、事前に本体外工、基礎工の安全照査を行い、本体部が健全状態であれば、既設構造物（例；基礎捨石等）を撤去するような地盤改良工法は避ける必要があるものと考えられる。一方、本体部の安全照査を行い、本体部が健全な状態でない場合は、補強工法の導入、本体部補修工法を検討することが必要である。

既設防潮壁背後に、作業スペースが確保できない場合は、小型の施工機器で対応できる工法を検討することが必要である。

既設防潮壁直下を改良する場合は、背後に住宅等の資産が集積している場所が多い。そのため、地盤改良幅が少ない工法の採用が有効である。施工期間中は、住民等の安全確保のため、資機材の設置場所（道路部）には仮囲いで仕切ることが必要である。

(3) 施工手順からの視点

改良工事の施工手順（5.5節）検討結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。基礎杭が存在する構造物直下・前面での地盤改良は、削孔位置の十分な精度確保が重要である。

浸透固化の薬液注入は、スリーブパッカーを送水圧で確実に膨らませて施工することに注意しなければならない。

改良体の造成は、改良天端まで浸透固化処理が終了後、ボーリング孔中のセメントベントナイト充填状況を出来形確認を行い、改良体の造成に関する施工管理を確実に行うことが重要である。

既設防潮壁直下は、目視では改良体の出来形確認ができない。地盤改良効果の品質を担保するため、改良体を試掘後、一軸圧縮強度試験により所定強度が得られているかを確認することが重要である。

6. 既設海岸堤防撤去を伴う改良・補修での断面形状・施工方法の検討

6.1 改良対象区域の条件設定

本章では、既設海岸堤防の撤去後に改良・補修する場合での断面形状・施工方法のケーススタディーを行なった。改良・補修対象とした海岸堤防の条件を下記の通り設定した。

対象区域は、静穏な内湾部の海浜に位置している。台風による高潮被害を被ってきており、高潮が発生すると、湾内水位の上昇により浸水のおそれがある場所である。また、改良対象区域の地盤状況は、海浜地帯であり、地震に対して脆弱な場所となっている。今後発生が予測されている大規模な地震（直下型・活断層型）が発生すると液状化により海岸堤防の著しい変形が生じる。そのため、高潮による浸水被害発生と地震による耐震性の不足が危惧されるため、当該地域では、海岸堤防の改良・補修を行う必要がある。

図-6.1には、改良・補修対象と海岸堤防の平面位置図と現況構造物の断面図を示している。当該地区で想定される台風時の設計潮位よりも、天端高さが低いため、海岸堤防の天端高さを確保する必要がある。そのため、高潮による浸水対策と耐震性を確保できる改良・補修断面形状の検討を行なう。液状化対策は、既設海岸堤防撤去した後に、下面部を地盤改良する施工条件で検討を行なう。

6.2 設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項

(1) 現地条件からの制約

本ケースで設定した現地条件からの制約事項を抽出する。第一の条件は、既設海岸堤防の背後に住宅や商業施設が密集していることである。そのため、騒音・振動の影響が少なく、水平変位を防止できる工法で改良断面の設定をする必要がある。施工に際して、背後域の住民等、工事に関する関係者が多岐にわたるため、事前調整と説明が必要となる。

第二の条件は、砂浜に植生されている防風林（松林）の保全を行う必要があることである。そのため、堤防下面部の地盤改良を施工する際には、防風林植生への影響が少ない工法で改良断面の設定を講じなければならない。

(2) 既設海岸堤防断面形状からの制約

第一の条件は、高潮に対する浸水対策である。そのため、当該地区で想定される設計潮位に対して、天端高さを確保する対応が必要である。そのため、改良・補修断面を設定する際には、既設海岸堤防を既設護岸の嵩上げを講じなければならない。

第二は、海岸の老朽化に伴う堤体部での陥没やひび割れ対策である。既設海岸堤防は、吸出しによる陥没が生じている。そのため、改良対象とする海岸堤防は、吸出

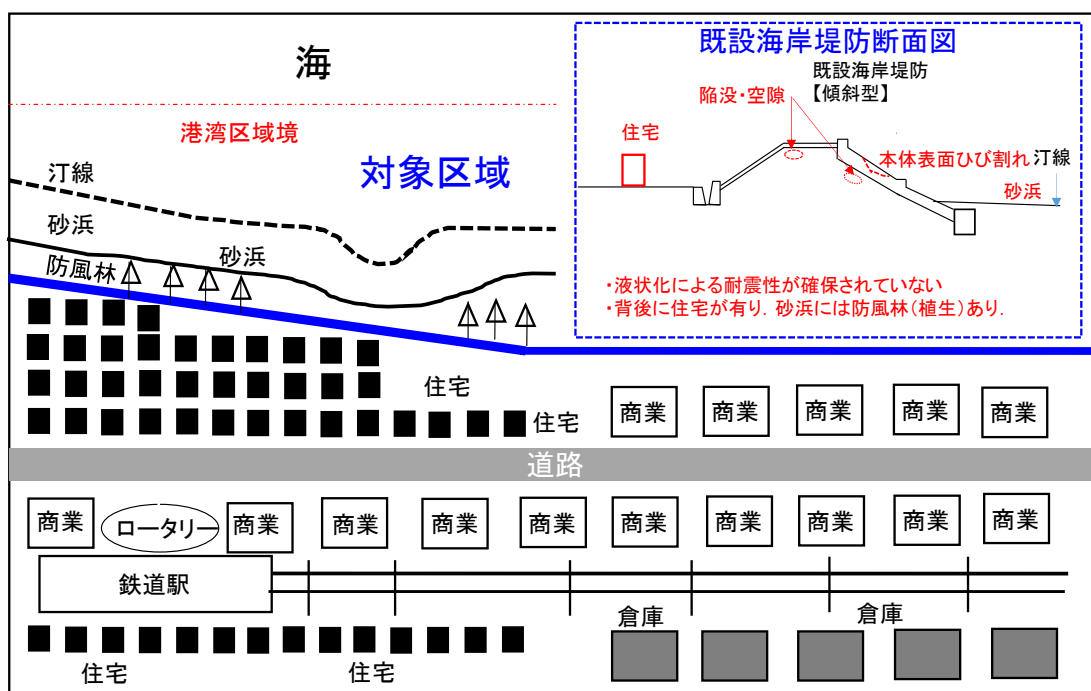


図-6.1 改良対象とした海岸堤防の現況平面図と断面図

し防止対策を講じなければならない。また、アルカリ骨材反応等によるひび割れがみられる堤体箇所では、ひび割れ補修の対策を講じなければならない。

第三の条件は、堤防本体の耐震性が不足しているため、耐震対策が必要である。既設海岸堤防直下の地盤条件は、液状化しやすい地層である。そのため、堤体下部の現地盤の液状化とせん断変形を防止できる対策を講じなければならない。

6.3 要求性能と性能規定

(1) 目的と機能

本ケースにおける海岸堤防は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するとともに、陸地の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。本ケースの海岸堤防では、以下のすべての機能を有するものとして設定を行なった。

- ・高潮及び津波による海水の侵入を防止する機能。
- ・波浪による越波を減少させる機能、若しくは海水による浸食を防止する機能。
- ・背後地の重要性を勘案し、地震による二次災害の防止を目的として、レベル1地震動及びレベル2地震動による損傷が生じた場合にも、上記の各機能を各または機能の回復が可能であることとしている。

(2) 要求性能

本ケースでの海岸堤防は、所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとした。海岸堤防は、高潮、津波、波浪、地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする。当該施設の要求性能は、目的達成性能と安全性能を設定する。

(3) 性能規定

本ケースでの海岸堤防の耐震設計は、施設の供用期間中に1~2度発生する確率を有する地震動(レベル1地震動)に対しての所要の安全性を確保し、かつ、海岸堤防の機能を損なわないものとする。さらに、施設の機能及び構造、施設背後地の重要度、地盤高、当該地域の地震活動度等に基づいてより高い性能が必要と判断されるため、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動(レベル2地震動)を想定し、これに対して生じる被害が軽微であり、かつ地震後の速やかな機能の回復が可能なものとする。

(4) 性能規定値の設定

海岸保全施設の技術上の基準・同解説(海岸保全施設

表-6.1 改良する海岸堤防の性能規定

レベル1地震動(使用性)	
鉛直方向	水平方向
H.H.W.L+50年確率波	目地開きに伴う堤体盛土の流出防止 壁厚の1/2程度
レベル2地震動(安全性) 【活断層型、M6.5直下型】	
鉛直方向	水平方向
10年確率高潮位+10年確率潮位	目地開きに伴う堤体盛土の流出防止
レベル2地震動(安全性) 【海溝型(津波)】	
鉛直方向	水平方向
津波最高潮位 10年確率高潮位+10年確率潮位	目地開きに伴う堤体盛土の流出防止

技術研究会編, 2004) によると海岸堤防の要求性能は、「所定の機能が発揮されるよう、適切な性能を有するものとし、高潮、津波、波浪、地震及びその他の作用に対して安全な構造とするものとする」と定められている。当該地区での性能規定値を表-6-1のように設定した。

表 6.1 には、レベル1地震動とレベル2地震動(活断層型:M6.5直下型)と、レベル2地震動(海溝型(津波))それぞれの耐震性能に対する性能規定値を示す。

レベル1地震動の場合の鉛直方向の規定値は、H.H.W.Lプラス50年確率波とした。水平方向の規定値は、目地開きに伴う堤体盛土の流出防止(壁厚の1/2程度)と設定した。レベル2地震動(活断層型、M6.5直下型)の場合は、鉛直方向が10年確率高潮位プラス10年確率波、水平方向は、目地開きに伴う堤体盛土の流出防止と設定した。また、レベル2地震動(海溝型(津波))の場合は、鉛直方向の規定値が津波最高潮位、10年確率高潮位プラス10年確率潮位と設定した。水平方向は、目地開きに伴う堤体盛土の流出防止と設定した。

6.4 設計条件の一覧

本ケースでの海岸堤防の計画条件、利用条件、自然条件は以下のように設定した。

(1) 計画条件

- ・施設延長と現況構造形式
L=925 m, 傾斜型。
- ・現況天端高
T.P. +4.5 m

- ・計画天端高
T.P. +6.00 m と設定.
- ・護岸天端幅
3.5 m と設置する.

(2) 利用条件

- ・許容越波流量
海岸堤防の許容越波流量は、50年確率波に対して
0.02 (m³/m/s) と設定した.
- ・設計供用年数：50年と設定した.

(3) 自然条件

- ・設計潮位
H.H.W.L. T.P.+2.9 m.
台風期平均満潮位 (T.P. +0.76 m) に最大潮位偏差
(+2.14 m) を加えた数値として、T.P. +2.90 m に設定.
H.W.L は、T.P. +0.94 m. (朔望平均満潮位)
L.W.L は、T.P. -1.02 m. (朔望平均干潮位)

- ・設計波高
換算沖波:
50年；波向 ESE, H₀'=3.76 m, T₀=7.4 s
10年；波向 ESE, H₀'=2.90 m, T₀=6.9 s
設計波浪は、長期間の観測データに基づいた統計解析によって設定する.
- ・対象地震動
レベル1地震動：151 gal,
レベル2地震動：活断層型, 海構型 M6.5 直下型.
- ・津波外力
津波最高潮位：T.P.+2.2 m と設定.

6.5 改良工法検討の視点

改良工法は、考えられる構造断面形状の中から、6.2節で設定した制約事項や、本ケースでの適用性を考慮したところ、改良断面は、既設海岸堤防を撤去後、堤防本体の新設を行い、液状化対策のため地盤改良が可能な工法を検討する必要がある。本ケースでの適用性を考慮した

表-6.2(1) 地盤改良工法の特徴

対策工法	地盤改良工法	
工法概要	現地盤を、地盤改良(サンドコンパクション)することにより、地盤の液状化及びびせん断変形を抑制する工法である。	
標準断面図		
断面	堤防の液状化対策 堤防の高潮対策(天端高不足) 堤防の老朽化対策	サンドコンパクションパイル工法で地盤改良を行い、地盤のせん断変形を抑制。 既設堤防撤去後に、新設堤防は計画天端高さを確保する。 既設堤防を撤去して、新設堤防を施工することで対応。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工中の防護ラインの確保 海浜へのアプローチ 防風林等植生への影響 背後域の住宅・民地への影響	地盤改良、堤体背後の改良、堤体の築造と工種が多岐 既設堤防を全撤去するため、砂浜に防護矢板の設置が必要となる。 パラベットを乗り越える階段を設けることにより確保する。 透水性の材料を用いて、地盤改良をすることにより、地下水や植生への影響が少ない。 無振動の工法のため、振動はほとんどなく、騒音も基準値以下である。
維持	地震時の安定性	堤体下面の地盤全体を改良することにより、地震に対して堤体全体の安定性が高い。

ところ、第一の条件は、地震による液状化対策として堤体下部での地盤改良による対応が可能であること。第二の条件は、背後域への振動・騒音と、地盤の水平変位による影響が少ない施工による対応が可能であること。第三の条件は、既存堤防の陥没、ひび割れ補修の老朽化対策への対応である。これらの条件に対応できる工法として、地盤改良工法と鋼材工法の2工法を抽出した。いずれの工法ともに、既設海岸堤防を撤去後に新設する方法で検討した。各工法の概要、標準断面図、工法の特徴を表-6.1(1)～(2)に示している。

断面形状検討段階での観点は、海岸堤防の液状化対策であり、地盤のせん断変形を抑制できることが必要となる。高潮対策は、計画天端高を確保できることが必要となる。海岸堤防の老朽化対策は、堤体本体の補修・改良を行うことができる内容の対策が必要である。

施工段階での観点は、簡易な工法かつ施工性の良さがあげられる。施工中の防護ラインは、既設海岸堤防を撤去した条件で地盤改良を施工するため防護矢板の設置が

必要である。海浜へのアプローチは、堤防から砂浜へのアクセスができるように検討が必要である。防風林等植生への影響は、地盤改良施工時に極力影響がないことを検討する必要がある。背後域の住民・民地への影響は、地盤改良の施工時に振動・騒音が少ない施工方法についても検討が必要な視点である。

維持管理段階での観点は、地震発生後の堤体本体部の安定性確保の視点で検討が必要である。経済性は、施工工期や直接工事費の視点があげられる。

(1) 地盤改良工法

地盤改良工法は、サンドコンパクションによる地盤改良をすることにより、地盤の液状化及びせん断変形を抑制する工法である。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、液状化対策は、サンドコンパクションパイルで地盤改良を行うため、地盤の液状化・せん断変形の抑制機能を有することが可能となる。堤防の高潮対策（天端高不足）は、既設

表-6.2(2) 鋼材工法の特徴

対策工法		鋼材工法
工法概要		現地盤を鋼矢板の打設によって囲い、液状化後のせん断変形を抑制する工法である。
標準断面図		
断面	堤防の液状化対策 護岸の高潮対策(天端高不足) 護岸の老朽化対策	鋼矢板を打設して、液状化層の地盤を囲い込みすることで、地盤のせん断変形を抑制。既設堤防撤去後に、新設堤防は計画天端高さを確保する。既設堤防を撤去して、新設堤防を施工することで対応。
施工	簡易な工法かつ施工性の良さ 施工中の防護ラインの確保 海浜へのアプローチ 防風林等植生への影響 背後域の住宅・民地への影響	工種が少なく、施工範囲が狭いため、施工性に優れる。既設堤防を全撤去するため、砂浜に防護矢板の設置が必要となる。パラベットを乗り越える階段を設けることにより確保する。透水性鋼矢板を使用した場合においても、堤防周辺の植生への影響が懸念される。鋼矢板の打設時に、騒音・振動の影響がある。
維持	地震時の安定性	鋼矢板により、堤防高さは確保されているが、地震時に前面及び背面は大きく変形する。

海岸堤防を撤去後に、新設堤防を建設して計画天端高さを確保することにより、浸水防止機能を有することができる。堤防の老朽化対策は、既設の海岸堤防を撤去して、堤体部を新設することで陥没・ひび割れ対策に対応することが可能となる。

施工の観点から本工法の特徴をみると、堤体を撤去後の地盤改良、堤体背後の地盤改良や堤体築造と工種が多岐にわたるため、施工性は良くない工法である。施工中の防護ラインの確保は、既設海岸堤防を撤去するため、堤防海側の砂浜には、防護矢板の打設が必要である。海浜へのアプローチは、新設堤防にパラペット部を乗り越える階段を設置する。防風林等植生への影響は、透水性の材料を用いて地盤改良をするため、地下水や植生への影響が少ない。背後域の住宅・民地への影響は、無振動の工法のため、振動はほとんどなく、騒音も基準値以下である。水平変位は、変位緩衝工を設置して背後に影響がないように施工する。

維持管理の観点からみると、地震時の安定性は、堤体下面の地盤全体を改良することにより、地震に対して堤体全体の安定性が高い断面形状である。

経済性の観点からみると、施工工期は、工種が多岐にわたるため工期が長くなることが考えられる。直接工事費は、本工法による概算工事費を基準としていることから1と設定した。

(2) 鋼材工法

鋼材工法は、現地盤を鋼矢板の打設によって囲い、液状化後のせん断変形を抑制する工法である。

断面形状の観点から本工法の特徴をみると、液状化対策は、鋼矢板を打設して、液状化層の地盤を囲い込みすることで、せん断変形の抑制機能を有することができる。堤防の高潮対策（天端高不足）は、既設海岸堤防を撤去後に、新設堤防を建設して計画天端高さを確保することにより、浸水防止機能を有することができる。堤防の老朽化対策は、既設海岸堤防を撤去して、新設堤防を新設施工することで陥没・ひび割れ対策に対応することが可能となる。

施工の観点からみると、簡易な工法かつ施工性の良さについては、工種が少なく、施工範囲が狭いため、施工性に優れている。施工中の防護ラインの確保は、既設海岸堤防を撤去するため、堤防海側の砂浜に防護矢板の設置が必要となる。海浜へのアプローチは、新設する堤防のパラペットを乗り越える階段を設けることにより確保する。防風林等植生への影響は、透水性鋼矢板を使用した場合においても、地下水の流れが変化するため、堤防

周辺の植生への影響が懸念される。背後域の住宅への影響については、鋼矢板打設時に、騒音・振動の影響がある。

維持管理の観点からみると、地震時の安定性は、鋼矢板により、堤防高さは確保されているが、地震時に前面及び背面は大きく変形することが懸念される。

経済性の観点からみると、施工工期は、工種が少なく施工性が良いため工期は短期間に設定が可能である。直接工事費は、本工法と地盤改良工法は、同様の結果であり、1と設定した。

(3) 改良・補修構造断面形状の設定

改良・補修構造断面の形状を設定するにあたり、本検討におけるケーススタディーは、改良・補修の条件を設定しているため、実際の改良・補修のすべてにあてはまるものではないことに留意が必要である。

6.2節で設定した現況の断面形状からの制約事項としていた堤防本体の耐震性が不足しているための液状化対策や老朽化対策、高潮に対する天端高さの不足への対策に対して対応機能を有することが改良時の必須条件である。また、堤防背後への騒音・振動や砂浜部の植生への影響が少ない工法である地盤改良方法を前提とした改良断面を設定する必要がある。さらには、地震時の安定性も考慮しなければならなかった。

地盤改良工法は、サンドコンパクションパイルで地盤改良を行うため、液状化対策の対応が可能である。施工時の騒音・振動や水平変位の影響が少ない工法である。砂浜部の植生にも影響が少ない。維持管理の面では、地震に対する堤体の安定性が高い。経済性の面では、工種が多いため、施工期間が鋼材工法より長くなる。鋼材工法は、現地盤を鋼矢板の打設によって囲い、液状化後のせん断変形を抑制することができる。鋼矢板の打設時には、騒音・振動の影響がある。透水性鋼矢板を使用しても、植生への影響が懸念される。維持管理の面では、鋼矢板により堤防高さは確保されているが、地震時に前面及び背面は大きく変形することが懸念される。経済性の面では、工種が少ないため、施工工期は地盤改良工法よりは短期間での対応ができる。なお、直接工事費は、両工法ともに同様であった。地盤改良時の周辺や植生への影響と地震時の安定性が異なることが両工法での大きな違いであった。

表-6.2に示した断面形状の検討、施工、維持管理等の観点から各工法の長所と短所を抽出し改良工法を検討したところ、本ケースにおける海岸堤防の改良では、「地盤改良工法」で改良工法を設定した。

図-6.2には、本ケースで設定した改良・補修後の構造断面図を示す。図中破線部の既設海岸堤防は、撤去してから地盤改良の施工をすることとした。地盤改良は、サンドコンパクションパイル工法を採用し、改良仕様は、改良杭φ700、改良率13.3%と設定した。改良範囲の設定は、主動崩壊面とH.W.Lとの交点より30°で下し、液状化層の下面との交点までの範囲とした。なお、円弧すべりによる安定照査を行い、安全率の確認を行い、動的解析(FILIP)の結果においても性能規定値を満足していることを確認して地盤改良範囲を設定している。改良幅は29.3mと設定し、新設する海岸堤防下面を改良することで、堤防本体の変位、沈下を極力抑えることができる改良断面である。

堤防本体天端高さは+6.0mと設定している。根固工は、袋型根固(1t用以上/袋)を用いている。表法被覆コンクリートは、50cm、天端被覆コンクリートは20cmと設定している。堤脚部の排水路は、幅1mで設定している。施工中の防護ラインは、堤防海側の砂浜に防護矢板を打設することで確保する。

6.6 改良工事の施工手順

改良工事の着手に際して、施工時の資機材の調達、工事期間中の安全管理や工程管理の観点から施工手順を事前に計画することが必要となる。6.5節で設定した地盤改良工法での施工手順のフロー図を図-6.3に示すとともに、代表的な施工内容を選定し、各工程段階での施工手順の内容を図-6.4(1)～図-6.4(8)に示した。図中の着色部は対象としている施工箇所を示す。

(1) 着手前の準備

工事着手の前に、管理用基準面の確認や工事用基点の設置を行い、現況の状況を把握するため事前測量を行う。

事前測量の結果、原状不一致が生じた場合は、速やかに対策を検討することが必要である。また、背後地陸側には、住宅等がある狭隘な施工場所であることから、工事場所、資機材等保管場所、工事車両等運搬経路等における公益専用物件等の事前調査を実施し、占用物件の実態を把握するとともに、安全管理の観点から工事実施中の事故防止対策を検討する。

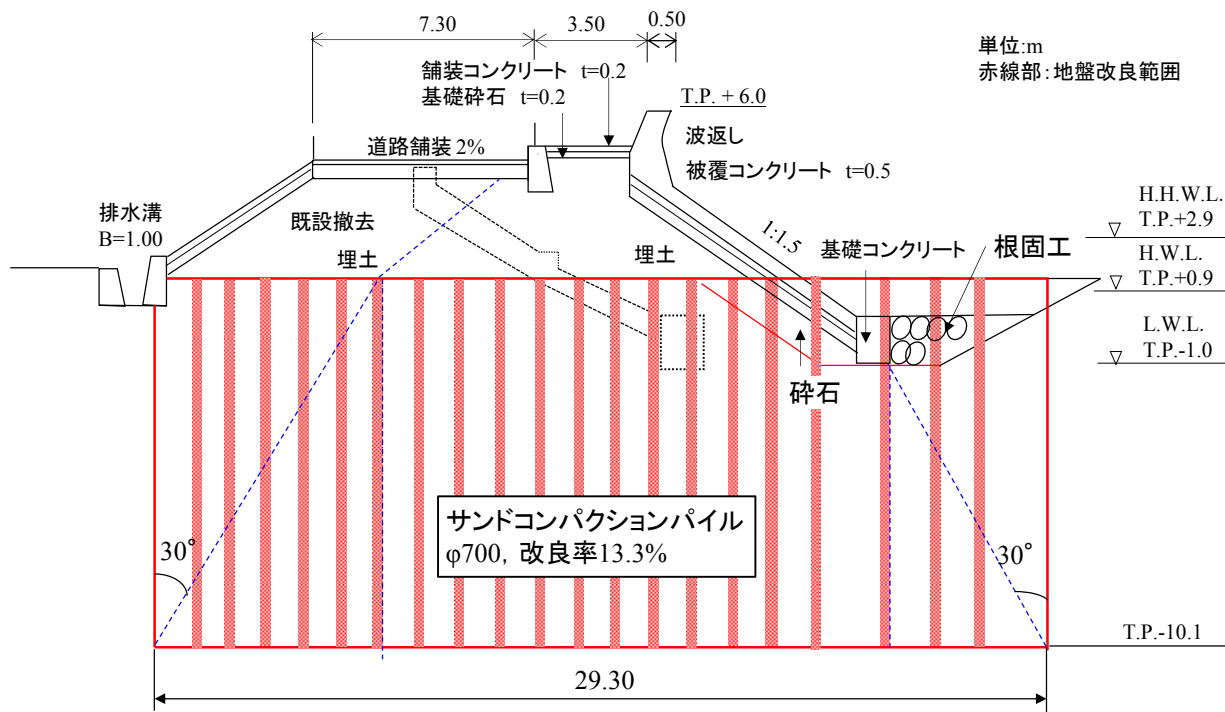


図-6.2 改良・補修断面形状の設定(地盤改良工法)

また、既設護岸背後には、住宅が密集していることから、工事実施前に事前説明を行い、工事が円滑に実施できよう調整を図ることが望ましい。

(2) 既存海岸堤防撤去と防護矢板設置

既設海岸堤防の撤去状況を図-6.4(1)に示す。コンクリート 砕機で施工をする。また、補助装置はコンクリートブレーカーを併用する。撤去作業時には、粉塵等の飛

散対策のため、散水を行うことが有効な方法である。官民境界に、水平変位を与えないよう十分に注意をして施工しなければならない。撤去したコンクリート塊は、再生クラッシャーラン（RC-40）と同等以上の規格に破砕をする。コンクリート殻を再利用することにより、コスト縮減と建設廃棄物の減容化の効果が期待できる。既設天端面のアスファルト取り壊しは、アスファルト撤去前に、既設アスファルトとの境界をカッター切断によって

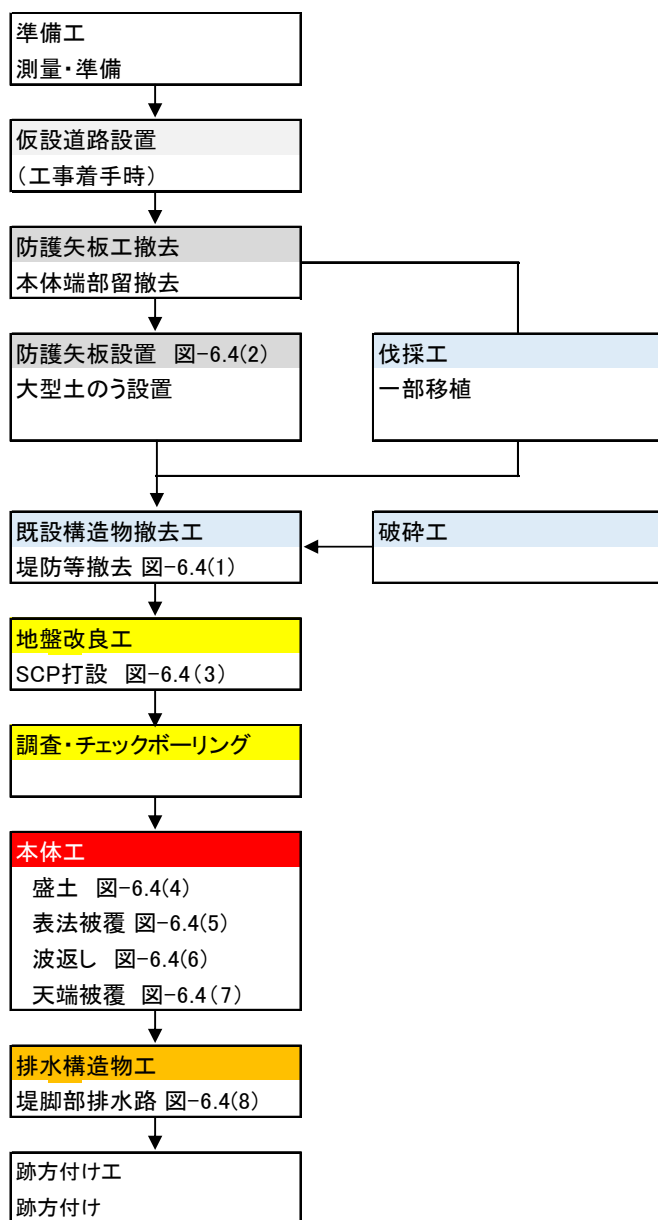


図-6.2 地盤改良工法の施工手順

縁切りを行う。バックホウを使用しアスファルト舗装を撤去しダンプトラックに積込み再生工場に搬出して適切に処理を行う。破碎工では、撤去したコンクリート塊を再生クラッシャーラン（RC-40）同等に破碎するものである。これらの破碎材は、新設堤防の本体工，土工，舗装工，排水構造物の砕石として再利用を行う。伐採工では、施工範囲内で支障となる既存樹木を撤去・移植を行う。

その後、施工範囲部分に防護矢板をバイプロハンマーで打設する。図-6.4(2)には、防護矢板設置の状況を示す。図中破線部は、新設堤防の形状を示している。防護矢板打設後には、矢板前面の洗掘、矢板の変位、継手の変形について異常がないかを点検・確認を行う。特に、台風通過後は、防護矢板に異常がないかを定期的に点検することに注意することが重要である。

(3) 地盤改良工事

既設海岸堤防の撤去後に、地盤改良工事を施工する。地盤改良をサンドコンパクションパイル工法で施工すると地盤に変位が発生するため、施工範囲付近に住宅や構造物がある場合は変位対策が必要である。地盤改良範囲の背後側へ変位緩衝孔を施工することにより、変位を抑制するには緩衝工の施工が有効である。変位緩衝孔は、オーガースクリューで地盤を削孔する。施工後は、官民境界の目印で水平変位の計測を行い、変位があらかじめ設定した管理値を超過した場合は、地盤改良工事を一旦中止して、打設方法の改善策を検討する。サンドコンパクションパイル打設は、官民境界側より打設すると民地側の水平変位を抑制させる効果がある。

図-6.4(3)には、とサンドコンパクションパイル打設と変位緩衝孔の施工断面図を示す。サンドコンパクションパイルは、杭芯をセットし、鉛直性を確認した後に、ケーシング材に砂を投入する。ケーシングパイプ内の砂の体積変化率を測定することにより投入砂量、使用砂量の管理を行う。確認内容は、投入砂容量と体積変化率である。ケーシングを貫入後に、杭下端深度を確認する。ケーシングパイプ内を圧気し所定長を引き抜きながらケーシングパイプ内の砂を地中に吐き出す。排出した砂量に応じて、所要の杭径（φ700 mm）になるように打戻し、排出した砂を拡径して締め固めるとともに、周囲の地盤も締め固める。これらのウエーブ操作を繰り返して、所定の天端高さまでサンドパイルを造成する。

(4) 堤体本体工事

地盤改良工事が終了した後に、新設堤防の本体工事を

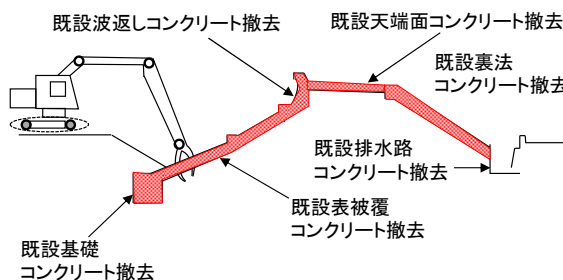


図 6.4(1) 既設海岸堤防の撤去

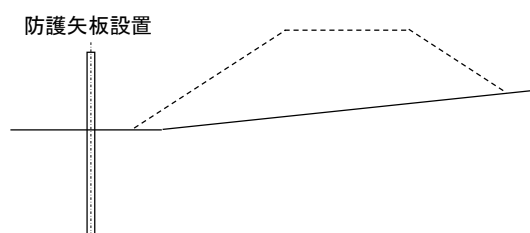


図 6.4(2) 防護矢板設置

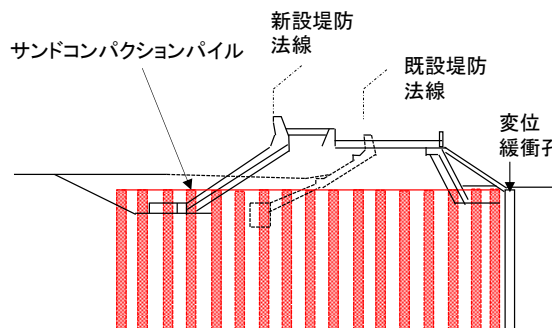


図 6.4(3) SCP 打設・変位緩衝工

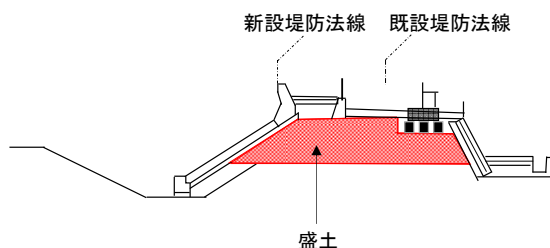


図 6.4(4) 堤体部の盛土施工

行う。新設堤防施工に伴い、バックホウを使用して床掘を行う。盛土の施工は、ロードローラを使用して施工する。材料は、既設堤防の堤体部中詰材を流用する。堤体部の盛土施工状況を図-6.4(4)に示す。盛土の締固め度の確認は、1000 m³に毎に1回の割合で行い、最大乾燥密度が所定の値以上であることを確認することに注意が必要である。

盛土工事の終了後に、本体工事を施工する。表法面部の基礎コンクリート打設を行い、袋型根固め(1t/個)を設置する。袋型根固めの中詰材は、既設根固め材の石材を小割して再利用を行う。袋型根固めは、基礎コンクリートと接するように設置し、不陸のないように千鳥に積み上げ、施工にあたっては袋型根固め用袋材に損傷を与えないように十分注意しなければならない。中詰めの空隙を防止するため水締めを十分に行う。

基礎コンクリートの終了後に、表法被覆コンクリートを施工する。盛土法面を成形後、バックホウにより破砕材を厚さ 20 cm で敷均し、法面バケットを使用して締固めを行う。施工状況を図-6.4(5)に示す。表法被覆砕石敷均し後、バックホウとコンクリートバケットにより捨コンクリートを打設する。天端面の均しはバックホウの法面バケットで施工する。コンクリートが硬化する前に、型枠組立て用の差筋を設置する。捨コンクリートに設置した差筋にセパレータを溶接し、木コンを取り付け型枠の組み立てを行う。収縮目地は、表法被覆コンクリート側面に樹脂発泡体(厚さ 10 mm)を 10 m 間隔で設置する。収縮目地を同じ位置にスリップバー(φ19 L=600 mm)を所定の間隔で設置する。その後、止水板を収縮目地と同じ位置に設置を行う。表法被覆コンクリートの打設は、コンクリートポンプ車により行う。コンクリート打設後、ブリージング終了時にコンクリート打継面処理材を散布し、波返しコンクリートとの打継性能を確保する。

表法被覆コンクリート打設終了後に、波返しコンクリートを施工する。鉄筋組立てとコンクリート打設を行うため、単管パイプと枠組足場で作業足場を組み立てる。足場を使用して、鉄筋組立てを行う。鉄筋のかぶりを正しく保つため、スペーサーを適切な間隔に配置した後に、型枠組み立てを行う。波返しコンクリート施工断面図を図-6.4(6)に示す。波返しコンクリート(配合; 24-8-40BB)の打設は、コンクリートの打設は、コンクリートポンプ車により行う。コンクリートの落下高さは、1.5 m 以内とし材料分離が生じないように施工する。コンクリートの締固めは、棒状パイププレートにより行い、ジャンカやクラックの発生のないように注意して締固め作業を行う。天端表面がある程度固化したら、養生マット

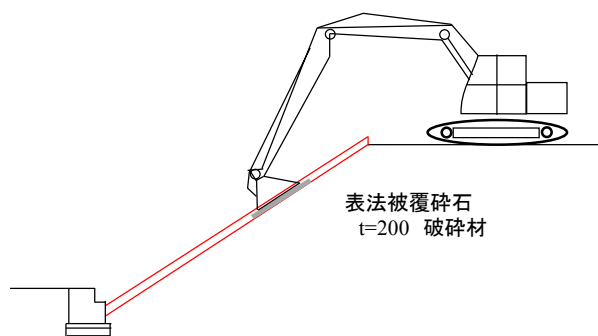


図 6.4(5) 表法被覆砕石敷均し

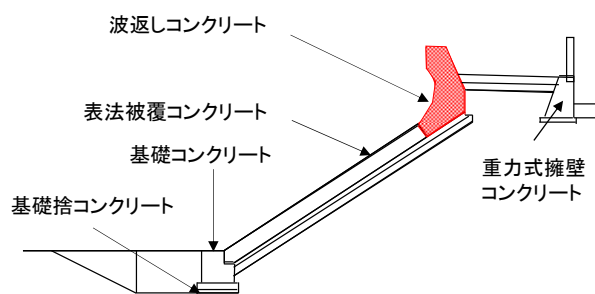


図 6.4(6) 波返しコンクリート

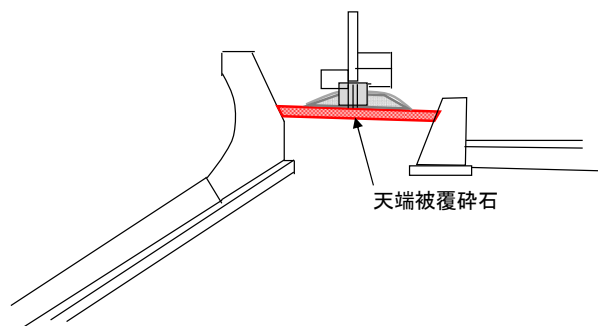


図 6.4(7) 天端被覆砕石敷均し

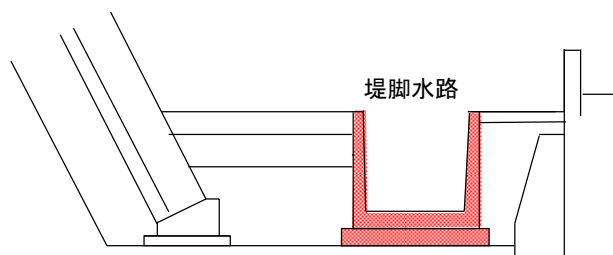


図 6.4(8) 堤脚水路の設置

を敷設し湿潤養生を行い、乾燥しないように一定間隔で散水を行う。

波返しコンクリート打設後に、重力式擁壁コンクリートの施工を行い、天端面を被覆する。天端面被覆敷均しは、バックホウで敷均しを行い、厚さ 20 cm で施工する。締固めは、タイヤローラーを行い、構造物の隣接部は人力で敷均し、タンパまたは振動ローラーにて締固めを行う。図-6.4(7)には、天端面被覆砕石敷均しの状況を示す。敷均しと締固め施工終了後に、天端面コンクリートを打設する。目地部には樹脂発泡剤（厚さ 10 mm）を取り付け、注入目地用に箱抜きを設けて隣接のコンクリートに加熱式注入目地を注入する。

(4) 階段、排水路の施工

天端面コンクリートの施工後に、海浜部へのアクセス通路を確保するため、昇降斜路と階段を設置する。堤脚部には、幅 1 m の堤脚水路を設置する。堤脚水路捨コンクリートを厚さ 10 cm で施工し、その上部に敷モルタルを厚さ 20 cm で施工する。天端面に不陸がないように仕上げた後に、堤脚水路を設置する。図-6.4(8)には、堤脚水路の設置の施工断面図を示す。

6.7 既設海岸堤防撤去後に改良する際の留意事項

改良対象区域の条件設定（6.1 節）と設定した現地条件と現況の断面形状からの制約事項に対応できる工法として既設海岸堤防を撤去後にサンドコンパクションパイルによる地盤改良工法を設定した。既設海岸堤防の断面形状は、地震発生に伴う地盤の液状化地盤の液状化に対して、耐震性を有していない断面形状であった。現地条件からの制約は、既設海岸堤防背後の近接した場所に住宅が密集していることと、砂浜に植生があるという条件であった。そのため、堤防直下の液状化対策をするために地盤改良による対応が必要であり、かつ騒音振動や水平変位の影響が少ない工法を検討しなければならなかった。さらに、砂浜の植生への影響がないことに対応した工法を検討しなければならなかった。

本節では、断面形状を検討する際の視点、改良工法を検討する際の視点、施工手順を検討する際の視点における留意事項の抽出・整理を行った。なお、これらの留意事項は本ケースでの条件においてのみ内容であることに留意が必要である。

(1) 断面形状を検討する際の視点

改良工法検討の視点（6.5 節）における結果から、断面形状を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した海岸堤防は、地震時の耐震性能が確保されておらず、液状化による本体部の変形、沈下が生じないように液状化対策が必要であった。このような条件の場合、想定される地震による液状化に対して、耐震性能を得ることができる地盤改良を前提とした条件で改良する断面形状を検討する必要がある。既設海岸堤防直下の地盤条件が、液状化層である場合、堤体下部での現地盤の液状化、せん断変形を抑制することが可能な工法を検討することが耐震性能確保の観点から有益であると考えられる。

(2) 改良工法を検討する際の視点

改良工法検討の視点（6.5 節）における結果から、改良工法を検討する際の留意事項を抽出・整理した。

本ケースで設定した海岸堤防は、砂浜部の植生への影響を考慮する必要があった。砂浜や植生がある場所で薬液注入による地盤改良を施工すると、砂浜や植生への影響が生じる可能性が高いため砂材を主体とした地盤改良工法の検討が必要である。

施工位置に近接して住宅がある場合、改良時に水平変位による影響がない工法で対応する必要がある。そのため、静的に締固める工法の検討をおこなうとともに、地盤変位対策の一つの例として変位緩衝孔の施工することは有効な対応策であると考えられる。

(3) 施工手順からの視点

改良工事の施工手順（6.6 節）における結果から、施工手順を検討する際の留意事項を抽出・整理した。本ケースで設定した海岸堤防は、既設海岸堤防を撤去後に新設堤防を施工することとした。既設海岸堤防の撤去時には、粉塵の発生による影響を低減することに注意する必要がある。例えば、既設海岸堤防の撤去時には、コンクリート破碎時に発生する粉塵等の飛散防止対策へ対応するため散水しながら施工することが考えられる。

地盤改良の施工時には、騒音振動や水平変位が少ない工法を選定することが重要である。地盤改良時には水平変位を与えないように変位緩衝孔を設置することが考えられる。変位緩衝孔設置後は、官民境界の鉛直・水平変位を毎日計測し、変位が管理値を超えた場合は、施工を中止して対応策を検討することが必要である。また、サンドコンパクションパイルの打設は、官民境界側より施工することにより背後域への水平変位を抑えられる効果が期待できる。

既設海岸堤防を全撤去後に改良する場合、台風時期を含め施工期間中に防護ラインが存在しない状態となる。

そのため、施工時には防護矢板設置することにより、防護ラインを確保することが重要である。

台風などの荒天時に備え防護矢板打設後は、定期的に矢板前面の洗掘状況、矢板の変位、継手変形の異常がないか確認することが必要である。

7. まとめ

本研究は、港湾域における海岸保全施設の改良・補修に着目したケーススタディーを行い、その中で行った断面形状の検討や改良工法の検討、施工手順の検討で得られた知見をもとに留意点をとりまとめた。ここにとりまとめた留意点は、それぞれのケーススタディーの条件・検討のもとで導かれたものであるため、網羅的・普遍的・整合的なものとはなっておらず、条件によっては当てはまらない場合や重要な事項が抜け落ちている場合や項目間に不整合がある場合があることに留意することが必要である。

7.1 防潮護岸の改良・補修における留意点

(1) 断面形状の検討における留意点

a) 既設護岸撤去後に方塊式護岸工法で改良する場合

海底地形が、干満による流れや波浪により、洗掘・崩壊が生じている場合、海底の地盤が不安定な状態になっている場合がある。このような状況での施設の断面形状の検討では、洗掘・崩壊防止対策をしっかりと考えることが重要になる。構造物の安定性を確保するために、護岸海側の不安定な地盤を除去することが重要になる場合がある。

既設護岸の背後に、裏込石の施工が無い施設の場合は、吸出しによる陥没が背後で生じている可能性がある。その場合の吸出し防止方策としては、護岸背面への裏込石施工や基礎捨石下部への止水矢板打設などが考えられる。

地震後に防潮護岸に沈下が生じることが想定される場合は本体部の沈下にどう対処するかを考える必要がある。そのため、例えば、地震動による沈下が起こった時に補修しやすい断面形状を採用するといった方法がある。

b) 既設護岸を活用して腹付け工法で改良する場合

既設護岸の老朽化に伴う背後の吸出しに対する対策の一つとして、基礎捨石下部への鋼矢板打設が考えられる。既設護岸表面にひび割れが生じている場合には、表面補修だけではなく、施設の断面形状や材料の再検討を行うことも考えられる。

既設防潮護岸の静的安定が確保されていない場合は、本体部の滑動、転倒、円形すべりの対策として、鋼矢板打設や増しコンクリート打設等により抵抗力の増強を図る断面形状の検討が必要になる。

既設防潮護岸の天端高不足に対しては、基本的には、天端の嵩上げを検討することになるが、その際に嵩上げのための構造が付加されることによる荷重の増加等に対して既設の構造体の安全性を確認することが必要になる。

(2) 改良工法の検討における留意点

a) 既設護岸撤去後に方塊式護岸工法で改良する場合

施工中の土砂の崩落や水平変位を防止することを目的として仮設矢板が打設される場合がある。矢板打設は、既設構造物撤去を中心とした全体の施工手順を見据え、打設方法と施工手順を検討する必要がある。仮設構造物の検討は、安全で円滑な施工を行う上で軽視してはならない検討内容である。

施工区域が狭隘な場所では小型の施工重機、資材を使用する工法での対応が必要となる。水域の形状・水深・利用状況などから水域側からの施工が困難とみられる場合に、すべての施工を陸側から行う施工方法を考える場合がある。

護岸海側に係留施設があるなどによって、改良工事に伴って発生する地盤沈下による連れ込み沈下を防止する必要がある場合がある。そうした場合、鋼矢板による地盤の縁切り施工などによって連れ込み沈下の防止を検討する必要がある。

b) 既設護岸を活用して腹付け工法で改良する場合

既設護岸の直背後に住宅が密集しているなどにより陸上部の用地買収が困難な場合は、既設護岸の水域側の空間を使って施設を改良・補修する方法を検討することが必要になる。

施工区域が狭隘な場所では小型の施工重機、資材を使用する工法での対応が必要となる。護岸陸側の利用状況などから陸側からの施工が困難とみられる場合に、すべての施工を水域側から行う施工方法を考える場合がある。

改良・補修区域の上流側に河川等があるような場合は、洪水流の流下・通水等に問題が生じないように、改良断面が現況河床幅を極力狭めないなど護岸前面の水域の通水能力を極力低下させない方法を検討することが必要である。例えば、既設護岸水域側に増しコンクリートを打設することを検討する際には、補修後に通水断面積が不足することのないように工夫を加えるといったことが考えられる。

既設護岸を活用した改良・補修を行う場合、既設護岸のコンクリートと新設するコンクリート部の付着を十分に確保する必要がある。例えば基本的な事項ではあるが、既設護岸の表層を削り、削孔した後に、削り面や削孔部を清掃した上で、アンカー筋を入れてコンクリートを打設する方法をしっかりと行うことも一つの有効な対応方法となる。

(3) 改良工事の施工における留意点

a) 既設護岸撤去後に方塊式護岸工法で改良する場合

既設構造物は、原位置で大割後、施工ヤードで小割することにより、破碎後のコンクリート殻の集積と撤去が容易になる。また、背後域へ工事音の影響を軽減させる必要から、コンクリート殻等の破碎音を低廉させる方法で施工する場合がある。

水面下からの既設護岸本体の撤去においては、目視確認ができる低潮位時に作業を行うことで、シンプルな装備・作業で工事を行うことができる。潮汐変動を考慮した施工手順の設定をすることで効率的な撤去作業が可能になる場合がある。

鋼矢板打設時に腹起しと鋼矢板との間に隙間が生じた場合は、鉄板等で隙間を埋め密着させることが、仮設構造物の安全面からみて重要である。

新設護岸躯体の背後の埋戻は、背後地盤の崩落防止のための仮設矢板がある状態で施工することが、施工の安全を確保する上で重要と考えられる。

基礎捨石の投入は、投入時に石材が散乱しないように水面付近までバケットを下げて投入することが、均し作業を容易にすることに繋がると考えられる。

止水矢板の海側に設置した防砂シートに損傷を与えると、止水性能が低下するため、捨石の投入の際には防砂シートに傷をつけないように注意する必要がある。

基礎捨石天端面の均し作業は、天端面の上部に方塊ブロック据付けることから、均し精度を確実に確保しなければならない。均し精度によって、本体部分の出来形に影響を与えるため、施工の精度管理をしっかり行う必要がある。

本ケースにおける本体部の断面形状は、方塊ブロック2段積の構造である。方塊ブロック製作時には、下段ブロックの上部と上段ブロックの底部にずれ止めを設置すると本体部の一体化を図ることができ、水平変位を抑制する効果が期待できる。ずれ止めをしっかりと作り込むことは、本体部の安定の観点から重要な工程の一つとなると考えられる。

本ケースの場合、上部コンクリートパラペット部と、方塊ブロック天端面との間の接合部に、エポキシ樹脂鉄筋を使用している。構造体の接合部は、波浪等の外力に対して弱点になりやすい部分である。構造体の接合部への差筋を腐食させないようにエポキシ鉄筋を使う等の配慮をすることは、構造物の維持管理の面から重要である。

b) 既設護岸を活用して腹付け工法で改良する場合

吸出し防止用の鋼矢板は、腐食防止のため笠コンクリートブロックで保護する。その際には、笠コンクリート

間に隙間が生じないようにブロック間をジョイントボルト等によって緊結することが必要になる。

笠コンクリートの中詰めコンクリートの打設を行うにあたり、基礎砕石天端面に漏洩防止用のシートを敷設する必要がある。漏洩防止用シートは、中詰めコンクリートの漏洩が起らないように敷設する必要がある。また中詰めコンクリートの打設のように水中でコンクリートを打設する場合には、周辺水域の水質に影響が出ないように注意する必要がある。

このケースでは、基礎砕石天端面上部に底張コンクリートと護岸本体に増しコンクリートを打設する。そのため基礎砕石天端面の均し作業は、均し精度をしっかりと確保することが重要である。

既設防潮護岸への増しコンクリート打設する場合には、既設部分と新設部分でのコンクリートの付着を確保する必要がある。増しコンクリートを打設する前に既設護岸の表面部を高圧洗浄するなどして浮骨材等を除去することが必要である。

既設のコンクリート構造体にアンカー筋を設置する場合には、既設コンクリートと増しコンクリートの一体化を確保する必要がある。削孔した後の孔内の処理は、鉄筋とコンクリートの付着性に影響するため、施工管理は十分注意する必要がある。付着性を高めるためには、例えば、削孔時に発生する孔内の粉をエア等で除去してからアンカー筋の施工を行うといった方法がある。

7.2 防潮壁の改良・補修における留意点

(1) 断面形状の検討における留意点

a) 既設防潮壁の嵩上げ・補修工法で改良する場合

天端高不足への対応を検討する場合、壁体を嵩上げて天端を高めることを検討することが多い。その場合、嵩上げ部分の構造強度を確保すると同時に、嵩上げをした状態での既設構造物の強度・安定性を確保することが必要である。

老朽化等によって防潮壁にクラックが生じている場合、クラックの深さや長さに適した表面補修を検討するとともに、補修後の防潮壁が十分な強度と安定性を持つように施設の断面形状を検討する必要がある。

b) 既設防潮壁直下の地盤を固化処理工法で改良する場合

防潮壁が地盤の液状化に対する抵抗力が不足しているために地盤改良を行う場合、構造物本体の変位・沈下が生じないように適切に液状化対策を行う必要がある。中でも防潮壁が基礎杭によって支持力を得ている場合、基礎杭周辺の地盤を固化することは地盤の支持力を高める

だけでなく、基礎杭の抵抗力を高める観点からも有益になると考えられる。

(2) 改良工法の検討における留意点

a) 既設防潮壁の嵩上げ・補修工法で改良する場合

防潮壁本体にクラックが発生している場合、クラックの深さや長さを詳細に調査するとともに、構造物の塩害状況を確認した上で改良・補修工法を検討する必要がある。

防潮壁のコンクリート壁体の上部を嵩上げ改良する場合は、既設部分のコンクリートと嵩上げ部分のコンクリートの付着を確保することができる工法を検討する必要がある。

b) 既設防潮壁直下の地盤を固化処理工法で改良する場合

既設構造物を改良する場合は、事前に躯体や基礎の強度・安定性等の確認を行い、躯体や基礎が健全な状態であれば、できるだけそれらを活かした効率的な改良方法を検討することが考えられる。そのような場合、既設構造物の穿孔や部分撤去をできるだけ行わずに、必要な部分だけを地盤改良する方法をとることが、一つの方向性として考えられる。

躯体や基礎の健全性が確保されていない場合は、躯体の補修、躯体や基礎の補強等を検討することになる。

既設防潮壁の陸側直背後に広い作業スペースがとれない場合は、一つの可能性として、小型の施工機器で対応できる工法で施工することを検討することになる。

既設防潮壁下の地盤を改良する場合には、防潮壁の直背後に住宅や工場等が集積した場所が多いため、地盤改良の幅が少なく済む工法が、背後の住宅や工場等に影響を与えないという面で有利になる。

施設背後の空地や通路に資機材を置く際に、安全確保のため、資機材置場に仮囲いを設置して仕切る必要がある場合がある。

(3) 改良工事の施工における留意点

a) 既設防潮壁の嵩上げ・補修工法で改良する場合

既設防潮壁のクラック補修は、シーリング材と既設部分のコンクリートとの間の付着性に大きく影響を受ける。そのため、Uカットによる切削処理作業やカット後に切削溝に粉塵を残さないための清掃作業等が重要になる。シーリング材充填後の表面仕上げ作業も注意が必要である。この作業の精度如何によって補修箇所の性能が影響を受けるからである。

嵩上げ部と既設部との接合部は、高潮・高波等の波圧

に対して弱点となりやすい。そのため、嵩上げ部分と既設部分をしっかりと接合させることが必要である。接合部の削り作業、削孔作業、削り面・孔内面の清掃作業は、既設コンクリートと新設するコンクリートの付着に影響する。そのため、嵩上げ部のコンクリートを打設するにあたっては、古くなったコンクリートの表面をきれいに削り取り、正確な位置と深さに削孔を行い、削り面と孔内面の削り滓等をきれいに除去することが重要である。

b) 既設防潮壁直下の地盤を固化処理工法で改良する場合

躯体下、特に基礎杭等が存在する状況、で地盤改良を行う場合は、地盤中に良好な改良体を形成するため、正確な位置に削孔することが重要である。

薬液を注入する際は、スリーブパッカーを送水圧で確実に膨らませて行うことに注意する必要がある。

改良上端まで地盤の浸透固化処理が終了した後、ボーリング孔に確実に充填剤を充填する必要がある。

躯体下での地盤改良が必要な効果を発揮しているかを把握する必要がある。その場合の一つの方法として、改良体を試掘し、一軸圧縮強度を調べることによって所定の強度が得られているかを把握する方法がある。

7.3 海岸堤防の改良・補修における留意点

(1) 断面形状の検討における留意点

既設堤防本体の耐震性が不足しており、液状化の恐れがある場合は、液状化対策の検討が必要である。海岸部の地盤は液状化や変形を起こしやすい地層であることが多いため、堤体下部の地盤の液状化とせん断変形を抑える対策を検討し、必要な耐震性能を得ることができる地盤改良を設計する必要がある。

(2) 改良工法の検討における留意点

砂浜の植生への影響に注意を払う必要がある場合に、薬液注入による地盤改良が砂浜や植生への影響が懸念されるとして、砂材を主体とした地盤改良工法を選定する場合がある。

地盤改良の施工位置に近接して住宅等があると、改良剤の地盤への注入によって住宅等の地盤が変位・変形するによる場合があるため、注意を要する。対策としては、静的に締固める工法の採用や変位緩衝工の設置といったものが考えられる。

(3) 改良工事の施工における留意点

既設堤防を撤去後に新設堤防を施工する場合は、背後の住宅等に影響が出ないように注意することが必要であ

る。例えば、粉塵等の飛散を防止するために既設堤防撤去時に散水を行う、あるいは住宅等の地盤に変位や変形を与えないように民地境界側から地盤改良を施工するといった対応が考えられる。

既設堤防を全撤去して新たな堤防を構築する場合は、既設堤防を撤去してから新たな堤防を構築するまでの間、海岸防護施設がない状態になる。その間の防護機能を確保する必要があるときは、矢板等によって仮設防護施設を設ける場合がある。

仮設防護施設は、自然の力や仮設物であること等によって矢板の変形、継ぎ手の変形、根本の洗掘といった問題事象が起こる場合があるため、仮設防護施設に異常がないかを台風の来襲前などに適宜確認する必要がある。

7.4 海岸保全施設の改良・補修における共通の留意点

(1) 海岸線を利用している関係者との事前調整

改良・補修を行おうとする海岸保全施設の前面の海岸空間や水域が何らかの形で占有されている場合がある。また背後陸域も狭隘な現場がある。そのため、工事着手前に現地を十分確認し、必要な事前調整を行っておくことが重要である。また、背後陸域に住宅等が近接する場合は、工事实施に伴う騒音や振動などによる悪影響ができるだけ生じないように注意して施工を行うことが必要である。

(2) 既設構造物の事前調査

既設構造物の事前調査では、改良・補修の対象とする施設の健全度調査を調査することになる。事前調査では、構造物の状態を適切に把握するため、視認が困難な構造物内部の空洞位置や止水の状況等を把握するための調査を適宜行うことが必要である。

既設構造物を撤去して改良・補修をするのか、既設構造物を活かして改良するかの判断においては、事前調査の結果が重要になることを認識しておく必要がある。

7.5 今後の課題

本研究は5ケースのケーススタディーをもとに、海岸保全施設の改良・補修を行う際の断面形状や施工法の検討を行う際の留意事項をまとめたものである。そのため、改良・補修事例の集積を進めるとともに、様々なケースにおける断面形状・施工方法の検討の際の技術的な課題を調査・分析し、ここでまとめた留意点の網羅性、普遍性、整合性を高めていくことが、今後の課題である。

8. あとがき

海岸保全施設の改良・補修工事は、今後増大していくと考えられるが、改良・補修工事は場所ごと施設ごとに制約条件が異なるため、それぞれに改良・補修の方法が異なる。そこに海岸保全施設の改良・補修の難しさがある。一つ一つの事例を積み上げ、分析・整理していくことが、海岸保全施設の改良・補修の技術を確立していくことに繋がっていくと思われる。

海岸保全施設の改良・補修は、高潮・波浪・津波外力への対応、地震動や液状化への対応、経年劣化した材料・部材への対応を始めとして施設の様々な面を見直す機会である。そのためこの機会を活用して、将来の維持管理の容易さ、海岸線へのアプローチ、水辺環境への配慮等にも考えを巡らせ、よりよい海岸保全施設の構築に繋がっていくことが望まれる。

(2016年2月15日受付)

謝辞

本研究の実施にあたり、国土交通省 地方整備局ならびに海岸管理者の関係各位から有益な資料の提供を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

石渡友夫, 横井聡之, 清宮理, 片岡眞二, 安間清, 白石修章, 外山進一, 柿川英明 (1984): 港湾鋼構造物腐食評価手法について, 港湾技研資料, No.501, pp1-57.

安間清, 石渡友夫 (1986): 海岸保全施設の維持管理手法, 港湾技研資料, No.557, pp1-52.

片岡眞二, 高橋邦夫, 横田弘, 菊池喜昭, 石原弘一, 梶原修治 (1994): 港湾構造物の改良・更新における技術課題の検討, 港湾技研資料, No.781, pp1-98.

海岸における地球温暖化適応戦略検討委員会 (2011): 海岸保全施設の更新等に併せた地球温暖化適応策検討マニュアル (案) pp1-50.

海岸保全施設技術研究会編 (2006): 海岸保全施設の技術上の基準. 同解説.

河合弘泰, 森屋陽一, 水谷法美, 横田弘 (2012): 海岸保全施設の長寿命化の検討に用いる将来の潮位・波浪条件に関する考察, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.68, No.2, pp995-1000.

国土交通省港湾局 (2015): 港湾工事共通仕様書.

財団法人港湾空港建設技術サービスセンター (2011): 初級・中級技術者のための港湾工事施工実務 (改訂版).

浸透固化処理工法研究会事務局 (2016): 液状化から構造物を守る地盤改良工法 浸透固化処理工法,

<https://www.pgm-koho.jp/about/>

(2016年2月12日時点アクセス)

鈴木武 (2009): 関東地方から九州地方にかけての高潮被害の温暖化による感度, 国土技術政策総合研究所資料, No.547, pp1-12.

柴田鋼三, 上田寛, 大堀晃一 (1983): 海岸堤防・構造集覧, 港湾技研資料, No.448, pp1-430.

豊島修 (1969): 現場のための海岸工学高潮編, 森北出版, pp1-355.

土田肇, 稲富隆昌, 野田節男, 上部達生, 柳生忠彦, 村田利治 (1980): 港湾・海岸施設耐震性調査手法について, 港湾技研資料, No.336, pp1-101.

内藤了二, 浅井正, 川口浩二, 猪股勉, 辰巳大介, 成田圭介, 港湾の長期検潮記録から地盤変動を除去した平均海面水位の推定とその変動特性 (2015): 国土技術政策総合研究所資料, No.855, pp1-36.

中島晋, 横田弘, 関根好幸, 山道広人 (1996): 海岸保全施設の改良・更新事例集, 港湾技研資料, No.848, pp1-95.

農林水産省農村振興局防災課, 農林水産省水産庁防災漁村課, 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 国土交通省港湾局海岸・防災課 (2014): 海岸保全施設維持管理マニュアル～堤防・護岸・胸壁の点検・評価及び長寿命化計画の立案～, pp1-61.

野上周嗣, 加藤絵万, 川端雄一郎, 佐藤徹 (2014): 棧橋上部工の維持管理シナリオに関する検討, 港湾空港技術研究所資料, No.1296, pp1-95

林健太郎, 山崎浩之 (1999): 既設構造物直下の液状化対策工法—浸透固化処理工法—, 基礎工, Vol.27, No.3, pp27-29.

古土井光昭, 井口元治 (1972): 海岸堤防の劣化指標について, 港湾技研資料, No.149, pp1-86.

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 892 March 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019