

楕形鋼矢板壁工法マニュアル（案）

令和4年3月

国土交通省 九州地方整備局
下関港湾空港技術調査事務所

序

津波を対象とした海岸保全施設は、一般的に、津波発生に先行した地震の作用を受けた後に津波が作用することになる。このため、施設の設置目的から要求性能を設定し、特に対象地震・津波に対する耐震性能と耐津波性能を有することが求められる。

高い耐震性能と耐津波性能を有する海岸保全施設整備は、従来工法を組み合わせることで実施されているのが現状であり、施設整備に対して、経済性、景観性、親和性、工期短縮が強く求められている。特に、中央防災会議、地震調査研究推進本部等の国の機関による巨大地震・津波のリスク評価が実施されており、例えば南海トラフを震源とする地震・津波の、今後 30 年以内の発生確率が 70%～80%（2020 年 1 月 24 日時点）とされている。一方、延長の長い海岸保全施設の施設整備には数十年の工期を要する場合も多々あるのが現状である。

これらの現状を踏まえ、コスト縮減と工期短縮を実現するため楕形鋼矢板壁工法が開発された。施設整備の検討段階において、比較工法案の一つとして取り扱い、他の工法（従来工法や新たに開発された工法等）との技術的な比較、事業評価を経て、現地に最も適した工法が選択されるべきと考えている。すなわち、本工法が他工法と比較して最適な選択とならない場合もあることに留意されたい。

本マニュアル（案）の委員会・事務局メンバーは、記載されている事項が正確であること、また執筆時に公表されている最新の基準類に準拠していることを入念に確認するとともに、新たな発想に基づく工法であることから実大実験、試験施工等による知見も慎重に検討し基準類の想定を超えた部分での工学的判断も加味している。このため、マニュアル（案）公表後の研究・技術開発等による日々の情報変化、専門家間の見解の相違、膨大な文書の作成時における人為的ミスの可能性により、本マニュアル（案）記載事項と他の情報源による情報が異なる可能性を完全に否定できないと考えている。本マニュアル（案）の利用者におかれては、本マニュアル（案）の情報を理由に、有識者や専門家の技術的助言を軽視したり、助言の入手を遅らせたりすることが無いよう留意されたい。また、本マニュアル（案）は、大分港海岸における事業実施に伴う検討結果を参考に、他の地域への展開を見据えた構成として編集しているが、全てを網羅したものとはなっていない可能性があると考えている。

本マニュアル（案）の委員会・事務局メンバーは、これを利用する者に対して、技術的助言等を実施する準備を整えるとともに、有識者・専門家・実務者の方々からの、技術的な疑義・助言・改善を要する事項等に関する情報提供により、本マニュアル（案）の改訂（ブラッシュアップ）に資することを期待している。

大分港海岸護岸改良技術研究会
委員長 菅野 高弘

大分港海岸護岸改良技術研究会

委員名簿

- 【委員長】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
菅野 高弘 港湾空港技術研究所 上級専任研究員
- 【委員】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
大矢 陽介 港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 上席研究官
- 【委員】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
川端 雄一郎 港湾空港技術研究所 構造研究領域 構造新技術研究グループ長
- 【委員】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
小濱 英司 港湾空港技術研究所 地震防災研究領域 耐震構造研究グループ長
- 【委員】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
鈴木 高二朗 港湾空港技術研究所 海洋研究領域 耐波研究グループ長
- 【委員】 国土技術政策総合研究所 沿岸海洋・防災研究部 沿岸防災研究室長
本多 和彦
- 【委員】 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
水谷 崇亮 港湾空港技術研究所 地盤研究領域 基礎工研究グループ長
- 【委員】 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室長
宮田 正史

「楕形鋼矢板壁工法マニュアル（案）」の目次

1. 概要	1
1.1. はじめに	1
1.1.1. 楕形鋼矢板壁工法の開発の背景	1
1.1.2. 楕形鋼矢板壁工法の考え方	4
1.1.3. 楕形鋼矢板壁工法の適用範囲	6
1.2. 本マニュアルの適用範囲	7
1.3. 用語の定義	8
2. 楕形鋼矢板壁の設計	11
2.1. 一般	11
2.2. 要求性能および性能規定	13
2.2.1. 要求性能	13
2.2.2. 性能規定	18
2.3. 設計方針	23
2.4. 設計の手順	24
2.4.1. 工法の適用性の検討	24
2.4.2. 設計検討の手順	27
2.4.3. 鋼矢板の大変形時の性能規定	31
2.5. 設計条件の設定	32
2.5.1. 基本事項	32
2.5.2. 潮位	33
2.5.3. 波浪	33
2.5.4. 津波及び地震動	34
2.5.5. 地盤条件	36
2.5.6. 地盤の沈下等	36
2.5.7. 地盤の液状化	37
2.5.8. 自重及び載荷重	39
2.5.9. 材料強度	39
2.6. 初期断面の設計	40
2.6.1. 一般	40
2.6.2. 天端高の設定	42
2.6.3. 長尺矢板・短尺矢板の組合せ	42
2.7. 永続・変動状態における性能照査	43
2.7.1. 一般	43
2.7.2. 地盤定数の評価	44

2.7.3. 地盤の抵抗力の評価方法	45
2.7.4. 短尺矢板部(壁体部)の安定検討	48
2.7.5. 長尺矢板の支持力の検討	50
2.8. 偶発状態における性能照査	52
2.8.1. 一般	52
2.8.2. 地震応答解析手法	52
2.8.3. 長尺矢板部(単体部)の照査	52
2.8.4. 短尺矢板部(壁体部)の照査	53
2.8.5. 地震動による矢板壁の変形量の照査	53
2.8.6. 地震応答解析における留意点	56
2.8.7. 地震に続く津波や高潮・高波による影響の検討	65
2.8.8. 粘り強い構造の検討	67
2.9. 構造細目	70
2.9.1. 部材厚の設定	70
2.9.2. 上部工被覆コンクリート	71
2.9.3. 鋼矢板の現場継手位置	71
3. 施工上の留意点	75
3.1. 施工方法	75
3.1.1. 鋼矢板の打込み工法	75
3.1.2. ウォータージェット併用の留意点	78
3.1.3. 油圧圧入工法の留意点	79
3.2. 施工管理	82
3.2.1. 先行掘削	82
3.2.2. ウォータージェット	83
3.2.3. 鋼矢板の打込み	84
3.2.4. 上部被覆コンクリート	87
4. 維持管理上の留意点	88
4.1. 海岸保全施設としての維持管理に関する留意点	88
4.2. 機能維持のための維持管理上の留意点	89
4.3. 変状等発生時の修繕等に関する留意点	97

【付属資料】

1. ハット形鋼矢板の曲げ変形特性
 - 1.1 ハット形鋼矢板の諸元
 - 1.2 櫛形鋼矢板壁工法における短尺矢板部(壁体部)の曲げ変形特性
 - 1.3 櫛形鋼矢板壁工法における長尺矢板部(単体部)の曲げ変形特性
 - 1.4 櫛形鋼矢板壁工法における短尺矢板部(壁体部)と長尺矢板部(単体部)の

バイリニア型 $M-\phi$ 関係

- 1.5 参考：実機曲げ試験結果 (SP-45H、SP-50H)
- 1.6 ハット形鋼矢板のバイリニア型 $M-\phi$ モデル一覧表

1. 概要

1.1. はじめに

1.1.1. 楕形鋼矢板壁工法の開発の背景

(1) 背景

日本は海に囲まれていることから、諸外国との貿易や交流のため海岸沿いに多くの重要な産業施設や港湾が立地しており、沿岸部には多くの家屋やライフラインが集中している。沿岸域に大きな被害を与え得る自然災害として、地震に伴う津波や、台風等による高潮が挙げられる。

我が国は世界有数の地震多発国であり、たびたび大地震に見舞われ大きな被害を受けている。なかでも、海域のプレート境界を震源域とする大規模な津波を伴う大地震は、数十年～数百年の間隔で発生し、甚大な人的・物的被害をもたらしている。過去約 100 年間において大きな津波災害を生じさせた地震(死者・行方不明者 1,000 名以上)は以下の通りである。

- 1896 年 明治三陸地震(M8.2、三陸沖)
- 1933 年 昭和三陸地震(M8.1、三陸沖)
- 1944 年 昭和東南海地震(M7.9、南海トラフ沿い)
- 1946 年 昭和南海地震(M8.0、南海トラフ沿い)
- 2011 年 東北地方太平洋沖地震(M9.0、三陸沖)

これらはいずれも、太平洋側の三陸沖や南海トラフを震源域とする地震であるが、1983 年の日本海中部地震や 1993 年の北海道南西沖地震のように、日本海側で発生し大きな津波災害が生じた地震もある。特に、南海トラフで発生する地震により引き起こされる津波は、現在わが国で最も警戒されている津波の一つであり、防護機能の確保が急がれている。

一方、高潮に関しては、1959 年の伊勢湾台風による高潮災害を契機として、恒久的な高潮対策が実施されてきたが、近年になって再び高潮災害が頻発するようになってきた。高潮対策事業が実施されてから約半世紀が経ち、防潮堤の老朽化や天端沈下に対する高潮防御機能の低下が問題になってきている。また、地球温暖化の影響で海面上昇や台風の大型化、高潮潮位偏差の増大が顕在化し、防潮堤の防災機能を低下させる事態も起きている。

このような背景から、高度に利用された沿岸部において、狭隘部での施工や近接施工が可能で、比較的安価かつ迅速に海岸保全施設を構築する工法が求められている。楕形鋼矢板壁工法はこのような要求に応えるべく開発された工法である。

(2) 鋼矢板壁の特徴

地震動により鋼矢板壁構造が大きく変形しても、壁体自体は破断せず背後土砂が流出しなかったことが、過去の被災事例により確認されている。1993年の北海道南西沖地震（M7.8）において、函館港の港湾施設は大きな被害を受けた。このうち、矢板式の弁天地区第6岸壁は、**図 1-1** 及び**図 1-2** に示すように、岸壁天端が最大で5m程度前面にはらみ出したが、潜水調査により矢板に破断がないことが報告されている¹⁾。調査では、エプロン全体に陥没・沈下・亀裂・噴砂がみられ、背後地盤が液状化したことが推定されたが、当時の写真によると背後地盤の流出は生じていない様子である。鋼矢板壁構造では大きく変形しても、土砂流失を防ぎ止水性が確保されていたことが分かる。

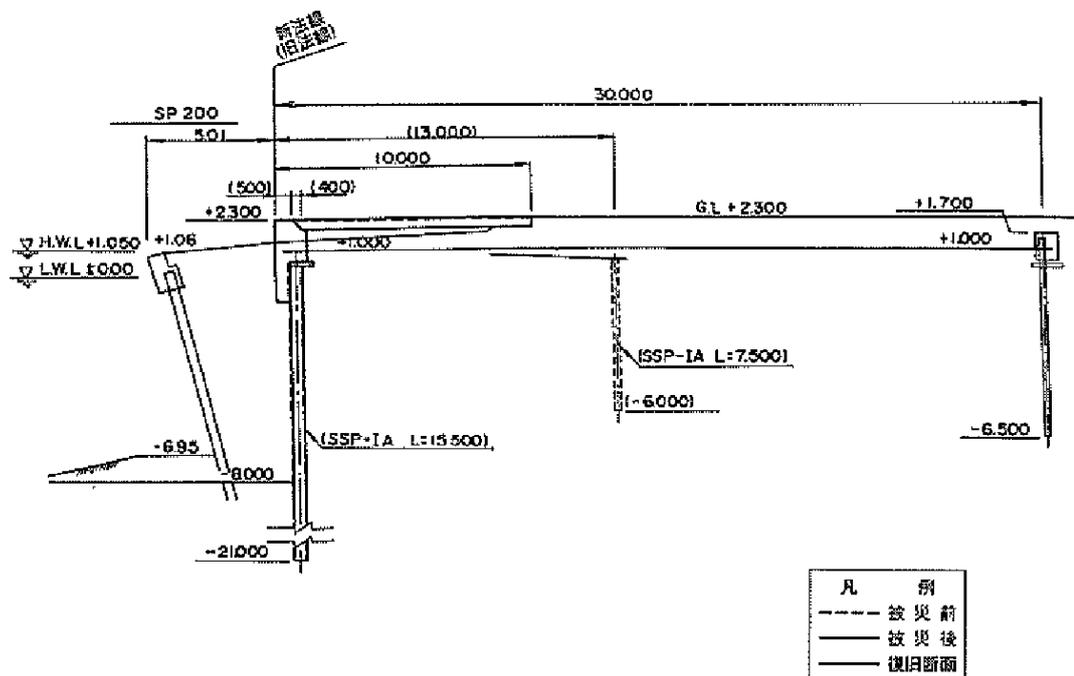


図 1-1 函館港弁天地区第6岸壁の被災状況断面図¹⁾

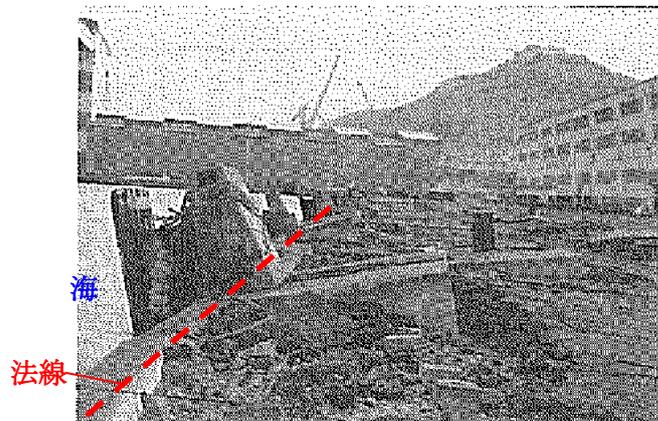


図 1-2 法線変位(函館港、弁天地区、第6岸壁)¹⁾

また、安間ら²⁾によると、FSP-3 型鋼矢板を対象とした 3 次元完全弾塑性モデルによる FEM 解析の結果、矢板壁に水平変位が発生することにより、鋼矢板の曲げ応力と岸壁法線のはらみ出し変位による鋼矢板嵌合部の継手引張りが発生するが、鋼矢板のフランジ部に降伏が生じた段階において継手部は健全であり、遮水機能を失わないことが確認されている。

これらのことから、鋼矢板壁構造では、天端が法線直角方向に大きく変位しても、鋼矢板（フランジ部）が破損しなければ鋼矢板の継ぎ手部は損傷せず、止水性が確保できていると考えられる。

(3) 液状化対策

地震による地盤の液状化が予測される場合、地盤改良により液状化対策を行うことが一般的である。しかしながら、地盤改良は比較的高コストとなるケースが多い。特に護岸のような延長の長い構造物においてはそれが顕著となる。地震による地盤の液状化を許した状態で護岸に必要な性能を保持できる工法があれば、護岸整備の低コスト化に大きく貢献する。

地盤の液状化現象を許した場合、護岸部に大きな水平変位が生じることが懸念される。一方、先述の函館港の被災事例では、鋼矢板壁は天端が水平方向に大きく変位しても継手部は損傷せず、土砂の流失を防ぎ止水性を確保できていた。従って、鋼矢板式護岸では、地盤の液状化による大きな水平変位の発生を許しても、壁状の構造は維持できる可能性がある。

壁状の構造が維持できれば、地震後の津波や高潮などから背後地盤を防護できる。しかしながら、その為には、壁の天端高さが一定以上に維持されることが重要である。鋼矢板の先端（下端）が液状化層中にとどまっていると、地盤が液状化したときに矢板壁が沈下し、天端高さが保持できない恐れがある。一方、沈下を防ぐために矢板の先端を液状化層下の支持層まで打ち込むと、より大規模な地震で液状化層厚が増大した際に矢板壁の全面に非常に大きな流動力が作用することとなり、矢板の損傷が避けられない。

(4) 楕形鋼矢板壁工法

このような課題に対して発案されたのが本マニュアルで取扱う楕形鋼矢板壁工法である。楕形鋼矢板壁工法では、矢板壁の大部分の根入れ深度を液状化層より上部又は液状化層の途中までの高さにとどめ、液状化層の流動力を逃がす一方、矢板壁の自重を支持するために最低限必要な数の矢板のみ液状化層下の支持層（非液状化層）まで打ち込むことで矢板壁天端の大きな沈下を防ぐことが基本的な考え方となっている。

これまで液状化対策のための地盤改良を併用して行われてきた津波対策に替わる新しい工法として、内閣府の SIP(戦略イノベーション創造プログラム)におけるレジリエントな防

災・減災機能の強化の中で楕形鋼矢板壁工法の開発が行われた。その成果として大分港海岸直轄海岸保全施設整備事業に本工法が採用され、設計・施工が進められている。

1.1.2. 楕形鋼矢板壁工法の考え方

「楕形鋼矢板壁工法」とは、図 1-3 に示すとおり非液状化層まで根入れした長尺矢板と矢板下端が液状化層に留まる短尺矢板を「楕形(楕の歯状)」に組み合わせて矢板壁構造を構築する工法である。

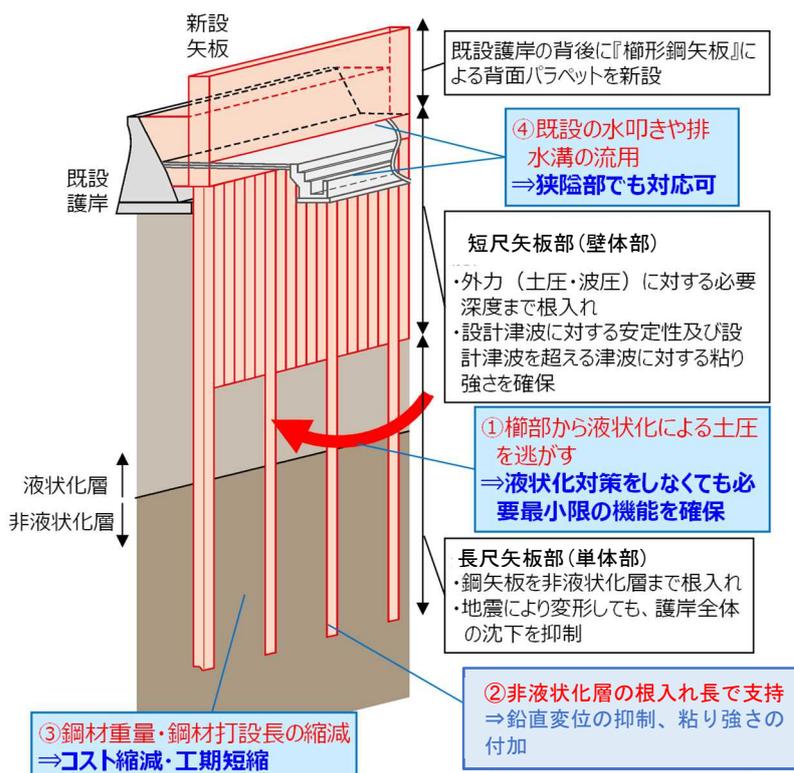


図 1-3 楕形鋼矢板壁工法の概要

鋼矢板を楕状に組み合わせることで、地震による液状化が発生し既設護岸が大きく変位した場合においても長尺矢板が沈下抑制の機能を担い、壁構造を形成する短尺矢板部(壁体部)の鉛直方向の変位を許容範囲内に抑える。その際、長尺矢板の支持力の推定にあたって、液状化層の周面抵抗力を見込まず、非液状化層への根入れ部の周面抵抗力のみに期待する設計としている。

楕形鋼矢板壁工法には以下の特徴がある。

- ① 液状化対策をしなくても地震後の津波や高潮・高波等からの防護のために必要な機能を確保可能である。
- ② 非液状化層まで長尺矢板を根入れし、鉛直方向の変位を抑制するとともに、鋼構造物として大変形が生じた場合でも容易に倒壊しない粘り強さを付加する。

- ③ 櫛形とすることにより、整備延長全体では短尺矢板分の鋼材重量や鋼材打設長が縮減し、コスト縮減や工期短縮につながる。
- ④ 鋼矢板の施工に自走式の圧入工法を用いれば、狹隘地において省スペースかつ低騒音・低振動の施工が可能である。
- ⑤ 護岸改良においては、既設の水叩きや排水溝をそのまま流用することも可能である。

なお、「櫛形鋼矢板壁工法」では、長尺矢板が単体で自重を支持する構造であり法線直角方向の曲げ変形が比較的大きいため、1枚あたりの剛性が高く、壁体の中立軸と矢板1枚あたりの中立軸が一致する断面形状である「ハット形鋼矢板」を用いることを基本とする(図 1-4 参照)。

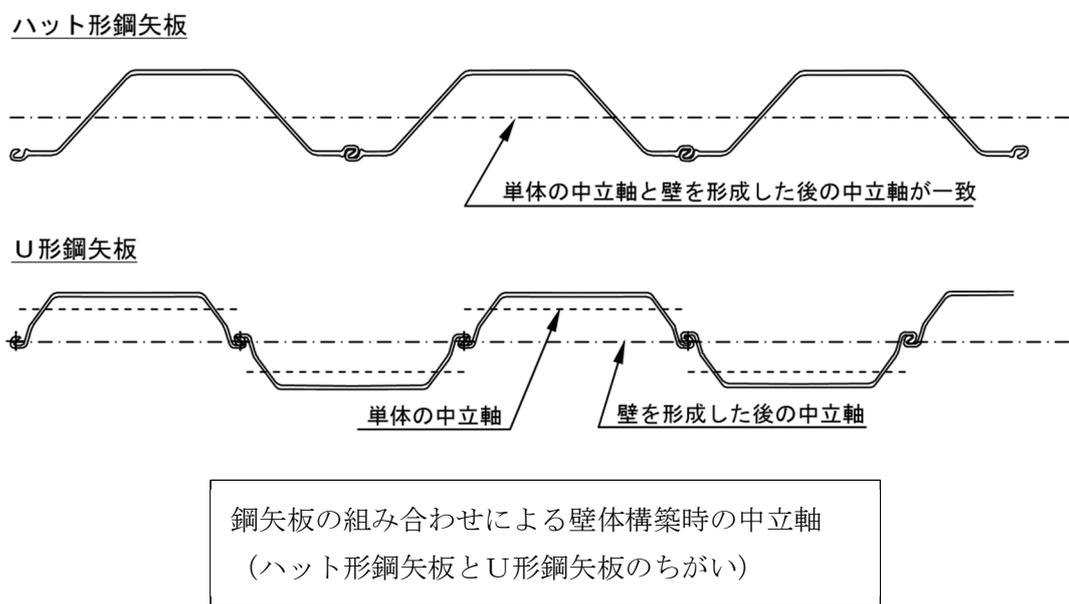


図 1-4 ハット形鋼矢板とU形鋼矢板の中立軸

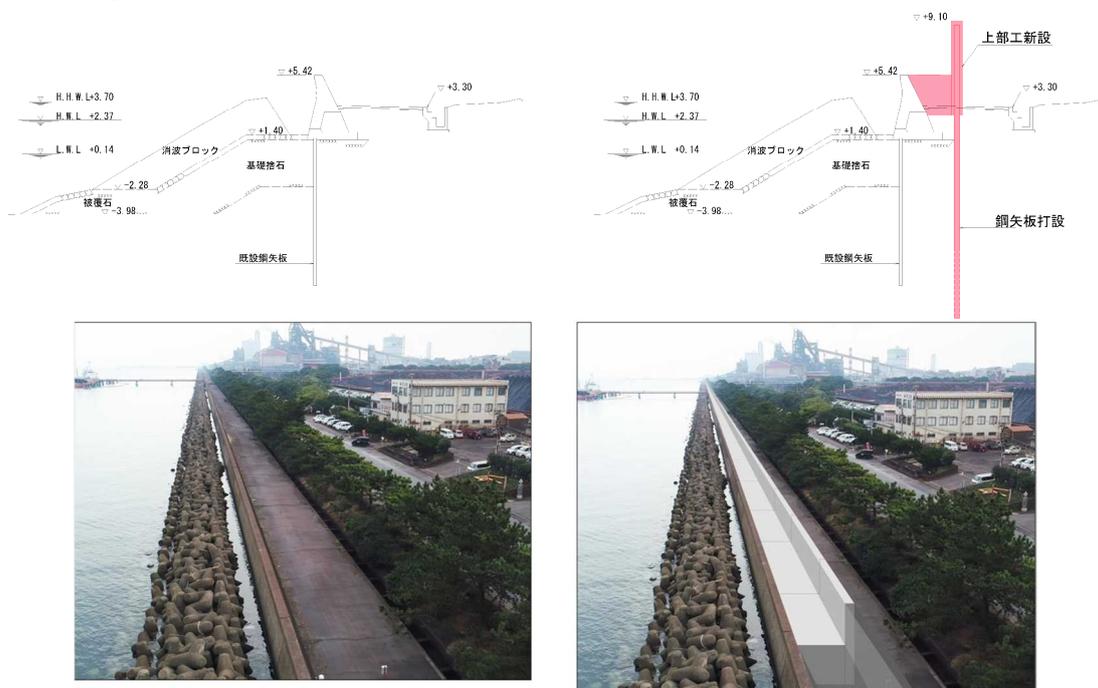
1.1.3. 楕形鋼矢板壁工法の適用範囲

「楕形鋼矢板壁工法」は、従来工法を適用する場合のような大規模な液状化対策を行わず、液状化による護岸変形を許容した護岸の構築工法である。新設・既設にかかわらず従来工法と比較可能な選択肢として挙げることができる。

津波や高潮・高波に対する天端高さの確保と対象とする波力に対する安定性を確保することが楕形鋼矢板壁工法の目的であるため、楕形鋼矢板壁構造単独では護岸として十分な機能を有さない場合もあることに留意する必要がある。例えば、民家や工場施設が護岸の背後に近接している箇所等、地震動による護岸の変位を許容できない場所への適用には十分留意する必要がある。また、楕形鋼矢板壁工法では地震動や液状化による水平方向の変位が大きいことを十分に配慮する必要がある、液状化を許容することによるコスト削減効果のみにとらわれて本工法を選定することがないように注意しなければならない。

楕形鋼矢板壁工法による護岸改良のイメージを図 1-5 に示す。楕形鋼矢板壁工法適用に適した条件の例として、以下が挙げられる。

- ・液状化層が厚く地盤改良や構造物による液状化対策が現実的でない場合
- ・護岸前面に設置された消波ブロック等の構造物の撤去が困難であり、護岸の補強や護岸法線の前出し等の対策が著しく不経済となる場合
- ・地震時に護岸全体が変位しても護岸高さを維持できれば良い場所、あるいは地震時の変形量が小さいことが見込まれる場合
- ・地中に埋設物がない場合（地中に埋設物があるとそれが障害となり、鋼矢板の連続壁が形成できないため）



現況 改良護岸
図 1-5 楕形鋼矢板壁工法による護岸改良イメージ

1.2. 本マニュアルの適用範囲

- (1)本マニュアルは、海岸保全施設に用いる楕形鋼矢板壁工法に適用する。
ここで、楕形鋼矢板壁工法とは本マニュアルの 1.1 に示した工法を指す。
- (2)本マニュアルに示していない事項については、次の基準類等によることができる。
- ①海岸保全施設の技術上の基準・同解説（全国農地海保全協会、公益社団法人全国漁港漁場協会、一般社団法人全国海岸協会、公益社団法人日本港湾協会、平成 30 年 8 月）
 - ②港湾の施設の技術上の基準・同解説（公益社団法人日本港湾協会、平成 30 年 5 月）
 - ③港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局、平成 25 年 11 月）

【解説】

- (1)本マニュアルは、施工実績のあるハット形鋼矢板による「楕形の鋼矢板壁構造」について記述する。
- (2)本マニュアルでは、波浪や津波外力、レベル 1 地震動に対する短尺矢板部(壁体部)の静的な構造安定性、および上部工と鋼矢板の自重に対する長尺矢板の支持力（必要根入れ長）を照査する方法について述べる。さらに、完成した断面に対して非線形地震応答解析を行い、レベル 1、レベル 2 地震動や津波に先行する地震動に対する鋼矢板の健全性（発生応力、曲率等）及び矢板天端の沈下量を検討する方法を述べる。
- (3) 本マニュアルでは、楕形鋼矢板壁工法に特有の施工上及び維持管理上の留意点についても記述する。
- (4)本マニュアルでは、【解説】には一般的に準用できる項目を記述し、【参考】には大分港海岸直轄海岸保全施設整備事業における事例・知見等を中心に、楕形鋼矢板壁工法の理解に参考となる事項を記述している。
- (5)鋼矢板の周面抵抗力の算定方法については、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」（以下、「海岸基準」）や「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（以下、「港湾基準」）に具体の記載がないため、「鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル(案)（第 3 版）」（以下、「シートパイル基礎マニュアル」）の「付属資料 1.2 バイブロハンマ単独で打設した場合の基準支持力及び地盤抵抗係数の評価」及び「付属資料 1.3 ウォータージェット併用で打設した場合の基準支持力及び地盤抵抗係数の評価」を参考に設定している。

【参考】

- (1)圧入工法による鋼矢板の周面摩擦抵抗については、大分港海岸津留地区西側区間で鋼矢板の現地載荷試験を行って、ハット形鋼矢板（単体使用に場合）の周面抵抗力を設定している。

(2)基本設計に関連する曲げ載荷試験結果の概要については、本マニュアルの巻末に【付属資料】として掲載している。

1.3. 用語の定義

本マニュアルで用いる用語を次のように定義する。

楕形鋼矢板壁：図 1-6 に示すように、非液状化層まで根入れした長尺矢板と矢板下端が液状化層に留まる短尺矢板を組み合わせた構造が、正面から見ると楕形（楕の歯状）のような形状を成すため、この構造を楕形鋼矢板壁と呼ぶ。

短尺矢板：図 1-6 における連続した矢板壁を構成する短い方の矢板。

短尺矢板部(壁体部)：図 1-6 に示した連続した壁状の構造を成している部分。

長尺矢板：図 1-6 における短尺矢板部（壁体部）より下まで延びた矢板。

長尺矢板部(単体部)：図 1-6 における長尺矢板が短尺矢板部(壁体部)から突き出した部分。

スパン：1 枚の長尺矢板が支持力を分担する法線方向延長の 1 単位。

楕部：短尺矢板の下端と長尺矢板で囲まれた楕の歯状に空いた鋼矢板壁がない部分。

ウェブ、フランジ、アーム：ハット形鋼矢板の一部分(図 1-7 参照)。

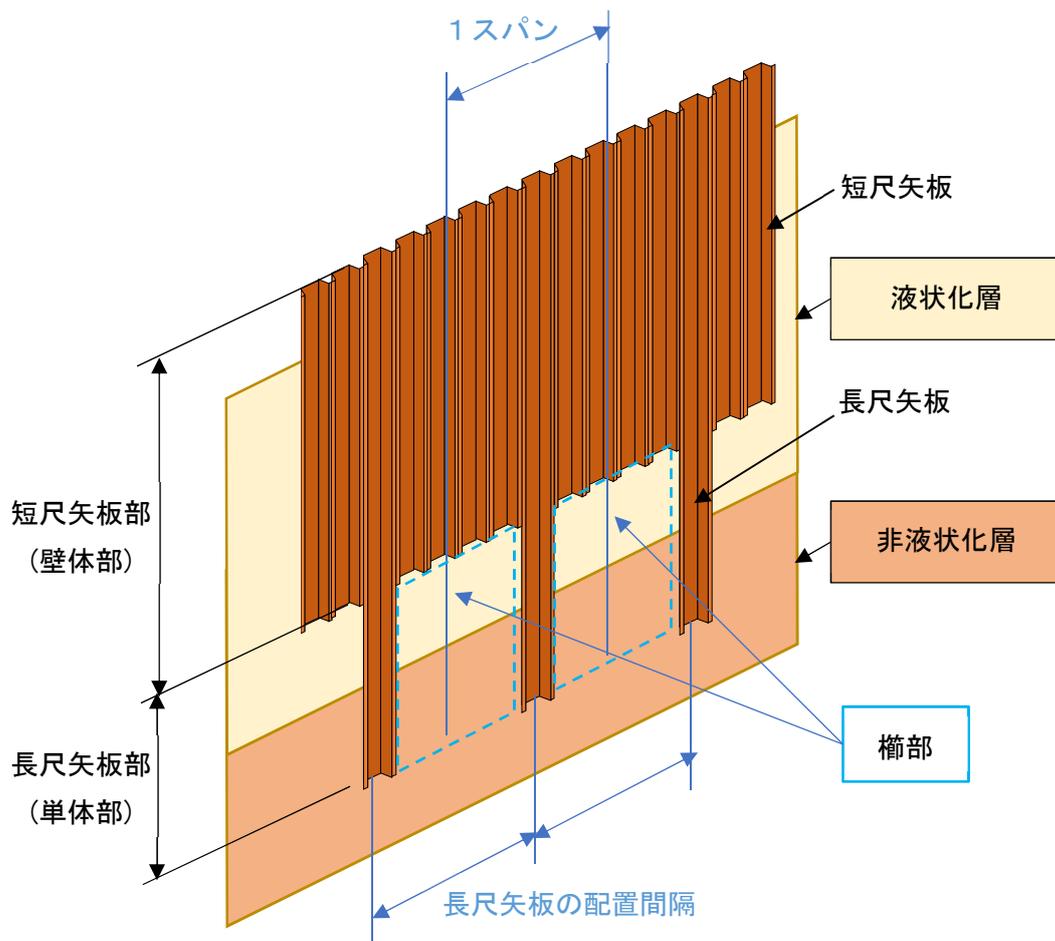


図 1-6 楕形鋼矢板壁のイメージ図

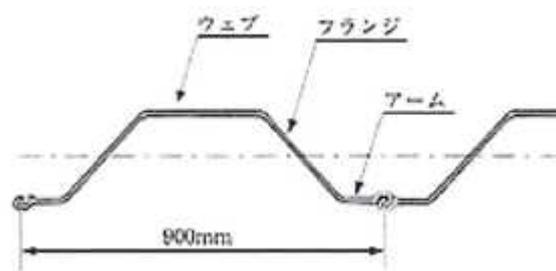


図 1-7 ハット形鋼矢板の部分名称

負曲げ：図 1-8 (1)のような片持ち梁方式の荷重試験で生じるハット形鋼矢板の曲げ変形において、ウェブ側に引張応力が、アーム側に圧縮応力が発生する曲げ変形を負曲げ状態と呼ぶ。

正曲げ：図 1-8 (2)のような片持ち梁方式の荷重試験で生じるハット形鋼矢板の曲げ変形において、アーム側に引張応力が、ウェブ側に圧縮応力が発生する曲げ変形を正

曲げ状態と呼ぶ。

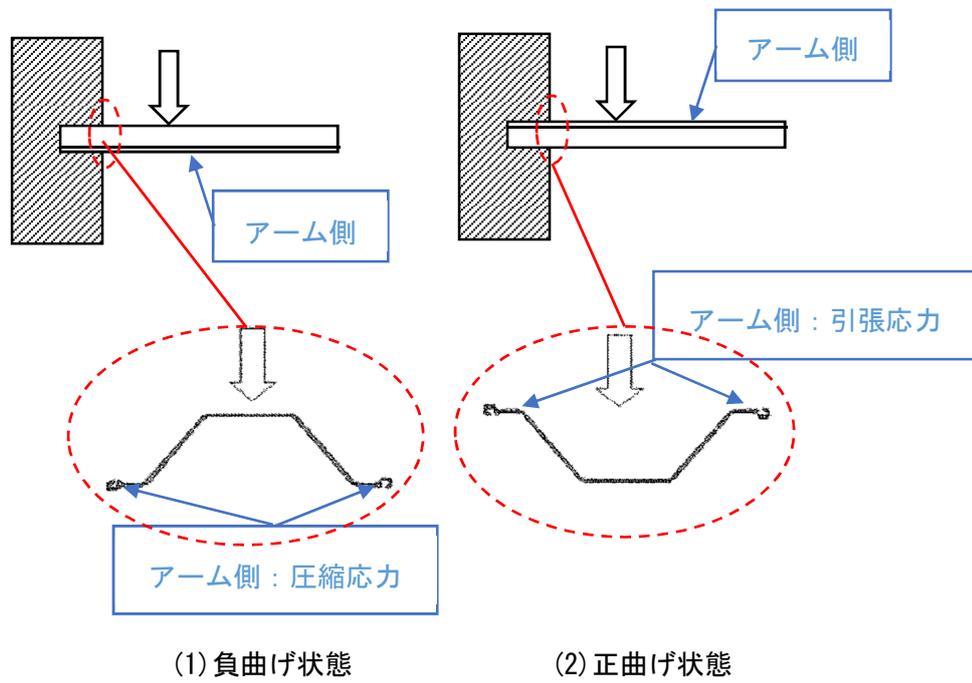


図 1-8 正曲げと負曲げの定義

2. 楕形鋼矢板壁の設計

2.1. 一般

楕形鋼矢板壁の設計にあたっては、自然条件、施工条件、経済性等を考慮して適切な構造諸元を設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁の基本設計は、波浪、津波や地震時の外力に対して、水平抵抗及び周面抵抗力等に関する安定性の照査を行うことを基本とする。楕形鋼矢板壁の構造と機能を図 2-1 に示す。

- (1)楕形鋼矢板壁の短尺矢板部(壁体部)は、波浪や津波による波力の作用に対する構造的な安定性及びボイリングやパイピングなどの浸透破壊に対する安定性を確保するように諸元を決定する。
- (2)楕形鋼矢板壁の短尺矢板部(壁体部)は、波浪や津波による波力の作用に対して、自立矢板式護岸として設計する。

短尺矢板下端が、地震時に液状化が懸念される砂層内にとどまる場合、地盤が液状化することで周面抵抗力が低下し、短尺矢板部(壁体部)が沈下する可能性がある。また、地震後に過剰間隙水圧の消散に伴って地盤の沈下が生じ、矢板の天端高さが下がる可能性もある。これを防止するために、長尺矢板を非液状化層まで根入れし、液状化が生じた場合でも、長尺矢板の非液状化層への根入れ部のみで上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支持可能な構造とする。
- (3)楕形鋼矢板壁は、地震時に地盤が液状化したときに、非液状化層に根入れした長尺矢板の周面抵抗力で自重を支持する構造である。地盤条件や長尺矢板の施工条件を考慮して、適切な矢板長となるよう長尺矢板の 1 枚が受け持つ 1 スパン長を設定することが重要である。ただし、長尺矢板 1 枚に対して短尺矢板があまりにも多くなる場合は、長尺矢板間の中央部の短尺矢板の垂れ下がりに関する照査等、個別の検討が必要になる。
- (4)長尺矢板間には、櫛部と呼ばれる鋼矢板を打設しない区間が形成されている(図 1-6 参照)。液状化した地盤の側方流動が生じた場合でも、櫛部を通じて液状化した地盤のすり抜けが生じることにより、矢板壁に作用する流動圧(液状化地盤の側圧)を低減できる可能性がある³⁾。これにより、液状化対策等の地盤改良を行わずに必要最小限の機能(連続する遮水壁と必要天端高)を確保するという考え方を採用している。長尺矢板の配置間隔については、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重と非液状化層への長尺矢板の根入れ

長とを勘案し、経済性も考慮して必要な支持力が得られるように決定する必要がある。

(5)長尺矢板は、矢板単体で上部工を含む楯形鋼矢板壁の自重を支持する機能を期待している。ある程度曲げ変形が生じても一定の支持力を維持することが求められるため、矢板1枚あたりの断面性能に優れるハット形鋼矢板を採用する。

(6)長尺矢板部(単体部)は、短尺矢板部(壁体部)に比べて断面性能が小さいため、地震動による地盤の液状化時の地盤変形に伴い全塑性モーメントを超過するような大きな曲率が発生する可能性がある。このようなことが想定される場合には、曲げ載荷試験等により、鋼矢板単体の $M-\phi$ の関係や必要な性能を確保できる限界の曲率を事前に確認しておく必要がある。

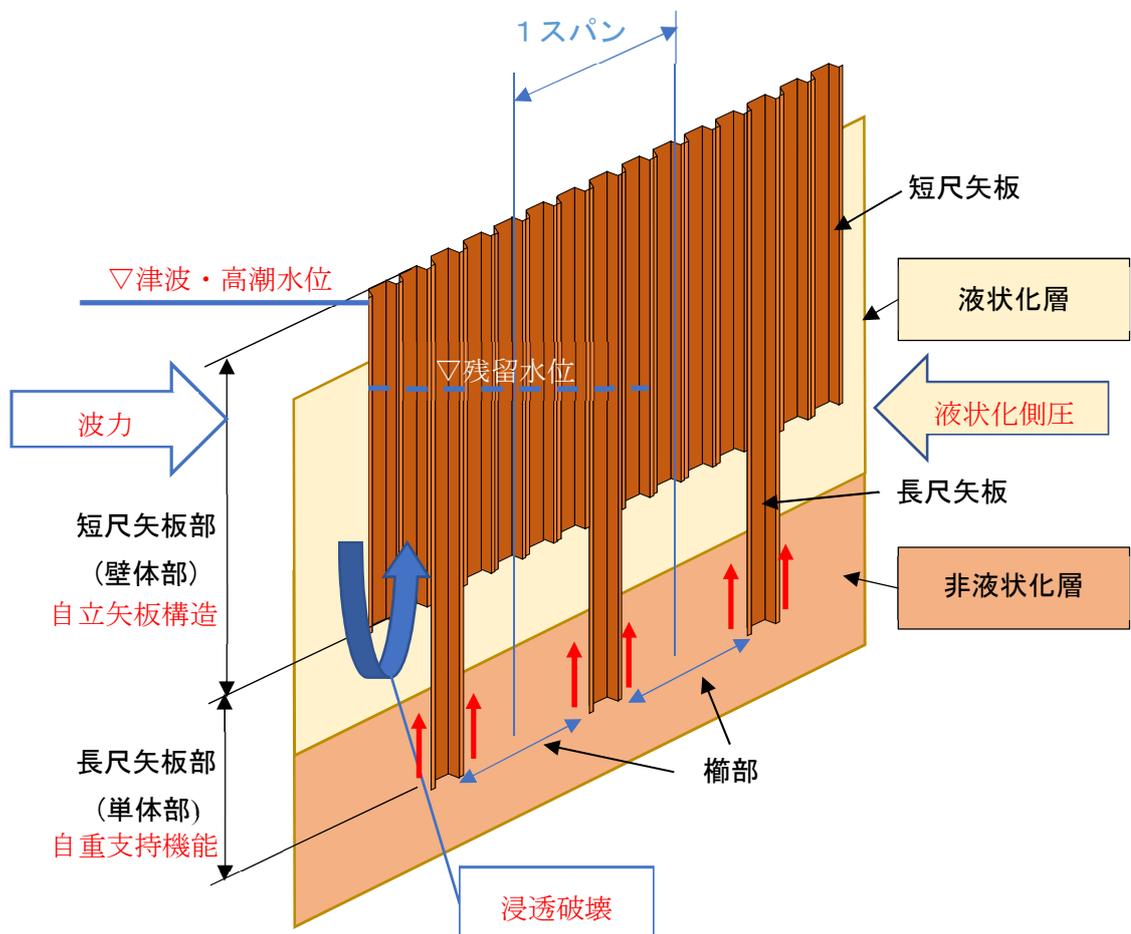


図 2-1 楯形鋼矢板壁の構造と機能

2.2. 要求性能および性能規定

2.2.1. 要求性能

楕形鋼矢板壁の要求性能については、背後地の状況等に応じて適切に設定する。

【解説】

要求性能については、海岸基準等を参考に、想定される津波や高潮・高波から背後地を防護できるように適切に設定する。

要求性能の基本的な考え方は、設計津波の来襲時に、使用性が確保され(すなわち天端高>設計津波高)、背後への浸水が防護できるようにすることである。

加えて、高潮・高波時の越波に対する防護や護岸としての役割等が求められる場合も想定されるので、地域の状況を踏まえて、楕形鋼矢板壁を用いる施設の目的を明確にし、それぞれの目的に応じて適切に要求性能を設定する。

海岸保全施設としての楕形鋼矢板壁には、例として、図 2-2 及び図 2-3 に示すような機能が想定されている。

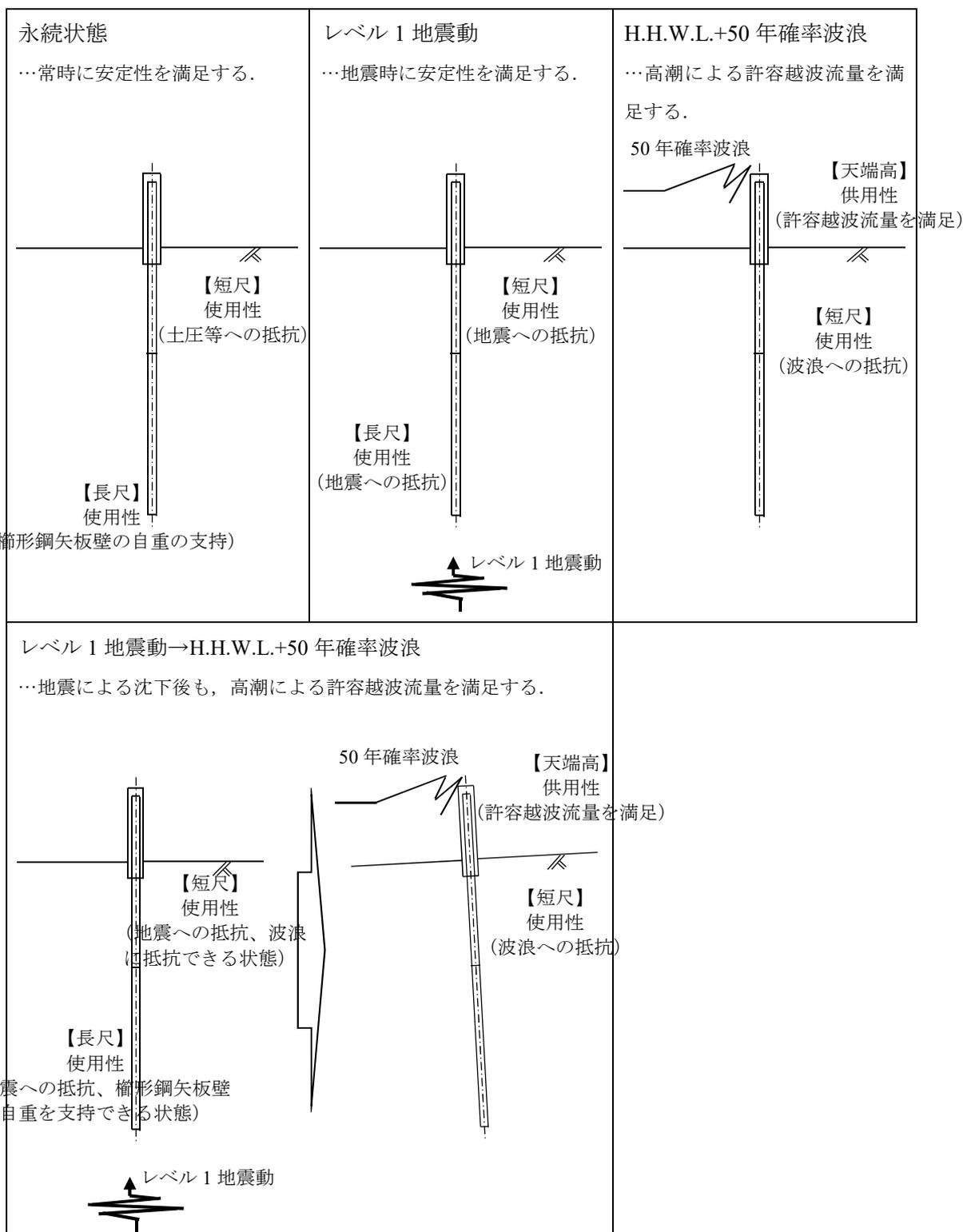


図 2-2 楕形鋼矢板壁工法に対して想定される機能 (その1)

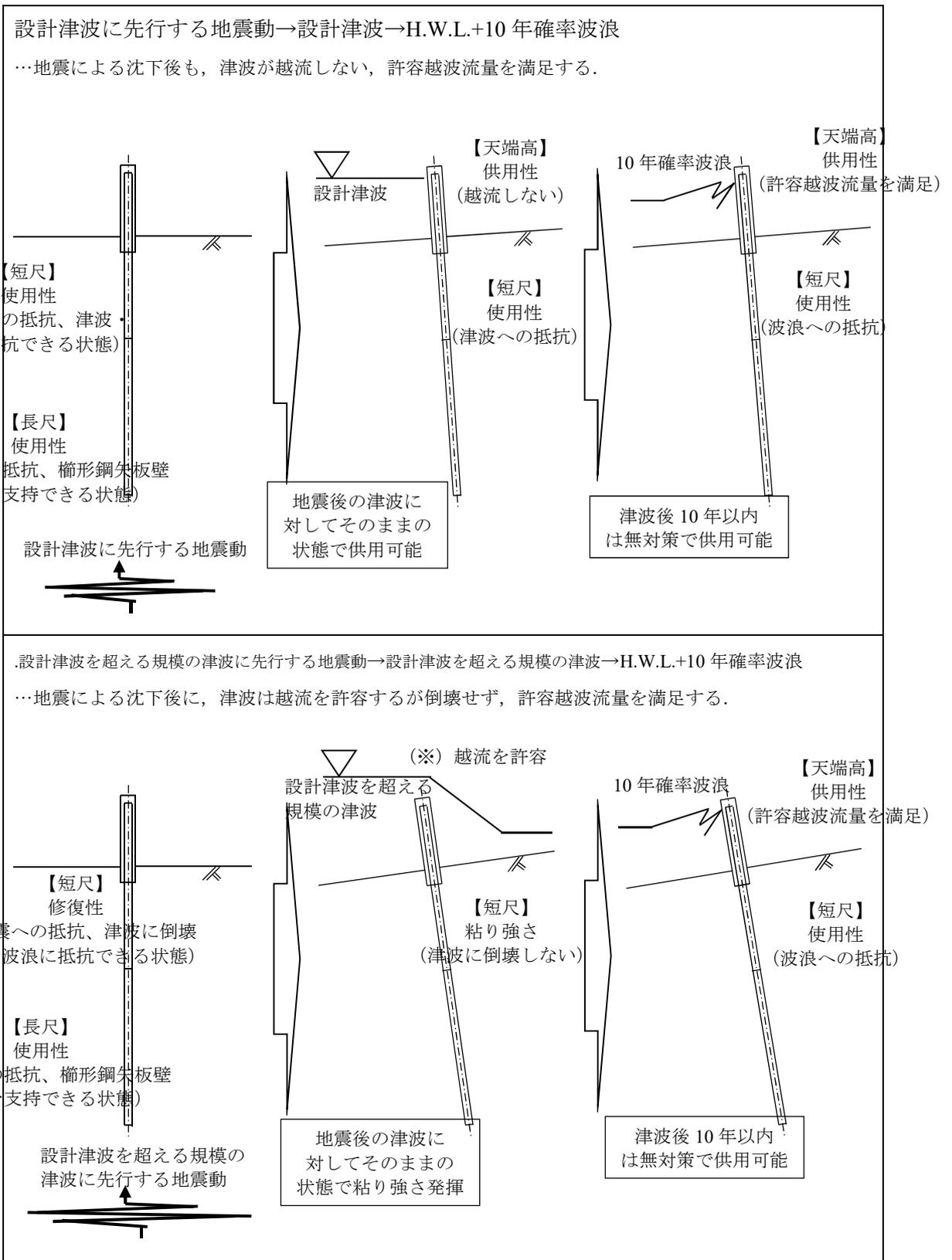


図 2-3 楕形鋼矢板壁工法に対して想定される機能 (その2)

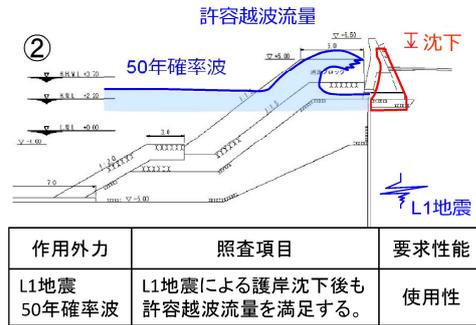
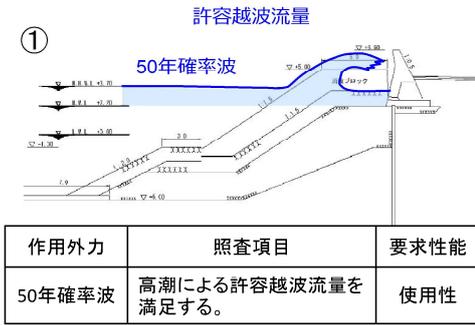
【参考】

大分港海岸護岸整備に関する要求性能の設定の考え方を以下に示す。大分港海岸の護岸整備では、設計津波に対する防護と高潮・高波時の越波防護を整備目的としている。

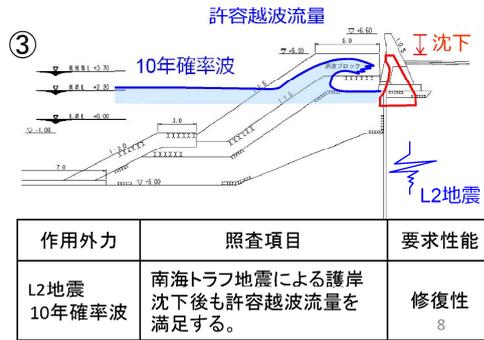
- ①自重、土圧、変動波浪、L1地震動の作用に対しては、その損傷等により護岸としての機能を損なわず、背後地の人命・財産・企業活動に支障を及ぼさないこと。
- ②L2地震動の作用に対しては、地震後の速やかな機能の回復が可能なものとする。
- ③高潮及び波浪（HHWL+50年確率波）に対しては、L1地震動により護岸が変状した後も、越波・越流から背後地の浸水を防護し、背後地の人命・財産・企業活動に支障を及ぼさないこと。
- ④設計津波に対しては、先行する地震動により護岸が変状した後も、津波から背後地の浸水を防護し、背後地の人命・財産・企業活動に支障を及ぼさないこと。
- ⑤設計津波を超える津波に対しては、先行する地震動により護岸が変状し、津波が越流しても、倒壊しにくい粘り強い護岸構造とすることで、背後地の被害軽減や避難時間の確保に努めること。
- ⑥L2地震動による護岸機能の復旧期間中、復旧期間を考慮した波浪（HWL+10年確率波）に対して、越波・越流から背後地の浸水を防護し、背後地の人命・財産・企業活動に支障を及ぼさないこと。

要求性能のイメージを図 2-4 に示す。

本設計の要求性能(高潮)



■ 発災後においても、許容越波流量以下となる護岸天端高を確保する。
(水平変位は規定しない。)



本設計の要求性能(津波)

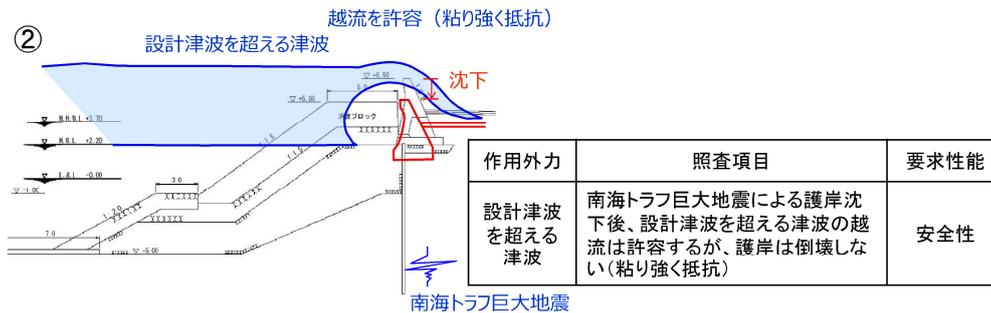
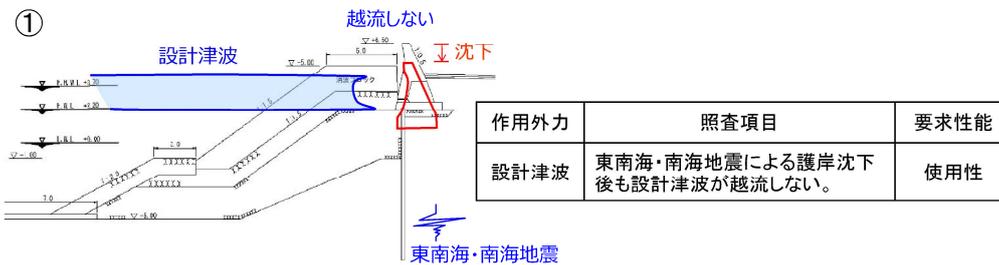


図 2-4 要求性能のイメージ

2.2.2. 性能規定

楕形鋼矢板壁の性能規定については、要求性能に応じて適切に設定する。

【解説】

性能規定については、海岸基準等を参考に設定する。想定される津波や高潮・高波時の越波に対する天端高の確保に関する性能規定と、永続状態・変動状態・偶発状態における構造的な安定性に関する性能規定を定める必要がある。

性能規定の設定における留意点を以下に示す。

- (1)設計津波の来襲時には、想定津波高さ以上に天端高が確保され、矢板壁前面と背後の水位差に伴う浸透流による地盤の浸透破壊が発生することなく、津波波力作用時に構造的な安定性を確保する必要がある。
- (2)設計津波に先行する地震動に対しては、その後に来襲する津波に対する使用性が確保できるよう、許容できる損傷の程度を設定する必要がある。例として、天端高が想定津波高以上を確保できる程度の沈下量に収まること、短尺矢板部(壁体部)の残留応力が、津波波力作用時に構造的な安定性を確保できる程度に収まること、長尺矢板の非液状化層への根入れ部分の周面抵抗力が、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重以上である、等が挙げられる。
- (3)レベル 1 地震動や変動波浪に対しては、短尺矢板部(壁体部)の必要根入れ長を確保し、短尺矢板部(壁体部)を降伏させない必要がある。
- (4)高潮・高波時の越波に対する防護機能を確保することを目的とする場合には、地震時の沈下量を天端高さの設定にどのように反映するかを検討する必要がある。地震と高潮・高波が同時発生する確率は非常に低いため、津波と異なり、地震動により天端高が沈下したとしても、波浪に対してはある程度の修復期間が確保できる。
例として、以下が考えられる。
 - ① レベル 1 地震動による沈下：再現期間 50 年の確率波に対して許容越波流量以下となる天端高を確保し、嵩上げなどの補修を不要とできる高さをあらかじめ設定する。沈下量は、レベル 1 地震動を入力した地震応答解析によって求める。また、液状化した地盤において間隙水圧の消散に伴い生じる沈下量についても適切に考慮する必要がある。
 - ② レベル 2 地震動及び設計津波に先行する地震動による沈下：再現期間 10 年の確率波に対して許容越波流量以下となる天端高を確保できる高さをあらかじめ設定する。実際にレベル 2 地震動により沈下した場合には、10 年程度の期間内に、再現期間 50

年の確率波に対して許容越波流量以下となる天端高まで嵩上げする。地震動による沈下量は、地震応答解析によって求める。また、液状化した地盤において間隙水圧の消散に伴い生じる沈下量や、地殻変動により生じる沈下量についても適切に考慮する必要がある。

(5) 波浪や津波によって護岸に作用する波力および越波、越流現象は水理模型実験によって評価することを基本とし、衝撃砕波力、越波の護岸背後への打ち込み等を適切に評価する。

楕形鋼矢板壁工法の各設計状態における性能照査項目及び限界値を定める標準的な指標の例を表 2-1 に示す。

各設計状態において考慮すべき事象の組合せの例を表 2-2 に示す。組合せの中で、a,b,c は一般的な海岸保全施設の設計において想定されるものである。ただし、b については、レベル 1 地震動に対して地盤の液状化が懸念され、地盤改良を行わない方針を採用した場合には、地震応答解析により変形量や応力等の照査を行うこととする。

a'はレベル2地震動や津波に先行する地震動等により地盤が液状化した状態を想定し、地震後に上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を長尺矢板部(単体部)によって支持可能なことを照査する場合の作用の組合せである。このとき、液状化した地盤は周面抵抗力が見込めないことを考慮する必要がある。

c'は、レベル2地震動により施設が変形すると、高潮・高波時の必要天端高を満足しなくなり、越波が問題となることを想定している。この場合には、例えば修復期間を10年と定めて、修復期間内に遭遇する可能性のある波浪(再現期間10年の確率波)に対する安定性を照査する。このとき、地震動や液状化による沈下を考慮し、レベル2地震動によって鋼矢板に残量応力が想定される場合にはそれを初期応力として波力により生じる応力と足し合わせて照査する必要がある。

c''は、レベル1地震動により施設が変形すると、高潮・高波に対する必要天端高を満足しなくなり、越波が問題となることを想定している。この場合には、例えば設計供用期間中に遭遇する可能性のある波浪(再現期間50年の確率波)に対する安定性を照査する。このとき、地震動や液状化による沈下を考慮する。

d,f,h は津波に先行する地震動やレベル2地震動に対する地震応答解析である。

e,g は津波による波力に対する安定性の照査である。このとき、津波に先行する地震動や液状化による沈下及び、液状化による地盤の周面抵抗力や地盤反力係数等の低下を考慮し、地震動によって鋼矢板に残量応力が想定される場合にはそれを初期応力として波力により生じる応力と足し合わせて照査する必要がある。

表 2-1 楕形鋼矢板壁の各設計状態における性能照査項目
及び限界値を定める標準的な指標の例

対象	要求性能	設計状態			照査項目	限界状態を定める標準的な指標	具体的な限界値の例
		状態	主たる作用	従たる作用			
短尺矢板	使用性	永続状態	土圧	水圧、載荷重	必要根入れ長	構造の安定に必要な根入れ長	$1.5l_{m1}$
					矢板の降伏	矢板の設計降伏応力度	鋼材の曲げ降伏応力度の設計用値
	使用性	変動状態	レベル1地震動	土圧、水圧、載荷重	必要根入れ長	構造の安定に必要な根入れ長	$1.5l_{m1}$
					矢板の降伏	矢板の設計降伏応力度	鋼材の曲げ降伏応力度の設計用値
					天端の変形	天端の残留変形量	許容越波流量(例えば $0.01m^3/s/m$)を満足する天端高さ
			変動波浪	自重、水圧	必要根入れ長	構造の安定に必要な根入れ長	$1.5l_{m1}$
					矢板の降伏	矢板の設計降伏応力度	鋼材の曲げ降伏応力度の設計用値
	水圧	自重	地盤の浸透破壊	必要な根入れ長	L.W.L時の水頭差(陸側から海側)及びH.H.W.L時の水頭差(海側から陸側)による浸透破壊に対して安全		
	使用性	偶発状態	設計津波に先行する地震動	自重、水圧	矢板の損傷	限界曲率	全塑性モーメント(= $1.16 \times$ 降伏モーメント)に対応した曲率
					法線の変形	天端の残留変形量	天端高さ > 津波高さ
			設計津波	自重、水圧	矢板の損傷	限界曲率	全塑性モーメント(= $1.16 \times$ 降伏モーメント)に対応した曲率
			水圧	自重	地盤の浸透破壊	必要な根入れ長	津波引波時の水頭差(陸側から海側)及び津波押波時の水頭差(海側から陸側)による浸透破壊に対して安全
	修復性	レベル2地震動	自重、水圧	矢板の損傷	限界曲率	全塑性モーメント(= $1.16 \times$ 降伏モーメント)に対応した曲率	
				法線の変形	天端の残留変形量	10年確率波に対する許容越波流量(例えば $0.01m^3/s/m$)を満足する天端高さ	
粘り強さ	設計津波を超える規模の強さを有する津波	自重、水圧	-	-	-		
長尺矢板	使用性	永続状態	自重	-	矢板の座屈	オイラー座屈荷重	$\pi^2 \times E \times I / L_k^2$
					矢板に作用する軸方向力	矢板の支持力	支持力 > 軸方向力
	使用性	変動状態	レベル1地震動	土圧、水圧、載荷重	矢板の損傷	適切に設定	鋼材の曲げ降伏応力度の設計用値
使用性	偶発状態	レベル2地震動	自重、水圧	矢板の損傷	適切に設定	全塑性モーメント(= $1.16 \times$ 降伏モーメント)に対応した曲率、あるいは実験にて決定	

※ l_{m1} : 頭部自由杭の曲げモーメント第一ゼロ点の深さ

表 2-2 考慮すべき事象の組合せの例

	波浪	津波	土圧	水圧	地盤の沈下	地震動	地盤の液状化	自重	上載荷重
a. 永続状態			○	○				○	○
a'. 永続状態(地盤の液状化後)			○	○			○(※2)	○	○
b. 変動状態(レベル1地震動)			○	○		○(※1)		○	○
c. 変動状態(変動波浪)	○		○	○				○	○
c'. 変動状態(変動波浪:10年確率波)(地震による沈下後)	○		○	○	○(※3)	○(※5)		○	○
c''. 変動状態(変動波浪:50年確率波)(地震による沈下後)	○		○	○	○(※4)			○	○
d. 偶発状態(設計津波に先行する地震)			○			○		○	
e. 偶発状態(設計津波)		○	○	○	○(※2)	○(※5)	○(※2)	○	
f. 偶発状態(設計津波を超える規模の津波に先行する地震)			○			○		○	
g. 偶発状態(設計津波を超える規模の津波)		○	○	○	○(※2)	○(※5)	○(※2)	○	
h. 偶発状態(レベル2地震動)			○			○		○	

※1: レベル1地震動に対して地盤の液状化が懸念され、地盤改良を行わない方針を採用した場合には、地震応答解析により変形量や応力等の照査を実施

※2: 設計津波に先行する地震あるいは、設計津波を超える規模の津波に先行する地震

※3: レベル2地震動

※4: レベル1地震動

※5: 地震によって鋼矢板に生じた残留応力を考慮

【参考】

大分港海岸での楕形鋼矢板壁工法における性能規定を表 2-3 に示す。なお、表中の「厳しめの許容値」とは全塑性モーメントに対応する曲率を、「緩めの許容値」とは曲げ載荷試験によって破断しないことを確かめた $\phi=0.3\sim 0.4$ 程度のかかなり大きな曲率のことを示す。

表 2-3 性能規定の例

作用状態		要求性能	作用外力	照査の項目	
				短尺矢板	長尺矢板
設置間隔	—	—	—	連続壁	鉛直荷重を支持できる間隔(5m程度)
機能	—	—	—	連続壁により外力に抵抗する	短尺矢板の天端高を確保する
根入れ長	永続／変動状態	—	—	1.5Lm1 かつ、パイピング・ポイリングに対応	鉛直荷重に抵抗する長さ
許容応力	永続状態	使用性	50年確率波	降伏強度以下	座屈しない
	変動状態	使用性	L1地震、50年確率波	降伏強度以下	破断しない(厳しめの許容値)
	偶発状態	使用性	設計津波に先行する地震	—	—
	偶発状態	使用性	設計津波	全塑性以下	破断しない(厳しめの許容値)
	偶発状態	修復性	L2地震、10年確率波	全塑性以下	破断しない(緩めの許容値)
	偶発状態	粘り強さ	設計津波を超える津波	—	—
許容変位量(鉛直)	永続状態	—	—	—	H. H. W. L+50年確率波に対する所要天端高以上
	変動状態	—	L1地震、50年確率波	—	H. H. W. L+50年確率波に対する所要天端高以上
	偶発状態	—	設計津波に先行する地震	—	—
	偶発状態	—	設計津波	—	設計津波に先行する地震後で設計津波高以上
	偶発状態	—	L2地震、10年確率波	—	H. W. L+10年確率波に対する所要天端高以上
	偶発状態	—	設計津波を超える津波	—	—

注) 矢板構造であるため、水平変位による土砂の流出等は生じないものとし、水平変位量は設定しない。

2.3. 設計方針

楕形鋼矢板壁の設計にあたっては、短尺矢板と長尺矢板の基本的な役割・機能を踏まえ、現地の状況に応じた設計方針を設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁構造では、短尺矢板の根入れ長及び断面の設定、長尺矢板の根入れ長の算定を行って構造断面を設定した後、全体構造に対する地震応答解析による変形照査と波力等に対する照査を繰り返して構造断面を決定する。

楕形鋼矢板壁工法は、護岸の天端の水平方向の変形が大きくなることを許容する工法であるため、地震後に必要天端高さを満足していることを慎重に確認する必要がある。

変動状態の設計結果に対して、地震後における天端高の照査を行うため、地震応答解析を行って沈下量を考慮すると、地震後に必要な天端高に足りない可能性があり、また、沈下すると楕形鋼矢板壁に作用する波力も変わるため、上記のように地震応答解析による照査と波力等に対する照査を繰り返して最適な断面を追求することになる。

2.4. 設計の手順

2.4.1. 工法の適用性の検討

現地への楕形鋼矢板壁工法の適用性について検討する。

【解説】

楕形鋼矢板壁工法は、以下のような場合に適用性が高い(1.1.3 も参照のこと)。

- ① 液状化層が厚く地盤改良や構造物による液状化対策が現実的でない場合
 - ② 護岸前面に設置された消波ブロック等の構造物の撤去が困難であり、護岸の補強や護岸法線の前出し等の対策が著しく不経済となる場合
 - ③ 地震動により護岸全体が変位しても護岸高さを維持できれば良い場合
 - ④ 地中に埋設物がない場合(埋設物が障害となり、鋼矢板の連続壁が形成できないため)。
- 上記を参考に、現地状況と照らし合わせて、楕形鋼矢板壁工法が適用可能かを判断する。

【参考】

大分港海岸での楕形鋼矢板壁工法における適用性の検討例を表 2-4～表 2-7 に示す。

表 2-4 楕形鋼矢板壁工法の適用性の検討例

	①全面的な地盤改良 【地盤改良】	②部分的な地盤改良 【地盤改良】	③部分的な地盤改良 【地盤改良】
概略図			
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> 高潮や発生頻度の高い津波については、上部工の嵩上げ及び増し打ちで対応する。 液状化発生年そのものを防止するために、海側も含めた全面的な地盤改良(SCP工法)を実施する。 既設矢板背後においては、地盤改良が吸出し防止を兼ねる。 	<ul style="list-style-type: none"> 高潮や発生頻度の高い津波については、上部工の嵩上げ及び増し打ちで対応する。 コスト削減のための、本体工直下と背後のみの部分的な地盤改良(SCP工法)を実施する。 既設矢板背後においては、地盤改良が吸出し防止を兼ねる。 	<ul style="list-style-type: none"> 高潮や発生頻度の高い津波については、上部工の嵩上げ及び増し打ちで対応する。 コスト削減のための、本体工直下と背後のみの部分的な地盤改良(薬液注入工法)を実施する。 既設矢板背後においては、地盤改良が吸出し防止を兼ねる。
1.高潮・高波	<ul style="list-style-type: none"> 施工時の消波ブロックを撤去する必要があり、胸壁の安定性に問題が生じる可能性がある。 	△	◎
2.老朽化	<ul style="list-style-type: none"> 特になし。 	◎	◎
3.維持管理等	<ul style="list-style-type: none"> 現状より管理用通路の幅が狭くなる。 	○	○
4.粘り強い化	<ul style="list-style-type: none"> 水叩き舗装の増し厚による粘り強い化対策が必要となる。 	△	△
5.コスト等	<ul style="list-style-type: none"> 海側の改良が工期の長期化やコスト増大に繋がる。 	△	◎
評価	△	◎(抽出)	
		○	

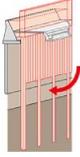
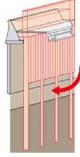
表 2-5 櫛形鋼矢板壁工法の適用性の検討例(続き)

	④鋼管矢板工法【既設護岸補強】	⑤鋼管矢板+アンカー工法【既設護岸補強】	⑥二重パラベット工法【既設護岸補強】	
概略図				
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波については、上部工の嵩上げ及び増し打ちで対応する。 ・新設鋼管矢板は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波については、上部工の嵩上げ及び増し打ちで対応する。 ・変形抑制対策として、新設鋼管矢板とアンカーを組み合わせ、液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 ・基礎となる岩盤層の確認が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波については、既設背後に構築する新設上部工にて対応する（二重パラベット）。既設上部工は増し打ちで対応。 ・新設鋼管矢板は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	
1.高潮・高波	<ul style="list-style-type: none"> ・消波工部の取り扱い（ブロックの嵩上げの可否等）について、更なる検討・評価が必要である。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・既設上部工の安定性を確保する対策や越波の排水処理が必要となる。 ・新設上部工背後に管理用通路（水叩工）が必要となる。 	△
2.老朽化	<ul style="list-style-type: none"> ・特になし。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・別途既設上部工への老朽化対策が必要となる。 	○
3.維持管理等	<ul style="list-style-type: none"> ・⑥に比べて、管理用通路へのアクセスが容易である。 ・現状より管理用通路の幅が狭くなる。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・⑥に比べて、管理用通路へのアクセスが容易である。 ・現状より管理用通路の幅が狭くなる。 	○
4.粘り強い化	<ul style="list-style-type: none"> ・新設鋼管矢板により粘り強い化が付加されている。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・新設鋼管矢板とアンカー工により粘り強い化が付加されている。 	◎
5.コスト等	<ul style="list-style-type: none"> ・⑤に比べて経済的だが、⑥との優劣の判断にはより詳細な検討が必要。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・⑤に比べて経済的だが、⑥との優劣の判断にはより詳細な検討が必要。 	△
評価	◎（抽出）	△	◎（抽出）	

表 2-6 櫛形鋼矢板壁工法の適用性の検討例(続き)

	⑦ジャイロプレス工法【既設護岸補強】	⑧コンビジャイロ工法【既設護岸補強】	⑨プレキャスト防潮堤【背後での対策】	
概略図				
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、ジャイロプレス工法により既設護岸の位置で新設鋼管杭を打設する。 ・新設鋼管杭は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、コンビジャイロ工法により新設の鋼管杭と鋼管杭を打設する。 ・新設鋼管杭は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。ただし、杭径やピッチは限定される。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、鋼管杭基礎とプレキャストコンクリート部材を一体化したプレキャスト防潮堤を築造する。 ・新設鋼管杭は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする（液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する）。ただし、杭径やピッチには制限がある（例えば、杭径は最大φ1200mm）。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	
1.高潮・高波	<ul style="list-style-type: none"> ・消波工部の取り扱い（ブロックの嵩上げの可否等）について、更なる検討・評価が必要である。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・越波の排水処理や背後の管理用通路（水叩工）の確保が問題となる。 	△
2.老朽化	<ul style="list-style-type: none"> ・特になし。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・既設上部工は、老朽化に対する補強もしくは撤去の必要性あり。 	○
3.維持管理等	<ul style="list-style-type: none"> ・⑨に比べて、管理用通路へのアクセスが容易である。 ・現状より管理用通路の幅が狭くなる。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・維持管理のため、管理用通路へのアクセスを確保する必要がある。 	△
4.粘り強い化	<ul style="list-style-type: none"> ・越流はしないもの、新設鋼管杭により粘り強い化が付加されている。 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・越流はしないもの、新設防潮堤により粘り強い化が付加されている。 	◎
5.コスト等	<ul style="list-style-type: none"> ・他案に比べて経済的で劣る。 	△	<ul style="list-style-type: none"> ・⑦に比べて経済的だが、⑧には劣る。 	○
評価	△	◎（抽出）	○	

表 2-7 櫛形鋼矢板壁工法の適用性の検討例(続き)

	⑩インプラントロック工法【既設護岸補強】	⑪櫛形鋼矢板工法【既設護岸位置】	⑫櫛形鋼矢板工法【背後での対策】	
概略図				
構造概要	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、コンビジャイロ工法により新設の鋼矢板と鋼管杭を打設した後、根固めコンクリートを構築する。 ・新設鋼管杭は、変形抑制対策として液状化時でも安定する構造とする(液状化による流動圧、上部工慣性力を考慮して断面を決定する)。ただし、抗径やピッチは限定される。 ・新設するハット型鋼矢板が、吸出し防止の役割を担う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、既設護岸の位置で新設鋼矢板(長尺と短尺)を打設する。なお、既設上部工とは係切りする。 ・液状化時の既設護岸の変形を許容するが、長尺矢板の支持力により鉛直変位を抑制する。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> ・高潮や発生頻度の高い津波への対策として、既設護岸の背後に新設鋼矢板(長尺と短尺)を打設する。 ・液状化時の既設護岸の変形を許容するが、長尺矢板の支持力により鉛直変位を抑制する。 ・既設矢板背後においては、吸出し防止として地盤改良を行う。 	
1.高潮・高波	・消波工部の取り扱い(ブロックの嵩上げの可否等)について、更なる検討・評価が必要である。	○	・越波の排水処理や背後の管理用通路(永叩工)の確保が問題となる。	△
2.老朽化	・特になし。	◎	・既設上部工は、老朽化に対する補強もしくは撤去の必要性あり。	○
3.維持管理等	・対策案3に比べて、管理用通路へのアクセスが容易である。 ・現状より管理用通路の幅が狭くなる。	○	・⑪に比べて、管理用通路へのアクセスが容易である。 ・現状より管理用通路の幅が狭くなる。	△
4.粘り強い化	・越流はしないものの、新設鋼管杭により粘り強い化が付加されている。	◎	・越流はしないものの、新設鋼矢板により粘り強い化が付加されている。	◎
5.コスト等	・他案に比べて経済性が劣る。	△	・⑫に比べて経済的だが、⑩との優劣の判断にはより詳細な検討が必要。	◎
評価	△	◎(抽出)	◎(抽出)	

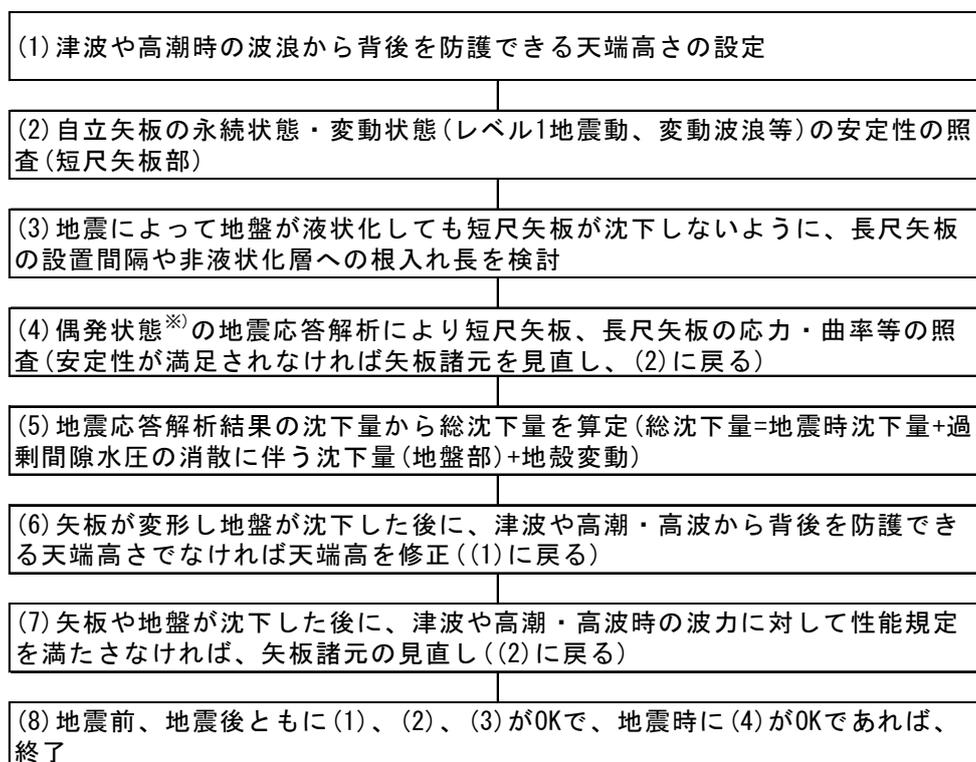
2.4.2. 設計検討の手順

設計条件を設定した後、種々の設計状態における作用の組合せに対する性能照査を適切な手順によって行う。

【解説】

楯形鋼矢板壁は、短尺矢板と長尺矢板を組み合わせた構造であり、それぞれの諸元が互いの挙動に影響する。また、自立矢板式護岸に準じた変動状態までの照査方法である静的な釣合い式に基づく性能照査によって決定された断面に対して地震応答解析により安定性が満足されない結果を得た場合には、設計諸元を見直し、静的な釣合い式に基づく性能照査に立ち返るなど、繰り返し計算が必要になる。

レベル 1 地震動に対する液状化判定の結果、液状化しないと判定された場合はレベル 1 地震動に対する地震応答解析を省略できる場合がある。その場合の概略の検討の流れを図 2-5 に示す。設計津波に先行する地震動やレベル 2 地震動による沈下によって、波浪等による作用が変わるために、地震前と地震後の両方の断面について永続状態及び変動状態の照査、津波波力に対する照査が必要となる。地震と津波や波浪の組合せはいくつか考えられ、それらについては、2.5.4 において示されている。



※) 津波に先行する地震動、レベル2地震動

図 2-5 概略の検討の流れ

① 初期断面の設定

短尺矢板部(壁体部)は、通常の自立矢板式護岸に準じた照査(静的な釣合式に基づく永続状態及び変動状態の性能照査)で断面を設定する。長尺矢板の支持層を設定し、長尺矢板の間隔や根入れ長を設定する。

② 液状化層

液状化判定の結果、短尺矢板部(壁体部)が根入れされる土層が、レベル1地震動に対して液状化する可能性が高いと判定された場合には、港研方式等の静的な釣合式に基づく照査を行うことができない(液状化した地盤の横抵抗の推定方法が確立されていないため)。ただし、実現象としては液状化発生の度合いは層内でバラツキがあり、液状化度合いが低い部分では、ある程度の横抵抗力が期待されるものと考えられる。そこで、レベル1地震動に対しては液状化が発生しないと仮定して初期断面を設計することとし、液状化の発生が想定される場合には設計した初期断面についてレベル1地震動に対する地震応答解析を行って矢板の挙動の確認・部材の応力の照査を行う。

③ 断面決定の手順

静的な釣合式に基づく性能照査により初期断面を設定後、地震応答解析により算出した沈下量、液状化した地盤の過剰間隙水圧の消散に伴う沈下量及び地殻変動量を、静的な釣合式に基づく性能照査に反映し、断面の見直しを行って最終的な設計断面を決定する。※地震応答解析では2次元断面を用いるため、楕形鋼矢板壁のモデルとしての長さは長尺矢板の長さとなる。そのため、地震応答解析で求める沈下量は長尺矢板の天端での値となるが、長尺矢板と短尺矢板は連続壁を成しているため、長尺矢板天端の沈下量=短尺矢板部(壁体部)の沈下量と扱う。

⑤ 短尺矢板部(壁体部)の必要根入れ長

短尺矢板部(壁体部)は、いくつかの作用(例えば、再現確率50年の確率波、再現確率10年の確率波、レベル1地震動、設計津波等)に対する構造計算を実施して断面諸元を決定する。また根入れ長は内外水位差発生時のパイピングとボイリングに対しても照査する。

⑥ 長尺矢板部(単体部)の必要根入れ長

長尺矢板に関しては、地震動により地盤の液状化が発生した場合、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重に対して、非液状化層の周面抵抗力並びに長尺矢板部(単体部)の座屈の照査を行い、長尺矢板の設置間隔と根入れ長を決定する。長尺矢板の根入れ長は、鋼矢板の原位置での押込み載荷試験の結果等を踏まえて推定することを基本とする。

①～⑤で述べた設計手順をフローとして整理したものを図 2-6 に示す。

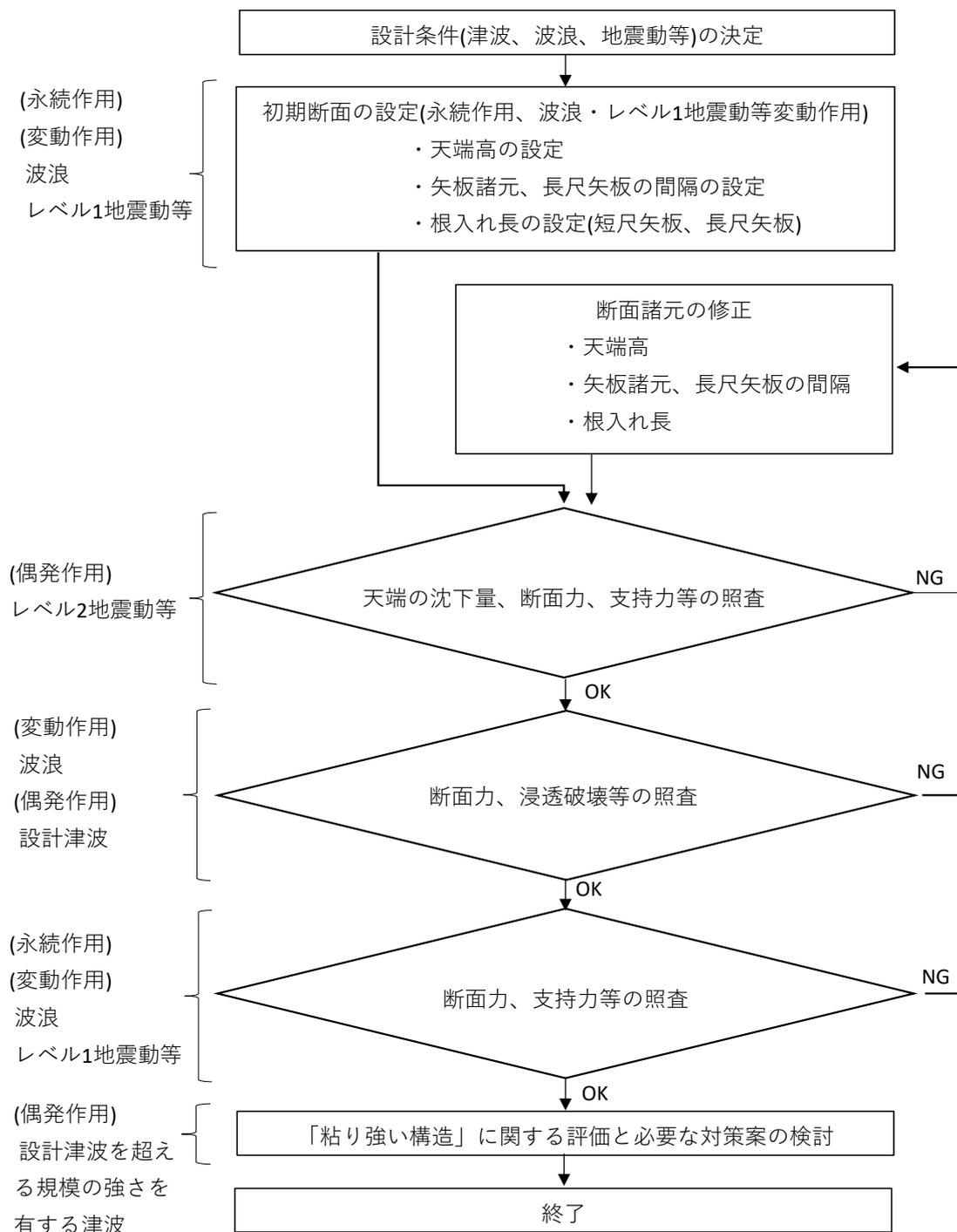


図 2-6 楕形鋼矢板壁工法の設計手順

【参考】

大分港海岸護岸整備における設計手順を図 2-7 に示す。

レベル 1 地震動に対して、地盤が液状化しないものとして静的な釣合い式に基づく性能照査により初期断面を仮定した。レベル 2 地震動、津波に先行する地震動に加えて、レベル 1 地震動に対してもあらためて地震応答解析により矢板の挙動及び発生応力を算定し、性能規定を満足するように断面を決定した。

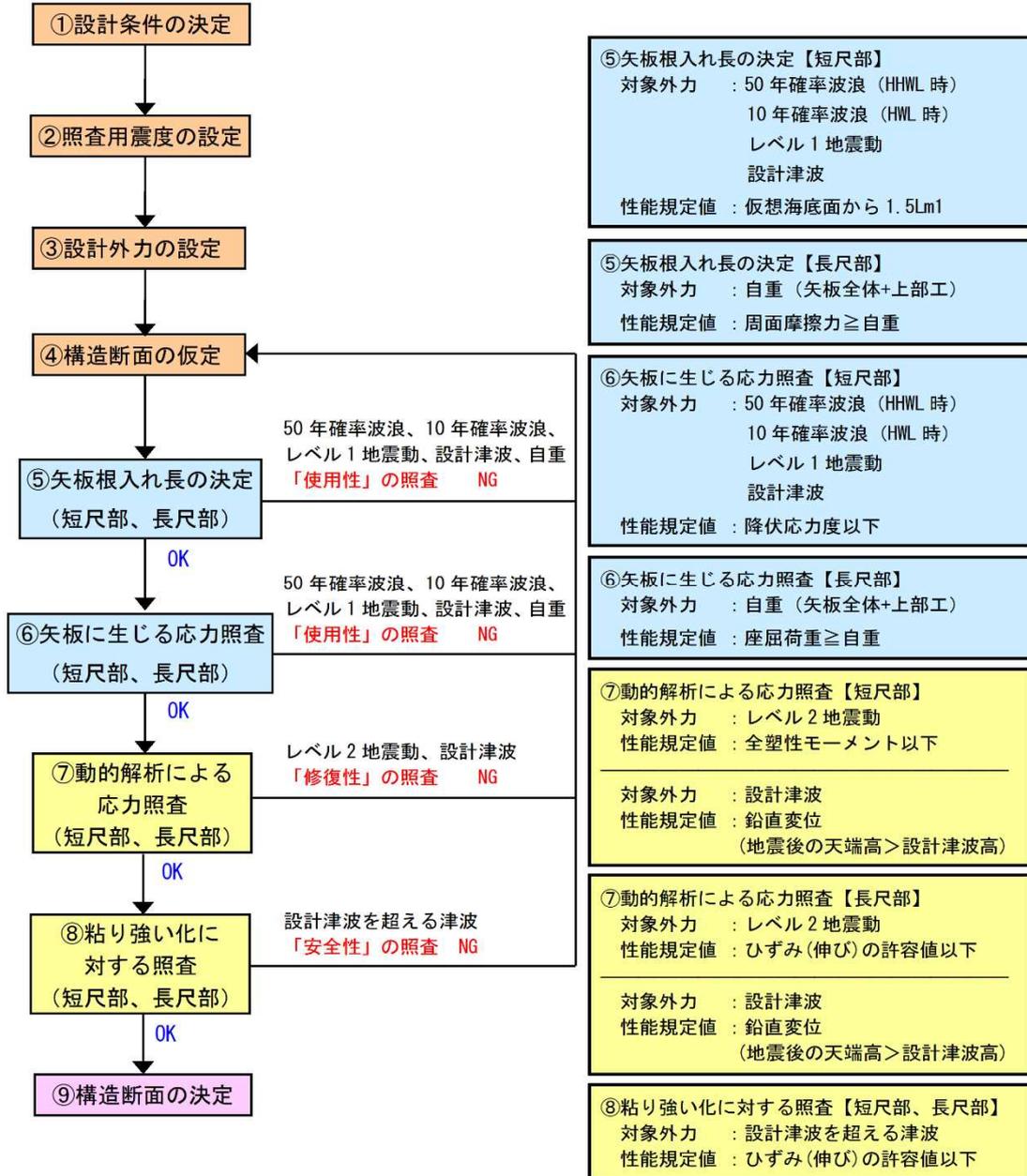


図 2-7 大分港海岸における櫛形鋼矢板壁工法の検討フロー

2.4.3. 鋼矢板の大変形時の性能規定

長尺矢板部(単体部)におけるハット形鋼矢板の大変形時の性能規定について、適切に設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁工法の長尺矢板部(単体部)については、法線方向において短尺矢板数枚あたりに1枚の配置となることから、単位奥行きあたりの曲げ剛性は短尺矢板部(壁体部)よりも非常に小さい。そのため、地震時の地盤変形に伴う曲げ変形が長尺矢板部(単体部)に発生しやすい状況にあり、降伏モーメントや全塑性モーメントを基準とした応力照査を行うと、この照査がクリティカルとなって矢板に求められる断面性能が非常に大きくなる可能性がある。通常の矢板式構造物については、港湾基準等において使用性や修復性を対象として降伏や損傷に対する限界値(曲げ降伏応力度の設計用値、限界曲率)が定められている。しかし、レベル2地震動に対しては地盤変形が支配的となることが想定され、曲げ剛性の小さい長尺矢板部(単体部)の地盤変形抑制効果は低い。したがって、楕形鋼矢板壁の長尺矢板部(単体部)については、上記と同様な限界値を満足するために諸元を設定するのは適切ではないと考えられる。このような理由から長尺矢板部(単体部)については短尺矢板部(壁体部)とは異なる限界値を設定する必要がある。

【参考】

大分港海岸においては、図 2-8 に示すように、ハット形鋼矢板の SP-50H 及び SP-45H (いずれも SYW430) の長尺矢板部(単体部)への使用を想定した片持ち梁方式の曲げ変形試験を実施している。この試験結果から、曲率 $\varphi=0.3\sim 0.4$ (m^{-1}) 程度を適用限界の目安とし、これ以下の曲率ではハット形鋼矢板は破断しないと想定している。

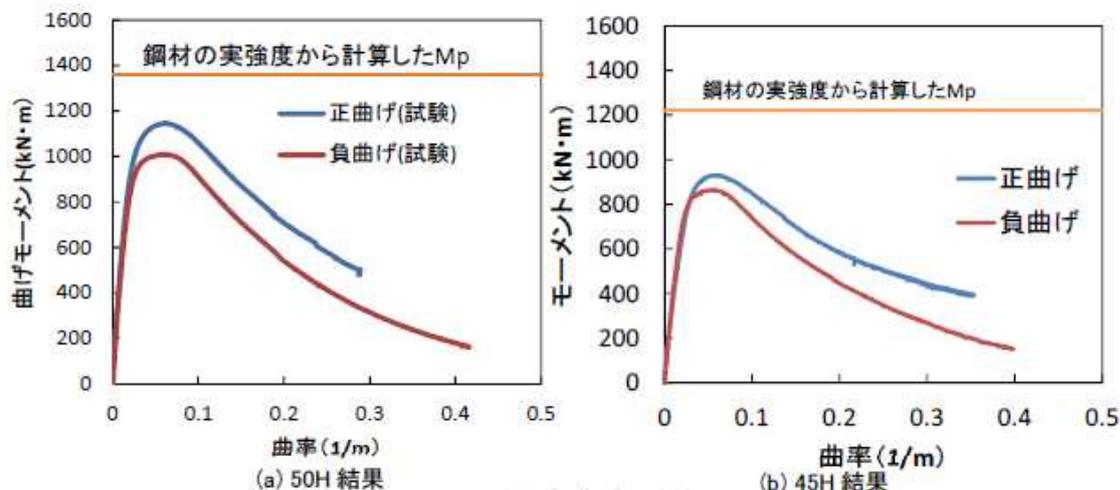


図 2-8 SP-50H 及び 45H (SYW430) 単体の片持ち方式の曲げ荷重試験結果

※ 試験結果の曲げモーメントには、鋼矢板の単体部に関する補正係数 γ_1 、せん断スパン比に関する補正係数 γ_2 等の影響が含まれている。ハット形鋼矢板の曲げ変形特性の詳細については、付属資料-1：ハット形鋼矢板の曲げ変形特性で説明している。

2.5. 設計条件の設定

2.5.1. 基本事項

楕形鋼矢板壁を設計するにあたっては、設計に必要となる自然状況、利用状況その他の諸条件(自然状況等の諸条件)を適切に設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁の設計において考慮すべき自然状況等の諸条件の主なものとして、潮位、波浪、津波、地盤条件、土圧、水圧、地盤の沈下、地震動、地盤の液状化、自重、載荷重及び材料強度等がある。これらは、港湾基準等を参考に適切に設定する必要がある。

【参考】

大分港海岸においては、潮位、残留水位、波浪、津波、地盤条件、土圧、水圧、地盤の沈下、地震動、地盤の液状化、照査用震度、自重、上載荷重、材料条件、鋼材の腐食速度、鋼材の防食、海底勾配、施工条件等を設定して基本設計を行っている。

2.5.2. 潮位

潮位について、適切な方法で評価する。

【解説】

- (1)潮位は、高潮・高波時の波浪や津波による波力を算定するにあたって重要な要素である。
- (2)波浪や津波と潮位との組合せについては、例えば H.H.W.L と再現期間 50 年の確率波、L.W.L.と再現期間 50 年の確率波、H.W.L と再現期間 10 年の確率波、H.W.L と設計津波等が想定される。

【参考】

大分港海岸においては、以下の通り潮位を設定している。

H.H.W.L. D.L.+3.70m

H.W.L. D.L.+2.37m

L.W.L. D.L.+0.14m

波浪や津波と潮位との組合せについては、H.H.W.L と再現期間 50 年の確率波、H.W.L と再現期間 10 年の確率波、H.W.L と設計津波等としている。

2.5.3. 波浪

波浪について、適切な方法で評価する。

【解説】

- (1)供用期間を考慮した変動状態に対応する再現期間の確率波を算定し、越波や波力に対する短尺矢板部(壁体部)の安定性について検討する。なお、櫛型鋼矢板工法は後退パラペット型の護岸になる場合が多い。後退パラペットでは強大な衝撃波力が発生する場合がある。一般的な後退パラペットに働く波力は、高橋ら⁵⁾、鈴木ら⁶⁾によりその波力を算定できるが、消波ブロックが前面にある場合など構造が複雑な場合には水理模型実験等、適切な方法により波力を算定する。
- (2)地震動による沈下後の断面に対して、必要に応じて修復期間を適切に定め、それに見合った再現期間に対応した波浪の波高、周期、波向等を算定し、適切な天端高、越波や波力に対する短尺矢板部(壁体部)の安定性について検討する。

【参考】

大分港海岸においては、表 2-8 に示すとおり波浪条件を設定している。

表 2-8 波浪条件

項目	50年確率波	10年確率波
主方向	NE	NE
沖波波高 (H ₀)	4.4m	3.3m
換算沖波波高 (H ₀ ')	3.5m	2.6m
周期 (T ₀)	7.3sec	6.5sec
地盤高 DL	-4.00m	-4.00m
有義波高 (H _{1/3})	3.3m	2.5m
入射角 β	13°	13°

※津留地区前面の例

2.5.4. 津波及び地震動

津波及び地震の影響については、適切な方法で評価する。

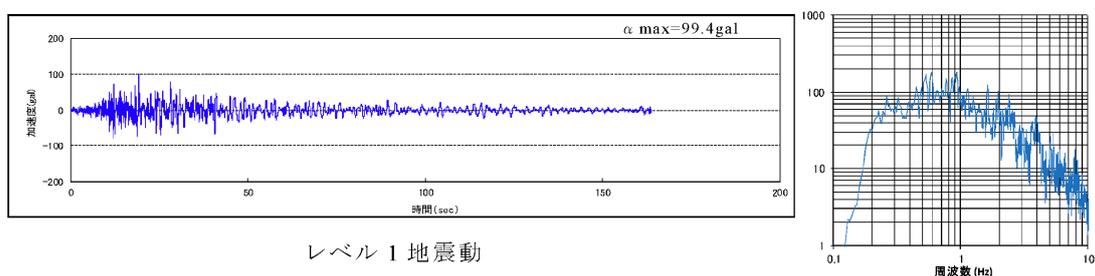
【解説】

- (1) 設計津波の高さ及び設計津波を超える規模の強さを有する津波の高さは、数値シミュレーション等を用いて発生頻度の高い津波と最大クラスの津波を対象とした数値シミュレーションの結果から適切に設定する必要がある。
- (2) 設計津波を超える規模の強さを有する津波に対しては、適切に粘り強さ等の評価を行う。
- (3) 津波に対する性能照査を行う際には、津波に先行する地震動による揺れの影響を考慮する必要がある。
- (4) レベル1地震動として確率論的地震危険度解析によって決定した地震動を設定する。より高い耐震性能が必要とされる施設については、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)を想定する。
- (5) レベル1地震動、津波に先行する地震動及びレベル2地震動の時刻歴波形は、港湾基準に従って適切に評価する。

(6) 静的な釣合い式に基づく性能照査時には、港湾基準に従って、自立矢板式護岸としてレベル1地震動に対する照査用震度を算定する。

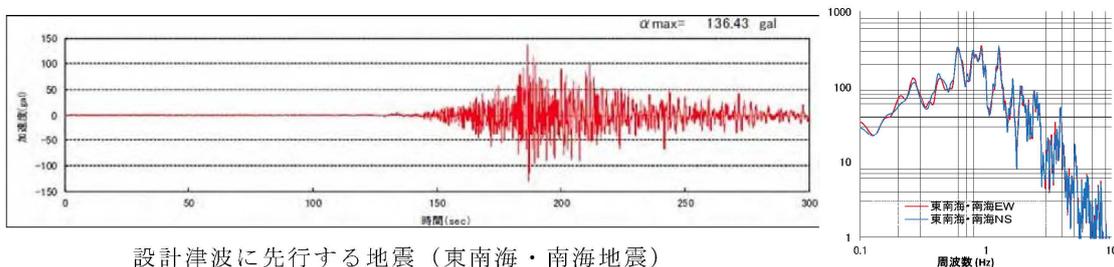
【参考】

大分港海岸における地震動の設定例を図 2-9 に示す。いずれも震源特性・伝播経路特性及びサイト特性を考慮して港湾基準に記載された方法に基づいて設定された。レベル1地震動は再現期間75年の確率論的時刻歴波形であり、レベル2地震動は想定される地震の震源パラメータ等をもとに設定された時刻歴波形である。



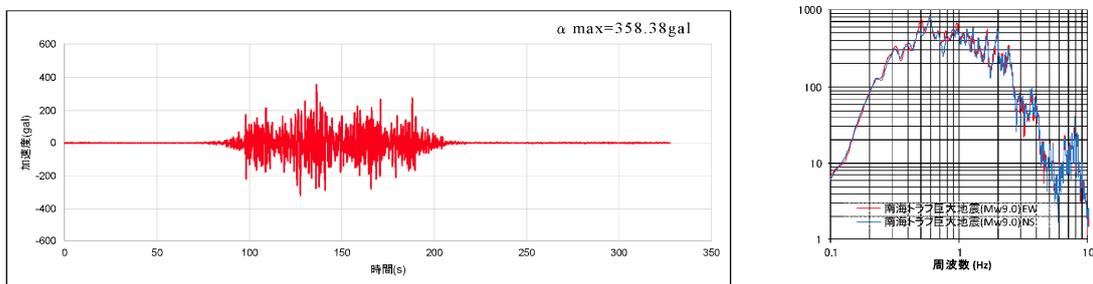
レベル1地震動

(1)レベル1地震動



設計津波に先行する地震（東南海・南海地震）

(2)レベル2地震動(東南海・南海地震)



レベル2地震動（南海トラフ巨大地震 CASE11[2012年内閣府モデル]）

(3)レベル2地震動(南海トラフの巨大地震)

図 2-9 レベル1地震動とレベル2地震動の時刻歴波形

2.5.5. 地盤条件

楕形鋼矢板壁を設計するための地盤条件については、適切に設定する。

【解説】

地盤条件とは、土層構成や地盤定数等であり、港湾基準を参考に、地盤調査結果に基づいて設定する。楕形鋼矢板壁において特に重要な地盤条件として、長尺矢板の支持層に関する物性値がある。周面抵抗力を算定するために、粘性土層であれば粘着力、砂礫層であれば N 値等について十分な調査が必要である。また、矢板の支持力に関する知見は十分ではないため、基本的には鋼矢板の支持力を求めるための载荷試験等を実施する必要があるが、概略検討時等は 2.7.3 に示した周面抵抗力度の特性値を活用することができる。

【参考】

大分港海岸ではハット形鋼矢板の支持力を推定するための現地载荷試験を実施している。

2.5.6. 地盤の沈下等

地盤の沈下の影響について適切に評価する。

【解説】

地盤の沈下は、港湾基準に従って検討する。楕形鋼矢板壁工法に関しては、特に、地震動の影響による沈下、液状化した地盤の過剰間隙水圧の消散に伴う沈下、地殻変動等について検討する必要がある。

楕形鋼矢板壁は、長尺矢板で支持する構造であるため、地盤の液状化に伴う沈下(過剰間隙水圧の消散に伴う沈下)は、短尺矢板部(壁体部)の天端の沈下量には影響しないが、周辺地盤には沈下が生じる。このため、地震後に津波や波浪による波圧の受圧面積が増加したり、受働土圧が変化したりすることに留意が必要である。

【参考】

大分港海岸においては、表 2-9 に示すように、天端高の決定において地殻変動量や地震動による残留変形量等の値が考慮されている。表中、「L1 地震+50年確率波」の項目の残留沈下量は、地震応答解析結果としてプラス(隆起)となっているが、必要天端高の評価時には隆起は考慮されていない。

表 2-9 護岸の必要天端高

1-1工区

作用外力	必要護岸高	変形量		変形後の護岸高	決定護岸高
		地殻変動量	残留変形量		
50年確率波	DL+9.05m	—	—	—	DL+9.1m
L1地震+50年確率波	DL+9.05m	0.0cm	19.7cm	DL+9.05m	DL+9.1m
L2地震+10年確率波	DL+5.86m	-34.0cm	-60.2cm	DL+6.80m	DL+6.9m
設計津波に先行する地震+設計津波	DL+4.22m	0.0cm	-4.3cm	DL+4.27m	DL+4.3m

※1:隆起は考慮しない

※2:決定護岸高=沈下後の護岸高を10cmラウンドした値

2.5.7. 地盤の液状化

地盤の液状化の影響については、適切な方法で評価する。

【解説】

楕形鋼矢板壁は、地盤の液状化の影響を大きく受けるため、地盤の液状化判定を実施して液状化の影響を評価する必要がある。液状化の有無の判定方法については、港湾基準[作]第7章地盤の液状化に従って適切に検討する。

楕形鋼矢板壁工法は、地盤の液状化を許容する工法である。液状化判定によりレベル1地震動で地盤が液状化すると判定された場合は、液状化対策工の検討を行うか、液状化対策を行わずにレベル1地震動に対する地震応答解析（液状化を考慮）による照査を行う。どちらの方針を採るかは、工期・工費等を勘案して決定する。

液状化対策を実施しない場合には、液状化した地盤は周面抵抗力が失われると考え、支持地盤まで根入れした長尺矢板部(単体部)により上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支持することにより、沈下を抑制して必要な天端高を確保する。

レベル1地震動に対しては液状化しないと判定された地盤に対しても、レベル2地震動のような強い揺れによって液状化することは十分考えられるため、レベル2地震動に対する地震応答解析を行う際には、液状化が想定されるかどうかを慎重に判断する必要がある。

液状化対策を行わずに設計する方針をとった場合には、将来、利用条件や設計条件が変更になり構造的な補強が必要になった場合に、液状化対策を追加することで、より強靱な構造に転換しやすい可能性もある。

【参考】

大分港海岸においては、レベル1地震動に対して液状化が懸念されたが、地盤改良等による液状化対策を行わない方針を選択し、レベル1地震動を用いた地震応答解析を行って変形量や矢板の応力の照査を行った。また、レベル2地震動による液状化後の地盤におい

て、長尺矢板が根入れされた粘性土層の周面抵抗力について鋼矢板と被覆コンクリートの自重に対する照査を行った。

軸方向力

軸方向として上部工重量、矢板重量（鋼矢板SP-50H型）を考慮する。

矢板上端高（天端）		8.80	m		
短尺矢板下端高		-6.20	m		
長尺矢板下端高		-20.20	m		
短尺矢板長	Ls	=	15.00	m	: 4 枚
長尺矢板長	L1	=	29.00	m	: 1 枚
鋼矢板重量	w	=	167.00	kg/m/枚	
上部工幅		0.72	m		
上部工高		6.40	m		
上部工長		0.90	m	（矢板幅相当）	

上部工重量（矢板1枚当たり）

$$P1 = 0.72 \times 6.40 \times 0.90 \times 24.0 = 99.53 \text{ kN}$$

短尺矢板重量（矢板1枚当たり）

$$P2 = 167.00 \times 15.00 = 2,505.00 \text{ kg} = 24.57 \text{ kN}$$

長尺矢板重量（矢板1枚当たり）

$$P3 = 167.00 \times 29.00 = 4,843.0 \text{ kg} = 47.49 \text{ kN}$$

矢板6枚のうち、短尺矢板5枚と長尺矢板1枚にすると長尺矢板1枚が負担する軸方向荷重は

$$P = 99.53 \times 5 + 24.57 \times 4 + 47.49 \times 1 = 643.42 \text{ kN}$$

安全率を1.0とした場合の軸方向力は

$$P = 643.42 \times 1.0 = 643.42 \text{ kN}$$

極限支持力

極限支持力は非液状化層としてAc1層、As1-2層の周面摩擦力を考慮する。

$$\text{極限支持力 } Ru = 1.0 \cdot N \cdot A1 + 0.33 \cdot C \cdot A2 + 300 \cdot N \cdot A2 \quad (100 \cdot N \cdot A2)$$

鋼矢板SP-50H型の1枚当たりの周長は 2.98 m

	N値	標高(m)	C(kN/m ²)	根入長(m)	周長(m)	A(m ²)	1.0NA(kN)	0.33CA(kN)
Ac1	5.0	DL-10.00	56.74	10.20	2.98	30.40	—	644.34
		DL-20.20	71.73					
Ac2	8.7	—	53.00	0.00	2.98	0.00	—	0.00
周面摩擦力(kN)							644.34	

	N値	標高(m)	C(kN/m ²)	根入長(m)	断面積(m ²)	A(m ²)	300NA(kN)	100NA(kN)
Ac1	5.0	—	—	—	0.02127	—	—	(10.64)
Ac2	8.7	—	—	—	0.02127	—	—	(18.50)

液状化時の検討であるため、極限指示力に対して軸方向力の照査を行う。

$$Ru = 644.34 \text{ kN} \quad | \quad 0.00 \text{ kN} = 644.34 \text{ kN}$$

$$Ru = 644.34 \text{ kN} > P = 643.42 \text{ kN} \quad \text{となるため、安全である。}$$

2.5.8. 自重及び載荷重

自重及び載荷重については、適切に評価する。

【解説】

自重及び載荷重は、港湾基準に従って設定する。楕形鋼矢板壁は地盤が液状化した状態において、支持地盤に根入れした長尺矢板により自重を支持する構造であるため、鋼矢板や上部工コンクリートの自重を適切に評価する必要がある。

【参考】

大分港海岸における自重の算定に用いる単位体積重量および載荷重の例を表 2-10 に示す。

表 2-10 単位体積重量(単位 : kN/m³)

材料	単位体積重量	備考
鉄及び鋳鋼	77.0	
鉄筋コンクリート	24.0	
無筋コンクリート	22.6	

【港湾の施設の技術上の基準・同解説 P.415】

上載荷重

一般的な群衆荷重として以下を想定する。

永続状態 5.0kN/m² 変動状態 2.5kN/m²

2.5.9. 材料強度

楕形鋼矢板壁を設計するための材料強度については、適切に設定する。

【解説】

鋼材やコンクリート等の材料に関する特性値は、港湾基準等を参考に設定する。

【参考】

楕形鋼矢板壁に標準として用いるハット形鋼矢板(JIS A 5523 に規定する SYW430)について、材料試験及び片持ち方式の載荷試験が実施されている。付属資料 1.5 に試験結果を示す。

2.6. 初期断面の設計

2.6.1. 一般

現地の状況に合わせて、楕形鋼矢板壁の構造を適切に設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁は、津波や高潮・高波から背後地を防護するため壁構造として設計する。津波や波浪条件等から天端高の設定を行う。短尺矢板部(壁体部)は、各設計状態において自立矢板式構造としての必要な安定性を確保し、壁構造を形成できるようにする。長尺矢板と短尺矢板の組合せは、液状化が懸念される地盤や非液状化地盤の状況等から適切に設定する。楕形鋼矢板壁工法の基本的な構造の考え方として、連続壁としての挙動が重要であるため、構造目地は極力避けることとし、鋼矢板は天端まで立ち上げる構造とする。また、鋼矢板には適切な防食(コンクリート被覆、重防食、塗装等)を行うことを前提とする。

【参考】

大分港海岸での例を図 2-10 および図 2-11 に示す。

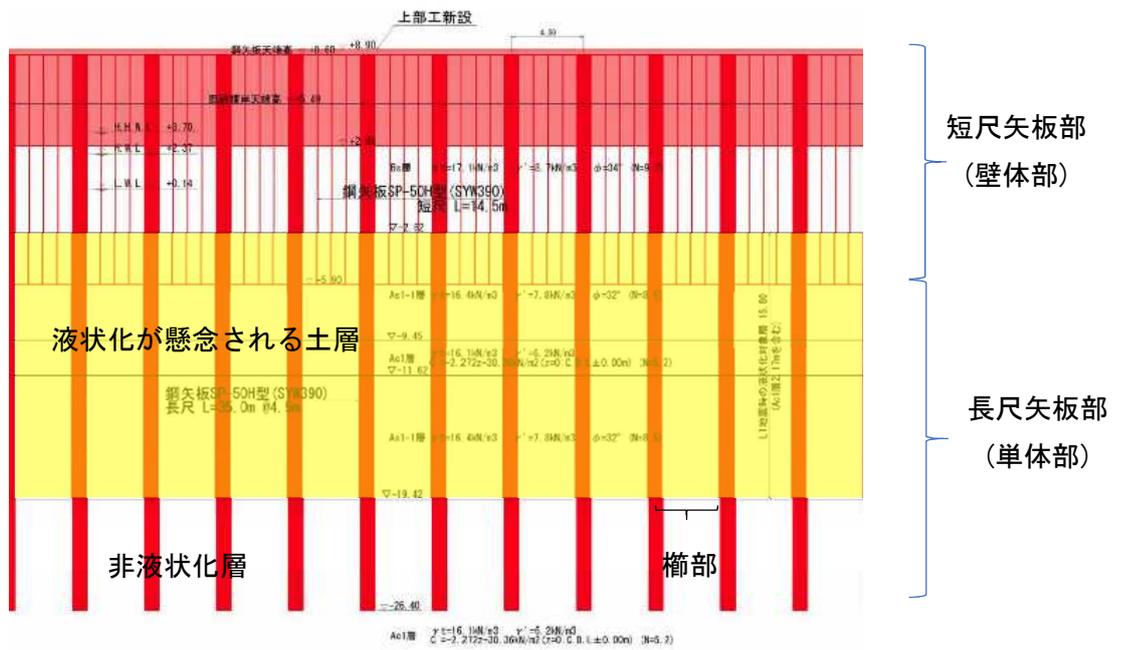


図 2-10 櫛形鋼矢板壁の正面図

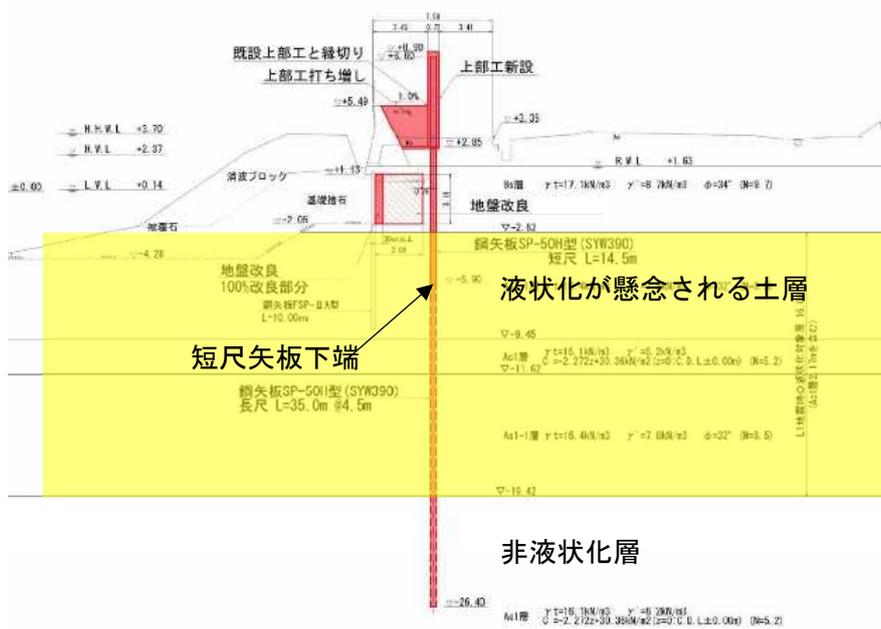


図 2-11 櫛形鋼矢板壁の断面図

2.6.2. 天端高の設定

楕形鋼矢板壁の天端高は、適切に設定する。

【解説】

必要天端高は、港湾基準に従って、津波高さや施設の重要度に対応した高潮・高波時の許容越波流量に応じて、余裕高を含めて適切に設定する。楕形鋼矢板壁を護岸法線から控えて設置する場合にはセットバックによる越波量の低減を期待することができる。初期断面の設計の段階では地震動による沈下の影響は考慮しなくてもよい。

【参考】

大分港海岸での例を以下に示す(1-1 工区)。

再現期間 50 年の確率波により決まる天端高：D.L.+9.05m

再現期間 10 年の確率波により決まる天端高：D.L.+5.86m

設計津波により決まる天端高：D.L.+4.22m

2.6.3. 長尺矢板・短尺矢板の組合せ

楕形鋼矢板壁の長尺矢板・短尺矢板の組合せは適切に設定する。

【解説】

地盤に液状化が生じた場合でも、地震後に支持層まで根入れした長尺矢板部(単体部)が上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支えることができるという条件下で長尺矢板と短尺矢板の組合せを決定する。現場の地盤条件によって、自重、周面抵抗力等に応じて長尺矢板 1 枚が負担できる法線方向 1 スパン長が決定される。自重については短尺矢板部(壁体部)の根入れ長、上部工の形状、天端高さ等が影響する。

長尺矢板の根入れ長と長尺矢板の間隔は密接な関係があり、根入れ長を長くして間隔を広くするか、根入れ長を短くして間隔を狭くするかは、現地の条件、施工性及び経済性等によって決定する。長尺矢板 1 枚に対して短尺矢板があまりにも多くなる場合は、長尺矢板間の中央部の短尺矢板の垂れ下がりに関する照査等、個別の検討が必要になる。

【参考】

大分港海岸においては、短尺矢板 4 枚に対して長尺矢板 1 枚という組合せである。

2.7. 永続・変動状態における性能照査

2.7.1. 一般

楕形鋼矢板壁工法について、永続・変動状態における波浪の作用と、地震時における鋼矢板の沈下を考慮した安定計算を行う。

【解説】

短尺矢板部(壁体部)の設計は、港湾基準における矢板式護岸に準拠することができる。

短尺矢板部(壁体部)の断面は、変動波浪の作用に対して安定で、かつ越波及び高潮・高波から背後地を防護する構造として初期断面を設定する。加えて、設計津波、偶発波浪から背後地を防護する必要がある場合には、対象とする作用に対する安定性照査を行う。

楕形鋼矢板壁工法は、地震時の液状化による護岸変位を許容して津波や高潮・高波から背後地を防護する壁を構築する工法であることから、安定性の照査においては、地震動による鋼矢板の沈下量を考慮する必要がある(表 2-11 参照)。

地盤の液状化を前提として、以下の点に留意して安定計算を行う。

- ・地盤の液状化を考慮した矢板天端の沈下量は、地震応答解析を行って適切に算定する。
- ・設計津波に先行する地震動やレベル2地震動の作用後に短尺矢板部(壁体部)に残留応力が生じる場合には、その後に波浪や津波による波力が作用したときに発生する応力を足し合わせて評価する。
- ・設計津波に先行する地震動により地盤の液状化が想定され、設計津波が作用する前に過剰間隙水圧の消散が見込めない場合には、安定計算時に液状化の影響を考慮する。
- ・液状化による地盤の周面抵抗力の低下を考慮した上で、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支持できる長尺矢板の根入れ長と配置を決定する。
- ・当初設定した初期断面は、地震動による沈下を考慮した安定性の照査(波力等が大きくなる)や、液状化を考慮した支持力の照査を行って構造諸元を見直す必要があり、この一連の手順を繰り返して最適な構造諸元を決定する。

表 2-11 地震動による沈下の影響の考慮の例

	安定計算における主たる作用			必要天端高さ	備考
	変動波浪 (50年確率波)	変動波浪 (10年確率波)	設計津波		
a. 地震前(沈下考慮なし)	○			H. H. W. L+50年確率波に対して許容越波流量以下	※b. がOKなら自動的にOK
b. L1地震動による沈下後	○			H. H. W. L+50年確率波に対して許容越波流量以下	
c. 設計津波に先行する地震動による沈下後		○	○	天端高さ>津波高さ H. W. L+10年確率波に対して許容越波流量以下	安定計算において、地震後の残留応力と波力による応力を足し合わせて評価する。
d. レベル2地震動による沈下後		○		H. W. L+10年確率波に対して許容越波流量以下	安定計算において、地震後の残留応力と波力による応力を足し合わせて評価する。

2.7.2. 地盤定数の評価

設計に用いる地盤定数は港湾基準に従い適切に評価する。特に液状化判定や長尺矢板の支持力評価に用いる定数は重要なので、地盤調査で得られた情報を精査し慎重に決定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁は地盤の液状化の状況により構造諸元が大きく影響されるので、地盤の液状化判定を実施しておくことがより重要である。液状化判定は、港湾基準[作]第7章地盤の液状化に従って適切に実施する。

楕形鋼矢板壁工法では、液状化時において非液状化層に根入れした長尺矢板で上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支持する構造であるため、矢板を根入れする非液状化層の周面抵抗力の評価が重要である。長尺矢板が砂質土層に根入れされる場合は標準貫入試験により N 値を調査するとともに、液状化を考慮した上で支持力を確保するために十分な層厚があることを確認する。長尺矢板が粘性土層に根入れされる場合は、一軸圧縮試験に加えて簡易 CU 試験を実施するなどして、非排水せん断強さを精度よく調査することが求められる。なお、鋼矢板の先端抵抗力、周面抵抗力に関しては十分な知見が無いため、現地で載荷試験を実施することが必要となる。

【参考】

大分港海岸では、図 2-12 に示すように、支持層が沖積粘性土であったため、簡易 CU 試験等により非排水せん断強さの特性値を求めた。

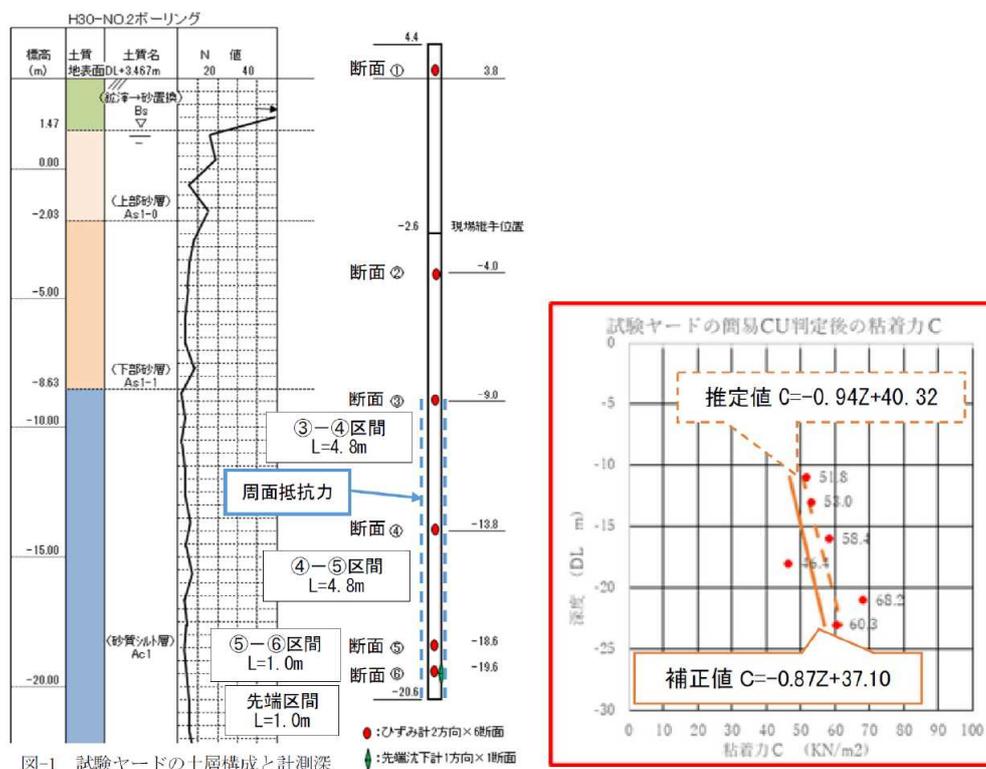


図 2-12 試験ヤードにおける簡易 CU 試験で粘着力を調査した例

2.7.3. 地盤の抵抗力の評価方法

楕形鋼矢板壁構造において、地盤の液状化時に矢板の必要天端高を確保するため、長尺矢板部(単体部)の支持力を適切に評価する。

【解説】

楕形鋼矢板壁は、液状化時に上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を長尺矢板で支持する構造であるため、長尺矢板が根入れする非液状化層の周面抵抗力の評価が重要である。

港湾基準には、鋼矢板の支持力推定式が記載されていない。ハット形矢板単体の支持力を評価する場合、現地載荷試験の結果に基づいて周面抵抗力度の特性値を地盤種別や地盤定数、施工方法等に関連付けて整理し、設計に用いるのが合理的である。なお、鋼矢板の先端抵抗力については十分な知見が無いため、先端抵抗力を無視し、周面抵抗力のみによって支持されると考える。

【参考】

・長尺矢板の支持力

長尺矢板の支持力は、大分港海岸の津留地区で実施した鋼矢板の現地押込み載荷試験の結果を踏まえて設定された抵抗力推定式を適用した。先端抵抗力は考慮しないが、試験結果で杭先端部の抵抗力が少し大きかったことを受け、先端部のみ周面抵抗力度を大きめに設定することが行われている。

・ハット形鋼矢板の周面抵抗力

2018年度に実施した「ハット形鋼矢板の押込み載荷試験」の結果を踏まえ、長尺矢板の周面抵抗力を式(2.7-1)で算出した。なお、本推定式は、ハット形 SP-50H、45H を単独で杭のように使用した場合を対象に適用している。

$$R_{fk} = U \sum r_i \cdot l_i \quad (2.7-1)$$

ここに

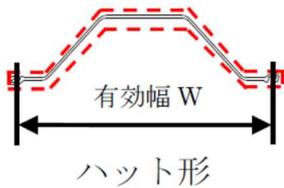
R_{fk} : シートパイルの周面抵抗力の特性値 (kN)

U : シートパイル周長 (m)

SP-50H では $U=2.98\text{m}$ 、SP-45H では $U=2.97\text{m}$ ( 図 2-13 の赤破線の長さを使用する)

r_i : 各土層の周面抵抗力度の特性値 (kN/m²)

l_i : 周面抵抗力を期待する各土層の厚さ (m)



出典：鋼矢板を用いた既設鉄道構造物基礎の耐震補強工法（シートパイル補強工法）設計・施工マニュアル（案）（第3版）平成28年11月公益財団法人鉄道総合技術研究所

図 2-13 ハット形鋼矢板のシートパイル周長

・周面抵抗力度の特性値（ハット形鋼矢板単体使用の場合）

表 2-12 に油圧圧入単独工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値の算定式を、表 2-13 にウォータージェット併用油圧圧入工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値の算定式をそれぞれ示す。

表 2-12 油圧圧入単独工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値 r_i

土質	周面抵抗力度の特性値 r_i (kN/m ²)	備考
粘性土 (周面)	$0.55 C (\leq 75)$	津留地区 Ac1 層の静的載荷試験結果に基づいて定められた値である。
粘性土 (先端 1m 区間)	$0.65 C (\leq 75)$	C の特性値は港湾基準の方法に従い簡易 CU 試験、一軸圧縮試験結果を基に決定する。

C : 粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)

表 2-13 ウォータージェット併用油圧圧入で打設した場合の周面抵抗力度の特性値 r_i

土質	周面抵抗力度の特性値 r_i (kN/m ²)	備考
粘性土 (周面)	$0.36 C (\leq 50)$	表 2-12 に示した油圧圧入単独工法の 2/3 となるように定められている。
粘性土 (先端 1m 区間)	$0.43 C (\leq 50)$	

C : 粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)

ウォータージェット (WJ) を併用して施工する場合は、抵抗力確保の観点からウォータージェットの水压・吐出量は必要最低限とし、先端抵抗力への影響を最小限にするため、打止め 1m 上方で WJ を停止して(施工上やむを得ない場合はアイドリング状態として)、以深を油圧圧入単独工法で打設を行うこととする。

表 2-14 にバイブロハンマ単独工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値の算定式を、表 2-15 にウォータージェット併用バイブロハンマ工法で打設した場合の周面抵抗力度の

特性値の算定式をそれぞれ示す。

表 2-14 バイブロハンマ単独工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値 r_i

土質	周面抵抗力度の特性値 r_i (kN/m ²)	備考
粘性土 (周面・先端 1m 区間の区別なし)	0.50 C (≤ 75)	津留地区 Ac1 層の静的載荷試験結果に基づいて定められた値である。 C の特性値は港湾基準の方法に従い簡易 CU 試験、一軸圧縮試験結果を基に決定する。
	5.0 N (≤ 75)	

C : 粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)

表 2-15 ウォータジェット併用バイブロハンマ工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値 r_i

土質	周面抵抗力度の特性値 r_i (kN/m ²)	備考
粘性土 (周面・先端 1m 区間の区別なし)	0.36 C (≤ 50)	表 2-14 に示した油圧圧入単独工法の 2/3 となるように定められている。
	3.3 N (≤ 50)	

C : 粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)

ウォータジェット (WJ) を併用して施工する場合は、抵抗力確保の観点からウォータジェットの水压・吐出量は必要最低限とし、先端抵抗力への影響を最小限にするため、打止め 1m 上方で WJ を停止して(施工上やむを得ない場合はアイドリング状態として)、以深を単独で打設を行うこととする。

・シートパイル基礎マニュアルに記載の周面抵抗力度の特性値

シートパイル基礎マニュアルの付属資料に、鋼矢板をバイブロハンマ単独で打設した場合と鋼矢板をウォータージェット併用バイブロハンマ工法で打設した場合の周面抵抗力度の特性値が示されている(表 2-16)。

表 2-16 周面抵抗力度の特性値の算定式

周面抵抗力度の特性値 r_i (kN/m ²)	バイブロハンマ工法	
	単独	ウォータージェット併用
土質	粘性土	粘性土
周面	$(q_u/4) \leq 75$	$(q_u/6) \leq 50$
	$0.50 \cdot C$	$0.33 \cdot C$

q_u : 粘性土の一軸圧縮強さ (kN/m²)

C : 粘性土の粘着力で、 $C = (q_u/2)$ (kN/m²)

2.7.4. 短尺矢板部(壁体部)の安定検討

楯形鋼矢板壁工法の短尺矢板部(壁体部)は、地盤から突出した直壁部分に波圧が作用し、地震動作用時に背後から土圧・水圧が作用する自立矢板式構造として照査する。

【解説】

短尺矢板部(壁体部)は、自立式矢板として照査用震度を算定し、永続・変動状態の安定性の照査、津波波力に対する安定性の照査を行う。

照査は、港湾基準に従って行う。ここで、レベル1地震動によって原地盤の砂質土層が「液状化する」と判定された場合には、静的な釣合い式に基づく性能照査に加えてレベル1地震動に対する地震応答解析を行い、短尺矢板部(壁体部)の発生応力を照査する。

また、短尺矢板部(壁体部)下端回りの地盤の浸透破壊に対して、津波時や高潮・高波時における水位差によるボイリングやパイピングの照査を行う。地震動等により矢板が沈下することが考えられるが、短尺矢板部(壁体部)下端深度は沈下前の方が浅いため、安全側に矢板沈下を見込まない矢板根入れ長で照査する。

【参考】

大分港海岸の例を表 2-17 及び表 2-18 に示す。

表 2-17 地震動による沈下考慮前の安定性の照査項目

対象外力	照査項目		備考
再現期間 50 年の確率波	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 降伏強度	矢板の腐食を考慮
レベル 1 地震動	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 降伏強度	矢板の腐食を考慮

※ l_{m1} : 頭部自由杭の曲げモーメント第一ゼロ点の深さ

表 2-18 地震動による沈下考慮後の安定性の照査結果

対象外力	照査項目		備考
レベル 1 地震動作用後の断面に対する再現期間 50 年の確率波	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 降伏強度	矢板の腐食を考慮
レベル 2 地震動作用後の断面に対する再現期間 10 年の確率波	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 全塑性モーメント	矢板の腐食を考慮
設計津波に先行する地震動+設計津波	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 全塑性モーメント	矢板の腐食を考慮
レベル 1 地震動	短尺矢板部(壁体部)根入れ長	$\geq 1.5l_{m1}$	
	矢板応力	\leq 降伏強度	矢板の腐食を考慮

※ l_{m1} : 頭部自由杭の曲げモーメント第一ゼロ点の深さ

2.7.5. 長尺矢板の支持力の検討

長尺矢板は、地盤に液状化が生じた場合において、地震後に上部工を支持できるように非液状化層への根入れ長の設計を行い、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重による作用軸力に対して支持力の検討を行う。

【解説】

1 スパン長は、上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重と長尺矢板の支持力の釣り合いで求めることができる(図 2-14)。1 スパン長は、選択した鋼矢板と上部工の自重により、液状化層の周面抵抗を考慮しない状態において、関連する基準等を参考として自重と長尺矢板の非液状化層根入れ部の周面抵抗力より適切に設定する。このとき、周面抵抗力の算定精度の他、矢板打設やウォータージェットによる地盤の乱れ等を考慮して適切な安全上の余裕を考慮する。

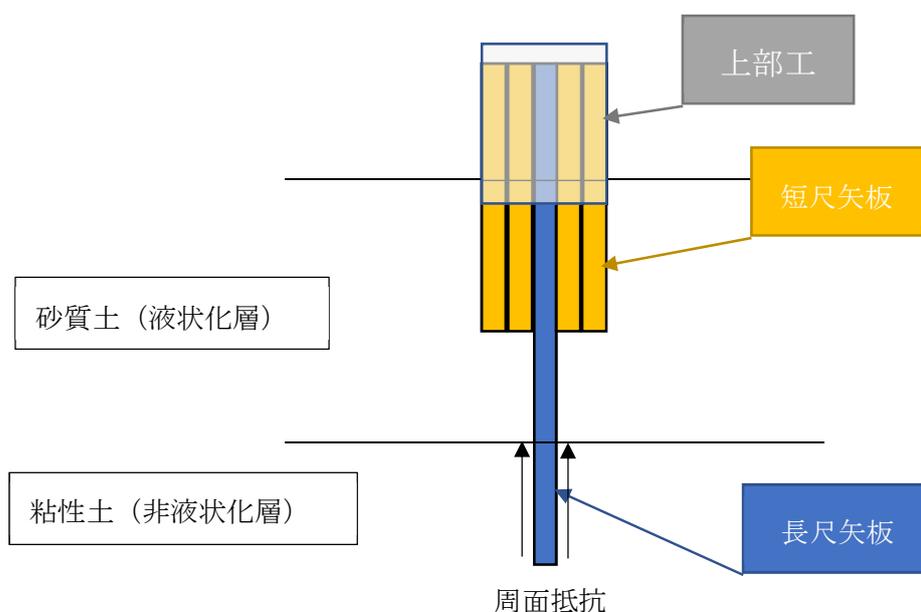


図 2-14 長尺矢板による自重支持イメージ

【参考】

長尺矢板は、砂質土層の液状化時における楕形鋼矢板壁全体の自重に対して、支持層である非液状化層の周面抵抗力と長尺矢板単体部の座屈の照査を行い、設置間隔と根入れ長を決定した。

大分港海岸津留地区の設計では、ハット形鋼矢板の現地載荷試験で粘性土層の周面抵抗算定式を設定し、偶発状態を対象としていることから支持力照査の調整係数を 1.0 と設定している。

・長尺矢板の支持力照査

$$W < R_{fk} \quad (2.7-3)$$

ここに、 W ：1 スパン分の矢板自重+上部工自重

R_{fk} ：長尺矢板1枚当たりの周面抵抗力

・長尺矢板の支持力

長尺矢板の支持力は、大分港海岸の津留地区で実施した鋼矢板の現地押込み載荷試験の結果を踏まえて設定された支持力推定式を適用した。その際、地震動作用後の支持力を沖積粘性土層の周面抵抗力で確保するにあたり、大型の施工機械を用いずにすむよう長尺矢板の全長を30m程度に抑えるため、短尺矢板4枚と長尺矢板1枚の組合せを採用した。

・長尺矢板の耐力照査

長尺矢板に生じる軸力の最大値に対しては、鋼矢板の座屈に関する照査を行った。

長尺矢板1枚当たりに生じる軸力は、1スパン分の楕形鋼矢板壁自重+上部工自重とする。

ハット形矢板の座屈荷重は、式(2.7-4)により算定する。

$$P_k = (\pi^2 \cdot E \cdot I) / L^2 \quad (2.7-4)$$

ここで、 P_k ：座屈荷重

E ：鋼材の弾性係数

I ：ハット形矢板の断面二次モーメント

L ：座屈対象長さ(短尺矢板部(壁体部)下端から長尺矢板下端までとした)

2.8. 偶発状態における性能照査

2.8.1. 一般

レベル2 地震動や津波に先行する地震動に対する安定性照査を行う。

【解説】

レベル2 地震動、津波に先行する地震動による沈下量や鋼矢板の発生応力の算定は、地震応答解析によって行う。検討は港湾基準に従って行う。

2.8.2. 地震応答解析手法

地震応答解析には適切な手法を用いる。

【解説】

検討は港湾基準に従って行う。地震応答解析手法には、さまざまな手法があるが、地盤の液状化が想定される場合には、動的詳細解析に分類される地盤-構造物系の地震応答解析でかつ液状化現象を取り扱うことができる有効応力解析を用いることが望ましい。地震応答解析においては、解析パラメータや境界条件を適切に設定する必要がある。

2.8.3. 長尺矢板部(単体部)の照査

長尺矢板部(単体部)について偶発状態の安定性の照査を適切に行う。

【解説】

長尺矢板については偶発状態に対する部材応力と支持力の照査を適切に行う必要がある。部材応力の照査においては以下の点に注意が必要である。

楕形鋼矢板壁工法の長尺矢板部(単体部)については、法線方向において短尺矢板数枚あたりに1枚の配置となることから、単位奥行きあたりの曲げ剛性は短尺矢板部(壁体部)よりも小さい。そのため、曲げ変形が発生しやすい状況にあり、降伏モーメントや全塑性モーメントを基準とした応力照査を行うと、この照査結果がクリティカルとなり、大幅な構造諸元アップとなる可能性がある(2.4.3 参照)。

なお、支持力の照査については2.7.5 で述べたとおりである。

【参考】

大分港海岸においては、鋼矢板の片持ち試験等から許容される曲率を設定し、地震応答

解析で得られた長尺矢板の曲率がその適用限界の範囲におさまるように設計している。
(詳細は 2.4.3 の【参考】を参照のこと)

2.8.4. 短尺矢板部(壁体部)の照査

短尺矢板部(壁体部)について、偶発状態の安定性の照査を適切に行う。

【解説】

短尺矢板部(壁体部)は、降伏すると変動状態の安定性を満足できなくなるため、港湾基準における自立矢板式護岸と同様の照査方法を用いて応力の照査を行う必要がある。

2.8.5. 地震動による矢板壁の変形量の照査

地震応答解析結果を用いて地震時の変形量の照査を行う。

【解説】

設計津波に先行する地震動により沈下した後に津波波力が作用することが想定される。また、施設に求められる性能によっては、レベル 2 地震動が作用した後に波浪に対して安定性を満足する必要がある。このため、地震動による沈下量を考慮して津波や波浪に対する安定性を計算する。沈下量を算定するために地震応答解析結果を利用する。また、液状化した地盤において間隙水圧の消散に伴い生じる沈下量や、地殻変動により生じる沈下量についても別途適切に考慮する必要がある。

【参考】

大分港海岸における地震応答解析結果の例を図 2-15 及び図 2-16 に示す。

1-1 工区_設計津波地震動

位置	残留変位(m)		最大変位(m)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
海底面	-1.131	-0.059	-1.172	-0.061
法先	-1.920	-0.077	-1.953	0.132
法肩	-1.957	-0.203	-1.987	-0.263
護岸天端	-3.036	-0.560	-3.068	-0.574
上部工天端	-3.550	-0.043	-3.584	-0.114

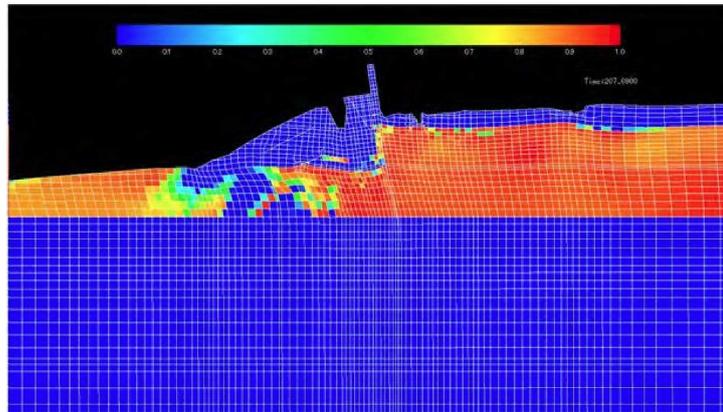
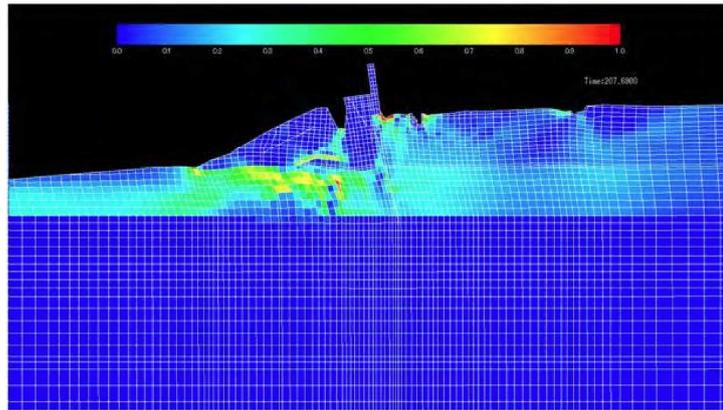
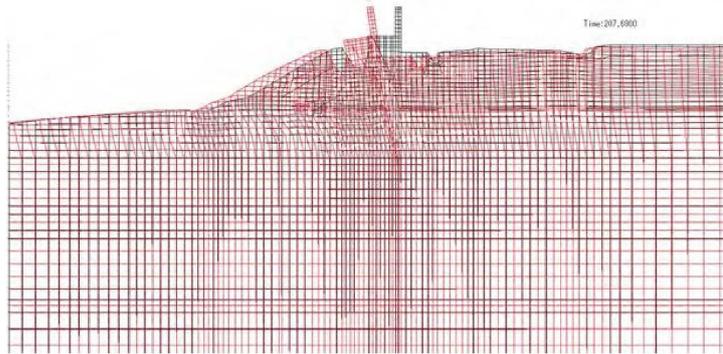


図 2-15 地震応答解析結果

(変形量一覽、残留変形図、せん断ひずみ分布図、過剰間隙水圧比分布図)

■ 曲げモーメント・ひずみ・曲率

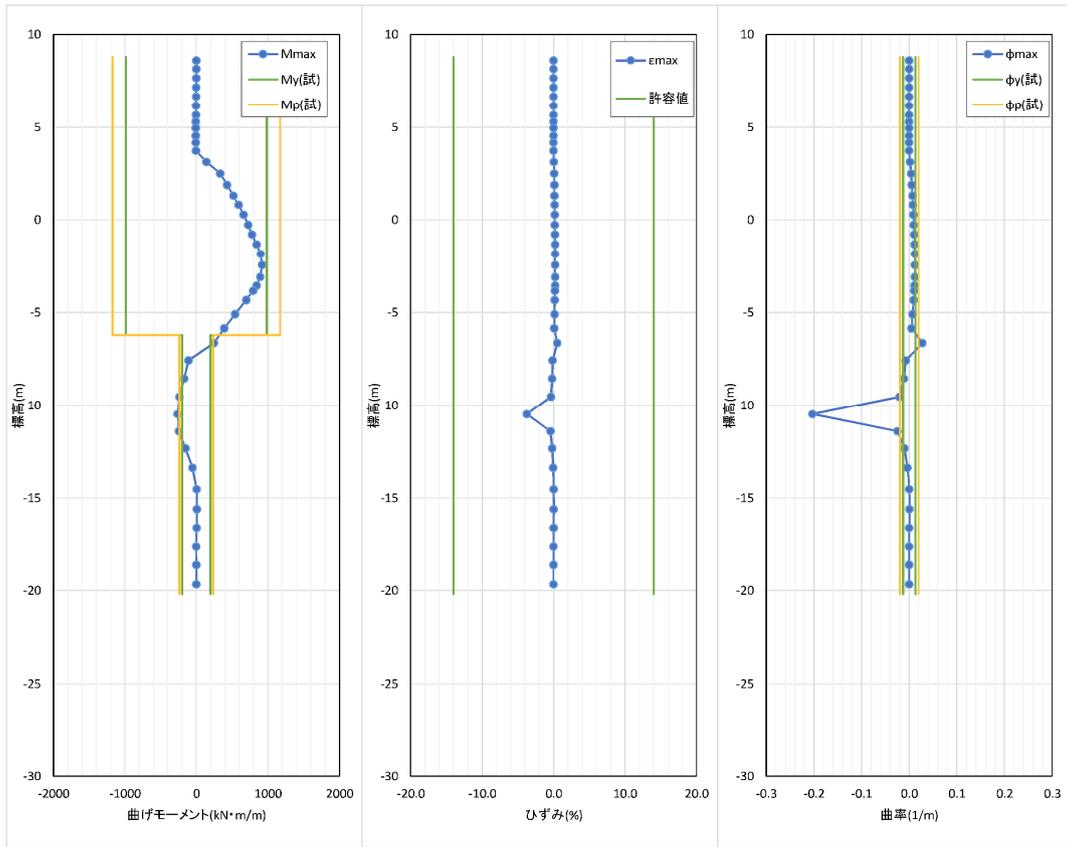


図 2-16 地震応答解析結果(矢板の曲げモーメント、ひずみ、曲率)
 ((試)は曲げ試験結果を踏まえた設定であることを示す)

2.8.6. 地震応答解析における留意点

楕形鋼矢板壁工法の特徴を踏まえて、適切な解析条件の設定を行い、変形量が非常に大きい場合には、解析結果についてさらなる検討を加える。

【解説】

楕形鋼矢板壁工法は、地震時における地盤の液状化を許容することや、自立式の構造であることから、地震時の水平変形量が大きくなる傾向にある。また、長尺矢板は単位奥行き当たりの剛性・強度が低いことから、これらを考慮した適切な解析条件を設定する必要がある。また、地震応答解析結果から、変形量が非常に大きいと判断される場合には、鉛直方向の変形の補正や付加モーメントに対する照査等が必要になる。

【参考】

楕形鋼矢板壁工法の地震応答解析においては、特に大きな残留変位が生じるような場合にいくつかの課題があり、適切な方法を用いて検討する必要がある。ここで挙げた留意点の他にも現地の状況等によって考慮すべき課題があると考えられる。必要に応じて有識者にヒアリングを行った上で適切な方法を用いて検討することが望ましい。

(1) 鋼矢板のモデル化

鋼矢板のモデルは、非線形はりモデルとし、 $M-\varphi$ 特性はバイリニア形式で表現することを基本とする。長尺矢板部(単体部)に関しては、左右に矢板が存在せず水平方向に拘束されないため、矢板の断面形状の変形が生じ得る。そのため正曲げと負曲げとで $M-\varphi$ 特性が異なる点に注意する。また、長尺矢板において、非常に大きな曲率が生じる可能性がある。このような結果が得られた場合は、長尺矢板についてはあらかじめバイリニアモデル上の最大曲げモーメント(M_{\max})を低減させたケースの解析も行って、天端の沈下量や全体の変形モード等に与える影響を慎重に見極める必要がある。

例として、SP-45H 及び SP-50H については、単体として用いる長尺矢板の M_{\max} は、壁体として用いる短尺矢板部(壁体部)の M_{\max} に対して、曲げ載荷試験結果より得られた係数として表 2-19 に示す γ_1 を掛けて低減させる。

表 2-19 長尺矢板の低減係数 γ_1

型式	曲げ方向	γ_1
SP-45H	正曲げ	0.97
	負曲げ	0.76
SP-50H	正曲げ	0.99
	負曲げ	0.76

負曲げ：ハット形鋼矢板に対して、図 2-17(1)のような状況を負曲げとする。

正曲げ：ハット形鋼矢板に対して、図 2-17(2)のような状況を正曲げとする。

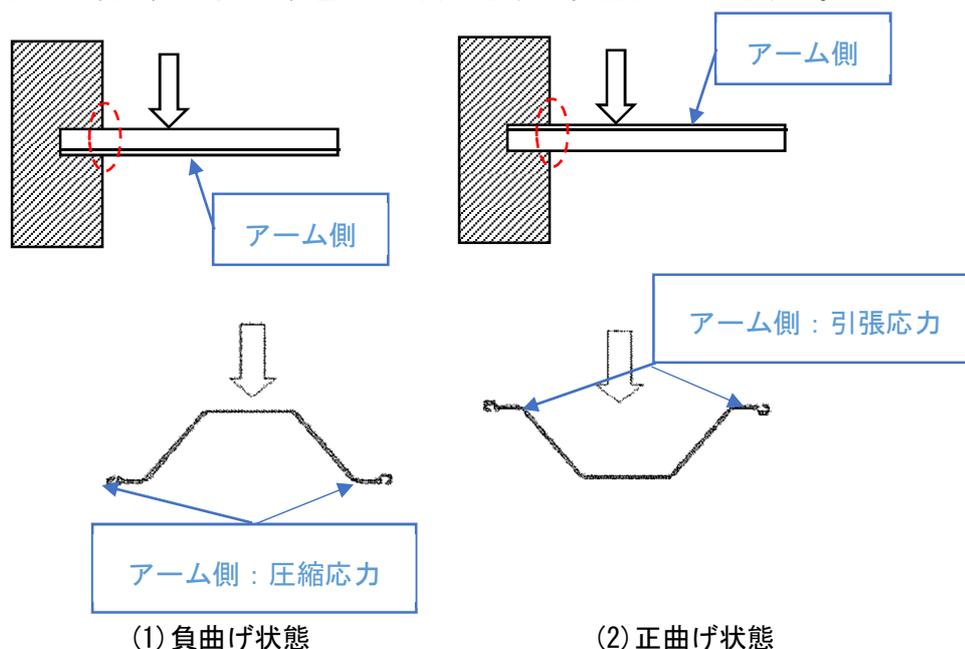


図 2-17 正曲げと負曲げの定義

(2) 楕形鋼矢板壁と地盤の動的相互作用のモデル化

楕形鋼矢板壁と地盤の動的相互作用は、図 2-18 のイメージ図に示すように、短尺矢板部(壁体部)、長尺矢板非根入れ部、長尺矢板根入れ部の3区間に分けて、それぞれ杭軸方向(鉛直方向)と杭軸直角方向(水平方向)とについてモデル化する必要がある。

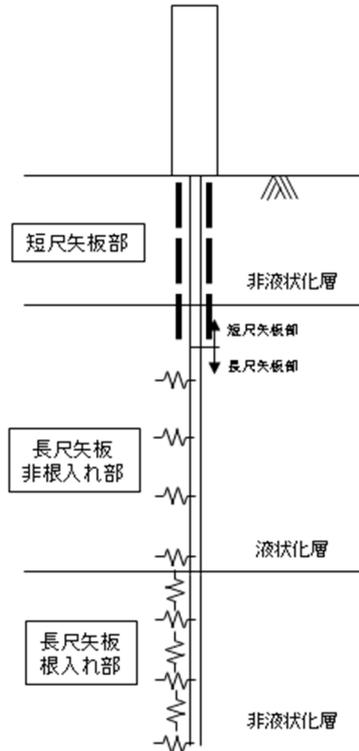


図 2-18 楕形鋼矢板壁と地盤の動的相互作用のモデル例のイメージ図

短尺矢板部(壁体部)の動的相互作用のモデル化の方法としては、表 2-20 に示すように、ジョイント要素(前面・背面)と MPC-x 拘束*(矢板前面・矢板背面とも)の2通りが考えられる。

※MPC-x 拘束：Multi-Point Constraint(多点拘束)で x 方向(水平方向)変位を拘束すること。

表 2-20 短尺矢板部(壁体部)の動的相互作用のモデル化

モデル	動的相互作用の方法	パラメータ設定方法
ジョイント要素 (矢板前面・矢板背面とも)	矢板と地盤(前面・背面)は、剥離した場合には動的相互作用せず、接触した場合には反発とせん断抵抗が発生する。	通常の矢板壁の検討において用いられるパラメータと同じが良い。
MPC-x 拘束 (矢板前面・矢板背面とも)	水平方向には矢板と地盤(前面・背面)は同じ動きをして、鉛直方向には矢板と地盤(前面・背面)は動的相互作用しない(滑る)。	—

長尺矢板非根入れ部の杭軸直角方向(水平方向)の動的相互作用は、地盤反力係数の低下と長尺矢板間の地盤のすり抜けを考慮したモデル化を行う。例えば FLIP-ROSE の杭—地盤相互作用ばね要素では、近傍の地盤要素の剛性低下を参照した地盤反力係数を与え、杭間隔に応じて地盤反力を低減するモデルを採用している。一方、杭軸方向(鉛直方向)の動的相互作用はモデル化しない。

長尺矢板根入れ部の杭軸直角方向(水平方向)の動的相互作用は、長尺矢板非根入れ部のモデルと同じとする。一方、杭軸方向(鉛直方向)の動的相互作用のモデル化の例として、表 2-21 に示すような拘束条件が考えられる。なお、周面抵抗特性のうち、周面抵抗力度に関するパラメータは本マニュアル(案)を参考に設定できるが、地盤反力係数に関するパラメータはシートパイル基礎マニュアル等を参考に設定できる。

表 2-21 2-2.長尺矢板根入れ部の動的相互作用のモデル化の例

下端拘束条件	動的相互作用のモデル化の方法	パラメータ設定方法
1.MPC-y 拘束	下端と地盤の節点を共有する。	—
2.線形ばね	下端と地盤を線形ばねで接続する。	MPC-y 拘束と拘束なしの結果を基に、等価なばね係数を算定 [※] 。
3.拘束なし	長尺矢板と地盤は、鉛直方向には一切動的相互作用しない。	—
4.非線形ばね	下端と地盤を非線形ばねで接続する。	長尺矢板の根入れ部分の周面抵抗特性を、バイリニアモデルとして下端に集約。
5.(杭—地盤) 杭軸方向の相互作用ばね	長尺矢板の根入れ部分と地盤を、杭軸方向の杭—地盤相互作用ばねで動的相互作用させる。このとき、片面分の周面抵抗を見込む。	長尺矢板の根入れ部分の周面抵抗特性を、バイリニアモデルとして根入れ部分に反映。
6.ジョイント要素	長尺矢板の根入れ部分と地盤を、ジョイント要素で動的相互作用させる。このとき、前面か背面のどちらかのみが接触する。	長尺矢板の根入れ部分の周面抵抗特性を、バイリニアモデルとして根入れ部分に反映。

※非線形性を持つ周面抵抗のばね特性を、対象地震動毎の支持力と沈下量を再現できるような、等価な線形ばね係数のばね要素に置き換えたものを想定しており、一例として、長尺矢板下端の拘束なし条件での残留沈下量 dy と MPC-y 拘束条件での最大軸力 N_{\max} から、 N_{\max}/dy として求める方法が考えられる。

ただし、短尺矢板部(壁体部)と長尺矢板根入れ部の動的相互作用のモデルの組合せによっては、楕形鋼矢板壁の沈下量や応力状態を適切に評価できない可能性がある。表 2-22 に望ましいと考えられる組合せの例とそれらの特徴を挙げて示す。

表 2-22 短尺矢板部(壁体部)・長尺矢板根入れ部における動的相互作用のモデルの組合せの例と解析結果の定性的な傾向

パラメータ		組合せ①	組合せ②
動的相互作用のモデル	短尺矢板部(壁体部)	ジョイント要素 (矢板前面・矢板背面とも)	MPC-x 拘束 (矢板前面・矢板背面とも)
	長尺矢板根入れ部	非線形ばね、または、杭軸方向の杭-地盤相互作用ばね	MPC-y 拘束、または、杭軸方向の杭-地盤相互作用ばね
変位量の評価	防潮堤天端の沈下量	大きく評価する可能性がある。 →天端高が低くなる。	小さく評価する可能性がある。
	防潮堤天端と地表面の相対鉛直変位	小さく評価する可能性がある。	大きく評価する可能性がある。 →津波波圧等を受ける面積が大きくなる。
鋼材応力の評価	曲率	大きく評価する可能性がある。	小さく評価する可能性がある。
	軸力	上部工自重の慣性力とジョイント要素のせん断抵抗が反映される。	上部工自重の慣性力が反映される。
モデル化		モデル化が複雑である。	自立矢板式係船岸のモデル化において、多く採用されている。

(3) 短尺矢板部(壁体部)および長尺矢板部(単体部)のはり要素の長さ

短尺矢板部(壁体部)および長尺矢板部(単体部)は、はり要素としてモデル化するが、変形量が非常に大きくなる時、要素 1 つあたりの長さによって発生曲率が異なり、短いほど発生曲率が大きくなることが明らかである。長尺矢板の発生曲率が非常に大きく、**図 2-8** に示す曲げ載荷試験結果から曲率の限界値を評価する場合には、付属資料 1-1 に示す実験結果を参照できるが、その際、この実験結果がはり要素の長さを 1m として整理されていることに留意する必要がある。そのため、楕形鋼矢板壁工法においては、要素 1 つあたりの長さは 1m 程度を基本とする。

(4) 鉛直方向の変形の補正

微小変形理論に基づいて定式化された地震応答解析プログラム(例えば、FLIP-ROSE)を用いる場合、**図 2-19** に示すように、はり要素の剛体回転や曲げ変形等は軸直角方向の変形には反映されるものの軸方向の変形には反映されず、結果としてはり要素の長さが適切に保存されていないことに注意する必要がある。特に、地盤が水平方向に大きく変形して剛体回転や曲げ変形が大きく生じている場合、はり要素でモデル化された楕形鋼矢板壁の沈下量は小さめに(危険側に)評価されることになる。その場合には、地震応答解析結果として得られる水平方向の変形量と鉛直方向の変形量を補正する必要がある。

変形に応じた縮み補正方法の例を**図 2-20** に示す。ここで、 x は右方向に正、 y は上方向に正、 θ は時計回りに正と考える。

簡易法(**図 2-21 (1)**)は、大きな曲率が生じている点を結ぶ線ごとに補正を行う方法であり、詳細法(**図 2-21 (2)**)は要素ごとに補正を行う方法である。曲率変化点が 2~3 箇所程度と少ない場合は、簡易法で十分であると考えられる。

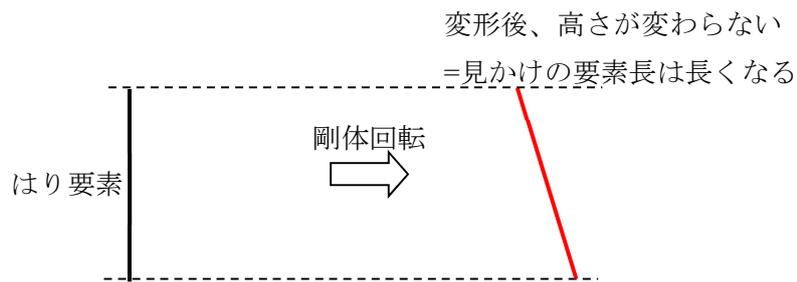
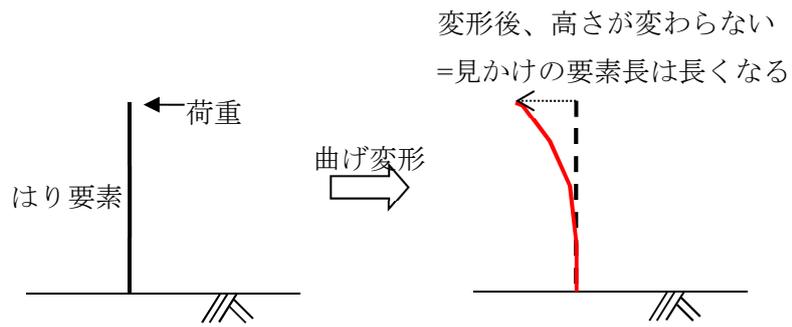


図 2-19 微小変形理論に基づくはり要素の変形

$$L' = \sqrt{(X_2' - X_1')^2 + (Y_2' - Y_1')^2}, \quad \tan \theta = (X_2' - X_1') / (Y_2' - Y_1') \quad (2.8-1)$$

$$\Delta = L - L', \quad \Delta X = \Delta \sin \theta, \quad \Delta Y = \Delta \cos \theta$$

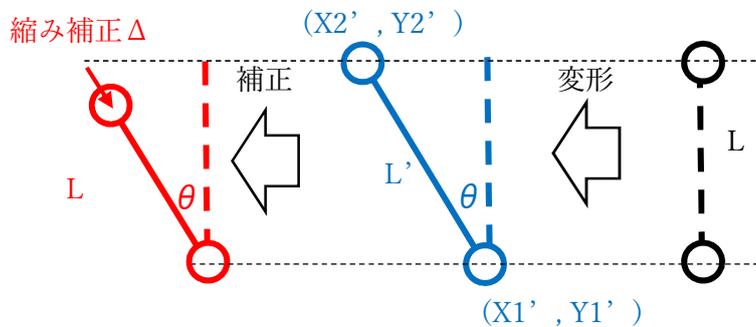


図 2-20 変形に応じた縮み補正

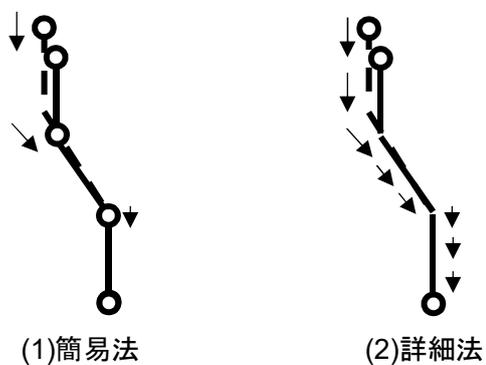


図 2-21 簡易法と詳細法のイメージ

(5) 長尺矢板部(単体部)の発生曲率が大きいときの対応

長尺矢板部(単体部)は、短尺矢板部(壁体部)に比べて断面性能が小さいため、地震動による地盤の液状化時の地盤変形に伴い全塑性モーメントを超過するような大きな曲率が発生する可能性がある。図 2-22 に示すように発生曲率が大きいほど最大曲げモーメント(M_{max})が低下することがわかる。このため、地震応答解析結果として得られる最大曲率に応じて最大曲げモーメントを低下させる必要があり、最大曲げモーメントを変化させながら(低下させながら)地震応答解析を繰り返して発生曲率と設定した最大曲げモーメントが整合する条件を確認する必要がある。

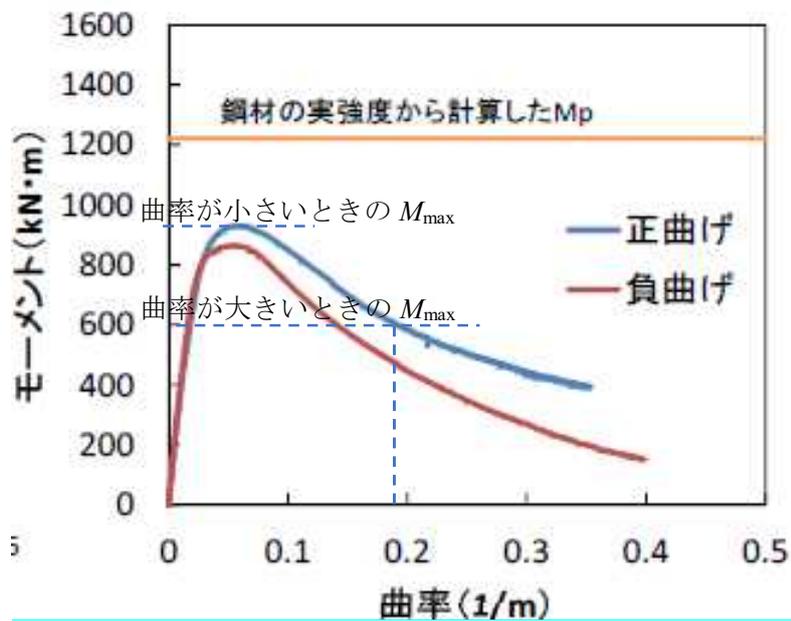


図 2-22 鋼矢板の $M-\phi$ 曲線の例

(6) 付加モーメントに対する照査

地震時には液状化土圧によって楕形鋼矢板壁構造が海側に押され、上部工部分が長尺矢板の支持層根入れ部分より前面に出てくると考えられる。その際、液状化層と非液状化層（支持層）の境界付近で長尺矢板に大きな曲率が発生している部分には、上部工自重による付加モーメントが作用することになる。付加モーメントは、一般的に用いられている微小変形理論に基づく有限要素法(FLIP-ROSE 等)では考慮されないため、他の方法によってその影響を検討する必要がある。

・静的な釣合い式に基づく方法

天端高さが高く上部工重量が大きい場合には、地震後に上部工を支持する性能を確保する必要があるため、この付加モーメントに対する安定性に関する照査を行う必要があると考えられる。一例として、3次元弾塑性解析や曲げ載荷試験によって得られている $M-\phi$ 曲線を基に、微小変形理論の解析で得られる残留曲率で抵抗できるモーメントを算出し、沈下後の状態で非液状化層の抵抗土圧等を考慮して付加モーメントに対する安定性を確認する方法がある。地震後の付加モーメントの照査方法のイメージを図 2-23 に示す。この際、(4)に述べた矢板の鉛直方向の変形の補正を考慮する必要があると考えられる。

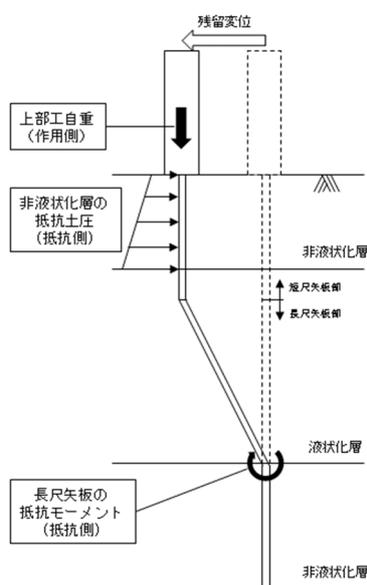


図 2-23 付加モーメントの安定性の確認方法のイメージ図

・地震応答解析による方法

別の方法として、地震応答解析中に付加モーメントを考慮し、付加モーメントに対する安定性を確認する 2 通りの方法が考えられる。1 つ目は、微小変形理論に基づく地震応答解析手法(FLIP-ROSE 等)において、付加モーメントに対応する矢板軸直角方向(水平方向)の偶力を考慮することにより、付加モーメントを擬似的に考慮し、地震後に不安定化してい

ないことを確認する方法である。2 つ目は、変形量に応じて自重が自動的に考慮できる有限変形理論に基づく地震応答解析手法(例えば、FLIP-TULIP)を用いて地震後に不安定化していないことを確認する方法である。

静的な釣合い式に基づく方法は、簡易的に検討を行うことが可能であるが、液状化層の上部にある非液状化層の抵抗土圧の妥当性評価に課題がある。地震応答解析による方法は、不安定化を変形の時刻歴で評価することが可能である。ただし、微小変形理論に基づく方法は付加モーメントの大きさや載荷するタイミングの設定に課題があり、有限変形理論に基づく方法は、解析手法の妥当性に課題がある。いずれの方法も付加モーメントの検討方法として確立されたものではないため、検討にあたっては学識者の意見を聞くなどして慎重に判断することが求められる。

(7) 動的な作用に対する支持力照査

長尺矢板の根入れ長は、地震後に液状化層の周面抵抗力を期待せず非液状化層への根入れ部のみで上部工を含む楕形鋼矢板壁の自重を支持可能な長さとして設定する。しかし、地震時の矢板の要素に発生する軸力の最大値は、地震力が加わる分だけ残留値より若干大きくなることが想定され、瞬間的には軸力が抵抗力を超過する時刻が生じると考えられる。動的な荷重は短時間に作用し周期的に増減を繰り返すものであり、それによって生じる軸力が支持力を若干上回ったとしてもその短時間に大きな沈下が生じることはないと考えられ、また地震終了後の非液状化層の抵抗力が地震前より大幅に低下することもないと考えられる。しかしながら、動的荷重の作用条件や地盤条件等にもよるので、動的な作用に対する押込み抵抗力の照査は慎重に行う必要がある。

2.8.7. 地震に続く津波や高潮・高波による影響の検討

地震に続く津波や高潮・高波による影響の検討を適切に行う。

【解説】

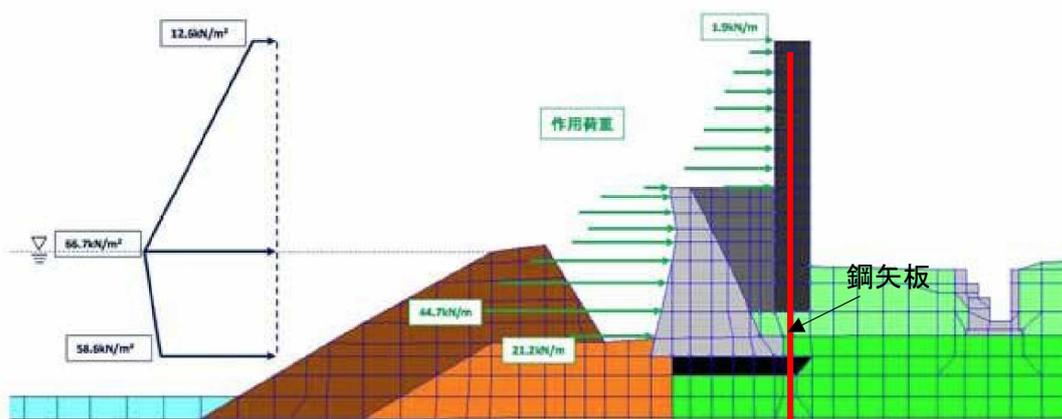
設計津波に先行する地震動により沈下した後に津波波力が作用する場合や、レベル 2 地震動が作用した後に波浪に対して使用性が求められる場合には、地震動による沈下量を考慮して安定計算を行う。この場合、静的な釣合い式に基づく性能照査において沈下量を考慮して安定性を計算する方法が一般的であるが、地震応答解析において地震動に続いて FEM 上で節点力などにより津波による波力や波浪による波力を作用させる方法もある。過剰間隙水圧が消散する前に荷重を作用させれば、液状化等により地盤剛性が低下した状態を表現できるため、構造物の安定性を安全側に評価することが可能となる。

なお、護岸に作用する波力および越波は水理模型実験によって評価することを基本とし、衝撃砕波力等を適切に評価する。

【参考】

偶発状態の安定性照査における大分港海岸の例を図 2-24 に示す。地震応答解析に続けて、FEM モデルに波圧等の静的荷重を載荷させている。

a) 10 年もしくは 50 年確率波浪



b) 設計津波を超える規模の津波

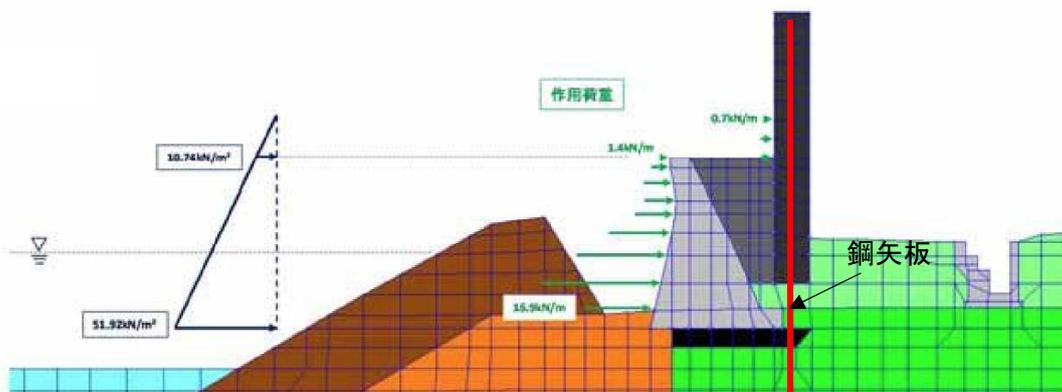


図 2-24 波浪や津波の波圧分布の載荷例

2.8.8. 粘り強い構造の検討

設計津波を超える規模の強さを有する津波等によって越流による洗掘等が想定される場合は、粘り強い構造について検討する。

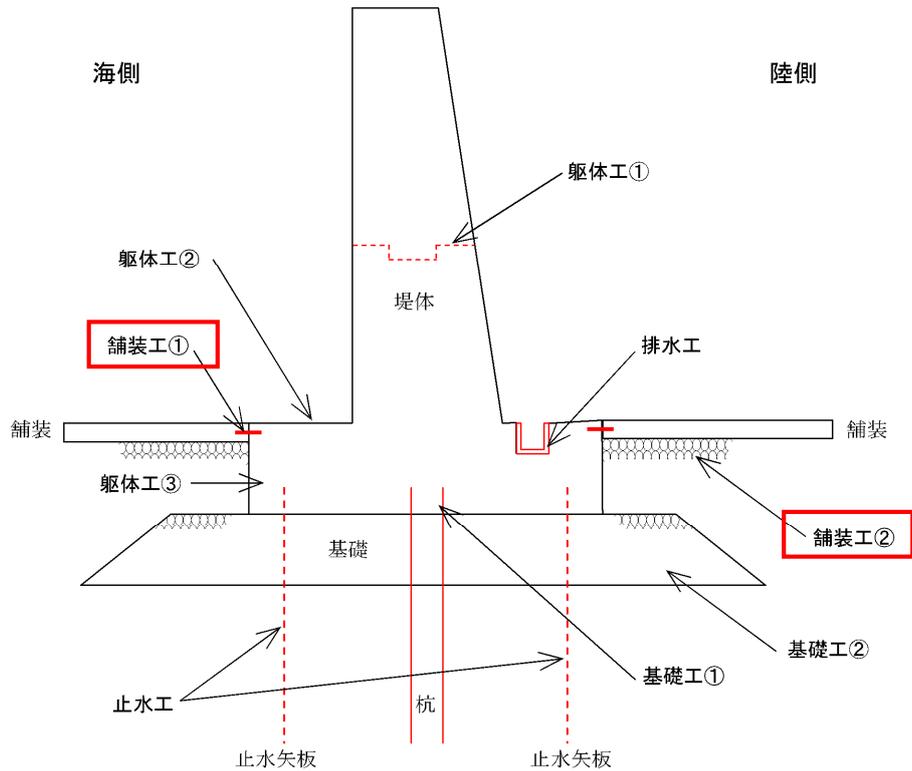
【解説】

楯形鋼矢板壁は、支持地盤に根入れされた鋼構造物であるため、地震等により大変形が生じた場合や、想定以上の津波波力が作用した場合でも、容易に倒壊しない粘り強さを発揮しうると考えられるが、前面や背後地盤の洗掘が生じると波圧に対する突出長の増加や受働土圧の減少等によって安定性が低下するため、このような状況を想定して粘り強い構造を検討しておくことが望ましい。

【参考】

粘り強い構造の検討において、「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局、平成 25 年 11 月)」や、「津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）(水産庁 漁港漁場整備部 防災漁村課 国土交通省 港湾局 海岸・防災課、平成 27 年 11 月)」が参考になる。

楯形鋼矢板壁構造に関しては、洗掘を防止するための前面や背後の舗装工または水叩き工が有効であると考えられる(図 2-25 及び表 2-23、図 2-26 及び表 2-24)。

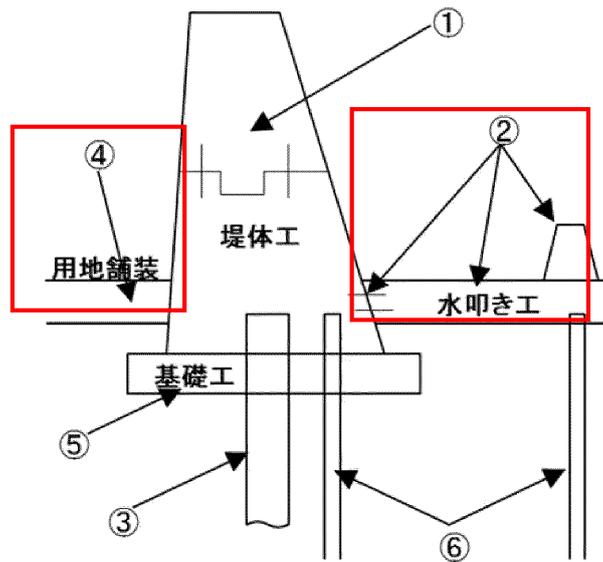


「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」より
 図 2-25 粘り強い胸壁の断面例（詳細の説明については下表を参照）

表 2-23 粘り強い胸壁のための対策箇所とその内容

箇所	対策
躯体工①	ほぞ（凸凹）を設置するとともに、用心鉄筋を入れ、堤体上部が欠損するリスクを低減。
躯体工②	本体と一体化された水叩き又は躯体底版の幅（陸側、海側）を出来る限り広く取り、洗掘等に伴う転倒リスクを低減。
躯体工③	躯体底版の地盤への根入長さは、設計上考慮されない場合でも、適度に余裕をもった設定する。
排水工	排水溝などは埋込式として堤体との一体化を図り、部分的な破損による地盤の洗掘・吸出の起点となることを防止（排水溝などを躯体と舗装の間に挟まない）。堤体本体の背後への転倒リスクを低減。
舗装工①	コンクリート舗装版は堤体に密着させ、ステンレス鉄筋等（ダウエルバー）で接合する。
舗装工②	アスファルト舗装の場合においても、路盤の安定処理を行うことで洗掘・吸出を防止。
基礎工①	杭と堤体本体は、剛結合とする。
基礎工②	基礎（砕石）等にセメント注入や捨コンクリート処理を行うことで、洗掘・吸出を防止。
止水工	止水矢板の設置を標準化。 矢板（止水矢板を兼ねる）の設置により、洗掘や吸出が発生した場合において、堤体の本体直下の基礎地盤の流出を抑制。 矢板と堤体本体は、可能な限り剛結合とする。

「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」より



「津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）」より

図 2-26 粘り強い構造の検討箇所例

表 2-24 粘り強い構造の検討内容例

	検討箇所	対策内容
①	堤体工	ホゾや用心鉄筋により堤体上部の欠損リスクを低減
②	水叩き工	越流に対する護床工として水叩き舗装厚を強化 堤体工と一体化させ構造強化 強制的な跳水（シル、ピア）
③	基礎工	杭基礎により堤体の滑動及び転倒の安定性を強化
④	基礎工	As 舗装は、路盤の安定処理により洗掘・吸い出しを防止
⑤	基礎工	碎石のセメント注入固化などで、基礎の洗掘・吸い出しを防止
⑥	洗掘対策工	矢板等を設置して洗掘や吸い出しが堤体直下に及ばないように制御

「津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）」より

2.9. 構造細目

2.9.1. 部材厚の設定

楕形鋼矢板壁の上部工の部材厚は、適切に設定する。

【解説】

楕形鋼矢板壁は、地震後に地盤が液状化した状態において、非液状化層に根入れした長尺矢板の周面抵抗力が自重を支持する構造となっているため、自重が重要になる。そこで、適切な維持管理を念頭に、必要最小限の厚さとなるよう上部工を設計する。上部工厚さについては、鋼矢板 Q&A⁴⁾等を参考とし、施工誤差、鉄筋径、最小かぶり等を考慮して決定する。また、下端高や上端高についても現地の状況等に応じて設定する。液状化後の長尺矢板の支持力照査において、自重が重要になるため、上部工の部材厚については、初期断面の設計の時点で慎重に検討する。

【参考】

大分港海岸での例を以下に示す。

表 2-25 に示されたコーピングコンクリートの標準寸法形状が部材厚の設定の参考になる。表中に記載がない鋼矢板については、表 2-25 を参考に同程度のかぶり厚を確保するよう部材厚を算定する。例えば、50H であれば、以下の通り考える。

ハット型鋼矢板 25H の $B=650\text{mm}$ となっている。25H の有効高 $=300\text{mm}$ であるから、かぶり厚は $(650-300)/2=175\text{mm}$ である。一方、50H の有効高 $=370\text{mm}$ であるから、25H と同様のかぶり厚を確保するとすれば、50H に対する必要幅 $B=370+175\times 2=720\text{mm}$ となる。

表 2-25 コーピングコンクリートの標準寸法形状⁴⁾

タイプ	型式	B (mm)	H (mm)
1	Ⅱ _W 、10H	600	600
2	25H	650	600
3	Ⅲ _W	700	600
4	Ⅳ _W 、Ⅴ _L	750	600
5	Ⅵ _L	800	600

出典：一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼矢板 Q&A

2.9.2. 上部工被覆コンクリート

上部工被覆コンクリートについて適切に設計する。

【解説】

目地構造・目地位置は、海岸基準に基づいて適切に設定する。楕形鋼矢板壁は矢板が天端付近まで立ち上がる構造を前提としている(図 2-27 参照)ため、止水版は不要である。さらに、矢板継手があるのでスリップバーも不要である。

スタッドジベルの配置間隔は、「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編(日本道路協会, 2017)」等に基づいて適切に設定する。

2.9.3. 鋼矢板の現場継手位置

鋼矢板の現場継手位置は適切に配置する。

【解説】

矢板が長くなり 1 枚での運搬が困難となった場合等には現場溶接などを行う必要がある。継手の位置については、曲げモーメントが大きくなる構造上の弱部を避けることが望ましい。特に楕形鋼矢板壁の場合、短尺矢板部(壁体部)の下端付近で長尺矢板部(単体部)の曲げ変形が大きくなる傾向にあることに注意する。

【参考】

大分港海岸における構造細目例を図 2-27～図 2-29 に示す。

陸上運搬を行ったことからやむを得ず長尺矢板に 2 箇所(標高-3.4m 及び-14.9m)を設けている。

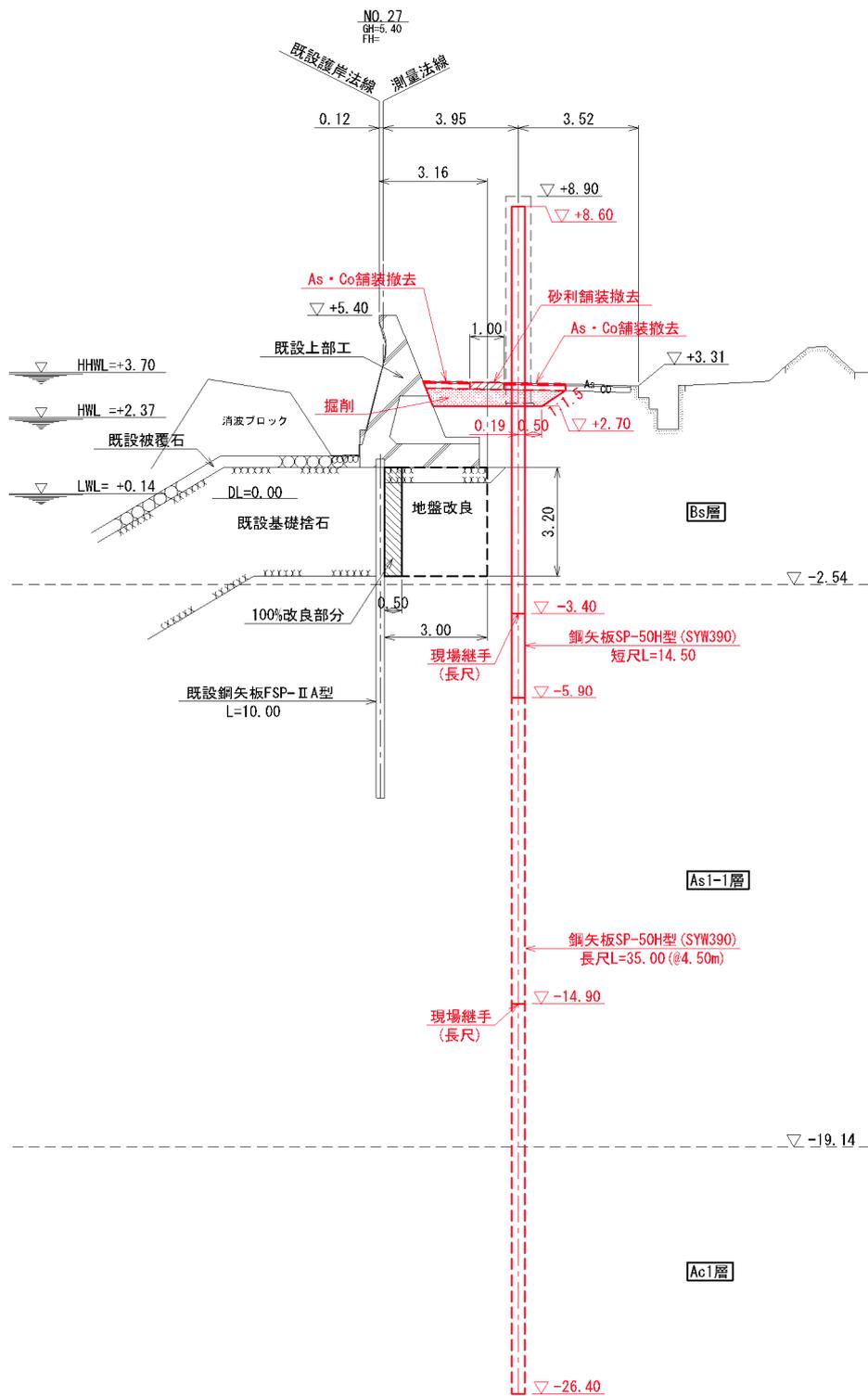
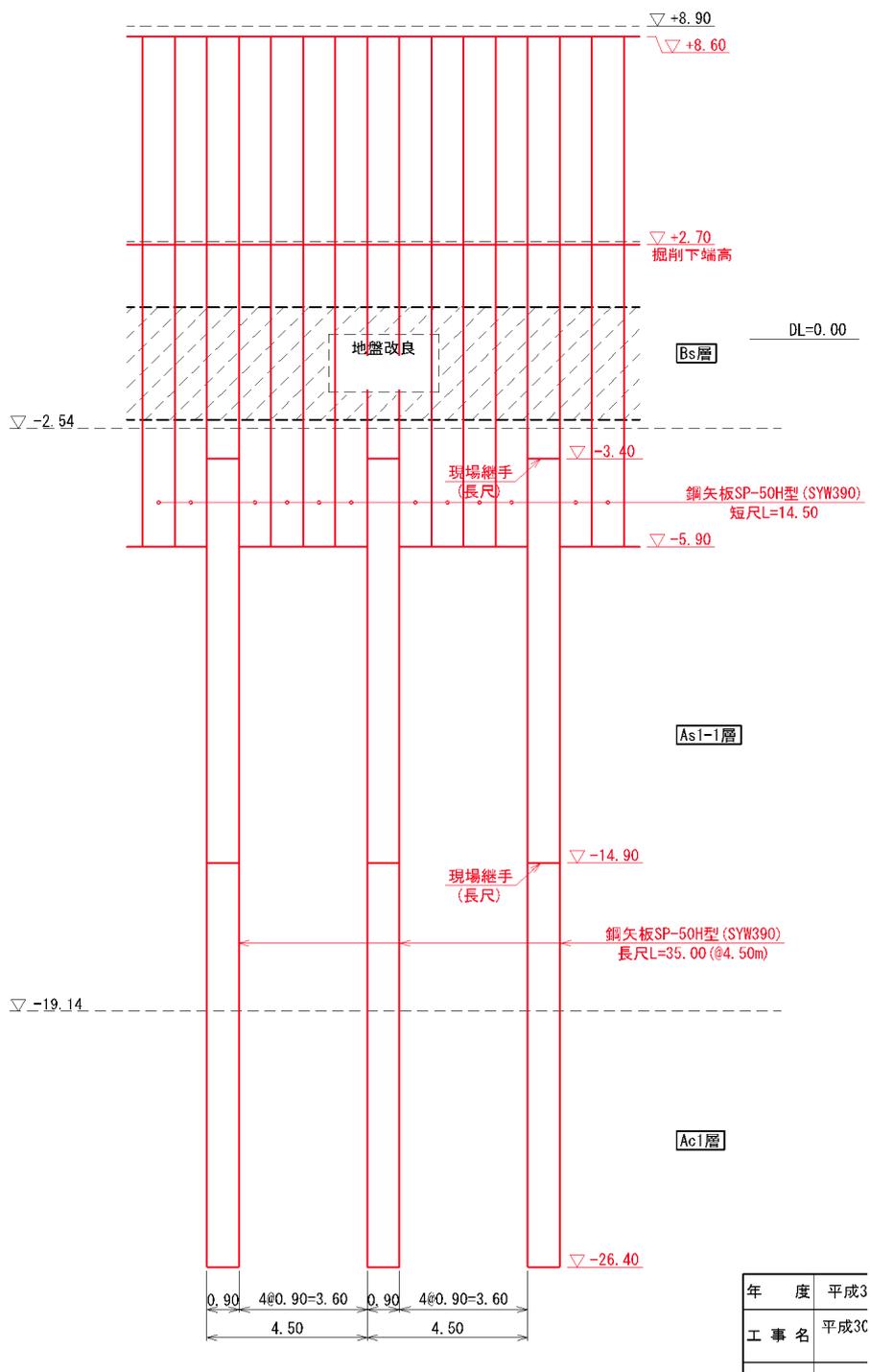


図 2-27 断面図

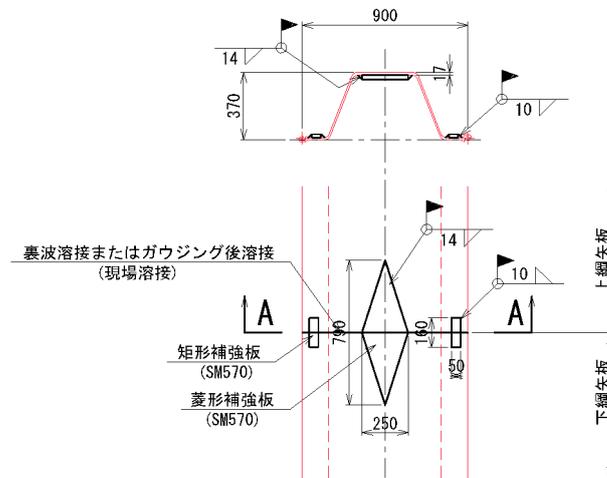
正面図



年 度	平成3
工 事 名	平成3C

図 2-28 正面図

綱矢板継手部詳細図 S=1/20



A-A断面詳細図 S=1/10

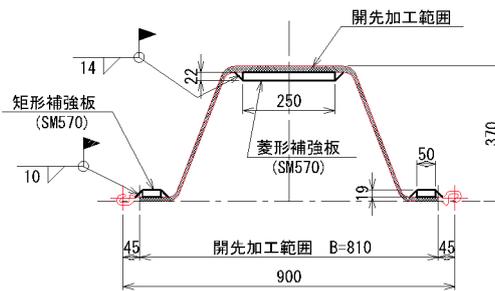


図 2-29 溶接継ぎ手詳細図

3. 施工上の留意点

3.1. 施工方法

3.1.1. 鋼矢板の打込み工法

鋼矢板の打込み工法は、打込み地点の土質条件、立地条件、矢板の種類等に応じた工法を選ぶ。

【解説】

楕形鋼矢板壁工法では、短尺矢板と液状化時の支持力を期待する長尺矢板を嵌合させつつ連続して打込む工法として、油圧圧入工法またはバイブロハンマ工法の採用を想定している。両工法では地盤条件による施工方法選定の目安があり、単独工法あるいはウォータージェット併用工法を選択することが可能である。また、鋼矢板の打込み可能長さの目安は、施工法、地盤条件、鋼矢板型式等によって異なっているため、長尺矢板と短尺矢板の各々に対するウォータージェット併用の必要性を検討して、使用機械・設備を決定する必要がある。

【参考】

(1) 油圧圧入工法

地盤条件と最大N値による油圧圧入工法の選定区分には表 3-1 が参考になる。鋼矢板打込み地盤の最大N値が25を超過する場合は、ウォータージェット併用工法を選定することが示されている。

表 3-1 地盤の最大N値による工法選定区分

	地盤条件	
	$N_{max} \leq 25$	$N_{max} \leq 50$
施工法	油圧圧入単独工法	ウォータージェット併用圧入工法
注)		圧入($N_{max} \leq 50$)は杭打ち用ウォータージェットを使用する場合に適用する

出典：鋼矢板圧入引抜標準積算資料（2021年度）（一財）全国圧入協会、p1,2

また、施工法と地盤条件による圧入可能長さの目安は、鋼矢板型式毎に異なっており、表 3-2 が参考になる。

表 3-2 油圧圧入工法による圧入長

鋼矢板の型式	10H 型	25H 型	45H 型	50H 型
Nmax ≤ 25	12m 以下	25m 以下	25m 以下	25m 以下
Nmax ≤ 50 ジェット 1 台	14m 以下	25m 以下	25m 以下	25m 以下
Nmax ≤ 50 ジェット 2 台	15m 以下	30m 以下	30m 以下	30m 以下
注)	1.圧入長（引抜き長）とは地面からの鋼矢板の圧入長であり、鋼矢板長とは異なる。 2.圧入（Nmax ≤ 50）は杭打ち用ウォータージェットを使用する場合に適用する。			

出典：鋼矢板圧入引抜標準積算資料（2021 年度）（一財）全国圧入協会、p3

(2) バイブロハンマ工法

地盤条件と最大N値によるバイブロハンマ工法の選定区分には表 3-3 が参考になる。

表 3-3 土質と最大N値による工法選定区分

	地盤条件				
	砂質土 Nmax < 50	粘性土 Nmax < 20	砂質土 Nmax ≥ 50	粘性土 Nmax ≥ 20	固結土・岩 盤・風化 岩・玉石混 じり礫
施工法	バイブロハンマ単独工法		ウォータージェット併用バイブロハンマ工法		
注)	バイブロハンマ単独工法では、平均 N 値が砂質土においては最大 N 値の 60%以内、粘性土においては 40%以内であることを条件とし、その比率を超える場合はウォータージェットの併用を考慮する。				

出典：バイブロハンマ工法標準積算要領(令和 3 年度), バイブロハンマ工法技術研究会, p.2

また、施工法と地盤条件による打込み可能長さの目安は、鋼矢板型式毎に異なっており、表 3-4 が参考になる。

表 3-4 バイプロハンマ工法による打込み長

鋼矢板の型式及び土質条件	10H 型	25H 型	45H 型	50H 型
砂質土：Nmax<50 粘性土：Nmax<20	15m 以下	19m 以下	19m 以下	19m 以下
砂質土：Nmax≥50 粘性土：Nmax≥20 ウォータージェット併用	19m 以下	25m 以下	30m 以下 注 2	30m 以下 注 2
注 1)	打込み長とは地面からの鋼矢板の打設長であり、鋼矢板長とは異なる。 継ぎ鋼矢板の場合も、継手数にかかわらず打込み長の適用範囲とする。			
注 2)	ウォータージェット併用の 45H・50H 型の値は H300 の適用範囲を準用し目安とした。			

出典：バイプロハンマ工法標準積算要領(令和 3 年度), バイプロハンマ工法技術研究会, p.5,p.15

なお、表 3-2、表 3-4 に示す施工可能長さは、一般の地盤で継手全長を嵌合させた時の施工可能長さであり、楕形鋼矢板壁工法における長尺矢板のように継手を全長に亘って嵌合させない場合は、施工可能長さが長くなる可能性がある。しかしながら、定量的なデータが無いため、表 3-4 を参考にするか又は近傍での施工実績、施工試験によって鋼矢板の型式と施工可能長さを決めることが望ましい。

3.1.2. ウォータージェット併用の留意点

長尺矢板は、上部工被覆コンクリートを含む楕形鋼矢板壁の自重を液状化時に支持する構造であるため、設計時点から鋼矢板の打込み工法を選定するとともに、ウォータージェットを併用する必要があるか判定し、適切に支持力を評価する。

【解説】

ハット形鋼矢板の周面抵抗力度の特性値は、本マニュアル「2.7.5.長尺矢板の支持力の検討」に示すように、油圧圧入工法とバイブロハンマ工法の別、ウォータージェットを併用するかを考慮して設定される。たとえば、粘性土地盤を支持層とする場合において、ウォータージェットを併用する場合には単独工法による打込みに対して 2/3 に低減した特性値を採用しており、支持層への必要根入れ長が大きくなることを示している。周面抵抗力度は、近傍での実績や現地試験等によって適切に評価するものとする。

【参考】

大分港海岸では、津留地区にて実施した鋼矢板の現地押込み載荷試験の結果を踏まえ、周面抵抗力度を設定し設計に適用している。

なお、表 3-5 および表 3-6 は、本マニュアル 2.7.5.長尺矢板の支持力の検討の再掲である。

表 3-5 油圧圧入工法を採用する場合の周面抵抗力度の特性値の事例

鋼矢板打込み工法	土質	周面抵抗力度の特性値 γ_i (kN/m ²)	備考
油圧圧入単独工法	粘性土 (周面)	0.55C (≦75)	津留地区 Ac1 層の静的 載荷試験結果に基づい て定められた値である
	粘性土 (先端 1m 区間)	0.65C (≦75)	
ウォータージェット 併用油圧圧入工法	粘性土 (周面)	0.36C (≦50)	油圧圧入単独工法の 2/3 となるように定めたも のである。
	粘性土 (先端 1m 区間)	0.43C (≦50)	

C：粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)。C の特性値は港湾基準の方法に従い簡易 CU 試験、一軸圧縮試験結果に基に決定する。

表 3-6 バイブロハンマ工法を採用する場合の周面抵抗力度の特性値の事例

鋼矢板打込み工法	土質	周面抵抗力度の特性値 γ_i (kN/m ²)	備考
バイブロハンマ単 独 工法	粘性土 (周面・先端 1m 区間の区別	0.50C (≦75)	津留地区 Ac1 層の静的 載荷試験結果に基づい て定められた値である
ウォータージェット 併用バイブロハンマ 工法	なし)	0.36C (≦50)	バイブロハンマ単独工 法の2/3となるように定 めたものである。

C：粘性土の非排水せん断強さ (kN/m²)。C の特性値は港湾基準の方法に従い簡易 CU 試験、一軸圧縮試験結果に基に決定する。

3.1.3. 油圧圧入工法の留意点

楕形鋼矢板壁工法では、高潮・越波対策および津波防護対策に必要な天端高を設定し、連続した矢板壁を形成することが基本である。このため、施工基面（地盤面）に対して矢板突出高が比較的大きくなる高天端施工に留意して計画する。

【解説】

油圧圧入工法でハット形鋼矢板（10H、25H、45H、50H 型）を施工する場合、使用する油圧式杭圧入引抜機（圧入力1000kN級、引抜力1100kN級）の本体重量は約13tと大きい。施工時には圧入機と矢板自重のほかに、矢板の圧入・引抜きの繰返し作用が加わるため、鋼矢板反力壁全体が前後・左右に揺動する挙動が発生する。大きな揺動が繰返し作用すると、高所作業の安全性が低下するのみならず、鋼矢板の打設精度を低下させる原因ともなる。そのため油圧圧入工法では、鋼矢板型式毎に突出長の目安が示されており、これを超える場合には別途検討する必要がある。

【参考】

油圧圧入工法による施工に対して、表 3-7 が示されている。

表 3-7 ハット形鋼矢板型式毎の突出長

鋼矢板の型式	10H 型	25H 型	45H 型	50H 型
突出高(m)	2.0m 以下	3.0m 以下	4.0m 以下	5.0m 以下
注 1)	突出長とは、鋼矢板の施工天端から地盤までの距離(突出長=鋼矢板長-圧入長) であり、自立で施工が可能である範囲である。			
注 2)	以下の場合には別途検討とする。 ・ 圧入作業時の鋼矢板突出長が圧入長を超える場合。 (但し、土質が軟弱地盤の場合は、別途、圧入長の検討を行う事とする) ・ 波浪、航走波等の外力の影響を受ける場合。 ・ 圧入機を相番クレーンにて補助吊または吊移動する場合。 ・ 導材等の事前設置により、控えを取る事が出来る場合。 ・ その他の条件により、標準的な圧入作業が出来ない場合			

出典：鋼矢板圧入引抜標準積算資料（2021 年度）（一財）全国圧入協会、p3

<高天端の試験施工の事例(図 3-1)>

大分港海岸においては、ハット形鋼矢板 50H 型を突出長 6.4m で高天端施工するにあたり、施工時の矢板変位とひずみ・応力を試験施工で事前確認している。

油圧圧入工法による鋼矢板打込みでは、短尺鋼矢板（SP-50H、L=15m）3 枚を杭圧入引抜機（F301）で把持し、短尺矢板（L=15m）および長尺矢板（L=29m）を施工する方法が想定されていた。当該工区においては、護岸に並行してベルトコンベアが設置されているため、鋼矢板の吊込み・建込み作業をクランプクレーンで行う施工形態を計画しており、油圧圧入工法では地盤からの鋼矢板の突出長が 5m を超過した場合、安全性を別途検討する必要があった。鋼矢板の施工精度に影響するような問題が生じないことを事前に確認することも重要であったため、短尺矢板（反力矢板）に設置した歪みゲージとレーザー距離計で、長尺矢板施工時の応力と天端水平変位を計測している。

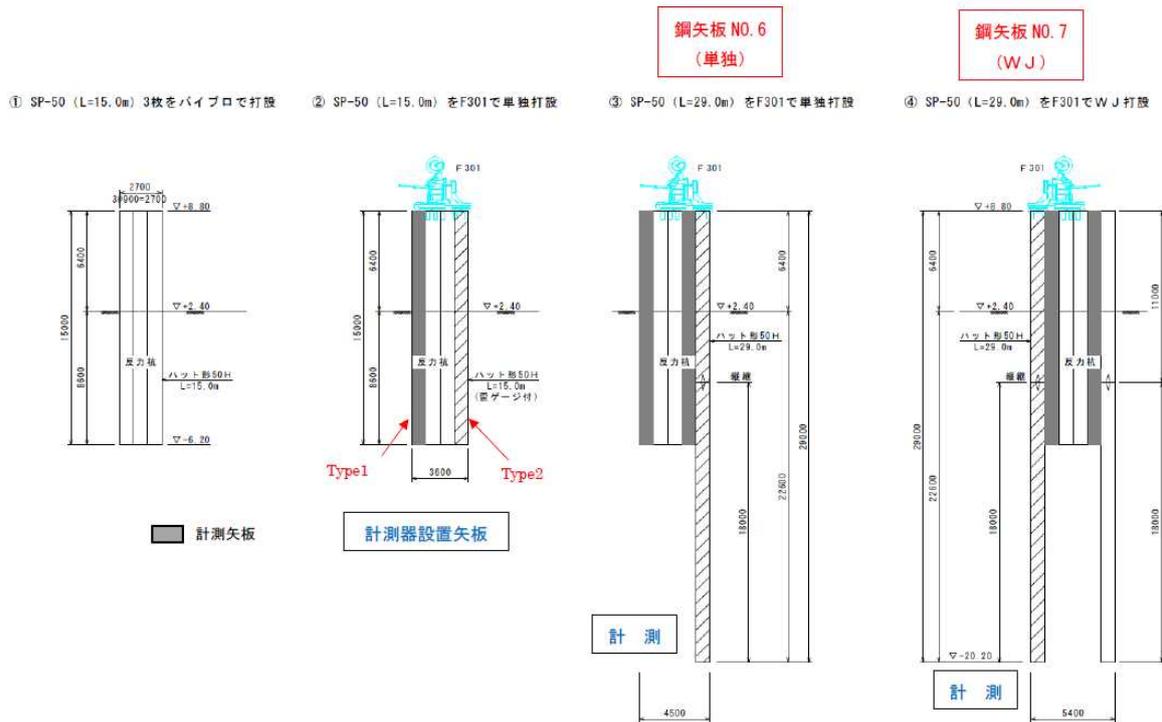


図 3-1 高天端試験施工のイメージ

鋼矢板 No.6 および No.7 圧入時の最大歪みは、GL-0.8m 位置で発生したが、ハット形鋼矢板の発生応力に問題はなかった。

NO.6 圧入時： $51.4\text{N/mm}^2 \leq 255\text{N/mm}^2$ (SYW430)・・・ok

NO.7 圧入時： $56.4\text{N/mm}^2 \leq 255\text{N/mm}^2$ (SYW430)・・・ok

鋼矢板 No.6 および No.7 圧入時の最大水平変位は、矢板天端で発生した。

No.6 圧入時： $60.2\text{mm} \leq 335\text{mm}$ (許容値 $\tan 3^\circ \times 6.4\text{m}$)・・・ok

No.7 圧入時： $25.9\text{mm} \leq 335\text{mm}$ (許容値 $\tan 3^\circ \times 6.4\text{m}$)・・・ok

いずれも安定施工の目安となる反力矢板変位角は 3° を満足しており、安全性は確認できた。

3.2. 施工管理

3.2.1. 先行掘削

先行掘削は、鋼矢板の打込み障害や打設精度に関わるため、掘削地点の土質条件や立地条件、鋼矢板の型式等に応じた工法を選定し、鋼矢板打設範囲内に障害物を残置しないように施工管理することが重要である。

【解説】

護岸改良においては、既設護岸の基礎材等が鋼矢板の打設法線上に転石となって残置していると、鋼矢板打ち込時の障害になることがある。このため、転石等の障害物の埋没深さが大きい場合には、オーガ掘削機等による先行掘削が有効である。鋼矢板工における先行掘削は、設計図書に指定されている先行掘削工法あるいは掘削地点の土質条件、立地条件、矢板の種類等に応じた工法を選ぶことが規定されている。（港湾工事共通仕様書（令和3年3月）第1編 5-3-2、15 先行掘削）

また、鋼矢板の打込み精度を確保する上で、先行掘削におけるオーガ掘削を確実にラップさせるとともに、矢板打設範囲内の障害物を除去するため、オーガ掘削位置（掘削法線と法線方向ピッチ）の施工管理が出来形管理基準として規定されている。

【参考】

鋼矢板打込みにおける先行掘削の施工管理について表 3-8 に示す。

表 3-8 鋼矢板打込みにおける先行掘削の出来形管理基準の例

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲
位置	トランシット、 光波測距儀、ス チールテープ等	全数	10cm	測定表を作成し 提出	特記仕様書による ±100mm
掘削長 掘削深度	レベル等	全数	10cm	測定表を作成し 提出	特記仕様書による 設計値以上
掘削径	スチールテープ 等	全数	10cm	測定表を作成し 提出	特記仕様書による -0、+規定なし

出典 港湾工事出来形管理基準 1-8 鋼矢板工 1.先行掘削

事例としてハット形鋼矢板 50H 型において、先行掘削径Φ600mm の場合の配置例を図 3-2 に示す。

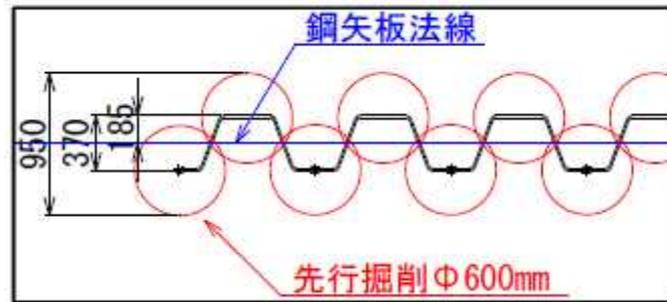


図 3-2 先行掘削平面図（ハット形 50H、Φ600mm オーガ）の配置例

3.2.2. ウォータージェット

ウォータージェットを併用した矢板の打込みにおいて、最後の打ち止めは、打ち止め地盤を緩めないようにジェット噴射を制限・調整して、併用機械で貫入させ、落ち着かせなければならない。このため、ウォータージェット水圧および使用深度を適切に管理する。

【解説】

鋼矢板工におけるウォータージェットについては、港湾工事共通仕様書（令和3年3月）第1編 5-3-13 鋼矢板工に上記の表現で規定されているに留まっている。使用される杭打ち用ウォータージェットの規格は、エンジン式・排ガス対策型（14.7MPa、325 リットル/min）が標準であるが、ウォータージェットの噴射圧と吐出量の定量的な施工管理方法を具体的に示す基準類は見あたらず、以下のような表現に留められている。

ウォータージェットを併用して施工する場合は、抵抗力確保の観点からウォータージェットの水圧・水量は可能な限り必要最低限とし、先端抵抗力への影響を最小限とするため、所定計画高到達 1m 上方でウォータージェット水圧はアイドリング程度（負圧によるジェット管への逆流防止程度）とし、鋼矢板先端打止め 1m 以上の範囲でウォータージェットを停止したパイプロハンマ又は油圧圧入の単独工法で打設を行うこととする。

なお、矢板の周面抵抗力の低下を極力抑えるため、現場継ぎ矢板の溶接作業や溶接検査中は、ノズル先端が閉塞しない程度まで吐出量を絞るなど周面地盤の乱れを生じないように適切に施工管理を行うものとする。

【参考】

大分港海岸における試験施工では、以下のような施工管理を行った。

- ①鋼矢板の圧入に際しては、周辺地盤を緩めないよう適切な管理を行うものとし、施工時のウォータージェット水圧は 4.0MPa（エンジン回転数 1800rpm）以内とする。
- ②打止め管理として支持力確保の観点から、ウォータージェット水圧は可能な限り必要最低限とする。先端支持力への影響を最小限とするため、支持地盤到達 1m 上方でウォータージェット水圧をアイドリング程度（使用上最低の水圧、ノズル目詰まり防止）

とし、杭先端打止め 1 D (900mm) の範囲ではウォータージェットを停止する。

具体の対応方法としては、施工時の吐出水圧の管理は、ノズル径・本数の設定とウォータージェットカッターのエンジン回転数で管理した。

- ①ウォータージェットノズル (Φ6.5mm) を 2 箇所に配置し、これにより最低限のウォータージェット水圧で杭断面全体をカバーして施工性を確保するよう配慮し、杭先端より 100 mm 上側の位置にノズルを配置した。
- ②ウォータージェットの使用方法について、圧入負荷が 20t 以下の地盤での圧入中、鋼矢板の継溶接の作業時間中・溶接検査中はアイドリング状態とした。

3.2.3. 鋼矢板の打込み

鋼矢板の打込み精度は、次工程の上部工被覆コンクリートの施工に影響する。鋼矢板の出来形のうち、「矢板法線に対する出入り」と「矢板法線に対する傾斜」は、鋼矢板と鉄筋の最小かぶり確保や現場打設コンクリートの施工性に影響するため、鋼矢板打込み誤差が累積しないよう細かく施工管理を行い、所定の施工精度を確保する。

【解説】

上部工被覆コンクリートの部材厚は、本マニュアル「2.9.1.部材厚の設定」において、鋼矢板の施工誤差、鉄筋径、最小かぶりの確保と同時に上部工自重を抑制することを考慮して、適切に設定するよう解説している。図 3-3 にコンクリートかぶりと鋼矢板打設誤差のイメージを示す。具体には、ハット形鋼矢板のかぶり厚は 175mm、ひび割れ防止鉄筋のかぶり厚は 8cm が確保されており、この時の鋼矢板と鉄筋のあきの計算値は 7cm である。上部被覆コンクリート法線と鉄筋かぶり 8cm を確保した場合、鋼矢板の法線直角方向の凹凸の許容値は±7cm となり、一般的な許容値である±10cm より厳しい。また、楕形鋼矢板壁構造では、上部被覆コンクリートの高さは 5m を超える場合もあり、矢板突出部の天端と地盤高の 2 点において、法線直角方向の出入りと傾斜の合計値で施工管理する必要がある。

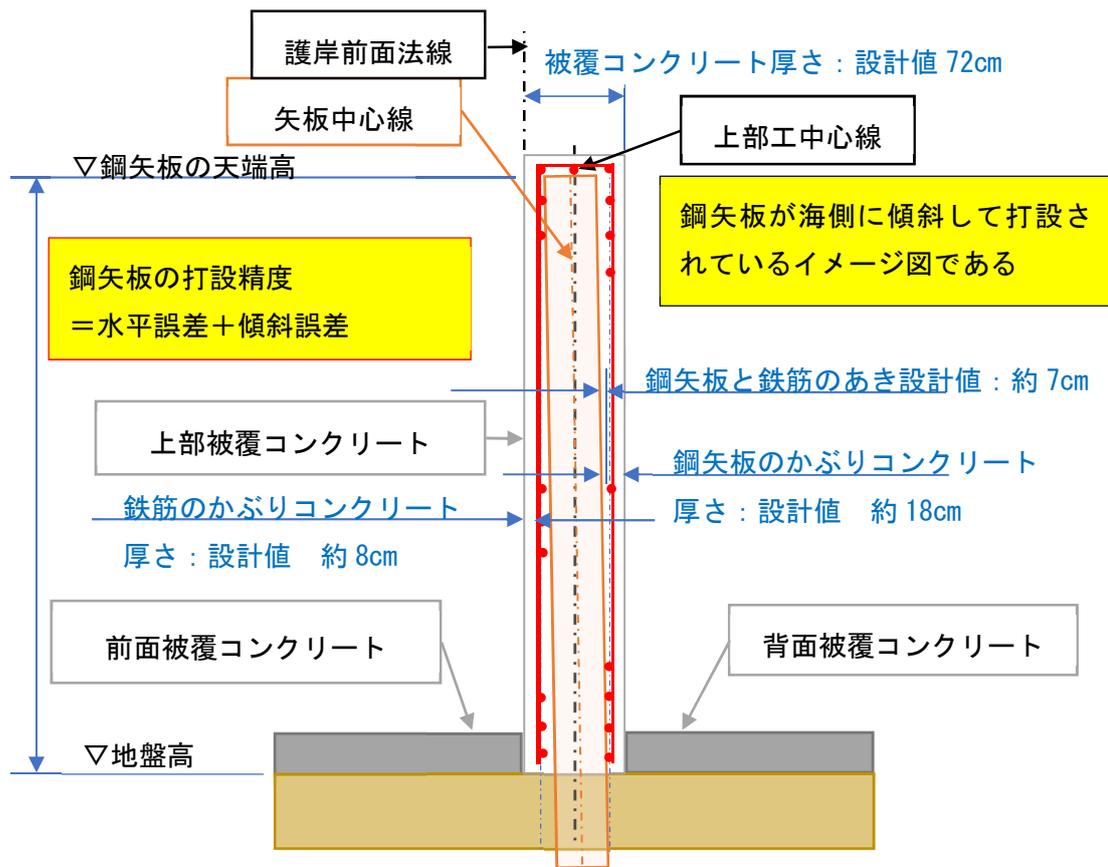


図 3-3 コンクリートかぶりと鋼矢板打設誤差のイメージ図

【参考】

ハット形鋼矢板は剛性が高いので比較的、施工性に優れているが、建込み・打込み時は打設精度をリアルタイムで確認・管理しつつ、法線直角方向のズレや傾斜を生じた場合には、引抜き・再圧入による修正を早めに行うことが、所定の出来形精度を確保することに繋がる。

鋼矢板工の出来形管理基準を表 3-9 に示す。

表 3-9 鋼矢板における出来形管理基準の例

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲
打込記録	—	(40 枚に 1 枚)	—	(打込記録を提出)	
根入れ長	—	1 箇所/施工延長 40m	1mm	(管理表を作成し提出) 矢板下端レベル = 天端高 - 矢板長	設計値以上
矢板壁延長	スチールテープ等 (天端付近)	(施工中適宜、打込完了時)	1cm	(管理表を作成し提出)	+ 規定しない -0
矢板法線に対する出入り	トランシット、光波測距儀、スチールテープ等	1 箇所/施工延長 20m (打込完了時、20 枚に 1 枚及び計画法線の変化点)	1mm (1cm)	(管理表を作成し提出)	±10cm
矢板法線に対する傾斜	トランシット、光波測距儀、下げ振り、傾斜計等	(打込完了時、20 枚に 1 枚及び計画法線の変化点)	(1/1000)	(管理表を作成し提出)	(10/1000 以下)
矢板法線方向の傾斜	トランシット、光波測距儀、下げ振り、傾斜計等	施工中適宜、打込完了時(両端部)	(1cm、 1/1000)	(管理表を作成し提出)	(上下の差が矢板 1 枚幅未満、 10/1000 以下)
基準高 (矢板天端高)	レベル	1 箇所/施工延長 40m (打込完了時、20 枚に 1 枚)	1mm (1cm)	(管理表を作成し提出)	±50mm (±10cm)
矢板継手部の離脱	観察	(全数)		(観察結果を報告)	

() は港湾工事共通仕様書の出来形管理基準の記載を示す。基準高の許容値は土木工事共通編の規格値±50mmとした。土木工事施工管理基準に示された値も参考とできる。

出典：港湾工事出来形管理基準 鋼矢板工 p3-17 に一部加筆

長尺矢板については地盤液状化時の自重を支持する機能を担うため、打ち止め管理が重要であり、試験施工により支持地盤深さや打設時間等を確認し、支持地盤への所定根入れ長を確保し、矢板下端レベルが設計値以深であることを管理する。

油圧圧入工法においては、矢板打込み過程における圧入・引抜きサイクルの荷重とストローク値の記録を取得し、護岸法線方向に展開して地盤想定図と対比することによって、縦断方向の異常点・特異点の抽出に利用できる可能性がある。

3.2.4. 上部被覆コンクリート

上部被覆コンクリートは、ハット形鋼矢板の防食対策として施工するものであり、スタッドジベルおよび補強鉄筋で矢板壁との一体化を図る。維持管理において、鉄筋の腐食防止およびコンクリートのひび割れ防止が重要であることから、上部コンクリートの出来形と鉄筋かぶり、鋼矢板との一体性を適切に確保する。

【解説】

楯形鋼矢板壁工法では、矢板連続壁の地盤からの突出部において、法線直角方向出入りと傾斜の合計値が 7cm を超えた場合、上部工被覆コンクリートの法線を微調整するなどの工夫により、鉄筋のコンクリートかぶりを確保し、同時に鋼矢板壁の防食機能を維持するものとする。なお、法線方向にはブロック毎の目地部分に段差が生じないように施工しなければならない。

【参考】

上部コンクリート工の出来形管理基準を表 3-10 に示す。

表 3-10 上部被覆コンクリート工の出来形管理基準の例

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	結果の整理方法	許容範囲
天端高	レベル等	天端面は 1 スパン 4 箇所以上	1cm	測定表を作成し提出	±2cm
天端幅	スチールテープ等	1 スパン 3 箇所	1cm	測定表を作成し提出	±3cm
延長	スチールテープ等	法線上	1mm	測定表を作成し提出	+規定しない -0
法線に対する出入	トランシット、スチールテープ等	1 スパン 2 箇所	1cm	測定表を作成し提出	±5cm

出典：港湾工事出来形管理基準 p3-57 上部工 14-1 上部コンクリート工

4. 維持管理上の留意点

4.1. 海岸保全施設としての維持管理に関する留意点

楕形鋼矢板壁構造は、海岸保全施設の一部であることから、「海岸保全施設維持管理マニュアル(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、令和2年6月)」に基づいて維持管理することを基本とする。

【解説】

楕形鋼矢板壁工法は、矢板壁の大部分の根入れ深度を液状化層より上部又は液状化層の途中までの高さにとどめ、地震動により液状化が発生し既設護岸が大きく変位した場合に、矢板壁の自重を支持するために最低限必要な数の矢板のみ液状化層下の支持層(非液状化層)まで打ち込むことで矢板壁天端の大きな沈下を防ぐことが基本的な考え方となっている。こういった楕形鋼矢板壁の特徴を踏まえて維持管理を行っていく必要がある。

海岸保全施設維持管理マニュアル(以下、「維持管理マニュアル」)は、予防保全型の維持管理に基づく、海岸保全施設の点検・評価・対策工法・長寿命化計画等の標準的な要領を示し、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おり、楕形鋼矢板壁を含めた海岸全体の維持管理は、維持管理マニュアルに基づいて行う。

【参考】

維持管理マニュアル p.2 の中であげられている海岸保全施設の維持管理の特徴のうち、以下の点が楕形鋼矢板壁工法に関係する。

①海岸保全施設においては、部材の変状による性能の低下が、直接防護機能の低下につながりやすい。

⇒ 鋼矢板や被覆コンクリート等の部材の変状が、防護機能の低下につながる。

②堤防・護岸等の場合、長い延長の一箇所でも決壊すると、他が健全でも大きな被害をもたらす可能性がある。また、施設の天端高が不足すると、施設本体は決壊しなかったとしても、背後地に大きな被害をもたらすことになる。

⇒ 矢板壁は継手により連結されているため、適切な維持管理がなされていれば局所的な決壊は生じにくい。法線直交方向の幅(厚み)が少ないため、例えば鋼材の腐食等により急速に局所的な決壊が生じる可能性があると考えられる。また、地震時に大きな変位が生じると天端高が不足する可能性がある。

③海岸保全施設の変状は、主に地震、津波、高潮の発生時に進展するとともに、海岸の地形や構造物の配置等によって、劣化や被災による変状が起こりやすい箇所がある。

⇒ 主に地震時の変状が懸念される。また、法線の変化部や他の構造形式との取合部は変

状が生じやすいと考えられ、弱点になり易い。

④堤防・護岸等の破壊に至る変状連鎖の第一段階が堤体材料の吸出しであり、これにより堤体内の空洞化が進行するケースが多いが、基礎部分が海面下に没していることが多く吸出しによる変状を発見しにくい。

⇒ 鋼矢板は不可視部分であり、地表面下の鋼矢板の腐食が生じれば背後地盤が吸い出される危険がある。

4.2. 機能維持のための維持管理上の留意点

楕形鋼矢板壁構造は、既設護岸等の周辺構造物の状態を設計条件に考慮して設計されている場合があるため、長寿命化計画を作成する際には、設計断面全体を維持管理できるよう、必要な範囲について検討する。

【解説】

楕形鋼矢板壁構造の断面図の一例を図 4-1 に示す。

鋼矢板及び上部被覆コンクリートが楕形鋼矢板壁本体であるが、粘り強い胸壁の断面例等を参考にして、維持管理が必要な範囲を検討する。設計において、前面護岸の上載荷重としての考慮や波圧の算定時に前面消波ブロックの考慮等があった場合、設計条件が厳しくなる方向への変状が生じないように、護岸や消波ブロック等の構造物についても適切な維持管理を行う必要がある。また、天端被覆コンクリートについては、鋼矢板の腐食からの防護や地盤の洗掘からの防護等の役割があるため、適切な維持管理を行う必要がある。

図 4-1 の例では、既設護岸～前面天端被覆工～上部被覆工～背後天端被覆工～排水工が維持管理対象になる。

上部被覆工の根元と前面天端被覆工あるいは背後天端被覆工との間に隙間が生じると地盤の吸出しや鋼矢板の腐食につながる恐れがある。また、設計においてパイピングの照査に背後天端被覆工が考慮されている場合、隙間が生じると安全性を満たさなくなる可能性がある。そのため、根元部の隙間については、弱点箇所として重点的に点検を行う必要があると考えられる。

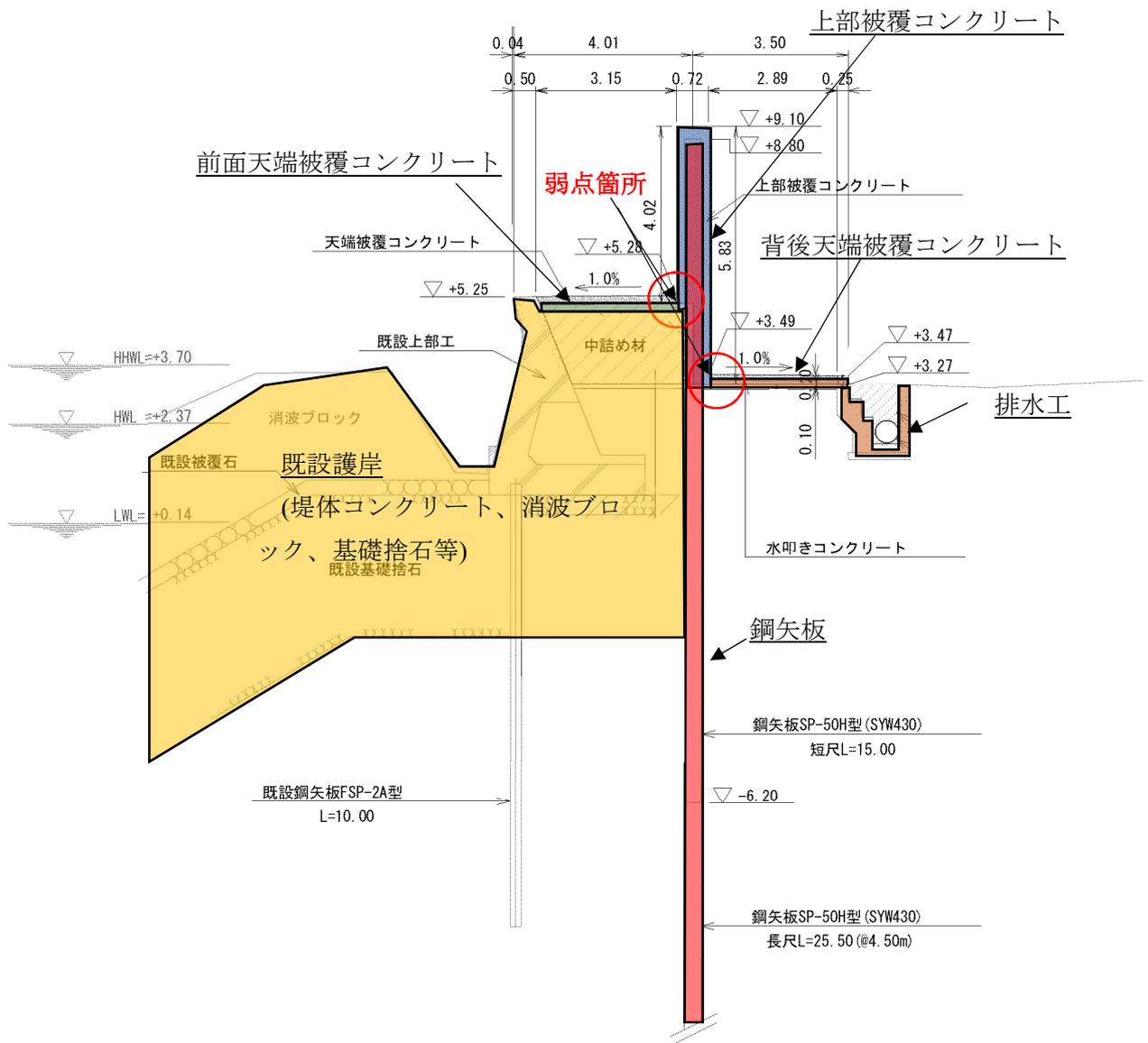


図 4-1 楕形鋼矢板壁構造の断面例

【参考】

維持管理マニュアルを基本として、楕形鋼矢板壁の点検位置、点検項目及び評価の案を次ページ以降に示す。既設護岸に関しては、目地開きにより背後地盤の吸い出し誘発の懸念等があり、維持管理マニュアルに基づいて適切に維持管理を行う。表 4-1 に初回点検・巡視(パトロール)・臨時点検の概要を、表 4-2 に定期点検の概要を示す。表 4-3 に点検位置の例を、表 4-4～表 4-7 に点検項目の例を示す。表 4-8 に上部被覆コンクリートに対する評価の例を示す。

表 4-1 初回点検・巡視（パトロール）・臨時点検の概要

種類 点検	初回点検	巡視 (パトロール)	臨時点検
対象施設	土木構造物 水門・陸閘等の設備	土木構造物 ^{注1)}	土木構造物 水門・陸閘等の設備
主な目的	・健全度評価、長寿命化計画策定、修繕等に必要各部材の変状の把握	・防護機能や背後地、利用者の安全に影響を及ぼすような大きな変状の発見 ・定期点検等で発見された変状の進展や新たな変状の把握	・防護機能や背後地、利用者の安全に影響を及ぼすような大きな変状の発見
主な内容	土木構造物： ・一次点検（必要に応じて二次点検）の点検項目 水門・陸閘等の設備： ・年点検の点検項目	・陸上からの目視又はそれに準ずる方法 ^{注2)}	土木構造物： ・巡視（パトロール）の点検項目 水門・陸閘等の設備： ・簡易点検設備の管理運転点検の項目
間隔・実施時期	長寿命化計画の初回策定時	数回／年 海岸の利用が見込まれる連休前や地域特性を考慮して設定	地震、津波、高潮、高波等の発生後
実施範囲	対象施設の全体	重点点検箇所（地形等により変状が起こりやすい箇所、実際に変状が確認された箇所等）を中心に施設全体	重点点検箇所（地形等により変状が起こりやすい箇所、実際に変状が確認された箇所等）を中心に施設全体

注1) 水門・陸閘等の設備については、管理運転点検を月1回程度としていることから、年数回実施の巡視（パトロール）の対象から除いているが、管理運転点検の頻度を減らす場合等においては、必要に応じて水門・陸閘等の設備の巡視（パトロール）を行うこと。

注2) 特に離岸堤等については、汀線より沖側に設置され、施設の一部又は全部が海面下に没しているため、変状の初期段階から点検に関する技術の例（「参考資料-2」参照）に示す技術等を積極的に活用するなどして、効率的に変状を把握することが望ましい。

出典：維持管理マニュアル p.13

表 4-2 定期点検の概要

施設 対象	土木構造物		水門・陸閘等の設備	
	一次点検	二次点検	管理運転点検	年点検
主な目的	・健全度評価、長寿命化計画更新、修繕等に必要な各部材の変状の把握	・健全度評価、長寿命化計画更新、修繕等に必要な各部材の詳細な変状の把握	・止水・排水機能や背後地、利用者の安全に影響を及ぼすような大きな変状の発見	・健全度評価、長寿命化計画更新、修繕等に必要な各部材の変状の把握
主な内容	・陸上からの目視又はそれに準ずる方法 <small>注4)</small>	・近接目視又はそれに準ずる方法 <small>注4)</small> ・簡易な計測 ・必要に応じ詳細な調査	・機械・設備の作動・試運転 ・陸上からの目視と近接目視	・機械・設備の作動・試運転 ・陸上からの目視と近接目視 ・詳細な各部の計測
間隔・実施時期	1回程度／5年 ^{注1)} (通常の巡視等で異常が見つかった場合は、その都度) 地域特性を考慮して設定(冬季波浪後、台風期前後等)	一次点検の結果より必要と判断された場合	一般点検設備： 1回／月 ^{注3)} 簡易点検設備： 数回／年 ^{注3)}	一般点検設備： 1回／年 ^{注3)} 一般的には、出水期(洪水期)や台風時期の前に実施することが望ましい。
実施範囲	対象施設の全体 全延長を対象とするが、概ね5年で一巡するように順次実施。 ^{注2)}	一次点検の結果より必要と判断された箇所(代表断面での実施も可)	対象施設の全体	同左

注1) 巡視(パトロール)の実施と、大きな外力を受けた場合の臨時点検を確実にを行うことを前提としており、臨時点検で同様の項目を実施した場合には省略可とする。また、「地形等により劣化や被災による変状が起りやすい箇所」、「一定区間のうち、変状ランク a 又は b とされ、最も変状が進展しているスパン」、「背後地が特に重要である箇所」等については、毎年点検を実施し、他の箇所については5年に1回程度の点検とする。

注2) 劣化事例のうち最も早く変状が進展するケースの場合、変状ランクは5年で1段階進むことに鑑み、定期点検の間隔は5年に1回程度実施することが望ましいとしている(「参考資料-3」参照)。

注3) 施設の老朽化度、高潮等の発生状況等を踏まえ、海岸保全施設の適切な維持管理が可能な場合、専門家の意見を聴いた上で点検頻度を変更してよい。

注4) 特に離岸堤等については、汀線より沖側に設置され、施設の一部又は全部が海面下に没しているため、変状の初期段階から点検に関する技術の例(「参考資料-2」参照)に示す技術等を積極的に活用するなどして、効率的に変状を把握することが望ましい。

出典：維持管理マニュアル p.14

表 4-3 櫛形鋼矢板壁における巡視(パトロール)、定期点検の点検位置

(対象：○、対象外：－)

点検位置	巡視 (パトロール) 注3)	定期点検	
		一次点検での対象	二次点検での対象
上部被覆コンクリート	○注1)	○注2)	○
前面天端被覆コンクリート	○注1)	○注2)	○
背後天端被覆コンクリート	○注1)	○注2)	○
排水工	○注1)	○注2)	○

注1) 巡視 (パトロール) はコンクリート部材の大きな変状、消波工の沈下、砂浜の減少を確認することを目的とし、陸上からの目視が主体となる。当該施設の立地条件等の諸条件を踏まえ、可能な範囲で実施することが望ましい。

注2) 一次点検は陸上からの目視を主体とするが、「地形等により劣化や被災による変状が起こりやすい箇所」、「一定区間のうち、変状ランク a または b と判定され、最も変状が進展しているスパン」、「背後地が特に重要である箇所」等については、望遠鏡やミラーを用いるなどの工夫により、極力全ての点検位置を点検するよう努める。

注3) 巡視 (パトロール)、一次点検では陸上からの目視を主体とするが、点検に関する技術の例 (維持管理マニュアル「参考資料-2」参照) に示す技術等を積極的に活用する等して、効率的に変状を把握することが望ましい。

表 4-4 櫛形鋼矢板壁の巡視 (パトロール) の点検項目

点検位置	変状現象 (目視または計測)	確認される変状の程度
上部被覆コンクリート注1)	ひび割れ	鉄筋まで達しているおそれのあるひび割れ・亀裂が生じている (幅 5mm 程度以上)。 さび汁等が出ている。
	目地の開き、 相対移動量	胸壁の大きな移動や欠損があり、目地部の開きやずれが大きい。
前面天端被覆コンクリート注1) 背後天端被覆コンクリート	ひび割れ	部材背面まで達しているおそれのあるひび割れ・亀裂が生じている (幅 5mm 程度以上)。
	沈下・陥没	水たまりができるほどの沈下や陥没がある。
	目地の開き、 相対移動量	目地部の開きやずれが大きい。
排水工	損傷・目詰まり	詰まっている。蓋がない。割れている。

注1) 巡視 (パトロール) はコンクリート部材の大きな変状、消波工の沈下、砂浜の減少を確認することを目的とし、陸上からの目視が主体となる。特に海側の土木構造物等は陸上からの目視が困難な場合があるが、可能な範囲で実施すること。

表 4-5 楯形鋼矢板壁の一次点検項目の一覧

点検位置	点検項目 ^{注1)}	確認する項目	目的
天端高	天端の高さ	必要高さに対する不足	天端の沈下の把握
上部被覆コンクリート	ひび割れ	ひび割れの有無	上部被覆コンクリートの強度低下の可能性の把握
	剥離・剥落・欠損	剥離・剥落・欠損の有無	
	鉄筋の腐食	錆汁、鉄筋露出の有無	
	隣接スパンとの相対移動	隣接スパンとの高低差、ずれ、目地の開きの有無	天端の沈下の把握
	修繕箇所 ^{注2)} の状況	修繕箇所における変状の発生の有無	修繕の適切性の把握
前面水叩きコンクリート 背後水叩きコンクリート	ひび割れ	ひび割れの有無	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握
	目地部、打継ぎ部の状況	目地材の有無、隙間・ずれの有無	
	剥離・損傷	剥離・損傷の有無	
	沈下・陥没	沈下・陥没の有無	天端の沈下及び吸出しによる空洞の発生の可能性の把握
	漏水	漏水の痕跡の有無	
	植生の異常(繁茂等) ^{注2)}	植生の異常(繁茂等)の有無	
	修繕箇所 ^{注2)} の状況	修繕箇所における変状の発生の有無	修繕の適切性の把握
排水工	目地のずれ	高低差・ずれ・開きの有無	天端の沈下の把握
	修繕箇所 ^{注2)} の状況	修繕箇所における変状の発生の有無	修繕の適切性の把握

注1) 陸上からの目視又はそれに準ずる方法(点検に関する技術の例(「参考資料-2」参照)等)を基本として実施する。ただし、「地形等により劣化や被災による変状が起りやすい箇所」、「一定区間のうち、変状ランク a または b と判定され、最も変状が進展しているスパン」、「背後地が特に重要である箇所」等については、望遠鏡やミラーを用いるなどの工夫により、極力全ての点検位置を点検するように努める。

注2) 古い建造物の場合、植生の根が堤体を割っている場合もあることに注意する。

表 4-6 櫛形鋼矢板壁の二次点検で必ず実施する点検項目（簡易な計測）^{注1)}

点検位置	点検項目	点検方法	変状	目的
上部被覆コンクリート	ひび割れ	目視及び計測	ひび割れの長さ、ひび割れ幅	上部被覆コンクリートの強度低下の可能性の把握
	剥離・剥落・欠損		剥離の範囲、剥落・欠損の深さと範囲	
	鉄筋の腐食		錆汁の有無と範囲、鉄筋露出の長さ	
	目地の開き、相対移動量	計測	隣接スパンとの高低差、ずれ・目地の開きの幅	天端の沈下、施設の不等沈下、滑り等の把握
前面水叩きコンクリート 背後水叩きコンクリート	ひび割れ	目視及び計測	ひび割れの長さ、ひび割れ幅	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握
	目地部、打継ぎ部の状況		目地材の有無、隙間・ずれの幅	
	剥離・損傷		剥離・損傷の深さと範囲	
	沈下・陥没		沈下・陥没の深さと範囲	天端の沈下の把握
排水工	目地の開き、相対移動量	目視及び計測	隣接スパンとの高低差、ずれ・目地の開きの幅	天端の沈下の把握

注1) 二次点検で必ず実施する点検項目（簡易な計測）のうち、一次点検と合わせて実施することが効率的である場合は、一次点検時に行ってもよい。

表 4-7 櫛形鋼矢板壁の二次点検で必要に応じて実施する点検項目（詳細な計測）

点検位置	実施の目安 ^{注1)}	点検項目	点検方法	着眼点	
上部被覆コンクリート 前面水叩きコンクリート 背後水叩きコンクリート	上部被覆コンクリート：目地の開き、相対移動	防護高さの不足	測量	防護高さの確保、余裕高さの確保	
	上部被覆コンクリート：法線水平変位、突出部傾斜	水平方向の変位	測量	土中部における鋼矢板の応力状態の推定	
	上部被覆コンクリート：ひび割れ、剥離・剥落・欠損、鉄筋の腐食	鉄筋の腐食	はつり試験	鉄筋の腐食程度、腐食の範囲の把握	
	前面水叩きコンクリート 背後水叩きコンクリート	前面水叩きコンクリート：沈下・陥没、ひび割れ、剥離・損傷 背後水叩きコンクリート：ひび割れ、剥離・損傷	コンクリートの劣化	コア採取	コンクリート強度の把握
				反発度法	コンクリートの中酸化深さ ^{注2)}
				中性化試験	コンクリートの中酸化深さ ^{注2)}
			塩分含有量試験	コンクリートの塩分含有量 ^{注2)}	
	前面水叩きコンクリート：全ての変状 背後水叩きコンクリート：全ての変状 排水工：全ての変状	吸出し・空洞化	レーダー探査 削孔による計測	空洞の有無、範囲、深さの把握	

注1) 実施の目安：簡易な計測による二次点検の結果について、変状ランクが a ランク、b ランク程度のものを対象とする。

注2) コンクリートの中酸化深さ、塩分含有量に関する点検は、鉄筋コンクリート構造の場合に実施することが望ましい。

注3) 基礎工に関する点検は、根固工がない場合又は基礎工が露出している場合について実施する。

表 4-8 上部被覆コンクリートに対する評価

変状現象		変状のランク			
		a	b	c	d
必ず実施する項目	防護高さの不足	防護高さを満足していない	—	—	防護高さを満足している
	ひび割れ	鉄筋まで達するひび割れ・亀裂が生じている(幅5mm程度以上)。	複数方向に幅数mm程度のひび割れがあるが、鋼矢板までは達していない。	1方向に幅数mm程度のひび割れがあるが、鋼矢板までは達していない。	1mm程度以下のひび割れが生じているか、ひび割れが生じていない。
	剥離・損傷	広範囲に部材の深部まで剥離・損傷が生じている。	表面だけでなく部材の深部まで剥離・損傷が及んでいる。	広範囲であっても表面の剥離・損傷が生じている。	ごく小規模の剥離・損傷が生じているか、剥離・損傷が生じていない。
	根元における天端被覆工との隙間	矢板が露出している。	隙間が生じている。	—	隙間が生じていない。
必要に応じて実施する項目	鉄筋の腐食	浮き錆が著しく、鉄筋断面積の有意な減少が全域にわたっている。	浮き錆が多く、鉄筋表面の大部分あるいは全周にわたる腐食が広範囲に認められる。	錆汁が多く、鉄筋腐食が広範囲に認められる。	一部に錆汁、点錆が見られるか、錆汁、点錆が見られない。

4.3. 変状等発生時の修繕等に関する留意点

修繕は、変状ランクや健全度評価結果に応じて行う。楕形鋼矢板壁本体については、大規模地震時に機能低下の恐れがある残留変形に対する修繕や更新の方針を決めておくことを基本とする。

「修繕」および「更新」は、維持管理マニュアルの用語の定義に従う。

・修繕

海岸保全施設の防護機能の確保のために行う工事。供用期間の中で反復的に行う軽易な工事を含む。

・更新

現在の海岸保全施設を当初(改良した施設については、改良後)の防護機能と同等のものに造り替える工事。

【解説】

大規模な地震が生じたり、台風などの異常気象が生じた後は、維持管理マニュアルにしたがって臨時点検を行う。点検の結果、天端高が不足し、施設の防護機能の低下が明確な場合や施設の防護機能に影響する変状が確認された場合に必要な修繕や更新について検討する。

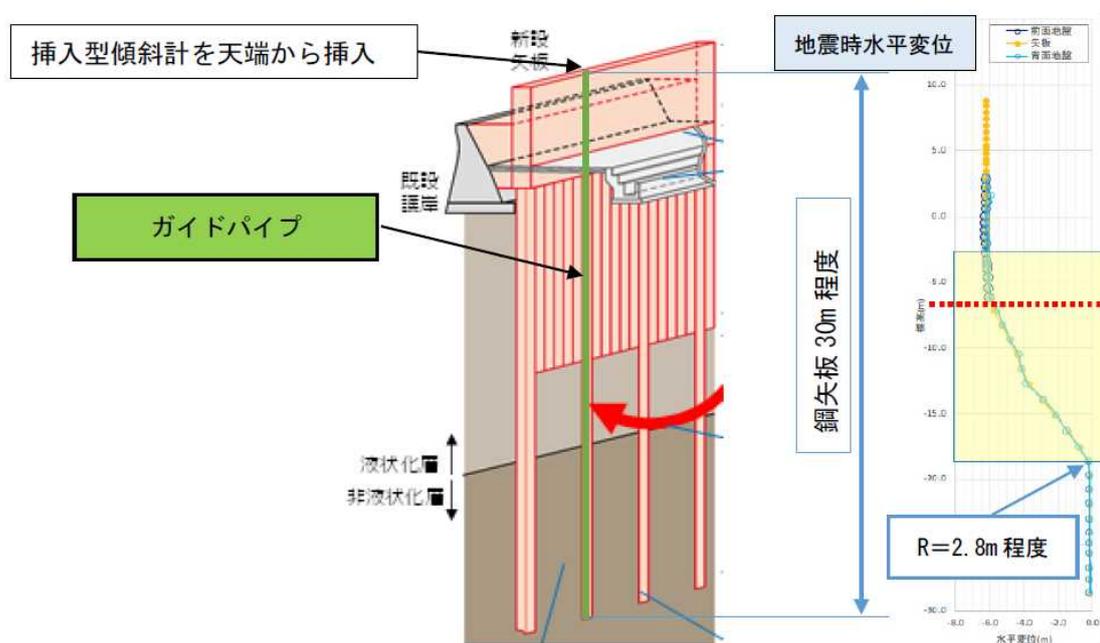
維持管理マニュアルには一般的な対策工法(修繕等)の例が記載されており、上部被覆コンクリートや天端被覆コンクリートについて適用することが可能である。

鋼矢板については、残留変形の程度に応じて残存耐力が残されていないと判断される場合には、修繕ではなく更新を検討する必要がある。そこで、鋼矢板の変形状況を適切に把握することが重要である。臨時点検において、可能であれば土中部についても残留変形を定量的に計測し、鋼矢板の残留応力や曲率を把握する。そのために、ある一定区間ごとに土中部の変形状態を把握することが望ましい。鋼矢板の変形計測方法には、多段式傾斜計の埋設や挿入式傾斜計の計測管理設がある。

【参考】

楕形鋼矢板壁の土中部の変形を把握するための挿入式傾斜計の計測管理設例を図 4-2 に示す。ガイド管を設置することにより、表 4-9 に示すような挿入型傾斜計等で計測できる。また、図 4-3 のような遠隔監視をあわせて行えば、地震発生後の変形状況等を早期に把握することが可能である。

<挿入式傾斜計ガイドパイプの設置例>



ガイドパイプ形状図 (例)

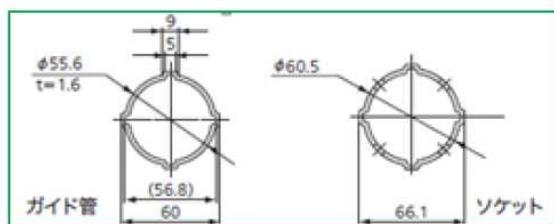


図 4-2 傾斜計挿入用のガイドパイプの例

表 4-9 長尺矢板の変形計測方法

挿入型傾斜計																																		
計測イメージ図	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>■外形寸法図</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>■設置要領図</p> <p>●ハンディデータロガー SME-30A M1 ●挿入型傾斜計BK-5G/10Gを定電流ブリッジ電源にて測定します。</p> </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">仕様等</th> <th style="width: 30%;">BK-10G</th> <th style="width: 40%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測定軸数</td> <td>2 方向</td> <td></td> </tr> <tr> <td>容量</td> <td>±10°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>非直線性</td> <td>0.5%R0 以内</td> <td></td> </tr> <tr> <td>相互干渉</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>センサ部外径</td> <td>Φ34×660mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>質量</td> <td>3.2kg</td> <td></td> </tr> <tr> <td>電源・データ転送方式</td> <td>有線方式</td> <td></td> </tr> <tr> <td>サンプリング間隔</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>測定延長</td> <td>付属ケーブル 50m</td> <td></td> </tr> <tr> <td>耐水圧性</td> <td>防水</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	仕様等	BK-10G		測定軸数	2 方向		容量	±10°		非直線性	0.5%R0 以内		相互干渉			センサ部外径	Φ34×660mm		質量	3.2kg		電源・データ転送方式	有線方式		サンプリング間隔			測定延長	付属ケーブル 50m		耐水圧性	防水	
仕様等	BK-10G																																	
測定軸数	2 方向																																	
容量	±10°																																	
非直線性	0.5%R0 以内																																	
相互干渉																																		
センサ部外径	Φ34×660mm																																	
質量	3.2kg																																	
電源・データ転送方式	有線方式																																	
サンプリング間隔																																		
測定延長	付属ケーブル 50m																																	
耐水圧性	防水																																	
計測原理・方法	<p>・挿入型傾斜計(Φ34mm、L=660mm)を専用ガイド管内(鉛直)に挿入し、孔口から一定間隔毎に管内の傾斜角を測定し、水平変位量を算出・図化表示が可能。</p> <p>・専用ガイド管には 90° 毎に溝があり、傾斜計のローラーを X または Y 方向に合わせることで、2 方向の傾斜を測る。</p> <p>*ガイド管を長期間に亘って設置する場合、アルミ製は塩害腐食の問題があるため、ABS 樹脂製を採用することも可能</p>																																	
特徴	<p>・汎用型として広く普及している。</p> <p>・専用ガイド管(アルミ製：内径Φ52.4mm)で傾斜計が通過可能な計算上曲げ半径は R>4.6m 以上</p> <p>・傾斜測定範囲は±10° まで</p>																																	

② 遠隔地からの施設点検・モニタリング

■ タブレット端末とAR技術の活用

➢ 目的

タブレット端末とAR技術を使用して、現場の作業員に対して熟練した専門職が適切な指示を行う。

➢ 期待できる効果

- ・ 熟練した専門職の知識・経験が現場の作業員に伝わることで、作業員への支援と同時に、操作の記録を同時に行うことが可能。
- ・ 熟練者からの適切な指示を得られることにより、作業時間が低減及び安全性の向上が期待される。

➢ 点検手法の概要

- ・ タブレット端末とAR技術を利用して、ユーザーに映像と音声で操作場所や操作方法をナビゲーションする。
- ・ HMD(ヘッドマウントディスプレイ)を使用し、故障や不具合の発生現場にいるユーザー目線の映像を遠隔地のPC上で共有する。

➢ 留意事項等

- ・ 指示をする専門職は、モニターを通して現場を確認するため、現地情報を正確に伝達するためにセンサー・計器等を用いて定量的に状況伝達することも有効である。

➢ 概算費用

- ・ 導入費用:500万円程度～

観測イメージ



■ センサによるモニタリング

➢ 目的

構造物に各種センサを取り付け、経年劣化等で生じる変状を定量的かつ連続的に把握する

➢ 期待できる効果

- ・ 現地作業が減少することにより点検者の安全性が向上することや、点検時の施設への利用制限の削減が期待される。
- ・ 目視では確認できない変状の把握可能となり、劣化・損傷へ早期に対応可能となること期待される。

➢ 点検手法の概要

- ・ 構造物に設置したセンサによって、鋼材の腐食や電気防食の陽極損耗等について定量的なデータを入手し、点検診断およびモニタリングを非破壊で行う。

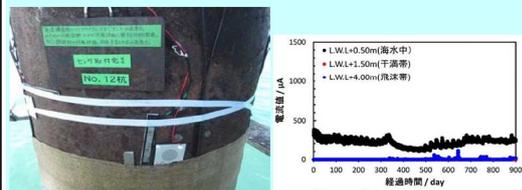
➢ 留意事項等

- ・ センサで取得したデータを遠隔で管理するためのモニタリングシステムと併用することも有効である。

➢ 概算費用

- ・ 開発者へ問い合わせ

観測イメージ



SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術「港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発」
URL: <https://www.pari.go.jp/unit/lcm/sip/>

出典：維持管理マニュアル p.参-2-25

図 4-3 遠隔地からの施設点検・モニタリングの例

参考文献

- 1) 稲富隆昌, 上部達生, 井合進, 風間基樹, 山崎浩之, 松永康男, 関口信一郎, 水野雄三, 藤本義則: 1993年北海道南西沖地震による港湾施設被害報告, 港湾空港技術研究所資料, No.791, 1994.
- 2) 安間清・津國正一: 遮水矢板の構造異方性を考慮した耐震性能に関する研究, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.326-335, 2007.6.
- 3) 小泉勝彦, 平井俊之, 村上巧一, 菅野高弘, 森川嘉之, 二宮裕介, 山中稔: 長短の鋼矢板を組み合わせた矢板壁の遠心模型実験と発生モーメントの解析, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.72, No.1, pp.1-20, 2016.
- 4) 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼矢板 Q&A, 2017.3.
- 5) 高橋重雄, 遠藤仁彦, 室善一朗: 混成防波堤上の越波水の運動と波力に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, Vol.31., No.1, 1992.
- 6) 鈴木高二郎, 久保田博貴・鶴田修己: パラペット後退型護岸に働く波圧に関する検討, 港湾空港技術研究所報告, 60-1-5, 2021.

【参考資料】

- ・大村厚夫, 浜口正志, 上谷修, 萩定治, 上田倫大, 横山直弥, 大崎晴之: 現地載荷試験によるハット形鋼矢板の基準支持力に関する考察, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.75, No.2, pp. I_438- I_443, 2019.
- ・中澤博志, 菅野高弘, 吉田誠: 鋼矢板を用いた海岸堤防の液状化・津波対策に関する模型振動台実験, 構造工学論文集, Vol.57A, PP.367-377, 2011.
- ・村上巧一, 平井俊之, 坪井英夫, 小泉勝彦, 二宮裕介, 井合進, 菅野高弘, 森川嘉之, 一井康二: 楕形鋼矢板工法の模型振動実験に対する再現解析, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, I-562, pp.1123-1124, 2012.
- ・平間仁, 石田毅史, 福島純平: 大分港海岸における楕形鋼矢板工法の導入についてー液状化を許容した新形式護岸の設計ー, 平成 30 年度九州国土交通研究会, 2018.
- ・バイプロハンマ工法標準積算要領 (バイプロハンマ単独工法、ウォータージェット併用工法)、令和 3 年度版、バイプロハンマ工法技術研究会.
- ・SMP 工法 鋼矢板圧入引抜標準積算資料、2021 年度版、一般社団法人全国圧入協会.
- ・CRB システムノンステーキング工法 鋼矢板圧入標準積算資料、2021 年度版、一般社団法人全国圧入協会.
- ・鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル (案) (第 3 版)、平成 26 年 3 月、公益財団法人鉄道総合技術研究所
附属資料 1.2 バイプロハンマ単独で打設した場合の基準支持力及び地盤抵抗係数の評価
附属資料 1.3 ウォータージェット併用で打設した場合の基準支持力及び地盤抵抗係数の評価.
- ・鋼矢板を用いた既設鉄道構造物基礎の耐震補強工法 (シートパイル補強工法) 設計・施工マニュアル (案)、平成 28 年 11 月、公益財団法人鉄道総合技術研究所、p230 4. 施工、4.3 ウォータージェット併用時の留意点.
- ・港湾工事共通仕様書、国土交通省港湾局、令和 3 年 3 月.
- ・港湾設計・測量・調査等業務共通仕様書、国土交通省港湾局、令和 2 年 3 月.
- ・土木工事共通仕様書、国土交通省.
- ・土木工事施工管理基準、国土交通省.