

# 世代交代を迎える岸壁の老朽化対策事業への新たなスタンダード

## -控えアンカー鋼管矢板構造の適用性と標準設計への課題-

室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所 第一工務課 ○吉井 拓也  
大沢 佳宏  
北日本港湾コンサルタント株式会社 木村 続久

室蘭港築地地区西ふ頭は、港奥に位置し静穏が確保されており、荷役作業とともに休憩のニーズが高い岸壁で利用の頻度が高い。その中で西3号ふ頭は昭和38年に建設を開始した施設で既設構造の老朽化が進み抜本的な改良が必要であるが、本埠頭と西2号の2つの突堤式ふ頭に挟まれた凹状の施設形状のため岸壁前面水域が狭く、岸壁直背後に上屋があるなど改良工事における制約が多い。これらの条件から標準的なケーソン式、控え矢板式などの構造が適用できないため、本州等で災害復旧や改良事業で実績がある控えアンカー鋼管矢板構造を採用した。本報告では、この構造の選定および設計過程、今後の老朽化対策事業への適用やその課題などについて述べる。

キーワード：計画・設計、リニューアル、エコ、スタンダード

### 1. はじめに

室蘭港築地地区西ふ頭では、建設から40年以上が経過し、多くの岸壁で老朽化が進展し、狭隘なエプロンに対し利用者から改良の要望も強く、平成13年度より、西2号ふ頭から順次改良を行ってきた。本報告で紹介する設計事例は、平成23年度より現地着手を予定している西3号ふ頭の岸壁(-9.0m)(西側)の改良に関するものである。

本岸壁の位置は図-1に示す通り、平成22年度に改良工事が完了する西2号ふ頭の岸壁に対面した箇所である。西3号ふ頭の主要な取扱貨物は化学肥料、金属くず、鋼材等から成り、取扱量は約87千t(平成21年)である。また休憩船の利用も多く、係留頻度は高い。

一方で本岸壁では老朽化が進行し、エプロンに大きな段差や凹凸が生じるなど、通常の維持補修で対応できない状況が生じている。矢板本体部の腐食が進行していることから地震時等の倒壊も懸念され、その場合には本施設のみならず周辺施設及び対面する改良岸壁にも施設利用に大きな支障を与える可能性がある。これらの状況から岸壁の抜本的な改良工事を実施するに至った。

また本施設は西2号ふ頭に対面しており、前面の水域が狭隘であるため、岸壁の利用者からは、改良による前出しは極力抑制してほしい旨、強い要望を頂いている。さらに岸壁直背後には上屋が存在し、多くの利用がなされているため、工事期間中も移設や撤去などはできず、存置のまま施工する必要がある。



図-1 設計対象施設の位置図

本設計では、前述の諸条件をクリアするための改良断面として、北海道地域の岸壁では初めて適用となる、控えアンカーによる鋼管矢板式の構造を採用した。本報告ではこの構造の選定、設計の概要と今後の老朽化対策事業への適用性、標準設計への課題などについて述べる。

### 2. 設計の基礎条件

#### (1) 既設構造の老朽化状況

施設の現状の写真を図-2に示す。現況の岸壁法線は、昭和61年度の現況測量時と比較して、岸壁全体で陸側へ移動している傾向にあり、最大で24.2cmの移動が確認された。現況の岸壁およびエプロンの高さについては、計画高さとの差から、全体的に20cm程度の沈下が確認され、エプロンの逆勾配および段差も散在している。岸



図-2 設計対象施設の現況

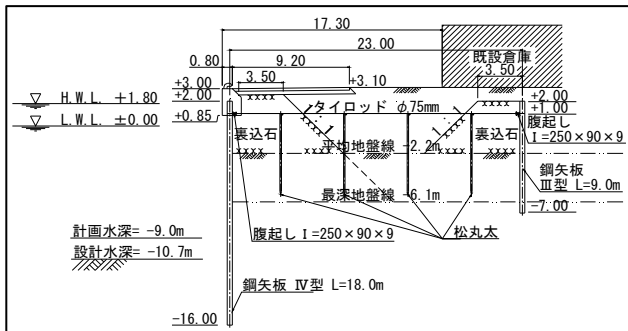


図-3 既設構造の断面図

壁本体の矢板は、干潮面付近と海底面付近に腐食が集中しており、全体的に腐食し(15mm)を超過する腐食が生じている。

また、既設の本体構造(図-3)については、腐食状況を加味した現行基準による耐力照査を実施した。この結果、矢板の応力と根入れ深度の点で、永続状態、変動状態(L1地震動)ともに不安定となったため、施設の老朽化度及び耐力照査結果より断面改良が必要であると判断した。

## (2) 設計条件

本施設の設計における主要諸元を表-1に示す。設計水深は前面の地質調査により確認した腐泥層下面の標高とし、天端高は原計画の天端高と同一とした。現況のエプロン幅は10mであるが、利用者の要望及び現行の設計基準に配慮し新規のエプロン幅は20.0mと決定した。

地質想定断面図を図-4に示す。埋土は砂礫主体の層と粘性土質の層から成り、岸壁先端部では砂礫の埋土層が厚い。原地盤は、埋土直下が厚さ3m程度の細粒砂層であり、液状化の判定ではこの層の岸壁先端部が液状化する結果となった。それ以深で火山灰が主体の砂質層が現れ、-15m以下では概ねN値が30を超える。-30m付近からは砂層を挟みながら粘性土層が現れ、岸壁先端部にかけて粘性土層の厚さが大きくなり、先端部では厚さが20m程度に達する。その下の凝灰岩から成る基盤層も、同様に先端にかけて深くなる向きに傾斜している。

表-1 岸壁の主要諸元

計画水深	-9.0m
設計水深	-10.70m ~ -11.40m
延長	195.0m (標準部:160.0m)
天端高	+3.00m
エプロン幅	20.0m
対象船舶	10,000DWT 一般貨物船
潮位	HWL +1.80m / LWL 0.00m
照査用震度	0.17 ~ 0.18

## (3) 制約条件

前述の通り本岸壁は、西2号ふ頭の改良岸壁に対面し岸壁間の距離は約150mしかない。そこで、現在、大型船の入港時ではふ頭外側の水域で回頭し、タグボートを利用した係留が行われており、ふ頭間の水域が狭隘で余裕がない状況である。このため、利用者より本岸壁の改良において、前出しは極力抑制して欲しいという強い要

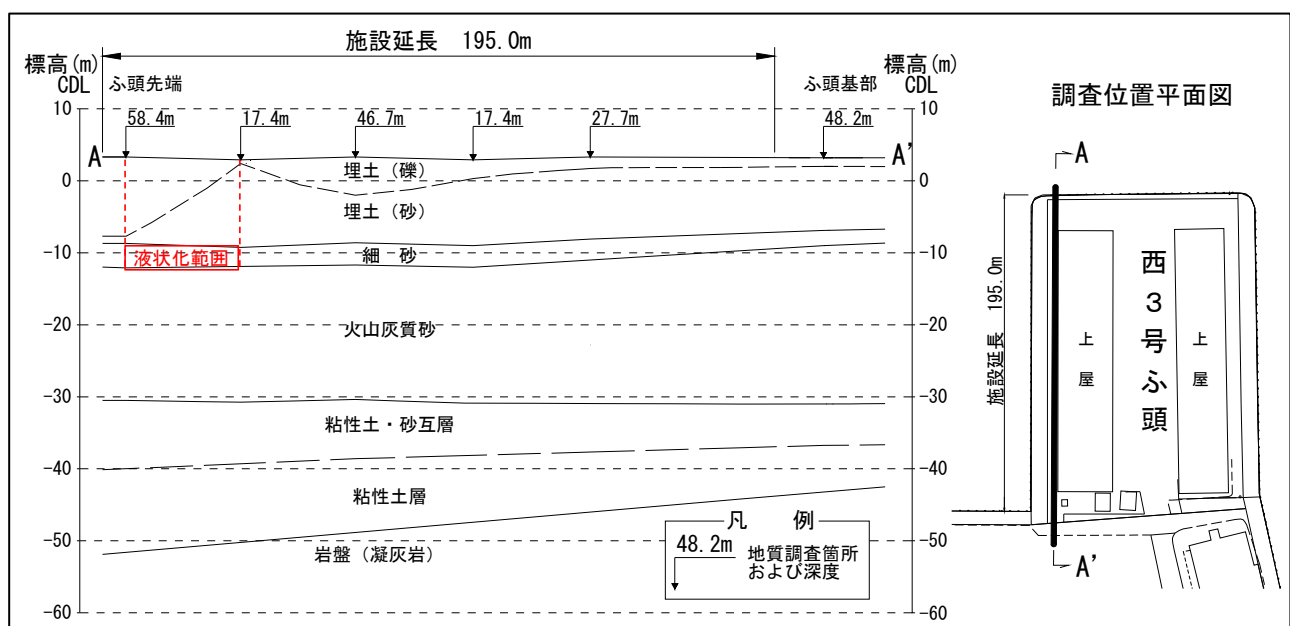


図-4 設計対象施設における地質想定断面

望を頂いており、改良に伴う前出し幅はこれを考慮し最小限とする必要がある。

また本岸壁の背後には上屋が存在し、西3号ふ頭で取り扱われる化学肥料やその原料の保管場所として多くの利用がなされている。岸壁法線から上屋の前面までは20mしかなく、控え構造を本体背後土砂の主働崩壊面を

かわして設置する余裕は無い状況である。しかし本岸壁で取り扱われる化学肥料等は背後に上屋を必要とし、またふ頭全体で取扱貨物に応じて複数の上屋を利用していることから、上屋を存置しての施工が必要である。

これら多くの制約条件のもと、本体の控え構造および本体背後の地盤改良の工法に関して自由度が限られる中で構造検討を実施した。

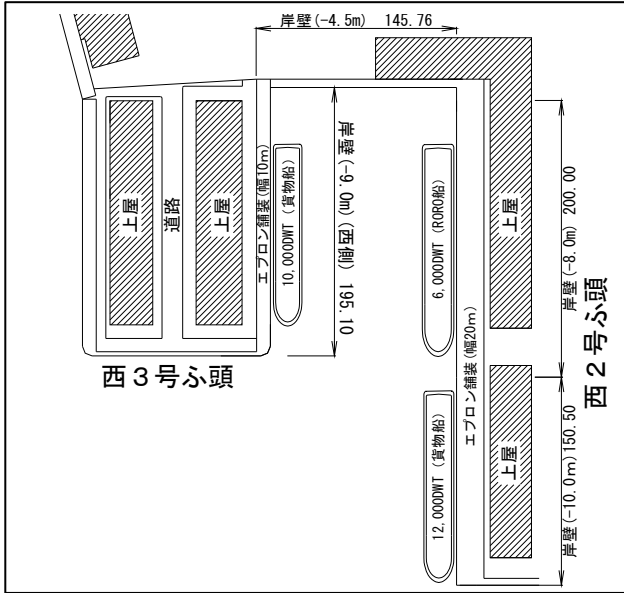


図-5 現況平面概略図

### 3. 改良断面の比較と選定

#### (1) 工法の比較選定

前述のような制約条件のもとで設計・施工が可能と考えられる構造形式の抽出・比較を行った。抽出した構造形式を整理した結果を表-2に示す。

既設の本体構造を利用する場合 (A 案)、既設矢板の耐力確保のため土圧を低減する必要があるが、既設の裏込石層があるため地盤改良工法は限られた工法となる。事前混合処理、高圧噴射攪拌工などが施工可能であるが、事前混合処理では大規模な仮設土留矢板が必要なため高額となり、高圧噴射攪拌工による広範囲の地盤改良でも高額となる上、土留め壁を兼ねる控え矢板に先行掘削を要し、直背後に上屋が存在するため困難な施工となる。

また、新設の矢板構造とした場合、通常のタイロッド

表-2 構造形式の比較

構造形式案	A案：既設構造利用	B案：控え直杭鋼管矢板構造
構造図		
経済性(工費比率)	× (2.0)	× (1.8)
施工性	× (多くの仮設が必要)	× (大口径オールケーシングが必要)
周辺・環境影響	× (掘削及び杭打ち、矢板の変形に伴う既設倉庫等への影響の可能性)	× (杭打ちによる既設倉庫等への影響の可能性)
採否	× <不採用>	× <不採用>
構造形式案	C案：控えアンカー鋼管矢板構造	D案：水中ストラット式棧橋構造
構造図		
経済性(工費比率)	○ (1.0)	× (2.3)
施工性	△ (削孔のための仮設棧橋またはスパッド台船が必要)	× (オールケーシング・土砂処分等も必要)
周辺・環境影響	○	× (掘削及び杭打ちによる既設倉庫等への影響の可能性)
採否	○ <採用>	× <不採用>

による控え構造（B案）では、岸壁法線と背後上屋との距離が小さく控え杭までの距離が十分にとれず、控え杭が主働崩壊面に入るため、大口径の鋼管杭が必要となる。このため控え杭の施工前に既設のタイ材を撤去しなければならないため、先に既設前面矢板を支える仮設の斜杭を打設する必要がある、さらに前面矢板に大口径の鋼管を用いた場合、前出し幅を最小限とすることができない。それを回避するには本体矢板及び控え杭周辺の地盤改良による土圧低減及び控え杭の横抵抗増大等により対処する方法が考えられるが、これらの工法は高額である上に、背後に上屋があるため施工可能な断面が成立しない。

一方、矢板の控え構造をアンカーとする控えアンカー鋼管矢板構造（C案）では、アンカーの施工に背後上屋が支障とならず、-15m程度の砂質土層が定着層となり、大深度とならずに定着ができるために、制約条件を満たした上で経済性・施工性も他の工法に比較して優れると判断された。本工法が、（財）沿岸技術研究センターの評価証を受け、防食性能も確認されていることから、控えアンカー鋼管矢板構造を採用することとした。

その他、栈橋式（D案）および重力式では既設構造が矢板式であり前出しが制限されるために多量の掘削が必要となる他、仮設土留めを自立させる必要があるため大規模の鋼管矢板となる。二重矢板式でも大規模な仮設や陸側矢板打設時にオールケーシングによる補助工法を要することから工費の面で劣る。

また、液状化対策が必要な岸壁先端側の区間でも、控えアンカー式鋼管矢板構造であれば、上屋の下でも施工可能な液状化対策工法を選定すれば制約条件をクリアでき、経済性および施工性の両面で優れていると判断された。このため、本構造形式を各断面で採用するに至った。

## (2) 控えアンカー式鋼管矢板構造の施工事例

本設計で採用した控えアンカー式鋼管矢板構造に用いるグラウンドアンカーによる控え工法は、平成21年に（財）沿岸技術研究センターによる技術評価を受けている。この工法は主として岸壁の耐震補強の工法として開発された経緯があり、既設岸壁の耐震化に用いられるケースが多かった。

表-3に、通常の岸壁改良も含めて控えアンカー構造

表-3 控えアンカー構造の施工実績

(メーカーより聞き取り)

構造形式	件数	うち直轄	
		うち直轄	うち補助
鋼管矢板式構造	24	1	23
鋼矢板式構造	47	2	32
重力式構造	13	1	12
その他	1		1
不明	131	8	111

構造形式は聞き取りにおける判明分のみを記載し、未判明分は不明と表記した。

で岸壁および護岸が施工された実績を示すとおり、鋼管矢板構造での施工が確認されたのは24件である。ただし、北海道内の港湾施設では、本構造による施工実績はなく、実績は関東から西日本を中心に見られる。そのため、本構造の採用は北海道内の港湾施設では最初の例である。

## 4. 設計の考え方

### (1) 矢板の設計計算

本体鋼管矢板については、標準の控え矢板式の部分係数を用いた設計計算により根入長の算出と矢板に生じる応力の照査を行った。根入長はフリーアースサポート法とロウの方法により求めたもののうち、大きくなる方を採用した。

上記の矢板の設計計算により、控え工（タイロッド）の必要水平力が算出されるが、本構造は控えアンカー式であるため、アンカーの張力を、アンカー傾角を考慮し上記の水平力を確保するように設定している。また、アンカー張力の導入により矢板には軸力が作用し、式-1・2のような関係式となる。

$$T_b = P / \cos \alpha \quad \dots (式-1)$$

$$R = T_b \cdot \sin \alpha \quad \dots (式-2)$$

T<sub>b</sub> : アンカー張力 (kN)

P : 控え矢板計算により

算出した水平力 (タイロッド張力) (kN)

α : アンカー傾角 (°)

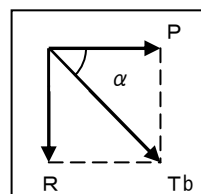


図-6 アンカー張力の関係図

R : 鋼管矢板に作用する軸力 (kN)

このため矢板の支持力の照査を実施しており、矢板の根入部分での周面摩擦抵抗と底面支持力により軸力に抵抗できることを確認している。

### (2) アンカーの設計計算

アンカーの傾角は、大きいほど短い削孔長・アンカー長で定着層に達するが、式-1よりアンカーの必要耐力が大きくなる。逆にアンカー傾角を小さくすれば削孔径およびアンカー長が大きくなる。グラウンドアンカー設計・施工基準では傾角45度以下が標準とされているため、傾角45度と30度の場合の経済比較を行い、安価となった45度を基本とした。

この傾角で設定された張力に対して、所要の安全率が

得られるようにアンカー規格を選定した。また、その規格に適合する削孔径で、張力に対して所要の安全率が得られるアンカー定着長を算出した。

このとき、アンカーの設置間隔についても検討を行い、アンカー設置を鋼管矢板2本につき1本とする場合と、鋼管矢板1本につき1本とする場合を考慮した。設計水深が大きい先端側の区間においては、鋼管矢板2本につき1本とした場合、火山灰層では定着が不足し、深度50m以深の岩盤で定着する必要が生じるため、鋼管矢板1本ごとにアンカーを設置するのが妥当となった。それ以外の区間についてアンカー設置間隔の経済比較をした結果でも、アンカーの規格が小さくなる鋼管矢板1本につきアンカー1本のケースの方が安価となった。このため、全区間でアンカーは鋼管矢板1本ごとに設置することとした。

鋼管矢板1本ごとにアンカーを配置した場合、全てのアンカーで傾角を同一とすると、定着部どうしが近接し、グループ効果により期待する摩擦抵抗が低減する影響が懸念された。そのため、傾角は基本の45度と40度の交

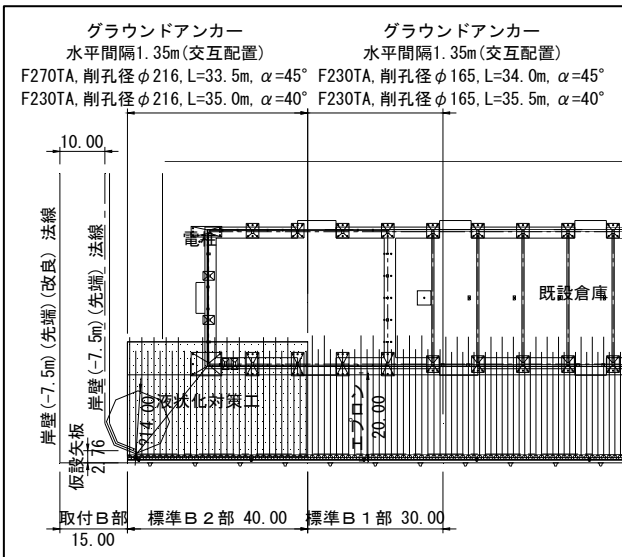


図-7 採用構造の平面図 (アンカー配置)

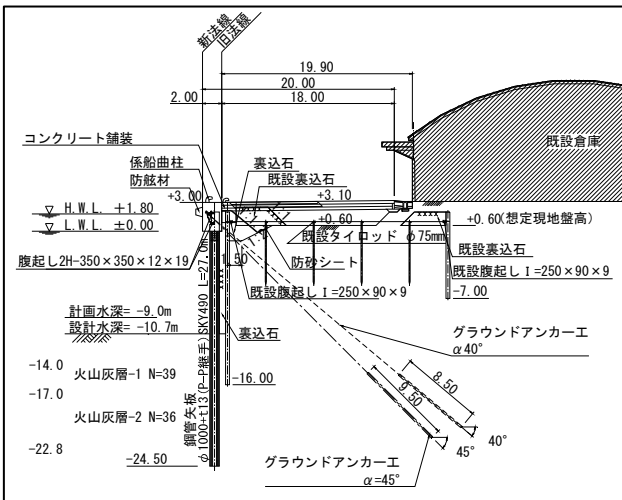


図-8 採用構造の断面図

互配置として定着部の間隔を 1.5m 以上確保した (図-7, 8 参照)。

また、アンカーの設置高さによって上部工の高さが決定される。アンカー設置高さが高い場合、潮位との関係で上部工の施工性は改善するが、矢板に生じる応力および控え工の必要張力が大きくなる。施工性を保ちながらアンカー張力を可能な限り小さくするアンカー設置高さとして、上部工の下天端が L.W.L.(+0.0m)付近となるように設定した。

(3) 液状化対策工の検討

液状化対策工法の検討では、①岸壁背後上屋の下部に対しても実施する必要があるため、上屋内でも施工可能な工法、②液状化層が細粒分を多く含むため、この土性に適用可能な工法、③液状化層は9mから12mと比較的深い箇所にあるため、この深度で適用可能な工法、④既設上屋及び既設矢板構造へ地盤変位・振動による影響のない工法、というこれらの条件を満たすものとして、経済性・施工性を考慮してコンパクショングラウチングを採用した。(表-4 参照)

液状化改良の範囲については、エプロン端部までを防護する観点から、エプロン端の位置に基づき設定した。なお液状化層の下約 2m からアンカーの定着層となるため、上記改良範囲が、アンカー定着部の上をカバーしていることを確認している。

表-4 液状化対策工法の比較表

改良原理	工法名	現地盤への適用性	経済性	施工性	周辺構造への影響	総合評価
密度増大	コンパクショングラウチング工法	○	△	○	○	◎
	砂圧入式静的締固め工法	○	○	○	×	×
	振動棒工法	○	○	○	×	×
	パイロッドランバー工法	×1・2	○	○	×	×
置換	置換工法	○	×	×	△	×
	プレロード	○	○	×	×	×
固結	深層混合処理工法：機械攪拌	×3	○	○	×	×
	深層混合処理工法：高圧噴射	○	×	△	○	×
	浸透固化工法	×1・3	○	○	×	×
間隙水圧消散	グラベルドレーン工法	×1	○	○	○	×
	人工材料のドレーン工法	×1	○	○	○	×

※ 現地盤への適用性の×1の理由：細粒分が多いため、適用不可  
 ※ 現地盤への適用性の×2の理由：深い液状化土層に適用不可  
 ※ 現地盤への適用性の×3の理由：既設裏込石に適用不可

5. 本工法の適用性

室蘭港築地地区の岸壁のように、高度成長期に施工された同様の控え矢板構造形式等の岸壁は道内はもとより全国的にも数多い。これらは今後、一斉に耐用期間を迎え、老朽化対策が必要となる。これらの岸壁の改良を実施するにあたり、本工法は以下のように適用性に優れていると考える。

① 制約条件の多い岸壁改良への適用

本報告での構造の選定過程により明らかのように、設計・施工上の制約条件を持つ岸壁の改良に対して、控えアンカー鋼管矢板構造は非常に有効である。実際に過去に同工法で設計・施工された施設でも、櫛形ふ頭の岸壁であり、直背後に上屋等の構造物があるなど本施設と条

件が共通する事例が多い。

## ②連続バース内の改良への適用性

本工法は、基本的に既設構造に対して大規模な掘削を要せず、また施工端部は本体矢板と既設法線の間を仮設土留めにより比較的簡易に処理することができる。このため、連続バース内の改良にも適用性が高く、隣接バースを上部工拡幅等で擦り付けることが可能であり、この点でも岸壁改良に対して有効といえる。

## ③漁港施設への適用性

また北海道では、漁港施設についても直轄整備が行われている。それらの岸壁等では水深が比較的小さい施設が多い。水深が小さい場合、通常の控え直杭式岸壁と比較した際、控え構造部分のアンカー式の経済的優位性が高まり、本構造の適用が有用となると考えられる。特に、アンカーの定着が比較的浅い位置で取れる場合には、さらに経済的優位性及び施工性が高まり、より適した構造となる。

以上のように、控えアンカー鋼管矢板構造は、多くの岸壁の改良に対して適用性が高く、今後の岸壁老朽化対策事業のスタンダードの一つとなり得る形式である。

## 6. 標準設計への課題

現在、控えアンカー構造の矢板式係船岸は技術上の基準の標準的な構造形式としての設定がない。このため、本設計においては矢板の根入長は通常の控え矢板式岸壁の部分係数を用いて算定し、控え工であるアンカーの設計は許容応力度法に基づいて行っている（図-9参照）が、本構造形式が設計段階で一般的な選択肢となるため

にも、本構造形式に対する信頼性設計が標準化されることが重要である。以下にこれに向けての課題を述べる。

## ①部分係数の整備・信頼性設計への対応

具体的には、標準の控え矢板構造に、控えアンカーに対する各種部分係数が設定されることが今後必要である。矢板本体の構造に関しても、アンカーによる控えであるために支持力の照査が必要であり、信頼性設計法への対応が望ましい。

## ②アンカーに関する標準設計法の確立

部材としてのアンカーについては、鋼線や腹起しにおける力学的な規定のほか、防食についての性能規定も必要となる。本設計では新技術に登録されている防食性能を備えた特定のアンカーを用いているが、港湾施設の高腐食環境下で必要となる具体的な防食機能が設定される必要がある。

## ③データの蓄積

特にアンカーの定着に関しては、土質ごとにデータの集積が必要であり、本施設では火山灰質砂層という特殊な土層におけるサンプルとなるため、施工時には基本試験の実施等によりデータ取得を行うことが重要である。より一般的には、本構造形式が採用された施設で供用時や被災時のデータが集積されることが必要である。

本構造形式が標準化され、構造形式に合った合理的な部分係数を設定することが可能となることにより、それぞれの現場の条件に応じてより安全かつ経済的な設計が実現することが期待される。

## 7. まとめ

本報告で採用した控えアンカー鋼管矢板構造は既設構造に対する処理も少なく、総合的に施工手間が小さい構造といえる。このことは省力化が進んだ構造であるともいえ、経済的であるとともに天然材料や化石燃料の使用も抑制され、環境負荷も小さくなる。

このように、標準化された施工方法ではないが新たな技術を活用することにより、総合的な費用を抑制した上で利用価値の高い公共施設に改良することが可能となった。既設の岸壁が耐用年数を迎えていく中で、本構造の採用により、先人が築いた係留施設の世代交代がより効果的に行われることを期待するものである。

## 参考文献

- 1) 室蘭市港湾部：平成21年 室蘭港統計年報
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説
- 3) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説
- 4) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック
- 5) 沿岸技術研究センター：港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書 第08003号 岸壁・護岸耐震補強アンカー工法（摩擦圧縮型・ナット定着グラウンドアンカーを用いた岸壁・護岸の耐震補強工法

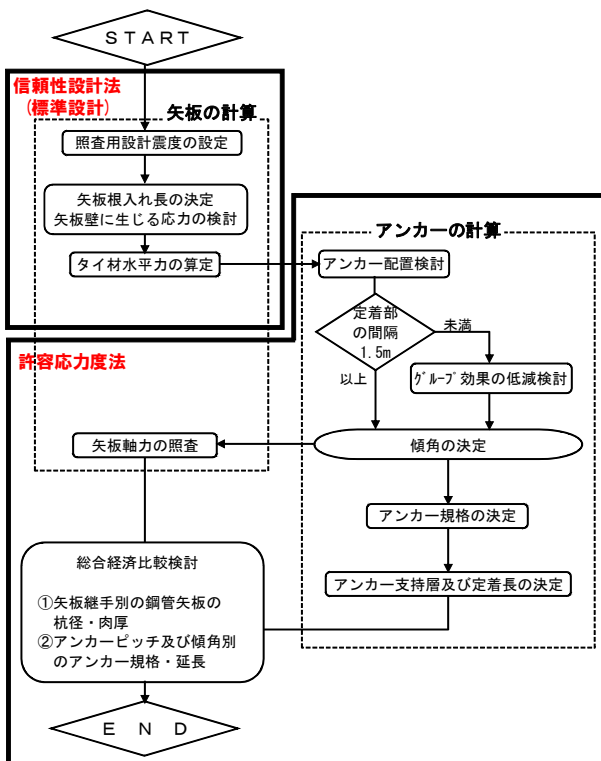


図-9 設計フロー図