

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1375 Sep 2020

効率的な矢板式係船岸の改良設計手法の提案

中村 駿太、水谷 崇亮、松村 聡、鍵本 慎太郎

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 既往の研究	4
2.1 矢板式係船岸の改良設計	4
2.2 既存部材の残存耐力評価	7
2.3 矢板式係船岸の維持管理（点検）	7
3. 矢板式係船岸の試改良設計の検討	8
3.1 本章の検討方針	8
3.2 矢板式係船岸の現行の設計方法	8
3.3 矢板式係船岸の試改良設計	9
4. 改良設計の検討フローの提案	15
4.1 本章の概要	15
4.2 改良設計の検討フローの解説	15
5. 構造物全体を連成させた解析モデルの検討	24
5.1 本章の概要	24
5.2 検討条件の設定	24
5.3 解析手法の相違	24
5.4 骨組モデルの改良	28
5.5 提案モデルによる改良断面の性能照査	38
6. 施工手順を考慮した検討	40
6.1 本章の概要	40
6.2 埋立の段階を考慮した検討	40
6.3 タイ材の取付順序を考慮した検討	43
7. おわりに	44
参考文献	45
付録	46

Suggestion of Design Method for Upgrading Sheet Pile Quay Wall

Shunta NAKAMURA*

Takaaki MIZUTANI**

Satoshi MATSUMURA***

Shintaro KAGIMOTO****

Synopsis

In recent years, the number of existing mooring facilities has been upgraded to deepen the water depth to receive more and more enlarged vessels, to improve the seismic performance, or to deal with the deterioration etc. In general, the upgraded structures tend to be often complex because of severe conditions required on design and construction for upgrading. However, there are few common design methods or concepts that should be followed and therefore, it is not easy for designers to select the most appropriate design method for upgrading and structure type from a variety of choices. Furthermore, in the case of sheet pile quay wall, which consists of multiple connected components such as sheet piles, tie-rods and anchors, an interactive behavior of newly installed components for upgrading as well as their existing components must be taken into account.

In this study, a trial design for upgrading the sheet pile quay wall was carried out on the basis of a design concept for upgrading proposed for designers to select as an appropriate design method and structure type as possible (Tabata et al. 2017; 2018a; 2018b). Also, based on the results, a design flow for upgrading improved especially for the sheet pile quay wall was proposed.

On the other hand, the important issue is that the current design method, which separately calculates the displacements of multiple connected components, cannot quantitatively evaluate the interactive behavior of them. Therefore, a frame analysis, in which an entire behavior of the components can be simultaneously calculated so that displacements can completely agree at each connecting point, was applied. The applicability of the frame analysis was confirmed for the behavior of the dual anchored sheet pile quay wall as an example. Also, the frame analysis was applied in order to simulate a step-by-step construction procedure of a typical sheet pile quay wall.

Key Words: design method for upgrading, sheet pile quay wall, frame analysis,
construction procedure

* Researcher, Foundations Group, Geotechnical Engineering Department
** Head of Foundations Group, Geotechnical Engineering Department
*** Senior Researcher, Foundations Group, Geotechnical Engineering Department
**** Chugoku Regional Development Bureau
(Formerly Member, Foundations Group, Geotechnical Engineering Department)
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5057 Fax : +81-46-844-0618 e-mail: nakamura-s87g6@p.mpat.go.jp

効率的な矢板式係船岸の改良設計手法の提案

中村 駿太*・水谷 崇亮**・松村 聡***・鍵本 慎太郎****

要 旨

近年、船舶の大型化に対応した増深、耐震性能の向上、老朽化への対策など、既存係留施設の改良工事が必要な事例が増加しており、今後はさらに改良工事が増えることが予想されている。改良設計は新規設計より設計や施工の条件が厳しく、構造物が複雑であることが多い。しかし、改良工法の選定方法や設計方法について基準となるものがほとんどなく、個々の設計条件ごとに設計者が手探りで工法選定、設計を行っている。そのため、工法選定時に最も適切な改良工法が見落され、効率的な設計になっていない可能性がある。また、矢板式係船岸は前面矢板、タイ材、控え工など構成する部材が多く、部材同士の相互作用を考慮しなければならないが、改良設計では新規部材が設置されることになるため、構造物全体の挙動はより複雑なものになる。

そこで、本研究では、設計者が共通の目線で工法の選定ができるように、田端ら（2017, 2018a, 2018b）が提案している改良設計の考え方に沿って矢板式係船岸の試改良設計を行い、課題の整理を行ったうえで、矢板式係船岸の改良設計フローの試案を提案した。

課題の整理の結果、現行の設計法では部材接続部の変位が算出できないため、構造物全体の挙動の検討ができないという課題が主なものとして挙げられた。そこで、部材接続部の変位が考慮できるような、各部材を連成させた骨組モデルの検討を行った。そして、二段タイ材工法を例に骨組モデルの解析を行い、骨組モデルの適用性を確認した。また、これを応用して施工過程を考慮できるような骨組解析モデルの検討も行った。

キーワード：改良設計、矢板式係船岸、骨組解析、施工過程

* 地盤研究領域 基礎工研究グループ研究員
** 地盤研究領域 基礎工研究グループ長
*** 地盤研究領域 基礎工研究グループ主任研究官
**** 地盤研究領域 基礎工研究グループ元研究員（現 中国地方整備局）
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5057 Fax：046-844-0618 e-mail:nakamura-s87g6@p.mpat.go.jp

1. はじめに

改良設計は既存構造物の残存耐力や既存構造物と新設構造物の相互作用などを考慮しなければならず、新規設計に比べ複雑な断面となる傾向にある。また、設計・施工上の大きな制約を受けることが多く、現行の設計法を準用すると経済的な改良断面が成立しなくなる可能性が高い。さらに、改良工法の選定方法や設計方法について基準となるものがほとんどなく、個々の設計条件ごとに設計者が手探りで工法選定、設計を行っている。しかしながら、設計の業務には時間的な制約もあることから、工法選定時に各改良工法について十分な検討が行われず、採用実績の多い改良工法が安易に選定され、最も適切な改良工法が見落されている可能性がある。設計の初期の段階で適切な改良工法を選定しておかなければ、経済的な構造断面を得られないだけでなく、設計業務の中で大幅な手戻りが生じる恐れもある。

高野ら(2017)、田端ら(2017)は、既存の改良設計の事例整理を行い、改良設計の際に設計者が共通して認識しておくべき事項、改良設計の考え方を示している。また、田端ら(2018a, 2018b)は提案した改良設計の考え方に基づき、重力式係船岸について改良設計の試検討を行い、課題を整理したうえで、改良設計フローを提案している。本稿はこれらを参考にしつつ、矢板式係船岸の改良設計の考え方を検討するものである。

矢板式係船岸はタイ材、控え工など既存部材の一部が土中部にあり、残存耐力の評価が難しい。また、外力に対して前面矢板、タイ材、控え工などの各部材が相互に作用しあうため、既存構造物と新設構造物の接合部の取扱いに特に注意が必要である。港湾の施設の技術上の基準・同解説(以下、港湾基準という。)では、矢板式係船岸の永続状態と変動状態の照査をする場合には、前面矢板、タイ材、控え工などの構成部材をそれぞれ個別に性能照査することとなっている(偶発状態の照査では数値解析を行うため考え方が大きく異なる)。永続状態と変動状態の照査について、各部材間では荷重が受け渡されるが、各部材の接続部で発生する変位が各部材間で一致しているとは限らない。このことは、計算された各部材の変位や応力が、実際の岸壁の挙動とは異なる可能性があることを示唆している。実際の岸壁に近い挙動を把握するには、構造物全体の変位、変形を考慮することが必要となる。

本研究では、田端ら(2017, 2018a, 2018b)が提案している改良設計の考え方に沿って矢板式係船岸の試改良設計を行い、課題の抽出を行う。そして、抽出した課題を

考慮したうえで、矢板式係船岸の改良設計フローを提案する。そして、現行の設計法では考慮できない部材接続部の変位を考慮できるように、各部材を連成させた骨組解析モデルの検討を行う。また、骨組解析モデルを応用し施工過程の影響を考慮できないか検討を行った。

2. 既往の研究

2.1 矢板式係船岸の改良設計

田端ら(2017)は各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局や全国の港湾管理者から矢板式係船岸の改良設計事例を38事例収集し、改良工法という観点で整理している。整理された工法は、最終的に採用された工法だけでなく、工法選定時(1次選定や2次選定)に候補として挙げられた工法も対象としている。工法選定時の候補には実績のある改良工法が挙げられることが多く、実績のない新しい工法や研究開発段階の工法が漏れてしまう可能性があることから文献調査も行っている。改良工法を整理した結果、26工法が挙げられている。ただし、これには設計法や施工方法が十分に確立されていない工法も含まれている。本研究を実施するにあたり、追加で文献調査を行ったところ、新たにS27~S29の3工法を見つけることができた。各工法にS-1~S-29までの整理番号割り振り、工法の概要を記載したものを表-2.1に示す。

また、田端らは、各工法を既存構造物の安定性を向上させる原理(以下、「安定性向上メカニズム」という。)に着目して、「①主働土圧の低減」、「②受働土圧の増加」、「③矢板支持による発生断面力の低減」、「④矢板補強による耐力の増加」、「⑤新設構造物による荷重の負担」、「⑥既存構造物の用途の変更」に整理している。これにさらに、本研究で追加した工法についても安定性向上メカニズムを検討した結果、新たに「⑦控え杭補強による耐力の増加」を加えることとした。ここで、①は荷重側に影響する因子の効果を低減するもの、②~④及び⑦は抵抗側に影響する因子の効果の増加や追加をするもの、⑤は既存の矢板式係船岸の前面又は背面に構造物を追加するもの、⑥は既存の矢板式係船岸前面に構造物を追加し、既存構造物は護岸へと用途が変更されるものである。安定性向上メカニズムに着目して整理された各工法の概略図を表-2.2に示す。

さらに、田端らは、整理した工法に共通する課題を抽出し、「構造形式の複合した構造系の挙動に関する課題」、「剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題」、「新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題」、「構

造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題」,
「構造ユニットの並列配置に関する課題」,
「構造ユニットの直列配置に関する課題」,
「構造ユニットの近接配置に関する課題」,
「残置物の影響に関する課題」の8つの課題(以下、「一般化された課題」という。)に整理している。それぞれの課題の概要, 課題の対象となり得る代表工法例を表-2.3に示す。

ここでは, 既存構造物や追加した構造物が共存した状態の構造物全体を「構造系」, 既存構造物や追加した構造物を「構造ユニット」と呼んでいる。なお, 実際には1つの改良工法に対して複数の課題が含まれることが多いが, 表-2.3では代表例として1つの一般化された課題に記載している。田端らは, 一般化された課題は, 改良設計を行う上で設計者が共通して認識すべき事項のひとつであると指摘している。

表-2.1 矢板式係船岸の既往の改良工法の概要 (田端ら, 2017 に一部追記)

整理番号	工法名	工法概要
S-1	軽量混合処理土置換工法	矢板背後の一部の裏込土を軽量化させた土に置き換えることにより, 一部の土の単位体積重量を小さくし, 主働土圧を低減する。
S-2	水砕スラグ置換工法	矢板背後の一部の裏込土を水砕スラグに置き換えることにより, 一部の土の単位体積重量を小さくする, 又は裏込土の強度を増加させ, 主働土圧を低減する。
S-3	事前混合処理土置換工法	矢板背後の一部の裏込土を事前混合処理土に置き換えることにより, 一部の土の強度を増加させ, 主働土圧を低減する。
S-4	セメント系固化処理工法	矢板背後の一部の裏込土を地盤改良し, 固化することにより, 一部の土の強度を増加させ, 主働土圧を低減する。
S-5	棚式構造物新設工法	矢板背後に棚式構造物を設置することにより, 棚式構造が上部工を支持しているため上部工厚分の主働土圧を低減でき, エプロン上に作用する上載荷重を棚式構造物が負担することで, 主働土圧を低減する。
S-6	SG-Wall 工法	矢板背後を固化処理土に置き換えるとともに, 面状補強材(ジオグリッド)を介して一体化させることにより, 主働土圧を低減する。固化体が重量物として摩擦抵抗を発揮することにより, 抵抗力が増加する。
S-7	矢板前面改良工法	矢板前面の地盤改良を行うことにより, 地盤の抵抗力を増加させ, 受働土圧を増加する。
S-8	グラウンドアンカー工法	海底地盤と既設タイ材の中間に支点を設置し, 岩盤で固定したグラウンドアンカーと接続することにより, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-9	二段タイ材工法	海底地盤と既設タイ材の中間にタイ材を設置し, 既存控え工の背後に新設する控え工と接続することにより, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-10	ジャケット工法	海底地盤と既設タイ材の中間に支点(腹起し), 矢板前面にジャケット式構造物を設置し, 腹起しとジャケット式構造物を接続することにより, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-11	水中ストラット工法	海底地盤と既設タイ材の中間に支点(腹起し), 矢板前面の栈橋に水平部材を設置し, 腹起しと栈橋を接続することにより, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-12	L型ジャケット補強工法	矢板前面にL型ブロック(基礎杭付き)を設置し, 地震時に矢板に発生する断面力をL型ブロックが負担することにより, 矢板に作用する発生断面力を低減する。
S-13	控え杭増設工法	既存控え工の背後に控え工を増設し, 既存控え工とタイ材で接続することにより, 控え工の反力を分担する。
S-14	矢板補強(前面)工法	既設矢板をコンクリート, 鋼板, H鋼(鋼管矢板の場合)等で補強することにより, 矢板の断面性能が向上し, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-15	矢板補強(背面)工法	既設矢板の直背面に矢板を設置し, 既設矢板と上部工で一体化することにより, 矢板の断面性能が向上し, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-16	矢板補強(一体化)工法	既設矢板の直前面に矢板を設置し, 既設矢板と上部工で一体化することにより, 矢板の断面性能が向上し, 矢板に発生する断面力を低減する。
S-17	二重矢板化工法	既設矢板前面に矢板を設置し, 既設矢板を控え矢板とした二重矢板構造に変更することにより, 主働土圧を二重矢板が受け持ち, 矢板の断面性能が向上する。
S-18	矢板新設工法(矢板前面)	既設矢板前面に矢板を設置することにより, 新規矢板が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-19	矢板新設工法	既設矢板背後に矢板を設置することにより, 新規矢板が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-20	重力式構造物工法	既設矢板前面に重力式構造物を設置することにより, 重力式構造物が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-21	重力式(背後固化)工法	既設矢板背後を地盤改良し, 固化することにより, 重力式構造物として機能し, 固化した改良体が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-22	セル式構造物(背後)工法	既設矢板背後に根入鋼板セルを設置することにより, セル式構造が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-23	鋼管矢板井筒(背後)工法	既設矢板背後に鋼管矢板井筒構造を設置(又は既設を含み補強)することにより, 鋼管矢板井筒構造が既設矢板に発生する主働土圧を全て負担する。既設矢板は抵抗部材として考慮されない。
S-24	栈橋式構造物(背後)工法	既設矢板背後に既設矢板を一体化させた栈橋構造を設置することにより, 主働土圧を土留め兼用栈橋が受け持つ。
S-25	栈橋構造物工法(土留め機能なし)	既設矢板前面に栈橋(土留め構造なし), 捨石マウンドを設置することにより, 栈橋が接岸力などの荷重に対する抵抗力を受け持ち, 既設矢板は護岸としての機能に変更され, 前面の捨石マウンドから受働抵抗を受ける。
S-26	栈橋構造物工法(土留め機能付き)	既設矢板前面に栈橋(土留め構造あり), 既設矢板との間に間詰め石を設置することにより, 栈橋が接岸力などの荷重に対する抵抗力を受け持ち, 既設矢板は護岸としての機能に変更され, 前面の間詰め石から受働抵抗を受ける。
S-27	控え杭増設工法	既存の控え工に新たに押し込み杭を設置し, 既存の控え工と上部工で一体化することにより, 控え工の耐力を増加する。
S-28	控え杭間補強工法	既存の控え工の杭間を地盤改良し, 固化することにより, 控え杭の横抵抗力を増加する。
S-29	ジオグリッド埋設工法	矢板背後に面状補強材(ジオグリッド)を接続することにより, 補強材と裏込土の間にせん断抵抗力が生じて補強材に張力が発生し, 矢板に発生する断面力を低減する。

表-2.2 矢板式係船岸の改良工法一覧表 (田端ら, 2017 に一部追記)

① 主働土圧の低減					
安定性向上メカニズム	S-1 軽量混合処理土置換工法	S-2 水砕スラグ置換工法	S-3 事前混合処理土置換工法	S-4 セメント系固化処理工法	S-5 SG-Wall 工法
工法及び施工イメージ図					
安定性向上メカニズム	② 受働土圧の増加				S-12 I 型ジャケット補強工法
工法及び施工イメージ図	S-7 矢板前面改良工法	S-8 グランドアンカー工法	S-9 二段付材工法	S-10 ジャケット工法	S-11 水中ストラット工法
安定性向上メカニズム	③ 矢板支持による発生断面力の低減				S-16 矢板補強 (一体化) 工法
工法及び施工イメージ図	S-13 控え前増設工法	S-29 ジオグリッド埋設工法	S-14 矢板補強 (前面) 工法	S-15 矢板補強 (背面) 工法	S-17 二重矢板化工法
安定性向上メカニズム	④ 新設構造物による荷重の負担				
工法及び施工イメージ図	S-18 矢板新設工法 (矢板前面)	S-19 矢板新設工法	S-20 重方式構造物工法	S-21 重方式 (背後固化) 工法	S-22 セル式構造物 (背後) 工法
安定性向上メカニズム	⑤ 新設構造物による荷重の負担				S-23 鋼管矢板井筒 (背後) 工法
工法及び施工イメージ図	S-24 枠構式構造物 (背後) 工法	⑥ 既設構造物の用途の変更		S-27 控え杭増杭工法	S-28 控え杭向補強工法
		S-25 枠構式構造物工法 (土留め機能なし) S-26 枠構式構造物工法 (土留め機能付き)			
工法及び施工イメージ図					

表-2.3 一般化された課題一覧 (田端ら, 2017)

一般化された課題	課題の概要	代表的な工法例
構造形式が複合した構造系の挙動に関する課題	複数の構造ユニットの構造形式が異なるために、各構造ユニットの挙動が推定できても、構造系の挙動の推定ができない。	S-5
柔、剛構造が複合した構造系の挙動に関する課題	複数の構造ユニットが異なる剛性を有するために、変形挙動に差異が生じ、構造系の挙動が推定できない。	S-23
新旧構造が複合した構造系の挙動に関する課題	新規構造ユニットと既存の構造ユニットが異なる断面性能である場合、変形挙動に差異が生じ、構造系の挙動が推定できない。	S-11
構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	構造ユニット内の既存部材と新規部材が異なる断面性能である場合、変形挙動に差異が生じ、構造ユニットの挙動が推定できない。	S-16
構造ユニットの並列配置に関する課題	複数の構造ユニットに抵抗力を分担させる場合、その位置関係や断面性能により、抵抗力のバランスが変化する。	S-9
構造ユニットの直列配置に関する課題	1つの抵抗力を複数の構造ユニットで負担する場合、各構造ユニットの断面性能の差異により、発揮できる抵抗力が変化する。	S-13
構造ユニットの近接配置に関する課題	複数の構造ユニットが近接している場合、各構造ユニットの挙動が相互に影響する。	S-25
残置物の影響に関する課題	抵抗力として期待されていない既存構造物が構造系や構造ユニットの挙動に影響する。	S-18

2.2 既存部材の残存耐力評価

改良設計時に対象施設に関して様々な履歴情報や現況情報を得ることは重要であり、その中の一つが既存構造物の残存耐力についての情報である。残存耐力の評価とそれに基づく利用可否の適切な判断を行わなければ、改良工法の選定時に最適な工法を見逃してしまう可能性がある。そこで、残存耐力の定量的な評価を行う必要があるが、タイ材、控え工などの部材は土中部にあり、目視で状態を確認するには大規模な調査が必要となる。

矢板式係船岸の残存耐力の推定に関する研究はいくつか実施されている。小泉ら(1998)は、地震によって被災した鋼矢板岸壁の残存耐力の評価を、提案する数値解析モデルによって行っている。この数値解析モデルは変形モードと最大変位量に着目し、提案されている。内田ら(2010)は、対象の港湾施設が地震動によって被災した場合を想定し、数値解析プログラムFLIPを用いて、鋼部材の最大曲率比と残留水平変位の関係を取りまとめている。これにより、被災後の残留水平変位(外観調査)から施設の使用可否の判断を行うことができる。伊藤ら(2020)は、内田ら(2010)同様、対象の港湾施設が地震動によって被災した場合を想定し、数値解析プログラムFLIPを用いて、残留水平変位から港湾施設の使用可否が判断できるように解析結果の整理を行っている。また、精度よく残留水平変位を計測する方法についても提案している。

このように、地震によって被災した係船岸を対象とした残存耐力の評価、利用可否の判断の検討は多く行われている。一方で、地震による作用以外の原因、例えば、部材の老朽化、設計値以上の重量物の取り扱いなどによって変状が生じた矢板式係船岸の残存耐力の評価、利用可否の判断に関する研究は見当たらなかった。このような場合の地中部にあるタイ材や控え工の残存耐力の評価、利用可否の判断方法については、課題として残されている。また、残存耐力の評価の際、タイロッドの腐食速度

が港湾基準に記載の標準値を上回っている場合があるため、注意が必要である。山本ら(1989)は、コンクリート中の鉄筋とタイロッドが接触している場合に、タイロッドの腐食速度が特に大きくなると報告している。そのため、既設部材の耐力評価にあたり大規模な調査を行わない場合は、慎重に安全側となるような耐力評価をせざるを得ないのが実状である。

2.3 矢板式係船岸の維持管理(点検)

港湾管理者は港湾の施設の点検診断ガイドラインに従い、定期的に既設構造物の点検を行わなければならない。点検診断を行う際に着目すべき点については、加藤ら(2016)の研究が参考となる。加藤らは、ある部材の劣化が別の部材の劣化を誘発して、どのように構造物全体が連鎖的に劣化していくのかを外力などに着目して整理している。整理された結果は変状連鎖図という図にまとめられている。例えば、最初に前面矢板の防食が劣化することで、前面矢板に開孔が生じ、裏込土が吸い出され、最終的にエプロン下の空洞化、陥没といった劣化が連鎖的に生じるということが示されている。鈴木ら(2018)が全国の既設構造物劣化事例を収集し、整理したところ、矢板式係船岸の劣化は加藤らが提案した変状連鎖のとおり発生しており、構造物全体の劣化は前面矢板の防食の劣化から始まっている傾向があることが確認された。そのため、構造物の点検時には防食の健全性について特に注意して確認することが重要であると言える。なお、本研究では新たに構造設計が必要となる部材を対象に検討を進めており、防食については検討を行っていない。

港湾施設は部材の多くが海中や土中に設置され、橋梁等に比較して点検や補修が容易にできる環境ではない。維持管理の基本的な方法である目視点検でも目視可能な部分のごく一部である。そのため、設計段階から維持管理について合理化や省力化のための配慮を施しておくことが望ましいと考えられる。

3. 矢板式係船岸の試改良設計の検討

3.1 本章の検討方針

本章では、設計者が共通の視点で矢板式係船岸の改良設計が行えるようなフローの提案を目標に検討を進める。田端らは、田端ら（2017）で構造形式に関わらず改良設計時に共通して考慮すべき考え方を示しており、田端ら（2018a, 2018b）で重力式係船岸をモデルに改良設計の考え方に沿った試改良設計を行っている。それらの結果を基に田端らが提案している改良設計の検討フローを図-3.1に示す。図-3.1は重力式係船岸をモデルに作成された検討フローであるが、構造形式が異なっても改良設計の基本的な考え方は変わらないと思われるため、本章では、まずは、この検討フローに沿って矢板式係船岸の試改良設計を行う。試改良を通して課題が見つければそれを整理し、改善策について検討を行う。なお、図-3.1の詳細については田端ら（2018b）を参考にされたい。また、本章は平成 19 年に発刊された港湾基準に準拠して性能照査を行っている。

3.2 矢板式係船岸の現行の設計方法

試改良に先立ち、矢板式係船岸の標準的な設計方法を概説する。設計方法の詳細については港湾基準を参照され

たい。港湾基準には前面矢板、タイ材、控え工などをそれぞれ個別に設計するように記載されており、前面矢板、タイ材、控え工の順に設計が行われる。港湾基準に記載されている前面矢板の設計法で一般的に広く用いられている方法は、前面矢板の根入れ長を求めるフリーアース法と、前面矢板の応力とタイ材取付点の反力を求める仮想ばり法の組み合わせである。

フリーアース法とは、前面矢板の根入れ部において負の曲げモーメントが起こらないと仮定し、前面矢板に作用する力の釣り合いを解くことで、必要根入れ長を求める方法である。

仮想ばり法とは、前面矢板のタイ材取付点と海底面を支点とし、地表面から海底面まで土圧及び残留水圧が作用する単純ばりであると仮定して、前面矢板に生じる最大曲げモーメントを求める方法である。求めた最大曲げモーメントより、前面矢板の応力が求められる。タイ材取付点と海底面を支点としているため、タイ材取付点と海底面の反力は求められるが、変位は確認することができない。

フリーアース法と仮想ばり法の組み合わせは、元来、砂質土地盤または比較的固い粘性土地盤中に打設された鋼矢板を対象として提案されたものである。鋼管矢板などの剛性の高い部材を用いる場合はこの方法の対象外と

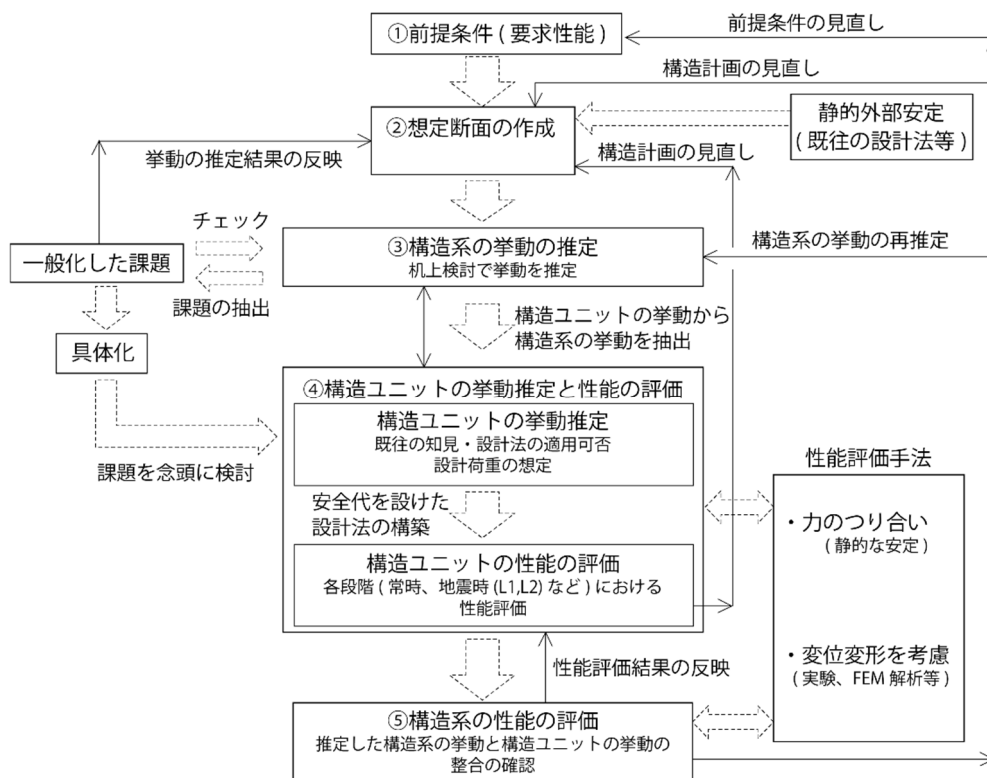


図-3.1 既往の研究の改良設計の考え方 (田端ら, 2018)

なる。これに対し、フリーアース法と仮想ばり法で得られる結果に対して一定の補正を行うことで、これらの設計法の対象範囲を拡張しようとするのがロウの補正と呼ばれる方法である。詳細については高橋ら（1993）を参照されたい。必要に応じてロウの補正による方法で前面矢板の根入れ長，最大曲げモーメント，タイ材取付点の反力を補正する。

タイ材については，前面矢板から伝達される荷重（タイ材取付点の反力）を満たすように設計が行われる。

控え工については，控え杭の場合は杭の設計に準拠して，控え版の場合は控え版の安定性が確保されるように設計される。

ここまでで述べた設計方法は，新設構造物を設計することを前提に提案されたものである。改良設計に準用しようとする，①追加構造物の評価方法が明確ではないこと，②仮想ばり法では前面矢板のタイ材取付点と海底面で変位が生じないことを仮定するため，構造物全体の変位・変形を適切に評価することができないこと，などが課題となる。

3.3 矢板式係船岸の試改良設計

3.3.1 試改良設計の概要

図-3.1に示した田端らの検討フローに沿って，矢板式係船岸の試改良設計を進めていく。図-3.1中の①から⑤の検討内容について，それぞれ3.3.2から3.3.6で述べる。改良目的は耐震化とし，図-3.2に示すA港の断面，表-3.1に示す当初の設計条件を例に検討を進める。なお，改良

目的を耐震化としているが，試改良設計であるためFLIPなどの数値解析は行わず，照査用震度を当初設計よりも大きくすることで耐震性能の強化を図ることとした。

表-3.1 当初の設計条件

施設条件	当初の適用基準	昭和42年港湾基準
	構造形式	控え組杭式岸壁
	設計延長	65.0m
	岸壁天端高	D.L.+4.0m
	計画水深	D.L.-10.0m
	設計水深	D.L.-10.6m
	経過年数	44年
自然条件	設計潮位	H.W.L D.L.+2.00m
		L.W.L D.L.±0.00m
		R.W.L D.L.+1.30m
	土質条件	図-3.2参照
	腐食速度	0.14mm/y
	設計震度	0.20
材料条件	鋼管矢板	STK50 φ711.2mm t=12.7mm L=20.5m
	タイ材	高張力鋼45 φ60.0mm ctc1.6m
	控え工 (押込側)	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=22.0m
	控え工 (引抜側)	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=25.0m

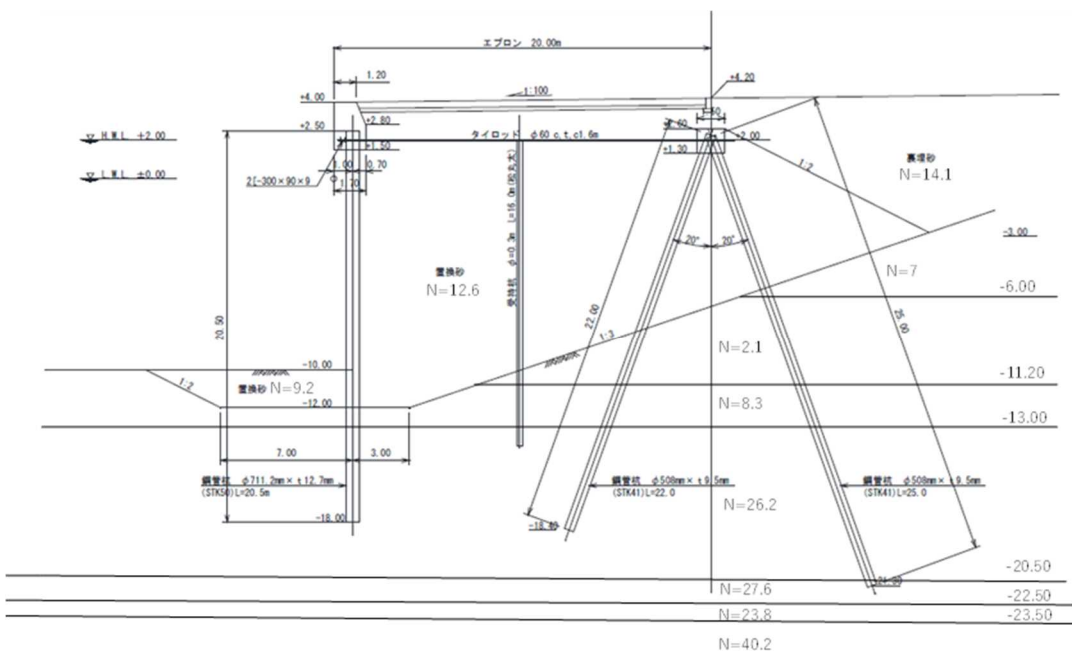


図-3.2 A港の断面図

表-3.2 要求性能の整理

改良目的	支配的となる対象事象				要求性能		要求性能(改良後)の解説	備考
	改良前		改良後		改良前	改良後		
耐震化	レベル1地震動	変動状態	レベル2地震動	偶発状態	使用性	使用性	対象事象に対する損傷が、対象事象発生後、数日で緊急物資輸送船の受入れが可能ないように、軽微な修復の範囲に留まること。	レベル1地震動に対する要求性能「使用性」に変化はないが、レベル2地震動に対する要求性能に「使用性」が追加される。

表-3.4 既設断面の照査結果

照査項目		永続状態		変動状態		判定
		耐力	作用	耐力	作用	
前面矢板	応力度 (N/mm ²)	315	234.2	315	465.9	NG
タイロッド	応力度 (N/mm ²)	286	218.6	440	573.6	NG
腹起し (前面矢板側)	応力度 (N/mm ²)	235	147.5	235	185.4	OK
腹起し (控え工側)	応力度 (N/mm ²)	235	147.5	235	185.4	OK
控え工 (押込側)	応力度 (N/mm ²)	235	104.5	235	125.9	OK
控え工 (押込側)	支持力 (kN)	1556.1	944.4	2282.2	1461.5	OK
控え工 (引抜側)	応力度 (N/mm ²)	235	82.4	235	111.1	OK
控え工 (引抜側)	支持力 (kN)	620.7	728.2	620.7	1270.9	NG

照査項目		現状	必要長		判定
			永続状態	変動状態	
前面矢板	根入れ長 (m)	-18	-20.8	-21	NG
タイロッド	タイ材長 (m)	19	8.2	20.7	NG

表-3.5 静的照査項目による工法選定例

工法番号	工法名	静的照査項目					工法の適用性
		前面矢板		タイロッド		控え杭 (引抜側)	
		応力	根入れ	応力	長さ	支持力	
S-1	軽量混合処理土置換工法	○	○	○	○	○	○
S-13	控え杭増設工法	△	△	○	○	○	△
S-17	二重矢板化工法	○	○	△	×	△	×

3.3.2 前提条件 (要求性能) の整理

図-3.1に従い、改良設計に先立って前提条件 (要求性能) の整理を行う。試検討の改良目的とした耐震化に対応する要求性能をまとめたものを表3.2に示す。当初の設計 (表-3.1) では設計震度が0.2となっていたが、試検討ではこれを0.25とすることで耐震化を図ることにする。既存構造物は劣化しているが、利用可能と仮定した。また、制約条件として、「法線前出し幅数十cm以内」、「埋立て不可」、「エプロン背後の広範囲利用不可」、「広範囲の海水濁り不可」と仮定した。

港湾管理者は「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に従い、定期的に施設の点検を行っており、点検結果を改良設計時の設計条件に反映させることは有効であると考えられる。また、矢板式係船岸の部材の多くは土中部にあり、残存耐力の評価が難しい。そこで、施設の点検結果からこれらのことを考慮する手助けとなるような整理を行う。まずは、矢板式係船岸の点検で確認される主な変状を挙げ、そのような変状が発生する要因を簡単に整理した。そして、確認された変状に対して、どのような追加調査をすれば原因が特定できるか、変状の再発を防ぐためには改良設計でどのような点に気を付ければよいのかということ整理した。整理した結果を表-3.3に示す。この表を参考にすることで、構造物の作用環境や利用状況を推定し、設計上の留意点や有効な追加調査などの前提条件を整理する手助けになると考えられる。

3.3.3 想定断面の作成

図-3.1の「②想定断面の作成」を行う。最初に力学的な原理に基づく選定を行った後、制約条件に基づく選定を行う。力学的な原理に基づく工法選定とは静的な事象に対する照査項目 (以下、静的照査項目という。) に基づく工法選定を意味している。既設構造物に対して新たに設定した設計条件 (照査用震度を0.20から0.25に変更) で性能照査を行った結果、前面矢板の応力、タイ材の応力、控え杭 (引抜側) の支持力、前面矢板の根入れ長、タイ

表-3.3 変状要因の確認表

主な変状	主な変状の要因	主な変状の因子（具体例）	設計上の留意点，有効な追加調査など
岸壁法線の凹凸，出入り (i)	施設全体の変位	地震による上部工・本体工の移動 地盤の圧密沈下による本体工・基礎材・裏込材の傾斜 地盤の強度不足による円弧滑り	前面矢板の変形モードの確認 前面矢板や控え工周辺の土質調査
	主働土圧の増加	背後地の液状化 豪雨などによるエプロンへの水の長期滞留 背後地の大規模な地盤改良 タイの耐力不足	タイの試掘
	控え工耐力の減少	控え工前面地盤の支持力不足 控え工の腐食	控え工の載荷試験
	設計条件との相違	設計値以上の上乗荷重 設計値以上の牽引力 設計値以上の接岸力 設計値以上の地震動 設計値以上の残留水位	利用実態の調査
	海底地盤の洗堀	(vi) へ	
エプロンの沈下，陥没 (ii)	裏込材の吸出し， エプロンの空洞化	地震による裏込材の締固めや地盤の圧密沈下による裏込材の沈下 防砂板（シート）の破損による裏込材の流出 舗装の打ち継ぎ目の不陸	防砂板（シート）の強度の見直し 電磁波レーダーによる調査
エプロンのコンクリート舗装又は アスファルト舗装の劣化，損傷 (iii)	荷役作業	設計値以上の上乗荷重 アウトリガーによる集中荷重 車両通行の繰り返しによる疲労	かぶりの増厚 コンクリート，アスファルト強度の増加
	コンクリートの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	アスファルトの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 温度変化による収縮 紫外線による劣化	かぶりの増厚
	エプロンの沈下， 陥没	(ii) へ	
鋼矢板等の腐食，亀裂，損傷 (iv)	水流	波浪の作用 船舶の接岸時のスラスターによる摩耗	鋼矢板の増厚 被覆防食工の実施 電気防食工の実施
	船舶，漂流物の衝突	船舶や漂流物の衝突 新設構造物の設置などで生じる漂砂による損傷 飛砂による損傷	
	鋼材の劣化	水と酸素による腐食 塩害による腐食	
	主働土圧の増加 海底地盤の洗堀	(i)，(vi) へ	
上部工の劣化，損傷 (v)	コンクリートの劣化	鉄筋の腐食 ひび割れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	重量物の衝突	船舶，荷役機械の衝突 積荷の落下による衝突	かぶりの増厚 コンクリート，鉄筋強度の増加
海底地盤の洗堀，堆積 (vi)	水流	波浪による作用 船舶接岸時のスラスターによる作用	洗堀防止被覆工の設置
	エプロンの吸出し	(ii) へ	

材の長さについて作用が耐力を上回ることが確認された。計算結果を表-3.4に示す。次に、作用が耐力を上回った静的照査項目に対して有効な改良工法を選定する。工法選定の例を表-3.5に示す。本来ならば全工法について検討する必要があるが、ここでは代表的な工法だけを記載している。静的照査項目は3段階で評価しており、○:詳細な検討を行わなくても明らかに効果あり、△:場合によっては効果がない可能性あり、×:明らかに効果がないとしている。静的照査項目の検討結果が全て○の場合、工法の適用性を○、静的照査項目の検討結果が全て○あるいは△の場合、工法の適用性を△、静的照査項目の検討結果に一つでも×がある場合、工法の適用性を×としている。このような方法で工法の選定を検討すると、静的照査項目の相互の関係性を考慮できず、適切な工法を見落としている可能性がある。矢板式係船岸は部材が多く、互いに作用しあっているため、ある静的照査項目を満たすと別の静的照査項目も同時に満たすといったことが考えられる。そこで、効率的に改良工法の選定を行うために、静的照査項目の相互の関係性を整理することにした。

静的照査項目の相互の関係性の整理にあたっては、必要となる改良効果という考え方に着目し、これらに関連付けることで整理を進める。ここでは、静的照査項目を港湾基準に記載されている照査項目としている。前面矢板の静的照査項目は「前面矢板の応力」と「前面矢板の

根入れ長」であり、これらに対して有効であると考えられる改良効果は「前面矢板の断面性能の向上」、「裏込め土の主働土圧の低減、耐力の増加」、「前面矢板の根入れ部分の受働土圧の増加」が挙げられる。タイ材の静的照査項目は「タイ材の応力」であり、これらに対して有効であると考えられる改良効果は「タイ材取付点の反力の低減」、「タイ材取付点の反力の分担」である。控え工の静的照査項目は「控え工の根入れ長」、「控え工の応力」、「控え工の軸方向力」であり、これらに対して有効であると考えられる改良効果は「タイ材取付点の反力の低減」、「控え工の断面性能の向上」が挙げられる。静的照査項目の「上部工の応力」、「地盤の円弧すべり」に対しては「裏込め土の主働土圧の低減、耐力の増加」、静的照査項目の「腹起しの応力」に対しては「控え工の断面性能の向上」が有効であると考えられる。以上の結果をまとめると、必要となる改良効果は「i 矢板の断面性能の向上」、「ii 主働土圧の軽減、地盤耐力の増加」、「iii 受働土圧の増加」、「iv タイ材取付位置の反力の低減」、「v タイ材取付位置の反力の分担」、「vi 控え工の断面性能の向上」の6項目に分類できる。必要となる改良効果を安定性向上メカニズムと関連付け、整理した結果を図-3.3示す。図-3.3を参考にするすることで、課題となっている静的照査項目から有効な安定性向上メカニズムを選定し、有効な工法を選定できるようになる。図-3.3の静的照査項目の箇所に

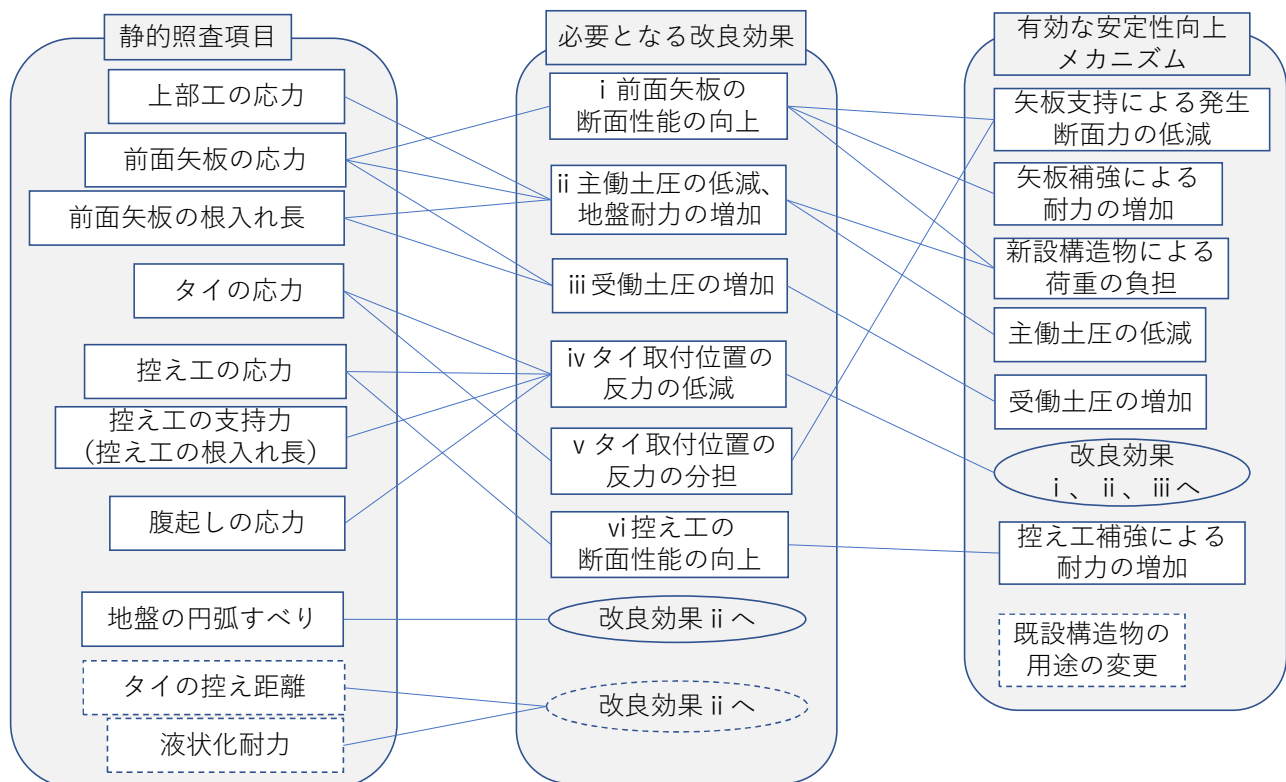


図-3.3 有効な安定性向上メカニズムの検討図

点線で「タイ材の控え距離」、「液状化耐力」と記載している。これらは港湾基準に記載されている照査項目ではないが、工法選定の参考になると考え記載したものである。表-3.4の照査結果について、提案した図-3.3に従って有効な安定性向上メカニズムの選定を行うと、矢板支持による発生断面力の低減、矢板補強による耐力の増加、新設構造物による荷重の負担、主働土圧の低減、受働土圧の増加が選定される。既設構造物の用途の変更も有効であると仮定すると、選定された有効な安定性向上メカニズムに対応する改良工法は27工法である。

次に、3.3.2で整理した制約条件による工法の適用性を考慮すると表-3.6のようになる。S-27とS-28は力学的な原理の検討により落選しているため、斜線を記載している。ここでは適用性を3段階で評価しており、○:詳細な施工検討を行わなくても明らかに採用可能、△:施工の規模や施工方法を詳細に検討すれば採用できる可能性あり、×:明らかに採用不可能としている。制約条件の中に1つでも×がある場合は、工法の適用性を×としている。

力学的原理、制約条件という順に工法選定を行った結果、表-3.6の通り29工法から15工法まで絞り込みを行うことができた。しかし、制約条件の検討のように機械的に工法の絞り込みを行うと、施工方法の詳細な検討や工法の組み合わせの検討が十分に行えないことから、最適な工法を見逃す可能性がある。そこで、一度想定断面を作成し工法が適用された時のイメージを持ち、一般化された課題の検討を行ってから制約条件による絞り込みを行った方が、最適な工法を見逃す可能性は低くなると考えられる。また、候補となっている工法が多いため、工法ごとにカルテを作成し、それに検討内容を記載していくことは有効であると考えられる。カルテとは各工法ごとに作成され、検討の進捗を随時記入していく個票のことである。

試検討では、作業量の制約から、絞り込まれた15工法のうち「S-1軽量混合処理土置換工法」、「S-9二段タイ材工法」、「S-18控え矢板式構造物新設工法」の3工法を例にとって検討を進めることにした。なお、この3工法は、多くの安定性向上メカニズムの項目が検討できるといった観点から選定したものである（安定性向上メカニズムの検討については3.3.4に示す）。選定した3工法を適用した改良断面の想定断面図を図-3.4に示す。この段階では、想定断面図の作成時には構造計算等を行っておらず、単に現状の断面図に改良工法のイメージ図を投影して作図したものである。この段階で2工法程度までは有効な工法を組み合わせることを検討してもよいと思われるが、本試検討では簡単のため工法の組み合わせ利用は検

討しないこととした。

3.3.4 構造系の挙動の推定

(1) 基本方針

本節では3.3.3で選択した3つの改良工法について、図-

表-3.6 制約条件による工法選定例

工法番号	制約条件				工法の適用性
	前出し幅数十cm以内	埋立て不可	エプロン背後の広範囲利用不可	広範囲の海水濁り不可	
S-1	○	○	○	○	○
S-2	○	○	○	×	×
S-3	○	○	○	×	×
S-4	○	○	○	×	×
S-5	○	○	○	○	○
S-6	○	○	○	○	○
S-7	○	○	○	×	×
S-8	○	○	○	○	○
S-9	○	○	○	○	○
S-10	×	○	○	○	×
S-11	×	○	○	○	×
S-12	○	○	○	○	○
S-13	○	○	×	○	×
S-14	○	○	○	○	○
S-15	○	○	○	○	○
S-16	○	○	○	○	○
S-17	×	○	○	○	×
S-18	○	○	○	△	○
S-19	○	○	○	○	○
S-20	×	○	○	△	×
S-21	○	○	○	×	×
S-22	○	○	○	○	○
S-23	○	○	○	○	○
S-24	○	○	○	○	○
S-25	×	○	○	○	×
S-26	×	○	○	○	×
S-27	/				
S-28	/				
S-29	○	○	○	○	○

3.1の「③構造系の挙動の推定」に関する検討を行う。最初に一般化された課題の検討を行った後、構造系の挙動の推定を行う。ここでは各工法で特徴的であると考えられる破壊モードを1つに絞り、記載する。

(2) S-1軽量混合処理土置換工法

S-1 工法は背後地盤を軽量混合処理土に置き換える工法である。軽量混合処理土は固結すると剛な構造となり、これと比較すると前面矢板は柔な構造であると考えられる。そのため、本工法には一般化された課題「剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題」が該当する。

次に、該当する一般化された課題を考慮しながら、構造系の挙動の推定を行う。S-1 工法の挙動として、軽量混合処理土と前面矢板の挙動が異なるということが挙げられる。大きな地震力が作用する場合を考えると、柔な構造である前面矢板は比較的容易に変位・変形が発生するが、剛な構造である軽量混合処理土は容易には変形しない。そのため、前面矢板と軽量混合処理土は異なる位相で変位・変形することになる。この場合、軽量混合処理土に作用する海側方向の慣性力といった想定していない荷重が前面矢板に作用し、前面矢板に大きな変形が生じることが推定される。軽量混合処理土に作用する慣性力を適切にモデル化し、各部材を照査しておくことが必要であると考えられる。

(3) S-9二段タイ材工法

S-9工法はタイ材と控え工を新設し、既設構造物も活用する工法である。本工法は、既設の控え工に対して新設の控え工を増設することになるため、一般化された課題の「新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題」に該当する。また、既設の控え工と新設の控え工が前面矢板に対して並列して連結することになるため、一般化された課題の「構造ユニットの並列配置に関する課題」に該当する。そのほか、新設のタイ材と控え工は既設部材の間をぬって配置、施工されるため、一般化された課題の「構造ユニットの近接配置に関する課題」に該当する。

次に、該当する一般化された課題を考慮しながら、構造系の挙動の推定を行う。ここでは、「新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題」という観点から挙動を推定していく。地震が作用した時に発揮される既設のタイ材張力は、前面矢板や控え杭の変位などにより、設計時に想定していた張力と必ずしも一致していない可能性がある。設計時に想定していたタイ材張力と実際にタイ材が発揮する値に乖離がある場合、既設のタイ材と控え工または新設のタイ材と控え工のどちらかに作用が集中す

ることになり、どちらかの控え工が破損するという挙動が考えられる。これにより構造系の力のバランスが崩れ、連鎖的に部材の破損が進行するといった破壊モードが推定される。

(4) S-18控え矢板式構造物新設工法

S-18 工法は新設部材を既設部材の近傍に設置するものであり、「構造ユニットの近接配置に関する課題」に該当する。また、多くの場合、既存の控え工は部分的に残置されることが想定されるため、一般化された課題の「残置物の影響に関する課題」にも該当する。一般的には、新設構造物のみ構造計算の対象とされ、既設構造物は構造計算の対象とされない。

次に、該当する一般化された課題を考慮しながら、構造系の挙動の推定を行う。ここでは、「残置物の影響に関する課題」という観点から挙動を推定していく。S-18 工法の挙動としては、既存構造物の座屈や破損によって新規構造物に作用する荷重が変化することが考えら

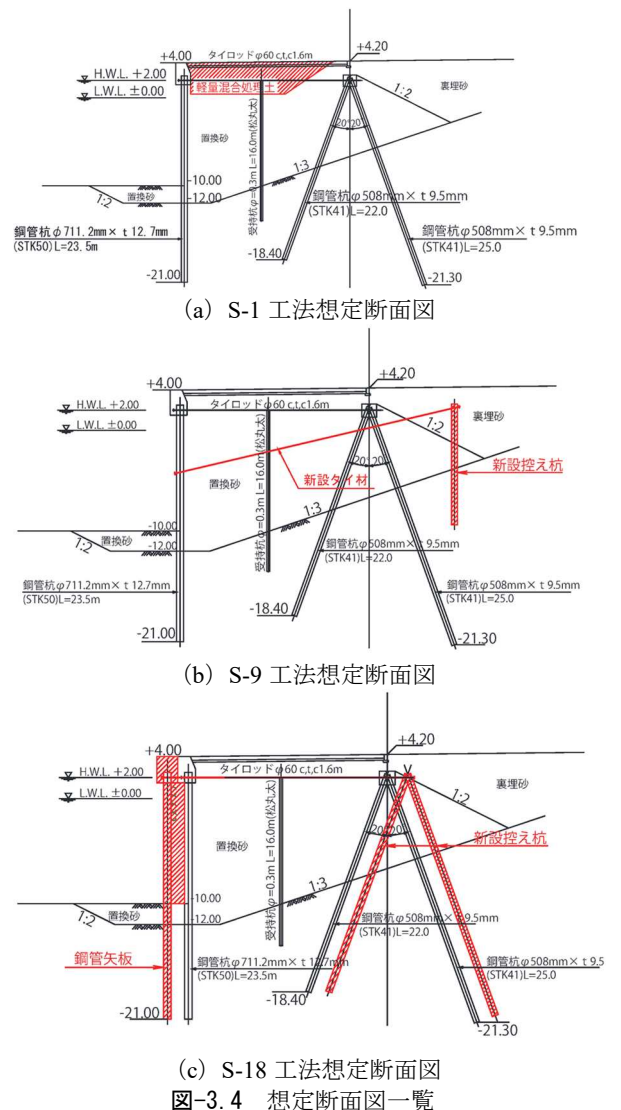


図-3.4 想定断面図一覧

れる。新規構造物の断面諸元は残置される既存構造ユニットを設計上存在していないものとして設定することが多い。既存ユニットは外的な作用に対して安定性が確保されていないため、地震時に既存構造ユニットが変位・変形することが想定される。この場合、想定していない荷重が新規構造ユニットに作用することで部材の破壊又は変位・変形が発生することが推定される。既存部材がどのような挙動を起こすのかは不明確であり、動的解析等でその挙動を確認する必要があると考える。

3.3.5 構造ユニットの挙動推定と性能の評価

(1) 基本方針

本節では図-3.1の「④構造ユニットの挙動推定と性能の評価」について検討を行う。構造ユニットの標準的な評価方法はないため、性能の評価は行わず、構造ユニットの挙動推定のみ行う。実務では構造ユニットの性能の評価の際、設計者が工法ごとに提案されている設計手法を使用していることが多い。以下の(2)～(4)の検討のとおり、定性的な検討を行うことは可能であるが、3.2で述べたように現在の標準的な設計法では定量的な評価を行うことができないことは課題である。

(2) S-1軽量混合処理土置換工法

3.3.4で挙げた破壊モードを評価するためには、変動状態において、前面矢板に作用する改良体の慣性力の評価、裏込土と改良土に生じるせん断力の評価、タイ材と改良土の付着力の評価を適切に行う必要がある。

(3) S-9二段タイ材工法

変形の起きやすい直杭（増設された控え工）と変形の起きにくい組杭（既設の控え工）との間に挙動の差が生じる可能性があり、タイ材の取付け高さ、杭の設置高さや平面的な配置によっても作用が伝達されるバランスは変化するため、既設控え杭と新設控え杭に作用する力の割合を適切に評価する必要がある。

(4) S-18控え矢板式構造物新設工法

既設構造物（残置物）の変位・変形による新設構造物への影響を適切に評価する必要がある。

3.3.6 構造系の性能の評価

本節では図-3.1の「⑤構造系の性能の評価」について検討を行う。矢板式係船岸は重力式係船岸と比較して、変位・変形が発生しやすいため、構造物全体の挙動を考慮する必要がある。しかし、現行の設計法を準用すると部材間の変位を算出できず、構造物全体の挙動を把握することができない。これは、矢板式係船岸の改良設計における一番の課題であると考えられる。本来なら模型実

験や数値解析により構造系の挙動を検討する必要があるが、ここではこれらの検討は行わない。実務では、工法の絞り込みにあたり、費用や時間などの制約から工法ごとに模型実験や数値解析が行えないため、簡易的に構造系の挙動を検討できるような解析モデルが有効であると考えられる。このような解析モデルが提案できないか、5章で検討を行う。

4. 改良設計の検討フローの提案

4.1 本章の概要

3章の試改良設計の結果を反映させた、矢板式係船岸の改良設計に適した検討フローの提案及び解説を行う。提案する検討フローを図-4.1に示す。①から⑩まで番号を振っているが、検討の順番を示すものではなく、解説箇所を示すものである。

田端らが提案したフローからの主な改良点は、最適な工法を見落とさないように力学的原理の検討の後、すぐに制約条件による絞り込みを行わないようにしたこと（⑤、⑧参照）、工法の検討過程の整理のために、候補となっている工法ごとにカルテを作成するようにしたこと（⑥参照）である。これらの改良点は構造形式に関わらず有効であると考えられる。また、矢板式係船岸特有の改良点としては、外観調査の結果から残存耐力の推定の手助けとなるような表を作成したこと、部材の相互作用を整理した図を作成したことである。

本検討フローは、各改良工法の詳細な設計を行うことを目的としたものではなく、複数の改良工法に対し共通の視点で検討を進めることを目的としたもので、各段階で繰返し検討されるものである。また、整理されている改良工法一覧表から3工法程度まで工法の絞り込みを行うことを想定している。本フローは変動状態までの使用を想定しており、偶発状態の設計の際には工法絞り込みの後にFLIPなどによる詳細な数値解析が必要となる。ただし、本フローは更なる工法の絞り込み、その後の具体的な断面設計においても有用な観点・考え方であり、断面比較表の作成以降の設計でも参考とすることができる。

4.2 改良設計の検討フローの解説

①改良目的の設定

耐用年数の延伸、前面水深の増深、岸壁の耐震化、大型荷役機械への対応、天端高の変更などの改良目的を設定する。ここで、要求性能の整理も行う。要求性能の整理は具体的なシナリオをイメージした明文化が有効であり、田端らの提案する「前提条件の整理イメージ」が参

考になる。重力式係船岸を対象として作成された表であるが、矢板式係船岸でも同様の整理となるため、抜粋して表-4.1に示す。

②前提条件の整理

改良設計は既存構造物に関する情報の取り扱いが重要であり、次の点に着目して前提条件の整理を行う。

・既存の設計図書の整理

土質調査結果や施工履歴、点検履歴、被災履歴など既存構造物に関する情報を収集、整理する。設計当時と現在では準拠する港湾基準が異なっていることがあるため、注意する。適用されている基準の年度、関連項目における現行基準との違いなども整理すると参考になる。

・制約条件の整理

施工可能時間、供用停止期間、施工可能場所、作業ヤード、前出しの可否、騒音・振動など施工上の制約について整理を行う。また、既存構造物の取扱いについても検討しておく必要がある。既設構造物を利用する場合、現状のまま、あるいは一部の構造ユニットとして利用するのか、構造断面形状、構造部材の健全性などが十分な精度で確認できているのかといった点を検討する。既設構造物を利用しない場合、残置又は撤去するのかを検討する必要がある。

・構造物の現状把握

矢板式係船岸の部材は土中部にあるものが多く、2章で整理したように土中部にある部材の残存耐力評価手法については研究途上であるため、これらの耐力評価は慎

重に行う必要がある。前面矢板や上部工など目視可能な部材は「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に基づく点検結果から、ある程度残存耐力の評価が可能である。ここで、3章で提案した表-3.3を表-4.2として再掲する。この表は矢板式係船岸の点検で確認される主な変状を挙げ、なぜそのような変状が発生するのかということを中心に整理している。そして、確認された変状に対して、どのような追加調査をすれば原因が特定できるか、変状の再発を防ぐためには改良設計でどのような点に気を付ければよいのかということ整理している。目視可能な部材だけでなく、目視不可能な土中部にある部材の残存耐力を推定する手掛かりにもなる可能性がある。これを参考に、構造物の作用環境や利用状況を推定し、設計上の留意点や有効な追加調査などの前提条件を整理する。

③設計条件の設定

①と②の検討結果より、設計条件を設定する。ここで、高野ら(2017)が提案する「改良設計における設計条件等の留意事項」から経済性の項目を除いた各項目について、整理されているか確認することが望ましい。高野ら(2017)が提案する項目を表-4.3に示す。経済性については、ある程度工法が絞られた段階で検討を行う。(詳細は⑧に示す。)

④設計条件に対する現況断面の照査

③で設定した条件に対して現況断面を照査し、どの部材の耐力がどの程度不足しているかを確認する。岸壁の性能向上を伴う改良の場合、基本的には最新の基準に準

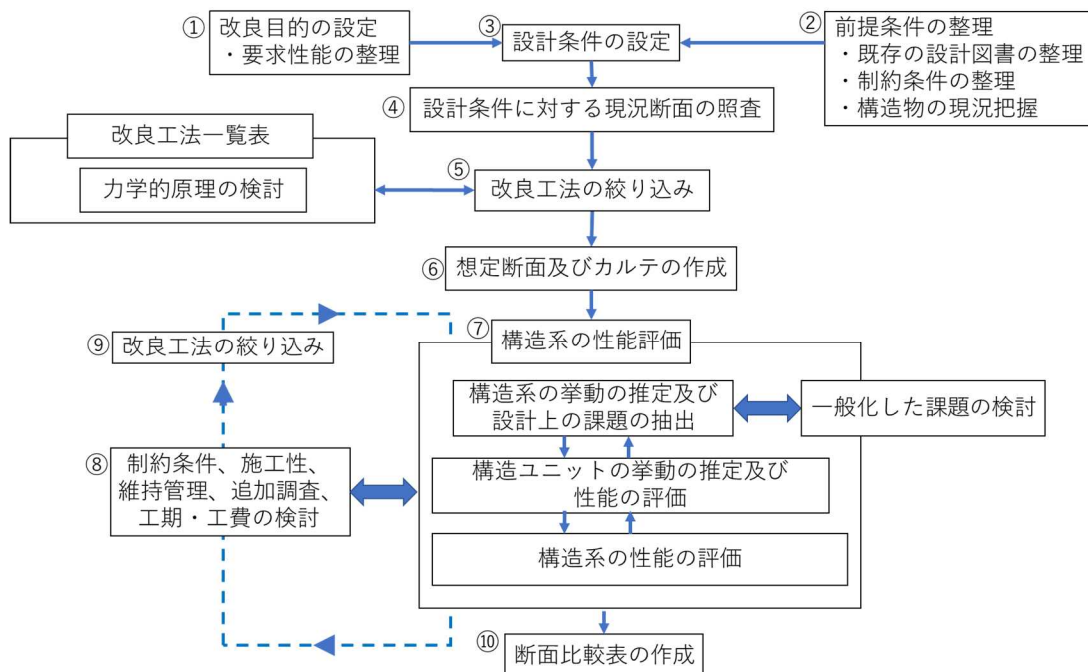


図-4.1 改良設計の検討フロー

表-4.1 要求性能の整理例 (2017, 田端ら)

対象事象		設定	要求性能	要求性能の解説	照査項目・照査方法・性能規定値			備考
L1地震動	変動状態	再現期間 75 年	使用性	対象事象に対する損傷の程度が、当該岸壁の機能を損なわず継続して使用できる範囲に留まること	堤体の滑動 堤体の転倒 基礎地盤の支持力	L1 信頼性設計法 (部分係数法)	耐力作用比 1.0 以上	基準・同解説 p.◇◇により 設定
L2地震動	偶発状態	○地震およびM6.5直下型地震 ※当該地区において発生が想定される最大級の地震のうち、当該施設に最も影響を及ぼすと考えられる地震	修復性	対象事象に対する損傷が、対象事象発生後○日で△△トン級貨物船の受入れが可能のように、軽微な修復の範囲に留まること また、○○ヶ月の復旧工事によって、当該施設の本来の機能が発揮できる範囲に留まること	法線の変形	動的応答解析 (解析コード○○)	水平変位 ○○cm 以下	文献○○を参考に設定(過去の実績から○○cmの変位でも接岸可能であると判断)
							鉛直変位 ○○cm 以下	

拠して照査を行う。

⑤改良工法の絞り込み

④の照査結果に対して力学的原理に基づく工法の絞り込みを行う。矢板式係船岸は部材が多く、互いに作用しているため、静的照査結果のみから有効な工法を選定するのは難しい。ここで、3章で提案した図-3.3を図-4.2として再掲する。この図を参考にすることで、課題となっている静的照査項目から有効な安定性向上メカニズムを選定し、有効な工法を選定できるようになる。また、表-2.2を表-4.4として再掲する。改良工法一覧表(現時点で29工法)は安定性向上メカニズムごとに分類しているため、この表を参考に有効な工法を絞り込む。田端らはこの後、制約条件による絞り込みを実施している。しかし、施工方法の詳細な検討や工法の組み合わせの検討が十分に行えないことから、機械的に絞り込みを行うと最適な工法を見落としてしまう可能性がある。そこで、なるべく多くの工法について検討を行えるように、力学的原理に基づく絞り込みのみを実施する。制約条件の検討は⑧で行う。改良目的が複数ある場合は改良目的ごとに絞り込みを行う。

⑥想定断面及びカルテの作成

⑤で絞り込まれた全ての工法について、現地で施工することを想定した断面図を作成し、田端ら(2017)を参考に作成した表-4.5のようなカルテを、工法ごとに作成することが有効であると考えられる。カルテとは各工法ごとに作成され、検討の進捗を随時記入していく個票のことである。矢板式係船岸は部材が多く、既存部材と新設部材が干渉しないかなど現地で施工した時のイメージを持つことが重要であるため、断面図の作成にあたりこの段階で構造計算等を行う必要はない。有効な工法を2工法程度までなら組み合わせで想定断面図を作成してもよい。カルテには検討が進むごとに検討結果を追記し、

工法比較の参考資料とする。カルテには、一般化された課題の検討結果と有効な追加調査の検討結果をチェック方式で、構造系の性能評価の検討結果を記述方式で記入する。必要に応じて有効な調査の項目に電磁波レーダーによる調査や潜水調査などの記載項目を増やすことも有効である。

⑦構造系の性能評価

⑥で作成した想定断面図について構造系の性能評価を行う。性能評価とは挙動の異なる構造ユニットが複合した構造系の全体挙動をどのように捉え、適切な設計法にどのように落とし込むべきかという高度かつ総合的な性能の評価であると田端ら(2017)は定義しており、本研究でもこの定義を使用する。性能評価は、所与の性能照査手法に基づき所与の限界値と応答値を比較するような、いわゆる性能の照査(性能照査)とは異なる概念であることに注意が必要である。

・構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出

最初に、一般化された課題の検討を行い、検討結果をカルテに記入する。一般化された課題の詳細については2章に記載している。次に、一般化された課題の検討結果を参考に、構造系の挙動や抵抗力の発生メカニズムの机上検討を行い、これらを推定する。推定された結果をもとに、設計上の課題や留意事項をカルテに記入し、必要に応じて想定断面図を修正する。

・構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価

設計上の課題を考慮したうえで、各構造ユニットの挙動を検討し、その挙動について考察をする。構造ユニットの挙動検討は既往の知見や設計方法に基づいて行われることが多いが、作用する荷重や変位量が既往の知見や設計手法の適用範囲であることを確認する必要がある。また、設計上の課題を考慮できるような設計法であることも確認する必要がある。一般的な挙動の検討方法は、

力の釣合いによる方法と構造物の変位・変形を考慮できる数値解析等による方法が挙げられる。変位・変形を考慮できる方法が望ましいが、作業量の都合でやむを得ず力のつり合いによる方法しか検討ができない場合が考えられる。この場合でも、変位・変形が計算された結果にどのように影響するのか、概略でよいので考えておくのが望ましい。検討結果をカルテに記入する。

・構造系の性能の評価

机上検討により推定した構造系の挙動と各構造ユニットの変形モード、変位量などの挙動が整合しているかどうかを確認する。併せて、抽出した課題に対応できているかどうかを確認する。これらの整合が確認できれば、構造系の挙動を適切に表現できている設計方法であると判断する。推定した構造系の挙動と構造ユニットの挙動の整合性がとれない場合は、「構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出」もしくは「構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価」の再検討を行う。検討段階に応じて簡単な数値解析を実施し、構造系の挙動を検討することも考えられる。

十分な知見のない複雑な工法については、工法開発者又は学識経験者にヒアリングを行うなどして工法が提案された背景を確認し、必要に応じて模型実験を行い、数値解析等の妥当性を判断する必要がある。

⑧制約条件、施工性、維持管理、追加調査、

工期・工費の検討

検討段階に応じて、制約条件、施工性、維持管理、追

加調査、工期・工費の検討を行う。制約条件の検討については、「③設計条件の設定」で整理した制約条件を基に検討を行う。施工性の検討については、構造物の施工過程を考慮し、新技術・新材料の活用など施工上の工夫について検討を行う。維持管理については、設計時に維持管理を考慮した工夫ができないか検討する。追加調査については、どのような追加調査をすれば、どの工法が採用可能になるといったことを整理する。工期・工費については、概算で検討を行わざるを得ないため、あまり早い段階で検討を行わない方がよいと考えられる。早い段階で工期・工費の検討を行うと、有効な改良工法を振るい落としてしまい、かえって手戻りが生じる可能性がある。検討段階として、一回目は力学的な検討を中心に、二回目以降は制約条件、施工性、維持管理、追加調査について、最終的な絞り込みの段階で工期・工費の検討を行うということを想定している。

⑨改良工法の絞り込み

⑦「構造系の性能評価」や⑧「制約条件、施工性、維持管理、追加調査、工期・工費の検討」の検討結果を考慮して工法の絞り込みを行っていく。⑦と⑧の検討を複数回繰り返し行う中で、段階的に詳細な検討を進めていく。検討を進めていくごとに検討結果をカルテに追記・修正していく。

⑩断面比較表の作成

作成したカルテを参考に断面比較表を作成する。

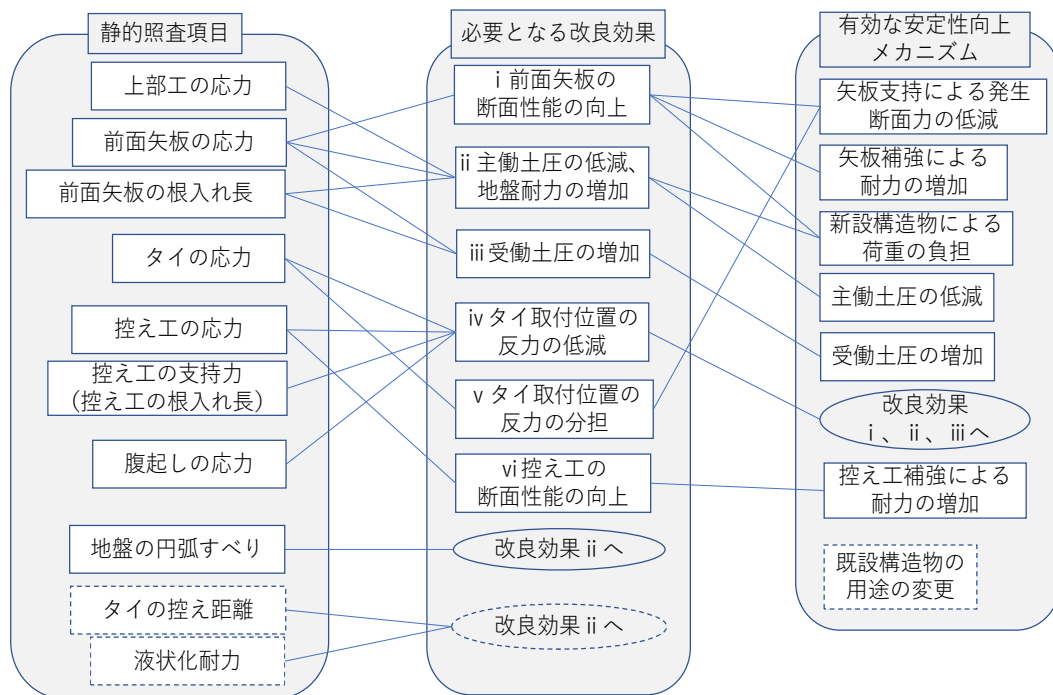


図-4.2 有効な安定性向上メカニズムの検討図 (図-3.3の再掲)

表-4.2 変状要因の確認表（表-3.3の再掲）

主な変状	主な変状の要因	主な変状の因子（具体例）	設計上の留意点，有効な追加調査など
岸壁法線の凹凸，出入り (i)	施設全体の変位	地震による上部工・本体工の移動 地盤の圧密沈下による本体工・基礎材・裏込材の傾斜 地盤の強度不足による円弧滑り	前面矢板の変形モードの確認 前面矢板や控え工周辺の土質調査
	主働土圧の増加	背後地の液状化 豪雨などによるエプロンへの水の長期滞留 背後地の大規模な地盤改良 タイの耐力不足	タイの試掘
	控え工耐力の減少	控え工前面地盤の支持力不足 控え工の腐食	控え工の載荷試験
	設計条件との相違	設計値以上の上載荷重 設計値以上の牽引力 設計値以上の接岸力 設計値以上の地震動 設計値以上の残留水位	利用実態の調査
	海底地盤の洗堀	(vi) へ	
エプロンの沈下，陥没 (ii)	裏込材の吸出し， エプロンの空洞化	地震による裏込材の締固めや地盤の圧密沈下による裏込材の沈下 防砂板（シート）の破損による裏込材の流出 舗装の打ち継ぎ目の不陸	防砂板（シート）の強度の見直し 電磁波レーダーによる調査
エプロンのコンクリート舗装又は アスファルト舗装の劣化，損傷 (iii)	荷役作業	設計値以上の上載荷重 アウトリガーによる集中荷重 車両通行の繰り返しによる疲労	かぶりの増厚 コンクリート，アスファルト強度の増加
	コンクリートの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	アスファルトの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 温度変化による収縮 紫外線による劣化	かぶりの増厚
	エプロンの沈下， 陥没	(ii) へ	
鋼矢板等の腐食，亀裂，損傷 (iv)	水流	波浪の作用 船舶の接岸時のスラスタによる摩耗	鋼矢板の増厚 被覆防食工の実施 電気防食工の実施
	船舶，漂流物の衝突	船舶や漂流物の衝突 新設構造物の設置などで生じる漂砂による損傷 飛砂による損傷	
	鋼材の劣化	水と酸素による腐食 塩害による腐食	
	主働土圧の増加 海底地盤の洗堀	(i)，(vi) へ	
上部工の劣化，損傷 (v)	コンクリートの劣化	鉄筋の腐食 ひび割れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	重量物の衝突	船舶，荷役機械の衝突 積荷の落下による衝突	かぶりの増厚 コンクリート，鉄筋強度の増加
海底地盤の洗堀，堆積 (vi)	水流	波浪による作用 船舶接岸時のスラスタによる作用	洗堀防止被覆工の設置
	エプロンの吸出し	(ii) へ	

表-4.3 設計条件一覧表 (2017, 高野ら)

設計条件等	改良設計における留意点
(1) 設計供用期間	<ul style="list-style-type: none"> 改良目的に応じた設計供用期間を新たに設定する必要がある。
(2) 要求性能, 性能規定, 性能照査手法	<ul style="list-style-type: none"> 改良目的に応じた要求性能を新たに設定する必要がある。 設定した要求性能に基づき, 性能規定を設定し, 性能を適切に評価できる手法により, 照査を行う必要がある。
(3) 計画条件・利用条件 ①施設の配置・諸元 ②対象船舶 ③載荷量 など	<ul style="list-style-type: none"> 対象船舶やエプロン上の取扱貨物・荷役方法(エプロンへの載荷状況)が明らかな場合, 利用実態を踏まえて改良施設固有の設計条件を採用することで, 設計合理化に至る可能性がある。 既存岸壁の法線の前出しの可否, 可の場合の移動可能範囲は, 改良設計断面の工法選定や工期やコストに大きな影響を及ぼす。 法線の変更の際し, 埋立申請など準備時間がかかることが想定される場合には, 法線の変更に係る計画条件を早期に検討しておく必要がある。
(4) 自然環境条件 ①地盤 ②波浪 ③地震 ④鋼材の腐食環境 など	<ul style="list-style-type: none"> 外力の作用履歴や劣化状況など既往情報を基に, 改良施設固有の設計条件を採用することで, 設計の合理化に至る可能性がある。(以下, 例) <ol style="list-style-type: none"> 実測された残留水位, 圧密された粘性土地盤の強度 被災時波浪や設計波高より大きな波浪の来襲履歴 被災時潮位や浸水履歴 既往の地震時の無被災履歴 鋼材の腐食速度の実測値や実測に基づく防食率の設定, など
(5) 材料条件 a)既存部材等に係る条件の設定 b)既存部材等の性能の評価 c)既存部材等と新規部材等との接合による影響	<ul style="list-style-type: none"> 既存部材等の利用可否が改良工法の選定, 全体工期や工費に大きな影響を及ぼすため, 既存部材等の利用可否等の諸条件を慎重に設定する必要がある。 a)既存部材等に係る条件の設定 既存部材等に係る条件は設計条件の一部として, 改良設計着手前に整理しておくことが必要である。(以下, 既存部材等に係る条件) <ol style="list-style-type: none"> 評価を行うための物性値や応力状態・履歴等の入力パラメータの設定 設計供用期間において期待する性能 期待する性能に対する評価の方法 改良設計を行う際の前提条件(補修・補強の必要性などの評価の結果) b)既存部材等の性能の評価 既存部材等の性能の評価にあたっては, 設計供用期間中の性能の低下を予測し, 性能が確保されるかを適切に評価した上で, 利用可否の判断を行い, その結果を改良設計の前提条件として整理することが必要である。 性能の評価は実測データに基づく解析による方法が基本であるが, 調査自体が困難である部材等については, 同種部材の過去の実績等を踏まえて, 有識者や専門技術者の判断の下, 設計供用期間に亘る性能の確保の可否を判断する必要がある。 c)既存部材等と新規部材等との接合による影響 既存部材等と新規部材等との接合方法の確実性, 異なる特性を有する部材・材料の接合による劣化や腐食の促進がないことなどに留意する必要がある。
(6) 施工条件	<ul style="list-style-type: none"> 既存岸壁の供用状況などが施工の制約となり, 改良設計断面の工法選定や工期・コストに大きな影響を及ぼすため, 十分に調査し, 設計時の施工条件として設定することが必要である。(以下, 例) <ol style="list-style-type: none"> 施工時(改良)の代替施設の有無 バースシフトの可否や, 供用施工の可否 海上施工, 陸上施工(作業船舶, 作業機械)の制約 これらは改良設計前に把握することが可能であり, 計画段階や調査段階で情報収集・整理し, 改良設計の設計条件に反映することが必要である。
(7) 周辺状況等への配慮	<ul style="list-style-type: none"> 周辺状況等が施工の制約となり, 改良設計断面の工法選定や工期・コストに大きな影響を及ぼすため, 十分に調査し, 設計時の施工条件として設定することが必要である。(以下, 例) <ol style="list-style-type: none"> 周辺住民や周辺企業等に対する騒音・振動への配慮 親水性の要望への対応 文化遺産等への配慮 これらは改良設計前に把握することが可能であり, 計画段階や調査段階で情報収集・整理し, 要望等への対応の見通しを事前に検討することが必要である。
(8) 経済性	<ul style="list-style-type: none"> 当該施設が置かれる諸条件を十分に考慮した上で, 改良費等の経済性の比較を行い, 構造断面や使用材料等の設定を行う必要がある。 必要に応じて, 施工時の供用休止に伴う損失(費用)も考慮することができる。

表-4.4 矢板式係船岸の改良工法一覧表（田端ら，2017 に一部追記，表-2.2 の再掲）

①主働土圧の低減					
安定性向上メカニズム	S-1 軽量混合処理土置換工法	S-2 水砕スラグ置換工法	S-3 事前混合処理土置換工法	S-4 セメント系固化処理工法	S-5 5G-Wall工法
工法及び施工イメージ図					
安定性向上メカニズム	②受働土圧の増加				S-12 L型ジャケット補強工法
工法及び施工イメージ図	S-7 矢板前面改良工法	S-8 グランドアンカー工法	S-9 二段材工法	S-10 ジャケット工法	S-11 水中ストラット工法
安定性向上メカニズム	③矢板支帯による発生断面力の低減				S-16 矢板補強（一体化）工法
工法及び施工イメージ図	S-13 控え杭増設工法	S-29 ジオグリッド埋設工法	S-14 矢板補強（前面）工法	S-15 矢板補強（背面）工法	S-17 二重矢板工法
安定性向上メカニズム	④新設構造物による荷重の負担				S-22 セル式構造物（背後）工法
工法及び施工イメージ図	S-18 矢板新設工法（矢板前面）	S-19 矢板新設工法	S-20 重力式構造物工法	S-21 重力式（背後固化工法）	S-23 鋼管矢板井筒（背後）工法
安定性向上メカニズム	⑤新設構造物による荷重の負担		⑥既設構造物の用途の変更		
工法及び施工イメージ図	S-24 棧橋式構造物（背後）工法	S-25 棧橋式渡船工法（土留め機能なし）	S-26 橋脚構造物工法（土留め機能付き）	S-27 控え杭増設工法	S-28 控え桁間補強工法

表-4.5 カルテ作成例（その1）

改良工法	S-1
工法概要	裏埋土等を撤去し、軽量混合処理土（または人口軽量土）で置換する
想定断面図	<p>工法：S-1（軽量混合処理土置換工法）</p>
安定性向上メカニズム	主働土圧の低減
過去の事例より得られた課題	改良範囲が広範囲となる傾向にあり、背後の建築物等に影響を及ぼす可能性がある。

構造系の複合状態、構造ユニットの複合状態、構造ユニットの配置に着目し、一般化した課題	
構造系の複合状態	構造形式の複合した構造系の挙動に関する課題
	剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題
	新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題
構造ユニットの複合状態	構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題
構造ユニットの配置	構造ユニットの並列配置に関する課題
	構造ユニットの直列配置に関する課題
	構造ユニットの近接配置に関する課題
	残置物の影響に関する課題
特記事項、その他	

追加調査	<input type="checkbox"/> 岸壁法線前面のボーリング <input type="checkbox"/> 岸壁法線背面のボーリング <input type="checkbox"/> 控え工付近のボーリング <input type="checkbox"/> タイロッドの試掘 <input type="checkbox"/> 矢板の腐食状況確認 <input type="checkbox"/> 矢板の変位量、傾斜量 <input type="checkbox"/> 矢板前面の海底地盤の変状確認 <input type="checkbox"/> 控え工の変位、傾斜 <input type="checkbox"/> 控え工の耐力調査（载荷試験など） <input type="checkbox"/> その他
------	--

表-4.5 カルテ作成例（その2）

<p>構造系の性能評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の挙動の推定及び 設計上の課題の抽出</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造ユニットの挙動の推定 及び性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>施工性、維持管理、 工期・工費の検討</p>	<p>自由記述</p>

5. 構造物全体を連成させた解析モデルの提案

5.1 本章の概要

3章で課題として挙げたとおり、現行の設計法では前面矢板のタイ材取付点と海底面の変位を算出できず、各部材に生じる変位が整合していない可能性がある。そのため、構造物全体の挙動を把握するためには、模型実験やFLIPなどの数値解析を行わなければならない、膨大な作業量が必要となる。工法選定の段階で候補となっている工法すべてに対して、模型実験や数値解析を行うことは、時間や費用の制約から不可能であると考えられるため、簡易的に構造物全体の挙動を検討できる解析モデルを用いることは有効であると考えられる。そこで、このような課題を解決できる解析モデルの提案を目標に検討を行った。

各部材を連成させ、変位を考慮できる解析モデルとして、静的な解析モデルの骨組解析が有効であると考えられる。なお、骨組解析は永続状態・変動状態の設計の使用を想定しており、偶発状態の設計時には別途詳細な検討が必要である。また、矢板式係船岸の解析を骨組解析で実施した例はほとんどないため、どのように解析モデルを作成したらよいか明確ではない。そこで、どのように外力をモデル化したらよいかという検討を行っていく。まずは、改良前の断面に着目した上で、動的な解析であるFLIPを用いて構造物全体の挙動を把握し、得られた挙動を参考に変位、軸力、モーメントに着目して骨組解析のモデル化を行っていく。その後、骨組モデルを改良断面にも適用し、FLIPの解析結果と比較することで骨組モデルの適用性を確認する。最後に、試設計を通して現行

の設計法と提案する骨組モデルの比較を行う。

5.2 検討条件の設定

検討断面は3章の試改良設計でモデルとしたA港の断面(図-5.1)とし、設計条件は表-5.1とする。骨組解析で使用する照査用震度は、A港のL1波形に対して1次元の地震応答解析を行い算出する。算出された照査用震度は0.18である。骨組解析を行ったソフトウェアはFORAM8社のFRAMEマネージャver5である。使用したFLIPのバージョンはFLIPROSE ver.7.4.2である。骨組解析、FLIPとも2次元解析とし、単位断面幅でモデル化する。FLIPによる解析を行う場合は、A港のL1波形を地盤に直接入力する。

5.3 解析手法の相違

(1) 現行の設計法による静的解析

まずは、現行の設計法であるフリーアース法と仮想ばり法の組み合わせにより、発生する部材力や変位などを確認する。検討モデルのイメージ図を図-5.2に示す。点線は前面矢板の変形モードを表している。仮想ばり法はタイ材取付点と海底面を固定点としてモデル化する設計法である。検討モデルの前面矢板、タイ材、控え杭に発生する変位、軸力、モーメントを整理した結果を表-5.2に示す。前面矢板に生じたモーメントについては、タイ材取付点、発生モーメント最大点、海底面に着目して整理している。なお、最大モーメントはロウの補正による方法により補正している。表-5.2の斜線部分は、計算によって求めることのできない箇所を表している。なお、ここでは前面矢板の根入れ長については、必要長を満たしているものと仮定する。

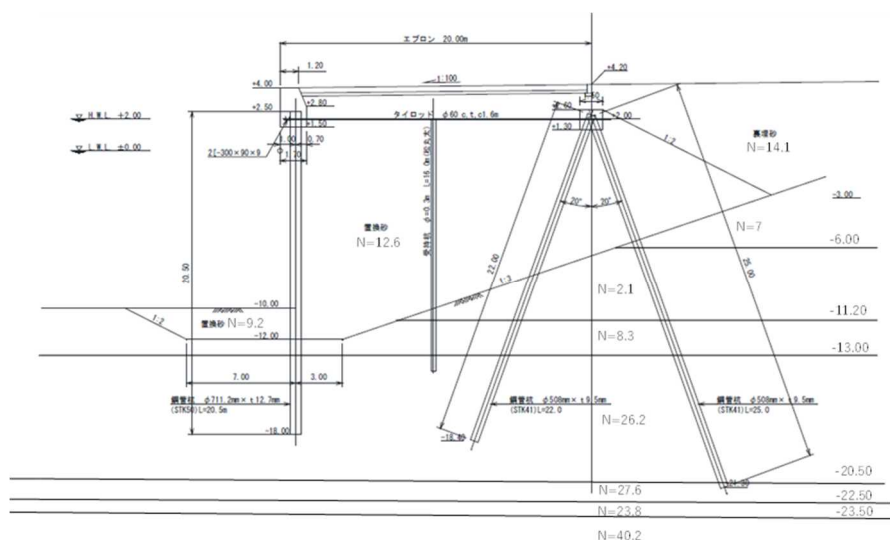


図-5.1 A港の断面図(図-3.2の再掲)

表-5.1 設計条件

施設条件	当初の適用基準	昭和42年港湾基準
	構造形式	控え組杭式岸壁
	設計延長	64.0m
	岸壁天端高	D.L.+4.0m
	計画水深	D.L.-10.0m
	設計水深	D.L.-10.6m
	経過年数	44年
	設計供用期間	50年
自然条件	設計潮位	H.W.L D.L.+2.00m
		L.W.L D.L.±0.00m
		R.W.L D.L.+1.30m
	土質条件	図-5.1参照
	腐食速度	0.14mm/y
照査用震度	0.18	
材料条件	鋼管矢板	STK50 φ711.2mm t=12.7mm L=20.5m
	タイ材	高張力鋼45 φ60.0mm etc1.6m
	控え工 (押込側)	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=22.0m
	控え工 (引抜側)	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=25.0m

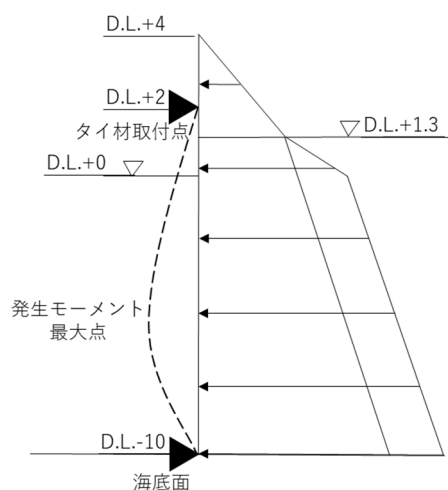


図-5.2 仮想ばり法のイメージ図

表-5.2 現在の設計法の計算結果

	変位 (mm)	軸力 (kN)	モーメント (kN・m)
タイ材取付点			203.5
発生モーメント最大点	59		1404.9
海底面			263.0
タイ材		553.4	
控え杭 (押込)		935.8	90.9
控え杭 (引抜)		766.2	171.4

(2) FLIPによる動的解析

FLIPによる動的な解析によって、発生する変位、軸力、モーメントなどを確認する。入力地震波はA港のL1波とする。ここでは液状化パラメータ無しで検討を行う。一般社団法人 FLIPコンソーシアム (2013) によると、一般的なFLIPの解析で用いられる杭-地盤相互作用ばね要素は、杭の軸直角方向の挙動を対象にしており、組杭など周面抵抗力の影響が無視できない構造の場合には適切な挙動を評価できないといわれている。一般社団法人FLIPコンソーシアム (2013) は杭の軸方向の挙動を適切に表現するために、控え杭の周面抵抗力と下端の変位を考慮できるモデルを提案しており、本検討ではこのモデルを用いる。提案されているモデルの特徴は「杭先端支持力を非線形ばね要素でモデル化」、「杭軸直角方向の抵抗を杭-地盤相互作用ばねでモデル化」、「杭の周面抵抗力を杭-地盤相互作用ばねの杭方向の摩擦に関するパラメータでモデル化」である。図-5.3のとおり、「①前面矢板の天端」、「②海底面」、「③前面矢板の下端」、「④タイ材取付点」、「⑤控え杭の天端」、「⑥控え杭下端 (押込側)」、「⑦控え杭下端 (引抜側)」の変位に着目して検討を進める。

計算の結果得られた残留変位と解析時の最大変位は表-5.3のとおりである。水平方向の変位については、海側方向を正、陸側方向を負としており、鉛直方向の変位については、鉛直上向きを正、鉛直下向きを負としている。図-5.4に解析により得られた最大軸力及び最大モーメントの分布図、残留軸力及び残留モーメントの分布図を示す。また、軸力とモーメントの残留状態の最大値及び解析時の最大値を表-5.4に示す。軸力については、引張を正、圧縮を負としており、モーメントについては、海側に凸となるようなたわみが生じる状態を正としている。表-5.4の軸力最大値はいずれも押込側の杭の杭頭付近で、モーメントの最大値はいずれもタイ材取付点と海底面の中間付近で生じている。図-5.4より、控え杭は杭先端に向かうほど軸力が小さくなっていることが確認できる。これは、杭の周面抵抗力を杭-地盤相互作用ばねの杭方向の摩擦に関するパラメータでモデル化した結果であり、杭下端固定モデルよりも実現に近いモデル設定ができていたものと考えられる。また、タイ材取付点や海底面、前面矢板や控え杭の上端、下端で変位が生じていることが確認できる。

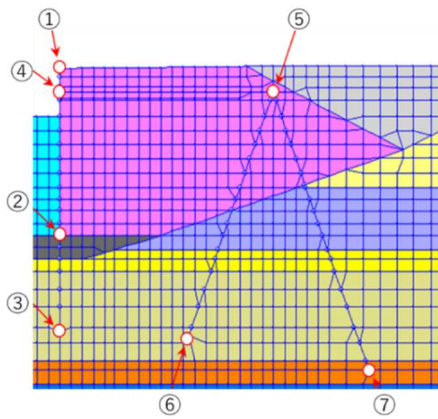
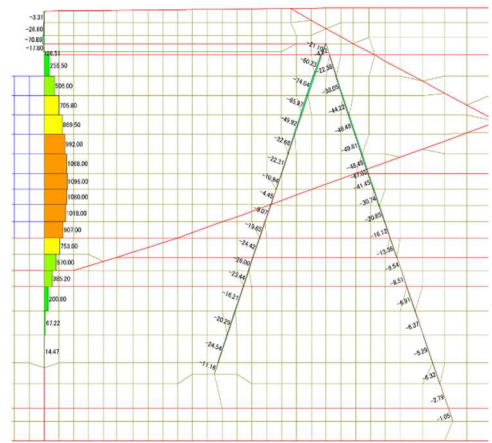


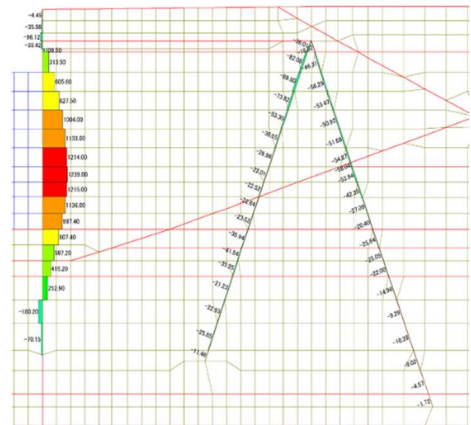
図-5.3 変位の出力位置

表-5.3 FLIPによる変位算定結果

位置	残留変位 (mm)		最大変位 (mm)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
①	141	-5	190	-6
②	156	-5	197	-6
③	52	-5	78	-6
④	152	-5	201	-6
⑤	148	-21	193	-25
⑥	57	-49	84	-54
⑦	36	12	61	15

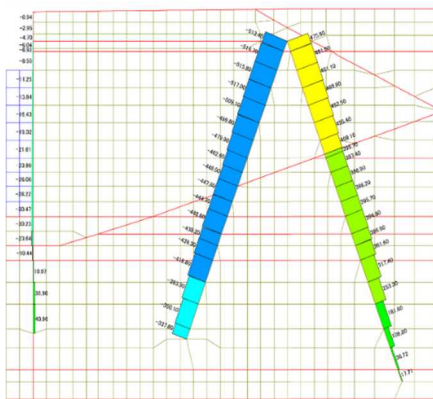


(c) 発生モーメントの分布 (残留値)

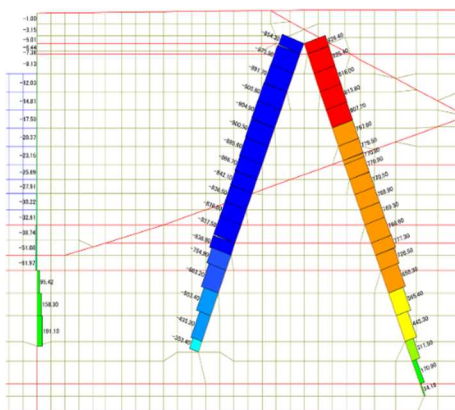


(d) 発生モーメントの分布 (最大値)

図-5.4 発生軸力及びモーメントの分布図



(a) 発生軸力の分布 (残留値)



(b) 発生軸力の分布 (最大値)

表-5.4 FLIPによる軸力及びモーメント算定結果

最大軸力(kN)		最大モーメント(kN・m)	
残留	解析時	残留	解析時
-517	-906	1096	1239

(3) 骨組モデルによる解析

骨組解析とは前面矢板、タイ材、控え杭をすべて梁部材としてモデル化し、それぞれの部材を連結させて一体の構造物として解析を行う手法である。ここでは、タイ材の伸びを再現するために、タイ材の中間点にばねを設ける。タイ材のばね値については荷重と伸びの関係から式 (1)、式 (2) のとおり設定した。

$$kt = \frac{T}{u} \quad (1)$$

$$\frac{T}{u} = \frac{Es \times As}{L} \quad (2)$$

ここで、

kt: タイ材ばね, T: 緊張力
 u: 変位, L: タイ材の全長
 Es: タイ材のヤング係数, As: タイ材の断面積

前面矢板の根入れ部分と控え杭には、地盤の抵抗力を表す水平方向地盤ばねを追加する。水平方向地盤ばねは、港湾基準に記載の横方向地盤反力係数を準用して、式(3)のとおり算出する。

$$kch = 1500N \quad (3)$$

ここで、

kch: 横方向地盤反力係数,
 N: 地盤の1/β付近までの平均N値

算出結果を表-5.5に示す。また、前面矢板下端と控え杭下端は変位を考慮できるように支点をばね支承とした。ばね支承の地盤ばねの値は、前面矢板下端、杭下端位置の地盤の水平方向ばねと同じ値を用いた。解析モデルのイメージ図を図-5.5に示す。前面矢板の海底面より上の部分には、裏込土による土圧と残留水位による水圧を作用させている。骨組解析の解析結果を図-5.6に示す。水平方向の変位については、海側を正、陸側を負としており、鉛直方向の変位については、鉛直上向きを正、鉛直下向きを負としている。軸力については、引張を正、圧縮を負としており、モーメントについては、海側に凸となるようなたわみが生じる状態を正としている。使用しているプログラムの都合で、モーメントの符号は同じだが、モーメントの分布図がFLIPと左右反転していることに注意されたい。変形図に着目すると、タイ材取付点や海底面、控え杭上端、前面矢板や控え杭の下端で変位が生じていることが確認できる。軸力の最大値は押込側の杭で発生しており、モーメントの最大値は前面矢板で発生している。それぞれの最大値を表-5.6に示す。

表-5.5 水平方向地盤ばね算出結果

標高DL (m)		N値	横方向地盤反力係数 (kN/m ³)	水平方向地盤ばね (kN/m ²)	
上端	下端			前面矢板 (B=1 m)	控え杭 (B=0.508 m)
4	-10	12.6	18900	18900	9601.2
-10	-12	9.2	13800	13800	
-12	-13	8.3	12450	12450	6324.6
-6	-11.2	2.1	3150		1600.2
-13	-20.5	26.2	39300	39300	19964.4

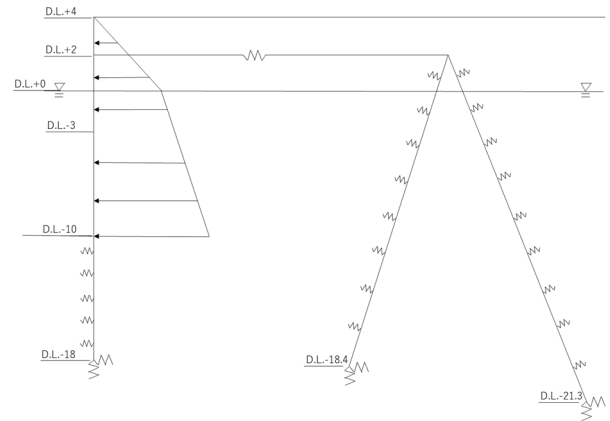
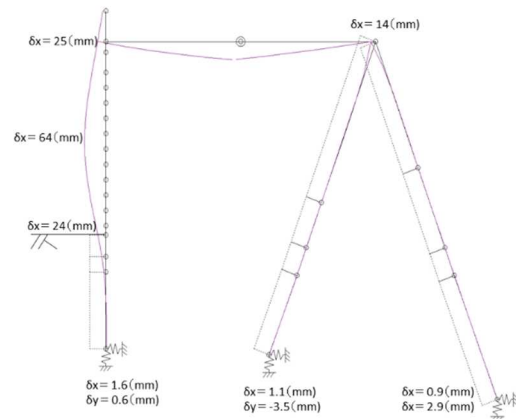
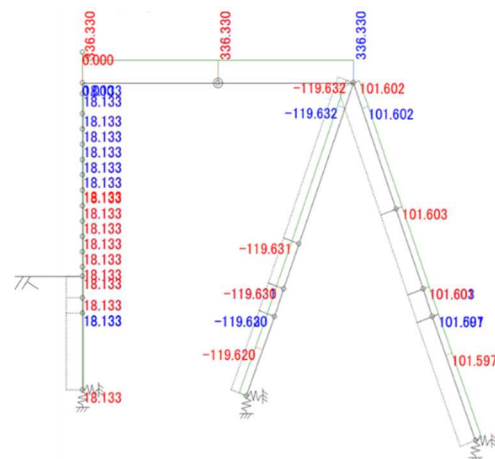


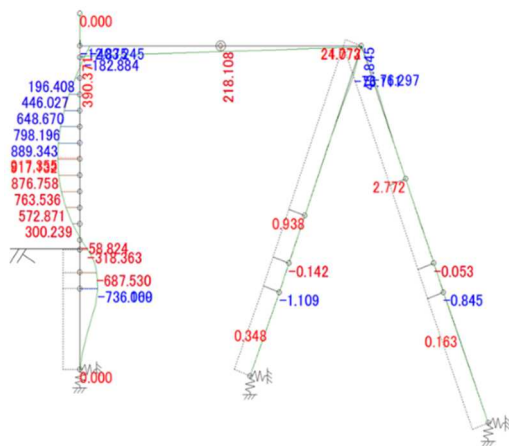
図-5.5 骨組解析モデルのイメージ図



(a) 骨組モデルの変形図



(b) 軸力分布図



(c) モーメント分布図
図-5.6 骨組モデルの解析結果

表-5.6 骨組解析による軸力及びモーメント算定結果

最大軸力(kN)	最大モーメント(kN・m)
-119.6	917.4

5.4 骨組モデルの改良

5.4.1 解析結果の相違点

現行の設計法, FLIP, 骨組モデルの解析結果を, 前面矢板は最大水平変位と最大モーメント, タイ材は最大軸力, 控え杭は最大軸力と最大変位に着目して整理すると, 表-5.7のようになる. FLIPの値は安全側に比較できるように, 残留値ではなく最大値を記載している. 前面矢板の軸力と鉛直方向変位, 控え杭のモーメントについては, 発生した値が小さかったため, 比較の対象としていない. 前面矢板に着目すると, 最大水平変位はFLIPの解析結果だけ値が2倍以上大きくなっている. 最大モーメントの値はいずれの解析モデルも概ね同じとなっている. タイ材の軸力に着目すると, 解析結果は概ね同じ値となっている. 控え杭の最大軸力に着目すると, 骨組モデルの解析結果だけが大幅に小さくなっている. 水平変位と鉛直変位は骨組モデルの解析結果がFLIPの解析結果に比べて1/10以下となっている. また, FLIPの解析結果である図-

5.4と骨組モデルの解析結果である図-5.6の前面矢板のモーメント分布を比較すると, 図-5.4では海底面下で反曲点が生じており, 図-5.6では海底面上で反曲点が生じていることが確認できる. このように, 現行の設計法, FLIP, 骨組モデルではいくつかの相違点があることが確認される. 現行の設計法は変位が考慮できないため, 骨組モデルの改良の際に解析結果を参考にするには適していない. FLIPによる解析は, 実務において偶発状態の設計に広く用いられており, 知見の蓄積が進んでいるため, 解析結果はある程度信頼できると考えられる. 骨組解析モデルの改良にあたり, 他に参考とすべき解析結果もないため, ここではFLIPの解析結果を参考にする. ここで検討を行う骨組解析は永続状態・変動状態の設計までの使用を想定しており, 永続状態・変動状態の設計では変位が生じることによる破壊より, 軸力や曲げモーメントといった部材力による破壊の影響の方が大きいと考えられるため, FLIPの解析結果の軸力と曲げモーメントに近似するように骨組解析のモデル化を行う. 簡易的にFLIPの解析結果に近い値を求めることができるような, 骨組モデルの改良の検討を引き続き進めていく必要がある.

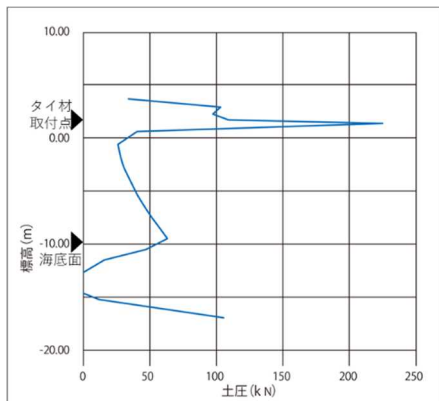
5.4.2 土圧に着目した検討

骨組モデルの解析結果と比較して, FLIPの解析結果の変位, 軸力, モーメントの値が大きくなっている理由の一つに, 土圧の影響が挙げられる. FLIPは地盤の変形を考慮できるため, 地盤の変形により前面矢板や控え杭に大きな土圧が作用していると考えられる. そこで, FLIPの解析時に前面矢板や控え杭にどの程度, 土圧による荷重が作用しているのか確認を行う. ここで求める作用荷重は, 前面矢板や控え杭背後の地盤メッシュの水平方向応力であり, これを前面矢板や控え杭に作用している土圧とした. 図-5.7に前面矢板, 控え杭に作用する主働土圧と受働土圧の差分を示す. 前面矢板のタイ材取付点と控え杭の杭頭に大きな土圧が発生していることが確認できるが, これはタイ材の張力の影響によるものと考えられる. また, 控え杭の先端において差分が大きくなって

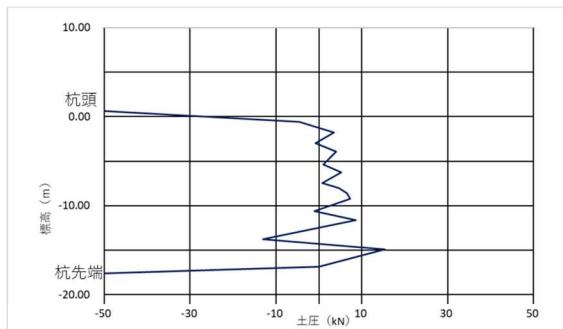
表-5.7 解析結果の比較表

	前面矢板		タイ材	控え杭							
	最大水平変位(mm)	最大モーメント(kN・m)	最大軸力(kN)	最大軸力(押込側)(kN)	最大軸力(引抜側)(kN)	杭頭部の最大水平変位(mm)	杭頭部の最大鉛直変位(mm)	杭下端(押込側)の最大水平変位(mm)	杭下端(押込側)の最大鉛直変位(mm)	杭下端(引抜側)の最大水平変位(mm)	杭下端(引抜側)の最大鉛直変位(mm)
現在の設計法	59	1404.9	553.4	935.8	766.2						
FLIP	197	1239		905.8	826.4	193	-25	84	-54	61	15
骨組解析	64	917.4	336.3	119.6	101.7	14	-0.3	1.1	-3.5	0.9	2.9

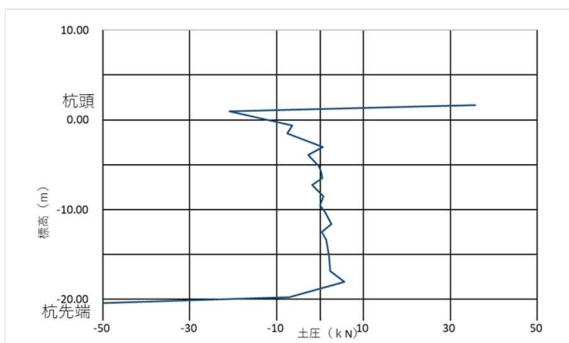
いることが確認できるが、解析メッシュの形状の影響によるものと考えられる。前面矢板には最大で60kN程度の土圧が作用していることが確認できる。一方、控え杭は押込側、引抜側ともにほとんど土圧が作用していないことが確認できる。以上の検討より、骨組モデルの改良に着手するにあたり、土圧の影響はそれほど大きくないということが確認された。



(a) 前面矢板に作用する土圧の差分



(b) 控え杭（押込側）に作用する土圧の差分



(c) 控え杭（引抜側）に作用する土圧の差分

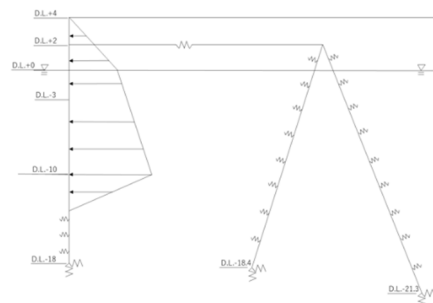
図-5.7 部材に作用する土圧の差分

表-5.8 前面矢板の水平方向地盤ばねに着目した検討条件

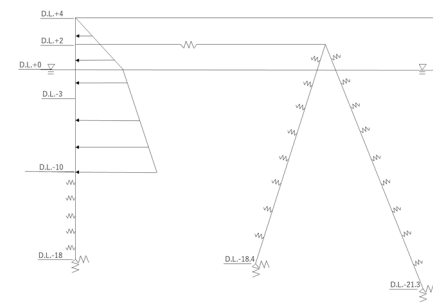
Case1	主働土圧と受働土圧のつり合い点までは水平方向地盤ばねを作用させず、代わりに主働土圧から受働土圧を差し引いた土圧を作用させる
Case2	矢板の水平方向地盤ばねを1/2の値に設定
Case3	矢板の水平方向地盤ばねを1/20の値に設定

5.4.3 前面矢板に着目した検討

5.4.1で述べたとおり、FLIPの解析結果と骨組モデルの解析結果を比較すると、モーメント反曲点の位置が海底面を境に異なっていることが確認される。過去に行われた模型実験の結果（例えば、森川ら（2011））などから、一般的に反曲点は海底面下に発生すると考えられる。そこで、骨組モデルをどのように改良すれば、反曲点が海底面下に生じるのかを検討する。現在の骨組モデルでは、根入れ部分の地盤反力が大きいことが、海底面より上に反曲点が発生している原因の一つであると推定される。そのため、根入れ部分の水平方向地盤ばねに着目し、表-5.8に記載する3ケースの解析を行った。図-5.8に解析モデルのイメージ図を示す。Case2とCase3は水平方向地盤ばねの値を変えるだけであるため、解析モデル図は同じである。控え杭の水平方向地盤ばねの値は各ケースで一定とした。解析結果を図-5.9に示す。図-5.9より、Case1はFLIP解析結果のモーメント分布と概ね同じで、モーメント反曲点の位置が海底面下であることが確認できる。Case2は海底面上に反曲点があることが確認でき、Case3は反曲点が海底面下になるが、負のモーメントが小さくなることを確認できる。Case2とCase3は、ばね値の調整を行っているだけであり、設定の根拠は薄い。Case1は解析モデルの設定方法に根拠となる考え方があり、解析結果も良好であるため、Case1が適切ではないかと考えられる。



(a) Case1イメージ図



(b) Case2とCase3イメージ図

図-5.8 前面矢板の水平方向地盤ばねに着目した解析イメージ図

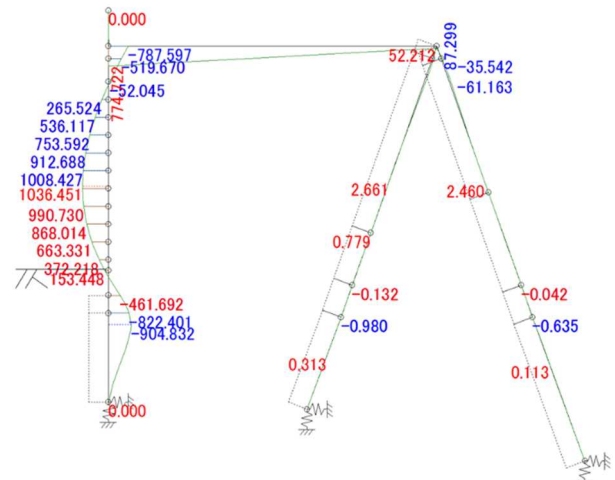
5.4.4 控え杭に着目した検討

(1) 水平方向地盤ばねに着目した検討

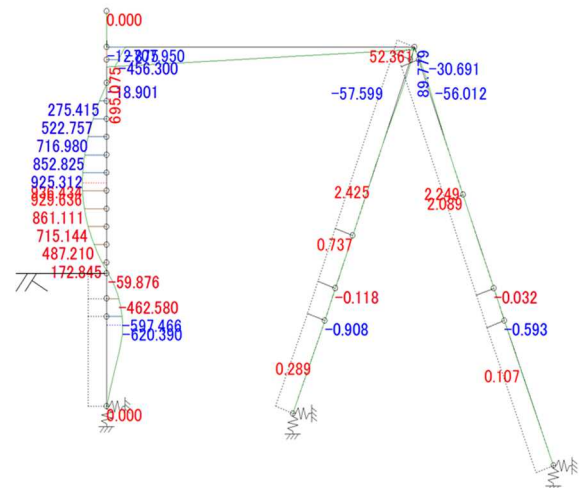
5.4.1で述べたとおり、骨組モデルによって算出された控え杭の軸力は、現在の設計法やFLIPの解析結果と比較して、大幅に小さくなっていることが確認される。骨組モデルの軸力が大幅に小さくなっている理由として、タイ材の張力が控え杭に十分伝わっていない、控え杭周辺の水平方向地盤ばねの影響が大きすぎる、ということが挙げられる。そのため、水平方向地盤ばねに着目して、表-5.9に記載する3ケースの検討を行った。図-5.10に解析モデルのイメージ図を示す。Case1の杭頭部(上部工内)の水平方向地盤ばねの値は100,000kN/m²としている。その他の水平方向地盤ばねの値は各ケースで一定である。解析結果を図-5.11~図-5.13に示す。控え杭の軸力に着目すると、Case3の結果が現行の設計法やFLIPの解析結果と近いことが確認できる。一方、控え杭の変位に着目すると、Case3では杭頭付近の変位が非常に大きくなっていることが確認できる。この結果だけからでは、どのケースが最適なのか判断できないため、他の部材に着目した検討を進めていく。

(2) 鉛直方向地盤ばねに着目した検討

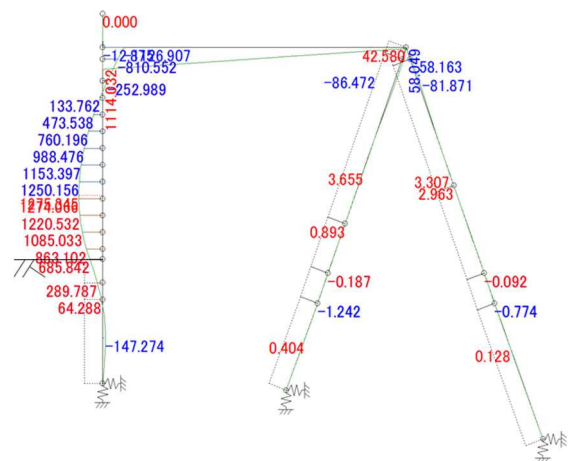
5.3で述べたように、今回のFLIP解析ではFLIPコンソシアムで提案されている杭の周面抵抗力を考慮した手法を使用している。一方、骨組モデルは周面抵抗力を考慮したモデルとなっていない。また、港湾施設の設計の実務において、静的な設計で周面抵抗力を考慮した事例はあまり見受けられない。そこで、骨組モデルで周面抵抗力を考慮すると、どのような挙動が得られ、軸力にどのような影響を与えるのかを確認することとした。周面抵抗力は鉛直方向地盤ばねとしてモデル化することにするが、港湾基準では鉛直方向地盤ばねの設定方法について適当な方法が記載されていない。ここでは、参考として、鉄道構造物等設計標準・同解説と道路橋示方書・同解説を参考にモデル化することを試みた。鉛直方向地盤ばねは鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物を参考に式(4)のとおり設定する。ここでは、地盤修正係数 ρ_{gk} は1.0とする。鉛直方向地盤ばねを算出するために必要となる変形係数は道路橋示方書・同解説 IV下部構



(a) Case1のモーメント分布図



(b) Case2のモーメント分布図

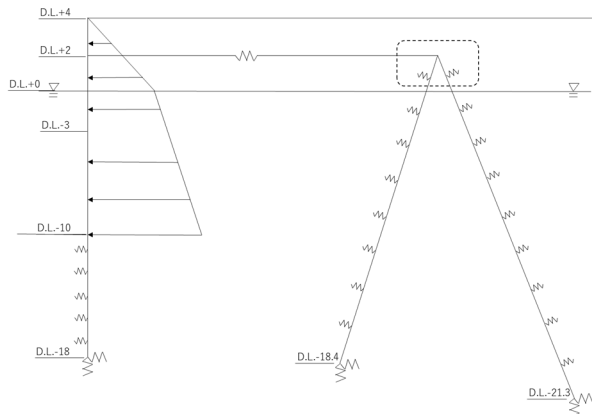


(c) Case3のモーメント分布図

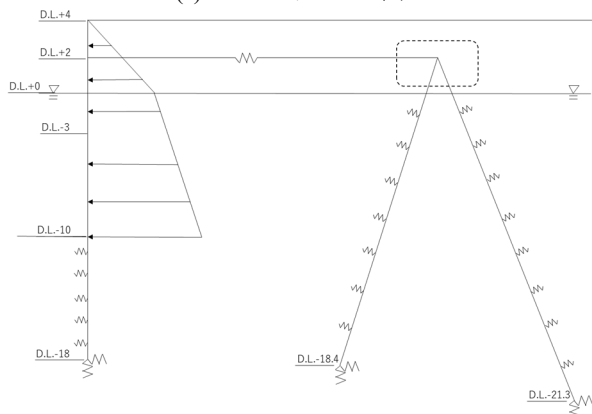
図-5.9 前面矢板の水平方向地盤ばねに着目した解析結果

表-5.9 控え杭の水平方向地盤ばねに着目した検討条件

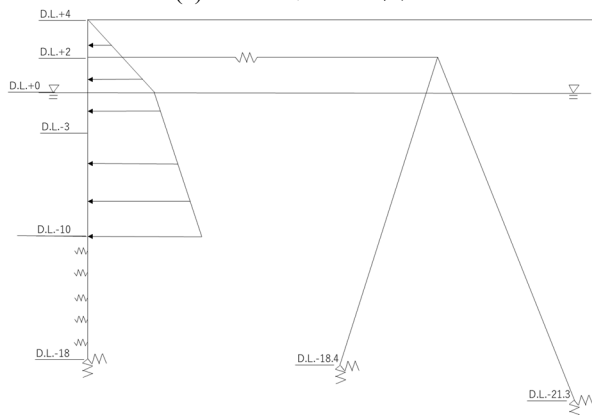
Case	検討条件
Case1	控え杭頭部(上部工範囲内)の水平方向地盤ばねを強く設定
Case2	控え杭頭部(上部工範囲内)の水平方向地盤ばねを削除
Case3	控え杭全体の水平方向地盤ばねを削除



(a) Case1イメージ図

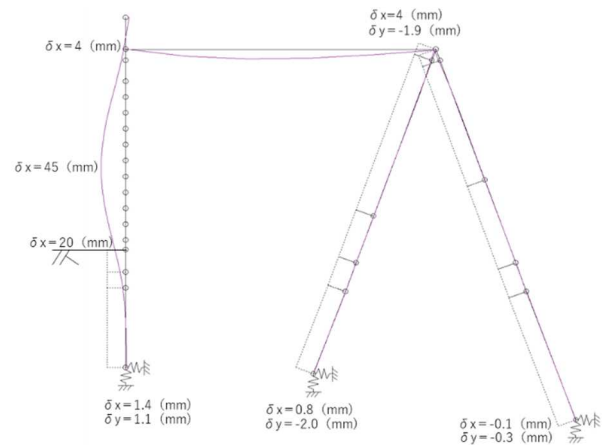


(b) Case2イメージ図

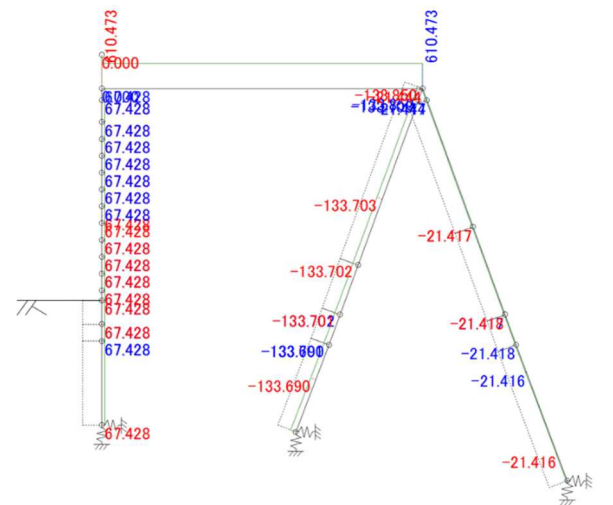


(c) Case3イメージ図

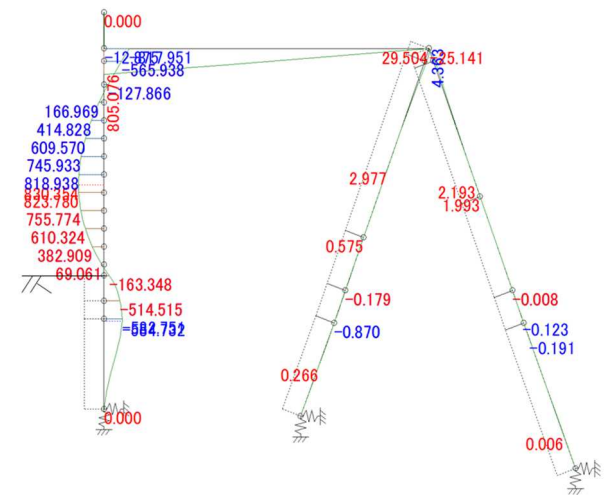
図-5.10 控え杭の水平方向地盤ばねに着目した解析イメージ図



(a) 変形図

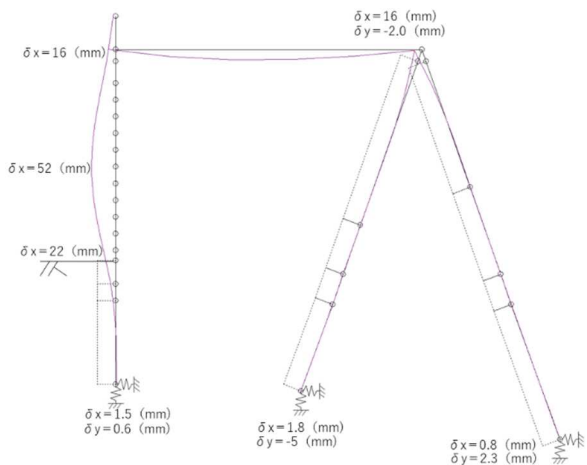


(b) 軸力分布図

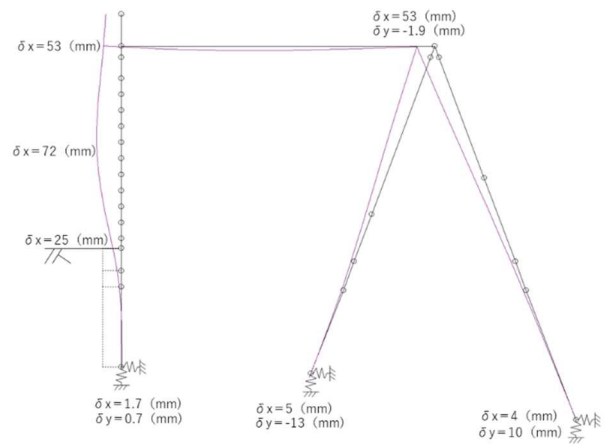


(c) モーメント分布図

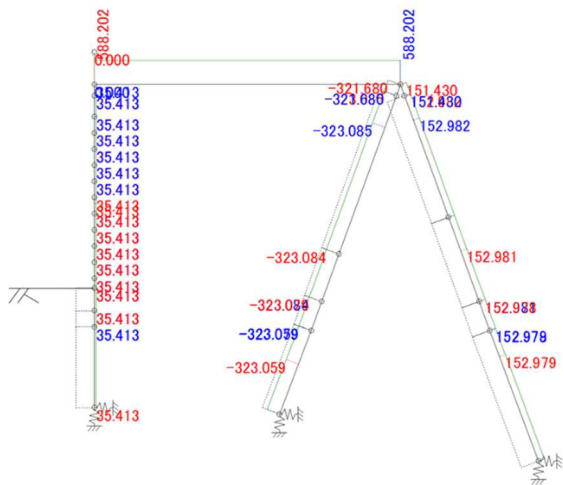
図-5.11 控え杭の水平方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case1)



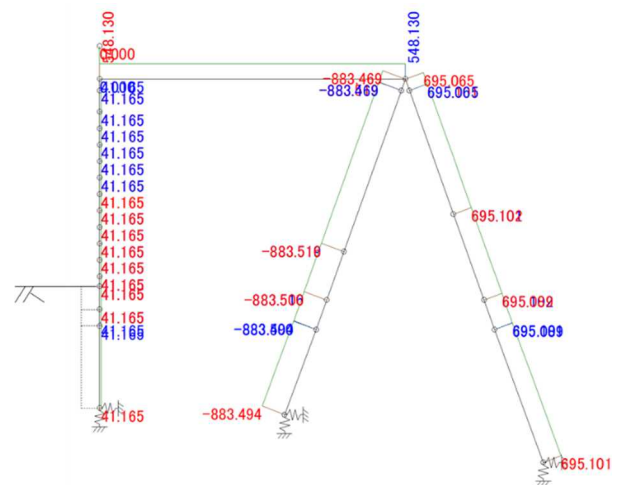
(a) 変形図



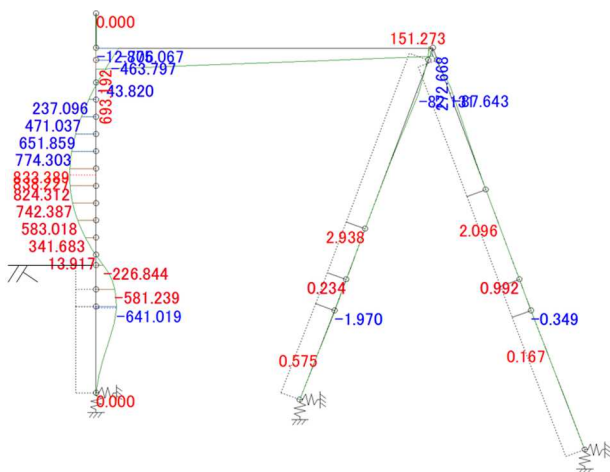
(a) 変形図



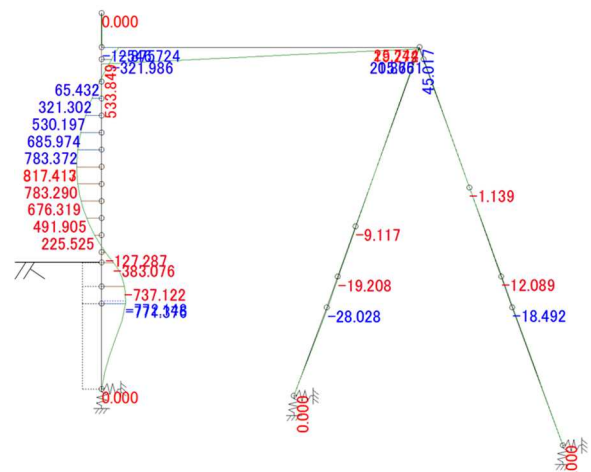
(b) 軸力分布図



(b) 軸力分布図



(c) モーメント分布図



(c) モーメント分布図

図-5.12 控え杭の水平方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case2)

図-5.13 控え杭の水平方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case3)

造編を参考に式 (5) のとおり設定した。

$$k_{tv} = 0.2\rho_{gk}Ed \quad (4)$$

$$E_0 = 2800N \quad (5)$$

ここで、

k_{tv} : 鉛直方向地盤ばね, ρ_{gk} : 地盤修正係数,

E_d : 変形係数の設計用値, E_0 : 変形係数, N : N値

設定した鉛直方向地盤ばねの値を表5.10に示す。本来は様々な基準から部分的な引用をすべきではないが、試験検討の最初の手掛りとして利用可能な基準から引用することにした。本手法を実務に展開するときには、これらの引用に問題が無いかを確認する必要がある。

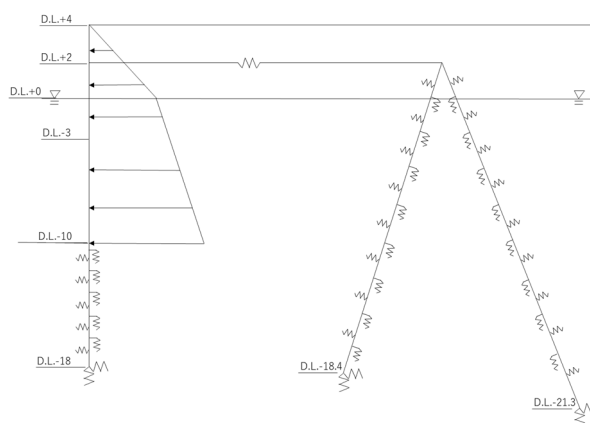
検討ケースについては表5.11のとおり3ケースとした。解析モデルのイメージ図を図-5.14に、解析結果を図-5.15~図-5.17に示す。控え杭は軸力の作用に対して、周面抵抗力と先端の支持力で抵抗していることから、本来はFLIPの解析結果のように、杭の先端に向けて軸力は低減しているはずである。鉛直方向地盤ばねを設定したCase1とCase2では、杭の先端に向けて軸力が低減している挙動を確認できる。Case1とCase2はいずれも杭頭付近で軸力の最大値が発生しており、FLIP解析によって得られた最大値と比較すると、Case2の結果と近い値となっている。今回の検討条件では軸力が支配的であったため、Case2の解析結果がFLIPの解析結果と近い値となっている可能性がある。場合によっては、Case1が最適である可能性もあるため、モデル化の条件ごとに検討が必要であると考えられる。これらのことから、ここでは、骨組モデルの控え杭にはCase2のとおり、水平方向地盤ばねを設定せず、鉛直方向地盤ばねを設定するのがよいのではないかと考えられる。

表-5.10 鉛直方向地盤ばね算出結果

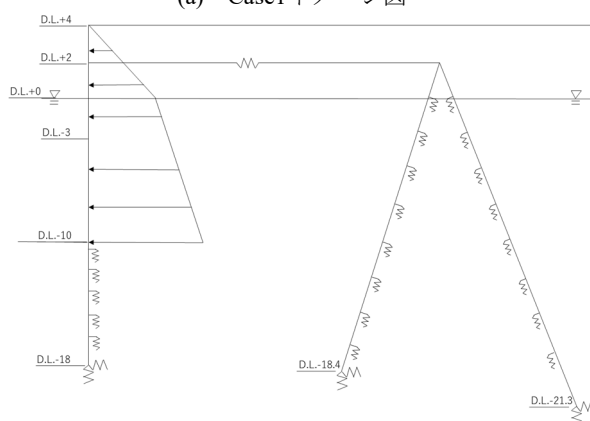
標高DL (m)		N値	変形係数 (kN/m ²)	鉛直方向地盤反力係数 (kN/m ³)	鉛直方向地盤ばね (kN/m ²)	
上端	下端				前面矢板	控え杭
4	-10	12.6	35280	7056	14112	11261
-10	-12	9.2	25760	5152	10304	
-12	-13	8.3	23240	4648	9296	7418
-6	-11.2	2.1	5880	1176		1877
-13	-20.5	26.2	73360	14672	29344	23415

表-5.11 鉛直方向地盤ばねに着目した検討条件

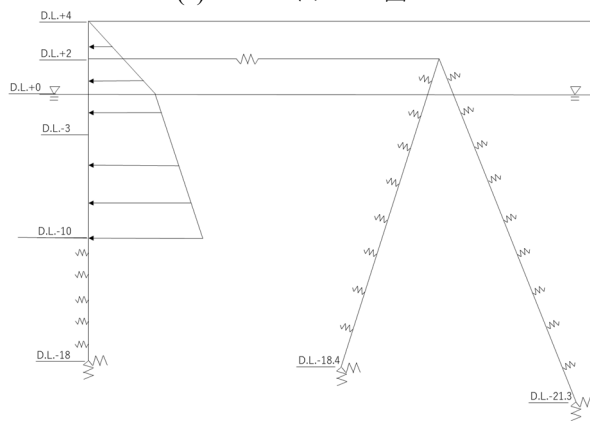
Case1	水平方向地盤ばねと鉛直方向地盤ばねを両方作用させたモデル
Case2	鉛直方向地盤ばねのみを作用させたモデル
Case3	水平方向地盤ばねのみを作用させたモデル



(a) Case1イメージ図

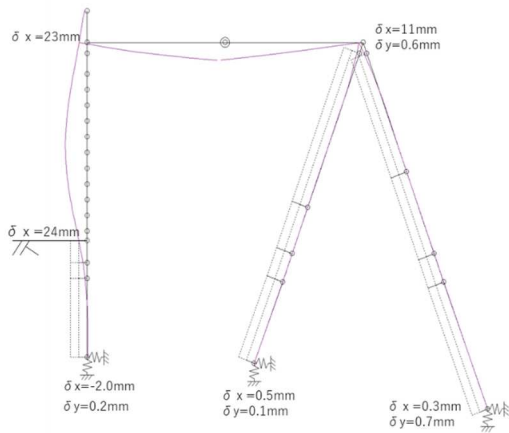


(b) Case2イメージ図

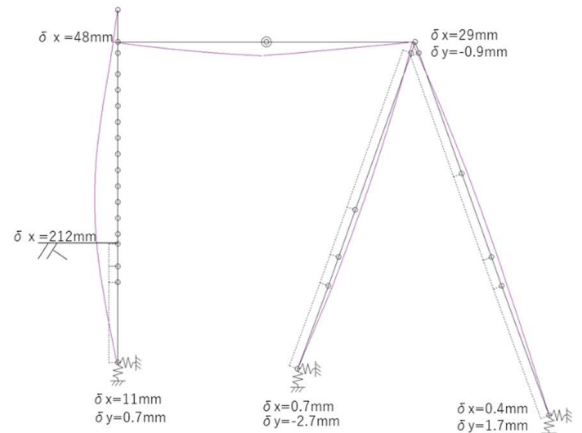


(c) Case3イメージ図

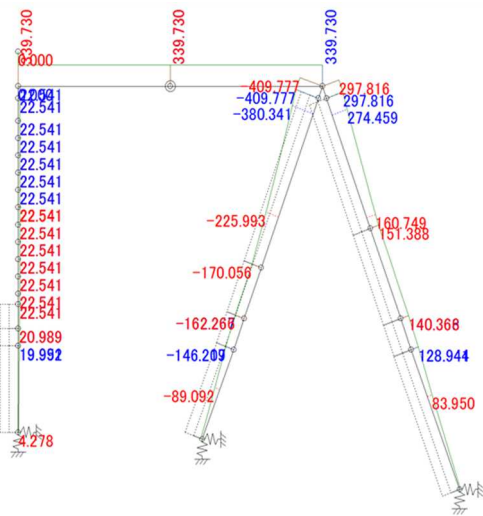
図-5.14 鉛直方向地盤ばねに着目した解析イメージ図



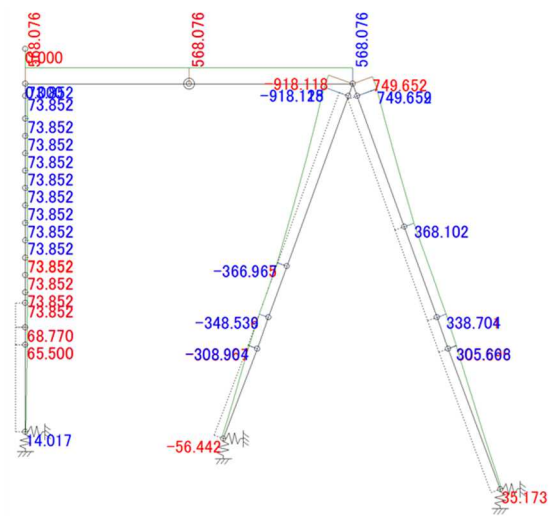
(a) 変形図



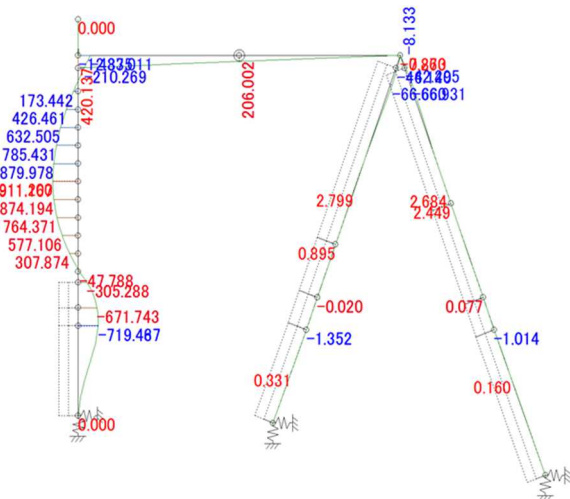
(a) 変形図



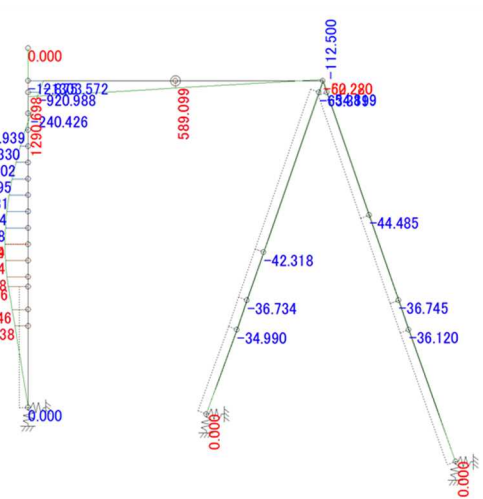
(b) 軸力分布図



(b) 軸力分布図



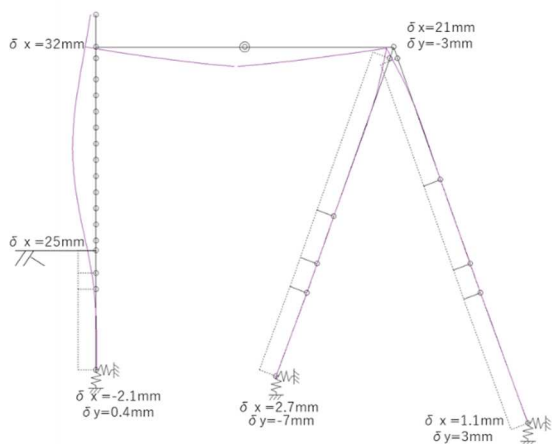
(c) モーメント分布図



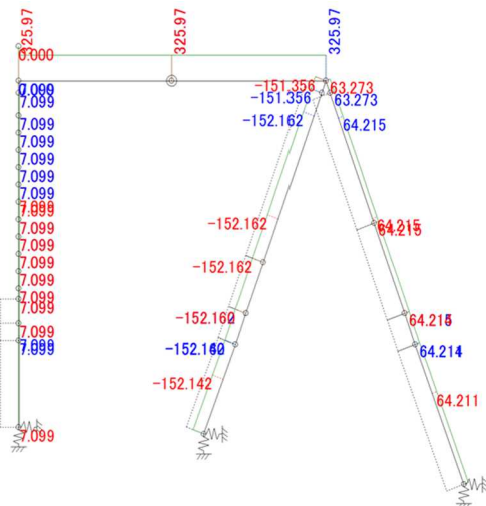
(c) モーメント分布図

図-5.15 鉛直方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case1)

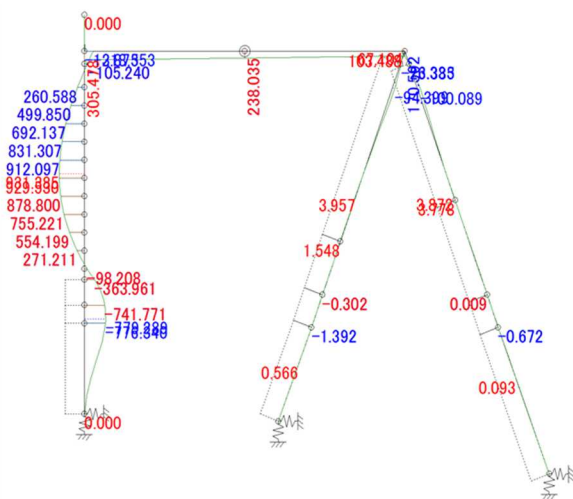
図-5.16 鉛直方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case2)



(a) 変形図



(b) 軸力分布図



(c) モーメント分布図

図-5.17 鉛直方向地盤ばねに着目した解析結果 (Case3)

5.4.5 構造系の挙動 (変形モード) に着目した検討

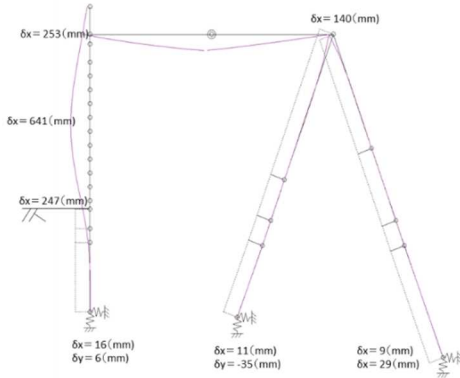
構造物は作用する荷重の大きさによって構造系の挙動 (変形モード) が変わることがあり, これまでの検討では比較的小さな荷重を作用させてきた. ここでは, 大きな荷重が作用した際に骨組モデルによる解析とFLIPによる解析で, 構造系の挙動 (変形モード) にどのような違いが生じるのかを確認する. 荷重は地震動による作用を通常よりも大きくして設定する. 骨組モデルによる解析で前面矢板に作用させる荷重は, 変動状態の土圧を10倍したものとした. FLIPによる解析ではレベル1地震動の振幅を10倍にした地震波を作用させることとした. その他の解析条件や解析モデルは5.2と同様である. 変形モードを図-5.18に, FLIPによる変位算定結果を表-5.12に示す. 骨組モデルによる解析は線形解析であるため, 荷重を10倍したことで変位量も10倍となっていることが確認できる. FLIPによる解析は入力地震動の振幅を10倍すると, 変位量が10倍程度となっている. 作用が大きくなっても, タイ材取付点と海底面の間付近で矢板に大きなはらみが発生するという変形モードは, 骨組モデルによる解析とFLIPによる解析で変わらないことが確認できた. 一方で, 骨組モデルによる解析とFLIPによる解析では変位量の差が大きいことも確認された.

5.4.6 骨組モデルの提案

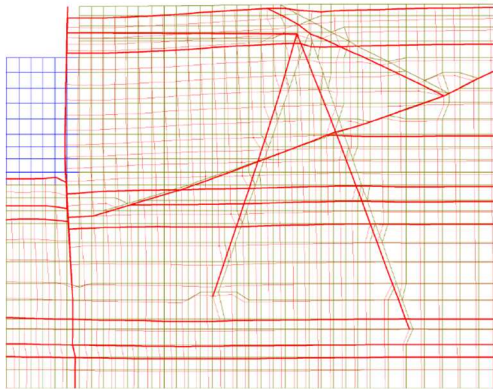
骨組解析とFLIPの整合を図るために, 5.4.1~5.4.5で前面矢板と控え杭, 構造系の変形モードに着目した検討を行った. これらの検討の結果をまとめると, 図-5.19のようになる. 前面矢板のモデル化の改良点は, モーメント反曲点が海底面下で発生するように, 主働土圧と受働土圧のつり合い点までは水平方向地盤ばねを作用させず, 代わりに主働土圧から受働土圧を差し引いた土圧を作用させることである. 控え杭のモデル化の改良点は, 杭の先端に向かうにつれて軸力が低減する様子を再現できるように, 水平方向地盤ばねではなく鉛直方向地盤ばねを作用させることである. また, タイ材の張力を控え杭に伝達できるよう杭頭付近の鉛直方向地盤ばねは削除している. 提案する骨組モデルの解析結果を図-5.20に示し, FLIPの解析結果を図-5.21に再掲する. ここで示しているFLIPの解析結果は残留値ではなく, 最大値である. また, 表-5.7に改良した骨組モデルの解析結果を追記したものを表-5.13に示す.

解析結果を比較すると, 改良骨組モデルの軸力と曲げモーメントの数値や分布はFLIPの解析結果に似たような結果となっていることが確認できる. 一方, 変位に着目すると, 変形モードは概ね同じであるが, 変位が大きく

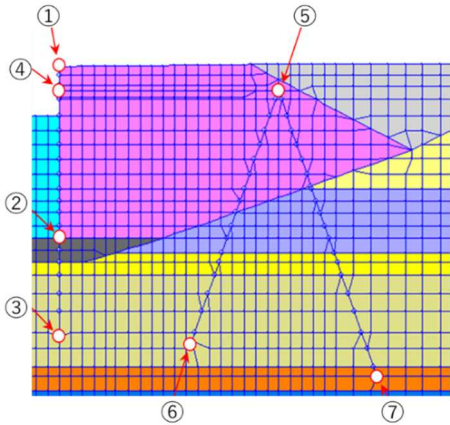
異なっていることが確認できる。これは、構造物と地盤が一体となり変位するような地盤全体の変位など、骨組解析ではどうしても表現できないものがあるためと考えられる。今後、地盤全体の変位が考慮できるように、背後地盤に着目した詳細な検討を行う必要がある。変位が大きく異なるという課題は残っているが、簡易的な検討を行う際の1つの手段として図-5.19のような骨組解析モデルが活用できるものと思われる。



(a) 骨組解析による変形図



(b) FLIP解析による変形図



(c) FLIP解析の変位出力位置
図-5.18 変形モードの比較

表-5.12 FLIPによる変位算定結果

位置	残留変位 (mm)		最大変位 (mm)	
	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向
①	963	34	1305	48
②	1057	34	1412	48
③	596	34	872	48
④	1013	34	1368	48
⑤	1025	143	1363	183
⑥	469	341	764	402
⑦	318	-94	623	-115

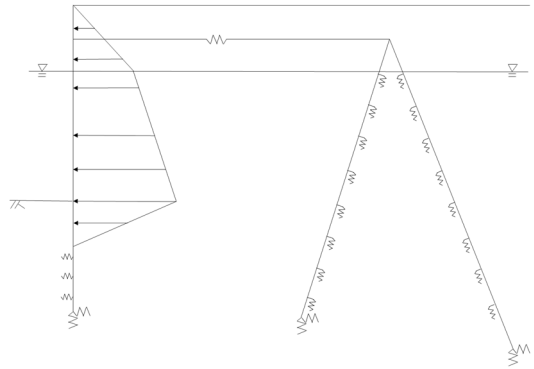
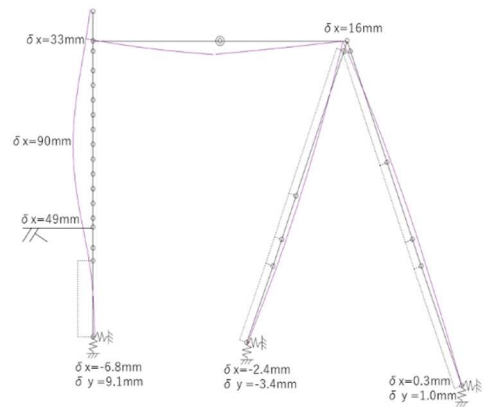
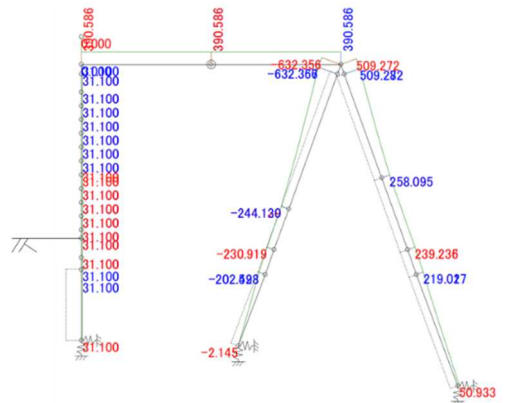


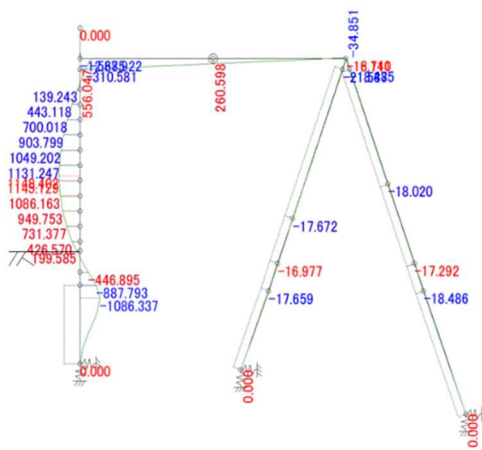
図-5.19 提案する骨組モデル



(a) 変形図

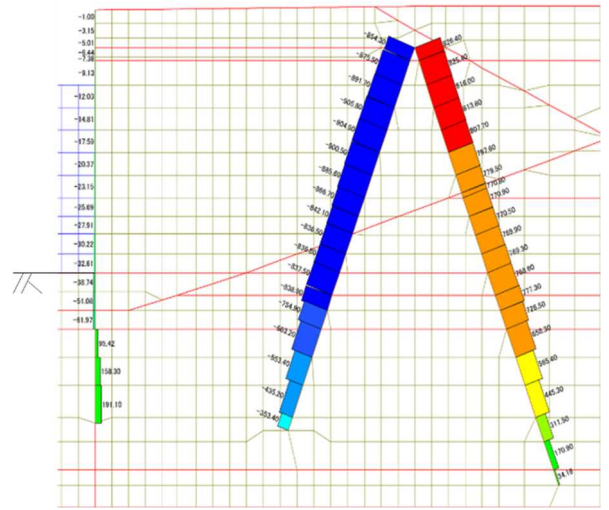


(b) 軸力分布図

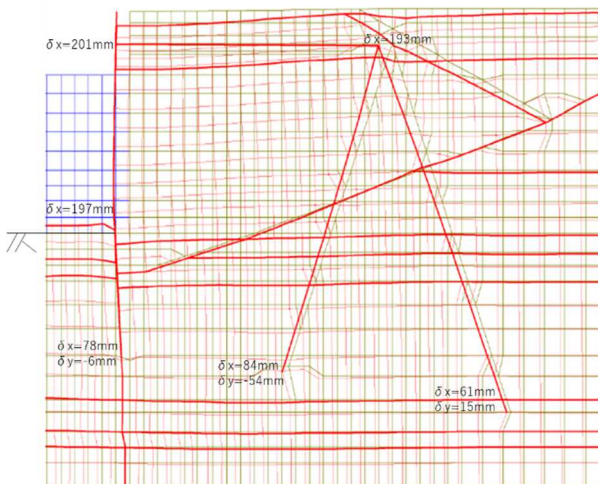


(c) モーメント分布図

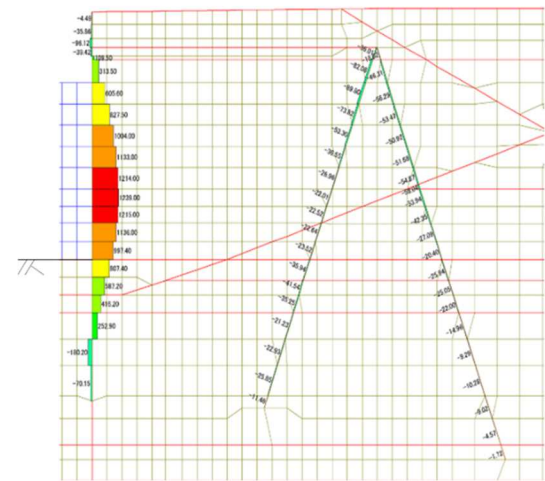
図-5.20 提案骨組モデルの解析結果



(b) 軸力分布図



(a) 変形図



(c) モーメント分布図

図-5.21 FLIPの解析結果

表-5.13 解析結果の比較表

	前面矢板		タイ材	控え杭							
	最大水平変位 (mm)	最大モーメント (kN・m)	最大軸力 (kN)	最大軸力 (押込側) (kN)	最大軸力 (引抜側) (kN)	杭頭部の最大水平変位 (mm)	杭頭部の最大鉛直変位 (mm)	杭下端 (押込側) の最大水平変位 (mm)	杭下端 (押込側) の最大鉛直変位 (mm)	杭下端 (引抜側) の最大水平変位 (mm)	杭下端 (引抜側) の最大鉛直変位 (mm)
現在の設計法	59	1404.9	553.4	935.8	766.2						
FLIP	197	1239		905.8	826.4	193	-25	84	-54	61	15
骨組解析 (当初)	64	917.4	336.3	119.6	101.7	14	-0.3	1.1	-3.5	0.9	2.9
骨組解析 (改良)	90	1148.4	390.6	632.4	509.3	16	-0.3	-2.4	-3.4	0.3	1.0

5.5 提案モデルによる改良断面の性能照査

5.4で既存断面の骨組解析モデルを提案したが、本節では提案したモデルを改良断面に適用する。試験の作業量の都合で、改良工法は矢板式係船岸の改良工法一覧の中から1つ工法を選定する。工法を選定にあたり着目した条件は「追加部材が多く、既存構造ユニットと新設構造ユニットの相互作用が確認できる」、「提案されている改良設計法が存在し、発生する応力などの整合性の確認が行える」、「模型実験など既往の研究結果があり、解析結果の整合性を確認できる」、「各部材に対して様々なパラメータを変更して検討ができる」である。これらの条件を満たす工法はいくつか挙げられるが、ここでは二段タイ材工法に着目し、検討を進めていく。5章で挙げた検討モデル(図-5.1)、設計条件(表-5.1)に対して、二段タイ材工法を適用した場合の検討を行っていく。

現在、二段タイ材工法は「二段タイ材地下施工法 設計の手引き」を参考に設計されている。この設計方法はフリーアースサポート法と仮想ばり法に基づいた設計手法となっている。設計法の詳細については、「二段タイ材地下施工法 設計の手引き」を参考にされたい。二段タイ材工法のみでは前面矢板の必要根入れ長を満足できなかったため、矢板前面改良工法と組み合わせて必要な根入れ長を満足させた。この設計法により求めた改良断面、照査結果を図-5.22、表-5.14に示す。各部材の応力の作用耐力比を見ると、全体的に余裕が出る結果となっている。一方、引抜側の新設控え杭は支持力の作用耐力比を満足するために、既存の引抜側の控え杭より杭長を7m大きくする必要があるという結果となった。

次に、図-5.22の断面に対して、提案する骨組モデルによる解析を行う。解析モデルのイメージ図を図-5.23に示す。地盤ばねの値などは5章と同じものを用いる。解析結果の比較のため、FLIPによる解析も行った。解析結果を図-5.24、図-5.25に示す。骨組解析とFLIPの解析結果に着目すると、5章で課題に挙げたように変位は大幅に異なっているが、軸力、モーメントの分布や数値については概ね整合しているといえる。全体系の挙動についても変位量に大きな差はあるが、矢板や控え杭の下端に対して地表面付近の構造が大きく動いている状況は再現できている。この提案モデルの解析結果を用いて、性能照査を行う。部分係数などは平成30年に発刊された港湾基準の値を用いる。なお、今回性能照査を行ったのはL1地震動における変動状態のみである。照査結果を表-5.15に示す。骨組モデルの照査結果より、既設部材の応力に関しては概ね既往の手法と相違ない結果となっていることが確認できる。一方、新設するタイ材と引抜側の控え杭に関し

て既往の設計法と比較すると、提案する骨組モデルでは、タイ材はタイワイヤーで考えた場合、2ランクダウン、引抜側の控え杭は9m短くすることが可能であった。これらの結果より、提案手法ではより経済的な設計ができる可能性があると言える。ただし、提案する骨組モデルでは前面矢板の必要根入れ長を求めることができない、変位が本来よりも小さく算出されるといった課題が残っている。

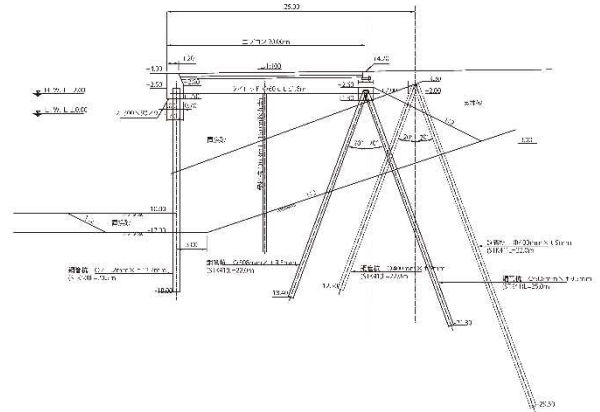


図-5.22 改良断面の算定結果

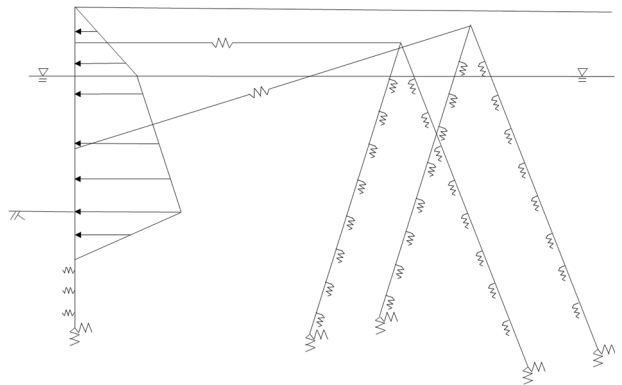


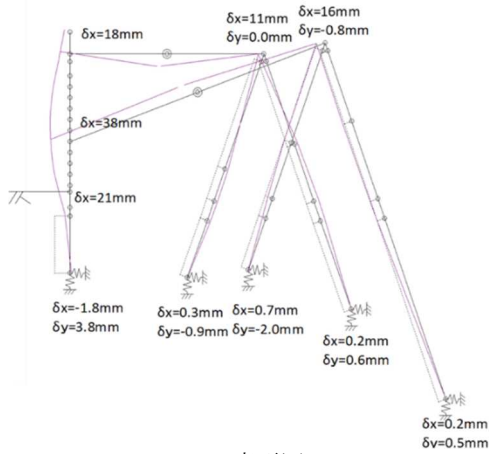
図-5.23 二段タイ材工法の骨組モデルのイメージ図

表-5.14 既存設計法の照査結果

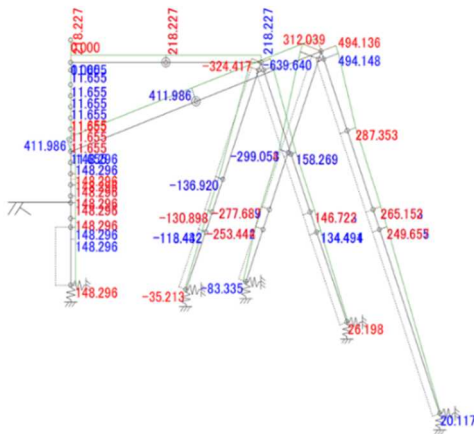
照査項目		変動状態
前面矢板	作用耐力比	$0.284 \leq 1.0$
	必要根入深度	$0.987 \leq 1.0$
タイロッド	作用耐力比	$0.372 \leq 1.0$
新設タイ		$0.883 \leq 1.0$
腹起し		$0.404 \leq 1.0$
既設控え杭 (応力)	押込側	$0.144 \leq 1.0$
	引抜側	$0.120 \leq 1.0$
既設控え杭 (支持力)	押込側	$0.226 \leq 1.0$
	引抜側	$0.389 \leq 1.0$
新設控え杭 (応力)	押込側	$0.400 \leq 1.0$
	引抜側	$0.294 \leq 1.0$
新設控え杭 (支持力)	押込側	$0.732 \leq 1.0$
	引抜側	$0.950 \leq 1.0$

表-5.15 提案する設計法の照査結果

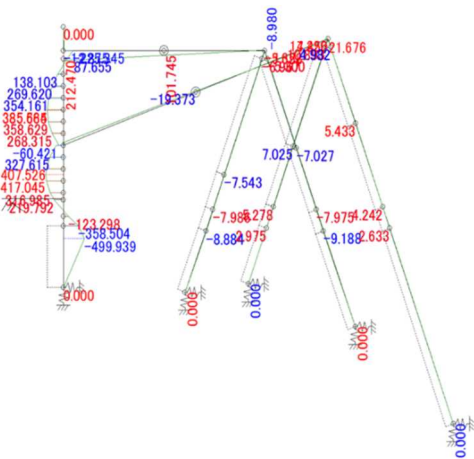
照査項目		変動状態
前面矢板	作用耐力比	$0.274 \leq 1.0$
	必要根入深度	
タイロッド	作用耐力比	$0.513 \leq 1.0$
新設タイ		$0.858 \leq 1.0$
腹起し		$0.310 \leq 1.0$
既設控え杭 (応力)	押込側	$0.180 \leq 1.0$
	引抜側	$0.355 \leq 1.0$
既設控え杭 (支持力)	押込側	$0.165 \leq 1.0$
	引抜側	$0.979 \leq 1.0$
新設控え杭 (応力)	押込側	$0.160 \leq 1.0$
	引抜側	$0.253 \leq 1.0$
新設控え杭 (支持力)	押込側	$0.331 \leq 1.0$
	引抜側	$0.948 \leq 1.0$



(a) 変形図

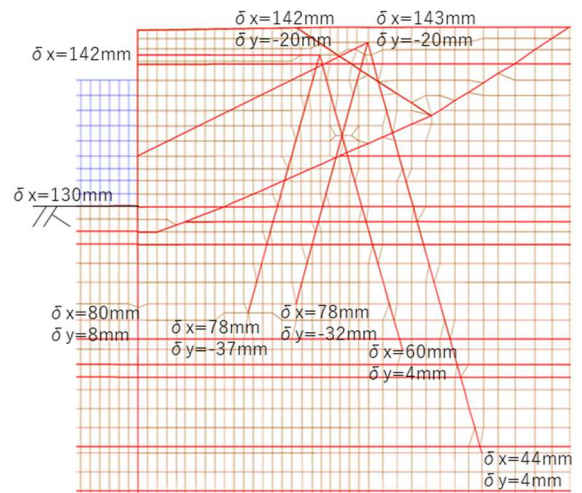


(b) 軸力分布図

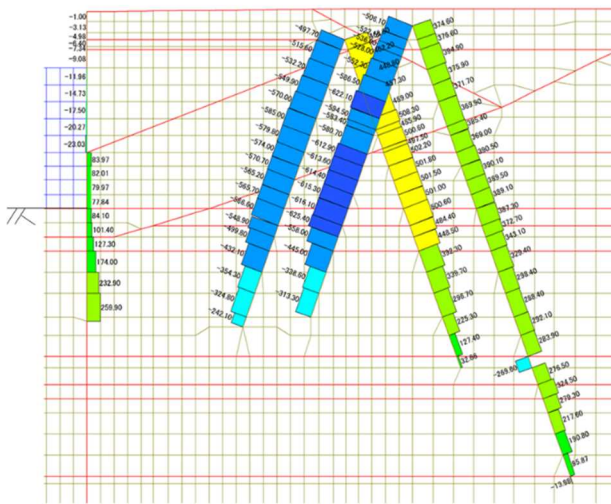


(c) モーメント分布図

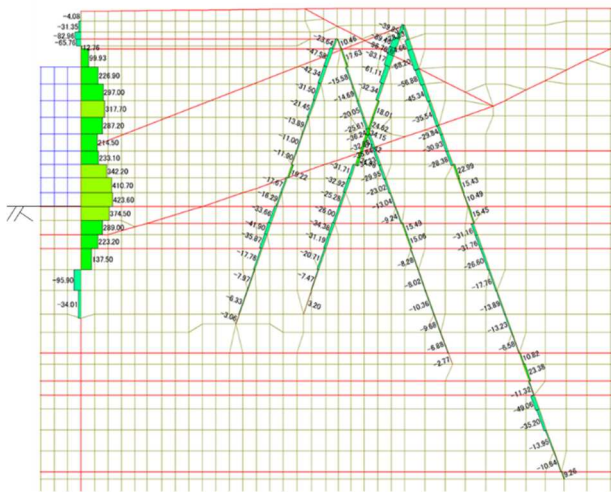
図-5.24 提案骨組モデルの解析結果



(a) 変形図



(b) 軸力分布図



(c) モーメント分布図
図-5.25 FLIPの解析結果

6. 施工手順を考慮した検討

6.1 本章の概要

施工時に関する検討として、タイ材設置前の自立状態の前面矢板に対して性能照査を行うことはあるものの、背後土砂の埋立やタイ材設置の順序を考慮するような施工過程の影響は一般的に考慮されない。しかし、実際は施工過程が違えば各部材に作用する荷重や発生応力が変化するため、完成時に各部材に残留する変位や応力が異なったものになる。つまり、施工手順の違いによって、設計者が想定していない変位や応力が発生し、構造物が不安定になっている可能性がある。そこで、断面鉛直方向については5章で提案した骨組解析モデルを参考に使用し、水平方向については別途提案する骨組みモデルを使用することで、各部材に発生する変位や応力に及ぼす施工過程の影響を検討した。なお、本検討は実際の施工を想定しているわけではなく、施工手順の違いによりどの程度変位や応力差が生じるのかを示すため、施工手順を簡略化して検討を進める。

6.2 埋立の段階を考慮した検討

一般的な矢板式係船岸の施工手順は(1)前面矢板の打設、(2)控え工の打設、(3)タイ材の設置、(4)裏埋土砂の投入(場合によっては裏込石の投入を含む)、(5)上部工打設・エプロン舗設である。ここでは、(4)裏埋土砂の投入に着目した検討を行う。前面矢板背後に段階的に土砂を投入した場合の各部材に生じる変位の蓄積を重ね合わせることで、施工完了時の変位を求めることを試みる。本解析は図-6.1に示すA港の断面を対象に行い、

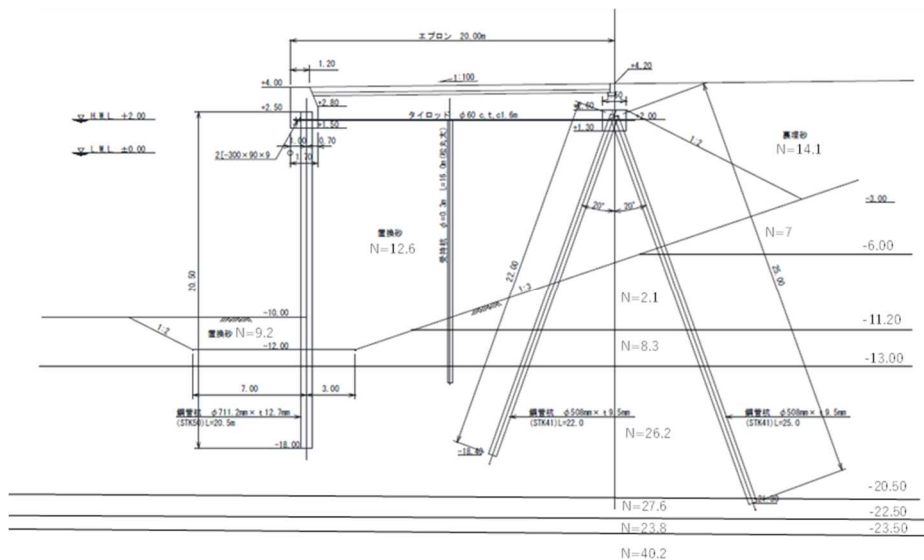


図-6.1 A港の断面図(図-3.2の再掲)

設計条件については表-6.1のとおりとする。ここで使用する骨組解析モデルは解析を簡易にするため、前面矢板の主働土圧と受働土圧のつり合いを考慮せず、前面矢板根入れ部全体に水平方向地盤ばねを与えている。また、控え工に設置する地盤ばねを水平方向地盤ばねとしている。5章で提案したモデルと異なっているので注意されたい。検討は次の3ケースについて行い、それぞれのケースのイメージ図を図-6.2に示す。

(1) Case1：現行の設計法

仮想ばり法はタイ材取付点と海底面を支点とし、地表面から海底面まで土圧及び残留水圧が作用する単純ばりと仮定して、矢板の最大曲げモーメントとタイ材取付点反力を求める方法である。タイ材取付点と海底面を支点としているため、タイ材取付点と海底面では変位が発生しない。

(2) Case2：施工過程を非考慮

岸壁全体をモデル化することでタイ材取付点などの部材接合部や海底面の変位が考慮される、5章で提案したモデルを一部修正したものを使用する。

(3) Case3：施工過程を考慮

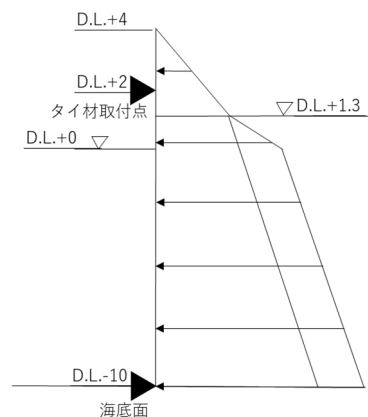
Case2同様、骨組解析モデルは5章で提案したモデルを一部修正したものを使用する。解析では土砂投入を2段階に分けて行った。最初に、STEP1として海底面から完成天端の中間の高さまで土砂が投入された場合の解析を行う。前面矢板に作用させる土圧は図-6.2(c-1)のとおりである。

次に、STEP2として完成天端の中間高さから天端まで土砂が投入された場合の解析を行う。STEP2で前面矢板に作用させる土圧は前面矢板全体に作用する土圧からSTEP1で作用させた土圧を差し引いたものである。STEP2では残留水圧も考慮している。前面矢板に作用させる土圧は図-6.2(c-2)のとおりである。最終的な変位はSTEP1とSTEP2の計算結果を重ね合わせることで求める。

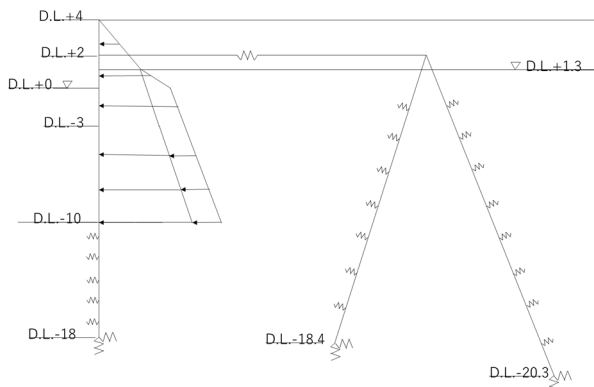
Case1～Case3で得られた前面矢板のたわみ（水平変位）と最大曲げモーメントの計算結果を表-6.2に、構造物全体の変形図を図-6.3に示す。タイ材取付点と海底面において、Case1はこれらを支点としているため変位は生じないが、Case2とCase3は大きな変位が生じている。いずれのケースでもたわみが最大となるのはタイ材取付点と海底面の中間付近で、最大たわみ量も同程度となっている。最大曲げモーメントはCase2とCase3で発生する値が小さくなっている。Case2とCase3ではタイ材取付部と海底面に変位が発生するため、前面矢板に生じる断面力が小さくなったものと考えられる。また、Case3のように施工段階を考慮した場合、タイ材取付点周りの変位は大きくなり、海底面付近の変位は小さくなっている。これは、STEP1において控え杭の下部にしか地盤反力が働かない状態で前面矢板が土圧を受けることで、タイ材取付点周りの変位が大きくなり、最終的な変位も大きくなったものと考えられる。

表-6.1 設計条件（表-5.1の再掲）

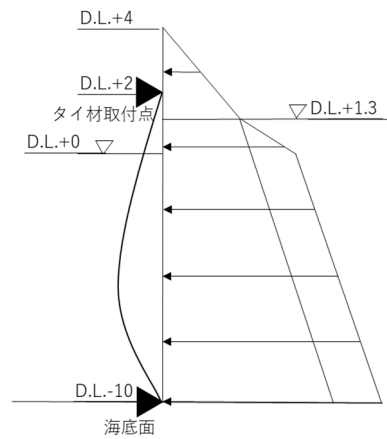
施設条件	当初の適用基準	昭和42年港湾基準
	構造形式	控え組杭式岸壁
	設計延長	64.0m
	岸壁天端高	D.L.+4.0m
	計画水深	D.L.-10.0m
	設計水深	D.L.-10.6m
	経過年数	44年
	設計供用期間	50年
自然条件	設計潮位	H.W.L D.L.+2.00m
		L.W.L D.L.±0.00m
		R.W.L D.L.+1.30m
	土質条件	図-3.2参照
	腐食速度	0.14mm/y
照査用震度	0.18	
材料条件	鋼管矢板	STK50 φ711.2mm t=12.7mm L=20.5m
	タイ材	高張力鋼45 φ60.0mm etc1.6m
	控え工（押込側）	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=22.0m
	控え工（引抜側）	STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=25.0m



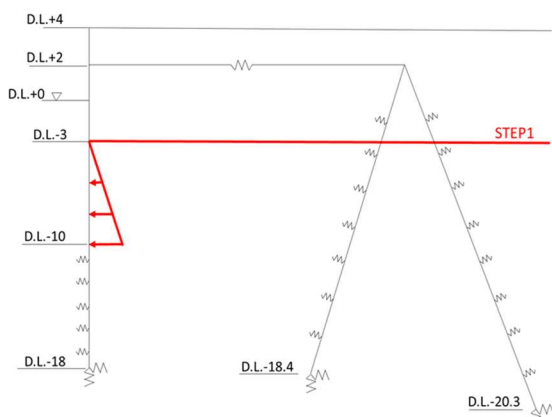
(a) Case1イメージ図



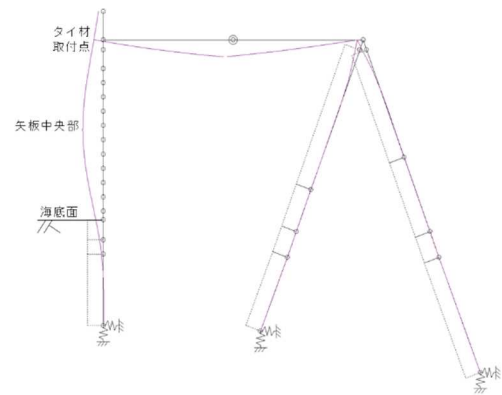
(b) Case2イメージ図



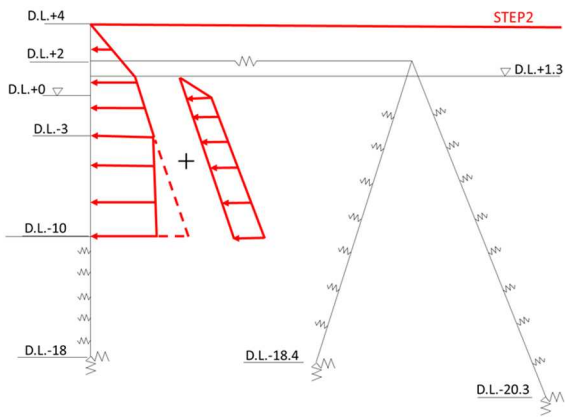
(a) Case1変形イメージ図



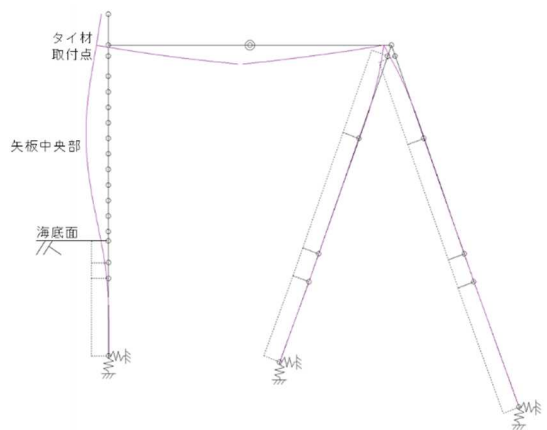
(c-1) Case3イメージ図 (STEP1)



(b) Case2変形イメージ図



(c-2) Case3イメージ図 (STEP2)



(c) Case3変形イメージ図

図-6.2 解析イメージ図

図-6.3 変形イメージ図

表-6.2 たわみと曲げモーメントの計算結果

	Case1	Case2	Case3
タイ材取付点変位 (mm)	0	16	23
矢板中央部変位 (mm)	31	35	36
海底面変位(mm)	0	25	13
最大曲げモーメント (kN・m)	658	478	480

6.3 タイ材の取付順序を考慮した検討

一般的な矢板式係船岸の施工手順は6.2の冒頭で述べたとおりであるが、ここでは、(3) タイ材の設置、(4) 裏埋土砂の投入に着目した検討を行う。具体的には、平面的な骨組解析モデルを作成し、平面的な施工展開の違いによる前面矢板の変形挙動を確認することを試みる。本解析は図-6.1に示すA港の断面を対象に行う。未施工区間は前面矢板が控え工及びタイ材に支えられていない自立状態とし、施工済み区間は前面矢板が控え工、タイ材に支えられ、裏埋土砂の投入によって土圧が作用する状態とする。検討区間は矢板式係船岸を平面的に捉えて、設計延長の64mとする。検討区間は4つに分割し、1区間あたり16m、部材の構成は1区間あたり鋼管矢板20本、控え工とタイ材は10本とした。前面矢板とタイ材は梁モデルとし、前面矢板の継手は鋼管杭・鋼矢板技術協会(2006)を参考に設定した。継手の値は試設計用の値として設定していることに注意されたい。また、5章で示した式(1)、式(2)と同様に、タイ材にはタイ材自体の伸びを再現させるためにばねを設定した。前面矢板の両端と控え工は、作用する荷重に対して十分な耐力を有していると仮定してピン支点とした。検討ケースは検討区間の端部から施工するケース(Case.1)、検討区間の中央から施工するケース(Case.2)の2ケースとした。施工段階(STEP)は合計で4段階とし、各施工段階(各STEP)では0.5区間分の施工を2箇所行うものとした。検討ケースのイメージ図を図-6.4、図-6.5に示す。各STEPの施工区間に対して、裏埋土砂の土圧は等分布荷重として作用するものとする。

解析結果を図-6.6、図-6.7に示す。Case.1の累積変位量の最大値はCase.2の2倍程度となっていることが確認できる。Case.1では、STEP4までタイ材が未施工の中央付近に大きな変位が生じており、累積変位量が大きくなっている。Case.2では、STEP1で中央付近に大きな変位が発生するが、以降のSTEP2～STEP4ではSTEP1を超える変位は発生しなかった。これは、STEP1で施工されたタイ材がばね支点として機能しているからである。

タイ材の取付順序の違いが前面矢板の累積変位量の最大値に影響することを、本検討モデルで確認することができた。また、前面矢板、タイ材、控え工を連成させた平面的な骨組モデルを作成することで、構造物全体の变形挙動を簡易的に推測することができた。なお、本検討はあくまで、おおよそその変位を求める簡易的な骨組解析であるため、実務で本検討モデルを使用するには注意が必要である。

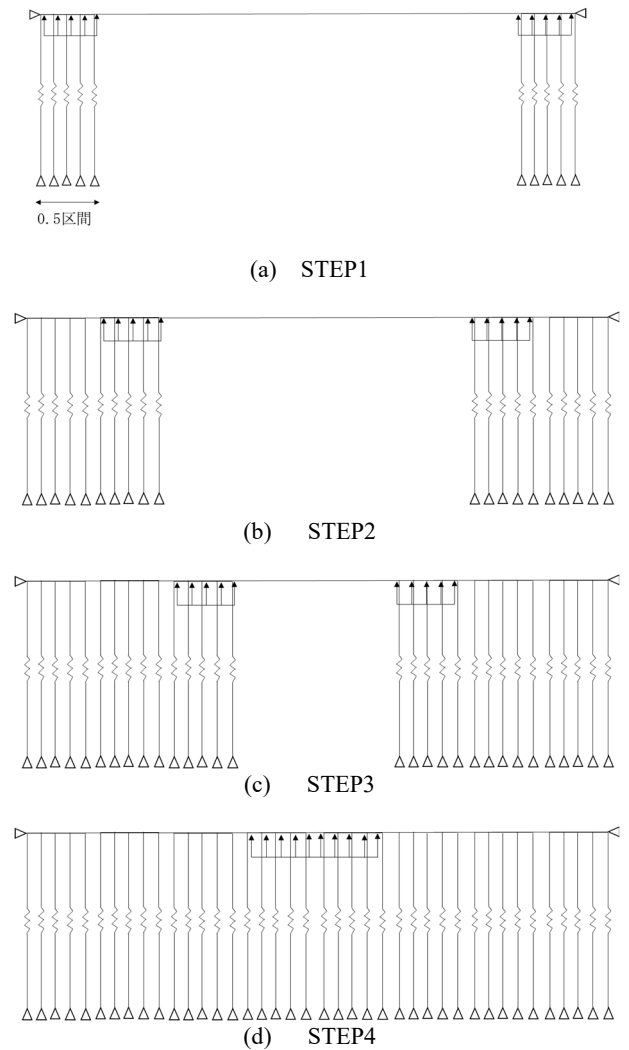
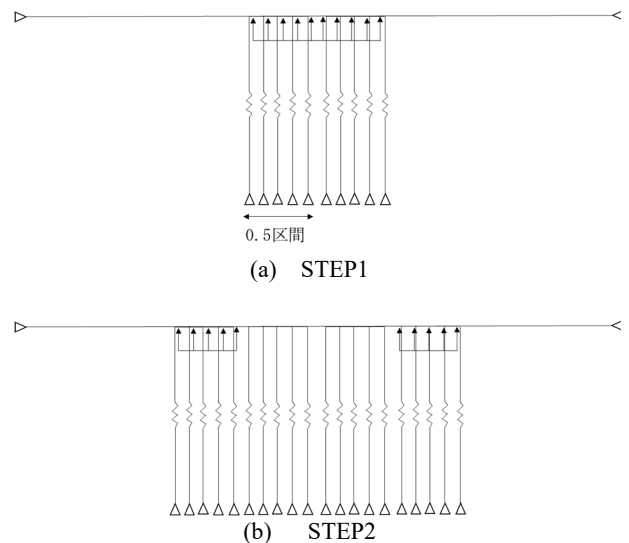


図-6.4 Case1イメージ図



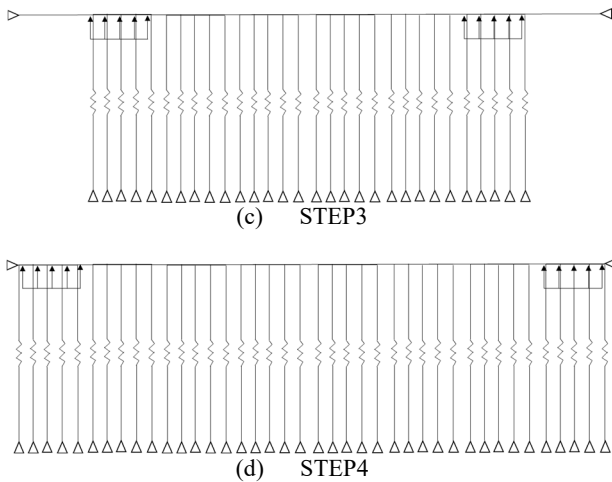
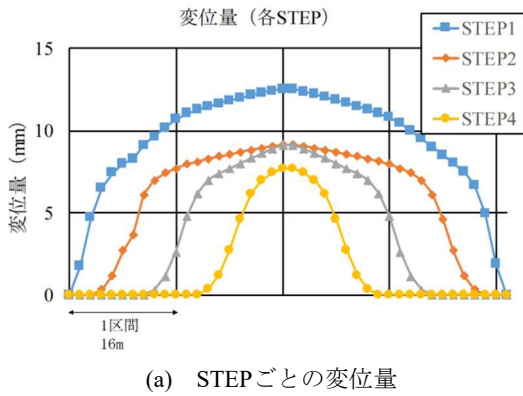
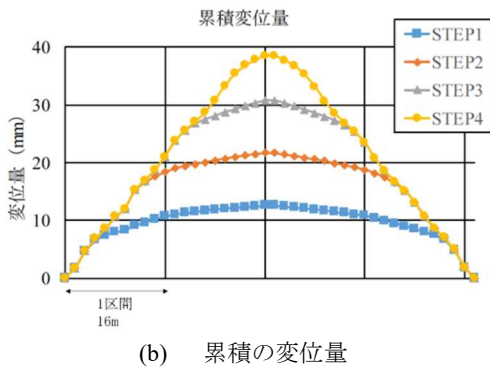


図-6.5 Case2イメージ図

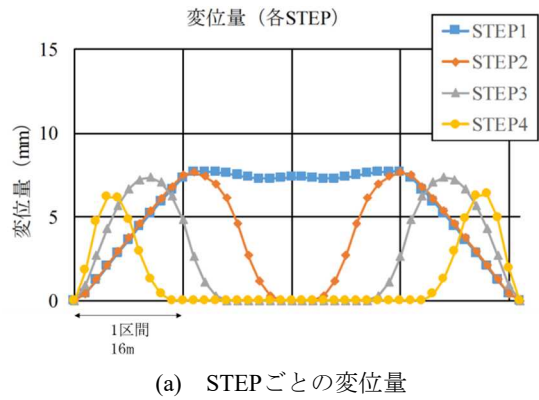


(a) STEPごとの変位量

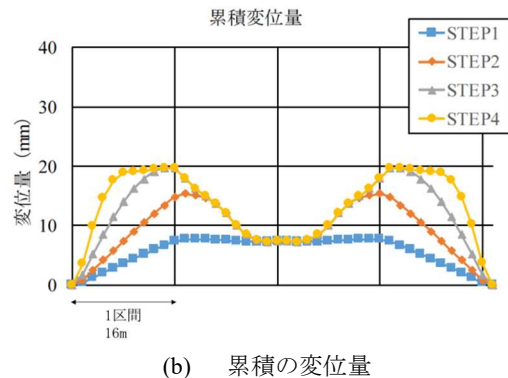


(b) 累積の変位量

図-6.6 Case1解析結果



(a) STEPごとの変位量



(b) 累積の変位量

図-6.7 Case2解析結果

7. おわりに

現在、改良工法の選定方法や設計方法について基準となるものがほとんどなく、個々の設計条件ごとに設計者が手探りで工法選定、設計を行っている。そのため、工法選定時に最も適切な改良工法が見落されている可能性がある。

本研究では、設計者が共通の目線で工法の選定ができるように、田端ら(2017, 2018a, 2018b)が提案している改良設計の考え方に沿って矢板式係船岸の試改良設計を行い、課題の整理を行った。課題の整理の結果、工法選定時に構造物全体の挙動を検討する必要があるが、現行の設計法では部材接続部の変位が算出できないという課題が主なものとして挙げられた。そこで、部材接続部の変位を考慮するために、各部材を連成させた骨組モデルの検討を行った。これを応用して施工過程を考慮できるような骨組解析モデルの検討も行った。本研究の検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 矢板式係船岸の改良設計時に有効な着目点や課題について整理・検討を行った上で、矢板式係船岸の改良設計の検討フローを提案した。ただし、工法選定時に使用する改良工法一覧表をどのように更新、管

理していくかという点は残された課題である。

- (2) 部材接続部の変位を簡易的に把握できるような骨組解析モデルを提案した。そして、二段タイ材工法を例に試検討を行い、提案モデルの適用性を確認した。ただし、動的解析の結果と比較して変位の発生量が小さくなること等については引き続き検討が必要である。
- (3) 矢板式係船岸の施工過程を考慮すると、施工完了時に発生する変位にどの程度影響するのかということをも簡単な解析によって確認した。

近年、船舶の大型化による増深、耐震性能の向上、老朽化への対策など、既存係留施設の改良工事が必要な事例が増加しており、今後はさらに改良工事が増えることが予想されている。設計者は手戻りがないよう共通の視点で改良設計を実施する必要がある。本研究で提案した改良設計フローが活用できると考えられる。なお、ここで提案したフローはまだ試案であり、これを実務において参考・使用していただき、課題や意見を反映したうえでフローの最終版としたいと考えている。

また、改良設計では新規設計より設計や施工の条件が厳しく、構造物が複雑であり、標準的な設計法だと改良設計が成立しないことが多い。本研究で提案した骨組モデルの概念を使用することで、現在よりも経済的な改良断面が成立する可能性がある。骨組解析も試検討段階だが、今後普及を図っていききたい。なお、骨組解析は変動状態までを想定しており、FLIPに置き換わるものではない。L2設計時には現行通り、FLIPによる解析を実施することが必要である。改良設計における具体的な設計手法については引き続き研究を行い、効率的な改良設計に資することができるように取り組んでいきたい。

(2020年8月5日受付)

謝辞

本研究は、国土交通省関東地方整備局からの受託研究として実施したものです。関係各位のご助力に深く感謝致します。数値解析の実施には株式会社日本港湾コンサルタントの田端優憲氏、高野向後氏に多大なるご協力をいただきました。また、国土技術政策総合研究所港湾施設研究室の宮田正史室長、港湾空港技術研究所耐震構造研究グループの小濱英司グループ長、大矢陽介主任研究官にはフローの検討にご助言をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

一般社団法人 沿岸技術研究センター (2011) : 港湾関連

民間技術の確認審査・評価依頼者提出資料, 第10003号, 既設岸壁を強要しながらの増深・耐震補強工法「2段タイ材地下施工法」, pp.D1-D14

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 (2006) : 縞鋼管高耐力継手を用いた鋼管矢板基礎, TECHNICAL NOTES, No.74

一般社団法人 FLIPコンソーシアム (2013) : 平成25年度成果報告書【杭軸方向挙動WG】 pp.1-2, 43p.

伊藤広高・小濱英司 (2020) : RTK-GNSSを用いた地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発, 港湾空港技術研究所資料, No.1370

内田吉文・神藤明彦・本多和彦・鬼頭孝明・木全啓介・曾根照人・楠謙吾 (2010) : 港湾施設の残存耐力評価指標の検討, 土木学会第65回年次学術講演会, pp.189-190

加藤絵万・川端雄一郎・岩波光保・横田弘・山路徹・藤井敦・内藤英晴・北澤壮介・井上博士・柏原裕彦・末岡英二・吉田倫夫・山本修司・中野則夫・稲田勉 (2016) : 係留施設の変状連鎖と点検診断に関する一考察, 港湾空港技術研究所資料, No.1328

小泉哲也・山本修司・竹地晃一郎・門脇陽治 (1998) : 被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発, 港湾技研資料, No.912

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 (2011) : 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物

公益社団法人 日本港湾協会 (2007) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (下巻)

公益社団法人 日本港湾協会 (2019) : 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (中巻)

公益社団法人 日本道路協会 (2017) : 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編

国土交通省 港湾局 (2018一部変更版) : 港湾の施設の点検診断ガイドライン

鈴木達典・井山繁・菅原法城 (2018) : 港湾における施設の劣化傾向に関する分析, 国土技術政策総合研究所資料, No.1023

高野向後・宮田正史・藤井敦・井山繁・加藤絵万・山路徹・坂田憲治 (2017) : 既存の港湾施設の改良における設計上の留意事項に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料, No.944

高橋邦夫・菊池喜昭・朝木裕次 (1993) : タイロッド式矢板壁の力学特性の解析, 港湾技研資料, No.756

田端優憲・宮田正史・水谷崇亮・松村聡・鍵本慎太郎・高野向後・岡元渉 (2017) : 既存係留施設の改良工法選定および改良設計に関する基本的な考え方, 国土

技術政策総合研究所資料, No.996

田端優憲・宮田正史・水谷崇亮・松村聡・鍵本慎太郎 (2018a) : 重力式係船岸の増深改良を事例とした改良工法検討の検証 (その1), 国土技術政策総合研究所資料, No.1021

田端優憲・宮田正史・水谷崇亮・高橋英紀 (2018b) : 重力式係船岸の増深改良を事例とした改良工法検討の検証 (その2), 国土技術政策総合研究所資料, No.1047

森川嘉之・菊池喜昭・水谷崇亮 (2011) : 既存矢板壁に対する控え工増設の補強効果とその評価法の開発, 港湾空港技術研究所報告, 第50巻, 第4号

山本広祐・中村秀治・工藤康二 (1989) : 火力発電施設における土木鋼構造物の腐食実態調査, 電力中央研究所報告 調査報告 : U89029, pp.16-19

表-A.1 当初の設計条件

施設条件	当初の適用基準	昭和42年港湾基準
	構造形式	控え組杭式岸壁
	設計延長	65.0m
	岸壁天端高	D.L.+4.0m
	計画水深	D.L.-10.0m
	設計水深	D.L.-10.6m
	経過年数	44年
自然条件	設計潮位	H.W.L D.L.+2.00m
		L.W.L D.L.±0.00m
		R.W.L D.L.+1.30m
	土質条件	図-A.2参照
	腐食速度	0.14mm/y
	設計震度	0.20
	材料条件	鋼管矢板
タイ材		高張力鋼45 φ60.0mm ctc1.6m
控え工 (押込側)		STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=22.0m
控え工 (引抜側)		STK41 φ508.0mm t=9.5mm L=25.0m

付録A 改良設計フローに沿った工法選定例

(1) 検討の概要

ここでは, 4章で提案した改良設計フローの使用例を示す. 提案したフローを図-A.1に示す. 検討断面, 当初の設計条件は3章で示したものと同じく, 図-A.2, 表-A.1の通りとする. ここで示す使用例はあくまで一例であり, 必ずしもこの手順通りに工法選定を行う必要はない.

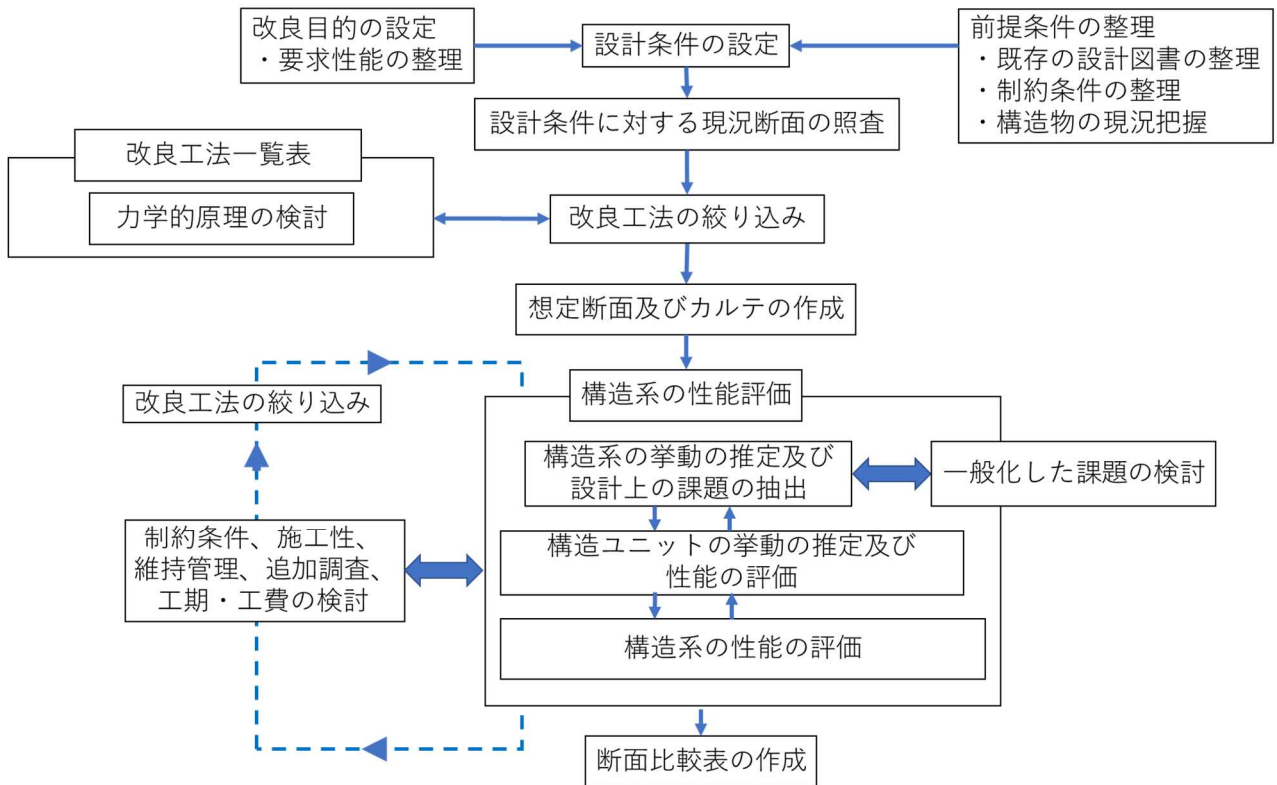


図-A.1 改良設計の検討フロー

表-A.2 要求性能の整理

改良目的	支配的となる対象事象				要求性能		要求性能(改良後)の解説	備考
	改良前		改良後		改良前	改良後		
安全水準の確保	レベル1地震動	変動状態	レベル1地震動	変動状態	使用性	使用性	対象事象に対する損傷の程度が、当該岸壁の機能を損なわず継続して使用できる範囲に留まること。	既存構造物が最新の港湾基準の安全水準に達していない。

表-A.3 性能規定値の整理

対象事象		設定	要求性能	要求性能の解説	照査項目, 照査方法, 性能規定値			備考
土圧 (主たる作用)	永続状態	地盤改良後の土圧強度を考慮して設定	使用性	対象事象に対する損傷の程度が、当該岸壁の機能を損なわず継続して使用できる範囲に留まること	矢板の根入れ長	フリーアースサポート法	作用耐力比 1.0 以下	港湾基準・同解説 P1083
					矢板の降伏	L1 信頼性設計法 (部分係数法)		
L1 地震動	変動状態	再現期間 75 年 (設計当初の設計震度以上の照査用震度を算出)	"	"	矢板の根入れ長	フリーアースサポート法	"	"
					矢板の降伏	L1 信頼性設計法 (部分係数法)		
土圧 (主たる作用)	永続状態	地盤改良後の土圧強度を考慮して設定	"	"	控え工の根入れ長	"	"	" 3
					控え工の降伏			
					控え工に作用する軸方向力			
L1 地震動	変動状態	再現期間 75 年 (設計当初の設計震度以上の照査用震度を算出)	"	"	控え工の根入れ長	"	"	"
					控え工の降伏			
					控え工に作用する軸方向力			
土圧 (主たる作用)	永続状態	地盤改良後の土圧強度を考慮して設定	"	"	タイ材の降伏	"	"	港湾基準・同解説 P1084
					腹起しの降伏			
L1 地震動	変動状態	再現期間 75 年 (設計当初の設計震度以上の照査用震度を算出)	"	"	タイ材の降伏	"	"	"
					腹起しの降伏			
船舶の牽引	変動状態	対象船舶の規格を考慮して設定	"	"	タイ材の降伏	"	"	"
					腹起しの降伏			
土圧 (主たる作用)	永続状態	地盤改良後の土圧強度を考慮して設定	"	"	上部工の断面応力	"	"	"
L1 地震動	変動状態	再現期間 75 年 (設計当初の設計震度以上の照査用震度を算出)	"	"	上部工の断面破壊	"	"	"
船舶の牽引	変動状態	"	"	"				
自重 (主たる作用)	永続状態	堤体の大きさに応じて設定	"	"	地盤の円弧すべり	"	"	"

表-A.4 変状要因の確認表

主な変状	主な変状の要因	主な変状の因子（具体例）	設計上の留意点，有効な追加調査など
岸壁法線の凹凸，出入り (i)	施設全体の変位	地震による上部工・本体工の移動 地盤の圧密沈下による本体工・基礎材・裏込材の傾斜 地盤の強度不足による円弧滑り	前面矢板の変形モードの確認 前面矢板や控え工周辺の土質調査
	主働土圧の増加	背後地の液状化 豪雨などによるエプロンへの水の長期滞留 背後地の大規模な地盤改良 タイの耐力不足	タイの試掘
	控え工耐力の減少	控え工前面地盤の支持力不足 控え工の腐食	控え工の載荷試験
	設計条件との相違	設計値以上の上載荷重 設計値以上の牽引力 設計値以上の接岸力 設計値以上の地震動 設計値以上の残留水位	利用実態の調査
	海底地盤の洗堀	(vi) へ	
エプロンの沈下，陥没 (ii)	裏込材の吸出し， エプロンの空洞化	地震による裏込材の締固めや地盤の圧密沈下による裏込材の沈下 防砂板（シート）の破損による裏込材の流出 舗装の打ち継ぎ目の不陸	防砂板（シート）の強度の見直し 電磁波レーダーによる調査
エプロンのコンクリート舗装又は アスファルト舗装の劣化，損傷 (iii)	荷役作業	設計値以上の上載荷重 アウトリガーによる集中荷重 車両通行の繰り返しによる疲労	かぶりの増厚 コンクリート，アスファルト強度の増加
	コンクリートの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	アスファルトの劣化	舗装の打ち継ぎ目から劣化因子の進入 ひび割れ部，わだち掘れ部から劣化因子の進入 温度変化による収縮 紫外線による劣化	かぶりの増厚
	エプロンの沈下， 陥没	(ii) へ	
鋼矢板等の腐食，亀裂，損傷 (iv)	水流	波浪の作用 船舶の接岸時のスラスターによる摩耗	鋼矢板の増厚 被覆防食工の実施 電気防食工の実施
	船舶，漂流物の衝突	船舶や漂流物の衝突 新設構造物の設置などで生じる漂砂による損傷 飛砂による損傷	
	鋼材の劣化	水と酸素による腐食 塩害による腐食	
	主働土圧の増加 海底地盤の洗堀	(i)，(vi) へ	
上部工の劣化，損傷 (v)	コンクリートの劣化	鉄筋の腐食 ひび割れ部から劣化因子の進入 融雪剤，飛来塩による塩化物の浸透 二酸化炭素，酸素の浸透	かぶりの増厚 コンクリートの密実化 試験体採取及び室内試験の実施
	重量物の衝突	船舶，荷役機械の衝突 積荷の落下による衝突	かぶりの増厚 コンクリート，鉄筋強度の増加
海底地盤の洗堀，堆積 (vi)	水流	波浪による作用 船舶接岸時のスラスターによる作用	洗堀防止被覆工の設置
	エプロンの吸出し	(ii) へ	

(2) 改良目的の設定

最初に改良目的を設定し、それに対応した要求性能及び性能規定値を設定する。ここでは、改良目的を性能の変更とする。具体的には安全水準の向上であり、最新の港湾基準の要求性能を満足することを目的とする。次に、要求性能と性能規定を整理する。要求性能を整理した結果を表-A.2に、性能規定を整理した結果を表-A.3に示す。

(3) 前提条件の整理

・既存の設計図書の整理

土質調査結果や施工履歴、点検履歴、被災履歴など既存構造物に関する情報を収集、整理する。

・制約条件の整理

制約条件として、「法線前出し幅数十cm以内」、「埋立て不可」、「エプロン背後の広範囲利用不可」、「広範囲の海水濁り不可」と仮定した。また、岸壁法線の出入りはあるが、既設構造物は利用可能と仮定した。

・構造物の現況把握

表-A.4を用いて既存構造物についての整理を行う。ここでは、岸壁法線の出入りが確認されており、その要因としては、施設全体の変位、主働土圧の増加、控え工耐力の減少、設計条件との相違、海底地盤の洗堀が考えられる。これらのことから、前面矢板の変形モードの確認、前面矢板や控え工周辺の土質調査、タイ材の試掘、控え工の載荷試験、利用実態の調査は有効であると判断される。

(4) 設計条件の設定

改良目的の設定と前提条件の整理の結果を踏まえて、設計条件の設定を行う。ここでは、当初の設計条件から変更となる箇所について明確にしておく必要がある。表-A.5に設定した設計条件を示す。

(5) 設計条件に対する現況断面の照査

設計条件に対して現況断面の照査を行い、どの部材の耐力が不足しているのかを確認する。現況断面の照査結果を表-A.6に示す。引抜側の控え杭の支持力が不足しているという結果となった。

(6) 改良工法の絞り込み

表-A.7に示す改良工法一覧表から工法の絞り込みを行う。そこで、図-A.3に示す有効な安定性向上メカニズムの検討図より、不足している静的照査項目に対して有効な安定性向上メカニズムを選定する。ここでは、引抜側の控え杭の支持力が不足しているため、有効な安定性向上メカニズムは、矢板支持による発生断面力の低減、矢板補強による耐力の増加、新設構造物による荷重の負担、主働土圧の低減、受働土圧の増加が選定される。既設構造物の用途の変更は考慮していない。選定された有効な安定性向上メカニズムに対応する改良工法は表-A.8のとおり25工法である。

表-A.5 設計条件の設定

項目	当初設計	改良設計	
施設条件	当初の適用基準	昭和42年港湾基準	平成30年港湾基準
	構造形式	控え組杭式岸壁	未定
	設計延長	65.0m	同左
	岸壁天端高	D.L.+4.0m	同左
	計画水深	D.L.-10.0m	同左
	設計水深	D.L.-10.6m	同左
	経過年数	44年	
	設計供用期間	50年	同左
自然条件	設計潮位	H.W.L D.L.+2.00m	同左
		L.W.L D.L.±0.00m	同左
		R.W.L D.L.+1.30m	同左
	土質条件	図-A.2参照	同左
	腐食速度	0.14mm/y	同左
	設計震度	0.20	同左

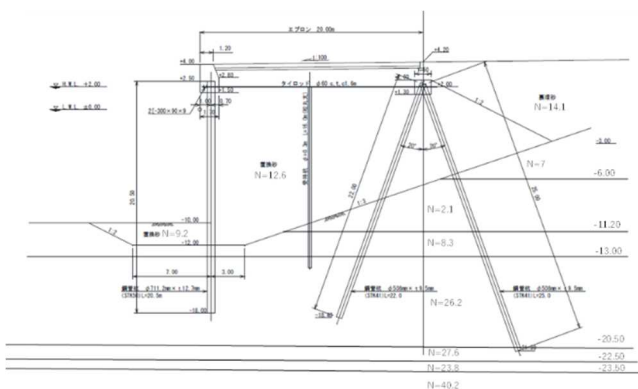


図-A.2 A港の断面図

表-A.6 現況断面の照査結果

照査項目	永続状態	変動状態		
前面矢板	耐力作用比	0.633 ≤ 1.0	0.981 ≤ 1.0	
	必要根入深度	-18.0 ≤ -14.737	-18.0 ≤ -17.015	
タイロッド	耐力作用比	0.598 ≤ 1.0	0.860 ≤ 1.0	
腹起し		0.447 ≤ 1.0	0.521 ≤ 1.0	
控え杭 (応力)	耐力作用比	押込側	0.328 ≤ 1.0	0.368 ≤ 1.0
		引抜側	0.219 ≤ 1.0	0.304 ≤ 1.0
控え杭 (支持力)	耐力作用比	押込側	0.519 ≤ 1.0	0.514 ≤ 1.0
		引抜側	0.682 ≤ 1.0	1.215 > 1.0

表-A.7 矢板式係船岸の改良工法一覧表（田端ら，2017に一部追記）

①主脚土圧の低減						
安定性向上メカニズム	S-1 軽量混合処理土置換工法	S-2 水砕スラグ置換工法	S-3 事前混合処理土置換工法	S-4 セメント系固く処理工法	S-5 船式構造物新設工法	S-6 SG-Wall 工法
工法及び施工イメージ図						
安定性向上メカニズム	②受働土圧の増加			③矢板支持による発生断面力の低減		
工法及び施工イメージ図	S-7 矢板前面改良工法	S-8 グランドアンカー工法	S-9 二段外材工法	S-10 ジャケット工法	S-11 水中ストラット工法	S-12 L型ジャケット補強工法
工法及び施工イメージ図						
安定性向上メカニズム	③矢板支持による発生断面力の低減		④矢板補強による耐力の増加			
工法及び施工イメージ図	S-13 控え杭増設工法	S-14 矢板補強（前面）工法	S-15 矢板補強（背面）工法	S-16 矢板補強（一体化）工法	S-17 二重矢板工法	
工法及び施工イメージ図						
安定性向上メカニズム	⑤新設構造物による荷重の負担					
工法及び施工イメージ図	S-18 矢板新設工法（矢板前面）	S-19 矢板新設工法	S-20 重力式構造物工法	S-21 重力式（背後固く）工法	S-22 セル式構造物（背後）工法	S-23 鋼管矢板井筒（背後）工法
工法及び施工イメージ図						
安定性向上メカニズム	⑥新設構造物による荷重の負担		⑦控え杭補強による耐力の増加			
工法及び施工イメージ図	S-24 格柵式構造物（背後）工法	S-25 格柵構造物工法（工留め機能なし）	S-26 格柵構造物工法（工留め機能付き）	S-27 控え杭補強工法	S-28 控え杭前補強工法	
工法及び施工イメージ図						

表-A.8 安定性向上メカニズムによる絞り込み結果

工法番号	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8
工法の適用性	○	○	○	○	○	○	○	○
工法番号	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16
工法の適用性	○	○	○	○	○	○	○	○
工法番号	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	S-23	S-24
工法の適用性	○	○	○	○	○	○	○	○
工法番号	S-25	S-26	S-27	S-28	S-29			
工法の適用性	×	×	×	×	○			

(7) 想定断面及びカルテの作成

選定された25工法に対して想定断面とカルテを作成する。本来ならば25工法それぞれのカルテを示すべきだが、作業量の都合上、ここでは二段タイ材工法のカルテの記入例のみ示していく。この時点では想定断面の作成にあたり構造計算等を行わない。カルテの作成例を図-A.4に示す。

(8) 構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出

工法選定の第一段階として、まずは、一般化した課題の検討を行い、構造系の挙動の推定及び設計上の課題の

表-A.9 一般化された課題一覧 (田端ら, 2017)

一般化された課題	課題の概要
構造形式が複合した構造系の挙動に関する課題	複数の構造ユニットの構造形式が異なるために、各構造ユニットの挙動が推定できても、構造系の挙動の推定ができない。
柔、剛構造が複合した構造系の挙動に関する課題	複数の構造ユニットが異なる剛性を有するために、変形挙動に差異が生じ、構造系の挙動が推定できない。
新旧構造が複合した構造系の挙動に関する課題	新規構造ユニットと既存の構造ユニットが異なる断面性能である場合、変形挙動に差異が生じ、構造系の挙動が推定できない。
構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	構造ユニット内の既存部材と新規部材が異なる断面性能である場合、変形挙動に差異が生じ、構造ユニットの挙動が推定できない。
構造ユニットの並列配置に関する課題	複数の構造ユニットに抵抗力を分担させる場合、その位置関係や断面性能により、抵抗力のバランスが変化する。
構造ユニットの直列配置に関する課題	1つの抵抗力を複数の構造ユニットで負担する場合、各構造ユニットの断面性能の差異により、発揮できる抵抗力が変化する。
構造ユニットの近接配置に関する課題	複数の構造ユニットが近接している場合、各構造ユニットの挙動が相互に影響する。
残置物の影響に関する課題	抵抗力として期待されていない既存構造物が構造系や構造ユニットの挙動に影響する。

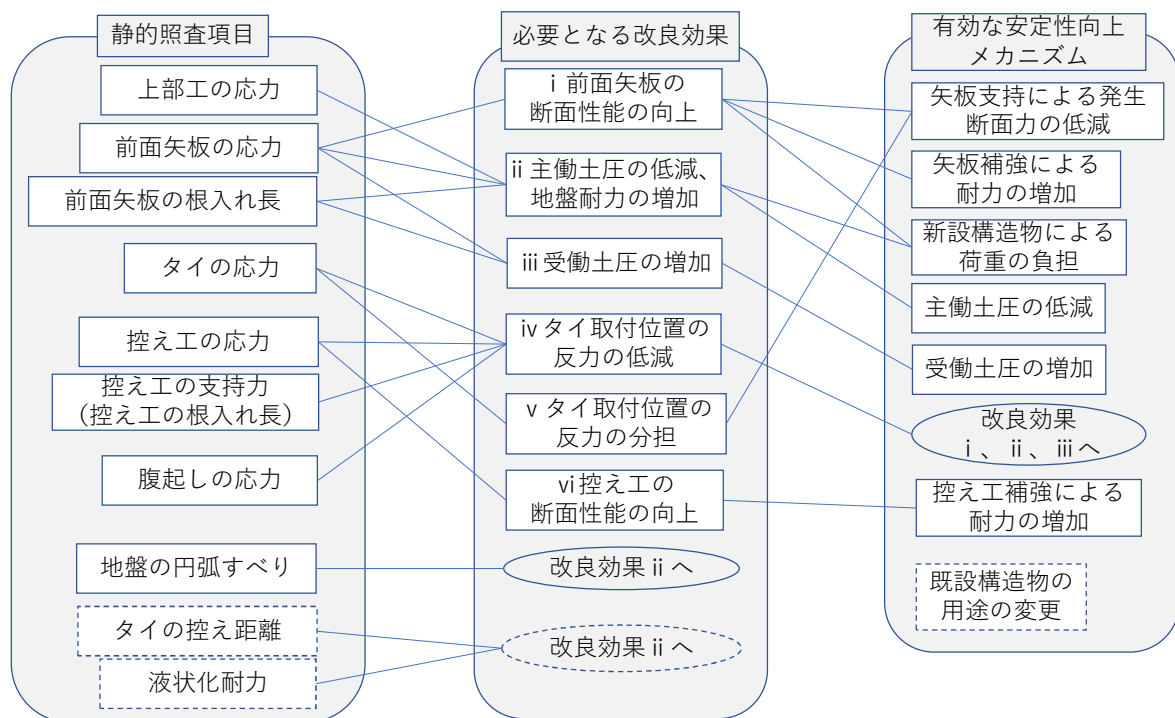


図-A.3 有効な安定性向上メカニズムの検討図

抽出を行う。併せて、(3)で整理した施工上の制約について検討を行う。表-A.9を参考に二段タイ材工法の一般化した課題の検討を行うと、新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題、構造ユニットの並列配置に関する課題、構造ユニットの近接配置に関する課題が該当する。次に、構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出、施工上の制約の検討を行う。また、その工法を適用するにあたり有効であると考えられる追加調査についても検討を行う。以上の検討結果を記入したカルテを図-A.5に示す。構造系の挙動の推定を行った結果、控え杭を組杭とした方がよいと考えられたため、想定断面図の控え工を直杭から組杭に修正している。このようにして、各工法について作成したカルテを比較し工法の絞り込みを進めていく、

(9) 構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価、
構造系の性能の評価、構造系の性能評価

工法選定の第二段階として、構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価、構造系の性能の評価、構造系の性能評価を行う。併せて、施工性や維持管理の検討も行う。構造系の性能の評価の際は、骨組モデルによる解析を行い、構造物全体の挙動を把握している。検討結果を記入したカルテを図-A.6に示す。このようにして、各工法について作成したカルテを比較し工法の絞り込みを進めていく、

(10) 工期・工費の検討

工法選定の最終段階として、工期・工費の検討を行う。検討結果を記入したカルテを図-A.7に示す。最終段階の検討終了時点で3工法程度まで絞り込むことを想定している。

(11) 断面比較表の作成

検討が行われたカルテを参考に断面比較表を作成する。断面比較表を基にFLIPなどによる詳細な検討を行い、最終断面を決定する。

図-A.4 初期のカルテ作成例 (2の1)

改良工法	S-9
工法概要	海底地盤と既設タイ材の間に新設タイ材を設置し、既設控え工の背後に新設する控え工と接続する。
想定断面図	
安定性向上メカニズム	矢板支持による発生断面力の低減
過去の事例より得られた課題	<ul style="list-style-type: none"> ・控え工を設置する場合に背後の構造物等に影響する可能性がある。 ・裏込め石の撤去が必要となる。

構造系の複合状態、構造ユニットの複合状態、構造ユニットの配置に着目し、一般化した課題		
構造系の複合状態	構造形式の複合した構造系の挙動に関する挙動	
	剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題	
	新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題	
構造ユニットの複合状態	構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	
構造ユニットの配置	構造ユニットの並列配置に関する課題	
	構造ユニットの直列配置に関する課題	
	構造ユニットの近接配置に関する課題	
	残置物の影響に関する課題	
特記事項、その他		

追加調査	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/>岸壁法線前面のボーリング <input type="checkbox"/>岸壁法線背面のボーリング <input type="checkbox"/>控え工付近のボーリング <input type="checkbox"/>タイロッドの試掘 <input type="checkbox"/>矢板の腐食状況確認 <input type="checkbox"/>矢板の変位量、傾斜量 <input type="checkbox"/>矢板前面の海底地盤の変状確認 <input type="checkbox"/>控え工の変位、傾斜 <input type="checkbox"/>控え工の耐力調査（載荷試験など） <input type="checkbox"/>その他
------	--

図-A.4 初期のカルテ作成例 (2 の 2)

<p>構造系の性能評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の挙動の推定及び 設計上の課題の抽出</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造ユニットの挙動の推定 及び性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>施工性、維持管理、 工期・工費の検討</p>	<p>自由記述</p>

図-A.5 工法選定1段階目のカルテ作成例(2の1)

改良工法	S-9
工法概要	海底地盤と既設タイ材の間に新設タイ材を設置し、既設控え工の背後に新設する控え工と接続する。
想定断面図	
安定性向上メカニズム	矢板支持による発生断面力の低減
過去の事例より得られた課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ 控え工を設置する場合に背後の構造物等に影響する可能性がある。 ・ 裏込め石の撤去が必要となる。

構造系の複合状態、構造ユニットの複合状態、構造ユニットの配置に着目し、一般化した課題		
構造系の複合状態	構造形式の複合した構造系の挙動に関する課題	
	剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題	
	新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題	○
構造ユニットの複合状態	構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	
構造ユニットの配置	構造ユニットの並列配置に関する課題	○
	構造ユニットの直列配置に関する課題	
	構造ユニットの近接配置に関する課題	○
	残置物の影響に関する課題	
特記事項、その他		

追加調査	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 岸壁法線前面のボーリング <input type="checkbox"/> 岸壁法線背面のボーリング <input type="checkbox"/> 控え工付近のボーリング <input type="checkbox"/> タイロッドの試掘 <input type="checkbox"/> 矢板の腐食状況確認 <input type="checkbox"/> 矢板の変位置、傾斜量 <input type="checkbox"/> 矢板前面の海底地盤の変状確認 <input type="checkbox"/> 控え工の変位、傾斜 <input type="checkbox"/> 控え工の耐力調査（載荷試験など） <input type="checkbox"/> その他 <input checked="" type="checkbox"/> 既設控え杭の現位置把握（控え工の試掘など） <input checked="" type="checkbox"/> 新設控え位置のボーリング調査
------	---

図-A.5 工法選定1段階目のカルテ作成例(2の2)

<p>構造系の性能評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・既設控え杭と新設控え杭の断面や性能の違いにより、どちらかの杭に作用が集中することでその杭が破壊され、連鎖的に構造物の破壊が起きる可能性がある。 →新設の杭は既設控え杭と同等の控え組杭とし、作用の集中が起きているかどうかは詳細な性能の照査により確認。(想定断面図の修正) ・既設控え杭と新設控え杭の設置位置が近いため相互に干渉し、地盤の横抵抗力が発揮されない可能性がある。 →詳細な性能の照査により確認 ・対象断面は法線の出入りがあり、この変形を考慮できる設計を行うことが必要。 →詳細な性能の照査により確認
<p>構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>構造系の性能の評価</p>	<p>自由記述</p>
<p>施工性、維持管理、工期・工費の検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・施工上の制約から、エプロン背後の広範囲に影響を与えるような施工をすることはできないため、新設控え杭はなるべく海側に寄せた位置に設置する。 ・既設の控え杭が密に配置されており、その間を縫って新設の控え杭を設置することになるため、既設の控え杭の位置を把握しておく必要がある。 ・新設控え杭の打設はエプロン上で行うことが予想されるため、施工機械が上載した時の既設構造物の安定性の確認が必要である。

図-A.6 工法選定 2段階目のカルテ作成例 (2の1)

改良工法	S-9
工法概要	海底地盤と既設タイ材の間に新設タイ材を設置し、既設控え工の背後に新設する控え工と接続する。
想定断面図	
安定性向上メカニズム	矢板支持による発生断面力の低減
過去の事例より得られた課題	<ul style="list-style-type: none"> ・控え工を設置する場合に背後の構造物等に影響する可能性がある。 ・裏込め石の撤去が必要となる。

構造系の複合状態、構造ユニットの複合状態、構造ユニットの配置に着目し、一般化した課題		
構造系の複合状態	構造形式の複合した構造系の挙動に関する課題	
	剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題	
	新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題	○
構造ユニットの複合状態	構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	
構造ユニットの配置	構造ユニットの並列配置に関する課題	○
	構造ユニットの直列配置に関する課題	
	構造ユニットの近接配置に関する課題	○
	残置物の影響に関する課題	
特記事項、その他		

追加調査	<input type="checkbox"/> 岸壁法線前面のボーリング <input type="checkbox"/> 岸壁法線背面のボーリング <input type="checkbox"/> 控え工付近のボーリング <input type="checkbox"/> タイロッドの試掘 <input type="checkbox"/> 矢板の腐食状況確認 <input type="checkbox"/> 矢板の変位量、傾斜量 <input type="checkbox"/> 矢板前面の海底地盤の変状確認 <input type="checkbox"/> 控え工の変位、傾斜 <input type="checkbox"/> 控え工の耐力調査（载荷試験など） <input type="checkbox"/> その他 <input checked="" type="checkbox"/> 既設控え杭の現位置把握（控え工の試掘など） <input checked="" type="checkbox"/> 新設控え位置のボーリング調査
------	---

図-A.6 工法選定2段階目のカルテ作成例(2の2)

<p>構造系の性能評価</p>	<p>・検討の結果、本工法は採用可能であると判断される。ただし、既設控え杭と新設控え杭の干渉については評価できていないため、模型実験などで杭の干渉について評価することが望ましい。</p>
<p>構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出</p>	<p>・既設控え杭と新設控え杭の断面や性能の違いにより、どちらかの杭に作用が集中することでその杭が破壊され、連鎖的に構造物の破壊が起きる可能性がある。 →新設の杭は既設控え杭と同等の控え組杭とし、作用の集中が起きているかどうかは構造系の性能の照査で確認。(想定断面図の修正)</p> <p>・既設控え杭と新設控え杭の設置位置が近いため相互に干渉し、地盤の横抵抗力が発揮されない可能性がある。 →構造系の性能の照査で確認</p> <p>・対象断面は法線の出入りがあり、この変形を考慮できる設計を行うことが必要。 →構造系の性能の照査で確認</p>
<p>構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価</p>	<p>・既往の設計手法では、推定した挙動と設計上の課題を評価できない。 ・既往の設計手法を用いて断面を仮定。 →推定した構造系の挙動と整合していない可能性があるため、再評価が必要。</p>
<p>構造系の性能の評価</p>	<p>・骨組モデルによる簡易的な解析によって、構造系の性能の評価を実施。 →既設控え杭と新設控え杭のいずれかに作用が集中している状態は確認されない。 →既設控え杭と新設控え杭の干渉の影響は評価できないため、別の手法で検討をする必要がある。(模型実験など)</p>
<p>施工性、維持管理、工期・工費の検討</p>	<p>・施工上の制約から、エプロン背後の広範囲に影響を与えるような施工をすることはできないため、新設控え杭はなるべく海側に寄せた位置に設置する。 ・既設の控え杭が密に配置されており、その間を縫って新設の控え杭を設置することになるため、既設の控え杭の位置を把握しておく必要がある。 ・新設控え杭の打設はエプロン上で行うことが予想されるため、施工機械が上載した時の既設構造物の安定性の確認が必要である。 ・控え杭も腐食する可能性があるため、防食を行うことが望ましい。</p>

図-A.7 工法選定最終段階のカルテ作成例（2の1）

改良工法	S-9
工法概要	海底地盤と既設タイ材の中間に新設タイ材を設置し、既設控え工の背後に新設する控え工と接続する。
想定断面図	
安定性向上メカニズム	矢板支持による発生断面力の低減
過去の事例より得られた課題	<ul style="list-style-type: none"> ・控え工を設置する場合に背後の構造物等に影響する可能性がある。 ・裏込め石の撤去が必要となる。

構造系の複合状態、構造ユニットの複合状態、構造ユニットの配置に着目し、一般化した課題		
構造系の複合状態	構造形式の複合した構造系の挙動に関する挙動	
	剛構造、柔構造の複合した構造系の挙動に関する課題	
	新旧構造の複合した構造系の挙動に関する課題	○
構造ユニットの複合状態	構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題	
構造ユニットの配置	構造ユニットの並列配置に関する課題	○
	構造ユニットの直列配置に関する課題	
	構造ユニットの近接配置に関する課題	○
	残置物の影響に関する課題	
特記事項、その他		

追加調査	<input type="checkbox"/> 岸壁法線前面のボーリング <input type="checkbox"/> 岸壁法線背面のボーリング <input type="checkbox"/> 控え工付近のボーリング <input type="checkbox"/> タイロッドの試掘 <input type="checkbox"/> 矢板の腐食状況確認 <input type="checkbox"/> 矢板の変位量、傾斜量 <input type="checkbox"/> 矢板前面の海底地盤の変状確認 <input type="checkbox"/> 控え工の変位、傾斜 <input type="checkbox"/> 控え工の耐力調査（載荷試験など） <input type="checkbox"/> その他 <input checked="" type="checkbox"/> 既設控え杭の現位置把握（控え工の試掘など） <input checked="" type="checkbox"/> 新設控え位置のボーリング調査
------	---

図-A.7 工法選定最終段階のカルテ作成例 (2の2)

<p>構造系の性能評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検討の結果、本工法は採用可能であると判断される。ただし、既設控え杭と新設控え杭の干渉については評価できていないため、模型実験などで杭の干渉について評価することが望ましい。
<p>構造系の挙動の推定及び設計上の課題の抽出</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既設控え杭と新設控え杭の断面や性能の違いにより、どちらかの杭に作用が集中することでその杭が破壊され、連鎖的に構造物の破壊が起きる可能性がある。 →新設の杭は既設控え杭と同等の控え組杭とし、作用の集中が起きているかどうかは構造系の性能の照査で確認。(想定断面図の修正) ・ 既設控え杭と新設控え杭の設置位置が近いため相互に干渉し、地盤の横抵抗力が発揮されない可能性がある。 →構造系の性能の照査で確認 ・ 対象断面は法線の出入りがあり、この変形を考慮できる設計を行うことが必要。 →構造系の性能の照査で確認
<p>構造ユニットの挙動の推定及び性能の評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既往の設計手法では、推定した挙動と設計上の課題を評価できない。 ・ 既往の設計手法を用いて断面を仮定。 →推定した構造系の挙動と整合していない可能性があるため、再評価が必要。
<p>構造系の性能の評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 骨組モデルによる簡易的な解析によって、構造系の性能の評価を実施。 →既設控え杭と新設控え杭のいずれかに作用が集中している状態は確認されない。 →既設控え杭と新設控え杭の干渉の影響は評価できないため、別の手法で検討をする必要がある。(模型実験など)
<p>施工性、維持管理、工期・工費の検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工上の制約から、エプロン背後の広範囲に影響を与えるような施工をすることはできないため、新設控え杭はなるべく海側に寄せた位置に設置する。 ・ 既設の控え杭が密に配置されており、その間を縫って新設の控え杭を設置することになるため、既設の控え杭の位置を把握しておく必要がある。 ・ 新設控え杭の打設はエプロン上で行うことが予想されるため、施工機械が上載した時の既設構造物の安定性の確認が必要である。 ・ 控え杭も腐食する可能性があるため、防食を行うことが望ましい。 ・ 概算工費〇〇〇円、概算工期〇〇〇カ月

港湾空港技術研究所資料 No.1375

2020.9

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

Copyright © (2020) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。