

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1047

October 2018

## 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）

田端優憲・宮田正史・水谷崇亮・高橋英紀

Case study using new concepts of upgrade design to deepen water depth of existing  
quay walls (part 2)

Masanori TABATA, Masafumi MIYATA, Takaaki MIZUTANI, Hidenori TAKAHASHI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

## 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）

田端優憲\*・宮田正史\*\*・水谷崇亮\*\*\*・高橋英紀\*\*\*\*

### 要 旨

既存の係留施設を対象とした改良設計は、既存構造物と追加構造物とを組み合わせた断面として計画することが多く、新規施設の設計に比べて複雑な断面となり、考慮すべき事項が多い。これらの改良設計を円滑に進めるために、既報（国総研資料No.996）では、「改良工法選定の基本的な考え方」および改良工法の性能評価を行うための検討手順を「改良設計の基本的な考え方」として提示した。しかしながら、これらの考え方は基本的な改良工法検討の道筋を示すのみであり、具体的な改良事例を想定した検証が必要であった。

このため、前報（国総研資料No.1021）では、これらの基本的な考え方を、既存の重力式岸壁を対象とした増深改良に適用し、これらの考え方の検証と行うとともに改善点の抽出を行った。「改良工法選定の基本的な考え方」については、検討条件下で適用できる可能性のある6工法が合理的に抽出され、適用性が高く、改善すべき点は見いだせなかった。一方、「改良設計の基本的な考え方」については、6工法のうち代表1工法を対象に試検討を行った結果、幾つかの改善すべき点があることが分かった。

本検討では、前報（その1）に引き続き、「改良設計の基本的な考え方」の検証を行うものである。具体的には、前報で抽出された6工法のうち前報とは異なる1工法を対象として、同様の検討を行い、「改良設計の基本的な考え方」の適用性の確認および新たな改善すべき点の抽出を行う。本検討の結果、前報では抽出されなかった幾つかの改善すべき点が抽出された。

キーワード：既存施設、重力式係船岸、改良設計、改良工法、工法選定

- 
- \* 港湾研究部 港湾施設研究室 前交流研究員（株式会社日本港湾コンサルタント）
  - \*\* 港湾研究部 港湾施設研究室 室長
  - \*\*\* 港湾空港技術研究所 基礎工研究グループ グループ長
  - \*\*\*\* 港湾空港技術研究所 地盤改良研究グループ グループ長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所  
電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail: [ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp](mailto:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp)

## Case study using new concepts of upgrade design to deepen water depth of existing quay walls (part 2)

**Masanori TABATA\***  
**Masafumi MIYATA\*\***  
**Takaaki MIZUTANI\*\*\***  
**Hidenori TAKAHASHI\*\*\*\***

### Synopsis

Existing mooring facilities are often upgraded by designing as combining an existing structure with an additional structure. In such cases, the upgrading design is more complicated than that for new structure. To design these upgrades smoothly, a past report (Technical Note of NILIM No. 996) suggested “basic concepts of selecting upgrading construction methods” and as a design procedure for evaluating the performance of upgrading construction methods, “basic concepts of upgrading design”. However, these concepts only presented the basic design process for upgrading an existing structure, a further verification has been required by applying the concepts to concrete upgrading cases.

Therefore, a previous report (Technical Note of NILIM No. 1021) described the application of these basic concepts to the deepening of an existing gravity quay wall to verify and find ways to improve these concepts. The “basic concepts of selecting upgrading construction methods” were rationally extracted as 6 upgrading construction methods which can be applied under the design conditions, confirming their high applicability without discovering any points which should be improved. On the other hand, regarding “basic concepts of upgrading design”, some necessary improvements were revealed by a trial study with a representative method of the 6 methods.

This study was continued to verify “basic concepts of upgrading design” following with the previous report (No. 1). Specifically, the same study was performed with another construction method of the extracted 6 methods in the previous report, confirming the applicability of “basic concepts of upgrading design” and finding the other points to be improved. As a result, this study found some points to be improved, which was not found by the previous study.

**Key words:** existing facility, gravity quay wall, upgrading design, upgrading method, selection of upgrading construction method

---

\* Visiting Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM  
(Japan Port Consultants, Ltd.)

\*\* Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

\*\*\* Head, Foundations Group, Geotechnical Engineering Department, PARI

\*\*\*\* Head, Soil Stabilization Group, Geotechnical Engineering Department, PARI

National Institute for Land and Infrastructure Management  
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism  
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan  
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: [ysk.nil-kikaku@m1.mlit.go.jp](mailto:ysk.nil-kikaku@m1.mlit.go.jp)

## 目 次

1. はじめに	1
1.1 研究の背景と最終目的	1
1.2 本検討の目的・構成	1
2. B工法の性能評価の基礎検討	3
2.1 本章の位置づけ	3
2.2 想定断面の作成	3
2.3 設計上の課題の抽出	5
2.4 構造系の挙動の推定例	7
2.5 構造ユニットの挙動推定と性能の評価例	8
2.6 構造系の性能の評価の着目点	11
2.7 改良設計の基本的な考え方の検証結果	12
3. A, B工法の試検討によって得られた「改良設計の基本的な考え方」の改善すべき点	13
4. おわりに	14
謝辞	14
参考文献	14



# 1. はじめに

## 1.1 研究の背景と最終目的

既存の係留施設を対象とした改良設計は、既存構造物と追加構造物とを組み合わせた断面として計画することが多く、新規施設の設計に比べて複雑な断面となり、考慮すべき事項が多い。このような場合、改良工法の選択肢は多くなるが、その一方で設計者には合理的な改良断面を時間の制約の中で速やかに選定することが求められる。

これに対して、田端ら<sup>1)</sup>は、既存係留施設の改良設計を対象とした二つの基本的な考え方を提案している。一つ目の提案は、多くの改良工法の中から最適な工法を選定するための手掛かりとなる基本的な考え方（以下、「工法選定の基本的な考え方」という。）である。二つ目は、改良設計を円滑に進めるための検討手順、改良断面の性能を評価するための確認項目を「改良設計を進める上で設計者が持つべき共通認識としての改良設計の基本的な考え方」（以下、「改良設計の基本的な考え方」という。）である。図-1.1に「改良設計の基本的な考え方」のフロー図を示す。なお、図-1.1の性能評価の進め方の④、⑤については後述（2.1（3））する理由により、田端らの資料<sup>1)</sup>に記載されている図から語句の変更を行っている。また、表-1.1に本検討で用いる用語の定義を示す。これ

らの用語は、田端らの資料<sup>1)</sup>で用いられている用語である。なお、本検討では、「工法選定の基本的な考え方」と「改良工法の基本的な考え方」に基づく改良工法の検討のことを改良工法検討と呼称している。

本研究の最終的な目的は、「工法選定の基本的な考え方」および「改良設計の基本的な考え方」に基づき、異なる構造形式の既存係留岸の増深改良を具体事例として、改良工法の選定および改良断面の性能評価を行い、これらの基本的な考え方の妥当性を確認し、その結果に基づきその改善すべき点を整理することにある。具体的には、図-1.1中の「性能評価の進め方」における①～⑤の手順に従い検討を行い、検討手順または性能評価の確認項目の妥当性および改善すべき点を整理することを最終的な目的としている。これにより、改良設計の実務をさらに円滑に進めるための環境整備を行うことができると考えている。

## 1.2 本検討の目的・構成

前報<sup>2)</sup>では、田端ら<sup>1)</sup>の提案した2つの考え方に対する改善すべき点の整理の端緒として、既存の重力式係留岸の増深改良を具体事例として取り上げ、「工法選定の基本的な考え方」に基づき、選定候補となる工法を6工法抽出し、このうち1工法（A工法（図-1.2））を取り上げて

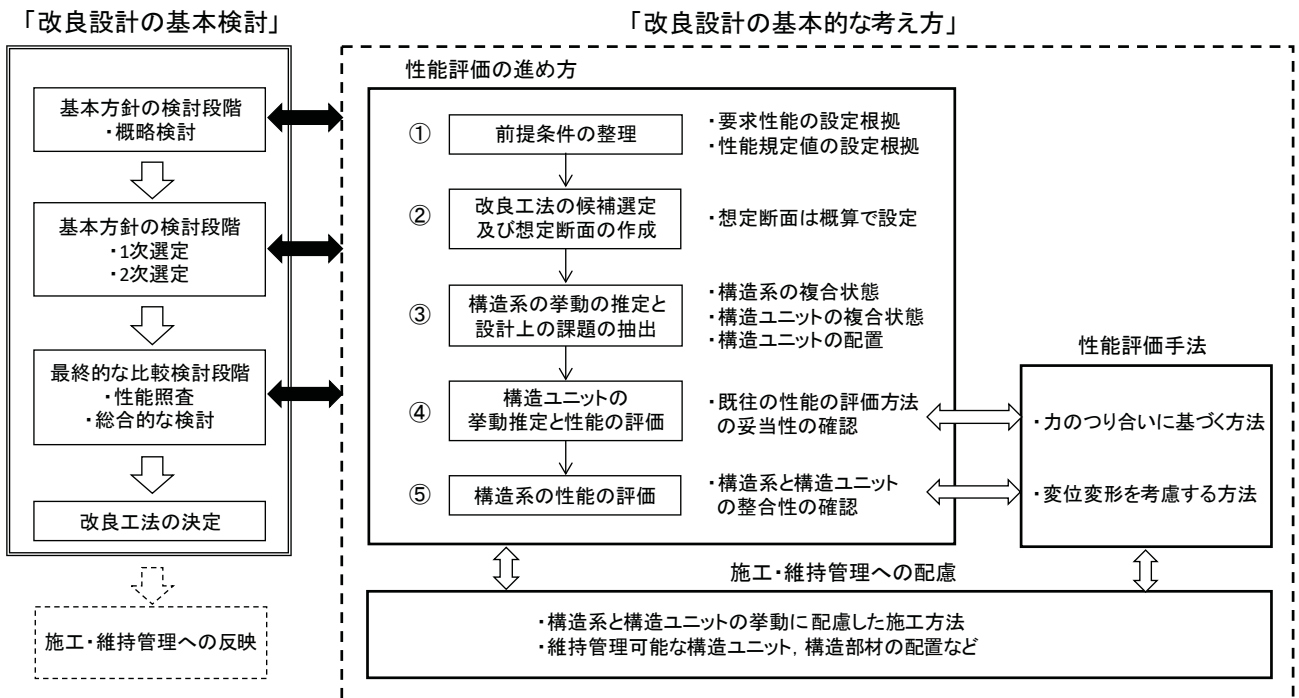


図-1.1 改良設計の基本的な考え方の位置づけと概要

「改良設計の基本的な考え方」に基づく性能評価内容の検討を行っている。検証の結果、「工法選定の基本的な考え方」の妥当性が確認された。「改良設計の基本的な考え方」については、幾つか改善すべき点が明らかになった。

図-1.4に、前報<sup>2)</sup>を含んだ研究全体のフロー図を示す。本検討では、前報<sup>2)</sup>で試験検討を行ったA工法とは異なる工法（B工法（図-1.3））を取り上げて、「改良設計の基本的な考え方」に基づく試験検討を行う（第2章）。B工法は、前報<sup>2)</sup>で抽出した6工法の一つであり、重力式係船岸の前面の基礎捨石マウンドの一部を改良（固化）し、改良体の前面を掘削し、増深する工法である。なお、A, B工法ともに築造限界より、上部工に防舷材の台座を取り付けるなど、接岸位置の調整を行う場合が多い。

本検討で取り扱うB工法は既報<sup>3)</sup>により、模型実験やFEM解析が行われ、構造系や構造ユニットの性能評価により、設計法が提案されている工法であるが、2.3以降の検討では、設計法がないことと仮定し検討を行う。本検討においては既報<sup>3)</sup>の結果は2.2想定断面の作成のみで参照し、2.3以降の検討においては既報<sup>3)</sup>の実験や解析結果を反映させずに、「改良設計の基本的な考え方」に基づき、試験検討を行っている。本試験検討では、あくまでB工法を1例として扱っているものであり、具体的な設計法への反映とは切り離された検討となっている。試験検討の結果より、A工法の試験検討で示唆された改善すべき点以外の新たな改善すべき点が抽出されないかを確認する。最後に（第3章）、以上の検討結果とA工法に関する検討結果<sup>2)</sup>より、「改良設計の基本的な考え方」を設計実務において、より効果的に活用できるように改善を図る。

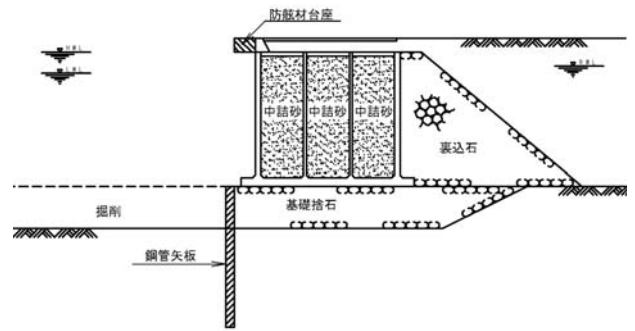


図-1.2 A工法概念図

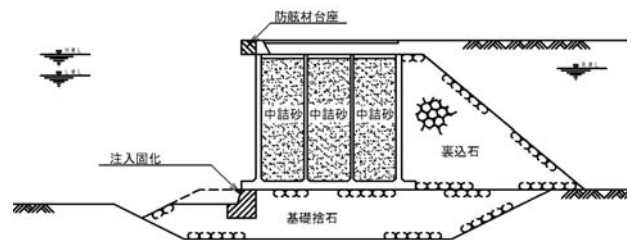


図-1.3 B工法概念図

表-1.1 用語の定義

安定性向上メカニズム	既存構造物の安定性を向上させる要因となる原理。
工法選定の基本的な考え方	安定性向上メカニズムから改良工法を網羅的に抽出し、各種の制約条件を明確に設定したうえで制約条件と改良工法を関連付けることで効率的に工法の絞り込みを行うという考え方。
構造ユニット	既存構造物や追加した構造物。
構造系	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。
一般化した課題	改良断面において構造物の構成部材、各構造物の組み合わせや位置関係に着目して抽出された設計者が確認すべき改良工法に関する設計上の8つの課題。
性能評価	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かという高度かつ総合的な性能の評価。
改良設計の基本的な考え方	図-1.1のフロー図の点線枠で示される考え方で、設計者が複数の工法を公平に評価できるように、共通して認識すべき事項。

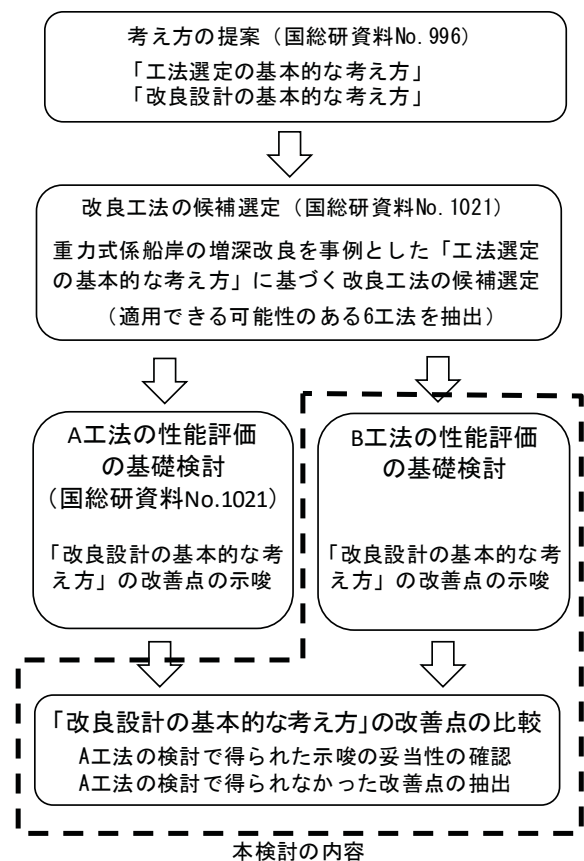


図-1.4 研究全体のフロー

## 2. B 工法の性能評価の基礎検討

### 2.1 本章の位置づけ

#### (1) 概要

本章では、B工法について、工法の性能評価の基礎検討を行う。

以下、(2)および(3)にて、前報<sup>2)</sup>と説明内容は同じであるが、性能評価と性能評価の基礎検討の位置づけと具体的な検討内容を説明する。

#### (2) 性能評価の定義と概要

田端ら<sup>1)</sup>は改良設計で行うべき性能評価を以下のように示している。

『「改良設計の基本的な考え方」は複雑な断面構成となることが多い改良断面に対して、構造計画の検討、設計法の構築、施工方法の検討、維持管理への配慮事項などについて、設計者が複数の改良工法を公平に評価できるように、設計者が共通して認識すべき事項をまとめたものである。なお、これらの総合的な検討を行う際には、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が必要である。本提案では、この高度かつ総合的な性能の評価のことを性能評価としている。なお、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の比較による単なる性能の照査(性能照査)とは異なる概念として取り扱っている。』<sup>1)</sup>

改良設計の性能評価では、構造断面の挙動を考えた総合的な性能の評価や複数の工法を公平に評価することが必要である。このため、改良設計の実務を行う上では、数値解析や既存手法に基づく力のつり合いで施設の性能を評価することが一般的であるが、これらの定量的な検討を行う前にどのような定量的な検討を行うべきかという、構造断面の総合的な(定量的ではない定性的な)性能の評価を行うことが非常に重要となる。

#### (3) 本検討で行う性能評価

##### a) 用語に関する留意点

本検討において、性能評価とは、具体的には図-1.1の③～⑤の内容を示しており、これらの一連の検討をまとめて、性能評価と呼称している。また、図-1.1において、④の検討を「構造ユニットの性能評価」、⑤の検討を「構造系の性能評価」と示しているが、本検討では上述した性能評価との差別化を図るために、④の検討を「構造ユニットの性能の評価」、⑤の検討を「構造系の性能の評

価」と呼ぶ。

##### b) 本検討で行う性能評価の位置づけ

本章では、この定量的な設計方法の検討に移行する前に実施すべき、構造断面を俯瞰した性能評価をB工法に関して試行的に行う。これを性能評価の基礎検討と称している。

本章では、この試行的な検討の結果から、定量的な検討を行う前に行うべき性能評価として、施設の性能を確保するために検討すべき項目の考察や実務における検討を行う際の着目点の考察を行う。この検討の過程において「改良設計の基本的な考え方」に対する妥当性の確認と改善すべき事項を抽出する。

なお、本章の内容は、B工法の性能評価として完結したものではなく、実際の検討においては、検討の各段階やその際に求められる検討の精度に応じて繰り返し性能評価を行っていく必要がある。その際には数値解析や模型実験による挙動の確認や力のつり合いに基づく検討による定量的な検討が必要となる。

### 2.2 想定断面の作成

#### (1) 本節の位置づけ

本節では図-1.1に示した考え方の「②改良工法の候補選定及び想定断面の作成」のうち、想定断面の作成を行う。なお、本来は断面を想定するにあたり、類似工法などを参考に設計法についても想定を行うが、B工法は設計法が提案されている<sup>3)</sup>ため、この設計法を流用するものとする。

#### (2) B工法の概要

B工法は捨石マウンドの一部を改良・固化し、掘削することで、重力式係船岸の法線の位置を変更せずに増深を行う工法である。以下、本工法の概要を説明するが、本工法の詳細については既報<sup>3, 4)</sup>を参考にされたい。

B工法で形成する改良体の概念図を図-2.1に示す。B工法の施工は、まず捨石マウンドの削孔を行い、削孔した先端部から可塑状グラウト<sup>3, 4)</sup>を注入し、球状の改良体を作成する。これら球状の改良体を隣接する球状体同士の隙間にグラウトが隙間なく充填されるように注入することで所定の形状(図-2.1)の改良体を形成する。改良体形成後にはマウンドの掘削を行い、掘削した表面を水中不分離性モルタルで整形する。



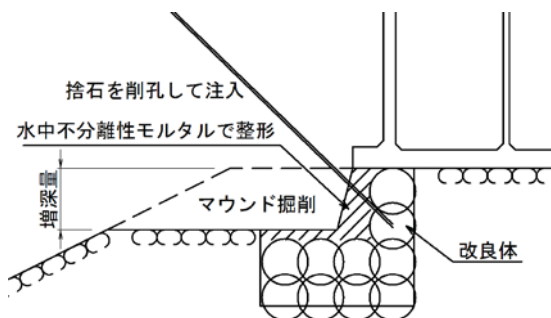


図-2.1 改良体の概念図

(3) 想定断面の設定方針

図-2.2に、B工法を適用する既設の重力式係船岸の標準断面を示す。この断面は、前報<sup>2)</sup>で設定したものであり、本検討においても同じ断面を用いるものとする。本検討では、この標準断面を2m増深する場合を想定し、水谷ら<sup>3)</sup>による提案に基づき改良体の改良範囲の設定を行う。

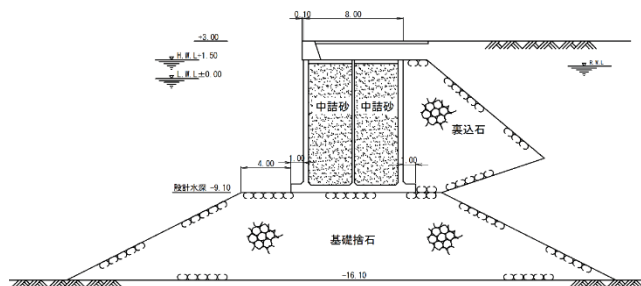


図-2.2 標準断面図（既存構造物）

(4) 改良体範囲の設定

a) ケーソン直下の改良幅 (B<sub>1</sub>)

ケーソン直下の改良幅（固化体の天端面の幅 (B<sub>1</sub>)）は、図-2.3に示すとおり、マウンド掘削によりケーソン前趾下部に生じるマウンド直立部が主働崩壊する範囲より、広くなるように設定する<sup>3)</sup>。

捨石の内部摩擦角  $\phi = 40^\circ$ 、壁面摩擦角  $\delta = 0^\circ$ 、見掛けの震度  $k' = 0.30 (k = 0.15)$  とすると、主働崩壊角は  $51.7^\circ$  となる。増深量は2.0mであるため必要最小改良幅は以下のようになる。

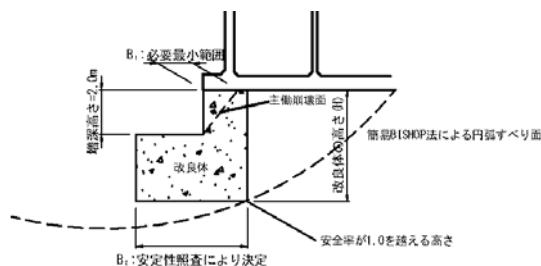


図-2.3 改良体の改良範囲設定方法

$$\text{改良幅} = 2.0\text{m} \times (1/\tan(51.7^\circ)) = 1.58\text{m}$$

なお、本検討での改良幅は既報<sup>3)</sup>に倣い、安全側の値として必要な改良幅は2.0mとする。

b) 改良体の高さ (H)

改良体の高さ (H) は、ケーソン直下の改良幅 (B<sub>2</sub>) を設定した後、その幅を固定し、偏心傾斜荷重の円弧すべり（簡易ビショップ法）による支持力の検討を行い、必要な安全率を保持できる高さを最小としている<sup>3)</sup>。表-2.1に捨石マウンドと基礎地盤の地盤定数を示す。

表-2.1 簡易ビショップ法で用いる地盤定数

	飽和重量 (kN/m <sup>2</sup> )	湿潤重量 (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)	粘着力 c (kN/m <sup>2</sup> )
捨石マウンド	20.0	18.0	35.0	20.0
基礎地盤	20.0	18.0	45.0	---

偏心傾斜荷重の大きくなる地震時荷重下における最小安全率1.0を超える改良体の高さ（図-2.4）として  $H = 4.0\text{m}$  を設定した。

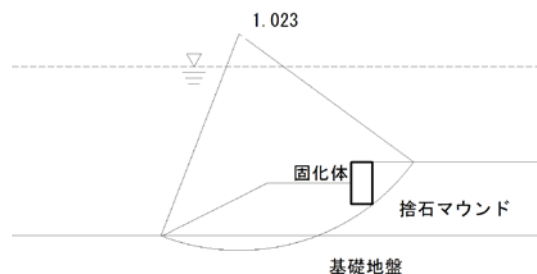


図-2.4 改良体設置後の偏心傾斜荷重による円弧すべり

c) 改良体の改良幅 (B<sub>2</sub>)

改良体の形状は、縦長の矩形形状では改良体自体が不安定であることから逆L時の形状を標準としている<sup>3)</sup>。この時の改良体下端の改良幅 (B<sub>2</sub>) は、安定性の検討によって求める。安定計算の手法については後述する。

(5) 改良体の静的外部安定照査

改良体に作用する荷重と抵抗の概念図を図-2.5に示す。改良体の静的外部安定性照査の検討項目は、改良体の滑動、転倒及び端し圧である。既報<sup>3)</sup>では、改良体の静的安定性能照査について地震時を想定し、改良体に作用する荷重として以下のものを想定している。

① 改良体に作用する主働土圧

- ② 改良体の地震時慣性力
  - ③ ケーソン底面反力 (上載荷重)
  - ④ ケーソン底面から作用する地震時水平力
- また、滑動・転倒の検討に用いる抵抗力としては以下のものを想定している。
- i 改良体に作用する主働土圧の鉛直成分
  - ii 改良体の自重
  - iii 改良体上に作用するケーソンの底面反力
- 最後に、本検討における荷重と抵抗力の値を表-2.2に整理する。

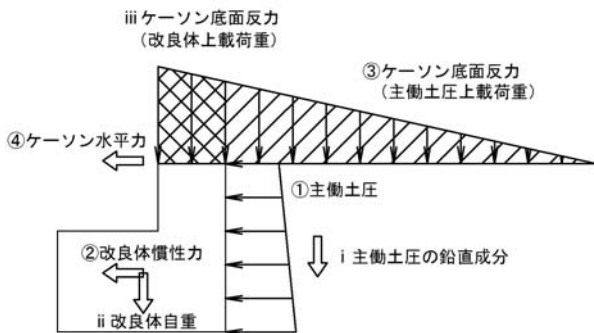


図-2.5 荷重と抵抗の概念図<sup>3)</sup>

表-2.2 改良体に作用する外力

	鉛直力 (kN/m)	水平力 (kN/m)	Mx (kN・m/m)	My (kN・m/m)
改良体重量	150.00	22.50	350.00	37.50
ケーソン底面反力	595.83	174.98	1762.16	699.92
主働土圧	61.40	229.14	245.60	437.90
合計	807.23	426.62	2357.76	1175.32

このときの各値の計算結果は以下の通りとなる。なお、本検討では、既報<sup>3)</sup>と同様に安全率法による検討を行っている。検討は荷重の大きくなる地震時を対象とし、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>5)</sup>より、滑動の安全率1.0、転倒の安全率1.1以上を確保できることを確認する。なお、マウンドの支持力の許容値は600kN/m<sup>2</sup>として検討を行う。

① 滑動

$$F_s = 807.23(\text{kN/m}) \times 0.6 / 426.62(\text{kN/m}) = 1.14 > 1.0$$

② 転倒

$$F_s = 2357.76(\text{kN} \cdot \text{m/m}) / 1175.32(\text{kN} \cdot \text{m/m}) = 2.01 > 1.1$$

③ 端し圧

$$X = (2357.76 - 1175.32) / 807.23 = 1.46(\text{m})$$

$$e = 5.0/2 - 1.46 = 1.04(\text{m})$$

$$p_1 = 365.27(\text{kN/m}^2) < 600(\text{kN/m}^2)$$

$$p_2 = 38.34(\text{kN/m}^2) < 600(\text{kN/m}^2)$$

(6) 改良体の内部安定照査

改良体の必要強度の検討手法の詳細は既報<sup>3)</sup>を参照されたい。これによると「ケーソン直下の捨石マウンドを改良することより、捨石マウンドの剛性は改良部・未改良部とで異なったものとなる。その剛性差により改良体に応力の集中が生じることが懸念されるため、線形弾性解析により改良体に生じる内部応力の検討を実施する。」としている。

また、既報<sup>3)</sup>では改良体の必要強度として、ケーソン反力の応力集中を考慮し、ケーソンの全鉛直力が改良体に作用したと仮定した場合の改良体の必要強度、マウンド上にケーソンを模擬した剛な梁要素ケーソンを設置し、底面反力が改良体にどの程度集中するのかを考慮した改良体の必要強度を検討し、その検討手法としては深層混合処理工法と同様の考え方をを用いて検討している。

本検討は、試検討であり、ここでは想定断面を作成することを目的としているため、内部安定に関する検討を行っていない。

(7) 想定断面の設定

(4), (5)で設定した改良体の改良範囲に基づき、図-2.6に示す想定断面を設定する。改良体の改良範囲はケーソンに接する面が2.0m、高さが4.0m、改良幅は5.0mとなる。なお、既報<sup>3)</sup>に倣い、改良体直立部への応力集中を低減させるため、角部にはハンチを設けるとともに、築造限界を考慮し、ケーソンの上部工には防舷材台座を取り付ける。以降の検討においてこの想定断面を基に検討を行う。

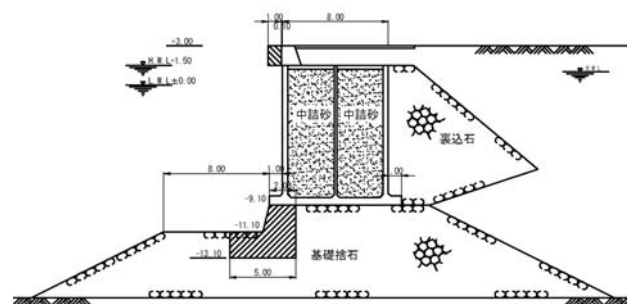


図-2.6 B工法想定断面図

2.3 設計上の課題の抽出

(1) 本節の位置づけ

本節では図-1.1に示した考え方の「③構造系の挙動の推定と設計上の課題の抽出」のうち、設計上の課題の抽出を行う。

(2) 設計上の課題の抽出

a) 一般化した課題の概要

設計上の課題は、田端ら<sup>1)</sup>により提案された表-2.3を参考に抽出する。同表に示すとおり、一般化した課題は、設計者が改良設計を行う上で着目すべき点を基にした3つの分類（Ⅰ～Ⅲ）と、さらに細分化した8つの設計課題により構成されている。

以下、これらの設計課題が、B工法の性能評価を進める上で考慮すべき課題に該当するか否かについて、上述の分類ごとに考察する。なお、本検討では表-2.3中、灰色で示した課題が該当するが、表-2.3中に示される合計8項目の一般化した設計課題が本工法に当てはまるか否かについては、以下c)からe)にて説明する。

表-2.3 一般化した設計上の課題

着目点を基にした課題	一般化した設計課題
Ⅰ. 構造系の複合状態に関する課題	I-1. 構造形式が複合した構造系の挙動に関する課題
	I-2. 柔. 剛構造が複合した構造系の挙動に関する課題
	I-3. 新旧構造が複合した構造系の挙動に関する課題
Ⅱ. 構造ユニットの複合状態に関する課題	Ⅱ-1. 構造部材の複合した構造ユニットの挙動に関する課題
Ⅲ. 構造ユニットの配置に関する課題	Ⅲ-1. 構造ユニットの並列配置に関する課題
	Ⅲ-2. 構造ユニットの直列配置に関する課題
	Ⅲ-3. 構造ユニットの近接配置に関する課題
	Ⅲ-4. 残置物の影響に関する課題

### b) 構造ユニットの分類

B工法では既存構造物であるケーソンを1つの構造ユニットとして捉えることができ、追加する改良体も新しい1つの構造ユニットとして捉えることができる。B工法における構造ユニットを図-2.7に示す。

なお、基礎捨石マウンドも一つの構造ユニットと捉えることが可能であるが、本検討ではそのような取り扱いはしていない。これは、マウンドの挙動は、海底の原地盤等と同様に非常に複雑であり、構造ユニットとして取り扱っても、その性能を評価することが難しいためである。

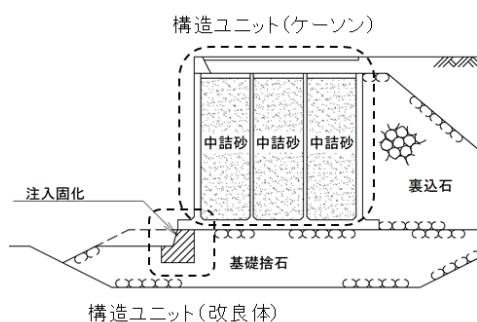


図-2.7 B工法の構造ユニット

### c) 構造系の複合状態に関する課題（分類Ⅰ）

#### ①設計課題Ⅰ-1

B工法におけるマウンド中の改良体は、ケーソンと同種の重力式構造物であり、その挙動も似ているものと考えられる。このため、本断面は、構造形式が複合しているとは言えず、B工法の性能評価に対して設計課題Ⅰ-1は該当しない。

#### ②設計課題Ⅰ-2

ケーソンと改良体は、どちらもコンクリートを主とした剛な構造物であるため、柔構造、剛構造が複合しているとはいえない。従って、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅰ-2は該当しない。

#### ③設計課題Ⅰ-3

B工法では、既存のケーソンに対して新たに構造を追加しているため、新旧の構造が複合している状態にある。このため、B工法の性能評価にあたっては、新旧の構造が複合した構造系の挙動に関する課題に注意する必要がある。すなわち、ケーソンと改良体の2つの構造ユニットの規模やユニットに作用する荷重や強度差などにより、構造ユニットの挙動に差異が生じることから、構造系の挙動を慎重に推定する必要がある。従って、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅰ-3は考慮すべき事項である。

### d) 構造ユニットの複合状態に関する課題（分類Ⅱ）

#### ①設計課題Ⅱ-1

B工法は、ケーソンと改良体の2つの構造ユニットが独立した構造であり、構造ユニットが連結・接合した構造ではない。従って、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅱ-1は該当しない。なお、ここでの課題の考察では、ケーソンと改良体の付着力が十分に弱いと想定し、課題の抽出を行っている。ケーソンと改良体の付着強度によっては設計課題Ⅱ-1が該当することも考えられる。

### e) 構造ユニットの配置に関する課題（分類Ⅲ）

#### ①設計課題Ⅲ-1

本設計課題である構造ユニットの並列配置とは、ケーソンの補強工法の場合、既存ケーソン1函に対して2箇所以上の陸側グランドアンカー（構造ユニット）でケーソンを陸側に同時に引っ張るなど、1構造ユニットに対し、複数の構造ユニットがそれぞれ異なる箇所や方向へ抵抗力を作用させる構造ユニット同士が並列関係にある状態を指す。B工法は一見、上述した構造ではないように思えるが、ケーソンと改良体の平面的な配置に着目すると、ケーソンの函割りと改良体の目地の位置関係によっては、1つのケーソンを複数の改良体が支えることがある。従っ

て、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅲ-1は考慮すべき事項である。

②設計課題Ⅲ-2

本設計課題である構造ユニットの直列配置とは、B工法の場合、ケーソン1函に対し、2つ以上の控え杭が直線的にタイ材で接続されているなど、1構造ユニットに対し、複数の構造ユニットが同じ箇所や方向へ抵抗力を作用させる構造ユニット同士が直列関係の配置にある状態を指す。B工法は上述した構造ではないため、B工法の性能評価に対して設計課題Ⅲ-2は該当しない。

③設計課題Ⅲ-3

B工法では、既存のケーソンと改良体は近接しているため、構造ユニットの近接配置に関する課題が懸念される。具体的には、ケーソンと改良体の相対的な位置関係や両者の強度差が、ケーソンと改良体との間における荷重伝達状況や双方の地震時の破壊形態に対して、影響を及ぼす可能性がある。従って、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅲ-3は考慮すべき課題である。

④設計課題Ⅲ-4

本設計課題である残置物とは、既存構造物前面に新たに構造物を設置した場合に、荷重に対して耐力を期待しない既存構造物のことを示している。B工法では、ケーソン背後の主働土圧に対して、ケーソンの耐力を期待している。従って、B工法の性能評価に対して、設計課題Ⅲ-4は該当しない。

2.4 構造系の挙動の推定例

(1) 本節の位置づけ

本節では図-1.1に示した考え方の「③構造系の挙動の推定と設計上の課題の抽出」のうち、構造系の挙動の推定を行う。構造系の挙動の推定では、想定断面に対して、構造全体としてどのような挙動を示すかを検討し、起こりうる破壊モードを抽出する。

本来、ここでは網羅的に破壊モードを抽出する必要があるが、本検討の目的はB工法の具体的な設計法を検証することではなく、その検討過程で得られる「改良設計の基本的な考え方」の改善点を抽出することであるため、代表的な破壊モードのみを抽出している。

(2) 構造系の挙動の推定例

a) 本検討の内容

本検討で対象とするB工法において、ケーソン下の改良体はレベル1地震動では破壊しないことを前提としている。このため、種々の破壊や変位は発生しないことになるが、本検討においてはレベル1地震動やその他、構造

系の挙動に変化を与える要因について考察し、想定される代表的な構造系の破壊モードを例示している。このため、本検討では、B工法の前提条件とは異なる検討を行っていることを念頭に置かれない。

b) 静的安定性照査項目に着目した挙動の推定

b)では、静的安定性照査における照査項目に着目し、破壊モードを想定する。具体的には、重力式構造物では滑動、転倒、基礎の破壊の3つの項目があり、これらの照査項目に対応して各構造ユニットが変位すると仮定し、破壊モードを想定する。図-2.8に、滑動破壊に対応した3種類の破壊モードを示す。

破壊モード(1)は、ケーソンのみが海側へ変位し、改良体は変位しない破壊モードである。破壊モード(2)は、ケーソンと改良体の両構造ユニットが同時に海側へ変位する破壊モードである。破壊モード(3)は、改良体のみがケーソン直下から海側に抜け出すように変位する破壊モードである。

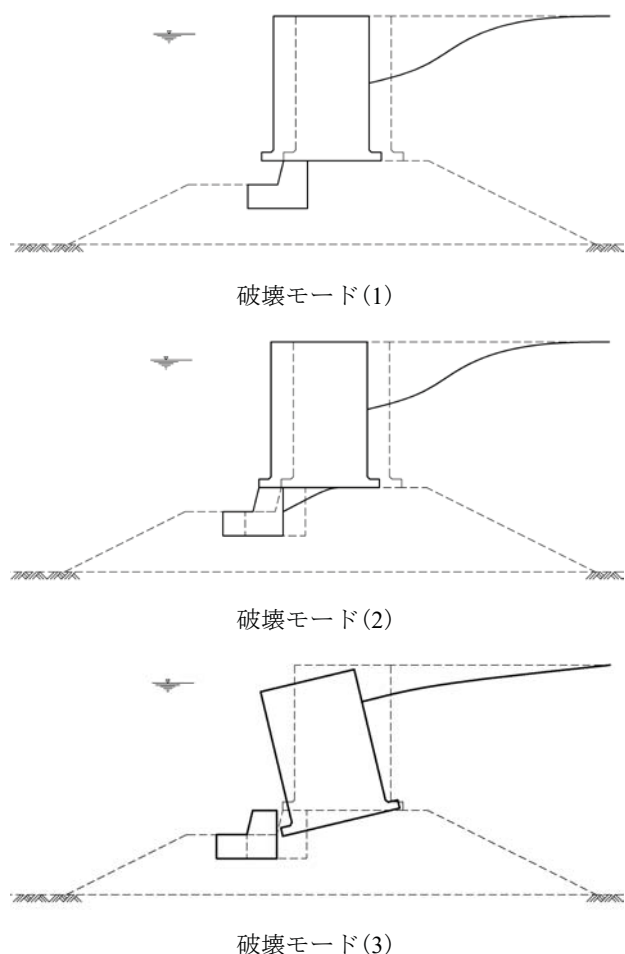


図-2.8 構造ユニットの照査項目に着目した破壊モード例



c) 地盤の変形を考慮した挙動の推定

c) では、基礎マウンドや基礎地盤の沈下や変形が発生した場合に着目し、破壊モードを想定する。マウンドや地盤の変形は、マウンドの経年的な圧縮沈下、基礎地盤（粘性土）の圧密による不同沈下、地震時の基礎地盤の軟化・液状化による不同沈下、地震時のマウンドの圧縮沈下、地震時における地盤全体の側方流動（側方変位）などを想定している。図-2.9に、地盤の変形を考慮した際の破壊モードの例を示す。

破壊モード(4)は、改良体周辺が先行して沈下し、ケーソンが海側へ回転するような破壊モードである。破壊モード(5)は、改良体周辺の沈下が相対的に小さく、ケーソンが陸側に回転するような破壊モードである。なお、地震時には、破壊モード(4)と(5)の不同沈下に加えて、マウンドや周辺地盤全体の側方変位も同時に発生する。

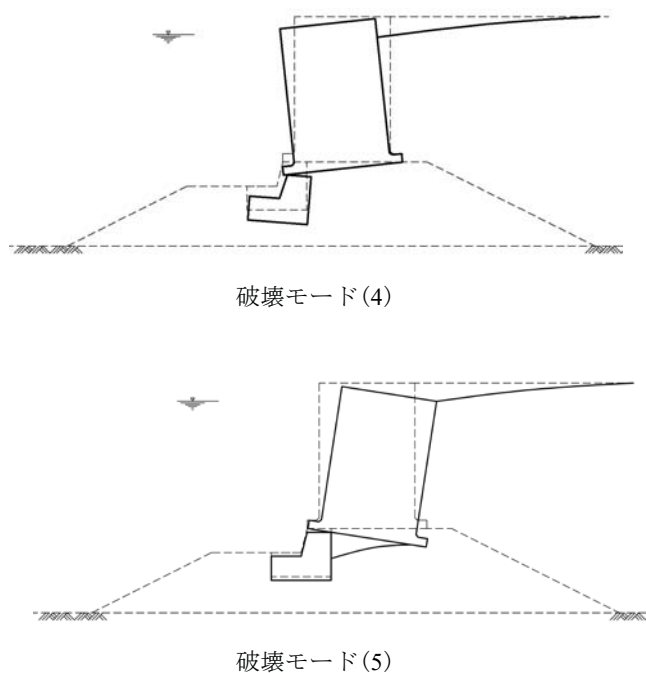


図-2.9 地盤の変形に着目した破壊モード例

## 2.5 構造ユニットの挙動推定と性能の評価例

### (1) 本節の位置づけ

本節では、図-1.1に示した「④構造ユニットの挙動推定と性能の評価」を行う。

### (2) 本検討の内容

本検討では、定量的な設計方法の検討に移行する前に実施すべき、構造断面を俯瞰した性能の評価を行う。具体的には、2.4で推定した破壊モードに対し、2.3で抽出した設計上の課題を念頭に置き、構造ユニットがどのよ

うな荷重を受けるのか、または静的安定検討（2.2想定断面の作成）で設定していた荷重がどのように変化する可能性があるかを推定し、各構造ユニットに対して照査すべき項目の候補を例示する。なお、実際の改良設計では、照査すべき項目の候補を例示するだけでは不十分である。改良設計法の実用化にあたっては、照査すべき項目を網羅的に抽出した上で、不確定な事項については模型実験や数値計算等を行うことにより設計上の取り扱いを明確にし、それらの結果に基づき具体的な設計法に落とし込む必要がある。

### (3) 構造ユニットに作用する荷重と性能の評価

#### a) 破壊モード(1)

破壊モード(1)では、地震時等に改良体の変位がケーソンより小さい変位にとどまる状況を想定している。この破壊モードは、改良体の大きさが大きい場合や改良体のマウンドへの根入れ深度が大きい場合に、発生する可能性がある。ケーソン式重力岸壁では、レベル1地震後の許容変形量は数10cm程度以内を想定して耐震設計が行われるため、このようなケーソンの変位量が改良体の変位量よりも相対的に大きい場合も許容されると考えられる。ただし、ケーソンの変位発生に伴い、ケーソンと改良体間での荷重伝達の状況（分布や強度）が設計想定とは大きく異なる場合もあるため、この点を確認する必要がある。また、設計対象地震動に対するケーソンと改良体との相対的な変位量とその許容値に関しては別途検証する必要がある。これらの確認の結果、必要があれば、各構造ユニットの設計に適切に反映する必要がある。

#### b) 破壊モード(2)

破壊モード(2)では、地震時等においてケーソンと改良体が一体として動くことを想定している。ケーソン式岸壁の過去の被災事例や模型実験等からは、ケーソン前し付近の基礎捨石を引きずるようにしてケーソンと基礎捨石と一緒に移動することが明らかにされていることから、この破壊モードは、それに近い、望ましい破壊モードと考えることはできる。

この破壊モードについては、ケーソンと改良体は同時に動くため、一見、力のつり合いに変化はないように思える。しかしながら、改良体の移動により、改良体と捨石マウンド間に隙間が生じる可能性があり、この際にケーソンからの鉛直力や水平力が改良体に集中して作用する可能性がある。このため、破壊モード(1)と同様、ケーソンと改良体間での荷重伝達の状況（分布や強度）が設計想定とは大きく異なる場合もあり、この点の確認や

設計上の配慮が必要となる。

c) 破壊モード(3)

破壊モード(3)では、地震時等に改良体が先に滑動することを想定している。この破壊モードはケーソン前し部の支持がなくなるため、ケーソンが大きく転倒する可能性が高く、避けるべき破壊モードである。ただし、改良体のみが先行して変位することは、一般的には考えにくい<sup>3)</sup>。

d) 破壊モード(4)

破壊モード(4)は、改良体周辺が先行して沈下し、ケーソンが海側へ回転するような破壊モードを想定している。改良体周辺の沈下がわずかであっても、ケーソンから改良体天端面への荷重がケーソン前し部分に集中して作用する可能性もある。このため、このような荷重伝達の状況が容易に発生しうるか否かについて確認する必要がある。また、必要があれば、この影響を改良体の外部安定照査（支持力照査など）や内部安定照査（改良体の内部応力の照査）に適切に反映する必要がある。また、ケーソンの底版やフーチングの内部安定照査に対しても適切に反映する必要がある。

e) 破壊モード(5)

破壊モード(5)は、改良体周辺の沈下が相対的に小さく、ケーソンが陸側に回転するような破壊モードを想定している。この場合、ケーソン周辺の沈下がわずかであっても、ケーソンから改良体天端面への荷重が改良体天端の陸側端部付近に集中して作用する可能性もある。従って、破壊モード(5)についても、破壊モード(4)と同様に、荷重伝達状況の確認を行い、必要があれば、その影響を改良体の外部・内部安定照査及びケーソン底版の内部安定照査へ適切に反映する必要がある。

(4) 改良体の内部安定に関する性能の評価

a) 構造ユニットの挙動の推定

(3)では、構造ユニットの相対的な動きに着目し、抽出した破壊モードに対し、作用する荷重と性能の評価について述べた。しかし、(3)や既報<sup>3)</sup>でも示されている改良体の内部安定に関する性能の評価が考慮されていないことになる。そこで、改良体の内部安定に関する性能の評価を別途、行う必要がある。

b) 想定する改良体の破壊形態

実際の改良体は、既存の捨石の間にグラウト材を注入

したものであるため、均質なコンクリートではなく、様々な粒径の石材とグラウト材が複合した構造体である。また、改良体は球状の改良体が連なった形状であるため、**図-2.6**に図示されるような綺麗な矩形形状ではない。

京浜港ドックで行われた実物大の実証実験<sup>4),6)</sup>（**写真-2.1**）で実施された改良体のコア抜き及びボアホールカメラによる孔壁の画像撮影の結果（**図-2.10**）から、「グラウトは概ね注入計画範囲内に全体的に充填されているとともに、部分的に空隙が存在している」<sup>6)</sup>ことがわかっている。また、採取されたコアサンプリング試料の一軸圧縮試験の結果からは、全試料で目標強度より大きい値を出しているものの、強度のバラツキが存在し、「捨石と可塑性グラウトの複合体の圧縮強度は、捨石の割合が多くなると、捨石の形状やグラウト材の充填状況に支配されると考えられる。グラウトの割合が多くなると、圧縮強度がグラウト材自体の目標強度よりも小さくなるものは、圧縮強度は捨石とグラウト材の界面の付着力が支配的になるためであると考えられる。」<sup>6)</sup>ことが示されている。



写真-2.1 改良体の出来形<sup>3)</sup>

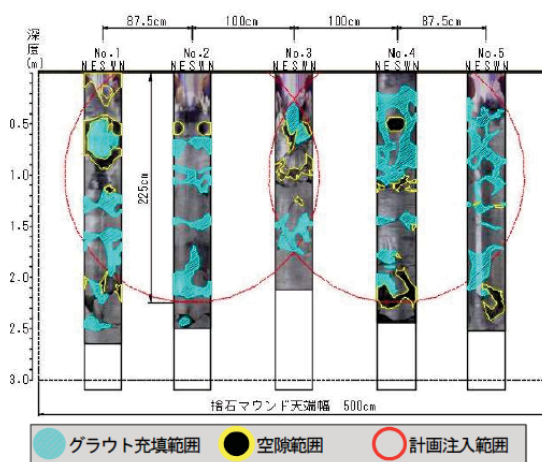


図-2.10 ボアホールカメラによる孔壁画像の展開図<sup>6)</sup>

以上に示した改良体の性状を考慮すると、改良体の天端面付近の粒径の大きな捨石に離散的に集中荷重（鉛直

力と水平力の同時作用）が作用した場合に、改良体の破壊形態や内部の破壊面の位置を予測することは難しいと考えられる。改良体には捨石とグラウト材との付着が弱い箇所が存在する場合があります、かつ荷重伝達への寄与度が大きい大粒径の捨石の位置関係が改良体内のクラック発生位置に大きく影響すると考えられるためである。

以上のことを踏まえ、改良体の破壊形態の想定とそれによる構造系の破壊モードの抽出を行う。

#### c) 改良体の破壊形態を考慮した際の破壊モード

図-2.11に、改良体の破壊形態を考慮した際の破壊モードの一例を示す。

破壊モード(6-1)は、既報<sup>3)</sup>の内部安定検討に関する数値解析でも示されているように地震作用時に、ケーソン前し部分から改良体天端面の海側端部への集中荷重が作用することにより、改良体の天端一部が圧縮破壊またはせん断破壊する場合である。この破壊が一度発生すると、改良体天端面の海側端部にはケーソンからの荷重が集中するため、同じような圧縮破壊またはせん断破壊が連続して発生するものと考えられる。

破壊モード(6-2)は、地震作用時に、ケーソン前し部分から改良体天端面に集中荷重が作用することにより、改良体の上下が分離するように破壊する場合である。改良体の上部(凸部)が上方に突き出た片持ち梁と見なすと、その片持ち梁の端部にケーソンからの鉛直・水平荷重が作用することになり、その結果、片持ち梁の付け根部分が損傷することが考えられる。

破壊モード(6-3)は、破壊モード(6-2)と同様の荷重に対して、鉛直成分が大きいことから改良体の付け根部分が縦に損傷し、左右に分離することが考えられる。

破壊モード(6-4)は、常時のケーソンの荷重に対して、捨石とグラウトの付着が弱い箇所が分離し、改良体が圧壊することを考えている。捨石とグラウト材が分離することにより改良体としての機能を十分に発揮できない可能性も考えられる。

#### d) 破壊モード(6)の性能の評価

破壊モード(6)は改良体の破壊により発生する破壊モードを想定しているが、改良体の破壊はレベル1地震動などの変動作用に対して許容されない。このため、破壊モード(6)は、レベル1地震動を越える作用に対する岸壁構造全体の冗長性やじん性(変形性能)の確認が必要とされる場合や、耐震強化岸壁としてレベル2地震動(偶発作用)に対する要求性能(修復性等)の確保が必要とされる場合などにおいて、十分な検討が必要となる。

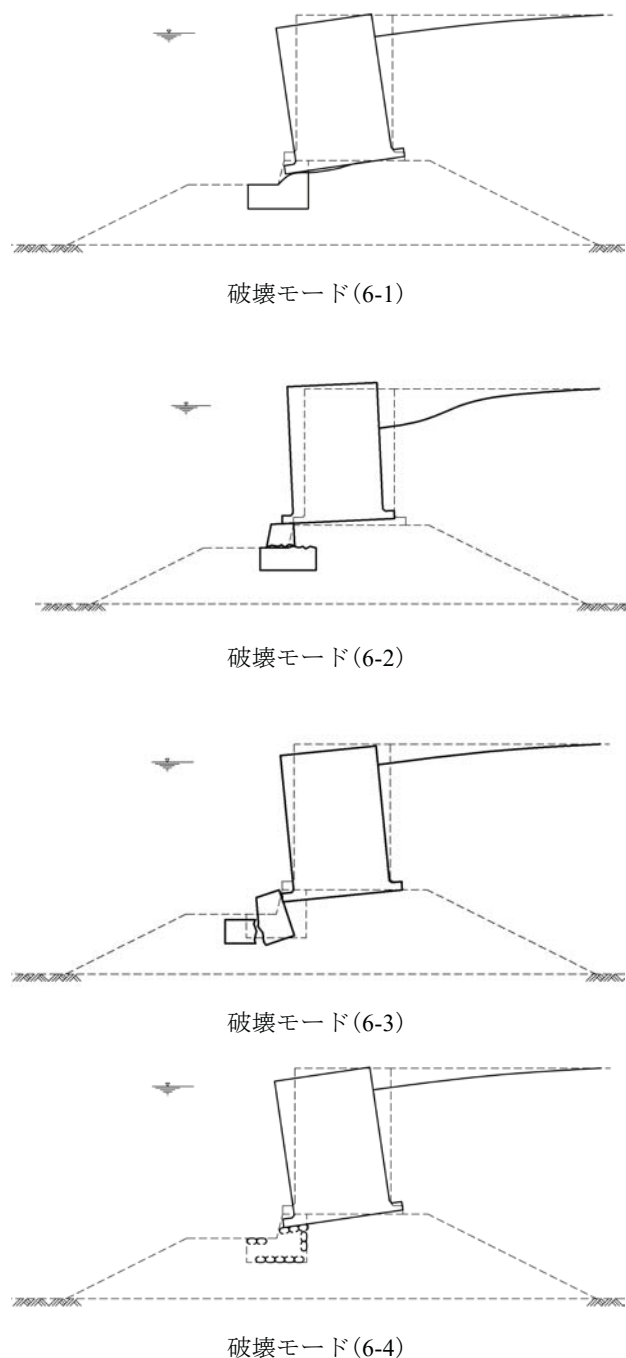


図-2.11 改良体の破壊を考慮した破壊モード(破壊モード(6))

#### (5) 既往の知見で検討できない際の対応策

構造ユニットの性能の評価は既往の知見に基づき、検討されることが多い。しかしながら、破壊モード(1)から(5)のどのモードが発生するかを特定し、それらの破壊モード発生時にケーソンと改良体との間における荷重伝達状況を正確に評価することがそもそも難しい。また、B工法を耐震強化岸壁に適用する場合、改良体の損傷・破壊



形態（無損傷も含む）を推定することも難しく（破壊モード(6)）、その結果、岸壁の修復性（要求性能）の照査も難しくなる。

これらの評価が難しい項目については、模型実験や数値計算により、定量的な評価が出来るようにしておく必要がある。しかしながら、模型実験では、縮尺（相似則）の問題や計測できない項目の存在、実験回数の制限などの要因により、必ずしも全ての項目について、その精度に自信が持てるような定量化ができない場合もある。また、数値計算においても、現地条件（地盤条件）に関する情報不足や理想化された計算モデル（構成則等）では実現象を再現できない事象も残るなどの要因により、同様の課題がある。このように、模型実験や数値計算の結果を得たとしても、その精度に自信が持てるような定量的な評価が難しい場合には、主に2つの対応の方向性があると考えられる。

1つ目の方向性は、十分な安全代を設けた設計法を構築することである。例えば、改良体の内部安定照査において、実験結果や数値計算の結果を参考として、設計上想定しうる最悪の荷重伝達状況及び改良体の強度特性を、工学的判断に基づき設定し、改良体の応力照査を行うことなどが想定される。

2つ目の方向性は、構造計画の見直しにより、定量化が困難な不確定な部分のリスクを低減することである。例えば、B工法を耐震強化岸壁に適用する場合に、改良体の部分的な破壊が即座にケーソン転倒に繋がるようであれば、転倒リスクを低減するような改良体の形状に変更することなどが想定される。

なお、1つ目の方向性は、その精度に自信が持てるような定量的な評価が難しい事象を、定量的に評価する場合の対策である。2つ目の方向性は、定量的には評価しないものの、定性的な評価に基づき対策を行う場合である。実際には、2つの方法を組み合わせることもできる。

## 2.6 構造系の性能の評価の着目点

### (1) 本節の位置づけ

本節では、B工法を対象として図-1.1に示した「⑤構造系の性能の評価」を行う。構造系の性能の評価では、最終的に数値解析や模型実験を用いて実際の挙動を確認し、2.4で想定した各破壊パターンが発生するか否かの確認、発生する可能性がある破壊パターンについては各構造ユニットで設計上考慮すべき荷重の分布や強度の評価、及び各構造ユニットの挙動と破壊モードとの整合性を確認する必要がある。

ただし、本検討の主目的は「改良設計の基本的な考え

方」に対する改善すべき点を抽出することにある。このため、本検討では、(2)において本工法の構造系の性能の評価を行う際に確認すべき事項（着目点）を列挙するのみに留まっている。B工法の具体的な照査法については、別途さらなる検討を行い、確立する必要があることに注意されたい。

### (2) B工法の構造系の性能の評価の着目点

B工法における構造系の性能の評価の着目点としては、2.5の検討より、以下に示す点が挙げられる。

#### ①ケーソンと改良体の相対的な挙動

2.4で示した破壊モード(1)～(3)で示すようなケーソンと改良体の相対的な挙動により、2.5で示したような設計時に考慮すべき事項が変化する。このため、B工法の構造系の性能の評価にあたっては、地震時等において破壊モード(1)～(3)のどの破壊モードが発生する可能性があるかを確認すべきと考えられる。

#### ②地盤変形に伴うケーソンと改良体との荷重伝達状況

2.4で示した破壊モード(4)～(5)で示すような基礎マウンドや基礎地盤の沈下や変形の状況により、2.5で示したような設計時に考慮すべき事項が変化する。具体的には、B工法の構造系の性能の評価にあたっては、マウンドや基礎地盤の沈下や変形によって、ケーソンから改良体天端面への荷重伝達状況が大きく変化する可能性もあるため、この点を確認すべきと考えられる。また、想定される荷重伝達状況に対して、改良体とケーソンの構造安定性の照査方法を明確化する必要があると考えられる。

#### ③改良体の破壊形態

B工法を耐震強化岸壁に適用する場合の構造系の性能の評価にあたっては、レベル2地震動の作用時に、想定しうる改良体の損傷・破壊形態（無損傷も含む）を推定し、当該施設に対する要求性能（修復性等）が確保されるかを確認する必要がある。

### (3) 性能の評価結果の反映

「⑤構造系の性能の評価」で得られた結果は、各段階（手順①～④）の検討に適切に反映させる必要がある。

まず、「④構造ユニットの挙動推定と性能の評価」の段階で不明確であった荷重などが実験やFEM解析により確認できた場合は、その数値を用いて構造ユニットの再評価を行う必要がある。例えば、破壊モード(4)、(5)で示したケーソンから改良体へ伝わる荷重が、想定していた荷重以上のものであった場合は実験やFEM解析で得られた荷重を用いて、改良体の外部安定（支持力照査など）や



内部安定の再評価が必要となる。

次に、構造系の性能の評価によって、想定していなかった破壊モードが発生するといった結果が得られる場合がある。このような場合には、「③構造系の挙動の推定」まで戻り、再検討を行う必要がある。

さらに、構造系の性能の評価の結果、起こしてはならない破壊モードや許容できない変位量が確認される場合もある。このような場合には、「②想定断面の作成」の段階に戻り、追加する構造ユニットの規模や配置など構造計画の見直しを行う必要がある。場合によっては、施工の制限等により、構造計画の見直しが行えない場合や起こしてはならない破壊モードを回避できない場合などには、手順①まで戻り、要求性能も含めた前提条件から見直しを行う必要がある。

## 2.7 改良設計の基本的な考え方の検証結果

本節では、B工法に対して「改良設計の基本的な考え方」を適用した検証結果を、図-1.11の各手順ごとに示す。図-2.12には、検証結果から得られた「改良設計の基本的な考え方」に対する改善点を反映した検討フローを示す。このフロー図は、図-1.11に示した田端ら<sup>1)</sup>の提案した「改良設計の基本的な考え方」の進め方を点線、本検討による改善点（追加事項）を実線で示したものである。以下、検証結果及び「改良設計の基本的な考え方」のフロー図

において、改善すべき点を概説する。

まず、本検討では手順②に示す想定断面の作成を行った。想定断面は既報<sup>3)</sup>により提案されている静的安定検討に関する設計法を用いて作成した。

手順③の設計上の課題の抽出では、B工法の構造ユニットを分類し、一般化した8つの設計課題のどれに該当するか考察することにより、検討断面で留意すべき事項を確認することができた。

手順③の「構造系の挙動の推定」では、代表的な破壊モードの推定を行ったが、この際の一つの着目点として、地盤の変形を考慮した検討が有効であった。

手順④の「構造ユニットの挙動推定と性能の評価」では手順③で想定した破壊モードに対し、発生し得る荷重状態とその荷重に対して行うべき構造ユニットの性能の評価を考察した。その結果、模型実験や数値計算による検討を行っても、構造ユニット間における荷重伝達状況や改良体の損傷・破壊形態（無損傷も含む）を定量的に評価することは難しいこともあること想定された。このため、定量化が困難な場合には、十分な安全代を設けた設計法を構築（要改善点1）、構造計画の見直しにより定量化が困難な不確定な部分のリスクを低減する（要改善点2）、などの対応の選択肢も検討手順に加えることが適切であることがわかった。

また、B工法においては、改良体の破壊が構造系の挙動

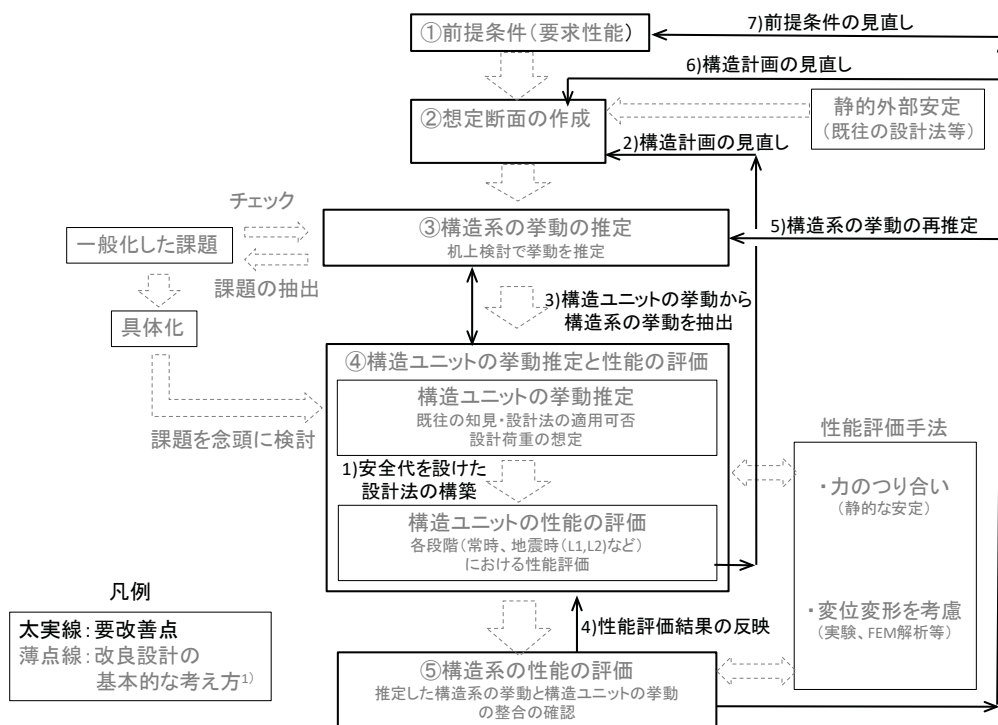


図-2.12 B工法の検討で得られた改良設計の基本的な考え方の要改善点

に与える影響が大きいことから、構造ユニットの内部安定やその破壊形態にも着目した破壊モードの抽出が必要であり、構造ユニットの挙動の推定から構造系の挙動が抽出される場合があることがわかった（要改善点3）。手順⑤の「構造系の性能の評価」では、手順③で想定した破壊モードと手順④で考察した構造ユニットの性能の評価の項目を踏まえ、B工法の構造系の性能の評価で重要となる項目を示し、考察を加えた。その結果、⑤「構造系の性能の評価」の結果によっては、それより以前の各段階（手順①～④）に戻り（要改善点4～7）、再検討が必要となることがわかった（2.6(3)参照）。

### 3. A, B工法の試検討によって得られた「改良設計の基本的な考え方」の改善すべき点

本章では、前報<sup>2)</sup>で得られたA工法（図-1.2）の試検討に基づく「改良設計の基本的な考え方」の改善点と本検討で得られたB工法（図-1.3）の試検討に基づく「改良設計の基本的な考え方」の改善点を集約し、田端<sup>ら</sup><sup>1)</sup>の提案した「改良設計の基本的な考え方」のフロー図（図-1.1）に反映させる。A工法、B工法で得られた改善点を反映させたフロー図を図-3.1に示す。このフロー図は、図-1.1

に示した「改良設計の基本的な考え方」の点線枠部分であり、提案された考え方の進め方を点線、本検討による改善点（追加事項）を実線で示している。

はじめに、A, B工法に共通して示唆された「改良設計の基本的な考え方」の改善点について説明する。

まず、図-3.1の手順④の「構造ユニットの挙動推定と性能の評価」において、構造ユニットの挙動推定を行った段階で、構造ユニットの性能を定量的に評価することが難しい場合には十分な安全代を設けた設計法を構築し、性能の評価を行う必要があった。また、推定された挙動が回避すべき挙動であった場合は、図-3.1の手順②へ戻り、構造計画の見直しを図る必要があった。

最後に、図-3.1の手順⑤の「構造系の性能の評価」において、性能の評価結果によっては、想定していなかった破壊モードや起こしてはならない破壊モードが確認される可能性があるため、それより以前の各段階（図-3.1の手順①～④）に戻り、再検討が必要であった。

A工法のみで得られた改善点は、A工法に既往の設計手法が確立されていなかったことから、想定断面作成の段階で図-3.1の手順③に示す「構造系の挙動の推定」や「一般化した課題」を参照し、妥当性を確認したうえで反映させる必要があった。

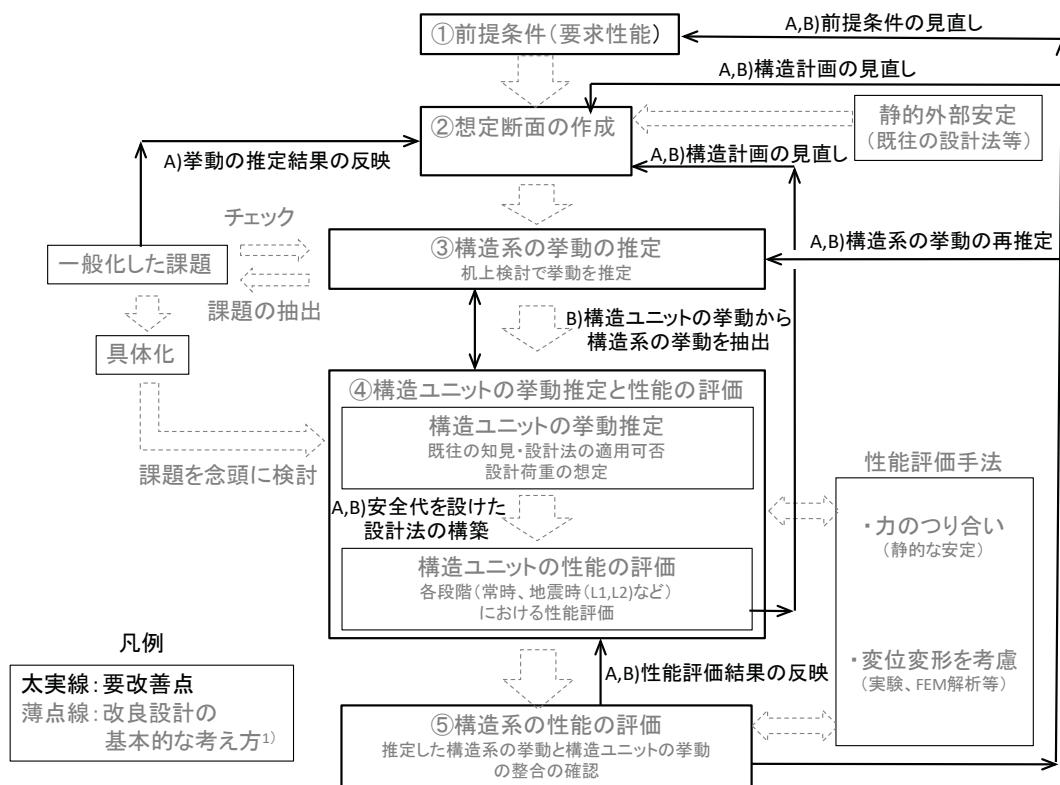


図-3.1 A工法、B工法の検討で得られた改良設計の基本的な考え方の要改善点

B工法のみで得られた改善点は、手順④の「構造ユニットの挙動の推定」において、構造ユニットの破壊形態が構造系の挙動に影響を与えるため、構造ユニットの内部安定やその破壊形態にも着目した破壊モードの抽出が必要であり、手順③に示す構造系の挙動に反映させる必要があった。

上述した改善点は、重力式係船岸の改良工法を検討する際に、他工法にも共通する改善すべき点である可能性が高い。

#### 4. おわりに

前報<sup>2)</sup>と本検討において、重力式係船岸の増深改良を対象として試検討を行い、「工法選定の基本的な考え方」<sup>1)</sup>に基づき、抽出した6工法の中から2工法（A工法、B工法）の性能評価の基礎検討を行った。その結果、「工法選定の基本的な考え方」の妥当性は確認できたものの、「改良設計の基本的な考え方」ではいくつかの改善すべき点が示唆された。

本検討では、前報<sup>2)</sup>（A工法）と本検討（B工法）で抽出された改善すべき点を集約し、「改良設計の基本的な考え方」に反映させることで「改良設計の基本的な考え方」の精度向上を図ることができた。

本検討では、重力式係船岸の増深改良を対象として検討を行ったが、既存係留施設の改良設計は複雑な構造断面をとる場合が多く、矢板式係船岸や棧橋では構造ユニットの挙動がより複雑になる可能性もある。さらに、定量的な検討段階では、異なる示唆が得られることも考えられる。他構造形式や他の改良目的でも検討を重ね、提案した考え方の精度向上を目指す必要がある。

（2018年8月28日受付）

#### 謝辞

本資料の検討内容について、港湾空港技術研究所の森川嘉之氏（地盤研究領域長）より、貴重なご意見を頂きました。ここに記して、深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

1) 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: 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, 2017.

- 2) 田端 優憲, 宮田 正史, 水谷 崇亮, 松村 聡, 鍵本 慎太郎: 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, 2017.
- 3) 水谷 崇亮, 森川 嘉之, 渡部 要一, 菊池 喜昭, 合田 和哉, 加藤 繁幸, 小笠原 哲也: 重力式係船岸の新しい増深工法の開発, 港湾空港技術研究所資料, No. 1277, 2013.
- 4) 小笠原 哲也, 和田 眞郷, 野口 孝俊, 菅 崇: 京浜港ドックにおける重力式係船岸増深工法の実用化に向けた実証試験, 土木学会論文集B3, Vol. 74, No. 2, 2018, ppI\_390-I\_395.
- 5) 国土交通省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 社団法人 日本港湾協会, 1999.
- 6) 菅野 雄一, 遠藤 敏雄, 中川 大, 本田 和也, 水野 匠, 渡邊 真悟, 藤井 照久, 重力式係船岸増深工法の品質確認調査手法の検討: 土木学会論文集B3, Vol. 74, No. 2, 2018, ppI\_396-I\_401.

---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1047                      October 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写のお問い合わせは  
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1  
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕  
E-mail:ysk.nil-kikaku@ml.mlit.go.jp