

東海第二発電所 第5回設計及び工事計画審査資料	
資料番号	補足-27 改0
提出年月日	2026年1月29日

東海第二発電所

設計及び工事計画に係る補足説明資料

第5回申請

(防潮堤（鋼製防護壁）の設計変更に係る補足説明)

2026年1月

日本原子力発電株式会社

本資料中の  は、商業秘密又は防護上の観点で公開できません。

## 目 次

今回ご説明の範囲

1. 地中連続壁の不具合事象について
2. 不具合事象の調査結果を踏まえた対応方針
3. 防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画における基本方針（施工性及び検査）
  - 3.1 基本方針
  - 3.2 構造変更の概要
  - 3.3 施工方法の選定
  - 3.4 工事の流れ
  - 3.5 各施工ステップの施工性・検査
  - 3.6 確認結果資料
4. 品質向上を目的とした設計変更（既工認設計からの変更）
  - 4.1 はじめに
  - 4.2 鋼製防護壁に係る仕様変更（構造変更①）
  - 4.3 アンカーボルト及び周辺鉄筋に係る仕様変更（構造変更②）
  - 4.4 中詰め鉄筋コンクリートと鋼製防護壁の接合部に係る仕様変更（構造変更③）

## 目次

1. 地中連続壁の不具合事象について.....	1
1.1 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更の経緯.....	1
1.2 不具合事象の調査結果.....	4
1.2.1 コンクリート未充填.....	4
1.2.2 鉄筋の変形等.....	12
1.3 原因調査.....	18
1.3.1 施工履歴・施工記録の調査.....	18
1.3.2 原因調査.....	27
1.4 まとめ.....	49
1.4.1 不具合事象の調査結果のまとめ.....	49
1.4.2 原因と対策.....	53
1.4.3 調査結果のまとめ.....	56
1.5 参考資料.....	57
1.5.1 地山側音響探査及び水平コアボーリングの調査結果.....	57
1.5.2 未改良地山の崩落によるコンクリート未充填.....	84
1.5.3 鉄筋の変形等に係るモックアップ試験.....	93
1.5.4 地中連続壁の施工記録及び品質確認記録.....	96

## 1. 地中連続壁の不具合事象について

本書は、防潮堤（鋼製防護壁）の不具合事象及び同事象を踏まえた設計変更について、添付書類「VI-2-4-2-5-1 防潮堤（鋼製防護壁）の耐震性についての計算書」及び「VI-3-別添 1-2-5-1 防潮堤（鋼製防護壁）の強度計算書」を補足説明するものである。

本章では、防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更が必要となった地中連続壁で発生した不具合事象について調査結果及びその発生要因について説明する。

### 1.1 防潮堤（鋼製防護壁）の構造変更の経緯

防潮堤（鋼製防護壁）は、南側及び北側にそれぞれ縦横 15.5 m の正方形の柱状の基礎（以下、南側に位置する基礎を「南基礎」、北側に位置する基礎を「北基礎」という。）を有する。当該基礎は、外郭部の地中連続壁とその内部（以下、「中実部」という。）の鉄筋コンクリートで構成され、地中連続壁と中実部の鉄筋コンクリートを一体化させ、地震及び津波による設計荷重に対して十分な強度を有する構造形式である。図 1.1-1 に防潮堤（鋼製防護壁）位置図、図 1.1-2 に防潮堤（鋼製防護壁）構造図を示す。

基礎の施工においては、地中連続壁構築の準備としてガイドウォール<sup>\*1</sup>及び溝壁防護の SMW<sup>\*2</sup>を構築した上で地中連続壁工法により地中連続壁を先行して構築し、地中連続壁を土留めとして中実部を設置予定深度まで掘削後、中実部に鉄筋コンクリートを構築する手順としていたが、施工時に以下の不具合事象を確認した。

※1：地中連続壁構築時に地山の崩落防止及び施工精度の確保のため、設置する現場打ちの鉄筋コンクリート仮設構造物。

※2：土（Soil）とセメントスラリーを原位置で混合・攪拌（Mixing）し、地中に造成する壁体（Wall）の略称で、芯材にH型鋼材を使用。本施工箇所では、崩落しやすい地層があるため溝壁防護のための補助工法として使用。

#### 【不具合事象】

- ・地中連続壁の施工後に中実部の掘削を実施したところ、地中連続壁の中実部側の壁面の一部においてコンクリート未充填及び鉄筋の変形、脱落、欠損（以下、「変形等」という。）の事象を確認した。
- ・地中連続壁の地山側の壁面に対しての音響探査及び水平コア採取による壁厚確認を行ったところ、一部においてコンクリート未充填の事象が発生していることを確認した。
- ・北基礎の地中連続壁の南西側角部において、鉄筋かごが計画深度まで建込みできない事象（高止まり事象）が発生した。

これらの不具合事象は、その全容を把握するに至っておらず、地中連続壁に耐力を期待することは困難であることから、東海第二発電所の既工事計画認可（平成 30 年 10 月 18 日付け原規規発第 1810181 号）の防潮堤（鋼製防護壁）の設計を変更する必要性が生じた。

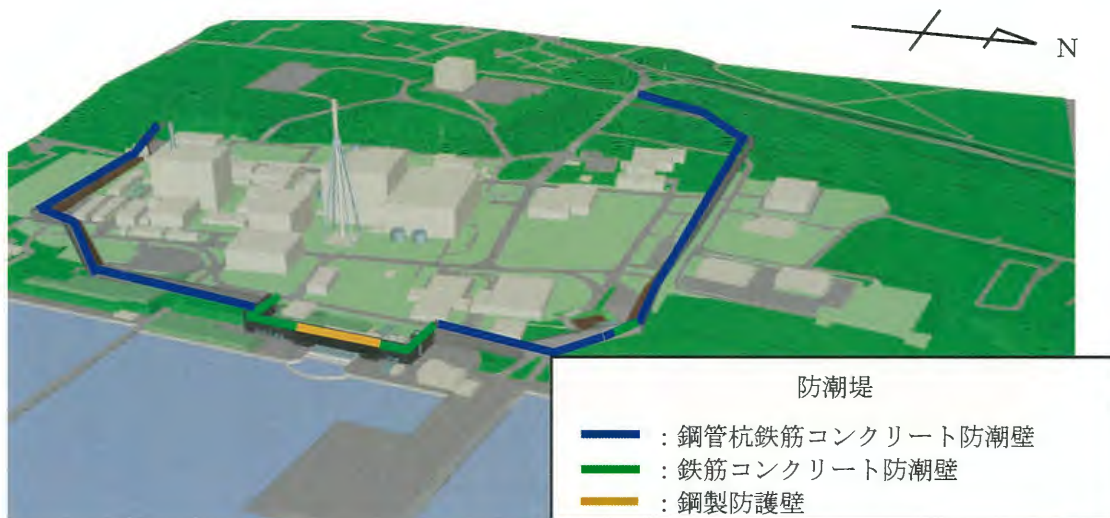


図 1.1-1 防潮堤（鋼製防護壁）位置図

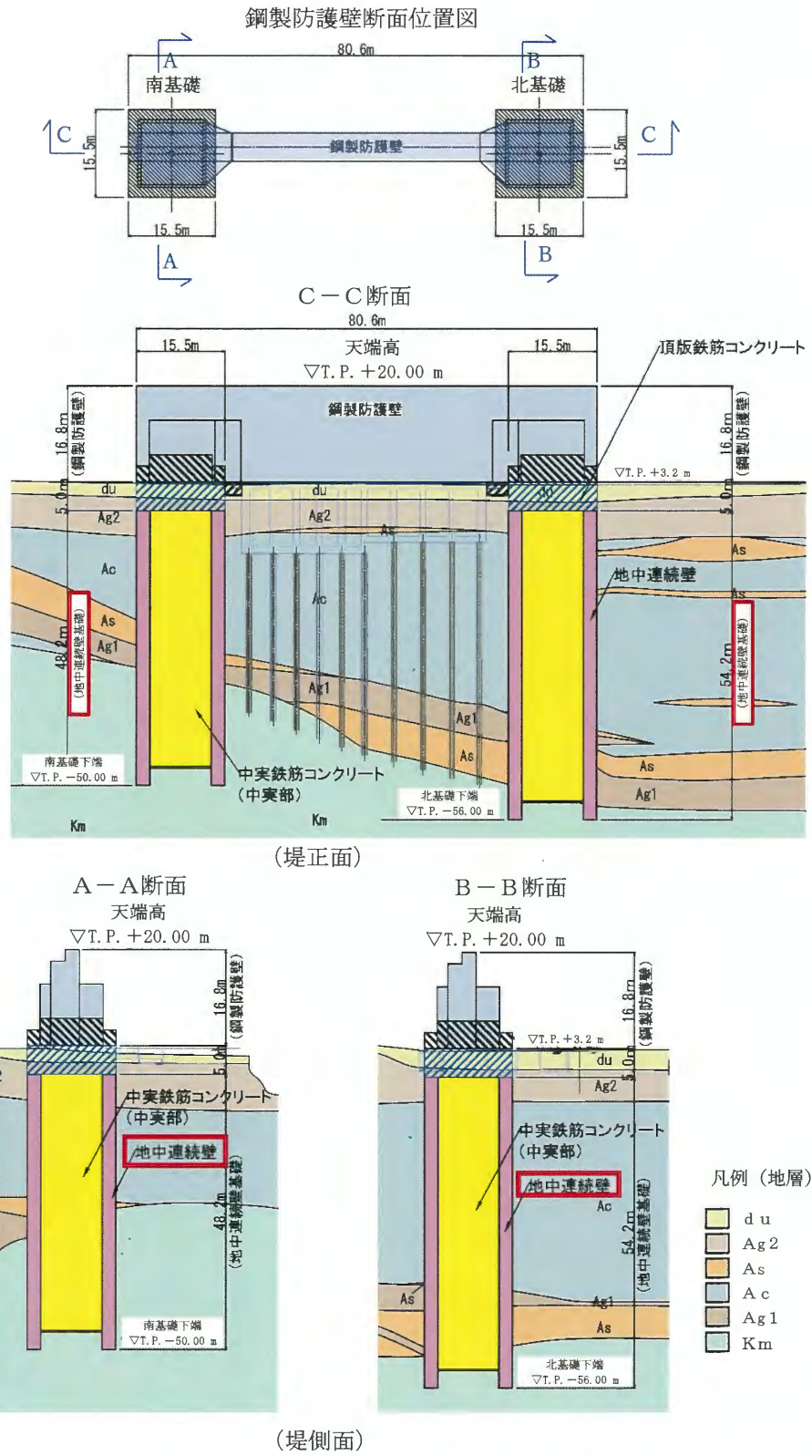


図 1.1-2 防潮堤 (鋼製防護壁) 構造図

## 1.2 不具合事象の調査結果

不具合事象（コンクリート未充填，鉄筋の変形等及び鉄筋かごの高止まり）について，調査方法及び調査結果を以下に示す。

### 1.2.1 コンクリート未充填

#### (1) 調査方法

掘削により露出した地中連続壁の中実部側壁面（南基礎 T.P. 約-2 m～T.P. 約-45 m の範囲，北基礎 T.P. 約-2 m～T.P. 約-49 m の範囲）に対し，コンクリート未充填の状況（範囲，深さ及び壁面上の位置）を目視等にて調査した。

## (2) 調査結果

地中連続壁のエレメント及び区画割を図 1.2-1 に、剛結継手部<sup>※1</sup>の詳細を図 1.2-2 に示す。南基礎の目視観察結果を図 1.2-3 及び表 1.2-1 に、北基礎の目視観察結果を図 1.2-4 及び表表 1.2-2 に示す。

地中連続壁中実部側壁面の観察結果の概要は以下のとおり。

- ・南基礎、北基礎のほとんどの剛結継手部でコンクリート未充填が面的に分布していた。そのコンクリート未充填部においては、鉛直鉄筋（設計純かぶり<sup>※2</sup>115 mm）、水平鉄筋（設計純かぶり 163 mm）が露出している箇所があった。
- ・剛結継手部以外のコンクリート未充填の分布は剛結継手部に比べ少なく、コンクリート未充填の一部は隣接する剛結継手部から連続していた。
- ・コンクリート未充填の最大深さは、北基礎の約 70 cm であり（図 1.2-4 及び図 1.2-5 参照）、剛結継手部の仕切板<sup>※3</sup>際（剛結継手部側）で観察され、未充填部は粘性土で閉塞されていた。
- ・コンクリート未充填の鉛直方向の分布は、SMW 下端までの区間（以下、「SMW 区間」という。）よりも同区間以深の方が、コンクリート未充填が多く分布している。南基礎と比べると、北基礎の SMW 区間ではコンクリート未充填部は土砂を多く含んだスライムにより閉塞されていた。
- ・南基礎の区画⑮の中実部側の鉄筋かぶり部のコンクリート未充填部は、南 7 のコンクリート流出防止シート<sup>※4</sup>、土砂及びスライム・安定液を巻込んだコンクリートにより閉塞されていた。
- ・北基礎の区画⑮の中実部側の鉄筋かぶり部のコンクリート未充填は SMW 壁体で閉塞されていた。

※1：先行エレメントと後行エレメントを連続した一体構造とするために設けた箇所で、先行エレメントと後行エレメントの水平鉄筋の鉄筋が重なるように配置する。

※2：設計純かぶりとは、コンクリート躯体表面から鉄筋表面までの設計上の距離をいう。

※3：先行エレメントのコンクリート打設範囲を保持するための両端に設ける鉛直鋼板であり、仕切板で区切られた内側に先行エレメントのコンクリートを打設する。仕切板の外側が剛結継手部となる。図 1.2-2 参照。

※4：先行エレメントのコンクリートの打設時にコンクリートが周辺に流出することを防止するための土木シートである。

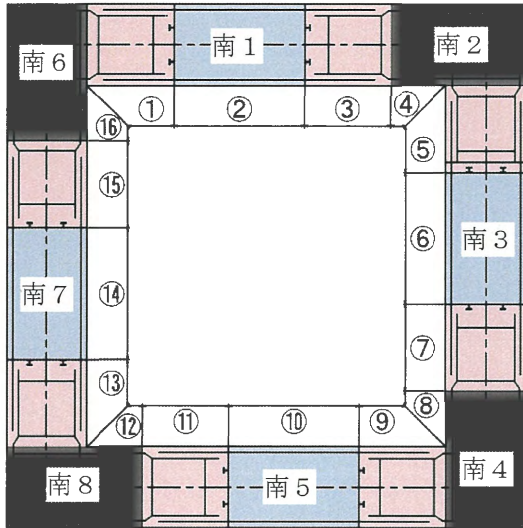
注：「南1～8」，「北1～8」の表記はコンクリート打設ブロック（エレメント名称）を示す。

①から⑯は施工上の区画を示す。

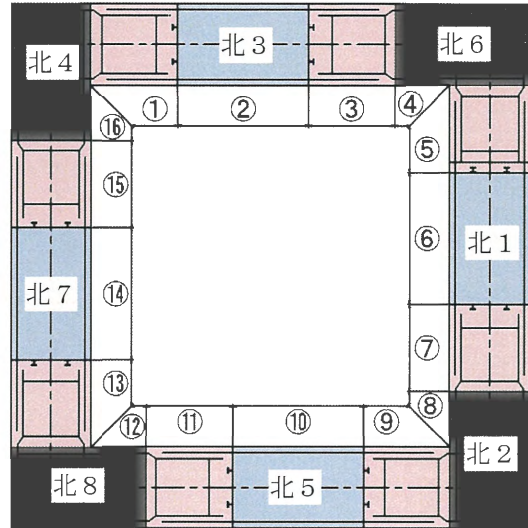
剛結継手部の詳細は図 1.2-2 参照

凡例

- : 先行エレメント
- : 後行エレメント（剛結継手部）
- : 後行エレメント（剛結継手部以外）



(南基礎)



(北基礎)

図 1.2-1 地中連続壁のエレメント及び区画割図

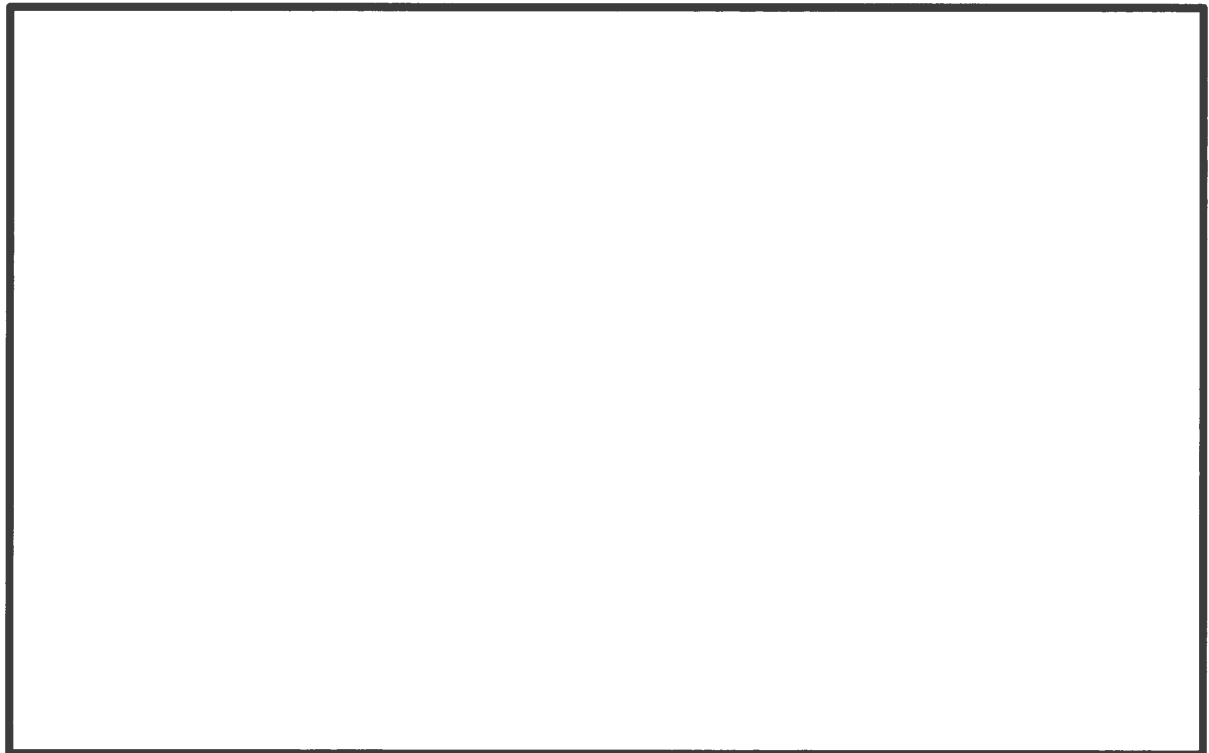


図 1.2-2 剛結継手部詳細図（北基礎）

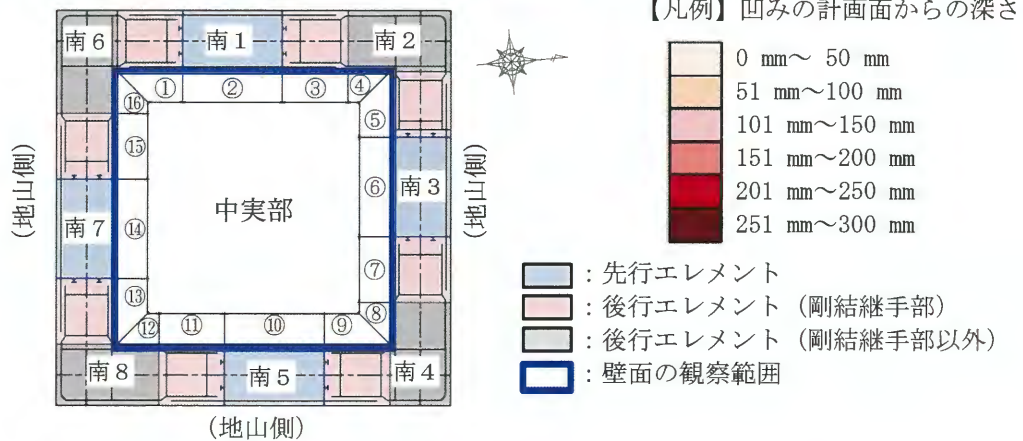
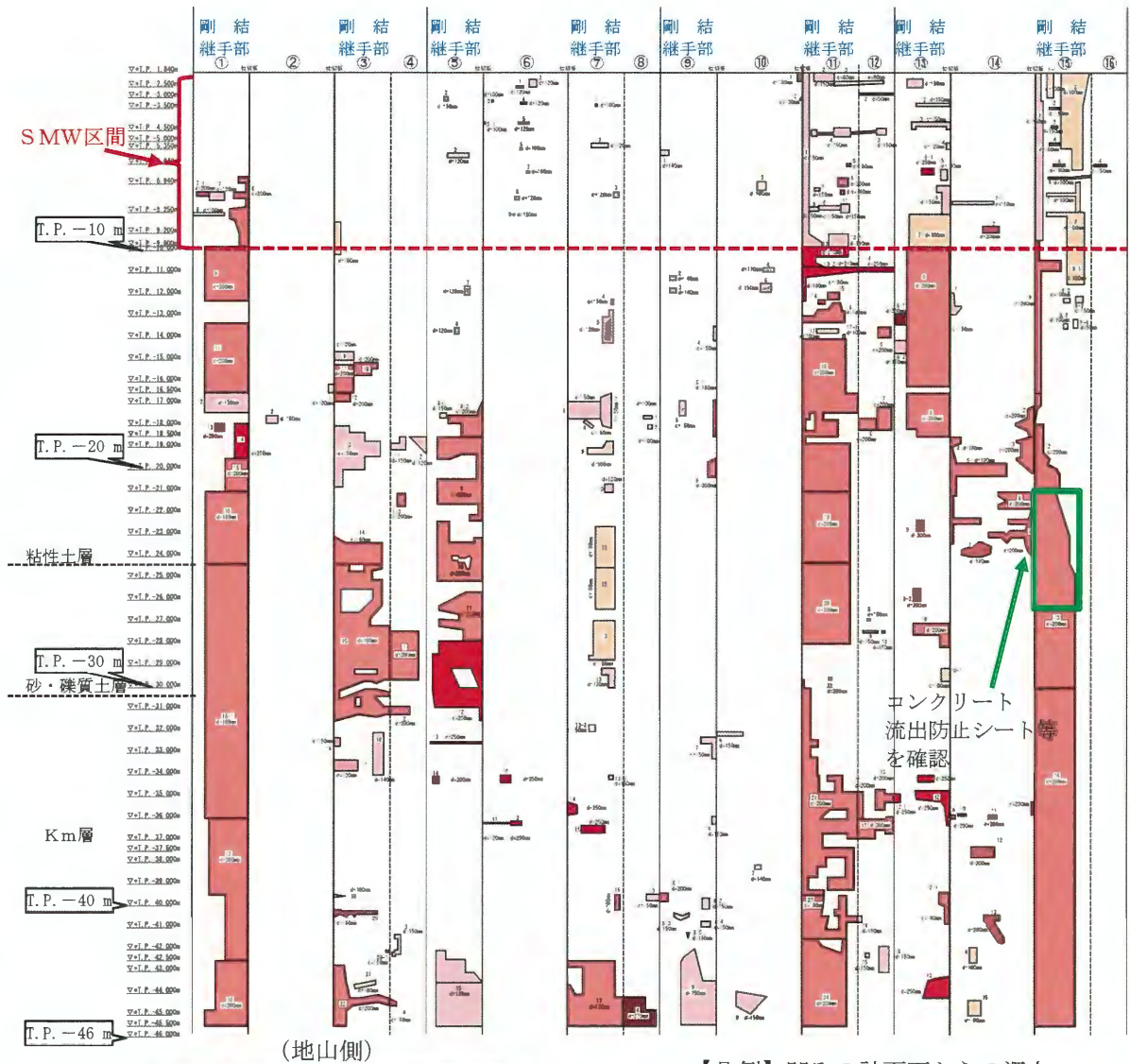


図 1.2-3 地中連続壁中実部側壁面の観察結果 (コンクリート未充填：南基礎)

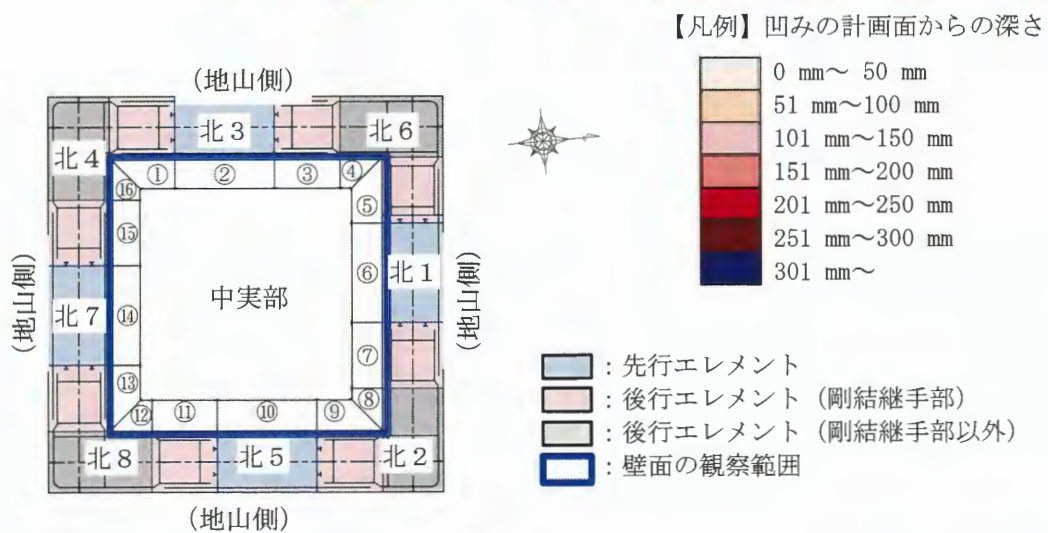
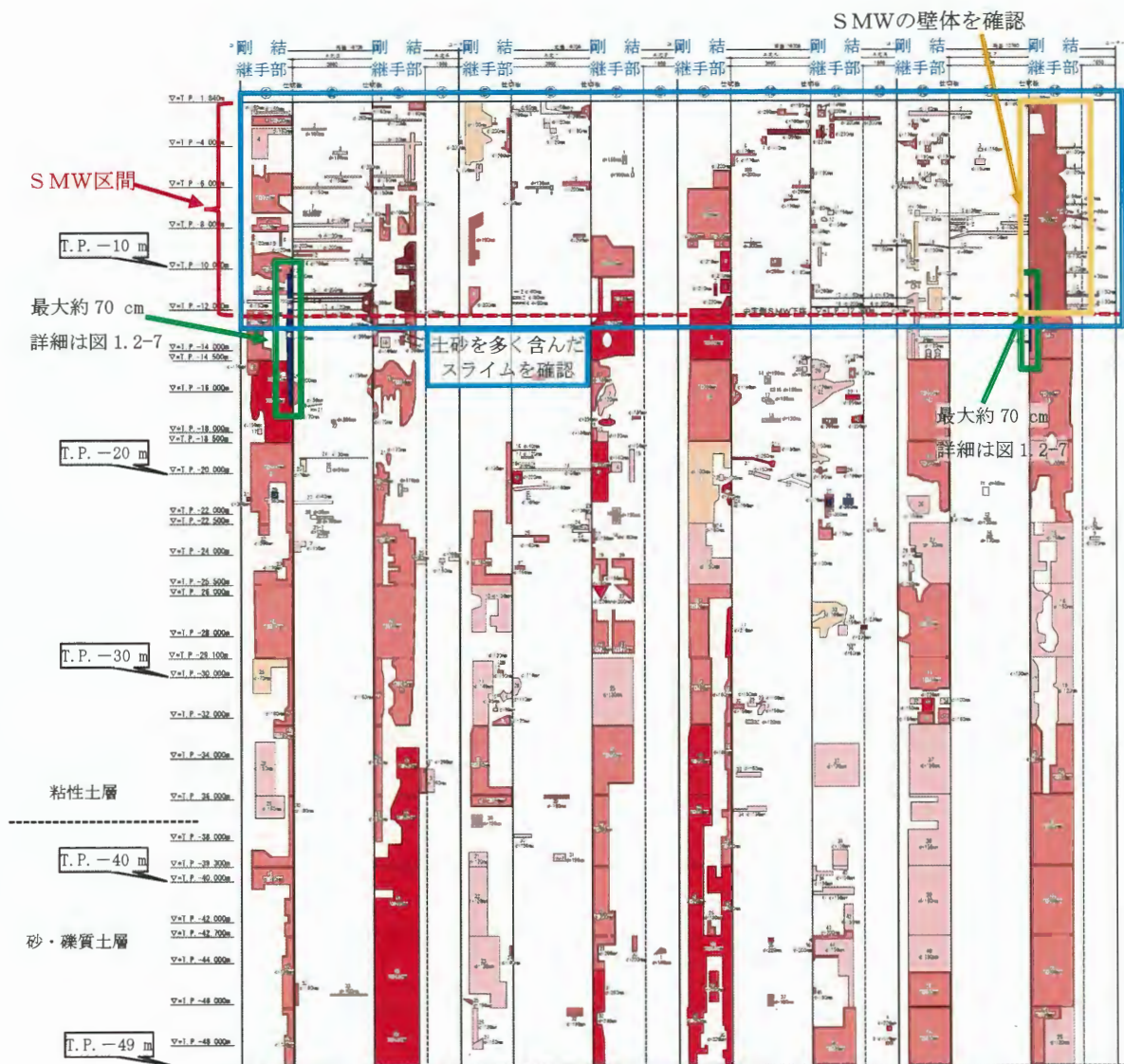


図 1.2-4 地中連続壁中実部側壁面の観察結果 (コンクリート未充填: 北基礎)

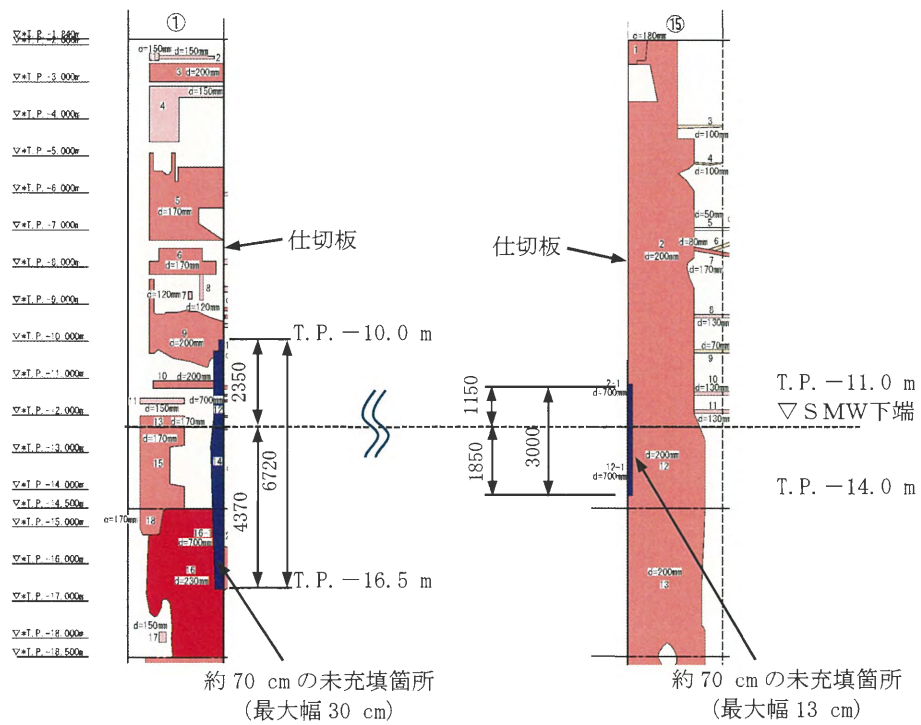
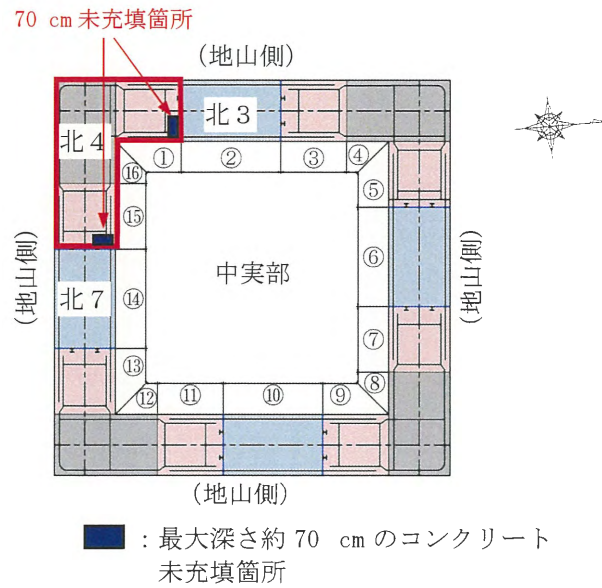


図 1.2-5 最大深さ 70 cm のコンクリート未充填箇所 (北基礎区画①及び⑮)

表 1.2-1 地中連続壁中実部側壁面区間毎の観察結果の概要（南基礎）

区画		観察結果	
		標高 (T.P.)	詳細
①	剛結 継手	約-6 m～約-10 m	まばらにスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-10 m～約-45 m	全面にわたりコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
②	先行	約-16 m～約-18 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
③	剛結 継手	約-9 m～約-10 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-15 m～約-34 m	まばらにコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
④	後行	約-43 m～約-45 m	まばらにコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-18 m～約-22 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-41 m～約-42 m 約-27 m～約-31 m	コンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。このコンクリート未充填部は、隣接した区画③と繋がっている。
⑤	剛結 継手	約-3 m～約-14 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-17 m～約-34 m	まばらにコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-42 m～約-45 m	
⑥	先行	約-2m～約-8 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-34m～約-36 m	
⑦	剛結 継手	約-3 m～約-7 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-12 m～約-45 m	まばらに分布したコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
⑧	後行	約-18 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-39 m～約-41 m	コンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。このコンクリート未充填部は、隣接した区画⑦と繋がっている。
		約-44 m～約-45 m	
⑨	剛結 継手	約-6m～約-12 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-13 m～約-20 m	まばらにコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-32 m～約-41 m	
		約-42 m～約-45 m	
⑩	先行	約-2 m～約-12 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-32 m, 約-38 m	
		約-42 m～約-45 m	
⑪	剛結 継手	約-2 m～約-10 m	断続的に分布している範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートを確認した。
		約-10 m～約-45 m	全面にわたりコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
⑫	後行	約-2 m～約-5 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-11 m～約-18 m	
		約-35 m付近	
		約-42 m～約-43 m 約-42 m～約-43 m	コンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。このコンクリート未充填部は、隣接した区画⑩と繋がっている。
⑬	剛結 継手	約-2 m～約-10 m	断続的に分布している範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-10 m～約-18 m	全面的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-22 m～約-29 m	まばらにコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-34 m～約-36 m	
		約-39 m～約-41 m 約-43 m～約-44 m	
⑭	先行	約-8 m～約-9 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-13 m付近	
		約-12 m 約-16 m～約-24.0 m 約-35 m～約-45.0 m	断続的に分布している範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
⑮	剛結 継手	約-2 m～約-21 m	断続的に分布している範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-21 m～約-45 m	全面的にコンクリート未充填部が分布している範囲に、コンクリート流出防止シート（約-21 m～約-26 m）、「土砂」及び「スライム・安定液を巻き込んだコンクリート」を確認した。
⑯	後行	T.P. 約-6 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。

表 1.2-2 地中連続壁中実部側壁面区間毎の観察結果の概要（北基礎）

区画		観察結果	
		標高 (T.P.)	詳細
①	剛結 継手	約-2 m～約-9 m	断続的に分布している範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートを確認した。
		約-9 m～約-12 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し土砂を多く含んだスライムの堆積を確認した。
		約-12 m～約-49 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-10 m～約-17 m	仕切板際で深さ 70 cm, 幅 30 cm のコンクリート未充填があり, 粘性土 (一部安定液混じりの粘性土) を確認した。
②	先行	約-2 m～約-24 m 約-45 m～約-46 m	帯状の範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
③	剛結 継手	約-2 m～約-9 m	断続的にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-9 m～約-12 m	コンクリート未充填部が分布し土砂を多く含んだスライムが堆積していることを確認した。
		約-12 m～約-18 m	区画全域にわたりコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-19 m～約-49 m	
④	後行	約-24 m 付近 約-34 m～約-36 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
⑤	剛結 継手	約-2 m～約-12 m	まだらにスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-19 m～約-28 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-29 m～約-48 m	
⑥	先行	約-2 m～約-12 m 約-15 m～約-47 m	局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-5 m～約-6 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
⑦	剛結 継手	約-9 m～約-12 m	コンクリート未充填部が分布し土砂を多く含んだスライムが堆積していることを確認した。
		約-12 m～約-49 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-43 m 付近	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
⑧	後行	約-5 m～約-12 m	まだらにコンクリート未充填部が分布し土砂を多く含んだスライムが堆積していることを確認した。
		約-12 m～約-49 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
⑩	先行	約-2 m～約-10 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-14 m～約-22 m	
		約-31 m～約-37 m	
		約-43 m 付近	
		約-46 m 付近	
⑪	剛結 継手	約-2 m～約-12 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-12 m～約-30 m	断続的にコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-34 m～約-36 m	
		約-38 m～約-49 m	
⑫	後行	約-2 m～約-12 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-23 m 付近	
		約-28 m 付近	
		約-47 m～約-48 m	
⑬	剛結 継手	約-2 m～約-11 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-11 m～約-12 m	全面にわたりコンクリート未充填部が分布し土砂を多く含んだスライムが堆積していることを確認した。
		約-15 m～約-49 m	
⑭	先行	約-2 m～約-9 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。
		約-21 m～約-23 m	
⑮	剛結 継手	約-2 m～約-12 m	コンクリート未充填部が分布した範囲に SMW の壁体を確認した。
		約-12 m～約-49 m	全面にわたりコンクリート未充填部が分布し粘性土が堆積していることを確認した。
		約-11 m～約-14 m	仕切板際で深さ 70 cm, 幅 13 cm のコンクリート未充填部に粘性土 (一部安定液混じりの粘性土) が堆積していることを確認した。
⑯	後行	約-7 m～約-12 m 約-22 m～約-23 m	極小規模で局所的な範囲にスライム・安定液を巻き込んだコンクリートが分布していることを確認した。

## 1.2.2 鉄筋の変形等

### (1) 調査方法

掘削により露出した地中連続壁の中実部側壁面（南基礎ではT.P.約-2 mからT.P.約-45 mの範囲，北基礎ではT.P.約-2 mからT.P.約-49 mの範囲）に対し，鉄筋の変形等<sup>※1</sup>の状況（鉄筋かごの高止まり事象を含む）を目視にて調査した。

※1：ここで鉄筋（組立て用の鋼材を含む）の変形，脱落，欠損を「鉄筋の変形等」と表現する。

### (2) 調査結果

#### a. 南基礎

南基礎の観察結果を図 1.2-6 及び図 1.2-7 に示す。主な観察結果は以下のとおり。

- ・区画⑮（剛結継手部）の上段～中3段において先行エレメントの鉄筋の変形等を確認し，中2段～下段において後行エレメントの鉄筋の変形等を確認した。また，中2段において先行エレメントの水平鉄筋と後行エレメントの組立用鋼材の交錯を確認した。
- ・区画⑯の中2段～下段において，後行エレメントの水平鉄筋の変形等を確認した。
- ・区画①（剛結継手部）の中2段～下段において先行エレメント及び後行エレメントの水平鉄筋の変形を確認した。

#### b. 北基礎

北基礎の観察結果を図 1.2-8 から図 1.2-10 に示す。主な観察結果は以下のとおり。

- ・区画⑮，⑯及び①の鉄筋かご（後行エレメント）建込み時に高止まり（約70 cm）を確認した。
- ・区画⑮及び区画①（剛結継手部）の上段～下段において先行エレメント及び後行エレメントの水平鉄筋の変形等を確認した。また，区画⑯の上段～下段において後行エレメントの水平鉄筋の変形等を確認した。なお，区画⑮の中1段及び下段において先行エレメントと後行エレメントの水平鉄筋の錯綜を確認した。
- ・その他の剛結継手部（区画③，⑤，⑦及び⑨）の上段～下段において鉄筋の変形を確認した。

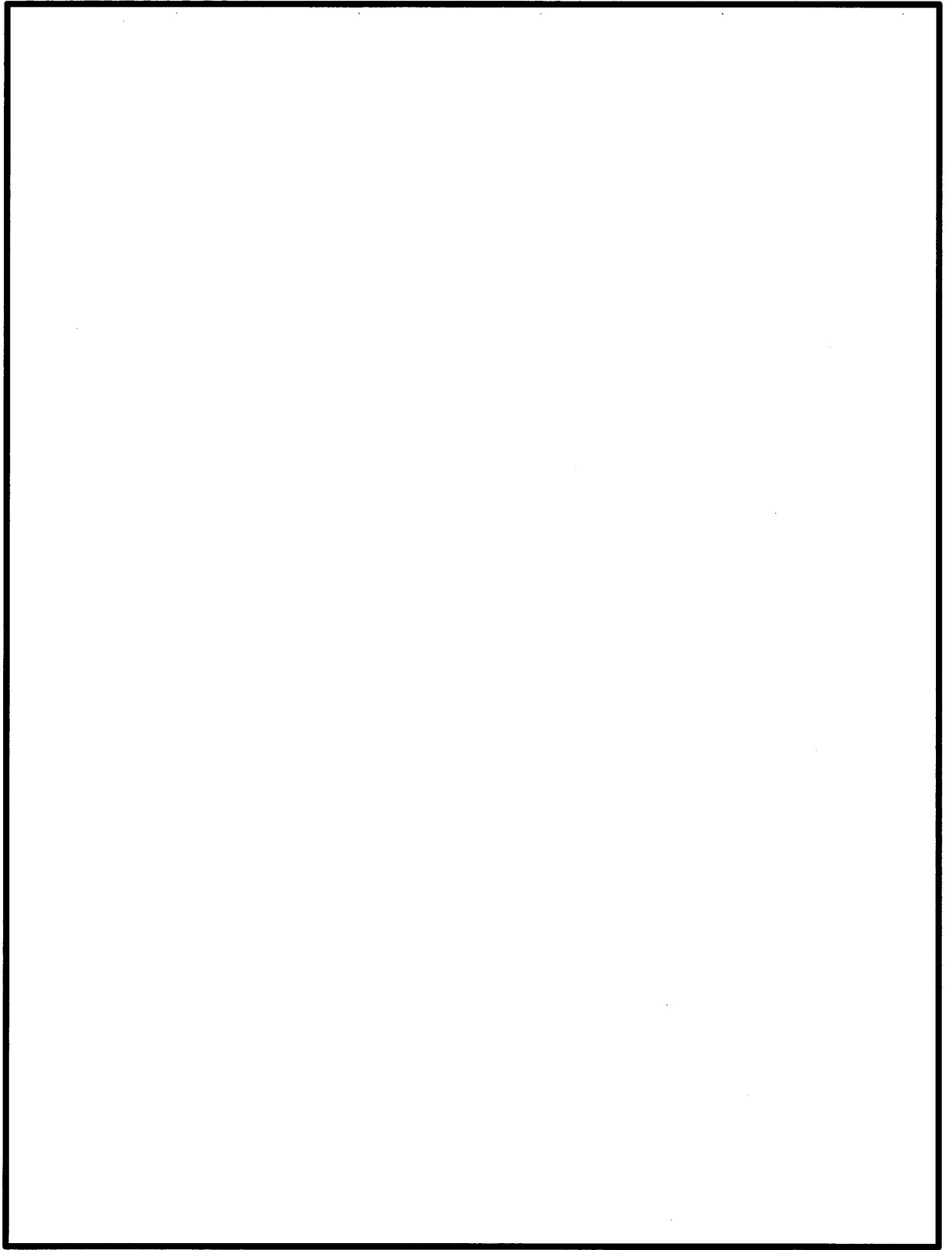
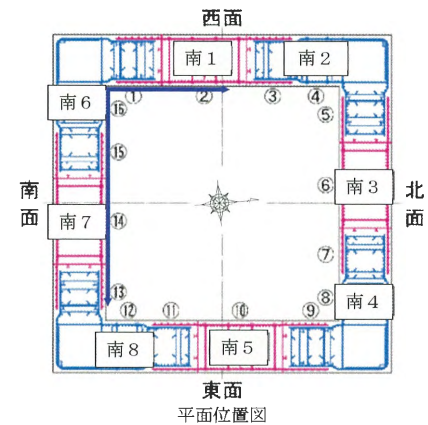
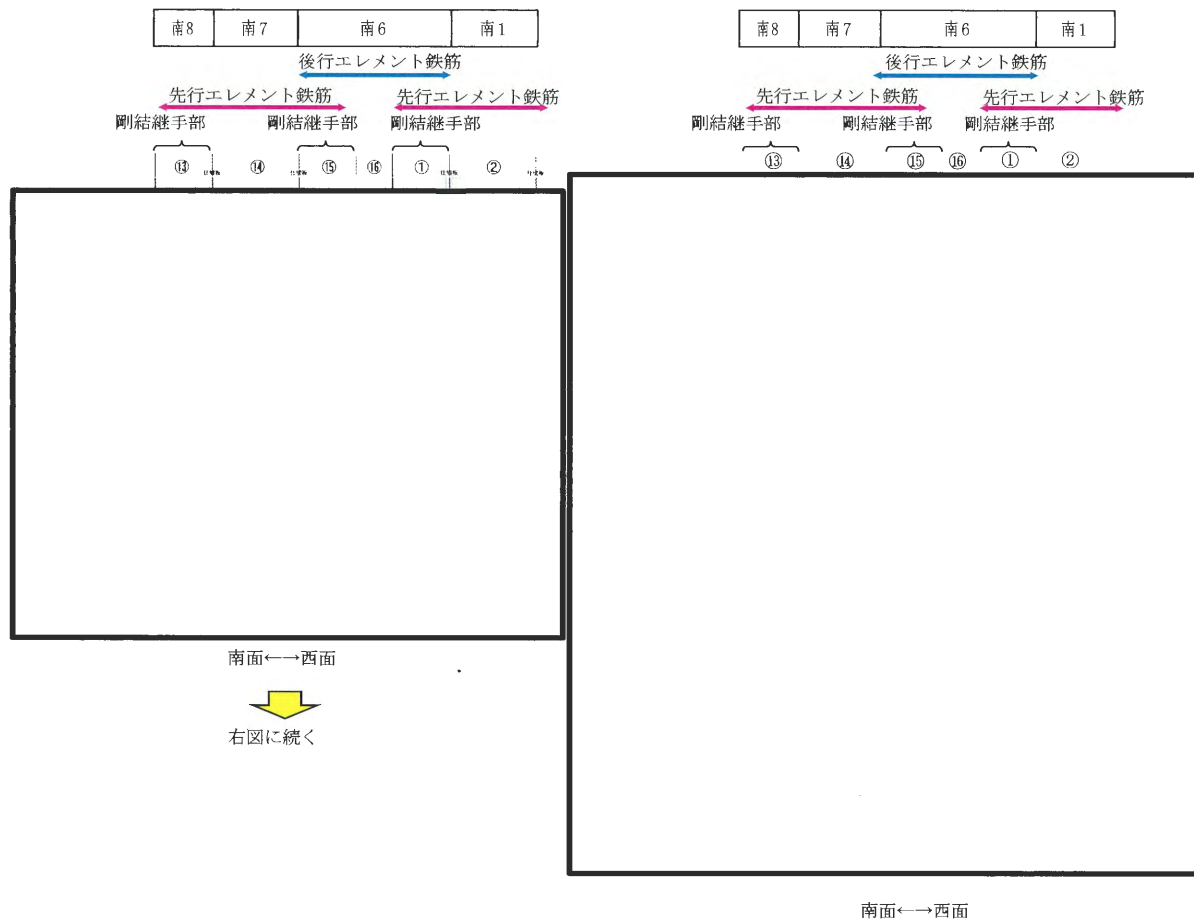


図 1.2-6 鉄筋の変形等の観察結果 (南基礎)



- 凡例 (平面位置図)
- 先行エレメント鉄筋
  - 後行エレメント鉄筋
  - ← スケッチ図示範囲
- 
- 先行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
  - - - 先行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況 (実線部) からの推定)
  - 後行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
  - 設計の鉄筋位置
  - フラットバー変形箇所
  - ⊗ 鉄筋欠損箇所

図 1.2-7 鉄筋の変形等の観察結果 (南基礎)

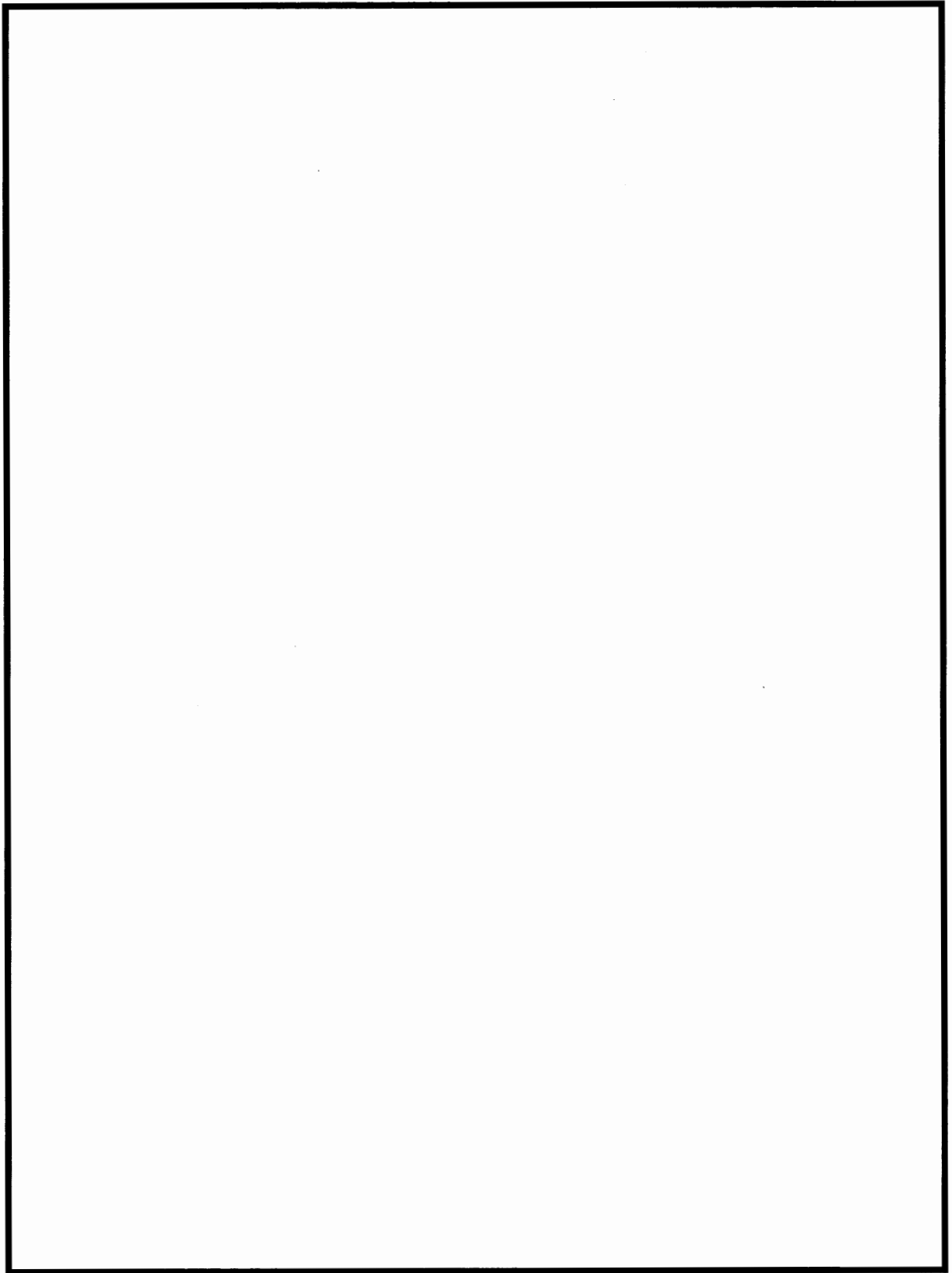


図 1.2-8 鉄筋の変形等の観察結果（北基礎）

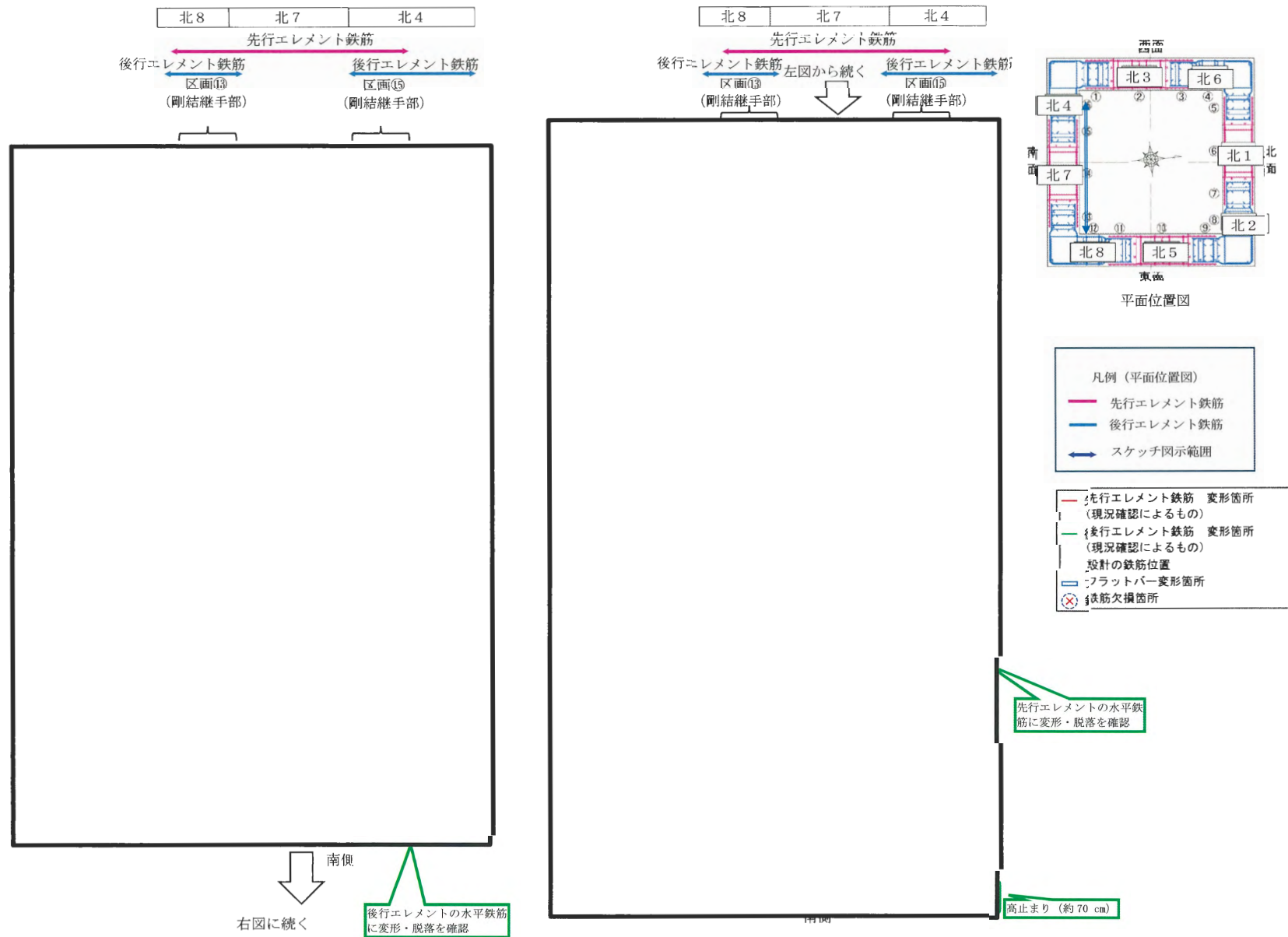
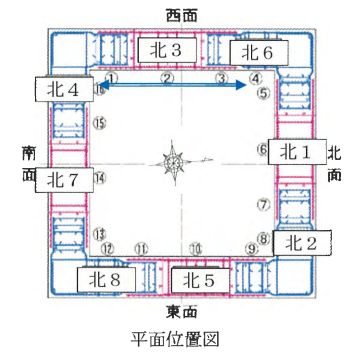
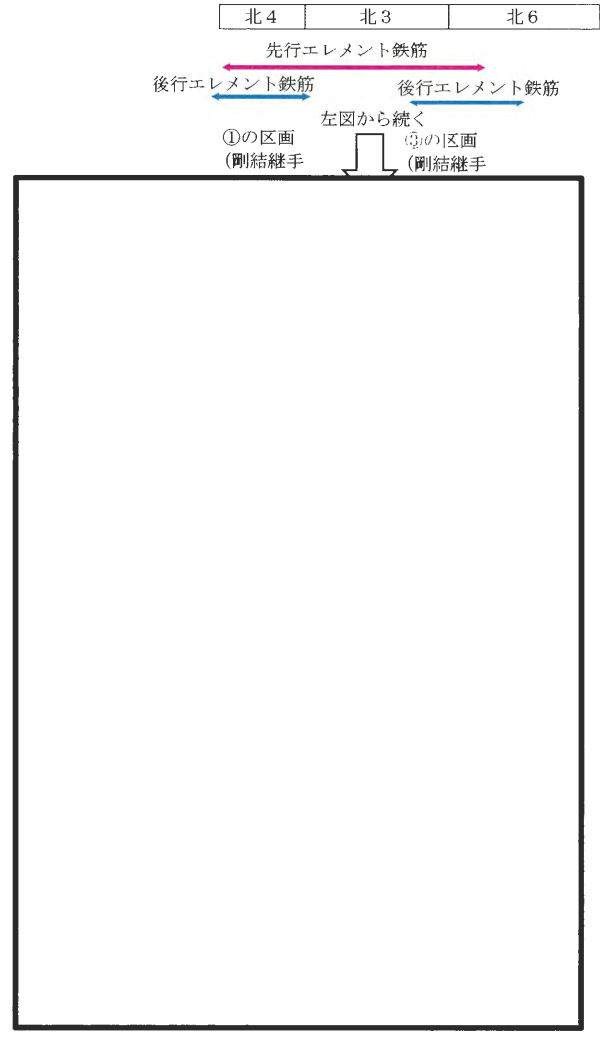
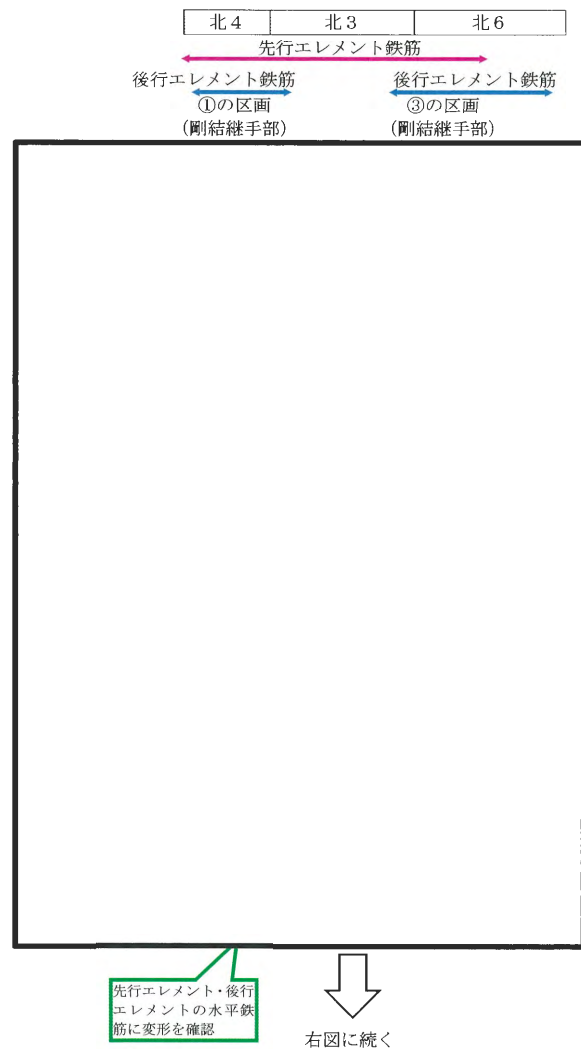


図 1.2-9 鉄筋の変形等の観察結果 (北基礎南側)



- 凡例 (平面位置図)
- 先行エレメント鉄筋
  - 後行エレメント鉄筋
  - スケッチ図示範囲
- 
- 先行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
  - 後行エレメント鉄筋 変形箇所 (現況確認によるもの)
  - 設計の鉄筋位置
  - フラットバー変形箇所
  - ⊗ 鉄筋欠損箇所

図 1.2-10 鉄筋の変形等の観察結果 (北基礎西側)

### 1.3 原因調査

コンクリート未充填及び鉄筋の変形等（鉄筋かごの高止まり事象を含む）の原因調査として、地中連続壁の施工履歴・施工記録から、通常の施工状況と異なる事象などを整理した。また、不具合事象の調査結果とこれらの事象などをあわせて、不具合事象の原因を特定する。

#### 1.3.1 施工履歴・施工記録の調査

防潮堤（鋼製防護壁）の施工手順を図 1.3-1 に、地中連続壁の施工ステップ図を図 1.3-2 に示す。また、掘削イメージを図 1.3-3 に示す。

本工事での通常の施工状況と異なる事象などについて、施工履歴・施工記録を調査した。その結果、施工手順図のⅠ，Ⅱ，Ⅲの段階（準備作業を含む）で通常の施工状況と異なる事象などを確認した。通常の施工状況と異なる事象などは以下に示すとおり。

- ・南基礎区画⑭のコンクリート打設中の溝壁崩落及び区画⑮への崩落土砂等の流入
- ・北基礎区画①，②及び③掘削中の溝壁崩落（他区画への水平展開を含む）
- ・北基礎区画⑮におけるSMWの再構築

次項に各事象などの概要を示す。

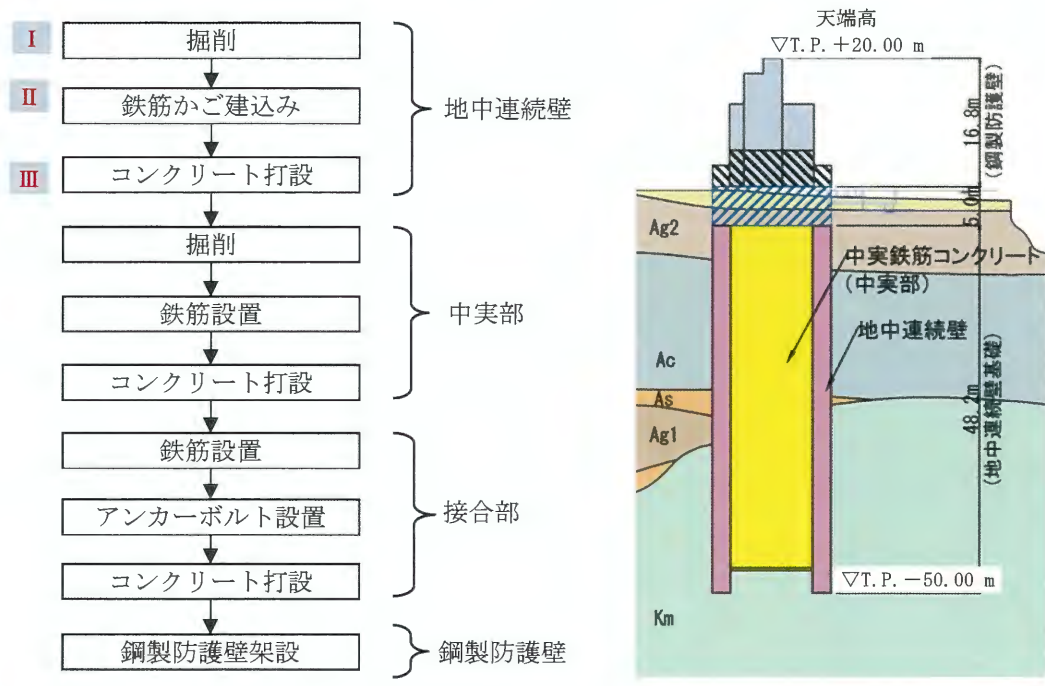


図 1.3-1 防潮堤（鋼製防護壁）の施工手順

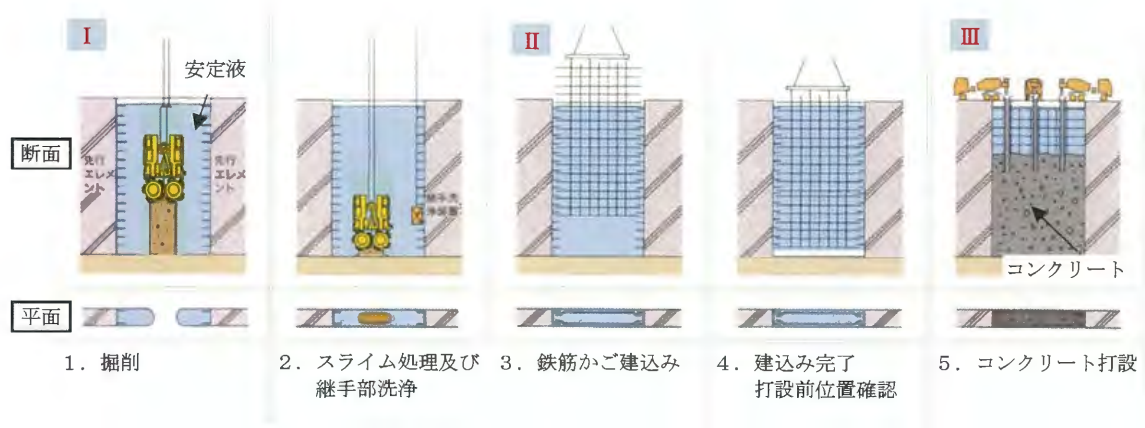


図 1.3-2 地中連続壁の施工ステップ図

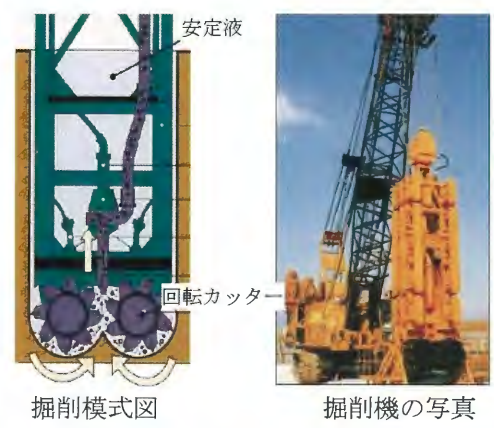


図 1.3-3 掘削イメージ

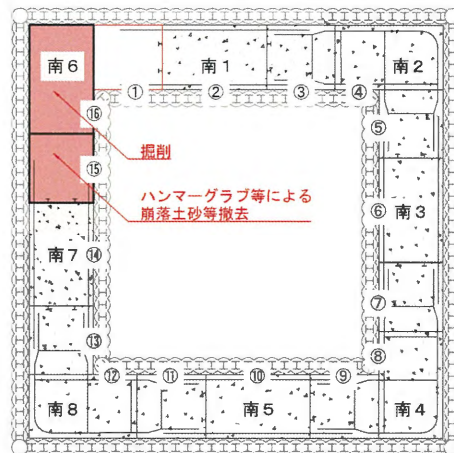
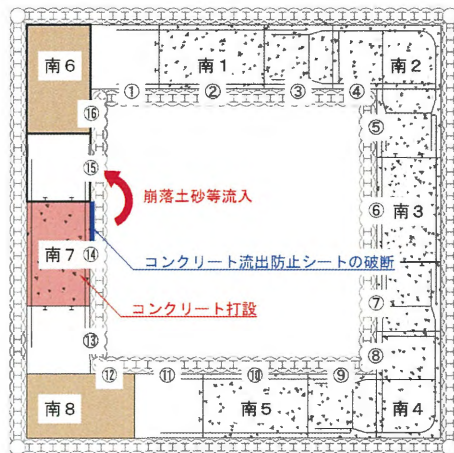
(1) 南基礎区画⑭のコンクリート打設中の溝壁崩落及び区画⑮への崩落土砂等の流入

南基礎南7（区画⑭）のコンクリート打設中に中実部側の溝壁の一部が崩落し、崩落土砂等（崩落土砂及び打設中のコンクリート）が南6の南面の剛結継手部（区画⑮）に流入し堆積した（図 1.3-4 参照）。

南7（区画⑭）のコンクリート打設完了後、区画⑮の崩落土砂等はハンマーグラブ等を用いて撤去した。ただし、中実部の先行エレメントの鉄筋と溝壁の間（かぶりに相当する箇所）の一部の崩落土砂等は撤去できず、基礎中実部の構築の際に補修可能であることから残置した（図 1.3-5 参照）。

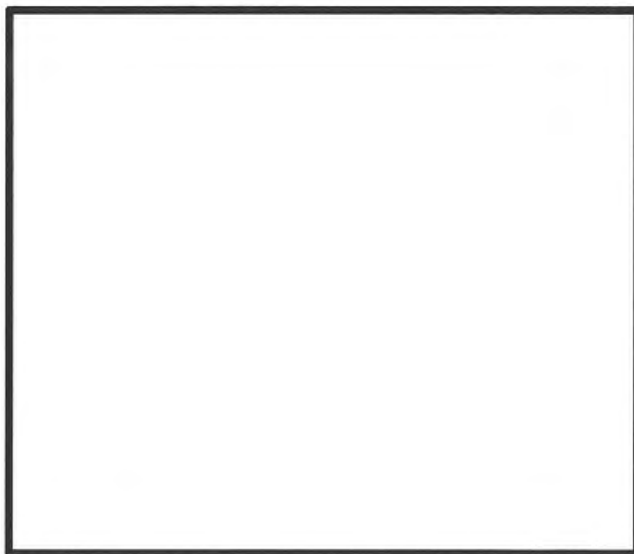
1. 区画⑭のコンクリート打設時、溝壁崩落

2. ハンマーグラブ等による崩落土砂等撤去



凡例： 未掘削 施工中 コンクリート打設済み

図 1.3-4 南基礎の溝壁崩落事象の発生位置等



後行エレメントの鉄筋（緑の鉄筋）を建込む前に流入した土砂等を撤去した。

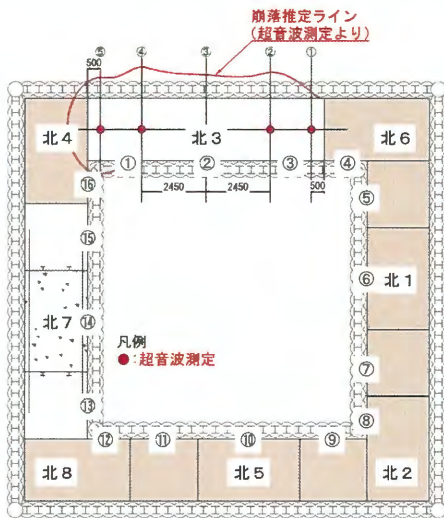
ただし、中実部側の先行エレメントの鉄筋と溝壁の間の撤去ができず基礎中実部掘削時に対応するとして一部残置した。

凡例  
 ○ 先行エレメントの鉄筋  
 ○ 後行エレメントの鉄筋  
 先行エレメントのコンクリート部  
 後行エレメントのコンクリート部  
 崩落土砂等の撤去残り

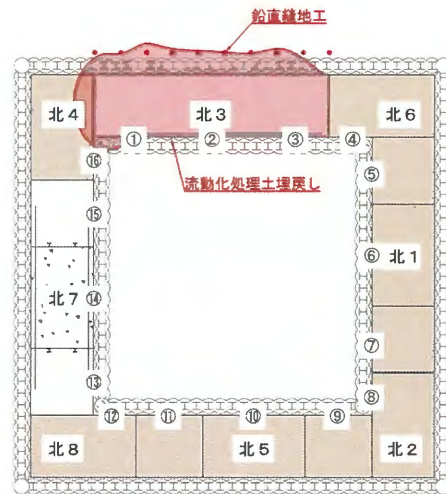
図 1.3-5 南基礎の溝壁崩落箇所におけるかぶり部の崩落土砂等の残置状況

- (2) 北基礎区画①、②及び③掘削中の溝壁崩落（他区画への水平展開を含む）  
 北基礎の区画①、②及び③の掘削中に地山側及び中実部側の溝壁が崩落した。  
 このため、崩落した区間は流動化処理土にて、その他の区間は砕石にて埋戻した。  
 また、崩落の影響調査として、ボーリング調査を踏まえ、さらなる溝壁崩落を防ぐため溝壁保護工（砕石による埋戻し）及び溝壁補強工（鉛直縫地工、薬液注入工及び高圧噴射攪拌工）を実施（他区画への水平展開を含む）した。  
 概要を図 1.3-6 に、その詳細を次頁以降に示す。

1. 北基礎区画①、②及び③掘削中の溝壁崩落

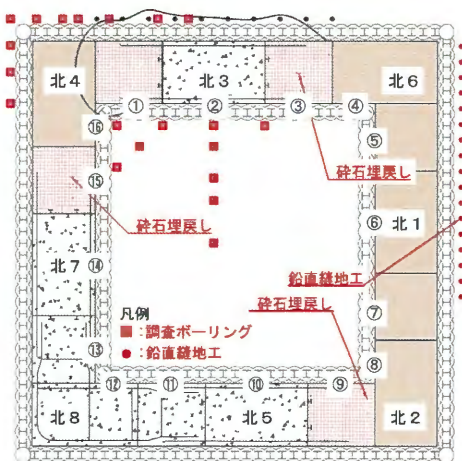


2. 崩落部の埋戻し（流動化処理土・砕石）  
溝壁補強工（鉛直縫地工）



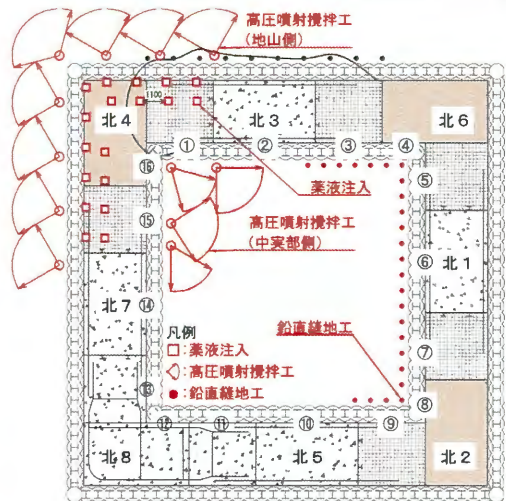
3. ボーリング調査

溝壁保護工（砕石埋戻し）  
溝壁補強工（鉛直縫地工）



4. 溝壁補強工

（薬液注入工、高圧噴射攪拌工、鉛直縫地工）



凡例： 未掘削 施工中 コンクリート打設済み 砕石

図 1.3-6 北基礎の施工履歴（通常の施工状況と異なる事象など）

a. 溝壁の崩落及び流動化処理土・砕石による埋戻し

北基礎の区画①, ②及び③の掘削中に溝壁が崩落した。このため, 超音波測定を実施し, その結果, 図 1.3-7 に示すように溝壁に空洞が発生していることを確認した。そのため, 図 1.3-7 に示すように崩落部の区間は流動化処理土にて, その他の区間は砕石にて埋戻した。

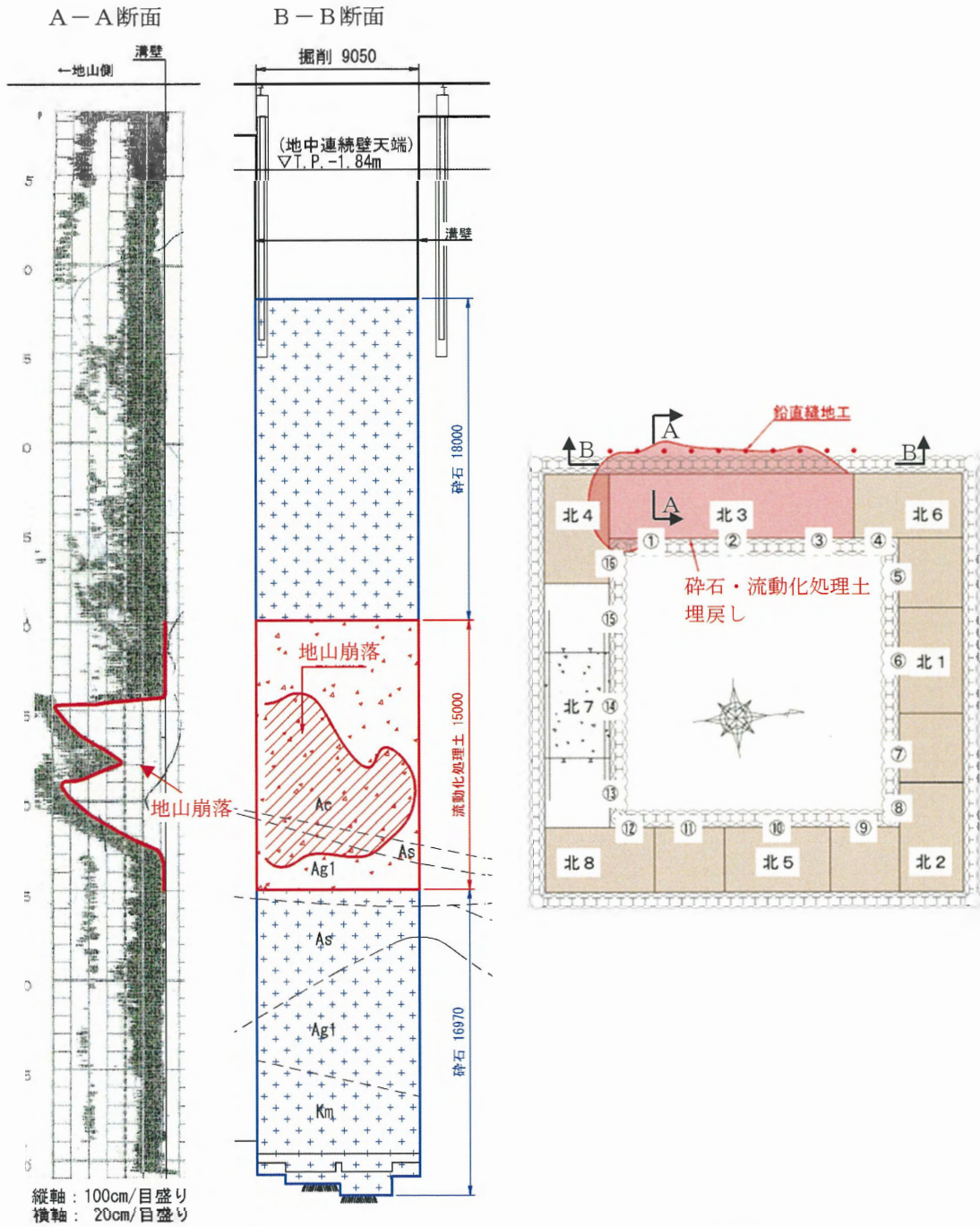


図 1.3-7 溝壁崩落と流動化処理土及び砕石の埋戻し (北基礎区画①, ②及び③)

b. 溝壁保護工（砕石による埋戻し）

溝壁崩落に対する予防策として、すぐにコンクリート打設を行わない掘削部（剛結継手部）に対し砕石で埋戻しを行った（図 1.3-8 参照）。

なお、北基礎では溝壁崩落の状況を考慮し、掘削溝の浅部まで埋戻しを行ったため、多量の砕石を撤去することになったことから、撤去にハンマーグラブを用いた。

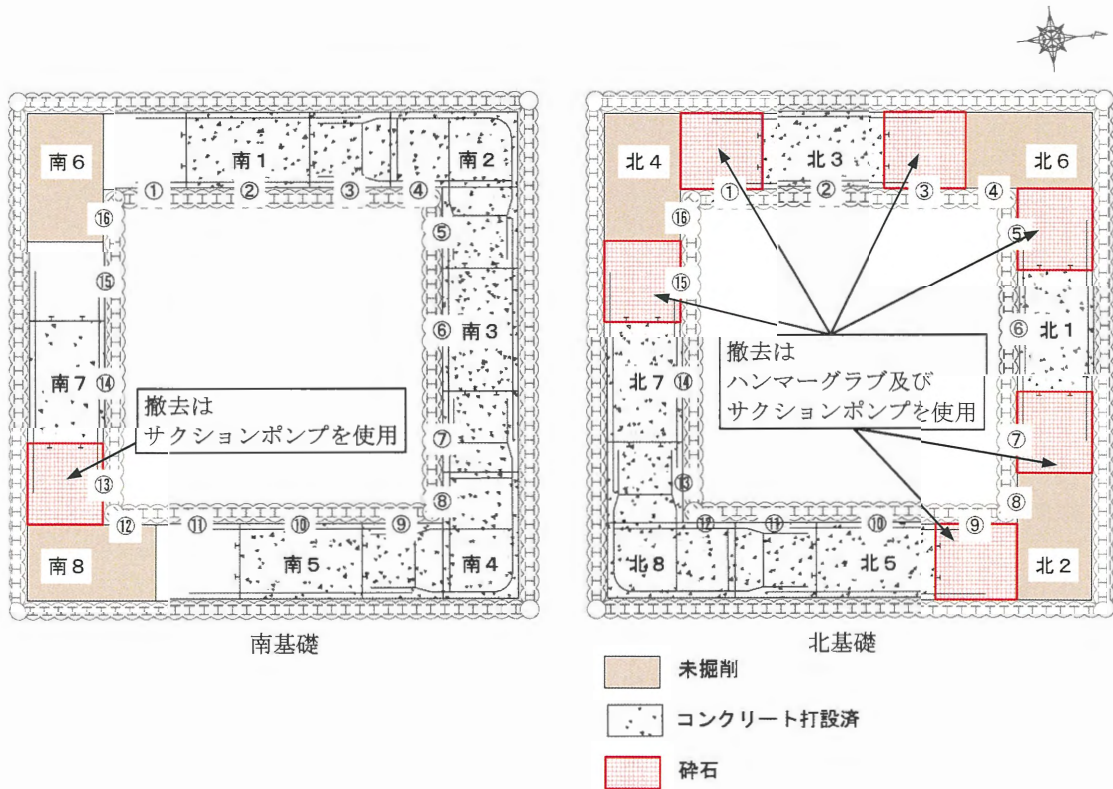
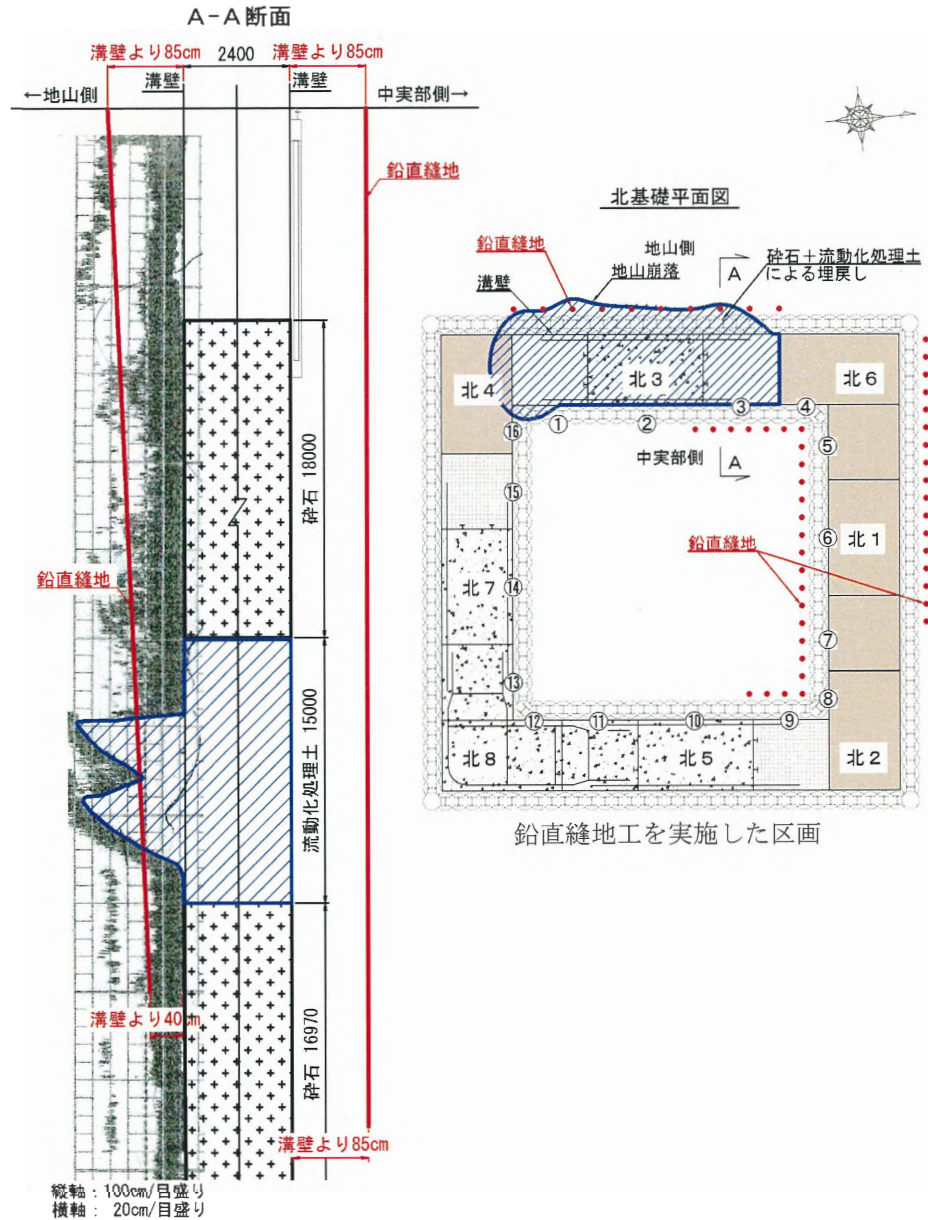


図 1.3-8 剛結継手部の砕石埋戻し

c. 溝壁補強工（鉛直縫地工）

北基礎の区画①, ②及び③において発生した掘削中の溝壁崩落部へ流動化処理土及び碎石で埋戻した後, 崩落部に埋戻した流動化処理土の補強として地山側に鉛直縫地工を施工した（図 1.3-9 参照）。

また, 溝壁の崩落が懸念されることから溝壁の補強工として鉛直縫地工を実施した。



流動化処理土埋戻し箇所補強のための縫地工

図 1.3-9 鉛直縫地の実施位置

d. 溝壁補強工（地盤改良工：高圧噴射攪拌工及び薬液注入工）

北基礎の区画①、②及び③において、地中連続壁の溝壁崩落後に実施したボーリング調査の結果、地山が緩んでいることを確認した（図 1.3-10 の左図参照）。そのため、地盤改良（高圧噴射攪拌工）を実施し、地山を補強した（図 1.3-10 の右図参照）。

地山側の高圧噴射攪拌工の改良体造成中に、掘削溝内にエアと排泥の一部の流入が確認されたことから、北4の掘削済の区画（剛結継手部、区画①及び⑬）では埋戻した砕石中に、未掘削の区画⑭では原地盤に逸走防止用の薬液注入工を行った。その後、高圧噴射攪拌工の改良体を造成した。

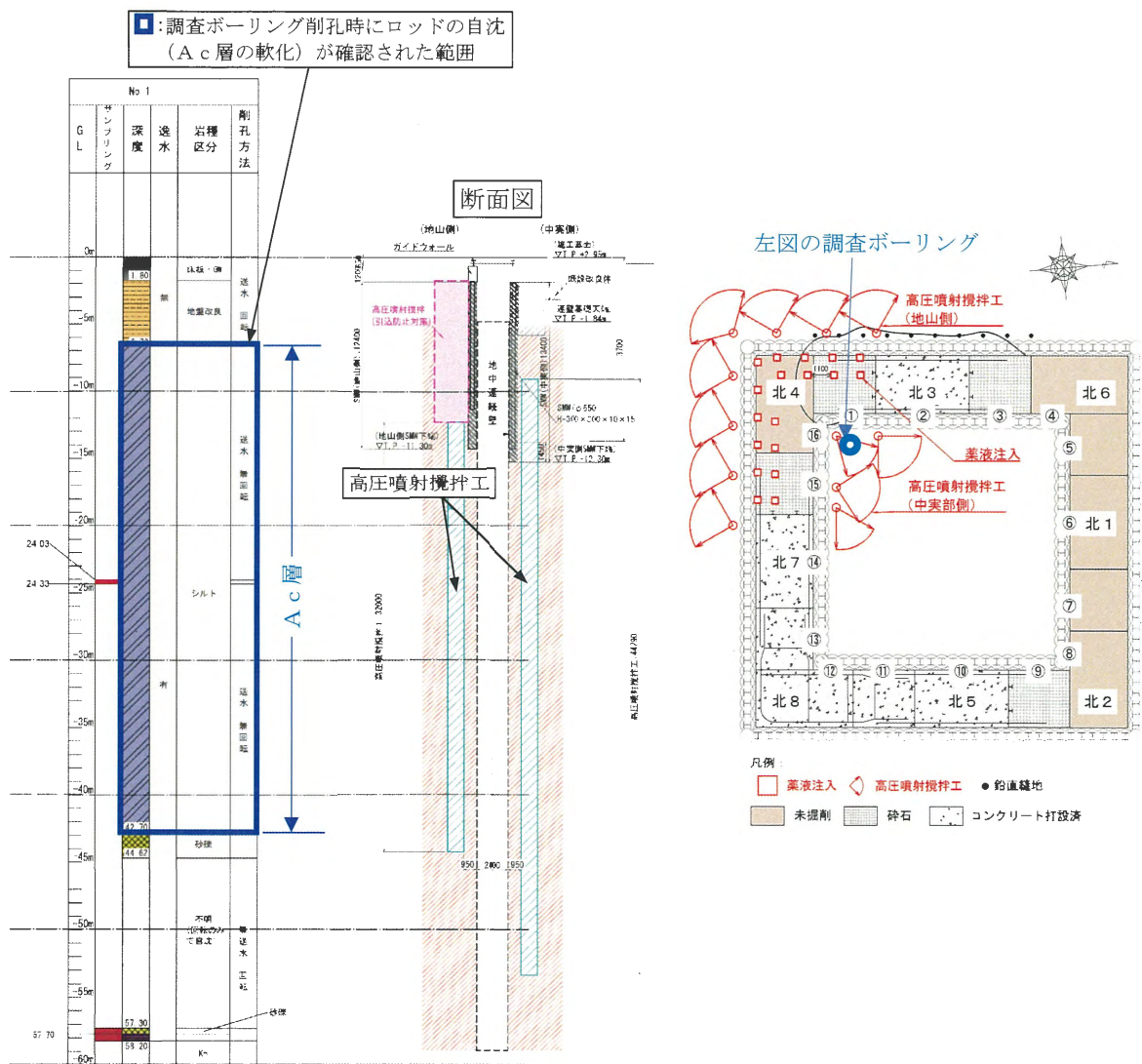


図 1.3-10 ボーリング調査結果と高圧噴射攪拌工実施位置

(3) SMWの再構築

地中連続壁の溝壁防護工としてSMWは構築済みであったが、既設建造物の耐震裕度向上工事（地盤改良工：薬液注入工）の施工において、北基礎区画⑬、⑭及び⑮のSMW（ガイドウォールの一部を含む）が支障となったことから、これらのSMWの撤去・再構築を行った（図 1.3-11 参照）。

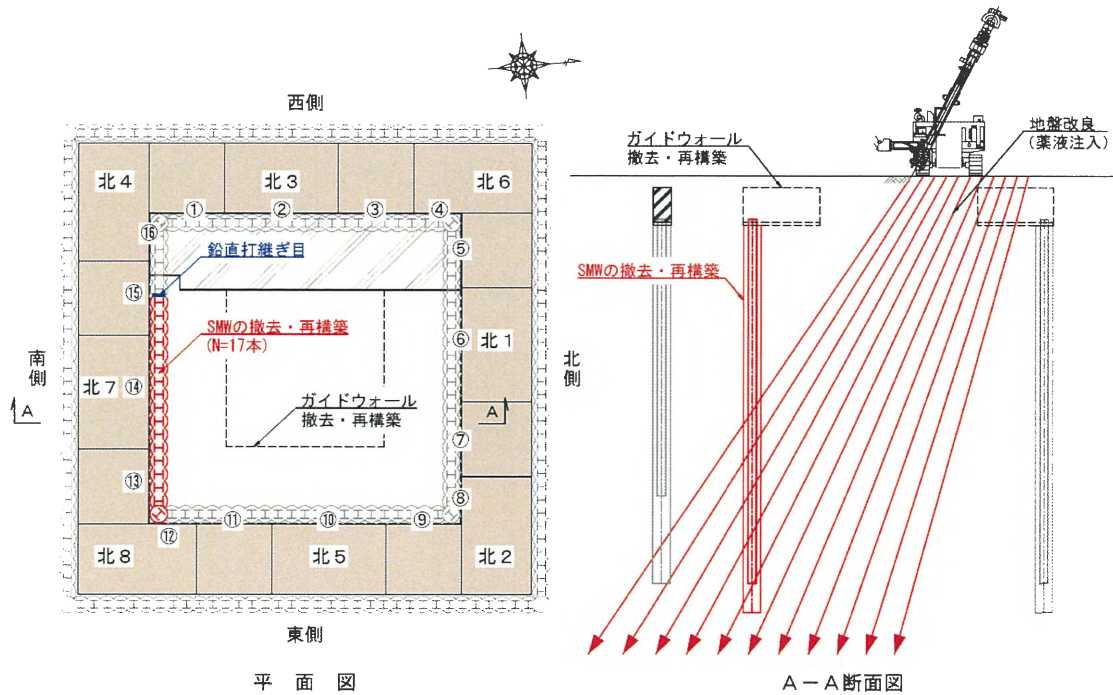


図 1.3-11 SMWの再構築位置及び断面図

(4) 鉄筋かご建込み時の上げ下ろし

北4後行エレメントの鉄筋かごを区画⑮、⑯及び⑰に建込んだ際に、鉄筋かごの上げ下ろしを複数回実施し、建込み可能な高さまで建込んだ。

### 1.3.2 原因調査

観察結果及び施工履歴の概要を表 1.3-1 に示す。これらの整理結果から不具合事象（コンクリート未充填及び鉄筋の変形等）が発生した要因を分析した。

表 1.3-1 観察結果及び施工履歴の概要

不具合事象	観察結果	施工履歴
コンクリート未充填	<ul style="list-style-type: none"> <li>・南基礎、北基礎のほとんどの剛結継手部でコンクリート未充填が面的に分布しており、鉄筋が露出している箇所があった。</li> <li>・剛結継手部以外のコンクリート未充填の分布は剛結継手部に比べ少なく、コンクリート未充填の一部は隣接する剛結継手部から連続している。</li> <li>・コンクリート未充填の最大深さは、北基礎で約 70 cm であり、剛結継手部の仕切板で観察され、未充填部は粘性土で閉塞されていた。</li> <li>・コンクリート未充填部は、北基礎の SMW 区間では土砂を多く含んだスライムにより、南基礎及び北基礎の SMW 区間以深では粘性土により閉塞されていた。</li> <li>・南基礎の区画⑮のコンクリート未充填部は、コンクリート流出防止シート、土砂及びスライム・安定液を巻込んだコンクリートにより閉塞されていた。</li> <li>・北基礎の区画⑮のコンクリート未充填は SMW 壁体で閉塞されていた。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○コンクリート打設中の溝壁崩落及び崩落土砂等の流入 <ul style="list-style-type: none"> <li>・崩落土砂撤去時にハンマーグラブ等の使用</li> <li>・崩落土砂等残置</li> </ul> </li> <li>○掘削中の溝壁崩落 <ul style="list-style-type: none"> <li>・埋戻し碎石撤去時にハンマーグラブを使用</li> <li>・溝壁付近での地盤改良工の実施</li> </ul> </li> <li>○SMWの再構築 <ul style="list-style-type: none"> <li>・SMWの撤去・再構築</li> </ul> </li> </ul>
鉄筋の変形等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・区画⑮、⑯及び⑰において鉄筋の変形等を確認した。</li> <li>・区画⑮において鉄筋の交錯を確認した。</li> <li>・北基礎の区画⑮、⑯及び⑰において鉄筋かごの高止まりを確認した。</li> </ul>	

#### (1) コンクリート未充填の原因調査

##### a. 要因分析

コンクリート未充填部の発生の原因について、コンクリート未充填部が発生する直接原因として、「コンクリート流路の阻害」、「コンクリートの流動性の不足」が考えられる。

これらの直接原因について、その要因となる可能性のある項目を抽出し、コンクリート未充填の調査結果及び施工履歴・施工記録に基づき、抽出した項目の発生の有無について検討・分析を実施した。要因分析図を図 1.3-12 に示す。

この結果、直接原因はコンクリートの流路阻害であり、以下の 5 つの要因を抽出した。これらの要因について次項にて詳述する。

- ①粘性土層（A c 層）のはらみ出し及び崩落
- ②溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押上げ
- ③崩落土砂等の残置
- ④ SMW による閉塞
- ⑤未改良地山の崩落

直接原因	要因	想定事象・確認結果
・コンクリート 流路の阻害	・マッドケーキ の生成	【想定事象】掘削中・開放期間中は、安定液により不透水膜（マッドケーキ）が形成され、これを介して土圧と水圧とのバランスを確保し、溝壁の安定性が保持されている。このマッドケーキが鉄筋等に付着し厚みが増し、鉄筋間のコンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】施工手順や施工履歴を調査した結果、当該箇所のコンクリートの打設前に高圧水流を用いてマッドケーキを洗浄し、除去していることを確認した。また、中実部側のコンクリート未充填部の鉄筋が露出した箇所を確認した結果、鉄筋に厚いマッドケーキの付着が確認されなかった。
	・安定液の性状	【想定事象】コンクリートの打設中に、掘削溝内の安定液の濃度（比重等）が管理基準値を満足していない場合、安定液とコンクリートの比重差の減少や安定液の粘性の増加により、安定液とコンクリートの置換性が悪化し、コンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】施工記録により確認した結果、全てのコンクリートの打設前に、掘削溝内の安定液の濃度（比重等）が管理基準値を満足していることを確認した。
	・掘削溝の出来 形の不足	【想定事象】掘削溝が計画よりも小さく施工されていた場合、鉄筋かぶり部が縮小し、コンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】鉄筋かぶりの建込み前に超音波記録にて、掘削溝は所定の形状が確保されていることを確認したことから、掘削出来形不足の可能性はない。
	・スライム・安定 液の巻込み	【想定事象】地中連続壁のコンクリートは気中のコンクリートに比べて、打設中にコンクリートと安定液が接し、安定液とセメントのゲル化物をコンクリート中に巻込みやすい。また、トレミー管を使用して自然流動のみで、鉛直・水平鉄筋を乗り越えながら打設され、鉄筋かぶり部付近にスライムが集中し、コンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】スライム・安定液の巻込みにより未充填は発生しない。なお、地中連続壁施工上、スライム・安定液の巻込みは通常起こりうる事象であり、この影響に対しコンクリート強度を割増すこととしている。
	・粘性土層（A c 層）のはらみ 出しおよび崩 落	【想定事象】施工時に地盤に加わる荷重（施工機械等の上載荷重やコンクリートの打設圧）や安定液と地下水の水位差不足により溝壁のはらみ出しが発生し、コンクリート充填箇所の閉塞及び流路阻害が発生する可能性がある。更に、溝壁のはらみ出しが大きくなるにつれ崩落し、下方及び隣接区画のコンクリート流路の閉塞及び阻害となり、コンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】南基礎地中連続壁部の施工履歴及び施工条件に基づく2次元FEM解析により、溝壁のはらみ出し発生を確認したことから、このはらみ出し及びその崩落物によりコンクリートの流路が阻害され、コンクリートの未充填が発生したと評価した（詳細は1.3.2(1)参照、北基礎も同様の事象が発生と評価）。次項に詳述する。
	・溝壁のはらみ 出しにより崩 落した土砂の 押し上げ	【想定事象】はらみ出しにより崩落土砂を含んだスライムがSMW区間までコンクリート打設時に押し上げられ、コンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】地中連続壁工法は、コンクリートの打設により比重の軽いスライムを上部に押し上げる工法である。観察結果から、北基礎区画①、③、⑦、⑨及び⑩のSMW区間においてコンクリート未充填部に土砂を含んだスライムを確認した。SMW区間でははらみ出しは発生しないことから、はらみ出しにより崩落した土砂がSMW区間下方よりスライムとともに押し上げられ、鉄筋のかぶり部に残留し、コンクリートの流路が阻害され、コンクリートの未充填が発生したと評価した。次項に詳述する。
	・崩落土砂等の 残置	【想定事象】南基礎南7（区画④）のコンクリート打設中に溝壁が崩落し、区画④へコンクリート及び崩落土砂の流入が発生している。その後、区画④の崩落土砂等を撤去したが、中実部側の鉄筋かぶり部の一部において崩落土砂等が撤去できず残置したことから、区画④の中実部側においてコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】観察および施工記録から、区画④の中実部側の鉄筋かぶり部のコンクリート未充填部においてコンクリート流出防止シート、スライム・安定液を巻込んだコンクリート及び流入した土砂の撤去残りが確認されており、これがコンクリートの流路を阻害した。次項に詳述する。
	・SMWによる 閉塞	【想定事象】地盤改良（薬液注入）のため既設置のSMWの一部を撤去・再構築したため、掘削溝側にずれ、コンクリートの流路が狭まり、コンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】観察結果から、北基礎区画⑩において地中連続壁のかぶり部にSMWを確認しており、SMWがコンクリートの流路を阻害した。施工記録から不連続となったSMWが土砂崩落による周辺地山の緩みと掘削機等の上載荷重により、再構築部が変位した。次項に詳述する。
	・仕切板の清掃 不足	【想定事象】北基礎北3のコンクリート打設中に、区画①付近で溝壁の崩落が発生し土砂が堆積した。このため溝壁の崩落防護のため区画①及び区画⑤に、碎石を充填しており碎石撤去の後の清掃が不十分な場合、崩落土砂や埋戻し碎石が残留し、コンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】施工記録を確認した結果、鉄筋かぶり建込み直前に、高圧噴射攪拌工の施工機械を用いて高圧水流により崩落土砂や埋戻し碎石の除去及び清掃を行っていることを確認した。その後超音波測定及びレッド検尺 <sup>※1</sup> により仕切板に崩落土砂や埋戻し碎石がないことを確認しており、仕切板に崩落土砂や埋戻し碎石が残留した可能性はない。
	・安定液の性状 変化	【想定事象】開放期間が長期化したため、スライムが増加し、コンクリートの流路が狭まることで、コンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】施工記録を確認した結果、コンクリート打設前に継手清掃により鉄筋周りのスライムを除去するとともに、底部のスライムもサンドポンプでスライムを除去している。安定液の品質（比重、粘性、砂分率）は試験により所定の管理基準値を満足しているため、スライムが増加した可能性はない。
・未改良地山の 崩落	【想定事象】既設のSMWの背面側下部に高圧噴射攪拌工を実施したが、溝壁周辺に未改良地山が残った。この未改良地山が崩落し、コンクリートの流路が狭まりコンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】溝壁周辺の未改良地山は高圧噴射攪拌工の地盤改良体と縁が切れやすい状態にあった。また、仕切板付近の溝壁（未改良地山）は継手清掃の高圧水流により不安定になった。ここにコンクリート打設圧力が掛かり、区画①及び区画⑥のSMW下端付近の未改良地山が押し出され崩落し仕切板際に残留した。次項に詳述する。	
・コンクリート の流動性の不 足	【想定事象】配置された鉄筋間隔とコンクリート中の粗骨材の最大粒径との差が比較的小さい場合、充填性に影響を与える可能性がある。また、流動性（スランプフロー値）が小さい場合、コンクリート打設の際に打設位置から躯体の端まで到達せず、コンクリート未充填が発生する可能性がある。 【確認結果】鉄筋間隔は最小区間でも約100mm、これに対し粗骨材の最大粒径は20mmで、これらはコンクリート標準示方書に基づく最小鉄筋間隔と粗骨材の粒径の関係を満足しているため、充填性は確保されている。また、高流動コンクリートを使用し、受入検査で基準値を満足しているため、流動性は確保されている。	

注：グレーでハッチングした記載は施工記録等から不具合事象発生の要因とならないと判断した。

※1：鉛（レッド）に目盛りのついたロープを地表から掘削溝底に垂らし、ロープが張った状態の目盛りを読み取ることで水深（掘削深度）を検査する方法。

図 1.3-12 コンクリート未充填の要因分析結果

b. コンクリート未充填の推定原因

(a) 粘性土層（A c層）のはらみ出し及び崩落

観察結果より、コンクリート未充填部は、大部分が粘性土で閉塞されていたことを確認した。

そのため、地中連続壁部の施工時の溝壁（粘性土層（A c層））の挙動に着目した。掘削後の溝壁は安定液で満たされ、この安定液圧と溝壁の土圧が均衡を保ち、溝壁面の安定が保持される。しかし、施工時の荷重（施工機械の荷重やコンクリートの打設圧）、安定液と地下水位の水位差などにより、溝壁の土圧の均衡が崩れ、溝壁（粘性土）がはらみ出し、その一部は崩落しコンクリート流路を阻害してコンクリート未充填が発生したと推定した。このため、溝壁の変形挙動を再現する数値シミュレーションを実施した。

イ. シミュレーションの条件の整理

コンクリート未充填部には、粘性土により閉塞されていたことから、地中連続壁部の施工時の溝壁の挙動（特に粘性土の挙動）に着目し検討した。

地中連続壁工法における溝壁の安定性（すべりやはらみ出し）に影響を与える要因としては、施工時の荷重（施工機械の荷重やコンクリートの打設圧）、地下水位と安定液の水位差及び地盤の物性（強度等）が考えられる。これらの検討項目について、施工時の溝壁の挙動を確認するため、施工記録に基づき2次元FEM解析（解析コードはSoil Plusを使用）により数値シミュレーションを行った。各地層の構成則（地盤の物性）は各々の挙動を再現できるモデルとし、粘性土層（A c層）はひずみ軟化やクリープ等を考慮できる弾粘塑性構成則（関口・太田モデル）、砂・礫質土（d u層、A g 2層、A s層及びA g 1層）は弾塑性構成則にてモデル化した。

施工時の荷重（施工機械の荷重やコンクリートの打設圧）の影響について検討するため、施工記録を確認し、鋼製防護壁地中連続壁部の各区画の構築ステップや各ステップにおける施工機械の設置位置を整理した。

各ステップの施工機械の位置（施工機械荷重の履歴）を確認した結果、施工機械は中実部側及び地山側の溝壁近傍の地盤に設置され、繰返し荷重が作用したことを確認した（図 1.3-13）。また、構築ステップをもとにコンクリートの打設圧について検討すると、中実部には各エレメントのコンクリート打設における打設圧が繰返し作用したと想定した（図 1.3-14）。

これらから地中連続壁部の構築ステップにおいて施工機械やコンクリート打設の荷重が繰返し中実部の地盤に作用し、内部圧力として残留及び蓄積する影響について確認した。

検討は南基礎で最も掘置き期間が一番長かった区画①を対象とした。図 1.3-15に2次元FEM解析モデルを、表 1.3-2に剛結継手部の掘置き期間を示す。

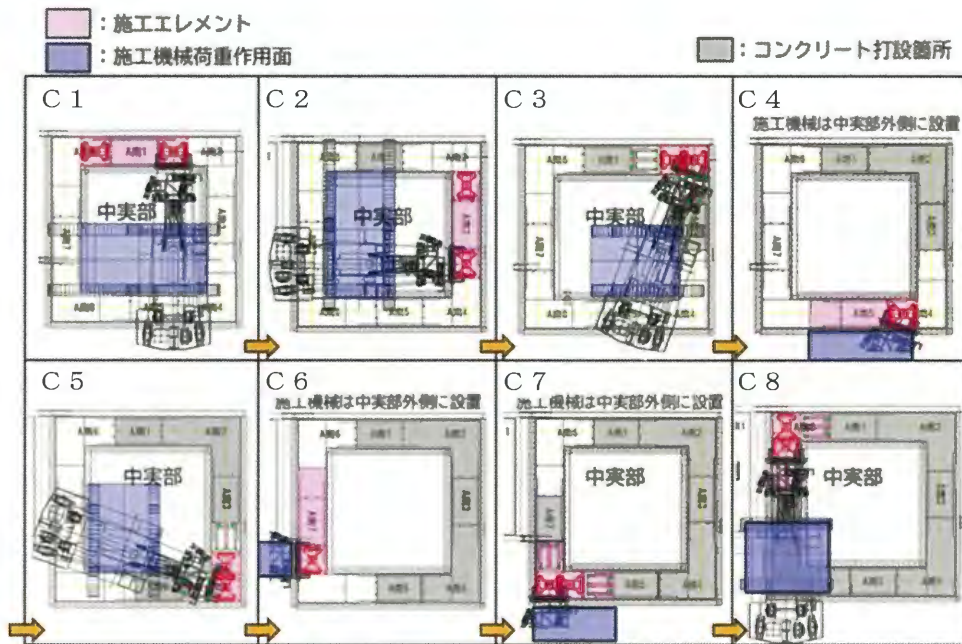


図 1.3-13 各ステップの施工機械の位置（施工機械荷重の履歴）（南基礎）

打設順	標記名	打設エレメント	打設順	標記名	打設エレメント
1	C1	南 1	5	C5	南 4
2	C2	南 3	6	C6	南 7
3	C3	南 2	7	C7	南 8
4	C4	南 5	8	C8	南 6

➡：当該ステップのコンクリート打設圧   
 ➡：前のステップのコンクリート打設圧   
 ■：打設箇所  
➡：前々のステップのコンクリート打設圧   
 ➡：前々以前のステップのコンクリート打設圧

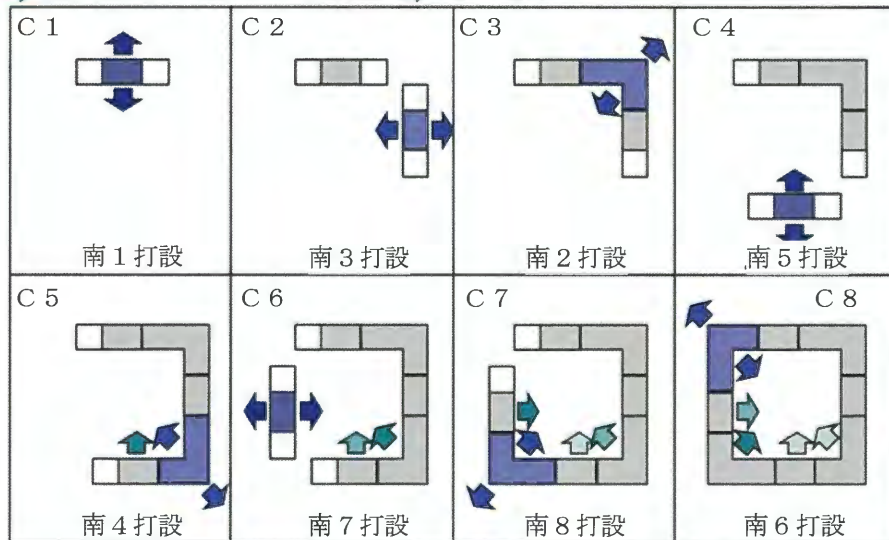


図 1.3-14 構築ステップ毎のコンクリート打設に伴う地盤への施工圧力の蓄積履歴（南基礎）

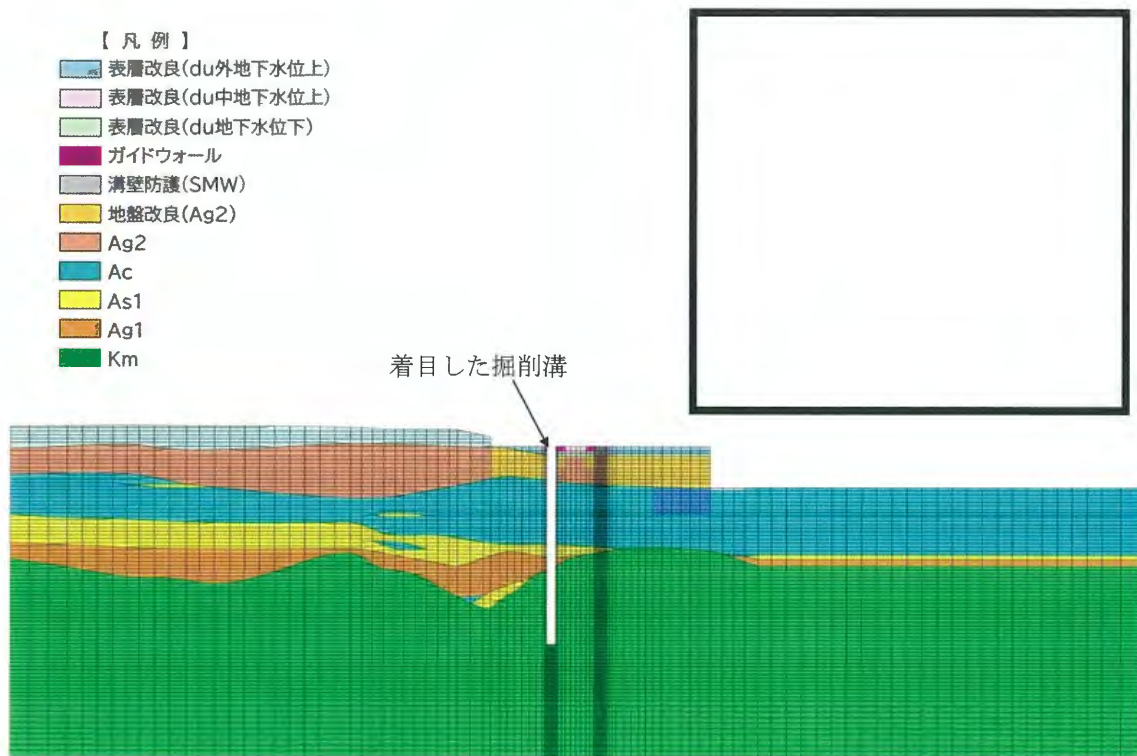


図 1.3-15 2次元FEM解析モデル

表 1.3-2 剛結継手部の掘置き期間

面	区画	掘置き期間	
		南基礎	北基礎
西面	区画①	260 日	440 日
	区画③	50 日	297 日
北面	区画⑤	27 日	92 日
	区画⑦	71 日	109 日
東面	区画⑨	24 日	235 日
	区画⑪	89 日	30 日
南面	区画⑬	51 日	132 日
	区画⑮	152 日	463 日

ロ. シミュレーションによる解析結果

数値シミュレーション(水位差の条件として区画①における安定液と地下水位の実際の差 1.37 m を設定した)の結果を図 1.3-16 に示す。この結果、溝壁中の粘性土層(Ac層)で水平変位(はらみ出し)が進行していることを確認した(図の左側の2次元FEM解析モデルは右側の変位の図と同一標高で記載)。また中実部側と地山側の溝壁の水平変位を比べると中実部側の溝壁の水平変位がより大きい結果となった。これにより、溝壁が掘削された状態で維持され、その間、施工機械の設置圧やコンクリートの打設圧の繰返し作用が、中実部の内部圧力となって蓄積したことで中実部側の溝壁の水平変位量(はらみ出し量)が大きくなったことを確認した。

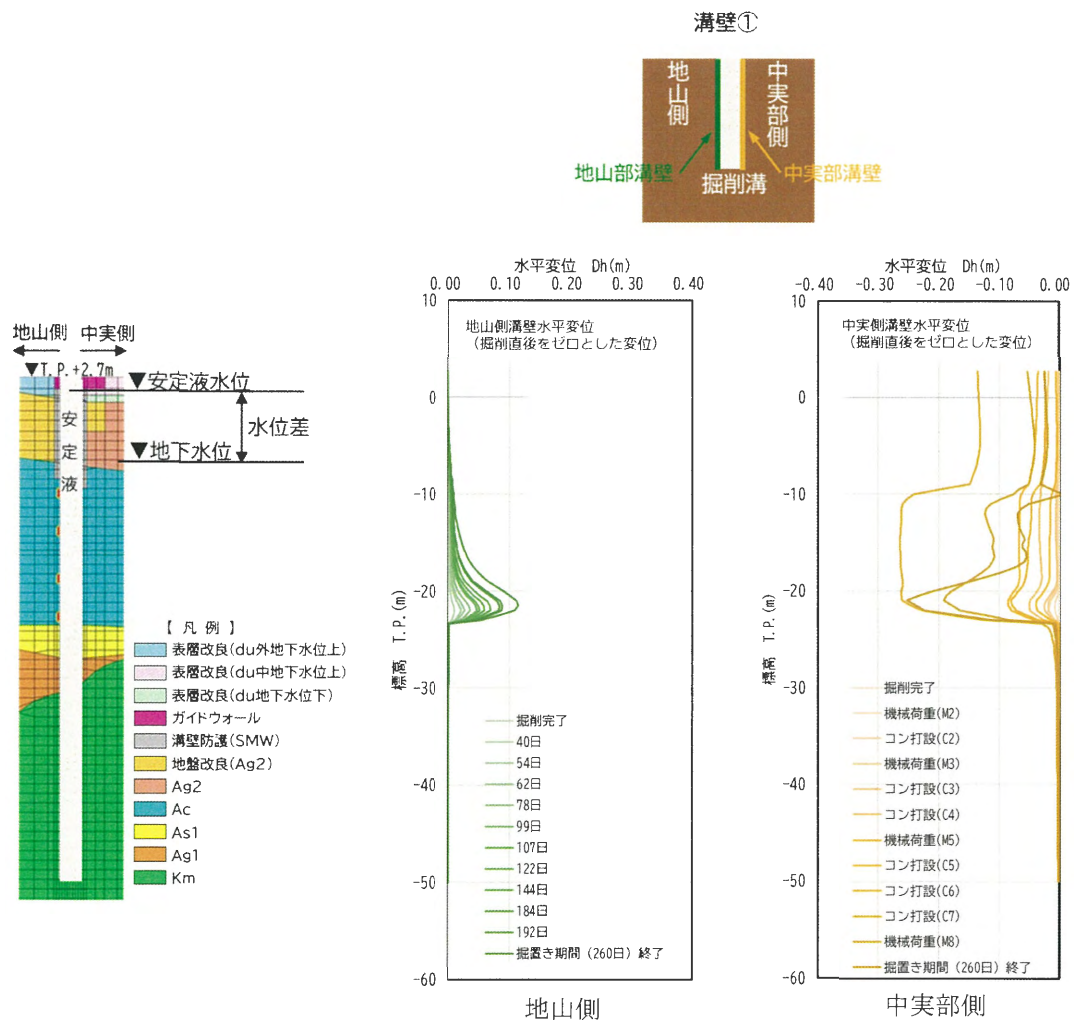


図 1.3-16 溝壁 (区画①) の変位推移

次に、周辺地下水位と安定液水位の水位差の影響を確認した。設定した地下水位は、前述の解析結果（区画①）における安定液と地下水位の実際の差 1.37 m）に対する比較ケースとして水位差を 2.0 m と 3.0 m に変化させたケースを実施した。溝壁の最大水平変位量の経時変化を図 1.3-17 に示す。安定液水位と地下水位の水位差が大きくなるにつれ、最大水平変位量の値が小さくなっている。溝壁の水平変位量（はらみ出し量）は、掘削溝の掘置期間や周辺地下水位と安定液水位の水位差にも影響を受けることを確認した。

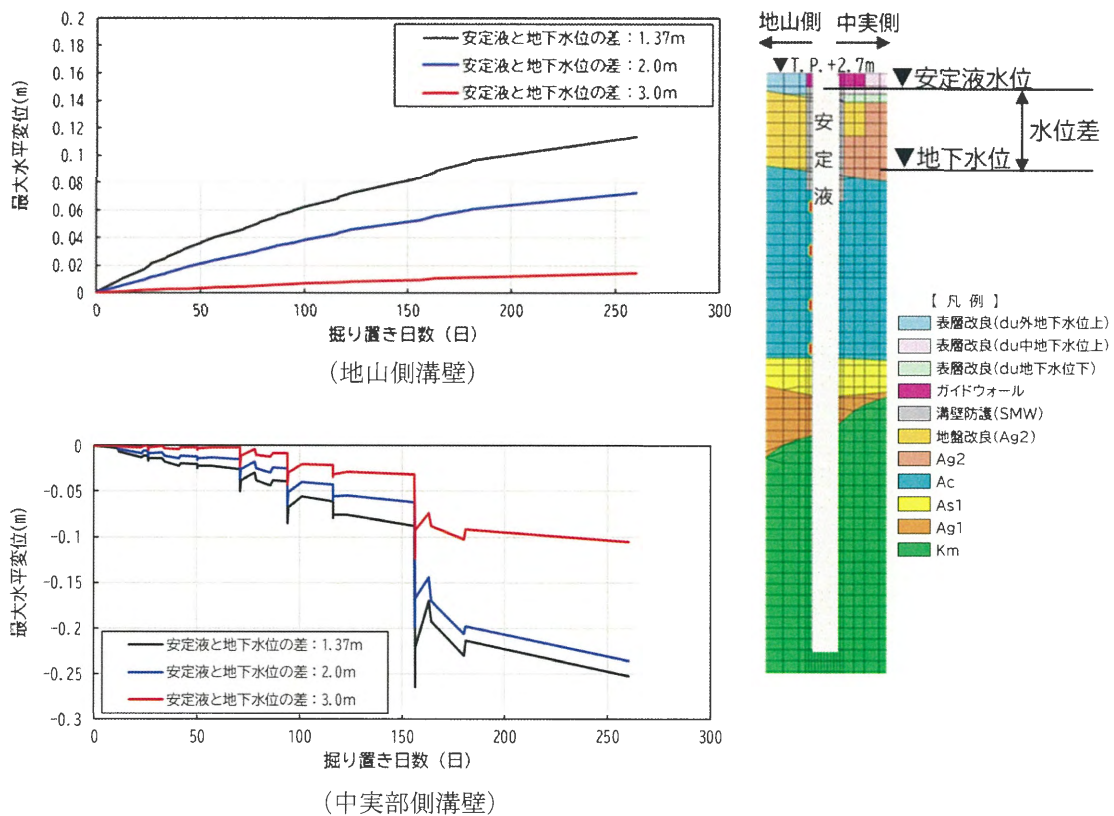


図 1.3-17 安定液水位と地下水位の水位差による溝壁の最大水平変位

前述の溝壁の数値シミュレーションの結果、粘性土層（A c層）が分布する深度で、はらみ出しが発生したことを推定したが、粘性土層（A c層）分布以深でもコンクリート未充填が発生し、当該部も粘性土で閉塞されていたことから、その原因を検討した。

はらみ出しが発生した溝壁中の粘性土層（A c層）は、はらみ出し量が大きくなるにつれ不安定になり、その一部は、溝壁のはらみ出し部から崩落する。崩落した土砂はコンクリート流路を阻害することになり、粘性土層（A c層）下方にもコンクリート未充填が発生すると推定した。

以上をまとめると、溝壁が掘削された状態で長期間維持され、その間、溝壁周辺に繰返し上載する掘削機の荷重や周辺のコンクリートの打設圧、安定液水位と地下水位の水位差不足により、中実部側の粘性土層（A c層）地盤の溝壁にはらみ出しの変形が発生し、鉄筋かぶり部の閉塞やコンクリートの流路の阻害によりコンクリート未充填が発生した。また、はらみ出した粘性土層（A c層）の一部が不安定となり、下方（隣接区間を含む）へ崩落・堆積し、鉄筋かぶり部の閉塞やコンクリートの流路の阻害によりコンクリート未充填が発生した。本推定原因の発生メカニズムの模式図を図 1.3-18 に示す。

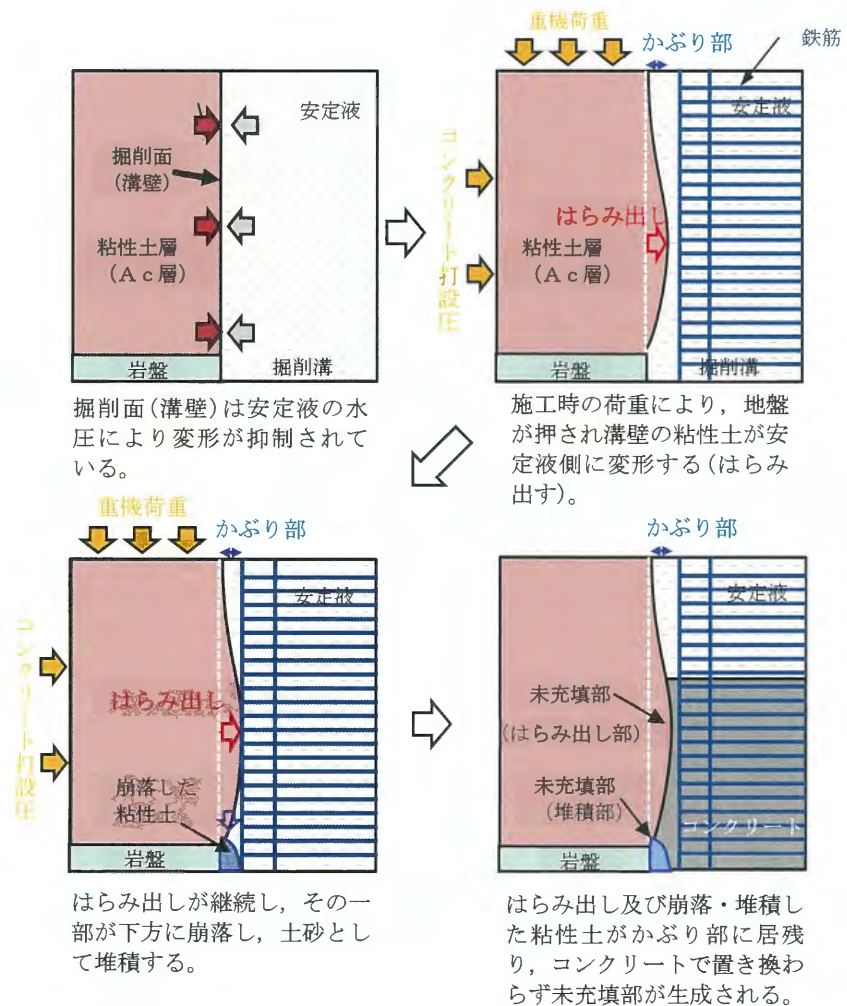


図 1.3-18 発生メカニズムの模式図

(b) 溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押上げ

観察結果より、SMW区間のコンクリート未充填部は、北基礎のみ広く分布しており、区画①、③、⑦、⑨及び⑬のコンクリート未充填部には、土砂を含んだスライムを確認した（図 1.3-19 参照）。

SMW区間では、粘性土層（A c層）のはらみ出しは発生しないことから、これらのコンクリート未充填の発生の推定原因を検討した。

地中連続壁工法では、コンクリートとスライムの比重差を利用して、掘削溝中のスライムをコンクリート打設において打設面上昇とともに上方に押し上げ、構造物上部に排出することを想定した工法である。

また、北基礎は南基礎に比べて粘性土層（A c層）の分布が厚く、SMW区間以深のはらみ出し、崩落が広範囲にわたり発生している。この崩落した粘性土（A c層）の一部は、スライムに混入し、コンクリート打設に伴って、SMW区間まで押し上げられた。

以上より、SMW区間で発生したコンクリート未充填（区画①の一部及び区画⑬を除く）は、この土砂を多く含んだスライムが、SMW区間の鉄筋かぶり部に流入したことによるものと推定した（図 1.3-20 参照）。

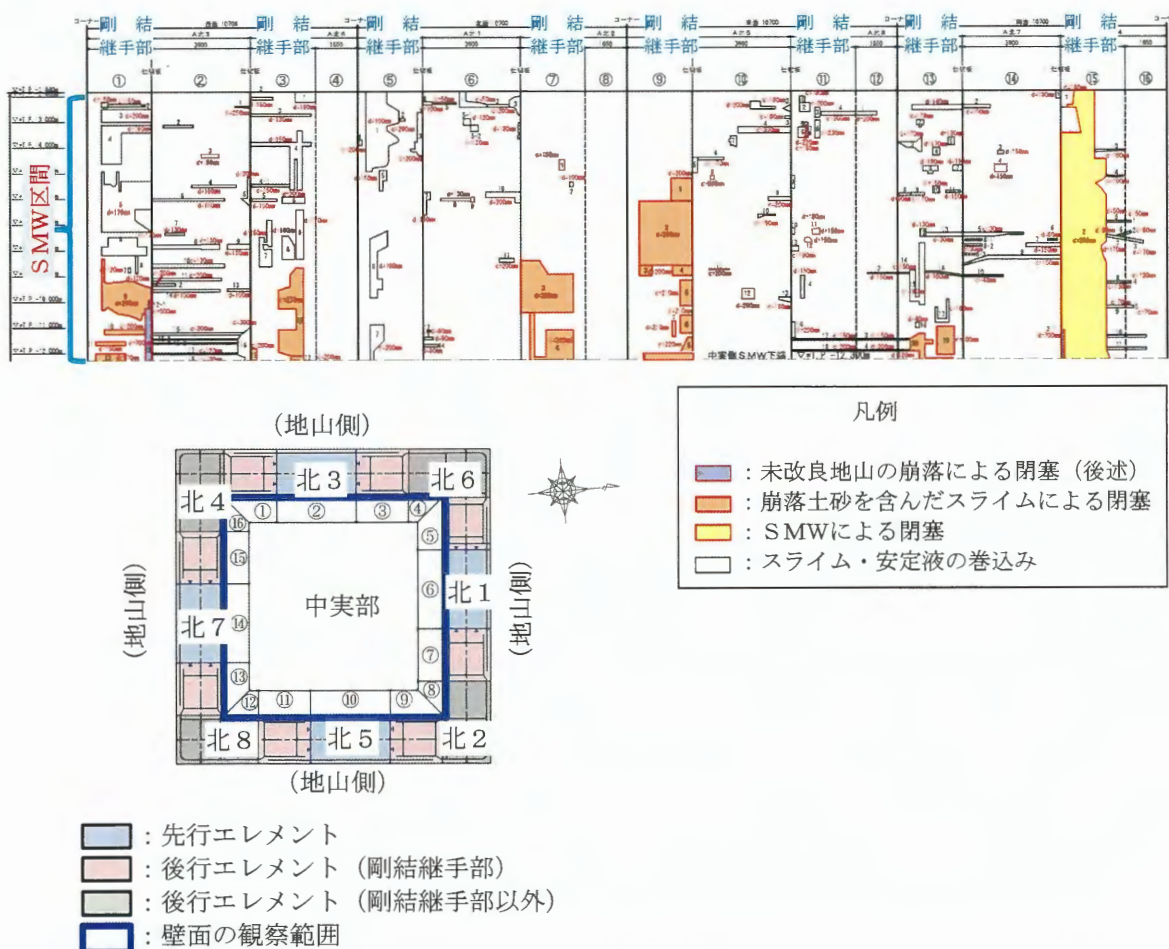


図 1.3-19 崩落土砂を含んだスライムによる閉塞を確認した箇所（北基礎SMW区間）

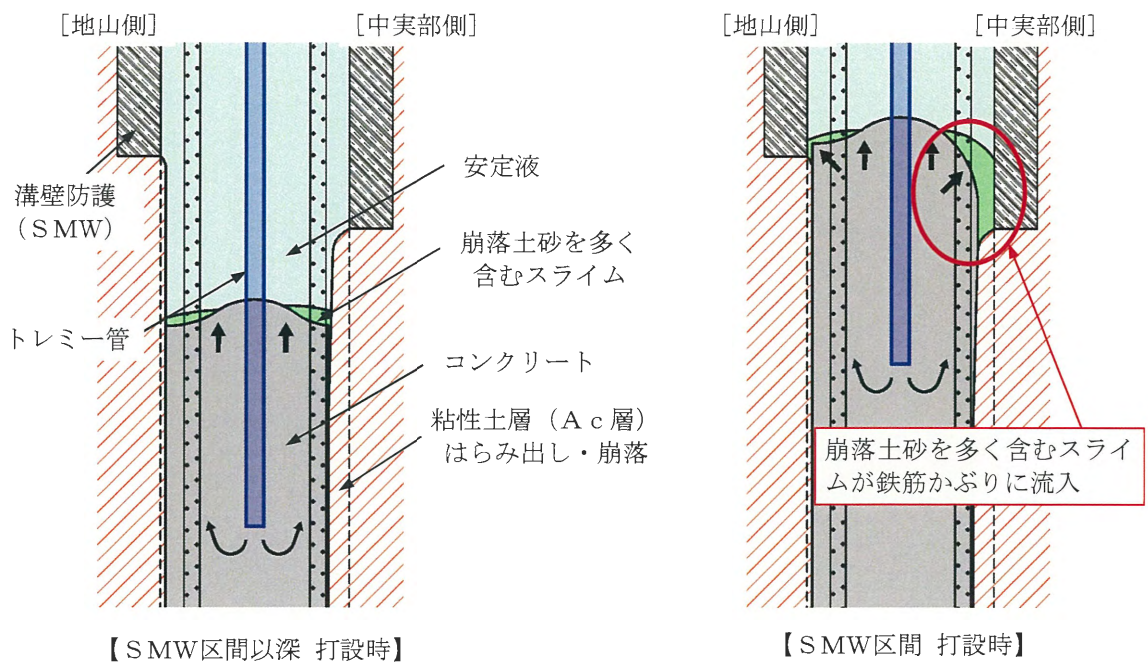


図 1.3-20 溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押上げ

(c) 崩落土砂等の残置

観察結果より、南基礎区画⑮ではコンクリート未充填部にコンクリート流出防止シート及びコンクリート混じり土砂を観察結果より確認した（図 1.3-21 参照）。

施工履歴を確認したところ、南7のコンクリート打設中に溝壁が崩落し、区画⑮へコンクリート及び崩落土砂の流出が発生し、その後、区画⑮の崩落土砂等を撤去したが、中実部側の鉄筋かぶり部の一部において崩落土砂等が撤去できず中実部掘削時に対応するとして一部残置したことを確認した。

以上より、区画⑮の中実部側においてコンクリート未充填は崩落土砂等の残置により発生したと推定した。

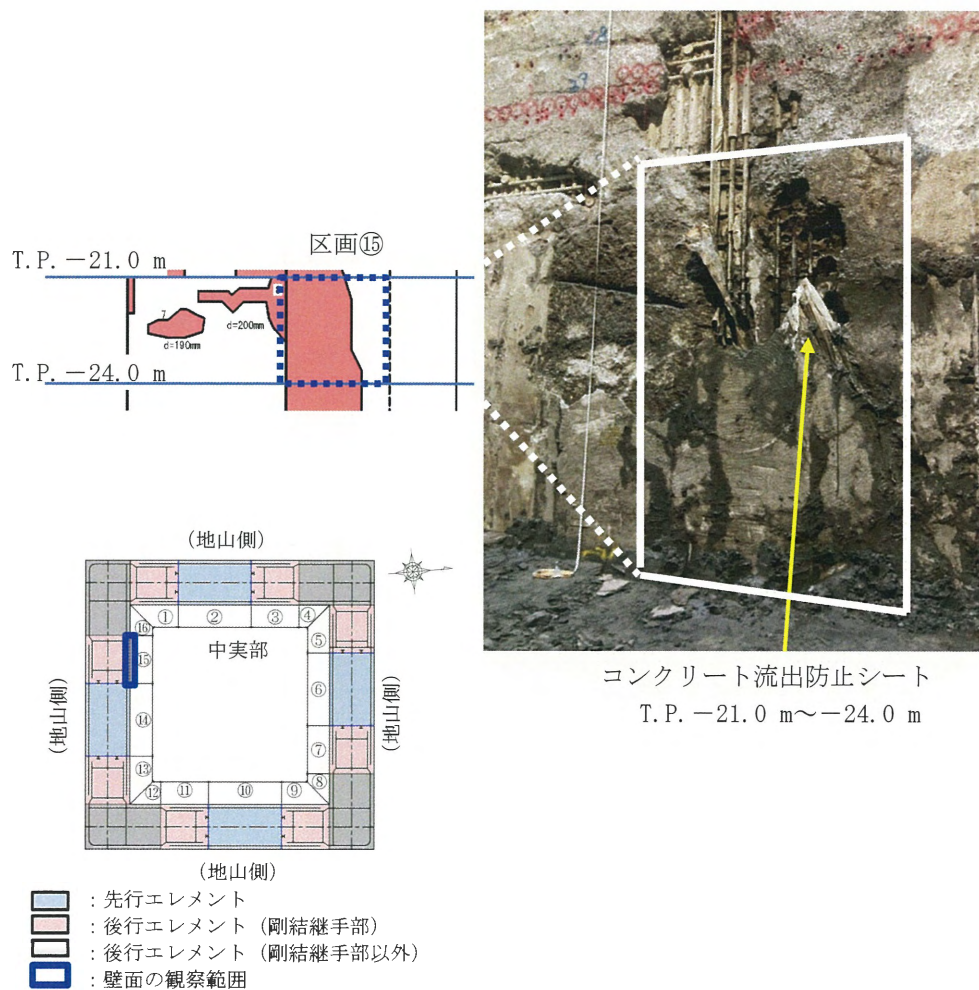
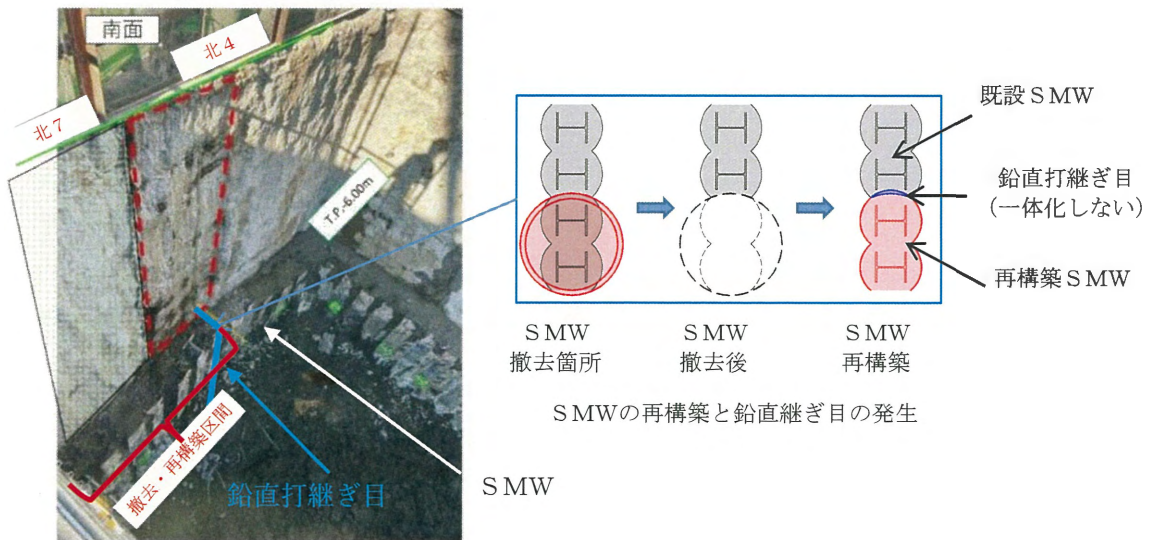


図 1.3-21 中実部掘削時のコンクリート未充填部の状況

(d) SMWによる閉塞

観察結果より、北基礎区画⑮ではコンクリート未充填部にSMWの壁体を確認した。施工履歴を確認したところ、北基礎区画⑬、⑭及び⑮において、既設構造物の耐震裕度向上工事として地盤改良（薬液注入工）の施工に既設置のSMWの一部が干渉したことから、準備工にて同SMWの撤去・再構築を行った。このSMWの撤去・再構築のため、既設のSMWと再構築SMWの間に鉛直打継ぎ目が発生した（図 1.3-22 参照）。以上より、地中連続壁の施工において、隣接する北3の溝壁崩落による周辺地山の緩みと地中連続壁掘削機等の上載荷重により、再構築SMWが地中連続壁の内側に変位（約10 cm）し、地中連続壁のかぶり部に入り込み、コンクリートの流路を阻害しコンクリート未充填が発生したと推定した（図 1.3-23 参照）。



再構築したSMWの掘削時の状況写真

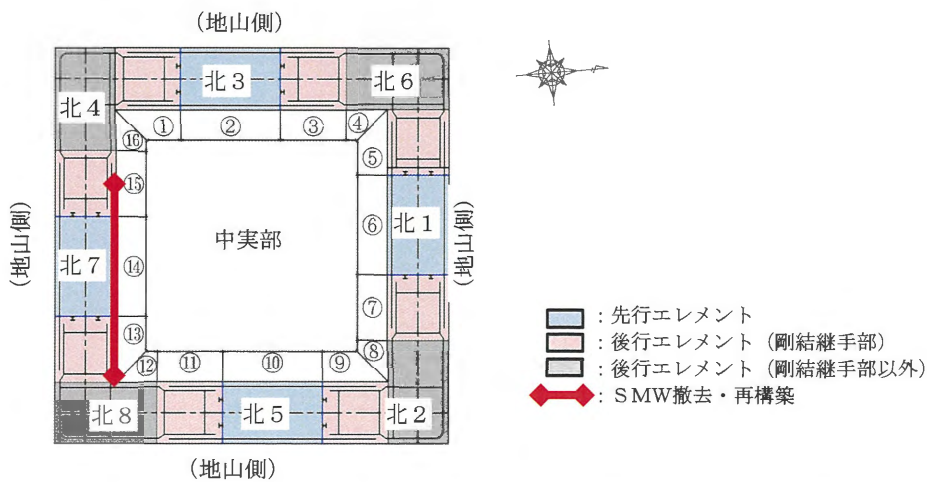


図 1.3-22 SMWの撤去・再構築の位置図及び掘削時の状況

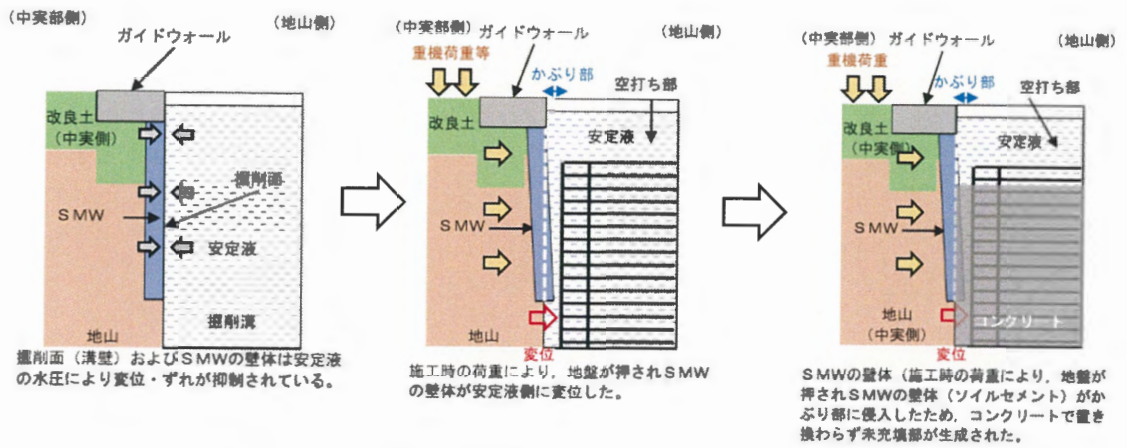


図 1.3-23 SMWの変位によるコンクリート流路の阻害

(e) 未改良地山の崩落

観察結果から、北4後行エレメントの剛結継手部（区画①及び⑮）において、SMW下端付近で仕切板に沿って最大深さ70 cmのコンクリート未充填箇所を確認した。

コンクリート未充填部の堆積物の見た目は粘性土であるものの、その由来を確認するため、試料を採取しX線回折分析を実施した結果、当該箇所の堆積物は地山由来の粘性土（Ac層）であることを確認した。

施工履歴を確認したところ、北4後行エレメントでは、既設の溝壁防護SMWの背面側下部に、高圧噴射攪拌工による溝壁補強を実施したが、溝壁を乱さないため溝壁と高圧噴射攪拌工の改良部との間には、最小でも厚さ約1 mの未改良地山（Ac層）を残した。この未改良地山は高圧噴射攪拌工による地盤改良体と縁が切れやすい状態となっていた。当該箇所の継手清掃は高圧水流を用いており、継手清掃時の高圧水流が仕切板付近の溝壁（未改良地山）に影響を与え、不安定化させた。

以上より、この未改良地山の挙動を検討した結果、コンクリート打設時の打設圧が溝壁にかかり、その力が地盤改良体に挟まれた未改良地山を掘削溝側に押し出した。その影響で未改良地山が崩落し、コンクリート流路を阻害し、コンクリート未充填部を形成したと推定した（図 1.3-24 参照）。

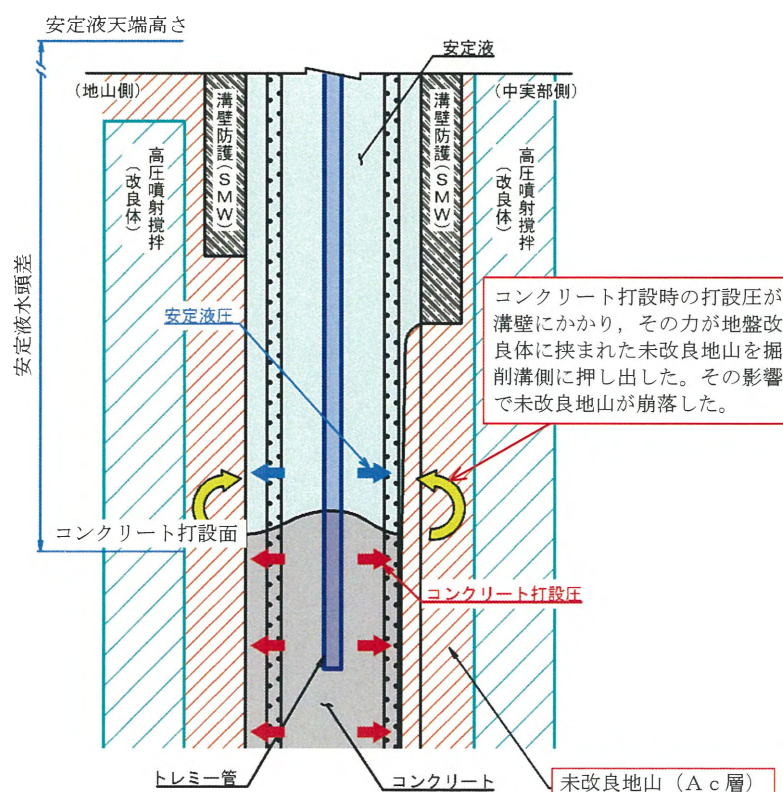


図 1.3-24 未改良地山（Ac層）の崩落メカニズム

## (2) 鉄筋の変形等の原因調査

### a. 要因分析

鉄筋の変形等（鉄筋かごの高止まり事象を含む）の発生の直接原因としては、「はらみ出した溝壁の接触」、「溝壁への接触」及び「設置済み鉄筋かごへの接触」が考えられる。

これらの直接原因について、その要因となる可能性のある項目を抽出し、鉄筋の変形等の調査結果及び施工履歴・施工記録に基づき、抽出した項目の発生の有無について検討・分析を実施した。要因分析図を図 1.3-25 及び図 1.3-26 に示す。

この結果、直接原因は、「設置済み鉄筋かごへの接触」であり、以下の2つの要因を抽出した。これらの要因について次項で詳述する。

①ハンマーグラブの接触

②鉄筋かご同士の接触

直接原因	要因	想定事象・確認結果
・はらみ出した溝壁の接触		【想定事象】はらみ出した溝壁が先行エレメントの鉄筋に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】はらみ出した溝壁は粘性土であり、鉄筋を変形させる程の剛性・強度はない。
	・崩落土砂等の接触	【想定事象】崩落土砂やコンクリートが流入し鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】崩落土砂やコンクリートは、格子状の鉄筋の隙間を通過するため、鉄筋自体に著しい変形を与えるような圧力は作用せず、鉄筋の変形が発生する可能性はない。
・溝壁への接触	・掘削溝の出来形の不足	【想定事象】掘削溝が計画の掘削形状（幅、深さ）を確保していない場合、溝壁に鉄筋かごが接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工記録から鉄筋かご建て込み前に超音波測定及びレッド検尺 <sup>※1</sup> にて溝壁が計画の掘削形状（幅、深さ）を確保していることを確認した。
	・鉄筋かごの寸法違い	【想定事象】鉄筋かごが設計と異なる寸法で組み立てられた場合、鉄筋かごが溝壁に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工記録から鉄筋かごを組立てた段階で、寸法検査を実施していること、寸法検査の結果が設計寸法と相違ないことを確認した。
	・運搬・建込み時のかご変形	【想定事象】鉄筋かごの運搬、建込みの際の変形により、鉄筋かごが溝壁に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】鉄筋かごは補強枠で剛性が確保されており、運搬の振動や建込み時の吊り作業で変形が生じることはないよう設計されている。
	・SMWの変位	【想定事象】地盤改良（薬液注入）のため既設置のSMWの一部を撤去・再構築したため、掘削溝側にずれ、鉄筋に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】観察結果からSMWの位置はかぶり部で留まっており（変位量10cm）、鉄筋に接触した可能性はない。
・設置済み鉄筋かごへの接触	・防護ボックス設置・撤去時の接触	【想定事象】剛結継手部に防護ボックス（掘削機から剛結継手部の鉄筋を防護する治具）を設置する際に、剛結継手部の鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工履歴から防護ボックスの設置の手順において、仕切板に設置されているT字のガイド鋼材に防護ボックスのガイドを添わせることで位置ずれを起こさず設置できることから鉄筋に接触した可能性はない。また、ガイド鋼材が使用できなかった北基礎区画①及び区画⑫、南基礎区画⑬については建込み中は、測量から割り出された逃げ墨から、側方4箇所より位置を管理しながら建込んでおり、鉄筋との離隔も片側100mmあることから、鉄筋に接触した可能性はない。
	・トレミー管の接触	【想定事象】コンクリート打設においてトレミー管を降下、移動、上昇させた際に、トレミー管が設置済みの鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工手順を確認した結果、トレミー管の直径は30cm弱であり、コンクリート打設時は鉄筋かごの内側にある補強枠の中で使用していることから、鉄筋等に接触する可能性はない。
	・埋戻し砕石の投入時の衝撃	【想定事象】掘削済みの剛結継手部の地山崩落を防ぐために砕石を投入し埋戻した。その砕石が投入時に剛結継手部の鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】砕石は安定液中を落下させており、衝撃エネルギーは水中であることから減退するため著しい変形を与えるような力は作用しない。
	・鉛直縫地工のケーシングの接触	【想定事象】溝壁の補強として地山に縫地鉄筋を挿入するための削孔（ケーシング（φ135mm）を使用）、剛結継手部に堆積した崩落土砂等をほぐすための削孔において、削孔が曲がりケーシングが鉄筋等に接触し、鉄筋等の変形が発生した可能性がある。 【確認結果】施工手順を確認した結果、ボーリング孔の削孔時に鉄筋等にケーシングが接触した場合、オペレーターは即時に異常を感知し削孔機を停止させることを確認した。
	・高圧噴射攪拌工のロッドの接触	【想定事象】溝壁の補強として高圧噴射攪拌工（ロッドφ114.3mm）の削孔、剛結継手部に堆積した崩落土砂等をほぐすための削孔において、削孔が曲がり、鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工手順を確認した結果、ロッドはゆっくり降下させており、接触しても鉄筋を変形させるほどの荷重はかからないことを確認した。また、鉄筋等にケーシングが接触した場合、オペレーターは即時に以上を感知し、削孔機を停止させることを確認した。
	・ロッド回収治具の接触	【想定事象】脱落した高圧噴射のロッドの回収治具（油圧ハンマークラブ、クラムシエルバケット）が、鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工手順を確認した結果、作業状況を確認した結果、ロッド回収治具はゆっくり昇降されていたため、ロッド回収治具が鉄筋等に接触した際にはクレーンの荷重計によりオペレーターが即時に気づくことを確認した。

注：グレーでハッチングした記載は施工記録等から不具合事象発生の原因とならないと判断した。

図 1.3-25 鉄筋の変形の原因分析結果（その1）

直接原因	要因	想定事象・確認結果
・設置済み鉄筋かごへの接触	・ハンマーグラブの接触	【想定事象】剛結継手部で崩落土砂等の撤去にハンマーグラブを使用した場合、鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】ハンマーグラブの投下位置は鉄筋の位置を踏まえ管理していたが、鉄筋等とハンマーグラブの投下位置の離隔は小さく、ハンマーグラブ沈降時（ワイヤーで吊った状態で水中落下）の揺動で接触する可能性がある。また、ハンマーグラブで掘削する場合は、自由落下させるため鉄筋に接触してもオペレーターが気づかない可能性がある。なお、使用後の超音波測定記録で、鉄筋等の変形を示唆する結果を確認した。次項に詳述する。
	・全周回転掘削機ケーシングの接触	【想定事象】剛結継手部において全周回転掘削機を用いてケーシング（φ1,500 mm）を建込み、崩落土砂等の切削・撤去を行った際、ケーシングが鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】施工手順から、全周回転掘削機のケーシングは測量から割り出された設置済みの鉄筋等の位置を避けて設置する管理がなされているとともに、ケーシング設置位置は全周回転掘削機により固定され、鉛直性を確認しながら建込んでいることを確認した。したがってケーシングが鉄筋に接触する可能性はない。
	・サクシオンポンプの接触	【想定事象】剛結継手部でサクシオンポンプを用いて崩落土砂等の吸引・撤去を行った際、サクシオンポンプに繋がるトレミー管が鉄筋等に接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】トレミー管の直径は30 cm弱であり、降下・上昇は、掘削溝幅の中央で実施し、鉄筋位置から十分に離れていることから接触する可能性はない。また、ポンプによる堆積物撤去作業において、トレミー管の水平移動は、クローラークレーンにより低速でブームの旋回起伏操作により行うため、鉄筋等に接触する可能性はあるものの変形等に至らない。
	・鉄筋かご同士の接触	【想定事象】後行エレメントの建込みの際に、鉄筋かご同士が接触し、鉄筋の変形等が発生した可能性がある。 【確認結果】観察結果から鉄筋の変形等が確認された区画のうち南基礎区画⑮並びに北基礎区画①及び⑭において鉄筋かご同士の接触（交錯）を確認していること、前述したとおり、ハンマーグラブの接触により鉄筋の変形の可能性があることから、後行エレメントの建込みの際に変形した鉄筋を起点に鉄筋かご同士が接触・進行し、広範囲の鉄筋の変形等が発生したと推定した。また、北基礎区画⑮では、鉄筋かご同士の錯綜を確認しており、その結果、鉄筋かごの高止まり事象が発生したと推定した。次項に詳述する。

注：グレーでハッチングした記載は施工記録等から不具合事象発生の要因とならないと判断した。

図 1.3-26 鉄筋の変形の要因分析結果（その2）

b. 鉄筋の変形等の推定原因

(a) ハンマーグラブの接触

施工履歴を確認すると、鉄筋の変形等を確認した南基礎区画⑮、北基礎区画①、③、⑤、⑦、⑨及び⑮において、鉄筋かご建込み後、土砂等の撤去にハンマーグラブを使用していることを確認した。

ハンマーグラブの投下位置は鉄筋の位置を踏まえ管理していたが、鉄筋等とハンマーグラブの投下位置の離隔は小さく、ハンマーグラブ沈降時（ワイヤーで吊った状態で水中落下）の揺動で接触する可能性が想定される。また、ハンマーグラブで掘削する場合は、自由落下させるため鉄筋に接触してもオペレーターが気づかない可能性がある。

施工記録から、ハンマーグラブ使用後の超音波測定において、鉄筋等の変形を示唆する記録を確認した。ハンマーグラブによる土砂撤去中及び後行エレメントの鉄筋かご建込み前の掘削溝の超音波測定結果を図 1.3-28 に示す。ハンマーグラブによる土砂撤去作業中に発生した凸部（図 1.3-28 左図）は、既に建込んでいる先行エレメントの鉄筋等に変形が生じたものである。後行エレメントの鉄筋かご建込み前の超音波測定結果（図 1.3-28 右図）では、この凸部の一部はなくなっており、撤去中の土砂等の可能性も考えられるが、保守的に鉄筋等が変形したものと評価する。

以上より、土砂等の撤去において、既に設置されていた地山側及び中実部側の水平鉄筋や鉛直フラットバー等にハンマーグラブが接触し、鉄筋等\*を変形させたと推定した。ハンマーグラブと鉄筋等の接触状況の推定図を図 1.3-27 に示す。

※「鉄筋等」とは、水平鉄筋、鉛直フラットバー及び水平フラットバーをいう。

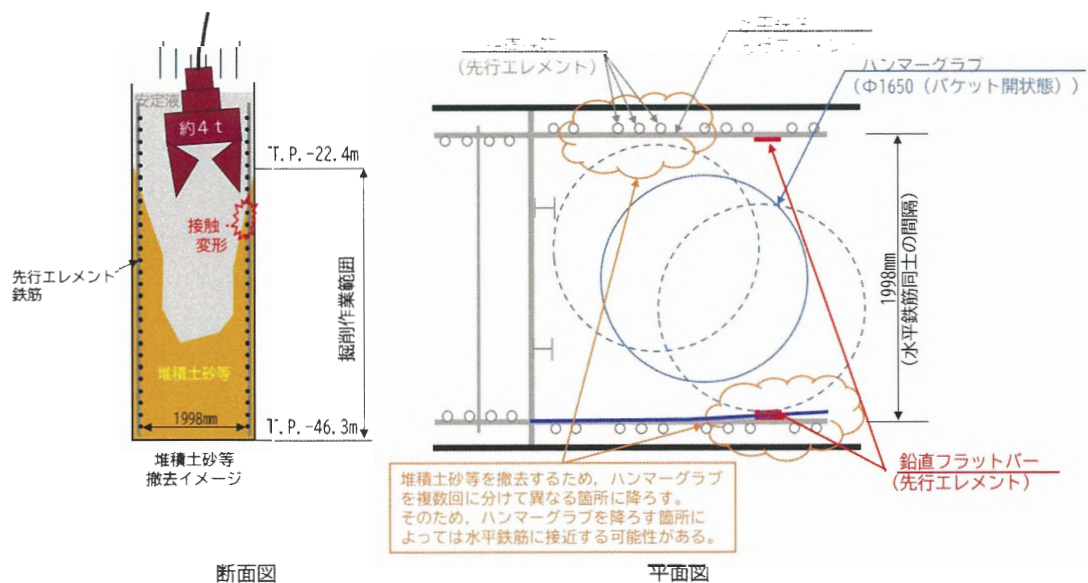
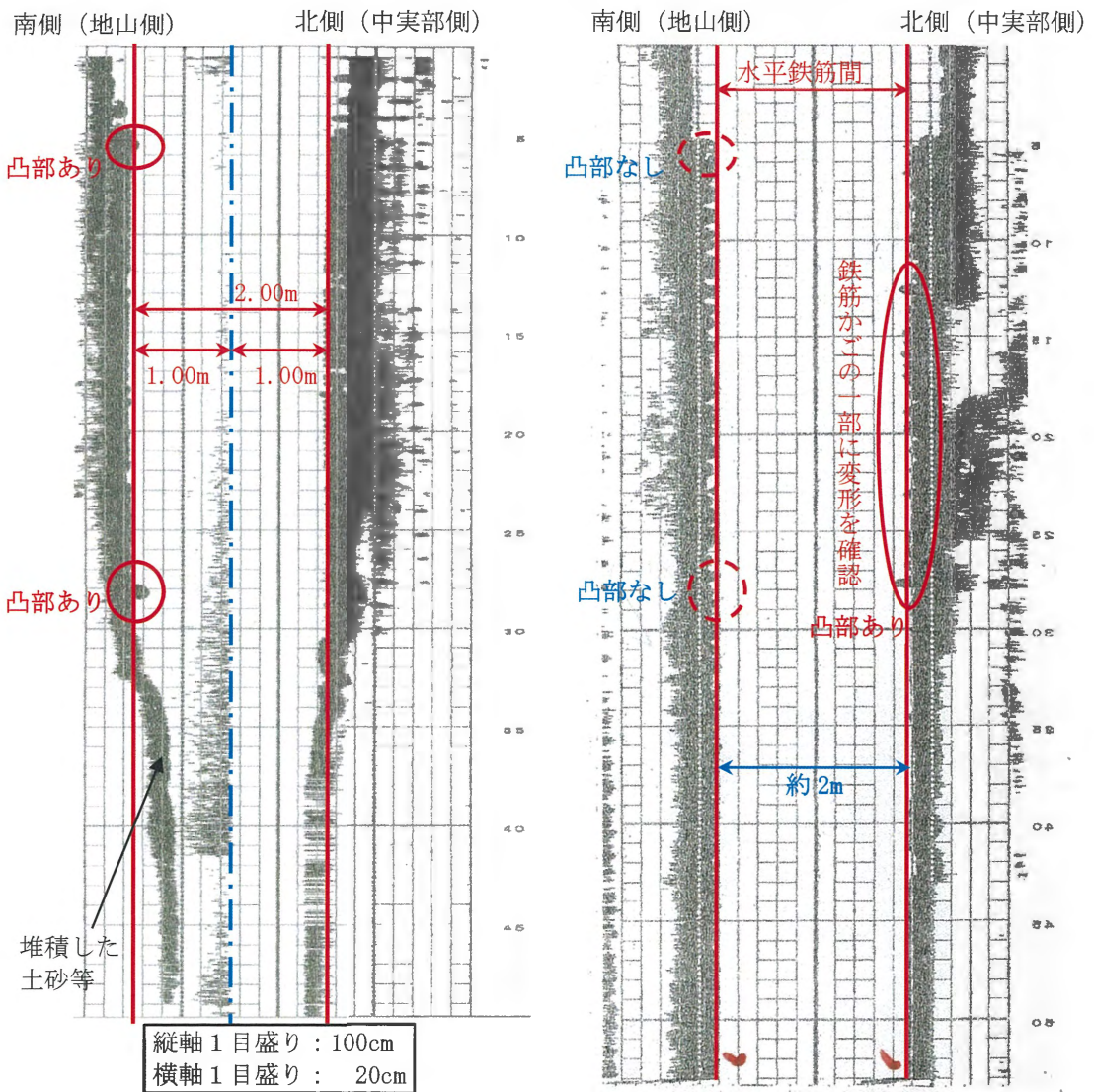
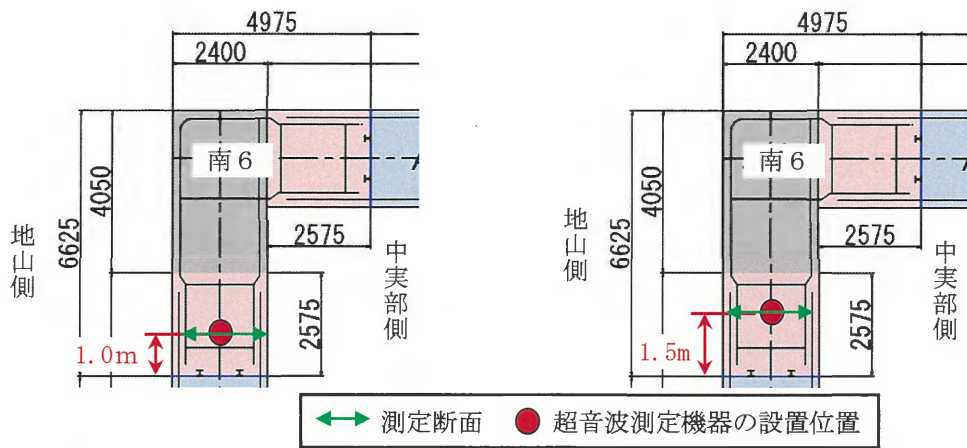


図 1.3-27 ハンマーグラブと鉄筋等の接触状況の推定図



ハンマーグラブによる土砂撤去作業中

鉄筋かご (後行エレメント) 建込み前

図 1.3-28 掘削溝の超音波測定結果

(b) 鉄筋かご同士の接触

観察結果から、南基礎区画⑮及び①ならびに北基礎区画⑮及び①にて、先行エレメントの鉄筋かごと後行エレメントの鉄筋かごが互いに接触・交錯し、鉄筋等が変形していることを確認した。

また、前項(a)に示したとおり、ハンマーグラブが接触し先行エレメントに凸部（変形した鉄筋等）が発生したと推定した。

以上から、後行エレメント建込みの際に、先行エレメントの凸部が後行エレメントに接触し、更に後行エレメントの鉄筋かごを降下させることで先行及び後行エレメントの鉄筋かご同士の接触が進行し、広範囲の鉄筋の変形等・交錯を発生させた（図 1.3-29～図 1.3-31 参照）。

南基礎の南 6（区画⑮、⑯及び①）では、区画⑮の鉄筋かご同士の接触により、後行エレメントの鉄筋かごが南 7 側に引き込まれ、区画①にて先行及び後行エレメントの鉄筋かご同士が接触したと推定した（図 1.3-32 参照）。

また、北基礎の北 4（区画⑮、⑯及び①）では、後行エレメントの鉄筋かご建込み中に鉄筋かごが計画深度より約 70 cm 高い位置までしか建込めない状態となり、その対応として鉄筋かごの上げ下ろしを複数回実施した。このため、観察されたとおり、先行及び後行エレメントの鉄筋かご同士の接触・錯綜し、これにより計画深度まで建込みが至らない位置で高止まりを起こしたと推定した。

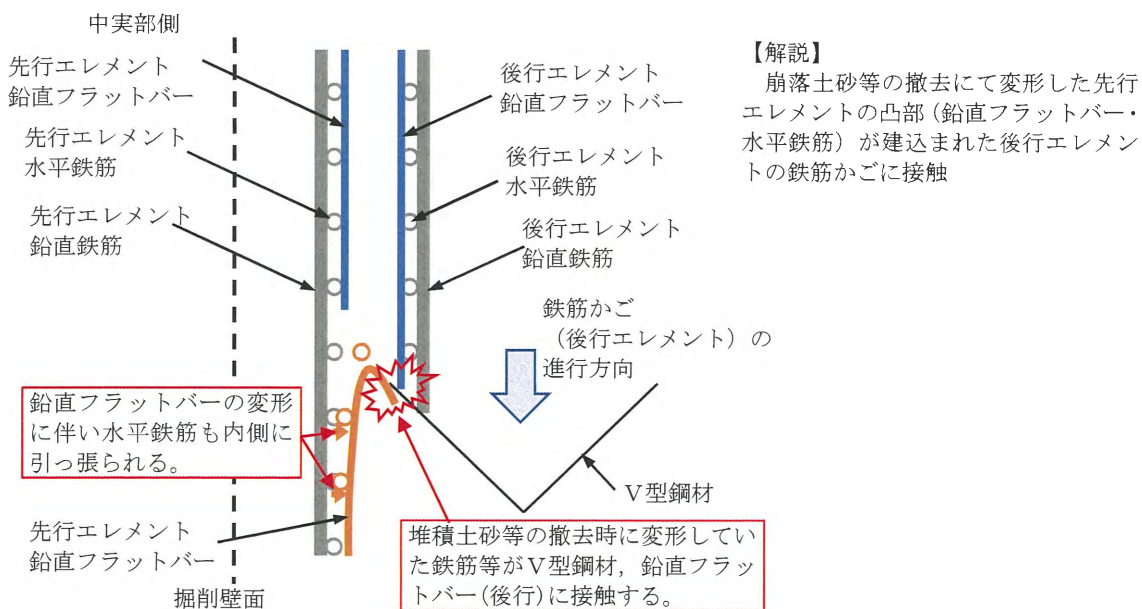


図 1.3-29 後行エレメントの鉄筋かご建込み時の鉄筋等の変形（その 1）

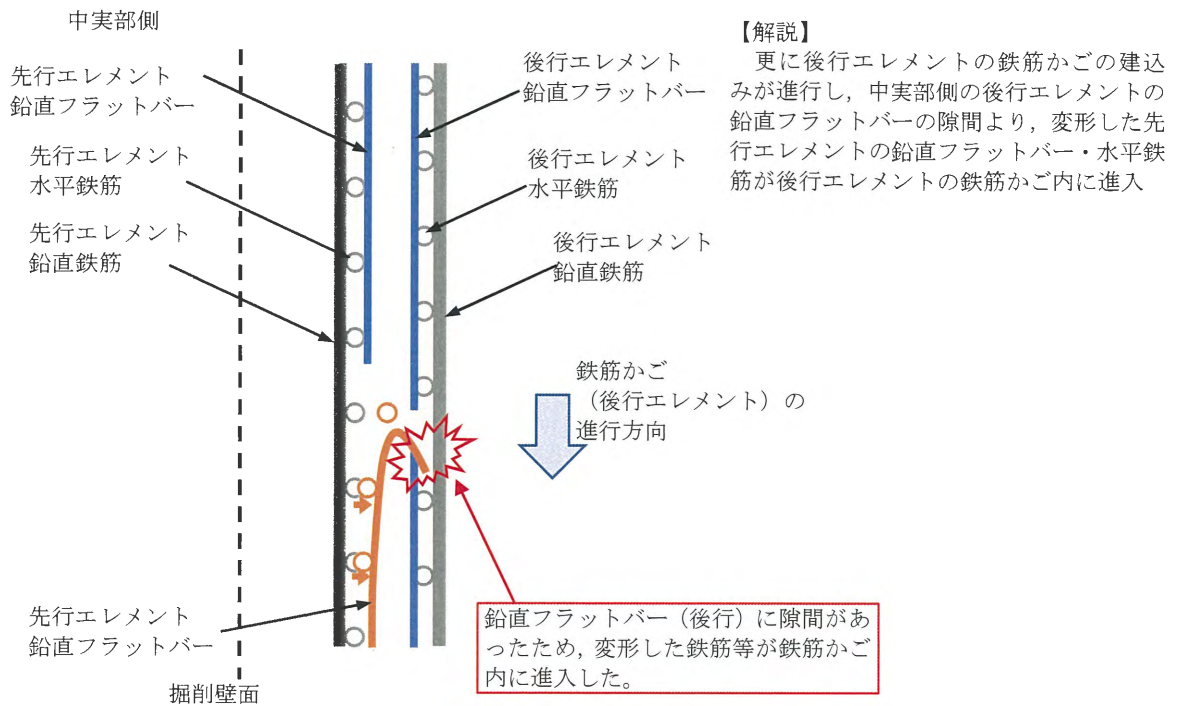


図 1.3-30 後行エレメントの鉄筋かご建込み時の鉄筋等の変形(その2)

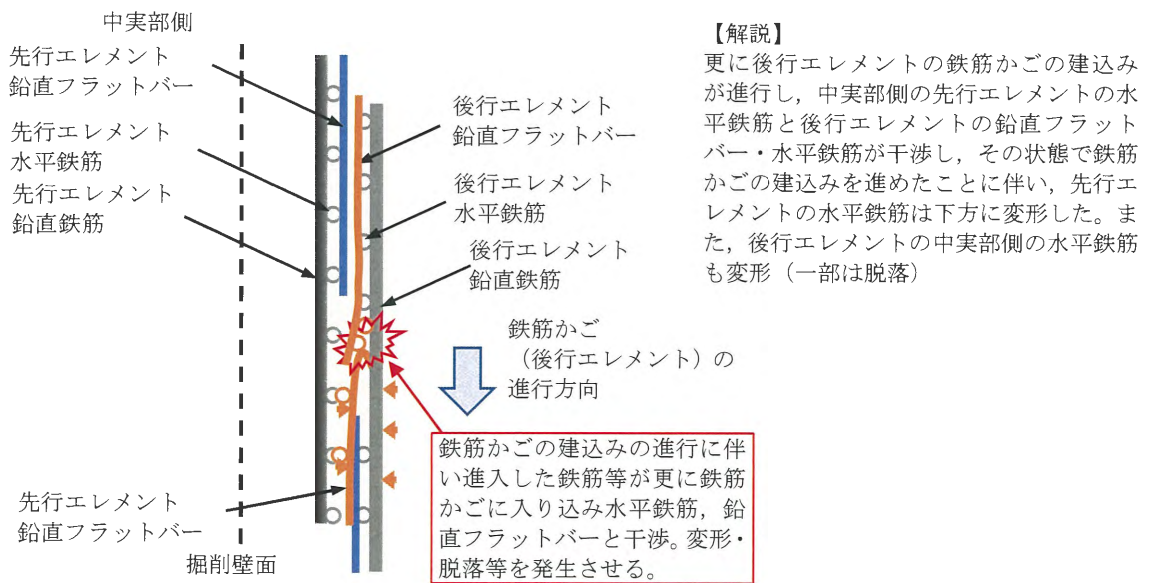


図 1.3-31 後行エレメントの鉄筋かご建込み時の鉄筋等の変形(その3)

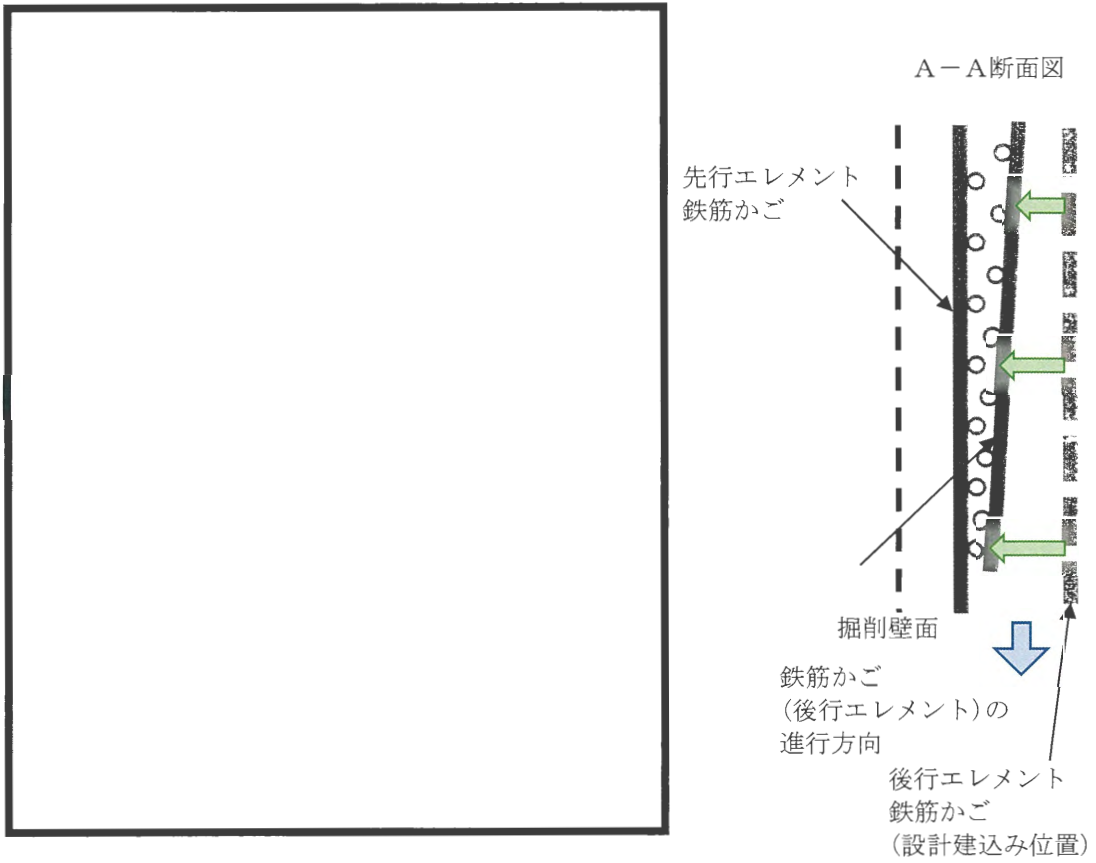


図 1.3-32 後行エレメントの鉄筋かご建込み時の鉄筋等の変形 (その4)

## 1.4 まとめ

### 1.4.1 不具合事象の調査結果のまとめ

#### (1) コンクリート未充填の調査結果のまとめ

南基礎各区画の調査結果を表 1.4-1 に、北基礎各区画の調査評価を表 1.4-2 に示す。  
 なお、地中連続壁の地山側にて音響探査等を実施した結果、地山側の壁面の位置がコンクリート未充填と評価する位置にあることを確認した（1.5.1 参照）。

表 1.4-1 南基礎各区画の調査結果（中実部側壁面のコンクリート未充填）

区画	区分	判定 ○：あり －：なし※	発生要因				
			①粘性土層（Ac層）のはらみ出し及び崩落 ○：あり －：なし	②崩落土砂等の残置 ○：あり －：なし	③SMWによる閉塞 ○：あり －：なし	④未改良地山の崩落 ○：あり －：なし	⑤溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押し上げ ○：あり －：なし
①	剛結継手	○	○	－	－	－	－
②	先行	－	－	－	－	－	－
③	剛結継手	○	○	－	－	－	－
④	後行	○	○ ③から流入	－	－	－	－
⑤	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑥	先行	－	－	－	－	－	－
⑦	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑧	後行	○	○ ⑦から流入	－	－	－	－
⑨	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑩	先行	－	－	－	－	－	－
⑪	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑫	後行	○	○ ⑪から流入	－	－	－	－
⑬	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑭	先行	－	－	－	－	－	－
⑮	剛結継手	○	－	○	－	－	－
⑯	後行	－	－	－	－	－	－

※判定の「－：なし」は、地中連続壁工法上の想定範囲に相当する、ごく軽微なコンクリート未充填である。

表 1.4-2 北基礎各区画の調査評価（中実部側壁面のコンクリート未充填）

区画	区分	判定 ○：あり －：なし※	発生要因				
			①粘性土層 (Ac層) のはらみ 出し及び 崩落 ○：あり －：なし	②崩落土砂等 の残置 ○：あり －：なし	③SMWによ る閉塞 ○：あり －：なし	④未改良地山 の崩落 ○：あり －：なし	⑤溝壁のはら み出しによ り崩落した 土砂の押し 上げ ○：あり －：なし
①	剛結継手	○	○	－	－	○	○
②	先 行	－	－	－	－	－	－
③	剛結継手	○	○	－	－	－	○
④	後 行	－	－	－	－	－	－
⑤	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑥	先 行	－	－	－	－	－	－
⑦	剛結継手	○	○	－	－	－	○
⑧	後 行	－	－	－	－	－	－
⑨	剛結継手	○	○	－	－	－	○
⑩	先 行	－	－	－	－	－	－
⑪	剛結継手	○	○	－	－	－	－
⑫	後 行	－	－	－	－	－	－
⑬	剛結継手	○	○	－	－	－	○
⑭	先 行	－	－	－	－	－	－
⑮	剛結継手	○	○	－	○	○	－
⑯	後 行	－	－	－	－	－	－

※判定の「－：なし」は、地中連続壁工法上の想定範囲に相当する、ごく軽微なコンクリート未充填である。

(2) 鉄筋の変形の調査結果のまとめ

南基礎各区画の調査結果を表 1.4-3 に、北基礎各区画の調査評価を表 1.4-4 に示す。

表 1.4-3 南基礎各区画の調査評価（鉄筋の変形）

区画	区分1	区分2	中実部側	
			ハンマーグラブ 接触による破損	鉄筋かご同士の 接触
			○：あり －：なし	○：あり －：なし
①	剛結継手	鉛直鉄筋	－	○
		水平鉄筋	－	○
②	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
③	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
④	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑤	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑥	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑦	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑧	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑨	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑩	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑪	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑫	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑬	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑭	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑮	剛結継手	鉛直鉄筋	－	○
		水平鉄筋	○	－
⑯	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	○

表 1.4-4 北基礎各区画の調査評価（鉄筋の変形）

区画	区分1	区分2	中実部側	
			ハンマーグラブ 接触による破損 ○：あり －：なし	鉄筋かご同士の 接触 ○：あり －：なし
①	剛結継手	鉛直鉄筋	－	○
		水平鉄筋	○	○
②	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
③	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	○	－
④	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑤	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	○	－
⑥	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑦	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	○	－
⑧	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑨	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	○	－
⑩	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑪	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑫	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑬	剛結継手	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑭	先 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	－
⑮	剛結継手	鉛直鉄筋	－	○
		水平鉄筋	○	○
⑯	後 行	鉛直鉄筋	－	－
		水平鉄筋	－	○

#### 1.4.2 原因と対策

設工認に基づく「設計・工事・検査」の一連のプロセスの中で発生した不具合事象について、その位置付けと発生メカニズムを整理し、根本原因の抽出及び再発防止策の検討を行った。

設工認におけるプロセス上の位置付け確認として設工認における設計、工事及び検査の流れを表 1.4-5 に示す。本事象は、これらの工程のうち「工事及び検査」段階において発生した不具合である。一方、「設計」段階においては、設計及び工事に係る品質マネジメントシステムに従い、所定の手順に基づいて適切に業務が遂行されており、特段の問題は確認されなかった。

「工事及び検査」の中で実施される具体的設備の詳細設計(設計3)のアウトプットを基に現地据付工事が行われる。不具合事象の発生の背景として、この据付工事に関わる設計開発プロセスにおいて、表 1.4-6 に整理した着眼点のとおり「必要な確認視点が十分でなかったこと」が、本事象の発生に直接的に影響した。

事象分析及び根本原因の抽出として、不具合事象の内容と、不足した確認及びそれが発生原因にどのように関連したかについて整理した結果を表 1.4-7 に示す。この分析結果より、複数の要因を統合的に評価し、事象を引き起こした根本原因を抽出した。

再発防止策として今後の工事を計画どおり確実に遂行するため、抽出した根本原因に対応する具体的な対策を表 1.4-8 に示す。これらの対策は、設計開発プロセスにおける確認項目の明確化、品質管理手法の強化及び現場施工段階におけるチェック体制の充実を中心としている。

表 1.4-5 設工認における設計、工事及び検査の各段階

設 計	基本設計方針の作成 (設計1)
	適合性確認対象設備の各条文への適合性を確保するための設計 (設計2)
	設計のアウトプットに対する検証
	設工認申請 (届出) 書の作成・承認
工事及び 検査	設工認に基づく具体的な設備の設計の実施 (設計3) ← (原因となったプロセス)
	具体的な設備の設計に基づく工事の実施 (現地据付工事) ← 本事象発生
	使用前事業者検査の計画, 管理, 実施

表 1.4-6 事象発生の時系列

年月日	事象
2018年10月	東海第二発電所DB/SA工認認可
2019年9月	防潮堤（鋼製防護壁）設置工事を発注
2019年12月	工事仮設（溝壁の安定性）の検討において掘削幅が大きいケースを代表ケースとして設計を実施 <u>着眼点① ケースの選定において、地盤の特性や掘置き期間の長さ、掘置き期間に受ける荷重、施工ステップに対する視点が不足していた。</u>
2020年4月	仮設工事（溝壁の補強）を実施
2021年10月	南基礎 地中連続壁構築開始
2022年1月	北基礎 地中連続壁構築開始
2022年3月	南基礎 南7のコンクリート打設時に隣接する剛結継手部（南6：区画⑬）に土砂等が流入 <u>（着眼点①を背景に発生）</u>
2022年3月～7月	同土砂等の撤去。ハンマーグラブ及び崩落土砂等切削治具（以下、「ハンマーグラブ等」という）が鉄筋等に接触し、鉄筋等が変形（判明は2022年7月） <u>着眼点② ハンマーグラブ等の降下位置を管理することで鉄筋への接触を防ぐこととしていたが、鉄筋等とハンマーグラブ等の離隔は小さく、ハンマーグラブ等の揺動に対する配慮が不足していた。</u>
2022年6月	北基礎 北3のコンクリート打設時に隣接する剛結継手部（北4：区画①）に土砂等が流入 <u>（着眼点①を背景に発生）</u>
2022年7月～2023年3月	同土砂等の撤去。ハンマーグラブ等が鉄筋等に接触し、鉄筋等が変形（判明は2023年3月） <u>（着眼点②と同じ）</u>
2022年7月	南基礎 南6後行エレメントの鉄筋かご建込み。掘削溝内の凸部（区画⑬の鉄筋等の変形に相当）に係る対策（V字鋼及び鉛直フラットバーの追加）を実施していたが、建込み時に広範囲に鉄筋の変形等が発生（判明は2023年6月） <u>着眼点③ 凸部（区画⑬の鉄筋等）に対する後行エレメントの鉄筋かごの防護策は検討・実施されていたが、後行エレメントの鉄筋かご（V字鋼）に接触後の凸部の挙動に対する保守的な想定が不足していた。</u>
2023年3月	北基礎 北4鉄筋かごの高止まり発生 <u>（着眼点②、③と同じ）</u>
2023年6月	南基礎 コンクリート未充填及び鉄筋の変形等を確認
2023年8月	北基礎 コンクリート未充填及び鉄筋の変形等を確認

表 1.4-7 事象及び着眼点と発生原因に対する考察

事象及び着眼点	発生原因に対する考察
<p><u>コンクリート未充填</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・詳細設計（施工設計）における代表ケース選定において、地盤の特性や掘置き期間の長さ、掘置き期間中に受ける荷重、施工ステップに対する視点が不足していた。</li> </ul> <p><u>(着眼点①)</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート未充填の発生原因である「粘性土層（Ac層）のはらみ出しおよび崩落」、「崩落土砂等の残置」、「SMWによる閉塞」、「溝壁のはらみ出しにより崩落した土砂の押し上げ」については、溝壁の挙動について掘削・安定液の比重変化等に対する安定性（溝壁のはらみ出し・崩落等の補強策含む）を確認していたものの、粘性土に対する施工ステップ等<sup>*</sup>の影響を考慮した施工設計（安定性）まで考えが至らなかったためである。</li> <li>・「未改良地山の崩落」も、上記の溝壁の安定性低下に対する対策で発生した事象であり、大元をたどると溝壁の安定性が確保されなかったこと（上記の原因と同じ）である。</li> <li>・上記の大部分は地中連続壁構築後、中実部の掘削時に検知された。（根本原因）</li> <li>・各施工ステップの施工状態の図面化・可視化、リスクの想定が不十分であり、不具合の発生を予期できなかった。</li> <li>・品質の段階確認の際、溝壁の状態を目視等により直接確認できなかった。</li> </ul>
<p><u>鉄筋の変形等</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋等とハンマングラブ等の離隔は小さく、ハンマングラブ等の揺動に対する配慮が不足していた。</li> </ul> <p><u>(着眼点②)</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・後行エレメントの鉄筋かご（V字鋼）に接触後の凸部の挙動に対する保守的な想定が不足していた。</li> </ul> <p><u>(着眼点③)</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各事象に対する直接的な対策が取られていることを確認したが、鉄筋等とハンマングラブ等の離隔に空間的な余裕を持たせることに考えが至らなかった。なお、この対応は溝壁崩落に伴う事後対策であり、大元をたどると溝壁の安定性が確保されなかったこと（コンクリート未充填の原因と同じ）である。また、鉄筋かご同士の接触も鉄筋等とハンマングラブ等の接触に起因しており、溝壁の安定性が確保されなかったこと（前記の原因と同じ）である。</li> <li>・上記の大部分は地中連続壁構築後、中実部の掘削時に検知された。（根本原因）</li> <li>・各施工ステップの施工状態の図面化・可視化、リスクの想定が不十分であり、不具合の発生を予期できなかった。</li> <li>・施工中に、鉄筋かごの状態を目視等により直接確認できなかった。</li> </ul>

※地盤の特性や掘置き期間の長さ、掘置き期間中の載荷荷重、施工ステップ

表 1.4-8 不具合を発生させない対策

根本原因	対策
<p>各施工ステップの施工状態の図面化・可視化、リスクの想定が不十分であり、不具合の発生を予期できなかった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工エリアを調査し、各施工ステップの施工状態を具体的に図面化・可視化することにより、支障物の特定・干渉、重機配置場所等への対策を検討の上、工事の実現性・施工性を確認する。検討結果については、必要に応じ構造設計に反映することで実現性を有する構造を選定する。</li> <li>・各施工ステップのリスクを想定し、その対策を施すことで工事の実現性を確保する。また、リスクを想定し設計及び施工に裕度をもたせる。</li> </ul>
<p>施工中及び品質の段階確認の際、その妥当性を目視等により直接確認できなかった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各施工ステップに工事が計画どおり行われていることの確認が可能か、工事の計画において品質を確認（検査）する項目・時期・方法を整理し、確認する。</li> <li>・不具合を施工中及び施工後に検知・是正できるよう目視等で状態を確認できる検査を選定する。</li> </ul>

#### 1.4.3 調査結果のまとめ

南基礎及び北基礎の地中連続壁中実部側壁面で、コンクリート未充填及び鉄筋の変形等（鉄筋かごの高止まり事象含む）の不具合事象を調査・確認した。

その結果、コンクリート未充填は粘性土層（A c層）のはらみ出し等、鉄筋の変形等はハンマーグラブの接触等を原因として特定した。

一方、南基礎及び北基礎の地中連続壁部地山側壁面については音響探査等で未充填の状況を調査したものの、地中連続壁部中実部側壁面のように目視観察による状況確認ができていない。

したがって、これらの調査結果によっても地中連続壁の不具合の全容は把握できておらず、地中連続壁に耐力を期待することは困難であることから、地中連続壁を基礎の一部として使用することは適さないと判断し、地中連続壁部の撤去・再構築や設計変更を視野に入れた対応方針の検討を実施した。第2章でその検討経緯及び検討結果を示す。

なお、本事象の対策を踏まえた防潮堤（鋼製防護壁）の工事の計画に係る施工性等の検討結果を第3章に示す。

## 1.5 参考資料

### 1.5.1 地山側音響探査及び水平コアボーリングの調査結果

露出しない地山側の地中連続壁部壁面に対し、コンクリート未充填の状況を音響探査にて調査した。音響探査において、欠測及び不安定計測となった区間<sup>※1</sup>では水平コアボーリングによりコンクリートコアを採取し、そのコアの全長を測定することでコンクリート未充填の発生状況を調査した。以下に、調査の詳細を示す。

※1：欠測（地盤の局所的な不均質，地層境界に含まれる空気・気泡などにより，反射波の減衰が大きくなり，波形が確認できない状態）により，鉛直方向に連続した反射波が受信できない区間。

#### (1) 調査方法

##### a. 調査方法及び調査箇所

地中連続壁から地山側に一定の離隔を確保して音響探査の調査孔を鉛直に削孔し，地中連続壁のコンクリート面（図 1.5-1 に示す赤い破線）からの反射波の伝達時間と地山の伝達速度を測定することにより，コンクリート未充填の厚さ（壁面の位置）を測定した。図 1.5-1 に音響探査によるコンクリート未充填状況の確認のイメージを示す。

調査箇所は，全区画（周辺施設との干渉で実施困難な箇所を除く）とし，調査位置は各区画の中央付近とした。

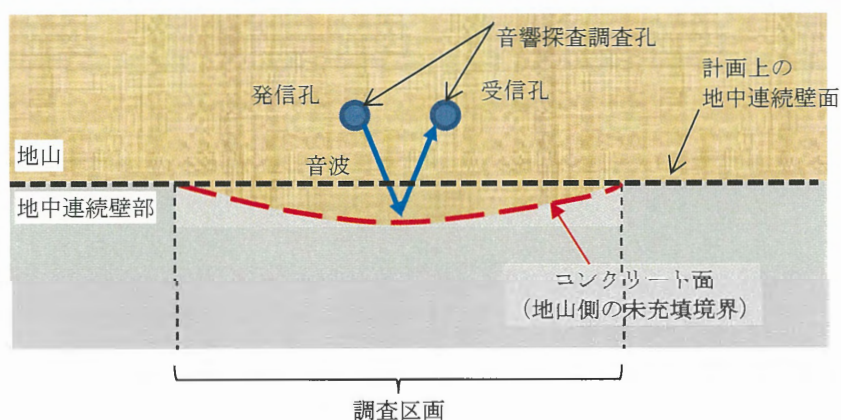
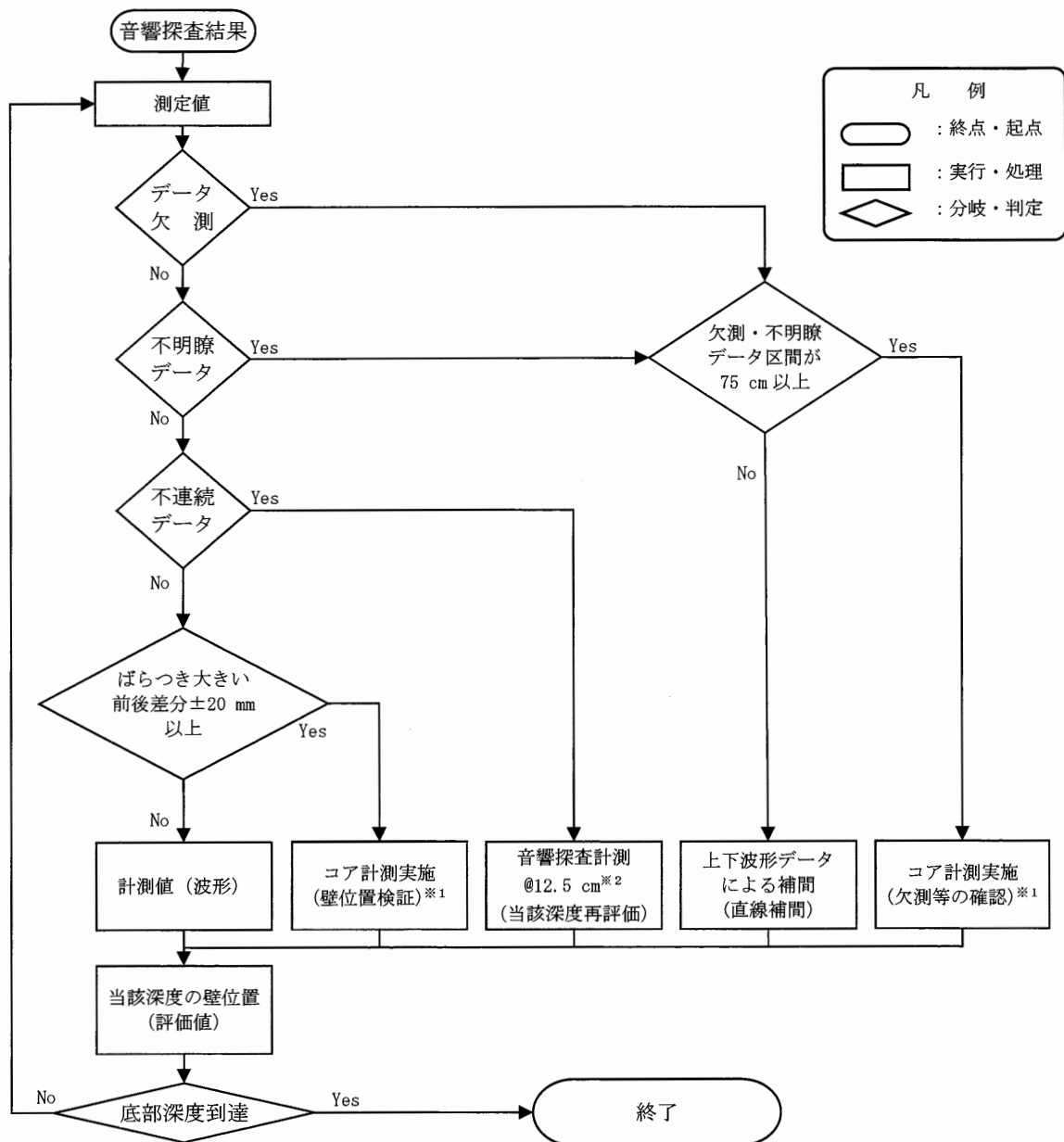


図 1.5-1 音響探査によるコンクリート未充填の調査イメージ（平面図）

b. 地山側コンクリート未充填の調査の流れ

各区間の中央で音響探査を実施する。音響探査を行った結果、何らかの理由で欠測区間が生じた場合、もしくは測定結果の解析が行えない区間が生じた場合（周辺施設との干渉で実施困難な区画含む）には、その区間の計測を補足するために水平コアボーリングによるコア測定（コア採取）を実施する。地山側調査フローを図 1.5-2 に示す。



※1 欠測部のコア計測は”5m程度”に1箇所、欠測区間長が7.5mを超えたら1箇所追加する。  
 ※2 コア計測での代替も可とする。  
 ・不明瞭データとは、反射が弱く、明瞭なピークが得られないデータのこと。  
 ・不連続データとは、反射波に連続性が得られないデータのこと。  
 ・検証とは、当該箇所では水平方向のコア採取を実施することで壁位置を直接調査し、音響探査の結果や測定精度の確認を行うこと。

図 1.5-2 地山側調査フロー

地山側のコンクリート未充填の調査手順の詳細を以下に示す。

- ・地山側の壁面（計画壁面位置）から 50 cm 程度外側に 2 孔のボーリング孔を設け、一方に発信器、もう一方に受信器を同一標高に設置する（鉛直方向の測定ピッチは 25 cm（不明瞭区間は 12.5 cm に変更））。
- ・発信器から音波を発信し、発信器から直接受信器に到達する音波と壁面に反射してから到達する音波を受信する。
- ・発信器から直接受信器に到達した音波の到達時間と発信器と受信機の距離（孔間の距離）から、その標高の地盤中の音波速度を求める。なお、ボーリング孔の深さ毎の位置を事前に正確に計測することで、本探査の精度向上を図っている。
- ・発信器から壁面に反射して到達した音波の到達時間と前述の音波速度から、受信機と壁面の距離を算定し、壁面の位置を特定する。図 1.5-3 に音響探査による地山側未充填状況確認を示す。
- ・必要に応じ、中実部側壁面より水平にボーリングし、採取したコアから地山側の壁の位置を特定する。

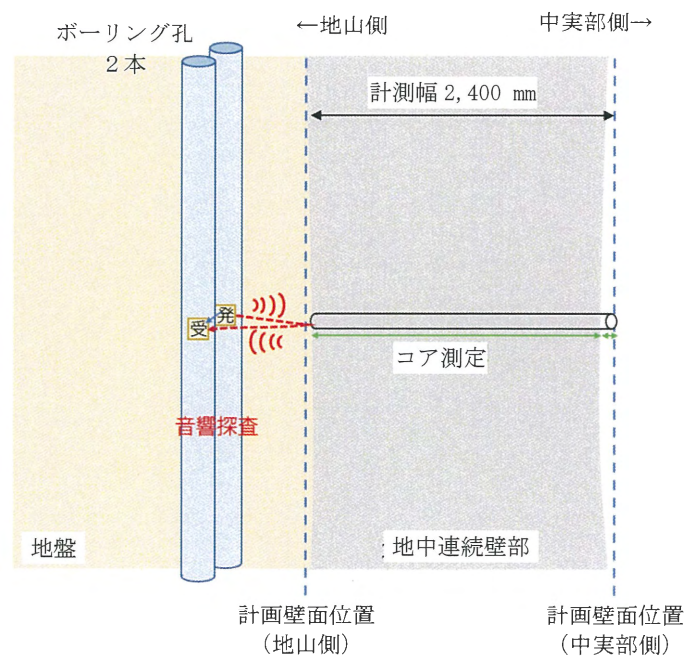


図 1.5-3 中央測線での音響探査による地山側未充填状況確認

c. 補完的調査

音響探査は各調査区間の中央付近の1測線で実施しているが、コンクリート未充填の水平方向の状況を確認するため、代表区画にて中央付近の1測線に加え、その両側に測線を追加し、水平方向のデータを補完した（図 1.5-4 参照）。

代表区画は、中央測線でコンクリート未充填の区間が多く、連続したデータが取得できている南基礎の区画⑩及び⑬、北基礎の区画⑥及び⑨を選定した。

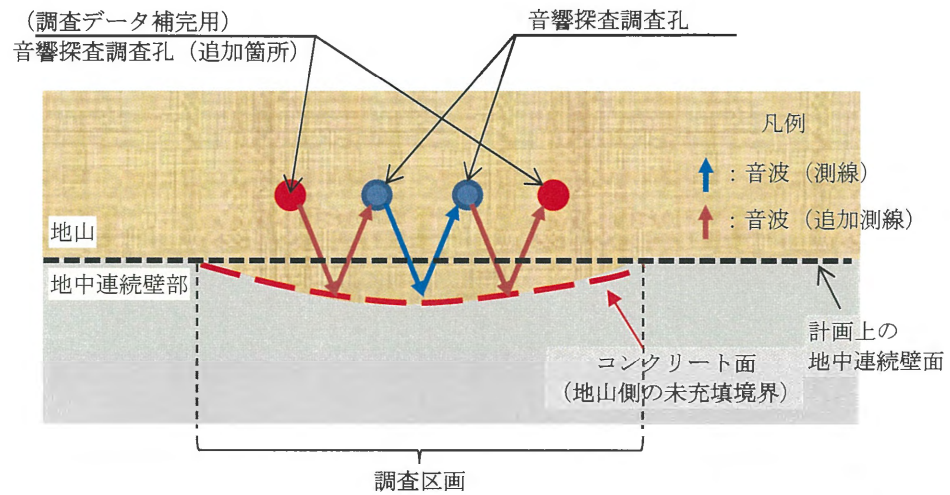


図 1.5-4 音響探査によるコンクリート未充填の調査イメージ（追加測線）

## (2) 調査結果

南基礎の音響探査及び水平ボーリングの調査結果を図 1.5-5 に、北基礎の音響探査及び水平ボーリングの調査結果を図 1.5-6 に示す。SMW区間は芯材（鋼材）の影響を受け測定できないため欠測とした。また、代表区間では音響探査を3測線の測定を実施しており、3測線分のデータを記載した。

南基礎及び北基礎の代表区間で実施した音響探査の補完調査（追加測線）の結果を図 1.5-7 から図 1.5-10 に示す。

地中連続壁地山側の音響探査等の調査結果の概要は以下のとおり。

- ・ 図 1.5-5 及び図 1.5-6 では、計画の壁面位置よりも薄い位置に壁厚位置が確認された箇所を黄色～赤色で着色した。
- ・ 音響探査の結果、有効壁厚を確保できない箇所は、南基礎、北基礎いずれも剛結継手部で多く、剛結継手部以外では数箇所であった。有効壁厚より薄かった箇所の厚さは、南基礎では最大値 10 cm（区画①：T.P. -22.0 m 付近）、北基礎では最大値 15 cm（区画①：T.P. -31.0 m 付近）であった。
- ・ 欠測区間で補完的に実施した水平コアボーリングの結果、南基礎では最大値 16 cm（区画①：T.P. -25.0 m 及び T.P. -39.8 m）、北基礎では最大値 15 cm（区画⑮：T.P. -32.0 m 付近）を確認した（各区画の調査結果の詳細は表 1.5-1 から表 1.5-16 参照）。
- ・ 剛結継手部の代表区画で実施した複数測線での音響探査結果では、南基礎及び北基礎とも大部分は区画中央の方がその周囲よりも地中連続壁の壁厚が薄くなっている傾向を確認した（図 1.5-7 及び図 1.5-9 参照）。
- ・ 剛結継手部以外の代表区画で実施した複数測線での音響探査結果では、南基礎及び北基礎とも同一標高の壁厚の変化の水平分布に特徴的な傾向はなかった（図 1.5-8 及び図 1.5-10 参照）。

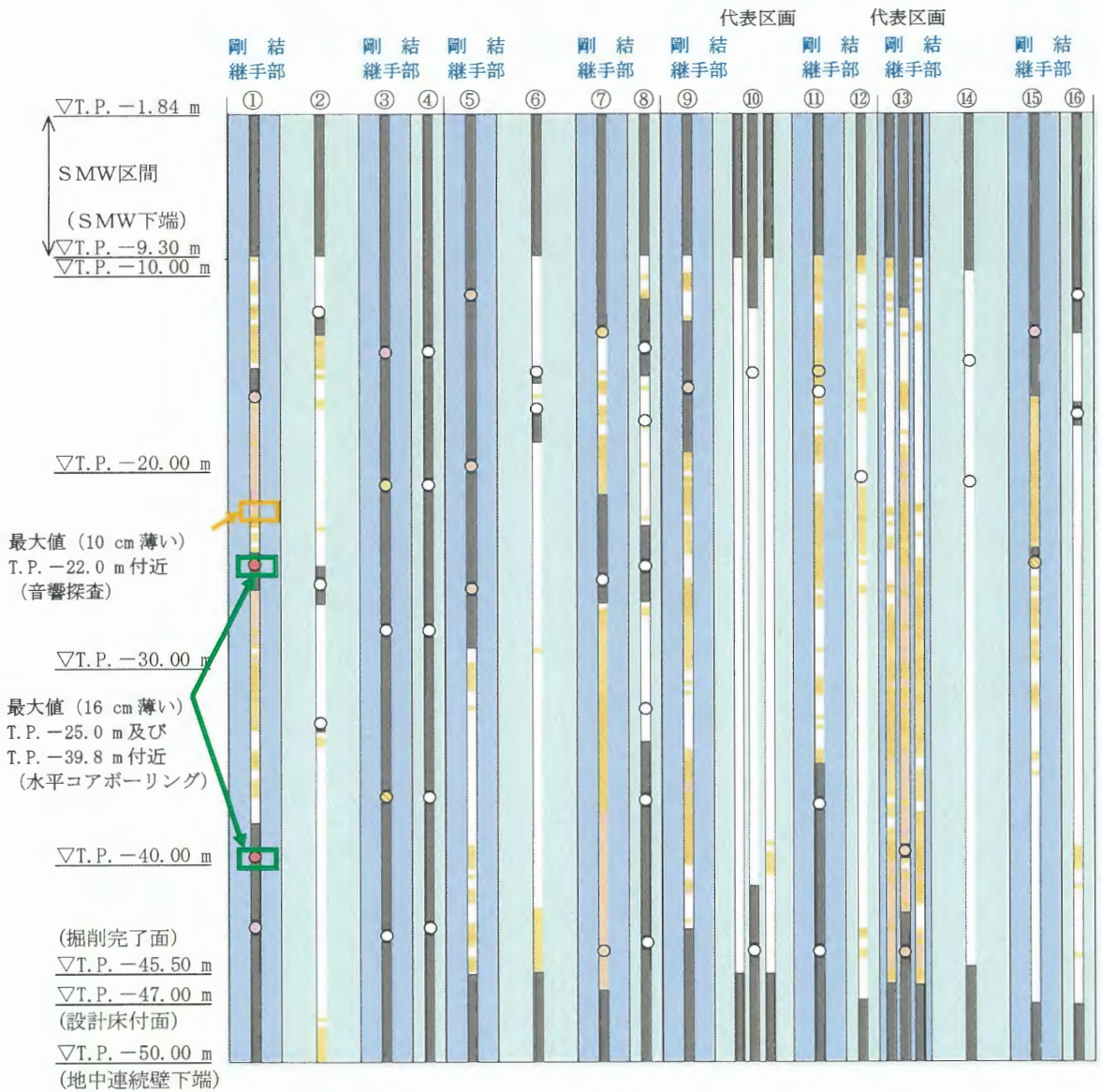
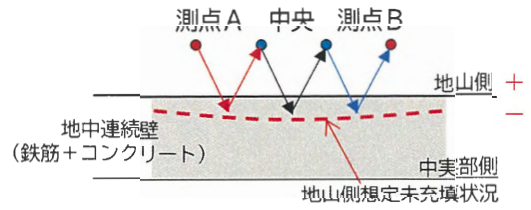


図 1.5-5 音響探査及び水平ボーリングの調査結果 (南基礎の地山側調査結果)





※グラフ中のNo.1からNo.4は4回の各測定結果を示す。

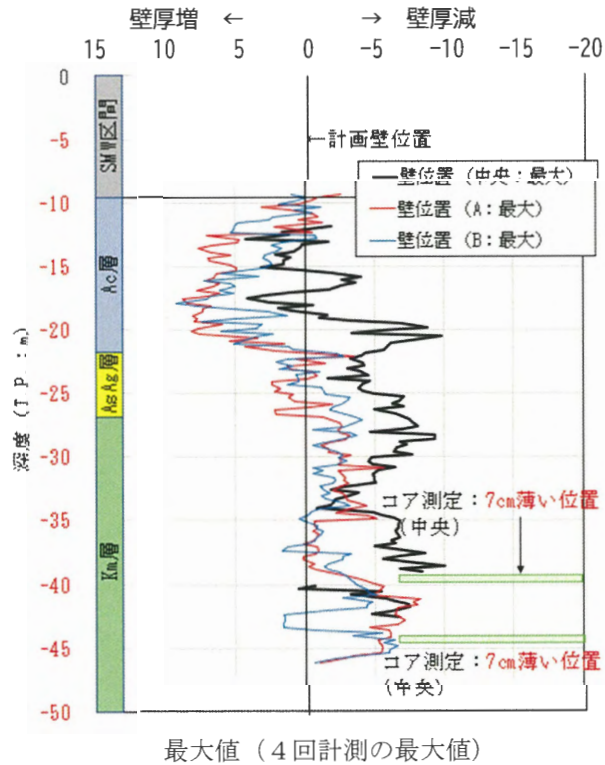
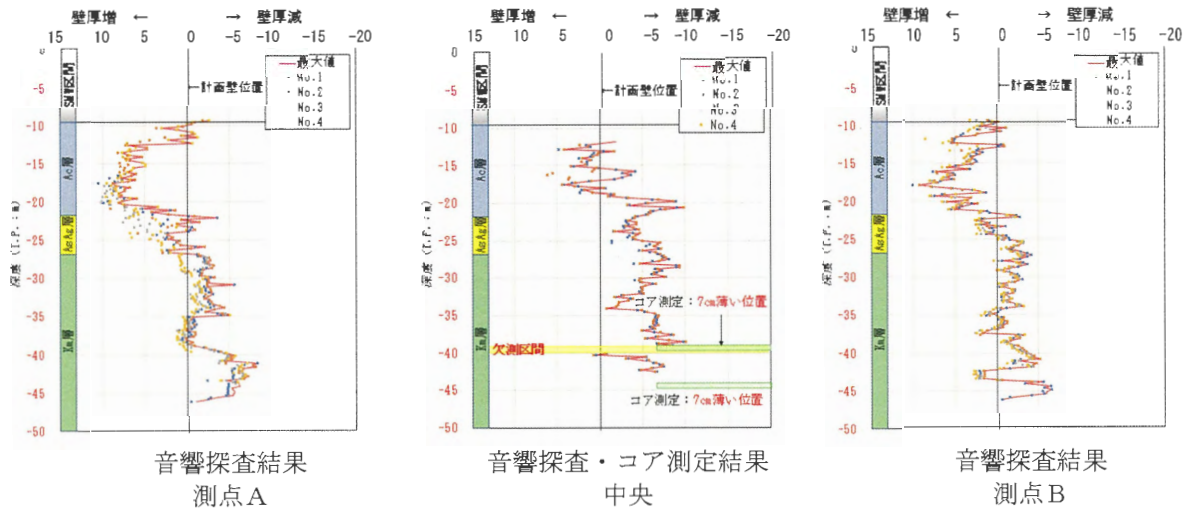
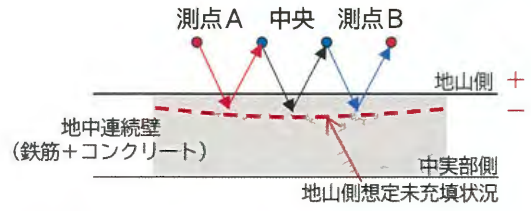


図 1.5-7 代表区画の音響探査結果 (南基礎の地山側調査結果: 剛結継手部: 区画⑬)



※グラフ中のNo. 1からNo. 4は4回の各測定結果を示す。

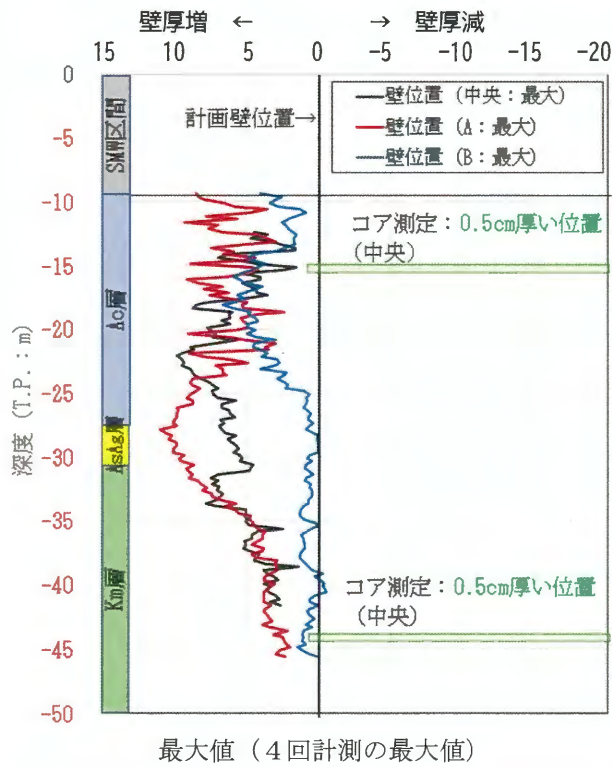
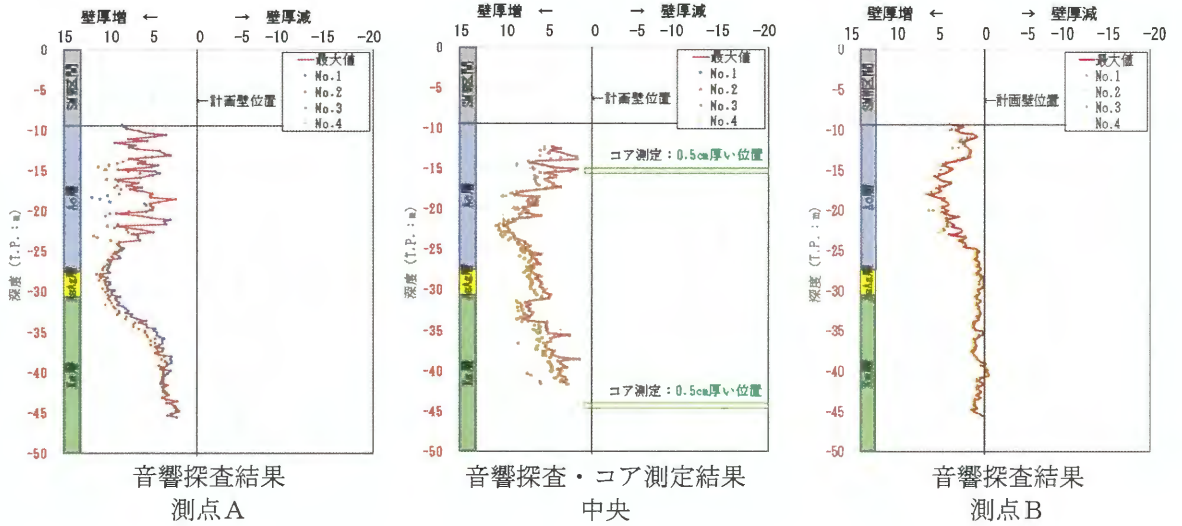
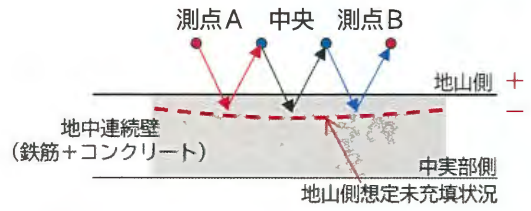
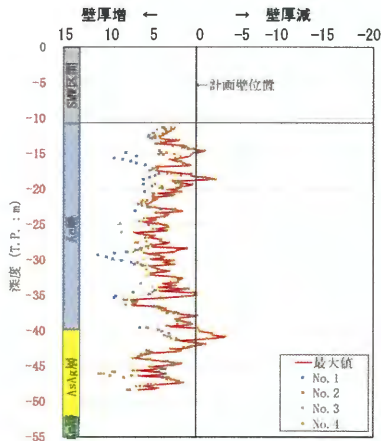


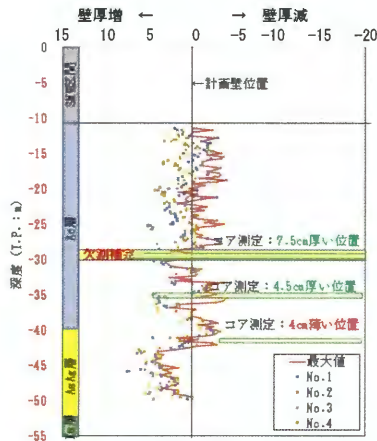
図 1.5-8 代表区画の音響探査結果 (南基礎の地山側調査結果: 剛結継手部以外: 区画⑩)



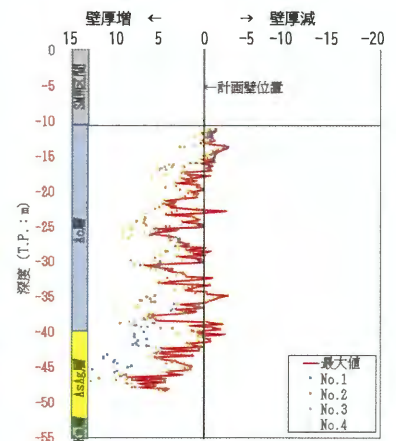
※グラフ中のNo. 1からNo. 4は4回の各測定結果を示す。



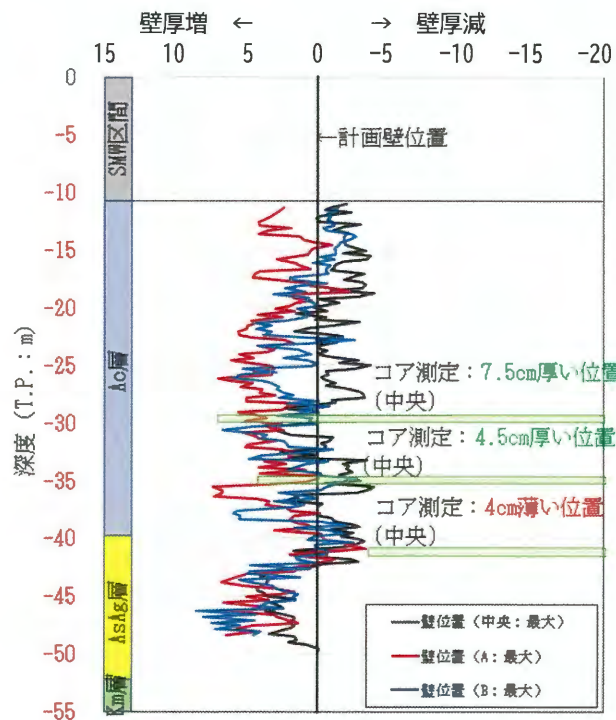
音響探査結果  
測点A



音響探査・コア測定結果  
中央

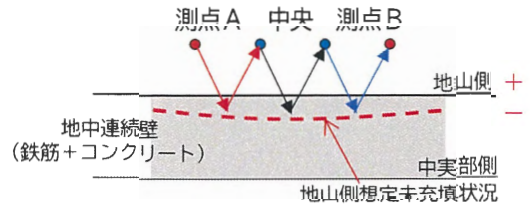


音響探査結果  
測点B



最大値 (4回計測の最大値)

図 1.5-9 代表区画の音響探査結果 (北基礎の地山側調査結果: 剛結継手部: 区画⑨)



※グラフ中のNo. 1 から No. 4 は 4 回の各測定結果を示す。

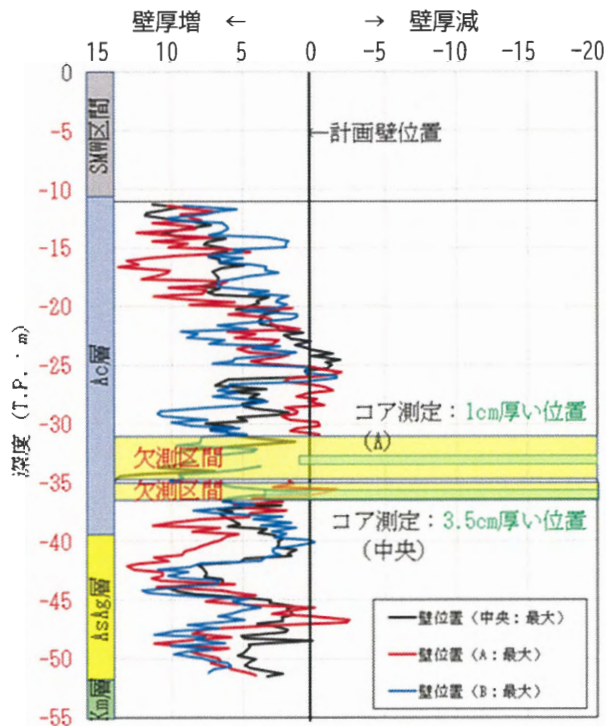
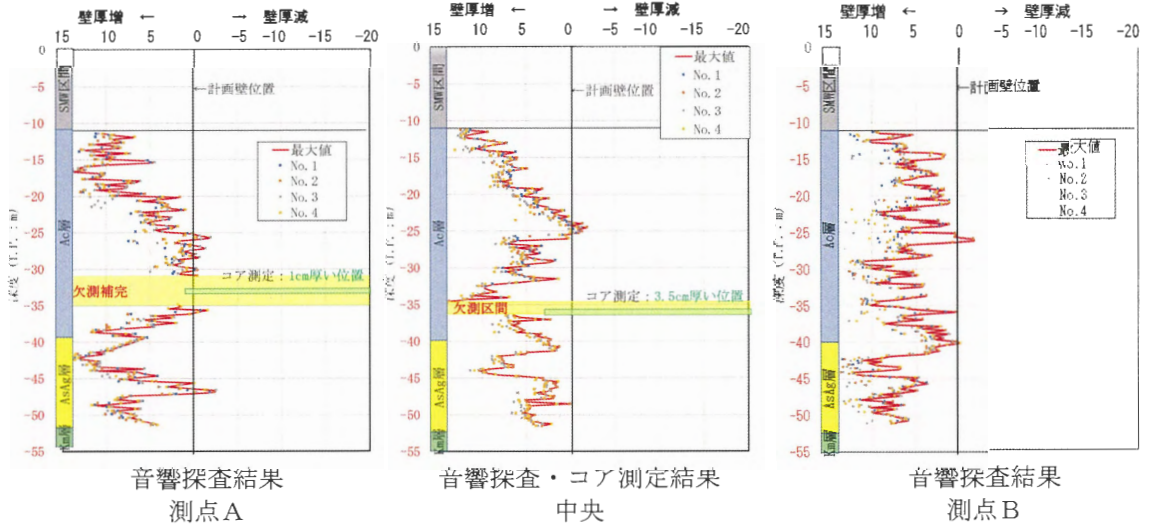


図 1.5-10 代表区画の音響探査結果 (北基礎の地山側調査結果：剛結継手部以外：区画⑥)

a. 南基礎の調査結果（詳細）

各区画の測線における調査結果を、表 1.5-1 から表 1.5-8 に示す。

表中の「欠測」は、地盤の局所的な不均質性、地層境界に含まれる気泡、地盤改良体等が影響し、反射波の減衰が大きくなり波形が確認できないことが要因と考えられる。

表 1.5-1 地山側調査結果一覧表（南基礎）（1）

区画① 剛結継手部				区画② 剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -14.9 m ~-16.9 m	欠測補完	-16.8	-14	T.P. -11.7 m ~-13.2 m	欠測補完	-12.1	+4
T.P. -24.4 m ~-26.6 m	欠測補完	-25.0	-16	T.P. -24.7 m ~-26.9 m	欠測補完	-25.8	+0.5
T.P. -38.5 m ~-49.0 m	欠測補完	-39.8	-16	T.P. -32.7 m ~-33.4 m	欠測補完	-32.9	+7.5
	欠測補完	-43.5	-14	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+4 cm~-10 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から-14 cm~-16 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+8 cm~-3 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+7.5 cm~+0.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-2 地山側調査結果一覧表（南基礎）（2）

区画③				区画④			
剛結継手部				剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
全区間で反射波確認できず	欠測補完	-14.2	-11	音響探査孔が周辺設備と干渉し設置できない	未実施補完	-14.2	+1
全区間で反射波確認できず	欠測補完	-21.2	-2	〃	〃	-21.2	+0.5
全区間で反射波確認できず	欠測補完	-28.5	+5	〃	〃	-28.8	+3.5
全区間で反射波確認できず	欠測補完	-36.9	-3.5	〃	〃	-36.9	+5
全区間で反射波確認できず	欠測補完	-43.9	+5	〃	〃	-43.5	+1.5
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、反射波が確認できなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+5 cm～-11 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>削孔機が周辺施設に干渉し、配置できないため、音響探査を実施できなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+5 cm～+0.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-3 地山側調査結果一覧表（南基礎）（3）

区画⑤ 剛結継手部				区画⑥ 剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -9.3 m ~-29.2 m	欠測補完	-11.2	-8	T.P. -14.8 m ~-16.1 m	欠測補完	-15.2	+0.5
	欠測補完	-19.9	-10	T.P. -17.1 m ~-18.8 m	欠測補完	-17.1	+2.5
	欠測補完	-26.3	-7	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-4 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から-7 cm~-10 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-1 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+2.5 cm~+0.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-4 地山側調査結果一覧表（南基礎）（4）

区画⑦ 剛結継手部				区画⑧ 剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -9.3 m ~-13.5 m	欠測補完	-13.5	-0.5	T.P. -11.4 m ~-15.4 m	欠測補完	-13.9	+7.5
T.P. -21.1 m ~-26.8 m	欠測補完	-25.7	+1.5	T.P. -15.4 m ~-22.8 m	不安定補完	-17.5	+8.5
/	校正	-44.4	-5.5	T.P. -22.8 m ~-27.1 m	欠測補完	-24.9	+2
-	-	-	-	/	校正	-32.1	+4
-	-	-	-	T.P. -34.0 m	欠測補完	-37.1	+7
-	-	-	-	~-49.0 m	欠測補完	-44.3	±0
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+5 cm~-9 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+1.5 cm~-5.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-3 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+8.5 cm~±0 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-5 地山側調査結果一覧表（南基礎）（5）

区画⑨ 剛結継手部				区画⑩ 剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -12.5 m ~-19.5 m	欠測補完	-16.1	-7.5	T.P. -41.8 m ~-49.0 m	校正	-15.1	+0.5
—	—	—	—		欠測補完	-44.4	+0.5
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+10 cm~-8 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から-7.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+11 cm~-1 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+0.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-6 地山側調査結果一覧表（南基礎）（6）

区画⑪ 剛結継手部				区画⑫ 剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
/	校正	-14.74	-1	/	校正	-20.4	+3
/	校正	-16.0	+5	-	-	-	-
T.P. -35.5 m ~-49.0 m	欠測補完	-37.1	+7	-	-	-	-
	欠測補完	-44.4	+7	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+4 cm~-5 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+7 cm~-1 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+9 cm~-4 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+3 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-7 地山側調査結果一覧表（南基礎）（7）

区画⑬				区画⑭			
剛結継手部				剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -38.8 m ~-40.3 m	欠測補完	-38.5	-7	T.P. -9.8 m ~-23.3 m	不安定補完	-14.4	+9
T.P. -42.8 m ~-49.0 m	欠測補完	-44.4	-7		不安定補完	-20.7	+2
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+9 cm~-10 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から-7 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+9 cm~±0 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+9 cm~+2 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-8 地山側調査結果一覧表（南基礎）（8）

区画⑮ 剛結継手部				区画⑯ 剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -9.3 m ~-16.6 m	欠測補完	-13.0	-11	T.P. -9.3 m ~-13.1 m	欠測補完	-11.2	+3
T.P. -23.8 m ~-25.1 m	欠測補完	-24.7	-2.5	T.P. -16.3 m ~-17.8 m	欠測補完	-17.2	+2
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+7 cm~-5 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から-2.5 cm~-11 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+10 cm~-1 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+3 cm~+2 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

b. 北基礎の調査結果（詳細）

各区画の測線における調査結果を、表 1.5-9 から表 1.5-16 に示す。

表中の「欠測」は、地盤の局所的な不均質性、地層境界に含まれる気泡、地盤改良体等が影響し、反射波の減衰が大きくなり波形が確認できないことが要因と考えられる。

表 1.5-9 地山側調査結果一覧表（北基礎）（1）

区画① 剛結継手部				区画② 剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T. P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T. P. (m)	壁厚増減 (cm)
T. P. -15.5 m ~-17.7 m	欠測 補完	-16.9	-2	T. P. -28.7 m ~-30.7 m	欠測補完	-29.4	+6
	校正	-24.0	+4	T. P. -33.0 m ~-40.2 m	不安定補完	-38.8	+1
	校正	-32.2	-13	-	-	-	-
T. P. -34.0 m ~-49.8 m	不安定補 完	-39.1	-1	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-15 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+4 cm~-13 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-3 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+6 cm~+1 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-10 地山側調査結果一覧表（北基礎）（2）

区画③				区画④			
剛結継手部				剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -11.3 m ~-17.8 m	不安定補完	-17.6	+7	T.P. -14.3 m ~-18.6 m	不安定補完	-16.5	+1
T.P. -26.8 m ~-28.1 m	欠測補完	-27.8	-12	T.P. -32.3 m ~-33.6 m	欠測補完	-33.0	±0
T.P. -34.8 m ~-41.1 m	不安定補完	-38.5	-6	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+6 cm~-6 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+7 cm~-12 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+7 cm~-2 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+1 cm~±0 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-11 地山側調査結果一覧表（北基礎）（3）

区画⑤ 剛結継手部				区画⑥ 剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -13.7 m ~-15.7 m	欠測補完	-14.7	-3.5	T.P. -33.7 m ~-34.9 m	欠測補完	-33.3	+1
T.P. -22 m ~-25.2 m	欠測補完	-23.1	+5.5	T.P. -35.0 m ~-36.5 m	欠測補完	-35.8	+3.5
T.P. -30.7 m ~-32.2 m	欠測補完	-31.6	+4	-	-	-	-
T.P. -33.7 m ~-35.5 m	欠測補完	-33.8	+4	-	-	-	-
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+11 cm~-7 cmの位置に壁面を確認した。起伏が大きい。</li> <li>コア測定では、計画位置から+5.5 cm~-3.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+15 cm~-2 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+3.5 cm~+1 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-12 地山側調査結果一覧表（北基礎）（4）

区画⑦				区画⑧			
剛結継手部				剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
—	欠測補完	-13.3	+10	—	校正	-19.8	+6.5
—	欠測補完	-20.8	+7	—	—	—	—
—	欠測補完	-28.5	+17	—	—	—	—
—	欠測補完	-35.9	+6.5	—	—	—	—
—	欠測補完	-43.1	+8	—	—	—	—
—	欠測補完	-48.5	+10	—	—	—	—
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、地山の乱れから直達波が伝播せず欠測となった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+17 cm～+6.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+8 cm～-2 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+6.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-13 地山側調査結果一覧表（北基礎）（5）

区画⑨				区画⑩			
剛結継手部				剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T. P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T. P. (m)	壁厚増減 (cm)
T. P. -28.8 m ~-30.1 m	欠測補完	-29.5	+7.5	—	欠測補完	-13.6	+1
	校正	-35.4	+4.5	—	欠測補完	-21.0	+0.5
	校正	-41.7	-4	—	欠測補完	-28.5	+2
—	—	—	—	—	欠測補完	-36.0	+2
—	—	—	—	—	欠測補完	-43.2	+1
—	—	—	—	—	欠測補完	-48.5	+1
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+9 cm~-4 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+7.5 cm~-4 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、採用可能な直達波が得られなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+2 cm~+0.5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-14 地山側調査結果一覧表（北基礎）（6）

区画① 剛結継手部				区画② 剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -31 m ~-34 m	欠測補完	-32.6	-5	/	校正	-31.4	+1
T.P. -34 m ~-38.5 m	不安定補完	-38.6	-7		T.P. -37.1 m ~-38.3 m	欠測補完	-37.7
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+10 cm~-6 cmの位置に壁面を確認した。全体的に起伏が大きい。</li> <li>コア測定では、計画位置から-7 cm~-5 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+7 cm~-2 cmの位置に壁面を確認した。</li> <li>コア測定では、計画位置から+4.5 cm~+1 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-15 地山側調査結果一覧表（北基礎）（7）

区画⑬				区画⑭			
剛結継手部				剛結継手部以外（先行エレメント）			
音響探査 欠測状況	コア計測状況			音響探査 欠測状況	コア計測状況		
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
—	欠測補完	-14.2	+9.5	—	欠測補完	-14.0	+1
—	欠測補完	-21.2	+7	—	欠測補完	-21.0	+4
—	欠測補完	-28.4	+6	—	欠測補完	-28.7	+5
—	欠測補完	-36.3	-7	—	欠測補完	-36.1	+2
—	欠測補完	-43.1	-12	—	欠測補完	-43.0	+2
—	欠測補完	-48.4	+4	—	欠測補完	-48.5	+2
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、採用可能な直達波が得られなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+9.5 cm～-12 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、採用可能な直達波が得られなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+5 cm～+1 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

表 1.5-16 地山側調査結果一覧表（北基礎）（8）

区画⑮				区画⑯			
剛結継手部				剛結継手部以外（後行エレメント）			
音響探査 欠測状況		コア計測状況		音響探査 欠測状況		コア計測状況	
欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)	欠測	目的	T.P. (m)	壁厚増減 (cm)
T.P. -11.3 m ~-18.6 m	欠測補完	-13.9	-6.5	-	欠測補完	-11.8	+1
	校正	-21.8	-2	-	欠測補完	-17.8	+1
T.P. -23.8 m ~-35.6 m	欠測補完	-25.5	-5.5	-	欠測補完	-23.3	+8.5
	欠測補完	-31.4	-15	-	欠測補完	-30.6	±0
	校正	-39.0	+2	-	欠測補完	-38.1	+13
-	-	-	-	-	欠測補完	-45.1	+3
調査結果				調査結果			
<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、計画位置から+9 cm~-4 cmの位置に壁面を確認した。全体的に欠測区間が多い。</li> <li>コア測定では、計画位置から+2 cm~-15 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>音響探査では、地盤改良の影響で地盤が乱れ、採用可能な直達波が得られなかった。</li> <li>コア測定では、計画位置から+13 cm~±0 cmの位置に壁面を確認した。</li> </ul>			

### 1.5.2 未改良地山の崩落によるコンクリート未充填

北基礎の北4後行エレメントの剛結継手部（区画①及び⑮）で、仕切板沿いに最大深さ約70 cmのコンクリート未充填を確認した。1.3.2(1)b.で述べた溝壁のはらみ出しによるコンクリート未充填と比較し、未充填の深さが顕著であることから、当該部の発生原因を詳細に検討した。

#### (1) 仕切板際の約70 cmコンクリート未充填の調査結果

発生原因の検討のため、当該箇所のコンクリート未充填の調査結果を整理した。

発生位置及び形状を整理すると、発生位置は区画①及び⑮の仕切板際のSMW下端の周辺（図1.5-11参照）で、コンクリート未充填の形状は以下のとおりである。区画①のコンクリート未充填の断面図を図1.5-12に示す。コンクリート未充填部は主に粘性土層（Ac層）が堆積していた。

- ・ 区画①：形状：高さ6.7 m×最大幅0.30 m×最大深さ70 cm  
位置：SMWの下端から上方に2.35 m，下方に4.37 m  
(T.P. -10.0 m～-16.5 m 付近)
- ・ 区画⑮：形状：高さ3.0 m×最大幅0.13 m×最大深さ70 cm  
位置：SMWの下端から上方に1.15 m，下方に1.85 m  
(T.P. -11.0 m～-14.0 m 付近)

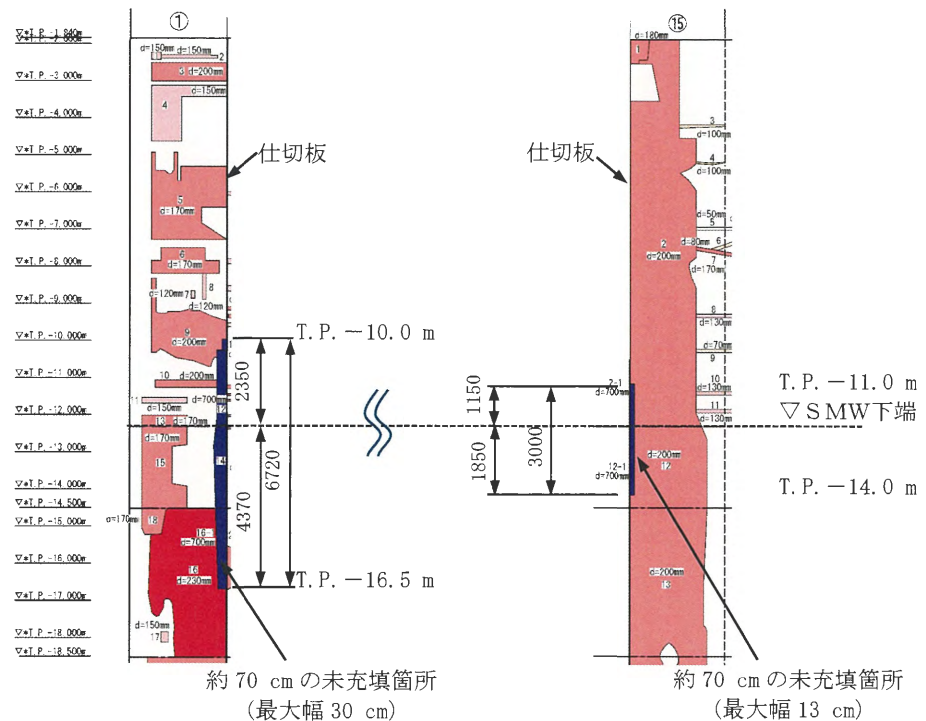


図 1.5-11 コンクリート未充填分布図（北基礎区画①及び⑮）

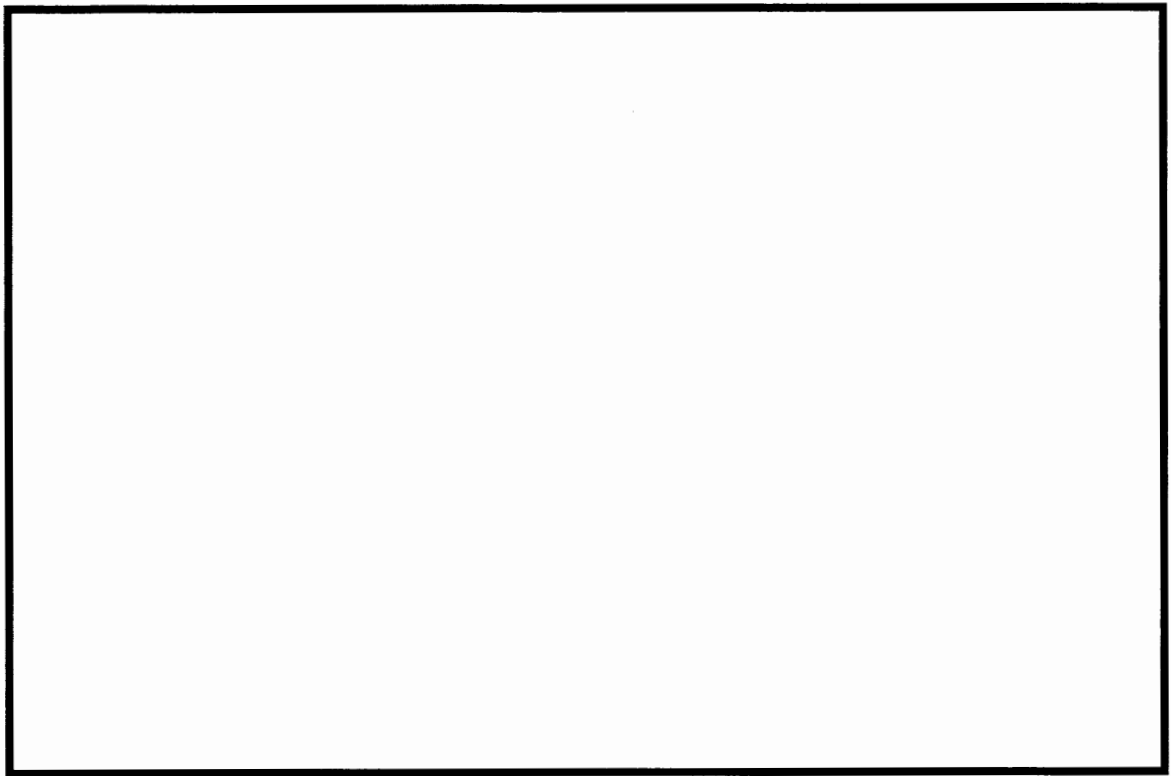


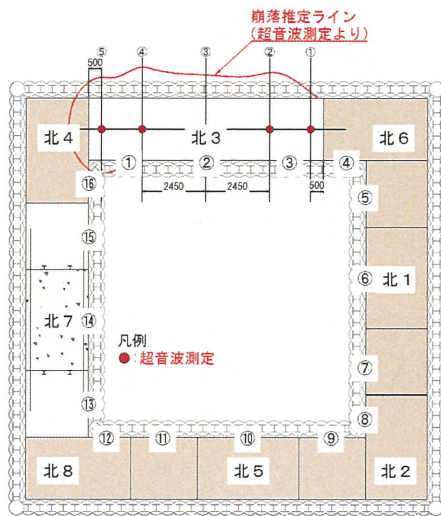
図 1.5-12 コンクリート未充填箇所断面図 (SMW直下 T.P. -13.0 m 付近)

## (2) 施工プロセスの確認

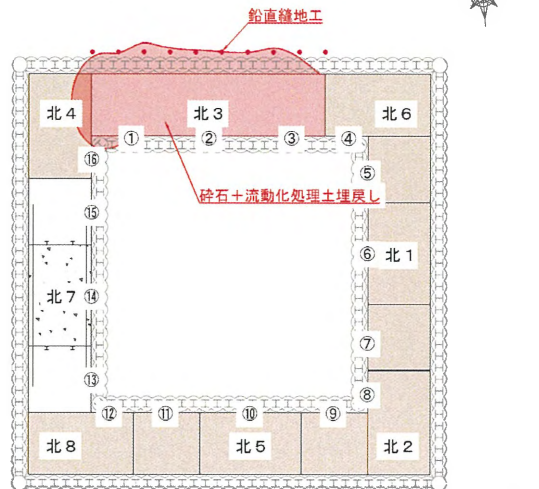
深さ約 70 cm のコンクリート未充填が発生した要因を推定するにあたり、北基礎の施工プロセスのうち、区画①及び⑬の周辺で実施した施工プロセスを抜粋し、以下に示す。また、これらの概要を図 1.5-13 に示す（以下の番号 1～5 は同図中の番号を示す）。

1. 北基礎区画③の施工として区画①、②及び③を掘削後、北 3 先行エレメントを建込み、コンクリートを打設した際に、溝壁が崩落した。
2. 復旧のため溝壁崩落部区間は流動化处理土にて、それ以外は碎石にて埋戻しを実施した。流動化处理土に対しては地中連続壁の地山側にて鉛直縫地工法にて補強を追加した。
3. 調査ボーリングにより崩落の状況調査を実施したところ、崩落箇所は特定できなかったものの、地盤が緩んだと推定したため、補強策を検討した。併せて、溝壁崩落を避けるため、コンクリート打設待ちの掘削済み箇所に対し、碎石による溝壁補強を実施した（区画①、③、⑤、⑦、⑨及び⑬）。
4. 検討の結果、鉛直縫地工及び地盤改良（高圧噴射攪拌工）により、溝壁を補強した。同地盤改良の施工中に溝壁面からエア・排泥が検出されたため、改めて地盤改良（葉液注入工）を先行して実施し、その後地盤改良（高圧噴射攪拌工）を実施した。なお、溝壁近傍は高圧噴射により安定性が乱される可能性があったため、当該箇所は未改良地盤となっている。
5. 区画⑬を掘削するとともに、区画①の崩落土砂等の撤去、区画⑬の碎石撤去を完了し、後行エレメントの鉄筋かごを設置し、コンクリートを打設した。

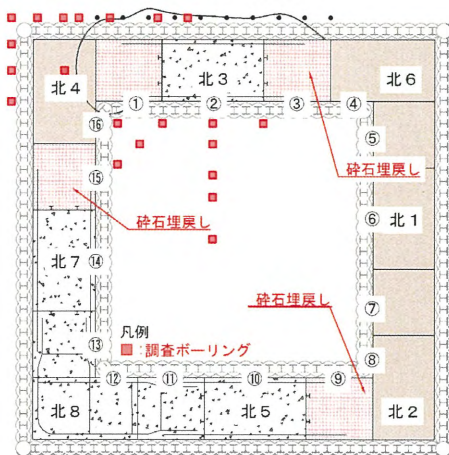
1. 北3掘削中の溝壁崩落



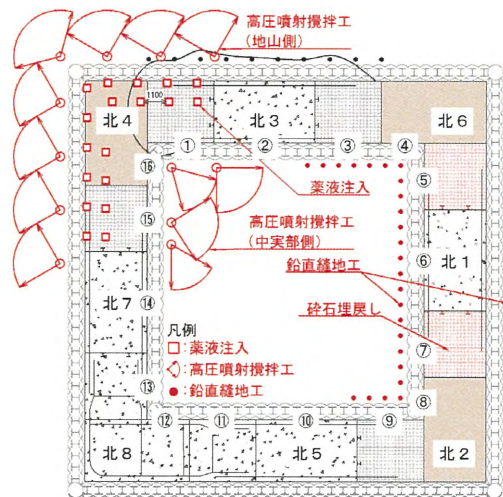
2. 流動化処理土及び碎石埋戻し  
鉛直縫地工



3. 碎石埋戻し



4. 鉛直縫地工及び地盤改良 (高圧噴射攪拌工)  
鉛直縫地工



5. 掘削, 碎石撤去, 継手清掃 (高圧水流)  
コンクリート打設

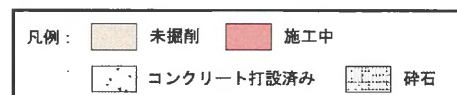
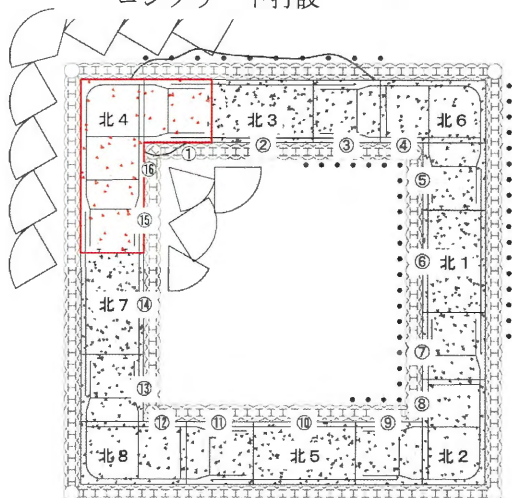


図 1.5-13 北4後行エレメント関連施工概要図

(3) 発生要因とメカニズム

観察結果と施工プロセスの確認から、仕切板際に約 70 cm のコンクリート未充填が発生した要因及び推定したメカニズムを以下に示す。

a. 溝壁近傍の薄い未改良地盤

地山の緩み（軟化）に対し、溝壁の近傍にて地盤改良（高圧噴射攪拌工）を実施（図 1.5-14 参照）したが、溝壁を乱さぬよう溝壁から 1 m 程度の範囲は地盤改良の対象外としていた。また、同未改良部（A c 層）と地盤改良体は縁が切れやすい状態であった（図 1.5-15 参照）。

b. 仕切板及び先行エレメントの高圧水流による清掃状況

剛結継手部の区画①と区画⑮の溝内の土砂、碎石の撤去を行い、仕切板及び先行エレメントの鉄筋の付着物の除去のために、図 1.5-16 に示すように、高圧水流による継手清掃を実施した。

その際、継手清掃に用いた高圧水流による繰返し荷重が溝壁（SMW及び地山）に作用し（特に仕切板付近では仕切板と防護ボックスが圧力を跳ね返すため溝壁に流れる高圧水流が大きい）、部分的に間隙水圧が上昇し、仕切板付近の地山は不安定になった。

また、清掃後、コンクリート打設前にレッド検尺により、崩落土砂が堆積していないことを確認している（1.5.4(1)参照）。

c. コンクリート未充填の発生のメカニズム推定

上記の a, b やその他の施工履歴から、崩落土砂発生のメカニズムを推定した。

溝壁周辺は未改良地山で構成され、仕切板付近の地山は清掃で不安定になっていた。その状況の中で、北 4 のコンクリート打設中に、溝壁に打設圧力が作用することで、その力が地盤改良体に挟まれた未改良地山に作用し、SMW 下端付近で未改良地山（A c 層）が掘削溝側に押し出され、その影響で未改良地山が崩落し、仕切板近傍の先行エレメントの鉄筋を超えて流入した（図 1.5-17, STEP1）。

さらに、SMW 区間でのコンクリート打設により未改良地山（A c 層）から崩落した土砂が押し上げられ、打上り面が最も低くなる端部の仕切板際に押し付けられ、約 70 cm のコンクリート未充填が発生したと考えられる（図 1.5-17, STEP2）。

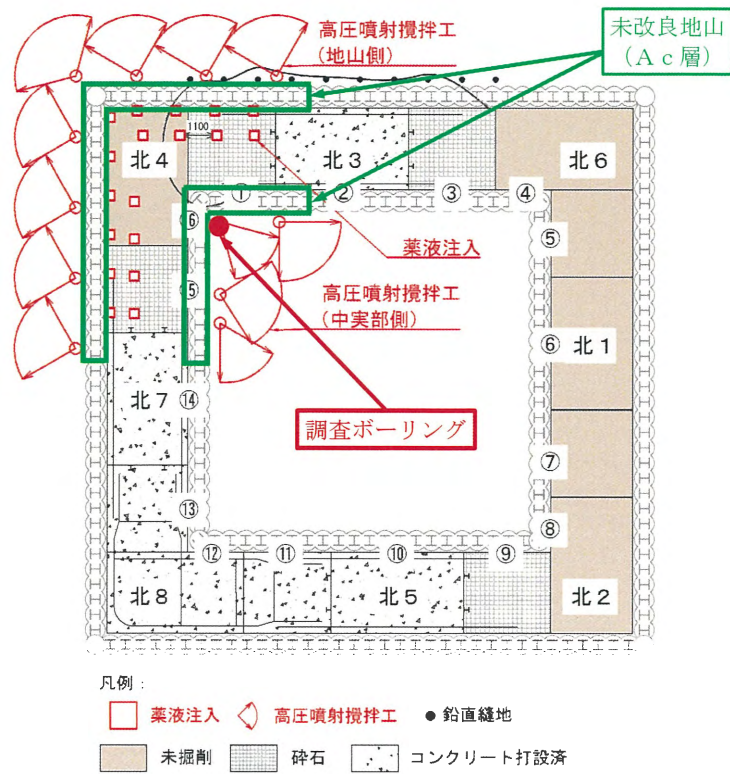


図 1.5-14 調査ボーリング及び高圧噴射攪拌工施工位置

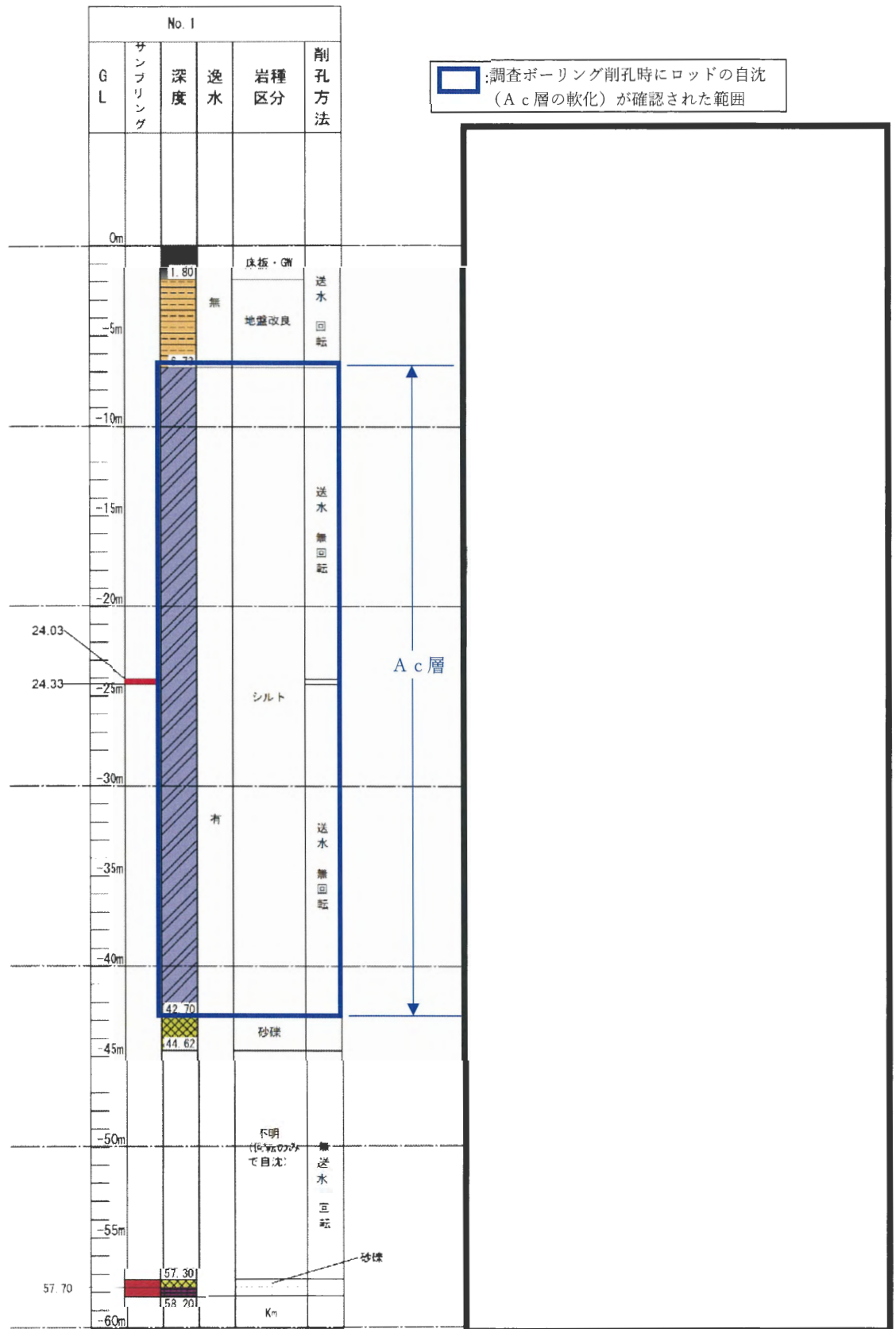


図 1.5-15 ボーリング結果 (No. 1) 及び高圧噴射攪拌工の未改良地山

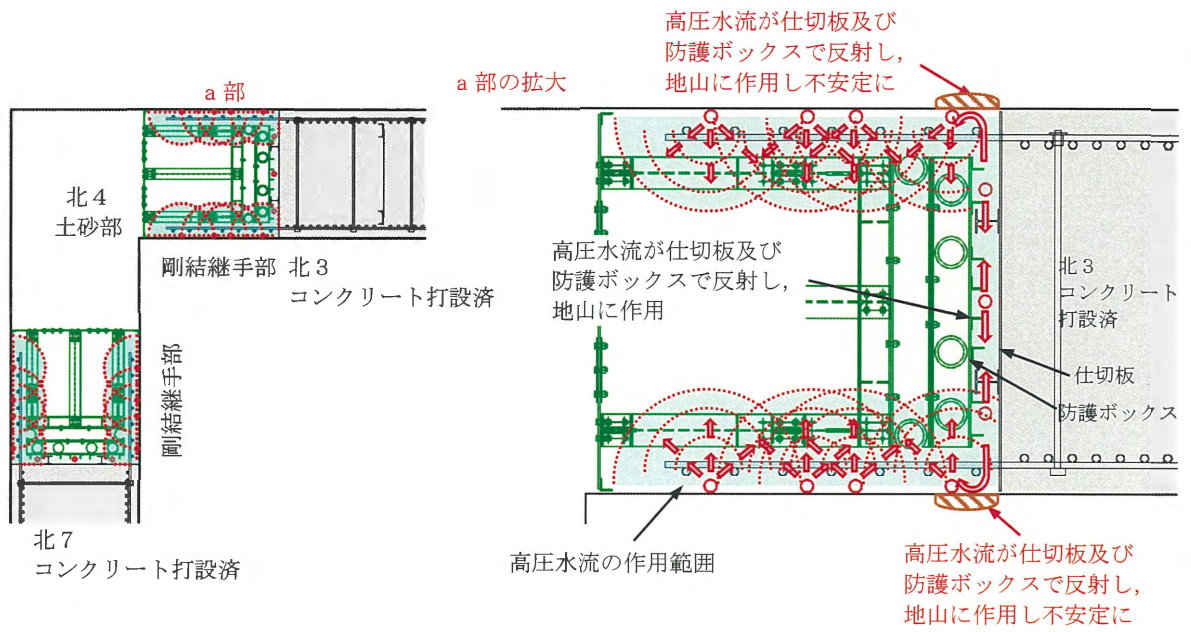


図 1.5-16 仕切板付近での高圧水流による先行エレメント鉄筋清掃による地山への影響

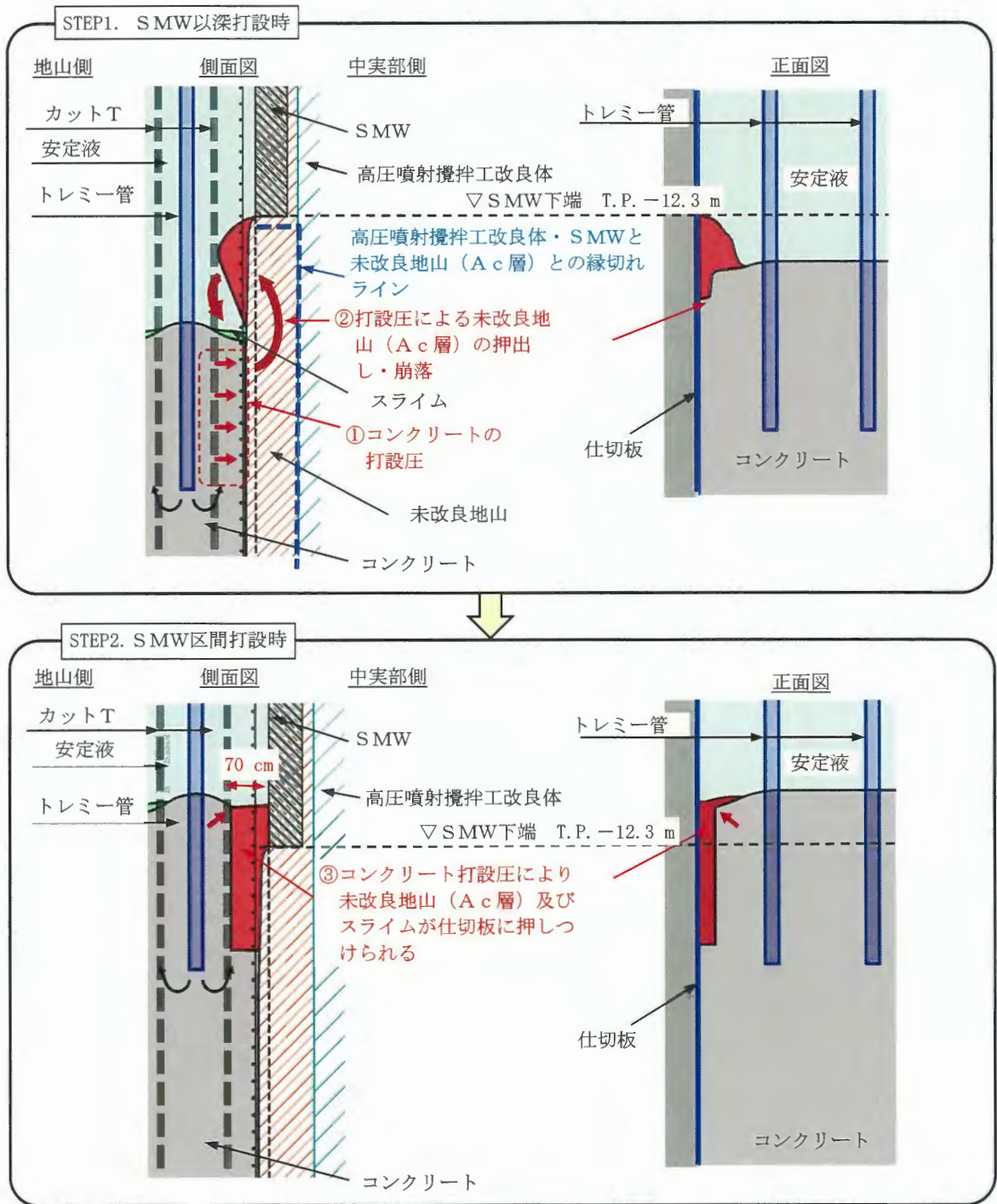


図 1.5-17 未改良地山 (Ac層) の崩落・堆積メカニズム

### 1.5.3 鉄筋の変形等に係るモックアップ試験

中実部側壁面で確認した鉄筋の変形等の発生メカニズムを検討するため、実物大模型を用いたモックアップ試験を行った。中実部側で発生した鉄筋の変形事象を再現し、その事象が鉄筋かご全体にどのように影響を及ぼすかを観察した。また、数値シミュレーションで鉄筋の変形の挙動を確認した。

#### (1) 試験の概要

モックアップ試験に用いる試験体は、実物大の後行エレメントの鉄筋かごの一部とし、実物と同じ材質の鉄筋を用い、同じ組立方法（部材同士の結束方法及び補強枠を用いた形状保持）にて製作した。図 1.5-18 にモックアップ試験の試験体の配筋図を示す。

モックアップ試験は、現地にて確認した発生状況（先行エレメントの水平鉄筋と後行エレメントの鉛直フラットバー及び水平鉄筋が接触し干渉した状況）を再現するため、後行エレメントの鉄筋かごが降下していく時に、先行エレメントの水平鉄筋等に干渉したという想定事象を模擬する必要がある。一方、モックアップ試験では、後行エレメントの鉄筋かごを降下させることができないため、先行エレメントの水平鉄筋との干渉の再現として、後行エレメントの水平鉄筋を鉛直方向に吊上げることで発生状況を模擬し、周辺の鉄筋の挙動を観察した。挙動観察の数値シミュレーション解析を行う目的で、鉄筋にモーションキャプチャーを取り付け、データを採取した。

なお、後行エレメントの干渉箇所を吊上げる際に、試験体全体が持ち上がることを防ぐため、試験体の底部は床に固定している。これは、後行エレメントの鉄筋かごが吊り下げられている状況（自重で下方に引っ張られている状況）を模擬し、干渉箇所のみが力集中し、実際の現象を模擬させたものである。

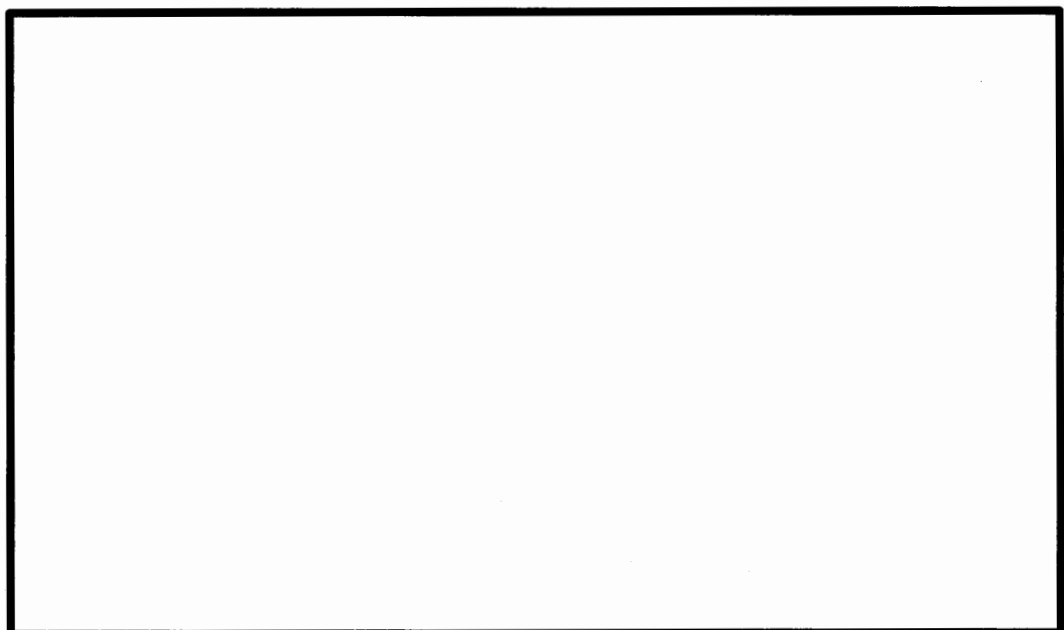


図 1.5-18 モックアップ試験の試験体の配筋図

(2) 試験結果

モックアップ試験で確認された事項は以下のとおり。

- ・吊上げた水平鉄筋は、鉛直鉄筋との固定（結束線）が破断し上部に引き上げられるとともに、補強枠に引っ掛かったせん断補強筋（Tヘッドバー）を支点として変形していた。吊上がった水平鉄筋はすべて同様の挙動となっていた。これは、現場で確認された後行エレメントの水平鉄筋の変形形状、複数本の水平鉄筋が集まっている状態と整合している。図 1.5-19 に鉄筋変形の観察結果、モックアップ試験の結果と現地状況を示す。

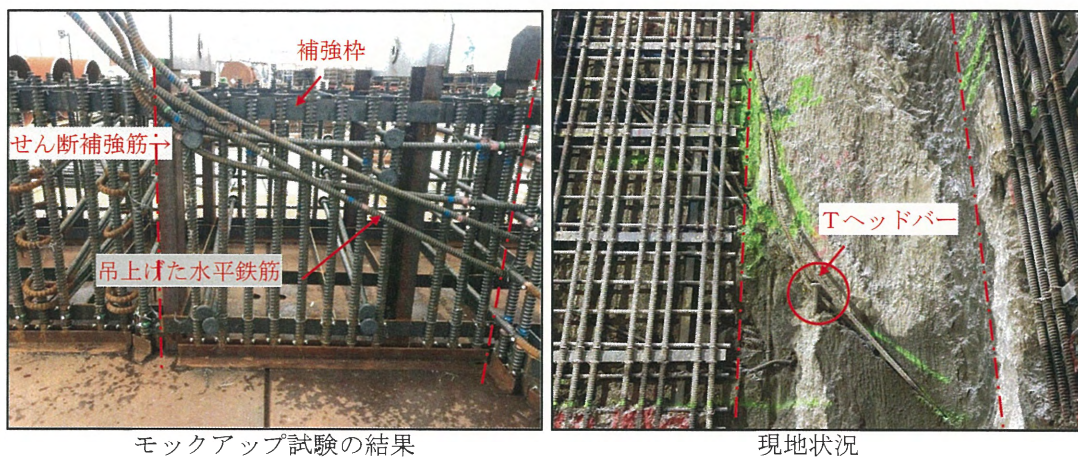
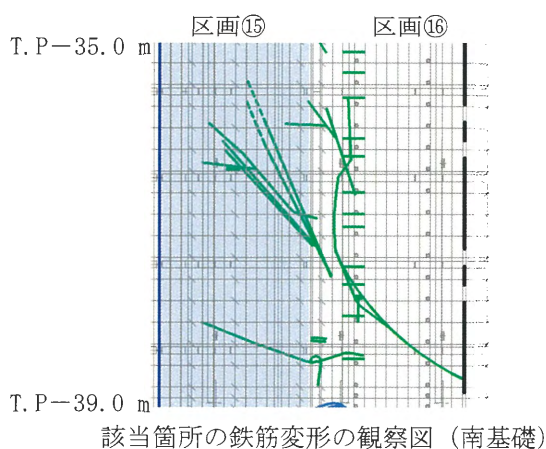


図 1.5-19 鉄筋変形の観察結果，モックアップ試験の結果と現地状況

(3) 数値シミュレーション解析

モックアップ試験で観察された鉄筋の変形等の挙動について数値シミュレーションで確認した。数値シミュレーションでは、モックアップ試験モデルと同じように解析ソフト上で鉄筋かごをモデル化し、図 1.5-20 に示すとおり、モックアップ試験と同じ吊り上げ位置に対して強制変位を与えた場合の鉄筋かご全体の挙動を確認した。

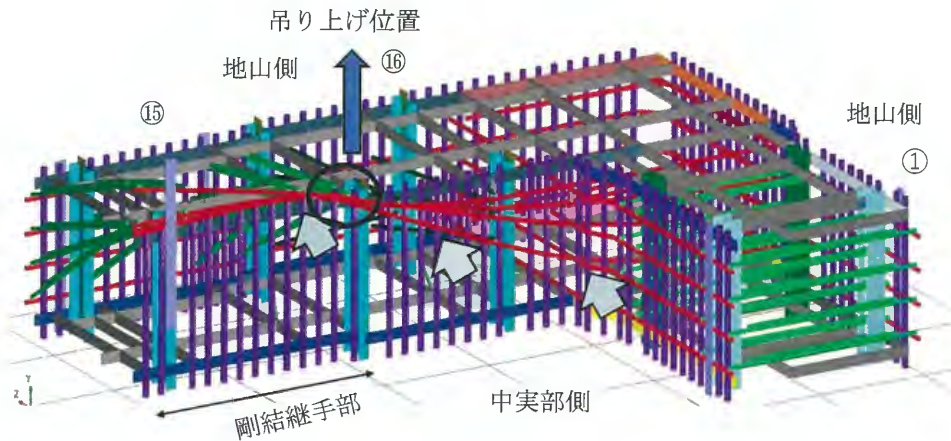


図 1.5-20 数値シミュレーションの結果

(4) 解析結果の評価

数値シミュレーションの結果でも、モックアップ試験と同様の結果が得られており、発生メカニズムを再現することができた（図 1.5-21 を参照）。

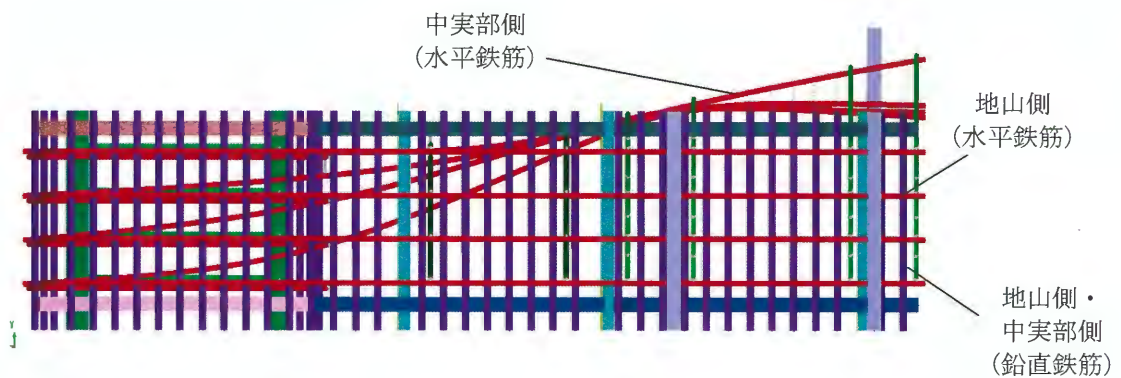


図 1.5-21 地山側から見た鉄筋かごの変位状況

モックアップ試験及び数値シミュレーション解析の結果から、現場で発生した鉄筋の変形がモックアップ試験にて再現されたことから、発生メカニズムを検証することができた。

1.5.4 地中連続壁の施工記録及び品質確認記録

コンクリート未充填及び鉄筋の変形等の要因分析として、地中連続壁の施工記録及び品質確認記録のうち、以下の記録を確認した。

- ・北基礎北4（区画⑮、⑯及び⑰）のレッド検尺結果
- ・コンクリート打設前の安定液試験結果
- ・基礎壁厚（掘削幅）測定結果

(1) 北基礎北4（区画⑮、⑯及び⑰）のレッド検尺結果

北基礎北4（区画⑮、⑯及び⑰）については、鉄筋かご高止まり事象の発生に伴い、スライム処理作業を入念に実施している。検査記録は処理完了後の記録である。図 1.5-22 に測定位置、表 1.5-17 に掘削深度を示す。

表 1.5-17 健全性確認 レッド検尺結果表

レッド検尺		No.	設計基礎下端(T.P.)	掘削出来形(T.P.)	判定
剛結継手部	中心	①	-56.000 m	-56.141 m	合
		②		-56.631 m	合
		③		-56.741 m	合
		⑫		-56.329 m	合
		⑬		-56.757 m	合
		⑭		-56.757 m	合
	中実部側	⑱		-56.465 m	合
		⑳		-56.757 m	合
		㉑		-56.257 m	合
	地山側	⑰		-56.141 m	合
		㉒		-56.738 m	合
剛結継手部以外	中心	④		-56.741 m	合
		⑤		-56.741 m	合
		⑧		-56.841 m	合
		⑨		-56.571 m	合
		⑩		-56.651 m	合
		⑪		-56.471 m	合
	地山側	⑥		-56.891 m	合
		⑦		-56.791 m	合
仕切板	⑮	-56.211 m	合		
	⑯	-56.365 m	合		
	⑰	-56.649 m	合		

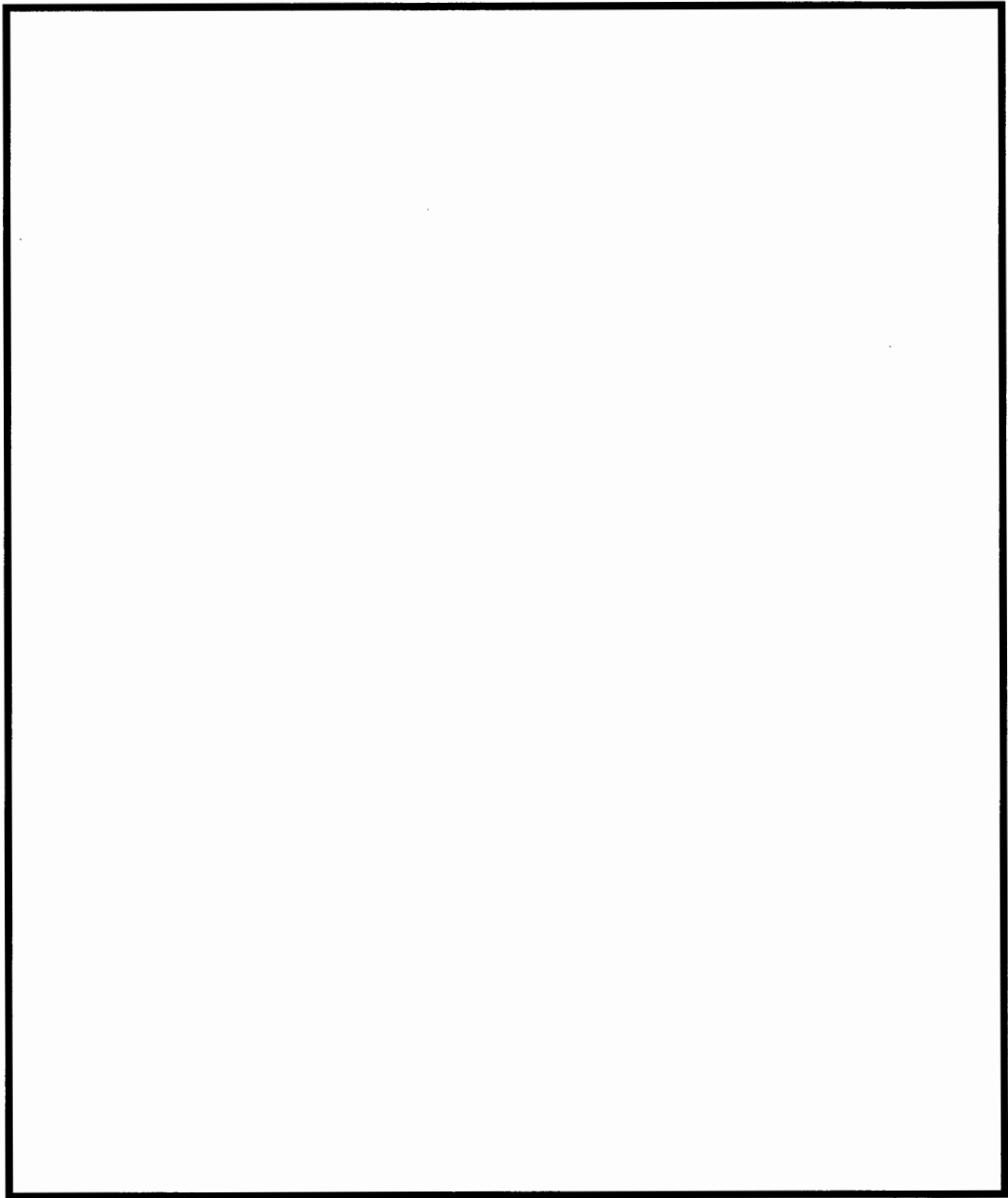


図 1.5-22 健全性確認 レッド検尺箇所（北基礎）

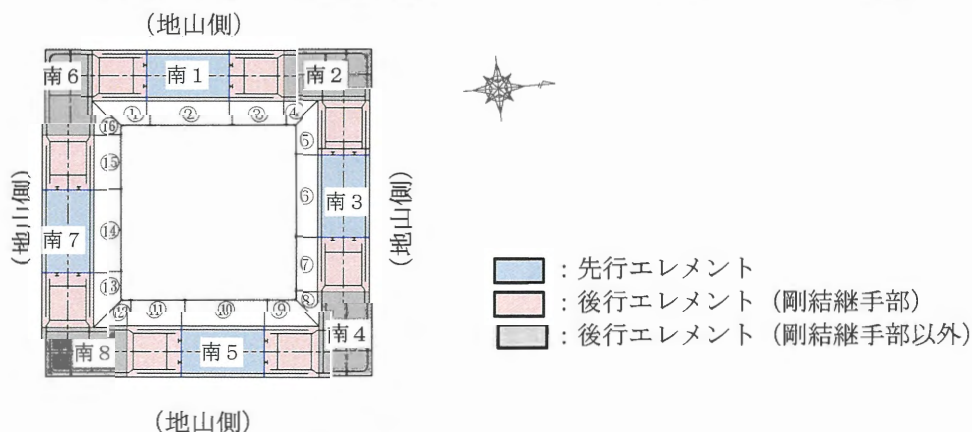
(2) コンクリート打設前の安定液試験結果

また、地中連続壁の施工においては、掘削完了時に底部のスライム除去を行った後、掘削深度のレッド検尺を行い、根入れ長の確保及び基礎が適正に岩着されていることを確認している。なお、先行エレメントの仕切板外側に位置する剛結継手部は、後行エレメントの施工まで掘置き状態となり、後行エレメントのコンクリート打設時に併せて打設されるため、剛結継手部においては、継手鉄筋の清掃後に改めてレッド検尺を行い、スライムが除去されていることを確認している。北基礎では、鉄筋の高止まり事象が発生したため、追加で底部の底浚いと安定液の良液置換を入念に行った。

スライム除去については、底部の底浚いと安定液の良液置換を行った後、安定液の砂分率を測定することで規格値の1.0%以下<sup>1)</sup>の体積割合を確認している。スライムを除去せずコンクリートを打込むと、鋼製防護壁基礎本体と支持地盤の間にスライムが介在し、支持機能に影響を与える恐れがある。また、打設コンクリート中にスライムを巻き込み、コンクリートの品質を低下させる要因となる。そのため、スライム除去は、適正な鋼製防護壁基礎の岩着を確保するための重要な管理項目である。コンクリート打設直前の南基礎の安定液試験結果（砂分率）を表 1.5-18、北基礎の安定液試験結果（砂分率）を表 1.5-19 に示す。

表 1.5-18 南基礎 安定液試験結果（砂分率）

エレメント	砂分率 (%) 1.0 %以下	判定
南 1	0.2	合
南 2	0.3	合
南 3	0.2	合
南 4	0.5	合
南 5	0.6	合
南 6	0.1	合
南 7	0.6	合
南 8	0.5	合

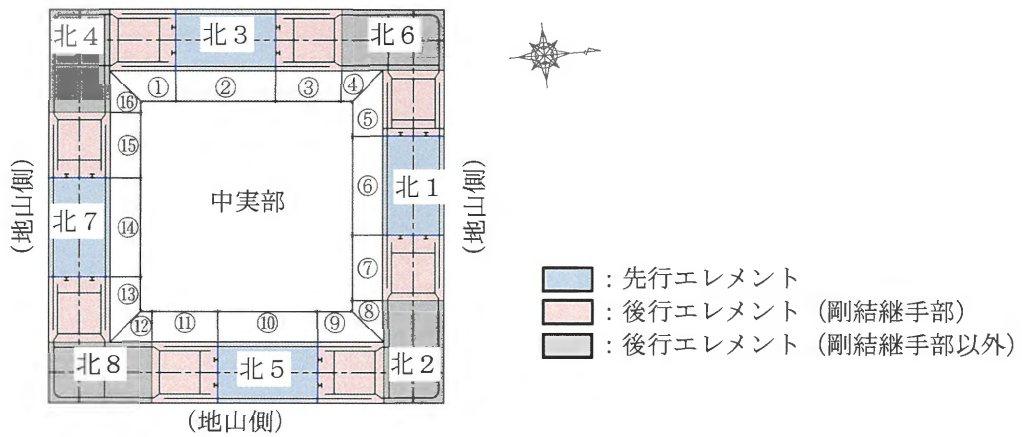


<sup>1)</sup> 多田浩彦ほか、地中連続壁基礎工法ハンドブック 施工編、総合土木研究所、平成3年7月、p. 138

表 1.5-19 北基礎 安定液試験結果 (砂分率)

エレメント	砂分率 (%) 1.0 %以下	合・否
北 1	0.8	合
北 2	0.2	合
北 3	0.9	合
北 4	0.2	合
北 5	0.6	合
北 6	0.2	合
北 7	0.4	合
北 8	0.4	合

(地山側)



(3) 基礎壁厚（掘削幅）測定結果

各区画における掘削完了後の超音波測定結果（施工記録）から、基礎壁厚（掘削幅）確保に必要となる掘削出来形寸法を確認した。区画毎の掘削出来形寸法の南基礎の測定結果を表 1.5-20 に、北基礎の測定結果を表 1.5-21 に示す。

表 1.5-20 基礎壁厚（掘削幅）出来形寸法測定結果（南基礎）

区画	設計壁厚 (mm)	出来形寸法 (最小値) (mm)	差 (mm)	判定
①	2,400	2,480	+80	合
②		2,480	+80	合
③		2,480	+80	合
④		2,440	+40	合
⑤		2,440	+40	合
⑥		2,480	+80	合
⑦		2,440	+40	合
⑧		2,440	+40	合
⑨		2,560	+160	合
⑩		2,480	+80	合
⑪		2,480	+80	合
⑫		2,400	±0	合
⑬		2,440	+40	合
⑭		2,440	+40	合
⑮		2,480	+80	合
⑯		2,480	+80	合

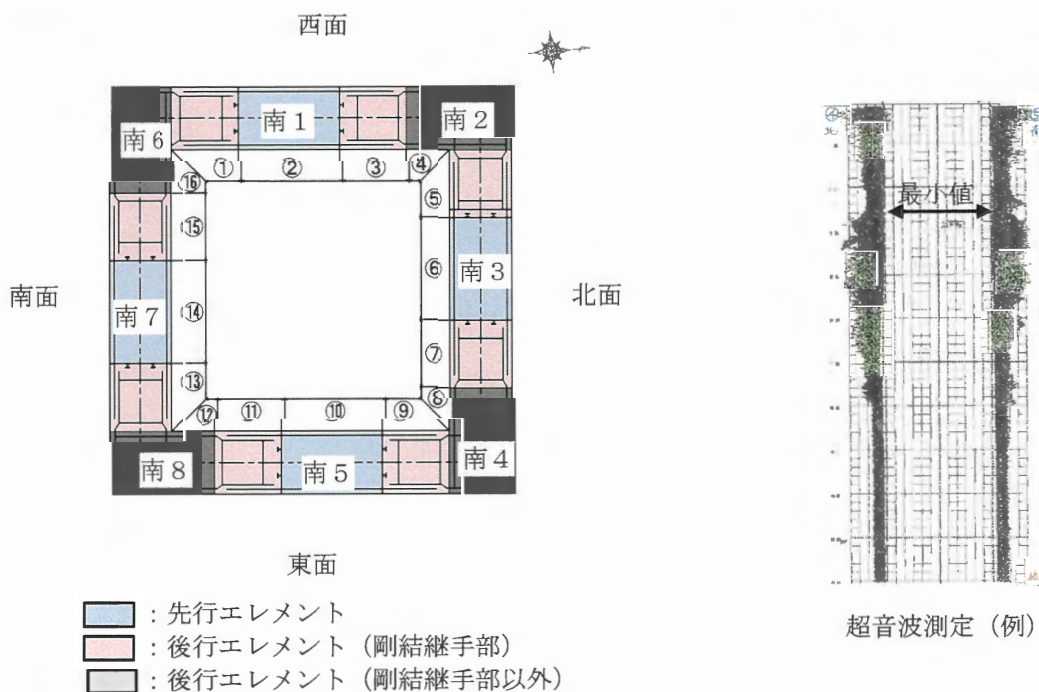
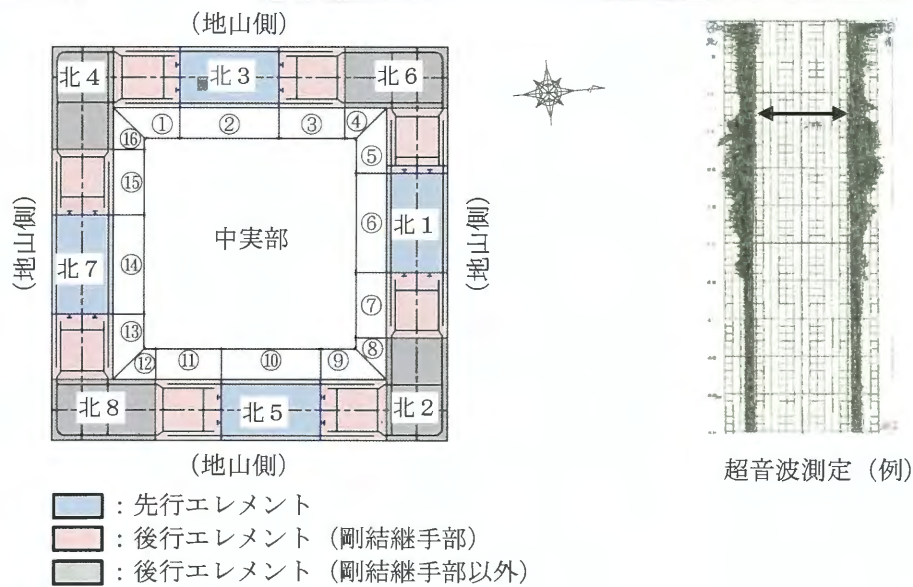


表 1.5-21 基礎壁厚（掘削幅）出来形寸法測定結果（北基礎）

区画	設計壁厚 (mm)	出来形寸法 (最小値) (mm)	差 (mm)	判定
①	2,400	2,480	+80	合
②		2,480	+80	合
③		2,520	+120	合
④		2,440	+40	合
⑤		2,560	+160	合
⑥		2,520	+120	合
⑦		2,560	+160	合
⑧		2,440	+40	合
⑨		2,520	+120	合
⑩		2,520	+120	合
⑪		2,440	+40	合
⑫		2,400	±0	合
⑬		2,520	+120	合
⑭		2,520	+120	合
⑮		2,480	+80	合
⑯		2,400	±0	合



## 目次

2. 不具合事象の調査結果を踏まえた対応方針.....	2
2.1 撤去・再構築案.....	2
2.2 構造変更案.....	4
2.2.1 残置する地中連続壁部の構造設計上の取扱い.....	4

## 2. 不具合事象の調査結果を踏まえた対応方針

本章では、防潮堤（鋼製防護壁）基礎の一部である地中連続壁の不具合に対し、基礎として使用することが適さないことから、地中連続壁の撤去・再構築、防潮堤（鋼製防護壁）基礎の構造変更の順に、設計要求を満足させるための対策案を整理し、対応方針をまとめた。

### 2.1 撤去・再構築案

地中連続壁を撤去し、既工認設計と同等の鉄筋コンクリート構造で再構築する対策の施工成立性について検討した。撤去・再構築施工の概略フローを図 2.1-1 に、施工概要図を図 2.1-2 に示す。

地中連続壁の撤去及び防潮堤（鋼製防護壁）基礎の再構築のために設置する仮設土留め壁（鋼製地中連続壁）の断面計算、土留め支保工の断面計算を行い、仮設土留めとしての構造成立性が確保できていることを確認した。

しかしながら、施工において以下の課題があり、採用は困難と判断した。

- ・仮設土留めとして施工する鋼製地中連続壁の溝壁の安定性確保のために補助工法が必要となるが、既設構造物  が近接しており、既設構造物への影響回避を含め、その施工が困難なこと。
- ・既設構造物の近傍で長期にわたる大深度開削工事を行うため、発電所施設の安全確保に重大な影響を与える可能性があること。

したがって、仮設土留め（鋼製地中連続壁及び土留め支保工）による地中連続壁の撤去及び既工認設計と同等の基礎の再構築は、仮設土留めの構造的な設計成立性は確保できるものの、施工の成立性は確保できないため、撤去・再構築案は不採用と判断した。

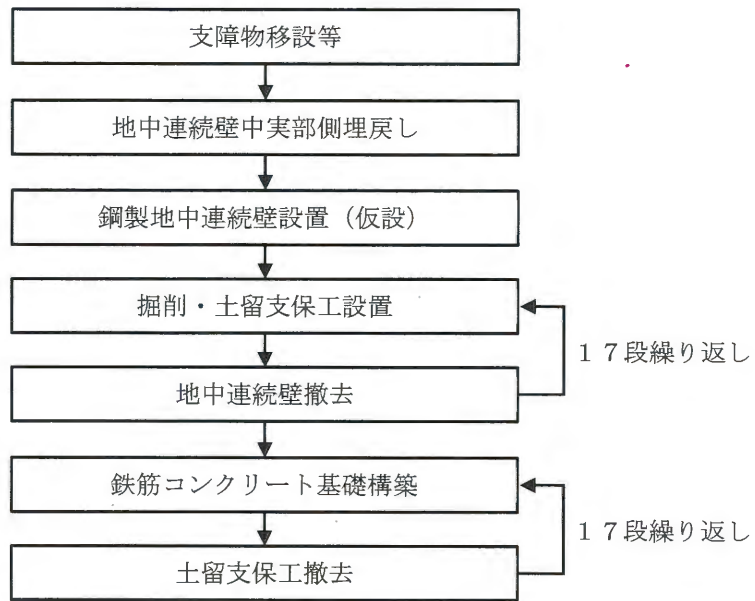


図 2.1-1 撤去・再構築施工 概略フロー図

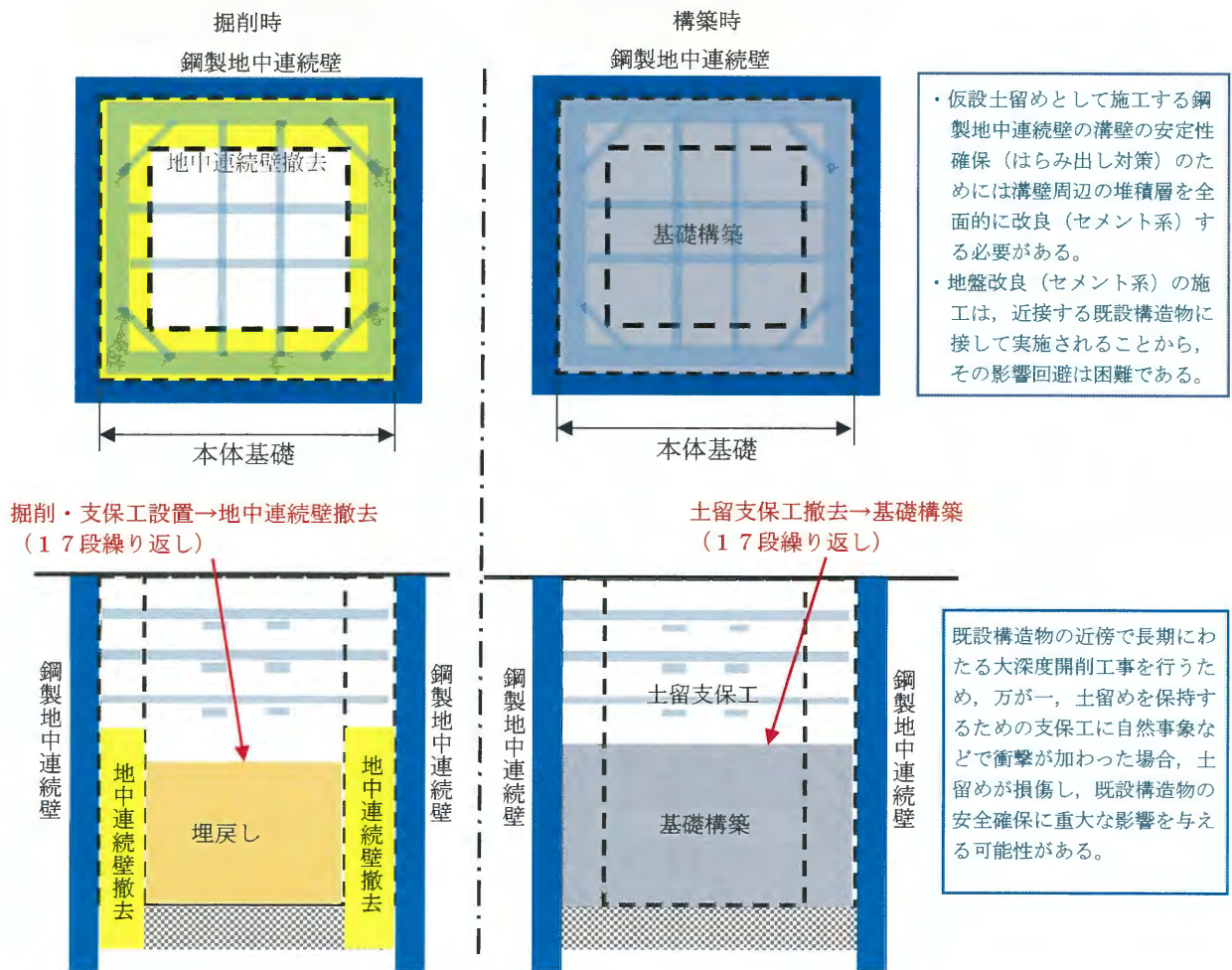


図 2.1-2 施工概要図

## 2.2 構造変更案

地中連続壁部の撤去及び基礎の再構築は困難と判断し、地中連続壁部を残置する方針とする。

このため、中実部の仕様の見直し（補強）、追加構造の設置等により設計要求事項を満足する構造変更について検討を行い、構造設計の見通し及び現場施工の成立性を整理した。

### 2.2.1 残置する地中連続壁部の構造設計上の取扱い

地中連続壁部を残置することとする。その設計上の取扱いを以下に示す。

#### (1) 基本的な考え方

基本的な考え方について以下に示す。

- ・不確かさが残る地中連続壁部は防潮堤（鋼製防護壁）を支持する基礎としては使用しない設計に変更する。
- ・地中連続壁部は残置し、中実部基礎構築のための土留壁として使用する。

#### (2) 基礎構造の検討方針

地中連続壁部を基礎として使用しない設計とすることにより、防潮堤基礎の剛性・耐力が確保できないため、その対策として「追加基礎（鋼管杭）」及び「周辺地盤の地盤改良」を取り入れた構造に変更し、支配的な津波荷重に対して抵抗を期待する構造とすることとした。図 2.2-1 に基礎構造変更の考え方を示す。

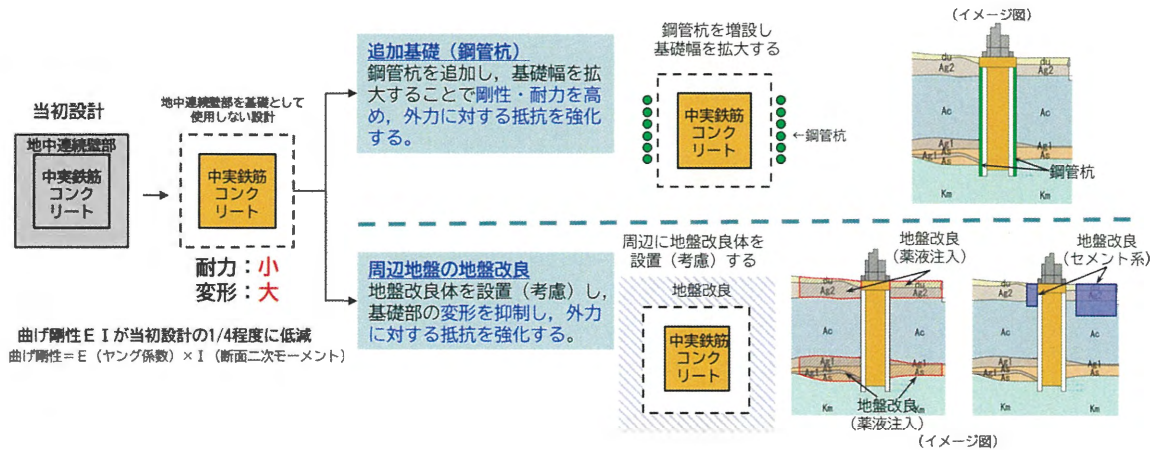


図 2.2-1 基礎構造変更の考え方

(3) 基礎構造の検討結果

基礎形状は、中実部（10.7 m×10.7 m）＋鋼管杭 φ1,500 mm（6本×2）の複合構造とし、更に周辺地盤を地盤改良する構造を考えた（図 2.2-2 参照）。

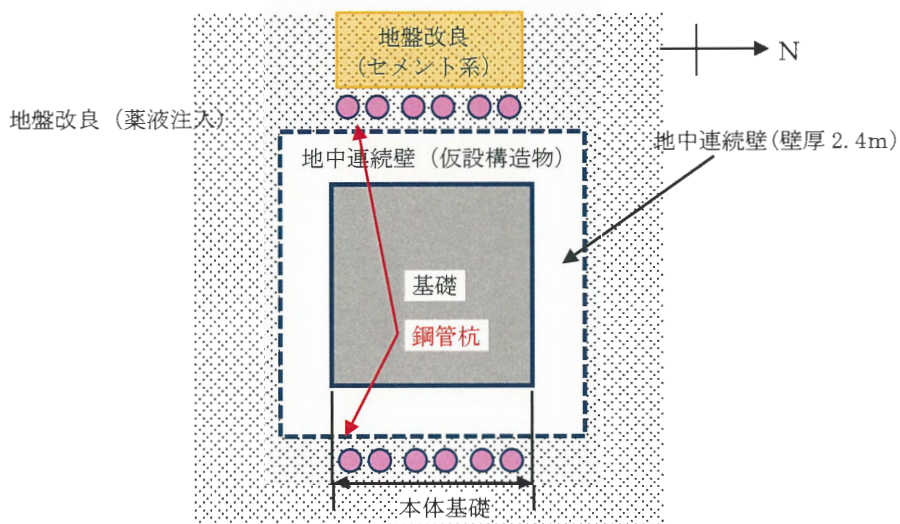


図 2.2-2 地中連続壁外側の補強  
（基礎の追加＋地盤改良（セメント系））平面図（概要図）

(a) 設計成立性の確認

基礎の設置位置が深く、変位量が大きいと考えられる北基礎を検討対象として、中実部（10.7 m×10.7 m）の外側（東西面のみ）に新たな基礎（鋼管杭）を追加し、西側に地盤改良（セメント系）を施した構造にて、設計成立性の目途を簡易モデルで確認した。

その結果、算定された北基礎天端の最大変位量が「既工認設計」より小さくなることを確認できたことから、当該構造にて基本設計を進めることとした。

(b) 施工成立性の確認

追加する基礎及び頂版鉄筋コンクリートの施工のための重機配置等により干渉する支障物を移設する必要があるが、移設により施工空間及び安全を確保できるため、施工成立性が確保できると判断した。

また、品質確保の面でも、受入検査、工程内検査、最終検査の各段階で品質を確認できるため、構造物の検査性が高いと判断した。

詳細については第3章で後述する。