

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1262 December 2012

廃棄物海面処理場の遮水工施工時の
品質管理・評価手法の検討

渡部	要一	井筒	庸雄
溝上	健	沖	健
山田	耕一	鵜飼	亮行
辻	匠	御手洗	義夫
浅田	英幸	永留	健
田中	良典	森	晴夫

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 研究の概要	4
3. 研究対象とする遮水護岸工事	8
3.1 工事全体概要	8
3.2 遮水構造と施工法	9
3.3 試験施工	11
3.4 遮水工の施工管理	12
4. 施工管理データの処理方法	13
4.1 施工管理データ概要	13
4.2 打設管理データの一次処理	13
4.3 打設管理データの二次処理	14
4.4 データ加工法のまとめ	22
5. 施工管理データの分析結果	23
5.1 調査概要	23
5.2 施工管理データの統計処理結果	26
5.3 施工管理データ間の関係	32
5.4 可視化による施工管理データの整理	33
5.5 データ分析結果のまとめと施工管理方法の提案	34
6. まとめ	35
謝辞	36
参考文献	36
付録-A 試験施工に基づく施工管理方法の検討	37
付録-B シリコン注入の施工管理結果	42

Proposal of QC/QE of Vertical Impervious Wall in Coastal Waste Reclamation facilities

Yoichi WATABE*¹

Tsuneo IZUTSU*²

Ken MIZOUE*²

Takeshi OKI*³

Koichi YAMADA*⁴

Akiyuki UKAI*⁴

Takumi TSUJI*⁴

Yoshio MITARAI*⁵

Hideyuki ASADA*⁵

Takeshi NAGATOME*⁵

Yoshifumi TANAKA*⁶

Haruo MORI*⁷

Synopsis

Vertical impervious wall in coastal waste reclamation facilities takes an important role to separate the waste from the sea. Steel companies and marine contractors developed new technologies to meet the technical standard after the ministry ordinances in 1998. Although performance check for joints of impervious wall, mostly sheet pile wall, is important, it is impossible to check all of these joints. Therefore, the performance check should be replaced by QC/QE through construction control. Objective of this study aims to propose a practical QC/QE method to assure impervious performance. A series of execution data gathered in a real construction was examined to find correlativity between those observed data and impervious performance. Development and proposal for QC/QE method to ensure the impervious performance was attempted based on a study to correlate between performance check for sampled joints and execution record. A method for removal of noise data in consideration of data variation and reducing the data entries in consideration of representative data trend are also examined and proposed. To identify sheet piles overloaded during installation, planar image of those data drawn along the sheet pile wall is useful in QC/QE.

Key Words: Waste reclamation facilities, impervious wall, quality control, swellable rubber, covered electric wire, statistical analysis

*1 Director of Geotechnical Engineering Field

*2 Electric Power Development Co.,Ltd.

*3 JFE Steel Corporation.

*4 Penta-Ocean Construction Co.,Ltd.

*5 Toa Corporation.

*6 Mirai Construction Co.Ltd.

*7 Wakachiku Construction Co.,Ltd.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5053 Fax : +81-46-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

廃棄物海面処分場の遮水工施工時の 品質管理・評価手法の提案

渡部要一¹⁾・井筒庸雄²⁾・溝上 健²⁾・沖 健³⁾・山田耕一⁴⁾・鵜飼亮行⁴⁾・辻 匠⁴⁾・
御手洗義夫⁵⁾・浅田英幸⁵⁾・永留 健⁵⁾・田中良典⁶⁾・森 晴夫⁷⁾

要 旨

廃棄物海面処分場の鉛直遮水工は、廃棄物と海洋とを隔てる重要な機能を担っている。1998年の基準省令の改正により強化された遮水構造を実現するための個別の技術については、鉄鋼メーカー各社ならびに施工会社によるこれまでの研究・開発により、実現可能な技術レベルが達成されている。しかし、施工された遮水工の遮水性能を検査することの重要性が指摘されているにもかかわらず、膨大な数量の遮水継手すべてを検査することは不可能であり、確実な遮水性能を実現するために、施工管理を通じた品質管理手法の開発が求められている。本研究では、サンプル抽出された継手部の遮水機能検査と施工管理記録とを有機的に結びつけることにより、確実な遮水性能を実現するための品質管理・評価手法を開発し、提案することを目的としている。具体的な工事事例を対象として、遮水鋼矢板打設時および打設後に様々な施工管理項目についてデータ収集を行い、施工記録データと遮水性能との関連性を検討した。また、実測データに基づいたこれらの検討結果を踏まえ、確実な遮水性能を担保するための品質管理・評価手法の開発・提案を試みた。その結果から、膨大な情報が記録されている施工管理データ（矢板の打設速度、パイプロハンマの電流値、矢板の頭部温度）のノイズを除去し、データを平均化処理するためのデータ抽出ピッチや加工法について示した。施工管理データ（矢板の打設速度、パイプロハンマの電流値、矢板の頭部温度）を用いて負荷がかかっている矢板を抽出するには、施工管理データを護岸法線方向と深度方向からなる断面情報として連続データを可視化表示（画像化）することが有効であることがわかった。

キーワード：廃棄物埋立護岸、遮水構造、品質管理、膨潤性ゴム、被覆電線、統計分析

-
- 1) 地盤研究領域長
 - 2) 電源開発株式会社
 - 3) JFEスチール株式会社
 - 4) 五洋建設株式会社
 - 5) 東亜建設工業株式会社
 - 6) みらい建設工業株式会社
 - 7) 若築建設株式会社

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5053 Fax：046-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

1. はじめに

廃棄物海面処分場の鉛直遮水工は、廃棄物と海洋とを隔てる護岸および遮水工として重要な機能を担っている。1998年の一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める省令（以下、基準省令）の改正により強化された遮水構造を実現するための個別の技術については、鉄鋼メーカー各社ならびに施工会社によるこれまでの研究・開発により、実現可能な技術レベルが達成されたといえる（渡部ら、2006）。基準省令では、鉛直遮水工については遮水矢板があれば十分で、定量的な規定はない。しかし、連壁による鉛直遮水工については透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ($1 \times 10^{-8} \text{m/s}$) 以下で厚さ50cm以上の規定があり、管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル（港湾空間高度化環境研究センター、2008）では遮水矢板に対してもこれを準用して、背後の地盤を含め便宜上厚さ50cmの層の透水係数に換算した換算透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下であることを要求している。このため、施工された遮水工の遮水性能を検査することの重要性が広く指摘されている。しかしながら、膨大な数量の遮水継手すべてに対して水張り試験等により検査することは事実上不可能であり、確実な遮水性能を実現するためには、施工管理を通じた品質管理手法の開発が求められている。

本研究は、実際の廃棄物処分場の遮水護岸を対象として、事業者、施工者、材料メーカーと港湾空港技術研究所が一体となって共同研究を実施し、サンプル抽出された継手部の遮水機能検査と全数量を対象とした施工管理記録とを有機的に結びつけることにより、確実な遮水性能を担保するための品質管理・評価手法を開発・提案するものである。

2. 研究の概要

本研究では、電源開発（株）響灘3号埋立地建設工事における管理型廃棄物海面処分場護岸の遮水工を対象として、施工時における品質管理・評価手法に関して技術開発・検討を行い、遮水護岸の品質管理手法について検討した。当該埋立地は石炭灰の埋立処分場として利用されることから管理型廃棄物最終処分場に位置づけられ、その鉛直遮水工は、廃棄物と海洋とを隔てる護岸および遮水工として重要な機能を担っている。この観点から、施工された遮水工の品質を検査・評価することはきわめて重要である。しかし、これまで、遮水工の品質を検査・評価するための有効な手法は存在しなかったのが実情で

表-2.1 鋼矢板施工時のデータ管理項目

時期	管理項目・内容	方法	頻度	備考
打設時	鉛直度の確認	自動計測	全数	-
	打設速度・電流・電圧・ 頭部温度の測定	自動計測	全数	-
	絶縁抵抗値の測定	絶縁抵抗計	全数	-
打設後	位置・高さの計測	光波・レベル	全数	-
	垂直度の計測	角度勾配計	全数	-
	絶縁抵抗値の測定	絶縁抵抗計	50mごと	-
	水中部の継手確認	潜水士	全数	定期的実施

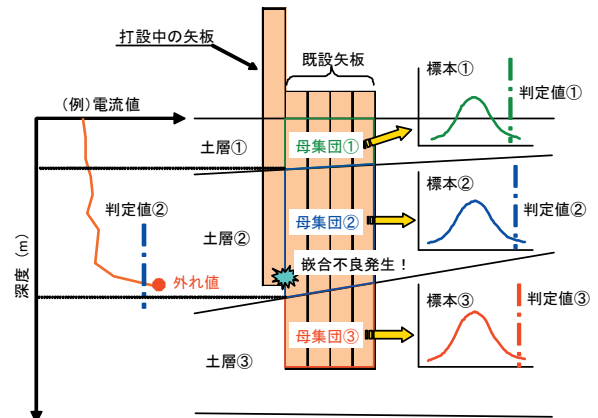


図-2.1 鋼矢板打設の統計的品質管理イメージ

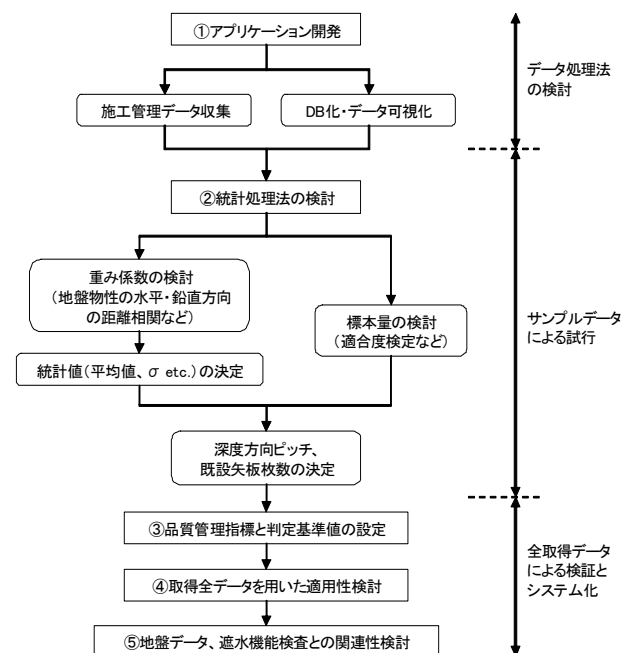


図-2.2 検討フロー

ある。そこで、有効な品質管理・評価手法の開発に資することを目的に、当該建設工事を対象として、遮水鋼矢板打設時および打設後に様々な施工管理項目についてデータ収集を行い、施工記録データと遮水性能との関連性

を検討した。また、実測データに基づいたこれらの検討結果を踏まえ、確実な遮水性能を担保するための品質管理・評価手法の開発・提案を試みた。

有効な品質管理・評価手法の開発に資することを目的に、遮水鋼矢板打設時および打設後に表-2.1に示す施工管理項目について、響灘3号埋立地建設工事を対象としてデータ収集を実施した。これらの記録データと遮水性能との関連性を検討し、これに基づいた品質管理・評価手法を如何に構築するかが研究開発上の重要な鍵になると考えられた。

そこで本研究では、施工管理記録と鋼矢板打設区域の



図-3.1 響灘3号埋立地の位置図

表-3.1 響灘3号埋立地の遮水概要

護岸名	延長 (m)	遮水工
西護岸	260	溝付き継手部に膨潤性ゴムを充填、またはシリコン樹脂を注入した鋼矢板壁
揚灰岸壁取付護岸	325	P-T継手に無収縮モルタルを充填した鋼管矢板壁
揚灰岸壁	450	西護岸と同じ鋼矢板壁
北護岸	887	西護岸と同じ鋼矢板壁、人工粘土
東護岸	800	フライアッシュモルタル、目地遮水工
南護岸	1,247	フライアッシュモルタル、人工粘土

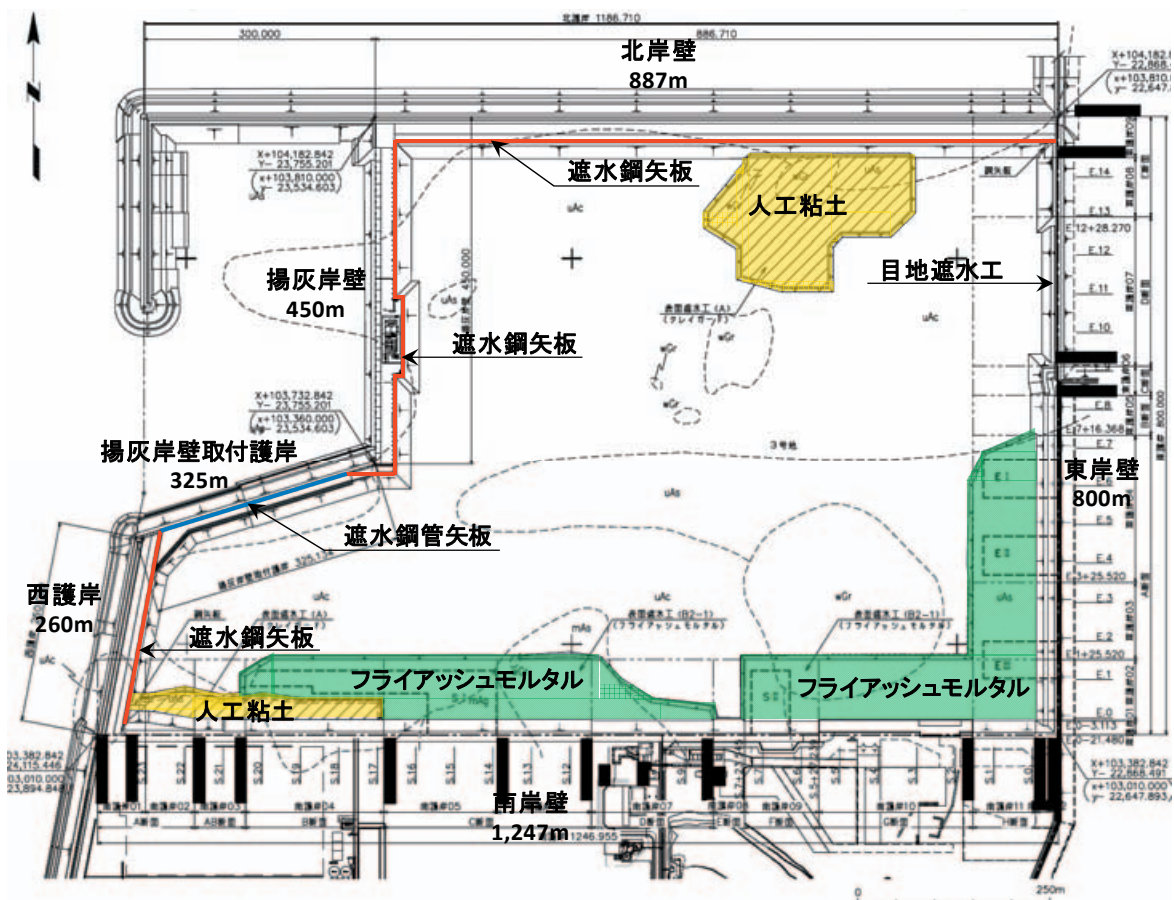


図-3.2 響灘3号埋立地の遮水工法

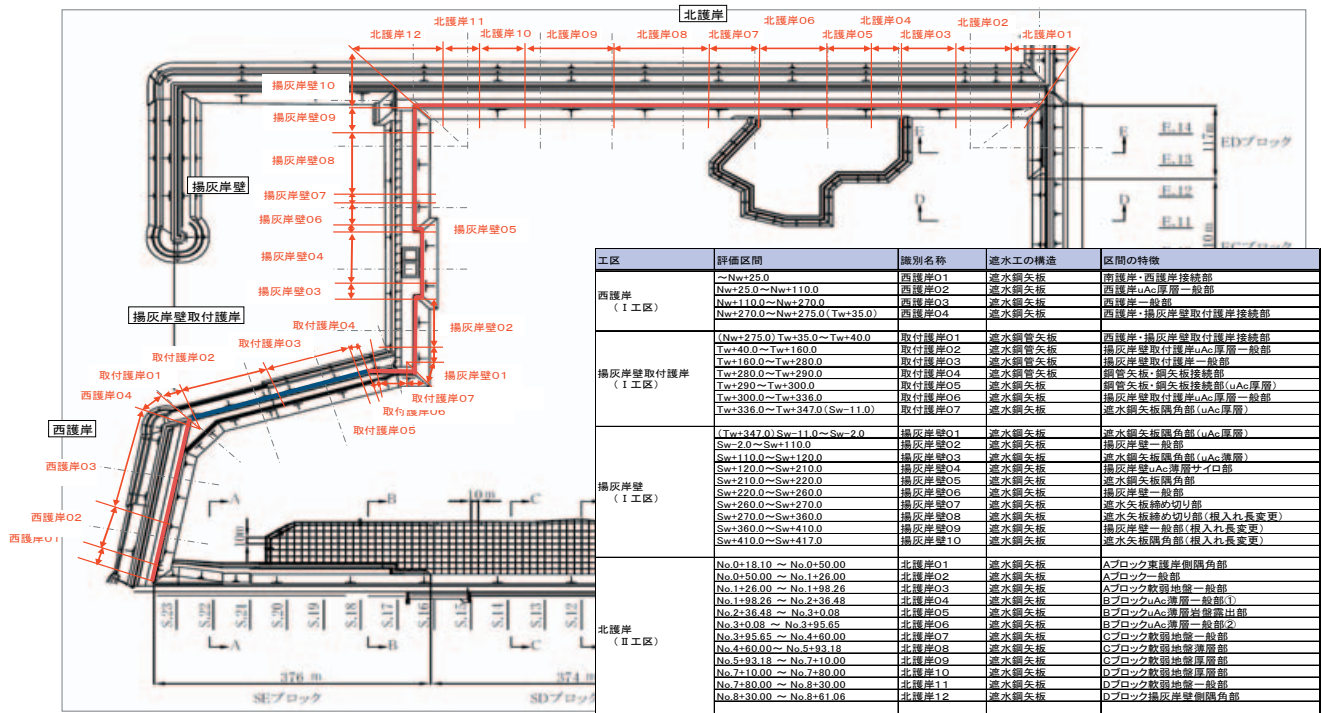


図-3.3 鋼矢板工区区画平面図

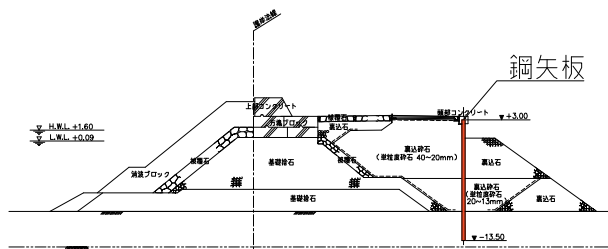


図-3.4 西護岸03断面図

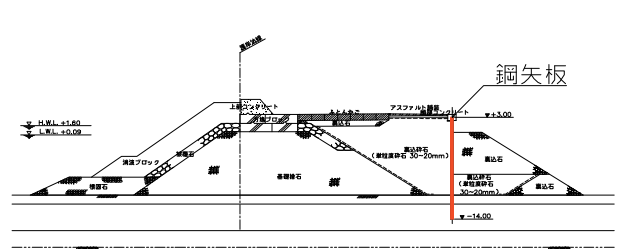


図-3.6 北護岸10断面図

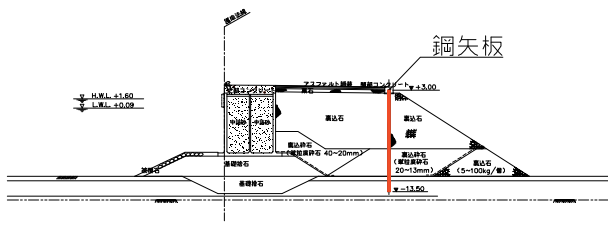


図-3.5 揚灰岸壁08断面図

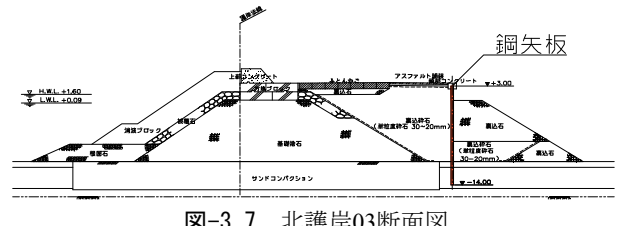


図-3.7 北護岸03断面図

ボーリングデータを有機的に結びつけることにより、確実な遮水性能を実現するための品質管理・評価手法を開発・提案することを試みている。

表-2.1で挙げた各種管理項目は連続的にデータサンプリングを行っており、個々のデータに対して統計的処理を行うことによって、当該データがトレンドから逸脱した値を示した場合、何らかの異常があったものと判断するなど、客観的な品質検査ができる可能性があると考えられた。

例えば、バイプロハンマに対する負荷の指標である「電流値」や鋼矢板打込み時の「(平均) 打設速度」など

には、地盤抵抗ならびに継手爪部の嵌合抵抗の影響が複合して反映されると考えられる。一般的に遮水鋼矢板を打込む地盤が比較的軟弱であることを考えると、適切な規格のバイプロハンマを選定している限り、大きな電流値を必要とするケースは、嵌合不良や転石などの障害物に当たった場合である可能性が高い。土層(母集団)毎に所定量の電流値データ(標本)を抽出して統計値(平均, 標準偏差, 変動係数など)が得られれば、それらを基に判定値を設定することにより、嵌合不良や障害物接触などによる外れ値(電流値の異常箇所)を一定の信頼度で検出できる可能性がある。図-2.1に統計的品質管理

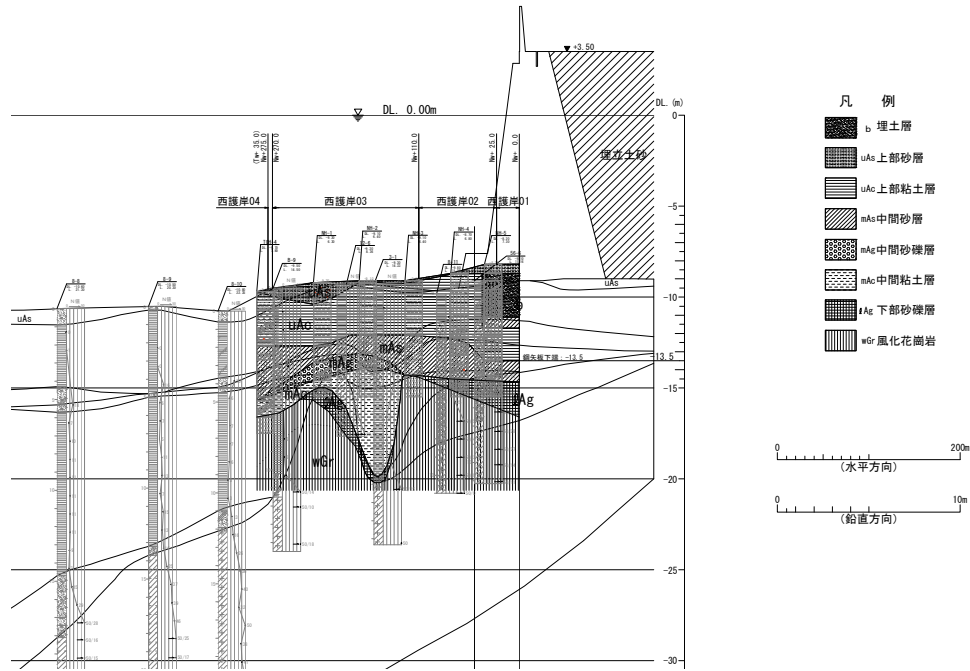


図-3.8 西護岸地質推定断面図

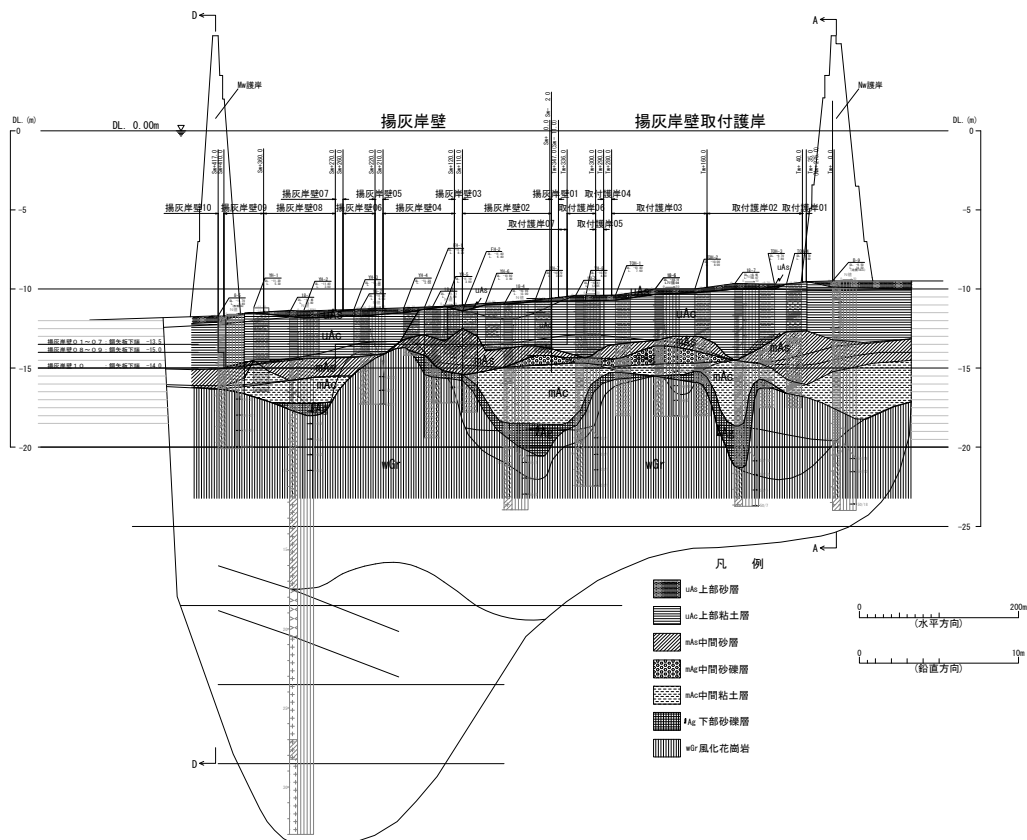


図-3.9 揚灰岸壁・揚灰岸壁取付護岸地質推定断面図

のイメージを示す。なお、本検討での品質管理は、鋼矢板打設時の遮水に関する合格／不合格を判定するものではなく、処分場完成後の遮水工の維持管理のために打設状況のデータを役立てることを主たる目的としている。

主な研究開発項目を以下にまとめ、検討フローを図-2.2に示した。

(a) アプリケーションの開発

・表-2.1に記された施工管理データ（電流・平均速度な

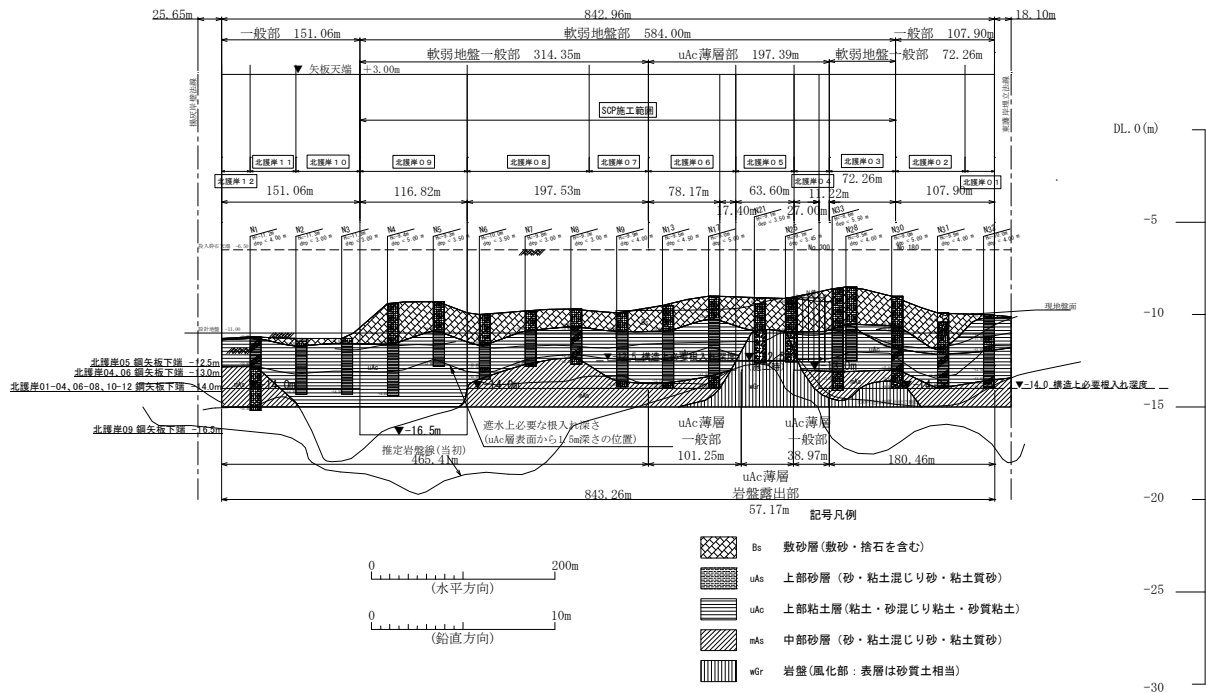


図-3.10 北護岸地質推定断面図

ど)の収集と整理のためのデータ処理プログラムを開発した。同プログラムは公開してはいないが、膨大なデータから標本データを抽出し、それを処理するには専用のプログラムが必要になる。

- ・上記データを管理、加工するためのデータベースを作成した。また、データ処理結果を可視化(画像化)する環境を整備した。

(b) 統計処理手法の検討

- ・サンプルデータによる地盤物性値の水平・鉛直方向の(距離)自己相関など、周辺の地盤情報が十分でないことを前提に標本をどう設定・抽出するかを検討した。
- ・適切な標本数の検討(抽出した標本が特定の分布統計量(たとえば正規分布)と見なせるかについて、適合度検定などにより検討した。

(c) 品質管理指標の選定と判定基準値の設定

- ・嵌合不良や障害物接触の検出に対して感度が高い品質管理指標を選定することを検討した。
- ・分布統計量から外れ値(異常値)を検出するための適切な判定基準値の設定を検討した。

(d) 取得データを用いた適用性検討

- ・上記で構築した統計的管理手法が実施工の品質管理に適用できるか否かを検討した。

(e) 地盤データと遮水機能検査との関連性検討

- ・統計的品質管理による判定と、周辺地盤データならびに遮水機能検査(打設後の矢板確認状況)との間に関連性が見出せるかを検討した。

3. 研究対象とする遮水護岸工事

3.1 工事全体概要

響灘3号埋立地は、電源開発(株)の石炭火力発電所から生じる石炭灰を埋立てに利用する目的で建設した施設で、同社若松事業所の既設埋立地が埋立てを完了するのに合わせて、その後継埋立地として2007年から2010年にかけて建設・整備されたものである。同埋立地の位置を図-3.1に示す。

響灘3号埋立地は、埋立面積約80万 m^2 、埋立容量約900万 m^3 の海面埋立方式の管理型廃棄物最終処分場であり、基準省令に適合するように、経済性、地質状況および施工性を考慮して遮水構造が設計・施工された。3号埋立地全体の遮水構造を表-3.1および図-3.2に示す。遮水工法は、遮水鋼矢板および遮水鋼管矢板による鉛直遮水工、フライアッシュモルタル、人工粘土による表面遮水工等の複数の工法が採用されている。

本研究では、西護岸、揚灰岸壁および北護岸(図-3.2参照)において、遮水工となる遮水鋼矢板の打設時の品質管理・評価手法について検討した。以下に、検討対象であるこれらの護岸構造および地層構成について記述する。西護岸、揚灰岸壁および北護岸における鋼矢板打設区間は、図-3.3に示すように、護岸構造や地層構成(主に粘性土地盤層厚)により工区が細分化されている。これらのうち、代表的な断面図を図-3.4~図-3.7に示す。

また、各護岸の地質推定断面図を図-3.8~図-3.10に示す。

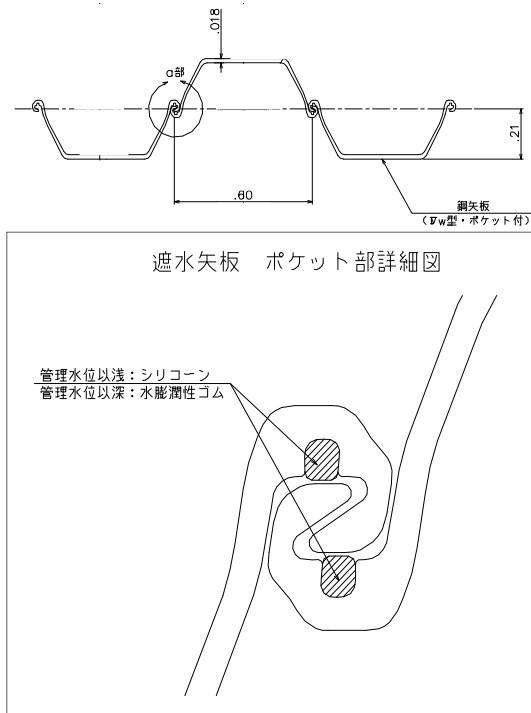


図-3.11 IVw型ポケット付鋼矢板断面図

3.2 遮水構造と施工法

(1) 遮水鋼矢板の構造

遮水鋼矢板の構造は、IVw型ポケット付鋼矢板を使用し、継手のポケット部に、3号埋立地の管理水位C.W.L.+0.80m以下は水膨潤性ゴムを挿入（打設前）、C.W.L.+0.80m以上はシリコン樹脂を注入（打設後）することにより遮水を行う構造となっている（図-3.11）。また、鋼矢板の根入れ長さを不透水性地層に1.5m以上とすることで基準を満足する遮水性を確保している（図-3.12）。

3号埋立地の不透水性地層の必要厚さは、3号埋立地建設地点の沖積粘土の透水係数が $6.65 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ であることから、基準省令による不透水性地層は透水係数 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 以下の層が厚さ5m以上と定められていることと同等の遮水性能、すなわち、式(3.1)で定義される浸透時間に関して同等であることを考慮して、式(3.2)により算出される $L=1.30\text{m}$ より安全側の値である1.5mと設定した。

$$t = \frac{L^2}{k \cdot h} \quad (3.1)$$

$$\frac{L^2}{6.65 \times 10^{-7} \times h} = \frac{500^2}{1 \times 10^{-5} \times h} \quad (3.2)$$

ここに、 t : 浸透時間、 L : 浸透距離（層厚）、 k : 透水係数、 h : 埋立地内外水位差である。なお、北護岸中央付近の不透水層厚が1.5m未満しかない範囲については、人工的に粘土層を構築し、不透水性地層の必要厚を確保した。

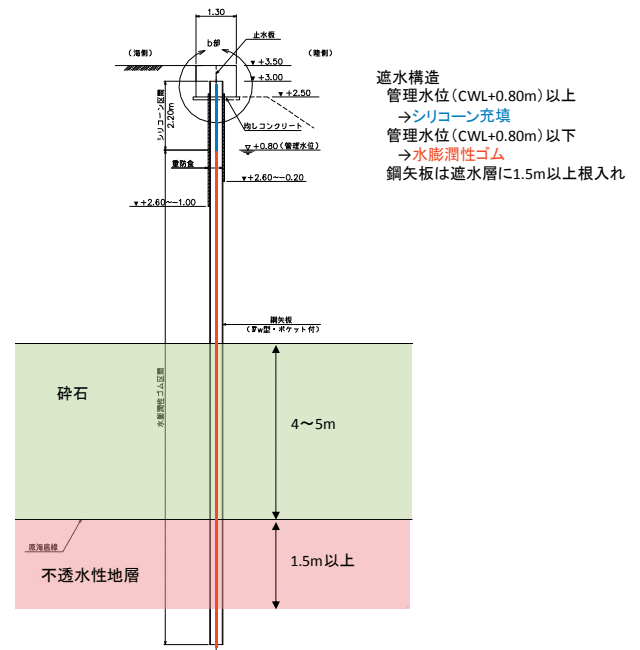


図-3.12 遮水鋼矢板の構造

遮水鋼矢板の継手ポケットに取り付ける水膨潤性ゴムは $\phi 12\text{mm}$ であり、鋼矢板打設前に取り付けておき、鋼矢板打設後に海水と接触してゴムが吸水膨張することによって鋼矢板と圧着し、遮水する構造になっている。ゴムの膨張率は、体積変化率175%である。水膨潤性ゴムは、先行して打設される鋼矢板の継手と後行して打設される鋼矢板の継手のどちらか一方に取り付けておけば、十分な遮水性能を確保することができる仕組みになっているが、本工事では先行側と後行側の双方の継手に取り付けることで、遮水性をさらに確実に信頼性の高いものにしていく。これは管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル（港湾空間高度化環境研究センター、2008）で謳われているフェイルセーフの概念とも合致するものである。

打設時には護岸の裏込砕石層約6mの区間に鋼矢板を貫入させるため、継手部の水膨潤性ゴムが損傷してしまうことが懸念された。このため、試験施工（3.3節および付録-1）を行い、水膨潤性ゴムの保護対策や健全性の確認方法などを検討した。この結果、継手部先端はボルト溶接および丸鋼溶接とし、継手部側面は発泡スチロール $\phi 20\text{mm}$ を2本取り付ける（図-3.13）ことにより、水膨潤性ゴムを保護した。発泡スチロールは、それが継手内部に残った場合であっても、十分な遮水性が確保されることが透水試験により確認された。鋼矢板打設時に貫入する裏込め砕石の規格も、20~13mmでも40~20mmでも、ともに問題なく施工できることが確認された。

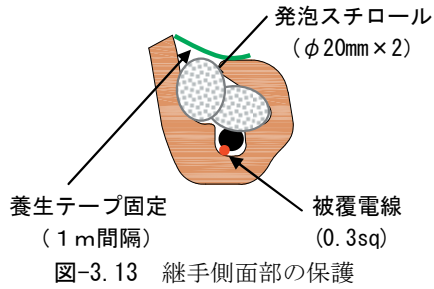


図-3.13 継手側面部の保護

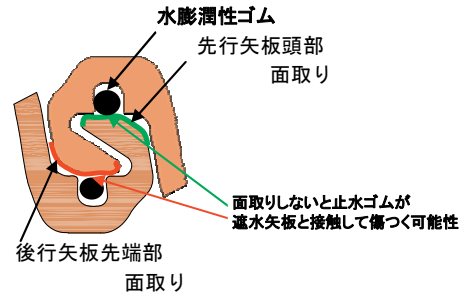


図-3.15 鋼矢板端部の面取り

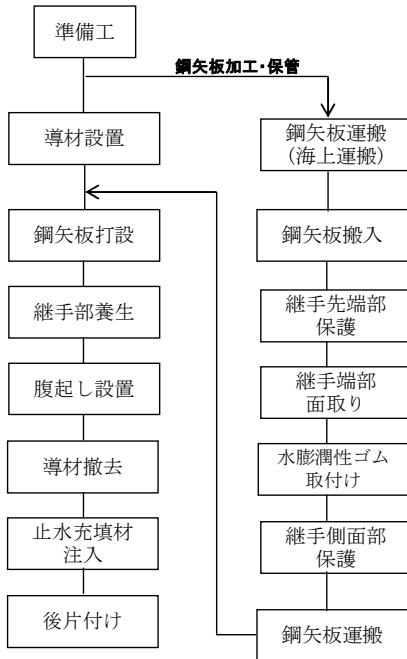


図-3.14 遮水鋼矢板打設フロー

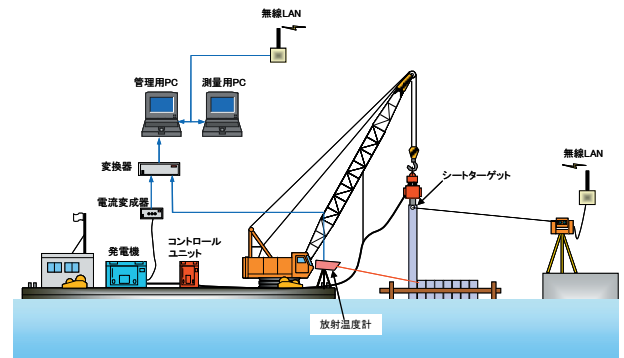


図-3.16 鋼矢板打設管理システム

また、鋼矢板打設時の水膨潤性ゴムの健全性を確認するために、被覆電線を水膨潤性ゴムと鋼矢板継手ポケット部に取り付けた。これにより、打設時の被覆電線の絶縁抵抗値を計測し、絶縁抵抗の有無によって間接的に水膨潤性ゴムの健全性を評価することとした。詳細については後述する。

(2) 遮水鋼矢板の施工法

鋼矢板の打設作業は、図-3.14に示すフローで行った鋼矢板の打設に先立ち、鋼矢板継手先端部の保護、継手端部の面取りおよび継手内清掃、被覆電線および水膨潤性ゴムの取り付け、継手側面部の保護を順次行った。継手先端部の保護は、先行側はボルトM16、後行側は丸鋼φ9mmを挿入し、それらを溶接することにより閉塞した。これにより、貫入時に採石が入り込むなどして水膨潤性ゴムが損傷することを防止した。

継手先端部および頭部の面取りは、後行打設鋼矢板を先行打設鋼矢板に挿入するときに水膨潤性ゴムの損傷を

防止するために行った(図-3.15)。また、継手内の汚れは歯ブラシ型ワイヤブラシとコンプレッサーによる圧縮空気で清掃した。被覆電線は、継手ポケット部にボンドを流し込み取り付けた。ボンドが乾燥・硬化した後、水膨潤性ゴムをローラー等で継手ポケット部に押し込み取り付けた。取付け状態は、専用の治具を使用して確認した。継手側面部の保護は、φ20mmの発泡スチロール2本を継手内に詰め込み、養生テープを貼って固定した(図-3.13参照)。

鋼矢板の打設は、台船上のクレーンで吊り込まれたパイロハンマ(90kW)を用いて行った。打設時は、継手部の水膨潤性ゴムの品質確保のために、試験施工により決められた計測などの管理項目を設定し、鋼矢板打設管理システム(自動計測システム)での計測を実施しながら行った(図-3.16)。また、砕石層を貫入するときは、継手部に砕石が混入し、水膨潤性ゴムを損傷する懸念が最も大きいと考えられることから、鋼矢板先端が砕石層内で上下することがないように、特に注意して打設した。

鋼矢板打設後は、管理水位以上のシリコン樹脂挿入部となる継手内部の養生(シリコン樹脂挿入前の保護)について、速やかに蓋を取り付けることにより異物が入ることを防止し、また、打設後の鋼矢板が変位しないように、極力時間を置かず腹起し材(1本あたり6m)を取り付けた。シリコン樹脂の注入は、裏込砕石および

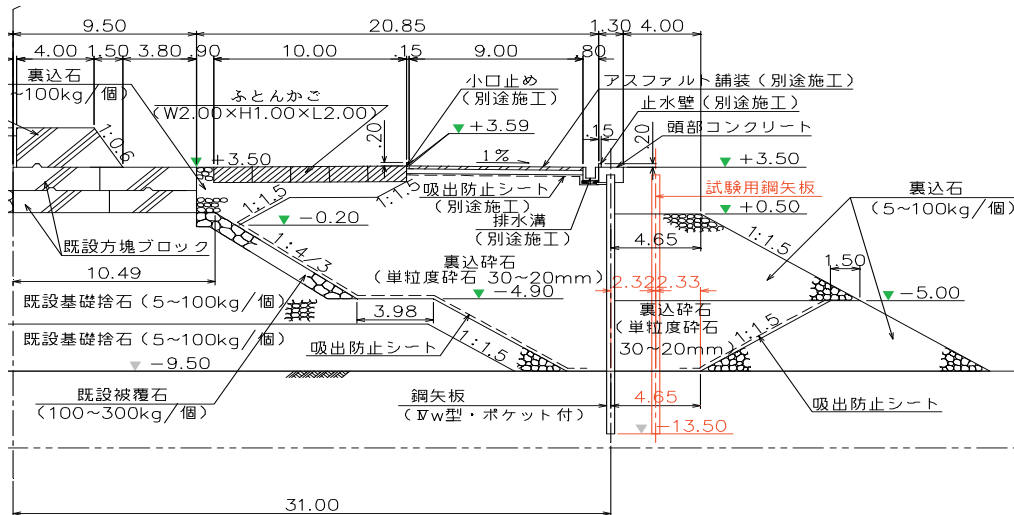


図-3.17 試験施工の断面例 (西護岸)



写真-3.1 試験施工での遮水鋼矢板の打設状況

裏込石投入後に、継手部頭部の養生蓋を撤去してから行った。注入管からの吐出量および継手部への注入力より、適切な注入管の引抜速度を計算し、時間を測定しながら注入管理を行った（付録-2参照）。

3.3 試験施工

(1) 試験施工の概要

遮水鋼矢板の施工・管理方法を決定するにあたり、施工事例の調査や管理項目の検討を行うとともに、試験施工を実施し、遮水材である水膨潤性ゴムの健全性確保のための具体的な対策等の確認を行った。試験施工は、主に西護岸の遮水矢板打設場所近傍の処分場内側の2箇所、および北護岸の1箇所の海上で行った。試験施工を行った断面例と試験施工状況を図-3.17と写真-3.1にそれぞれ示す。なお、これとは別に陸上の施工試験も実施した。（付録-1参照）

試験施工では、以下の項目の確認を行った。

- ・施工管理項目（案）の妥当性

- ・水膨潤性ゴムの異常検知方法の妥当性および実施可能性
- ・打設時の継手部保護対策の効果
- ・打設時の自動計測システムの適用性確認

(2) 試験施工での確認事項

試験施工の実施により把握・確認することができた事項を以下にまとめる。

- ・継手部保護材としてわら縄と発砲スチロールについて検討した結果、いずれも保護効果が確認できた。継手部の漏水量試験の結果などから総合的に判断して、発砲スチロールを保護材として採用した。
- ・被覆電線が損傷して被覆電線の絶縁抵抗値がゼロとなった位置（先行矢板における後行矢板先端の位置）と水膨潤性ゴムの損傷または摩耗した位置はほぼ一致し、絶縁抵抗値により水膨潤性ゴムの損傷の有無を感知できることを確認した。
- ・遮水矢板打設時において、後行矢板の継手側の水膨潤性ゴムにはほとんど損傷が見られなかった一方で、先行矢板の継手側のものは後行継手側のものより損傷しやすい傾向が見られた。
- ・試験施工では、鋼矢板の上下動を複数回行った先行側の継手部の一部で水膨潤性ゴムに欠損が生じたが、他のケースにおいては、亀裂や摩耗のみで欠損は生じなかった。先行継手側でも過剰な負荷をかけなければ欠損が生じないこと、ならびに、継手保護対策の効果が有効であることを確認できた。
- ・試験施工では、複数の被覆電線の形式を使用した。いずれも使用可能であることが確認できた。
- ・試験施工で用いた打設管理システム（自動計測システム）により、リアルタイムに施工状況をモニタリング

表-3.2 鋼矢板加工作業および水膨潤性ゴム取り付け時のチェックシート

No.		No.																								
工事名：管測3号埋立地建設工事 土木工事 橋区岸壁他工区		確認日：平成 年 月 日																								
打設場所：		確認者：																								
No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	備考
打設No.																										
鋼矢板Product No.																										
チェック項目・内容																										
先端部養生	先行側がボルト頭で全面閉塞され浮き確認されている																									
	後行側が丸鋼でポケット部塞まれ浮き確認されている																									
面取り・ケバ取り	先行側天端の止水ゴム接触部が面取りされている																									
	後行側下端の止水ゴム接触部が面取りされている																									
側面の止水ゴム接触部のケバ取りがされている																										
ポケット部清掃		異物(小石、砂等)や浮き確認がないこと																								
被覆電線		傷・キレ等損傷がない																								
		養生部が所定の方法で行われ、絶縁確認済のマークがついている																								
		取付位置の確認(確認より100mm上げ)																								
		ボンドは全体的に付着している																								
		継部シリコン注入区間においてボンドで固定されている																								
		天端においてのテーブにより固定がされている(パイプロハンマ当たり)																								
止水ゴム		テーブカットされ、テーブ一部が外向きになっている																								
		所定の長さを確保している																								
		ポケット内から浮きがなく設置されている(確認用ジグ使用)																								
保護材		所定長さを確保している																								
		下端部の養生が丁寧に確保されている																								
		固定テーブが所定の間隔で設置されている																								
絶縁確認		加工作業完了後、絶縁を確認する																								
備考																										

工事名：管測3号埋立地建設工事 土木工事 橋区岸壁他工区

チェック項目・内容				先端部養生		面取り・ケバ取り				止水ゴム					
日付	確認者	打設No.	鋼矢板Product No.	高	高	部	部	る	の	な	い	ポ	下		
				さ	さ	部	部	る	の	な	い	ケ	下		
				先行側がボルト頭で全面閉	後行側が丸鋼でポケット閉	先行側天端の止水ゴム接触	後行側下端の止水ゴム接触	側面の止水ゴム接触部	ケバ取りがされている	テーブカットされ、外向きに	所定の長さを確保している	ポケット内から浮きなく設置されている(確認用ジグ使用)	下端養生部による浮き		

できることを確認した。

- ・遮水鋼矢板の継手部漏水試験により、継手内に異物(発砲スチロール)が混入しても遮水性が確保されることを確認した。

3.4 遮水工の施工管理

(1) 水膨潤性ゴムの健全性確保のための方策

試験施工結果を反映して、水膨潤性ゴムの健全性を確保するための基本的な方策を以下に示す。

- ・水膨潤性ゴム取付け時のチェックリスト(表-3.2) 鋼矢板継手端部の面取り、被覆電線の取付け状況などを打設前に全数確認する。
- ・継手部の先端保護、側面保護の実施 継手内に碎石等が混入することを阻止し、水膨潤性ゴムを保護する。

・水膨潤性ゴムの健全性確認

被覆電線の絶縁抵抗を測定する(絶縁抵抗ありの状態が保持されれば水膨潤性ゴムは健全)。

・打設時データの同時取得

打設時の上下動の有無・深度、打設速度、パイプロハンマ電流値、鋼矢板頭部温度を同時に測定し、打設状況の管理を行う。打設時データを同時取得することで打設時に異常がないことを確認する。

(2) 施工管理項目

鋼矢板打設時の施工管理項目は、一般的に仕様書に記載される項目に、試験施工の経験を踏まえたいくつかの項目を追加する。追加項目として、鋼矢板の打設前管理、水膨潤性ゴムの損傷防止対策、試験施工の知見に基づく項目(打設時データの取得等)の3項目が挙げられる。図-3.18に施工管理項目を、表-3.3に打設管理システムの取

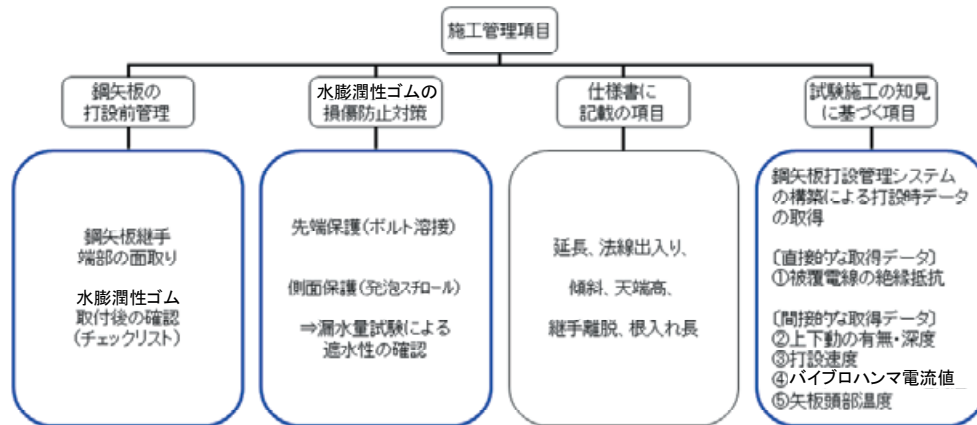


図-3.18 施工管理項目

表-3.3 遮水鋼矢板打設時の取得データ

直接的取得データ	間接的取得データ
①被覆電線の絶縁抵抗値	②上下動の位置・深度
	③打設時間・打設速度
	④バイプロハンマの電流値
	⑤鋼矢板頭部温度

得データの内容を示す。

(3) 鋼矢板継手部の品質評価方法

鋼矢板打設管理システムで取得されたデータ（図-3.18参照）から、以下の手順によって継手部の健全性を判断する。

・ステップ1:

被覆電線の絶縁抵抗値①の値により判断する。先行矢板および後行矢板のいずれかにおいて、絶縁抵抗値が計測されていれば水膨潤性ゴムは健全であると判断する。いずれの絶縁抵抗値も計測されなかった場合は、ステップ2で判断する。

・ステップ2:

いずれの絶縁抵抗値も計測されなかった場合には、試験施工の知見に基づき②、③、④、⑤の各取得データから総合的に水膨潤性ゴムの健全性を判断する。打設時に複数回の上下動を与えるような過度な負荷が生じていなければ、水膨潤性ゴムは健全であると判断する。

4. 施工管理データの処理方法

4.1 施工管理データ概要

当該工事における遮水鋼矢板打設時および打設後に収集したデータ項目の一覧は表-2.1に示した通りである。これらの項目のうち、打設時の管理項目は連続的にデータサンプリングを行っているため、個々のデータを標本とみなし、統計的処理によって客観的に外れ値などを見

出し、品質検査を行うことができる。

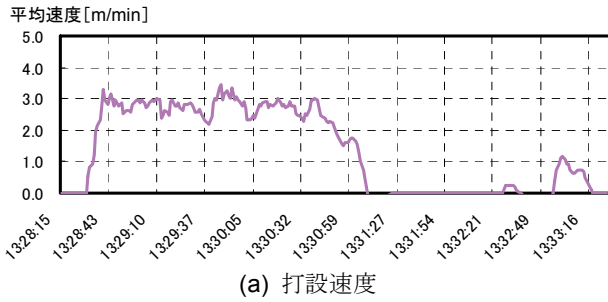
収集したデータ項目のうち、バイプロハンマへの負荷の指標となる「電流値」や鋼矢板打込み時の「打設速度」は、地盤抵抗や継手爪部の嵌合抵抗の影響が複合的に反映されている。また、今回の鋼矢板継手部には遮水材が事前装着され、遮水材の温度が200°C以上になると熱劣化の影響が懸念されていた。そのほか、打設中での絶縁抵抗の切断は、遮水材である水膨潤性ゴムへの負荷の程度を表していることも考えられる。

以上のことを考慮して、表-2.1に示している項目のうち、鋼矢板打設時の「打設速度」、「バイプロハンマの電流値」、「鋼矢板頭部温度」および「絶縁抵抗値」のデータを使用して、個々のデータの統計的処理やデータ間の相互関係調査、データの可視化処理（深度分布の画像化）を行うことで遮水性に影響を及ぼす負荷を評価できるか検討した。なお、現場で取得したデータは時系列で取得したデータであるため、それぞれ打設深度ごとのデータに変換する必要があること、また、それぞれの計測データに含まれるノイズ処理を行う必要があった。そこで本章では、事前処理として、大量に取得した連続データの処理方法について説明する。

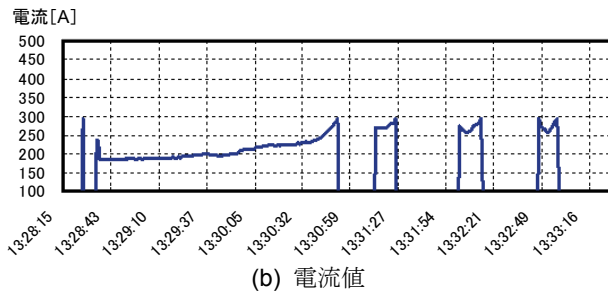
4.2 打設管理データの一次処理

遮水鋼矢板打設時の計測データの一例として、1枚の遮水鋼矢板を打設している際の打設速度とバイプロハンマ電流値の取得データを図-4.1に示す。各データは、1秒ごとに1データの頻度で取得されており、時系列のデータとして記録されている。

しかし、これらの打設データは、時系列なデータとしてとりまとめるよりも深度方向のデータとして整理する方が、今回の検討目的のために、発生している現象や健全性の評価を適切に行える。そのため、同時に取得した

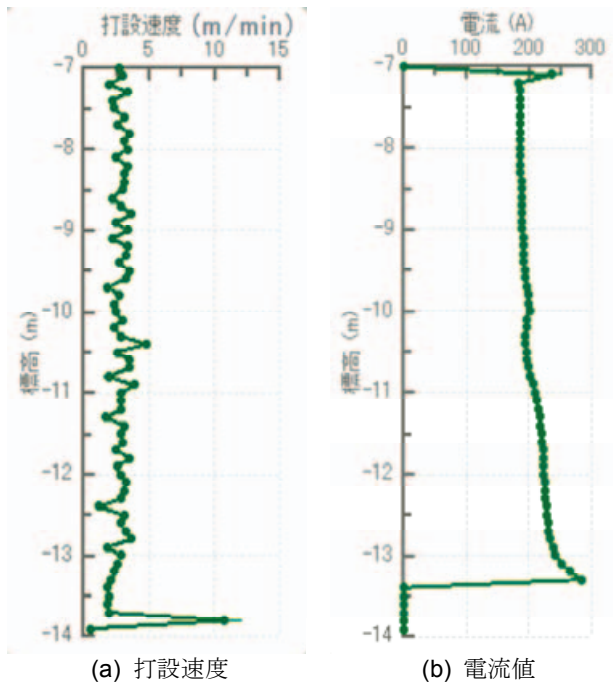


(a) 打設速度



(b) 電流値

図-4.1 施工管理データの時系列分布（生データ）



(a) 打設速度

(b) 電流値

図-4.2 施工管理データの深度分布（変換データ）

打設時間と深度の関係を用いて、図-4.1の生データから図-4.2のように打設速度や電流値の深度分布に変換した。これが、データの一次処理と位置づけられる重要な手順となる。

4.3 打設管理データの二次処理

既に述べたように、現場で取得した個々の施工管理データは1秒間に1回の頻度を基本として取得・記録しており、全体のデータ量は膨大であり、かつ生データにはノ

表-4.1 本検討での比較ケース

Case	抽出ピッチ	加工法
1	未加工データ	
2	5cm	初到達値
3	10cm	初到達値
4	10cm	区間平均値
5	20cm	初到達値

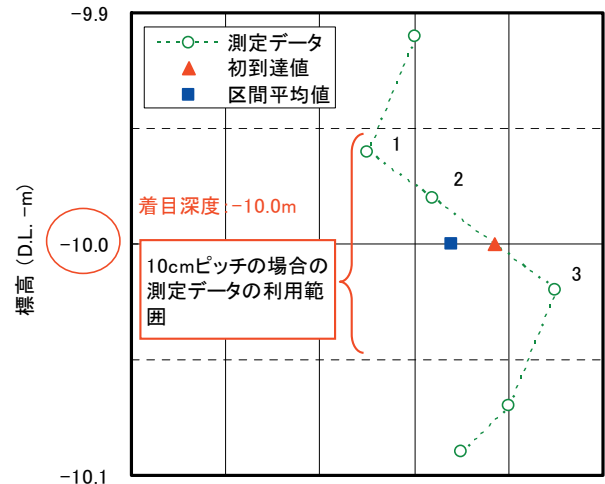


図-4.3 測定データの加工方法

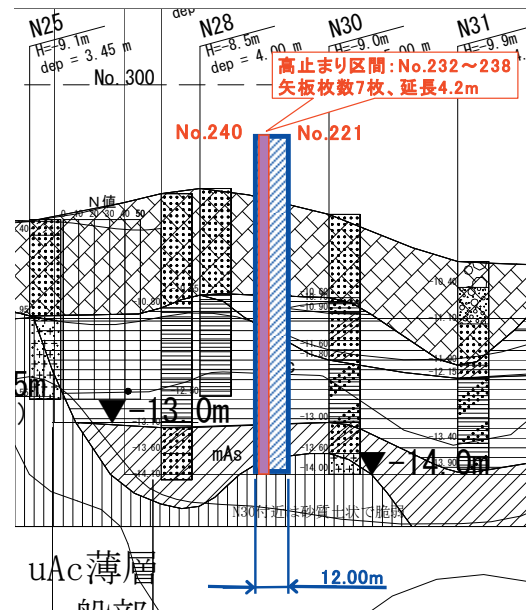
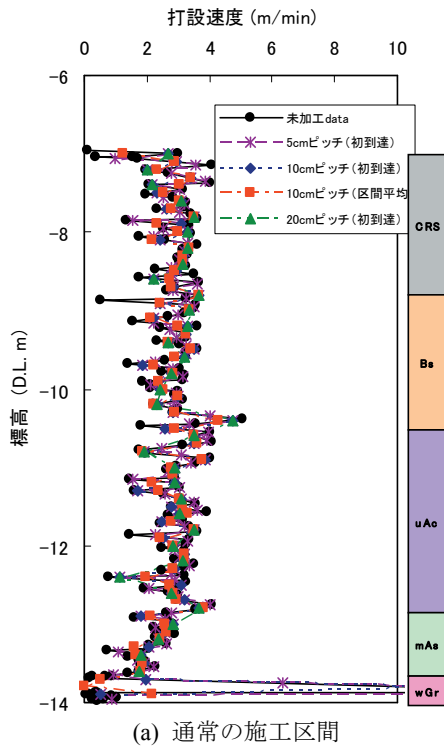
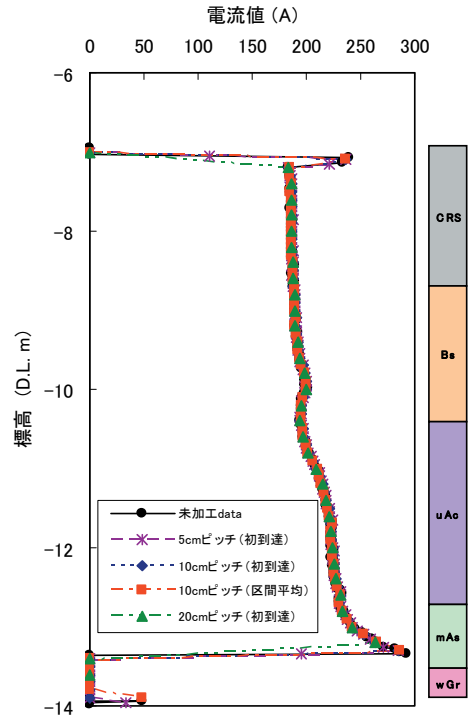


図-4.4 検討位置

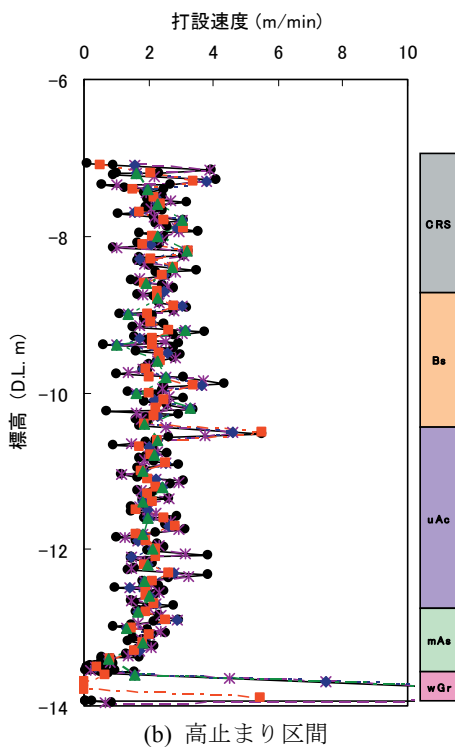
イズを多く含んでいることが想定された。そこで生の測定データのノイズを適度にカットし、データを平均化することで測定データ間の相関や土質分布との関係を見やすくする必要があった。そこで、適切なデータ分析および評価を行えるように一次処理データを平均化する処理手法を二次処理と位置づけた。以下にその内容を記述する。



(a) 通常の施工区間

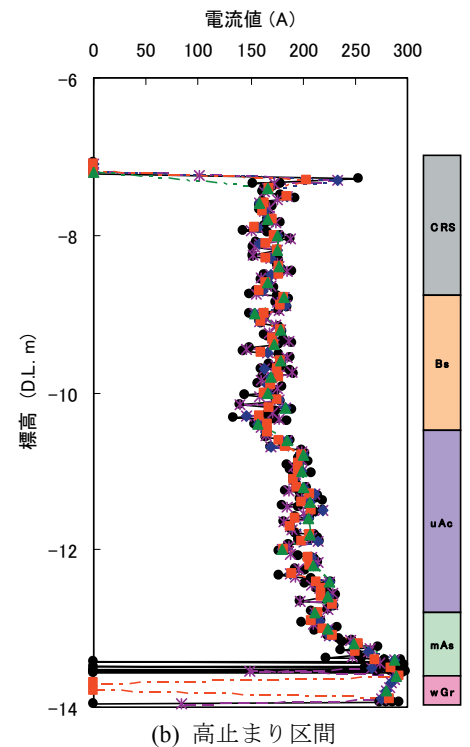


(a) 通常の施工区間



(b) 高止まり区間

図-4.5 打設速度の深度分布



(b) 高止まり区間

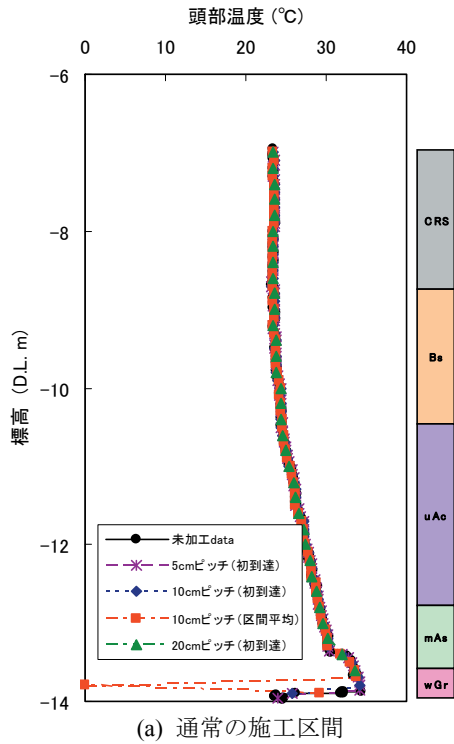
図-4.6 電流値の深度分布

(1) 抽出ピッチ・加工法の検討ケース

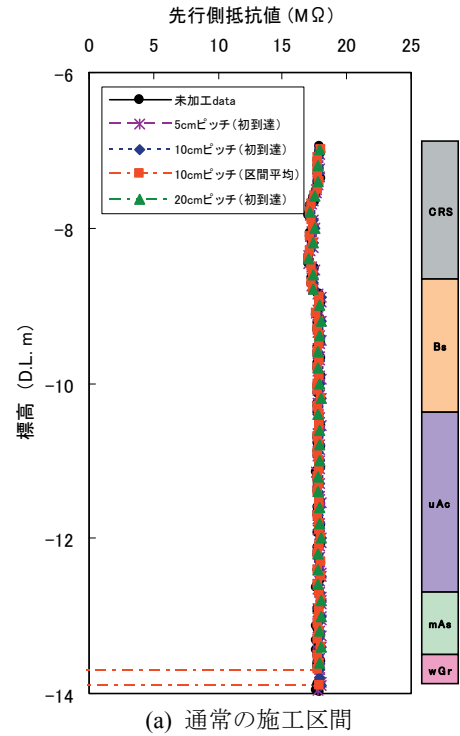
一次処理で施工管理データを深度方向データに変換した後、打設中のデータ変化、相互の測定項目や土層区分との関係が適切に表現され、かつ、統計分布にも偏りがなくデータを客観的に扱えるようなデータ抽出ピッチ

と加工法を検討した。

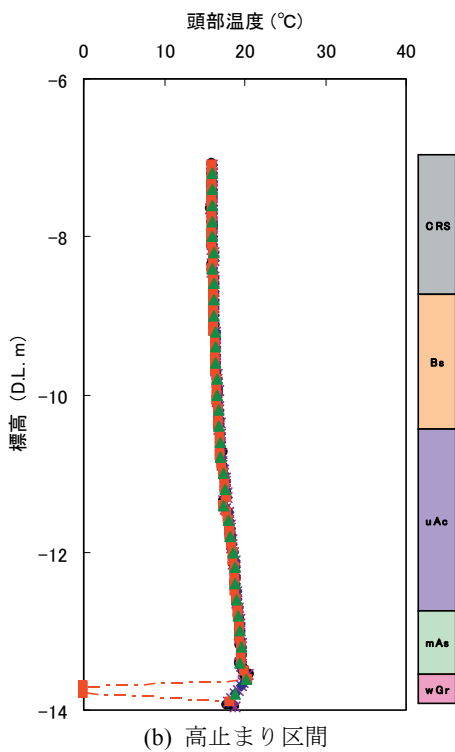
表-4.1には本検討で実施した検討ケースの一覧を示す。抽出ピッチは深度方向のデータ取得間隔を表しており、今回の検討では5cm、10cm、20cmの3種類の間隔とした。また、測定データの深度分布の一部を図-4.3に示したが、



(a) 通常の施工区間

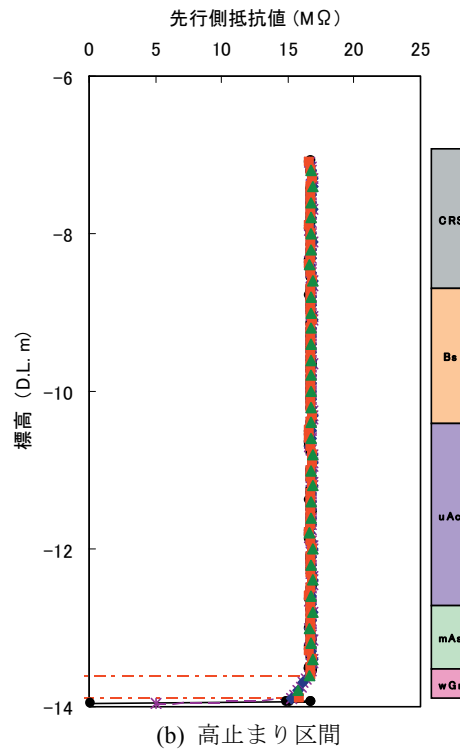


(a) 通常の施工区間



(b) 高止まり区間

図-4.7 頭部温度の深度分布



(b) 高止まり区間

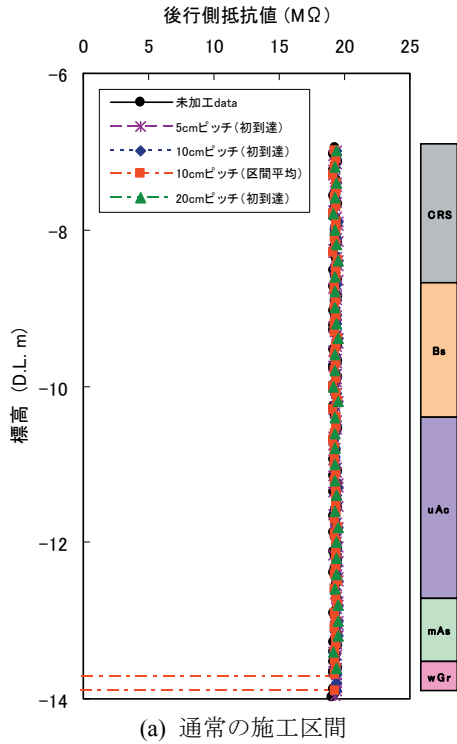
図-4.8 先行側絶縁抵抗値の深度分布

ここでは、標高D.L.-10.0mのデータを決定するための加工法を例にして説明する。加工法は、着目深度(D.L.-10.0m)を挟む2点のデータ間を線形補間して着目深度の値を算出する「初到達値法」、対象区間内のデータを全て平均化する「区間平均値法」の2種類の方法とした。

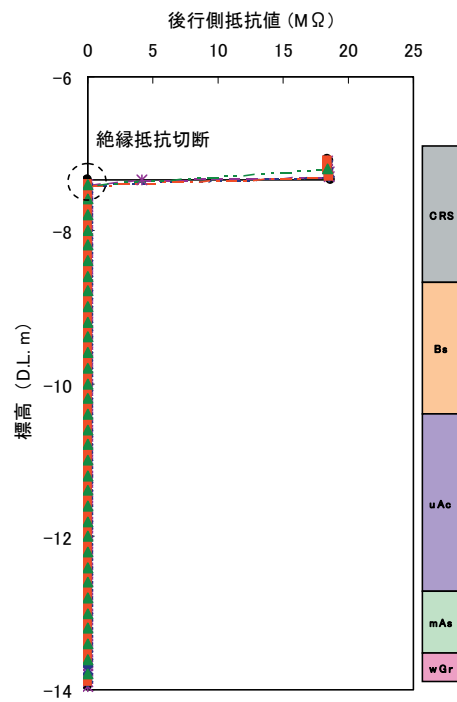
これらの方法を用いて、表-4.1に示した比較ケースで各取得データの深度分布や頻度分布を比較し、データの平均化処理の手法を検討した。

(2) 検討位置

抽出ピッチ・加工法の比較を行うために検討した位置



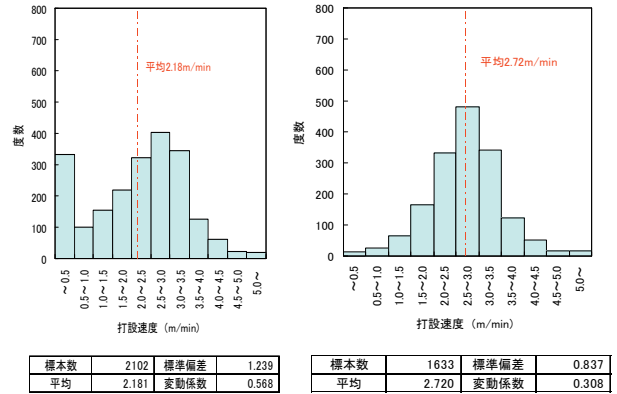
(a) 通常の施工区間



(b) 高止まり区間

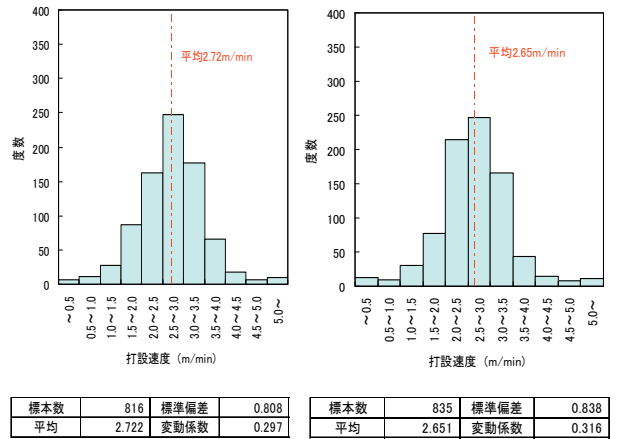
図-4.9 後行側絶縁抵抗値の深度分布

の断面を図-4.4に示す。対象位置は「北護岸03」区域の一部であり、19枚の鋼矢板の施工管理データの分析を試みた。ここで、対象位置の一部には鋼矢板の高止まりが生じた区間（7枚の鋼矢板の区間）が含まれており、通常の施工区間とあわせて評価・分析することで、特異な箇



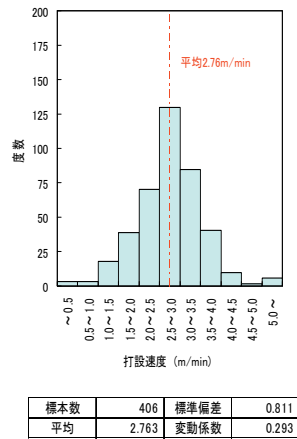
(a) 未加工データ

(b) 5cmピッチ，初到達



(c) 10cmピッチ，初到達

(d) 10cmピッチ，区間平均



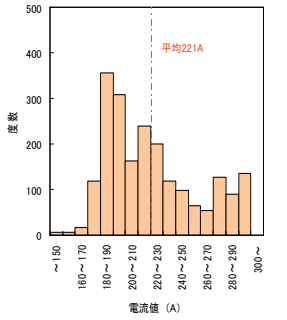
(e) 20cmピッチ，初到達

図-4.10 打設速度の頻度分布（通常区間）

所に対するデータ処理方法の適用性を検討した。

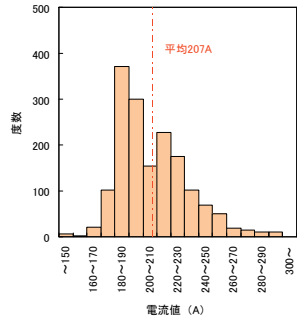
(3) データ処理方法の違いによる深度分布の比較

図-4.5～図-4.9に(a)通常の施工区間，(b)高止まり区間に分けて、それぞれ代表的な鋼矢板の打設速度，電流値，頭部温度，先行側絶縁抵抗値，後行側絶縁抵抗値の深度分布を例示する。いずれも表-4.1に示したデータの抽出ピッチや加工方法を変えたケースで比較を行った結果を



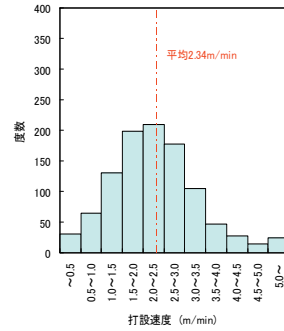
標本数	2102	標準偏差	36.878
平均	220.973	変動係数	0.167

(a) 未加工データ



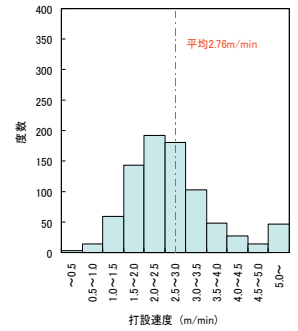
標本数	1633	標準偏差	25.236
平均	206.849	変動係数	0.122

(b) 5cmピッチ, 初到達



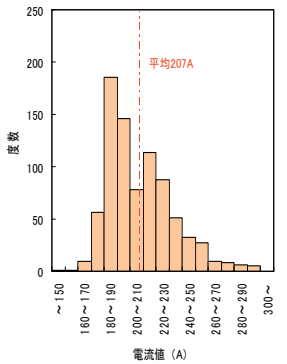
標本数	1030	標準偏差	1.287
平均	2.338	変動係数	0.551

(a) 未加工データ



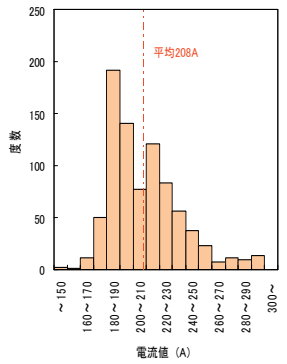
標本数	837	標準偏差	1.513
平均	2.763	変動係数	0.547

(b) 5cmピッチ, 初到達



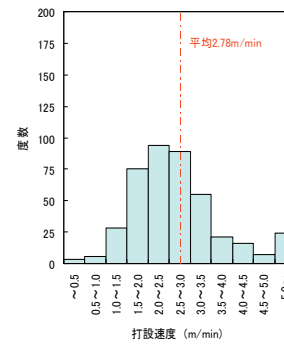
標本数	816	標準偏差	25.291
平均	207.129	変動係数	0.122

(c) 10cmピッチ, 初到達



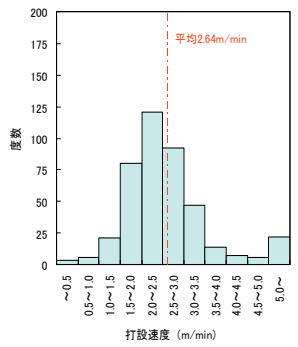
標本数	835	標準偏差	27.183
平均	208.462	変動係数	0.130

(d) 10cmピッチ, 区間平均



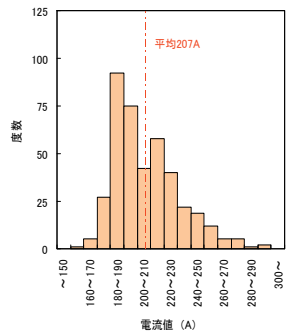
標本数	418	標準偏差	1.578
平均	2.778	変動係数	0.568

(c) 10cmピッチ, 初到達



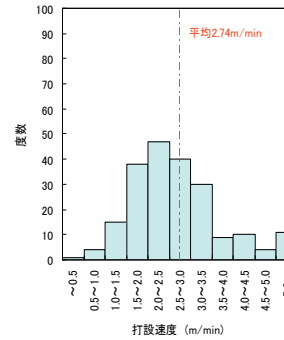
標本数	419	標準偏差	1.174
平均	2.638	変動係数	0.445

(d) 10cmピッチ, 区間平均



標本数	406	標準偏差	24.494
平均	206.720	変動係数	0.118

(e) 20cmピッチ, 初到達



標本数	209	標準偏差	1.433
平均	2.741	変動係数	0.523

(e) 20cmピッチ, 初到達

図-4.11 電流値の頻度分布 (通常区間)

図-4.12 打設速度の頻度分布 (高止まり区間)

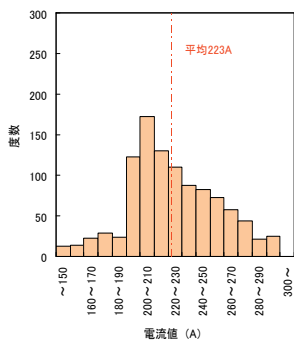
示している。それぞれの分布の特徴を以下に記す。

(a) 打設速度, 電流値

図-4.5と図-4.6に示すように、打設速度と電流値の「未加工データ」(生データ)は、深度方向に細かいスパイク(鋭く尖った形状の分布)を示しているのが特徴である。打設速度と電流値ともに、「5cmピッチ(初期到達)」は、「未加工データ」のスパイク位置をほぼ捉えているが振幅がやや小さくなる傾向にある。「10cmピッチ(初期到

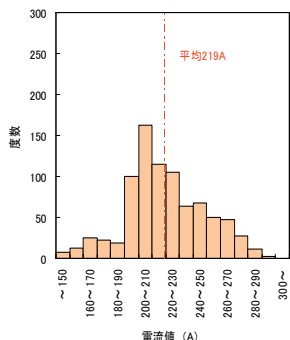
達)」も「未加工データ」のスパイク位置をほぼ捉えることができているが、振幅は「5cmピッチ(初期到達)」に比べてさらに小さくなる傾向にある。一方、「20cmピッチ(初期到達)」のケースでは、細かいスパイクがほとんど見えなくなり、振幅も減少した結果となった。

一方、「10cmピッチ(区間平均)」では、区間内にデータがない場合、データ欠損(ゼロとして表示)という扱いになった。これらの傾向は、(a)通常の施工区間と(b)



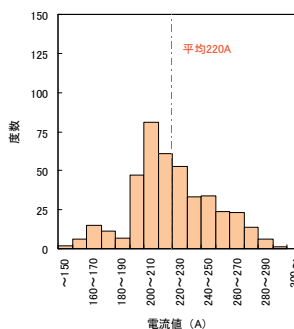
標本数	1030	標準偏差	31.917
平均	223.117	変動係数	0.143

(a) 未加工データ



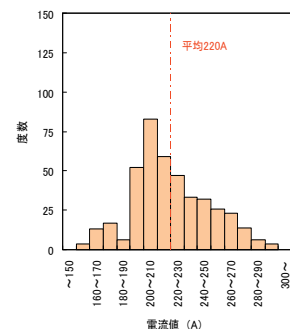
標本数	837	標準偏差	29.000
平均	219.455	変動係数	0.132

(b) 5cmピッチ, 初到達



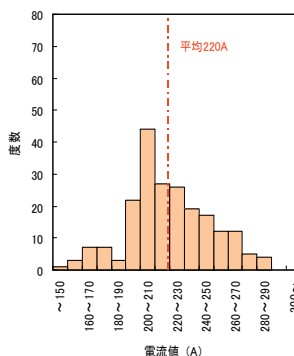
標本数	418	標準偏差	28.644
平均	219.785	変動係数	0.130

(c) 10cmピッチ, 初到達



標本数	419	標準偏差	28.586
平均	220.319	変動係数	0.130

(d) 10cmピッチ, 区間平均



標本数	209	標準偏差	28.652
平均	219.511	変動係数	0.131

(e) 20cmピッチ, 初到達

図-4.13 電流値の頻度分布 (高止まり区間)

高止まり区間のどちらの区間でも同じであった。

(b) 頭部温度, 絶縁抵抗値

図-4.7に頭部温度, 図-4.8と図-4.9にそれぞれ先行側と後行側の絶縁抵抗値の深度分布を示す。これらの「加工前データ」(生データ)は, 深度変化が非常に少なく, 上述(a)の打設速度や電流値のデータと異なり, スパイクが見られない。したがって, 当然ではあるが, 初到達値のケースでは抽出ピッチを変えても, 「加工前データ」と変

わらない結果となる(つまり,加工の必要が無い)。一方, 区間平均では, データ欠損がある場合, データが大きく逸脱する結果となった。

(c) データ抽出方法の評価

既に示したように, 各現場計測データのうち, 打設速度と電流値の「未加工データ」(生データ)は, 深度方向に細かいスパイク(鋭く尖った形状の分布)を示しているのが特徴である。それに対して, 頭部温度, 絶縁抵抗値については, 深度方向に大きな変化やスパイクがみられないのが特徴である。

前者(打設速度と電流値)については, 加工法を「初期到達」としてデータ抽出ピッチを5cm, 10cm, 20cmとしたところ, データ抽出ピッチが5cm, 10cmのケースでは生データのスパイク位置が捉えられていたが, 20cmピッチのケースではスパイク位置を捉えられない結果となった。また, 抽出ピッチ幅が大きいほどスパイクの幅が小さくなる傾向が認められた。したがって, 「初期到達」の場合には, データ抽出ピッチが小さいほうがノイズをカットしながら現実に近い傾向を捉えられる傾向にあることがわかった。データ加工方法として「区間平均」とした場合は, データ欠損がある場合にデータが大きく逸脱する結果となり, 好ましい方法ではないことがわかった。

一方, 深度方向に大きな変化やスパイクが見られない頭部温度, 絶縁抵抗値については, ノイズカットを目的としたデータ処理を行う必要がないことがわかった。

(4) データ処理方法の違いによる統計分布の比較

上記のデータ処理方法の違いによる統計分布の違いについて検討した結果を以下に示す。ここでの検討対象は, 鋼矢板の打設速度と電流値とした。上記のように, ノイズカットを目的としたデータ処理を必要としない頭部温度と絶縁抵抗値については, ここでの検討から除外した。

図-4.10と図-4.11に通常の施工区間での鋼矢板の打設速度と電流値の頻度分布を, 図-4.12と図-4.13に高止まり区間での鋼矢板の打設速度と電流値の頻度分布をそれぞれ示す。

これらの抽出・加工したデータの統計量が抽出ピッチ(5cm, 10cm, 20cm), 加工法(初期到達値, 区間平均値)によって有意な差を生じるか否かを以下の統計的検定手順で検討した。

(a) 打設速度, 電流値データのそれぞれについて統計的検定を行う。

(b) 10cmピッチ(初期到達値)の統計データを基準に, 他の抽出・加工ケースと母平均の差, ならびに母分散(バラツキ)の差の検定を行う。

表-4.3 打設速度の検定結果 (通常区間)

V-1【通常打設ケース、打設速度】5cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(初到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定統計量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
2.7196	0.8371	1633	1656	母分散の差の検定	-0.0506	-1.9614	1.9614	棄却不可
標本平均	標本分散	標本数			検定統計量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
2.7215	0.8079	816	1.0363	0.8889	1.1277	棄却不可		

V-3【通常打設ケース、打設速度】10cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(区間平均)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定統計量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
2.7215	0.8079	816	1649	母分散の差の検定	1.5812	-1.9614	1.9614	棄却不可
標本平均	標本分散	標本数			検定統計量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
2.6509	0.8383	835	0.9636	0.8723	1.1463	棄却不可		

V-5【通常打設ケース、打設速度】10cmピッチ(初到達) VS 20cmピッチ(発到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定統計量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
2.7215	0.8079	816	807	母分散の差の検定	-0.7595	-1.9629	1.9629	棄却不可
標本平均	標本分散	標本数			検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
2.7631	0.8108	406	0.9963	0.8468	1.1866	棄却不可		

表-4.4 電流値の検定結果 (通常区間)

I-1【通常打設ケース、電流値】5cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(初到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
206.8487	25.2357	1633	1628	母分散の差の検定	-1.3006	-1.9614	1.9614	棄却不可
標本平均	標本分散	標本数			検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
207.1290	25.2913	816	0.9978	0.8889	1.1277	棄却不可		

I-3【通常打設ケース、電流値】10cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(区間平均)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
207.1290	25.2913	816	1649	母分散の差の検定	-5.2883	-1.9614	1.9614	棄却!
標本平均	標本分散	標本数			検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
208.4621	27.1825	835	0.9304	0.8723	1.1463	棄却不可		

I-5【通常打設ケース、電流値】10cmピッチ(初到達) VS 20cmピッチ(発到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均	標本分散	標本数	自由度	母平均の差の検定	検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{1bar}	s_1^2	N_1	m		$T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	$-t_m(\alpha/2)$	$t_m(\alpha/2)$	
207.1290	25.2913	816	820	母分散の差の検定	1.3537	-1.9629	1.9629	棄却不可
標本平均	標本分散	標本数			検定量	棄却域下限	棄却域上限	判定
\bar{x}_{2bar}	s_2^2	N_2	$T(s_1^2, s_2^2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	$F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定		
206.7199	24.4943	406	1.0325	0.8468	1.1866	棄却不可		

(c) 比較する2つの加工・抽出データの全体を標本とみなし、それらを含む2つの母集団は正規母集団 $\{N(\mu_1, \sigma_1^2), N(\mu_2, \sigma_2^2)\}$ であると仮定する。

(d) 「母平均の差」の検定では、母分散 (σ_1^2, σ_2^2) は共に未知であると仮定する (ウェルチの検定)。仮説 $H_0: \mu_1 = \mu_2$ と対立仮説 $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ に対して、母平均の差 $(\mu_1 - \mu_2)$ の検定統計量は次式で表される。

$$T(\bar{x}_1, \bar{x}_2, s_1^2, s_2^2) = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (4.1)$$

ここで、

$$s_1^2 = \frac{\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{N_1 - 1}, s_2^2 = \frac{\sum (x_{2j} - \bar{x}_2)^2}{N_2 - 1} \quad (4.2)$$

であり、検討統計量 T の分布は自由度 m の t 分布に従う。ここに、

$$m = \frac{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{N_1^2(N_1 - 1)} + \frac{s_2^4}{N_2^2(N_2 - 1)}} \quad (4.3)$$

表-4.5 打設速度の検定結果（高止まり区間）

V-2【高止まり打設ケース、打設速度】5cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(初到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定統計量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
2.7634	1.5126	837	818		-0.2003	-1.9629	1.9629	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定統計量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
2.7783	1.5776	418	0.9588		0.8487	1.1838	棄却不可	

V-4【高止まり打設ケース、打設速度】10cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(区間平均)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定統計量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
2.7783	1.5776	418	817		1.7353	-1.9629	1.9629	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定統計量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
2.6376	1.1745	419	1.3433		0.8252	1.2118	棄却!	

V-6【高止まり打設ケース、打設速度】10cmピッチ(初到達) VS 20cmピッチ(発到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定統計量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
2.7783	1.5776	418	434		0.3650	-1.9654	1.9654	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
2.7407	1.4330	209	1.1009		0.7937	1.2719	棄却不可	

表-4.6 電流値の検定結果（高止まり区間）

I-2【高止まり打設ケース、電流値】5cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(初到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
219.4555	29.0002	837	838		-1.0245	-1.9628	1.9628	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
219.7845	28.6437	418	1.0124		0.8487	1.1838	棄却不可	

I-4【高止まり打設ケース、電流値】10cmピッチ(初到達) VS 10cmピッチ(区間平均)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
219.7845	28.6437	418	835		-1.4440	-1.9628	1.9628	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
220.3185	28.5862	419	1.0020		0.8252	1.2118	棄却不可	

I-6【高止まり打設ケース、電流値】10cmピッチ(初到達) VS 20cmピッチ(発到達)						有意水準 α	0.05	
標本平均 \bar{x}_{1bar}	標本分散 s_1^2	標本数 N_1	自由度 m	母平均の 差の検定	検定量 $T(\bar{x}_{1bar}, \bar{x}_{2bar}, s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $-t_m(\alpha/2)$	棄却域上限 $t_m(\alpha/2)$	判定
219.7845	28.6437	418	416		0.6026	-1.9657	1.9657	棄却不可
標本平均 \bar{x}_{2bar}	標本分散 s_2^2	標本数 N_2		母分散の 差の検定	検定量 $T(s_1^2, s_2^2)$	棄却域下限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(1-\alpha/2)$	棄却域上限 $F_{(N_1-1, N_2-1)}(\alpha/2)$	判定
219.5113	28.6522	209	0.9997		0.7937	1.2719	棄却不可	

(e) 「母分散の差」の検定は、以下の通りとなる。
 仮説 $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ と対立仮説 $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ に対して、母分散の差 $(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)$ の検定統計量は次式で表される。

$$T(s_1^2, s_2^2) = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (4.4)$$

ここで、

$$s_1^2 = \frac{\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2}{N_1 - 1}, s_2^2 = \frac{\sum (x_{2j} - \bar{x}_2)^2}{N_2 - 1} \quad (4.5)$$

であり、検定統計量 T の分布は自由度 $(N_1 - 1, N_2 - 1)$ の F 分布に従う。

(f) いずれの検定も有意水準 $\alpha = 0.05$ （信頼度95%）の両側検定とする。

上記手順で検討した結果のうち、通常区間での結果を表-4.3と表-4.4に、高止まりした区間での結果を表-4.5と表-4.6に示す。それぞれの検討結果の特徴を以下に示す。

打設速度データの検定では、V-4の高止まり打設ケース「10cmピッチ（初到達）」と「10cmピッチ（区間平均）」

の「母分散の差の検定」のみで仮説 H_0 が棄却され、「両者のデータ分布のバラツキに差がある」という結果になった。

電流値データの検定では、I-3の通常打設ケース「10cmピッチ（初到達）」と「10cmピッチ（区間平均）」の「母平均の差の検定」のみで仮説 H_0 が棄却され、「両者の平均値に差がある」という結果になった。

以上の検討により、今回採用した測定データの抽出および加工法では、抽出ピッチ（5cm, 10cm, 20cm）によって統計的に有意な差は認められず、データ加工法（初到達値, 区間平均値）によってのみ有意な差が生じることがわかった。すなわち、各ケースのうち、統計的処理によって「抽出ピッチ：10cm, 加工法：初到達値」と有意な差がみられるケースは、「抽出ピッチ：10cm, 加工法：区間平均値」であった。その他のケースでは有意な差は見られない結果となった。

4.4 データ加工法のまとめ

本章では、大量に取得している施工管理データ（鋼矢板の打設速度、バイプロハンマの電流値、鋼矢板の頭部温度）のノイズをカットし、データを平均化することで、測定データ間の相関や土質分布との関係を適切に捉えることを目的として、データの抽出ピッチや加工法を検討した。得られた知見を以下にまとめる。

1) 施工管理データは時系列データとして記録されてお

り、別途取得した打設時間と深度の関係から、各データの深度分布に変換することが可能となる。このような処理を施すことで、実際の現象や鋼矢板の健全性などを深度分布に着目して検討できるようになる。

- 2) 各施工管理データのうち、打設速度と電流値の「未加工データ（生データ）」は、深度方向に細かいスパイク（鋭く尖った形状の分布）を示しているのが特徴である。それに対して、頭部温度、絶縁抵抗値については、深度方向に大きな変化やスパイクがみられなかった。すなわち、頭部温度、絶縁抵抗値については、ノイズカットを目的としたデータ処理を行う必要がないといえる。
- 3) 打設速度と電流値の深度方向分布については、データ抽出方法を初到達値とした場合に、データ抽出ピッチが広いと実際の現象を精度良く捉えられないことがわかった。抽出ピッチが20cmの場合は、生データのスパイクを正確に捉えられない。
- 4) 打設速度と電流値の深度分布について、データ抽出方法を区間平均としたケースでは、データ欠損がある場合、生データと比較して大きく逸脱する結果となり、好ましい方法ではないことがある。
- 5) 打設速度、電流値、頭部温度の統計データが抽出ピッチや加工法によって有意な差が生じるかを統計的検定によって検討したところ、抽出ピッチ（5cm, 10cm, 20cm）によって統計的に有意な差は認められず、加工

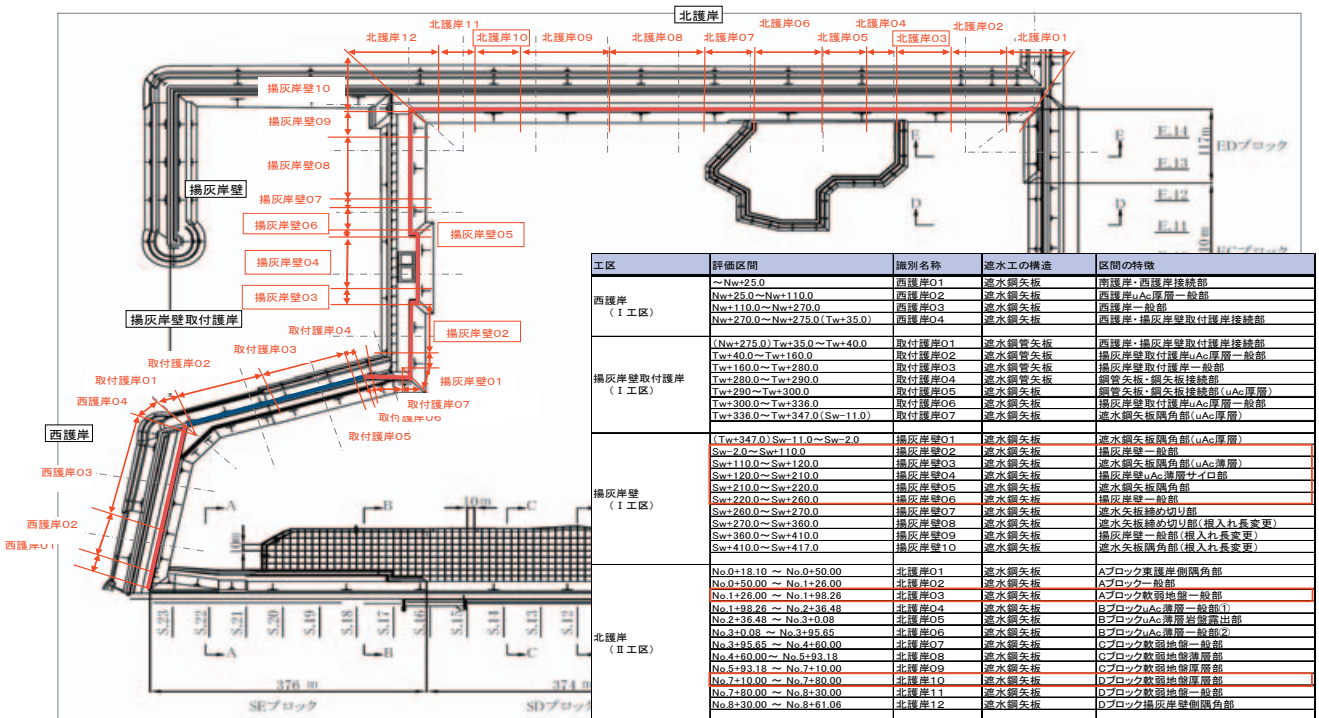


図-5.1 全体平面図

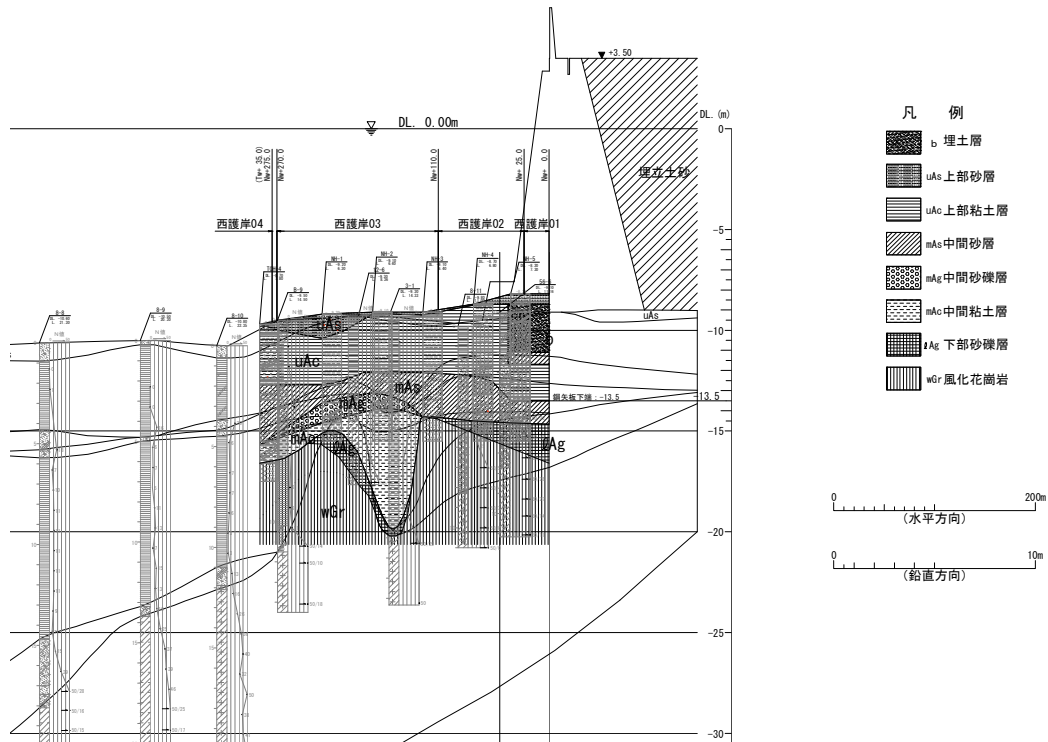


図-5.2(a) 地層推定断面 (西護岸)

法（初到達値，区間平均値）によってのみ差を生じることがわかった。

以上の結果から，データ処理方法として，データ抽出方法は「初到達値」が好ましく，データ抽出ピッチが細かいほうが好ましいという結果となった。ただし，データ抽出ピッチが5cmと10cmでは統計的に有意な差は認められない結果であったため，膨大なデータ量を取り扱う都合から，データ数の少ない抽出ピッチ10cmを採用した。このような判断に基づいて，以降の施工データの処理・分析を進めることとした。

5. 施工管理データの分析結果

5.1 調査概要

本研究で調査を行った区域の全体平面図を図-5.1に示す。これらの各区間（西護岸01～04，取付護岸01～07，揚灰岸壁01～10，北護岸01～12）で遮水鋼矢板打設時の連続データを取得した。施工管理データの分析は，取得した施工データのうち図-5.1に示した赤枠の3つの区間の範囲を抽出して行った。

分析対象区間は，「揚灰岸壁02～06」の一部，「北護岸03」，「北護岸10」の区間とした。図-5.2にはそれぞれの区域での地層推定断面図を示す。それぞれの区域での対象区間を選定した理由は次の通りである。

- ・揚灰岸壁：表-5.1に揚灰岸壁における絶縁抵抗がゼロになった鋼矢板数量と地層の特徴を示す。遮水鋼矢板の打設は西護岸より始めたが，鋼矢板打設管理システムや被覆電線の仕様を改善しながら施工を進めた。管理システム等の仕様が最終形となり，取得データの内容が統一された期間に施工された区間を検討対象に選んだ。なお，揚灰岸壁07～10までは鋼矢板の最終締切および北護岸との取合部であり，一般的な条件と異なるため本研究の対象外とした。
- ・北護岸：表-5.2に北護岸における絶縁抵抗がゼロになった鋼矢板数量と地層の特徴を示す。「北護岸03」は，一部の根入れ下端部が硬質層（wGr層）であることや，鋼矢板が高止まりした箇所が多かったことから選定した。「北護岸10」は，「北護岸03」と比べて土層構成や護岸タイプが異なること，絶縁抵抗がゼロとなった鋼矢板数量が多かったことから選定した。

このように対象区間を選定して，施工管理データを抽出し，個々のデータの統計的処理，各データ間の関係調査，可視化処理による検討を行うことで，施工管理データを分析した。

絶縁抵抗計測位置の詳細を図-5.3に示す。絶縁抵抗消失の有無により水膨潤性ゴムの損傷の指標としており，試験施工で損傷が見られた遮水鋼矢板打設時の先行側継手に設置した抵抗を分析対象とした。なお，図に示すよ

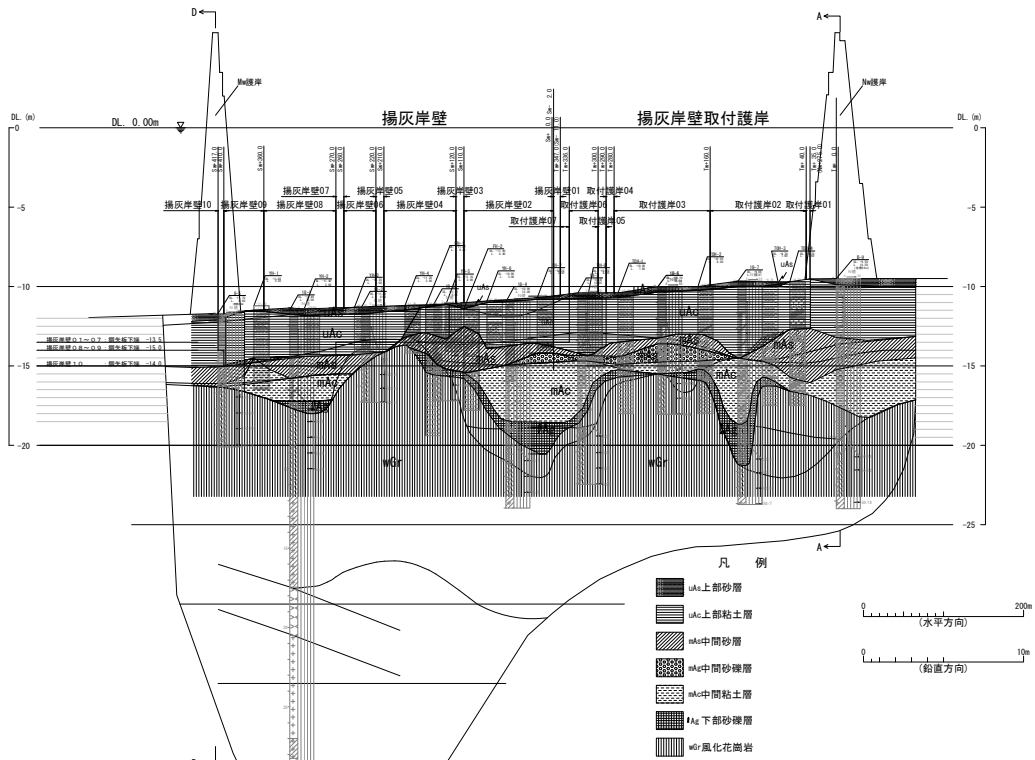


図-5.2(b) 地層推定断面（揚灰岸壁・揚灰岸壁取付護岸）

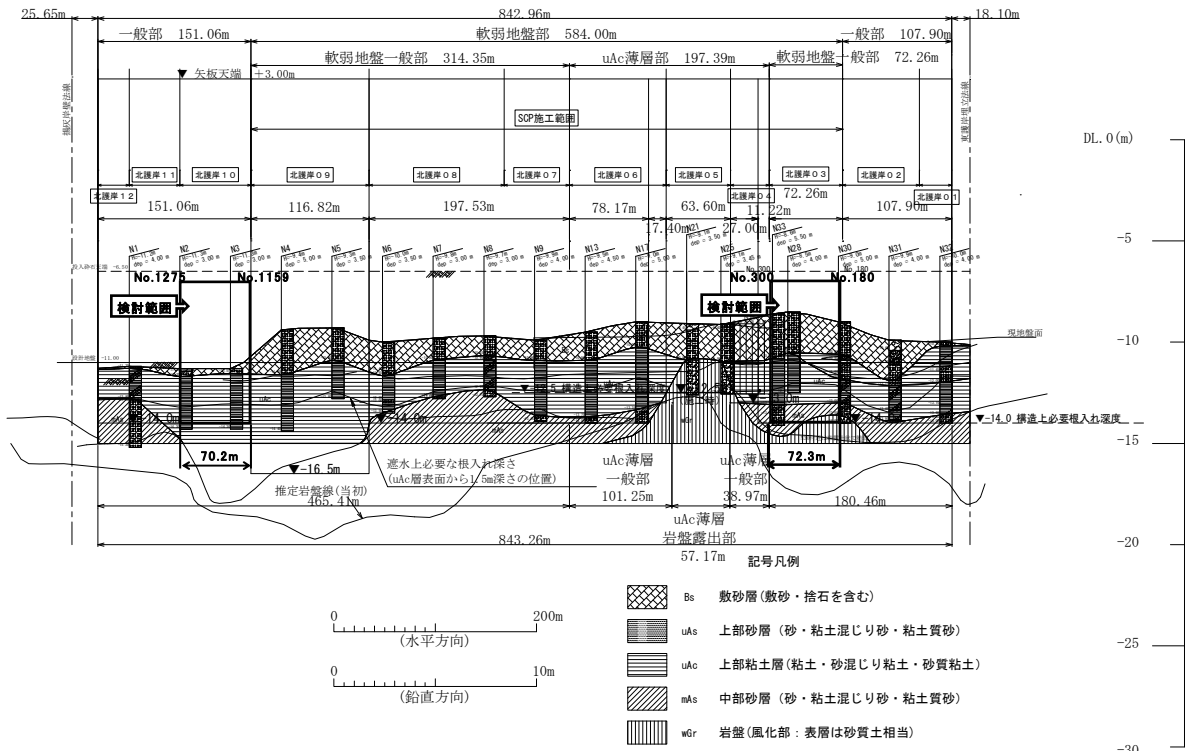


図-5.2(c) 地層推定断面（北護岸）

うに、絶縁抵抗の計測は後行側継手においても打設中の抵抗値の変化を計測している。

遮水鋼矢板の打設速度の深度分布のうち、絶縁抵抗が維持されたケースと消失したケースを図-5.4に例示する。

これらのケースでは、絶縁抵抗が突然消失していることが読み取れる。このように、絶縁抵抗の有無によって、鋼矢板への負荷（特に水膨潤性ゴムへの負荷）の影響を判断して検討を進めることとした。ここで、絶縁抵抗が

表-5.1 揚灰岸壁の絶縁抵抗ゼロの数量と地層の特徴

護岸タイプ	護岸No.	矢板(枚)	抵抗ゼロ矢板(枚)	抵抗ゼロ矢板割合(%)	土質
取付護岸 取合部	揚灰岸壁01	15	2	13.3	上部砂層、粘土層まで根入
一般部	" 02	187	16	8.6	上部砂層、粘土層まで根入(一部中間砂層)
	" 03	33	6	18.2	上部砂層、粘土層、中間砂層まで根入
サイロ部	" 04	150	13	8.7	上部砂層、粘土層、中間砂層まで根入(一部粘土層)
一般部	" 05	33	0	0	上部砂層、粘土層まで根入
	" 06	68	3	4.4	"
	" 07	11	0	0	"
	" 08	148	13	8.8	上部砂層、粘土層、中間砂層まで根入
" 09	77	23	29.9	"	
北護岸 取合部	" 10	23	7	30.4	"

※)一部揚灰岸壁02含む

表-5.2 北護岸の絶縁抵抗ゼロの数量と地層の特徴

護岸タイプ	護岸No.	矢板(枚)	抵抗ゼロ矢板(枚)	抵抗ゼロ矢板割合(%)	土質
A	北護岸01	52	4	7.7	敷砂層、粘土層、砂層まで根入
	" 02	127	1	0.8	"
	" 03	121	20	16.5	敷砂層、粘土層、砂層まで根入(一部岩盤層)
B	" 04	65	1	1.5	敷砂層、粘土層まで根入
	" 05	105	10	9.5	敷砂層、岩盤層まで根入
	" 06	160	10	6.3	敷砂層、粘土層、砂層まで根入
C	" 07	107	10	9.3	"
	" 08	225	7	3.1	"
	" 09	197	2	1.0	敷砂層、粘土層、岩盤層まで根入
D	" 10	117	25	21.4	敷砂層、粘土層まで根入
	" 11	83	21	25.3	敷砂層、粘土層まで根入(一部砂層)
	" 12	87	9	10.3	敷砂層、粘土層、砂層まで根入

表-5.3 対象区域での遮水鋼矢板に負荷がかかる確率

対象区域	矢板枚数(枚)	先行側 切断本数 (本)	後行側 切断本数 (本)	同時に切断 する確率 (%)
揚灰岸壁03~06 [*])	310	24	1	0.02
北護岸03	121	20	3	0.41
北護岸10	117	25	0	0.00
対象区域全体	548	69	4	0.09

※)一部揚灰岸壁02含む

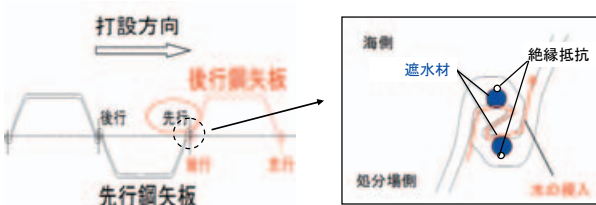
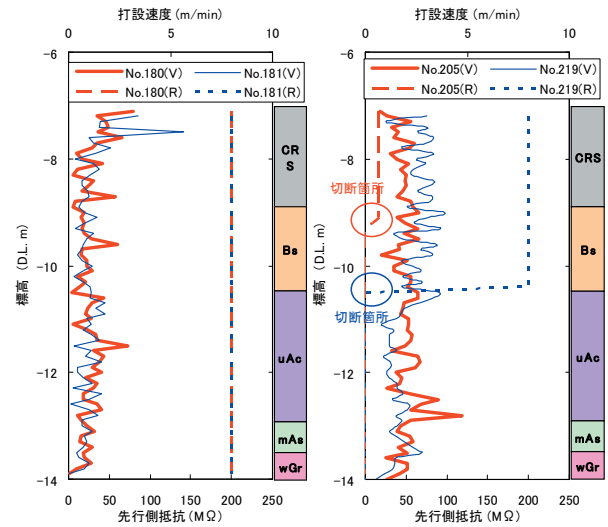


図-5.3 絶縁抵抗計測位置図



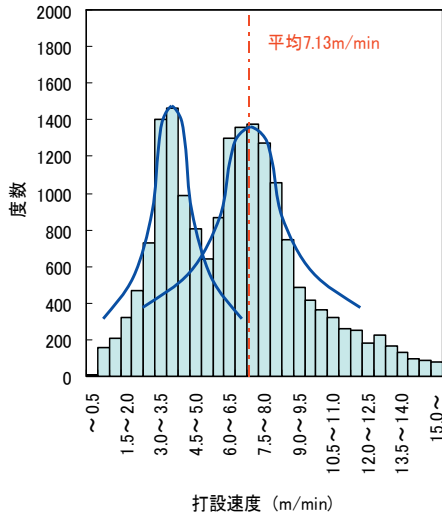
(a) 絶縁抵抗保持 (b) 絶縁抵抗ゼロ

図-5.4 打設速度の深度分布の一例

口の鋼矢板は、打設時に何らかの負荷がかかっている鋼矢板、絶縁抵抗保持の鋼矢板は打設時に特別な負荷がかかっていない鋼矢板であると判断している。

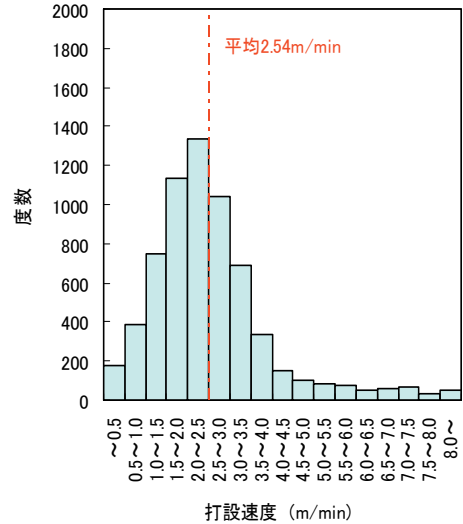
表-5.3に、対象とした区域での先行側と後行側の絶縁抵抗がゼロになったケースの数量と、それを基に算出される両方が同時にゼロになる確率を整理した。先行側の絶縁抵抗が切断するケースが多いのは、嵌合部がむきだ

のまま打設されるため、遮水材と継手の間に土砂が入り込みやすいことが原因であると考えられる。一方、後行側の継手は遮水材(水膨潤性ゴム)が全周にわたって継手に囲まれていることから、土砂が入りにくい構造になっているために切断する確率が低いと考える。絶縁抵抗がゼロになることが遮水材(鋼矢板)に負荷がかかっていることの指標になると仮定すると、一箇所継手(2



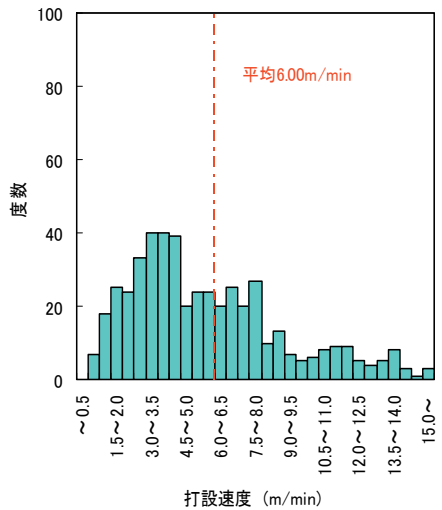
標本数	19028	標準偏差	4.666
平均	7.128	変動係数	0.655

(a) 絶縁抵抗あり



標本数	6531	標準偏差	1.465
平均	2.539	変動係数	0.577

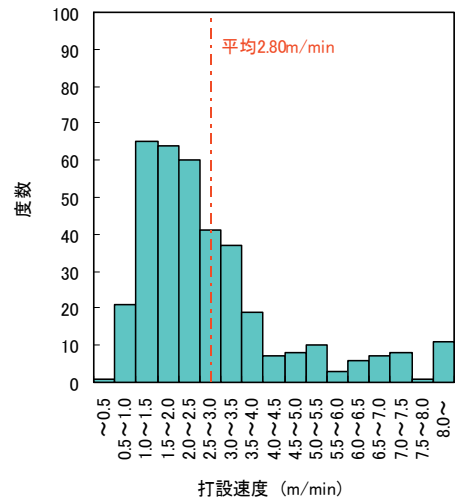
(a) 絶縁抵抗あり



標本数	493	標準偏差	4.022
平均	5.995	変動係数	0.671

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.5 打設速度の頻度分布 (揚灰岸壁)



標本数	369	標準偏差	1.837
平均	2.797	変動係数	0.657

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.6 打設速度の頻度分布 (北護岸03)

箇所の遮水材=水膨潤性ゴム) に負荷がかかる確率はわずか0.09%程度と非常に低いことがわかる。

5.2 施工管理データの統計処理結果

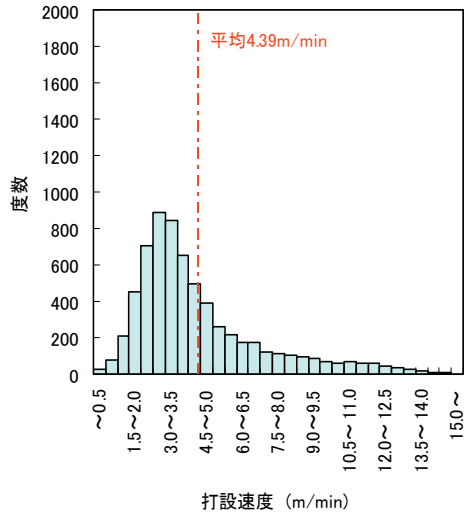
施工管理データは連続的に膨大なデータを記録しており、個々の計測データを標本とみなせば、統計的処理によって有意な変化を見出せば、鋼矢板への負荷を評価できる可能性がある。ここでは、遮水鋼矢板打設時の打設速度、パイプロハンマの電流値、鋼矢板頭部の温度の頻度分布を整理することで、鋼矢板への負荷を説明できる

か検討した。

(1) 打設速度

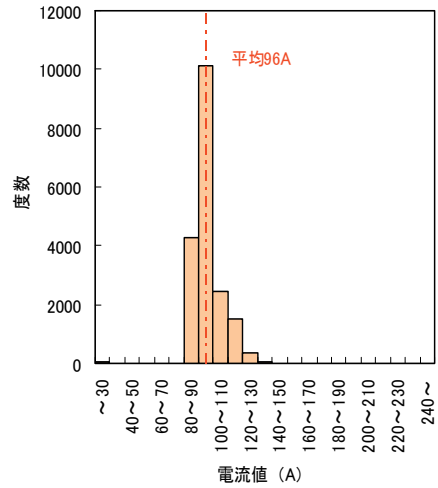
遮水鋼矢板の打設速度について得られたデータの頻度分布を整理することで、鋼矢板にかかる負荷を評価できるか検討した。

「揚灰岸壁」での打設速度の頻度分布を図-5.5に、「北護岸03」の打設速度の頻度分布を図-5.6に、「北護岸10」の打設速度の頻度分布を図-5.7に、それぞれ絶縁抵抗の有無に分けて示した。ここで、絶縁抵抗がゼロのケースについては、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出した。それぞれの分布の特徴を以下に記述する。



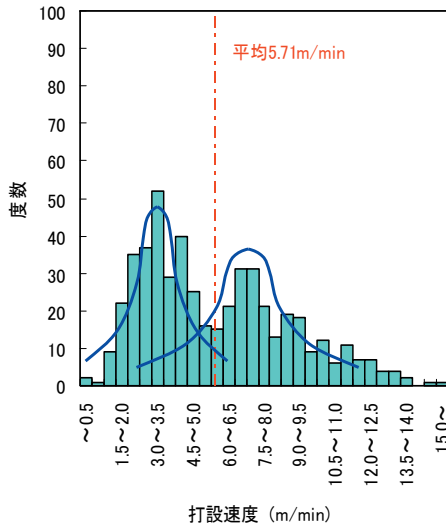
標本数	6552	標準偏差	2.721
平均	4.389	変動係数	0.620

(a) 絶縁抵抗あり



標本数	19028	標準偏差	10.858
平均	96.020	変動係数	0.113

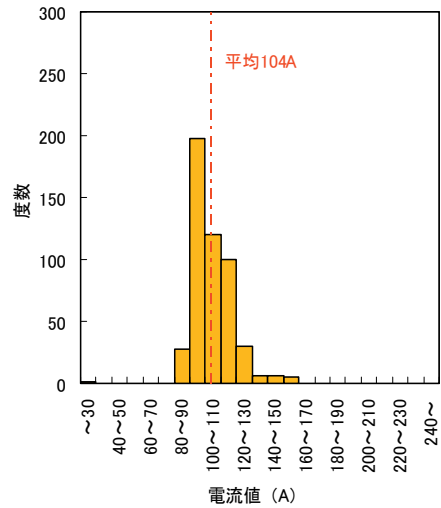
(a) 絶縁抵抗あり



標本数	501	標準偏差	3.087
平均	5.714	変動係数	0.540

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.7 打設速度の頻度分布 (北護岸10)



標本数	493	標準偏差	13.217
平均	104.314	変動係数	0.127

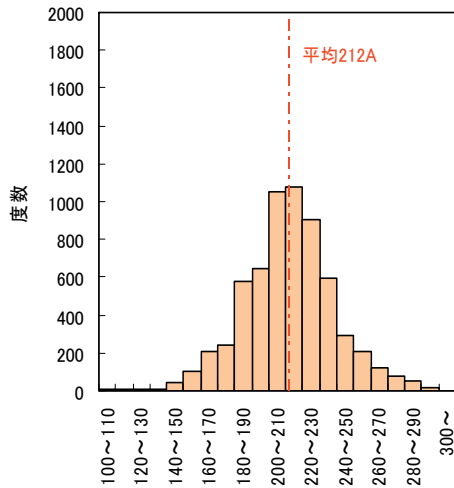
(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.8 電流値の頻度分布 (揚灰岸壁)

- 揚灰岸壁：絶縁抵抗が保持されたケースの打設速度の平均値は7.13m/minであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは打設速度の平均値は6.0m/minであり、絶縁抵抗が保持されたケースに比べて2割程度平均値が小さい傾向にあった。また、絶縁抵抗が保持されたケースの分布は、打設速度が4.0m/min付近と7.5m/min付近で度数が多い特徴的な分布であった。
- 北護岸03：絶縁抵抗が保持されたケースの打設速度の平均値は2.54m/minであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは打設速度の平均値は2.80m/minであり、絶縁抵抗が保持されたケースに比べて1割程度平均

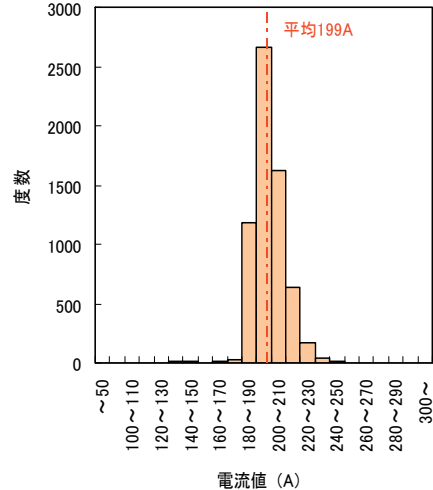
値が大きい傾向にあった。また、打設速度が5m/min程度よりも大きい範囲では絶縁抵抗がゼロになる割合が高くなる傾向が見られた。

- 北護岸10：絶縁抵抗が保持されたケースの打設速度の平均値は4.39m/minであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは、打設速度の平均値は5.71m/minであり、絶縁抵抗が保持されたケースに比べて3割程度平均値が大きい傾向にあった。また、打設速度が5m/min程度以上大きい範囲では絶縁抵抗がゼロになる割合が高くなる傾向が見られた。さらに、絶縁抵抗がゼロのケースの分布は、打設速度が3.5m/min付近と7.0m/min付



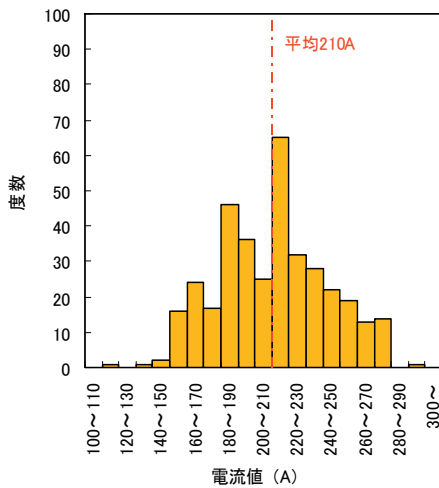
標本数	6242	標準偏差	26.562
平均	212.115	変動係数	0.125

(a) 絶縁抵抗あり



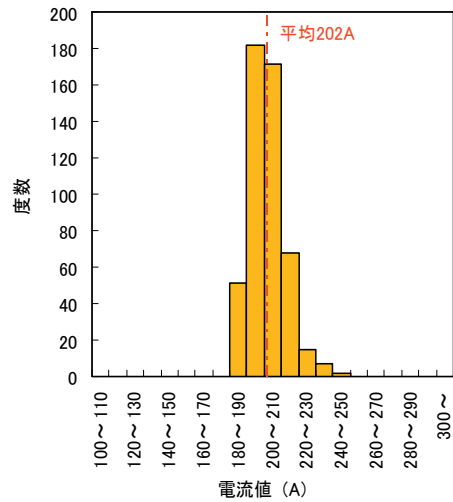
標本数	6414	標準偏差	12.148
平均	198.671	変動係数	0.061

(a) 絶縁抵抗あり



標本数	362	標準偏差	32.501
平均	210.435	変動係数	0.154

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)



標本数	496	標準偏差	10.068
平均	201.747	変動係数	0.050

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.9 電流値の頻度分布 (北護岸03)

図-5.10 電流値の頻度分布 (北護岸10)

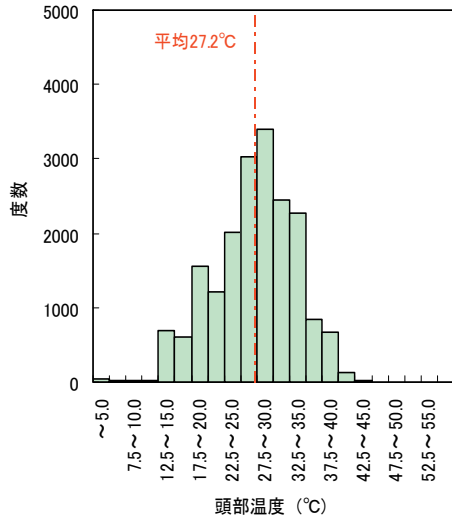
近で頻度が高くなる特徴的な分布であった。

これらの結果をみると、絶縁抵抗の有無による打設速度の平均値や分布形状の違いが若干見られるものの、全体的な傾向としては明確な関係は認められなかった。これらの検討結果は、鋼矢板への負荷と打設速度の頻度分布から品質を判断することは難しいことを物語っている。また、揚灰岸壁での打設速度が北護岸に比べて速い傾向にあるが、打設地盤や打設機械、機械操作者など、品質とは直接的に関係しない他の打設条件が異なっていたことが理由として考えられる。

(2) 電流値

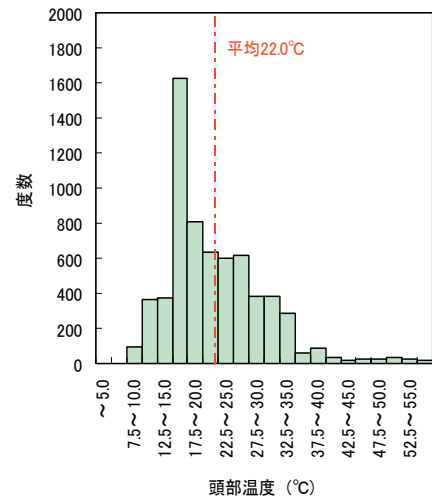
遮水鋼矢板打設時のパイプロハンマの電流値について得られたデータの頻度分布を整理することで鋼矢板にかかる負荷を評価できるかを検討する。「揚灰岸壁」での電流値の頻度分布を図-5.8に、「北護岸03」の電流値の頻度分布を図-5.9に、「北護岸10」の電流値の頻度分布を図-5.10に、それぞれ絶縁抵抗の有無に分けて整理した。ここで絶縁抵抗がゼロのケースについては、打設速度の整理と同様に、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出した。それぞれの分布の特徴を以下に記述する。

・揚灰岸壁：絶縁抵抗が保持されたケースの電流値の平均値は96Aであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケ



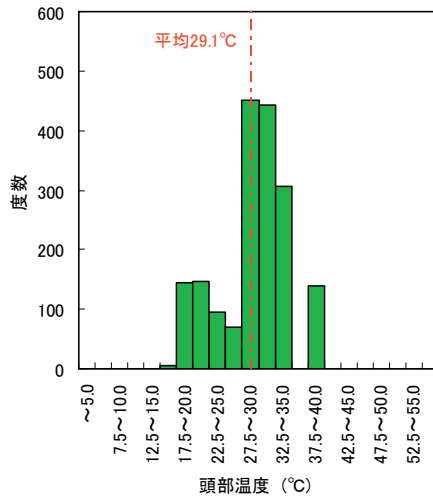
標本数	19028	標準偏差	6.251
平均	27.188	変動係数	0.230

(a) 絶縁抵抗あり



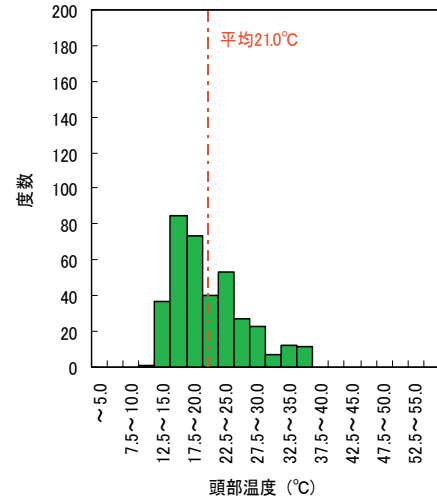
標本数	6531	標準偏差	8.040
平均	21.959	変動係数	0.366

(a) 絶縁抵抗あり



標本数	493	標準偏差	5.042
平均	29.113	変動係数	0.173

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)



標本数	369	標準偏差	5.828
平均	21.004	変動係数	0.277

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

図-5.11 頭部温度の頻度分布 (揚灰岸壁)

図-5.12 頭部温度の頻度分布 (北護岸03)

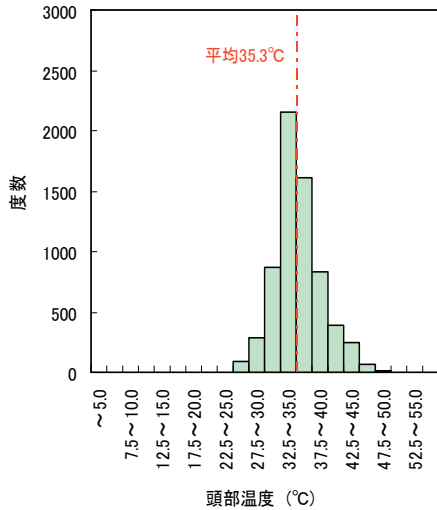
ースでは電流値の平均値は104Aであり、絶縁抵抗が保持されたケースよりわずかに大きな値となった。

- ・北護岸03：絶縁抵抗が保持されたケースの電流値の平均値は212Aであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは、電流値の平均値は210Aであり、絶縁抵抗が保持されたケースとほぼ同じで、有意な差は見られなかった。
- ・北護岸10：絶縁抵抗が保持されたケースの平均値が199Aであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは電柱値の平均値は202Aであり、絶縁抵抗が保持されたケースとほぼ同じで、有意な差は見られなかった。

これらの結果をみると、絶縁抵抗の有無による電流値の平均値や分布形状の違いはなかった。このように、鋼矢板への負荷を電流値の頻度分布から評価することは難しいと考える。また、北護岸での電流値が揚灰岸壁に比べて全体的に大きい傾向にあった。

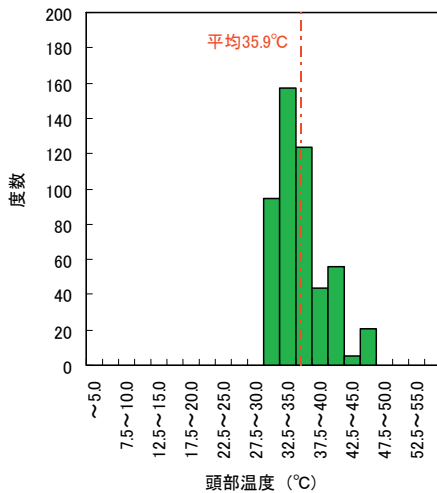
(3) 頭部温度

遮水鋼矢板頭部の温度について得られたデータの頻度分布を整理することで鋼矢板にかかる負荷を評価できるか検討する。「揚灰岸壁」での頭部温度の頻度分布を図-5.11に、「北護岸03」の頭部温度の頻度分布を図-5.12に、「北護岸10」の頭部温度の頻度分布を図-5.13に、そ



標本数	6552	標準偏差	3.618
平均	35.262	変動係数	0.103

(a) 絶縁抵抗あり



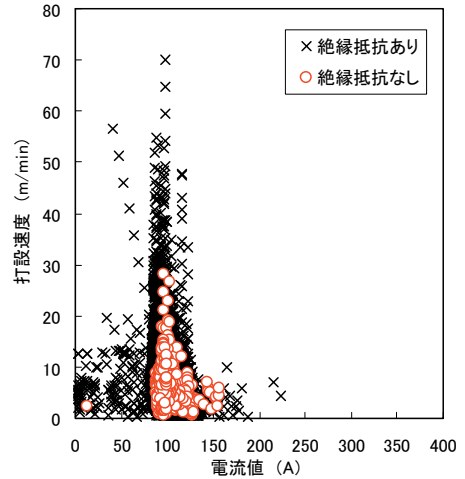
標本数	501	標準偏差	3.855
平均	35.903	変動係数	0.107

(b) 絶縁抵抗ゼロ (切断箇所±1.0m区間)

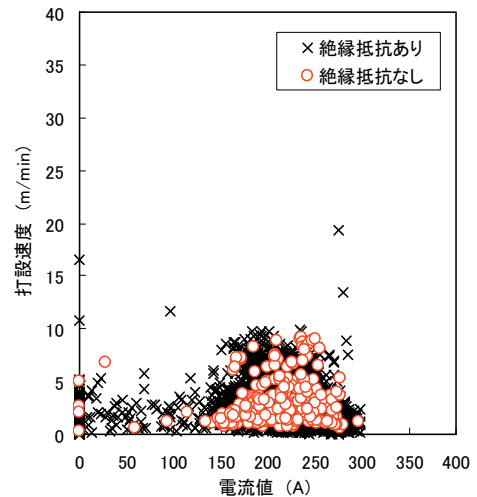
図-5.13 頭部温度の頻度分布 (北護岸10)

それぞれ絶縁抵抗の有無に分けて示した。ここで絶縁抵抗がゼロのケースについては、打設速度や電流値の整理と同様に、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出した。それぞれの分布の特徴を以下に記述する。

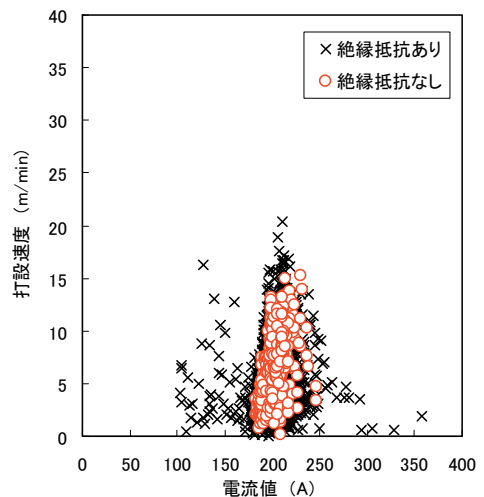
- ・揚灰岸壁：絶縁抵抗が保持されたケースの杭頭温度の平均値は27.2°Cであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは杭頭温度の平均値は29.1°Cであり、絶縁抵抗が保持されたケースとほぼ同じで、有意な差は見られなかった。
- ・北護岸03：絶縁抵抗が保持されたケースの杭頭温度の平均値は22.0°Cであった。一方、絶縁抵抗がゼロとな



(a) 揚灰岸壁



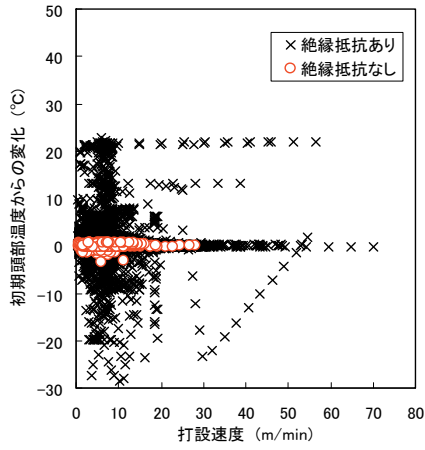
(b) 北護岸03



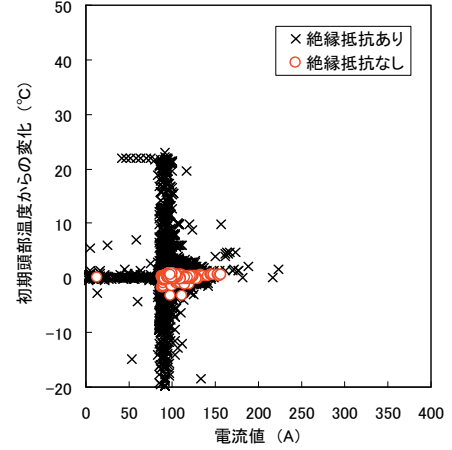
(c) 北護岸10

図-5.14 打設温度と電流値の関係

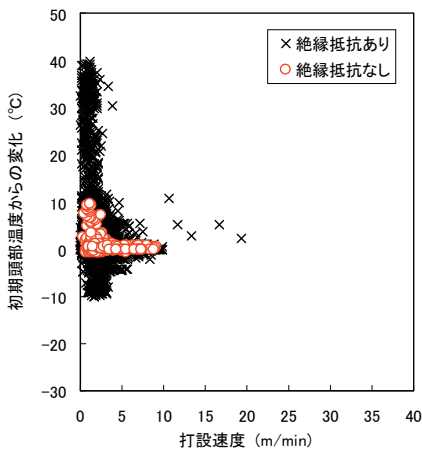
ったケースの杭頭温度の平均値は21.0°Cであり、絶縁抵抗が保持されたケースとほぼ同じで、有意な差は見



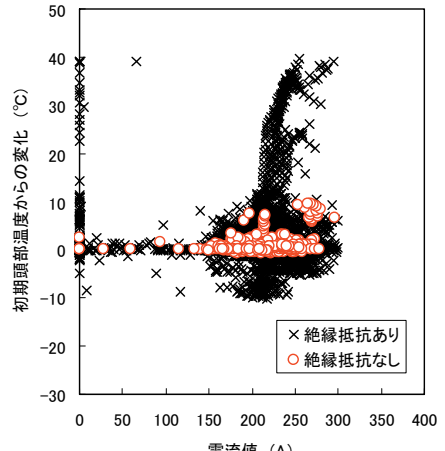
(a) 揚灰岸壁



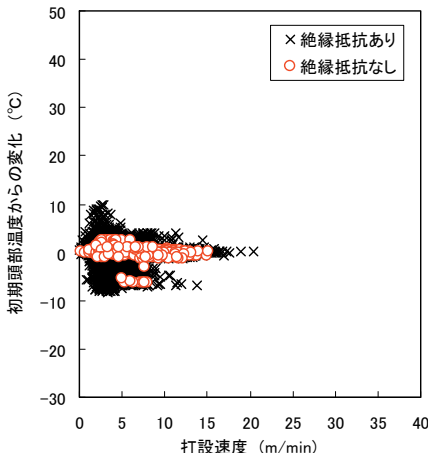
(a) 揚灰岸壁



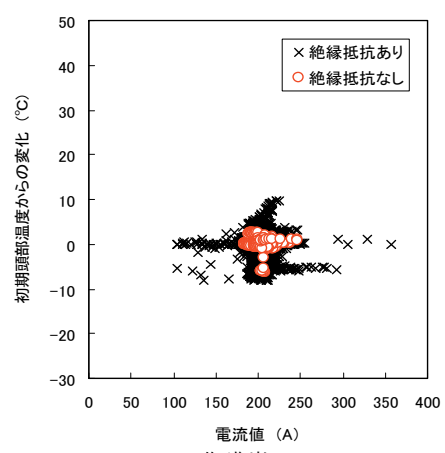
(b) 北護岸03



(b) 北護岸03



(c) 北護岸10



(c) 北護岸10

図-5.15 打設速度と頭部温度変化量の関係

図-5.16 電流値と頭部温度変化量の関係

られなかった。

- ・北護岸10：絶縁抵抗が保持されたケースの杭頭温度の平均値は35.3°Cであった。一方、絶縁抵抗がゼロとなったケースでは、杭頭温度の平均値は35.9°Cであり、絶縁抵抗が保持されたケースとほぼ同じで、有意な差

は見られなかった。

上述のように、頭部温度の平均値や分布には絶縁抵抗の有無による違いは見られなかった。このため、鋼矢板への負荷を頭部温度の頻度分布を基に判断することは困難であることがわかった。各区域で頭部温度が異なっているが、外気温の影響が強く現れていることが推測され

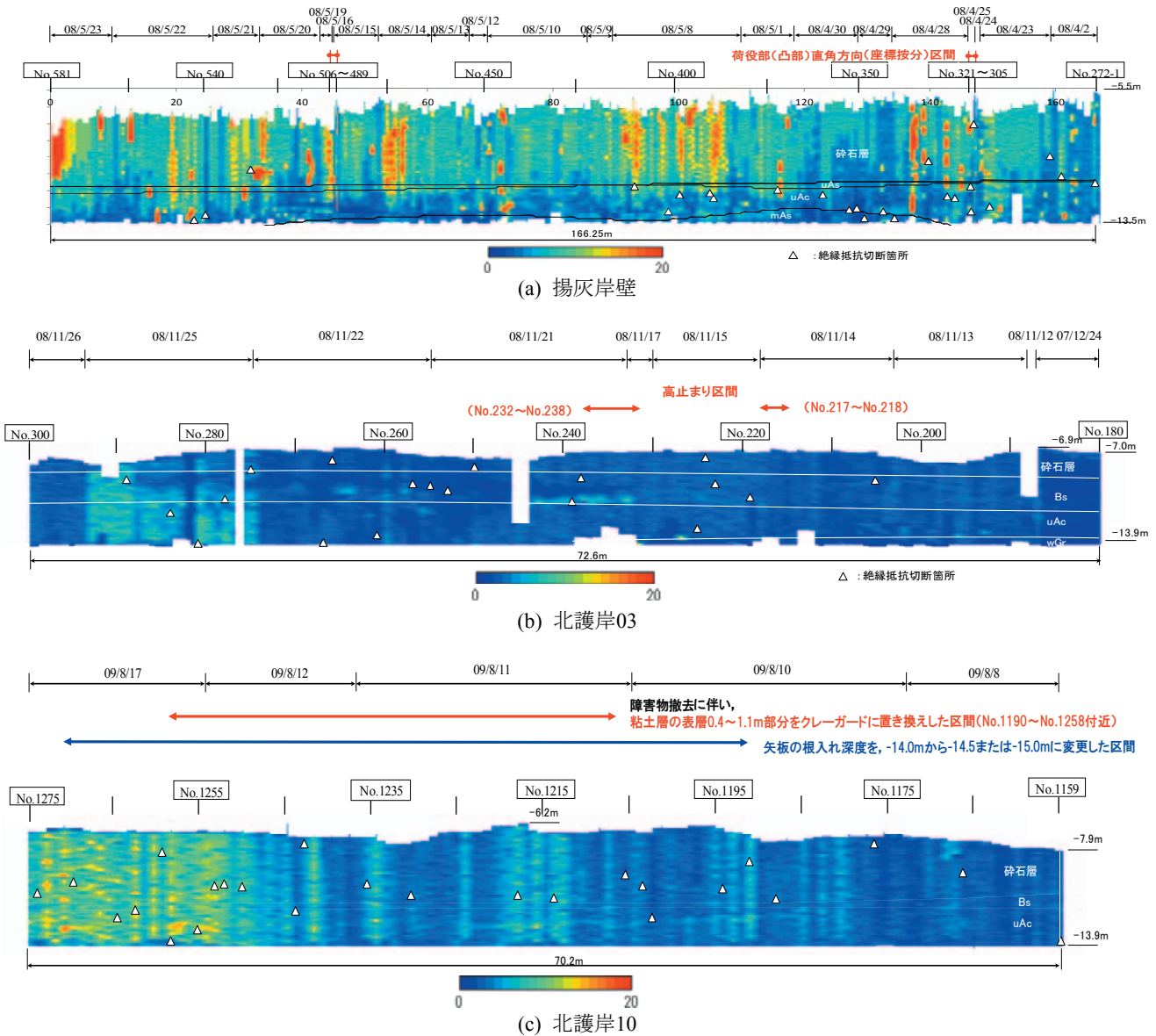


図-5.17 打設速度データの可視化画像

る。実際、「北護岸03」の施工時期は11～12月、「北護岸10」の施工時期は8月、「揚灰岸壁」の施工時期は4～5月であった。

5.3 施工管理データ間の関係

施工管理データは連続的にデータを取得しており、測定項目を同断的にデータの相互関係を整理することで、鋼矢板への負荷を評価できる可能性がある。ここでは、打設速度、電流値、打設時の頭部鋼矢板の温度変化量の相互関係をそれぞれ整理することで、鋼矢板への負荷を説明できるか検討した。

(1) 打設速度と電流値の関係

遮水鋼矢板の打設速度とパイプロハンマの電流値のそ

れぞれの管理データの相互関係を整理することで、鋼矢板にかかる負荷を評価できるか検討した。各区域での取得データの打設速度と電流値の関係を絶縁抵抗の有無に分けて整理した結果を図-5.14に示す。ここで絶縁抵抗がゼロのケースについては、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出している。どの区域でも絶縁抵抗の有無による傾向の違いは明確には見られない。すなわち、打設速度と電流値の相互関係からは、鋼矢板への負荷の程度を評価することは難しいものと考えられる。

(2) 打設速度と頭部温度変化量の関係

遮水鋼矢板の打設速度と頭部温度の変化量(=打設中の頭部温度-初期の頭部温度)の管理データの相互関係を整理することで、鋼矢板にかかる負荷を評価できるか

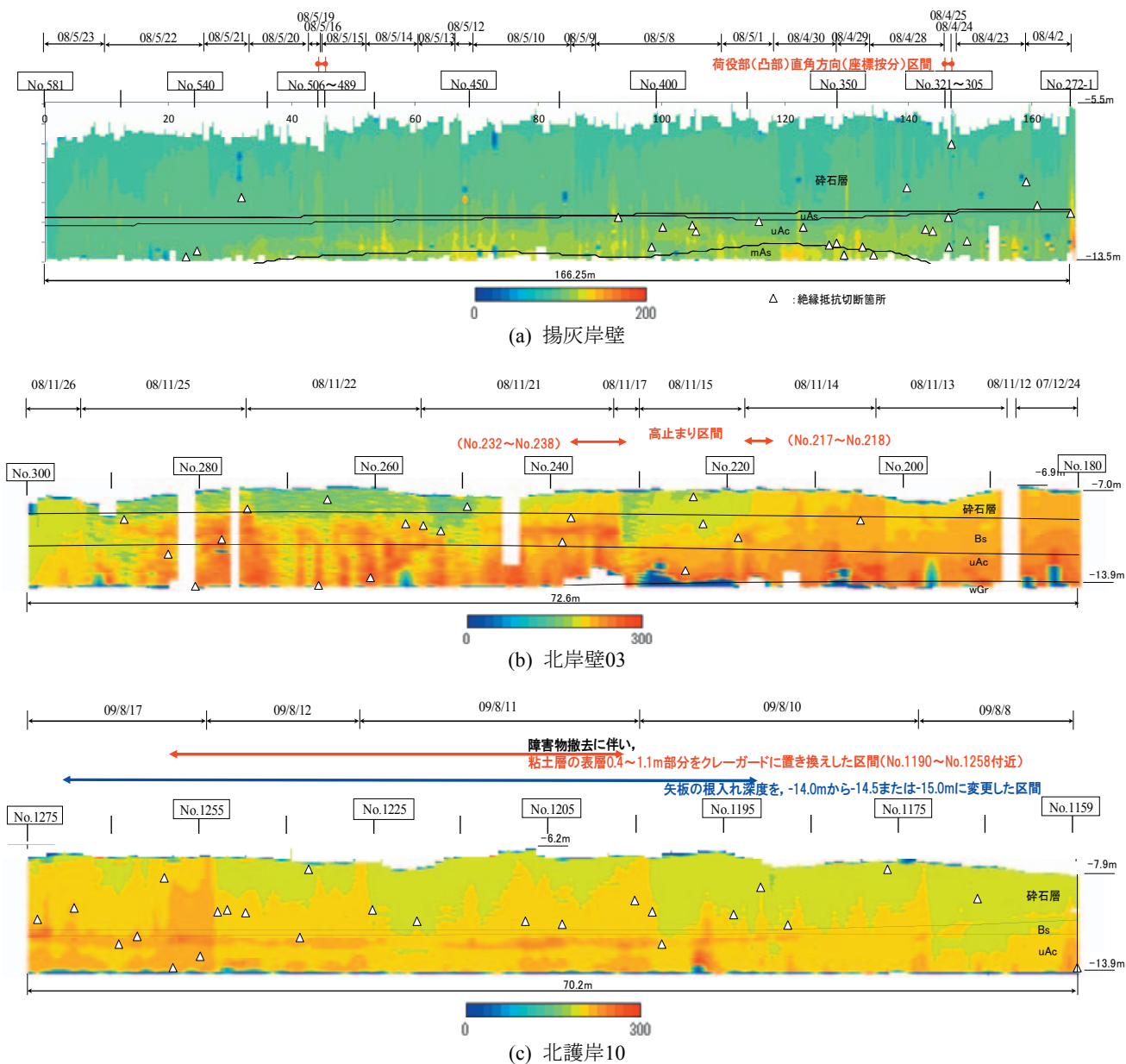


図-5.18 電流値データの可視化画像

検討した。各区域での取得データの打設速度と頭部温度変化量の関係を絶縁抵抗の有無に分けて整理した結果を図-5.15に示す。絶縁抵抗がゼロのケースについては、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出している。どの区域でも絶縁抵抗の有無による傾向の違いは見られない。このことから、打設速度と頭部温度変化量の相互関係からは、鋼矢板への負荷を評価するのは困難であると考えられる。

(3) 電流値と頭部温度変化量の関係

バイプロハンマの電流値と鋼矢板頭部温度変化量のそれぞれの管理データの相互関係を整理することで、鋼矢板にかかる負荷を評価できるかを検討した。各区域での

取得データの電流値と頭部温度変化量の関係を絶縁抵抗の有無に分けて整理した結果を図-5.16示す。絶縁抵抗ゼロのケースについては、切断箇所から前後1m区間のデータを抽出している。どの区域でも絶縁抵抗の有無による傾向の違いは見られない。このように電流値と頭部温度変化量の相互関係からは、鋼矢板への負荷を評価するのは難しいと考えられる。

5.4 可視化による施工管理データの整理

施工管理データは連続的に取得しており、個々のデータを画像表示して可視化することで、鋼矢板への負荷を視覚的に評価できる可能性がある。ここでは、打設速度、

電流値のデータを可視化することで、鋼矢板への負荷程度の評価を試みた。

(1) 打設速度データの可視化

遮水鋼矢板の打設速度データを護岸法線方向と深度方向からなる断面図上に連続したデータとして可視化（画像化）することを試み、この結果を打設箇所の土層や絶縁抵抗がゼロになった位置と比較することで、鋼矢板への負荷や地盤の連続性を評価できるか検討した。

打設速度データを対象区域ごとに可視化画像として整理した結果を図-5.17に示す。この画像は打設速度0～20m/minの範囲を10階調で表示したものである。図には△印で絶縁抵抗がゼロになった箇所を記載している。また、併せて土層構成や打設日、その他の打設情報なども記載している。

「北護岸03」や「北護岸10」の打設速度データの可視化画像をみると、打設速度の変化は土層構成や鋼矢板への負荷よりも、打設時期の影響が強く現れていることがわかる。その影響は、どちらの区域でも打設日が遅い方が打設速度が速くなっていく傾向にある。

一方、「揚灰岸壁」の打設速度データの可視化画像をみると、全体的に碎石層での打設速度が速く、打設速度の変化している深度付近で土層構成も変わっていることが確認できる。また、鋼矢板に負荷がかかっている箇所でも打設速度が変化する傾向も確認できる。このように、「揚灰岸壁」では、打設速度データを護岸法線方向と深度方向に連続した画像データとして整理することで、鋼矢板への負荷や土層構成の連続性を表現できる可能性が示唆された。

(2) 電流値データの可視化

バイプロハンマの電流値データを護岸法線方向と深度方向からなる断面における連続したデータとして可視化（画像化）することを試みた。ここでは、可視化した結果を打設箇所の土層や絶縁抵抗がゼロになった位置と比較することにより、鋼矢板への負荷や地盤の連続性を説明できるかどうか確認した。

対象区域ごとに電流値データを可視化画像として整理した結果を図-5.18に示す。この画像はバイプロハンマの電流値0～300A（揚灰岸壁は0～200A）の範囲を10階調で表示したものである。図には打設速度データの可視化画像と同様に、△で絶縁抵抗が切断した箇所を記載している。また、土層構成や打設日、その他の打設情報なども記載している。

「北護岸03」や「北護岸10」の電流値データの可視化画像をみると、全体的に碎石層での電流値が小さく、電流値が変化している深度付近で土層構成が変化している

ことが読み取れる。そして、電流値はBs層やuAc層になるにつれて高くなる傾向がある。また、鋼矢板に負荷がかかる箇所（絶縁抵抗がゼロになった箇所）は、電流値が変化する箇所に対応している傾向も読み取れる。このように、「北護岸03」と「北護岸10」のバイプロハンマの電流値のデータを護岸法線方向と深度方向に連続した画像データとして整理することで、鋼矢板への負荷の程度や土層構成の連続性を表現できる可能性が示唆された。

一方、「揚灰岸壁」の電流値データの画像をみると、電流値の変化は土層構成や鋼矢板への負荷が大きい箇所とあまり対応していないようである。

5.5 データ分析結果のまとめと施工管理方法の提案

本章では、施工管理データ（鋼矢板の打設速度、バイプロハンマの電流値、鋼矢板の頭部温度）を用いて負荷がかかっている鋼矢板を抽出できるかについて、3つの代表的な区間で検討した。その結果、得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 絶縁抵抗の有無でそれぞれの施工管理データの頻度分布を整理したところ、絶縁抵抗の有無による違いはほとんど見られなかった。これらの結果から、施工管理データの頻度分布から負荷がかかっている鋼矢板を評価することは難しいことがわかった。
- 2) 施工管理データ間の相互関係を絶縁抵抗の有無で整理したところ、データ間の関係に明確な傾向は見られなかった。これらの結果から、施工管理データ間の関係から負荷のかかっている鋼矢板を評価することは困難であると考えられる。
- 3) 鋼矢板の打設速度やバイプロハンマの電流値などの施工管理データを護岸法線方向と深度方向に連続したデータとして可視化することを試みたところ、負荷がかかっている鋼矢板の特定や土層構成の不連続部分（土層の変化）を把握できる可能性が高いことが示された。

上述のように、施工管理データで鋼矢板の打設速度やバイプロハンマの電流値データを連続的な空間情報として可視化（画像化）し、評価・分析することが、遮水工の品質管理手法として有効な方法になる可能性が高いことがわかった。さらに、これらの可視化データを用いて、遮水鋼矢板の健全性評価や長期的な維持管理に適用することも有効な方法であると考えられる。すなわち、遮水性能の品質管理を行う上で、施工管理データのうち、矢板の打設速度やバイプロハンマの電流値を護岸法線方向と深度方向の断面情報として可視化する方法が有効であることがわかった。

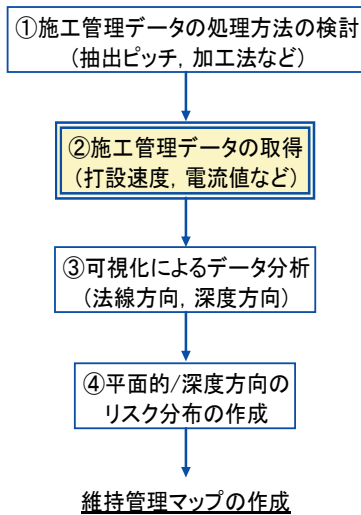


図-5.19 品質管理手法のフロー (案)

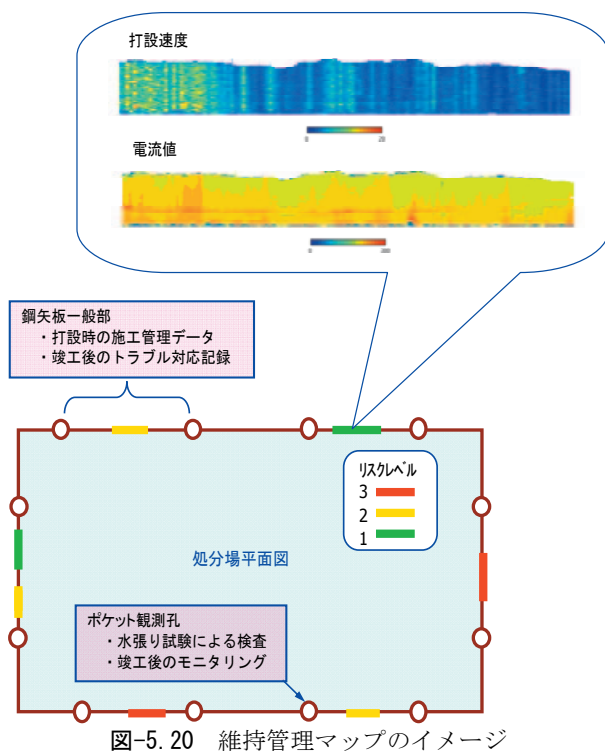


図-5.20 維持管理マップのイメージ

本研究成果から提案する品質管理手法のフロー (案) を図-5.19に示し、その手順を以下に記述する。

① 施工管理データの処理方法の検討

施工管理データは、時系列に測定したデータを深度方向のデータに変換する必要がある。打設中のデータ変化、相互の測定項目や土層区分を客観的に扱えるような抽出ピッチと加工法を検討する必要がある。また、施工管理データは膨大な量であるため、一元管理が可能で、必要データの抽出を効率的に行えるようなデータ処理技術が必要となる。

② 施工管理データの取得

施工管理データとして、主として矢板の打設速度、バイプロハンマの電流値を記録する。

③ 可視化によるデータ分析

施工管理データを護岸法線方向と深度方向に連続した断面情報としてデータを可視化 (画像化) する。このとき、それぞれの連続データの変化点は地層変化などに対応しており、水膨潤性ゴムの遮水機能が低下したり、あるいは周辺地盤にゆるみが生じたりするリスクが高いと判定される。

④ リスク分布空間情報の作成

③で作成した可視化データを基にして、連続データの変化点とその周辺エリアにおいて遮水性に対するリスクが高くなることから、リスクが高い位置を空間情報として把握し、中長期に亘る維持管理に役立てる。

維持管理マップのイメージ図を図-5.20に示す。護岸に沿って分析結果の可視化画像を重ね合わせ、施工中の以上の有無を一目でわかるようにするとともに、施工時や施工後のトラブル対応記録、深度方向の可視化データなどの情報を盛り込むことで、万が一、漏水などが発生した場合に、漏水箇所の絞込みの手掛りになることが期待される。

6. まとめ

本研究では、遮水鋼矢板の品質管理手法の開発を目指して、「響灘3号埋立地建設工事土木工事」を例として取り上げ、その遮水工を対象として詳細な検討を行った。その結果得られた知見を以下にまとめる。

1) 遮水鋼矢板の構造、施工方法および施工管理についてまとめた。遮水鋼矢板はIVw型ポケット付で、継手のポケット部には管理水位以下が水膨潤性ゴム、管理水位以上がシリコーン樹脂を挿入する遮水構造であり、バイプロハンマにより打設した。水膨潤性ゴムの健全性を確認するため、被覆電線を水膨潤性ゴムと継手ポケットの間に取り付け、打設時に被覆電線の絶縁抵抗値を計測した。試験施工により検討した結果によれば、絶縁抵抗値が保持されていれば、水膨潤性ゴムは健全であると判断してよく、絶縁抵抗値がゼロとなった場合でも、打設時に上下動を複数回繰り返すような過度な負荷を与えていなければ、水膨潤性ゴムは健全であることが確認された。この結果、絶縁抵抗値を品質管理の指標とすることは、安全側の品質管理になるといえる。

2) 膨大な情報が記録されている施工管理データ (矢板の

打設速度、パイプロハンマの電流値、矢板の頭部温度)のノイズを除去し、データを平均化処理するためのデータ抽出ピッチや加工法について検討した。各データの深度分布の比較や統計的検定による検討結果より、遮水工の品質管理を目的としたデータ処理方法として、「抽出ピッチ：10cm，加工法：初到達値」の処理が好ましいと判断し、この方法により、対象地域の施工データの処理・分析を行った。

- 3) 施工管理データ（矢板の打設速度、パイプロハンマの電流値、矢板の頭部温度）を用いて負荷がかかっている矢板を抽出できるかどうか、3つの代表的な区間のデータを用いて検討した。その結果、矢板の打設速度やパイプロハンマの電流値などの施工管理データを護岸法線方向と深度方向からなる断面情報として連続データの可視化表示（画像化）することによって、負荷がかかっている矢板や土層構成の不連続面などを表現・把握できる可能性が高いことが示された。
- 4) 施工管理データで矢板の打設速度やパイプロハンマの電流値データを連続データとして可視化し、評価・分析することが、遮水工の品質管理手法として有効な方法になる可能性が高いことが、一連の検討結果から結論づけられる。さらに、これらの可視化データを用いて、遮水矢板の健全性評価や長期的な維持管理に適用することも有効な方法であると考えられる。

(2012年8月10日受付)

謝辞

本研究は、平成21年4月から平成24年3月までの期間で、7者が参加した共同研究「廃棄物海面処分場の遮水工施工時の品質管理・評価手法に関する研究」の成果をとりまとめたものである。共同研究参加者は、研究総括を総括する立場から（独）港湾空港技術研究所、事業者の立場から電源開発（株）、材料メーカーの立場からJFEスチール（株）、施工者の立場から五洋建設（株）、東亜建設工業（株）、みらい建設工業（株）、若築建設（株）である（50音順）。従来は、遮水工を含めて仕様書に基づいた出来形が管理されていれば十分とされてきた分野であるが、その施工過程を管理して品質向上に繋げることを目指した本研究は、施工者の負担と責任を増加させることになるので、施工者としては本来はやりたくない内容が主となっている。しかしながら、関係する多くの方々に理解が得られ、共同研究を実施する運びとなった。本稿として研究成果をとりまとめるにあたり、ここに記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡部要一、吉野久能、柿本龍二、山田耕一、鶴飼亮行、沖 健、岡 由剛、喜田 浩、永尾直也、望月 武、木下雅敬：鋼製遮水壁の遮水性能と適用性に関する研究、港湾空港技術研究所資料、No. 1142, 2006.
- 2) 港湾空間高度化環境研究センター：管理型廃棄物埋立護岸 設計・施工・管理マニュアル(改訂版), 2008.

付録-A：試験施工に基づく施工管理方法の検討

A1. はじめに

遮水鋼矢板の施工・管理方法を決定するにあたり、施工事例の調査や管理項目の検討を行うとともに、試験施工の実施を通じて、遮水材である水膨潤性ゴムの健全性確保のための具体的な対策等の確認をした。付録-Aでは、試験施工の概要とその結果に基づいて決定した施工管理方法についてまとめる。

A2. 試験施工の概要

A2.1 試験施工における確認項目

試験施工において、以下の項目の確認を行った。

- ・ 施工管理項目（案）の妥当性
- ・ 水膨潤性ゴムの異常検知方法の妥当性および実施可

能性

- ・ 打設時の継手部保護対策の効果
- ・ 打設時の自動計測システムの適用性確認

A2.2 試験施工の実施場所

海上での試験施工の位置は、西護岸の遮水鋼矢板打設場所近傍の処分場内側の2箇所および北護岸の1箇所である。なお、これとは別に陸上における施工試験も行っている。

A2.3 試験施工の実施状況

試験施工は、本施工と施工条件がほぼ同等となるよう護岸法線近傍で本施工と同様な施工機械を使用して遮水鋼矢板の打設試験を行った。

施工試験では、1箇所8本ずつ、西護岸で2箇所、北護岸で1箇所の計24本の矢板を打設した。それぞれ継手部の仕様や打設条件を変えることで、複数の条件下での継手部の健全性について確認した。西護岸で行った試験施工の

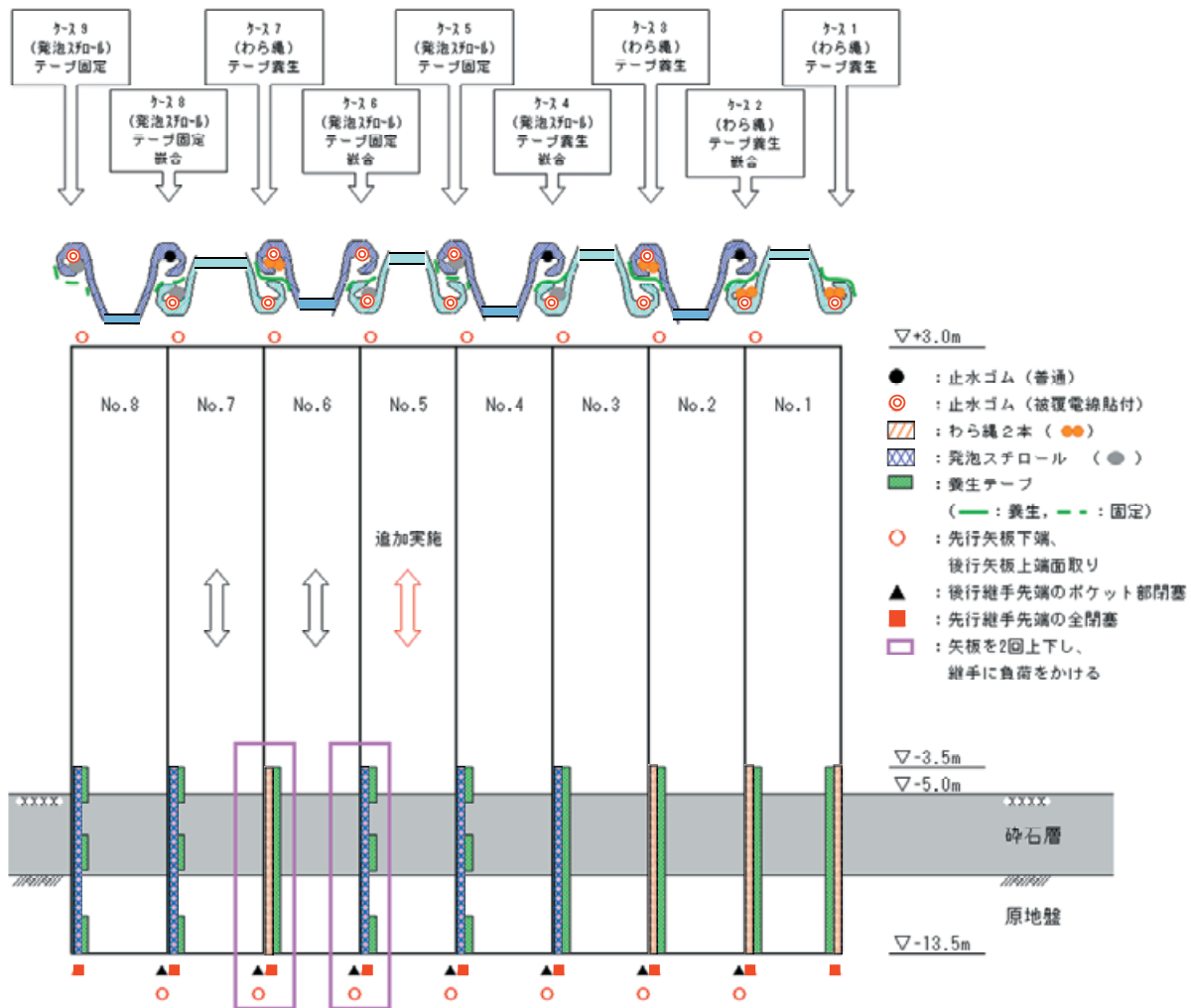


図-A.1 西護岸での試験施工の実施ケース

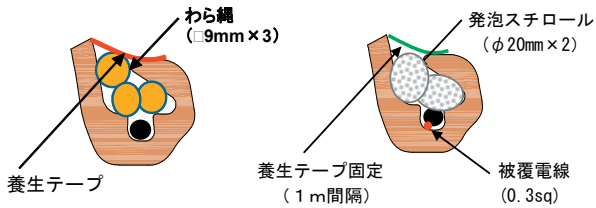


図-A.2 継手部保護材

表-A.1 継手部保護材の比較

側面保護材	わらなわ	発泡スチロール
保護性	○	○
経済性	○	△
腐食の有無	する	しない
透水係数	大	小
遮水性	△	○
評価	○	◎

実施条件について、図-A.1に示した。1箇所の試験施工で打設した8本の遮水矢板のそれぞれで継手部の保護方法や打設時の負荷の与え方を変えている。

A3. 試験施工の結果

A3.1 継手部保護材の選定

水膨潤性ゴムを保護するための継手部保護材の選定についてまとめる。継手部保護材として、わら縄と発砲スチロールを選定し(図-A.2)、両者の保護効果を比較した。試験施工の結果から、わら縄を用いたケースの方が若干欠損率は低くなる結果が得られたが、発砲スチロールであっても欠損率は4.5%と低く、遮水性の確保に関してわら縄と同程度の効果が確認できた。このことから、本施工で採用する保護材の選定は、「3.5 遮水鋼矢板漏水試験」に後述する継手部の透水試験の結果などに基づいて総合的に判断し、発砲スチロールを保護材として採用した(表-A.1)。

A3.2 異常検知方法の妥当性および実施可能性の確認

被覆電線が損傷して被覆電線の絶縁抵抗値がゼロとなった位置(打設中における後行側矢板先端の先行側矢板上での深度)と、施工後に矢板を引き抜いて目視で確認した水膨潤性ゴムの損傷または摩耗した位置はほぼ一致した。このことから、絶縁抵抗値により水膨潤性ゴムの何らかの損傷の有無を感知できる可能性が高いことがわかった。すなわち、遮水鋼矢板の継手部ポケットの底部に入れた被覆電線によって、水膨潤性ゴムの異常(打設中の過剰な負荷)をある程度のレベルで検知することが可能であると判断できた。

後行継手側においては、ほとんど損傷が見られず、欠損は生じなかった。一方で、先行継手側の水膨潤性ゴム

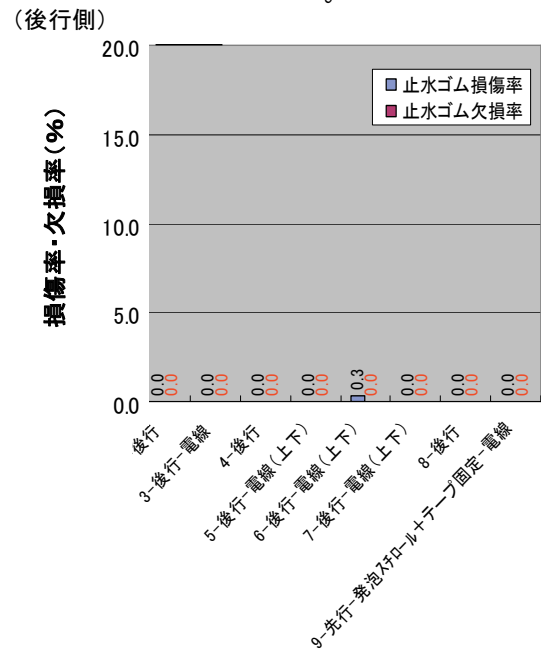
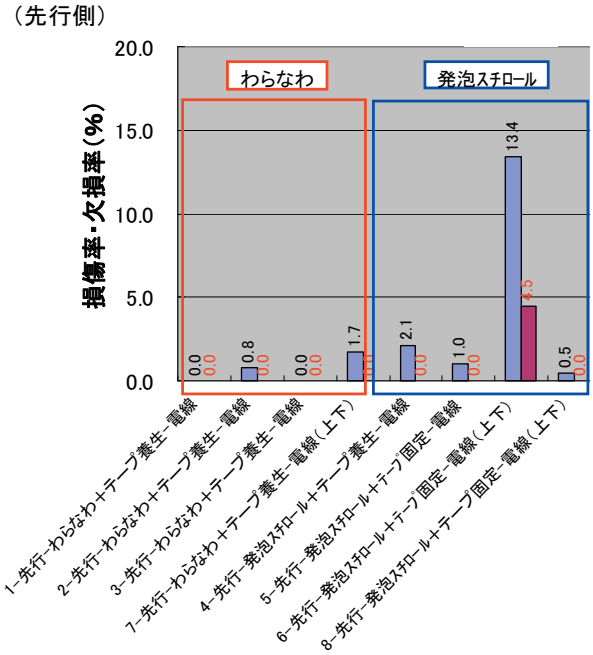


図-A.3 継手部保護方法の効果の比較

は後行のものに比べ、損傷しやすい傾向が見られた(図-A.3)。後行側の鋼矢板を強制的に複数回上下動させた場合、先に打設してある先行側の継手のごく一部で水膨潤性ゴムに欠損が生じたが、多くの場合、損傷があっても亀裂や摩耗のみで欠損は生じなかった。したがって、後行継手側ではほとんど損傷がなく、先行継手側でも過剰な負荷をかけなければ欠損が生じないことがわかり、継手保護対策の効果が確認できた。

A3.3 被覆電線の形式の選定

被覆電線は、初期に使用した方式(熱収縮チューブ2本

表-A.2 被覆電線の形式の比較

被覆電線の端部処理	熱収縮チューブ・シリコン 〔初期〕	接着剤付熱収縮チューブ 〔変A〕	極細Uターン 〔変B〕
概念図			
適用性	<ul style="list-style-type: none"> ■耐熱電線のフッ素樹脂が非粘着性が高く、水中での完全な絶縁が難しい。 ■人手による絶縁加工のため、品質安定性に劣る。 	<ul style="list-style-type: none"> ■左記に比べ、熱溶融性接着剤に止水性（絶縁加工）を期待できる。 ■人手による絶縁加工であるが熱溶融性接着剤の溶け出し確認できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■絶縁加工部がないため、水中での絶縁性が期待できる。 ■仕上がり内径が左記2種類に比べ細いため、水膨潤ゴムの収まりがよい。
評価	○	◎	◎

表-A.3 漏水量試験の試験ケース

①電線入り止水ゴムを使用した場合

ケース名	先行矢板継手		後行矢板継手	
	ポケット内	継手内	ポケット内	継手内
1~3	電線入り止水ゴム	無し	電線入り止水ゴム	無し

②碎石侵入防止に縄を用いた場合

ケース名	先行矢板継手		後行矢板継手	
	ポケット内	継手内	ポケット内	継手内
4	止水ゴム	縄1本	止水ゴム	無し
5	止水ゴム	縄2本	止水ゴム	無し
6	止水ゴム	縄2本	無し	無し
7	止水ゴム	無し	無し	無し

③碎石侵入防止に発泡スチロールを用い、ポケット内に電線を取り付けた場合

ケース名	先行矢板継手		後行矢板継手	
	ポケット内	継手内	ポケット内	継手内
8,9	止水ゴムと電線	発泡スチロール2本	止水ゴム	無し
10	止水ゴムと電線	発泡スチロール1本	止水ゴム	無し

にシリコン被覆)に加え、接着剤付き熱収縮チューブ式、Uターン式の3種類での試験を行った(表-A.2)が、いずれも適用性があり、実際に使用可能な方法であることが確認できた。

A3.4 自動計測システムの適用確認

陸上および海上の試験施工において、鋼矢板打設時の自動計測システムの動作状況は良好で、リアルタイムに施工状況をモニタリングできることを確認した。

A3.5 遮水鋼矢板漏水量試験

遮水鋼矢板の継手部の各状況下での換算透水係数を確認することを目的に、漏水量試験を行った。ここで、換算透水係数とは、背後の地盤を含めて、便宜上、厚さ50cmの層の透水係数に式(A.1)で換算したもので、廃棄物埋立護岸の鉛直遮水工の機能を評価するのに用いられている。

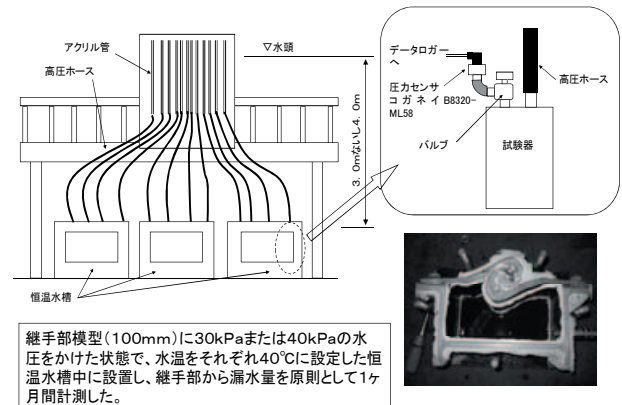


図-A.4 漏水量試験に用いた試験装置

$$k_c = \frac{q}{B} \cdot \frac{L}{\Delta h} \quad (A.1)$$

ここで、 q は継手単位長さにおける単位時間あたりの漏水量、 B は矢板壁の継手間隔(鋼製矢板単体の幅に相当)、 Δh は遮水壁前後の水頭差、 L は換算透水厚さ(=50cm)であ

る。換算透水係数 k_e が 1.0×10^{-6} cm/s以下の場合に基準省令に示された構造基準を満足すると見なす（港湾空間高度化環境研究センター, 2008）。

図-A.4, 表-A.3に示した継手部の試験片に対する漏水量試験の結果, いずれのケースでも換算透水係数は $1 \times 10^{-8} \sim 10^{-10}$ cm/secレベルであり(表-A.4), 継手内に異物(発泡スチロール)が混入したとしても遮水性は十分に確保されていることが確認できた。

A4. 試験施工結果に基づく施工管理方法

A4.1 水膨潤性ゴムの健全性確保のための方策

試験施工の結果に基づき, 鋼矢板継手部の水膨潤性ゴムの健全性を確保するための基本的な方策を以下にまとめた。

- 水膨潤性ゴム取付時のチェックリスト(表-A.5)
鋼矢板継手端部の面取り, 被覆電線の取付状況などを打設前に全数確認する。
- 継手部の先端保護と側面保護の実施
継手内に碎石等が混入することを防止し, 水膨潤性ゴ

ムを保護する。

- 水膨潤性ゴムの健全性確認
被覆電線の絶縁抵抗を測定する。絶縁抵抗が保持されていれば, 水膨潤性ゴムは健全であると判断できる。
- 打設時データの同時取得
打設時の上下動の有無とその操作深度, 打設速度, バイブロハンマ電流値, 矢板頭部温度を同時に測定することによって打設状況の管理を行う。打設時データを同時取得することで打設時に異常がないことを確認する。

A4.2 水膨潤性ゴムの保護対策のための仕様

表-A.4 換算透水係数の算定結果

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
漏水速度(cm ³ /day)	0.96	2.39	2.34	2.06	1.80
漏水速度(cm ³ /s)	1.11E-05	2.77E-05	2.70E-05	2.39E-05	2.09E-05
換算透水係数(cm/s)	3.09E-09	7.69E-09	7.51E-09	6.63E-09	5.80E-09

	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10
漏水速度(cm ³ /day)	7.53	1.92	0.27	0.16	6.22
漏水速度(cm ³ /s)	8.72E-05	2.23E-05	3.07E-06	1.90E-06	7.20E-05
換算透水係数(cm/s)	2.42E-08	6.19E-09	6.40E-10	3.95E-10	1.50E-08

表-A.5 鋼矢板加工作用および水膨潤性ゴム取り付け時のチェックシート

No. _____

工事名: 豊洲3号埋立地建設工事 土木工事 揚反岸壁地区 _____ 確認日: 平成 年 月 日

打設場所: _____ 確認者: _____

No.	打設No.																								備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
鋼矢板Product No.																									
チェック項目・内容																									
先端部養生	先行側がボルト締めで全面閉塞され保護されている 後行側が丸鋼でボケット閉塞され保護されている																								
面取り・ケバ取り	先行側天端の止水ゴム接触部が面取りされている 後行側下端の止水ゴム接触部が面取りされている 側面の止水ゴム接触部のケバ取りされている																								
ボケット部清掃	異物(小石、砂等)や浮き鏝がないこと																								
被覆電線	傷・キック等損傷がない 導管養生が所定の方法で行われ、絶縁確認済のマークがつけられている 取付位置の確認(確認より100mm上げ) ボンドは全体的に付着している 導管シフトコン注入区間においてボンドで固定されている 天端においてのテープにより固定されている(バイブロハンマに当たらない)																								
止水ゴム	テーパーカットされ、テーパー部が外向きになっている 所定の長さを確保している ボケット内から浮きがなく設置されている(導管部シフト量)																								
保護材	所定長さを確保している 下端部の養生が確実に補填されている 固定テープが所定の間隔で設置されている																								
最終確認	加工作業完了後、最終を確認する																								
備考																									

工事名: 豊洲3号埋立地建設工事 土木工事 揚反岸壁地区

打設場所:

日付	確認者	打設No.	鋼矢板 Product No.	先端部養生		面取り・ケバ取り				止水ゴム						
				先行側が溶がボルト締めで全面閉	後行側が丸鋼でボケット閉	部 先行側天端の止水ゴム接触	部 後行側下端の止水ゴム接触	るの側ケバの取り止水ゴム接触	なテープが外向きになっている	いる所定の長さを確保して	なボケット内から浮きがない	の下端部養生部による浮き				
				後行	先行	後行	先行	後行	先行	後行	先行	後行	先行	後行	先行	

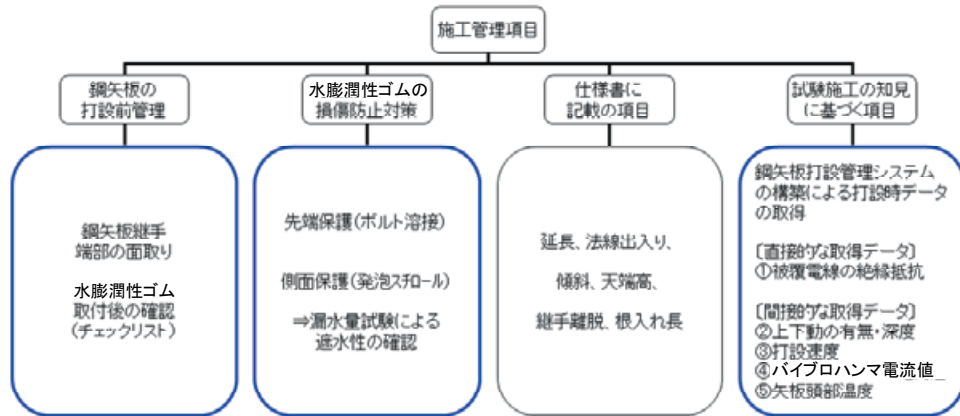


図-A.5 施工管理項目

4回の試験施工で得られた知見に基づき、鋼矢板打設時の水膨潤性ゴムの損傷を低減するために施す4つの保護対策（①碎石規格、②先端保護、③側面保護、④被覆電線）に関する仕様を表-A.6のように設定した。

表-A.6 水膨潤性ゴム保護対策の仕様

保護対策の項目	規格
① 鋼矢板根入れ部の碎石規格	碎石規格 20～13mmまたは40～20mm
② 継手部先端保護	ボルト溶接および丸鋼溶接
③ 継手部側面保護	発砲スチロールφ20×2本
④ 損傷感知用の被覆電線	φ0.8mmのUターン方式を先行側継手に配置 ただし、上記に切り替わるまでは、従来方式および接着材付熱収縮チューブ式を併用

A4.3 施工管理項目

鋼矢板打設時の施工管理項目は、一般的に仕様書に記載される項目に試験施工の経験を踏まえた項目を追加する。追加項目として、鋼矢板の打設前管理、水膨潤性ゴムの損傷防止対策、および試験施工の知見に基づく項目（打設時データの取得）の3項目が挙げられる。図-A.5に施工管理項目の内容を示す。

表-A.7 遮水鋼矢板打設時の取得データ

直接的取得データ	間接的取得データ
①被覆電線の絶縁抵抗値	②上下動の位置・深度
	③打設時間・打設速度
	④パイプロハンマの電流値
	⑤鋼矢板頭部温度

A4.4 鋼矢板継手部の品質評価方法

試験施工の結果に基づき、鋼矢板打設時に自動計測システムにより取得されたデータから、鋼矢板継手部の品質を評価する。鋼矢板打設時の取得データは、継手部の品質を判断する観点から、直接的取得データおよび間接的取得データに分けられる。それぞれのデータの内容を、表-A.7に示す。

試験施工で得られた知見を以下にまとめる。

- ・絶縁抵抗が確認された矢板の継手の水膨潤性ゴムには欠損はなく、亀裂や磨耗が生じるのみである。
- ・被覆電線の絶縁抵抗が大きく低下した位置（打設中の後行矢板の先端位置に対応する先行矢板上の位置）と水膨潤性ゴムの損傷位置は一致した。
- ・後行側継手の水膨潤性ゴムは先行側継手の水膨潤性ゴムに比べ損傷しにくい。
- ・漏水量試験の結果、水膨潤性ゴムが一つだけでも必要な遮水性能は確保できる。
- ・碎石層内で上下動を多くした場合には水膨潤性ゴムが

欠損した。

これらの事項から、絶縁抵抗値の保持状況と水膨潤性ゴムの損傷に関連性があることが認められ、少なくとも絶縁抵抗が保持された矢板の継手では、水膨潤性ゴムは健全であると判断できる。一方で、絶縁抵抗値がゼロとなった継手においても、上下動等による過度な負荷が与えられなければ、水膨潤性ゴムは摩耗だけで、欠損までに至らないことを確認した。これにより、絶縁抵抗値の有無を水膨潤性ゴムの健全性の指標とする場合、安全側の判断ができると言える。

以上を踏まえ、打設時の取得データを基に継手部の健全性を評価する方法として、以下の手順によって判断するものとした。

【ステップ1】

被覆電線の絶縁抵抗値（①）の値により判断する。先行矢板および後行矢板のいずれかにおいて、絶縁抵抗値が計測されていれば水膨潤性ゴムは健全であると判断する。いずれの絶縁抵抗値も計測されなかった場合

は、ステップ2により判断する。

【ステップ2】

先行矢板と後行矢板のいずれにおいても絶縁抵抗値が計測されなかった場合には、試験施工の知見に基づき②、③、④、⑤の各取得データから総合的に水膨潤性ゴムの健全性を判断する。施工記録を詳細に検討し、打設時に複数回の上下を行うような過度な負荷が生じていなければ、水膨潤性ゴムは健全であると判断する。

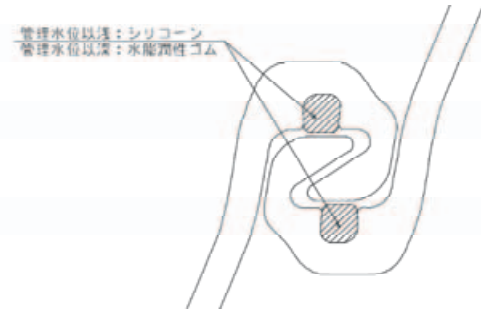


図-B.1 シリコーン注入箇所図

付録-B. シリコーン注入の施工管理結果

B1. 施工管理の考え方

鋼矢板の継手部は、遮水性を確保するため図-B.1に示す継手に設置したポケット内部に、管理水位以深では水膨潤性ゴスを矢板打設前に設置し、管理水位以浅ではシリコーン樹脂を矢板打設後に注入・充填する。管理水位以浅に対して行うシリコーン樹脂注入は、継手の空隙を完全に充填するために所要量を連続的に確実に充填することが必要である。

注入作業は充填状況を確認しながら注入管が液面から出ないように徐々に上げる必要があるが、注入箇所や注入状況を直接目視で確認できない。そこで、作業を確実にを行うため、以下の施工管理上の留意事項を徹底した。

- ・継手部から注入材が流れ出さない（チキソ性がある）材料を用いること。
- ・全体の注入量は充填面積が最大となる引張継手の嵌合状態に相当する量の1.2倍以上とすること。
- ・単位当りの必要注入量を継手部に確実に注入すること。
- ・注入管からの時間当たりの吐出量をキャリブレーションによって事前に確認すること。
- ・吐出量に応じて注入する管の引上げ速度を制御・管理すること。
- ・事前に試験施工を実施し、上記手法によって十分に充填されていることを確認すること。

継手部への注入作業における施工管理は、キャリブレーションにより時間当たりの吐出量を把握すること、ならびに、その量に応じた引上げ速度を遵守することで、全体ならびに単位長さ当たり、所定量が注入・充填される。

B2. 施工管理データ項目

上述の施工管理の考え方に従って実施したシリコーン樹脂（充填材）注入作業において記録した施工管理デー

タは以下の項目である。

- ・注入箇所（矢板No.、継手の嵌合状態）
 - ・注入日
 - ・注入長(m)
 - ・実績注入量(cm³)
 - ・キャリブレーション吐出量結果(g/30sec)
 - ・気温(°C)
 - ・ホース引抜時間(秒)
- 施工管理データ内容から抜粋したものを表-B.1に示す。

B3. 施工管理データの概要

取得された施工管理データの概要は以下のようにまとめられる。

- ・施工時期: 2009/3/13～2010/1/26
 - 1期目: 2009/3/13～3/31
 - 2期目: 2009/6/3～6/29
 - 3期目: 2009/12/9～2010/1/26
- ・注入範囲: +3.0m（矢板天端）～+0.8m（管理水位）（異形矢板部の水膨潤性ゴム未設置箇所にも注入）
- ・注入箇所: 2843箇所（異形矢板部の複数回注入箇所は1箇所とカウント）
- ・注入回数: 719回（4箇所同時注入が標準、2または6箇所同時注入数カ所）
- ・注入長さ測定データ数: 2847回（異形矢板部の複数回注入データを含む）
- ・材料使用量測定データ数: 721回
- ・ホース引抜時間測定データ数: 2841回（高止まり箇所の止水対策用注入は除く）

B4. 施工管理データの整理

B4.1 注入長さ

注入長さの設計と実績の差を1～3期に分けて表示したものを図-B.2に示す。設計長と実績長が同じ箇所は2758箇所全体で全体の96.9%（=2758/2847）を占める。

表-B.1 施工管理データ内容の例

注入箇所	注入日	注入長(m)			注入量(cm ³)			材料使用量(cm ³)			注入量(cm ³)			キャリブレーション結果(g)	引き抜き速度(秒/m)	ホース引抜き時間			
		年/月/日-SET	潮位	設計(b')	実測(b)	差	(a×b')	(a×b)	面積(a)	ベール缶 目盛尺(前)	ベール缶 目盛尺(後)	設計	実績			比率	設計(C) (秒)	実施(D) (秒)	(D)/(C)
1-W	青	2009/03/13-1	+0.7	2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09						145		315	333	1.06
2-E	黄	"	14.00	2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	495	595			149		315	333	1.06	
2-W	白	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	差	100			140		315	330	1.05	
3-E	赤	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	ベール缶 断面積	637.9	4479.2	6379.0	1.424	133	143	315	330	1.05
3-W	青	2009/03/13-2		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	595	670			145		315	378	1.20	
4-E	黄	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	410	432			149		315	378	1.20	
4-W	白	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	差	97			140		315	333	1.06	
5-E	赤	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	ベール缶 断面積	637.9	4479.2	6187.6	1.381	133	143	315	333	1.06
5-W	青	2009/03/16-1	+0.8	2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	505				136		308	317	1.03	
6-E	黄	"	8.00	2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09		600			154		308	317	1.03	
6-W	白	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	差	95			159		308	322	1.05	
7-E	赤	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	ベール缶 断面積	637.9	4479.2	6060.1	1.353	146	140	308	322	1.05
7-W	青	2009/03/16-2		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	600	660			136		308	320	1.04	
8-E	黄	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	405	435			154		308	320	1.04	
8-W	白	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	差	90			159		308	325	1.06	
9-E	赤	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	ベール缶 断面積	637.9	4479.2	5741.1	1.282	146	140	308	325	1.06
9-W	青	2009/03/16-3		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	435				136		308	322	1.05	
10-E	黄	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09		535			154		308	322	1.05	
10-W	白	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	差	100			159		308	327	1.06	
11-E	赤	"		2.20	2.20	0.00	1119.8	1119.8	5.09	ベール缶 断面積	637.9	4479.2	6379.0	1.424	146	140	308	327	1.06

※設計注入量；設計注入長×注入部断面積（引張嵌合状態）
 実績注入量；ベール缶の目盛尺の前後の差×ベール缶の断面積
 ホース引抜き時間（設計）；設計注入長÷引抜き速度

長さが異なる箇所は全体で89箇所あるが、以下の範囲に比較的集中（73箇所、83%）している。

- ・ 矢板No.1~200（40箇所）は全般にわたって発生しているが-3cm以下の差である。
- ・ No.613~620（11箇所）は短い区間に集中して発生しており、比較的差が大きい。
- ・ No.1098~1147（22箇所）も短い区間に集中して発生しているが-2cm以下の差である。

上記のうちNo.613~620の区間は鋼矢板が高止まりした箇所と一致する。鋼矢板が高止まりした箇所は、後述する対策（継手外側に別途注入）を実施しており、注入長の違いによる問題は無いと考えられる。

図-B.3に鋼矢板の高止まり区間を除く2836箇所の注入長さの設計と実績との差の分布を示す。

高止まり箇所のデータを除くと全て-3cm以内に収まっている。また、設計よりも注入長が長いデータは無く、矢板打設から注入までに時間が経過した場合、水膨潤性ゴムの膨張によりシリコン樹脂の注入長が短くなった可能性が考えられる。

B4.2 注入量

注入551回の設計注入量と実績注入量の比を図-B.4に示す。注入量は設計の1.2~2.0倍となっているが、1期目のデータが2期目、3期目に比べばらつきがわずかではあるがやや大きい傾向が見られる。特に施工の初期に相当

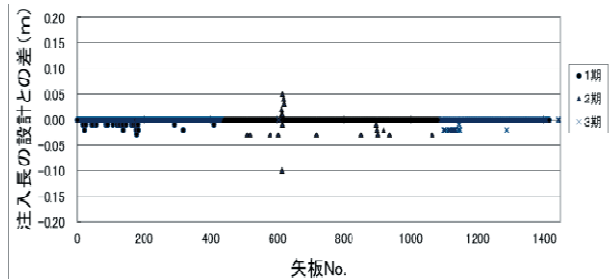


図-B.2 注入長さの設計と実績の差

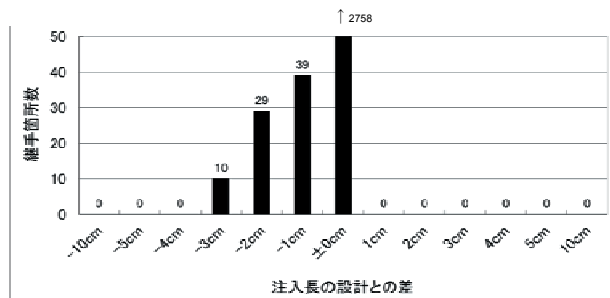


図-B.3 注入長さの設計と実績の差の頻度分布

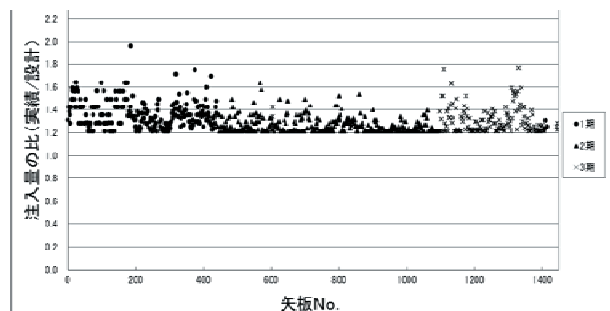


図-B.4 注入量の設計と実績の比

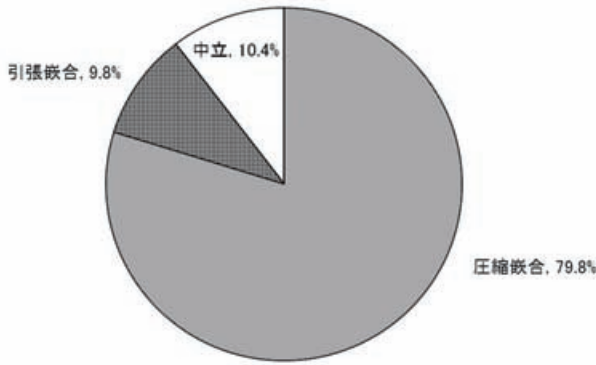


図-B.5 継手の嵌合状態

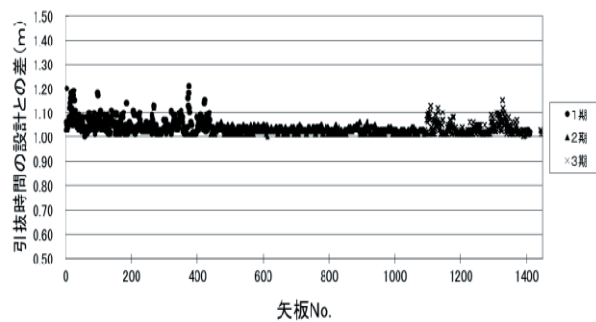


図-B.6 ホース引抜き時間の設計に対する実績の比

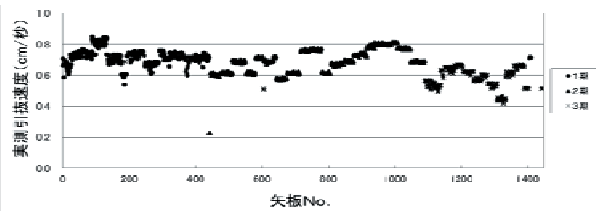


図-B.7 注入ホースの平均引抜き速度

する箇所においてはばらつきが大きく、注入量に対する慎重さや作業に対する慣れなどがばらつきの程度を左右するものと考えられる。

設計注入量は、最も注入量が大きくなる引張嵌合状態の容積（約5.09cm²）を基に計画しているが、全データにおいて注入量は設計量の1.2倍以上、全体で見ても約1.3倍となっている。継手の嵌合状態を調査した結果を図-B.5に示す。

実際の嵌合状態の80%近くが圧縮嵌合状態（約2.92cm²）であり、実際の注入容積は設計よりも少なく、注入量は容積の2倍近く実施していたことになる。

以上のデータにより、実際の注入容積が想定よりも小さかったことから、注入量を設計注入量の1.2倍以上として行った施工管理は、注入量に関して十分に機能していたと判断できる。

B4.3 注入ホース引抜き時間と引抜き速度

注入ホースの引抜き時間の設計に対する実績の比を図

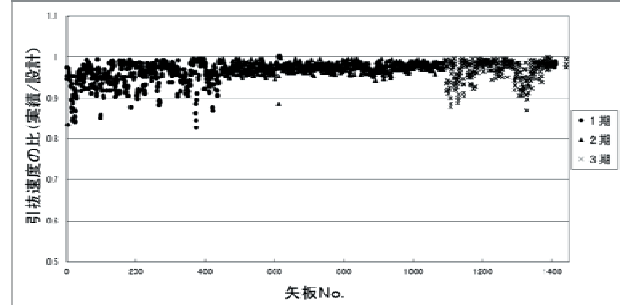


図-B.8 注入ホース引抜き速度の実績値と設計値の比

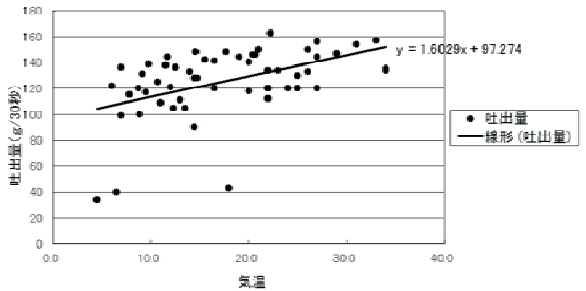


図-B.9 キャリブレーションにおける吐出量と気温の関係

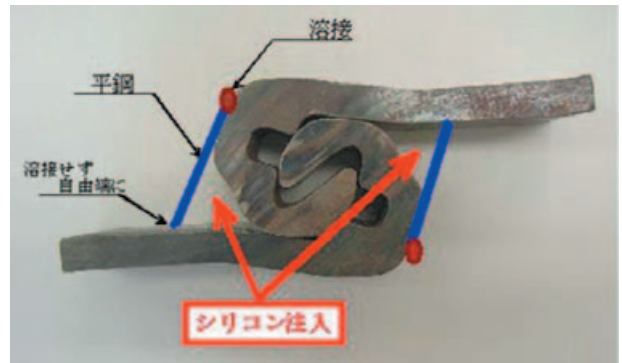
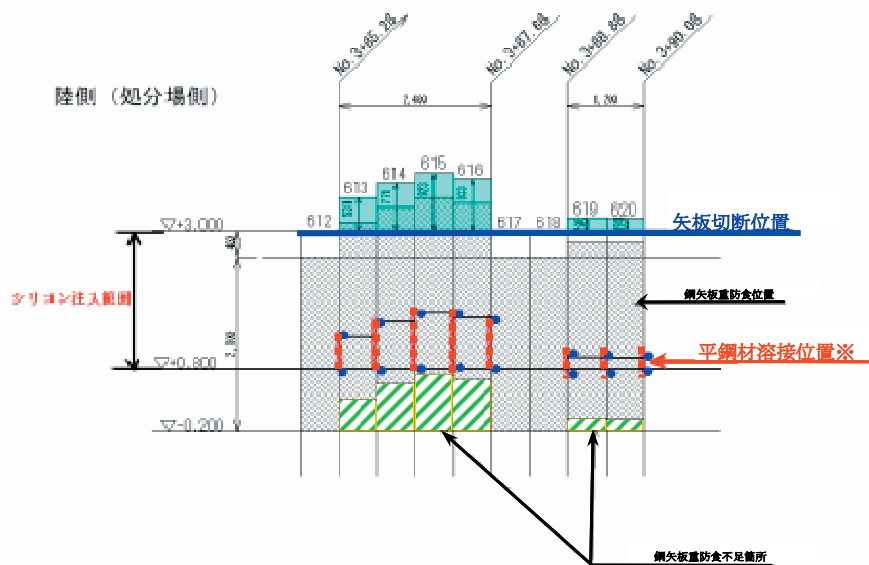
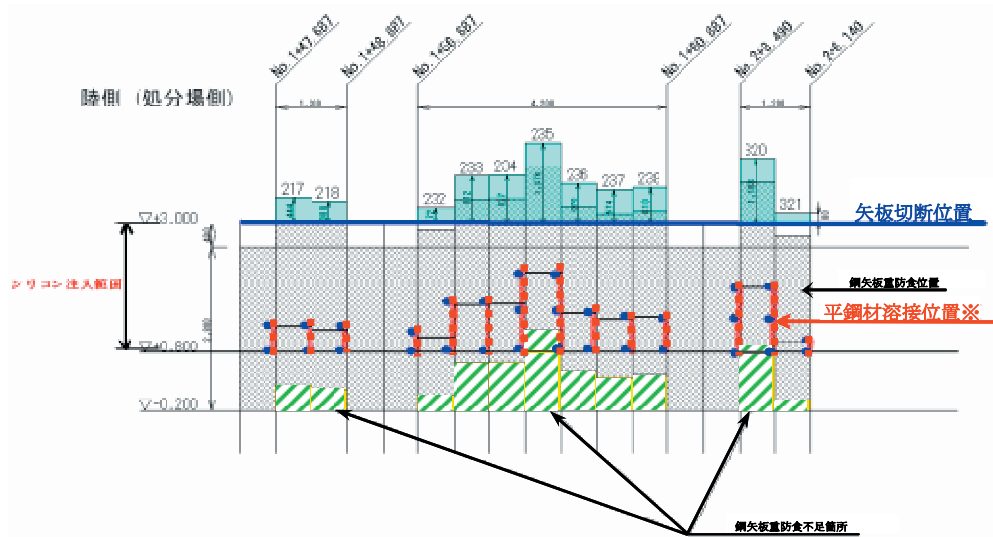


写真-B.1 高止まり箇所の止水対策

-B.6に示す。注入ホースの引抜き時間の比は全て1.0以上となっており、設計よりも長い時間をかけて引き抜いている。2期目のデータが最も安定しており、1期と3期のデータでばらつきがやや大きい傾向がみられる。

注入ホースの引抜きに要した時間とホース挿入長さから求めた平均引抜き速度を図-B.7に示す。1期目と2期目に大きな違いが無く、3期目はやや引抜き速度が低い傾向が見られる。平均引抜き速度でみると、1期目が0.72cm/秒（140秒/m）、2期目が0.69cm/秒（145秒/m）に対し、3期目は0.58cm/秒（169秒/m）と特に低くなっている。

図-B.7において引抜き速度が0.2cm/sec程度と速度が特に低い箇所（矢板No.440～444）があるが、2期の施工開始の箇所で、吐出量キャリブレーションの結果も小さい値となっており、設計どおりの結果で特に問題はない。吐出量が小さい理由は、注入再開の最初の箇所で特に慎



※ 溶接箇所はゴムがシリコン注入範囲に高止まりしている範囲であり、図上の点線部

図-B.10 高止まり箇所の止水対策範囲

重な施工を行ったためと考えられる。2期目の最初の注入箇所は矢板打設から6ヶ月程度経過している。

図-B.8は引抜き速度の設計値（設計注入長／設計引抜き時間）と実績値（実績注入長／実績注入時間）の比を示したものである。

ホース引抜き速度の実測値と設計値の比についても、図-B.6の引抜き時間の比のデータと同様に、1期目と3期目のデータにバラツキがみられた。この理由として以下が考えられる。

- ・1期目は設計引抜き速度が高めに設定されていた。
- ・2期目では1期目のデータを踏まえ設計引抜き速度を低く設定した。
- ・1期目終了後に引抜き装置を改良したことにより、2期目の引抜き作業がスムーズに行えるようになった。

- ・3期目は12月～1月の冬季施工であったため、図-B.9に示すように低気温の影響によって設計速度が低く設定され、実施工では確実な施工のためにさらに速度を落とした作業となった。

B5. 鋼矢板高止まり箇所の処理について

鋼矢板打設において、下記の区間で高止まりが発生した。

- ・矢板No.217～218の4枚：高止まり高0.38～0.44m
- ・矢板No.232～238の7枚：高止まり高0.27～1.38m
- ・矢板No.320～321の2枚：高止まり高0.20～1.11m
- ・矢板No.613～616の2枚：高止まり高0.53～0.92m
- ・矢板No.619～620の2枚：高止まり高0.20～0.21m

鋼矢板の高止まりは、鋼矢板の継手部に設置されている水膨潤性ゴムの範囲が管理水位（+0.8m）より高くにまで位置することで、水分が不足して膨張不足を引き起こし、その結果、遮水性が発揮されないことが懸念された。その対策として、高止まりした長さ分については、矢板の継手部の外側に平鋼でカバーを取り付け、形成される内部空間にシリコン樹脂を注入して（写真-B.1）、遮水性を確保した。止水対策を施した範囲を図-B.10に示す。

B6. シリコン注入施工管理のまとめ

シリコン樹脂の注入工において遮水性能に影響を及ぼす要因を以下にまとめる。

- ・異物、海水、空気などがポケットに残存し、シリコン充填が十分に行き渡らずに空隙が残存すること。
- ・水膨潤性ゴムが打設時に大きく位置ずれし、残留水位より上部で膨張不足となるなど、シリコン樹脂と水膨潤性ゴムの互いの特性を生かせない状態になること。
- ・注入ホースの引抜き速度が速すぎて、液面より注入管が露出して空気が混入すること。
- ・何らかの理由によって想定よりも注入量が少ないこと。

遮水性を損ねる要因の有無を判断するために、鋼矢板継手部のシリコン樹脂注入時の施工管理データについて、注入長、注入量、注入ホース引抜き時間と引抜き速度に関する施工データに着目して品質を確認した結果を以下にまとめる。

- ・注入長の設計との差は大半が±0cmであり、差がある場合でも-3cm以内に収まった。
- ・全ての箇所設計値以下の速度で管を引き抜きながらシリコン樹脂が注入された。
- ・全ての箇所設計量の1.2倍以上のシリコン樹脂が注入された。
- ・1期目のデータにややばらつきが大きい傾向が見られ、想定とは多少異なる状況となっているが、管理データとしては安全側の値となっている。

以上から、遮水性に影響を及ぼすような要因は施工データからは認められず、適切にシリコン注入が行われたことが裏付けられた。なお、懸念される状況として鋼矢板の高止まりがあったが、継手外部に止水対策を実施しており、これに起因する遮水性への影響は対策済みである。

港湾空港技術研究所資料 No.1262

2012. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

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

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2012) by PARI

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

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



古紙配合率70%再生紙を使用しています