

# 凍結技術を用いた水中部の仮設ドライアップ工法

宮 沢 明 良・川 合 信 也・松 能 功

これまで港湾・護岸・河川構造物の干満帯から水中部での補修・補強工事では、鋼製函体を使用してドライな作業空間を構築する仮設工法による施工があるが、複雑な形状の構造物に対する止水の確実性が課題としてある。そこで水を含んだ止水材を凍結させて止水効果を確保する仮設ドライアップ工法を開発した。本工法の特徴は、鋼製函体と対象構造物との接合部に柔軟なスポンジ状の止水材を配置して、海水や河川水を十分に含んだ止水材を、液体窒素やブラインを使用した地盤凍結工法の技術を応用して凍結させることにより、複雑な形状に対する止水の確実性を確保する。本稿では、開発した工法概要とこれまでの工法開発の成果について報告する。

キーワード：補修，補強，仮設，鋼製函体，凍結，液体窒素，ブライン

## 1. はじめに

従来、港湾・護岸・河川構造物の海中部（水中部）から干満帯付近の補修・補強工事は、鋼矢板や鋼管矢板を打設した仮締切り工法や潜水作業により多くが施工されてきた。しかし、仮締切り工法では、橋梁の桁下等で矢板打設が困難となるなどの施工条件の制約があるとともに、施工期間が長く費用が嵩む、また潜水作業では作業効率が気中作業に比べて落ちるとともに、施工の品質を確認することが容易ではないなどの問題点があった。これまでもドライ空間を確保する仮設工法は存在するものの、止水方法に硬質ゴムや水中コンクリートを使用するため、止水の確実性が課題としてあった。

このような背景から、東亜建設工業(株)、信幸建設(株)、(株)精研の共同開発により、構造物への追従性と確実な止水性を兼ね備えた独自の止水技術による仮設ドライ工法の開発を進めてきた。

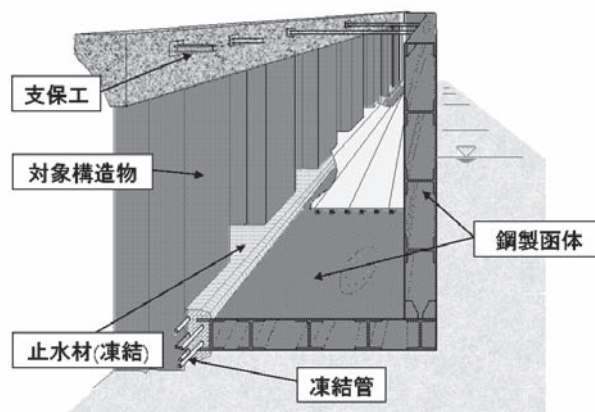
今回開発した「どこでも DRY」工法は、水際から水中部での補修・補強工事において、対象構造物との接合部に柔軟なスポンジ状の止水材を設置した鋼製函体を接合させ、水を十分に含んだ止水材を地盤凍結工法の技術を応用して凍結させて、函体内の水をポンプで除去することにより、ドライな作業空間を確保する工法であり、施工の品質を確保するためのドライな作業空間を構築し、安全性（止水の確実性）、作業効率および経済性を兼ね備えた工法である。

本稿では、本工法の概要・特徴を紹介し、本工法の止水性について大型水槽実験及び実海洋環境実験により検証した結果を示す。

## 2. 本工法の概要

### (1) 工法概要

本工法の概要図(矢板式構造物の例)を図—1に示す。



図—1 本工法の概要図

#### (a) 鋼製函体

鋼製函体（H形鋼，鋼板等）はドライ作業空間を構築するための骨格であり，対象構造物の概略の形状及び必要作業空間の大きさに合わせて工場製作する。

#### (b) 止水材

止水材は対象構造物と鋼製函体との接合部に配置す

る。柔軟で吸水性の高いスポンジ状の材料を使用することで、対象構造物と鋼製函体との隙間を閉塞して十分に吸水した状態で凍結することにより確実な止水効果を発揮する役割となる。

(c) 凍結管と冷媒供給装置

凍結管は吸水した止水材を凍結させるために止水材内部に連続的に配置する。凍結管端部を冷媒供給装置に接続して、冷媒を通して止水材を凍結させる役割となる。

(2) 施工手順

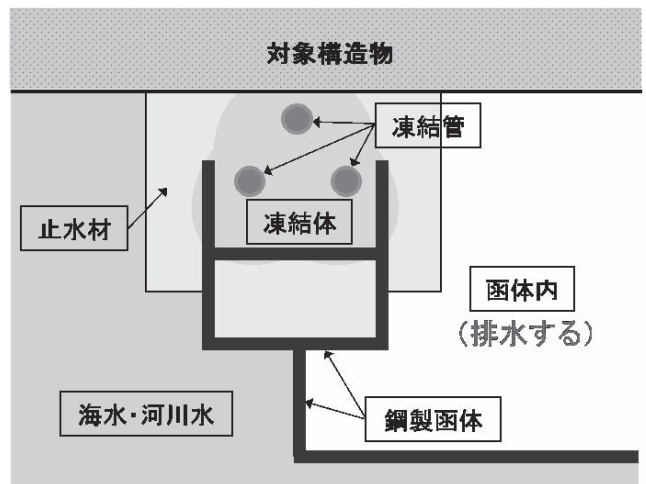
本工法の施工フローを図一2に、止水部の断面図を図一3に示す。

(a) 鋼製函体製作

鋼製函体は工場で製作する。対象構造物の形状を事前測量する必要があるが、20 cm 程度の誤差はスポンジ状の止水材の変形で吸収できるため、複雑な形状の函体を製作する必要はない。

(b) 凍結管・止水材設置

製作した鋼製函体に、凍結管とスポンジの止水材を



図一3 止水部の断面図

事前に陸上で設置する。凍結管を止水材が取り巻くように配置し、止水材は工業用接着剤、凍結管は溶接で固定する。スポンジ材料は市販品であり入手は容易である。凍結管材料は冷媒によって、鉄、銅、ステンレス管を使用する。

(c) 鋼製函体設置

鋼製函体を所定の位置に吊り込んで、事前に上部工等に固定したH形鋼や支保工で函体上部を固定する(下部は固定無し)。凍結時に水の動きがあると凍結し難くなるため、この時点で止水材と構造物との間に大きな隙間が無いことを確認する。

(d) 冷媒供給装置接続, 凍結開始

鋼製函体に設置した凍結管両端部に、冷媒供給装置への配管を接続する。凍結管内を流通させる冷媒として、液体窒素(LN<sub>2</sub>)あるいはブライン(塩化カルシウム溶液)を使用する。凍結は冷媒の熱量を効率的に凍結体造成へ供給されるように、事前温度解析によって凍結管の配置を決定するとともに、施工時の温度測定管理を実施して冷媒の供給量・流通方向を変化させる。

(e) 函体内部排水

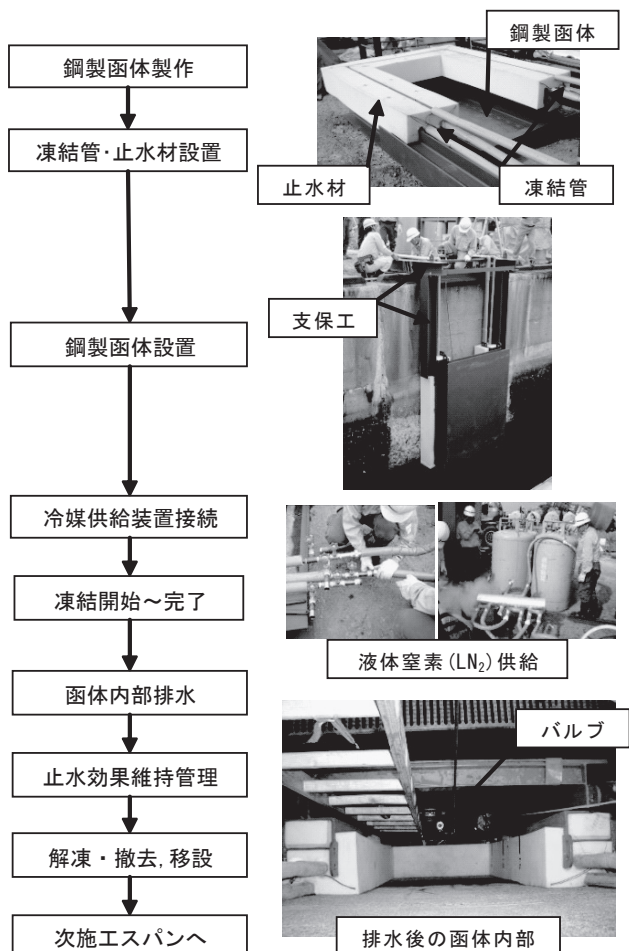
止水材の凍結が完了して十分な止水効果が発揮されることを判断する方法は、止水材の各箇所に設置した熱電対による温度測定管理データを確認する。また、凍結部分の止水材に直接細い棒状の確認針を差し込んで観測して、実際の凍結体寸法や硬さを確認する。

止水材の凍結が完了したら函体底面のバルブを閉めて、函体内部の水を水中ポンプで排水する。

排水完了後には、流入水が無く止水効果が十分に確保されているか確認する。

(f) 止水効果維持管理

凍結した止水材の止水効果を維持するために、上記と同様に止水材の各箇所に設置した熱電対による温度



図一2 本工法の施工フロー

測定管理データを確認する。基本的に維持管理には冷凍機を使用して、 $-25^{\circ}\text{C}$ のブラインを循環させて凍結体の維持を確実に行うことが可能である。

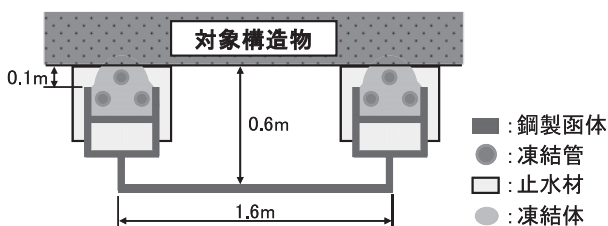
### 3. 本工法の止水性に関する検証

本工法において、止水効果を確保する凍結体を造成および維持するためには、凍結管内に流通させる冷媒として液体窒素 ( $\text{LN}_2$ :  $-196^{\circ}\text{C}$ ) とブライン (塩化カルシウム溶液:  $-25^{\circ}\text{C}$ ) がある。これら2種類の冷媒を使用して、吸水した止水材を凍結させることによる止水性確認実験を行った。また、事前温度解析結果と実験結果との比較から、温度計測管理による止水性確保の検証を行った。次にそれらの実験概要と実験結果を示す。

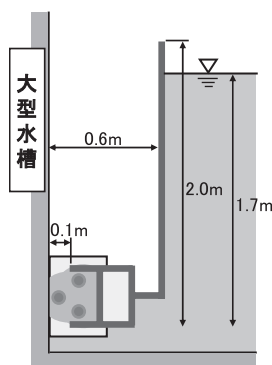
#### (1) 大型水槽での実験

##### (a) 実験概要

図一四に示した側面と上面が開口となる鋼製函体 ( $W0.6\text{ m} \times L1.6\text{ m} \times H2.0\text{ m}$ ) に止水材と凍結管 ( $\phi 25\text{ mm} \times 3\text{ 本}$ ) を配置して、図一五に示すように大型水槽 ( $W1.8\text{ m} \times L3.7\text{ m} \times D1.8\text{ m}$ ) 内に設置した。水槽内および鋼製函体内に水道水で満たした状態で、冷媒として冷凍機で冷却したブライン ( $-25^{\circ}\text{C}$ ) を凍結管に流通させて吸水した止水材に凍結体を造成した。熱電対により止水材内部の温度測定を行って温度変化と経過時間を計測し、函体内を排水して凍結による止水性とドライ状態の維持を確認した。



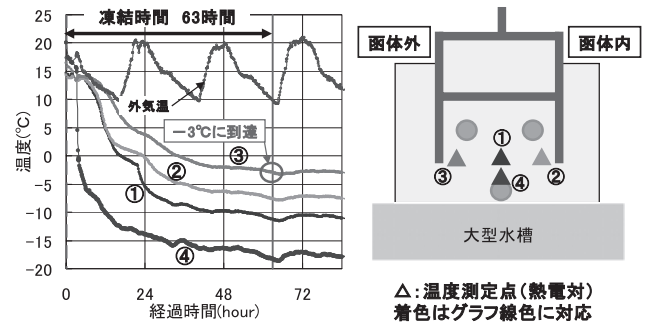
図一四 止水性確認実験平面図



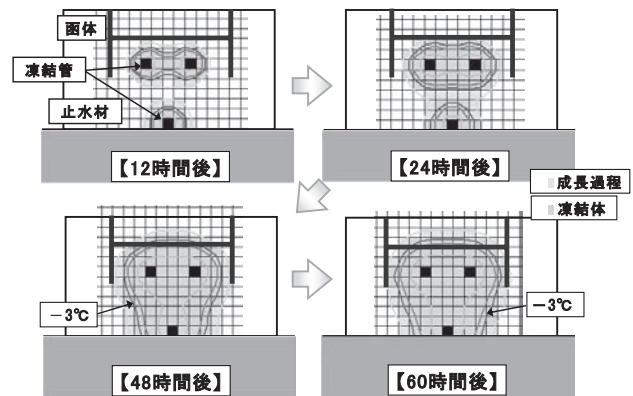
図一五 大型水槽実験断面図

#### (b) 実験結果

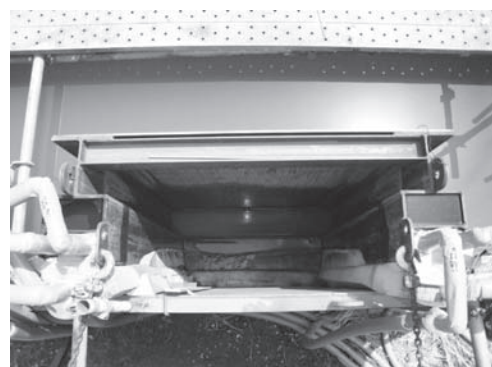
図一六に凍結開始を基点とした止水材内部温度の経時変化を示す。凍結時は測定温度を確認しながら、最も温度低下 (凍結速度) が遅い測温点③が $-3^{\circ}\text{C}$ に到達した時点で止水効果を得る凍結体が造成されたと判定した。函体内を排水して内外の水位差1.7mが生じても止水部分での函体内への水の流入は確認されず、十分な止水性が確認できた。冷媒の供給を継続し函体内部をドライな状態に維持できることも確認した。本実験では凍結時間に約63時間を要したが、これは図一七に示す事前温度解析結果の60時間とほぼ同等の凍結時間であり、解析により概ね予測可能であることを確認できた。また、冷凍機的能力により凍結時間は短縮することが可能であると考えられる。



図一六 大型水槽実験温度計測結果



図一七 事前温度解析結果 (大型水槽実験)

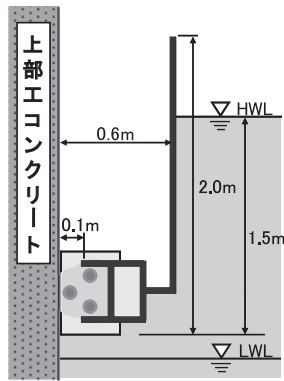


写真一 大型水槽実験による止水性確認

(2) 実海洋環境での実験

(a) 実験概要

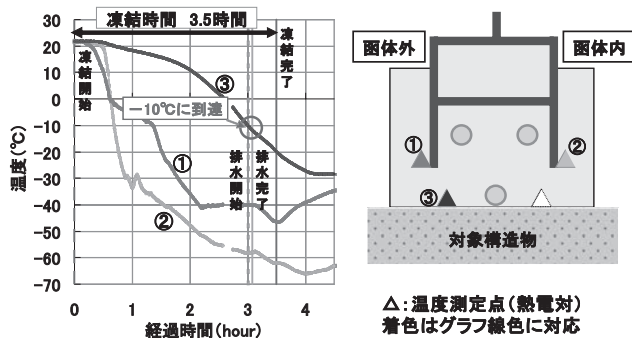
図一8に示すように、岸壁上部工コンクリートに同様の鋼製函体・止水材・凍結管を配置して、函体上部を支保工で仮固定した。冷媒として液体窒素（-196℃）を使用して海水を吸水した止水材に凍結体を造成した。凍結時は、潮位変動（干満差2.0m）での函体内外の水位差が生じないように、函体底部に設置したバルブを開いた状態とした。さらに熱電対により温度測定を行い、函体内を排水して凍結による止水性とドライ状態の維持を確認した。



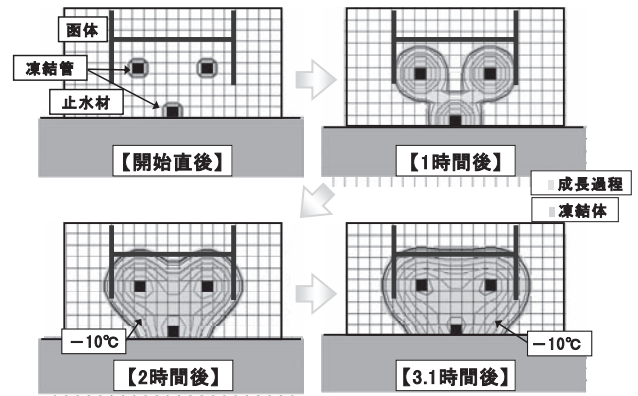
図一8 実海洋環境実験断面図

(b) 実験結果

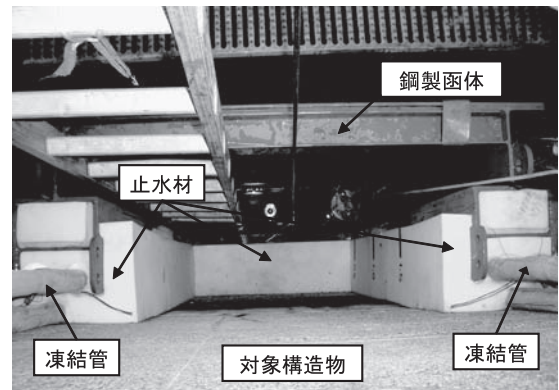
図一9に凍結開始を基点とした止水材断面内部温度の経時変化を示す。本実験では海水の凍結温度が-2℃であることを考慮して、最も温度低下（凍結速度）が遅い測温点③が-10℃に到達した時点で凍結体が造成されたと判定した。函体内を排水して内外の水位差1.5mが生じても函体内への流入は確認されず、実海洋環境においても十分な止水性が確認できた。本実験では凍結時間が3.5時間であり、図一10に示す事前温度解析結果3.1時間とほぼ同等であり、液体窒素（LN<sub>2</sub>）を使用することで急速凍結が可能であることを確認した。



図一9 実海洋環境実験温度計測結果



図一10 事前温度解析結果（実海洋環境実験）



写真一2 実海洋環境実験による止水性確認

4. 本工法の特徴

本工法を採用することにより、次の特徴を期待できるものと考えられる。

- ①柔軟なスポンジ状の止水材を凍結させることで、複雑な形状の構造物に対する確実な止水が可能となる。
- ②施工前の温度解析と施工中の温度測定管理を実施することにより、凍結体の性状を把握して止水効果を確認するため、確実な止水性と安全性が確保できる。
- ③凍結に液体窒素（LN<sub>2</sub>）を使用することで、早期に止水効果が得られるため、本工事への着工が短縮される。
- ④凍結には海水や河川水を利用するため水質への影響がない。

5. おわりに

(1) まとめ

本稿では、凍結技術を用いた水中部の仮設ドライアップ工法の概要ならびに本工法の開発成果について報告した。以下にまとめを示す。

- ①吸水した柔軟なスポンジ状の止水材を凍結させる

ことで、止水効果を確保してドライな作業空間を構築することが可能である。

- ②止水効果を確保するための凍結体の造成及び維持については、地盤凍結工法の技術を応用することが可能である。
- ③大型水槽実験および実海洋環境実験において、凍結に使用する冷媒として液体窒素（LN<sub>2</sub>：-196℃）とブライン（塩化カルシウム溶液：-25℃）の両者について、止水性を確保するために十分な凍結体を作ることが可能であることを検証できた。
- ④事前温度解析結果により、実施工での凍結時間が概ね予測できることを確認できた。また、実施工において温度計測管理を実施することで、止水効果の確保・維持を実施できると考えられる。

## (2) 課題および今後の展開

本工法は、他工法では適用が難しい複雑な形状の構造物を対象として採用することを考えている。そのため、今後は様々な形状の構造物に対する確実な止水性の実証データを蓄積していく必要がある。

また、止水材の改良から凍結速度の向上を検討することで更なるコストダウンを図ることが目標である。さらに、事前温度解析による計画手法や実施工での

温度計測による管理手法の精度を高めることで、更なる止水性・安全性の向上を図ることが必要である。

今後、老朽化した港湾・護岸・河川構造物の補修・補強工事が増大すると考えられるため、様々な形状の構造物に対する確実な止水性・安全性の確保が確認できれば有用性の高い工法であると考えられる。

JCMMA

### 【筆者紹介】

宮沢 明良（みやざわ あきら）  
東亜建設工業(株) 技術研究開発センター  
新材料・リニューアル技術グループ 研究員



川合 信也（かわい しんや）  
信幸建設(株) 東日本支社  
土木部 工務課長



松能 功（まつのう こう）  
(株)精研  
凍結本部 技術部 技術課 係長



## 平成 21 年度版 建設機械等損料表

### ■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・各機械の燃料（電力）消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧（当協会発行）」の関連ページを掲載

### ■ B5判 約 730 ページ

#### ■一般価格

7,700 円（本体 7,334 円）

#### ■会員価格（官公庁・学校関係含）

6,600 円（本体 6,286 円）

#### ■送料 沖縄県以外 600 円

沖縄県 450 円（但し県内に限る）

（複数お申込みの場合の送料は別途考慮）

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒 105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>