

第1線防波堤におけるプレキャスト型枠の施工について

室蘭開発建設部 室蘭港湾事務所 第1工務課

○石田 厚子

嶋崎 皓輝

副所長

高橋 哲美

室蘭港の第1線防波堤である北外防波堤は、建設から50年以上が経過しており、上部及び胸壁コンクリートの老朽化によるひび割れや欠損が多数発生している。また、防波堤自体の沈下により荒天時の越波が生じているため、現在、老朽化対策と所要天端高さ確保を目的とした上部工嵩上げ及び本体工拡幅を進めている。北外防波堤では海象条件が工事の進捗に多大な影響を与えることから、令和4年度から本体の拡幅では、プレキャストコンクリート製残置型枠工法（以下、プレキャスト型枠工法）を採用している。本報文では、これまでの施工で得られた知見として、プレキャスト型枠工法を使用した場合の効果と課題について報告する。

キーワード：プレキャスト型枠、施工の効率化、防波堤

1. はじめに

室蘭港崎守地区北外防波堤は、船舶の大型化と公共埠頭の拡充に対応すべく、広大な被覆面積と安全な錨泊地を確保することを目的として昭和39年度から昭和47年度にかけて整備された第1線防波堤である（写真-1）。

その延長は1,967.5mであり、室蘭港を利用する多くの船舶に対して航行の安全を確保してきた。

しかし、建設から50年以上が経過しており、防波堤本体のケーソンは構造に影響する老朽化は見られないものの、上部コンクリートや胸壁コンクリートに大きなひび割れや欠損が発生するなど、全延長に渡り老朽化が顕著に見られている（写真-2）。また、防波堤自体に沈下が

見られ、一部では機能上必要な天端高さに対して70cmも不足している箇所もあり、防波堤としての機能が満足されていない状態となっている。このため北外防波堤では、老朽化が顕著に見られる基部側の延長419.5mにおいて、平成28年度から予防保全事業により劣化した上部工打ち替えと嵩上げを行うとともに、防波堤の安定性を確保するために本体工を港内側に拡幅する整備を進めている。

一方、北外防波堤は、直接、外海に面しているため、港内側の施工といえども気象や海象の変化が施工に大きな影響を与える。平成30年には、本体工の拡幅に必要な鋼製型枠を設置後、天候の急変により、波浪の影響を受けて型枠が外れ、港内に流出する被災が発生した（写真-3）。

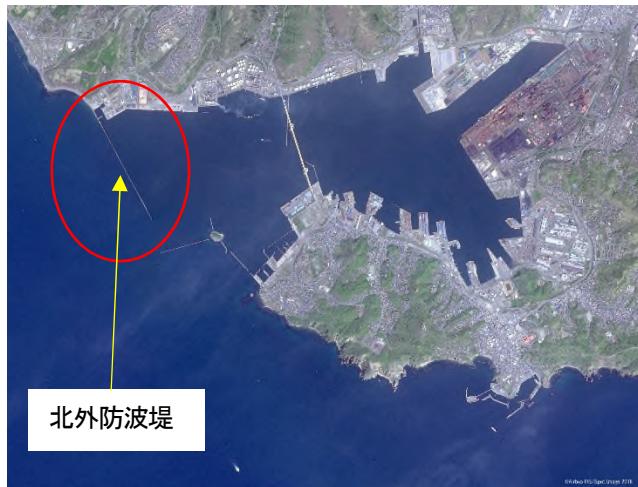


写真-1 室蘭港全景



写真-2 北外防波堤上部工の劣化状況

また室蘭港では、11月から2月までの冬期間において西風による風浪が強くなることにより起重機船等を使用する海上作業が困難となり、作業工程上の大きな制約条件の一つとなっている。このため、施工では、これらの支障となる要因を回避しつつ安全かつ円滑に進めることができ求められたため、鋼製型枠工法に替わるプレキャスト型枠工法の採用に向けた検討を令和元年度から行い、令和4年度の施工から採用した。本報文は第1線防波堤における堤体の拡幅にあたり、プレキャスト型枠工法を用いた施工の効果に関する検証結果を報告するものである。

2. プレキャスト型枠工法の採用

(1) 北外防波堤の改良断面

前述したように、北外防波堤には以下に示す劣化や変状に伴う現象が発生している。

- (ア) 上部コンクリートや胸壁コンクリートに大きなクラックや欠損が発生。
- (イ) 防波堤の沈下に伴う越波の発生。

一方、潜水土による水中部の目視調査結果では、北外防波堤の本体構造であるケーソンにおいて鉄筋が露出するような大きな損傷が見られておらず、またコンクリートの性状試験（強度試験、塩化物試験、中性化試験）の結果からも異常値は見られていない。これらを踏まえ、北外防波堤の改良断面は、上部工を所要天端高+4.0mで打ち替えを行うとともに、外力である波浪に対して防波堤の安定性を確保するため本体工を2.9mの幅で拡幅する断面とした（図-1）。

(2) 堤体拡幅の工法検討

第1線防波堤である北外防波堤の施工方法の検討は、天候による影響を最小限にするための工程短縮と施工時の安全性を確保することに主眼をおき、既存の施工で用いられている“鋼製型枠工法”と“プレキャスト型枠工法”を比較対象として選定した。

この比較検討における前提条件は、単年度施工を原則として冬季風浪の影響が顕著となる10月末までを工事適期として設定し、その上で、工期の短縮、施工性、経済性について比較検討を行うこととした。なお、工法の比較は、堤体であるケーソン1函当たりの拡幅を基本単位として行った。

北外防波堤のような本体堤体を拡幅する場合において一般に行われている鋼製型枠工法とプレキャスト型枠工法の施工フローを図-2に示す。鋼製型枠工法は、①鋼製型枠組立→②鋼製型枠据付（1日）（写真-4）→③水中コンクリート打設（1日）→④養生（2日）→⑤脱型（1日）、といった施工サイクルで行われ、①については陸上の作業ヤードにて型枠を大組みにすることから、施工日数の比較では、海上施工となる②から⑤までの5日/スパンとした。なお、この②から⑤の作業は、海象条件が良好

となる連続した日数が必要となるため、短期・中期的な気象予測の精度が施工工程の管理を左右する要因となる。

また、鋼製型枠工法の検討において、北外防波堤のケーソン1函当たりにおける拡幅部分の分割は、水中コンクリートの1日当たりの打設量から3スパン（図-3）とした。1スパン当たりの施工日数には5日を要することから、ケーソン1函当たり実施工日数として15日を要することとなり、港内作業における供用係数（1.65）を考慮すると28日になる。一方、プレキャスト型枠工法は、

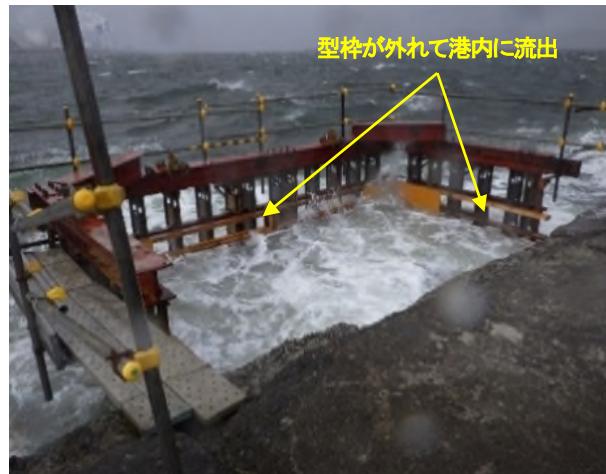


写真-3 平成30年度の施工における被災状況

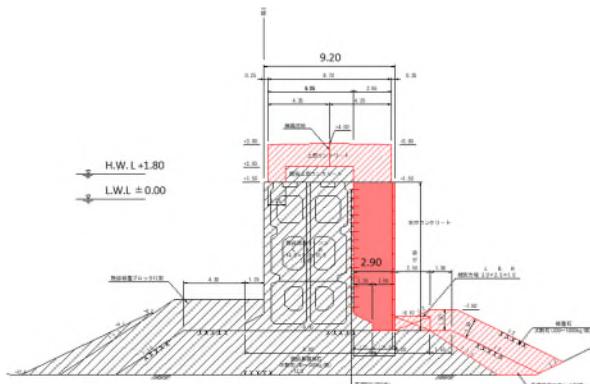


図-1 北外防波堤 改良断面図

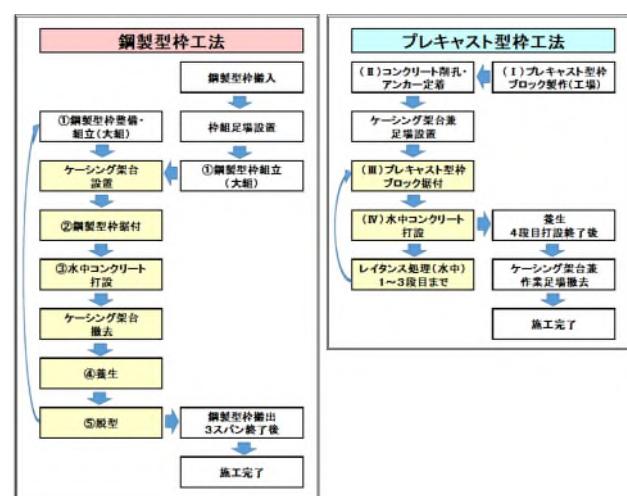


図-2 施工フロー

(I) プレキャスト型枠ブロック製作→(II) アンカー削孔・定着→(III) プレキャスト型枠ブロック据付 (写真-5)→(IV) 水中コンクリート打設、といったサイクルになるが、(I)と(II)は施工工程において連続する必要が無い。このため、海上施工において海象が良好となる連続した日数を要するのは (III)の2日と(IV)の1日となる。プレキャスト型枠ブロックの設置は1日当たりの水中コンクリートの打設量から鉛直方向に4段と設計されており (図-4)、その1段当たりの施工日数が3日となる。よって、ケーソン1函当たりの実施工日数は12日となり、供用係数を考慮すると20日となった。結果として二つの工法の所要日数では、プレキャスト型枠工法がケーソン1函当たりで8日間の短縮となり、加えて必要とする連続した施工可能日数が短縮されることから、工程的に優位との評価が得られたとともに10月末までの工事適期に作業が可能であることも確認した。

また、プレキャスト型枠ブロックが工場製作品であるため、工場においてストックが可能であることや、プレ

キャスト型枠自体がコンクリート壁となることから、鋼製型枠工法のような脱型が不要なため、連続施工が可能で工程が組み易いことがメリットとして挙げられる。さらにブロック単体の重量が大きいことにより、鋼製型枠に比べ波浪や潮流による型枠据付後の被災を受けにくいといった施工上の優位性が示され、令和4年度の改良工事から採用することとなった。

なお、これらの検討内容は、令和5年度に国土交通省から公表された「港湾工事におけるプレキャスト工法導入検討マニュアル（試行版）」に基づき、北外防波堤の工事にプレキャスト型枠工法を導入した際の効果をVfM (Value for Money) でも検証している。VfMでは、経済性といった定量的な評価に加え、これまで定性的に評価していた施工性について、省人化・省力化、出来型・品質確保の容易性、工期、維持管理のし易さ、労働災害防止への貢献や工事履行の確実性、地域活性化や環境への負担軽減といった項目に分類し、さらに細分化して数値化した比較を行っている。結果としてプレキャスト型



写真-4 鋼製型枠据付状況



写真-5 プレキャスト型枠ブロック設置

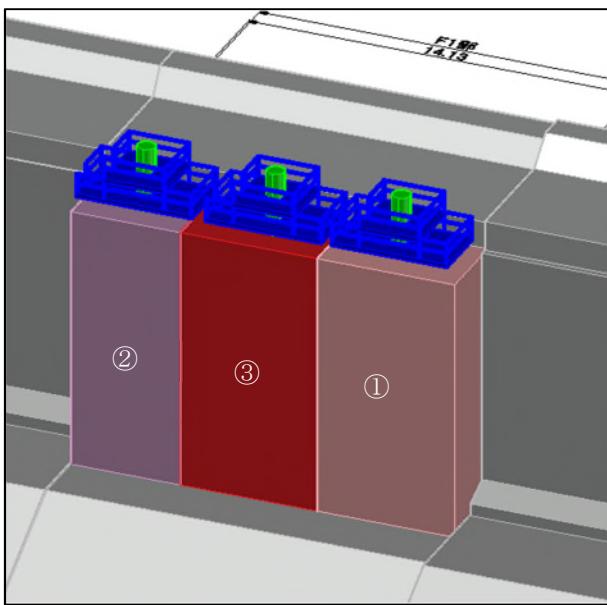


図-3 鋼製型枠工法による施工イメージ

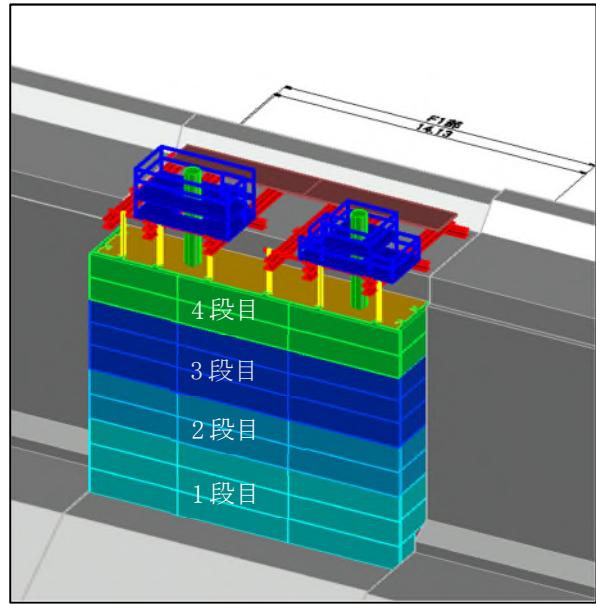


図-4 プレキャスト型枠工法による施工イメージ

柱工法が優位であったことを付記する。

3. プレキャスト型柱工法の検証

本章では、令和5年度の施工実績により、プレキャスト型柱工法の採用の根拠となった“工程短縮”と“施工性”、そして“経済性”について、施工業者に対して実施したヒアリング調査結果などの分析を行い、取りまとめた内容を以下に述べる。

(1) プレキャスト型柱工法の留意点と対応

プレキャスト型柱工法は、基礎捨石の上に型柱ブロックを積上げながら据付けることから、拡幅すべき幅2.9mに対して出来形不足にならないようにブロックの設置時やセパレーター締付け時における拡幅幅の縮小を回避する必要がある。このため、プレキャスト型柱ブロックの裏側に上下端を固定した施工定規[H-100]（写真-6）を



写真-6 施工定規

施工位置に垂直設置し、確認しながら据付けを行った。

また、プレキャスト型柱ブロックは、工場製作品のため一律の形状となっており、防波堤の拡幅箇所における法線の凹凸には現地にて対応する必要がある。このため実際の施工では、側柱に調整用の型柱を固定することでコンクリートの流出を防止している。コンクリートの打設では、各段での打継目をプレキャスト型柱ブロックの天端から30cm程度下げることでコンクリートの打継目が型柱の継目と同一にならないように施工している。

以上の留意点を踏まえ、各工法の比較検証結果を相対評価として表-1に示すとともに、それぞれの考察内容を次項から記載する。

(2) 工程の検証

工程の比較は、令和3年度までに行われた鋼製型柱工法（プレキャスト型柱工法採用前）とそれ以降に採用しているプレキャスト型柱工法との実績を基に、防波堤のケーソン1函分の延長を対象として行った。工程については、検討において得られた8日間の短縮効果に対して、実際の施工においてもプレキャスト型柱工法が8日間の短縮となった（表-2）。しかし、本施設の施工条件として水中コンクリートの1日当たり打設量から決まるコンクリートの打設サイクルが、当施設の打設規模において鋼製型柱工法では3サイクル、プレキャスト型柱工法では4サイクルとなっており、他施設において双方の工法が同一の打設サイクル数で施工できる条件の場合、プレキャスト型柱工法の方がより施工工程を短縮できることが示された。また、双方の工程では、荒天により施工中に生じた休止期間を除いている。鋼製型柱の設置後では、天候の急変等により撤去・再設置が必要な状況であって

表-1 各工法の比較検証結果（相対評価）

施工概要	・海象条件の影響を受ける室蘭港北外防波堤 F部（第1線防波堤 港内側）の拡幅改良。施工ヤードからコンクリートを海上運搬して打設。 ・既設構造形式：ケーソン式混成堤【延長：14.05m/ケーソン1函、水深（マウンド天端）：-9.10m、本体工高さ：10.6m、拡幅幅：2.90m】		
工法	鋼製型柱工法	プレキャスト型柱工法	
工程			
施工日数	28日（3スパン）	△	20日（4段）
工程調整の容易さ	鋼製型柱設置から脱型まで（概ね5日）に荒天が生じないように工程調整が必要。	△	プレキャスト型柱設置から水中コンクリート打設（概ね3日）が短く、工程調整が容易。
施工性			
効率性	鋼製柱組足場架払：風況が厳しい施工ヤードで足場の組立が必要。足場の組立が必要なため施工ヤードの面積が大きい。	△	鋼製柱組足場架払：足場の組立が不要。プレキャスト型柱の仮置のみのため施工ヤードの面積が小さい。
	鋼製型柱組立組外：熟練工（型柱工）の確保が必要。また鋼製型柱の設置に熟練の潜水士が必要。	△	鋼製型柱組立組外：熟練工（型柱工）の確保が不要。またプレキャスト型柱の設置は熟練度の浅い潜水士でも対応可能。
	海上施工時：既設構造物の形状に合わせた型柱の調整が容易。海底から本体天端まで型柱が一体のため、据付精度の確保が容易。レイターンス除去は天端面の1回のみ。	○	海上施工時：既設構造物の形状に合わせるための調整型柱の設置が別途必要。水中部での型柱据付のため精度確保に施工定規が必要。段打ち施工となるためレイターンス除去が複数回発生する。
	型柱脱型：必要。	△	型柱脱型：不要。
安全性	波浪に対して鋼製型柱の安定性が低く、波浪の影響を受けやすい。	△	波浪に対してプレキャスト型柱の安定性が鋼製型柱よりも高く、波浪の影響を受けにくい。
その他	作業員職種：普通作業員、型柱工、とび工、潜水士	△	作業員職種：普通作業員、とび工、潜水士
経済性			
経済性	1.0	○	1.3（鋼製型柱工法を1.0とした場合）
VFM評価	56.2	△	59.0
評価結果	△		○
総合評価	△		

※○:優、△:劣、-=:同等

※施工性（施工日数、作業員数）、経済性（直接工事費）は、北外防波堤の令和5年度施工延長L=23.2mを対象とした数値

表-2 施工工程表の比較

も、プレキャスト型枠ブロックは、その重量から存置が可能であるといったメリットもあり、鋼製型枠工法において常に危惧される荒天により発生する作業休止日数も低減される。これらのことからプレキャスト型枠工法の採用は、より現場での工程が組みやすくなる上に、施工日数を確保しやすい点で、優位と言える。

(3) 施工の検証

施工に関しては、安全性と作業の効率性の視点から検証を行った。

安全性に関する最も大きなメリットは、これまで述べたようにプレキャスト型枠工法は自立が可能であること

から、時化による型枠の崩壊を回避できる点である。また、鋼製型枠工法ではコンクリートの打設天端まで型枠が設置されるため、潜水作業は狭い閉鎖空間で、かつ視界が悪い中での作業が余儀なくされる（写真-7）。一方、プレキャスト型枠工法では、下段から順次型枠設置とコンクリート打設を繰り返す（図-5）ことから、潜水作業時の視認性が良いことに加え非常時の退避が容易になる。さらに、陸上作業として鋼製型枠の大組に必要とされる足場の設置・撤去作業が不要になることで、高所作業がなくなり、転落による労働災害のリスクが減ることも挙げられる。

作業の効率性に関して、表-3に各作業内容における作



写真-7 鋼製型枠内の潜水作業

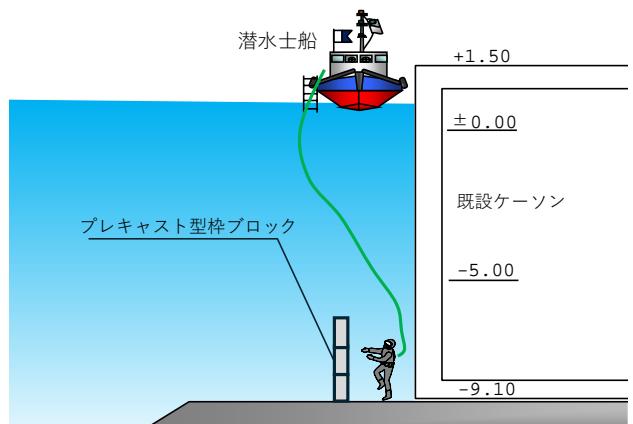


図-5 プレキャスト型枠設置時の潜水作業（イメージ）

表-3 施工上の比較（作業内容と作業員編成）

鋼製型枠工法		プレキャスト型枠工法	
作業内容	作業員構成	作業内容	作業員構成
陸上足場組立解体、型枠(大組)組立組外	とび工 普通作業員	型枠工	—
ケーシング架台設置撤去	潜水士	とび工	ケーシング構台設置撤去
鋼製型枠設置	潜水士	型枠工	プレキャスト型枠設置
水中コンクリート打設	普通作業員	—	水中コンクリート打設
脱型	潜水士	型枠工	—
—			レイターンス処理

業員構成を示した。現在、様々な職種において熟練の技能者が高齢化、かつ減少傾向であるが、建設現場においても型枠工のような技能者の確保が困難な状況である。今回の分析により、プレキャスト型枠工法では、技能者の減少にも対応できることが明らかになった一方で、コンクリートを下段から打ち上げていく特性上、各段での打継目において、潜水士による水中コンクリートの表面でレイターン処理が必要となることから、当施設の改良断面においては、潜水作業の増加といった課題も判明した。

一方、鋼製型枠工法における鋼製型枠の大組に必要となる広い陸上の作業ヤードが不要であることは、作業ヤードに制約がある場合に適している。加えて、大組にされた鋼製型枠の重量が約22t/組であることに対してプレキャスト型枠ブロックは2.7t/個であることから、転置に使用する陸上クレーンの小型化が図れるといったことは、施工計画を立てる上で優位な点であり、作業の効率性の向上に寄与するものと言える。

(4) 経済性の検証

プレキャスト型枠工法では、必ずしも経済的に優位とはいえない結果となった。主たる要因として、一つ目は、プレキャスト型枠ブロックが工場製作の二次製品のため、型枠の材料費が高価となってしまうこと。二つ目は、拡幅部を堤体と一体化させるための定着アンカーに加え、型枠の固定に使用するセパレーターを設置する必要があり、水中で削孔して設置されるその本数は、鋼製型枠工法の5倍以上となった。この結果、単独の工事費では、3割程度高額になった。なお、本施工のようにケーン1スパン当たりにおけるコンクリートの打設延長が長い場合は、ケーシング2本、ポンプ車2台が必要になった点も費用増加の要因であった（写真-8）。

4. おわりに

本報文では、室蘭港の北外防波堤の堤体拡幅において採用したプレキャスト型枠工法について、工程上、施工上、経済性の観点から検証を行った。

本工法の採用は、北外防波堤のような第1線防波堤における堤体の拡幅といった施工において、鋼製型枠工法と比べて経済的には高価になるものの、工程上及び施工上、安全性において優位であることがVfMにおいて評価できたとともに、実際の施工においてもその効果を検証することができた。

また、本工法の採用以降は、検討の契機となった荒天による被災は受けておらず、限られた工事適期において毎年着実に進捗が図られている。

従来からのものづくりに加え、エネルギー拠点として、今後、室蘭港の重要性が増す中、室蘭港を波浪から守る当施設（写真-9）の重要性は大きく、今後も引き続き整備を進めていく必要があるため、今回得られた課題についても検討していく。

昨今では、人口減少や高齢化による労働力人口の減少に伴い、建設現場の生産性向上や担い手確保が大きな社会的要請となっている中、本工法はこれらの要請に応える1つの方法として結果を示すことができたと考えている。そして、港湾施設の特徴である大部分が海中であり、厳しい海象の影響を受けやすいといった条件下にあっても、本工法を積極的に採用することで、限られた人的資源でも将来に向けた施設整備の継続性を保つことができると言える。

謝辞

本報文では、令和5年度及び6年度に施工を担当した北興工業株式会社より、施工における意見をいただくと共に写真等の資料を提供していただいた。ここに謝意を表するものである。



写真-8 水中コンクリート打設（プレキャスト型枠工法）



写真-9 北外防波堤整備による越波量の低減効果