

防波堤築造工事におけるケーソン蓋コンクリート・上部工プレキャスト化の設計および施工

東亜建設工業 正会員 ○張磨 陽祐 若松 宏知 江口 浩敬
東亜建設工業 五十嵐大騎 山田 和

1. はじめに

久慈地域を含む三陸沿岸地域は、津波被害を受けやすいリアス式の地形のため、これまで幾度も甚大な津波被害を受けてきた。久慈市は津波から人命と財産を守るため、市街地の浸水範囲を大幅に減少させる防災基盤として、防波堤築造工事を1990年に開始した。2033年度までに北堤2,700m、南堤1,100m、総延長3,800m整備する計画である(図-1)。本工事は、半没水上部斜面堤2函を据え付け、約60mを延伸する工事である。これまで蓋コンクリート、上部工は現場打ちであったが、当事業で初めてのプレキャスト(以下PCa)化の検討を前提として発注された(図-2)。

海上工事へのPCa工法の適用は潮位・海象条件に左右される作業が減るため、工程短縮効果は顕著であり、安全性の向上にも寄与する。一方、波浪等の影響が避けられない海上でのPCa部材の据付作業では、施工精度の確保と作業の効率化が課題と言える。本稿では、蓋コンクリート(ブロック厚500mm)、上部工(ブロック厚1000mm)のPCa化の設計および施工について報告するものである。



図-1 実施位置

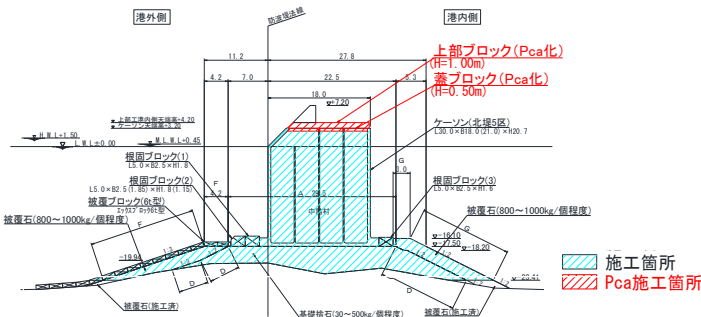


図-2 概要断面図

2. 設計

プレキャスト化の設計フローを、図-3に示す。

(1) プレキャストブロック形状

上部工は製作から現地据付までのプロセスで使用する重機の定格荷重により制約を受けるため、PCaブロックに分割して製作する。本工事では、製作ヤードを岸壁背後に確保し、製作したPCaブロックを直接350t起重機船にて吊り込み、現地で据え付ける計画とした。施工プロセスから決まるブロックの最大重量は起重機船の吊込み時の定格荷重となり、70tとした。

また、上部ブロックはケーソン側壁や隔壁の天端に据え付けるため、ブロック下部外縁が側壁及び隔壁で支持されるように、ケーソン各室の平面形状に合わせて1ブロックずつ、計 $3 \times 6 = 18$ ブロックに分割した(ブロック最大重量: 66.2t)。

蓋ブロックは隔壁と200mmクリアランスを作り、据付後に間詰コンクリートを打設する計画とした(ブロック最大重量: 22.5t)。

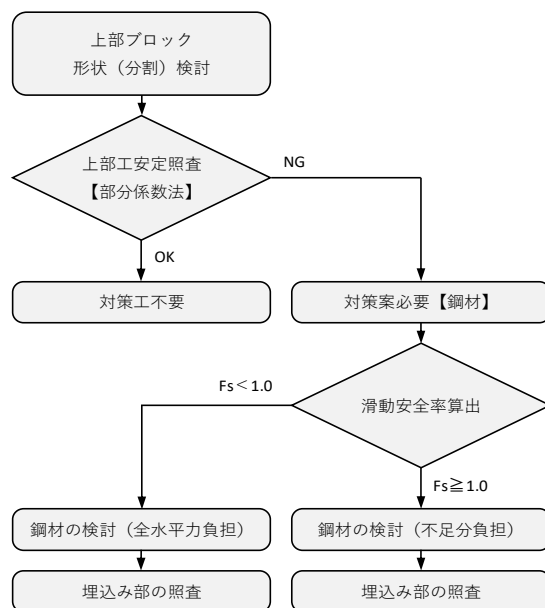


図-3 設計フロー

キーワード プレキャスト工法, 海上施工, 工程短縮, 蓋コンクリート, 上部コンクリート, 半没水上部斜面堤

連絡先 〒163-1031 東京都新宿区西新宿 3-7-1 新宿パークタワー31階 東亜建設工業(株)土木本部設計部

TEL 03-6757-3844

表-1 安定照査結果

滑動に対する照査 $fd(Wd - Pud + PVd) / PHd \geq 1.00$									
Case	上部工	潮位	摩擦係数 fd	堤体重量 Wd (kN/m)	揚圧力 Pud (kN/m)	鉛直波力 PVd (kN/m)	水平波力 PHd (kN/m)	性能照査 耐力/作用	判定
1	暫定上部	H.W.L.	0.40	117.57	29.70	0.00	108.35	0.32	NG
2	暫定上部	L.W.L.	0.40	117.57	29.70	0.00	102.75	0.34	NG
3	完成上部	H.W.L.	0.40	290.46	113.17	198.39	198.39	0.75	NG
4	完成上部	L.W.L.	0.40	290.46	113.17	186.53	186.53	0.77	NG

転倒に対する照査 $(a1Wd - a3Pud + a5PVd) / a4PHd \geq 1$									
Case	上部工	潮位	堤体重量 a1Wd (kNm/m)	揚圧力 a3Pud (kNm/m)	水平波圧力 a4PHd (kNm/m)	鉛直波圧力 a5PVd (kNm/m)	性能照査 耐力/作用	判定	
1	暫定上部	H.W.L.	300.97	110.78	54.18	0.00	3.51	OK	
2	暫定上部	L.W.L.	300.97	110.78	51.38	0.00	3.70	OK	
3	完成上部	H.W.L.	647.72	443.24	380.91	730.08	2.45	OK	
4	完成上部	L.W.L.	647.72	443.24	356.27	688.30	2.51	OK	

(2) 上部工安定照査

上部工を分割したため、荷重の減少により波力に対しての安定照査が必要となった。安定照査は、港外側の最も負担幅の大きい(5.3m)ブロックについて、滑動および転倒に対して行った。検討ケースは本工事完成時(暫定上部)、上部工完成時(完成上部)の2ケースとした(図-4)。プレキャストブロック間(蓋ブロック-上部ブロック)の摩擦係数は0.5とし、上部工完成時は波圧力の斜面効果を考慮した。

安定照査結果を、表-1に示す。全ての検討ケースにおいて滑動に対する照査結果が制限値を上回る結果となった。

(3) 対策工の検討

対策工は、施工性および現地での施工手間を勘案して、上部ブロック及び蓋ブロックに鋼材(H形鋼)を埋め込み、鋼材のせん断抵抗により水平力を負担させる案を採用した(図-5、図-6)。

鋼材に負担させる水平力は、安全率法により求められた滑動安全率の値に応じて以下のように決定した。

滑動安全率<1.0：全水平力を負担

滑動安全率≥1.0：性能照査における不足分の水平力を負担

滑動安全率の算出結果、全ケースにおいて滑動安全率が1.0を下回ったため、鋼材に全水平力を負担させる条件で鋼材の検討を行った。

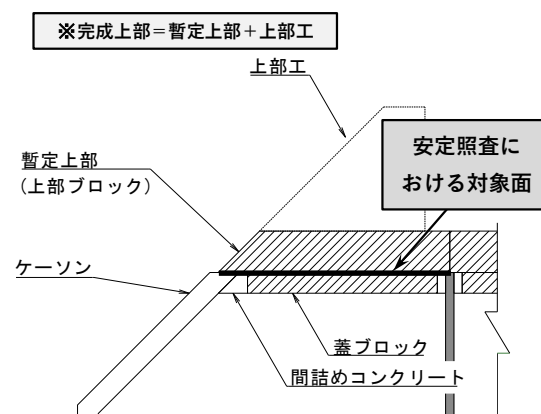


図-4 安定照査概要

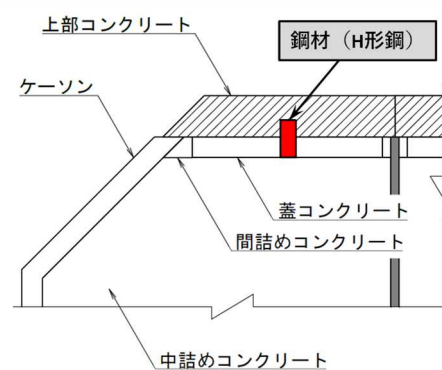


図-5 対策工概要

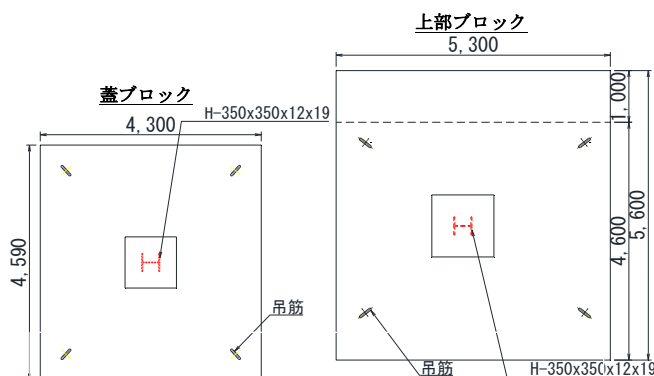


図-6 ブロック平面図

表-2 対策工照査結果

設計外力	
水平力 P (kN)	1201.66
鋼材諸元	
使用鋼材	H-350
断面積 A (mm ²)	17,190.0
鋼材幅 B (mm)	350.0
断面係数 Z (mm ³)	776,000.0
許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²)	80.0
許容曲げ引張応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	140.0
コンクリート諸元	
対象ブロック	蓋 上部
設計基準強度 σ_{ck} (N/mm ²)	24.0 18.0
許容圧縮応力度 σ'_{ca} (N/mm ²)	7.0 9.0

せん断応力度の照査		
発生せん断応力度 τ (N/mm ²)	69.9	
判定 【 $\tau \leq \tau_a$ 】	OK	
埋込み長の照査		
対象ブロック	蓋	上部
部材厚 t (mm)	500.0	1000.0
必要埋込み長 l (mm)	454.9	515.8
判定 【 $t \geq l$ 】	OK	OK
決定埋込み長 L (mm)	500.0	650.0
支圧強度の照査		
対象ブロック	蓋	上部
支圧面積 A' (mm2) = B・L	175,000	227,500
支圧強度 P/A' (N/mm2)	6.9	5.3
許容支圧強度 0.3 σ_{ck} (N/mm2)	7.2	5.4
判定 【P/A' ≤ 0.3 σ_{ck} 】	OK	OK

性能照査は負担水平力が最大となる Case3 (完成上部+H.W.L.) において、せん断応力度、支圧応力度及び埋込み長に対してそれぞれ行った。

照査結果を、表-2 に示す。各ブロックに H 形鋼(H-350×350×12×19)を 1 本入れることにより、波力に抵抗できる結果となった。

(4) 施工時の検討

ブロックの吊込み (据付) は、4 点吊りとした。部材厚が薄いため、無筋では曲げ応力が許容値を超過したことから、RC 構造に変更した (D13@300 一段)。構造計算は単純ばりにより行い、配筋を決定した。

3. 施工

(1) PCa ブロック製作

PCa 化にあたり、上部ブロック底面に不陸がある場合、上部ブロックの傾斜および空隙の発生が懸念された。PCa ブロック底面の不陸を防ぐため、蓋ブロックの厚さ出来形を+0、-20mm とした。また、施工ヤードの不陸整正も行った。PCa ブロック打設箇所には碎石(RC-40)の敷均し・転圧、敷鉄板敷設を行い、底面のルーフィング敷設を行った(写真-1)。

上部ブロックは傾斜があるため、配筋時に鉄筋とのかぶりを確認したうえで作業を行った。また、冬季の打設となったため、コンクリート配合を高炉セメント B 種から普通セメントに変更した。所定圧縮強度確認後に転置を行い、2 函目の PCa ブロックを施工した。施工前には不陸の確認を行い、底面の不陸には十分な配慮を行った。

(2) 蓋ブロック据付

蓋ブロックはケーソン中詰材投入完了後、ルーフィング敷設、蓋ブロック据付、間詰コンクリート打設までを 1 日で行った(表-1)。蓋ブロック天端高が隔壁より高い場合、上部ブロックの傾斜および空隙の発生が懸念された。



写真-1 施工ヤード状況

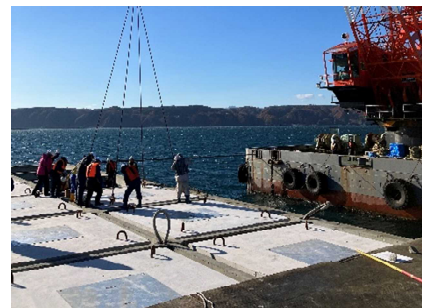


写真-2 蓋ブロック据付状況

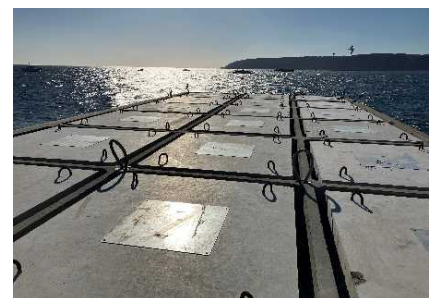


写真-3 蓋ブロック据付完了

表-1 蓋ブロック施工サイクル

	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時
ルーフィング敷設	—									
蓋ブロック運搬	—									
蓋ブロック据付		—								
間詰コンクリート運搬			—							
間詰コンクリート打設				—						

表-2 上部ブロック施工サイクル

	1日目						2日目									
	8時	9時	10時	11時	12時		8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時
上部ブロック運搬																
上部ブロック据付																
ルーフィング敷設																
H形鋼建込																
間詰コンクリート運搬																
間詰コンクリート打設																

中詰材の出来形管理は従来±5cmであるが、上部ブロックの安定性確保のため+0cm、-5cmとした。波浪による吊荷の振れには、200mmに成型した当て板を用意し、隔壁との離隔確保、安全性向上を図った。蓋ブロックの据付時間は40分であり、1個あたり2分程度で行うことができた。また、中詰材の天端管理により、蓋ブロック天端が隔壁より高くなることはなかった。据付後、蓋ブロックに品質を損なうひび割れや欠損は見受けられなかった。

(3) 上部ブロック据付

上部ブロックは据付、間詰コンクリート打設用のルーフィング敷設、H形鋼建込、間詰コンクリート打設までを2日で行った(表-2)。初日に据付を行い、それ以降の作業は2日目とした。

据付は3列のうち中央列(2列目)を先に行い、欠損防止の緩衝材に当て込みながら据付を行った。H形鋼には鋼材を溶接し、建込時・間詰コンクリート打設時に倒れないようにした(写真-4)。

1函目据付時、海側ブロック先端にひび割れが見受けられた。そこで、試験的に2函目上部ブロック1個の部材厚が薄い鋭角部を作成せず、据付を行った。据付時にひび割れは発生せず、鋭角部の除去は有効であった(写真-5)。

上部ブロック据付時間は180分であり、1個あたり10分程度で行うことができた。上部ブロック出来形は延長、法線の出入り、天端等すべて基準値内となった。また、据付後に品質を損なう欠損は見受けられなかった。

4. 結論

本業務における成果と今後の課題について以下にまとめる。

- ケーソン蓋コンクリート及び上部コンクリートのPCa化を反映した安定照査を実施し、照査結果に基づき対策工の検討を行うことができた。
- 対策工は鋼材設置案を採用したが、中央部や港内側の鋼材のスリム化や箱抜き形状の合理化等、一定年数経過後の検証により改善できる可能性を有している。
- コンクリートブロック連結や、「ほぞ」構造等、対策工の他構造案については、現地条件や施工条件によっては有力となり得る可能性があるため、設計時にはこれらを踏まえて比較検討を行う必要がある。
- 蓋コンクリート、上部コンクリートのPCa化により、海上作業を大幅に減少することができた。特に上部工は海上での型枠等の設置撤去、コンクリート打設に12日程度かかるところ、2日で完了できた。
- 施工時の工夫により、据付時に品質を損なう欠損も防ぐことができた。据付方法や鋭角部の工夫については今後改善の余地があるが、他工事での防波堤蓋コンクリート、上部コンクリートのPCa化に十分活用できると考える。



写真-4 H形鋼設置状況



写真-5 上部ブロック鋭角部除去



写真-6 完成写真