

ベトナム VINA-PSMC での PC 波形矢板製作

— ダッカ都市交通整備事業（MRT 5 号線北路線） —

土木本部 海外部 工事グループ 村上直義

概要：ダッカ都市交通整備事業（MRT5 号線北路線）はバングラデシュ人民共和国の首都ダッカにおいて、国際協力機構（JICA）による日本政府開発援助（ODA）の有償資金協力（円借款）により実施される、都市高速鉄道を建設するダッカ都市交通整備事業である。現在部分開業している 6 号線に続き、5 号線、1 号線が予定されており、本工事は 5 号線（北路線）の車両基地用地造成に用いられるプレストレスト・コンクリート（以下 PC）波形矢板を、ベトナム社会主義共和国ホーチミンにある VINA-PSMC 社で製造し納入するものである。本稿では、この工事についての報告を行う。

Key Words：海外工事、PC 波形矢板、プレキャスト製品

1. はじめに

ダッカはバングラデシュ人民共和国の首都でバングラデシュ中央部に位置する（図-1）、世界有数のメガシティで近郊を含む都市圏人口は 1,623 万人でバングラデシュ最大であり、バングラデシュの政治・文化・経済活動の中心地でもある。しかし、経済成長と急激な人口増加に対し鉄道や道路を始めとしたインフラ状態は劣悪で、公害や交通渋滞または公共サービスの不足などの問題に直面している（写真-1）。そこで、鉄道を軸とした新たな交通手段としてダッカメトロ都市鉄道路線を整備することが計画された。

本工事ではダッカメトロ 5 号線（北路線）の車両基地用地の土地造成に用いられる PC 波形矢板を当社の関連会社であるベトナム社会主義共和国ホーチミンにある VINA-PSMC 社で製造し、バージ（舢板）に積み込み、出荷を行った。本稿では品質・出来形管理および性能試験（曲げ耐力試験）について、得られた知見について述べる。なお、海外でのプレキャスト製品製造については、ホーチミンメトロ向け PC マクラギの製造について、技報 16 号³⁾で報告しているので、併せて参照されたい。



図-1 バングラデシュ・ダッカ位置図
(JICA 独立行政法人国際協力機構より引用 1)



写真-1 ダッカ市の交通混雑状況
(JICA 独立行政法人 国際協力機構より引用 1)



村上直義

2. プロジェクトの概要

2.1 工事概要

ダッカメトロは、日本の政府開発援助（ODA：Official Development Assistance）事業で、本邦技術活用（STEP）を条件とした有償資金協力事業である。現在、ダッカ市中心部に位置するウッタラ北駅からモティジール駅までの 6 号線（約 21km：図-2、路線図中-緑ライン）が開業し、市内中心部のカマルプール駅とハズラット・シャージャラル国際空港及びビナラヤンガンジ県内の新興住宅地であるプルバチャール地区を接続する 1 号線（約 30km：図-2、路線図中-黄ライン）、ダッカ市内を東西に結ぶ 5 号線（北路線：約 20km：図-2、路線図中-青ライン）が施工中である。本工事では 5 号線（北路線）にて整備される車両基地の土地造成（図-3）に用いられる PC 波形矢板の製造をベトナム社会主義共和国ホーチミンにある VINA-PSMC 社にて行い、バングラデシュまで出荷を行うものである。



図-2 ダッカメトロ路線図

(東亜建設工業株式会社 提供²を元に加工)

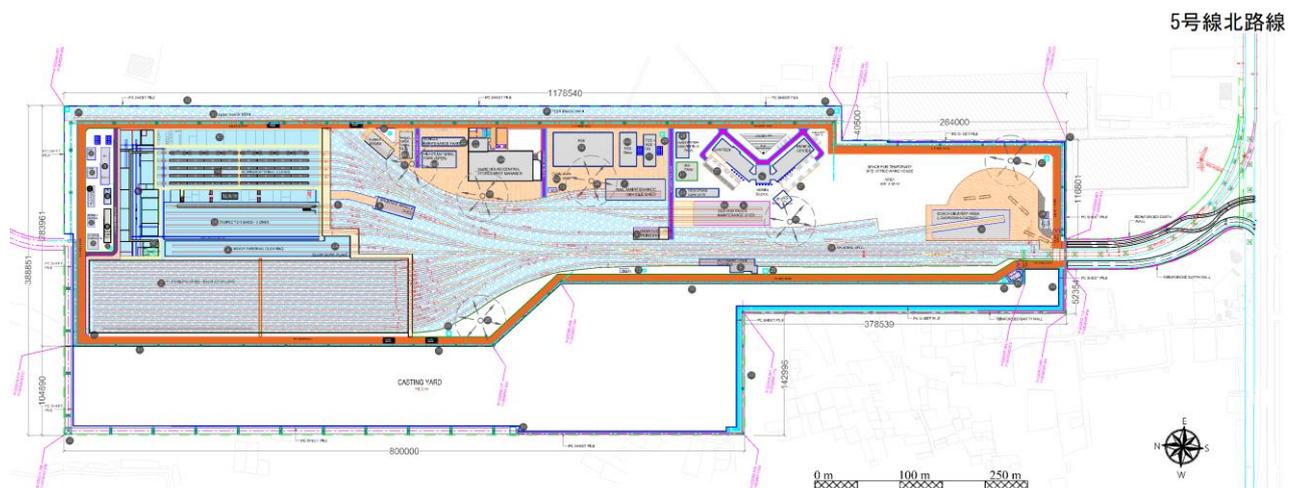


図-3 車両基地レイアウト図

2.2 PC 波形矢板の概要

プレストレスト・コンクリート波形矢板（以下 PC 波形矢板と称す）は、昭和 56 年に開発され、昭和 63 年に JIS 製品として認定されるとともに、それ以降も改良・改善を重ね、国内外の港湾護岸・河川護岸・道路擁壁等に数多く採用されてきた（写真-2）。PC 波形矢板は、プレテンション方式で製造された工場製品であること、高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=70\text{N/mm}^2$ ）が採用されていること、および断面形状が波形をしていることより下記の特長を有する。

- ① 曲げ剛性が大きく、特に突出長 3m 以上の自立矢板では鋼矢板と比較し、変位を小さく抑えることができる。
- ② コンクリートが密実であり、耐久性に優れている。



写真-2 PC 波形矢板

本工事では、SW600B-19m (Type-1) , SW600B-16m (Type-2) , SW740-C50-17m (Type-3) の3タイプについて製造を行った。製造タイプと数量、PC 波形矢板の仕様等については、以下の通りである。

表-1 ダッカ MRT5 号線 (北路線) PC 波形矢板 概要

事業主	ダッカ・マス・トランジット・カンパニー・リミテッド(DMTCL)					
タイプ	プレテンション方式					
摘要規格	プレキャストプレストレストコンクリート製品 JIS A 5373					
	附属書C 擁壁類 推奨仕様C-1 プレストレストコンクリート矢板					
呼び名と規格	Type-1 SW600B		Type-2 SW600B		Type-3 SW740-C50	
限界曲げひび割れ幅耐力	590 kN・m		590 kN・m		591 kN・m	
終局曲げ耐力	1,197 kN・m		1,197 kN・m		1,643 kN・m	
種類	波形PC矢板		波形PC矢板		塩害対策用PC矢板	
形状	長さ	19.0m	長さ	16.0m	長さ	17.0m
	高さ	600.0mm	高さ	600.0mm	高さ	740.0mm
	上幅	440.0mm	上幅	440.0mm	上幅	440.0mm
	下幅	996.0mm	下幅	996.0mm	下幅	996.0mm
PC鋼線	異形より線		異形より線		異形より線	
	φ 15.24mm × 20		φ 15.24mm × 20		φ 15.24mm × 28	
製造数量	1,443本		929本		679本	

3. 製造設備

3.1 製造工場

PC 波形矢板は、当社の関連会社である VINA-PSMC 社で製造した。VINA-PSMC 社は5ラインのプレテンション部材の製造ラインを有しており、そのうちの3ラインを本工事向けの PC 波形矢板製造に使用した。VINA-PSMC 社工場平面図を図-4 に示す。

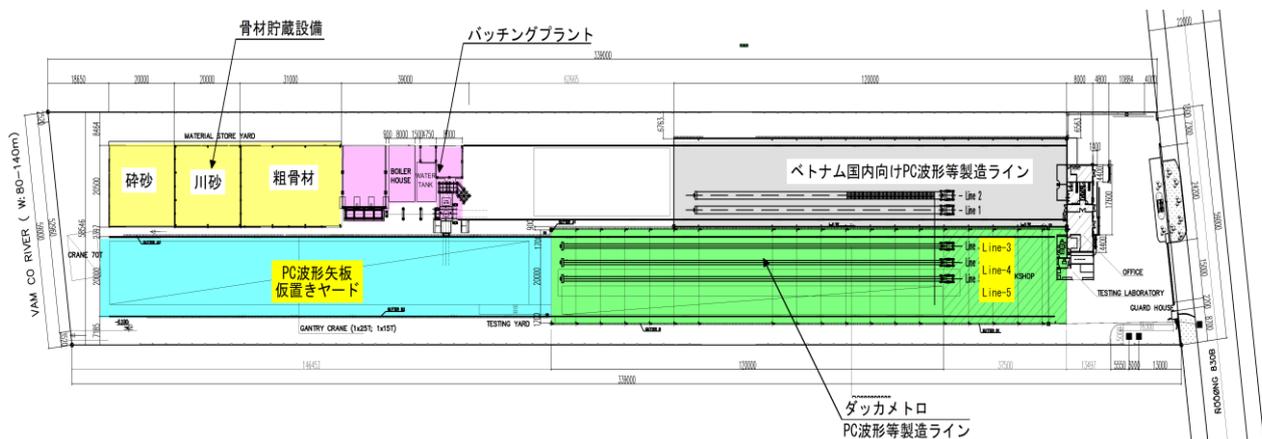


図-4 VINA-PSMC 社 工場平面図

3.2 コンクリート製造設備および骨材貯蔵設備

コンクリートは VINA-PSMC 社のコンクリート製造設備 (以下、バッチングプラント) にて、製造した (写真-3, 表-2) . コンクリートに使用する骨材はバッチングプラント横に併設された屋根付き骨材貯蔵設備より供給される (写真-4) . ベトナム国は熱帯地方であり、暑中コンクリート対策の一環としてコンクリートの練上がり温度抑制対策を実施する必要があり、骨材貯



写真-3 バッチングプラント

蔵設備にスプリンクラーを設け、散水を行うことにより骨材温度を低下させ、コンクリートの練り上がり温度の過度な上昇を抑制した。



写真-4 骨材貯蔵設備

表-2 コンクリート製造設備 諸元

	諸元値
ミキサー	水平二軸強制練り
ミキサー容量	2,000 リットル
セメントサイロ	80t ×2 基
骨材ビン	14m ³ ×4 基
制御方法	コンピューター制御方式

3.3 緊張設備

緊張設備として、製造を行った 3 ラインのうち、ライン-3、ライン-4 はジャッキ容量 6,000kN、ライン-5 はジャッキ容量 9,000kN、固定-緊張アバット間距離は各ラインともに L=117.0m の製造ラインで製造をした。(写真-5, 写真-6, 写真-7)。



写真-5 緊張ライン



写真-6 6,000kN 緊張ジャッキ



写真-7 9,000kN 緊張ジャッキ

4. 使用材料

4.1 コンクリート

PC 波形矢板は、JIS A 5373 の要求性能として、コンクリート設計基準強度は材齢 28 日で 70.0N/mm²、プレストレス導入時で 35.0N/mm²を満足するよう規定されている。

配合を決定するにあたって、設定した条件は以下の 4 点である。

- 1) プレストレス導入時強度の早期発現を促し、製造工程のサイクル化を維持する必要があることから、プレストレス導入時強度 (35.0N/mm²) の発現目標を材齢 16 時間とする。
- 2) 材齢 28 日での設計基準強度確認を待たずに早期出荷する工程も考えられたことから、設計基準強度 (70N/mm²) の発現を材齢 7 日とする。
- 3) 蒸気による高温促進養生は行わずに、上記 1) ,2) を達成する。
- 4) スランプは VINA-PSMC 社での製造実績、充填性、ワーカビリティを考慮し、SL=20cm±2.5cm とする。

表-3 にコンクリート配合表を示す。

表-3 コンクリート製造設備 諸元

材料名	セメント	水	細骨材 ①	細骨材 ②	粗骨材	混和剤	W/C
単位量 (kg/m ³)	460	132	500	280	1,130	3.68	29.0%
備考 摘要・規格	普通 Type-I (ASTM C 150)	工業 用水	川砂	砕砂	粒径 : 20	Poly 179N (Vimkems)	45%以下

工場でのサイクル製造工程を考えると、本来であれば早強セメントを使用し、プレストレス導入時強度の早期発現を検討するべきである。しかし、ベトナム国においては早強ポルトランドセメント (Type-III ASTM C 150 に相当) は流通していない。今回使用した Type-I のセメントは、ASTM C 150 に準拠した一般的な用途に用いられるセメントであるが、日本の早強セメントに近い性状を有していること、試験練りや試験施工を通じて強度発現性能やワーカビリティを確認し、想定するコンクリート打設時間からプレストレス導入までのタイムサイクルを十分に確保できると判断したことより、Type-I セメントを用いる配合とした。

4.2 PC 鋼線

PC 鋼線は ASTM A416/A, 416M-10 に準拠した SHANDONG JINGWEI STEEL CORD Co.,Ltd.社、(中華人民共和国：山東省) の異形 PC 鋼より線 7 本より線 15.24mm を使用した。PC 鋼線の諸元を表-4 に、購入した PC 鋼材を写真-8 に示す。

表-4 使用 PC 鋼材 諸元

	規格値	備考
記号	Grade1860	ASTM A416/A ASTM 416M-10
径 (mm)	15.24	7 本より
公称断面積 (mm ²)	140.0	
引張強度 (N/mm ²)	1860	
降伏荷重 (kN)	234.6	



写真-8 PC 鋼より線

4.3 水密目地材

PC 波形矢板を打ち込んで壁体を構成する場合、コンクリート矢板の相互接合面の目地部水密性を保つ必要がある。そこで、当工事で製造した PC 波形矢板には、互いに接合するコンクリート矢板の凸側接合端面に埋設される目地材を用いた水密目地構造を採用している。目地材は当社が開発した水密目地材を日本で製造後ベトナムへ輸入し、使用した。この水密目地材は、シール部を形成する可撓性を有する弾性目地部と、これを支持する硬質合成樹脂の基板および基板の弾性目地部の取り付け側の裏面から突出したアンカーからなる部材であり、現地にて PC 波形矢板を打設し隣り合う矢板と接合した際、嵌合部において水密目地材の弾性目地材が楕円形に押し潰されることにより、止水効果を得るものである。水密目地材の断面形状について図-5 に、取り付け状況を写真-9、水密目地材の接合部 (嵌合前後) を図-6 に示す。



図-5 水密目地材



写真-9 水密目地材設置

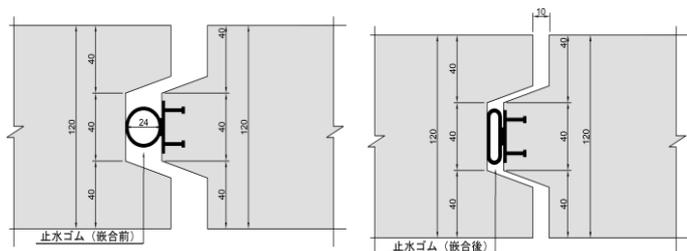


図-6 水密目地材 接合部 (嵌合前後)

5. PC 波形矢板製造

5.1 PC 波形矢板製造工程

PC 波形矢板の製造は 3 ラインを使用し、1 日最大 19 枚 (Type-1 : SW600B-19m×6 枚, Type-2 : SW600B-16m×7 枚, Type-3 : SW740-C50-17m×6 枚) を製造する計画とし、日曜日を除く週 6 日を作業日として設定した。製造工程表を図-7 に示す。

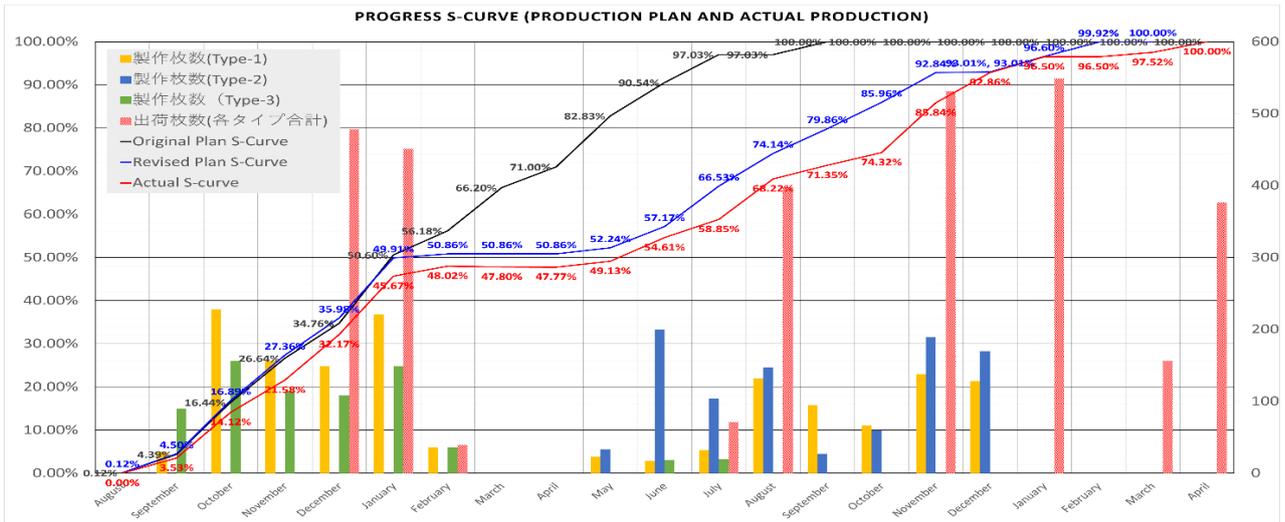


図-7 PC 矢板 製造・出荷工程表

5.2 製作フローチャート

PC 波形矢板の製作について、フローチャートを図-8 示す。

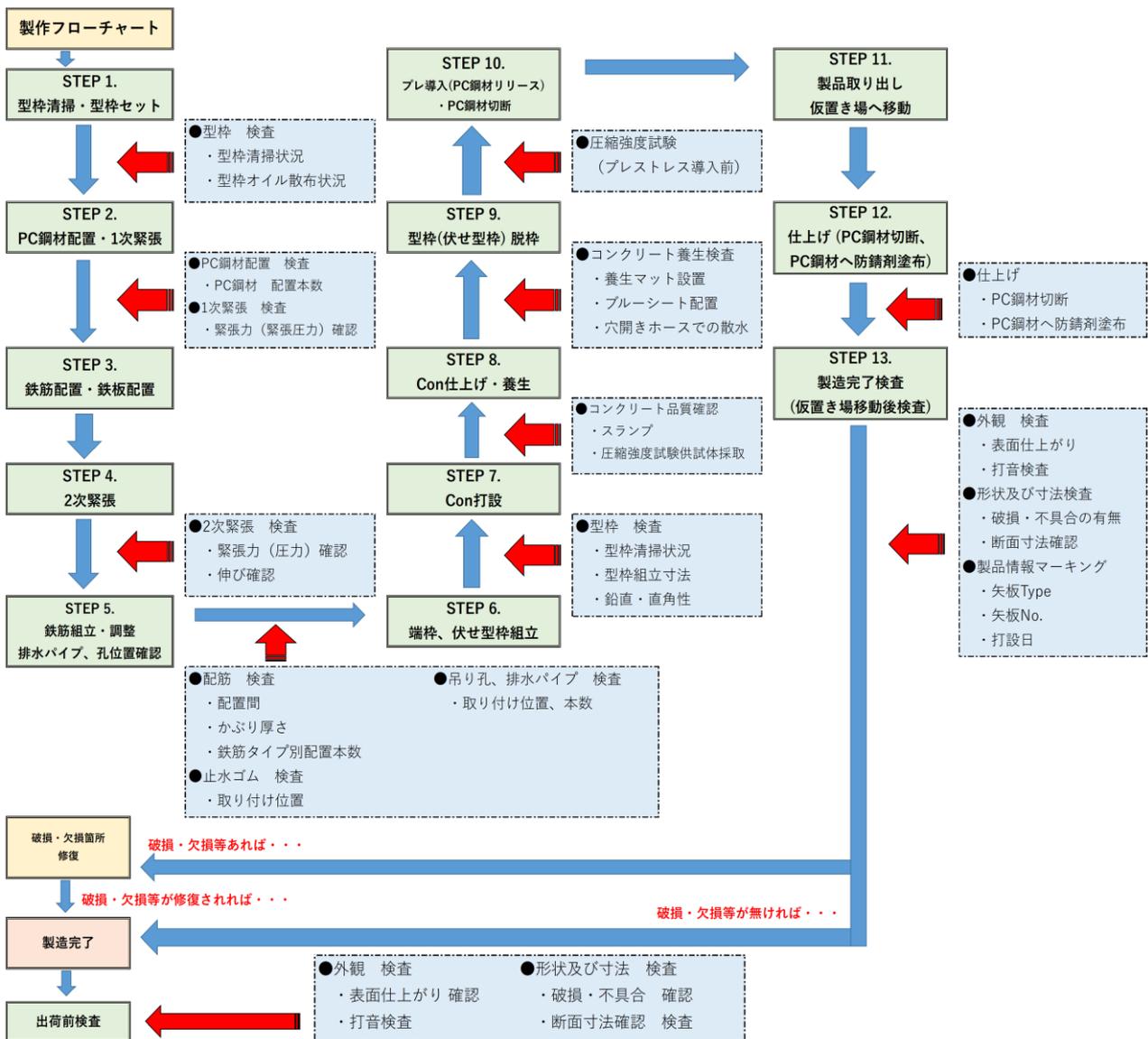


図-8 PC 波形矢板 製造手順フローチャート

5.3 PC 鋼線緊張

PC 鋼線の緊張は、固定側アバットより PC 鋼線 1 本毎に緊張する“1 次緊張”と、緊張側アバットより全 PC 鋼線を同時に緊張する“2 次緊張”の手順に区別される。

“1 次緊張”とは、PC 鋼線組立完了後、固定側アバットよりシングルストランド用緊張ジャッキを用いて PC 鋼線 1 本毎に 3.0kN まで緊張する作業を指し、すべての PC 鋼線の緊張力、鋼材長を同一条件に整える“2 次緊張”に対する準備作業である（写真-10）。

“2 次緊張”とは、3.3.3 緊張設備 で述べた 6,000kN または 9,000kN ジャッキを用いて全 PC 鋼線を同時に緊張する緊張作業である（写真-11）。

本作業の緊張管理は、製作ラインにてパソコンを用いて実施した（写真-12）。



写真-10 1 次緊張



写真-11 2 次緊張

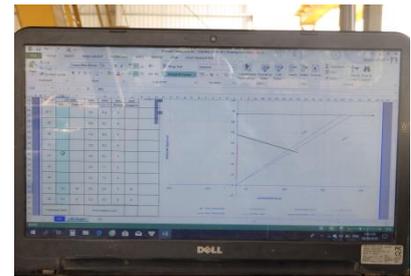


写真-12 パソコンを用いた緊張管理

5.4 コンクリート打設・養生

ホーチミンは年平均気温が約 26℃、1 年を通じて平均気温は 25℃～30℃と気温差も小さい事から、年間を通して暑中コンクリート対策が必要である。また、コンクリートの練上がり温度を 35℃以下とするよう定められていることから、骨材のプレクーリングとして骨材貯蔵設備にスプリンクラーを設け散水の実施、コンクリート練混ぜ水へ氷を投入し冷却するなどの暑中コンクリート対策を実施した結果、練上がり温度は約 31℃前後に維持することが出来た。コンクリート打設は VINA-PSMC 社の工場内パッチングプラントにて製造されたコンクリートをコンクリートバケットに投入し、フォークリフトにて製作ラインまで運搬し、門型クレーンに吊り替えての打設を行った。

課題として、PC 波形矢板は型枠の構造（伏せ型枠）上、コンクリート打設方法により、矢板嵌合部の水平部上面型枠内に空気が残留し、気泡が生じやすい。これは性能上全く問題がないものの、発注者およびコンサルタント（施工管理）より JIS A 5373 に規定された外観（Appearance）に問題があると指摘を受けた。そのため、型枠内に残留する空気を排出するため、鋼製型枠に直径 16mm の残留気泡排出孔（Air Vent Hole：写真-13）を約 100mm 間隔で開け、コンクリート打設時にその孔より残留空気が排出されることを確認しながら、打設を行うこととした。さらに、気泡排出孔からの残留空気排出と型枠内



図-9 型枠構造



写真-13 型枠に設けた残留気泡排出孔

部への確実なコンクリートの充填を目的として、4 種類のバイブレータを打設部位ごとに使い分け、打設した (写真-14)。

	高周波バイブレータ	棒状バイブレータ	板状バイブレータ	型枠バイブレータ
名称				
使用箇所	打設全般	斜めウェブ部	斜めウェブ部 (気泡除去)	矢板嵌合部 水平部上面

写真-14 コンクリート打設機材

打設完了後、被膜養生剤を散布した。養生については、養生マット敷設後、養生マットの上に穴開き散水ホースを配置し、養生時間 (14~16 時間) の間常時散水し、湛水状態に近い常時湿潤状態を維持した。そのうえで、型枠全体をブルーシートで覆い、湿潤状態の維持と直射日光と乾燥対策を実施した。これにより、熱帯の高温度、強い日射の下においても、コンクリート硬化初期段階の表面乾燥によるひび割れの発生を抑制することができた。(写真-15, 写真-16, 写真-17)



写真-15 養生マット敷設

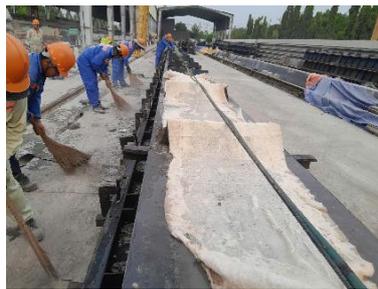


写真-16 穴開き散水ホース配置



写真-17 シート養生

5.5 製品仕上げ、保管、積込・出荷

緊張力導入完了の後、製品の取り出しを行う。この後、製品端部の PC 鋼線の防錆処理 (防錆処理剤の塗布) を行う。さらに、矢板水平部上面や斜めウェブ部に残留した気泡をエポキシ樹脂グラウト材により表面処理 (気泡処理) し、製品の仕上げ処理を完了する。写真-18, 写真-19, 写真-20 に気泡処理状況を示す。



写真-18 気泡処理 (前)



写真-19 気泡処理 (途中)



写真-20 気泡処理 (後)

製品仕上げまで完了した PC 波形矢板は 6 回に分けて (出荷 1 回あたり約 550 枚 : 5,500t, 80 枚/日出荷) 出荷を行った。出荷作業は VINA-PSMC 社より約 3km に位置する最寄り港 (Thanh Tai 港) より、バージ

(舢舨：はしけ) に積み込み，ベトナム国内輸送の後，外航港より大型の貨物船に積み替えて出荷を行った（当社施工範囲は FOB (Free on Board=バージ (舢舨：はしけ) 船上での積込渡し)．写真-21，写真-22 で製品保管状況と積込・出荷状況を示す．



写真-21 製品保管状況



写真-22 トレーラーによる場内小運搬



写真-23 バージ (舢舨：はしけ) への積込



写真-24 バージ (舢舨：はしけ) での出荷

6. 品質・出来形管理

6.1 品質管理

品質管理は主に“使用材料に関する品質管理”，“PC 波形矢板製造に関する品質記録管理”に大別される。日本国内の工事では，JIS 製品については品質証明書（ミルシート）を確認することで品質試験に換える事が多いが，本工事では準拠する規格が JIS を始め，ASTM (American Society for Testing and Materials) や TCVN (Tiêu Chuẩn Việt Nam : Vietnamese National Standards) 等，多岐に渡ることもあり下記の項目について試験並びに品質管理を定期的実施した。

表-5，表-6 に使用材料に関する品質管理項目および PC 波形矢板製造に関する品質記録項目を示す。

表-5 使用材料に関する品質管理項目

試験品目	試験機関	試験頻度	準拠規格
セメント	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	6 ヶ月に 1 回	ASTM C 150
骨材(細骨材)	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	6 ヶ月に 1 回	ASTM C 33
骨材(粗骨材)	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	6 ヶ月に 1 回	ASTM C 33
水	第 3 者試験機関による証明	6 ヶ月に 1 回	TCVN 4506:2012
混和剤	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	6 ヶ月に 1 回	ASTM C 494
PC 鋼線	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	搬入 1 回につき 1 回	ASTM A 416 ASTM A 1061
鉄筋	品質証明書，第 3 者試験機関による証明	各鉄筋 100t につき，1 回	JIS G 3132 ASTM A 370
水密目地材	品質証明書による確認	搬入 1 回につき 1 回	

表-6 PC 波形矢板製造に関する品質管理項目

項 目	記 録 内 容
施工中検査	加工筋加工検査（外観・寸法計測） 型枠検査（端型枠，底型枠，被せ型枠：清掃・外観・寸法計測） 施工状況記録（PC 鋼線状態，鉄筋配置，打設前確認，箱抜き等）
緊張管理	緊張計算，緊張記録（最終緊張力，伸び量）
コンクリート打設記録	スランプ，打設数量，打設開始終了時刻
圧縮強度試験記録	材齢 1 日，7 日，28 日
性能検査（曲げ耐力試験）	ひび割れ図，たわみ計測

6.2 外観・出来形管理

PC 波形矢板の検査項目は 1) 外観検査，2) 形状及び寸法検査，3) 性能検査が JIS A 5373 に定められている。

1) 外観検査については，5.5.5 製品仕上げ，保管，積込・出荷でも述べたように，矢板水平部上面や斜めウェブ部に残留した気泡をエポキシ樹脂系補修材により表面処理（気泡処理）した。さらに，コンクリートが適切かつ密実に充填されていることを確認するため，ハンマーによる打音検査を全数量について実施した。これは，矢板嵌合部，矢板端部ハンチ部は充填不良が発生しやすく，その部位を重点的に打音検査することで，充填不良（ジャンカ等）箇所を出荷前に発見し，不良品が見逃ごされて出荷されることを防止する措置として実施した。（写真-25）

2) 形状及び寸法検査について，出来形寸法計測にはスチールテープ，レベル等の計測治具を使用し，所定の規格値を満足していることを全数について確認した（表-7，写真-26，写真-27）。

3) 性能検査については，製造された PC 波形矢板が JIS に規定される所定の要求性能（限界曲げひび割れ幅耐力および終局曲げ耐力）を満たしているかを確認するため，曲げ耐力試験を実施した。試験内容については，6.6.3 性能検査（曲げ耐力試験）で詳述する。

表-7 矢板寸法及び寸法許容差（JIS A 5373）

測定項目	許容差
幅 W	+7mm ~ -2mm
高さ H	+7mm ~ -2mm
厚さ t	+7mm ~ -2mm
長さ L	+30mm ~ -30mm
反り Δ	15mm 以下



写真-25 打音検査

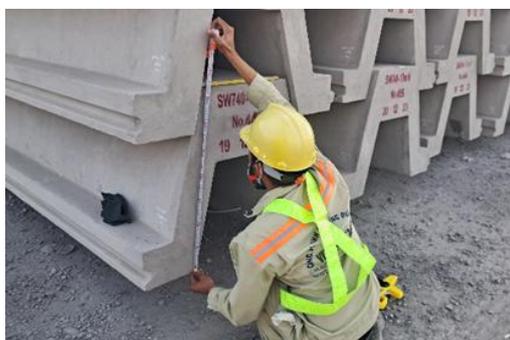


写真-26 出来形検測（出来形寸法計測）



写真-27 出来形検測（そり測定）

6.3 性能検査 (曲げ耐力試験)

製造された PC 波形矢板が JIS A 5373 に定められた所定の要求性能を満たしていることを確認するために性能検査 (曲げ耐力試験) を実施した (写真-28, 写真-29)。本試験の試験頻度, 曲げ耐力試験方法についても JIS A 5373 に規定され, 試験頻度は製造枚数 1,000 枚につき 1 回以上であり, 本工事では製造枚数より 4 回実施した。曲げ耐力試験方法については, 図-10 に載荷手順を, 図-11 に載荷試験方法を示す。この試験にて確認する項目は以下のとおりである。⁴⁾

- ① JIS 規定限界ひび割れ幅耐力に相当する荷重まで載荷したとき, ひび割れ幅測定点において, 幅 0.05mm を超えるひび割れ発生の有無
- ② JIS 規定終局曲げ耐力まで載荷したとき, 破壊しないこと

曲げ耐力試験結果を表-8, 表-9 に示す。

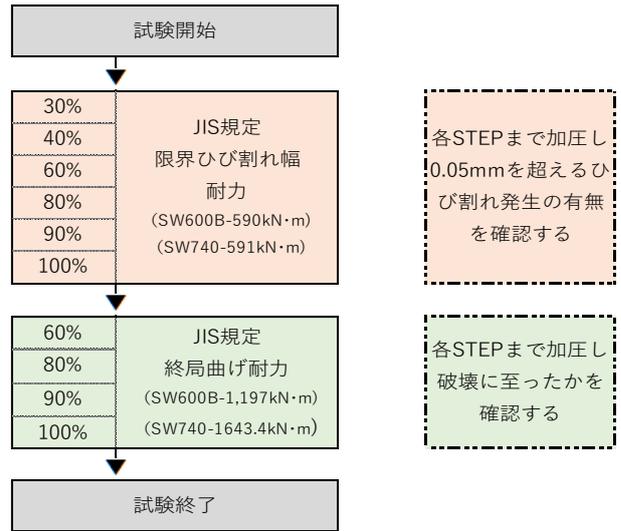


図-10 PC 波形矢板の曲げ耐力試験 載荷手順

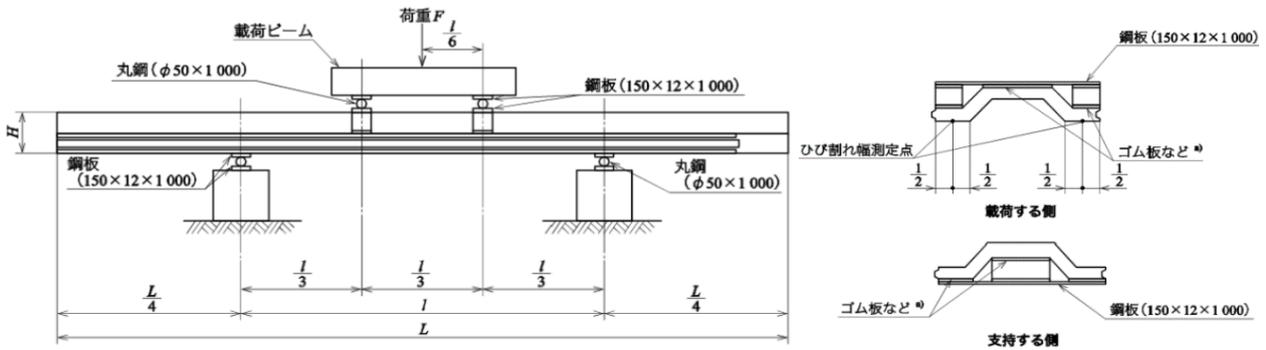


図-11 PC 波形矢板の曲げ耐力試験方法

表-8 JIS 規定値と曲げ耐力試験値

	TYPE 1 SW600B-19m			
	JIS規定値		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (規定値との比率)	590.0	373.0	881.9	557.0
			1.49	
終局曲げ耐力	1197.0	756	破壊せず	

	TYPE 2 SW600B-16m			
	JIS規定値		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (規定値との比率)	590.0	442.5	776.6	582.4
			1.32	
終局曲げ耐力	1197.0	898	破壊せず	

	TYPE 3 SW740-17m			
	JIS規定値		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (規定値との比率)	591.0	417.0	986.0	696.0
			1.67	
終局曲げ耐力	1643.4	1160	破壊せず	

表-9 実材料物性値を用いた耐力計算との比較

	TYPE 1 SW600B-19m			
	実材料物性値 を用いた耐力計算		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (実計算値との比率)	613.5	387.5	881.9	557.0
			1.44	
終局曲げ耐力	1518.8	959	破壊せず	

	TYPE 2 SW600B-16m			
	実材料物性値 を用いた耐力計算		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (実計算値との比率)	610.5	457.9	776.6	582.4
			1.27	
終局曲げ耐力	1516.2	1137	破壊せず	

	TYPE 3 SW740-C50-17m			
	実材料物性値 を用いた耐力計算		試験結果 (ひび割れ発生荷重とモーメント)	
	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)	モーメント M(kN·m)	荷重 P(kN)
限界ひび割れ幅耐力 (実計算値との比率)	849.2	599.4	986.0	696.0
			1.16	
終局曲げ耐力	1992.2	1406	破壊せず	

各タイプともに、ひび割れ発生時荷重・モーメントは、JIS A 5373 で定められた限界ひび割れ幅耐力に対し、約 1.5 倍の荷重を載荷した時に幅 0.05mm 以上のひび割れが発生している。この時、ひび割れ発生確認とひび割れ幅の測定は、コンクリート表面をアセトンで浸した脱脂綿で拭きながら、図-11 に示したひび割れ幅測定点である矢板側面と下面を中心に確認・測定をした。また終局曲げ耐力について、各タイプともに終局曲げ耐力まで載荷しても破壊には至っていない。この要因として、JIS での PC 波形矢板のコンクリートの設計基準強度が 70N/mm^2 であるのに対し、各タイプの実圧縮強度は Type-1: 91.4N/mm^2 、Type-2: 90.8N/mm^2 、Type-3: 87.9N/mm^2 、平均: 90.0N/mm^2 と、どのタイプも非常に高い強度を発現し、設計基準強度との差が大きかったこと、JIS 規定値で考慮されている鉄筋が SD345 であるのに対し、使用している鉄筋が SD490 相当であることなどが考えられる。

つぎに、曲げ耐力試験に使用した PC 波形矢板のコンクリート圧縮強度とヤング係数、鉄筋と PC 鋼材については、試験成績書より引張荷重、引張強度等を引用し、曲げ耐力試験に使用した PC 波形矢板の保有する実限界ひび割れ幅耐力値、実終局曲げ耐力を計算し、試験結果と比較を行った。いずれの結果においても、試験結果はひび割れ発生時荷重・モーメントの計算値に対し、約 1.3 倍程度の荷重を載荷した時に幅 0.05mm 以上のひび割れが発生した。

終局曲げ耐力については各タイプともに JIS 規定の終局曲げ耐力値を超え、実コンクリート強度等物性値を用いて計算された終局曲げ耐力値まで載荷しても破壊に至らず、製造した PC 波形矢板は JIS において規定された必要性能 ①. JIS 規定限界ひび割れ幅耐力に相当する荷重まで載荷したとき、ひび割れ幅測定点において、幅 0.05mm を超えるひび割れ発生せず、②. JIS 規定終局曲げ耐力まで載荷したとき破壊しないこと)を有することを確認し、JIS A 5373 相当製品として十分な耐力を保有していることを確認した。



写真-28 曲げ耐力試験設備全景



写真-29 曲げ耐力試験 実施状況

謝辞

本工事は 2024 年 12 月に製造完了し、2025 年 4 月に無事全数量の出荷が完了した。製造した PC 波形矢板は客先にて順次打設作業が進行中であり、2029 年の開通を目指し施工が進められている。本工事記録が今後当社の PC 波形矢板工事だけに限らず国内外でのプレキャスト製品製造案件の一助になれば幸いである。最後に、本プロジェクトの遂行に当たり、本社および各支店、ピー・エス・コンクリート株式会社の多くの方々に多大なご支援、ご指導をいただき御礼申し上げます。

参考文献

- 1) “ダッカ都市交通整備事業（5 号線北路線）（第一期）”，独立行政法人 国際協力機構 JICA，
<https://www.jica.go.jp/oda/project/BD-P113/index.html>
- 2) “バングラデシュ・MRT5 号線北路線・車両基地造成工事を受注”，東亜建設工業株式会社，2023-6-8，
<https://www.toa-const.co.jp/company/release/2023/230608.html>
- 3) 角田隆洋・九津見昌宏・田島健司・村上直義：ホーチミン市都市鉄道 PC 枕木の施工報告ーホーチミン都市鉄道 1 号線，技報第 16 号，2018
- 4) 日本規格協会：JIS ハンドブック⑩ 土木 I コンクリート製品・土木資材，2021