

新形式鋼合成プレキャスト部材を用いたボックスカルバートの開発

Development of a Box Culvert Using New Type Steel Composite Precast Members

(株)砂子組	〇正員	西村友宏 (Tomohiro Nishimura)
(株)砂子組	正員	古川大輔 (Daisuke Furukawa)
(株)砂子組	正員	近藤里史 (Satoshi Kondo)
(株)砂子組	正員	佐藤昌志 (Masashi Sato)
(株)砂子組	正員	田尻太郎 (Taro Tajiri)

1. はじめに

昨今、国交省では働き方改革による建設業の生産性向上の改善に向けた取り組みとして、コンクリート工のプレキャスト化の導入を推進している。その一方で、プレキャスト製品は、コスト増・設計と現場条件の不一致・重量により運搬が困難等の理由により、採用への課題が多い現状にあり、現場打ちコンクリート工の採用が主流となっている。

また、建設業界においては労働者の高齢化が進む一方、将来を担う生産労働人口は減少の一途をたどっており、労働者の減少を生産性の向上により補う必要がある。

以上の背景から、生産性向上を目的とした「新形式鋼合成プレキャスト部材を用いたボックスカルバートの開発」を試み、本論文は当工法の開発における特徴について記述したものである。

2. 工法概要

(1) 工法概要

新形式鋼合成プレキャスト部材を用いたプレキャストボックスカルバート（以下、半 Pca ボックス）は、側壁および頂版を鋼板とコンクリートを一体化した半プレキャスト化部材に置き換えたボックスカルバート工法である。

半 Pca ボックスは、図-1 に示すように 3.0m の鋼板ユニットを工場で作成し、1 スパンを 4 ユニットとし現場で接続し、コンクリートを打設することで、現場作業の効率化を図ることを目的としている。また、鋼合成部材とすることで部材厚のスリム化を図ることができ、コンクリート量の縮減や基礎形式の簡素化によりコスト縮減が見込まれる。

ボルト固定 接続プレート

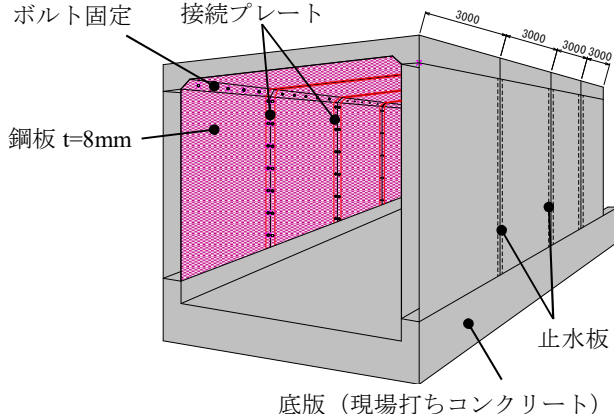


図-1.構造概念図

(2) 構造詳細

①コンクリートの設計基準強度

設計基準強度は、コンクリートの圧縮強度を高め、鋼板との合成効果を発揮させるため、高強度コンクリートである $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$ を採用した。

②鋼板の配置と厚さ

半 Pca ボックスは、頂版・側壁の内空断面側に鋼板を配置することで、内側鉄筋と内側型枠を兼ねることが可能となる。特にスパン中央部において曲げモーメントが大きく発生するボックスカルバートにおいては、内側に鋼板を配置することで鉄筋量が増加し、部材厚のスリム化を図ることができ、さらに型枠作業の省略化等の大きなメリットが発生する。また、鋼板の厚さは市場性が良く、推奨板厚である 9mm が望ましいが、ハンチ部の折り曲げ加工のしやすさや製作、運搬中の取り扱いを考慮して 8mm を採用した。表面処理は錆を防止するため塗装仕様とし、凍結防止剤による腐食環境下や、風雨にさらされる環境下を考慮して、耐候性の良好な C-5 塗装系とする。

③ずれ止め鉄筋

コンクリートと鋼板を一体化する方法として、U 型に加工したずれ止め鉄筋を鋼板に溶接(図-2)し、ずれ止め鉄筋とコンクリートの付着による鋼合成効果を利用した。

U 型形状とした背景は、一般的にボックスカルバートに作用する荷重は、静止土圧や輪荷重による等分布荷重等の静荷重のみであることや、U 型形状にすることで外側型枠や圧縮側主鉄筋、配力筋配置の際の固定具として施工性が向上する等の理由によるものである(写真-1)。

また、ずれ止め鉄筋の配置方向は、主鉄筋に直角とし、鉄筋径は橋梁上部工に準拠して D19、間隔は 500mm の千鳥配置とする。

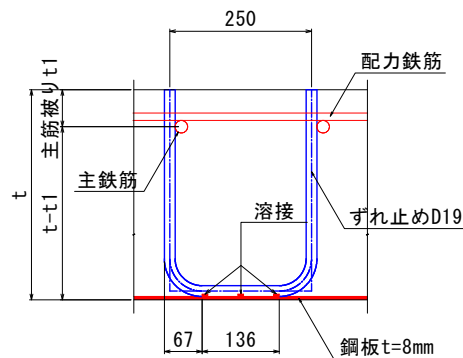


図-2 ずれ止め部詳細図

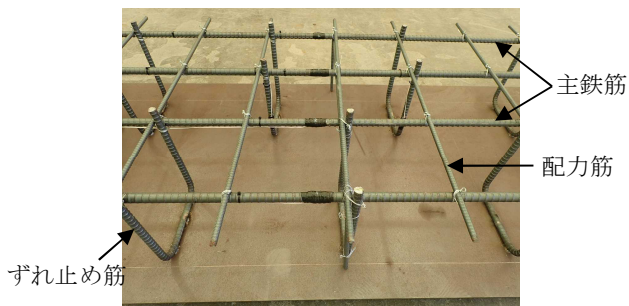


写真-1 ずれ止め鉄筋配置写真

④鋼板ユニットの作成

施工性の向上を目的として、工場で鋼板加工および鉄筋加工、組み立てを行った鋼板ユニットを作成する。鋼板ユニットは現場までトレーラにて運搬し、現場で組立後、ハンチ部で接続する。接続方法はハンチ形状に加工した側壁・頂版の鋼板同士を重ね合わせ、高力ボルトにて固定する(図-3)。なお、ハンチは応力分散を目的として設けられ、ほぼ応力が発生しない箇所であるため、溶接による接着は行わず、ボルト固定のみで十分と判断した。

⑤連結部の詳細

1ユニットの延長は、トレーラでの積載・運搬が可能な幅である3.0mとし、連結プレートにて接続する。1スパンは現場打ち同様10～15mとし、4ユニットを一体とした12.0mで設定した(図-4)。なお、ユニット接続部には水の浸入を防止するため、止水板を設置する。

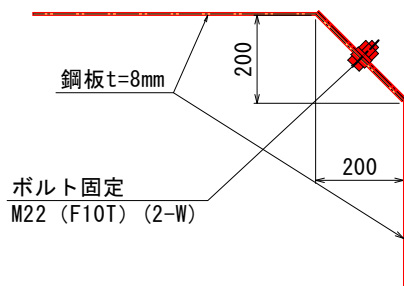


図-3 ハンチ部接続図

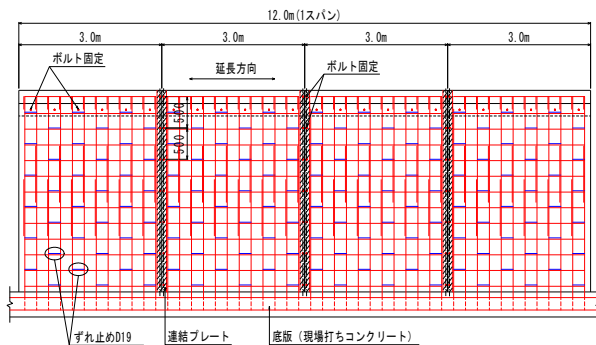


図-4 側壁部正面図

3. 従来工法との比較検討

(1)工事費の比較

従来工法である現場打ちボックスと半Pcaボックスの工事費比較を行い、経済性による優位性を検証した。

なお、プレキャストボックスは高価であることから本比較からは対象外とした。

検討断面は、大断面として $B \times H = 6.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ 、中断面として $B \times H = 4.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ 、小断面として $B \times H = 3.0\text{m} \times 3.0\text{m}$ とした。部材厚が最も厚くなるのは、土被り2.0mで踏掛版を有する場合であるため、受台付断面で検討した。また、各断面の部材厚は概略設計計算を行い算出した。

工事費は施工パッケージ型積算方式を用い、内空寸法に応じたコンクリート体積量から算出した。半Pcaボックスも現場打ち工法と同様の工種であるため、施工パッケージを用いた積算とし、鋼板の材工は含まれていないため、別途加算した。

表1～3に示す10m当りの概算工事費では、大断面になるほど半Pcaボックスが安価になる傾向があり、小断面では約25%高価となった。しかし、いずれの断面も部材厚が薄くなることにより本体重量が軽くなるため、基礎形状のスリム化を図ることが可能となり、特に大断面においてその差は顕著である。また、小断面でも基礎工を追加することで表4のように現場打ちと同様の工事費となった。

表-1 10m 当り概算工事費【B6.0m×H5.0m】

断面図	ボックスカルバート 現場打ちBOX		半プレキャストBOX	
	7600 800 6000 800 400 400 2.0% 2.0% 4200 5000 6000 800 100		6800 400 6000 400 400 400 2.0% 2.0% 4200 5000 6000 800 100	
材 料	単位	10m当たり	10m当たり	概算金額
合計	式	1.0	1.0	8,982,710
比率				0.86
ボックス重量	t	500	283	

表-2 10m 当り概算工事費【B4.5m×H4.5m】

断面図	ボックスカルバート 現場打ちBOX		半プレキャストBOX	
	5900 700 4500 700 400 400 2.0% 2.0% 4200 4500 5700 700 100		5300 400 4500 400 400 400 2.0% 2.0% 4200 4500 5400 700 100	
材 料	単位	10m当たり	10m当たり	概算金額
合計	式	1.0	1.0	7,641,040
比率				0.97
ボックス重量	t	347	222	

表-3 10m 当り概算工事費【B3.0m×H3.0m(直接基礎)】

断面図	ボックスカルバート 現場打ちBOX		半プレキャストBOX	
	3800 400 3000 400 200 200 200 200 3000 3000 400 100		3600 300 3000 300 200 200 200 200 3000 3000 400 100	
材 料	単位	10m当たり	10m当たり	概算金額
合計	式	1.0	1.0	4,669,280
比率				1.25
ボックス重量	t	159	125	

表-4 10m 当り概算工事費【B3.0m×H3.0m(杭基礎)】

		ボックスカルバート		半プレキャストBOX	
		現場打ちBOX		半プレキャストBOX	
断面図					
材 料	単位	10m当り	概算金額	10m当り	概算金額
合計	式	1.0	6,291,650	1.0	6,589,240
比率			1.00		1.05
ボックス重量	t	159		125	

(2) 工事工程の比較

工事工程の比較検討は、 $B \times H = 6.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ (1 スパン当り) を用いて行った。現場打ち工法は施工パッケージにおける作業日当り標準作業量を使用し、内空寸法に応じた標準作業量 7.5m³/日から施工日数を算出する。

また、半 Pca ボックスは、鋼板加工や歩掛適用外の支保工(次項で記載)を用いるため、各工種の日当り作業量より積み上げた日数で算出した。

工程比較の結果、半 Pca ボックスの方が約 70% の工期短縮が図れる。工期短縮により、冬期間への影響や周辺地域に及ぼす環境への適用性(騒音・振動、工事用車両の出入り)や、働き方改革(休日の取得、省人化)等に貢献することが可能となる。

($B \times H = 6.0\text{m} \times 5.0\text{m}$) 1 スパン $L = 12\text{m}$ 当り

工程		単位	数量	日当り作業量	実施日数	1ヶ月	2ヶ月
						5 10 15 20 25 30	5 10 15 20 25 30
現場打ち	コンクリート体積	m ³	200	7.5	45		
	底版型枠コンクリート打設						
	足場工設置、撤去						
	側壁型枠、鉄筋組立						
	支保工設置、撤去						
半 Pca	頂版型枠、鉄筋組立						
	側壁・頂版コンクリート打設						
	側壁型枠撤去						
	底版鉄筋組立	t	4.4	3.5	3		
	底版型枠組立	m ²	14	38	2		
	底版コンクリート打設	m ³	49	69	2		
	足場工設置、撤去	掛m ²	144	61	5		
	移動式支保工設置、撤去	式			1		
	側壁鉄板ユニット設置	式			2		
	頂版鉄板ユニット設置	式			2		
	側壁・頂版コンクリート打設	m ³	87	69	2		
	側壁外型枠撤去	m ²	130	38	7		

※稼働日数は土、祝日を考慮し、1.7掛けとする。

図-5 工事工程表

(3) 二酸化炭素排出量の削減

コンクリート体積量の削減により、各工種で発生する二酸化炭素排出量を削減することができる。 $B \times H = 6.0\text{m} \times 5.0\text{m}$ (10m 当り) において、現場打ちから半 Pca ボックスに転換することで約 7300kg-co₂ の二酸化炭素を削減でき、金額に換算すると約 12 万円(16 万円/t-co₂ で試算)の費用が捻出される。

表-5 CO₂ 排出量の比較

B6000×H5000 10m当り		使用量		単位	CO ₂ 排出量(kg-co ₂ /*)			
項目	現場打ち	半Pca			現場打ち	半Pca	削減量	単位当たり
コンクリート(高炉Bセメント換算)	200.4	113.2	m ³		32615.1	18423.3	-14191.8	0.465
鉄筋	18030	9050	kg		8456.07	4244.45	-4211.6	0.469
銅板	0	9.06	t		0	11294.20	11294.2	1246.6
輸送(10t車)	25	20	km-t		2	2	-0	0.0756
ポンプ車	200.4	113.2	m ³		86	49	-37	0.43
アジテータ	10	6	h		257	154	-103	25.7
コンクリートミキサ(工場)	200.4	113.2	m ³		124	70	-54	0.62
合計					41,540	34,237	-7,304	

※単位当りの CO₂ 排出量は参考資料 2) による。

4. 施工手順

半 Pca ボックスの施工は、下記に示すステップ 1～5 に区分し、図-6 に 1 スパン当りの施工ステップ図を示す。

(1) ステップ 1, ステップ 2

底版は従来通り現場打ちコンクリートを打設し、足場工をそれぞれ 1 スパン分設置する。

(2) ステップ 3

側壁鋼板ユニットの転倒を防止するため、H 鋼で組んだ移動式支保工と、鋼板裏側に埋め込んだナットをボルトで仮固定し、安定化を図る。なお、現場作業となる外型枠は従来通り足場工に固定する。移動式支保工は、あらかじめ現場または工場で門型に組み立てたもので、軌条レール上を移動させることで、作業の効率化が図れ、スピーディーな施工が可能となる。また、自立する構造であるため、側壁・頂版ユニットを仮固定でき、施工性が軽減される。頂版ユニットの固定は、移動式支保工上に軽量形支保梁を設け、角型鋼管により高さ調整を行う。支保工延長は、ユニット設置の施工性を向上させるため、1 スパン($L = 12.0\text{m}$)とする。

(3) ステップ 4

頂版ユニットを設置し、ハンチ部にてボルト固定する。

隅角部の鉄筋は従来同様曲線形状にすると側壁部での継手が必要となり、頂版ユニットの設置後に側壁外型枠を設置することになるため、直角フック形状とした。

(4) ステップ 5

側壁・頂版コンクリートを打設する。打設のタイミングは、1 スパン($L = 12.0\text{m}$)が組みあがった状態で行い、側壁・頂版コンクリートの設計基準強度が確保されるまでは移動式支保工で固定する。最後に側壁の外型枠、移動式支保工、足場工を撤去する。

工程	施工内容	概要図	備考
ステップ1	底版鉄筋組立		従来通り(現場打ち)
	底版型枠組立		
	底版コンクリート打設		
ステップ2	足場工設置		従来通り(現場打ち)
ステップ3	支保工(移動式)設置		支保工はL=12m(1スパン)で作成 鋼板ユニットは支保工で固定
	側壁鋼板ユニット設置		ずれ止め鉄筋、主筋、配力筋は工場で組み立てておく
	側壁外型枠設置		
ステップ4	頂版鋼板ユニット設置		ずれ止め鉄筋、主筋、配力筋は工場で組み立てておく 頂版は軽量形支保梁で固定
	ボルト固定(ハンチ部)		側壁・頂版ユニットをハンチ部で固定
ステップ5	側壁・頂版コンクリート打設		1スパン(12.0m)組みあがったら打設
	移動式支保工撤去		次スパンへ移動
	側壁外型枠撤去		
	足場工撤去		

図-6 施工ステップ図

5. 性能照査の検証方法

半 Pca ボックスの開発にあたり、鋼合成効果や既存 RC 構造物との剛性比較を実証実験により検証した。また、側壁継手部の鉄筋と鉄筋を結束する作業手間を省略し、作業の効率化を図るため、結束の有無による鉄筋継手部の応力検証実験を行った。なお、実験では矩形の供試体を作成し、端部 2 点を支点とした梁中央部にジャッキの圧力で載荷させる曲げ実験とした。

本論文では、半 Pca ボックスカルバートの開発について記載したが、実証実験編として、3 編⁴⁾⁵⁾⁶⁾を掲載しているため参照されたい。以下に実証実験の目的および検証結果の概要を示す。

(1)鉄筋継手手法の実証実験

- ・目的：鉄筋継手無、継手結束有、結束無 2 体の計 4 体の供試体を用い、鉄筋継手部の必要性や有効性における検証実験を行った。

- ・検証結果：重ね継手結束、未結束ともに鉄筋ひずみに大きな差はなく、未結束でも結束部同様の継手性能が確保されている。

(2)剛性比較の検証実験

- ・目的：RC 部材 1 体、鋼合成部材 2 体の計 3 体の供試体を用い、両者の剛性比較を検証した。

- ・検証結果：全ケース同程度の載荷重までは全断面有効に近い合成を得られ、以降でも引張コンクリートを無視した RC 断面状態以上の剛性が保持できていることを確認した。

(3)鋼合成効果の検証実験

- ・目的：鋼合成部材 4 体の供試体を用い、鋼合成効果を担うずれ止めの性能についての検証実験を行った。

- ・検証結果：弾性範囲内での使用に関しては現計画で十分に機能する。コンクリート圧壊時までずれ止めの合成効果を有効にするためには、異形棒鋼を用い、鋼板への定着耐力を引き抜き耐力と同等以上にすることがある。

6. まとめ

(1)コンクリートの鋼板のずれ止めは U 型鉄筋とし、鋼板に溶接することで、ずれ止め鉄筋とコンクリートの付着による鋼合成効果が得られる。実証実験の結果、弾性域での使用に関しては、コンクリートや鉄筋のひずみ量に大きな変化がなく、現場打ちコンクリート同様に使用できることを確認した。

(2)鋼合成プレキャスト部材にすることにより、部材のスリム化を図ることができる。工事費において、現場打ちと比べ最大で約 2 割の削減、工事期間において約 7 割の工期短縮が図れる。なお、小断面になるほど半 Pca ボックスは高価になるが、基礎工を追加することで現場打ちボックスと同等となった。

(3)半 Pca ボックスの採用は、建設業の生産性向上や働き方改革に貢献でき、コンクリート体積量の削減は、二酸化炭素排出量の削減にもつながるため、環境保全の観点からも有効である。

7. 今後の展開

(1)建設技術審査証明、新技術提供システム(NETIS)の登録

今後、建設業へ広く本技術の活用を図っていくためには、建設技術審査証明の取得や NETIS への登録が不可欠である。本工法は実証実験を経て、弾性域での採用に問題がないことを確認しており、今後はこれらの取得に向けたさらなる研究、開発を進めていく必要がある。

(2)プレキャスト化への方向転換

昨今、プレキャスト化の導入が進まない理由として、経済性が主な理由として挙げられる。ボックスカルバートにおいては、小断面では比較対象になるものの、大断面では現場条件に制約がある等の理由を除いては、現場打ちの採用が多い。しかし、少子化による労働力不足が顕著である建設業も生産性向上や働き方改革等に向けた取り組みが必要であり、その 1 つがプレキャスト化であると考えられる。プレキャスト化を選定する評価指標として、今回のような CO2 低減技術の提案が付加価値として評価されることで、プレキャスト化導入の推進が図れ、企業としての持続可能な開発目標(SDGs)の取り組みになることを今後に期待する。

(3)壁構造を有する構造物への応用

本工法はボックスカルバートを対象として開発したものであるが、壁構造を有するコンクリート擁壁の堅壁への採用も有効である。特に、交通規制を伴う箇所においては半プレキャスト化により工事期間の短縮が図れるメリットがあるため、今後の活用に期待したい。

(4)ウイング部の構造

一般的にウイング形状の決定においては、ウイング厚は側壁厚以下とし、側壁の鉄筋補強が可能なウイング長であることが前提である。しかし、側壁厚をスリム化することにより側壁の鉄筋補強が不足し、ウイング長が短くなる。そのため、今後はウイング接合部に関する検討を行っていく必要がある。

(5)移動式支保工の検討

現在の支保工は、支柱式が主流であり、設置に期間を要する懸念がある。そこで、1 スパン(12.0m)毎に支保工設備が一体となった移動式支保工を用いることにより、各ユニットを設置、固定していくことが可能となるため、急速施工、省力化を可能にするとともに施工管理が容易となる。今後は支保工の簡素化に向けて、更なる検討を進めていく必要がある。

[参考文献]

- 1) 道路土工 カルバート工指針(日本道路協会)H24.3.
- 2) 土木学会：コンクリート環境負荷評価。
- 3) プレキャスト部材に用いる鉄筋継手手法の実証実験 (株) 砂子組
- 4) RC 版と新形式鋼合成プレキャスト版の剛性比較の検証実験 (株) 砂子組
- 5) 新形式鋼合成プレキャスト部材のずれ止めに関する実験と評価 (株) 砂子組