

薄肉プレキャストボックスカルバートの鉄道活用に向けた基礎的検討

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○高橋 泰之
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 小泉 秀之
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 池本 宏文
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 蓑毛 詩織

1. 目的

道路や水路としてのカルバート工の設計は、道路土工カルバート工指針に準拠¹⁾し、所定の構造形式や材料、規模の範囲内にある従来型カルバートについては慣用設計法が適用可能である。小断面のプレキャストボックスカルバート（以下「PCa-BOX」とする。）は JIS 規格（JIS A 5372）で定められており、JIS 規格製品を活用することで設計・施工の簡便化に繋がっている。一方、線路直下にカルバートを計画する場合は、鉄道構造物等設計標準に準拠²⁾し、部材を曲げ破壊先行とするため、せん断補強鉄筋の配置が必要となる場合があり、道路仕様のカルバートに比べ、部材厚が厚くなる傾向があり、JIS 規格の PCa-BOX 製造に用いられている型枠が転用できず、製品価格の高騰に繋がっている。そこで筆者らは、鉄道構造物等設計標準で規定されているせん断耐力式³⁾の部材厚に依存するパラメータに着目し、JIS 規格で規定されている PCa-BOX の部材厚であれば、せん断耐力式以上のせん断耐力が期待できることを実験で確認した⁴⁾。本検討では、実験で得られたせん断耐力の向上結果を踏まえて、小断面の PCa-BOX に関する検討内容について報告する。

2. 検討条件

2. 1 照査方法

実務では、常時および耐震の照査に加え、せん断補強鉄筋の配置などの照査の前提項目を満たす必要がある。照査に必要な常時の応答値は鉄道構造物等設計標準²⁾に基づき、二次元の骨組みモデルによる静的解析法を適用した。表-1 に既設計成果物の各性能項目（上床版）に対する安全率の一例を示す。一定の土被りを有するボックスカルバートでは安全性及び耐久性が決定ケースになることが多いことから、安全性・耐久性の照査により断面・配筋を設定後にその他性能を照査した。耐震の照査については当社のマニュアルに準拠⁵⁾し、破壊形態の確認および変形性能に対する安全性の照査を実施した。破壊形態の確認は、設計せん断耐力(V_{yd})が曲げ耐力に達するときのせん断力(V_{mu})より大きい($V_{mu}/V_{yd} < 1.0$)ことを確認した。変形性能に対する安全性の照査は設計せん断耐力(V_{yd})が曲げ耐力に達するせん断力(V_{mu})に対して十分に大きい($V_{yd}/V_{mu} > 1.1$)ことを確認した。せん断補強鉄筋については、RC 柱試験体の交番載荷実験により得られた知見⁶⁾を適用して、曲げ降伏が先行し、十分なせん断耐力(V_c)を有する範囲であること($V_c/V_{my} > 1.2$)を確認することで、省略できるものとした。

2. 2 せん断耐力式について

せん断耐力式は鉄道構造物等設計標準に基づきせん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力式、式(1)によりせん断耐力(V_{cd})を算出する。係数 β_d は有効高に依存するパラメータであり、鉄道構造物等設計標準では有効高が約 200 mm で達する 1.5 を上限値としているが、既往の実験結果より、有効高が 130mm の場合まで適用範囲を拡大させた。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b$$

ここに、 $\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$, d: 有効高 (mm) 式(1)

表-1 RC ボックスカルバート（1 層 3 径間）の安全率の一例

	全長 (m)	最大スパン (m)	土被り (m)	上床版厚 (mm)	スパン中央 (曲げの照査)		h/2点 (せん断の照査)		ハンチ始点 (曲げの照査)	
					安全性	耐久性	安全性	耐久性	安全性	耐久性
A設計	15.67	8.47	1.43	800	0.53	0.81	0.49	0.40	0.60	0.75
B設計	15.60	8.40	1.25	850	0.51	0.64	0.65	0.86	0.77	0.96
C設計	19.05	10.17	1.10	800	0.82	0.66	0.56	0.58	0.70	0.78
D設計	17.42	9.11	0.78	700	0.47	0.65	0.60	0.45	0.47	0.77

キーワード プレキャストボックスカルバート、薄肉部材、せん断補強鉄筋

連絡先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 3 丁目 5 番 8 号 JR 目黒 MARC ビル 4 階 T E L 03-6878-0017

2. 3 解析条件について

今回の解析条件について表-2 および図-1 に示す。部材寸法は JIS 規格の PCa-BOX の寸法に準拠し、何れのケースもせん断補強鉄筋は配置しないことで型枠の転用が期待できるようにした。

3. 検討結果

解析結果を表-3 に示す。鉄道構造物等設計標準の範囲の β_d を採用したケース ($\beta_d < 1.5$) と今回適用範囲を拡大した β_d のケース ($\beta_d > 1.5$) の結果を併記した。土被りが 1.5m の Case-1 は常時の照査では何れの性能においても満足した結果となった。耐震の照査においては、せん断耐力式の係数 β_d を 1.5 以上見込むことにより、破壊形態は曲げ破壊先行となり、変形性能についても満足する結果となった。土被りが 3.0m の Case-2 は、耐震の照査においては、土被り 1.5m と同様にせん断耐力式の係数 β_d を 1.5 以上見込むことにより、破壊形態ならびに変形性能について満足する結果となった。一方で、常時の照査において耐久性の曲げに関する照査が満足しない結果となった。常時の照査に対応するために鉄筋量を増やした Case-3 は、常時の照査で耐久性の曲げに関する照査は満足する結果となったが、部材が曲げ耐力に達する時のせん断力 V_{mu} が向上することにより、せん断耐力式の係数 β_d を 1.5 以上見込んだとしても破壊形態の確認が満足しない結果となった。以上の結果より、せん断耐力式の係数 β_d を 1.5 以上見込むことによりせん断耐力が向上し、せん断補強鉄筋を用いない場合でも照査が満足するケースが確認された。一部の条件では JIS 規格の PCa-BOX が適用できる可能性はあるものの、土被りや鉄筋量によっては、照査が満足しないケースも確認されたため、線路直下に JIS 規格の PCa-BOX の活用を検討する場合には個別検討が必要と考えられる。

4. まとめ

- ・せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力式の係数 β_d を、JIS 規格 PCa-BOX における最小部材厚である 130 mm まで適用範囲を拡大させることにより、常時および耐震の照査が満足し、線路直下においても JIS 規格の PCa-BOX が活用できる可能性があることが分かった。
- ・スパンが大きくなることや土被りが大きくなることにより、常時の曲げの照査が満足せず、鉄筋量を増やすことにより、部材の曲げ耐力に達するときのせん断力 (V_{mu}) が向上し、せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力 (V_{cd}) では、耐震の検討が満足しないケースが確認された。そのため、検討ケースによっては、設計せん断耐力式の係数 β_d を 1.5 以上見込んだとしても、部材厚の見直しやせん断補強鉄筋を考慮した設計が必要になると考えられる。

参考文献

1) 社団法人 日本道路協会：道路土工 カルバート工指針, pp.142-153, 2010
2) 財団法人 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編, 丸善, 2021
3) 財団法人 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善, 2004
4) キーチョンイェン, 池本 宏文, 蓑毛 詩織：鉄道に用いるプレキャストボックスカルバートの薄肉化に関する検討, 土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会, III-207, 2021
5) 東日本旅客鉄道 (株), 鉄道構造物等設計標準 (耐震設計) [平成 24 年 9 月版] のマニュアル, 2014
6) 石橋, 中山, 津吉：帯鉄筋を配置していない RC 柱の地震時破壊形態, 土木学会論文集, No.676, p13-18, 2001.5

表-2 検討諸元

	Hd	W	H	T	h	圧縮鉄筋	引張鉄筋	f'ck
Case-1	1.5	0.8	0.8	0.13	0.1	D10-6	D10-6	60N/mm ²
Case-2	3.0	0.8	0.8	0.13	0.1	D10-6	D10-6	60N/mm ²
Case-3	3.0	0.9	0.9	0.13	0.1	D10-8	D10-8	60N/mm ²

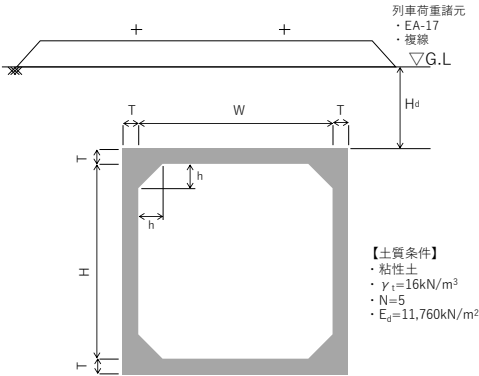


図-1 解析条件

表-3 解析結果

			Case-1		Case-2		Case-3	
			0.8 × 0.8 (H ₀ = 1.5m)		0.8 × 0.8 (H ₀ = 3.0m)		0.8 × 0.8 (H ₀ = 3.0m) + 配筋見直し	
			$\beta_d < 1.5$	$\beta_d > 1.5$	$\beta_d < 1.5$	$\beta_d > 1.5$	$\beta_d < 1.5$	$\beta_d > 1.5$
常時	安全性	曲げ	0.344	0.484	0.376			
		せん断	0.747	0.661	0.729	0.607		
	耐久性	曲げ	0.528	1.174	0.901			
		せん断	0.582	0.485	0.825	0.687	0.758	0.631
耐震	破壊形態の確認 V _{mu} /V _{yd} < 1.0		1.111	0.887	1.041	0.867	1.221	1.017
	変形性能に対する検討 V _{yd} /V _{mu} > 1.1		0.900	1.127	0.961	1.154	0.819	0.983
	曲げ降伏先行の検討 V _c /V _{my} > 1.2		1.323	1.672	1.400	1.681	1.188	1.427