

ハイブリッド FRP 構造物の環境側面の評価に関する検討

清水建設技術研究所 正会員 ○田中博一・フェロー 栗田守朗
東日本旅客鉄道 正会員 吉田 一・ 正会員 柳沼謙一
東レ 正会員 松井孝洋・ 正会員 鈴川研二
埼玉大学 フェロー 睦好宏史 長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

筆者らは、炭素繊維とガラス繊維を組み合わせたハイブリッド FRP（以下、HFRP）に関して様々な検討を行ってきた^{例え ば 1), 2)}。HFRP を用いた場合、軽量化および耐久性向上などを期待できるが、最近注目されている環境側面については不明な点が多いのが現状である。構造物の環境側面評価については、土木学会³⁾などで検討されているが、主に鋼およびコンクリート構造物を対象としており、FRP 構造物を対象とした事例は少ない。そこで、本報告では、鋼、コンクリートおよび FRP の環境側面を比較できる環境負荷算出プログラムを構築し、橋長 30m 程度の線路上空自由通路に HFRP を適用した場合の CO₂ 排出量を算出して既設の鋼橋と比較した。

2. 環境負荷算出プログラム

鋼、コンクリートおよび FRP の環境側面を比較できる環境負荷算出プログラムを構築した。最初に構造物材料の種類を選択し、上部工および下部工の使用材料の数量を入力すると、CO₂ 排出量が算出される。本プログラムにより、対象構造物について使用材料による環境負荷を容易に比較検討できる。CO₂ 排出量の原単位は、鋼およびコンクリートについては土木学会委員会報告書⁴⁾を参照し、FRP のうち炭素繊維については炭素繊維協会からの提案値、その他の FRP については既往の報告⁵⁾を参照した。表-1 に CO₂ 原単位の一列を示す。

3. 対象構造物

環境側面の評価対象として想定した構造物は、筆者らが適用性を検討した橋長 30m 程度、幅員 4m 程度の線路上空自由通路である¹⁾。図-1 に既設鋼橋、図-2 に HFRP 橋の一般図を示す。鋼橋の上部構造は、主に鋼 I 形断面の 3 主桁、PC 床版および壁、屋根（ス

表-1 CO₂ 排出量の原単位

種類	単位	CO ₂ 排出量原単位
鋼材	kg	1.26 kgCO ₂ /kg
コンクリート (Fc24N/mm ²)	m ³	239 kgCO ₂ /m ³
鉄筋 (電炉鋼)	kg	0.767 kgCO ₂ /kg
PC鋼より線	kg	1.32 kgCO ₂ /kg
鋼管	kg	1.26 kgCO ₂ /kg
HFRP	kg	6.60 kgCO ₂ /kg
GFRP	kg	3.09 kgCO ₂ /kg

表-2 使用材料の数量

形式	工種		種別	単位	数量
鋼橋	上部工	梁、桁	鋼材	kg	15,014
			PL	kg	3,074
			溶融亜鉛メッキ	kg	18,088
		下横溝	鋼材	kg	1,218
			PL	kg	290
			溶融亜鉛メッキ	kg	1,508
		橋面工	コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	7
			溶接金網	kg	1,671
			PC版	m ³	10
			PCより線	kg	1,500
			鋼材	kg	942
			溶融亜鉛メッキ	kg	942
		地覆コンクリート	コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	10
			鋼管	kg	7,666
	下部工	橋脚	鋼材	kg	1,605
			PL	kg	4,338
			鋼管	kg	3,783
		P3	鋼材	kg	463
			PL	kg	2,843
			鋼管	kg	3,742
		P4	鋼材	kg	320
			PL	kg	2,214
			コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	75.7
		場所打杭	鉄筋(電炉鋼)	kg	13,271
			コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	30
			鉄筋(電炉鋼)	kg	4,624
			コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	30
			鉄筋(電炉鋼)	kg	3,848
			鋼矢板	kg	38,300
HFRP橋	上部工	主桁	HFRP桁	kg	2,527
			HFRP	kg	1,161
		床組構造	GFRP	kg	3,853
			箱桁断面材	kg	1,926
			箱桁断面材	kg	1,926
			ブラケット	kg	738
			ブラケット	kg	369
		塔	鋼材	kg	253
			塔(□350×350×12)	kg	2,178
			角形鋼管	kg	1,089
	橋面工	ケーブル定着、アンカー	鋼材	kg	1,089
			GFRP	kg	2,900
		GFRPパネル床版	GFRP	kg	1,685
			GFRP	kg	1,685
		GFRP高欄	GFRP	kg	577
	下部工	ケーブル	GFRPボックス地覆	kg	577
			HFRP	kg	1,181
		橋脚	鋼管	kg	7,666
			鋼材	kg	1,605
			PL	kg	4,338
			鋼管	kg	3,742
			鋼材	kg	320
			PL	kg	2,214
		場所打杭	コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	55.7
			鉄筋(電炉鋼)	kg	13,271
			コンクリート(Fc24N/mm ²)	m ³	30
			鉄筋(電炉鋼)	kg	3,848
		その他	掘削土留工	kg	18,000

キーワード ハイブリッド FRP，環境負荷算出プログラム，線路上空自由通路，環境側面，CO₂ 排出量

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 T E L 03-3820-6970

レート材)で構成されている。HFRP 橋の上部構造は、長支間化を図りつつ、たわみ剛性の不足を補うために斜張橋形式とした。さらに、軽量化を目的に、屋根材をスレートから折板へ、床版を PC 版から GFRP パネルに変更した。加えて、外壁を省略して GFRP 製高欄のみとした。その結果、鋼橋から HFRP 橋に変更することで、**図-1** に示す P3 橋脚を省略できた。下部構造は鋼橋および HFRP 橋ともに、橋脚には鋼管、基礎には場所打杭を用いた。

4. 環境負荷算出結果

表-2 に示す使用材料の数量を環境負荷算出プログラムに入力して算出した上部工の CO₂ 排出量を**図-3**、下部工の CO₂ 排出量を**図-4** に示す。なお、上屋については原単位の詳細が不明なため対象外とした。上部工では、鋼橋と HFRP 橋の CO₂ 排出量は同等となった。これは、HFRP 橋の上部工は鋼橋より 50%以上軽量化できたが、CO₂ 排出量の原単位は、**表-1** に示すように FRP の方が鋼より大きいためである。一方、下部工では、HFRP 橋の方が鋼橋より CO₂ 排出量が約 40% 低減される結果となった。これは、FRP による上部工の軽量化の結果、**表-2** に示すように橋脚および場所打杭の数量が減少したためである。**図-5** に示す上部工および下部工をあわせた CO₂ 排出量は、HFRP 橋の方が鋼橋より約 25%低減される結果となり、環境側面の観点から、HFRP 橋が鋼橋より有利であることが確認された。

5. まとめ

線路上空自由通路を対象とした本報告の範囲において、環境側面の観点から、ハイブリッド FRP 橋が従来の鋼橋と比較して有利であることが確認された。

本研究は国土交通省建設技術研究開発助成制度（研究課題名：革新的材料を用いた社会基盤施設の再構築）の一環として行われた。本研究プロジェクトの共同研究者各位から貴重な助言を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 渡辺, 前田ほか: ハイブリッド FRP 斜張橋の線路上空自由通路への適用検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, pp. 155-156, CS2, 2008. 9
- 2) 白木, 睦好ほか: ハイブリッド FRP 材料の力学的特性に関する研究, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, pp. 157-158, CS2, 2008. 9
- 3) 土木学会: コンクリート構造物の環境性能照査指針 (試案), コンクリートライブラリー125 号, 2005 年
- 4) 土木学会: コンクリートの環境負荷評価 (その 2), コンクリート技術シリーズ 62, 2004 年
- 5) 強化プラスチック協会: だれでも使える FRP-FRP 入門-, 2002 年

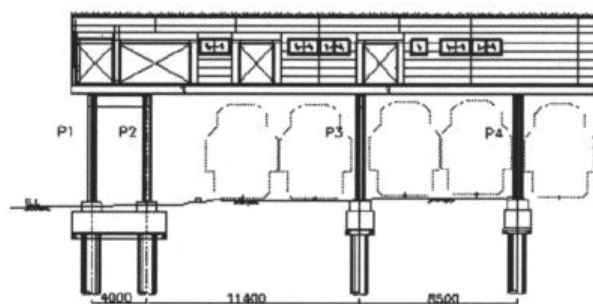


図-1 自由通路一般図 (既設鋼橋)

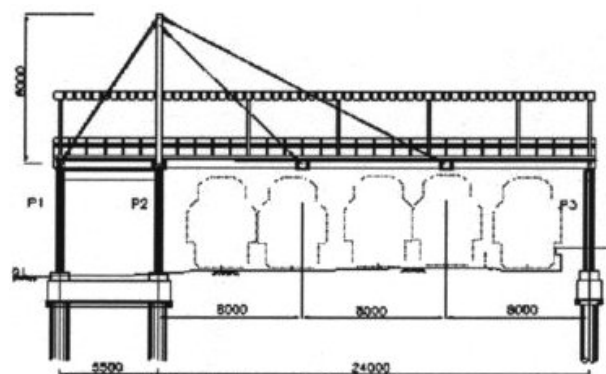


図-2 自由通路一般図 (ハイブリッド FRP 橋)

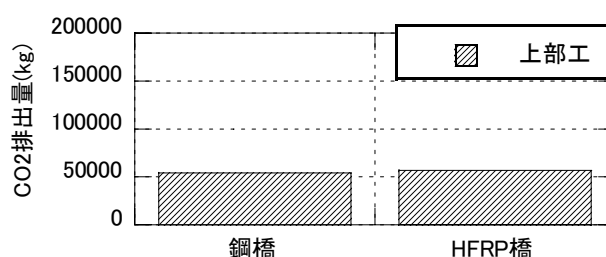


図-3 上部工の CO₂ 排出量

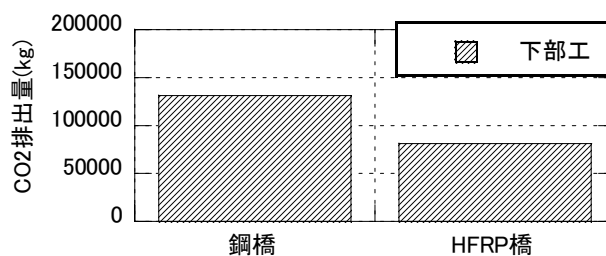


図-4 下部工の CO₂ 排出量

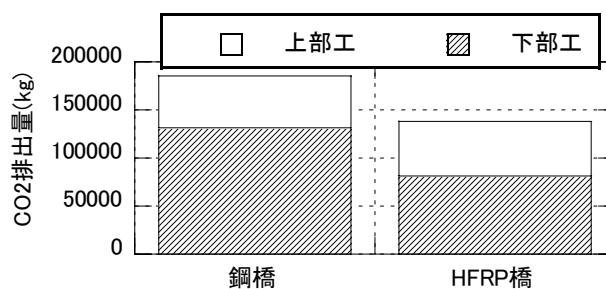


図-5 上部工+下部工の CO₂ 排出量