

ハイブリッドFRP桁斜張橋の線路上空自由通路への適用検討

首都大学東京大学院 学生員 渡辺貴之
 首都大学東京 フェロー 前田研一・正会員 中村一史
 埼玉大学 フェロー 陸好宏史
 東レ 正会員 松井孝洋・正会員 鈴木研二
 東日本旅客鉄道 正会員 吉田 一・正会員 柳沼謙一

1. はじめに

近年、建設コストの縮減が指摘される中で、繊維強化プラスチック (FRP) は、軽量性、耐食性に優れた材料特性から、工期の短縮や架設費の削減だけでなく、維持管理費の低減にも効果的であると考えられている。一般に、FRP の材料費は割高となるが、例えば、都市部幹線鉄道の線路上空自由通路では、線路内の架設作業が夜間に限定されるため、工期が長くなり、全体工事費に占める材料費の割合は小さくなる。このような背景のもと、本研究では、鉄道施設のペデストリアンデッキへの有用性が確かめられたハイブリッドFRP桁¹⁾を、より一般的な複数路線を跨ぐ線路上空自由通路へ拡張した場合について検討を行った。

2. ハイブリッドFRP桁斜張橋の設計条件と試設計

検討対象とした線路上空自由通路の一般図を図-1に示す。図-1(a)は、参考とした既設鋼橋の一例であり、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(スレート材)で構成されている。支間割については、既設の鋼橋を参考に、線路内作業の簡素化に配慮して、下部構造の合理化を含めて検討を行った。上部構造については、長支間化を図りつつ、たわみ剛性の不足を補うために、斜張橋形式を採用した。支間割および基礎の配置を検討した結果、図-1(b)、(c)に示したように、2つのタイプの斜張橋形式で試設計を行った。

さらに、下部構造のスリム化や、一括架設などの工期短縮を図るために、上部構造で大きな重量を占める構成部材の軽量化を試みた。主として、屋根材をスレートから折板へ、また、床版をPC版からGFRPパネルへ変更した。加えて、外壁を省略してGFRP製高欄のみとした。

ハイブリッドFRP桁については、引き抜き成形による製作を前提とし、曲げ剛性を効率的に付与するために、上下フランジ部に炭素繊維(CF)とガラス繊維(GF)を、ウェブにはせん断剛性を付与するために±45°方向を多く含むGFを配置している。表-1に示すように、フランジ部の積層構成が異なる4つのケース(A~D)を設定して検討を行った。桁の断面寸法は、比較検討のため参考とした既設鋼橋の桁と同じ440×300mmとした。図-2に、Type1における断面図を、図-3に、ハイブリッドFRP桁とGFRP床版パネルの概略図を示す。Type1では参照した既設鋼橋と同じ3主桁、Type2では4主桁とした。

また、長支間化を図ったType2では、ケーブルを2段とし、塔高も高く設定した。その他、斜張橋を構成する塔、ケーブル定着部のブラケットを含む横桁構造およびケーブルについては鋼製とした。表-2に、主要部材の断面諸元を示す。活荷重に対する主桁の鉛直たわみが支間長の1/500以下²⁾となるように、ケーブル断面積を調整すること

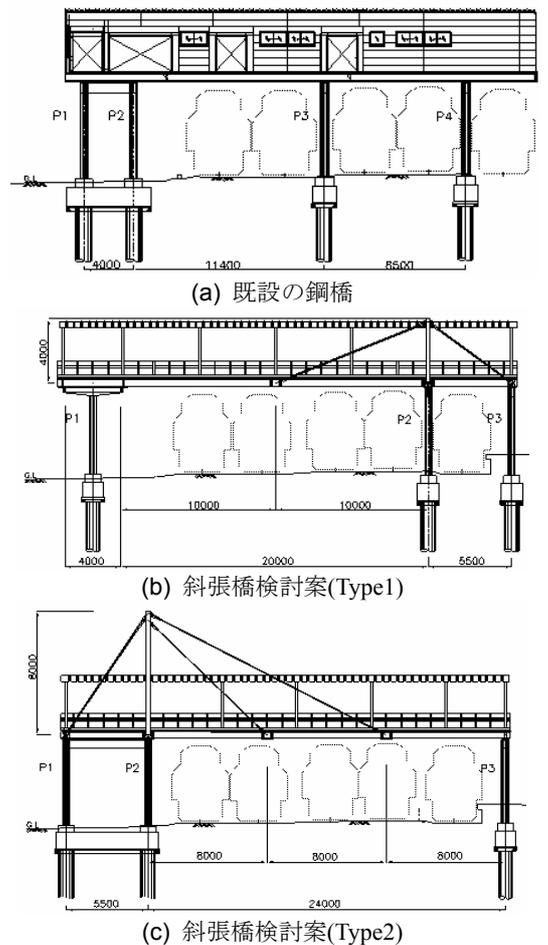


図-1 対象とした線路上空自由通路の一般図

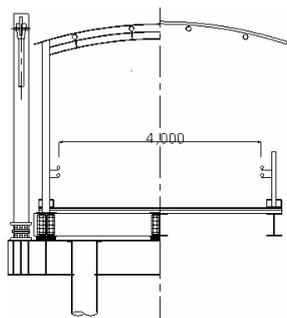


図-2 Type1における断面図

表-1 ハイブリッドFRP桁の積層構成

板厚 (mm)	積層構成(体積比率)							
	CF UD	CF 0/90	GF UD	GF 0/90	GF ROV.	GF ROV. ±45	GF MAT	
フランジ	A	52%	0%	0%	10%	13%	25%	
	B	33%	10%	0%	19%	13%	25%	
	C	33%	0%	0%	29%	13%	25%	
	D	14%	0%	0%	48%	13%	25%	
ウェブ(共通)	9	0%	0%	52%	10%	13%	25%	

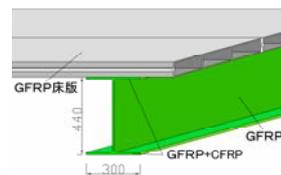


図-3 ハイブリッドFRP桁断面

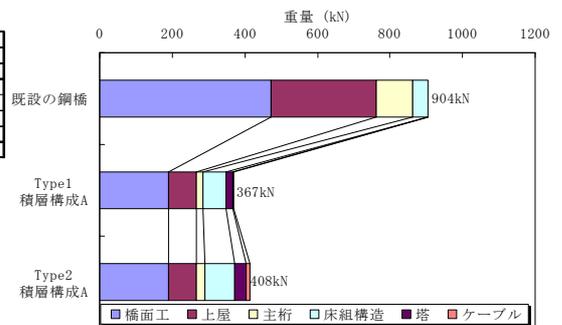


図-4 各部位の重量比較

Key Words : ハイブリッドFRP桁, 線路上空自由通路, 斜張橋, 工期短縮, たわみ制限, 振動使用性
 連絡先 : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 042-677-1111 FAX. 042-677-2772 内線(4564)

で試設計を行った。これらの設計条件に基づいて、2つのタイプの斜張橋案を図-5に示すような立体骨組構造でモデル化し、固定荷重解析、固有振動解析を実施して、たわみ、応力度、振動使用性について照査を行った。

検討結果の一部として、各部位の重量を比較したものを図-4に示す。斜張橋形式とすることで、塔、ケーブルおよび床組構造の中に含まれるケーブル定着構造の重量が増加するものの、橋面工と上屋を合わせた重量が約65%削減されたことから、両タイプで全重量は半分以下に低減された。このような上部構造の軽量化は、下部構造のスリム化や一括架設による工期短縮だけでなく、設計照査時における振動使用性の確保にも効果的であると考えられる。

表-2 断面諸元

	積層構成	A(m ²)	J(m ⁴)	I _{in} (m ⁴)	I _{out} (m ⁴)	E(GPa)	G(GPa)
主桁	A	1.21E-02	6.51E-07	4.34E-04	6.30E-05	59.7	9.0
	B					48.4	
	C					44.8	
	D					30.0	
横桁(GFRP)	1.21E-02	6.51E-07	4.34E-04	6.30E-05	25.0	4.5	
横桁(鋼)	2.71E-02	1.35E-03	9.02E-04	9.02E-04	200	77	
塔(鋼)	1.59E-02	5.16E-07	2.32E-04	2.32E-04	200	77	
床版(GFRP)	1.52E-02	2.05E-05	6.40E-06	1.51E-04	25.0	4.5	

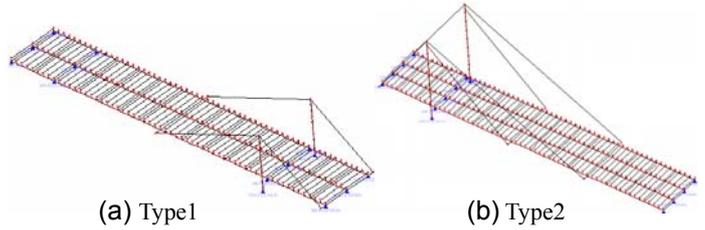


図-5 立体骨組構造解析モデル

表-3 固有振動数と振動モード

タイプ 積層構成	Type1				Type2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
ケーブル断面積(mm ²)	1,200	1,450	1,600	2,800	1,700	1,875	1,950	2,350
ケーブル直径(mm)	39.1	43.0	45.1	59.7	46.5	48.9	49.8	54.7
面内対称1次モード(Hz)	3.01	2.99	3.01	3.03	2.71	2.70	2.70	2.67
ねじり対称1次モード(Hz)	3.93	3.91	3.91	3.79	3.95	3.93	3.91	3.72
面外とねじりの連成モード(Hz)	5.25	5.12	5.08	4.83	5.14	4.96	4.90	4.65
面内逆対称1次モード(Hz)	5.51	4.95	4.76	3.88	6.46	6.25	6.16	5.46
ねじり逆対称1次モード(Hz)	7.54	6.94	6.74	5.74	-	-	-	-

3. 照査の結果と考察

(1) たわみの照査 図-6は、主桁のたわみが最大となる活荷重載荷(主径間全載)ケースについて、主桁の鉛直変位を示したものである。主桁の剛性の低下に伴い、鉛直変位が増加するものの、両タイプ、全ての積層構成でたわみ制限(L/500)を満足した。また、後述する表-3に併記したように、ハイブリッドFRP桁の弾性係数が低くなるほどケーブル断面積を増加させる必要があった。なお、I形断面の面外剛性が極めて小さいことから、約2m間隔で設置されたGFRP横桁とGFRP床版パネルは面外およびねじり剛性に寄与する構造部材として不可欠であった。

(2) 応力度照査 ハイブリッドFRP桁は、フランジとウェブで弾性係数が異なるため、合成断面として応力度照査を行った。一例として、図-7に、積層構成Aにおける死活荷重載荷(全径間全載)時の主桁の応力度分布を示す。応力の絶対値が最大であったType1においても、最大、最小応力は、52.2、63.9(N/mm²)であり、発生応力は小さく、たわみが支配的で、応力は問題ないことが確かめられた。

(3) 振動使用性の照査 歩道橋における固有振動数は人の歩調と共振し不快感をあたえないよう1.5~2.3Hzを範囲外としている。表-3に示した固有振動解析結果より、両タイプ共に2.67Hz以上となり振動使用性を満足した。表-3に併記したケーブル断面積と固有振動数を比較すると、固有振動数は主桁剛性だけでなくケーブル断面積にも寄与していることが解る。また、GFRP床版の剛性も考慮することでねじりや面外の振動も設計上、問題とならないことも確かめられた。

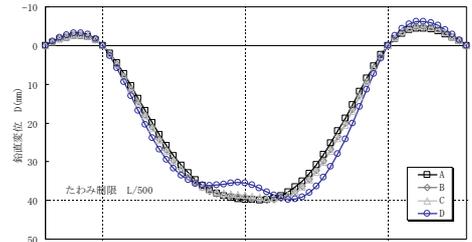
4. まとめ

ハイブリッドFRP桁斜張橋の概略的な試設計を行った結果、設計上、大きな問題はみられなかったことから実現可能であるといえた。FRPを用いた橋梁においては主桁の鉛直たわみが支配的であり、たわみ制限が設計上、大きな制約となるが、長支間化した場合であっても、適切な積層構成を選択し、斜張橋形式とすることで、十分に設計できることが確かめられた。

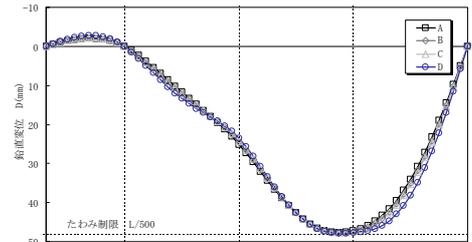
本研究は国土交通省建設技術研究開発助成制度(研究課題名:革新的材料を用いた社会基盤施設の再構築)の一環として行われた。共同研究者各位からは貴重なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 前田研一, 睦好宏史, 津吉毅, 鈴木研二, 松井孝洋: ハイブリッドFRP桁のペDESTリアンデッキへの適用検討, 鋼構造年次論文報告集, 日本鋼構造協会, Vol.15, pp.211-218, 2007.11
- 2) 東日本旅客鉄道株式会社: 乗換こ線橋設計の手引, 1992.10

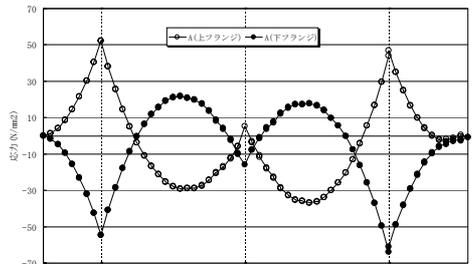


(a) Type1

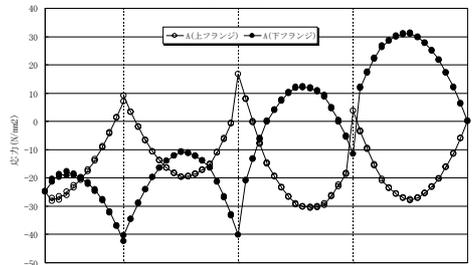


(b) Type2

図-6 活荷重主径間全載時における主桁たわみ



(a) Type1



(b) Type2

図-7 死活荷重載荷時における主桁応力度分布