ハイブリッド FRP 桁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・木内雄太 首都大学東京 正会員 中村一史・フェロー 前田研一 埼玉大学 フェロー 睦好宏史 東レ 正会員 松井孝洋・正会員 鈴川研二 正会員 東日本旅客鉄道 吉田 一・正会員 柳沼謙一

1. はじめに

線路上空自由通路の建設では架設条件が極めて厳しいため、合理的な施工が求められている.軽量な繊維強化 プラスチック(FRP)を構造部材として適用すれば , 下部構造のスリム化や現場における架設が容易に可能となる ため,その有用性が期待されている.そこで,本研究では,線路上空自由通路の事例調査により典型的な3径間 連続桁橋を選定し, ハイブリッド FRP 桁橋の試設計を行い, その適用性を検討した.

2.3 径間連続桁橋の設計条件とハイブリッド FRP 桁の断面諸元

検討対象とした線路上空自由通路の一般図を図-1 (a)に示す.これは鋼 形断面の3 主桁(桁高 800mm,有効幅 員 4.0m)を有する 3 径間連続桁橋であり,径間長は図-1 (b)のように簡便にモデル化した. 既設鋼橋では,上屋を 含む上部構造が重いため,振動使用性を確保するために主桁断面が決定されている.本研究では,一括架設や大 ブロック架設による工期短縮など, FRPの軽量性を活かすため, 既往の検討¹⁾と同様に上部構造の軽量化を図るこ ととした.その結果,主桁を除く上部構造の死荷重は10.1kN/mとなった.

ハイブリッド FRP 桁は 曲げ剛性を効率的に付与するために, フランジ部に集中的に炭素繊維(CF)を配置したものである.そ の積層構成を表-1に,また,対象とした主桁の基本断面形状と断 面剛性を表-2 に示す.既往の検討結果¹⁾を参考に,積層構成と桁 高 440mm の I 形材 (I440)を選定したが, 断面形状については, 国内の引き抜き成形材として最大断面の桁高 600mm の I 形材 (I600) も検討対象とした.3 径間連続桁橋への適用性を検討す るにあたっては,鋼桁をハイブリッド FRP 桁で置換した場合 設計条件を満たすように断面剛性と主桁本数を検討した.ただし 幅員とフランジ幅の関係から,設置可能な主桁本数 nmax は 15本 となる .特に ,1440 では ,既設鋼橋に比べて桁高が低いことから , 表-2 に示したように 2 段に重ね合わせた断面 (I440×2)を提案 した.さらに,効率的な断面剛性の確保や,主桁本数の低減を図 るために,上下フランジの最外縁に CFRP 板を接着することによ る主桁断面の高剛性化も検討した.ここでは,高剛性化のための CFRP 板の弾性係数を 100GPa と仮定し 必要な厚さを算出した.

照査項目は活荷重に対するたわみ制限(支間長の 1/500 以下²⁾) および振動使用性(回避すべき振動数の範囲:1.5~2.3Hz)であ り,それらを満足するように試設計を行った.解析方法について は、せん断変形による付加たわみを考慮した平面骨組構造解析法 (Timoshenko はり理論,以下,Timo.Th.)を適用して,主桁の鉛 直変位を厳密に算出するとともに,その影響を考慮しない場合

(Bernulli-Euler はり理論,以下, B.-E. Th.) も比較 検討した.なお,せん断補正係数 k はウエブの断面 積 A_wと全体断面積 A の比 A_w/A で与えた.

3. 照査結果と考察

(1) 試設計結果 照査の結果,後述するように主桁 の断面剛性は活荷重たわみにより決定された.基本 断面形状に対する主桁本数とその断面剛性を表-3に 示す.CFRP 板接着で高剛性化を図った場合,実用 的なCFRP板厚で主桁本数を減らすことができ」440 ×2 では既設橋と同じ主桁本数で設計が可能となっ た.また, I440 では最大主桁本数(15本)でも活荷 重たわみの制限値を満足しなかったが,高剛性化に より設計可能であることが解った.

(2) たわみ特性と活荷重たわみの照査 活荷重たわ

Key Words:ハイブリッド FRP 桁,線路上空自由通路,連続桁橋,引き抜き成形材, CFRP 板 連絡先:〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 042-677-1111 内線(4564) FAX. 042-677-2772

P1

 $\overline{}$

表-1 ハイブリッド FRP 桁の積層構成と物性値

	繊維の種類 , 方向別の体積比率				弾性	せん断弾
部位	CF UD	GF Rov.	GF Rov.	GF Mat	係数	性係数
	0 °	0/90°	±45°	-	E(GPa)	G(GPa)
フランジ	52%	10%	13%	25%	65.7	9.0
ウエブ	-	32%	42%	25%	15.7	9.0



みの一例として,9@I600における最大・最小活荷重たわみ分布を図-2に示す.最大支間L3で最大たわみを生じ, たわみの制限値を満たしていることが解る.たわみ分布の傾向は,他のケースでも同様であった.図-3に死・活 荷重時における最大鉛直変位の比較を示す.本検討では活荷重たわみの制限値により主桁の断面剛性が決定され たが,CFRP板接着の高剛性化により,主桁本数を減らすことができ,合理的に曲げ剛性を設定できることが解る. また,死荷重たわみの量も比較的大きく,適切な製作そりを考慮する必要があるといえた.

(3) 応力度照査 中間支点 P3 上の負の曲げモーメントにより, 主桁応力の絶対値が最大となることから, 図-4 に その絶対最大応力を比較して示す. 死荷重時の応力は小さいが, 死活荷重比 L/D が大きいため, 活荷重による応 力も高くなり,その傾向は断面剛性が大きくなるほど顕著になることが解った. CFRP 板の軸方向強度は高いため 応力度としては問題ないが, 接着面の層間はく離については別途検討する必要があるといえた.

(4) 振動使用性の照査 図-5 に最低次モードの固有振動数と主桁重量を比較して示す、全てのケースで振動使用性 を満足していることが解る.また,主桁重量の比較から,基本断面の剛性が高いものほど重量は小さくなるが, CFRP 板接着による高剛性化は,主桁本数とその合計重量の低減に大きく寄与することが確かめられた.

b) 高剛性化後			
せん断剛性			
r.) kGA (kN/Br.)			
501×10^{3}			
426×10^{3}			
427×10^{3}			
3			

表-3 主桁の必要本数と断面諸元





以上のことから,ハイブリッド FRP 桁の3 径間連続桁橋への適用性は十分にあるといえた.特に,CFRP 板接着の高剛性化により,主桁本数を減らすことができ,合理的に曲げ剛性を設定できることも解った.したがって, 断面の選定に制約を受ける FRP 引き抜き成形材において,剛性設計の自由度が大きく向上し,合理的な断面設計が可能であることが明らかになった.

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) 中村一史,前田研一,睦好宏史,吉田 一,松井孝洋:ハイブリッド FRP 桁斜張橋の試設計と線路上空自由通路への適用 可能性,鋼構造年次論文報告集,日本鋼構造協会,Vol.16,pp.167-174,2008.11
- 2) (財)鉄道総合技術研究所: 乗換跨線橋設計指針, pp.8-9, 1987.9