

GFRP 桁の重ね合成による大断面化と実用性に関する研究

首都大学東京大学院 学生員 ○水貝脩平

首都大学東京大学院 正会員 中村一史・フェロー 前田研一

東日本旅客鉄道 正会員 柳沼謙一

1. はじめに

近年、社会基盤構造物の施工性の向上、維持管理の簡易化が重要視されているなか、軽量性、耐食性、さらに成型性に優れた繊維強化プラスチック（FRP）が注目されている。そこで本研究では、FRP を急速施工が求められる線路上空自由通路へ適用すること想定し、重ね合成による大断面桁の開発を目的とした。今回はガラス繊維強化プラスチック（GFRP）製の I 桁を上下に接着した大断面桁（図-1 (a)）の実用性を把握するとともに、模型実験による接着せん断強度および重ね合成桁の曲げ変形特性について検討した。

2. 重ね合成した GFRP 桁の線路上空自由通路への適用検討

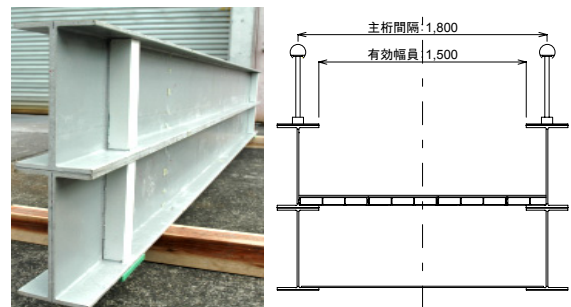
図-1 (b)に試設計断面の形状を示す。断面形状については、国内最大の引き抜き成形材として、桁高 600mm の I 形材（I600）を検討対象とした。重ね合成した GFRP 桁を 2 主桁（有効幅員 1.5m）形式で配置し、単径間および 2 径間連続形式の桁橋の各ケースについて検討した。比較のために I600 のみの断面（単桁）も検討した。表-1 に、主桁の断面性能と適用可能支間長を示す。照査については、活荷重 3.5kN/m^2 に対するたわみ制限（支間長の 1/500 以下）を満足するように試設計を行った。たわみ算出には Timoshenko はり理論によりせん断変形による付加たわみを考慮した。表-1 から、重ね合成桁は、単桁よりも、曲げ剛性は 4.8 倍、せん断剛性は 2.0 倍となっていることが解る。同じく表-1 に示された適用可能支間長からは、単桁では、単径間形式で 11m、2 径間連続形式で 13m であるのに対し、重ね合成桁では、それぞれ 20m、22m まで支間を伸ばすことができる。したがって、重ね合成による大断面桁の適用によって、効率的にたわみを抑制することができ、大幅な長支間化が可能であるといえた。

3. 模型実験による接着せん断強度と曲げ変形特性の検討

3.1 実験方法

重ね合成した接合面の接着せん断強度を把握するため、桁高 300mm の GFRP（I300）桁を橋軸方向に 275mm に 3 体切り出し、フランジ面をエポキシ樹脂接着剤（厚さ 2mm）で接合し、万能試験機で破壊まで圧縮载荷試験を行った。図-2 に試験片の断面図、側面図を示す。接着層のひずみを直接計測できないため、ひずみゲージをフランジ面（図-2、AB 間）に設置し、ひずみを測定した。また、比較のために 3 次元線形 FEM 解析（Marc2005r3）を行った。

曲げ変形特性の検討では、桁長 3500mm の GFRP 桁 2 本（I300×2）のフランジ面を、同様のエポキシ樹脂接着剤を用いて上下に接着し、約 30℃で 1 週間養生した。完成した試験体を単純支持、支間 3000mm、張出部 250mm、载荷長 1000mm として変位制御（0.02mm/sec）で 4 点曲げ载荷を行った。図-3 に、セットアップ状況を示す。



(a) 重ね合成 GFRP 桁 (b) 試設計断面
図-1 主桁断面の形状

表-1 断面性能と適用可能支間長

検討シリーズ	単桁	重ね合成桁
主桁の基本断面形状		
フランジ弾性係数 (GPa)	350	350
ウェブ弾性係数 (GPa)	288	288
ウェブせん断弾性係数 (GPa)	3.65	3.65
フランジ厚 (mm)	18	18
ウェブ厚 (mm)	12	12
曲げ剛性 EI ($\text{kN}\cdot\text{m}^2/\text{桁}$)	372×10^3	1778×10^3
せん断剛性 GA ($\text{kN}/\text{桁}$)	24.7×10^3	49.4×10^3
適用可能支間長	単径間	21.3m
L_{max}	2 径間	24.4m+24.4m

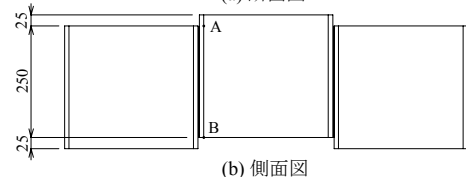
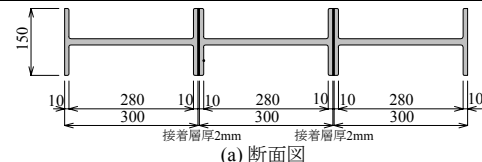


図-2 接着せん断強度実験の試験片図

Key Words : FRP 桁, 大断面化, 重ね合成, 接着断面, 適用可能支間長

連絡先*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

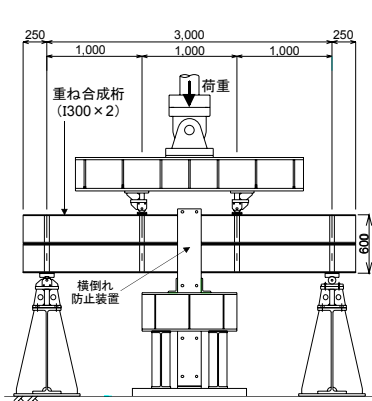


図-3 4点曲げ載荷セットアップ

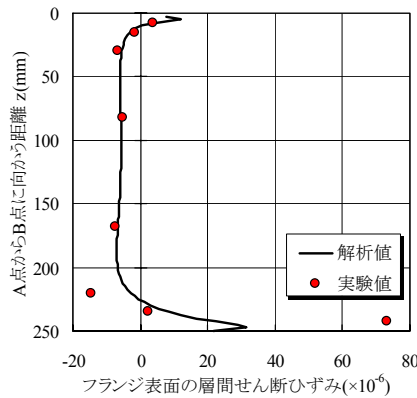


図-4 層間せん断ひずみ分布 (P=200kN)

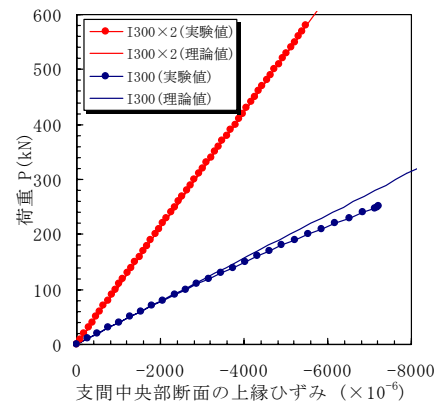


図-5 荷重-ひずみ曲線

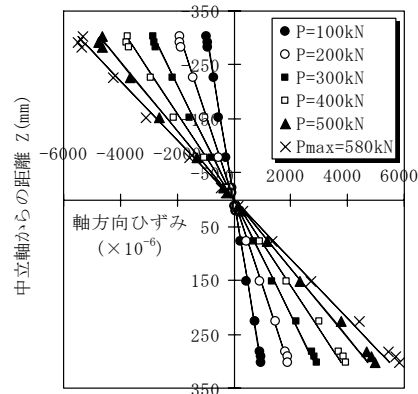


図-6 中央断面の垂直ひずみ分布

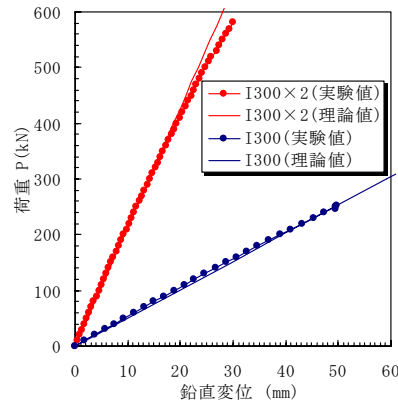


図-7 荷重と鉛直たわみの関係



写真-3 破壊状況 (I300×2)

3.2 接着せん断強度実験の結果と考察

図-4 に、200kN 載荷時におけるフランジ表面の層間ひずみ分布を示す。これは、フランジ表面の軸方向のひずみ勾配から層間せん断ひずみを算出し、解析値と比較したものである。図より、実験値は、下面で大きなひずみを生じるものの、理論値とはほぼ同じ挙動を示すことが確かめられた。一方、試験片の破壊は、荷重が 547kN で生じたが、接着層では破壊は生じず、底盤に接しているフランジ部の圧壊が起点となり、母材破壊で終局となった。したがって、接合面は十分な接着強度を有していることが確認できた。

3.3 曲げ載荷実験の結果と考察

図-5 に、荷重と支間中央断面の上縁ひずみの関係を示す。図-5 から、理論値と実験値が終局までほぼ同じ挙動を示すことが解る。また、図-6 に示した支間中央断面の垂直方向ひずみ分布からも、I300×2 の断面は、破壊まで平面保持していることが確かめられる。図-7 の荷重と鉛直たわみの関係では、両試験体ともに、理論値と実験値がほぼ同じ挙動を示すことが確認でき、また I300×2 は I300 のみよりも同じ荷重で、約 75% のたわみが軽減されることが解る。最大荷重は 581kN であり、載荷点直下のフランジ上面において、長手方向に亀裂が生じ、破壊となった。写真-3 に破壊の様子を示す。破壊強度は I300 のみの上フランジの圧縮応力 (223N/mm^2) から約 675kN と予測されたが、載荷点の補剛材の圧壊により、かなり下回った。しかしながら、接着層のはく離は全く生じず、曲げによる破壊も起こらなかったことから、提案した重ね合成大断面桁は十分な剛性と強度を有することが確かめられた。

4. まとめ

本研究は、GFRP 桁同士を接着接合した重ね合成大断面桁を提案し、その実用性を検討したものである。検討の結果以下のことが明らかになった。

- (1) 重ね合成大断面桁を 2 主桁形式の中路橋として適用することで、合理的な断面構成とすることができ、大幅な長支間化が可能であることが解った。
- (2) 重ね合成した接着接合部は、機械接合による補強を必要とせず、十分な強度を有することが確かめられた。
- (3) 4 点曲げ載荷試験からは、載荷点直下の補剛材の破壊で終局となったものの、十分な強度、剛性を有し、また、接着断面が有効に機能していることが確かめられた。

本研究を行うにあたり、日本シーカ株式会社より実験材料を提供いただいた。ここに記して謝意を表します。