

トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の実大部分模型による終局強度の検討

首都大学東京大学院 学生員○小泉公佑, 正会員 中村一史
 高速道路総合技術研究所 正会員 若林 大, 古谷嘉康
 前田工織 正会員 中井裕司, 日本 FRP 正会員 西田雅之

1. はじめに

近年, 橋梁の維持管理の重要性が指摘され, 計画的に点検, 調査が実施されるようになってきた. こうした状況下で, 橋梁の定期的な点検のための検査路が不可欠となっている. しかし, 従来の検査路は, 鋼製のものが多く, 腐食等による耐久性が課題となる場合がある. また, 検査路を後から設置するケースが増えつつあるため, 軽量で後施工がしやすい検査路が求められている. このような観点から, 軽量で施工性に優れ, 耐食性も併せ持つ繊維強化プラスチック (以下, FRP とよぶ) 製の検査路が適用されはじめているが, 従来の鋼製の桁構造を置き換えた形式であり, FRP の特性が十分に活かされていない. そこで本研究では, 開発したサンドイッチパネル床版タイプのトラス形式検査路¹⁾の構造特性と終局強度を検証するために, 実大部分模型を製作して, 曲げ載荷実験を行った.

2. 提案検査路の概要と検討方法

2.1 構造形式と適用材料

図-1 に設計対象としたトラス桁形式の検査路の一般図を, また, 表-1 に検査路の設計条件を示す. 支間長は一般に適用される橋梁用検査路と同等の 5.8m とし, たわみ制限は支間長 L に対して $L/600$ とした. 垂直材, 上弦材, 斜材には, GFRP 溝形材の C75 ($H75 \times B40 \times t5.0\text{mm}$) を, また, 床版には, GFRP 溝形材 C100 ($H100 \times B50 \times t5.0\text{mm}$), スキンプレート, 硬質発泡ウレタンを適用した. 表-2 にそれらの材料物性値を示す. 格点部の接合には接着剤とリベットを用いた. リベット接合は, 床版部の施工が片側からであること, 施工が短時間であることから採用した. リベットの配置や必要本数は, 別途, 接合部の載荷実験により決定した. サンドイッチパネル床版 (図-2) は, 両側の GFRP 溝形材 C100 とコア材の硬質発泡ウレタンの上下面に, ハンドレイアップ成形された厚さ 5mm の GFRP スキンプレートを配置した構造であり, 接着剤とリベットで接合されている. 水平材 (非構造材) には, GFRP 溝形材 (C40, $H40 \times B20 \times t3.0\text{mm}$) を使用した.

2.2 サンドイッチパネル床版の断面性能と解析手法

サンドイッチパネル床版は, スキンプレート, 溝形材, コア材で構成されるが, それぞれの弾性係数が異なるため, 完全な合成断面と仮定して, 等価な弾性係数 (表-3) を求めた. また, サンドイッチパネル床版は, せん断剛性が小さいため, せん断変形による付加たわみを考慮する必要があるが, 複数の部材からなる合成断面のせん断剛性を評価するのは容易ではない. ここでは, サンドイッチパネル床版を, 3次元有限要素法解析 (Marc 2013) によって求めたたわみを, Timoshenko はり理論に基づいて, 有効なせん断剛性を同定 (表-3) した. さらに, せん断変形を考慮した平面骨組解析 (EERC/Fiber) により構造全体および部分模型の解析を行った. なお, 有限要素法解析によるたわみの値は, 別途, サンドイッチパネル床版の3点曲げ載荷実験を行ってその妥当性を確かめている.

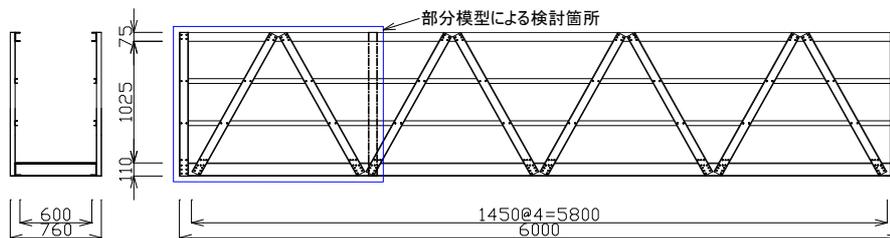


図-1 提案検査路の全体図

表-2 材料物性値

材料	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
溝形材 C75	39.5	552
溝形材 C100	39.2	512
スキンプレート	9.1	83
硬質発泡ウレタン	9.5	0.329

表-3 床版の断面諸元

項目	値
等価弾性係数 (kN/m^2)	3.77×10^6
せん断弾性係数 (kN/m^2)	1.45×10^6
等価断面積 (m^2)	3.65×10^{-2}
断面2次モーメント (m^4)	7.54×10^{-5}
せん断補正係数	5.41×10^{-2}

表-1 設計条件

設計活荷重 (kN/m^2)	3.5
有効幅員 (m)	0.6
支間長 (m)	5.8
たわみ制限 (mm)	$L/600$

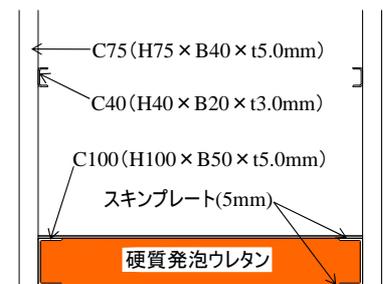


図-2 床版の拡大図

Key Words : 検査路, GFRP, トラス形式, サンドイッチパネル床版, せん断変形

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

3. 実大部分模型を用いた4点曲げ載荷実験

3.1 実験方法

製作した実大部分模型を用いて、破壊までの曲げ載荷実験を行い、変位、ひずみを測定した。製作した実大模型、実験のセットアップ、各データの測定箇所を図-3に示す。実大部分模型は、図-2に併記したように、開発した検査路と高さが同じでスパンが約1/4である。試験体の支持条件は単純支持とし、4点曲げ載荷を行った。載荷点と支点部にはゴム板と鋼板を設置した。載荷装置には、容量2,000kN、ストローク200mmの油圧ジャッキが取り付けられた汎用曲げ載荷試験機を用い、載荷は油圧ハンドポンプを用いて行った。曲げ載荷実験により、検査路の構造特性、終局強度および破壊形式を検討する。

3.2 実験結果と考察

実験結果の一部として、荷重-変位関係を図-4に示す。荷重が40kNに達したあたりで、床版部の溝形材で、初期のせん断破壊が発生した。その後も荷重が徐々に増加し、最大荷重は70.6kNとなり、終局を迎えた。破壊の状況を図-5に示す。荷重-変位関係は、解析結果の値とほぼ一致した。上弦材の水平変位は、最大でも2.5mmであり、十分に小さく、面外変形に対して剛性が高いことが確かめられた。また、床版のみの鉛直たわみとの比較から、トラスによって構造全体の剛性が向上していることもわかる。

図-6に荷重と各部材の軸力の関係を示す。実験値は、図-3に示したように、各部材に設置したひずみゲージの計測値から軸力を算定した。図より、解析結果との整合性が認められ、床版部には、大きな引張軸力が発生することがわかる。さらに、図を省略したが、床版部は、曲げモーメントと軸力を同時に受ける部材であり、断面保持の仮定が成り立つことも確認している。

一方、終局耐力については、実構造物の支点反力(最大せん断力)は12.18kNであり、せん断破壊した最大荷重(70.6kN)を終局状態と考えると、作用せん断力に対して安全率5.8を確保することができ、十分に安全であるといえた。

4 まとめ

実大部分模型を対象とした曲げ載荷実験では、破壊形式は、床版部のせん断破壊が支配的であった。実構造物に対して1/4の部分模型ではあるが、支点部の近傍に相当する部位とみなせば、設計せん断力に対して、十分な安全性を有していることが確かめられた。また、上弦材の水平変位は小さく、剛性が高いこと、また、実験値は、解析による断面力・変位の値とよい一致を示すことから、設計の妥当性が示された。さらに、トラスによる補剛効果が認められ、桁形式に比べて剛性が高いことから、提案したトラス形式の検査路は、低弾性であるFRPに有利な構造であるといえた。

参考文献

- 1) 中村一史, 本田涼, 中井裕司: トラス桁形式のGFRP製橋梁用検査路の提案と構造特性の検討, 土木学会第68回年次学術講演会概要集, CS3-033, pp.65-66, 2013.9

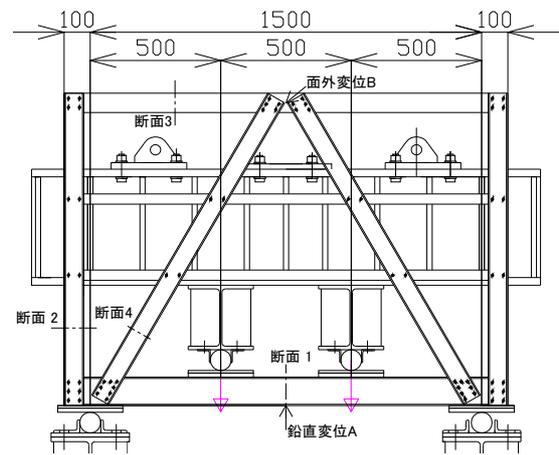


図-3 試験体セットアップ

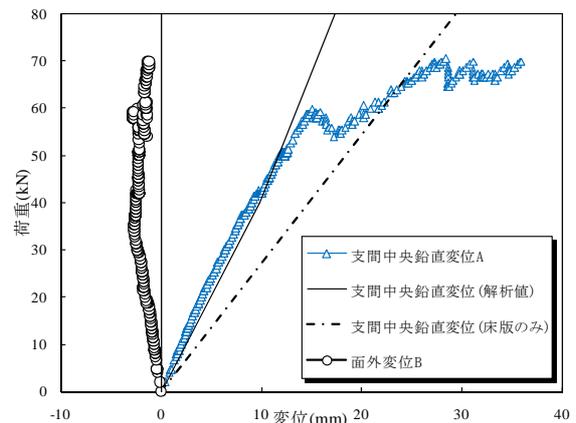


図-4 荷重-変位関係



図-5 床版部のせん断破壊の様子

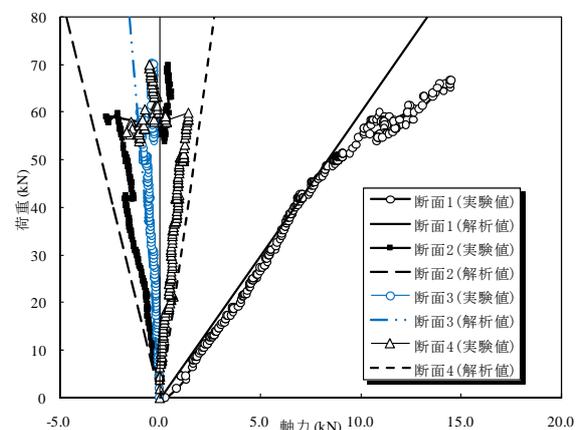


図-6 荷重と各部材の軸力の関係