

当て板接合した鋼桁の曲げ耐力に関する実験的検討

パシフィックコンサルタンツ 正会員○山下夏実 首都大学東京 正会員 中村一史
 平設計 正会員 山田 稔 東京鐵骨橋梁 フェロー 入部孝夫 明星大学 正会員 鈴木博之
 東レ 正会員 松井孝洋 ユニシ 正会員 堀井久一

1. はじめに

既設鋼橋においては、設計活荷重の変更 (TL-20 から B 活荷重) に伴い、主桁や床版の耐荷性能を向上するための、効率的な補強対策が求められている。一般には、鋼当て板を高力ボルトで接合する工法が採用されるが、穿孔、ボルトの締め付け等は現場作業となり、施工性がよいとはいえない。一方、軽量で、作業性に優れた、炭素繊維強化樹脂 (以下、CFRP とよぶ) 板を用いた接着工法が提案され、適用されはじめているものの、両者の効果や、死荷重等の初期荷重が耐荷力に及ぼす影響については、十分に検討されていない。そこで本研究では、鋼板および CFRP 板の当て板接合による鋼桁の補強効果を明らかにすることを目的として、実施工を想定した死荷重による影響を考慮して、実験的検討を行った。

2. 当て板接合した鋼桁の曲げ載荷実験

2.1 試験体と当て板接合の概要

試験体は、H 形鋼桁 ($H300 \times B150 \times t_w 6.5 \times t_f 9 \times L4,100 \text{ mm}$) に、上フランジの座屈が先行して生じないように、上フランジにカバープレート ($B180 \times t12 \times L4,060 \text{ mm}$) をすみ肉溶接で接合したものである。表-1 に、材料物性値を示す。試験体は 3 種類であり、無補強の試験体 (GN) , CFRP 板 ($B75 \times t1.5 \times L3,800 \text{ mm}$) を、横に 2 枚並べ、エポキシ樹脂系接着剤 (ポンド E258R) を用いて下フランジ下面に接着した試験体 (GC) , および、従来工法との比較のために、下フランジ下面に鋼板 ($B150 \times t9 \times L3,800 \text{ mm}$) を摩擦接合用高力ボルト (F10T M16, ボルト間隔 110mm) で接合した試験体 (GB) を作製した。

想定する死荷重相当の荷重 P_d (以下、初期荷重とよぶ) は、曲げモーメントの作用によって、無補強の鋼桁 (SM400) の支間中央部の下フランジに、許容応力度 (140MPa) の半分の引張応力 (70MPa) が生じる値とし、初期荷重 P_d は 50kN であった。無補強 GN では、初期荷重のない場合のみとし、CFRP 板接着接合 GC、鋼板ボルト接合 GB では、それぞれ初期荷重の有無をパラメータとして、計 5 体の試験体を用意した。表-2 に、実験シリーズを、図-1 に、各試験体の断面図をそれぞれ示す。試験体 GC2、GB2 では、初期荷重 ($P_d=50\text{kN}$) を載荷した状態で、それぞれ CFRP 板の接着接合、鋼板のボルトの締め付けを行っている。

2.2 実験方法と解析方法

4 点曲げ載荷実験は、支点間長を 4,000mm、載荷点間距離を 1,000mm に設定し、支持条件は単純支持とした。載荷装置には、容量 2,000kN、ストローク 200mm の油圧ジャッキを用いた。図-2 に、試験体のセットアップ状況を示す。桁の中央断面および当て板の端部にひずみゲージを、下フランジ下面の 8ヶ所に

表-1 材料物性値

| 部位 | 弾性係数 (GPa) | 降伏強度 (MPa) | 引張強度 (MPa) |
|-----------|------------|------------|------------|
| 鋼桁 (ウェブ1) | 205.9 | 356.9 | 470.5 |
| 鋼桁 (ウェブ2) | 203.7 | 413.2 | 503.8 |
| 鋼桁 (ウェブ3) | 204.7 | 430.7 | 518.5 |
| 鋼桁 (フランジ) | 203.5 | 327.6 | 461.8 |
| カバープレート | 213.4 | 283.1 | 459.3 |
| 鋼当て板 | 207.1 | 324.7 | 464.3 |
| CFRP 板 | 170.1 | — | 2521.6 |
| エポキシ樹脂接着剤 | 3.1 | — | 35.0 |

表-2 実験シリーズ

| 補強方法 | 初期荷重なし | 初期荷重あり |
|------------|--------|--------|
| 無補強 | GN | — |
| CFRP 板接着接合 | GC1 | GC2 |
| 鋼板ボルト接合 | GB1 | GB2 |

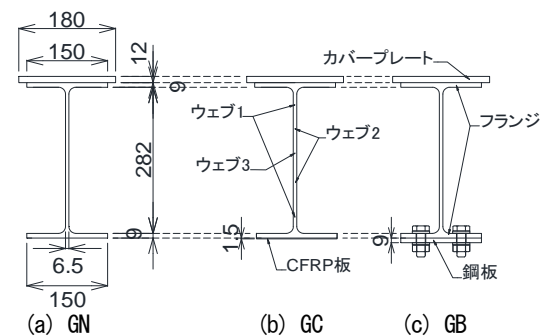


図-1 試験体の断面図

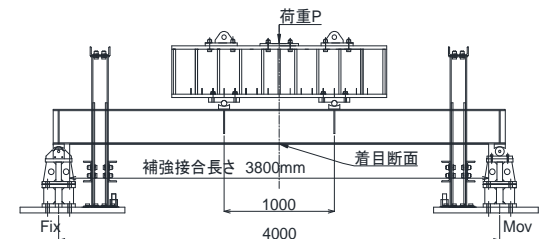


図-2 試験体 (GC) のセットアップ状況

Key Words : 鋼桁, 設計荷重の変更, 曲げ耐荷力, ボルト接合, 接着接合, 当て板, 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)

位計を設置して、計測を行った。

解析方法については、表-1 に示す材料物性値に基づいて、弾塑性を考慮した平面骨組構造解析 (EERC/Fiber)¹⁾ を行った。CFRP 板は、線形弾性体で、鋼材は、各部位の降伏強度を考慮した完全断塑性体でモデル化した。

3. 検討結果と考察

写真-1 に、CFRP 板を接着接合した GC1 の破壊状態を示す。CFRP 板接着接合の GC の破壊形式は、支間中央部の CFRP 板の引張破壊であった。



写真-1 GC1 における CFRP 板の引張破壊の状況

図-3 に、荷重と支間中央部における鉛直変位の関係を示す。当て板接合によって初期剛性が高くなること、鋼板ボルト接合の GB1 の方が CFRP 板接着接合の GC1 よりも初期剛性が高いことがわかる。また、GB1 の解析値は、剛性がやや高めに評価されるものの、全ケースで、解析結果は実験結果とよい一致を示していることがわかる。

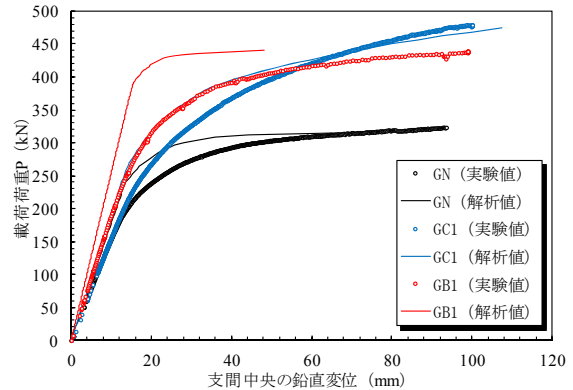


図-3 荷重と支間中央部の鉛直変位の関係

図-4 に、曲げモーメントと支間中央断面の曲率の関係を示す。弾性範囲内で比較すると、当て板補強した方が曲げモーメントが高くなることから、補強効果が確認できる。また、CFRP 板接着接合の GC より、鋼板ボルト接合の GB の方が、降伏後から曲率 ϕ が $40 \times 10^{-6}/\text{mm}$ 程度までは、補強効果は大きいことがわかる。しかしながら、それ以上では、CFRP 板接着接合の GC が鋼板ボルト接合の GB を上回ることがわかる。これは、CFRP 板が弾性体で、高い引張強度を有していることによるものであり、補強効果は鋼材の降伏後に顕著になるといえる。さらに、初期荷重が耐荷力に与える影響はほとんどないこともわかる。

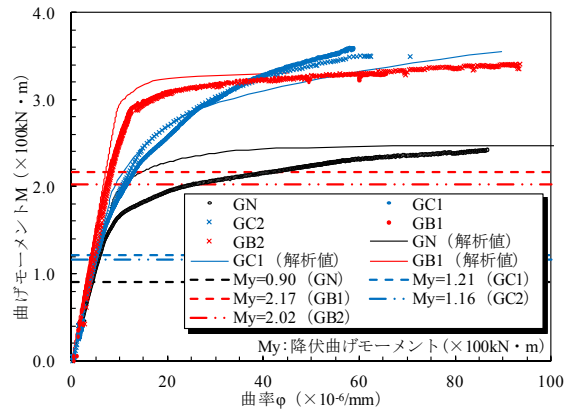


図-4 支間中央断面の曲げモーメントと曲率の関係

表-3 に、実験における最大曲率に対する曲げモーメントを比較して示す。実験値に対する解析値の誤差は-2~+8% であり、実用上十分な精度で予測できるといった。

表-3 最大曲率に対する曲げモーメントの比較

| 実験シリーズ | 曲率 ϕ_{\max} ($\times 10^{-6}/\text{mm}$) | 実験値 M_e ($\times 100\text{kN}\cdot\text{m}$) | 解析値 M_a ($\times 100\text{kN}\cdot\text{m}$) | 実験/解析 M_e/M_a |
|--------|---|--|--|-----------------|
| GN | 86.6 | 2.43 | 2.47 | 0.98 |
| GC1 | 58.6 | 3.58 | 3.31 | 1.08 |
| GC2 | 62.2 | 3.50 | — | — |
| GB1 | 65.0 | 3.29 | 3.32 | 0.99 |
| GB2 | 93.3 | 3.41 | — | — |

表-4 に、実験で使用した材料の重量を比較して示す。補強前の鋼桁の重量に対して、CFRP 当て板接着接合では約 1%、鋼当て板ボルト接合では約 26% の重量であった。これらのことを踏まえると、CFRP 当て板の接着工法では、死荷重の増加を考慮する必要はないこと、また、軽量であるため、施工時の機材も小さくなり、ハンドリングがよいことから、施工性には極めて有利であるといえた。

表-4 使用材料の重量比較

| 部材・接合方法 | 各重量 (kg) | 総重量 (kg) | 重量比 (%) |
|-----------------|----------|----------|---------|
| 鋼桁 (カバープレートを含む) | 216.1 | 216.1 | — |
| CFRP 当て板 | 0.6 | 1.9 | 0.9 |
| 接着剤 | 1.4 | | |
| 鋼当て板 | 16.2 | 56.7 | 26.3 |
| 高力ボルト | 40.5 | | |
| 鋼当て板 | 40.5 | | |

4. まとめ

以上のことから、鋼当て板ボルト接合では、初期剛性の向上に優れること、また、CFRP 当て板接着接合では、鋼材の降伏後に作用荷重を効果的に負担することが確かめられた。また、死荷重等による初期荷重は、曲げ耐力にはほとんど影響がないことがわかった。総合的には、施工性に優れ、耐荷力の高い CFRP 当て板接着接合が合理的な補強であるといえた。

参考文献 1) 野中哲也, 吉野廣一: パソコンで解くファイバーモデルによる弾塑性有限変位解析, 丸善出版, 2010.