

水平補剛材を追加した鋼桁のせん断載荷実験

日本橋梁建設協会 正会員 ○前田 諭志 正会員 春日井 俊博 正会員 川東 龍則

1. はじめに

平成 29 年に改訂された道路橋示方書¹⁾では、部分係数設計法と限界状態設計法が導入され、橋梁の設計合理化へ向けた枠組みが作られた。著者らは、耐荷力が不足した既設橋に新設の桁を追加して協働させる補強構造において、既設部材の一部塑性化を考慮した設計法の可能性について検討を行っている²⁾。このとき、既設橋の耐荷性能を有効活用するためには、ピーク後を含めた塑性域での耐荷挙動を適切に評価、あるいは制御できるように改良する必要がある。本研究では、ウェブのせん断座屈が支配的となる場合の既設鋼桁に対する合理的な補強方法について検討した。本稿では、水平補剛材を 1 段有する鋼桁のウェブに対して、水平補剛材をボルト接合によって追加した鋼桁のせん断載荷実験およびそれを模擬する有限要素解析について報告する。

2. 試験体と実験方法

試験体概要を図 1 に、鋼部材の断面寸法を表 1 に示す。鋼桁は支間 4.2m、桁高 1345mm の鋼 I 桁であり、単純支持条件で、支間中央に荷重を作用させるものとした。補強部材は長さ 1900mm でベースプレートとリブから成る T 断面の鋼部材であり、断面寸法の異なる二種類を用いた。M20 のトルシア型高力ボルトによってベースプレートと鋼桁ウェブを接合するものとし、鋼桁に 467kN の荷重（死荷重分程度）を作用させた時点で接合作業を行った。接合後は試験体が終局状態に至るまで荷重を漸増させるが、途中で適宜除荷を行い、残留変形を確認した。また、せん断座屈の進展性状を確認するため、3D スキャナを用いてウェブの面外変位を計測した。試験ケースは、補強部材なしの鋼桁（CASE-N）、補強部材-小で補強した鋼桁（CASE-A）、補強部材-大で補強した鋼桁（CASE-B）の 3 ケースとした。

3. 有限要素解析

上述の載荷実験を模擬する有限要素解析を行った。解析には、汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いた。解析モデルを図 2 に示す。試験体の鋼部材を 4 節点シェル要素でモデル化し、最大要素サイズは 25mm 程度とした。試験体の初期不整および残留応力は考慮していない。載荷点および支点については、支圧板と概ね同範囲内の節点を剛体梁要素によって集約した参照点に境界条件を設定することでモデル化した。載荷は、載荷点に鉛直下方向のみの強制変位を与えることで行った。補強部材のベースプレートと鋼桁ウェブのボルト接合は、境界面に摩擦なしの接触条件を設定し、ボルトをトラス要素で表現することによりモデル化した。また、補強部材の要素は初期状態で無効化しておき、実験と同様に鋼桁に 467kN の荷重を作用させた時点で有効化した。鋼材の材料特性は、ヤング率 $E=200000\text{N/mm}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ とした。降伏応力は各鋼材のミルシート値とし、構成則は二次勾配 $E/100$ のバイリニア型とした。また、幾何学的非線形性を考慮した。

表 1 鋼部材の断面寸法 [mm]

鋼桁	上フランジ	250 × 16
	ウェブ	1320 × 6
	下フランジ	200 × 9
	水平補剛材	100 × 6
補強部材-小	ベースプレート	180 × 6
	リブ	80 × 6
補強部材-大	ベースプレート	180 × 12
	リブ	100 × 12

※鋼種は全てSM490Y

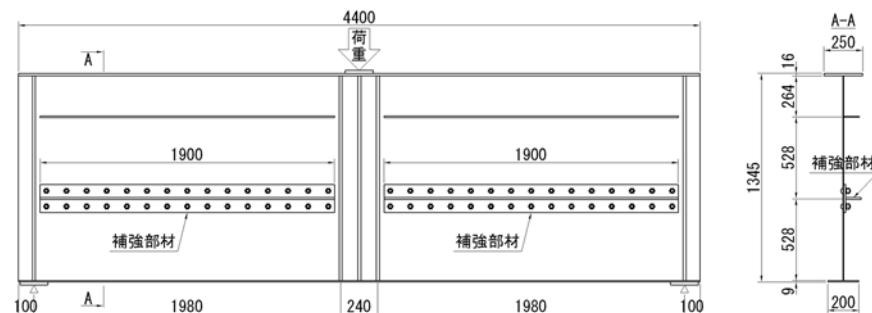


図 1 試験体概要

キーワード 鋼 I 桁, せん断載荷実験, 弾塑性有限変位解析, 補強工法, 限界状態設計法

連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 (株)横河ブリッジホールディングス TEL043-247-8411

4. 実験と解析の結果

載荷荷重と支間中央たわみの関係を図3に示す。最大荷重はCASE-Nで1926kN, CASE-Aで2228kN, CASE-Bで2353kNであり、水平補剛材の追加によって耐荷力が増加した。その後、いずれの試験体も緩やかに荷重が減少しながら、たわみが増大していった。更に載荷を続けると、いずれの試験体も右側ウェブパネルの右上隅でウェブと上フランジの溶接部が破断したため、載荷を終了した。解析値は実験値をやや上回るが、ピーク後も含めて概ね実験を再現できていると言える。

最大荷重前と最大荷重後における、各試験体の面外変位コンター図を図4に示す。図中の記号は図3中のプロットと対応している。最大荷重前は、CASE-Nでは水平補剛材下のパネルで、CASE-AおよびCASE-Bでは主に水平補剛材と補強部材の間でせん断座屈が生じた。最大荷重後は、いずれのケースもせん断座屈が水平補剛材上のパネルに進展したほか、CASE-Aでは補強部材下のパネルにも進展し、面外変形が大きくなった。

以上のことから、補剛材の剛度によってせん断座屈の発生・進展挙動が異なり、剛度が不足すると補剛材の局部座屈を伴うせん断座屈の進展によって耐荷力が低下することを確認した。

5. おわりに

水平補剛材を追加した鋼桁のせん断載荷実験および有限要素解析を行い、ピーク後を含めた耐荷挙動を調査した。本稿では詳細を割愛するが、補強部材の追加位置を変更した解析やBasler式による計算値との比較を別途行っており、適切な補剛材の追加によりピーク後の耐荷挙動を制御できる可能性を確認している。また、本研究の成果は、新設橋における塑性域を考慮した鋼桁の補剛設計にも適用できるものと考えられ、引き続き検討を行っていく。

なお、本研究は「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」において「鋼橋の現位置改良工法の開発」として行った国土交通省国土技術政策総合研究所からの受託研究の一部であり、ここに記して関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，2017.11
- 2) 前田諭志，他：鋼桁で補強した合成桁の載荷実験，土木学会第73回年次学術講演会講演概要集，2018.8

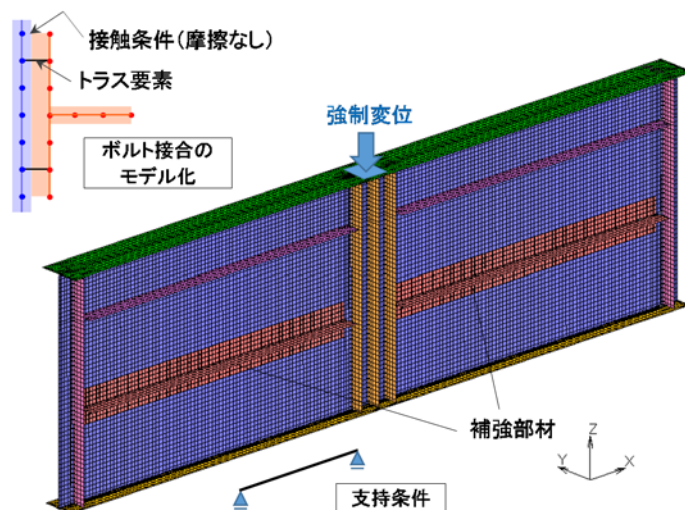


図2 解析モデル

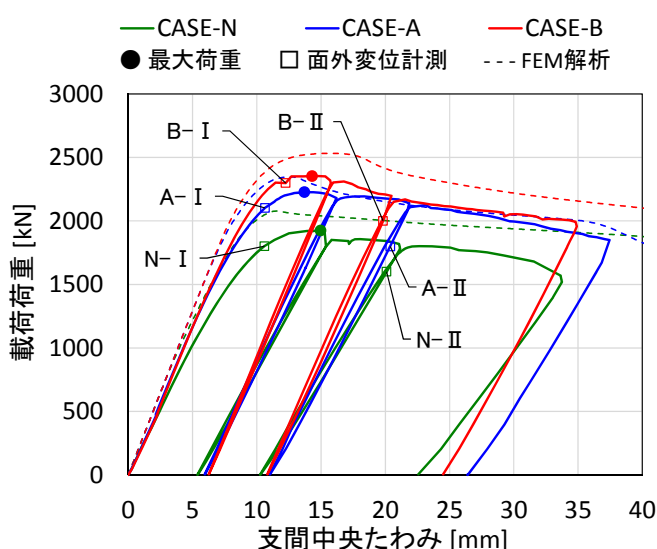


図3 載荷荷重と支間中央たわみの関係

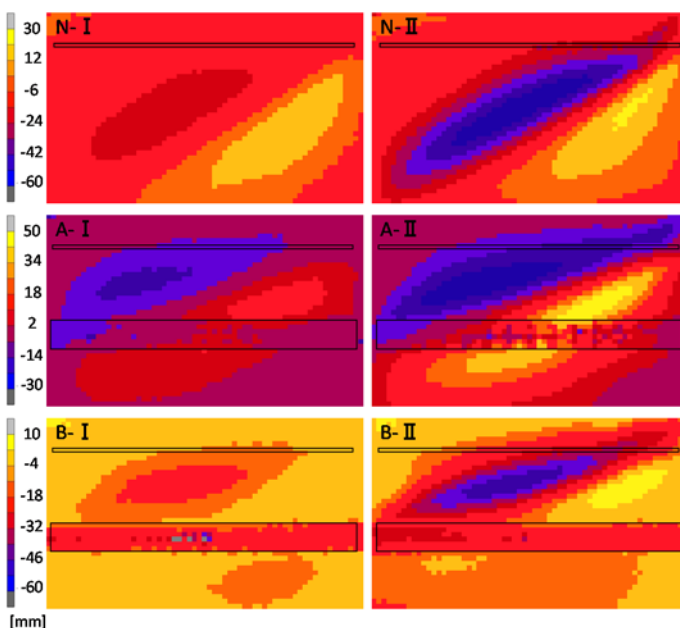


図4 面外変位コンター図(右側パネル)