

水平補剛材を接合した鋼 I 桁の曲げ耐荷力試験

FOUR-POINT BENDING TEST OF STEEL GIRDERS CONNECTED WITH HORIZONTAL STIFFENERS

佐藤 悠樹*
Yuki Sato

損傷・劣化した既設橋梁の補修補強には、耐荷力や変形性能の回復のため、鋼板によるあて板や、コンクリート巻き立て、FRPの接着など様々な手法が用いられている。一方で、補修補強設計は新設橋梁の設計ほど仕様が確立されていないため、限界状態設計法を用いた補修補強設計の確立と、補修補強工法のノウハウに関する新たな知見を得ることが課題として挙げられている。本研究では、既設鋼 I 桁橋の耐荷力と変形性能を向上させることを目的として、水平補剛材と垂直補剛材を連結板により接合した試験体を製作し、耐荷力試験を実施した。その結果、水平補剛材と垂直補剛材を接合することで、桁の耐荷力が向上することを確認した。

キーワード：補修補強、水平補剛材、ボルト連結、耐荷力、面外変形

1. はじめに

道路構造物の維持管理では、点検などで腐食等の劣化が見られた場合、性能の維持や回復のための補修を着実に実施することが必要である。強度が不足する既設鋼桁に対しては、フランジや腹板にあて板をすることで強度の増大を図ることが一般的であるが、重量の増加が問題となる。そこで、重量の増加を減らしつつ既設桁がもつ耐荷力を向上させる方法として、連結板を用いて水平補剛材と垂直補剛材と連続化する方法が考えられる。一般に、製作の容易さから既設桁の水平補剛材と垂直補剛材は連続化されていない。しかし、図-1の概念図に示すように、連結板を用いて水平補剛材と垂直補剛材を連続化すると、水平補剛材の境界条件が単純支持から固定に変わり、さらには水平補剛材に囲まれた腹板の板縁も4辺固定となることで、座屈変形の抑制と桁の耐荷力の増加が見込まれ、合理的な補修補強方法への適用が期待できる。本研究ではこの方法の効果を把握し、基準化を行うための基本的な知見を得るために、大型試験体による荷重試験を行った。

なお、本稿は、文献 1)の図を引用し、文章の一部を再編・加筆したものである。

2. 実験概要

実験は、既設鋼桁を想定した試験体を2体製作し、行った。試験体概要図を図-2に示す。2体とも同様の寸法である。ただし、写真-1に示すように、ケース1の試験体は一般的な構造である水平補剛材と垂直補剛材の隙間を35mmとし、ケース2の試験体は、L型の鋼連結板とボルトにより水平補剛材と垂直補剛材を一体化させ、試験を行った。

鋼桁の材質は、連結板を接合するボルトができるだけ厳しい応力状態に置かれるように、既設橋よりも高い降伏点を有するSBHS500とした。また、腹板の板厚も通常よりも2割程度薄くしている。水平補剛材の剛度は道路橋示方書を満足するように設定した。連結板は桁と同じSBHS500鋼を用いて水平補剛材と同じ板厚とし、一般的な高力ボルト(F10T)を用いて設置した。連結板と水平補剛材および垂直補剛材の接触面は黒皮除去+粗面形成(ブラスト処理)とした。

荷重条件は、2点荷重2点支持の曲げ荷重である。また、本実験では、供用期間中の大型車交通の影響や地震の影響などにより桁が瞬間的に降伏を繰り返す状態を想定し、下フラン

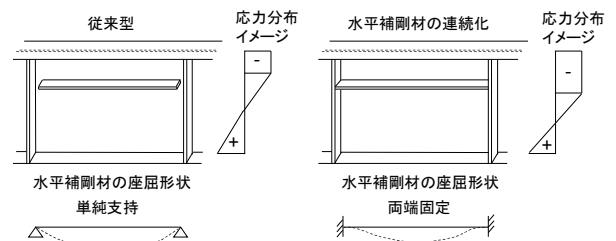


図-1 水平補剛材の固定方法の違いによる座屈形状および応力分布の概念図

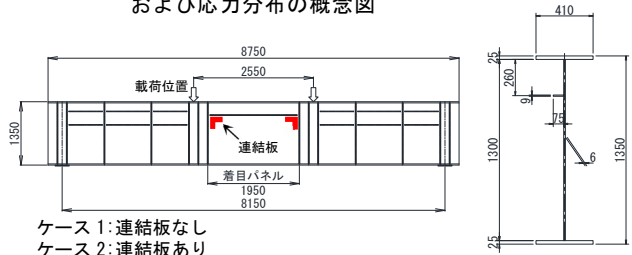


図-2 試験体概要図

* 技術開発本部 技術研究部

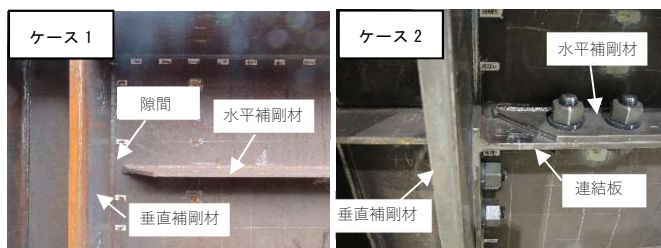


写真-1 水平補剛材連結部

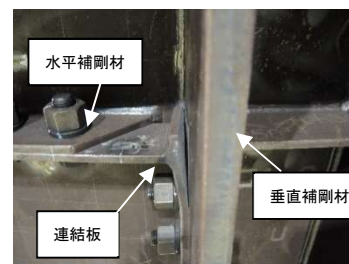


写真-3 水平補剛材連結部 (試験後)

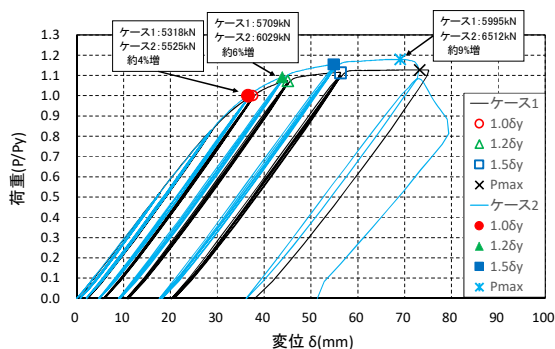


図-3 荷重 - 変位曲線



写真-2 試験後試験体状況 (着目パネル)

ジが降伏に達した際の桁中央の鉛直変位(δ_y)を基準に、繰り返して漸増載荷を与えた。最終的には最大荷重後に荷重が低下する変位までを目標とした。

3. 実験結果

図-3 に荷重-鉛直変位の関係を示す。荷重は降伏荷重 (P_y) で無次元化した。ケース 1, ケース 2 ともに P_y までは可逆性を有しながら荷重が増加した。また、最大荷重(P_{max})を P_y で除した P_{max}/P_y がどちらも 1 を超えたことから最大荷重は降伏荷重を超えたことがわかる。ケース 2 において、最終的に $2.0\delta_y$ に到達した時点で荷重が低下し試験は終了した。次に、ケース 1 とケース 2 の降伏後の荷重を比較した。ケース 2 では残留変位の急増が抑制されたことに対応し、ケース 1 に対し $1.2\delta_y$ に達する荷重では 6% 向上し、 P_{max} については 9% 向上した。一方、 $1.0\delta_y$ については 4% 程度の向上に留まっていた。

写真-2 に試験体の試験完了時の変形を示す。着目パネルの上フランジ、腹板、水平補剛材には座屈が見られた。写真-3 に連結部の変形状況を示す。連結板は垂直補剛材から引き離される形で、変形していることがわかる。これは腹板の座屈に追随する形で水平補剛材も座屈したためと考えられる。また、荷重の低下がみられた際には大きな異音が生じたことか

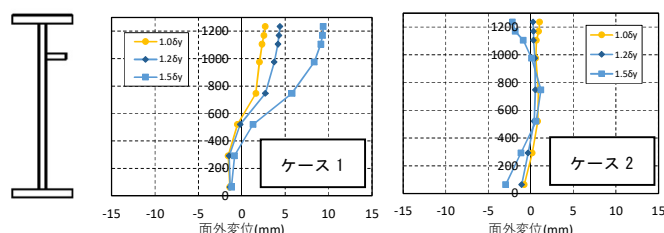


図-4 荷重除荷時における腹板の面外残留変位

ら、連結板の滑りも生じたものと推測される。

荷重除荷時における面外残留変位の関係を図-4 に示す。ケース 1 の面外残留変位は $1.2\delta_y$ で 4mm 程度となり、 $1.5\delta_y$ で 10mm 程度となった。一方で、連結板を設置することで、期待されたとおり、ケース 2 の面外残留変位は $1.2\delta_y$ まで 1mm 程度で推移し、降伏変位を上回る $1.5\delta_y$ まで、面外残留変位が抑制された。

以上から、想定したとおり、水平補剛材と垂直材補剛材を連続化し、腹板の板縁の境界条件を 4 辺固定とすることで局部座屈変形が抑えられ、曲げに対する桁の耐荷力を向上させられることが確認出来た。

4. おわりに

断面の一部塑性化を考慮した鋼桁の限界状態 2 の設定が道路橋示方書で明確にされることで、今回実験したような既設桁の水平補剛材と垂直補剛材を連結するなど、多様な方法で、重量の増加を抑えながら、合理的な修繕の実現に結び付くと期待できる。

謝辞

本報告は、国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部橋梁研究室出向業務 (R3.4~R5.3) における研究内容の一部を報告したものである。

本研究を遂行するにあたり、ご指導いただきました福田道路構造物部長、白戸室長をはじめ、橋梁研究室の皆様には深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤悠樹, 白戸真大, 小野潔, 宮下剛, 佐々田敬久, 石尾真理: 水平補剛材を接合した鋼 I 桁の曲げ耐荷力に関する実験的研究, 第 35 回日本道路会議, 2023. 11