

438 変形を受けた鋼 I 桁へのコンクリート部分充填による補強

トピー工業(株) 林 健治

1 緒 言

鋼 I 桁の上下フランジとウェブで囲まれた領域にコンクリートを部分充填した新形式の複合構造を提案している。既に、実験や数値解析により、このコンクリート部分充填鋼 I 桁は、従来の鋼 I 桁と比較して、極めて高い曲げ耐力およびせん断耐力を有することを明らかにした¹⁾。本報告では、損傷を受けた鋼 I 桁を補修・補強する観点から、座屈変形した鋼 I 桁にコンクリートを部分充填した構造を提案する。変形前の鋼 I 桁と、座屈変形後の鋼 I 桁にコンクリートを部分充填した桁について、その耐力性能を比較するために、それぞれ、曲げ耐力実験および曲げとせん断を同時に受ける複合耐力実験を実施した。本報告は、以上の結果を要約するものである。

2 コンクリート部分充填鋼 I 桁構造

2.1 部分充填構造 鋼 I 断面を主桁とする連続桁橋は、最も一般的な橋梁形式の一つであるが、中間支点上付近で曲げモーメントおよびせん断力が最大となる。また、負曲げモーメントが作用するため、下フランジが圧縮側になり、局部座屈に対して何らかの対策が必要となる。したがって、連続鋼 I 桁橋では、中間支点上主桁断面が全スパン中、クリティカルな断面になる。

そこで、以上のような連続鋼 I 桁構造の弱点を克服する一つの方法として、鋼 I 桁の上下フランジおよびウェブで囲まれた部分にコンクリートを充填した新形式の鋼-コンクリート複合橋 (Fig.1 参照) を提案した¹⁾。コンクリートを充填することにより、コンクリートそのものが断面強度向上に寄与すると同時に、フランジとウェブの変形を拘束し、圧縮フランジのねじれ座屈およびウェブのせん断座屈に対する抵抗力が向上できるもの期待できる。

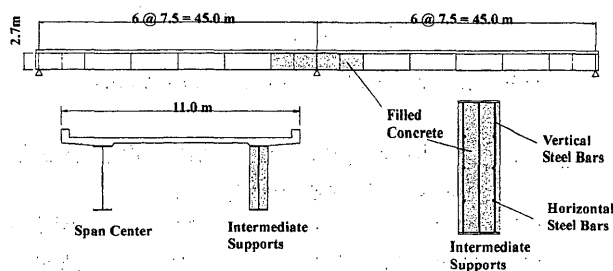


Fig.1 Partially concrete-filled steel I-girder bridge.

2.2 部分充填構造の特性 本形式の構造特性を把握するため、まず、コンクリート充填桁および鋼 I 桁の曲げ耐力実験を実施した¹⁾。その結果、コンクリート充填桁では、充填コンクリートがコンファインド効果を発揮すると同時に、圧縮フランジおよびウェブの局部座屈を抑制するため、その曲げ耐力は鋼 I 桁の 2.08 倍にも達することが確認された。

次に、コンクリート充填桁および鋼 I 桁のせん断耐力実験を実施した¹⁾。コンクリート充填桁は鋼 I 桁の 2.89 倍のせん断

耐力を有することが明らかにされた。この大幅なせん断耐力の向上は、桁内にコンクリート圧縮ストラットとウェブ引張ストラットが形成され、トラス効果が生じたためであると推定される。

3 コンクリート部分充填による補強構造の提案

3.1 鋼 I 桁の損傷と補強 鋼 I 桁の損傷として、Fig.2 に示すような鋼板の腐食 (錆)、溶接部からの疲労亀裂、ウェブのせん断座屈およびフランジのねじれ座屈が挙げられる。腐食や疲労亀裂については、Fig.2 のように当て板によるボルト補強が一般的に実施されているが、仮の (あるいは一時的な) 補強として取り扱われている事例が多く、恒久的な補強法としての地位を確立していないのが実状である。

また、ウェブのせん断座屈に対する補強法として、変形が小さい場合には、加熱矯正する方法が採られているが、現場における作業には細心の注意が必要となる。さらに、変形が大きくなると、対象となる部材を交換・取替する方法が採られ、大がかりな対策が必要となる。なお、フランジのねじれ座屈に対する補強法については、ほとんど事例がない。

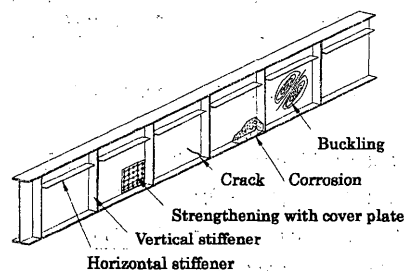


Fig.2 Damage of the steel I-girder bridge and the strengthening.

3.2 コンクリート部分充填による補強 鋼 I 桁に過荷重が加わり、あるいは、重機が桁に追突し、ウェブやフランジが座屈した状態を考える。特に、ウェブとフランジが共に大きく座屈変形した場合を想定する。この場合、適切な補修・補強方法は、非常に少なく、画一的な手法は提案されていないものと思われる。そこで、新たな試みとして、Fig.3 に示すように、損傷部分の着目パネルにコンクリートを部分充填した補強構造・工法を提案する。

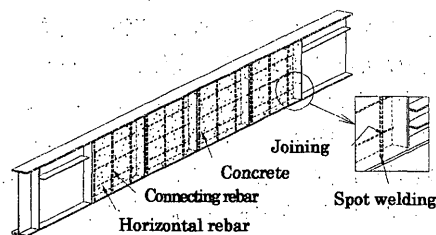


Fig.3 A new strengthening method.

4. 提案構造の補強効果の検証

4.1 実験概要 Fig.4、Fig.5 に示すような形状・寸法の鋼 I 桁試験体を製作し、先に鋼 I 桁について、曲げ載荷実験および曲げとせん断を同時に受ける複合載荷実験を行い、上フランジのねじれ座屈、ウェブのせん断座屈を生じさせ、耐荷力の増加が全く見込めない状態まで変形させた試験体のパネルにコンクリートをその後充填し、改めて、充填桁の同様な実験を実施した。

曲げ載荷試験体、複合載荷試験体を表す記号を M、H とし、鋼 I 桁、コンクリート部分充填桁（座屈変形した鋼 I 桁にコンクリートを部分充填した鋼 I 桁）を S、C とし、例えば、鋼 I 桁の曲げ載荷試験体を MS と呼ぶことにする。

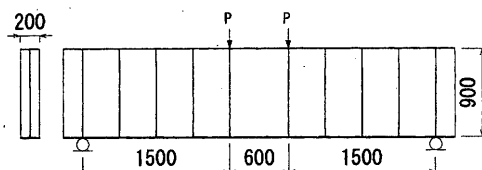


Fig.4 Bending tests.

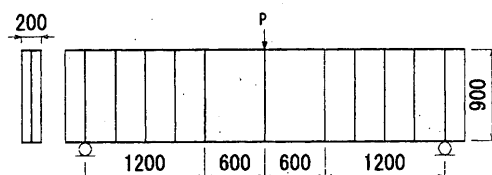


Fig.5 Bending and shear tests.

鋼材は SM490Y 材を使用し、鉄筋には呼び名 D10 の SD345 を、充填コンクリートには早強ポルトランドセメントを用い、最大粗骨材寸法は 15mm とした。MS の供試材の降伏点(MPa)、引張強度(MPa)、全伸び(%)はフランジが 372、511、30、ウェブが 349、513、30 であり、HS では、フランジが 400、513、33、ウェブが 385、531、33 である。使用した早強ポルトランドセメントの材令 28 日での圧縮強度(MPa)は、MC が 47、HC が 58 である。なお、MC については、2 点載荷間のパネルを着目パネルとし、上下フランジ連結鉄筋を片面 4 か所、水平鉄筋を 3 段設置した。HC についても、中央載荷点の相隣る 2 つのパネルを着目パネルとした。荷重の載荷方式は、油圧ジャッキを用いて荷重制御により行い、荷重、下フランジ中央のたわみ等を各荷重段階で計測したが、文献 1)と同様であるため、その詳細は省略する。

4.2 実験結果および考察 先に MS、HS の試験体について実験を行った。座屈変形後の試験体の最終形状を Fig.6、Fig.7 に示す。MS では、上フランジにねじれ座屈が認められた後、ウェブの上側が面外方向に大きく変位した。HS では、片側のパネルの上フランジにねじれ座屈が認められ、また、同時にウェブの一部に斜張力場のような変形が認められた。

MS の終局時には、最大でフランジ端が上下方向に約 30mm、ウェブが面外方向に約 15mm 変形した。HS でも同様な変形が見られた。これらの試験体に鉄筋を配置し、コンクリートを充填したものが MC、HC である。

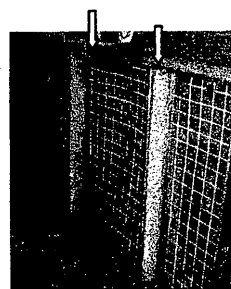


Fig.6 Final deformation of MS.

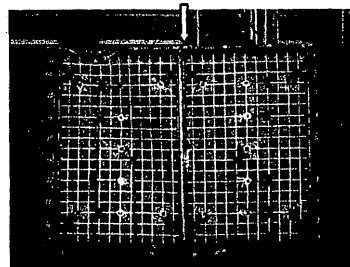


Fig.7 Final deformation of HS.

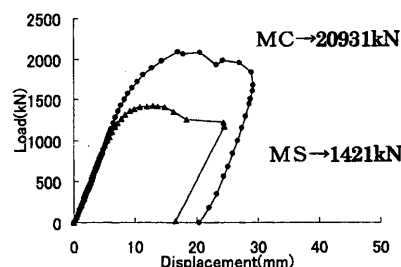


Fig.8 Load and displacement of bending tests.

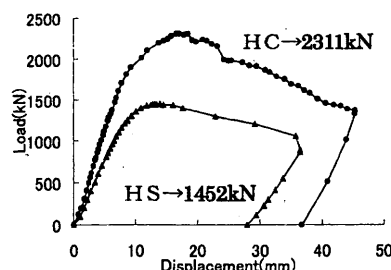


Fig.9 Load and displacement of combined tests.

Fig.8、Fig.9 に曲げ載荷試験体 MS、MC、複合載荷試験体 HS、HC の荷重-変位曲線を表す。いずれも、コンクリートを部分充填することによって、元の鋼 I 桁より、耐荷力が 1.47 倍、1.59 倍と大幅に増加するとともに、十分な変形性能を有することが明らかとなった。

5 結 言

以上のように、本構造は、変形を受けた鋼 I 桁の補修・補強構造として、非常に優れていることが判明した。今後、疲労亀裂や腐食に対する補強工法としての有効性を検討し、有力な一つの補強工法として確立したい。最後に、本研究の一部は、JSSC「合成・複合構造の活用による鋼橋の高性能化研究小委員会(委員長：東海大・中村教授)において実施した。

参考文献

- 1) 中村, 成田, 林, 鋼構造論文集, 36, 79(2003).