

既設鋼 I ビーム支点部疲労き裂の原因究明と

コンクリート巻き立て工法

構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室

主任研究員 小林 裕介

1. はじめに

I ビームとは、主に支間 1.3m~6.7m 程度の短スパン橋梁に利用される、I 形鋼を主桁に用いた構造形式であり、架設数は比較的多い。I ビーム橋梁では、支承直上の下フランジ首部に、疲労き裂の発生する事例が多い(図1)。

疲労き裂の一般的な補修としては、当板により部材断面を修復したうえで、さらに、疲労き裂が再発生もしくは再進展しないように、発生応力を低減させる対策を行う。しかしながら、I ビーム橋梁の支点部の疲労き裂では、発生部位が曲面を有する下フランジ首部であり、当板による断面修復が困難である。また、疲労き裂の発生原因が明らかとなっていないため、疲労き裂の再進展を防止する効果的な対策がない。

このような理由から、疲労き裂が発生した場合、き裂長が数十 cm であっても、橋梁自体を架け替えることが基本的な措置の方法となっている。一方で、I ビーム橋梁を架け替える場合、橋梁本体の製作費は数百万円程度であるが、設計費や架設費などを考慮すると、総工費が 1,000 万円を超えることもあり、疲労き裂の対策としては極めて高額となり負担が大きい。

本研究では、実物大の載荷試験および FEM 解析により、I ビーム支点部の疲労き裂の発生原因を究明するとともに、対策方法としてコンクリート巻き立て工法を提案しその効果を検証した。

2. 疲労き裂の発生原因究明

2.1 載荷試験の概要

疲労き裂の発生原因究明を目的として、実物大 I ビーム橋梁の試験体(2 主桁、支間 4.15m)を用いて載荷試験を実施した(図2)。軌道部材も設置し、橋台については鉄筋コンクリートにより構築し試験場床面にアンカーにて固定した。載荷試験では、試験体の各支点部を利用し、表1に示す状態について検討を行った。ケース①は支点部が健全な状態、ケース②は支点部の損傷を有する状態、ケース③は支点部の損傷により疲労き裂が発生した状態であり、ケース③'は疲労き裂の発生後に支点部損傷を補修した状態を想定して

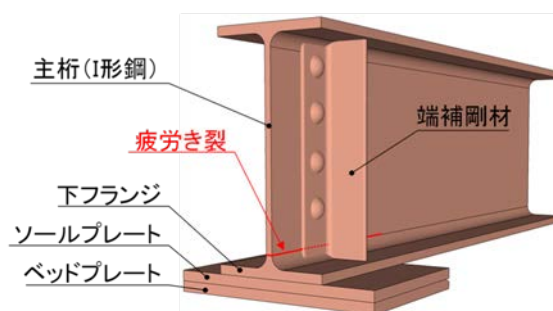


図1 I ビーム支点部の疲労き裂

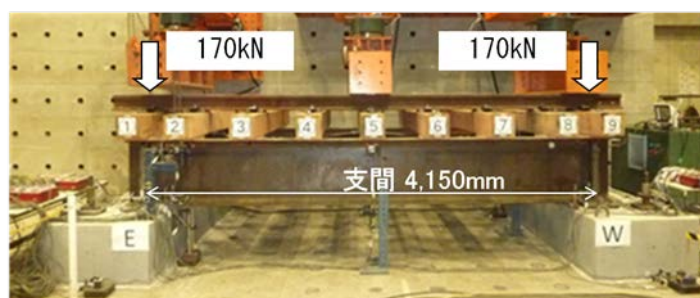


図2 実物大載荷試験

表 1 検討ケース

状態		支点部損傷		疲労 き裂
		沓座 損傷	端補剛 材の隙	
①	健全時	---	---	---
②	支点部 損傷時	あり	あり	---
③	疲労き裂 発生後	あり	あり	あり
③'	発生後	---	---	あり

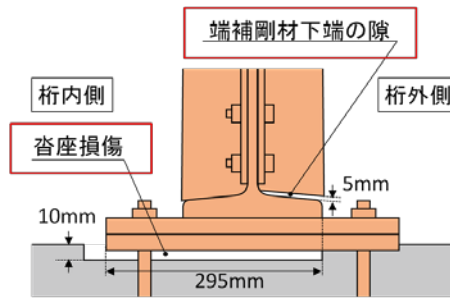


図 3 支点部損傷



図 4 模擬疲労き裂

いる。支点部の損傷は、疲労き裂の発生原因と考えられている沓座モルタルの損傷と端補剛材下端の隙である(図3)。疲労き裂は、下フランジ首部を400mm程度カットすることで模擬し、先端にはストップホールを設けている(図4)。なお、本検討では载荷試験を補完する目的で、FEM解析も実施した。

2. 2 疲労き裂の発生原因

下フランジ首部の疲労き裂の発生原因として、支点部損傷による下フランジ首部における発生応力について分析した。桁端を载荷したときの下フランジ首部の応力性状と主桁断面(桁端から210mm位置)の変形図を図5に示す。なお、卓越応力成分が桁内側については最大主応力、桁外側については最小主応力であり、主応力はいずれも鉛直に近い方向であった。

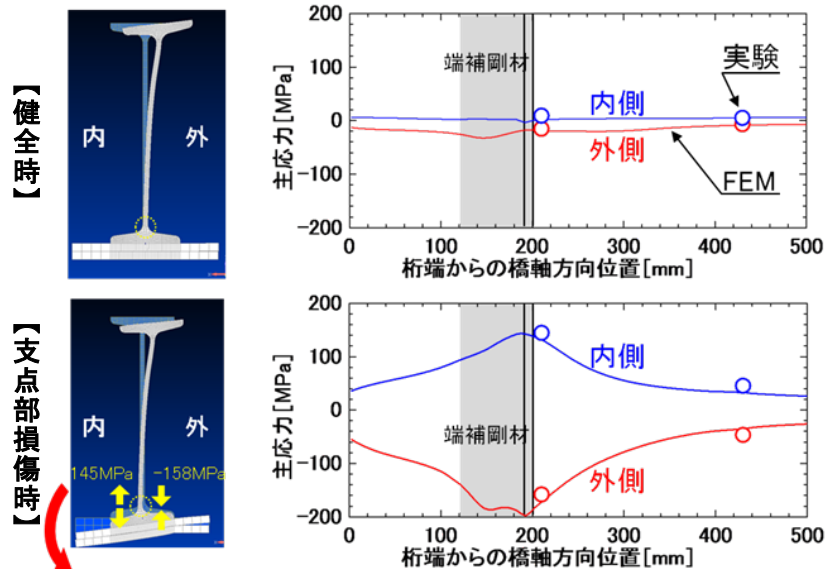


図 5 下フランジ首部の応力性状と主桁断面の変形図

支点部が健全な場合は下フランジ首部に殆ど応力が生じていないのに対し、支点部に損傷がある場合は最大で -200MPa 程度の高い応力が生じているのが分かる。また、最大応力の橋軸方向における発生位置が端補剛材付近であることから、下フランジ首部の疲労き裂は、支点部損傷によって生じる応力集中によって端補剛材付近から発生するものと考えられる。

桁の内外の応力性状に着目すると、損傷がある場合は内側で引張応力、外側で圧縮応力となる面外応力が主成分となっている。これは変形図からも分かるように、沓座損傷により内側の下フランジが下方方向に落ち込んだことが原因であると考えられる。なお、支点部損傷が沓座損傷のみ場合は発生応力が半分以下であった。

以上のことから、I 梁支点部の下フランジ首部の疲労き裂は、沓座損傷と補剛材下端の隙の両方が生じているときに、片側下フランジの落ち込みによる面外応力によって端補剛材付近に発生すると言える。

2. 3 疲労き裂の進展原因

疲労き裂が発生した場合に、その疲労き裂の進展に影響を及ぼす因子を把握することを目的に、

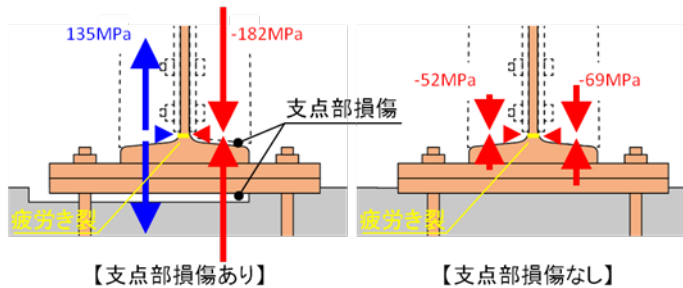


図6 疲労き裂を有している場合の発生応力

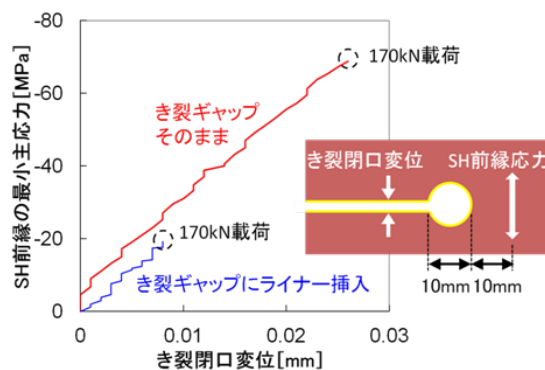


図7 き裂閉口変位と発生応力

模擬疲労き裂を導入した支点部における応力性状を分析した。図6において、支点部に損傷がある場合の桁の内外の応力性状（ストップホール前縁応力（以降、SH 前縁応力））に着目すると、桁の内側で引張応力、外側で圧縮応力となる面外応力が主成分となっており、疲労き裂がSHを超えて進展する応力レベルにある。一方で、支点部損傷が無い場合は170kN 載荷しても-70MPa程度の発生応力であり、面内応力が主成分となっていた。これより、疲労き裂がある場合も、発生原因と同様に支点部損傷による下フランジ首部の面外応力であることが分かった。

支点部損傷が無い場合についても健全時（図5）よりは発生応力が高い。この原因が疲労き裂を有していることにありと考へ、疲労き裂の閉口変位とSH 前縁応力の関係に着目した（図7）。図には、疲労き裂のギャップにライナープレートを挿入し、閉口変位を拘束したときの結果も示している。SH 前縁の応力と閉口変位には高い相関があり、閉口変位を拘束した場合に発生応力が低減している。これより、疲労き裂の閉口変位も疲労き裂の進展に寄与していることが分かった。

3. コンクリート巻き立て工法

3.1 概要

I ビーム支点部疲労き裂は、支点部損傷により下フランジ片側が落ち込む変形が原因となって疲労き裂が発生し、疲労き裂は支点部損傷と疲労き裂の閉口変位によって進展していくことが分かった。これに対し、本研究でコンクリート巻き立て工法（図8）を提案した。桁端の主桁まわりをコンクリートで巻き立て、桁端上に載荷された荷重をコンクリートを介して橋台に伝達するものである。これにより下フランジ片側が落ち込む変形を抑制するとともに、疲労き裂の閉口も抑制することで、下フランジ首部もしくは疲労き裂先端の発生応力を低減させることを狙っている。本工法では、鋼桁と巻き立てコンクリートを主桁腹板に取り付けたスタッドで、また巻

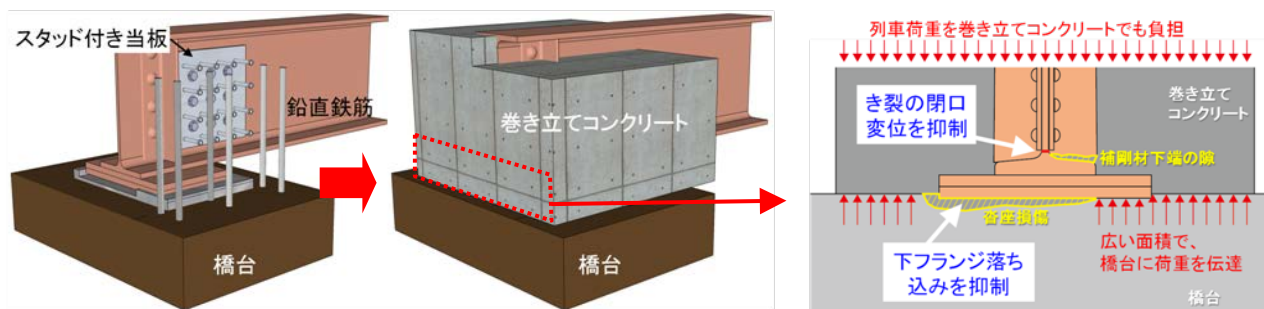


図8 コンクリート巻き立て工法の概要

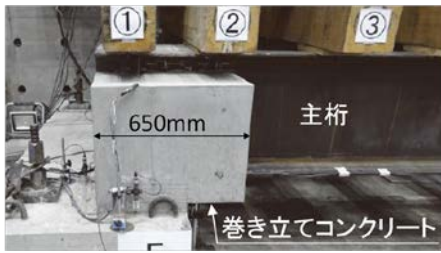


図 9 巻き立て後の試験体

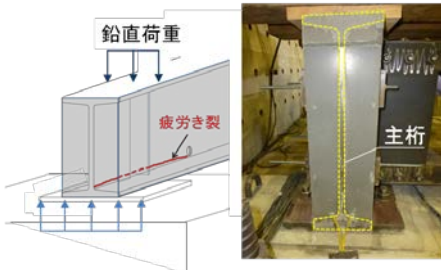


図 10 フランジ幅のみ巻き立て

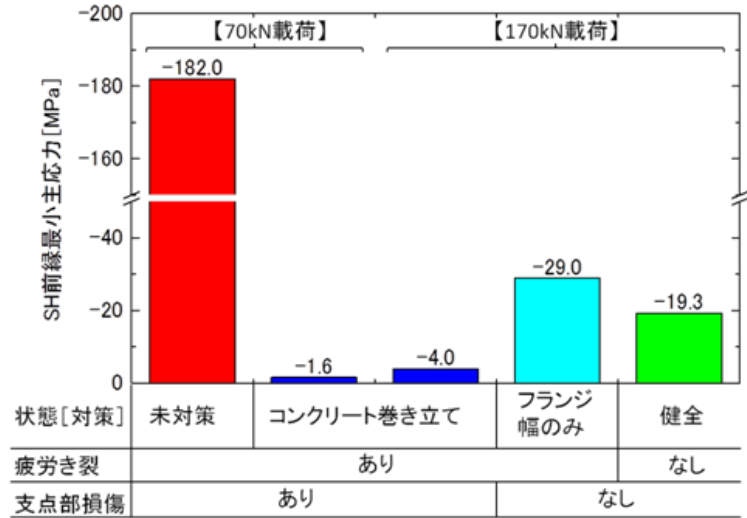


図 11 コンクリート巻き立て工法の効果

き立てコンクリートと橋台を鉛直鉄筋で連結することとしている。これらは桁のこう上を必要とせず、活線での施工が可能となることに特徴がある。また、一般に桁端は腐食損傷の著しい部位であるが、コンクリートを巻き立てることにより、腐食の進行の抑制を期待できる利点もある。

3. 2 効果の検証

本工法の効果を検証するため、図 2 に示す試験体においてコンクリート巻き立て工法を適用し（図 9）、桁端上を載荷したときの疲労き裂先端（SH 前縁）の応力低減程度について確認した。なお、沓座損傷と端補剛材下端の隙を補修したうえで、疲労き裂の閉口変位のみを抑制することを目的に、フランジ幅のみコンクリートを巻き立てた構造（図 10）についても、比較対象として載荷試験を実施した。

載荷試験の結果を図 11 に示す。ストップホール前縁において、コンクリート巻き立て工法の適用前は 70kN の載荷で -182MPa の発生応力であったが、適用後の発生応力は -1.6MPa まで低下した。また、適用後において 170kN まで載荷しても発生応力は -4.0MPa であり、健全時の発生応力よりも低いレベルであることが確認できた。フランジ幅のみコンクリートを巻き立てた場合は、発生応力が -29.0MPa であり健全時に近い発生応力となっているが、コンクリート巻き立て工法よりはるかに高い発生応力となっている。

このように、コンクリート巻き立て工法は、沓座損傷や端補剛材下端の隙を補修し、さらにコンクリートにより疲労き裂の閉口変位を抑制した場合よりも、高い応力低減効果を有していることを確認した。なお、桁端上を 200 万回繰返し載荷する疲労試験も別途実施したが、疲労試験後においても、応力の低減程度に変化は無く、耐久性を有していることも確認している。

4. おわりに

本検討では、実物大の載荷試験および FEM 解析から、I ビーム橋梁支点部における下フランジ首部の疲労き裂の発生原因を究明するとともに、対策方法としてコンクリート巻き立て工法を提案し、その効果を検証した。なお、本工法では、鋼桁と橋台とを一体化し門型構造となるため、橋台背面の盛土などの地盤条件や、温度変化による内部応力なども考慮して、コンクリートを巻き立てた隅角部を設計する必要があることを付記しておく。