

I ビーム橋の疲労き裂発生に関する解析的検討

法政大学 正会員 ○内田 大介 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 平野 雄大
法政大学大学院 学生会員 豊原 匡織 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 網谷 岳夫

1. はじめに

鉄道の I ビーム橋では桁端部近傍の主桁下フランジ首部（以下、首部）に疲労き裂が発生する事例が報告されている¹⁾。著者らは当該き裂の発生メカニズムの把握や補修方法を検討することを目的として、主桁に H 形鋼を用いた新設の I ビーム橋を製作し、主桁や支点に変状を模擬した疲労試験によりき裂の再現を試みた²⁾。ここではき裂の発生起点近傍の応力性状を詳細に把握することを目的として実施した解析的検討の結果を報告する。

2. 検討対象

検討対象を図 1 に示す。主桁の各部材は高力ボルトで接合している。実験にあたっては実橋で生じている支点や端補剛材、ウェブ（支点 A のみ）における種々の変状を図 2 に示すように模擬している。疲労試験時の支点等の条件は表 1 の A-7 と B-7 である。支点 A、B は同じ条件で載荷試験を実施しても、試験体組立時のゆがみなどのためか、発生するひずみが大きく異なっていた。そのため、模擬した腐食の影響が比較的小さいと考えた、桁端部から 10mm 位置の首部近傍のひずみ値から疲労試験の条件を決定している。疲労試験の結果、支点 A では載荷 1 万回程度で桁端から 127mm の位置の首部におけるひずみ範囲が低下し、この近傍からき裂が生じたものと推察された。支点 B では 470 万回載荷してもき裂が生じなかった。

3. 解析方法

解析に用いた解析コードは Abaqus2020 で、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した解析を行った。解析モデルの要素分割図を図 3 に示す。モデルは 6 節点あるいは 8 節点

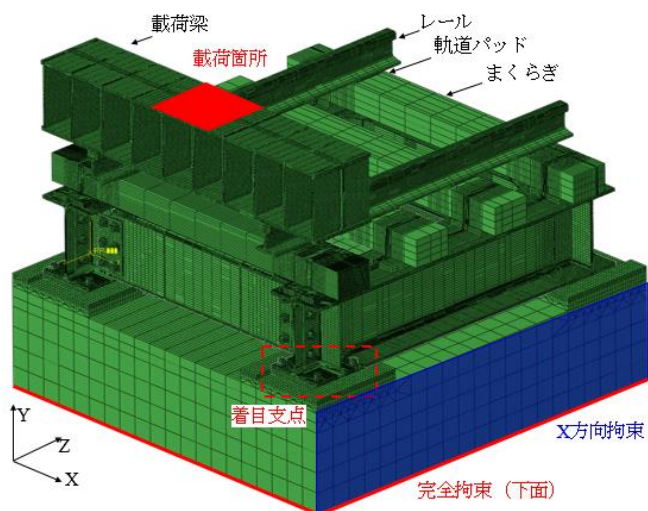


図3 解析モデル

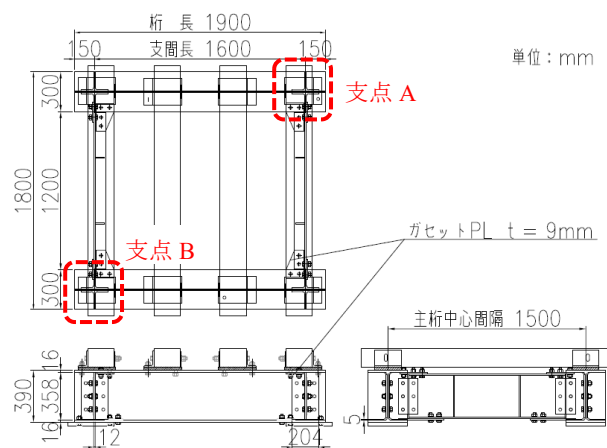


図 1 試験体²⁾

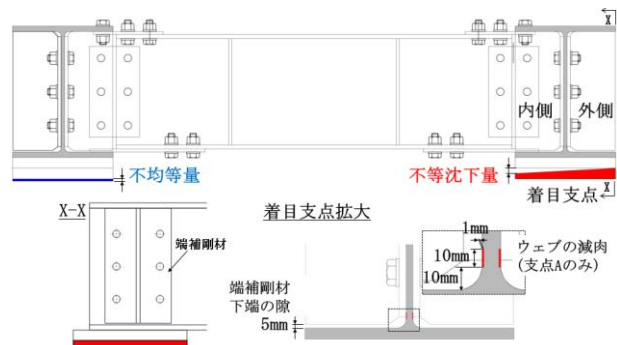


図2 試験体の詳細と変状の模擬

表 1 解析における支点等の条件

支 点	ケース	不等沈下 量(mm)	不均等量 (mm)	荷重 (kN)	備考
A	A-1	0	0	180	
	A-7	16.8	6.4		疲労試験
	A-7'				ウェブ減肉 なし
B	B-1	0	0	80	
	B-7	6.5	0		疲労試験

表 2 各材料の物性値

材料名	単位密度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼	7.85×10^{-5}	2.12×10^5	0.267
まくらぎ ³⁾	7.4×10^{-6}	8100	0.3
ゴム(軌道 パッド) ⁴⁾	9.2×10^{-6}	3.0	0.49

キーワード I ビーム橋, 疲労き裂, 有限要素解析

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市ヶ谷田町 2-33 TEL 03-5228-1453

の低減積分要素で構成し、着目箇所近傍の最小要素サイズは 1mm になるように分割した。各材料の物性値を表 2 に示す。鋼の弾性係数とポアソン比は、主桁から採取した試験片の引張試験 (JIS Z 2241) から得られた値を用いて完全弾塑性体を模擬することとし、降伏後の応力勾配を 1/1000 としたバイリニアで与えた。その他の材料は便宜上、等方弾性体として扱った。鋼部材間の摩擦係数は 0.35 とした。なお、主桁と架台間の摩擦係数は 0.01 とし、載荷梁と軌道設備は剛結した。部材間の初期隙間は 0mm としたが、主桁と架台側面には隙を設けた。この隙の値は試験結果を模擬できるようにキャリブレーションした結果、0.1~0.5mm となった。解析モデルでは試験体のゆがみをモデル化できていないが、この隙の値の違いが、試験体のゆがみと関わっていると考えられる。解析は、設計ボルト軸力を導入し、重力を与えたうえで、荷重を載荷梁上部へ強制変位として与えた。荷重値は架台底面の鉛直方向反力より算出し、疲労試験と同値にした。支点条件は表 1 に示すように疲労試験と同条件の他、健全時とウェブの減肉の影響を確認した。

4. 解析結果

図 4 に首部 (下フランジ上面から高さ 10mm) のひずみと桁端からの距離の関係を示す。図中にはひずみ計測結果²⁾も示しているが、解析は概ね試験を再現できていることがわかる。支点 A と B の端補剛材設置範囲のひずみ分布は異なっており、載荷荷重の大きい支点 A ではウェブの減肉の有無によらず一部降伏していることがわかる。図 5 に各モデルの鉛直方向応力コンター図と端補剛材を撤去して観察した疲労き裂の発生状況、首部の 10 倍変形図を示す。図中には最大応力の値と位置も示している。A-7 では端補剛材中央付近の減肉部下端の応力が最大となっている。この位置はき裂発生位置とほぼ一致しており、最大応力発生位置からき裂が発生した可能性が高い。A-7'では、A-7 と比べて、最大応力発生位置は支間中央側の補剛材端部へ移動し、応力は小さくなった。これはウェブの減肉の影響だと考えられる。B-7 では端補剛材中央付近で最大応力が発生しているが、その値は A-7 の 7 割程度であった。支点 A、B の疲労試験の条件は桁端部近傍のひずみ値から決定したが、首部の近傍の変形状況が異なっており、支点 A ではウェブの減肉によりかなり大きな応力が生じ、低サイクル疲労の領域に近い繰り返し数でき裂が発生したと考えられる。また、き裂が発生しなかった支点 B は首部の曲げにより発生する応力が小さいことが確認された。

5. まとめ

I ビーム橋の桁端部近傍の首部に生じる疲労き裂について、先行研究の疲労試験時の発生応力を解析的に検証した。その結果、ウェブの減肉がき裂発生に大きな影響を及ぼしており、き裂の発生起点は補剛材中央付近の減肉部下端だと考えられた。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 (構造物編) 鋼・合成構造物, 2017 2) 平野ら：I ビーム橋端補剛材近傍における疲労き裂の発生要因に関する検討, 鋼構造年次論文報告集, 第 29 巻, pp.430-440, 2021 3) 高橋ら：寒冷地に対応した既設新幹線バラスト軌道の開発, 鉄道総研報告, Vol.28, No.6, pp.11-16, 2014 4) JISE 1117 緩衝用軌道パッド, 2012

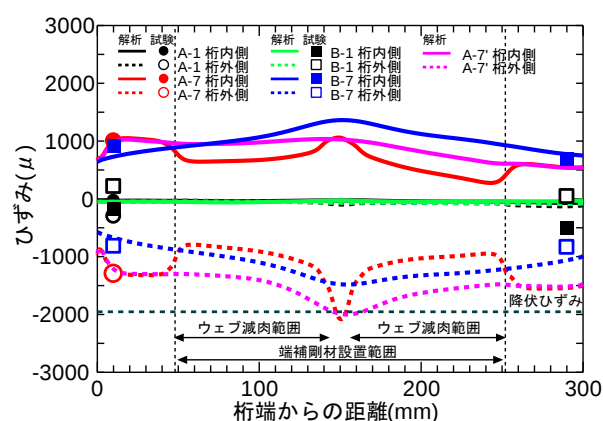


図 4 首部のひずみと桁端からの距離の関係

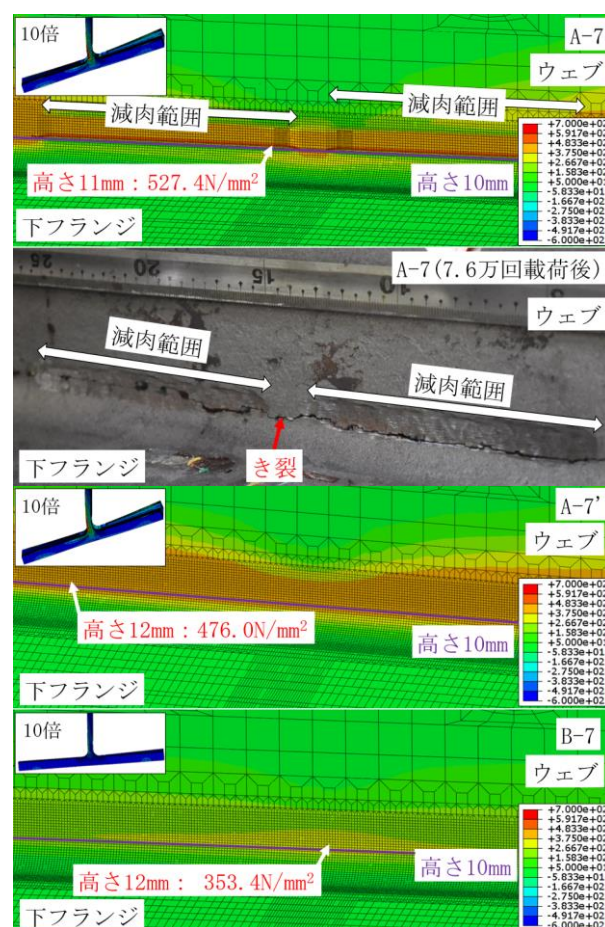


図 5 鉛直方向応力コンター図と疲労き裂発生状況