

橋脚隅角部の応力性状

首都高技術センター 正会員 小西拓洋 東工大教授 フェロー三木千寿
首都高技術センター 正会員 木ノ本剛

1. 概要

鋼製橋脚隅角部に疲労損傷が発見され、この対策が検討されている。鋼製構造物の疲労の主要原因として、設計上の問題（低疲労強度ディテールの採用、設計技術レベルの問題）、予見できない状況の発生（過積載車両による荷重増など）、溶接部の未溶着などが上げられる。隅角コーナー部においては溶接が集中し未溶着が内在しやすく、これに応力集中が加わることにより疲労亀裂が集中しやすい。以上の観点から、実交通により発生している隅角部コーナー近傍の応力の把握は疲労損傷の原因究明において基本条件と考えられる。都市内高架橋においては、2層ラーメン、桁との剛結構造など複雑な不静定構造が多く、どの荷重がどの疲労損傷に影響しているかが問題となる。応力頻度計測で利用される頻度計は入力信号時間を記録せず頻度のみを記録するため、それがどのような荷重により発生した応力なのか検証が難しい。

2. 主応力計測の必要性

橋梁構造物の疲労照査には、当該部位の一軸応力による72時間の頻度測定結果が用いられ、その応力の方向は疲労照査に用いられる公称応力の方向に合わせられる。疲労照査は継手分類と公称応力ベースで行われる。主桁のように主たる応力の流れがはっきりしている場合はこの方法が有効であるが、三次元的な挙動が強い構造物の疲労照査には、このような公称応力ベースの照査は不適である。橋脚隅角部コーナーなどの力学的な特異点においては、2つの理由から主応力方向が部材軸方向と一致しない場合がある。第1の理由は隅角コーナー部には局部的板曲げが生じており、これは梁軸とは角度を持った方向に主応力方向をもつため、これが重畳された隅角コーナーの応力自体、梁軸と角度を持つ。更に、桁-梁剛結構造においては桁の曲げモーメントが梁のねじれを引き起こし梁・柱の応力方向が車両の通過にともない回転する。このため、隅角部コーナーでは3軸ゲージにより応力の方向も考慮した計測が必要であり、しかも剛結脚構造では主応力の方向が交通の移動と共に変化するため、主応力の時間変化が必要となる。このような応力を1軸応力で評価した場合に危険側評価となる可能性がある。

3. 三軸応力計測結果

疲労損傷が発生した2層ラーメン橋脚の下層隅角部梁・柱に3軸ゲージを取付け100Hzのサンプリング間隔で25t荷重車走行での計測を実施した。当該橋脚の下層には図-4に示す疲労き裂が発見されている。本橋脚は、2層ラーメンの上層下層で支点条件が異なり、着目部位に対する通過交通の影響が異なることから、どの通過交通が疲労に対して支配的であるかを確認することが計測の重要な目的とされた。又、下層梁に桁が剛結された構造であることから、車の通過に伴い主応力方向が変化することが予想されていた。

図-1に橋脚形状、図-2に荷重車が下層レーン隅角部側を通過した際の3軸ゲージのひずみ波形でR01が柱表面、R02が梁表面を示し、E1が軸方向、E3が軸直角方向を示す。複数回の計測での柱、梁の軸方向の応力範囲は、柱側フランジ50*50mm位置で25~35MPa、梁フランジ50*50mm位置では8~12MPaが計測された。本橋脚ではシェル要素によるFEMモデルに25t荷重を移動させ、通過前後の応力の動きを算出している。下層隅角に近い車線を荷重車が通過した場合に得られた最大応力範囲は7MPa程度であり大きな差が生じている。図-3には通過前後のピーク（図-2の垂直線位置）に対応する主応力ベクトル（水平方向が軸方向に一致）を示す。応力ベクトルは通過前を点線、通過後を実線で表し、青が圧縮、緑が引張を表す。通過前後で最小主応力は-28MPa~+5MPaに変化し、最大主応力は5~12MPaに変化する。しかし主応力が通過後90°回転するため軸方向に近い主応力の実質の変動幅は-28~+12MPaとなり、応力範囲は40MPaに達する。



図-1: 計測対象橋脚

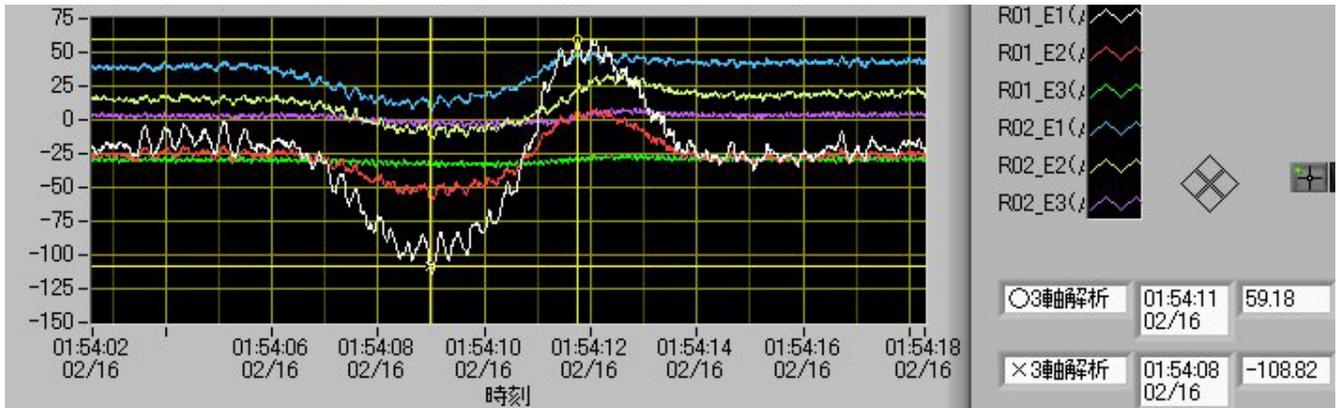


図-2: 荷重車通過時の主応力値の動き

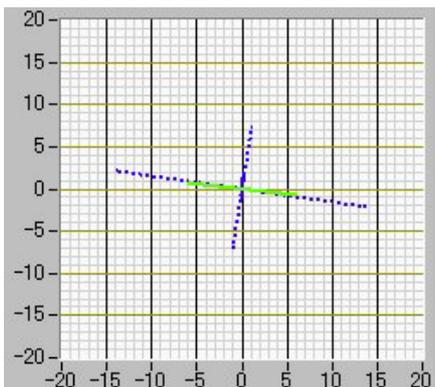


図-3: 下層通過時の柱主応力

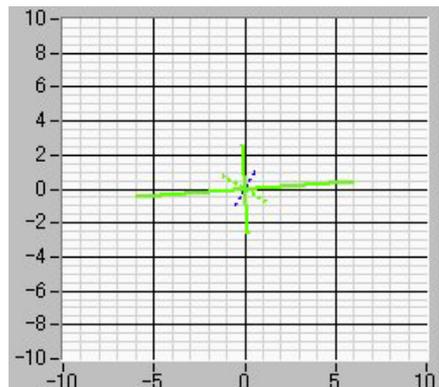


図-4: 下層通過時の梁主応力

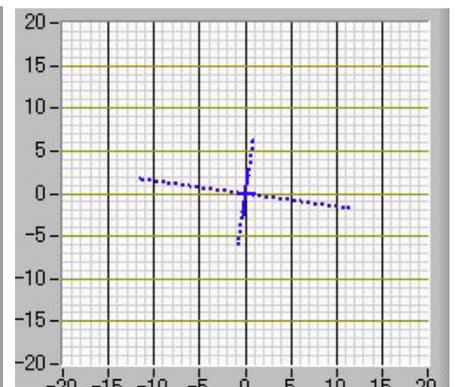


図-5: 上層通過時の柱主応力

この結果、応力範囲は最小・最大主応力の振幅より2割以上大きくなる。ピーク発生位置は車速50.2km/hから逆算すると、図-1に示すように対象脚手前22m、後方17mの位置あたりとなる。図-4は下層通過時の下層梁側の応力で通過後、約45°回転し全て引張側に振れているが値は小さい。図-5は上層通過時の柱フランジのピーク時の主応力ベクトルを示す。主応力方向が変化しないことから破線と実線が重なっている。

4. まとめ

隅角部の疲労応力は、脚の構造特性、隅角部の応力分布性状に大きく影響される。FEMによる評価も行われているが、シェル要素の解析では複雑な形状応力は追い切れず、現状では動的な3軸応力計測データを集め、これを抛り所に推定していくのがよいと考えられる。しかし、溶接内部から発生する疲労き裂について現状では評価応力の特定も難しい状況であり、隅角部の疲労特性評価には課題が山積している。隅角部の応力分布、局部的な曲げの影響による応力変動の計測、解析を進めており機会をみつけ報告したい。