

鋼部材の疲労き裂について (その2) - 鋼製橋脚隅角部 -

1. はじめに

国土交通省では、平成14年に都市高速道路で鋼製橋脚の柱と梁の交差部（隅角部）で重大なき裂損傷が発見され、関係機関へ情報提供するとともに直轄国道の隅角部を有する鋼製橋脚で緊急点検を行いました。その結果、対象334基のうち125基に表面に開口したき裂が確認されました。

鋼部材の疲労耐久性には溶接継手の形式と溶接品質、応力の繰り返しの程度が大きく関わります。

隅角部は、複雑に組み合わされる鋼板の溶接線が輻輳し溶接施工時の姿勢にも制約が生じやすいなどから良好な溶接品質の確保が難しく、また、その形状の特徴から溶接部の応力状態が複雑となるだけでなく、位置によっては大きな応力集中を生じやすいなど疲労環境は一般に厳しくなります。

本稿で取り上げる例は、き裂が確認された隅角部に特殊な継手構造が使われていることも寄与して、これらの隅角部の特徴がき裂の発生に影響したことが疑われているものです。

2. 国道1号東山高架橋の損傷事例

2.1 概要

一般国道1号の東山高架橋（橋長559.1m、3径間連続鋼ラーメン他、1967年竣工）の直径約3mの円柱型中間橋脚で、横梁と柱の接合部の複数箇所縦方向に最大845mmの大規模なき裂が発見されました（図-1、2）。発見直後は隅角部の溶接構造の詳細や発見された以外なき裂の有無が不明であったことから、梁部崩壊の危険性も完全には否定できず直ちに仮支柱を設置して安全を確保する一方、他橋脚も含め緊急調査を実施しました。

2.2 調査

き裂は、2基の中間橋脚（P14、P15）で柱と梁下フランジの接合部や梁ウェブの接合部の溶接線に生じていましたが、図面や外観では梁と柱の接合構造が特定できず、仮支柱で梁を完全に支持できることを確認した上で小径のコア抜きを行って構造の確認を行いました。その結果、柱と梁ウェブが三角形の連絡部材（以下「三角バー」という。）を介して間接的にしか接合されない特殊な



図-1 東山高架橋

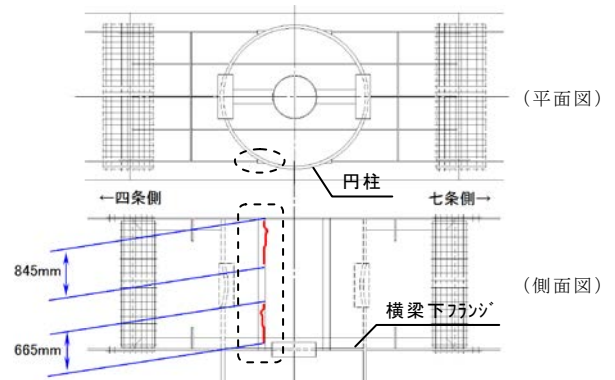


図-2 き裂発生位置 (P14橋脚 終点側)

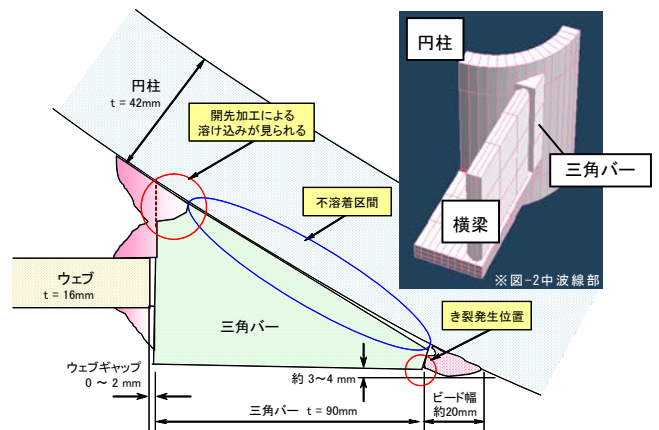


図-3 三角バー周辺の断面図 (梁と柱の接合部詳細)

構造であることがわかりました（図-3）。この場合、耐荷力的には十分な接合機能を有していても大きな不溶着部の存在や応力の流れの急変による応力集中等により疲労耐久性は著しく劣るものと考えられました。

溶接部では板組の異なる各種の接合構造（図-4）が存在する一方で、外観だけから接合構造の詳細を推定することは一般に困難であり、き裂を生じたりその疑いがある場合の緊急性の判断や補修・補強工法の検討にあたっては十分な調査で接合構造の詳細を明らかにすることが不可欠です。

現場に学ぶメンテナンス

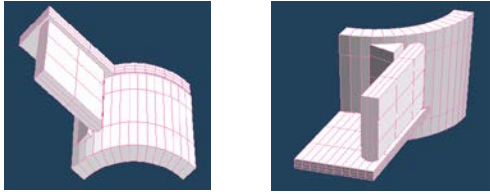


図-4 板組の異なる円柱の接合構造の例

なお、調査では不用意な切削や削孔はき裂の急速な進展につながる可能性もあり、設計図書の確認、超音波探傷等の非破壊検査を段階的に慎重に進めるとともに、本件のように事故を未然に防止できる措置も必要に応じて講じることが重要です。

本件のような特殊な接合構造は稀ですが、これまでの研究によって、隅角部で十分な疲労耐久性を有する良好な溶接品質を確保できる板組構造と溶接方法は極めて限られる一方、既設橋では現在の知見では疲労耐久性に劣る可能性の高いものを含む極めて多様な継手構造が用いられていることが明らかにされています^{1)~3)}。既設橋の維持管理ではできるだけ正確に板組構造や溶接方法の推定を行い、どのようなき裂が発生しやすいかといった点も考慮して点検や調査を行うことが重要です。

また、当然のことながら今後建設する橋脚では最新の知見に基づいて疲労耐久性確保の上でより適切な継手構造となるよう十分な配慮が必要です。

2.3 補強対策の検討

対策では、はじめに荷重車走行試験で橋脚の応力特性を確認し、その結果を踏まえFEM解析モデルを構築して設計や種々の試算に用いました。

本橋脚では、き裂を生じた梁ウェブと柱の溶接は信頼性が低いものの、き裂の除去や完全な進展防止策が困難と考えられたこと、曲線で溶接品質に心配のある円柱と梁下フランジ接合部に比較的大きな曲げが確認されたことなどを踏まえ、梁全体を補強ブラケットで下から受けることとしました(図-5)。これにより、梁ウェブでき裂が大きく進展したり梁下フランジと柱の溶接部が破断しても梁全体はブラケットで支持され落橋等の事態は確実に防止できます。

なお、梁の上フランジにはき裂は確認されていませんが引張応力が卓越し、き裂が生じると大きく進展して危険な状態となる可能性が心配されたため、梁ウェブのき裂が上フランジには進展せず、かつ、き裂の発見が可能なように梁ウェブと上フランジ交差部にスカラップ(円孔状の開口)を施



図-5 ブラケット補強 (P15橋脚)



図-6 横梁ウェブ上端のスカラップ施工

工しました(図-6)。なお、開口部周辺は複雑な応力性状となるため、FEM解析でその大きさや形状は応力集中が緩和されるよう配慮しました。

2.4 経過観察

対策後の計測により補強ブラケットとスカラップ施工の効果は確認されました。ただし、前述のとおり本件では完全にはき裂除去ができておらず、対策後も目視のみならず磁粉探傷等の非破壊検査手法も併用した経過観察で未除去のき裂の進展や新たなき裂の発生等に注意を払っています。

3. おわりに

平成14年の設計基準まで我が国の道路橋では特別な場合を除き疲労設計を行っておらず、既設橋には現在の知見では疲労に対する配慮が十分とは言えない品質や構造の溶接が存在します。そのため、既設橋のき裂対策として定期的な点検等で継続的に状態の把握に努めるとともに、個々の構造条件や最新のき裂等に関する知見を踏まえて調査や対策の検討を行うことが重要です。

参考文献

- 1) 国総研資料第229号：道路橋の鋼製橋脚隅角部構造に関する資料、2005.1
- 2) 三木、他：円形断面柱を有する鋼製橋脚隅角部の労強度とその向上方法、土木学会論文集No.801/I-73、2005.10
- 3) 時田、他：新設鋼製橋脚隅角部におけるフレット構造の応力低減効果(その1)～(その3)、土木学会第58回年次学術講演会概要集I-424～426、2003

国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部
 道路構造物管理研究室長 玉越隆史
 国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所
 管理第二課 課長 奈良明彦
 独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター
 橋梁構造研究グループ 上席研究員 村越 潤