

13. 床組支承コネクションプレート溶接部における疲労損傷の発生メカニズムと補修補強方法

城 大樹

1. 目的

供用開始から 35 年が経過した関門自動車道関門橋において、床組支承の端部コネクションプレート溶接部に図 1 に示すような疲労損傷が多数生じている。本研究ではその疲労損傷の発生メカニズムを解明し、効率的かつ経済的な補修補強方法を提案するため、実橋の応力測定と有限要素応力解析を実施した。

2. 内容

2.1 応力測定

測定対象は下関側の側径間の上り線において、最も下関側に位置する床組の横桁における張出側端部の格点部（以下、着目部）のコネクションプレートとした。ゲージ貼付位置は図 2(a)に示すように、対象とするコネクションプレートのまわし溶接部とした。静的載荷試験には荷重車後輪軸重:1.66×10² kN) を用い、その載荷位置は橋軸方向および橋直方向に変化させて計 10 種類とした。静的載荷試験結果を図 4 に示す。ここでは、図 2(c)に示す床組の横桁ウェブ上およびコネクションプレート間中央に後輪軸荷重が跨ぐ位置について示している。試験結果の上縁における応力値は、下縁に比べて大きくなっている。また、静的載荷試験時の応力分布は、図 3(c)に示すせん断挙動時の傾向を示している。

車両走行時における着目格点部には、曲げとせん断の 2 種類の挙動が生じると考えられる。これらの挙動と静的載荷試験結果を図 3 に示す。コネクションプレートの上縁では、曲げとせん断による発生応力の正負が同様になっている。これらの発生応力を合成すると応力は増加するが、下縁では双方の応力の正負が逆になっているため、応力は減少する。静的載荷試験についても上下縁の応力が同様の傾向となっている。したがって、実橋ではせん断と曲げの双方の挙動が同時に生じていると考えられる。着目格点部は車両走行時に橋直方向に移動し、せん断挙動を緩和するように設計されている。しかしながら、静的載荷試験ではせん断挙動の影響が大きくなっている。このことから、実橋ではコネクションプレートの下端の支承が発錆などにより可動しにくくなっていると考えられる。

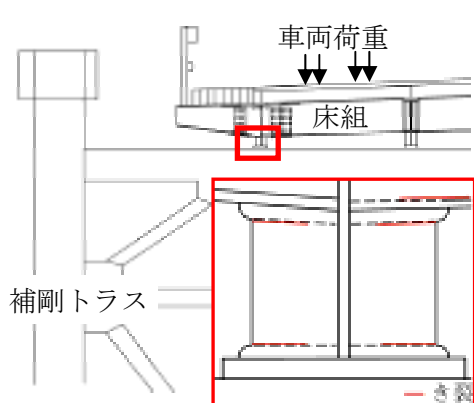


図 1 疲労き裂の発生状況

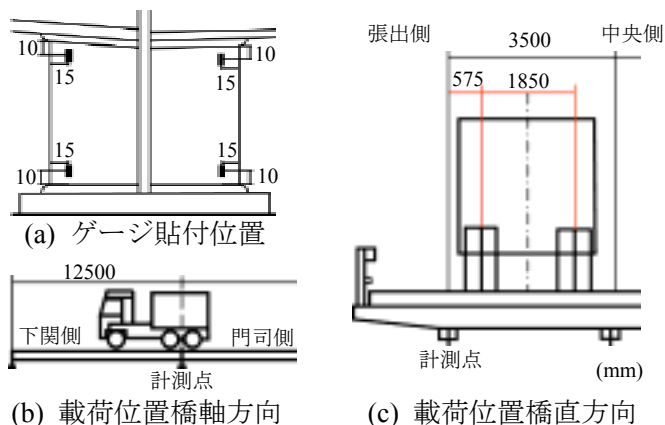


図 2 ゲージ位置および載荷位置

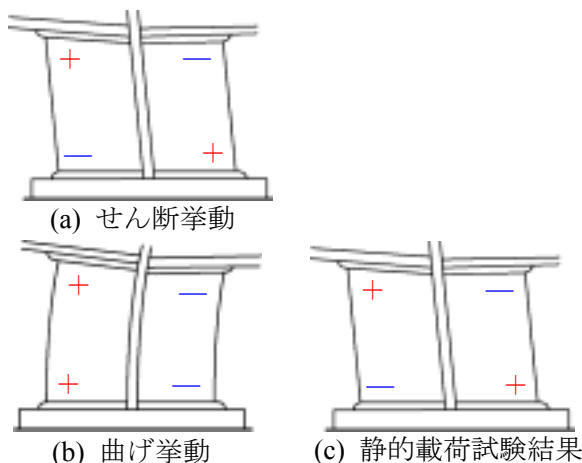


図 3 格点部の挙動

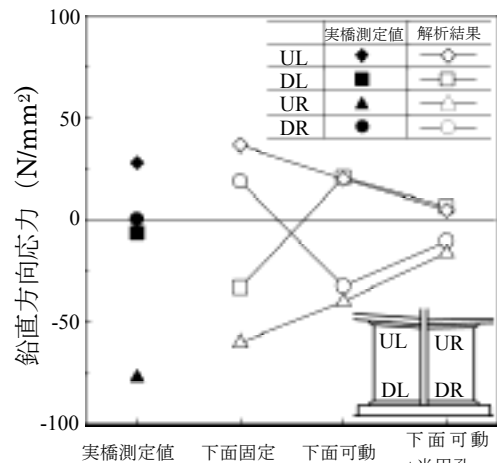


図 4 静的載荷試験結果及び解析結果

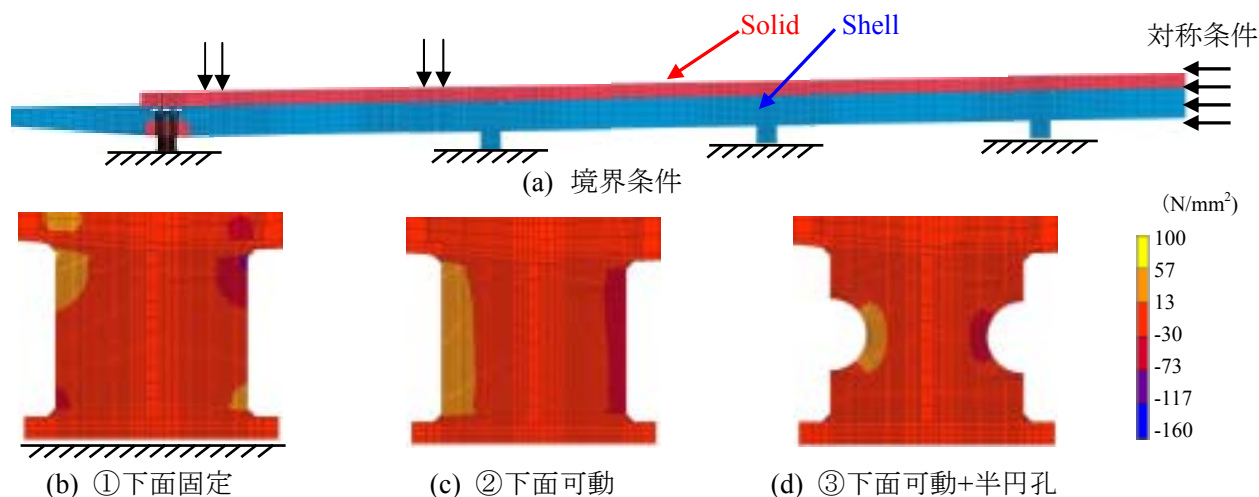


図5 要素分割図および解析結果

2.2 有限要素応力解析

解析には床組の1/2モデルを用いた。解析モデルの要素分割例を図5に示す。解析モデルには、図5(a)に示すように、着目格点部および床版にsolid要素、その他の部分にはshell要素を用いた。着目部のコネクシオンプレートの溶接止端部における最小要素寸法は、 $3 \times 3 \times 3 \text{mm}$ とした。床版の軽量1種コンクリートのヤング率は $1.7 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比は0.2とした。また、アスファルト舗装については、ヤング率を $1.5 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 、ポアソン比を0.35とした。荷重条件は実橋測定に基づいて決定した。実橋のコネクシオンプレート下部における補剛トラスとの境界条件は、発錆などの影響を大きく受けるため、拘束条件を決定することは困難である。そこで、本解析では静的載荷試験結果からせん断挙動の影響が大きいと考えられたため、コネクシオンプレート下部を固定とした。また、補修補強方法の検討のため、コネクシオンプレート下部の橋直方向への可動、半円孔を明けたモデルを作成した。コネクシオンプレートに半円孔を明ける前後の解析モデルを図5(c)および図5(d)に示す。半円孔の半径および孔明けの位置は、パラメトリック解析を行なうことで、半径を40mm、孔明けの位置をコネクシオンプレート高さ方向の中央とした。解析結果を図4に示す。ここでは、①コネクシオンプレート下面完全拘束の場合、②コネクシオンプレート下面を橋直方向に可動させた場合、③コネクシオンプレート下面の可動および半円孔を明けた場合、の解析結果を示す。①と静的載荷試験結果を比較すると、応力分布の傾向は一致している。また、下面を固定したことにより、せん断挙動の影響が卓越している。②と①を比較すると、上縁では応力の正負は変化していないが値は減少している。また、下縁では応力の正負が逆転している。これは、せん断挙動により発生した応力が緩和され、曲げ挙動の影響が大きくなったためであると考えられる。③と②を比較すると、応力は約70%減少している。したがって、半円孔によって曲げ挙動により溶接止端部に発生していた応力が緩和されたことが確認できる。以上から、疲労損傷の発生原因はコネクシオンプレート下面が可動しにくくなったことと、コネクシオンプレートにおける曲げ挙動であると推測される。

応力測定および応力解析の結果から、実橋の格点部は可動しにくいこと、せん断挙動が卓越していると考えられる。そこで、コネクシオンプレート下部を橋直方向に可動させることによりせん断挙動を低減できると言える。さらに、コネクシオンプレートの曲げ挙動により生じる溶接止端部の応力を低減させるために、コネクシオンプレートに半円孔を明けることで、着目部に生じる応力を低減できる。これらの方法を用いることで、コネクシオンプレートの疲労損傷部に対して効率的な補修補強が実施可能と考えられる。

3. 結論

疲労損傷の発生要因として、コネクシオンプレート下部が可動しにくいこと卓越するせん断挙動が考えられる。この損傷に対する効率的な補修補強方法の1つとして、コネクシオンプレート下面の橋直方向の拘束を開放し、半円孔を明ける方法を提案する。