

床組部材の疲労損傷と保全対策（その１）

～亀裂発生メカニズムとその進展性について～

大阪府土木部 技監

正会員 小河 保之

大阪府土木部交通道路室

正会員 ○松尾 英樹

大阪府枚方土木事務所

正会員 梶川 正純

１．はじめに

疲労損傷は、部材結合部など応力が集中しやすい部分から亀裂となって徐々に進展するが、その要因は、構造ディテール、材料・製作、荷重、維持管理であることが知られている。ここでは、定期点検で確認されたトラス橋における床組部材の疲労亀裂について、適切な保全対策を実施するため、亀裂発生メカニズムを載荷試験及び解析により分析し、疲労亀裂の進展性と効果的な補修工法の選定に資するための検討結果について報告する。

２．床組部材の損傷状況

損傷が確認された橋梁は、昭和29年架設のゲルバートラス橋で、日交通量4万台（大型車混入率23.8%）を超える過酷な荷重条件下の橋梁である。平成11年の点検で横桁と縦桁接合部（以下「縦桁接合部」と呼ぶ。）に大小107本の亀裂が確認され応急対策を実施した。

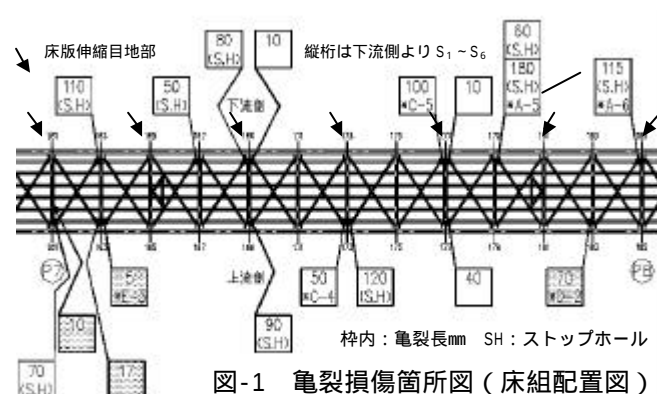
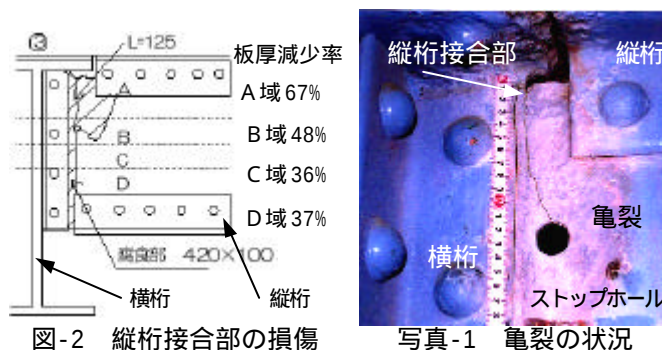


図-1 亀裂損傷箇所図（床組配置図）



亀裂の発生箇所は外縦桁に集中し、RC床版の伸縮目地部とよく一致する。また、伸縮目地は防水機能が喪

失し、漏水及び堆泥による腐食が進行しており、縦桁ウェブの腐食による板厚減少率は、8mmに対して最大で5.4mm（67%の腐食）にも及んでいた。

３．床組部材の構造的特性

疲労問題を取り扱うためには、局部応力の発生状況をFEM解析により再現させ、載荷試験による実応力から解析モデルへのフィードバックが必要である。

(1) 縦桁とRC床版の合成効果

縦桁近傍の応力分布を正確に再現させるためには、設計上、非合成としているRC床版と縦桁の合成効果を把握する必要がある。図-3には静的載荷試験による計測結果と立体骨組解析の解析結果を示す。

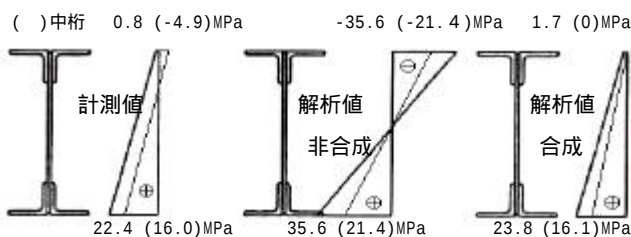


図-3 縦桁支中央部の応力度分布

縦桁の支間中央の応力度は、合成断面の解析値とよく合致している。しかし、床版端部で版の浮き上がりが随所に確認されたことから、合成から非合成への移行段階にあり、縦桁剛性が低下しつつあると判断できる。

また、縦桁接合部の応力度についても合成状態が実測値に近いことから合成効果を考慮したモデルで解析した。

(2) 縦桁接合部の応力分布

図-4は、縦桁接合部の応力分布を載荷試験から立体FEMを用いて再現したものであり、床版不連続部で合成効果を考慮したモデルに試験車載荷状態での解析結果を示す。亀裂の発生箇所である縦桁接合部には顕著な応力集中が確認されている。これは、縦桁がウェブによる曲げ伝達構造であること、フランジ端部のウェブに20mm程度の切欠部が存在していることに起因する。

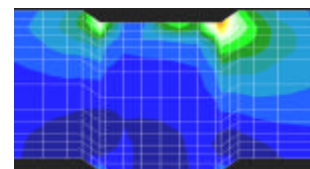


図-4 縦桁接合部応力分布

亀裂、疲労、腐食、進展性、維持管理

〒540-8570 大阪市中央区大手前2丁目1-22

06-6941-0351 FAX 06-6944-6787

4. 縦桁接合部の疲労寿命と亀裂の進展性

(1) 疲労寿命の予測

疲労寿命の予測は、線形累積被害則（マイナー則）を適用し、(社)日本鋼構造協会での提案式により解析を行った。また、交通量は実測値と交通センサをもとに、建設当時から現在までの交通量を推定した。

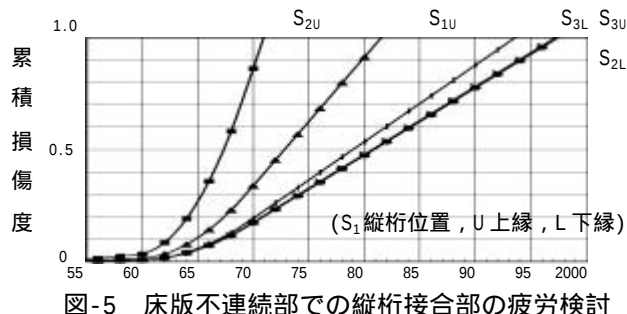


図-5 床版不連続部での縦桁接合部の疲労検討

疲労亀裂は1970年頃から発生し、2000年までには計測した全縦桁に疲労破壊が発生する結果となったが、その発生時期にはかなりのばらつきがある。これは、目地からの漏水や張出部の雨水伝達による腐食が大きく関与しているものと考えられる。なお、1995年の点検時には、同様の亀裂が確認されていないことから、この5年間で一斉に疲労限界に達したものと考えられる。

(2) 亀裂の進展速度と腐食が与える影響

比較的亀裂の少なかった床版連続部の疲労亀裂の進展性は、予防的保全の判断に重要なファクターとなるため、その進展速度の予測を行った。まず、縦桁接合部を細分割し、各要素ごとにマイナー則による疲労解析を適用するが、各要素ごとの応力頻度測定が困難であるため以下の仮定により応力頻度測定値を推定した。

- (a) 各要素のS-N曲線の傾き m は亀裂発生に関わらず同一とし、計測結果から8と設定する。(図-6参照)
- (b) 各要素の最大応力範囲は、静的発生応力度に比例し、 $\Delta\sigma_{\max} = 63\sigma / 17 = 3.7\sigma$ とする。(図-7参照)

上記の仮定により、亀裂の発生状況ごとにFEM解析で静的応力度を求めることで、全ての要素の応力範囲・頻度を設定できる。(図-8参照)

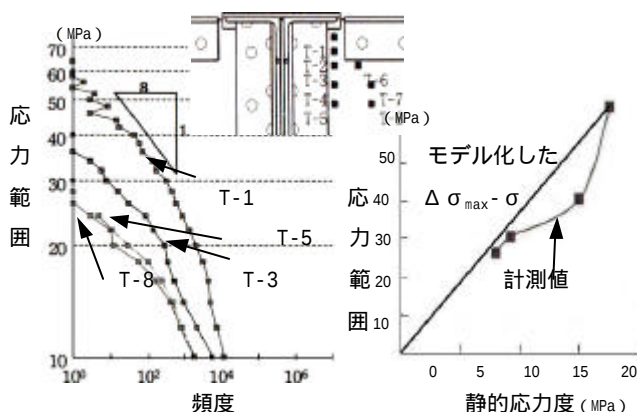


図-6 縦桁接合部の応力頻度

図-7 $\Delta\sigma_{\max}$ - σ の関係

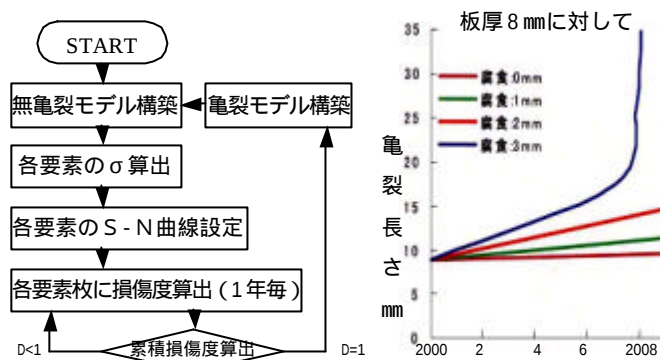


図-8 算定手順

図-9 腐食による進展速度

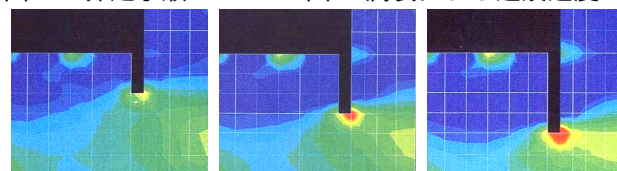


図-10 亀裂の進展と局部応力の分布状況

図-9には亀裂を強制的に発生させた後の進展速度について腐食度別に算定した結果を示す。なお、腐食度はモデルの板厚を減厚して算定した。

その結果、腐食の影響が亀裂の進展速度に大きく影響し、ある一定段階から大きく加速している。これは、亀裂の進展とともに先端部の応力度が上昇（図-10）し、降伏レベルにまで及んだことによる。一方、腐食のない亀裂については殆ど進行していない。これは、床版連続部が伸縮目地からの衝撃の影響が小さく、 $\Delta\sigma_{\max}$ が不連続部の1/3程度と応力変動範囲が小さいことによる。

5. まとめ

縦桁接合部の亀裂発生は、交通量の増加に伴う応力疲労とディテール上の問題に腐食環境が加わった複合的作用によるものであり、床版の浮き上がりがさらに助長させている。

床版不連続部の縦桁は、疲労限界に近い、もしくは限界を超えているが、連続部において腐食が発生していない箇所は十分に使用に耐えうる状態にある。

亀裂の進展は板厚減少の影響に過敏に反応し、先端の発生応力が亀裂進展とともに大きくなり、進展速度も飛躍的に加速する。

6. おわりに

一連の検討の結果、鋼部材の亀裂問題は、応力変動幅の縮小、構造ディテールの改良が有効な保全対策（別途報告）と考えるが、腐食環境が大きく影響していることも見過ごしてはならない。漏水対策や清掃等、常日頃の維持管理の重要性を再認識するところである。

末筆ではありますが、本検討には大阪大学大学院工学研究科松井繁之教授の御指導のもと、関係各社に御協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。