

桁端部に複合的な損傷を有する鋼 I 桁橋の耐荷力特性

○ (財) 海洋架橋・橋梁調査会 フェロー会員 吉田好孝
 (財) 海洋架橋・橋梁調査会 正会員 秋山寿行
 大日本コンサルタント(株) 正会員 龍田 斉

1. はじめに

鋼桁橋の桁端部は損傷が生じやすい部位である。路面排水の漏水や車両荷重の影響などにより、腐食、亀裂、対傾構の変形や破断、ボルト脱落、支承の機能障害、塗装劣化、床版ひびわれなど様々な損傷が発生している。これらの損傷の中には橋梁の耐荷力に大きく関わるものもあるが、その影響度に関する分析はあまり進んでいないのが実情である。ここではソールプレート端部から下フランジやウェブに伸展する疲労亀裂に着目し、亀裂が他の損傷と複合的に生じている場合の、下フランジ亀裂直上または亀裂先端のウェブ応力度 (Mises) の増加について分析した。

2. 損傷の実例

鋼 I 桁端部に見られる損傷の中で、亀裂と腐食は最も一般的なものである。写真-1 にソールプレート端部から生じた疲労亀裂の例を、写真-2 には腐食が進行して桁に断面欠損を生じ、支承の機能も損なわれている事例¹⁾を示す。



写真-1 桁端部の疲労亀裂



写真-2 桁端部の腐食

3. 解析対象とした橋梁構造の選定

解析の対象とした橋梁は鉄筋コンクリート床版を有する鋼単純 I 桁橋で、旧建設省制定の標準設計図集²⁾に示されている橋梁構造範囲 (支間長 25~44m) から、中規模の一般的な橋梁として支間長 35.0m の構造を選定した。

4. 構造解析モデルの構築

桁端部の挙動が解析結果に大きく影響すると推定されるため、主桁ウェブ及びフランジ、桁端部の対傾構及び垂直補剛材、ソールプレート、RC 床版については標準設計の寸法形状をそのまま忠実にモデル化した。すなわち対傾構の L 型斜材はそのまま L 型としてモデル化した。ただし中間対傾構については断面二次モーメントが等価な棒部材で置換した (図-1)。

端対傾構の破断を想定したモデル化では、要素の一部を削除するだけでは解が不安定になるため、当該対傾構部材の全てを削除することとした。

鋼 I 桁外桁 (G4 桁) の桁端部ウェブ及び下フランジについては、解析結果の精度向上ため要素を細分割した。亀裂については要素を切り離して接点を重複させることで表現した。

実際の腐食のパターンはその平面的形状、板厚方向への進展状況などを考慮すると千差万別であるが、モデル化に当たっては亀裂近傍の細分割した要素領域について板厚を一律に減少させた。すなわち桁端部の細かな要素部分のウェブ厚さ $t=9\text{mm}$ をほぼ $1/2$ の $t=5\text{mm}$ で設定した。

支承の機能障害としては、可動側 (A2 側) の滑り機能が働かなくなると考え、G1~G4 桁について両端固定支承とみなした。ただし拘束条件は水平移動のみであり、桁の回転は拘束していない。

損傷を想定した鋼 I 桁は支承の機能障害を除いて G1~G4 桁の中の G4 桁のみであり、同様に端対傾構は A2 側 (固定支点側) の G3~G4 間である。活荷重は影響線载荷とし G4 桁の A2 側支承反力が最大になるような载荷を行った。

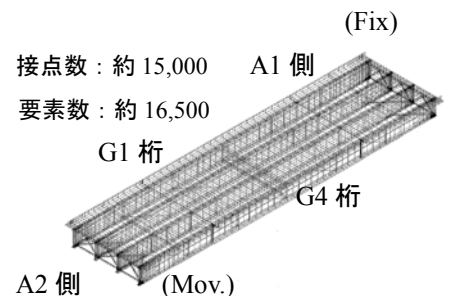


図-1 解析モデル

キーワード 鋼 I 桁、桁端部損傷、疲労亀裂、腐食、支承の機能障害、対傾構、時刻歴応答

連絡先 112-0013 東京都文京区音羽 2-10-2 TEL(03)5940-7788、FAX(03)5940-7789

時刻歴応答解析については道路橋示方書Vで採用されている地震波を用いた。作用させた地震波はレベル2地振動、タイプII、I種地盤の兵庫県南部地震(神戸海洋気象台地盤上N-S)で、地震波の作用時は死荷重のみの載荷状態である。解析は静的及び動的解析とも汎用三次元弾性FEMソフト³⁾を用いた。

5. 解析結果

(1) 端対傾構の影響: G4主桁の亀裂が下フランジのみに存在する時に、G3-G4間における1組の対傾構の斜材が機能をなくした場合、及び斜材と水平材が機能を失った場合のいずれにおいても、ウェブの亀裂先端などに生じる応力度は、その対傾構が健全な場合に比べて目立った変化はない。

(2) 腐食の影響: 腐食によりウェブの板厚がほぼ半減すると、亀裂近傍の応力度は1.20~1.33倍増加する。局所的な応力度の増加は必ずしも板厚の減少に反比例しているわけではなく、板厚減少量に比べて低い比率である。

(3) 垂直補剛材の影響: G4桁端部における垂直補剛材の機能が失われた場合、亀裂近傍及び亀裂先端の応力度増加は、下フランジに亀裂がある場合で1.78倍、ウェブに亀裂が伸展した場合で2.08~2.65倍に増加する(図-3)。

(4) 支承条件の影響: 支持、回転及び水平方向の可動(固定支承では水平方向の拘束)といった機能のいずれかが損なわれた場合に機能障害が生じる。可動支承A2側の水平方向滑り条件のみを拘束した結果、下フランジの亀裂の場合、直上のウェブ応力度の増加は13.0倍(図-2)、亀裂がウェブに伸展した場合で亀裂先端の応力度は5.3~11.2倍と非常に大きな応力度の増加を示した。

(5) 地震の影響: 地震波の作用から4.78sec後に、亀裂近傍の応答応力度が最大値に達している。最大応答応力度の値は、ウェブに亀裂が伸展した場合(亀裂1)で、亀裂のみの場合の2.89倍である。最大値を示した後も、高い応答応力度が繰り返し発生している。

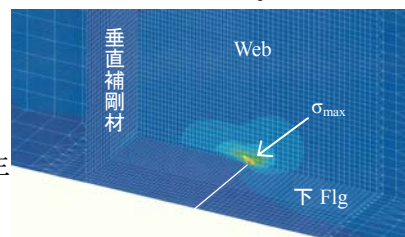


図-2 下フランジの亀裂と支承の機能障害(⑥)

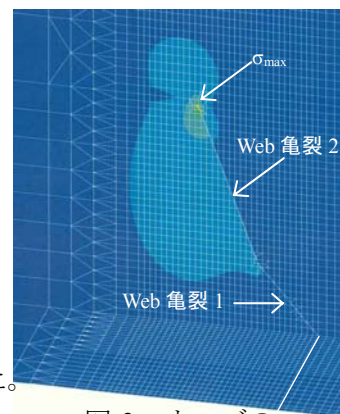


図-3 ウェブの亀裂2と垂直補剛材なし(⑤)

表-1 複合的損傷の種類と最大応力度

Case	活荷重	複合的損傷の種類	亀裂の伸展 ($\times 10^3 \text{ N/mm}^2$)		
			下Flg亀裂	Web亀裂1	Web亀裂2
①	載荷	亀裂	0.659	1.11	1.78
②	載荷	亀裂・対傾構の斜材破断	0.660	1.11	1.79
③	載荷	亀裂・対傾構の斜材および水平材破断	0.661	1.11	1.77
④	載荷	亀裂・Web腐食($t=5\text{mm}$)	0.880	1.47	2.14
⑤	載荷	亀裂・垂直補剛材なし	1.170	2.31	4.71
⑥	載荷	亀裂・支承(Fix-Fix)	8.55	12.40	9.35
⑦	非載荷	亀裂・地震(Level-2)	1.50	3.21	2.70

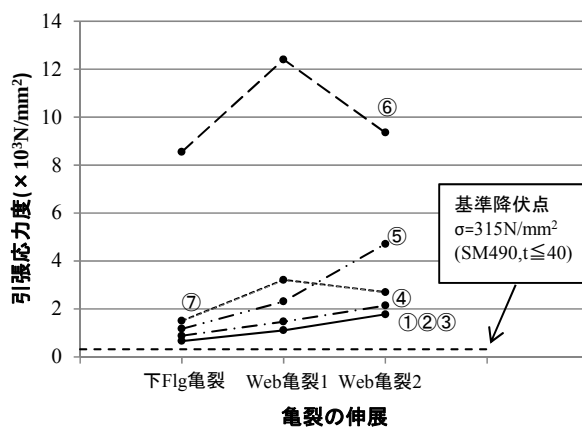


図-4 亀裂の伸展に伴う発生応力度

6. まとめ

- 1) 外桁 G4 下フランジからウェブに伸展した亀裂の直上または先端の集中応力度に関し、G4 桁に隣接する端対傾構 1 組が全く無いと仮定した場合でも、応力度の増加は殆ど見られない。
- 2) 腐食により G4 桁端部のウェブ板厚がほぼ半減した場合、応力度の増加は 1.20~1.33 程度である。
- 3) レベル 2 地震動の作用下では、亀裂がウェブに伸展した時の応力度増加は 1.52~2.89 倍程度である。
- 4) 可動支承の滑り機能が損なわれた場合、著しい応力度の増加が生じ、その値は 5.3~13.0 倍に達する。桁端部に関しては様々な損傷が同時に発生しやすく、鋼橋の耐荷力を論じる場合にはこれらの複合的な損傷に着目すべきである。特に腐食や地震、不十分な維持管理等が原因で生じる可動支承の機能障害や、端部垂直補剛材の欠損等が亀裂先端の応力集中に大きな影響を及ぼすことに注意しなければならない。

参考文献 1)道路橋の重大損傷—最近の事例— 財団法人海洋架橋・調査会、平成 21 年 3 月

2)建設省制定 土木構造物標準設計 23 活荷重合成プレートガーダーその 1 主桁・床版構造、昭和 54 年 3 月

3)FEMLEEG FEMIS & FEMOS, LISA ユーザガイド, Ver.4.2, ホクト・システム