

石湖溪大橋に対するホットスポット応力を用いた疲労評価

長崎大学大学院 正 会 員 中村聖三 長崎大学 学生会員 ○亀田京佑
長崎大学大学院 正 会 員 奥松俊博 長崎大学大学院 正 会 員 西川貴文
長崎大学大学院 学生会員 王 渠

1. はじめに

鋼道路橋において、疲労による部材の損傷は大きな問題とされており、疲労損傷の事例も多く挙げられている。実際に、中国の石湖溪大橋（図-1）でも複数の K 形継手の溶接止端部に疲労によるものと思われるき裂（図-2）が発見された。本研究では、本橋の代表的なき裂に対して疲労評価を行う。疲労評価は対象継手の疲労強度等級に対応する S-N 線図と公称応力範囲を用いて行われることが多い。しかし、本継手のような複雑な構造においては、公称応力を定義することが難しい。そこで本研究では、溶接止端部における応力を溶接ビードによる局所的な応力集中を含まず、構造的な応力集中のみを含むホットスポット応力を用い疲労評価を行う。

2. 解析概要

本研究では、梁要素を用いた全体系の解析を MIDAS Civil で行うことで対象継手に作用する断面力を求める。その断面力を境界条件として詳細なモデルに作用させた場合のホットスポット応力を Marc で求める。解析には汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いる。K 形継手の主管部は鋼管コンクリート、枝管部は鋼管のみである。主管部の鋼管とコンクリート間では、接着接触機能を使用することで接触解析を行う。

2.1 着目部材

図-3, 4 で示すように、疲労き裂は 9 カ所発見された。今回の着目部位については最大き裂である赤点の個所の 57°側とする。

2.2 モデル諸元とメッシング

モデルの形状、材料特性等は図-5 と表-1 に示す通りである。また、今回モデル作成については、溶接ビートをモデル化していない。各部材の端部に剛板を設置し、それを介してモデルに断面力を作用させる。鋼管部分には四角形シェル要素、コンクリート部分には直方体ソリッド要素を用いる。本研究ではホットスポット応力の算定に 0.3t 法を用いることとし、鋼管の厚さ 8 [mm] を考慮して、溶接付近のメッシュサイズは 2.4 [mm] × 2.4 [mm] とする。それ以外の個所に関しては、解析時間



図-1 石湖溪大橋



図-2 疲労き裂

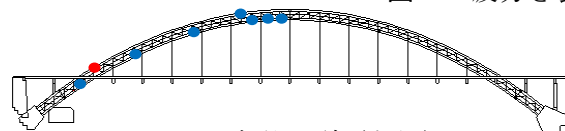


図-3 疲労き裂（左側）

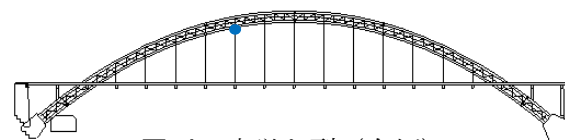


図-4 疲労き裂（右側）

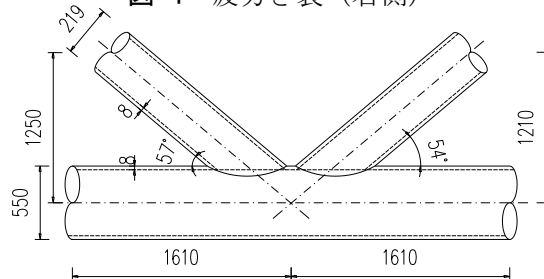


図-5 寸法 [mm]

表-1 材料特性

鋼管の弾性係数 E [N/mm ²]	2.05×10^5
コンクリートの弾性係数 E [N/mm ²]	3.00×10^4
剛板の弾性係数 E [N/mm ²]	1.00×10^{12}
鋼管のポアソン比	0.3
コンクリートのポアソン比	0.2
剛板のポアソン比	0.3

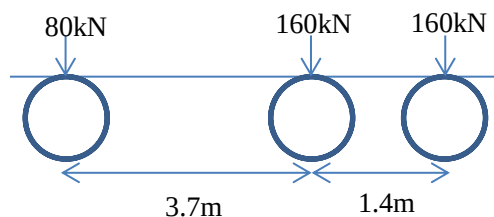


図-6 車両荷重

の短縮のため 5 [mm]，10 [mm]，20 [mm] と溶接部から離れるにつれて粗くメッシュ切りを行う。

2.3 境界条件

境界条件として入力する断面力は 40t トラックが橋を 1 回通過した時に着目部に最大応力，最少応力を発生させるものとし，各断面力を詳細モデルに作用させた場合のホットスポット応力の差を疲労評価に用いるホットスポット応力範囲とする。40t トラックの軸間隔と軸重は図-6 の通りである。図-7 は着目する 57°側枝管の公称応力の変化，図-8 は公称応力が最大，最小の時のトラックの位置を示している。表-2，3 は 57°側枝管の公称応力が最大，最小の時の各断面力である。

3. 疲労評価

今回は公称応力での疲労評価を行う。ホットスポット応力の疲労強度等級は完全溶け込み溶接の非仕上げなので「鋼構造物の疲労設計指針」¹⁾より，E 等級である。このことから，公称応力の疲労強度等級は完全溶け込み溶接の中空断面部材と仮定し，F 等級の S-N 線図を用いる。公称応力は図-7 で示すように最大応力が 7.07[N/mm²]，最小応力が -15.09[N/mm²]であるため，公称応力幅は 22.16 [N/mm²]である。S-N 線図（図-9）より，打ち切り限界を考慮しない場合，繰返し回数は，約 2.1×10⁷ 回となる。石湖溪大橋は 1998 年 1 月に完成し，2013 年 4 月にき裂が発見された。また，40t トラックは 1 日に 1400 から 2600 台通行する。よって，疲労き裂が起きるまでの期間は通行量が 2600/日の場合は 22 年 1 カ月である。ホットスポット応力を用いた疲労評価は現在検討中である。

4. まとめ

実際に疲労き裂が発見されたのは橋が完成してから 13 年 5 カ月後である。今回の公称応力を用いた疲労評価では，疲労き裂の発生は橋の完成から 22 年 1 カ月後となった。しかし，この疲労評価は精度が高いとは言えない。ホットスポット応力による疲労評価と比較した結果を表表時に報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針 pp5，pp17
- 2) 石川敏之，金裕哲：溶接接合教室 第 3 章 pp50 溶接学会誌 第 79 巻(2010) 第 4 号
- 3) 中村聖三，王渠，陳宝春，呉慶雄：Fatigue Damage of a Half-through Concrete-filled Steel Tubular Trussed Arch Bridge in China ASEM15 Incheon, Korea 2015

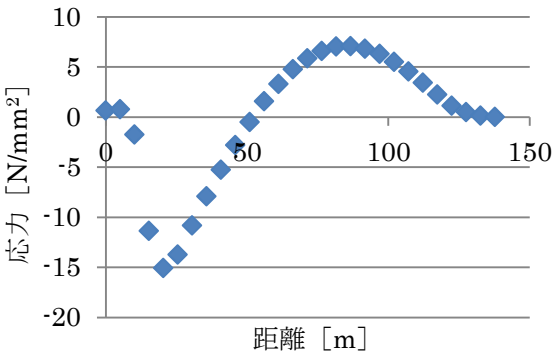


図-7 応力変化



図-8 トラックの位置

表-2 公称応力最大時の各断面力

57°側主管	軸力 [kN]	-77.55
	曲げモーメント [kN×m]	-0.72
57°側枝管	軸力 [kN]	37.36
	曲げモーメント [kN×m]	-0.58
54°側主管	軸力 [kN]	-48.15
	曲げモーメント [kN×m]	0.20
54°側枝管	軸力 [kN]	-36.04
	曲げモーメント [kN×m]	-0.65

表-3 公称応力最小時の各断面力

57°側主管	軸力 [kN]	-33.60
	曲げモーメント [kN×m]	1.29
57°側枝管	軸力 [kN]	-80.01
	曲げモーメント [kN×m]	1.41
54°側主管	軸力 [kN]	-99.89
	曲げモーメント [kN×m]	-0.71
54°側枝管	軸力 [kN]	84.93
	曲げモーメント [kN×m]	1.33

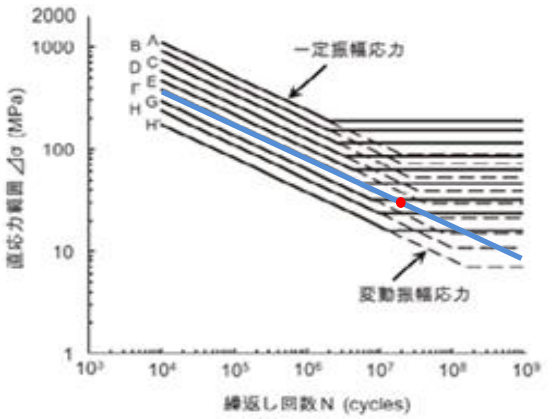


図-9 疲労設計曲線