

鋼床版デッキプレートと垂直補剛材の溶接部の疲労試験による実橋の疲労寿命予測

名古屋大学大学院 学生員 小園江 朋亮

名古屋大学大学院 正員 山田 健太郎, 小塩 達也

トピー工業株式会社 正員 山田 聡

1. はじめに

鋼床版に発生する疲労き裂が問題になっている．その中で，最も多く疲労き裂が発生している箇所のひとつが，デッキプレートと垂直補剛材のすみ肉溶接部である．図-1 は実際の橋梁で発見された疲労き裂である．本研究では，垂直補剛材のすみ肉溶接部をモデル化し，補強による疲労寿命の変化を疲労試験により明らかにし，その疲労寿命から，現在供用されている鋼橋の疲労き裂発生及び進展時期を予測する．

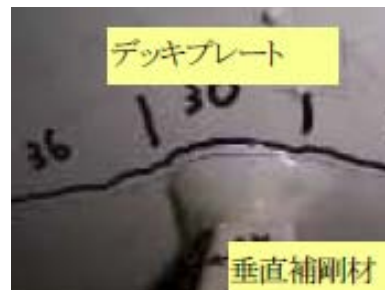


図-1 垂直補剛材の疲労き裂

2. 疲労試験の概要

疲労試験体の形状を，図-2 に示す．本疲労試験では 2 種類の試験体を製作した．

試験方法は，輪重によりデッキプレートに曲げが加わることを想定し，新たに開発された疲労試験機を用いて，両振り曲げ載荷を行った．補強方法は，何も補強しない試験体(as-welded)，溶接止端部をグラインダーで処理し，止端形状を滑らかにした試験体(ground)，垂直補剛材に半円孔をあけて応力緩和を狙った試験体(with hole)の 3 種類を行った．S-N 線図を描く際の応力範囲は，溶接止端部から左右に 75mm 離れた位置に貼られたひずみゲージ，，，の応力範囲の平均値とした．

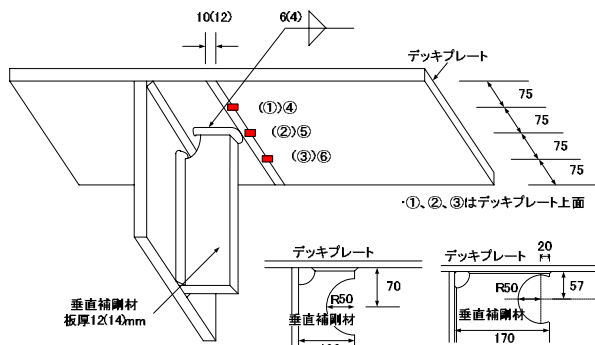


図-2 疲労試験体と半円孔位置

3. 疲労試験の結果

本疲労試験では，試験体のまわしすみ肉溶接部に貼ったエナメル被覆銅線(0.04mmφ)が疲労き裂の発生によって切断されたときの繰返し数を Ntoe，疲労き裂がすみ肉溶接止端から離れてデッキプレート表面上を 10 mm 進展したときの繰返し数を N10(疲労き裂が目視できるようになる時期)として記録した．疲労試験の結果を図-3 に示す．これを見ると，as-welded 試験体の疲労寿命は Ntoe で H 等級，N10 で G 等級であった．試験体(ground)は，Ntoe で E 等級，N10 で D 等級に向上した．試験体(with hole)は，デッキプレートと半円孔端部の最短距離が 20mm の試験体は，疲労寿命の向上が見られなかったが，デッキプレートと半円孔端部の最短距離を 7mm にし，半円孔位置をデッキプレートに近づけた試験体の疲労寿命は，Ntoe で F 等級，N10 で E 等級に向上した．

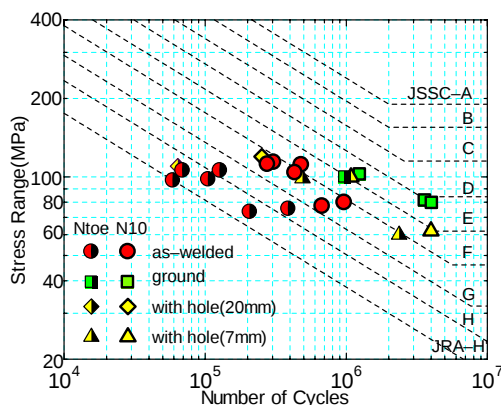


図-3 疲労試験結果

4. 鋼橋の疲労寿命予測

疲労強度が正規分布に従うと仮定し，疲労試験において，溶接止端部に Ntoe 及び N10 での 3 種類の疲労強度(mean, mean+2S, mean-2S)を利用して，鋼橋に疲労き裂が発生及び進展する時期を予測した．ここで，mean は平均疲労強度を，S は疲労強度の標準偏差を表す．as-welded 試験体に関しては，mean における疲労き裂が発生及び進展する時期は，50%の垂直補剛材に疲労き裂が発生及び進展している状態を，mean+2S は，97.7%の垂直補剛材に疲労き裂が発生及び進展している状態を，mean-2S は 2.3%の垂直補剛材に疲労き裂が

発生及び進展している状態を表す。ただし, ground と with hole は試験体数が少数のため, Ntoe ではそれぞれ E 等級, F 等級の疲労強度として, N10 では D 等級, E 等級として計算した。また, with hole は半円孔の位置を溶接止端部に近づけた試験体のみにについて計算した。

図-4 は, ある鋼橋で計測された応力範囲頻度分布である。計測点は, き裂が発生しておらず, 補強を施していない垂直補剛材の溶接止端部から橋軸直角方向に 12mm 離れた位置である。このため, 頻度分布で得られた応力範囲に, 疲労試験で得られたひずみゲージ, , , の応力範囲の平均値と, 垂直補剛材の溶接止端部から橋軸直角方向に 10mm の位置にあるひずみゲージ の応力範囲との比(図-4 左下)をかけて疲労損傷度を計算した。この頻度分布測定期間内の疲労損傷度を修正 Miner 則により計算し, これを測定時の大型車交通量データで割って大型車 1 台あたりの疲労損傷度を計算した。さらに, 大型車 1 台あたりの疲労損傷度の逆数を計算し, 疲労き裂の発生及び進展に要する大型車交通台数を求めた。さらに, この鋼橋の各年の年間大型車交通台数データを, 供用開始時から順次累積させていき, この鋼橋の累積大型車交通台数を計算し, 疲労き裂の発生及び進展に要する大型車交通台数と一致したときの時期を求め, その時期が疲労き裂の発生及び進展時期である。なお, 2006 年以後の大型車交通量は, この鋼橋の大型車交通量が安定し始めて以降の平均年間大型車交通量を計算し, それを累積させた。ここで, 疲労損傷度は大型車交通量に比例すると仮定し, 舗装の影響は無視した。得られた結果を, この鋼橋の供用開始時からの累積大型車交通量と併せて図-5 と表-1 に示す。これによると, 半円孔の施工によって, 疲労き裂の発生, 進展とも約 20 年遅延可能なことがわかった。なお, 溶接止端部をグラインダーで処理し, 止端形状を滑らかにした試験体(ground)については, 疲労き裂の発生, 進展とも 100 年以上遅延可能なことがわかった。

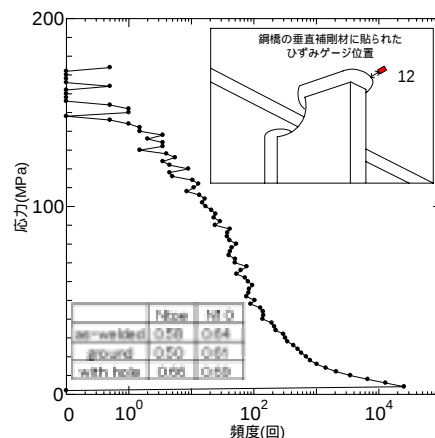


図-4 応力範囲頻度分布

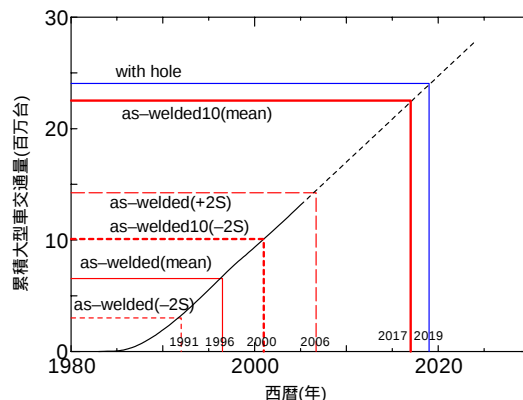


図-5 累積大型車交通量と予測結果

表-1 疲労寿命予測結果

年	Ntoe	N10
as-welded(mean-2S)	1991	2000
as-welded(mean)	1996	2017
as-welded(mean+2S)	2006	2053
ground	2116	2136
with hole	2019	2039

さらに, 今回計測した鋼橋についての現在の疲労き裂発生状況は, 約 95% の垂直補剛材に疲労き裂が発生している。図-5 と表-1 によれば, 現在は as-welded の mean+2S に相当する時期であり, 97.7% の垂直補剛材に疲労き裂が発生する時期にあたるので, 予測結果はほぼ正しいといえる。

5. まとめ

鋼床版の垂直補剛材をモデル化した疲労試験データを用いて, 実橋の疲労寿命予測の手法を示した。その結果, すみ肉溶接の止端をグラインダー処理すること, あるいは垂直補剛材に半円孔をあけて応力緩和することが, 鋼床版の垂直補剛材上端に疲労き裂が発生・進展するのを遅らせる働きがあることがわかった。

謝辞

本研究は, 名古屋高速道路の鋼床版モデルの疲労試験であり, 名古屋高速道路公社の皆様に感謝致します。

- (参考文献) 1) 日本道路協会: 鋼橋の疲労, 1997 2) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂, 1993
- 3) 高田 佳彦, 平野 敏彦, 坂野 昌弘: 阪神高速道路における鋼床版の疲労損傷状況報告, 土木学会年次講演会, 2006
- 4) 貝沼 重信, 山田 健太郎, 西岡 敬治, 中村 一平, 石井 博典: 鋼 I 桁橋の主桁上フランジと横桁の取合部の応力緩和による疲労強度向上法, 構造工学論文集, 1997