

疲労耐久性への配慮が十分でない大型鋼製フィンガージョイントの疲労試験

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)

中日本高速道路(株)

トピー工業(株)

正会員

正会員

非会員

○納土武久,小塚正博

池端信哉

海川陽一

1. 概要

伊勢湾岸自動車道では、走行性や耐震性確保を目的とした多径間連続化による大遊間に対応した伸縮装置が設置されている。近年、その中の1つである大型鋼製フィンガージョイント（以下、大型鋼製FJ）において、櫛の破断および櫛付根溶接止端部のき裂損傷が確認されている。損傷が確認された大型鋼製FJは供用開始後10年程度で、腐食損傷は確認されず、過去の損傷メカニズム¹⁾とは異なることから、損傷要因や損傷メカニズムの解明を行った。

本稿では主に、大型鋼製FJの櫛付根溶接止端部の疲労強度および疲労寿命推定のために実施した実物試験体（1.5m幅に切断）による疲労試験結果について報告する。

2. 損傷要因

伊勢湾岸自動車道は平成14年の道路橋示方書改訂より古い基準で設計されているが、先行して鋼桁本体の設計には疲労照査を導入している。しかし、付属物である伸縮装置については日本道路公団（現中日本高速道路(株)）の設計基準である設計要領改訂の過渡期であったため、大型鋼製FJの多くも現行基準と比較して細部構造などで疲労耐久性への配慮が十分でないことが確認されている。大型鋼製FJの基本形状を図-1、現行基準との比較を表-1、図-2に示す。

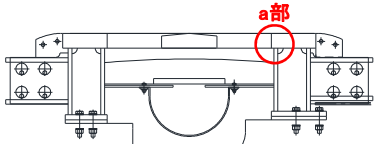


図-1 大型鋼製FJの基本形状

表-1 現行基準との比較

	伊勢湾岸建設時	現行設計基準
材質	大遊間の場合はSM520	SM400を標準（ただし、板厚が100mmを超える場合はSM520としてよい）
板厚	許容応力度に応じて低減（対象伸縮装置は84mm）	高強度鋼を使用する場合も原則100mmとして板厚低減しない
溶接仕上げ	規定なし（対象伸縮装置はダイヤフラムの位置のみ止端仕上げ）	止端仕上げ
櫛付根の半径	規定なし（対象伸縮装置は10mm）	大遊間仕様の場合20mm+面取り
ウェーブから櫛付根の距離	15mm	大遊間仕様の場合50mm
品質管理基準	明確な基準なし	のど厚、アンダーカット、さず等の有無の検査

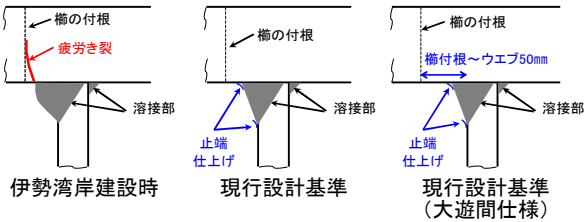


図-2 溶接部(図-1 a部)の比較

3. 疲労試験

疲労試験は櫛の破断損傷により撤去した大型鋼製FJを試験体として用い、溶接継手部の基本的な疲労性状を明らかにすること、き裂が生じていない溶接継手部に対する延命化対策として、溶接止端の円弧仕上げおよびピーニング処理の効果を検証することを目的として実施した。

試験は振動疲労試験機によって実施した。この試験機は、偏心おもりを用いてモーターの回転により遠心力を発生させ、それを載荷荷重とするものである。疲労試験概略図を図-3に示す。着目部は供用時には輪荷重によって圧縮側の片振り（応力比 $R=0$ ）となるが、試験は両振り（応力比 $R=-1$ ）で行った。

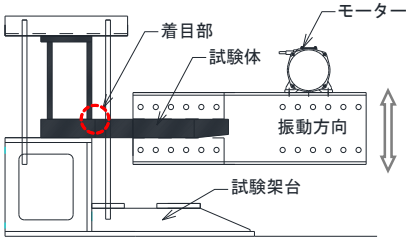


図-3 疲労試験概略

4. 疲労試験体

疲労試験体は、基本的な疲労性状を明らかにする溶接のまま（as-welded）試験体、増盛溶接を行わず既設溶接ビートを切削して5Rに仕上げた試験体、増盛溶接を行い15Rに仕上げた試験体、およびas-weldedの溶接止端近傍にピーニング処理²⁾をした試験体の4種類とした。各試験体の加工詳細を図-4に示す。

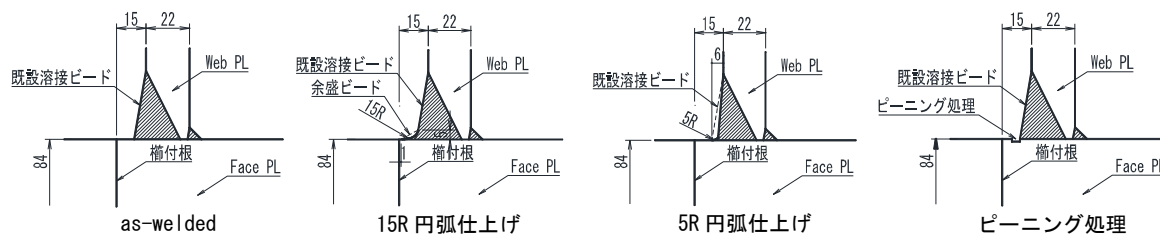


図-4 疲労試験体加工詳細（疲労試験時の向きのため現地とは上下逆）

5. 疲労試験結果

疲労試験結果は、き裂発生時 (N_{toe}) とき裂横断時 (N_{co}) の載荷回数を鋼道路橋の疲労設計指針³⁾の疲労強度等級と照らして評価した。 N_{toe} は初期き裂発生時の止端部付近ひずみゲージが初期値から10%変動した時点、 N_{co} はき裂が櫛を横断する際に角部のひずみゲージが直近の最大値から10%変動した時点とした。 N_e は試験打ち切り時点（フレッティング疲労による櫛破断：矢印なし き裂未発生：矢印あり）とし、繰返し回数300万回でき裂未発生の場合は応力範囲を上げて再度試験を行った。なお、応力範囲はウェブから92mmの位置の応力を公称応力として整理した。試験結果を図-5～図-7に示す。

(1) **as-welded**：対象継手は、非仕上げの荷重非伝達型十字継手のためE等級に区分されるが、 N_{toe} で整理した場合の疲労強度の下限値はG等級、 N_{co} で整理した場合はD等級となった。ただし、A等級も確認されており、ばらついた結果と言える。これは製作当時に品質管理基準がなかったことによる溶接止端形状や溶接品質の差によるものと考えられる。なお、き裂は全て現地と同じ溶接止端から発生した。また、試験体は累積損傷度を考慮し、路肩と走行車線からそれぞれ採取したが明確な違いは確認できなかった。

(2) **円弧仕上げ**：き裂はすべて櫛付根の側面で発生した。そのため、止端仕上げした荷重非伝達型十字継手の疲労強度等級（D等級）と直接比較はできないが、 N_{toe} で整理した場合、増盛溶接+15R仕上げはF等級、5R仕上げはC等級であった。破面観察の結果、増盛溶接した試験体では量の違いはあるが全てで内在欠陥が確認された。これらの欠陥が櫛付根の側面近傍に生じ、き裂の起点となった場合には比較的疲労強度が低い結果となった。

(3) **ピーニング処理**：切削きずよりき裂が生じていた1体を除いて疲労強度等級はA等級であった。これは溶接止端近傍の引張残留応力を打ち消す圧縮残留応力が導入されたことで、作用する引張応力が低減したためと考えられる。

6. 謝辞

本検討は、中日本高速道路(株)名古屋支社の橋梁保全検討委員会（委員長：池田尚治 横浜国立大学名誉教授）の下で実施した。実施にあたり委員長はじめ委員の方々には貴重なご意見を頂戴した。ここに感謝の意を表す。

参考文献 1) 酒井, 小野, 館石: 道路橋の鋼製フィンガージョイントの損傷メカニズム, 鋼構造論文集, 第21巻第84号, pp.9-21, 2012 2) 柿市, 石川, 山田: すみ肉溶接継手の溶接止端に発生した疲労き裂のICR処理による補修・補強, 構造工学論文集 Vol.59A, pp.665-672, 2012 3) (社) 日本道路協会: 鋼道路橋の疲労設計指針, 丸善, 2002

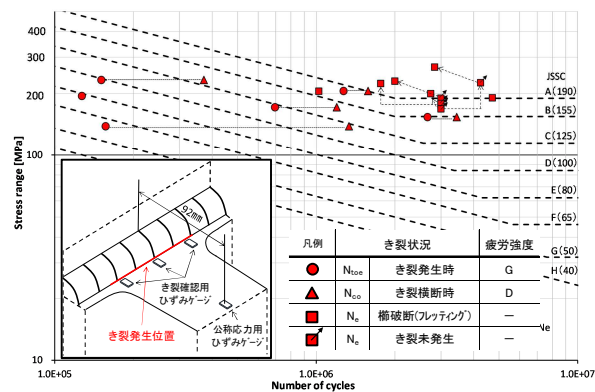


図-5 S-N 線図 (as-welded)

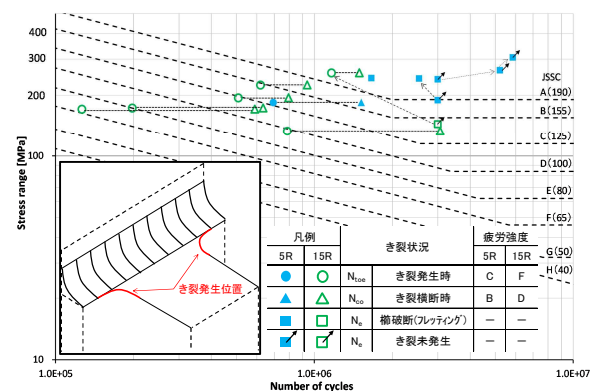


図-6 S-N 線図 (円弧仕上げ)

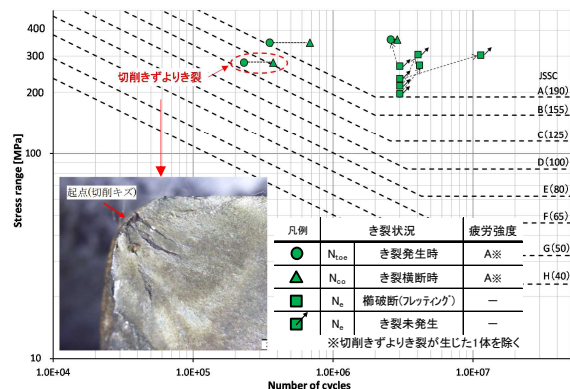


図-7 S-N 線図 (ピーニング処理)