

## 波形鋼板ウェブPC橋のすみ肉溶接重ね継手の疲労強度特性について

(株)ピー・エス 土木技術部 正会員 岡川佳史  
 (株)ピー・エス 土木技術部 正会員 花房禎三郎  
 日立造船(株) 技術研究所 ○芦田史史  
 日立造船(株) 設計本部 技術部 塩見 健

### 1. はじめに

波形鋼板ウェブPC橋は、鋼構造とコンクリート構造の特性をうまく組み合わせた合理的な複合構造として我が国においてもその実績が増えている橋梁形式である。今後さらに長スパン化、活荷重頻度の高い橋梁への適用が計画されている。

波形鋼板ウェブPC橋のウェブ鋼板相互の溶接接合方法にはすみ肉溶接重ね継手または突き合わせ溶接継手が考えられる。キャンバ調整など精度管理および現場施工の作業性などから張り出し工法の現場継手として重ね溶接継手が使用される。

しかしながらすみ肉溶接重ね継手は主要部材に適用される継手構造でないためその疲労強度に関するデータは少なく、また上下両端部のスカーラップ部の応力集中部に対する疲労強度に関するデータはない。本報告ではスカーラップ部の応力集中を回避し、疲労耐久性に優れた溶接継手の形状を提案する。また、提案する継手部の疲労実験をおこないその疲労耐久性を確認した。

### 2. すみ肉溶接重ね継手構造の検討

突き合わせ溶接は完全溶け込み溶接となり母材と同等の強度が保証され品質、信頼性が高く疲労強度も高い。しかしながらキャンバ調整量によっては開先調整に手間がかかり、溶接が多層盛りのため溶接時間を要するなど現場状況によっては適用しにくい。波形鋼板ウェブPC橋の張り出し工法におけるウェブの現場溶接継手の場合はキャンバ調整の容易なすみ肉溶接重ね継手が適しているといえる。

波形鋼板ウェブに重ね継手構造を採用する場合、スカーラップ部は応力集中を避ける形状とし、さらにスカーラップ部およびすみ肉溶接部の疲労強度を解明することが必要である。このため次の項目について検討をおこない最適継手形状を提案する。

#### (1) すみ肉溶接重ね継手のスカーラップ形状

スカーラップ部の応力集中を回避する構造としてはさまざまなパターンが考えられる。ここでは次の方針で提案形状を検討する。

- ・スカーラップ形状を小さくし応力集中を避ける。
- ・重ね幅を大きくとり応力集中部の接近を避ける。
- ・スカーラップ部の応力集中部と溶接線を離す。
- ・すみ肉溶接は全周溶接とし溶接の始末端部を残さない。
- ・応力分布の均等化を図り対称な形状とする。

上記方針のもと、図-1のように溶接線の交差角度、スカーラップ半径などをパラメータとしてせん断強制変位をあたえたFEM解析の結果(表-1)、応力集中度の少ないHP-1を最適スカーラップ形状として図-2の継手構造を決定した。

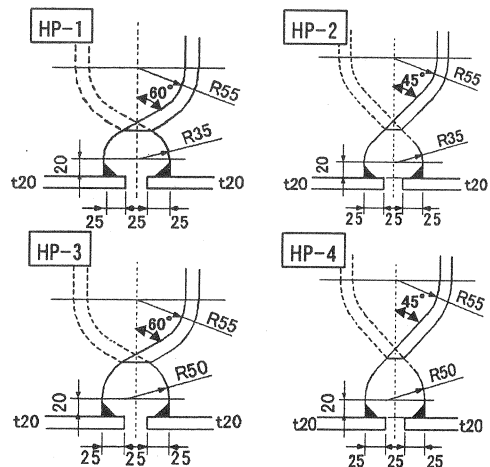


図-1 FEM解析を実施したスカーラップ構造の例

表-1 スカーラップ構造のFEM解析結果  
最大応力値 (単位: MPa)

モデル	スカーラップ内の 最大値	溶接ビード近傍の 最大値
HP-1	681	473
HP-2	794	585
HP-3	776	545
HP-4	824	584

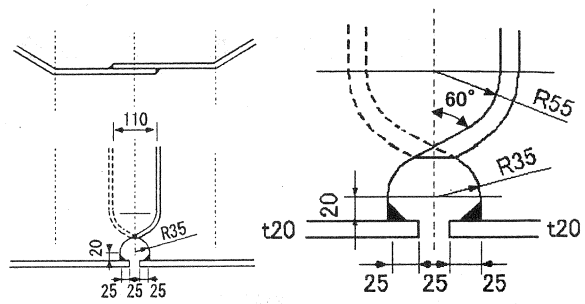


図-2 提案継手構造 (HP-1)

(2) 提案継手構造の現場施工性

提案したすみ肉溶接重ね継手の継手形状についてその施工性、品質について確認するため溶接施工試験をおこなった(写真-1)。鍋田高架橋西工事の波形鋼板ウェブPC橋の斜めウェブの断面形状を反映し外側に倒した形の状態で施工した。この結果、提案継手形状は直線部から曲線部へと連続した溶接が可能であり良好な作業性を確認できた。溶接ビードの外観も滑らかで良好であることがわかった。溶接部は染色探傷検査・磁粉探傷検査をおこない割れ等の溶接欠陥の発生のないことを確認した。また溶接部を切り出し、マクロ組織を観察したが欠陥は認められなかった。

その他、工法上の工夫として、現場施工時の波形鋼板の仮固定用のセットボルトをスタッドボルトとし、キャンパ調整後の固定、鋼板相互の密着性を確保し、かつナットが万一脱落しても桁内部にとどまり撤去する必要のない構造とした(図-3)。

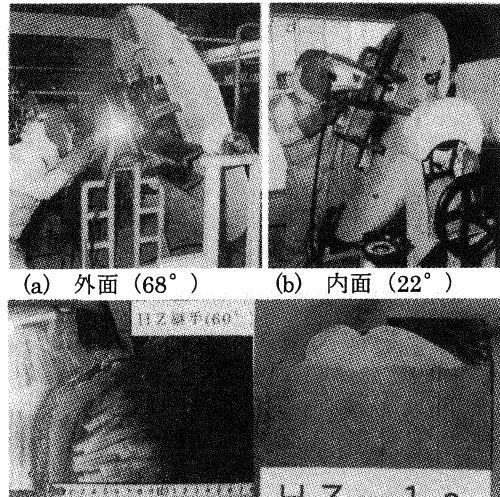


写真-1 施工試験  
(a) 外面 (68°) (b) 内面 (22°)  
(c) 溶接ビード外観 (60°) (d) 断面マクロ

3. すみ肉溶接重ね継手部の疲労強度特性

(1) 疲労試験の概要

供試体は面内せん断モデルと面外曲げモデルの2体とし、いずれもコンクリート床版を含んでいる。

図-4に供試体の模式図を示す。試験機容量の制限から供試体は縮尺モデルとし、スカーラップ周辺は実橋を想定した場合の70%のサイズとした。

実橋に適用する際には、スカーラップ周辺で溶接止端のグラインダ仕上げを施すこととしているが、供試体では溶接のままとした。これは、実橋に近い状況での疲労強度について、ばらつきを含めて十分評価できるほどの実験点数を得るには非常に時間がかかることを考慮した設定である。すなわち、止端仕上げを施した溶接継手の疲労強度は、仕上げをしない継手の平均

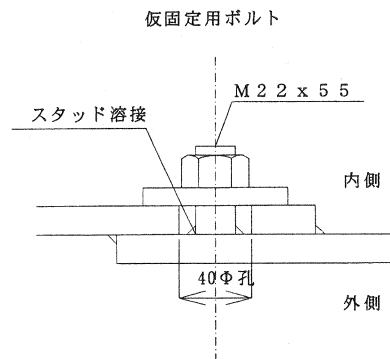


図-3 仮固定ボルト (スタッド型)

強度を経験上、下回らないことから、止端仕上げを施した溶接継手の多数の実験結果から得られる下限値の代わりに、それに相当するものとして、仕上げをしない継手の平均強度を求める事とした。

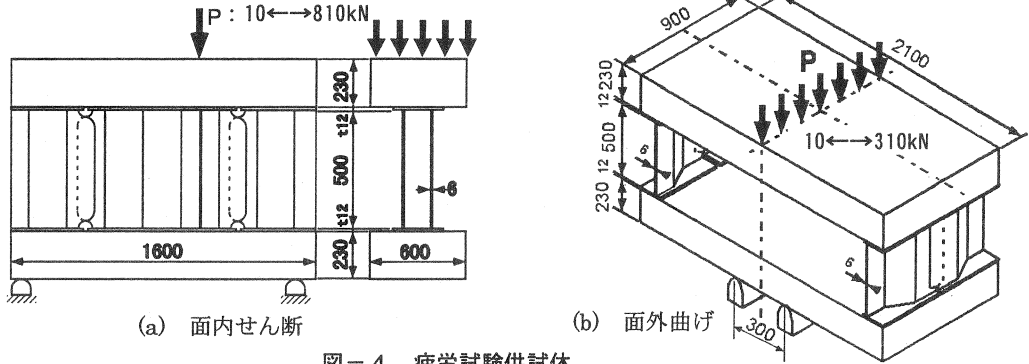


図-4 疲労試験供試体

試験には島津製作所製1000kN油圧サーボ式疲労試験機を使用した。面内せん断の場合、4箇所のスカーラップ毎に作用応力レベルが異なるよう载荷点を中央から200mmだけずらせた。面外曲げでは中央载荷である。

写真-2に疲労試験の状況を示す。

(2) 疲労試験結果

a) 面内せん断疲労試験結果

荷重変動範囲は800kNで、約220万サイクルまで負荷し、計8箇所でき裂の発生が観察された。

図-5にき裂の発生箇所を示し、表-2にそれぞれのき裂の発生繰返し数を示す。表-2中の応力範囲は、き裂発生箇所にもっとも近い計測点の計測値で、溶接ビード止端から約10mmの位置の値であり、ホットスポット応力に相当する。

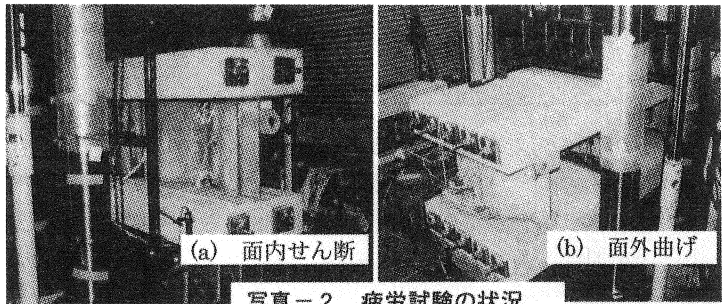


写真-2 疲労試験の状況

表-2 疲労試験結果 (面内せん断)

位置	①	②	③	④
応力範囲(計測点) $\Delta\sigma$ (MPa)	174	274	168	170
繰返し数 N ( $\times 10^5$ cycles)	6.0	7.8	9.1	9.3
位置	⑤	⑥	⑦	⑧
応力範囲(計測点) $\Delta\sigma$ (MPa)	179	237	84	76
繰返し数 N ( $\times 10^5$ cycles)	11.8	13.3	18.7	21.9

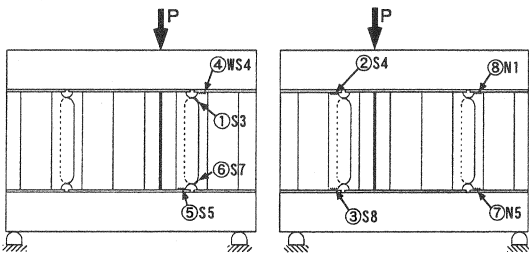


図-5 き裂発生点(面内せん断)

図-6にこれらの結果をS-N線図上にプロットして示す。比較のために(社)日本鋼構造協会(JSSC)疲労設計指針の疲労設計曲線を記入した。同図には後述する面外曲げ疲労試験の結果も併せてプロットしてある。

面内せん断疲労試験のプロット(●)はJSSCのA等級からE等級の間でばらついており、この継手のS-N線図の傾きがJSSCの設計曲線とほぼ同等と仮定すれば、平均強度はC等級の近傍にあると見られる。

従って、仕上げを施した場合の下限値はこのレベルにあると思われるが、実験点数ははまだ十分とはいえないため、当面安全側の設定として、実験結果のほぼ最低レベルに相当するE等級以上と捕らえておくこととする。

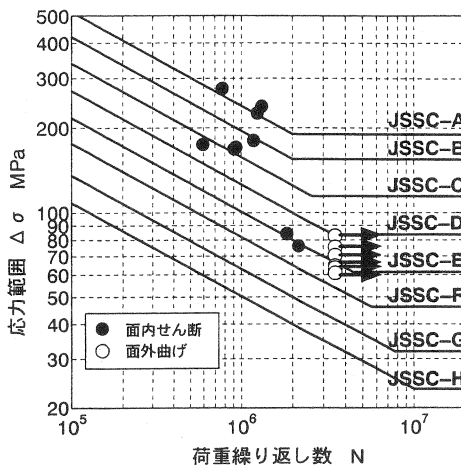


図-6 疲労試験結果 (S-Nプロット)

b) 面外曲げ疲労試験結果

面外曲げモデルについては、300 kNの荷重変動範囲を349万回まで負荷したが、き裂の発生は見られなかった。図-6中には応力変動範囲の大きい箇所から6点を白抜きのプロット(○)で示した。表-3にこれら6点の応力変動範囲を示し、図-7にそれぞれの位置を示す。各点の番号は応力変動範囲の大きい順につけた。

表-3 各位置での応力範囲 (面外曲げ)

位置	①	②	③	④	⑤	⑥
応力範囲 $\Delta\sigma$ (MPa)	82	75	70	65	63	61

60~80 MPaの応力範囲が340万回作用しても損傷が無かったことから、面外曲げについてはJSSCのD等級以上の疲労強度があると考えられる(図-6参照)。

4. まとめ

波形鋼板ウェブPC橋の重ね継手部の形状について疲労耐久性、現場溶接作業性、施工性に優れたスカーラップ形状を有するすみ肉溶接重ね継手構造を提案した。提案継手構造について溶接施工試験、疲労試験をおこないその特性を確認した。その結果次のような結論を得た。

- 1) 提案した継手構造は面内せん断でJSSC-E等級以上、面外曲げでJSSC-D等級以上の強度を有すると考えられる。ただし応力範囲はホットスポット応力として求めた値を用いる。
- 2) 提案した継手構造は溶接線が滑らかで連続的であり溶接作業性、品質とも良好である。

今後の課題は設計時に疲労に対する安全性を簡便に評価できる評価方法を提案することである。なお、この継手構造は鍋田高架橋西工事(下り線)において採用された。このときの疲労照査荷重に対する応力範囲は高々10 MPaであり、疲労耐久性に問題が無いことが明らかとなっている。

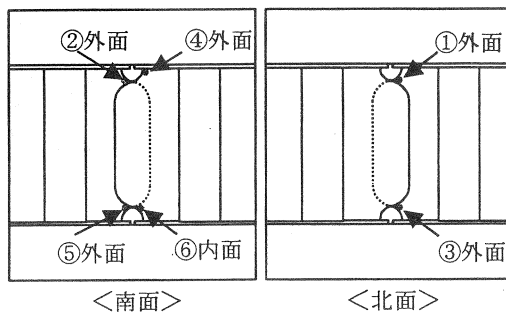


図-7 応力範囲の大きい位置 (面外曲げ)