

アタッチメント端部の形状変化と疲労寿命

名城大学 学生会員 ○柘植 章宏
名城大学 正会員 近藤 明雅

1. 背景と目的

鋼橋において、各種アタッチメントやソールプレートなどが I 形桁やボックス桁の上下フランジ、デッキプレート上面などにすみ肉溶接で取付けられる場合が多い。このような溶接継手の止端部では断面の急変部となるため、応力集中を生じ、疲労損傷の原因となることが知られている。ところが、これらのディテールは構造設計が終了した後に、施工やメンテナンスあるいは、損傷断面の補強のために取付けが決まるため、たとえ橋梁全体が疲労照査された場合でも、この継手部位では疲労損傷が発生する可能性がある。本研究では、図1のようなアタッチメントを有する I 形桁について、アタッチメント端部形状を変更することによって、すみ肉溶接止端部の応力集中を緩和させることを目的とし、有限要素法を用いて応力集中係数を算定、検討した。そして、応力集中の改善によって疲労寿命を評価するため、破壊力学の手法を用いた亀裂進展解析を行う。

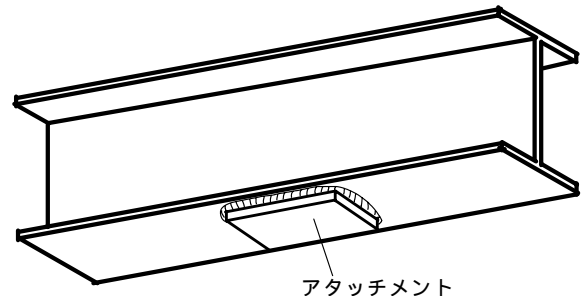


図1 アタッチメントを有する I 形桁

2. FEM 解析（一次解析）

(a) 解析方法 解析プログラムには汎用プログラム MSC/NASTRAN を使用した。I 形桁試験体は 2 軸対称であるので 1/4 を解析対象とした。要素は立体ソリッド要素を使用した。要素の最小寸法は $1 \times 4.5 \times 1 \text{ mm}$ とした。材料定数はヤング係数 $E = 200 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした。継手の形状による影響を考察するため、溶接部は止端角 $\theta = 45^\circ$ 、止端半径 $\rho = 0$ とした。アタッチメントとフランジの間には肌隙 0.1 mm を与えた。

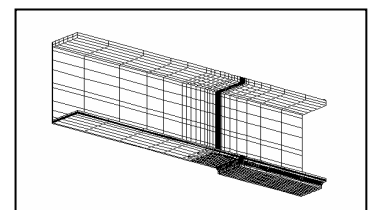


図2-1 解析モデルメッシュ

(b) 解析モデル 検討したアタッチメント端部形状を図2-1に示す。試験体の基本モデル寸法を図2-2に示す。

端部が矩形のモデルを B シリーズ (B-600, B-300)。(基本形状)

端部に窪みをつけたモデルを H シリーズ (H-600, H-300)。(窪み形状)

端部に窪みと段差をつけたモデルを SH シリーズ (SH-600, SH-300)。(段差 + 窪み形状)

(c) 解析結果 図2-3に B, H, SH シリーズの応力分布図を示す。縦軸に応力集中係数 K_t 、横軸はフランジ板幅方向に端を 0 とした中央までの距離である。B シリーズは中央に向かって応力集中が高い傾向にある。B-600 を基準として最大値を比較すると、

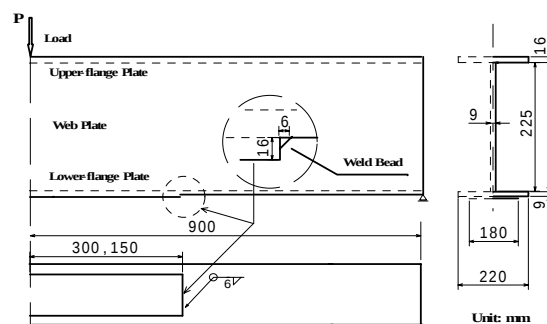
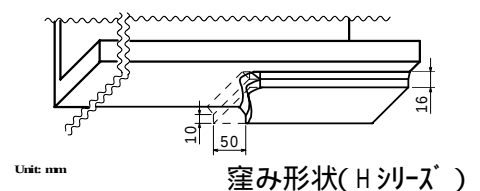
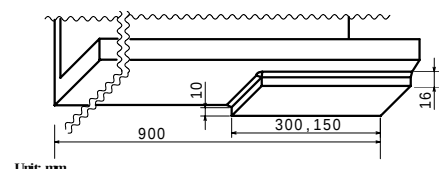


図2-2 基本モデル寸法



段差 + 窪み形状 (SH シリーズ)

キーワード アタッチメント、応力集中、疲労強度、疲労寿命、溶接

連絡先 〒492-8212 愛知県稲沢市小沢三丁目 11-2 TEL 0587-32-7509

H-600 では約 20%, SH-600 では 28%の低下となった。同様に 300mm の場合も B-300 を基準として比較すると、H-300 では 21%の、SH-300 では 34%の低下となった。また、B シリーズで顕著であった中央の応力集中が緩和された。さらに、B シリーズで比較すると、B-600 と B-300 で 11%の低下となった。

3.FEM 解析（二次解析）

(a)解析方法 亀裂進展解析を行うにあたって、止端形状を考慮した板厚方向の応力分布が必要である。そこで一次解析の最も応力集中の高かった部分を取り出し、その結果から得た節点変位を強制変位として二次解析モデルに与え解析を行う。二次解析は一次解析の解析結果から応力集中の最も高い溶接部を取り出し、要素分割をさらに細かくして解析を行った。要素の最小寸法は $0.02 \times 0.02 \times 4.5\text{mm}$ とし、二次解析では止端形状を考慮し、止端半径 $\rho = 0.2\text{mm}$ 、止端角 $\theta = 45^\circ$ とした。

(b)解析結果 解析結果を図 3 に示す。縦軸に応力集中係数 K_t 、横軸は板厚方向に溶接止端部からの深さである。一次解析と同様に、B-600 を基準として最大値を比較すると H-600 で 19%, SH-600 で 23%の低下となった。また、B-300 では H-300 で 15%, SH-300 で 27%の低下となった。

4.亀裂進展解析

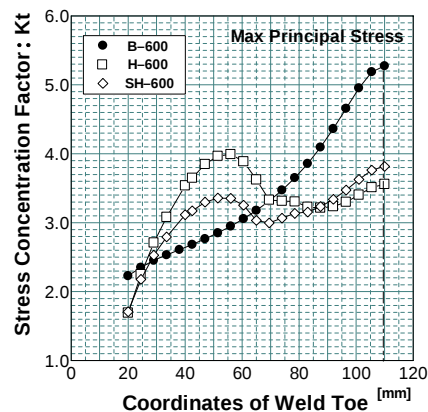
初期亀裂深さ a_0 から最終亀裂深さ a_f まで半楕円亀裂を仮定し進展解析を行った。 $a_0 = 0.05\text{mm}$ 、 $a_f = \text{板厚の } 100\%$ 、亀裂形状比 $b/a = 3$ とした。

JSSC の疲労設計指針で定める最安全設計 ($C=2.7 \times 10^{-11}$, $m=2.75$, $\Delta K_{th}=2.0$) と平均設計曲線 ($C=2.7 \times 10^{-11}$, $m=2.75$, $\Delta K_{th}=2.9$) を用いた場合の各モデルの 200 万回疲労強度を図 4-1、疲労限を図 4-2 に示す。アタッチメント長 600mm で、B-600 を基準として 200 万回疲労強度を比較すると H-600 で 26%, SH-600 で 24%の向上、300mm では H-300 で 22%, SH-300 で 32%、疲労限では、600mm では H-600 で 22%, SH-600 で 23%, 300mm では H-300 で 18%, SH-300 で 30%の向上となった。

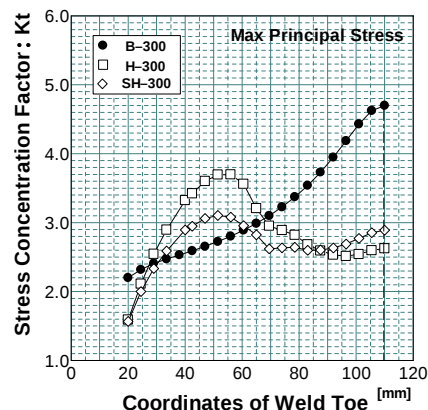
5.まとめと今後の予定

応力集中の低減効果は窪み形状、段差 + 窪み形状のモデルでもあることがわかった。改善率は B シリーズを基準としてそれぞれのシリーズを比較すると約 20%以上の疲労強度の向上が見られた。

以上の解析結果を含め今後、疲労試験を行い解析結果との比較検討を行っていく。

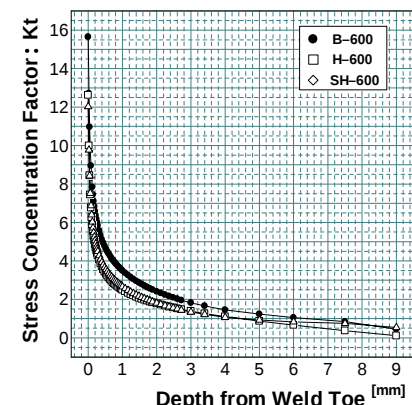


アタッチメント長 600mm

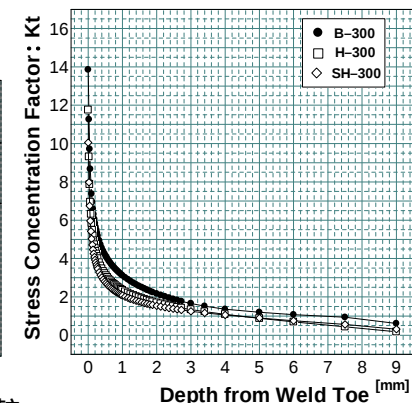


アタッチメント長 300mm

図 2-4 溶接止端の応力分布



アタッチメント長 600mm



アタッチメント長 300mm

図 3 板厚方向の応力分布

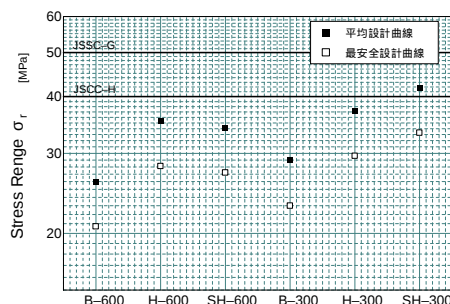
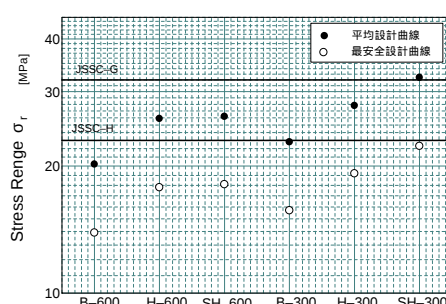
図 4-1 各モデル 200 万回
疲労強度の比較

図 4-2 各モデルの疲労限の比較