

アタッチメント端部の形状変化と応力集中

名城大学

○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、FEM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。

2. FEM 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 $1 \times 5 \times 1 \text{ mm}$ 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。

(b) 解析モデル

試験体の基本モデル寸法を図2-2に示す。検討したアタッチメント端部形状を図2-3に示す。

- ① 端部が矩形のモデルを Type1. (基本形状)
- ② 端部に窪みをつけたモデルを Type2. (窪み形状)
- ③ 端部に窪みと段差をつけたモデルを Type3. (段差+窪み形状)

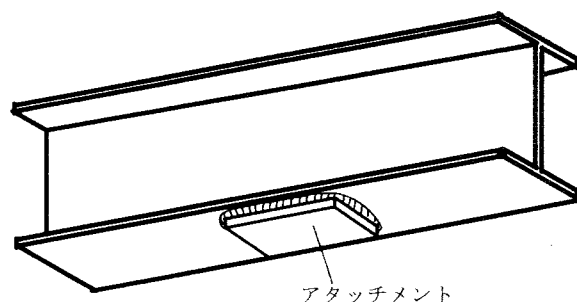
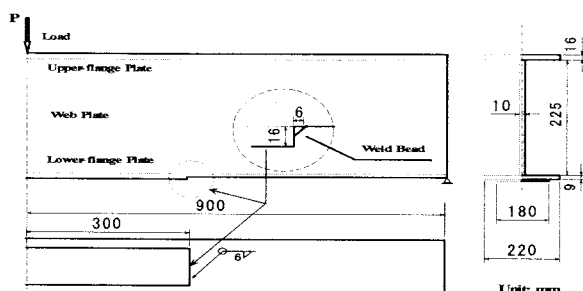


図1 アタッチメントを有するI形桁

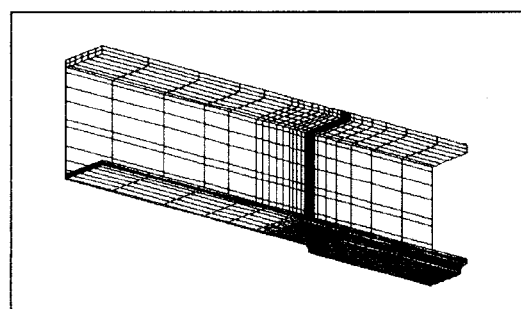


図2-1 解析モデルメッシュ

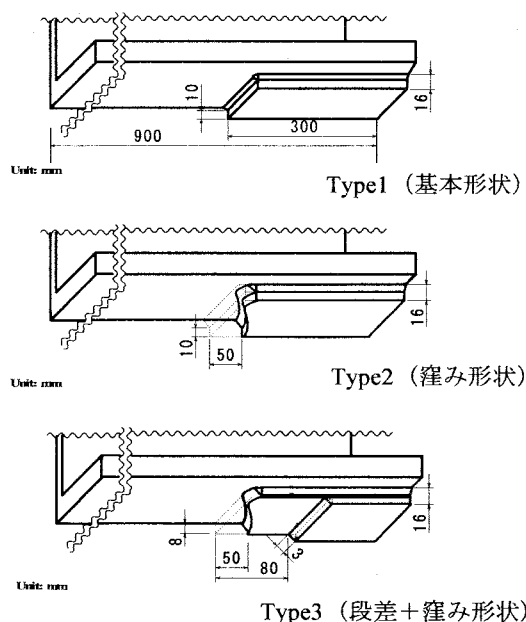


図2-3 アタッチメント端部形状

(c) 解析結果

図2-4にType1とType2、Type3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。Type1とType2の比ると最大応力集中係数を比べると13.7%さらに、Type1とType3とでは18.0%の低減が見られた。窪み形状とすることによってType1で顕著であった中央部での応力集中が低下している。

3. 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**2. FEM 解析**の解析結果を一次解析として、一次解析の一部を取り出し、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 $0.02 \times 0.02 \times 5\text{mm}$ 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

Type1の解析結果を図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。Type1の最大応力集中係数は18.1となった。

4. 亀裂進展解析

(a) 解析方法

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。亀裂進展速度式は次式を用いた。

$da/dN = C \cdot (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$ ここに、 C 、 m は材料定数、 a は亀裂長さ、 N は繰返し数、 ΔK_{th} は下限界応力拡大係数範囲とし、応力拡大係数 ΔK は次式で求めた。 $\Delta K = F_s \cdot F_e \cdot F_t \cdot F_g \cdot \Delta \sigma \sqrt{\pi a}$ 、 $\Delta \sigma$ は公称応力範囲、 F_s 、 F_e 、 F_t 、 F_g はそれぞれ表面亀裂、亀裂形状、有限板厚、応力集中に対する補正係数である。 $a_0 = 0.05\text{mm}$ 、 $a_f = \text{板厚の} 100\%$ 、亀裂形状比 $b/a = 3$ とした。

(b) 解析結果

Type1の解析結果を図7に示す。Type1の200万回疲労強度は平均設計83.0MPa、最安全設計64.1MPa、疲労限は平均設計74.9MPa、最安全設計51.7MPaとなった。

5. まとめ

本研究で扱ったアタッチメントについて、溶接止端応力集中の低減効果について以下にまとめる。

- ① 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。
- ② 改善割合はType1（基本形状）と比較するとType2（窪み形状）では13.7%、Type1（基本形状）とType3（段差+窪み形状）では18.0%の改善が見られた。

今後、残りのモデル（Type2, Type3）についても二次解析、亀裂進展解析を行い、上記の応力集中低減効果が疲労寿命にどの程度影響するか検討していく。

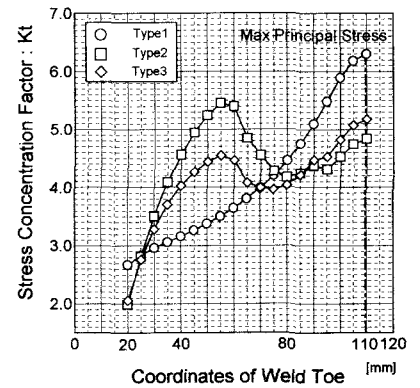


図2-4 溶接止端の応力分布

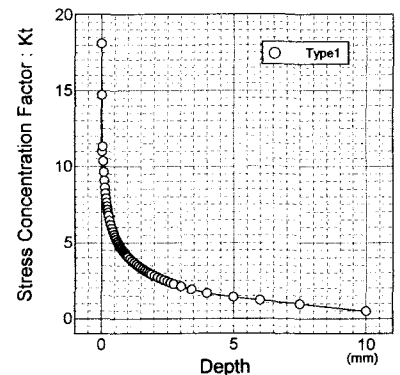


図3 板厚方向の応力分布

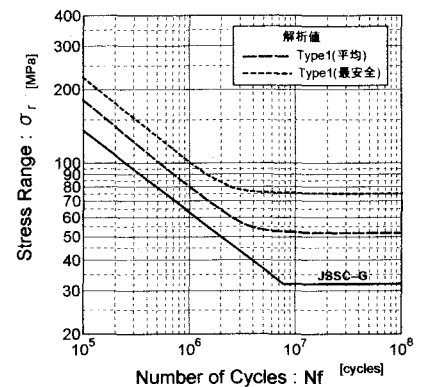


図4 Type1のS-N線図