

I形桁に取付けたカバープレート端部形状と疲労強度

名城大学 学生会員 稲垣浩二 学生会員 島田信行
 名城大学 学生会員 小野章之 正会員 近藤明雅
 名城大学 真野浩輔

1. 背景と目的

近年、道路橋において疲労損傷が報告されている。カバープレート溶接継手は、プレートガーダーのフランジにすみ肉溶接によって取付けられるため溶接止端部で応力集中を生じ、疲労強度が低下する。道路橋においては比較的短いカバープレート（アタッチメント）がメンテナンス用設備の取付けや損傷断面の補強などのため用いられる場合が多く、これらのアタッチメントは設計後取付けが決まるため、取付け部の疲労強度は設計時には考慮されていないのが実状である。これらの継手部位では疲労損傷が生じる可能性が高いため、疲労強度を向上させる必要がある。本研究では疲労強度に影響を及ぼす因子のなかで、応力集中とくに継手の全体形状による局部応力に着目し、カバープレートを取付けた引張形モデル（図1）とI形桁モデル（図2）の応力解析をFEMを用いて行った。カバープレート溶接止端部の応力集中を算出し、各種寸法と応力集中の関係を明らかにするとともに、カバープレート溶接止端部の応力集中を改善できるようなカバープレート端部形状を検討した。そして、破壊力学による疲労き裂進展解析によってそれらの疲労強度評価を行った。

2. FEM解析

(a) 解析方法

解析プログラムには汎用有限要素法解析プログラム *NASTRAN* を使用した。引張形モデルは3軸対称であるので1/8を、I形桁モデルは2軸対称であるので1/4を解析の対象とした。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、応力集中係数 K_t を求めるため、引張応力および曲げ応力が溶接止端部で 1 N/mm^2 となるように荷重を与えた。継手の形状および寸法による影響を考察するため、溶接部は止端角 $\alpha = 45^\circ$ 止端半径 $r = 0$ とした。カバープレートとフランジの間には肌隙 0.1 mm を与えた。引張形モデルの基本モデル寸法を図3、I形桁モデルの基本モデル寸法を図4に示す。検討したI形桁のカバープレート端部形状を図5に示す。矩形のモデルを *BR* とする。（引張形モデルの矩形モデルは *TR* とし図6に示す）

(b) 解析結果

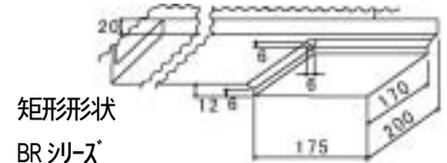
図7に引張と曲げの溶接止端部応力分布を比較する。縦軸は溶接止端部の応力集中係数 K_t 、横軸は主板



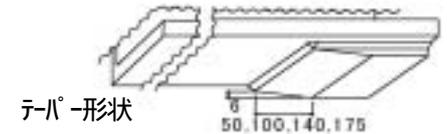
図1 引張形モデル



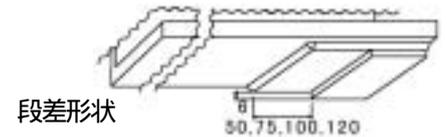
図2 I形桁モデル



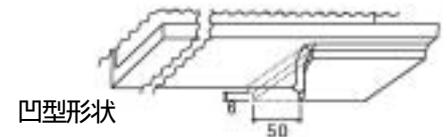
矩形形状
BRシリーズ



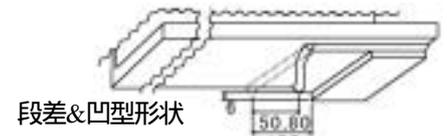
テーパ形状
BTシリーズ



段差形状
BSシリーズ



凹型形状
BCシリーズ



段差&凹型形状
BSCシリーズ

図5 カバープレート端部形状（曲げ）

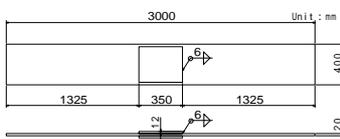


図3 引張形モデル寸法

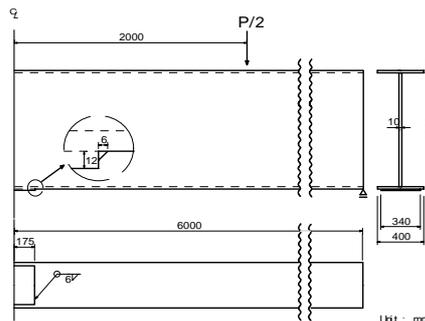


図4 I形桁モデル寸法

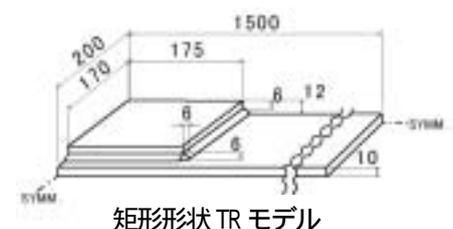


図6 カバープレート端部形状（引張）
矩形形状 TR モデル

またはフランジ板幅方向の座標をとった。曲げ試験体はフランジとウェブの交差部で大きくなった。ウェブの影響により引張形モデルとは異なった応力分布をしている。 K_t の最大値は曲げ試験体が約35%高かった。端部形状を変更したときの応力分布を図8で示した。比較を行ったモデルはBRを基準としてBT-100、BS-100、BC-50、BSC-80とした。 K_t の最大値はBRと比較してBT-100が4%、BS-100が18%、BC-50が約20%、BSC-80が約29%低下した。段差形状と凹型形状は溶接止端応力集中の改善効果があることがわかった。応力分布形については、矩形の場合はウェブとフランジの交差部で K_t が高かったが、凹型形状は交差部で大きく減少し、止端全体に応力分布を広げる効果があった。テーパ形状と段差形状の分布形は矩形とほとんど同じであったが、段差形状はテーパ形状に比べ交差部の低下が大きかった。

3. き裂進展解析

(a) 解析方法

初期き裂深さ a_0 から最終き裂深さ a_f まで半楕円き裂を仮定しき裂進展解析を行った。き裂進展速度式には次式を用いた。 $da/dN = C(K^m - K_{th}^m)$ ここに、 $C \cdot m$ は材料定数、 a はき裂長さ、 N は繰返し数、 K_{th} は下限界応力拡大係数範囲として、応力拡大係数 K は次式を用いて求めた。 $K = F_s \cdot F_e \cdot F_t \cdot F_g \cdot \sqrt{a}$ 、 K は公称応力範囲、 F_s 、 F_e 、 F_t 、 F_g はそれぞれ表面き裂に対する補正係数、き裂形状に対する補正係数、有限板厚に対する補正係数、応力集中に対する補正係数である。 $a_0 = 0.05 \text{ mm}$ 、 $a_f = \text{板厚の } 85\%$ 、き裂形状比 $b/a = 3$ とした。

(b) 解析結果

JSSCの疲労設計指針で定める最安全設計曲線($C = 2.7 \times 10^{-11}$ 、 $m = 2.75$ 、 $K_{th} = 2.0$)と平均設計曲線($C = 1.5 \times 10^{-11}$ 、 $m = 2.75$ 、 $K_{th} = 2.9$)を用いた場合の各モデルの200万回疲労強度を図9、疲労限を図10に示す。JSSCが定めるカバープレート溶接継手の強度等級もあわせて示した。本研究で用いたカバープレートの形状寸法は引張形モデルでG等級(200万回疲労強度は50MPa)と定められており、曲げモデルの規定はない。TRは平均設計曲線でG等級を満たしているが、BRはH等級となった。端部形状を変更した場合の200万回疲労強度はBRモデルと比較をしてBT-100が2.3%、BS-100が9.3%、BC-50が約6.2%、BSC-80が約30.4%向上する結果となり、疲労限はBT-100が3%、BS-100が18.1%、BC-50が約16.6%、BSC-80が約40.7%向上する結果となった。

4. 結論

応力集中の低減効果はテーパ形状、段差形状、凹型形状のどのモデルにもあることがわかった。その改善の割合は矩形のモデルと比較をしてみるとテーパ形状、段差形状、凹型形状の順に大きかった。さらに段差形状と凹型形状を組合せた場合については約3割の改善がみられた。

疲労強度については、応力集中の改善により200万回疲労強度および疲労限の向上がみられた。段差形状と凹型形状は疲労限(平均設計曲線)がH等級からG等級に上げることができ、段差と凹型を組合せた形状は200万回疲労強度と疲労限(平均設計曲線)でH等級からG等級に上げることができる。

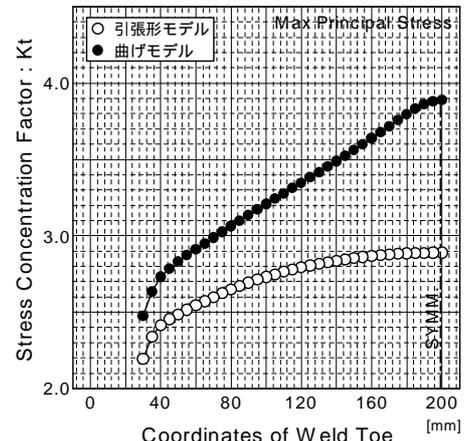


図7 TRとBRの溶接止端応力分布

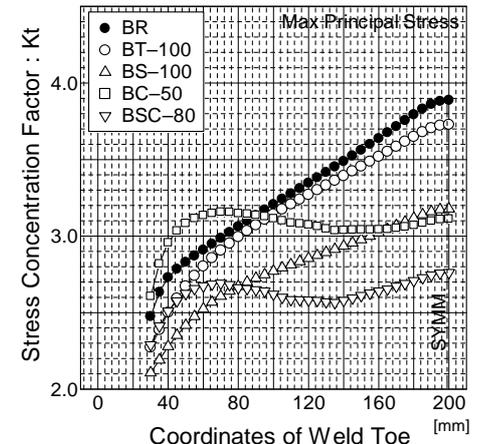


図8 カバプレートの端部形状変化と応力分布

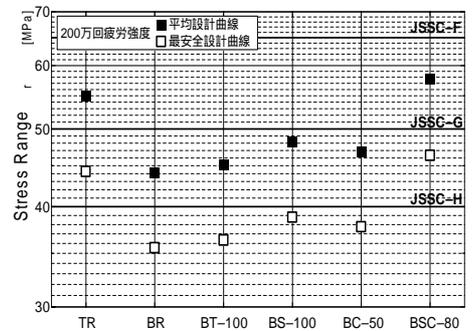


図9 各モデルの200万回疲労強度の比較

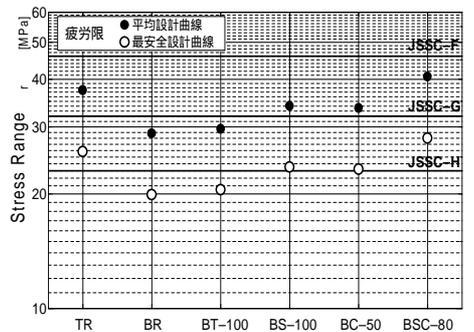


図10 各モデルの疲労限の比較