

鋼製橋脚隅角部 3 線溶接交差補修部の疲労強度評価法の検討

法政大学 正会員 ○森 猛 首都高速道路(株) 梶原 仁、神田 信也

1. はじめに

現在、首都高速道路を中心として、鋼製橋脚隅角部の 3 線溶接交差部に生じた疲労き裂をコア抜きにより除去し、せん断遅れによる応力集中をあて板補強部材により低減する、補修・補強工事が行われている。しかし、補修部の安全性を照査するために不可欠な疲労耐久性評価法が十分に確立されているとは言えない。コア抜きされた部分は、写真 1 に示すように、十字溶接継手にモデル化できる。この部分の板厚、溶接形状や溶接溶込みは対象とする橋脚や部位により異なり、作用する応力も異なる。本研究では、これらをパラメーターとした疲労き裂進展解析を行うとともに、その結果を利用して補修部の疲労強度評価式を提案する。

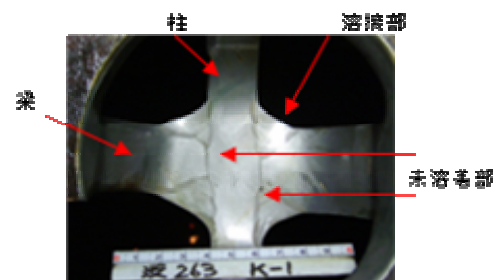


写真 1 コア抜きした 3 線溶接交差部

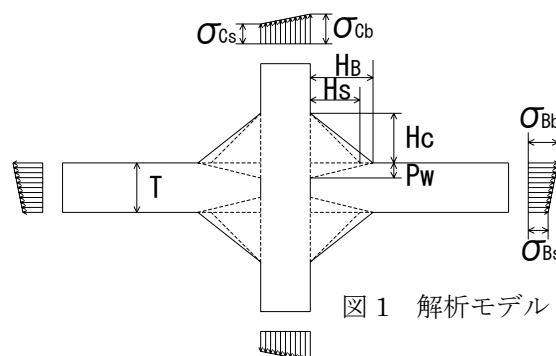


図 1 解析モデル

2. 解析モデルと方法

補修された 3 線溶接交差部を、図 1 に示すように十字溶接継手にモデル化した。ここで対象としたパラメーターは、板厚 T 、溶接サイズと板厚の比 H_s/T 、溶込み深さと板厚の比 P_w/T 、梁側の脚長と溶接サイズの比 H_b/H_s 、柱側の脚長と溶接サイズの比 H_c/H_s 、柱の板厚と梁の板厚の比 T_c/T_b 、さらに梁表裏面に作用する応力の比 σ_{Bs}/σ_{Bb} 、柱の応力と梁の応力の比 σ_c/σ_B 、柱表裏面に作用する応力の比 σ_{cs}/σ_{cb} 、柱表裏面に作用する応力の最大値と梁表裏面に作用する応力の最大値の比 σ_{cb}/σ_{Bb} である。疲労き裂進展解析には汎用き裂進展解析コード FRANC2D を用いた。

3. 疲労強度に及ぼす諸因子の影響

解析より求めた 200 万回疲労強度 $\Delta\sigma_{200}$ と T 、 H_s/T 、 σ_{Bs}/σ_{Bb} の関係を図 2～図 4 に示す。いずれの溶接サイズにおいても、200 万回疲労強度は板厚の 1/6 乗に反比例して低下している。また、いずれの板厚においても、疲労強度は H_s/T が 0.5 以上では一定、0.5 以下では H_s/T が小さくなるにしたがって高くなっている。

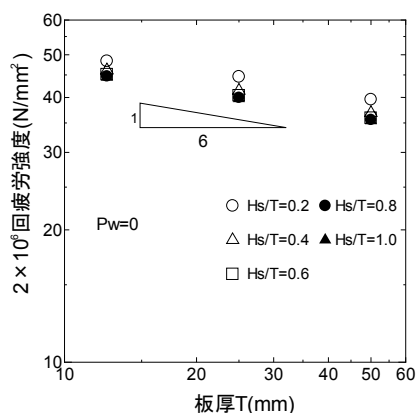


図 2 板厚の影響

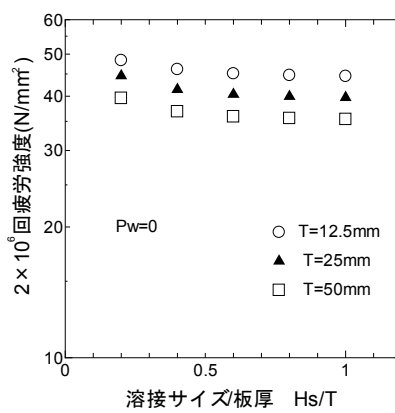


図 3 溶接サイズの影響

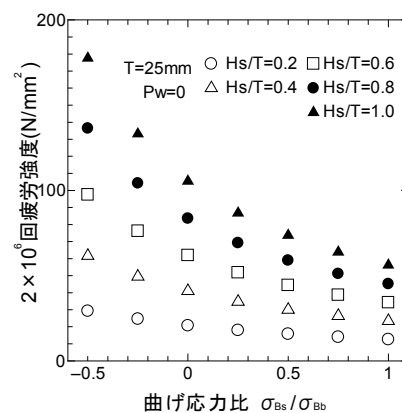


図 4 曲げ応力比の影響

キーワード 鋼製橋脚隅角部、コア抜き補修部、疲労亀裂進展解析、疲労耐久性評価、未溶着部

連絡先 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2 法政大学都市環境デザイン工学科 TEL 042-387-6279

そして、いずれの溶接サイズにおいても、疲労強度は曲げ応力比が小さくなるにしたがって、放物線的に増加している。他のパラメーターについても、200 万回疲労強度に対する影響を整理した。

4. 疲労強度評価式の検討

3 章で整理した各因子が疲労強度に及ぼす影響を利用して、図 5 に示す手順で $\Delta \sigma_{t200}$ (梁フランジ表面の応力範囲で整理した 2×10^6 回疲労強度) を求める式を導いた。例えば、曲げ応力比 σ_{Bs}/σ_{Bb} の影響は無次元化疲労強度を用いて以下のように整理した。無次元化疲労強度とは、板厚 $T=25\text{mm}$ 、溶込み深さ $Pw=0$ における $\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb}=-0.5 \sim 1$ の 200 万回疲労強度を $\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb}=1$ の 200 万回疲労強度で除したものである。図 6 に無次元化疲労強度と曲げ応力比の関係を示す。図中の実線は、最小自乗法により求めた Hs/T ごとの回帰曲線である。これらの回帰曲線を利用すれば、曲げ応力比が疲労強度に及ぼす影響は、(無次元化疲労強度) $= \alpha \times (\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb} - 1)^2 + 1$ (ただし、 $\alpha = 0.931 \times (Hs/T)^{0.263}$ 、 $-0.5 \leq \sigma_{Bs}/\sigma_{Bb} \leq 1$ かつ $0.2 \leq Hs/T \leq 1$ とする。) と定式化することができる。同様に各パラメーターの影響を定式化し、以下の疲労強度評価式を導いた。図 7 は、任意の 150 のモデルに対して、ここで提案する疲労強度評価式から求めた 200 万回疲労強度と疲労き裂進展解析から求めた 200 万回疲労強度を比較したものである。

$$\Delta \sigma_{t200} = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 \times \varepsilon_3 \times \varepsilon_4 \times \Delta \sigma_{tmf200} \quad \left(\begin{array}{l} 0.2 \leq Hs/T \leq 1 \\ -0.5 \leq \sigma_{Bs}/\sigma_{Bb} \leq 1 \\ -2 \leq \sigma_c/\sigma_B \leq 1 \\ 0 \leq \sigma_{cb}/\sigma_{Bb} \leq 1 \end{array} \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_1 = 0.931 \times (Hs/T)^{0.263} \times (\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb} - 1)^2 + 1 \\ \varepsilon_2 = 0.118 \times (Hs/T)^{0.756} \times (\sigma_c/\sigma_B) + 1 \\ \varepsilon_3 = 0.644 \times (\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb} - 1)^2 + 1 \\ \varepsilon_4 = \left[-0.26 \times (\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb})^2 + 0.0978 \times (\sigma_{Bs}/\sigma_{Bb}) \right] \times (\sigma_{cb}/\sigma_{Bb}) + 1 \end{array} \right.$$

$$\Delta \sigma_{tmf200} = \frac{2 \times a_{mf}}{T} \times \Delta \sigma_{a200} \quad \left[\Delta \sigma_{a200} = 40 \text{ (N/mm}^2\text{)} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Pw \geq 0 \text{ のとき } a_{mf} = \left(\frac{Hs}{\sqrt{2}} + Pw \right) \times \alpha \times \left[\frac{25}{2.10 \times [T - 2 \times Pw]^{0.843}} \right]^{1/6} \\ Pw \leq 0 \text{ のとき } a_{mf} = \left(\frac{Hs + Pw}{\sqrt{2}} \right) \times \alpha \times \left[\frac{25}{0.307 \times [T - 2 \times Pw]^{1.37}} \right]^{1/6} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha = 0.464 \times (H_B/Hs) + 0.536 & 1.0 \leq H_B/Hs \leq 2.0 \\ \alpha = 0.099 \times (Hc/Hs) + 0.901 & 1.0 \leq Hc/Hs \leq 2.0 \end{array} \right.$$

(基準モデル: $Pw=0$, $T=25\text{mm}$, $H_B/Hs=Hc/Hs=1.0$)

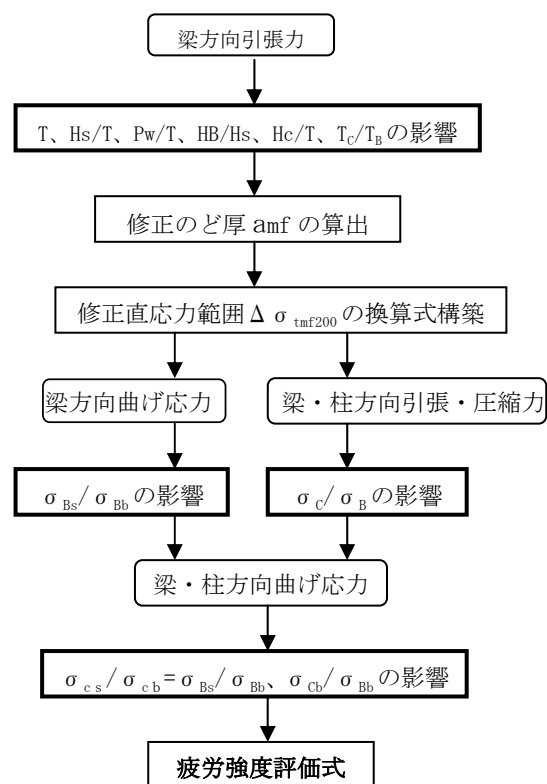


図 5 定式化の手順

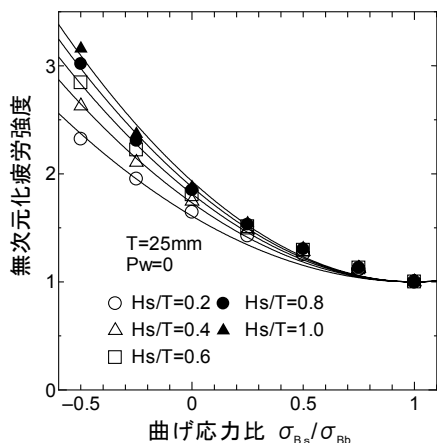


図 6 無次元化強度と曲げ強度の関係

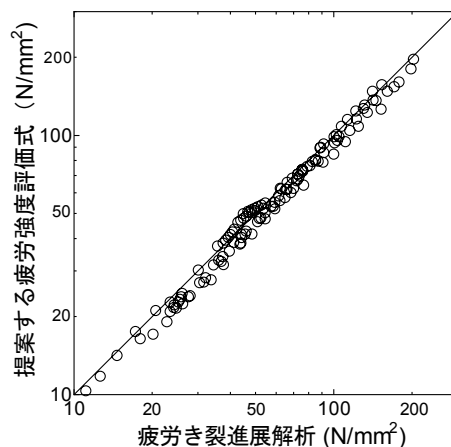


図 7 2×10^6 回疲労強度