

# 800MPa 級高強度鋼軟質継手部の局部ひずみに基づく疲労強度評価

岐阜大学 正会員 木下幸治

## 1. はじめに

高強度鋼材の鋼橋への利用は鋼重の低下や製作コストの低減など大きな効果が期待できる。高強度鋼材の効果的な利用方法として、高強度鋼材と普通鋼材を用いた異種鋼材ハイブリット桁が挙げられ、特に 700MPa 級高強度鋼材以上では大きな効果が期待される。一方、異種鋼材ハイブリット桁の溶接部は材料強度が不均質な状態であり硬質または軟質継手となる。道路橋示方書では強度の異なる鋼材を溶接する場合、低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料を用いることと規定されている。これより、普通鋼材の強度に合わせ溶接材が選定されると高強度鋼材側は軟質継手となるため、今後、高強度鋼の適用拡大を目指す上で軟質継手の力学的特性評価が必要となる。特に鋼橋では局部的に軟質部が先行して降伏することに伴う高いひずみ集中による疲労破壊が懸念される。

現在までに、著者らの研究<sup>1)</sup>を含め 570MPa 級高強度鋼軟質継手の疲労強度が示されるとともに、局部ひずみに基づいた疲労強度評価の有効性が確認されている<sup>2)</sup>。しかし、700MPa 級高強度鋼以上の軟質継手へのその評価の有効性は明らかではなく、どの程度の精度により評価可能か明確とする必要がある。

本研究は、800MPa 級高強度鋼軟質継手の局部ひずみを基準とした疲労強度評価の有効性を明確にするために、著者らの既往研究<sup>3)</sup>で得た 800MPa 級高強度鋼材軟質継手の疲労試験結果を、Effective Notch Strain (ENS) コンセプトに基づいて提案された式 (1)<sup>2)</sup>により求めた局部ひずみを用いて評価した。

## 2. 既往の試験結果<sup>3)</sup>

図-1 に試験体の形状および寸法を示す。試験体の溶接継手は荷重伝達型の十字すみ肉溶接継手とした。溶接は被覆アーク溶接を用いて 3 層盛とし、一層目の溶接材料を変えた。溶接姿勢は下向きとし、目標脚長 8mm とした。なお、目標脚長で溶込み深さを考慮しないのど断面を設計のど断面とする。表-1 に母材および溶接材料の降伏強度と引張強度を示す。母

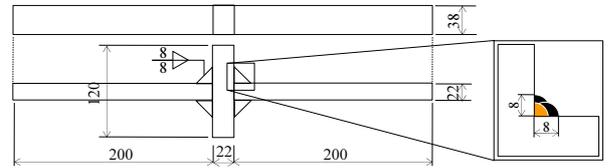


図-1 試験体の形状および寸法

表-1 母材、溶接材料の降伏強度と引張強度

		降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)
母材	WEL-TEN780E	814	895
	G-200	390	450
溶接材料	L-55	480	550
	L-80	740	830

表-2 試験体一覧

試験体名	溶接材料	軟質化の程度*1	設計のど断面 応力範囲(MPa)	破断溶接部の実のど 断面応力範囲(MPa)
U-50-a	G-200	-50%	442	392
U-50-b				454
U-50-c				561
U-50-d			349	340
U-50-e				310
U-50-f				296
U-40-a	L-55	-40%	442	544
U-40-b				391
U-40-c				394
U-40-d			349	339
U-40-e				365
U-40-f				340
U-10-a	L-80	-10%	442	442
U-10-b				368
U-10-c				505
U-10-d			349	431
U-10-e				282
U-10-f				243

\*1 母材の降伏強度を基準とする

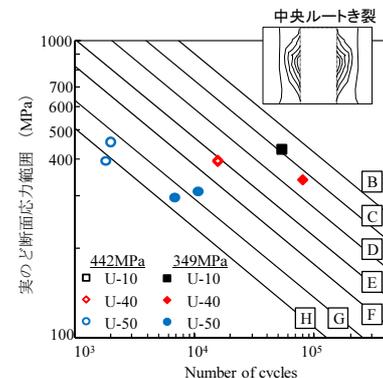


図-2 疲労試験結果 (破断時)

材には板厚 22mm の WEL-TEN780E (JIS G 3128 SHY685) を用いた。溶接材料は母材の降伏強度に対して 50%程度降伏強度の低い G-200 (JIS Z3211 D4301)、40%程度降伏強度の低い L-55 (JIS Z3212 D5016)、および 780 級高強度鋼用溶接材料 L-80 (JIS Z3212 D8016) とした。試験体一覧を表-2、試験結果例を図-2 に示す。図-2 のように軟質化の程度が大きくなるに従い疲労強度が低下することが確認できた。

### 3. 局部ひずみの評価方法

Saiprasertkit ら<sup>2)</sup>は、ENS コンセプトに基づき (図-3 参照)、荷重伝達型十字継手ルート部の局部ひずみ算出のために次式を提案した。

$$\Delta\varepsilon_{\text{eff}} = K_e \times K_p \times \Delta\varepsilon_n \quad (1)$$

$$K_e = \frac{\Delta\varepsilon_e}{\Delta\varepsilon_n} = \frac{\sigma_{\text{max}}}{\sigma} = 2M_k \sqrt{\frac{a}{\rho}} \sqrt{\sec \frac{\pi a}{w}} \quad (2)$$

$$K_p = \frac{\Delta\varepsilon_{\text{eff}}}{\Delta\varepsilon_e} = \alpha + \beta(\Delta\varepsilon_e)^{-1} \quad (3)$$

$$M_k = A_0 + A_1(2a/w) + A_2(2a/w)^2$$

$$A_0 = 0.956 - 0.343(H/t_p)$$

$$A_1 = -1.219 + 6.210(H/t_p) - 12.220(H/t_p)^2 + 9.704(H/t_p)^3 - 2.741(H/t_p)^4$$

$$A_2 = 1.954 - 7.938(H/t_p) + 13.299(H/t_p)^2 - 9.541(H/t_p)^3 + 2.513(H/t_p)^4$$

$$\alpha = 1.206 \times \text{MR}^{0.651}$$

$$\beta = 8.468 \times 10^6 (H/t_p)^{0.018} (a/w)^{0.062} (a/\rho)^{-3.295} (\text{MR})^{0.023}$$

$$\gamma = 4.862 (H/t_p)^{0.072} (a/w)^{0.005} (a/\rho)^{-0.178} (\text{MR})^{0.261}$$

ここで、 $K_e$ は直径 1.0mm を用いた弾性域の effective notch ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon_e$  と公称ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon_n$  との比、すなわち、弾性領域のルート部の応力集中係数である。 $K_p$  は弾性域の effective notch ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon_e$  と effective notch ひずみ範囲  $\Delta\varepsilon_{\text{eff}}$  との比である。 $H$  は、溶接脚長であり、 $2a$  はき裂長さ、 $t_p$  は母材板厚、 $w = 2H + t_p$  である。本研究では上式を用いて各試験体の局部ひずみを算出した。

なお、従来研究<sup>4)</sup>を基に、き裂発生位置の局部ひずみにより試験結果を一つの強度曲線で整理できれば、今後継手形式によらず強度評価が可能といえる。

### 4. 局部ひずみを基準とした評価結果

図-4に局部ひずみにより整理した試験結果を示す。

また、図中にはSaiprasertkitらが得たMean Curveも示した。図-4より、局部ひずみを用いることで試験結果を一つの曲線に整理可能であることがわかった。これより、局部ひずみを基準した疲労強度評価が800MPa級高強度鋼軟質継手に対しても有効であるといえる。

一方、図-4 (b)より端部ルートき裂により整理すると、Mean Curveを下回る結果が見られた。これより、き裂発生・進展性状の違いがデータのばらつきの一つの要因になることがわかった。

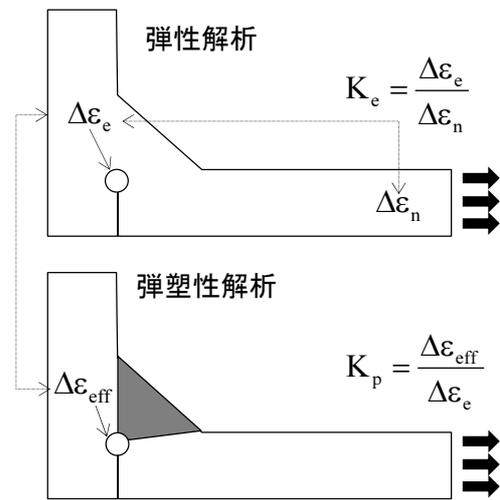
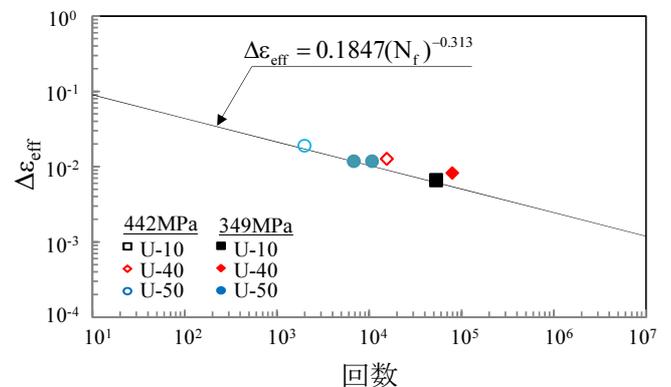
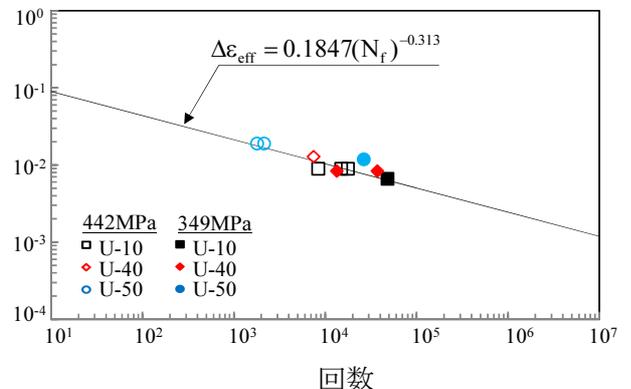


図-3 ENSに基づく局部ひずみ算出の概念図<sup>2)</sup>



(a) 中央ルートき裂



(b) 端部ルートき裂

図-4 局部ひずみにより整理した試験結果

#### <参考文献>

- 木下ら、軟質溶接継手を適用した荷重伝達型十字すみ肉溶接継手の疲労強度、鋼構造論文集、第18巻、第69号、pp.33-40、2011.2)
- Saiprasertkit, K., et al., "Local Strain Estimation Method for Low and High-Cycle Fatigue Strength Evaluation", *International Journal of Fatigue*, Vol. 40, pp. 1-6, 2012.3)
- 水江・木下、800MPa級高強度鋼を用いた荷重伝達型十字すみ肉軟質溶接継手の高応力範囲下の疲労強度、土木学会全国大会第66回年次学術講演会、愛媛大学、2011.4)
- Miki, C., et al., "Study on estimation of fatigue strengths of notched steel member", *Proc. of JSCE*, No. 316, pp. 153-166, 1981.