

せん断パネル溶接部に対する低サイクル疲労き裂発生寿命の簡易照査法

名古屋大学 正会員 ○清水 優, 名古屋大学 フェロー会員 舘石 和雄
名古屋大学 正会員 判治 剛, 阪神高速道路株式会社 正会員 曾我 恭匡

1. 目的

せん断パネルは履歴減衰によって地震エネルギーを吸収する制震ダンパーである。しかし、塑性変形が繰返し作用すると、ひずみ集中部である溶接部に塑性ひずみが繰返し発生し、低サイクル疲労き裂が発生することがある¹⁾。これまでに、き裂発生点の局部ひずみ範囲を用いて、低サイクル疲労き裂の発生寿命を予測できることが示されている²⁾。そこで本研究では、比較的簡易な構造解析で求められるせん断パネルの角変形量(以下、平均せん断ひずみ)から、き裂発生点における局部ひずみ範囲を推定する方法を構築し、せん断パネル溶接部の低サイクル疲労発生寿命を評価する。

2. 対象構造

本研究で対象としたせん断パネルを図-1に示す。TYPE-1, 2はせん断パネルの四方がフランジおよび補剛材で囲まれている。TYPE-3, 4はせん断パネル取付部の省略化を図った形式であり、せん断パネルの上下および側面に設置されたフランジで接合する構造となっている。TYPE-2, 4にはせん断座屈を抑制するため、せん断パネル中央に補剛材が取り付けられている。せん断パネルの寸法は、高さ h を400mmで一定とし、長さ L および板厚 t を表-1に示すように変化させた。

3. 解析方法

汎用の有限要素解析ソフト Abaqus-6.14 を用いてブーミング解析を行い、最もひずみの変動が大きい点をき裂発生点として局部ひずみを求めた。TYPE-2 および TYPE-4 の解析モデルを図-2に示す。サブモデルでは溶接止端形状も反映されており、止端半径は0.5mm、止端における最小要素サイズは0.05mmとなっている。せん断パネルの鋼種はLY225、それ以外の部分はSM490YAとした。解析に用いた材料特性を表-2に示す。せん断パネルは左端を固定し、右端に漸増振幅の正負交番载荷を強制変位で与えた。

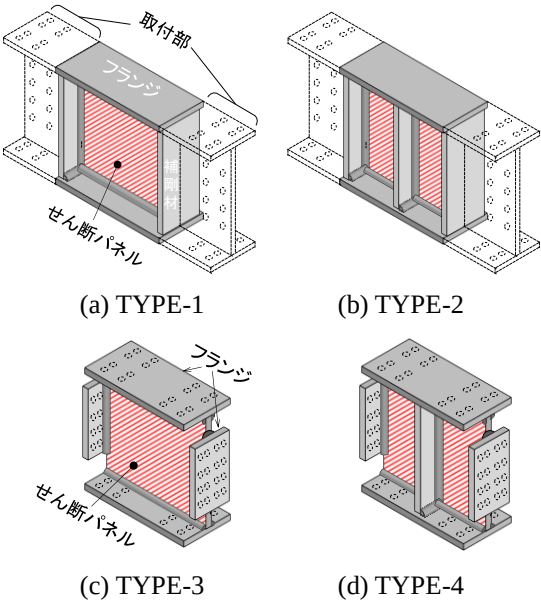


図-1 対象とするせん断パネル

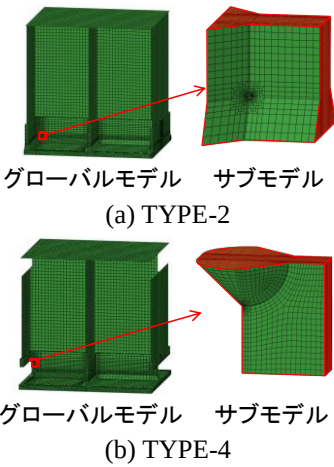


図-2 解析モデル

表-1 解析ケース

No.	長さ L [mm]	板厚 t [mm]	アスペクト比 a	幅厚比	幅厚比パラメータ R_t
			TYPE-1, 3 (2, 4)	h/t	TYPE-1, 3 (2, 4)
1	320	13.3	0.8 (0.4)	30	0.22 (0.13)
2	320	10.0	0.8 (0.4)	40	0.30 (0.17)
3	320	8.0	0.8 (0.4)	50	0.37 (0.22)
4	400	13.3	1.0 (0.5)	30	0.26 (0.16)
5	400	10.0	1.0 (0.5)	40	0.34 (0.21)
6	400	8.0	1.0 (0.5)	50	0.43 (0.26)
7	480	13.3	1.2 (0.6)	30	0.28 (0.18)
8	480	10.0	1.2 (0.6)	40	0.37 (0.24)
9	480	8.0	1.2 (0.6)	50	0.46 (0.30)

表-2 材料特性

鋼種	LY225	SM490YA
弾性係数 [N/mm ²]	208133	200000
ポアソン比	0.29	0.3
降伏応力 [N/mm ²]	224.3	438
構成則 (二次勾配)	マルチリニア	バイリニア (E/100)
硬化則	混合硬化則	移動硬化則

キーワード せん断パネル, 低サイクル疲労, 寿命予測, 推定式
連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科 TEL 052-789-4514

4. 局部ひずみ範囲と平均せん断ひずみ範囲の関係

せん断降伏時の変位を $1dy$ とし, $\pm 0.5dy \sim \pm 50dy$ の漸増繰返し変位を与え, 平均せん断ひずみ範囲とき裂発生点の局部ひずみ範囲の関係を求めた. 局部ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_l$ と平均せん断ひずみ範囲 $\Delta\gamma$ の関係を図-3 に示す. 図-3(a) より TYPE ごとに比較すると, アスペクト比が大きくなるほど曲線の傾きは小さくなっている. また, 図-3(b)より, せん断座屈が発生する TYPE-1, 3 では, 幅厚比が小さい $h/t = 30$ のみ座屈後の曲線の傾きが異なっている.

5. 局部ひずみ範囲の推定式

せん断座屈未発生の場合についてはアスペクト比 α , 座屈発生後は幅厚比 b/t をパラメータとして局部ひずみ範囲の推定式を構築した.

$$\text{座屈未発生: } \Delta\epsilon_l = \ln(A \cdot \Delta\gamma + 1.0) \quad (1)$$

$$\text{座屈発生後: } \Delta\epsilon_l = B(\Delta\gamma - \Delta\gamma_b) + \Delta\epsilon_b \quad (2)$$

$$\text{CASE1: } A = -2.9\alpha + 8.0, \quad B = \ln(0.35b/t - 8.9)$$

$$\text{CASE2: } A = -7.0\alpha + 9.2$$

$$\text{CASE3: } A = -4.2\alpha + 9.7, \quad B = \ln(138b/t - 3475)$$

$$\text{CASE4: } A = -6.8\alpha + 11.1$$

$$\Delta\epsilon_b: \text{せん断座屈発生時の局部ひずみ範囲} \\ (= \ln(A \cdot \Delta\gamma_b + 1.0)).$$

$\Delta\gamma_b$ はせん断座屈発生時の平均せん断ひずみ範囲であり, 幅厚比パラメータ R_τ を用いて次式で推定できる³⁾.

$$\Delta\gamma_b = \left\{ (k_c/k_\tau) \cdot (3.7/R_\tau^2) + 1 \right\} \cdot \gamma_y \quad (3)$$

$$\alpha < 1: k_\tau = 4.00 + 5.34/\alpha^2, \quad k_c = 8.98 + 5.60/\alpha^2$$

$$\alpha \geq 1: k_\tau = 5.34 + 4.00/\alpha^2, \quad k_c = 5.60 + 8.98/\alpha^2$$

γ_y : 降伏せん断ひずみ.

図-4 に局部ひずみ範囲の推定値と, 解析から求めた局部ひずみ範囲を比較する. TYPE-3 については座屈後の推定精度が若干低下しているものの, 推定式によって解析とほぼ同等の精度で局部ひずみ範囲を推定できている.

6. 低サイクル疲労発生寿命

これまでに, 局部ひずみ範囲を用いた低サイクル疲労き裂発生寿命の予測式が提案されている²⁾.

$$\Delta\epsilon_l \cdot N^k = 2C \quad (4) \quad \begin{array}{l} N: \text{低サイクル疲労き裂発生寿命,} \\ k, C: \text{材料定数.} \end{array}$$

式(4)に式(1)を代入することにより, 座屈未発生のせん断パネルに対して, 平均せん断ひずみ範囲を基準としたき裂発生寿命の強度曲線が得られる. 図-5 からわかるように, 同じ平均せん断ひずみを与えた場合, 補剛材が有る TYPE-2, 4 はそれぞれ TYPE-1, 3 よりもき裂発生寿命が低下している.

7. まとめ

せん断パネルの平均せん断ひずみ範囲からき裂発生点の局部ひずみ範囲を推定する式を構築した. せん断パネルに補剛材を設置すると座屈を抑制できるが, 同じ平均せん断ひずみ範囲が作用する場合の低サイクル疲労き裂発生寿命は, 補剛材が無い場合に比べて小さくなる. ただし, き裂進展後の終局強度の評価方法については今後の検討課題である.

参考文献 1)篠原ら(2015),土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.71, No.3, p.402-415. 2)舘石ら(2004),土木学会論文集, No.773/I-69, pp.149-158. 3)玉井ら(2015), 日本建築学会構造系論文集, Vol.80, No.707, pp.137-145.

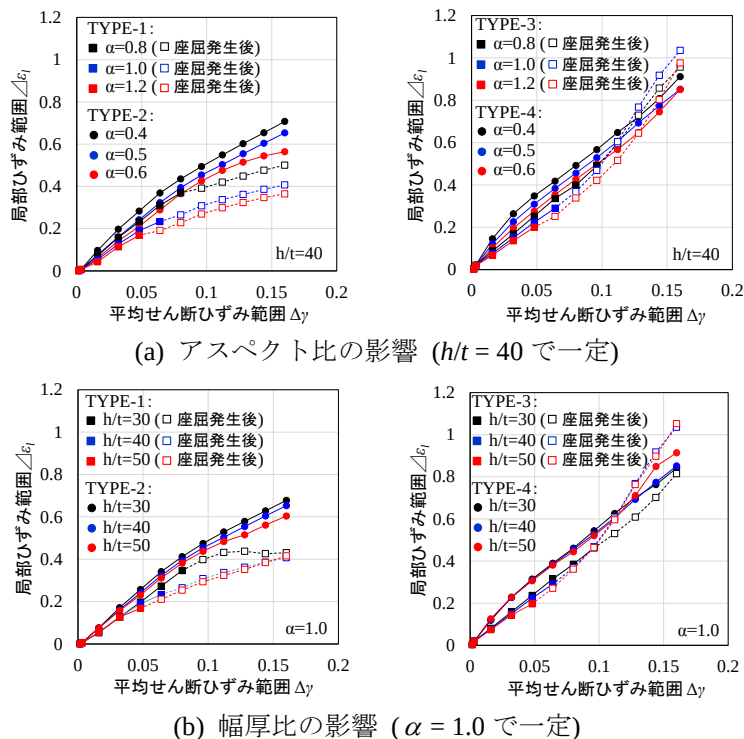


図-3 局部ひずみ範囲と平均せん断ひずみ範囲の関係

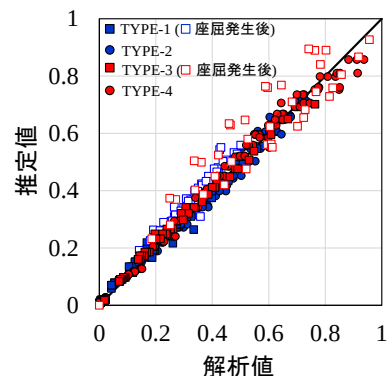


図-4 局部ひずみ範囲の推定精度

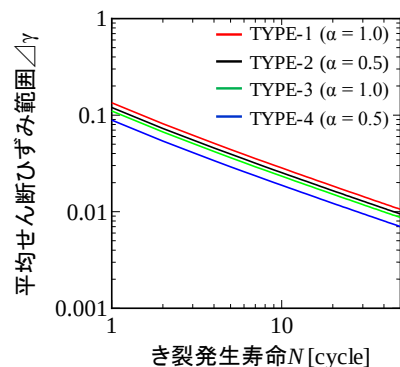


図-5 低サイクル疲労き裂発生寿命