

I-A 387

垂直補剛材端ギャップと局部応力の関係

関西電力 正員 松居 伸明
大阪大学工学部 正員 大倉 一郎

1. 前書き

図-1 に示すような異なる垂直補剛材端ギャップを有する主桁と横桁からなる試験体の疲労試験を行った¹⁾。垂直補剛材端がフランジに溶接された場合を除いて、図-2 に示すような3種類の疲労亀裂が生じた。本報告では、これらの疲労亀裂のうちタイプ4の疲労亀裂を生じさせる局部応力と垂直補剛材端ギャップとの関係を明らかにした。

2. 板曲げひずみの推定式

ウェブに生じる表面ひずみによってタイプ4の疲労亀裂が生じる。この表面ひずみの主成分は板曲げひずみであった。この板曲げひずみと図-3 に示すフランジの変位 w_1 と回転角 θ_1 、垂直補剛材端のウェブの変位 w_2 と回転角 θ_2 の関係が、フランジと垂直補剛材端との間のウェブの面外変形に対して構造力学を適用することによって次のように定式化された。

$$\varepsilon_b = \frac{t}{g_1} \left\{ 3 \left(1 - \frac{2y}{g_1} \right) \frac{w_2 - w_1 - h\theta_1}{g_1} - \left(2 - \frac{3y}{g_1} \right) \theta_1 - \left(1 - \frac{3y}{g_1} \right) \theta_2 \right\} \quad (1)$$

ここに、 ε_b :ウェブに生じる板曲げひずみ、 t :ウェブ厚、 $\Delta w = w_2 - w_1$

図-4 に示すように、フランジの板厚と隅肉溶接とが剛体回転すると仮定することによって式(1)の右辺第1項の $h\theta_1$ が生じる。

式(1)を y について整理すると次式を得る。

$$\varepsilon_b \frac{g_1}{t} = -3 \left(2 \frac{\Delta w - h\theta_1}{g_1} - \theta_1 - \theta_2 \right) \frac{y}{g_1} + \left(3 \frac{\Delta w - h\theta_1}{g_1} - 2\theta_1 - \theta_2 \right) \quad (2)$$

この式が与える板曲げひずみと実測値の比較を図-5 に示す。式(2)の Δw 、 θ_1 、 θ_2 に対して、図-6 に示す試験体の FEM 解析から算出される値を用いた。さらに式(2)の h と g_1 に対して表-1 に示す実測値を用いた。両者はともに直線分布を示す。しかし式(2)が与える直線の傾きと実測値の直線の傾きは異なる。これは、フランジの板厚、隅肉溶接の存在が式(1)では考慮されていないためである。実測値に式(2)が与える直線を調整するために、次式に示すように式(2)の中に係数 a 、 b を導入した。

$$\varepsilon_b \frac{g_1}{t} = -3 \left(2 \frac{\Delta w - h\theta_1}{g_1} - \theta_1 - \theta_2 \right) a \frac{y}{g_1} + \left(3 \frac{\Delta w - h\theta_1}{g_1} - 2\theta_1 - \theta_2 \right) b \quad (3)$$

係数 a 、 b の値を表-1 に示す。

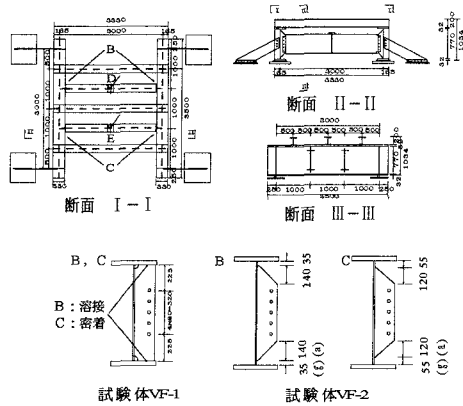


図-1 疲労試験体

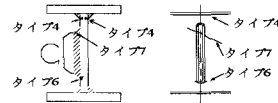


図-2 疲労亀裂の種類

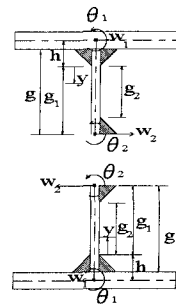


図-3 垂直補剛材端モデル

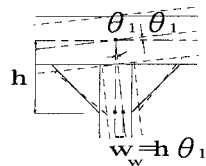


図-4 剛体回転

3. 疲労亀裂の防止条件

式(3)を Δw 、 θ_1 、 θ_2 の項に分解する。

$$\varepsilon_b \frac{g_1}{t} = 3 \left(b - 2a \frac{y}{g_1} \right) \frac{\Delta w}{g_1} - 3b \frac{h}{g_1} \theta_1 - \left(2b - 3a \frac{y}{g_1} \right) \theta_1 - \left(b - 3a \frac{y}{g_1} \right) \theta_2 \quad (4)$$

この式の成分比率を表-2に示す。第1項すなわち相対変位 Δw が支配的である。 θ_1 と θ_2 は板曲げひずみを低減させる。したがって式(4)の右辺から、 θ_1 と θ_2 の項を除くことにより、板曲げひずみを安全側に評価することができる。すなわち、

$$\varepsilon_b = 3 \left(b - 2a \frac{y}{g_1} \right) \frac{t}{g_1} \frac{\Delta w}{g_1} \quad (5)$$

タイプ4の疲労亀裂発生位置での表面応力 σ_s は膜ひずみと板曲げひずみを用いて次式で表せる。

$$\sigma_s = \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_s = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_m + \varepsilon_b) = \frac{E}{1-\nu^2} (\gamma_{mb} + 1) \varepsilon_b \quad (6)$$

ここに、 $\gamma_{mb} = \varepsilon_m / \varepsilon_b$

この式を板曲げひずみについて解くと次式を得る。

$$\varepsilon_b = \frac{1-\nu^2}{E} \frac{\sigma_s}{1+\gamma_{mb}} \quad (7)$$

式(5)と式(7)から ε_b を消去し、 Δw について解くと次式を得る。

$$\Delta w = \lambda / t \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{1-\nu^2}{3E} \frac{\sigma_s}{1+\gamma_{mb}} \frac{g_1^2}{b} \quad (9)$$

疲労試験の結果¹⁾、 σ_s が 1500 kgf/cm^2 以下ではタイプ4の疲労亀裂が生じなかったので、 σ_s に対して 1500 kgf/cm^2 を用いる。実測値から得られる γ_{mb} の値を表-1に示す。これらの値を式(9)に代入して得られる λ の値を表-1に示す。

データの数が少ないが、最も小さい λ の値をとって、タイプ4の疲労亀裂の防止条件として次式を提案する。

垂直補剛材端 $g=35 \text{ mm}$ の場合

$$\Delta w = 0.89 \times 10^{-2} / t$$

垂直補剛材端 $g=55 \text{ mm}$ の場合

$$\Delta w = 11 \times 10^{-2} / t$$

ここで、 Δw と t の単位はともに cm である。

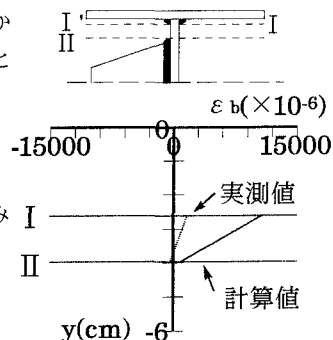


図-5 曲げひずみ分布

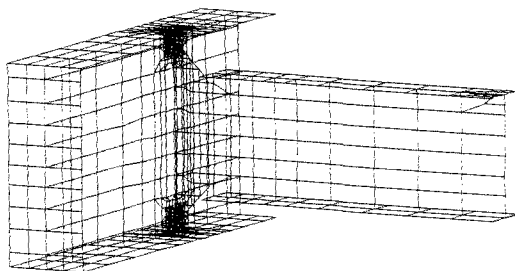


図-6 解析モデル

表-1 a、b、h、 g_1 、 γ_{mb} 、 λ の値

		a	b	h(cm)	g_1 (cm)	γ_{mb}	$\lambda (\text{cm}^2)$
g=35mm	上	0.212	0.159	2.6	2.7	0.118	0.89×10^{-2}
	上	—	—	—	—	—	—
	下	0.226	0.091	2.6	4.6	-0.136	1.80×10^{-2}
	下	0.274	0.139	2.6	4.4	-0.114	1.19×10^{-2}
g=55mm	上	0.454	0.357	2.55	2.55	0.026	1.25×10^{-2}
	上	0.439	0.358	2.6	2.6	0.066	1.10×10^{-2}
	下	0.490	0.368	2.6	4.55	0.041	1.17×10^{-2}
	下	0.404	0.293	2.55	4.55	0.053	1.45×10^{-2}

表-2 各項の成分比率

	第1項	第2項	第3項	第4項
g=35mm	127%	-5%	-4%	-18%
	—	—	—	—
	141%	-17%	-11%	-12%
	142%	-18%	-12%	-13%
g=55mm	124%	-4%	-4%	-16%
	123%	-4%	-4%	-15%
	140%	-14%	-16%	-10%
	139%	-13%	-16%	-10%

【参考文献】1) 松居, 大倉: 垂直補剛材端ギャップと局部応力の関係, 平成8年度関西支部年次学術講演会