

I-122

部材端部の変形拘束に起因する局部応力が疲労強度に与える影響

岡山県 正員 ○見上吉昭  
 大阪大学工学部 正員 大倉一郎  
 大阪大学工学部 正員 福本秀士

1. まえがき 跨座型モノレールの鋼製軌道桁の箱桁ウェブと横桁上フランジの交差部に、箱桁ウェブによる横桁端部の鉛直変位の拘束によって局部応力が発生することが明らかにされている<sup>1)2)</sup>。箱桁ウェブ近傍の横桁上フランジの応力分布を模式的に図-1に示す。横桁上フランジを箱桁ウェブに連結する突き合わせ溶接の止端には、梁理論によって計算される公称応力 $\sigma_n$ 、溶接止端の応力集中に起因する局部応力 $\sigma_{11}$ 、さらに前述の横桁端部の変形拘束に起因する局部応力 $\sigma_{12}$ が発生する。本研究では、部材端部の変形拘束に起因する局部応力 $\sigma_{12}$ に対してその推定式を与え、これが疲労強度に与える影響を調べた。

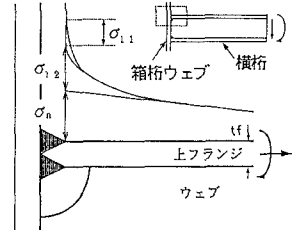


図-1 横桁上フランジの応力分布

2. 局部応力の推定式 図-2に示す片持梁に、アイソパラメトリックシェル要素を用いた有限要素法を適用した。要素分割の一例を図-3に示す。曲げモーメント(载荷形式A)あるいは鉛直集中荷重(载荷形式B)を部材の一端に与えた。上フランジ上面に生じる応力の分布を図-4に示す。ここで、膜応力、板曲げ応力、表面応力の定義を図-5に示す。図-4から、左端の近傍でこれらの応力が急激に増加していることがわかる。図-5を参照して、本研究で採用した応力集中係数の定義を次に示す。

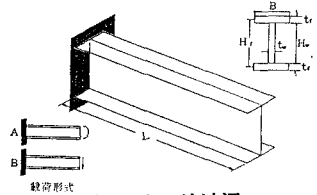


図-2 片持梁

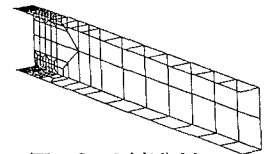


図-3 要素分割

$$\text{膜応力集中係数: } k_m = \frac{\sigma_m}{\sigma_n} \quad \text{板曲げ応力集中係数: } k_b = \frac{\sigma_b}{\sigma_n}$$

$$\text{表面応力集中係数: } k_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_n}$$

- ここに  $\sigma_m$ : 有限要素解析から得られる膜応力
- $\sigma_b$ : 有限要素解析から得られる板曲げ応力
- $\sigma_s$ : 有限要素解析から得られる表面応力
- $\sigma_n$ : 梁理論から得られる公称表面応力

これらの応力集中係数の間には次式が成立する。

$$k_s = k_m + k_b$$

応力集中係数  $k_m$  と  $k_b$  に対してその推定式を次のように与えた。

<载荷形式A>

$$k_m = 0.507 \cdot H_w^{0.125} \cdot \left( 1 + \frac{0.197 + 0.23 \cdot t_w}{t_f} \right)^{1.035}$$

$$k_b = 0.129 \cdot H_w^{0.339} \cdot t_w^{0.255} \cdot t_f^{-0.562}$$

<载荷形式B>

$$k_m = 0.487 \cdot H_w^{0.131} \cdot \left\{ \left( 1 + 1.708 \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot \left( 1 + \frac{0.197 + 0.23 \cdot t_w}{t_f} \right) \right\}^{1.081} \quad (4)$$

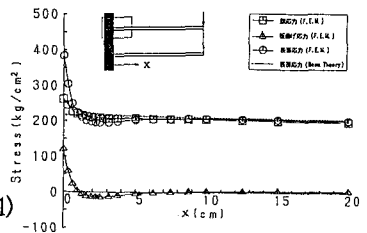


図-4 上フランジの応力分布

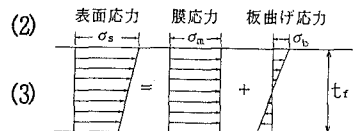


図-5 板厚方向の応力分布

$$k_b = 0.144 \cdot H_w^{0.315} \cdot t_w^{0.236} \cdot t_f^{-0.521} \cdot \left\{ \left( 1 + 13.94 \frac{B}{L^{1.183}} \right) \cdot \left( 0.783 + 0.232 \frac{t_f}{t_w^{0.891}} \right) \right\}^{0.920} \quad (5)$$

記号の定義は図-2に示されており、これらの推定式の適用範囲は次の通りである。

$$0.9 \leq t_w \leq 1.6, 0.9 \leq t_f \leq 3.8, 40 \leq H_w \leq 160, 20 \leq B \leq 60, 200 \leq L \leq 1000 \quad \text{単位 (cm)}$$

**3. 局部応力が疲労強度に与える影響** 破壊力学を用いた疲労亀裂進展解析を行い、局部応力が疲労強度に与える影響を調べた。疲労亀裂進展則は次の通りである

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^3 \quad (6)$$

ここに、C：材料定数、 $\Delta K$ ：応力拡大係数範囲、a：亀裂長さ、N：繰返し回数。

応力拡大係数範囲 $\Delta K$ に対して次式を用いた<sup>3)</sup>。

$$\Delta K = \frac{(M_{km} \cdot M_m \cdot \Delta \sigma_m + M_{kb} \cdot M_b \cdot \Delta \sigma_b)}{\Phi_0} \sqrt{\pi a} \quad (7)$$

ここに、 $\Delta \sigma_m$ 、 $\Delta \sigma_b$ ：それぞれ膜応力範囲、板曲げ応力範囲、 $M_m$ 、 $M_b$ ：それぞれ膜応力、板曲げ応力に関する補正係数、 $M_{km}$ 、 $M_{kb}$ ：それぞれ、溶接形状の影響を導入するための膜応力、板曲げ応力に関する補正係数、 $\Phi_0$ ：第2種完全楕円積分。

$\Delta \sigma_m$ 、 $\Delta \sigma_b$ と梁理論から計算される公称表面応力 $\Delta \sigma_n$ の関係は、前述の応力集中係数 $k_m$ 、 $k_b$ を用いてそれぞれ次のように与えられる。

$$\Delta \sigma_m = k_m \cdot \Delta \sigma_n \quad \Delta \sigma_b = k_b \cdot \Delta \sigma_n \quad (8)$$

式(8)を式(7)に代入すると次式が得られる。

$$\Delta K = \frac{(M_{km} \cdot M_m \cdot k_m + M_{kb} \cdot M_b \cdot k_b)}{\Phi_0} \cdot \Delta \sigma_n \cdot \sqrt{\pi a} \quad (9)$$

設計S-N曲線は、通常、公称応力を基準とした疲労試験結果の統計処理によって作成されている。この設計S-N曲線に対応する応力拡大係数範囲は次式で与えられる。

$$\Delta K = \frac{(M_{km} \cdot M_m)}{\Phi_0} \cdot \Delta \sigma_n \cdot \sqrt{\pi a} \quad (10)$$

式(9)あるいは式(10)を式(6)に代入して、初期亀裂から最終亀裂まで数値積分することにより疲労寿命が算出される。式(9)から得られる疲労寿命を $N_1$ 、式(10)から得られる疲労寿命を $N_2$ とすると、図-6に示すような公称表面応力範囲と疲労寿命の関係が得られる。図中の $\alpha$ 、 $\beta$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$\alpha = \frac{N_1}{N_2} \quad (11)$$

$$\beta = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^{\frac{1}{3}} = \alpha^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

部材端部の変形拘束に起因する局部応力の影響を考慮した疲労強度 $\Delta \sigma_1$ は、公称応力に基づいて作成された設計S-N曲線の疲労強度 $\Delta \sigma_n$ に補正係数 $\beta$ を乗ずることによって得られ、次式で与えられる。

$$\Delta \sigma_1 = \beta \cdot \Delta \sigma_n \quad (13)$$

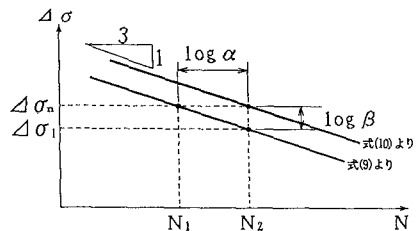


図-6 公称表面応力範囲と疲労寿命の関係

- 参考文献** 1)磯部・大倉・福本・南：平成元年度土木学会年講、I-197、1989。  
 2)大倉・磯部・福本・南：大阪大学工学報告、No. 2072、1991。  
 3)IIW RECOMMENDATION：SST-1141-89、1989。