

ねじり剛性を考慮した圧縮補剛板の耐荷力

京都大学工学部 正員 山田善一
 京都大学工学部 正員 渡辺英一
 鴻池組 正員 伊藤廉

1. まえがき

近年、長大橋等構造物の大型化に伴い、示方書を再検討する意味で圧縮補剛板の研究が重要視されているが、本研究はTimoshenkoの解や示方書において無視されている補剛材ねじり剛性が座屈荷重や後座屈強度に与える影響について有限要素法により解析し、合せて実験を行ない比較検討するものである。

2. 解析の手法と実験方法

長方形要素の要素内変位を u, v, w , 節点変位を u_i, v_i, w_i , 変位関数を α_i, β_i とすると

$$u = \alpha_R U_R \quad (1 \leq R \leq 4), \quad v = \alpha_R V_R \quad (4 \leq R \leq 8), \quad w = \beta_R W_R \quad (1 \leq R \leq 12) \quad (1)$$

$$\epsilon_i = B_{iR}^p U_R + \frac{1}{2} B_{iR}^{bb} W_R W_2, \quad \frac{d\theta}{ds} = B_{iR}^o \quad (\epsilon: \text{ひずみ}, S: \text{補剛材軸方向に測れた距離}) \quad (2)$$

となる。材料は等方等弾板とし、応力-ひずみ関係を $\sigma_i = D_{ij} \epsilon_j$ とするとひずみエネルギーは板、補剛材について次のように表わされる。

$$U^p = \int_V \int \epsilon_i D_{ij} \epsilon_j d\epsilon_i dV$$

$$U^s = \int_S \int E \epsilon_i d\epsilon_i dV + \frac{1}{2} \int_S \left\{ G J_s \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 + \alpha_c I_{sp} \left(2 \frac{d\theta}{ds} + \frac{d\theta}{ds} \right) \frac{d\theta}{ds} \right\} dS \quad (3)$$

また、つり合い式と増分式は

$$F_i = \frac{\partial U}{\partial u_i}, \quad \Delta F_i = \sum_{n=1}^m \frac{\partial^2 F_i}{\partial u_j^2} \Delta u_j^{n-1} = [K_{ij}] \Delta u_j + [R] \quad (4)$$

となる。(4)を線形化するために外力、変位を預動パラメータにより2次の項までとって線形化する。詳細は参考文献(1)を参照。

モデルとして補剛材が1本および2本の場合につき荷重方向に等間隔、対称配置されたものを考える。(図1) 補剛材の断面形状は前回の実験(2)のとき用いた開断面形状の場合の10~40倍のねじり剛性を与えるため図2に示されたチャンネル型の断面を考え、補剛材が1本の場合(case1~3)および補剛材が2本の場合(case4~6)各々につき、ねじり剛性の大きさを三段階に変化させた。また、補剛材の曲げ剛性は1本および2本の場合各々について一定とし、その大きさはDIN4114の最小剛比を与えている。補剛材の各パラメータは表1にまとめて示す。ここに A_s は補剛材の断面積、 I_{ss} は断面2次モーメント、 I_p は断面極2次モーメントである。

3. 座屈荷重、後座屈強度に与える補剛材ねじり剛性の影響

補剛材のねじり剛性と曲げ剛性の比 (GJ/EI) をねじり剛比と定義し、座屈係数とねじり剛比の関係を求めたのが図3、図4である。補剛材が1本の場合 $\gamma (=EI/bD) > 3$ であれば

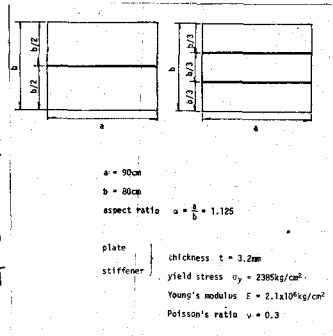


図1 Tested Specimen of Stiffened Plate

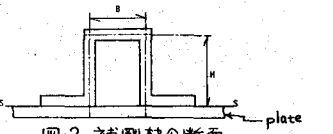


図2 補剛材の断面

表1 Section Variables of Stiffener

Stiffener	H(cm)	B(cm)	A_s (cm ²)	J (cm ⁴)	I_{ss} (cm ⁴)	I_p (cm ⁴)
Case 0	0	—	—	—	—	—
Case 1	1	2.00	1.1	2.592	0.999	5.810
Case 2	1	1.75	2.0	2.721	2.091	8.172
Case 3	1	1.30	4.9	3.361	4.189	22.345
Case 4	2	2.60	1.0	2.944	1.202	5.961
Case 5	2	2.35	1.6	2.970	2.291	5.639
Case 6	2	2.00	3.0	3.200	4.608	14.971

補剛材軸が節線となった産屈波形を示し、ねじり剛比を大きくすると産屈係数も増加する。この場合、産屈係数の増加率はねじり剛比だけでなく、曲げ剛比の大きさにも依存していることがわかった。しかし、大きくすると補剛材がたわみ、幾何学的に補剛材のねじれを期待できないため、ねじり剛性は産屈係数にほとんど影響を与えていない。補剛材が2本の場合、ねじり剛比の増加による産屈係数の初期上昇は1本のときより顕著であるが、ねじり剛比が0.1以上になるとその影響は非常に小さなものであった。また、1本のときと同様産屈係数の増加は曲げ剛比にも依存している。実験では初期たわみの存在により、明確な産屈荷重は見られなかったが、解析解と同じ傾向を示していた。

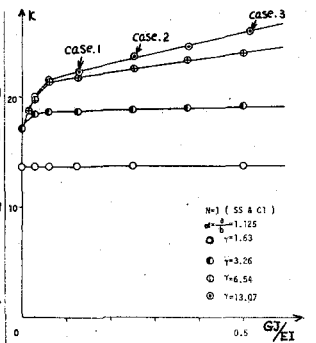


図.3 産屈係数-ねじり剛比 (補剛材1本)

図.4, 図.5は case1~case6 についての後産屈挙動を示したものであるが、補剛材が1本、2本の場合ともねじり剛性の大きなものはねじり剛性が0のものより荷重-変位曲線の勾配が小さくなった。また、補剛材が2本の場合はShellの後産屈挙動と類似した挙動を示した。

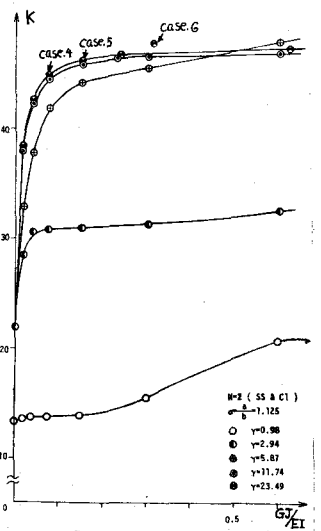


図.4 産屈係数-ねじり剛比 (補剛材2本)

case1, case2, case3は各々 20.8ton, 20.6ton, 23.7tonで補剛材に接する板部分が塑性化した。この荷重は各産屈荷重の1.1~1.2倍であり、ねじり剛性が0の場合 ($P_{ult}=28.1ton, P_{ult}=21.6ton$) に比べ、後産屈領域が非常に小さくなることがわかった。また、case4, 5等は 36.1ton (実験: 36ton), 37.2ton (実験: 34ton) で補剛材軸に接した板部分が塑性化した。この荷重は産屈荷重の1.03倍, 1.04倍であった。補剛材が2本の場合、必ずしも安定した解ではなかったが、ねじり剛比が0.1より大きい場合、後産屈強度はねじり剛比が0のものより小さくなると思われる。

詳細は当日発表する予定である。

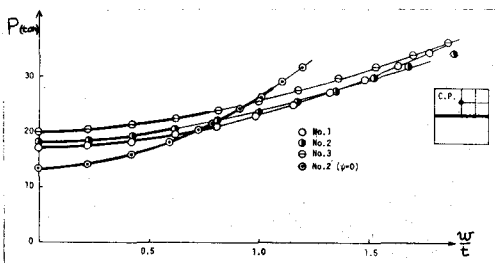


図.5 産屈後の荷重-変位関係 (補剛材1本)

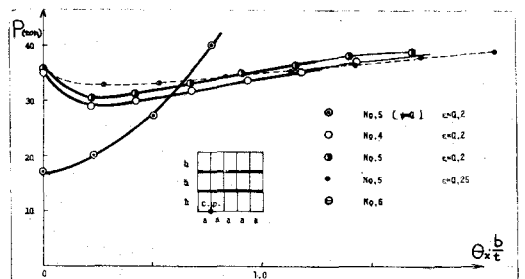


図.6 産屈後の荷重-変位関係 (補剛材2本)

4. 参考文献

- (1) 山田善一・渡辺英一: FEMによる補剛材の後産屈強度の解析
- (2) " " : 変形能を有する鋼構造物の設計法に関する研究

マトリクス構造解析法
研究発表書集
随時研究する
性産屈研究報告書