I-72 ＦＥＭによる補剛板の後座屈に関する考察

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

1. まえがき

前回の発表では四辺に沿って補剛材を有する長方形のFEM 要素を用いた大変形解析について述べた。[3] 今回は，この補剛材が完全弾塑性材料から成ると仮定して補剛板の後座屈挙動を行い，実験結果と比較した。

2. 補剛材の弾塑性挙動[2]

図-1 は対称配置の補剛材，図-2 は片側配置の補剛材を示している。いま，図-3 のように補剛材の弾塑性挙動を考える。そのとき，対称配置の場合

$$P = \sigma_a b h \ , \quad M = \frac{bh^2}{3}(\sigma_Y - \sigma_a)(\frac{3}{2} - k) \ , \quad k = \frac{1}{h\kappa}(\frac{\sigma_Y}{E} - \varepsilon_m) + \frac{1}{2} \ , \quad \kappa = \frac{2(\sigma_Y - \sigma_a)}{k^2 E h}$$

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_Y}{E} - (k - \frac{1}{2}) h \kappa$$ となり， $$\frac{\partial \sigma_a}{\partial \varepsilon_m} = q(k) E = k E \ , \quad \frac{\partial M}{\partial \kappa} = \bar{q}(k) E I_s = \frac{Ebh^3}{12} k (4k^2 - 6k + 3)$$

という関係が得られる。ここに，　$q(k) = k \ ; \quad \bar{q}(k) = k(4k^2 - 6k + 3)$

一方，片側配置の場合，上式の M，ε_m のかわりにつぎのような M_B，ε_1 を用いる。

$$M_B = M + \frac{bh^2}{2}\sigma_a \ , \quad \varepsilon_1 = \frac{\sigma_Y}{E} - k h \kappa$$ この場合は $$\frac{\partial M_B}{\partial \kappa} = \bar{q}(k) EI_s = \frac{Ebh^3}{3} k^3 \ ; \quad \frac{\partial \sigma_a}{\partial \varepsilon_1} = q(k) E = k E$$

ここに，　$q(k) = k \ ; \quad \bar{q}(k) = k^3$　ただし，片側配置の場合つぎの関係がある。 $\frac{\partial \sigma_a}{\partial \kappa} = \frac{k^2}{2} Eh \ ; \quad \frac{\partial M_B}{\partial \varepsilon_1} = -\frac{kEbh^2}{2}$

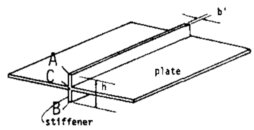

図-1 対称配置の補剛材

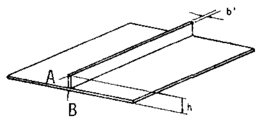

図-2 片面配置の補剛材

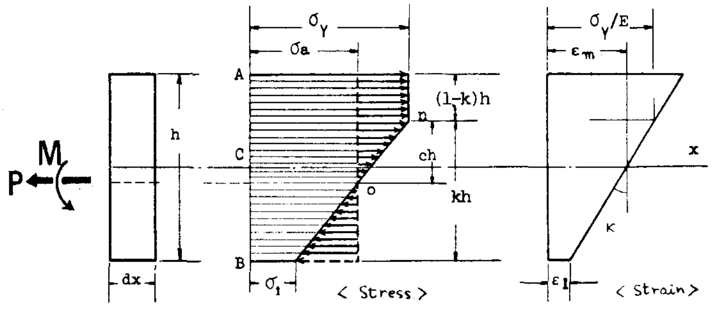

図-3 補剛材の弾塑性変形と応力分布

このように，k，$q(k)$，$\bar{q}(k)$ などを用いると補剛材の接線剛性が準弾性的に評価できることになる。すなわち，いま，弾性状態での要素の剛性マトリックス成分を，板部が K_{ij}^{***}，補剛材部が S_{ij}^{***} とし，節点荷重増分を ΔP_i，節点変位増分を $\Delta\delta_j$ とすれば，補剛材が弾塑性の場合は $\bar{R}_i^S$ を積分定数として

$$\Delta P_i = (K_{ij}^{***} + q' S_{ij}^{***}) \ \delta_j + \bar{R}_i^S$$

ここに，q' は $q(k)$ や $\bar{q}(k)$ などを一般的に表示している。

3. 実験結果との比較および考察

純圧縮を受ける長方形補剛板でリブの数が 0, 1, 2 の場合について京都大学構造実験室で実験を行い，この結果と FEM による解析結果とを比較した。図-4 は無補剛板の荷重-たわみ関係を示している。実験では P_u^{ex}= 6.1 ton で飛移が起った。FEM 解析では P_u=5.6 ton で載荷辺にそってほぼ全長にわたり降伏が見られた。図-5 は補剛材一本の場合の荷重-たわみ曲線であるが FEM 解析では P_u=9.6 ton で 飛移が見られ補剛板全体がリブの座屈のような形で大変形した。なお，実験では P_u^{ex}= 9.7 ton で補剛材の曲げ変形が大きく加速された。また，黒丸は図に示された点のたわみ角であり，P_{cr} = 6.9 ton からはいわゆる補剛板の後座屈が始っていることを示している。図-6 はリブが二本の場合の荷重ーたわみ関係 を示している。 この場合は飛移ではなく，補剛材の降伏に始って，板自体の降伏にいたる破壊が生じたことが実験結果より判るし，FEM による解析結果でも，P_Y=16.6 ton で補剛材が降伏を始め，P_u = 22 ton で 板の中央近傍の4点がほぼ同時に降伏を開始した。

Table 1 は計算結果の一覧表である。ここには，P_{cr} = 補剛板の座屈荷重（括弧内は解析解[1]），P_Y = 補剛材の降伏開始荷重，P_u = 板自体の降伏荷重 が表示してある。ただし，無補剛板の P_Y は載荷辺の一点において板の一表面が降伏したときの荷重である。 この計算において感じたことは，補剛板の座屈値のうち 1次から4次ぐらいまでは非常に接近していて，モードの間の相関性が複雑であろうと考えられる。したがって初期たわみのモードもかなり重要な因子と思われる。 なお，応力分布などの詳細は当日発表する。

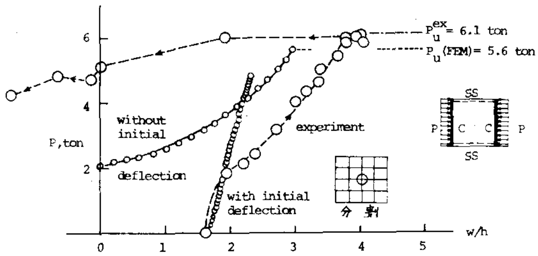

Fig. 4 Load-Deflection Curve. Case 0. (Unstiffened Plate).

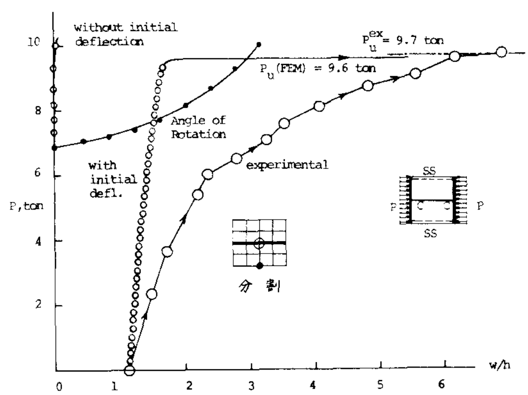

Fig. 5 Load-Deflection Curves. Case 3. (stiffened plate with one stiffener).

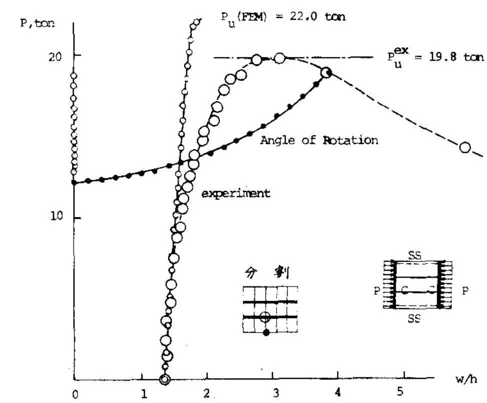

Fig. 6 Load-Deflection Curves. Case 6. (stiffened plate with 2 stiffeners).

4. 参考文献

1) Klöppel und Sheer: Beulwerte ausgesteifter Rechteckplatten, W. Ernst und Sohn, 1960.

2) 山田，渡辺，中村，宮田：FEMによる補剛板の後座屈強度の解析，マトリックス構造解析シンポジウム 日本鋼構造協会，1975.

3) 山田，渡辺，河野：FEMによる薄板の耐荷力解析，第29回年次学術講演会講演概要集 第1部 pp 129~130，1974.

Table 1. BUCKLING, YIELDING, AND ULTIMATE LOADS IN TONS.

SUPPORT CONDITION		CASE 0	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6
SS / SS SS / SS	P_{cr}	1.49(1.59)	3.37(3.50)	4.67(4.75)	6.12(6.51)	5.89(5.92)	9.86(9.90)	12.13
	P_Y					12.26	16.53	21.52
	P_u					12.30	15.99	21.97
SS / C C / SS	P_{cr}	2.09(2.25)	6.71	6.79	6.90	11.17	11.61	12.14
	P_Y	4.09	7.27	8.81	9.62	11.98	16.63	16.63
	P_u	5.62	7.27	9.47	9.62	12.32	16.63	22.04
C / C C / C	P_{cr}	3.33(3.84)	8.77	8.88	9.02	18.33	19.55	20.93
	P_Y		10.02	10.86	10.07	14.16	16.00	16.67
	P_u	6.24		11.45	10.07			
EXPERIMENTAL ULTIMATE LOAD		6.1	7.7	8.3	9.7	12.3	16.9	19.8