

リブ付き鋼板の弾塑性曲げ座屈

大阪工業大学 正員 岡村宏一
東洋技研コンサルタント 正員 〇吉田公恵

1. まえがき： 長方形板の後座屈挙動について、最近、かなりの研究例がみられる。しかしながら、非線形弾性領域からさらに弾塑性領域に転移していく過程を忠実に追跡した解析例は、目下のところ数少ないようである。

筆者は、すでに、圧縮を受ける長方形鋼板の弾塑性座屈の問題について、板厚比、辺長比、降伏応力などの広範囲の変化に伴う終局強度のデータを求め、既往の実験値と比較し、良好な一致を見た。¹⁾ ところで、本文は、補剛材を有する長方形鋼板の弾塑性曲げ座屈に関する研究の1成果を報告するものである。

この問題の解法については、すでに昨年の年次講演会で報告したが、²⁾ 今回さらに広範囲のデータを作成し、この種の板の崩壊機構を明らかにすると同時に、補剛材の剛度、ならびに板の辺長比などが、板の終局強度に及ぼす影響を検討した。

さらに、若干の近似仮定にもとづくフランジ付き鋼板の解析を行ない、プレートガーダーなどのウェブとしての特性も調べた。

フランジ付きの場合、フランジは、軸力のみを受ける柱部材と仮定し、板の隅点とフランジの端部の水平変位が等しくなるように解析したものであって、フランジの曲げは、考慮していない。

2. 境界条件と解析例：

本文であつた板は、図-1に示すように、 x 方向対辺にモーメント(M)を受け、さらに次の境界条件を有するものである。

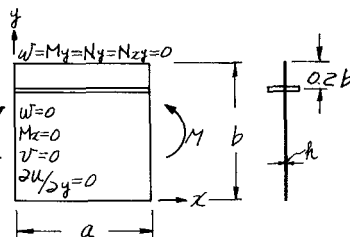
$x=0, a$ 辺

$$w=M_x=v=0$$

$$\partial w / \partial y = 1 \text{ 定}$$

$y=0, b$ 辺

$$w=M_y=N_x=N_y=0,$$



u, v : x, y 方向の変位

辺長比、 $\lambda = a/b$

ボアソン比： $\nu = 0.3$

初期たわみ

$$w_0 = \bar{w}_0 \cdot \sin \frac{\pi x}{a} \cdot \sin \frac{\pi y}{b}$$

図-1

A 弾性後座屈解析

	剛比 $\gamma = E_s I_s / D b$	断面積比 $\delta = 100 \times A_s / A_w$	初期たわみ $\bar{w}_0$
I-1	補剛材なし		0.2 h
I-2			0.5
I-3			1.0
2-1	13	6	0.2
2-2			1.0
3-1	30	8	0.2
3-2			1.0
4-1	60	10	0.2
4-2			1.0

* $\lambda = 1.0$

B 弾塑性解析

	γ	δ	$\bar{w}_0$	b/h	σ_p	
I-1	補剛材なし		0.2 h	156	4% 3200	
II-1			0.2	250		
II-2			1.0			

* σ_p = 降伏応力 $\lambda = 1.0$

表-1

解析例の1部を表-1に示す。最初に、正方形板について、弾性後座屈解析を行ない、水平補剛材の剛度の変化、ならびに、初期たわみが弾性限界モーメントに及ぼす影響を

1) 岡村, 吉田, 圧縮を受ける長方形鋼板の終局強度, 工学会論文報告集 No 206 1972

2) 岡村, 吉田; 大たわみ, ねじり補剛を考慮した長方形鋼板の弾塑性曲げ座屈, 土木学会の年次学術講演会

調べ、つぎに、その数例について、弾塑性解析を行ない、弾性後座屈状態から弾塑性状態へて、崩壊に至る挙動を追跡したものである。

さらに、辺長比(λ)の変化による影響、および、板の上下縁($y=0, b$)にフランジがついた場合の特性を見るため、若干の計算を行ない、表-1の例題と比較検討を行なった。

以下解析結果について述べる。

3. 弾性後座屈解析のデータ:

図-2は、水平補剛材のない場合のデータである。

図に見えように、 λ が大きくなると、後座屈現象が顕著になり、

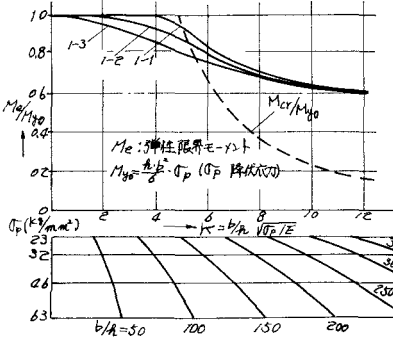


図-2

この範囲では、初期たわみの影響をほとんど受けない。また、たわみが増大するにしたがって、圧縮縁の応力(σ_x)が急増することがわかる。

図-4~6は、正方形板における水平

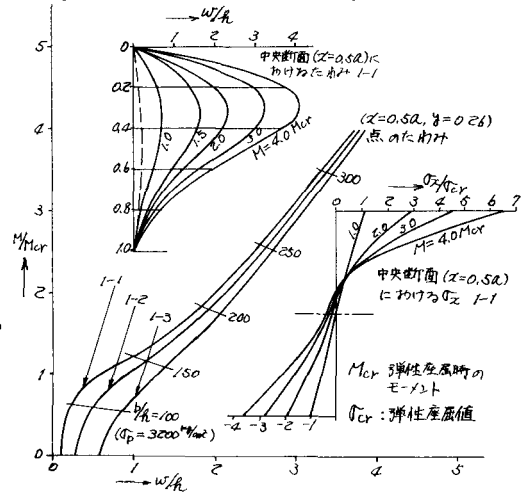


図-3

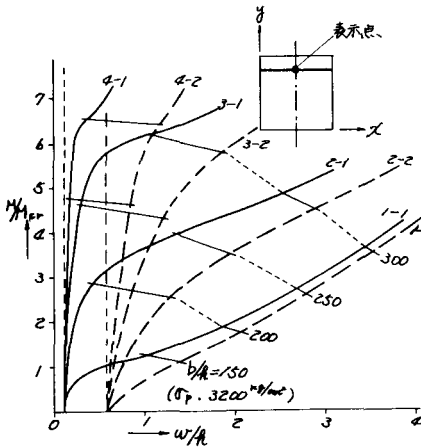


図-4

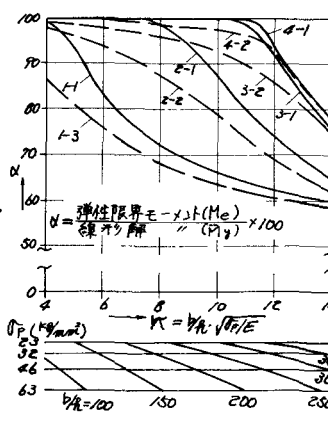


図-5

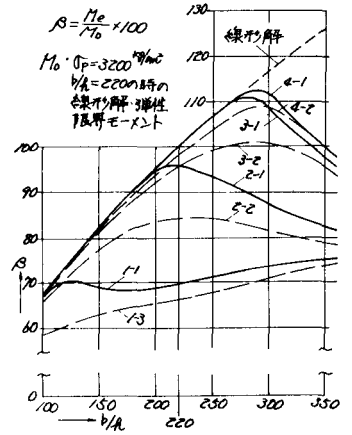


図-6

補剛材の効果を調べたものである。図-4は、モーメントとたわみの関係を示したものであって、 $\lambda=1$ の場合、たわみが急増する値(弾性座屈値近傍)は、単板(補剛材なし)の弾性座屈モーメント(M_{cr})の約6倍に達することがわかる。なお、図における斜線は、各板厚における弾性限界値を示すものである。(この項で述べる弾性限界とは、圧縮縁の弾性限界を意味するものである。)図-5は、線形解(梁理論)による弾性限界モーメント(M_y)に対する、本解析の弾性限界モーメント(M_e)の比率を示したものである。図に示すように、初期にたわみの小さい場合は、 $\lambda=30$ で、補剛材の効果が十分表れ、 $\lambda=60$ の時

と大差がない。しかしながら、初期たわみが大きい場合 ($\bar{w}_0 = 1.0$), $\gamma = 30$ と $\gamma = 60$ では、かなりの差異が見られる。図-6は、降伏応力 ($\sigma_p = 3,200 \text{ kg/cm}^2$, $b/a = 220$ (道路橋示方書の基準値) の場合の線形解による弾性限界モーメント (M_0) に対する各板厚の弾性限界モーメントの比率を示したものであり、板断面積 $Aw = 1$ 定の条件で比較したものである。図に見るように、 $\gamma \geq 30$ の範囲で、 β の最大値は、上記の示方書基準値より若干薄いとところに生じている。

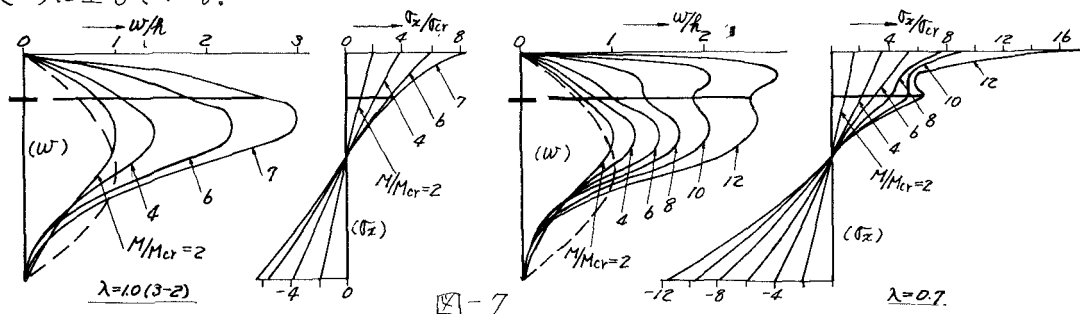


図-7は、例題3-2と、 $\lambda = 0.7$ の場合とを比較したものである。中央断面 ($x = 0.5a$) におけるたわみ (w) と応力 (σ_x) を示したものである。この図が示すように、 λ が小さい場合の方が補剛性は、効果的に働く。

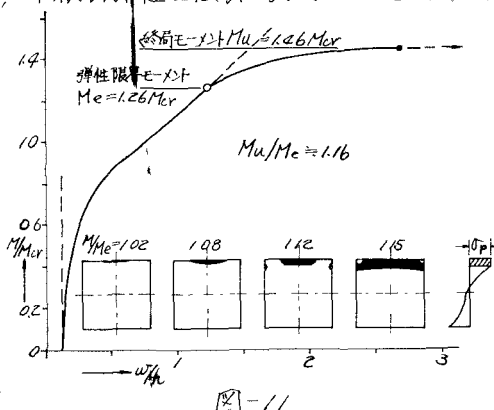
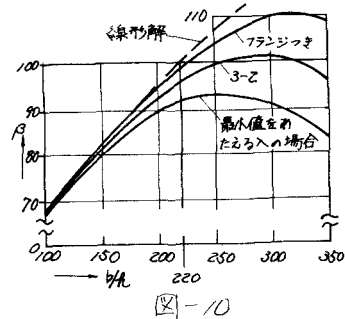
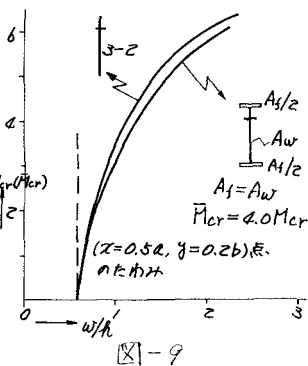
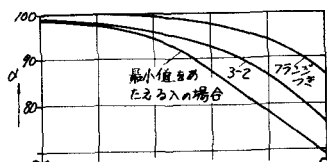
図-8は、辺長比 b/a の影響を調べたものである。

b/a が大きいほど、 λ の影響は顕著になり、各板厚において、最小値を与える λ は、単板の弾性座屈の場合 ($\lambda = 2/3$) と非常に異なる。

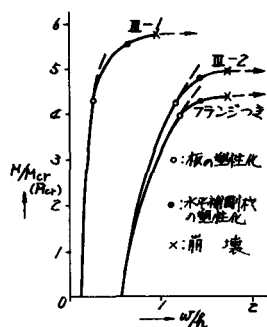
図-9は、フランジを有する場合の1例を3-2と比較したものであり、 γ などの条件は、3-2と同じ場合である。また、図-10は、図-8, 9に示した例題と、3-2の結果を比較したものであり、辺長比 b/a , フランジ断面積 A_f の値による影響が大きいことがわかる。

4. 弾塑性解析のデータ:

図-11は、補剛材がない解析例 I-1 のたわみ ($x = 0.5a, y = 0.2b$ 点) と塑性域の進展状態を示したものである。弾性限界から崩壊に至るまでの荷重増



加率は、16%であり、引張側は塑性状態に達していないことがわかる。



	弾性限界 モーメント (M_e)	終局モー メント (M_u)	M_u/M_e
Ⅲ-1	4.30 M_{cr}	5.75 M_{cr}	1.34
Ⅲ-2	4.22 "	4.95 "	1.17
F	4.10 M_{cr}	4.63 M_{cr}	1.08

F: フランジつき, $A_f = A_w$
 $M_{cr} = 4.0 M_{cr}$

図-12

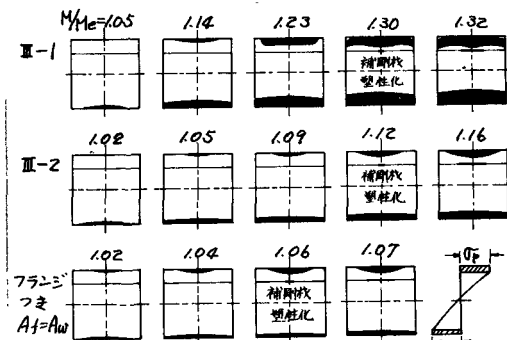


図-13

図-12,13は、補剛材を有する場合の解析結果

を示したものである。図-12に示す、Ⅲ-1,Ⅲ-2,の値を比較すると、弾性限界時の差異は、2%程度であるが、終局強度では、15%程度の差異が生じ、初期たわみの影響が大きいことがわかる。この影響は、フランジを有する場合さらに著しくなる。また、これらの図は、弾性限界時のたわみが大きい場合、板が塑性化して以後、わずかの荷重増加で補剛材も塑性化し、ただちに崩壊に至ることを示している。

なお、図に示すフランジ付きのデータは、フランジの塑性化を考慮していないものであって、これを考慮すると、終局強度はさらに低下する。

5. むすび：

本文は、プレートガーダの曲げパネルなどに見られる水平補剛材をもつ板について、その終局強度を理論的に把握するために、弾性後座屈、および弾塑性座屈の双方を考慮して若干の解析を行ったものである。もちろん、実際構造について論ずるには、条件、あるいはデータを欠くものがあり、今後、それらを補充していくつもりである。

ただ、本文であつかった解析範囲において、たとえば、道路橋示方書であつたわけらものと対比させながら要約してみると、次のようになる。

(1) 水平補剛材の必要鋼比(γ)は、板厚比 b/h 、初期たわみ $\bar{w}_0$ 、辺長比 λ 、の値などによって異なる。正方形板について、弾性領域内で論ずれば、 b/h が道路橋示方書の範囲の場合、 $\gamma=30$ で十分であるが、 b/h が大きく、 $\bar{w}_0$ が板厚程度の場合には、 $\gamma=30$ では若干、剛度不足のようである。

(2) 弾性後座屈解析の結果によると、水平補剛材1本の場合、最適板厚比は、上記示方書に定める b/h より若干薄いとところに生ずる。ただし、弾塑性解析の結果が示すように、弾性限界から終局状態に至る荷重の増加率は、板の横たわみに大きく影響される。したがって、最適板厚比を論ずるには、補剛材の剛度、初期たわみなどの影響を十分考慮した綿密な弾塑性解析が要求される。

(3) 辺長比 λ が終局強度におよぼす影響は大きく、 b/h が大きくなるとその影響は著しい。したがって、 λ の値に応じた補剛材の正確な検討が望まれる。