

面圧と圧縮を受ける長方形鋼板の終局強度

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

吉田公憲

東洋技研コンサルタント

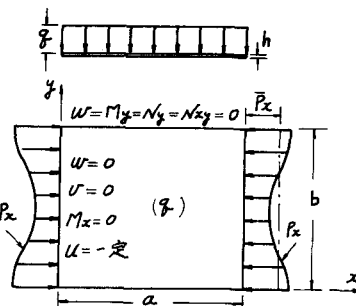
正員

○石川一美

1. まえがき: 本文は、面圧と圧縮を同時に受ける、長方形鋼板の終局強度に関する研究の1成果を報告するものである。

近年、土木の分野においても、構造物の大型化にともない、薄肉鋼板の耐荷力の研究が重要視される傾向にあり、特に水中構造物などでは、軸荷重と同時に横荷重を受ける鋼板の耐荷力についての知見が必要と思われる。筆者は、すでに、先行荷重として面圧(横荷重)を受け、同時に圧縮を受ける正方形板の終局強度の解析をおこない³⁾⁴⁾、横荷重が板の終局強度におよぼす影響を調べた結果、横荷重が比較的小さい場合 A.弾性後座屈解析

は、弾性限界から崩壊に至るまでの荷重の増加率は僅少であるが、横荷重によって板の隅点がすでに弾性限界に近い状態にある場合は板の崩壊荷重は、この点の弾性限界荷重よりかなり大きいという結果を得た。また、終局強度を弾性後座屈解析の結果から推定する近似式を与えた。



	$\bar{q}$		$\bar{q}$
A-1	0.00	A-8	27.38
A-2	0.75	A-9	36.91
A-3	2.67	A-10	46.43
A-4	3.57	A-11	55.95
A-5	6.67	A-12	75.00
A-6	8.33	A-13	113.10
A-7	17.86	A-14	159.43

 $\lambda = 0.7/4, \lambda = 1.0, \lambda = 1.25$
 $\bar{q} = (b/h)^2 \bar{q}_0 / E, \bar{u}_0 = 0.1h$

表-1

$\bar{q}$: 等分布荷重
 R : 圧縮力の強度
 $\bar{R}$: R の平均値
 h : 板厚

 u, v : x, y 方向変位

初期たわみ

 $\lambda = a/b$
 $w_0 = \bar{w}_0 \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}$
ポアソン比 $\nu = 0.3$ 図-1

今回は、正方形板について弾塑性解析のデータを補充して近似式の妥当性を検当すると同時に長方形板について弾性後座屈解析及び弾塑性解析を行なうことによって、横荷重が板の終局強度におよぼす影響を広範囲にわたって調べたものである。

解式の記述は紙面の都合で省略するが、下記の文献¹⁾²⁾を参照されたい。

2. 境界条件と解析例: 図-1に本文で扱った板の諸条件を示す。表-1, 2は、解析例を示したもので、まず最初に、初期たわみ($\bar{w}_0$)が、板厚の $1/10$ で与えられる各辺長比($\lambda = a/b$)の板について、横荷重を変化させた多くの、弾性後座屈解析をおこ

B. 弾塑性解析 表-2

	λ	R	β		λ	R	β
B-1-1		0.616	0.2	B-2-1		0.862	0.35
B-1-2		0.616	0.5	B-2-2		1.026	0.12
B-1-3		0.616	0.8	B-2-3		1.026	0.5
B-1-4		1.026	0.2	B-2-4	0.714	1.026	0.8
B-1-5		1.026	0.5	B-2-5		1.437	0.22
B-1-6		1.026	0.7	B-2-6		1.505	0.30
B-1-7		1.026	0.8	B-2-7		1.505	0.80
B-1-8		1.505	0.2	B-3-1		1.026	0.3
B-1-9		1.505	0.5	B-3-2		1.026	0.8
B-1-10		1.505	0.8	B-3-3	1.25	1.505	0.15
B-1-11		2.052	0.0	B-3-4		1.505	0.5
B-1-12		2.052	0.2	B-3-5		1.505	0.8

$$R = \frac{b}{h} \sqrt{\frac{G_E}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{4\pi^2}}, \beta = \bar{q}/E, \lambda = a/b, \bar{u}_0 = 0.1h$$

 $\bar{q}_E$: 横荷重のみによる弾性限界荷重

1) 岡村, 吉田: 大たわみ, および, リブの補剛を考慮した長方形鋼板の弾塑性解析 土木学会論文報告集 No.196 1971

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

3) 岡村, 吉田, 石川: 面圧と圧縮を受ける長方形鋼板の弾塑性後座屈 昭和49年度関西西部年次学術講演会要録

4) 岡村, 吉田, 石川: 面圧と圧縮を受ける長方形鋼板の終局強度 土木学会929回年次学術講演会要録

土木学会論文報告集 No.196 1971

土木学会論文報告集 No.206 1972

昭和49年度関西西部年次学術講演会要録

土木学会929回年次学術講演会要録

ない、横荷重が板の弾性限界応力 (P_E) におよぼす影響を広範囲において調べた。さらに、各辺長比 (λ) の板について、弾性後座屈解析の結果をもとにして、横荷重率 ($\bar{q}/P_E$) および板厚比等の異なる例題 (表-2) を選んで弾塑性解析をおこない、各辺長比 (λ) に対する弾性限界応力 (P_E) と終局強度 (P_m) との関係を示した。

3. 弾性後座屈解析のデータ： 図-2 は、解析例の一部について弾性限界応力 (P_E) と降伏応力 (σ_p) の比率 (α) を示したもので、図中の破線は、純圧縮を受ける板 (先行荷重 $\bar{q}=0$, 初期たわみ $w_0=0$) の弾性座屈応力 (σ_{cr}) と降伏応力 (σ_p) の比率を表わしている。

図-3 は、各辺長比 (λ) について、横荷重のみによる場合の弾性限界荷重 ($\bar{q}_E$) を示したもので、 R が大きい板では膜力の効果により線形解よりも非常に大きくなる。

図-4 は、図-2, 3 を用いて横荷重 ($\bar{q}$) と、板の弾性限界応力 (P_E) の関係を記号 β , γ で無次元化したものである。

図-4 より比較的厚い板の領域では、辺長比によってかなりの差が見受けられるが板厚が薄くなればその差は接近してくる。また、辺長比によって板の隅点 ($y=0, x=0$) あるいは ($x=0.5a, y=0$) 点が最初に弾性限界に達する領域が異なっている。

4. 弾塑性解析データ： 図-5, および表-3 は、弾塑性

解析の結果である、図-5 は、解析例の一部について圧縮力 ($\bar{R}$) と板中央点のたわみの関係を示したもので、解析例 B-1-8, B-3-3 は ($x=0.5a, y=0$) 点

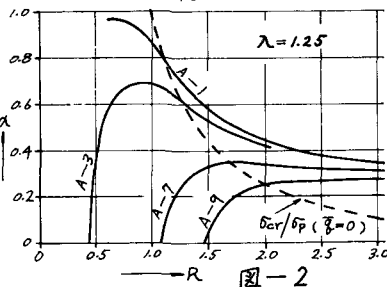
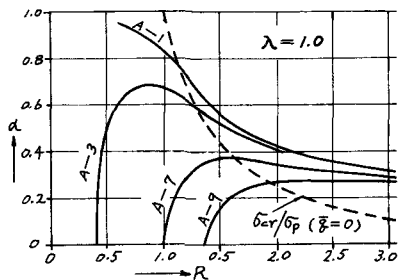
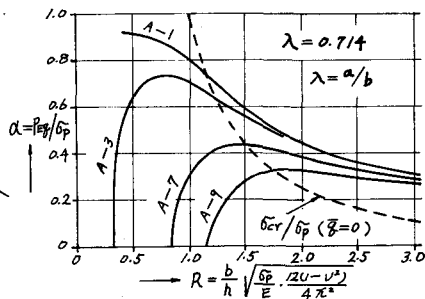


図-2

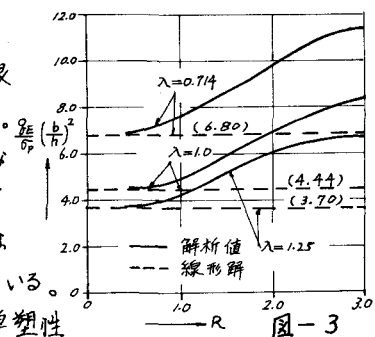
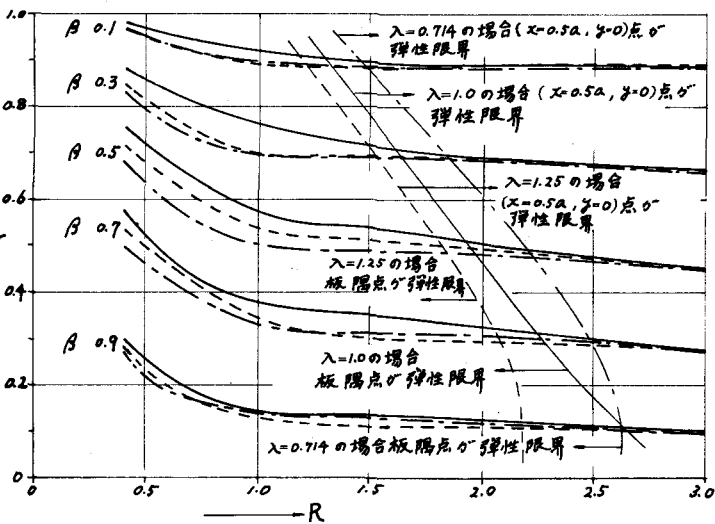


図-3



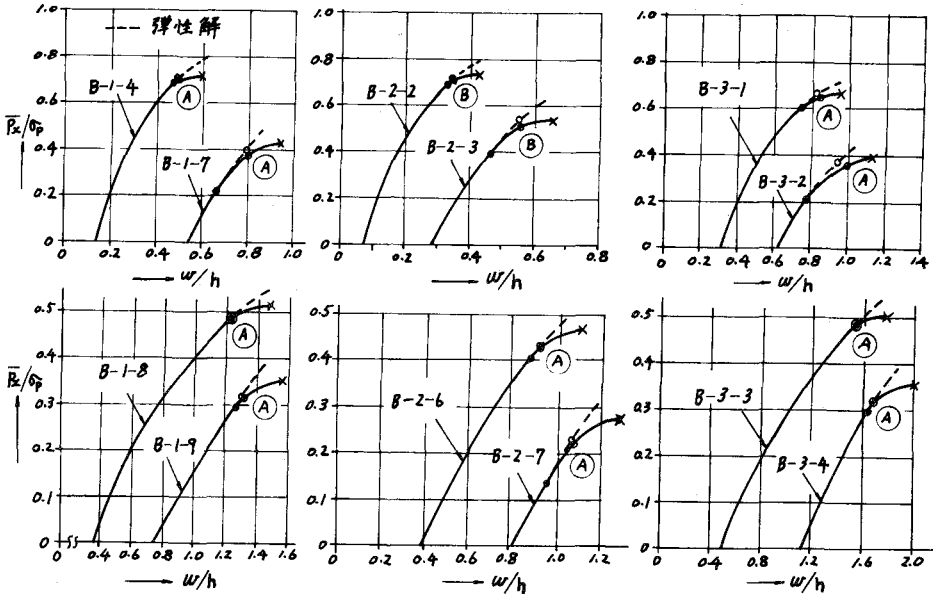
$\beta = \bar{q}/P_E$, $\gamma = P_E/P_{E0}$
 $\bar{q}$: 横荷重
 P_E : $\bar{q}=0$ の時の弾性限界荷重
 $P_{E\bar{q}}$: 横荷重 ($\bar{q}$) を受けた時の弾性限界応力
 P_{E0} : $\bar{q}=0$ の時の弾性限界応力

図-4

が最初に弾性限界(P_E)に達する例であり、他の例題はすべて隅点が最初に弾性限界(P_E)に達する場合である。

解析結果によると($x=0.5a, y=0$)点あるいは($x=0.5a, y=0.5b$)点が塑性化するまでは、変形の急増は見られずこのいずれかの点が塑性化(P_u)すると変形は急増し崩壊(P_m)に至る。表-3には、弾塑性解析による解析値と弾性後座屈解析をおこない($x=0.5a, y=0$)点あるいは($x=0.5a, y=0.5b$)点が弾性限界に達した時の値($\bar{P}_u$)が示してある。解析結果が示すようにすべてのデータは P_u と $\bar{P}_u$ が非常に接近しており $P_u \approx \bar{P}_u$ とみなすことが出来る。

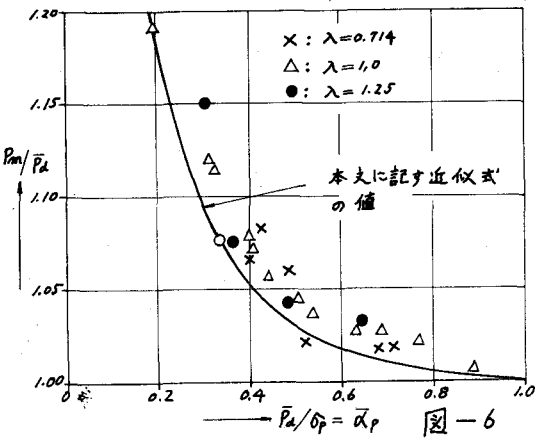
図-6には、 $\bar{P}_u/\bar{\sigma}_p$ と $P_m/\bar{P}_u$ の関係が示してある。これより辺長比(λ)に関係なく $\bar{\alpha}_p$ の比較的大きな場合は、 $P_m \approx \bar{P}_u$ と見なすことができるが、 $\bar{\alpha}_p$ が小さくなると、 P_m と $\bar{P}_u$ は異なってくる。なお、解析例は R と β がかなり異なったものであるが、図に見るように $P_m/\bar{P}_u$ には、 $\bar{\alpha}_p$ の影響が支配的であり R と β の差異によるバラツキはほとんど見られない。また、この傾向は辺長比が変化した場合も同様である。本解析の



●:弾性限界 (P_E), ○:($x=0.5a, y=0$)点(A), ($x=0.5a, y=0.5b$)点(B)が塑性化(P_u), X:崩壊 (P_m) 3点値の小さい方を示す

表-3

	$P_E/\bar{\sigma}_p$	$P_u/\bar{\sigma}_p$	$P_m/\bar{\sigma}_p$	$\bar{P}_u/\bar{\sigma}_p$	$P_u/\bar{P}_u$	$P_m/\bar{P}_u$
B-1-1	0.851	0.872	0.884	0.877	0.992	1.006
B-1-2	0.672	0.750	0.781	0.765	0.980	1.021
B-1-3	0.353	0.614	0.647	0.630	0.975	1.027
B-1-4	0.681	0.688	0.712	0.673	0.993	1.028
B-1-5	0.465	0.513	0.553	0.535	0.957	1.036
B-1-6	0.307	0.422	0.467	0.444	0.951	1.058
B-1-7	0.212	0.410	0.431	0.400	0.950	1.078
B-1-8	0.450	0.450	0.521	0.450	1.00	1.043
B-1-9	0.290	0.311	0.352	0.314	0.987	1.120
B-1-10	0.131	0.189	0.229	0.172	0.985	1.192
B-1-11	0.406	0.406	0.434	0.406	1.00	1.067
B-1-12	0.300	0.322	0.359	0.322	1.00	1.115
B-2-1	0.560	0.675	0.701	0.688	0.981	1.017
B-2-2	0.688	0.710	0.787	0.715	0.985	1.019
B-2-3	0.394	0.516	0.540	0.528	0.977	1.022
B-2-4	0.193	0.397	0.428	0.402	0.970	1.066
B-2-5	0.464	0.476	0.520	0.470	0.972	1.061
B-2-6	0.404	0.425	0.467	0.430	0.991	1.086
B-2-7	0.135	0.222	0.277	0.226	0.982	1.235
B-3-1	0.603	0.647	0.670	0.650	0.978	1.031
B-3-2	0.204	0.361	0.396	0.367	0.977	1.072
B-3-3	0.485	0.485	0.505	0.485	1.00	1.042
B-3-4	0.296	0.308	0.356	0.310	0.974	1.150
B-3-5	0.119	0.180	0.249	0.183	0.983	1.360



範囲から解析値を安全側に包絡するように P_m と $\bar{P}_a$ の関係を表わす近似式を作ると、次のようになる。

$\alpha_p \geq 1/3$ の領域

$$P_m \approx \bar{\alpha}_p (0.99 + \frac{0.01}{\alpha_p^2}) \delta_p$$

$0.2 \leq \alpha_p < 1/3$ の領域

$$P_m \approx \bar{\alpha}_p (0.93 + \frac{0.05}{\alpha_p^2}) \delta_p$$

図-7は、この式を用いて、横荷重と板の終局強度の関係を与えたものである。図中、

各細線は $\alpha_p < 0.2$ の領域においても上式が成立するものと仮定して求めた参考値である。図-8は、種々の R の値に対して、横荷重と板の弾性限界荷重ならびに終局強度の関係を示したものであり、ハッチング部分は、横荷重によって生じる初期応力(初期変形)による板の終局強度の低減率を示している。

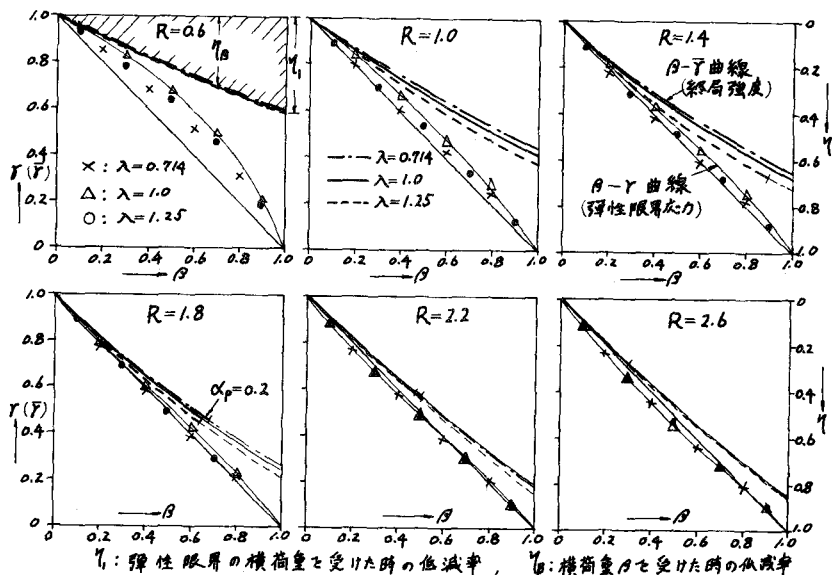


図-8

β - $\bar{Y}$ 曲線について見ると辺長比に関係なく非数値的薄い板の領域では $\beta + \bar{Y} = 1$ に近い関数となる。また、 β - $\bar{Y}$ 曲線も辺長比に関係なく $\eta \cdot \beta + \bar{Y} = 1$, $\eta_0 \approx \beta \cdot \eta$ とみなすことが出来る。図-9は、 η と R の関係を示したものである。

5. むすび: 今回解析した辺長比の領域は $(0.7 < \lambda \leq 1.25)$ の範囲であるがこの領域についてみると、終局強度を弾性後座屈解析の結果から推定する近似式は辺長比には影響されない

ようである。横荷重(β)と板の弾性限界荷重(γ)の関係は、比較的薄い板の領域においては、辺長比に関係なく $\beta + \gamma = 1$ に近い関数であり、 β , $\bar{Y}$, η の関係は、 $\eta \cdot \beta + \bar{Y} = 1$, $\eta_0 \approx \beta \cdot \eta$ に近い関数であることがわかった。

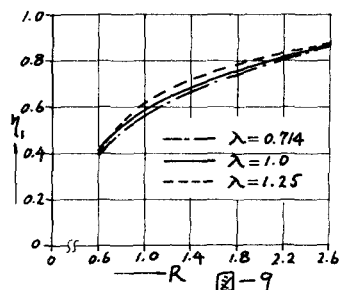


図-9