

大阪市立大学工学部 学生員 ○近藤真由子

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員

松村 政秀

大阪市立大学大学院工学研究科

正会員

北田 俊行

東北大学大学院

正会員

池田 清宏

1. はじめに 補剛板構造の耐荷力は、構造形状、残留応力および初期たわみなどの初期不整のパラツキにより変動する。本研究では、周辺単純支持板および連続補剛板を対象として、軸方向圧縮力を作用させ、縦補剛材間の板パネルの幅厚比パラメータ R_R 、縦補剛材と有効幅細長比パラメータ λ 、および導入する初期たわみの最大値 d とを変化させ、補剛板構造の終局強度および終局強度に至るまでの弾塑性挙動を数値解析により明らかにする。つぎに、得られた最大荷重と導入した初期たわみの最大値とを用いて初期不整感度則の適用性を検討し、弾塑性挙動を示す構造部材に対する初期不整感度則の有効性について考察する。

2. 初期不整感度則 Koiter¹⁾は完全系の分岐理論を、初期不整を含む不完全系に拡張し、シェル型構造の最大強度が初期不整の2/3乗に比例して低下するという初期不整感度則を提唱している²⁾。初期不整感度則²⁾は、式(1)で表され、初期不整が十分に小さいとき、初期不整の大きさに独立して座屈モードが変形しない場合に弾性内で成り立つ式である。

$$f_c = f_c^0 - C\varepsilon^p \quad (1)$$

ここに、 f_c ：初期不整を持つ不完全系の座屈荷重、 f_c^0 ：初期不整がない完全系の座屈荷重、 ε ：初期不整、および p ：特異点の種類により決まるべき乗

3. 周辺単純支持板の解析 補剛板構造を構成する最小板要素である周辺単純支持板を解析対象として、一様圧縮変位を作用させた。板パネルの幅厚比パラメータ R_R を0.1~1.9 (0.2刻み:r10~r190)の10種類とし、残留応力を考慮する場合、考慮しない場合の2ケースについて解析を行った。考慮した板パネルの残留応力分布は図-3.1に示すとおりであり、鋼種はSS400とした(表-3.1)。板パネルの初期たわみには式(2)で表されるsin波形を仮定し、その最大値を、板厚の0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, および2倍の8種類に設定した。

表-3.1 対象とした鋼板の機械的性質

鋼種	降伏点 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	引張応力 σ_U (N/mm ²)	降伏ひずみ ε_y	ひずみ硬化 開始ひずみ ε	ひずみ硬化率 E_s (N/mm ²)	ポアソン比 μ
SS400	235	2.0×10^5	400	0.001175	0.01175(=10 ε_y)	2,486	0.3

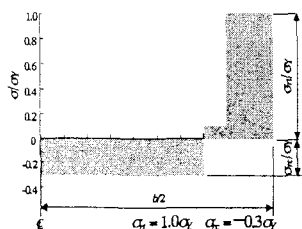
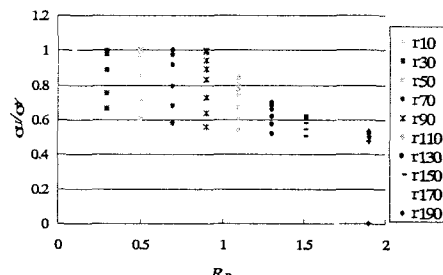
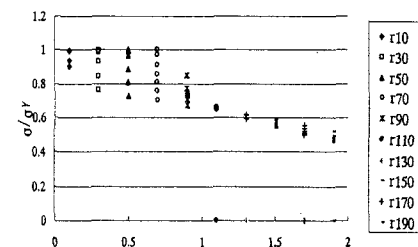
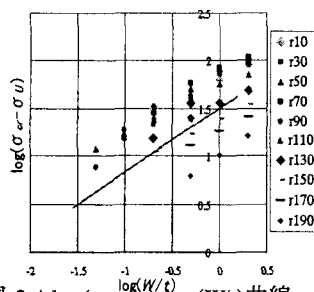
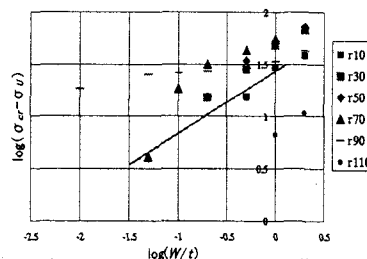


図-3.1 残留応力分布

(a)残留応力を考慮しない場合 R_R に着目すると図-3.2から3区分に分けて考えることができる。すなわち、 $0.5 < R_R < 1.1$ の範囲で、 σ_{cr} にオイラーの座屈応力を用いると、初期不整感度則の適用性が認め

図-3.2 σ_U/σ_y-R_R 曲線(残留応力を考慮しない)図-3.3 σ_U/σ_y-R_R 曲線
(残留応力を考慮)図-3.4 $\log(\sigma_{cr}-\sigma_y)-\log(W/t)$ 曲線
(残留応力を考慮しない)図-3.5 $\log(\sigma_{cr}-\sigma_y)-\log(W/t)$ 曲線
(残留応力を考慮)

られた。それ以外の $R_R < 0.5$ ではオイラーの座屈応力が終局強度を大きく、 $1.1 < R_R$ では小さく算出しすぎるので初期不整感度則が適用できない。そこで、初期不整感度則を満たすような σ_{cr}' を算出した。表-3.2(a)に、 σ_{cr}' と σ_{cr} とを比較して示す。なお、 σ_{cr}' の範囲を Searching Area と呼ぶ。

表-3.2 周辺単純支持板の Searching Area と座屈応力との関係
(a) 残留応力を考慮しない

R_R	採用した W/t	σ_{cr}' (N/mm ²)	$\sigma_{cr} = 1/R_R^2 \times \sigma_Y$ (N/mm ²)
0.1	0.5~2	263~282	23500
0.3	0.2~2	251~265	2611
0.5	0.2~2	251~267	940
0.7	0.1~2	244~257	480
0.9	0.05~2	229~238	290
1.1	0.05~2	193~199	194
1.3	0.2~2	164~171	139
1.5	0.2~3	148~153	104
1.7	0.5~2	137~141	81
1.9	1~2	128~132	65

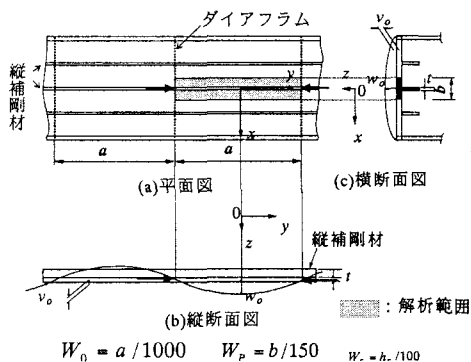
(b) 残留応力を考慮

R_R	採用した W/t	σ_{cr}' (N/mm ²)	$\sigma_{cr} = 1/R_R^2 \times \sigma_Y$ (N/mm ²)
0.1	0.5~2	249~257	23500
0.3	0.2~2	246~257	2611
0.5	0.2~2	242~252	940
0.7	0.1~2	233~238	480
0.9	0.05~2	233~238	290
1.1	0.01~2	182~183	194
1.3			139
1.5			104
1.7			81
1.9			65

(b) 残留応力を考慮した場合 図-3.3 から、残留応力を考慮すると、 $R_R > 1.3$ では初期たわみの大きさの変化が終局強度に及ぼす影響はほとんどないことがわかる。3.(a)と同様な方法で Searching Area を算定し、図-3.5 および表-3.2(b)に初期不整感度則の適用範囲を示す。

4. 連続補剛板の解析

4.1 解析モデル 図-4.1 には、対象とした連続補剛板を示す。圧縮力はT字形断面の図心位置に載荷した。ここで、板パネルの幅厚比パラメータ R_R を 0.3、縦補剛材の幅厚比パラメータ R_S を 0.3~1.1 および細長比パラメータ λ を 0.6、1.2 と変化させた。板パネルには式(3)、縦補剛材には式(4)で表される初期たわみ波形をそれぞれ導入し、その最大値を、板厚の 0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, および 2 倍、すなわち 8 種類に設定した。



$$W_0 = a/1000 \quad W_p = b/150 \quad W_s = h_s/100$$

図-4.1 連続補剛板のモデル化

表-4.1 Searching Area と座屈応力との関係

モデル名	λ	採用した W/t	1/2乗~2/3乗則を満たす σ_{cr} searching area (N/mm ²)	$1/\lambda^2$ から求める σ_{cr} (N/mm ²)
r30s5016v	0.6	0.2~2	230~243	653
r30s50112v	1.2	0.2~2	156~167	163
r30s8016v	0.6	0.2~2	208~215	653
r30s80112v	1.2	0.2~2	154~163	163

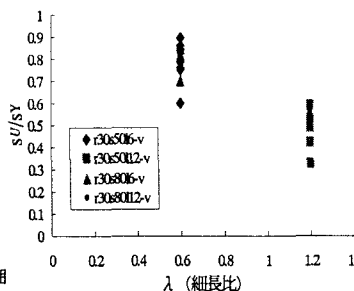


図-4.2 σ_U/σ_Y - λ 曲線

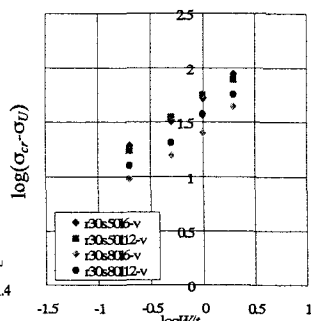


図-4.3 $\log(\sigma_{cr} - \sigma_Y)$ - $\log(W/t)$ 曲線

4.2 解析結果 図-4.2 より、細長比パラメータ $\lambda=1.2$ では、 W/t が 0.2~2 の範囲で初期不整感度則の適用性は認められたが、 $\lambda=0.6$ では認められなかった。 $\lambda=0.6, 1.2$ に設定したどちらの解析モデルにおいても、 R_S を 0.5 あるいは 0.8 と変化させているが、 R_S による σ_U の変動は極めて微小であり、補剛板としてではなく柱としての挙動を示していると考えられる。図-4.3 より、初期不整感度則の適用が認められることがわかる。

5. まとめ 周辺単純支持板および連続補剛板の解析結果から、弾塑性挙動を示す部材に対する初期不整感度則の適用性が認められた。したがって、今回設定した初期たわみ範囲内で任意の初期たわみの最大値を有する部材の終局強度を容易に求めることができる。ただし、複雑なモデル、すなわち、座屈が連成したり、複数の初期不整を有する部材への初期不整感度則の適用性については引き続き検討を進める必要がある。今後、既存構造物や変形を受けた構造物の容易な耐力評価法への応用が期待できる。

参考文献 1) Koiter, W.T.: On the stability of elastic equilibrium, Delft, Holland, 1945. (English translation: NASA Tech. Trans. F10: 833, 1967, 2) 生出 佳, 池田清宏, 寺田賢二郎, 藤井 堅, 岡澤重信: 構造部材強度の分岐理論に基づく確率評価法, 土木学会論文集, I-58, 2002, pp.85~98. 2002. 4.