

大阪大学大学院 学生員 出口 恭司
大阪大学工学部 正 員 小松 定夫
大阪大学工学部 正 員 奈良 敦

1. まえがき 塑性領域で崩壊する幅厚比の小さな圧縮板では極限強度が降伏荷重の付近になることが一般に知られている。この原因としては、ひずみ硬化が考えられる。本研究では、比較的幅厚比の小さい圧縮板について、ひずみ硬化を考慮した場合について極限強度を算定し、ひずみ硬化が極限強度に与える影響について考察したので報告する。

2. 解析法 有限要素法を適用してひずみ硬化を考慮した弾塑性有限変位解析プログラムを作成した。本解析法は、von Mises の降伏条件、Prandtl-Reuss の塑性流れ則、ひずみ硬化領域では、Pragerの等方性ひずみ硬化則に従う材料を対象とする。

3. 解析モデル ひずみ硬化に関するパラメータであるひずみ硬化率 H' 、ひずみ硬化開始ひずみ ϵ_H を仮定するにあたり鋼材の引張試験を実施した。その結果を表-1に示す。またSS41材の応力-ひずみ曲線の一例を図-1に示す。解析モデルにおけるひずみ硬化に関するパラメータについては上限値と下限値を採ることとする。つまり $\epsilon_H = 0.01, 0.03$ 、 $H_0'/E = 1/100, 1/200$ とする。境界条件については周辺単純支持とした。メッシュ分割 4×4 の解析モデルの概略図を図-2に示す。

表-1 引張試験の結果

鋼種	パラメータ	平均 μ	標準偏差 σ	$\mu+2\sigma$	$\mu-2\sigma$	範囲
SS41	$1/\epsilon_H$	$1/12$	$1/357$	$1/49$	$1/303$	$1/42 \sim 1/311$
	$E_H (\times 10^4)$	20561	5462	31485	9637	13393-27978
SM50YA	$1/\epsilon_H$	$1/39$	$1/92$	$1/67$	$1/118$	$1/17 \sim 1/175$
	$E_H (\times 10^4)$	25125	1460	28045	22205	22322-27074

$1/\epsilon_H$: ひずみ硬化後の 降伏塑性係数
 E_H : ヤング係数 ($\sim 2.1 \times 10^4$ 単位)
 E_H : ひずみ硬化の開始ひずみ

4. 解析結果 (1) 解析法の検証 正方形平板をモデルとして平面応力問題について数値計算を行なった。図-2に示す要素AとBについてそれぞれ第1層と5層における主応力度 σ_1, σ_2 の経路と初期降伏曲線を図-3に示す。載荷状態は2軸圧縮とし、圧縮変位の組合せは、X, Y方向に 1:1, 1:2, 1:4, 1:6 の4通りとした。図-4は、初期荷重として $\sigma_x = 0.5 \sigma_y$ の応力を導入した後、X, Y方向に 1:1の圧縮変位を与えた場合である。初期降伏曲線は von Mises の降伏条件 (図中の式) から得られ、この曲線に達すると降伏が始まり、さらにひずみ硬化領域にはいると応力は増加することが認められる。この初期降伏曲線から離れる点は、圧縮変位の組合せ状態によって異なることがわかる。これについては、その離れる点における初期降伏曲線の法線の傾き $\Delta \sigma_1 / \Delta \sigma_2$

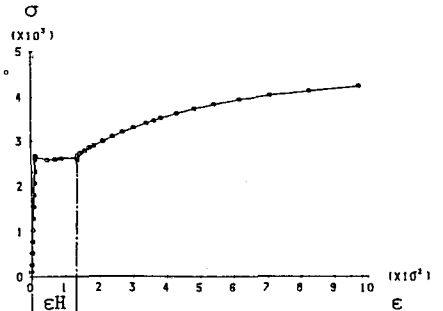


図-1 応力-ひずみ曲線 (SS41)

表-2 圧縮変位の比と法線方向の傾き

$U:V$	1:1	1:2	1:4	1:6
$\Delta \sigma_1 / \Delta \sigma_2$	1.00	1.99	3.95	5.87

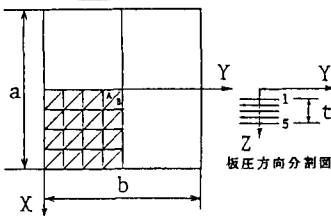


図-2 解析モデル

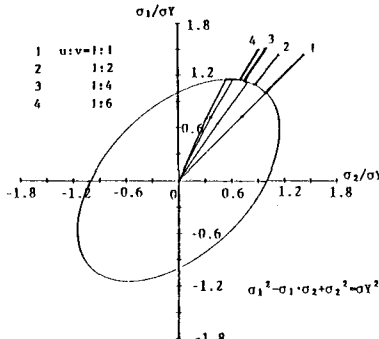


図-3 降伏曲線と主応力度曲線

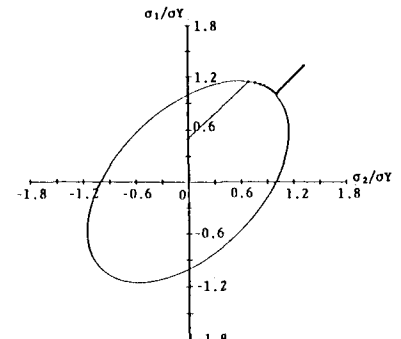


図-4 降伏曲線と主応力度曲線

と X, Y 方向の圧縮変位の比が関係していることが表-2よりわかる。 σ_v/σ_Y また図-5は同じ位置における相当応力 σ_v と相当ひずみ ϵ_v との関係をそれぞれ降伏応力度 σ_Y および降伏ひずみ ϵ_Y で無次元化して示したものである。この例では $\epsilon_H = 0.01$ であるが、これに相当する $\epsilon_v/\epsilon_Y = 8.75$ からひずみ硬化が起こり相当応力の増加が認められる。この相当応力-相当ひずみ曲線において、弾性領域での傾き θ_E とひずみ硬化後の傾き θ_H を求めると表-3に示す通りとなった。

(2) 圧縮板 初期不整をもつ圧縮板について数値計算を行なった結果について述べる。鋼種は S S 41、初期たわみの最大値は道路橋示方書(道示)の許容値 $b/150$ とした。残留応力については文献

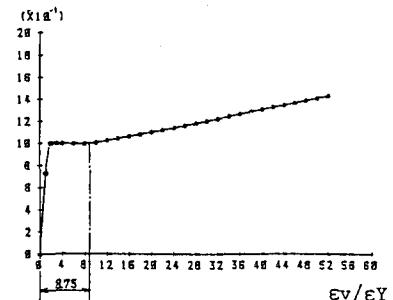


図-5 相当応力-相当ひずみ曲線

1)に基づいた。図-2において X 方向に圧縮変位を加えるものとする。各パラメータの値を表-4に示す。 i) 縦横比 α の

影響: たわみの存在によって面外の曲げ応力度が生じるが、 $\alpha=1.0$ に比べて $\alpha=0.5$ の方が曲げ応力度が大きくなる

ことが認められた。 ii) ひずみ硬化に関するパラメータの影響: $\alpha=0.5$ の場合について、 ϵ_H , H_0'/E , R をパラメータとして解析した結果を図-6に示す。図-6中には板パネルと正方形箱形断面短柱の破壊実験^{2),3)}より得られた極限強度をプロットした他、ひずみ硬化を考慮しない場合の解析結果を破線で示す。この図より、①ひずみ硬化を考慮することによって極

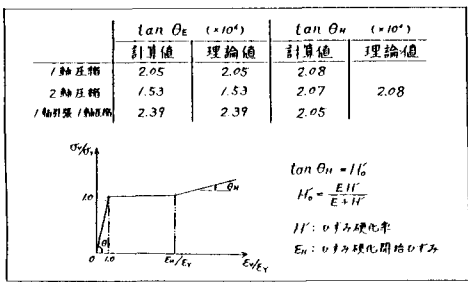


表-3 相当応力-相当ひずみ曲線の傾き

	$\tan \theta_E$ ($\times 10^4$)		$\tan \theta_H$ ($\times 10^4$)	
	計算値	理論値	計算値	理論値
1軸圧縮	2.05	2.05	2.08	
2軸圧縮	1.53	1.53	2.07	2.08
1軸引張/軸引張	2.39	2.39	2.05	

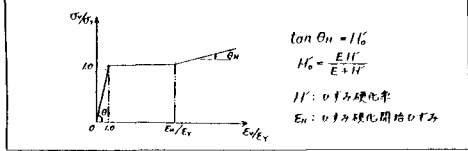


表-4 パラメータとその値

- ・縦横比: $\alpha = 9/6; 0.5, 1.0$
- ・幅厚比パラメータ: $R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E}{G} \frac{12(1-\nu^2)}{R}}$ ただし $k=4.0$
- ・ひずみ硬化開始ひずみ: $\epsilon_H: 1.0 \times 10^{-3}, 3.0 \times 10^{-3}$
- ・ひずみ硬化後の指数硬化係数 H_0'/E の無次元値: $1/100, 1/200$
- ・0.3, 0.4, 0.5

限強度の上昇が期待できる R の範囲は、0.5 付近より小さい領域である、②ひずみ硬化に関するパラメータ ϵ_H , H_0'/E のうち、 H_0'/E の方が ϵ_H より極限強度に与える影響が大きい、③過去の実験データは少ないが、ひずみ

硬化を考慮することにより $R \leq 0.5$ においては、計算結果は実験結果の下限値を与えている、ことがわかった。 iii) 示方書との比較: 図-7には解析結果と一点鎖線および二点鎖線で表わす道示および DAST-Rit 012 (DAST) の基準耐荷力曲線との比較を示す。破線については図-6と同じである。道示は DAST に比較して $R > 0.7$ の領域で耐荷力を低く評価するが、両示方書とも $\bar{\sigma}_{max}/\sigma_Y = 1$ となる最大幅厚比パラメータは $R_{cr} = 0.7$ である。ひずみ硬化を考慮しない場合、 $R=0.3$ においても $\bar{\sigma}_{max}/\sigma_Y < 1$ である。ひずみ硬化を考慮することによって $\bar{\sigma}_{max}/\sigma_Y = 1$ を確保できる

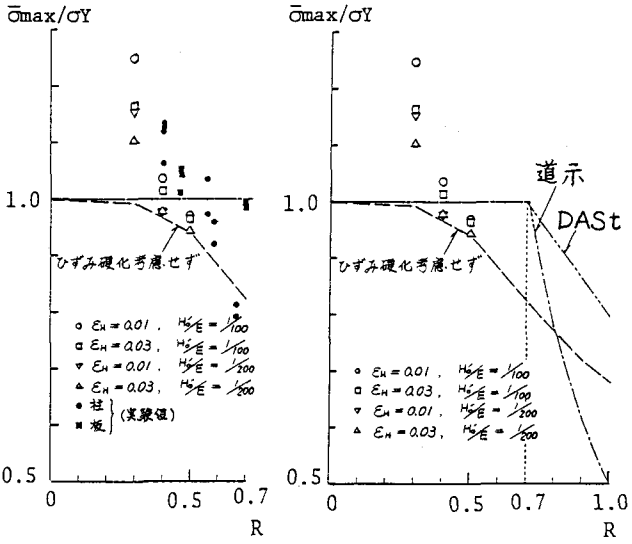


図-6 実験結果との比較 図-7 示方書との比較

あとがき 圧縮試験により得られた材料特性を用いた結果については、講演当日説明する予定である。

謝辞 本研究において、山田浩幸君(本学大学院生)に協力して頂いた。ここに謝意を表します。

参考文献 1)小松・牛尾・北田;土木学会論文報告集、第 265号、1977. 2) Y.Ueda and L.Tall, IABSE Publications, 1967. 3) J.B.Dwight and K.E.Moxham, The Structural Engineer, Vol. 47, No. 2, 1969.