

I-92

ひずみ硬化を考慮した圧縮板の極限強度曲線について

大阪大学大学院 学生員 出口 恭司
 大阪産業大学工学部 正 員 小松 定夫
 大阪大学工学部 正 員 奈良 敬

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を越えることが実験的に知られている。この原因としては、ひずみ硬化の影響が考えられる。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、理論的立場からこの事実を明らかにした。¹⁾今回は鋼材の圧縮試験より得られたデータに基づき、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. **圧縮試験** 材料のひずみ硬化後の挙動を知る必要性から鋼材の圧縮試験を実施した。試験片は高さと同径の比が3の円柱とし、7鋼種用いた。試験の結果得られた応力-ひずみのプロットの一例を図-1に示す。これは応力、ひずみを降伏応力度 σ_Y 、降伏ひずみ ϵ_Y で無次元化し自然対数で表現したものである。ひずみ硬化領域の応力-ひずみ関係は直線で表現できるようである。つまり、ひずみ硬化に関するパラメータとして B, n を用いて次式で表現した。

$$\sigma / \sigma_Y = B (\epsilon / \epsilon_Y)^n \quad (1)$$

鋼材の機械的性質と共に B, n の値を表-1に示す。

4. **解析モデル** B, n の値を鋼種に応じて表-1より用いて、これによる応力-ひずみ関係のモデルを図-2の実線で示す。図中の式に示すように、ひずみ硬化領域の応力-ひずみ関係を式(1)で定義する。ここで ϵ_H はひずみ硬化開始ひずみで、式(1)において $\sigma / \sigma_Y = 1$ となる時のひずみである。ひずみ硬化後は全ひずみ ϵ が弾性ひずみ ϵ_e と塑性ひずみ ϵ_p の和であることから、接線弾性係数 $H_e' (= d\sigma/d\epsilon)$ はひずみ硬化率 $H' (= d\sigma/d\epsilon_p)$ を伴って、 $H_e' =$

$E H' / (E + H')$ で示される。 H' は ϵ_p の関数であると理論的に裏付けられているので、式(1)より $H', \epsilon_p / \epsilon_Y$ の関係を導き図-3に実線で示した。また試験より得られたひずみ硬化領域での応力増分量と塑性ひずみ増分量から求めたものを図-3にプロットした。これよりひずみ硬化領域で式(1)を用いることが妥当だと認められる。解析モデルの概略図を図-4に示す。境界条件は周辺単純支持とした。

5. **解析結果** 初期不整を持つ圧縮板について数値計算を行った結果について述べる。縦横比 $a/b=0.5$ 、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2)に基づいた。図-4において X方向に圧縮変位を加え、降伏応力度は公称値を用いた。各パラメータの値を表-2に示す。

(1) **解析法の検証** SS41材の場合、図-4に示す要素Aにおける相当応力 σ_v と相当ひずみ ϵ_v との関係を無

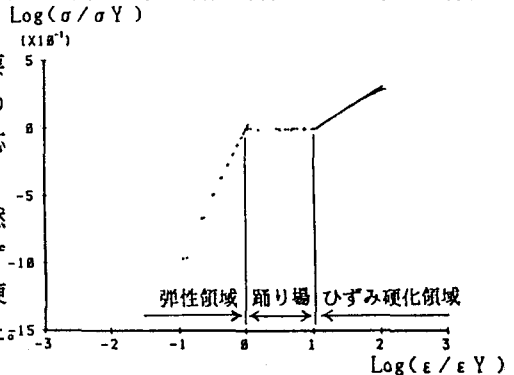


図-1 応力 - ひずみ曲線 (SS41材)

表-1 圧縮試験結果

鋼種	l	d	σ_Y	E	ν	B	n
A	45.0	15.0	2595	2.116	0.2819	0.4816	0.3102
B	45.0	15.0	3789	2.130	0.2795	0.6088	0.2347
C	93.0	31.0	4084	2.130	0.2861	0.5506	0.2634
D	45.0	15.0	4102	2.135	0.2747	0.5719	0.2585
E	93.0	31.0	4105	2.119	0.2845	0.6318	0.2383
F	45.0	15.0	5401	2.148	0.2827	0.7295	0.1703
G	87.0	29.0	5407	2.143	0.2812	0.7861	0.1504

l : 高さ(mm), d : 直径(mm), σ_Y : 降伏応力度(kg/cm²),
 E : ヤング係数($\times 10^6$ kg/cm²), ν : ポアソン比
 B : ひずみ硬化係数, n : ひずみ硬化指数

鋼種 A : SS41 B : SM50A C : SM50B D : SM50YA
 E : SM50YB F : SM58 G : SM58

次元化して図-2にプロットした。ひずみ硬化後の解析結果は $\epsilon H / \epsilon Y = 10.54$ より応力-ひずみモデルとほぼ同じ曲線上に載ることがわかった。

(2) 極限強度に関するひずみ硬化の影響 R, 鋼種をパラメータとして解析した結果を図-5に示す。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限強度の上昇が期待できる R の範囲はどの鋼種についても 0.5 付近より小さい領域である、② $R=0.4$, 0.5 の場合、極限強度の鋼種による差はほとんど無いが、 $R=0.3$ の場合、SS41材では $\bar{\sigma}_{max} / \sigma Y = 1.31$ 、SM58材では 1.17 となり降伏応力度が小さい鋼材ほどひずみ硬化の影響が顕著である、ことがわかった。

(3) 示方書との比較 一点鎖線および二点鎖線は道示および DAST-Rit 012 (DAST) の基準耐荷力曲線である。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。ひずみ硬化を考慮することによって $\bar{\sigma}_{max} / \sigma Y = 1$ を確保できる幅厚比パラメータは $R=0.46$ 付近になる。

あとがき

詳細な考察については、講演当日行う予定である。

謝辞

本研究にあたり、圧縮試験、データ整理に協力して頂いた鳥牧昭夫君(大阪府、当時本学4年生)に感謝の意を表します。

参考文献

1) 出口・小松・奈良;土木学会第40回年次学術講演会, I-80, 1985年9月

2) 小松・牛尾・北田;土木学会論文報告集, 第265号, 1977

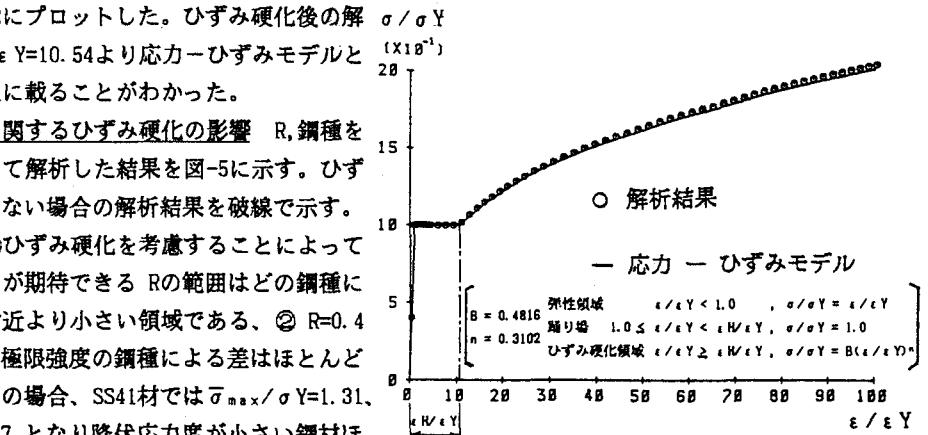


図-2 応力-ひずみモデルと解析結果(SS41材)

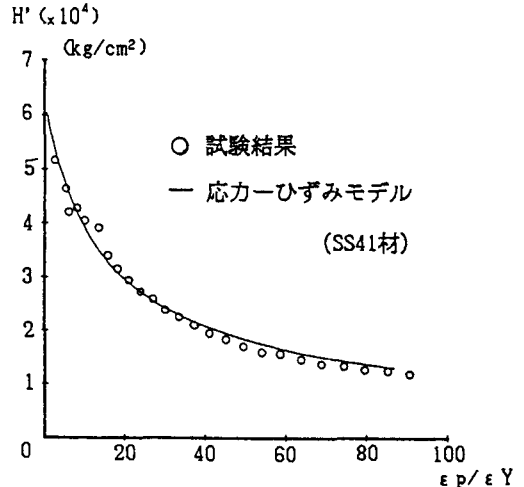


図-3 塑性ひずみとひずみ硬化率

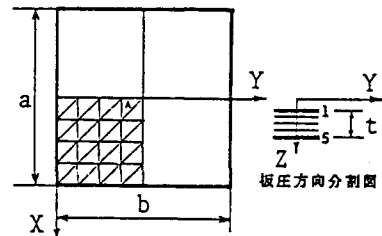


図-4 解析モデル

表-2 パラメータの値

$$\text{幅厚比パラメータ: } R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu^2)}{E \pi^2 k}}$$

ただし $k = 4.0$; 0.3, 0.4, 0.5

鋼種: SS41, SM50, SM50Y, SM58

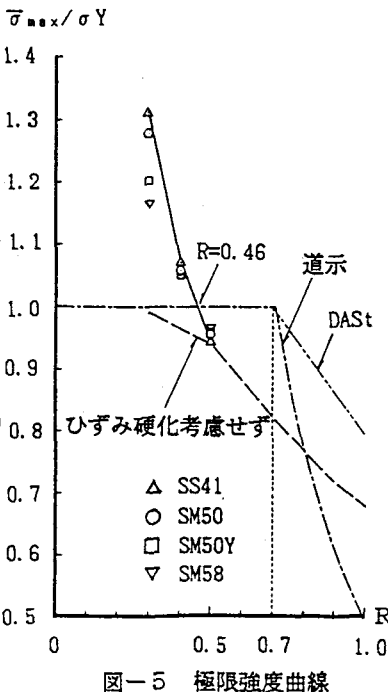


図-5 極限強度曲線