

ひずみ硬化を考慮した鋼板の極限強度について

大阪大学工学部 正員 小松 定夫
 大阪大学工学部 正員 奈良 敬
 大阪大学大学院 学生員 ○山田 浩幸
 大阪大学工学部 学生員 出口 恭司

① まえがき 塑性領域で崩壊する幅厚比の小さい圧縮板では極限強度が降伏荷重より大きく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

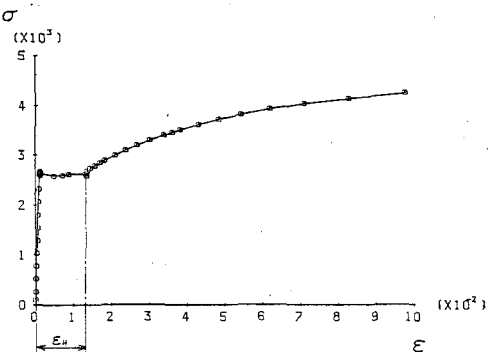


図-1 応力-ひずみ曲線 (SS41)

表-1 引張試験の結果

鋼種	パラメータ	平均μ	標準偏差σ	μ+2σ	μ-2σ	範囲
SS41	H'/E	1/112	1/357	1/69	1/303	1/72 ~ 1/233
	$\varepsilon_H (\times 10^2)$	20561	5462	31485	9637	13393-27778
SM50YA	H'/E	1/139	1/442	1/107	1/498	1/117 ~ 1/175
	$\varepsilon_H (\times 10^2)$	25125	1460	28045	22205	22322-27074

H' : ひずみ硬化後の接線弾性係数
 E : ヤング係数 ($= 2.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)
 ε_H : ひずみ硬化開始ひずみ

の応力-ひずみ曲線の一部を図-1 に示す。解析モデルでは上限値と下限値を採ることにする。つまり $\varepsilon_H = 1.0 \times 10^2, 3.0 \times 10^2$ 、 $H'/E = 1/100, 1/200$ とする。境界条件については周辺単純支持とした。解析モデルの概略図を図-2 に示す。

④ 解析結果 (1) 解析法の検証 載荷状態として2軸引張の正方形平板をモデルとして数値計算を行った。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。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入ると応力は増加することが認められる。また図-4 は同じ位置における相当応力 σ_e と相当ひずみ ε_e と

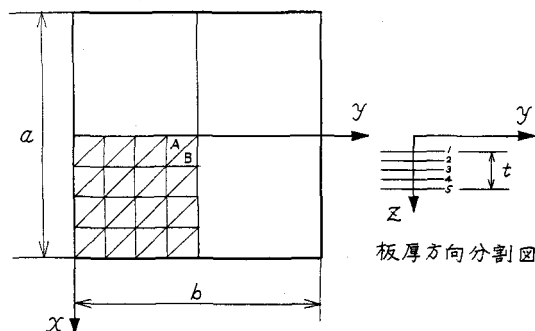


図-2 解析モデル

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。ここでは $E_H = 1.0 \times 10^2$ としたが、これに相当する $E_Y/E_Y = 8.75$ 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-2に示す通りとなった。これより解析法から得られた結果は理論より得られた結果と一致することが認められた。

(2) 圧縮板 初期不整をもつ圧縮板について数値計算を行った結果について述べる。初期たわみの最大値は道路橋示方書の許容値 $r/150$ とした。残留 α/σ_Y 応力については文献りに基づいた。図-2において x 方向に圧縮力を加えるものとする。各パラメータの値を表-3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) ひずみ硬化の影響 $\alpha = 0.5$ の場合において平均圧縮応力度 $\bar{\sigma}$ と圧縮変位 ΔU の関係を示す図において、ひずみ硬化を考慮した場合、考慮しない場合に対して $\bar{\sigma}$ の増加が認められた。 $R = 0.5$ の場合には大きな圧縮変位に対しても $\bar{\sigma}$ が一定値以上に保たれることがわかった。iii) ひずみ硬化に関するパラメータの影響 $E_H, H_0/E$ および R をパラメータとして、さらに大きな圧縮変位を与えた場合、 $\bar{\sigma}$ と ΔU の関係について次のようなことがわかった。 E_H, R が一定の場合、 ΔU をある値以上にする $H_0/E = 1/200$ よりも $1/100$ の方が $\bar{\sigma}$ は大きくなる。これはひずみ硬化領域に入ったためと言える。 H_0/E の値の差によって $\bar{\sigma}$ の大きさが異なるが、異なり始める圧縮変位 ΔU については、 $E_H = 1.0 \times 10^2$ よりも 3.0×10^2 の場合の方が ΔU は大きい。さらに等しい H_0/E に対しては、 E_H が大きい程 $\bar{\sigma}$ は小さくなることがわかった。

あとがき 極限強度に関する詳細な考察については、講演当日行う予定である。
参考文献 1) 小松・牛尾・北田：土木学会論文報告集，第265号，1977。

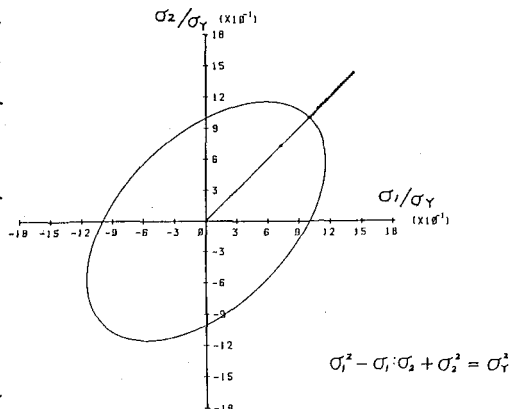


図-3 降伏曲線と主応力度曲線

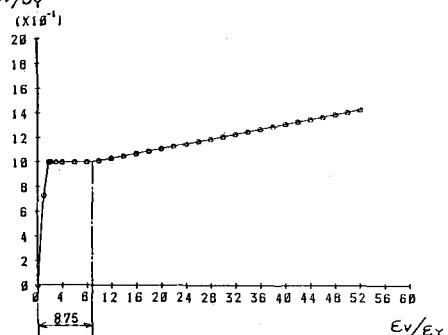
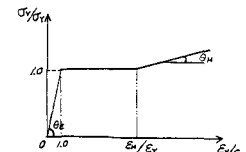


図-4 相当応力-相当ひずみ曲線

表-2 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軸引張	2.05	2.05	2.08	2.08
2軸引張	1.53	1.53	2.07	
1軸引張/軸圧縮	2.39	2.39	2.05	



$\tan \theta_H = H_0/E$
 $H_0 = \frac{E_H}{E + H'}$
 H' : ひずみ硬化率
 E_H : ひずみ硬化開始ひずみ

表-3 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: $R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_Y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}}{2R}$ ただし, $k = 4.0$
- ・ ひずみ硬化開始ひずみ: $E_H = 1.0 \times 10^2, 3.0 \times 10^2$
- ・ ひずみ硬化後の接線弾性係数の無次元値: $H_0/E = 1/100, 1/200$; 0.3, 0.4, 0.5