

防衛大学校土木工学教室 正 員 〇三原 徹治

" 学生員 石郷岡靖夫

" 正 員 石川 信隆

1. 結言 従来の最適塑性設計は、構造物の塑性崩壊に対する安全性を保証したうえで、構造重量を最小にする設計法であるが、作用モーメントが全塑性モーメント以下であるという応力に対する制限（降伏条件）のみ考慮されており、変形量の制約については何ら考慮されていなかった。しかし、変形量も重要な設計基準項目であり¹⁾、著者らも先に弾性時の変形制約を考慮した最適塑性設計法を提示した²⁾。一般に、地震を受ける構造物は時に弾性限を越えた大きな変形（弾塑性変形）を生ずることがあり、場合によっては、構造物の崩壊メカニズムが形成される以前に弾塑性変形によって構造物の終局限界状態が決定されるときもある。

本研究は、このような観点から、先のトラス構造を対象とした研究³⁾をさらにラーメン構造に拡張したもので、まず弾塑性変形制約を考慮した最適塑性設計法を提示し、次に数値計算例により本法の適用性を検討するものである。

2. 設計基本式 弾塑性変形制約を考慮した最適塑性設計の基本式は、終局荷重レベルでの塑性崩壊および弾塑性変形量の設計基準を満足したうえで、構造重量を最小にする問題として先の研究³⁾の制約条件を一部改正して表-1のように表わされる。ここに、式(1)は構造全重量 W を最小にすることを示し、式(2)は終局荷重レベルの平衡条件、適合条件を含めた降伏条件を意味し、式(3)は塑性流れ条件を表わしている。式(4)は弾

塑性変形量 u が許容変形量 u_a 以下であることを、式(5)～(7)は設計荷重 $\alpha_o F$ 以下では構造物が塑性崩壊メカニズムに達することはないことを示している。ただし、 F は外力ベクトル、 C は適合マトリクス、 λ は塑性変形ベクトル、 u は弾塑性変形ベクトル、 u_a は許容変形量ベクトル、 X は設計変数ベクトル（＝全塑性モーメントベクトル M_p ）、 N は降伏線に対する外向き単位法線マトリクス、 L は部材長ベクトル、 W は構造重量、 Q は崩壊状態における内力ベクトル、 k は集合剛性マトリクス、 α_o は設計荷重係数、 α_a は許容荷重係数、 α は崩壊荷重係数、 $R(X)$ は塑性容量ベクトルであり、 T は転置マトリクスを示す。

表-1 設計基本式

$W = L^T X \rightarrow \min$	(1)
$\Phi = B(X) + D(X) \lambda \leq 0$	(2)
$\Phi^T \lambda = 0$	(3)
$u = K\alpha^{-1}\alpha_o F + K\alpha^{-1}C^T k N \lambda \leq u_a$	(4)
$\alpha \geq \alpha_a > \alpha_o$	(5)
$C^T Q^c - \alpha F = 0$	(6)
$N^T Q^c - R(X) \leq 0$	(7)
where	
$B(X) = N^T k C K\alpha^{-1}\alpha_o F - R(X)$	
$D(X) = N^T k (C K\alpha^{-1}C^T k N - N)$	
$K\alpha = C^T k C$	

なお、断面 i の断面2次モーメント I_i と設計変数 X_i との関係式は次式を用いた⁴⁾。

柱: $I_i = (X_i / 0.78 \sigma_y)^{\frac{4}{3}}$ (8a), はり: $I_i = (X_i / 0.58 \sigma_y)^{\frac{4}{3}}$ (8b)

式(1)～(7)の解法としては、先に著者らが示したトラス構造における降伏部材選択方式³⁾を拡張して塑性ヒンジ選択方式を採用した逐次線形計画法(SLP)を用いた。

3. 数値計算例 図-1に示す2層1スパンラーメンに対し、上層の水平変形に対する許容変形量 u_a をパラメータとして最適設計を行った。表-2および図-2に設計結果を示す。これらより以下のことがわかる。

(1) u_a を逐次増加させていくことにより、構造重量 W は減少する。(2) u_a の値を1cm, 2cm, ...と逐次増加させていくと $u_a = 6.271$ cmで塑性変形 λ が発生するので、これより小さい $u_a = 6.270$ cmが弾性限界であることがわかる。(3) さらに u_a を逐次増加させていくと、 $u_a = 7.218$ cmで構造重量 W は一定となり、それ以

上になると変形制約はアクティブでなくなる。

図-3は設計値に対する弾塑性増分解析を行った結果を示したものである。縦軸は荷重係数 α 、横軸は上層の水平変形量 u の値であり、一種の荷重～変形関係を示している。図-3中の○数字は図-1の断面に塑性ヒンジが形成されたことを示す。この図より、例えば $u_a=6.6\text{cm}$ のとき設計荷重レベル $\alpha_0=1.7$ では、上層の水平変形量 u は $u=6.6\text{cm}$ であり許容値と一致し、 $\alpha_a=1.717$ で崩壊メカニズムに達していることが認められる。

4. 結言 (1)本研究により、弾塑性変形制約を考慮した最適塑性設計が可能となった。(2)本設計法による解は、許容変形量 u_a に依存し、 u_a が大きくなれば構造重量 W は小さくなる。ただし、この傾向は u_a のある値(本計算例の場合 $u_a=7.218\text{cm}$)までで、それ以降は従来の最適塑性設計による解と一致する。(3)増分解析の結果より、本法の妥当性が検証された。

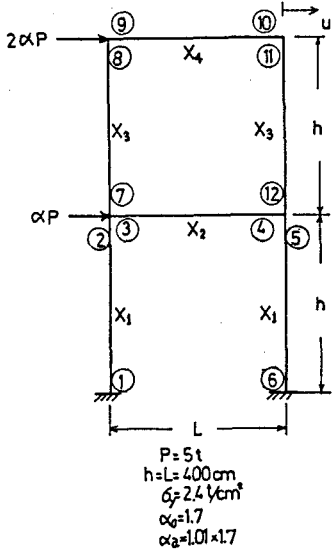


図-1 2層1スパンラーメン

表-2 設計結果

u_a (cm)	W (tm ²)	X_1 (tm)	X_2 (tm)	X_3 (tm)	X_4 (tm)
6.270	595.8	28.3	40.1	17.4	17.4
6.40	593.9	27.8	40.6	17.4	17.4
6.60	591.1	27.1	41.3	17.4	17.4
6.80	588.6	26.5	42.0	17.4	17.4
7.00	586.1	25.9	42.6	17.4	17.4
7.20	584.0	25.8	42.9	17.2	17.2
7.218	583.8	25.8	42.9	17.2	17.2
Plastic Design	583.8	25.8	42.9	17.2	17.2

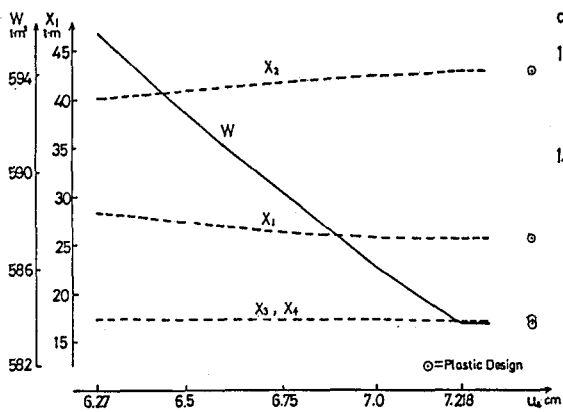


図-2 設計結果

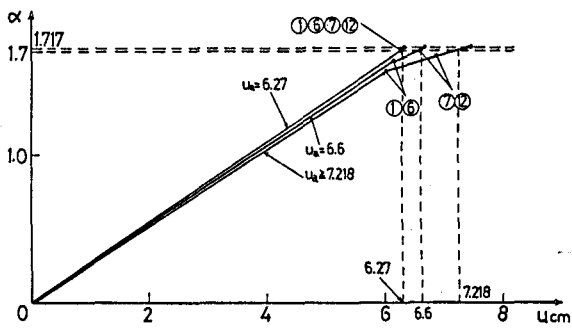


図-3 設計値に対する弾塑性増分解析の結果

〔参考文献〕 1)日本建築学会, 鋼構造塑性設計指針, P.33, 1975. 2)Ishikawa, N. et.al.:Optimal Design of Skeletal Structures under Elastic and Plastic Design Criteria, Proc. of JSCE, Structural Eng./Earthquake Eng., Vol.1, No.2, pp.97-104, 1984.10. 3)石川ら:降伏部材選択方式によるトラス構造物の最適弾塑性設計法に関する一考察, 土木学会論文集, 第350号, 1984.10. 4)田中, 中村:建築構造物の自動設計と最適設計, 培風館, P.24, 1973.