

構造物の弾塑性最適耐震設計法に関する一考察

山口大学工学部	正員	○古川 浩平
京都大学工学部	正員	家村 浩和
広島 島 県		宮本 通孝

1. まえがき

現在の耐震設計の基本的な考え方は『比較的頻度の高い小規模な地震に対しては、構造物の変形が弾性範囲内にとどまるように、そして比較的頻度の低い大規模な地震に対しては、構造物の塑性変形能力をも考慮し構造物の崩壊を防ぐ設計をする』ことである。これは前者は弾性設計、後者は弾塑性設計を行うことを示している。それにもかかわらず、過去弾性最適耐震設計法に関しては多くの研究がなされているが、弾塑性最適耐震設計法に関するものは非常に少ない。

本研究では、6層のせん断型構造物をモデルに用い、弾塑性設計としては等価線形化法を用いて塑性時の損傷の度合いを塑性率で表わし、塑性率を目標塑性率に収束させることを規範とする設計法〔1〕を用い、弾性設計としては制約条件として応力制約および変位制約を考慮し、総重量を最小とすることを規範とする動的最適性規準法を用いた設計法〔2〕を用いて、両設計法による差を考察することにより、より合理的な弾塑性最適耐震設計法に関して考察を行ったものである。

2. 計算結果および考察

本研究の計算例に用いるモデルは図-1に示す6層せん断型構造物である。

入力加速度 A_{max} は弾塑性設計では400gal、弾性設計では200galを用いる。図

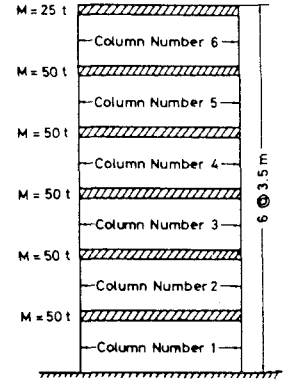


図-1 数値解析モデル

図-2に変位制約のみアクティブな場合について最適弾性設計を行い、その最適解を用いて弾塑性解析を行った結果を、図-3に弾性設計時の剛性による1次モード形と、その剛性を用いて弾塑性解析した時の1次モード形をケース(a),(f)について示す。図-2より層間の応答塑性率分布は全ケースとも下層ほど応答塑性率が大きくなっていることと、許容層間変位 X_a が大きい程、つまり塑性化が進むほど下層、特に1層の応答塑性率が大きくなっていることがわかる。図-3の弾性時のモード形は上に凸、弾塑性時のモード形は下に凸形の形状を示しており、これは、変位制約がアクティブで弾性設計された構造物に弾性設計時以上の地震加速度が加わると、下層とくに1層目が大きく塑性化し、それによって地震による構造物へのエネルギー入力の大部分を下層が吸収することを示している。

応力制約のみがアクティブな場合について最適弾性設計を行い、その最適解を用いて弾塑性設計を行った結果を図-4に示す。図-4より、変位制約時とちがってほとんどのケースで上層ほど応答塑性率が大きいことが、そのばらつきはそれほど大きくないことがわかる。一般に構造物は下層ほどエネルギー負担が大きく、かつ重要であることを考えると、この剛性分布は変位制約のみの場合より安全側にあるものと考えられる。また図には示していないが弾性時モード形と弾塑性時モード形は酷似しており、これは弾塑性時の応答がある程度予測できることを示している。このように、変位制約のみがアクティブな弾性設計に比べ、応力制約のみがアクティブな弾性設計の方が、過大な入力地震動を受け弾塑性挙動を示した時の構造物の安全性は大きいことがわかる。

図-5に各層の目標塑性率 μ_T を3種に変化させた弾塑性最適設計の最適解を用いて弾性解析を行った結果を示す。さらにその弾性時および弾塑性時の1次モード形を図-6に示す。図-5より全ケースとも下層ほど応力度が小さいことがわかる。図-6より弾性時モード形はいずれも上に凸な形をしており、各ケース間に著しい差異はない。これらの各ケースを比べるとケース(c)では弾性時とほぼ同じモード形であり、その形状も最もバランスがとれているものと考えられる。また弾性、弾塑性時のモード形が相似なことから、片方の応答から他方の応答がある程度推定でき、応答に対する信頼性も高いものと思われる。以上より最適弾塑性設計の目標塑性率としてはほぼ各層同一がよいといえる。

3. 結論

1. 変位制約のみがアクティブな条件下で最適弾性設計された構造物は、設計時以上の地震入力加速度を受けると下層ほど塑性率が大きくなりエネルギーが下層で吸収されている。これは過去の実際の構造物の被害状況と一致しており、変位制約のみがアクティブである設計は耐震安全性の観点からは好ましくない。
2. 応力制約のみがアクティブな条件下で最適弾性設計(全応力設計)された構造物は、設計時以上の地震入力加速度を受けると下層ほど塑性率は小さくなり、そのモード形状は弾性時、弾塑性性時で余り差がなく、変位制約のみがアクティブな設計より安全側であるといえる。
3. 各種の目標塑性率を与えて最適化を行った結果、最適弾性設計の目標塑性率としては各層ほぼ同一が様々な面でバランスがとれた設計といえる。

参考文献 [1] 山田他, 土木学会論文報告集, 第341号, pp.87-95, 1984年1月.[2] 古川他, 土木学会論文報告集, 第334号, pp.63-70, 1983年6月.

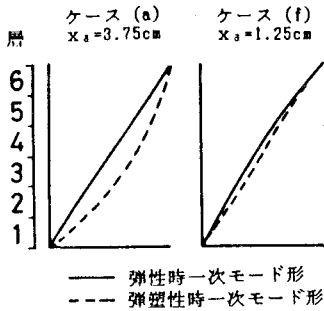


図-3 1次モード形の比較

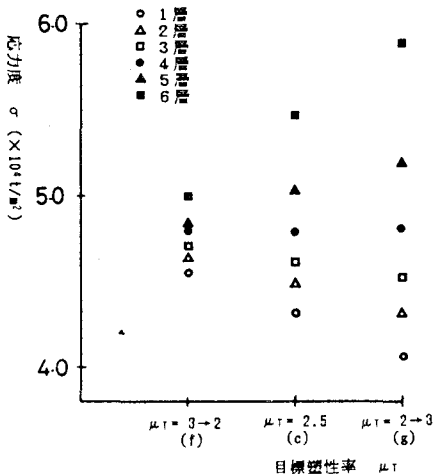


図-5 目標塑性率分布を変化させた場合の $\sigma - \mu_T$ 関係

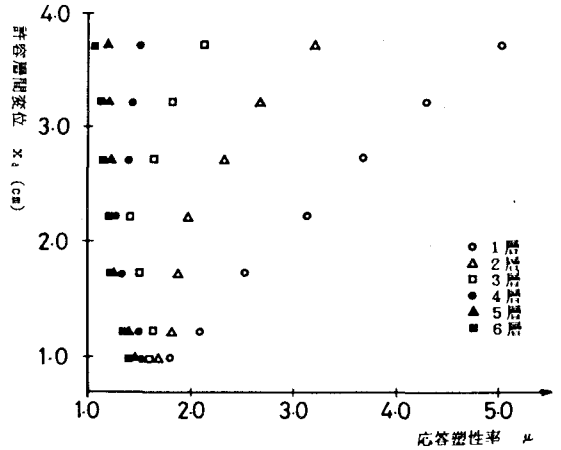


図-2 弾性変位制約のみを考慮した場合の $x_a - \mu$ 関係

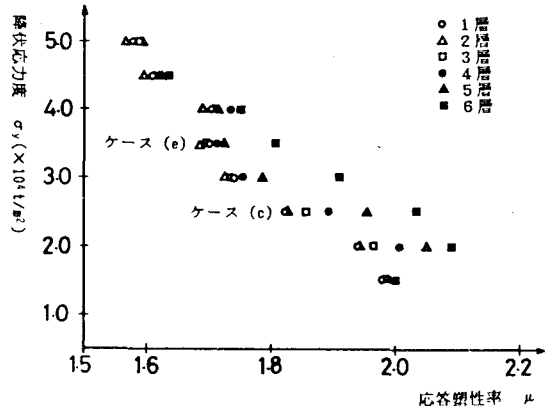


図-4 弾性応力制約のみを考慮した場合の $\sigma_y - \mu$ 関係

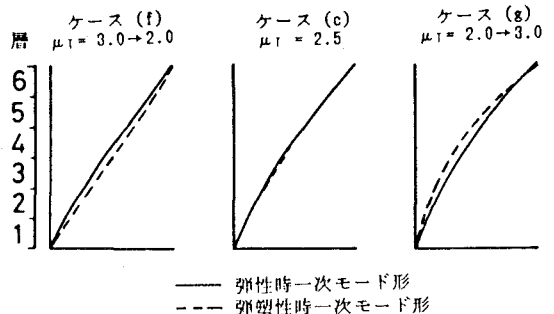


図-6 1次モード形の比較