

エネルギー分担率制御による最適弾塑性設計に関する研究

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
島根県庁		福田 慎

1. まえがき

本研究は図-1に示す6層のせん断型構造物をモデルに用い、等価線形化解法を用いて弾塑性解析を行い、塑性率および入力エネルギー値を制約とした最適化問題として定式化した上で、これらを数値計画法を用いて解き、その結果から合理的な耐震設計法を検討したものである。

2. 計算例および考察

本研究では、等価線形化解法を用いて線形近似して応答解析を行い、入力された総エネルギーはすべて粘性エネルギーで消費され则认为、各層に入力するエネルギーを求めている。総入力エネルギーを求める際に必要な単位質量当たりのエネルギー値は、図-2のエネルギースペクトルより得ることができる¹⁾。

(1) 目的関数として重量を用いた最適化

総入力エネルギーに制限を設けて最適化サブルーチンCOPES²⁾を用いて最小重量設計を行う。表-1に示すのは総エネルギーの制限だけで他の制約を加えない場合の結果であり、このときの弾塑性時1次モードを図-3に示す。表-2は各層のエネルギー分担率が一律である制約に総エネルギー制約をつけ加えた場合である。ここで制約に用いた総入力値は 30000 t・cm とした。

表-1をみると、総入力エネルギー以外の制約を加えない場合は最下層に7割近いエネルギーが集中している。このとき1層の塑性率のみ 4.58 となり他層の塑性率はいずれも 1.7以下である。図-3の弾塑性モード図は大きく下に凸な形を示し、下層での変形によりエネルギーを吸収していることがわかる。この結果は、構造物がある量のエネルギーを吸収しなければならない時、下層で吸収する方が総重量を小さくするには有効であることを示している。

次に表-2をみると各層でのエネルギー分担率が、ほぼ許容値になったときが最小重量設計となっている。表-1と表-2を比べると、入力エネルギーはほぼ同じであるが重量は大きく異なり下層でのエネルギー吸収率が大きい方が重量が小さくなることがわかる。塑性率をみるとどの場合も一般の耐震設計で考えられている $\mu \leq 3.0$ の条件を満たしている。また6層の塑性率が大きいのは重量を 25 ton としているため大きく変形しないと他層と同じエネルギー吸収量を得られないからと考えられる。

これらのことから入力エネルギー値が等しい場合、エネルギーは下層で大きく吸収するように配分した方が重量を減少させる上では有効であると言える。このことは最近話題になっている免震構造の理論的裏づけになるものではないかと考えられる。

(2) 最上層に入力エネルギーを集中的に吸収させる場合

(1) では、最小重量設計を行ってきた。ここでは、最上層に入力エネルギーの多くを吸収させ、その他の層での被害が出ないような設計を試みた。ここで、

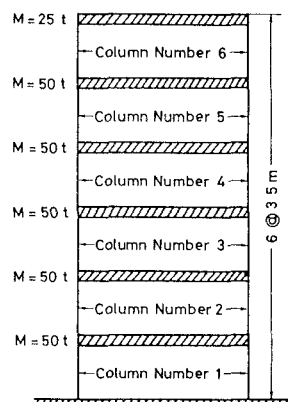


図-1 数値解析モデル

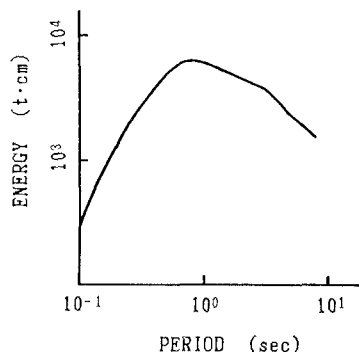


図-2 エネルギースペクトル曲線

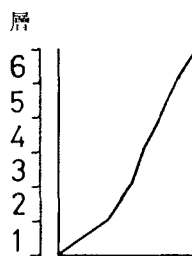


図-3 弾塑性時の1次モード形

総入力エネルギーは 30000 t·cm 以上と規定し、1～5層の塑性率に $\mu_1 \leq 3.0$ の制約を付け、6層への入力エネルギーを最大にするように設計した結果を表-3に示す。

この最適解では、総入力エネルギー制約がアクティブとなっている。エネルギー分担率をみると第6層が77%を負担しており、この層にエネルギーを集中的に吸収させる設計は可能であると考えられる。しかし最適剛性をみると1～5層でかなり大きな値となり、重量も大きい。これは6層にエネルギーを集中させるため、1～5層では変形を少なくし、6層のみを大きく変形させて、エネルギーを吸収させる設計となったためである。この結果から最小重量設計の観点からは最上層にエネルギーを多く吸収させるという設計は合理的ではないと考えられる。

3. 結論

本研究において、エネルギー分担率制御による最適耐震設計法について考察を加えてきたが、その結果は次のようにまとめられる。

1) 最小重量設計を行った場合は下層にエネルギーを吸収させることが有利であり、この点から最近行われている最下層と基礎の間でエネルギーを吸収させようとする免震構造は非常に有効であると言える。

2) 最上層で入力エネルギーを吸収し、他層での被害を小さくしようとする設計は可能であるが、最小重量設計の観点からは合理的でない。

参考文献

- 1) 茅野 茂：入力エネルギースペクトルによる地震動強度の評価法、京都大学工学部土木工学科卒業論文、1984。
- 2) Madsen, L. E. and G. N. Vanderplaats : COPEs - A FORTRAN CONTROL PROGRAM FOR ENGINEERING SYNTHESIS, Users Manual, Naval Postgraduate School, Monterey, March, 1982.

表-1 総入力エネルギー制約下での最小重量設計結果

総重量 (ton)	総入力エネルギー (t・cm)	弾性1次固有周期 (sec)	弾塑性1次固有周期 (sec)
3.951	29956	0.94	1.20

層	1	2	3	4	5	6
最適剛性 (t/m)	3534	4312	4013	2938	1798	533
入力エネルギー値 (t・cm)	20951	2709	1273	1355	1503	2168
エネルギー分担率 (%)	69.9	9.0	4.3	4.5	5.0	7.2
塑性率	4.58	1.65	1.10	1.06	1.04	1.68
弾性時層間変位 (×10 ⁻² m)	2.18	1.63	1.52	1.71	2.04	3.68
弾性時応力度 (t/m ²)	47708	37093	33190	33207	33761	42184

表-2 総入力エネルギーとエネルギー分担率制約下での最小重量設計結果

総重量 (ton)	総入力エネルギー (t・cm)	弾性1次固有周期 (sec)		弾塑性1次固有周期 (sec)	
4.769	30496	0.77		0.91	

層	1	2	3	4	5	6
最適剛性 (t/m)	6910	6093	5034	3804	2430	832
入力エネルギー値 (t・cm)	5101	5096	5097	5098	5116	4989
エネルギー分担率 (%)	16.7	16.7	16.7	16.7	16.8	16.4
塑性率	2.30	2.09	1.91	1.76	1.64	2.15
弾性時層間変位 (×10 ⁻² m)	1.29	1.36	1.45	1.57	1.80	2.73
弾性時応力度 (t/m ²)	33539	33209	32709	32150	31746	34846

表-3 第6層への入力エネルギーを最大にする最適設計結果

総重量 (ton)	総入力エネルギー (t・cm)	弾性1次固有周期 (sec)		弾塑性1次固有周期 (sec)	
5.352	30007	0.74		0.91	

層	1	2	3	4	5	6
最適剛性 (t/m)	5312	5678	7016	7031	6350	479
入力エネルギー値 (t・cm)	4691	1364	455	285	173	23038
エネルギー分担率 (%)	15.6	4.5	1.5	1.0	0.6	76.8
塑性率	2.77	1.48	0.79	0.60	0.43	3.73
弾性時層間変位 (×10 ⁻² m)	1.83	1.58	1.10	0.87	0.67	4.85
弾性時応力度 (t/m ²)	43339	37189	27091	21225	15461	53502