

I-32 五重塔に対する耐震性能の検討

高知高専建設システム工学科 吉川 正昭
株式会社 旭シンクロテック ○秋友 福太郎

1.はじめに

五重の塔の耐震性^{1)~4)}は、一般に次のように言われている。

- ①. 五重の塔は、一般の構造物に比べて、きわめてゆっくりと揺れる構造物である（五重の塔の固有周期は1~1.5秒で地震時に共振しない）。
- ②. 塔は、単位面積あたりの木材の使用量が非常に多く、水平力に対する抵抗力が大きい構造になっている（水平力に抵抗する部材要素が多い。五重の塔の中の空間はせまいから建物として人が住むとか、中で仕事をするという実用的な建物ではない）。
- ③. 塔はきわめて大きい変形に耐える性質をもっている（接合部の遊びによって、ある限度を超えた力が働いてもすぐにはこわれず十分に變形しうる能力がある）。
- ④. 塔は、木の組物が特徴的であるが、これは振動を緩和する性質を持っている（組物が大きなエネルギーを吸収し、減衰効果が大きい）。

ここでは、五重の塔の振動性状を調べるために、芸予地震時に、高知市の地表で観測された地震動を用いて、五重の塔を曲げ系とせん断系の多質点にモデル化して地震応答解析を行い、応答加速度、断面力などを求め考察を加えた。

2.解析方法と解析条件

せん断系（せん断変形が卓越する系）の剛性マトリックスは、対角項および隣接する2項からなる3項の帯状マトリックス（band matrix）となり、それ以外の項は0となる。せん断系を図2. 1に示す。耐震壁、煙突、柱伸縮を伴う高層ラーメンなどのように全体としての曲げ変形が卓越する系（曲げ系）では、位置が離れた層の間の連成が無視できず、図2. 2に示す曲げ変形を示す。解析対象を図2. 3に示し、モデル図を図2. 4に示す。

3.入力地震波

入力地震波は2001年3月24日午後3時28分頃発生した、安芸灘を震央とする地震（芸予地震）の高知市で観測されたNS成分を用いる。時刻暦波形の主要動部最大加速度を示す前後約26秒間を抽出し、最大加速度100.0galとし、ここでの解析入力地震波とする。地震個数を2599個（継続時間26.00秒、きざみ0.01秒）としフーリエスペクトル、パワースペクトルを図3. 1に示す。同図より、バンド幅を0.6Hzにするとその卓越周期は1次で約1.56Hz（0.64sec）で2次では約4.7Hz（0.21sec）となる。

4.解析種類

せん断系変形と曲げ変形が卓越する5階建物構造物（モデル図3. 1）について、固有値解析を行う。減衰を3%、15%と2種類に変え4種類について、地震応答解析と直接積分法を用いて示す。

5.解析結果および考察

5層の各最大応答包絡線分布（絶対加速度、転倒モーメント、せん断力、ベースシア係数）をせん断系減3%（case1）15%（case2）、曲げ系減衰3%（case3）減衰15%（case4）で図4. 1に示す。せん断系、曲げ系の減衰3%、15%とした場合の最上階（5層目）の最大相対変位の時刻暦波形を、図4. 2に示す。最大応答包絡線分布は入力地震波17sec時に100galとなるが、せん断系建物の場合、応答加速度の最大値は5層で最大値87gal（減衰3%）、29gal（減衰15%）と100galより小さくなる。せん断系でモデル化すると、入力加速度より小さくなるのがわかる。減衰が5倍になると、約1/3となる。最大相対変位の時刻暦波形は、最大入力時とほぼ同時に、最大値を示す。せん断系建物と曲げ系建物の相対変位波形を比較すると、各層とも構造物のせん断系の方が周期が長くなっている。

6.まとめ

固有値解析結果より、入力地震波と五層モデルが共振を示さないことがわかる。各層が逆位層を示す5次モードが0.35sec（0.286Hz）となり、この卓越振動数を入力波がもたないため、5次モードが卓越しない。このため、一般に言われている五重塔のスネークダンスが今回はもとめられない。せん断系建物と仮定した数学モデルの場合、入力加速度より各層の応答加速度値が小さくなる。減速が5倍になると、約1/3の応答となる。曲げ系にモデル化した場合、せん断系にモデル化した場合の応答に比べ、加速度は約7倍大きくなる。最大入力加速時より少し遅れて、曲げ系、せん断系ともに最大値を示す。

7.参考文献

- 1) 五重塔はなぜ倒れないのか？, 新潮選書
- 2) 西岡常一：木のいのちきのこころ, 草思社, 1993. p. 28
- 3) 大塚将, 川井伸泰, 安井健治, ○吉川正昭：転がり振り子による制振システム—パッシブからアクティブ制振への移行—, 振動制御コロキウム（第2回）講演論文集, 土木学会構造工学委員会, pp87~94, 1993. 8.
- 4) 大塚将, 川井伸泰, 安井健治, ○吉川正昭：転がり振り子による制振—可変ゲイン制御による制振効果—振動制御コロキウム（第3回）講演論文集 B, 土木学会構造工学委員会, pp99~106, 1995. 8.

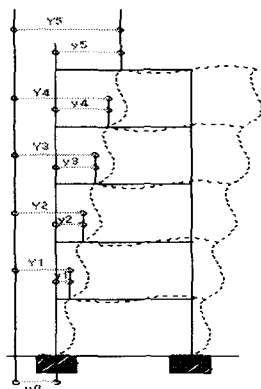


図 2.1 セン断系

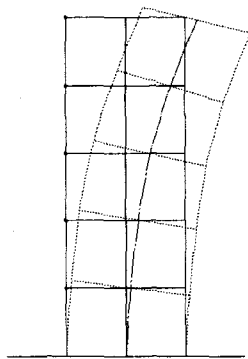


図 2.2 曲げ系

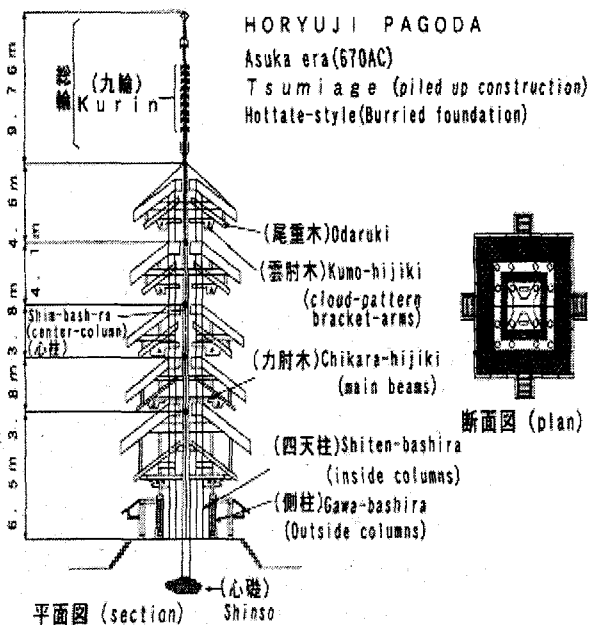


図 2.3 解析対象 (五重塔)

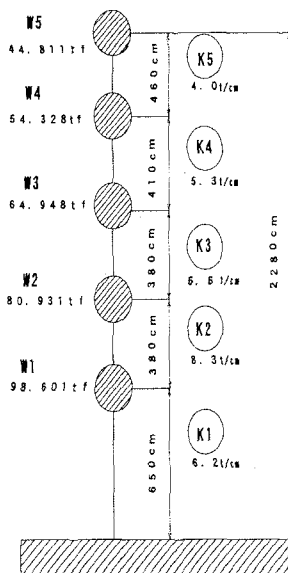


図 2.4 モデル

応答解析モデル

層号	質点	質量 (t)	高さ (cm)	せん断ばね (t/cm)	減衰定数	曲げ剛性 (t-cm)
5	W5	44.811	400	4.8	3%	5.0e9
4	W4	54.328	410	5.5		1.9e10
3	W3	64.948	380	6.4		3.0e10
2	W2	80.931	380	8.3		4.1e10
1	W1	98.601	650	6.2		5.0e10

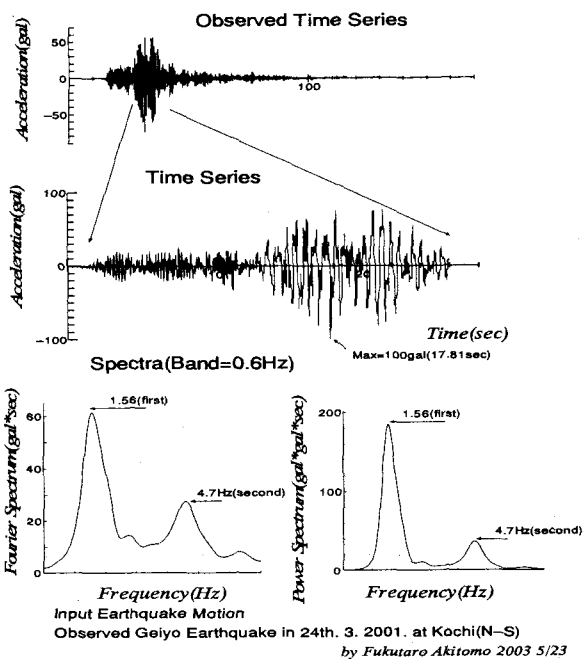
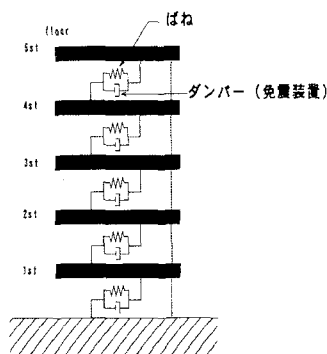


図 3.1 入力地震波とフーリエ (パワー) スペクトル

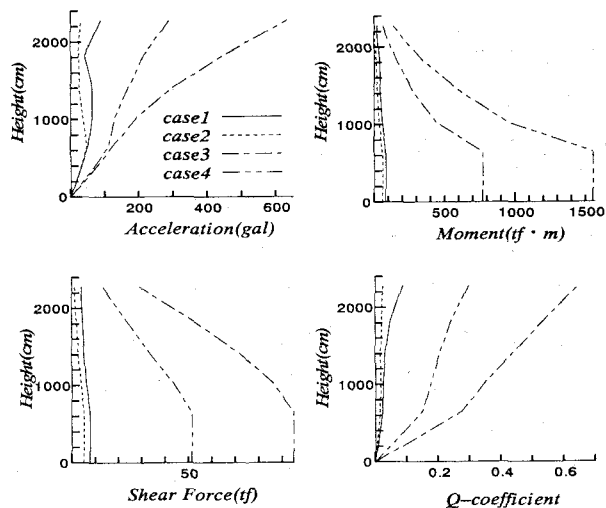


図 4.1 各最大応答包絡線分布

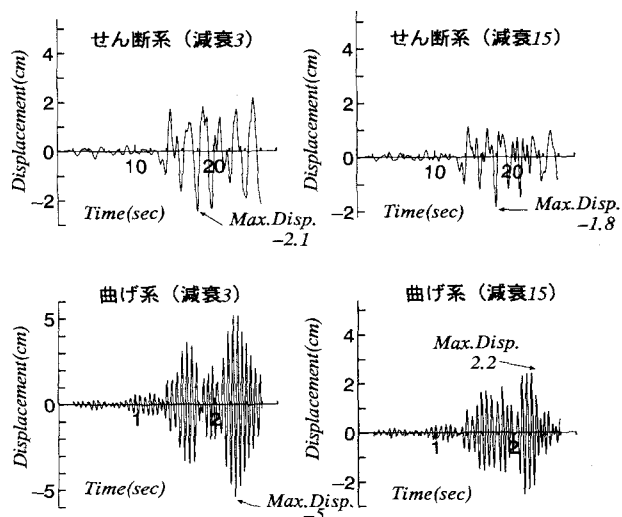


図 4.2 時刻歴波形