

I - B 359

R C 構造物の非線形動的応答と地震動指標の相関について

(株)竹中工務店技術研究所, 名古屋大学大学院博士課程後期課程 正会員 ○北原武剛  
名古屋大学理工科学総合研究センター フェロー 伊藤義人

**1. はじめに** 動的解析による耐震設計を行うにあたっては、荷重としての入力地震動を正確に評価する必要がある。特に、地震動のいかなる指標が構造物の動的応答に対して大きな影響を与えるかが重要な問題となる。本研究では、構造物の動的応答として最大応答加速度、最大応答せん断力、最大応答変位、最大応答層間変形角、最大応答塑性率の5種類を、地震動指標としては地表最大加速度、地表最大速度、地表最大変位、スペクトルインテンシティ(SI)、累積加速度 $\bar{a}$ 、加速度R.M.S.値をそれぞれ考慮した。これらの指標間の相関を、多質点系の非線形動的応答解析により検討した。

**2. 解析方法** 小林・翠川による小林・長橋式の修正式により地震基盤での入射波速度応答スペクトルを求め、Jennings型の包絡曲線になるように正弦波合成法を用いて模擬地震波を作成した。このとき、位相は0~ $2\pi$ の一様乱数で与えた。安政地震(1855)、関東地震(1923)、神奈川県西部地震(1924)の3種類の歴史地震と石橋による仮想駿河湾地震を参考に、震央距離・地震規模(マグニチュード)を表-1のように設定した(以下、それぞれをA地震、K地震、Kg地震、S地震と記す)。4地震それぞれに対して位相を変えることにより、模擬地震波を5波づつ、計20波の地震波を発生させた。

表-1 地震の諸元

地震名称	震央距離(km)	マグニチュード
A地震	5.6	6.9
K地震	71.9	7.8
Kg地震	62.1	7.3
S地震	245.2	8.0

地震動の強さ指標として地表最大加速度、地表最大速度、地表最大変位、SI、累積地表加速度 $\bar{a}$ 、地表加速度のR.M.S.を考えた。速度波形と変位波形は、加速度時刻歴をバンドパスフィルター( $f_{l1}=0.1, f_{l0}=0.15, f_{u1}=18, f_{u0}=20\text{Hz}$ )によるFFT積分で求めた。

表-2 解析モデルの諸元

モデル名称	建物用途	階数	弾性固有周期(s)
Aモデル	共同住宅	5	0.445
Bモデル	共同住宅	5	0.488
Cモデル	事務所	9	1.04
Dモデル	事務所	9	1.31
Eモデル	共同住宅	26	1.59
Fモデル	共同住宅	26	1.69
Gモデル	共同住宅	33	1.78
Hモデル	共同住宅	33	1.98
Iモデル	共同住宅	34	2.11
Jモデル	共同住宅	34	2.31
Kモデル	共同住宅	15(免震)	3.59
Lモデル	共同住宅	15(免震)	3.68

周期特性の異なる鉄筋コンクリート造建物6棟を解析対象とした。同一建物について長辺方向と短辺方向の2モデルを作成したので合計12の解析モデルとなった。解析に用いた建物の弾性固有周期は、0.445秒~3.68秒の間に分布している。解析モデルの諸元を表-2に示す。解析モデルは、上部構造を多質点の等価せん断型質点系モデルとし、地表部で基礎固定の条件とした。復元力特性は、非線形静的増分解析結果から各層で独立した劣化型トリリニアで設定した。減衰定数は3%とした。

ただし、K,Lモデルの免震層は修正バイリニア型の復元力特性とし、減衰定数 $h$ は0%とした。作成した模擬地震波20波に関して、最大速度を25,35,50,75cm/sに基準化して入力した。したがって、1つの建物について合計 $20 \times 4 = 80$ 回の非線形解析を実施し、地震動指標と応答との相関を調べた。応答の指標としては、全層における最大応答値を用いた。

**3. 解析結果とその考察** 応答と地震動指標の相関を調べるために両対数軸上で線形回帰を試みた。例として、短周期(Aモデル)、中周期(Fモデル)、長周期(Lモデル)の建物に関して、縦軸に最大応答変形角を、横軸に地表最大加速度をプロットしたものを図-1に示す。図中、実線で線形回帰直線を、点線で対数標準偏差の推定幅を示している。図中に記したように相関係数は、短周期モデル、中周期モデル、長周期モデルでそれぞれ0.935, 0.877, 0.760となっており長周期側ほど相関が悪くなるのが分かる。次に、解析した全てのモデルについて、横軸に固有周期を、縦軸に相関係数をプロットしたものを図-2に示す。図-2(a)は最

Key Words : 動的応答, 非線形解析, 地震動指標, 相関係数  
〒270-1395 印西市大塚1-5-1 (株)竹中工務店 技術研究所 基礎研究部

大応答加速度, (b)は最大応答変形角を応答の指標とした場合を表している. また, プロットの■は地表最大加速度, ●は地表最大速度, ▲は地表最大変位, ○はSI値との相関を示している. 最大応答せん断力, 最大応答変位, 最大応答塑性率に対する相関は最大応答変形角の結果とほぼ同様であったので図は省略する.

応答加速度に対する相関係数の結果以外は, 短周期領域では地表最大加速度, 中周期では地表最大速度, 長周期では地表最大変位との相関が高くなっている. これらは, 剛構造物の場合その応答は理論的に加速度と比例し, 柔構造物の場合変位に比例することに起因していると考えられる. また, 速度に着目した指標同士で比較すると地表最大速度よりSI値の方が全周期領域にわたって相関が高い. しかし, その差は小さく有意な差とは見なし難い.

応答加速度に対しては中周期領域で地表最大加速度と極めて高い相関を示しているが, これはこれらの建物が1層目部分の剛性が他層よりも大きいため, この層で最大応答が生じ, あたかも短周期構造物的挙動を示したためであると考えられる. 図-3に最上部における最大応答加速度に対する相関と周期との関係を示す. 図-3においては, 他の応答指標と同様の傾向を示していることがわかる.

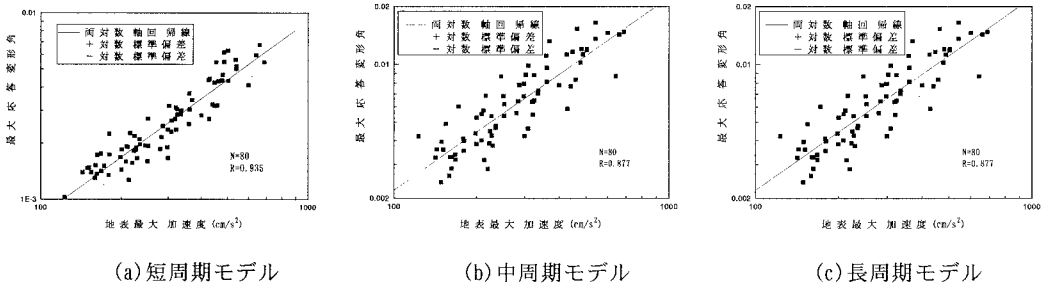


図-1 最大応答変形角と地表最大加速度の関係図

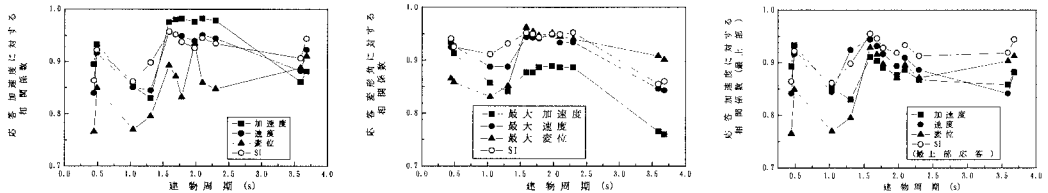


図-2 最大応答との相関係数と建物固有周期との関係図

図-3 頂部最大応答との相関係数

図-4に地震動指標を累積加速度 $\bar{a}_r$ , 加速度R.M.S.としたときの相関係数を示す. これらの指標は加速度に関する指標同士の比較において地表最大加速度よりも相関が高くなっている. 特に, 累積加速度 $\bar{a}_r$ は全周期領域で相関がよく, 今回考慮した地震動指標中, 最も相関が良い.

4. 結論

- (1) 1質点系振動モデルにより, 短周期構造物では最大加速度が, 長周期構造物では最大変位が, 中間領域構造物では最大速度が動的応答と相関の高いことが報告されていたが, 多質点系振動モデルによる応答解析結果からも同様の傾向が確認された. ただし多質点系振動モデルでは, 構造物全層での最大応答値に着目すると, 1質点系とは異なる傾向を示す場合のあることが分かった.
- (2) 周波数領域で積分を行った指標であるSI値を地震動指標とすると, 最大速度を指標とするよりも相関は向上する. ただし, その差は微少であり, 今回の検討結果からのみでは, 有意な差とみなすことは難しい.
- (3) 継続時間の影響を考慮した累積加速度 $\bar{a}_r$ は, 今回考慮した地震動指標の中では, 全周波数領域にわたって, かなり高い相関を示した.

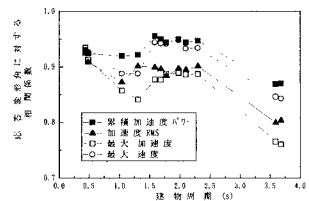


図-4 累積 $\bar{a}_r$ による相関係数と建物固有周期との関係図