

建物被害推定に関する検討

その1 地震動指標の検討

正会員 ○龍神 弘明*¹ 同 水谷 守*²
同 嶋 登志夫*¹ 同 小野 一明*²
同 棟方 章晴*³

地震動 平均応答加速度 応答解析
対数正規分布 地震動指標 建物被害推定

1. はじめに

地震被害推定において利用する地震動指標は、対象構造物の応答の大きさをよく説明する地震動の指標を用いるべきである。地震動指標としては、最大加速度、最大速度、計測震度などが良く知られているが、構造物の振動特性を考慮すれば、応答加速度もまた地震動指標として利用価値は高いと思われる。

最大加速度は、地震動指標としての歴史は長く、最も一般的に用いられてきた指標である。この理由の一つは、過去の多くの地震記録が最大加速度のみであったことも影響している。しかし最大加速度は、構造物の地震被害との関連において大きなばらつきを示すことから、地震被害の地震動指標としては適切であるとは言い難い。

構造物が線形的な応答特性を示す場合、構造物の固有周期に相当する地震動周波数成分がその応答に大きく影響することは明らかであるが、地震動はホワイトノイズではなく、また、構造物被害は多くの場合、線形領域の外で生じることから、固有周期に対応する応答加速度がそのまま構造物応答の地震動指標に最適であるとは言い切れない。

本報告では、多数の入力地震動を利用した応答解析結果に基づき、構造物の被害推定に利用すべき地震動指標を統計的に検討した。

2. 地震動指標の検討方法

各入力地震波に対する応答結果の関係の一例を図1に示す。図1は、横軸に入力地震動の応答加速度を、縦軸に層間変形角を取ったものである。

一般に地震動の大きさと応答の大きさには、単調性が見られるため、地震動の大きさを参照することによって、応答の大きさを推定することが可能である。しかし、図1からもわかるように、応答の大きさはばらつきを伴っている。適切な地震動指標とはこのばらつきが小さいものであると考える。

これまでの検討から、応答指標として層間変形角を利用する場合、地震動の大きさと応答指標中央値の関係は、両対数線形式により近似できることがわかっている。また、このような近似式を使う場合、ばらつきが対数正規

分布であることも知られている。

本報告では、多数の地震動を用いた応答解析結果から各周期の応答加速度を地震動指標として最小二乗法を用いて中央関係式を評価し、対応するばらつきの大きさを対数標準偏差として定量化した。対数標準偏差の相互比較から対象構造物に適切である地震動指標を決定した。

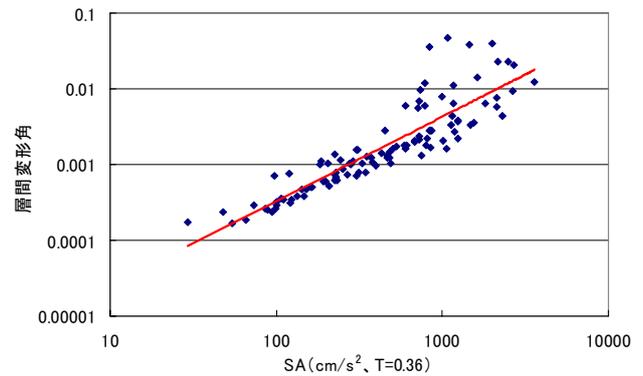


図1 地震動指標 (SA) と応答の関係

3. 対象建物および解析モデル

本検討では、RC造6階の建物¹⁾を対象とし、地震動指標の検討を行った。表1に建物モデル諸元を示す。

解析モデルは、基礎固定で、各階床位置に集中させた等価せん断型モデルとする。各階の自由度は地震動入力方向の水平一方向としている。数値積分はニューマークのβ法(β=1/4, γ=0.5)を用いた直接積分法による。減衰は瞬間剛性比例型とし3%、解析時間刻みは1/1000(s)とした。

表1 建物モデル諸元¹⁾

階	階高 (cm)	重量 (kN)	せん断剛性			降伏荷重	
			K ₁ (kN/cm)	K ₂ (kN/cm)	K ₃ (kN/cm)	Q ₁ (kN)	Q ₂ (kN)
6	285	4681	2.22 × 10 ⁴	3.13 × 10 ³	2.50 × 10	1567	3536
5	285	4902	2.42 × 10 ⁴	3.50 × 10 ³	1.27 × 10 ²	2403	5598
4	285	4902	2.47 × 10 ⁴	4.07 × 10 ³	3.19 × 10 ²	2819	6949
3	285	5096	2.58 × 10 ⁴	4.77 × 10 ³	4.44 × 10 ²	3319	8239
2	285	5096	2.36 × 10 ⁴	4.83 × 10 ³	5.06 × 10 ²	4530	9514
1	345	5100	3.05 × 10 ⁴	5.10 × 10 ³	3.50 × 10 ²	5062	11383

4. 地震波の収集

本検討に用いた地震波は、これまでに観測された地震動のうち、地震規模が大きくまた、異なる最大加速度レ

ベルで記録精度の比較的良い 102 波²⁾、それに加えて、設計で利用されることが多い日本建築センターより公開されている 4 波³⁾、及び、模擬地震波 2 波を採用した。

本検討に用いた地震波の応答スペクトルを重ね書きしたものを図 2 に示す。

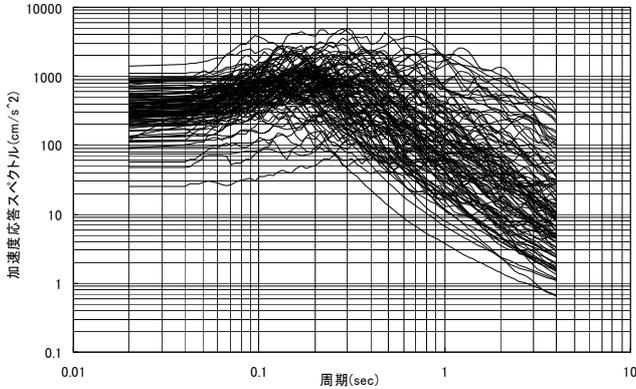


図 2 入力地震波の応答スペクトル

5. 解析結果

解析検討結果を図 3 に示す。これは、各応答加速度 SA と層間変形角の推定式から求められた推定値と応答値との対数標準偏差をプロットしたものである。また、併せて構造物の固有周期 (1 次～3 次) を示す。ばらつきが大きいと推定式の精度が悪く、指標としての説明力が小さい。逆にばらつきが小さいと推定式の精度が良く、指標としての説明力が大きい。

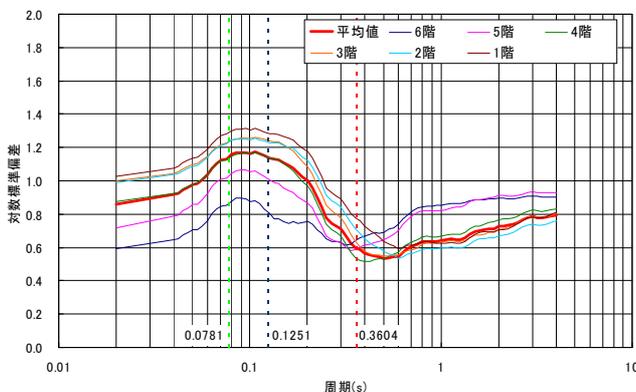


図 3 地震動指標とばらつきの関係

6. 考察

対数標準偏差の変化は、各層ごとに異なるが、一次固有周期である 0.36 秒を超えた部分ですべての層で小さくなるのが読み取れる。各層の層間変形角を平均したのを見ると、この傾向はより顕著で 0.5 秒で最小値となっていることが分かる。

本報告の対象構造物については、地震動指標として、

0.5 秒の応答加速度が最適であるといえる。これは、一次固有周期より長周期であるが、構造物の非線形挙動を考慮すれば、妥当な結果と言えるであろう。

ただし、各層の異なる挙動や、解析モデルの不確定性を考慮すると、0.5 秒という単一の周期ではなく、より幅広く周期帯を設定した ASA (平均応答加速度⁴⁾) という指標を用いることがより適切である。

図 4 は、ASA として 0.267~0.798 秒の周期帯を設定した場合の応答解析結果の散布図である。

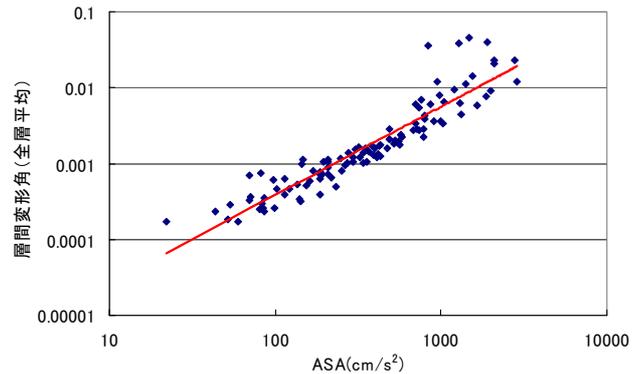


図 4 地震動指標 (ASA) と応答の関係

7. 結論

地震被害推定に利用する地震動指標について、多数の地震動を用いた応答解析に基づいて統計的な検討を行った。

応答加速度 SA や、平均応答加速度 ASA が、構造物の応答の大きさをより適切に説明する地震動指標として利用できることを示した。本報告では、ひとつの構造物を対象としたが、さまざまな構造物を対象として検討を続けることにより、用いるべき地震動指標についてより詳細な考察が可能であろう。

謝辞

本研究では、地震波は防災科学技術研究所の K-NET データを、建物モデルは文献 1) の試設計例を利用して頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会、建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計 2006.2
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所：強震ネットワーク、<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>.
- 3) 日本建築センター：地震波のダウンロード、<http://www.bcj.or.jp/download/wave.html>
- 4) 水谷守, 川瀬喜雄, 宮本英治：地震動指標の相互関係に関する統計的分析 (第一次), 土木学会地震工学委員会第 24 回地震工学研究会講演論文集, 第 1 分冊, pp.217-220, 1997

*1 前田建設工業株式会社 技術研究所
 *2 株式会社モダンエンジニアリングアンドデザイン
 *3 損保ジャパン・リスクマネジメント

*1 Maeda Corporation
 *2 Modern Engineering & Design Co., Ltd.
 *3 Sompo Japan Risk Management ,Inc.