

地盤増幅特性を考慮した耐震性能の設定法

国際地震工学センター 研究員 大塚 悠里

I はじめに

近年の地震による被害(例えば、兵庫県南部地震や熊本地震)では、建物が建つ地域や地区によって被害率に差異が生じたことが報告されている。一方、建築物の最大応答を導くために古くから多くの研究がなされているが、それらの解には地盤の増幅特性のモデル化など改良すべき点が多々見られる。

そこで、筆者等は実地盤情報を反映した地震動を用いて、保有水平耐力計算により設計された鉄筋コンクリート造及び木質構造建物の最大応答変形について検討を行い、同じ地盤種別、建物強度であってもその最大応答変形角は建設地域ごとに顕著な差異が生じることを明らかにしている^{1),2)}。

そこで、本研究では、首都圏の各地の実地盤情報を考慮した地震動を用いて、保有水平耐力計算により設計された鉄骨造建築物の耐震性の評価を行った。また、応答解析結果より、加速度応答スペクトル S_a と変位応答スペクトル S_d の関係($S_a - S_d$ 曲線)と最大応答時の等価周期 T_{eq} の関係から、地盤増幅特性を考慮した耐震性能の設定の必要性が示唆された。

II 時刻歴応答解析の方法

解析モデルは、工学的基盤上の複数層からなる表層地盤と、その上に建つ上部構造とした。表層の地震動は、文献^{1),2)}と同様に、解放工学的基盤に極めて稀に発生する地震動(平12建告第1461号)の模擬地震動を入力し、首都圏各地の地盤増幅を考慮することで解析的に算出した。地盤情報には、防災科学研究所強震ネットワーク(K-NET)の公開データ³⁾を用いた。なお、位相特性は乱数位相とし、地盤の液状化については考慮しないものとした。図1に各解析地点と文献⁴⁾を参考に地盤の1次卓越周期 T_g より分類した地盤種別を示す。

上部構造の鉄骨造建築物は1質点系とし、復元力特性はトリリニアモデルとした(図2)。降伏時せん断耐力 Q_{y2} は保有水平耐力計算の必要保有水平耐力 Q_{un} とした。建物高さは3階、

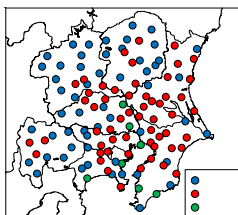


図1 解析地点

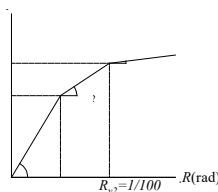


図2 上部構造の復元力特性

8階、14階の3種類とし、構造特性係数 D_s は3階、8階モデルでは、0.25、0.30、0.35、0.40、0.45、0.50、14階モデルでは0.25、0.30、0.35、0.40、0.45とした。

III 時刻歴応答解析の結果

図3に応答解析結果の一例として、8階モデル、構造特性係数 $D_s=0.45$ の場合の応答解析結果を示す。2種地盤、3種地盤において、同じ構造特性係数 D_s 、地盤種別であっても最大層間変形角 R_{max} には顕著な差異がみられた。また、建物高さごとの最大層間変形角 R_{max} は3階モデルの場合、1種地盤は $1/50(\text{rad})$ 以下を示したが、2種、3種地盤では $1/50(\text{rad})$ 以上を示す解析地点があった。8階モデルの場合、1種地盤は $1/100(\text{rad})$ 以下であったが、2種、3種地盤はおおむね $1/100(\text{rad})$ 以上を示した。また、一部の2種地盤では、 $1/50(\text{rad})$ 以上を示す解析地点もあった。14階モデルの場合、1種地盤は $1/100(\text{rad})$ 以下を示し、2種、3種地盤はおおむね $1/100(\text{rad})$ であった。図4に代表として21カ所の最大層間変形角 R_{max} を示す。8階モデルにおいて $1/50(\text{rad})$ 以上を示した2種地盤(例:厚木)や、14階モデルにおいて $1/100(\text{rad})$ 以上を示した3種地盤(例:横浜)において、構造特性係数 D_s (ベースシア係数 C_B) を大きくしても、最大層間変形角 R_{max} がほぼ一定か、場合によっては大きくなる現象がみられた。

IV 最大応答時における等価周期と加速度応答スペクトルの関係及び応答の溜り場の関係

本章では、最大層間変形角 R_{max} が一定ないし、大きくなる現象がみられた2種地盤及び3種地盤について、 $S_a - S_d$ 曲線と等価周期 T_{eq} の関係から考察を行う。

図5に厚木(2種地盤)、横浜(3種地盤)の $S_a - S_d$ 曲線とベースシア係数 C_B ごとの等価周期 T_{eq} の関係を示す。なお、 $S_a - S_d$ 曲線は建物が有する等価減衰定数 h_{eq} として15%を仮定し、算定した。ここで、加速度応答スペクトル S_a を(1)式で表すと、

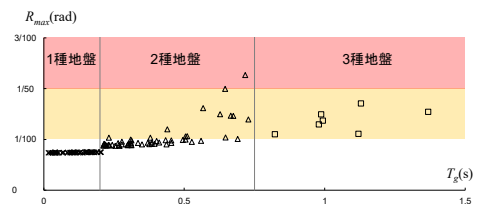


図3 応答解析結果の一例 (8階モデル, $D_s=0.45$)

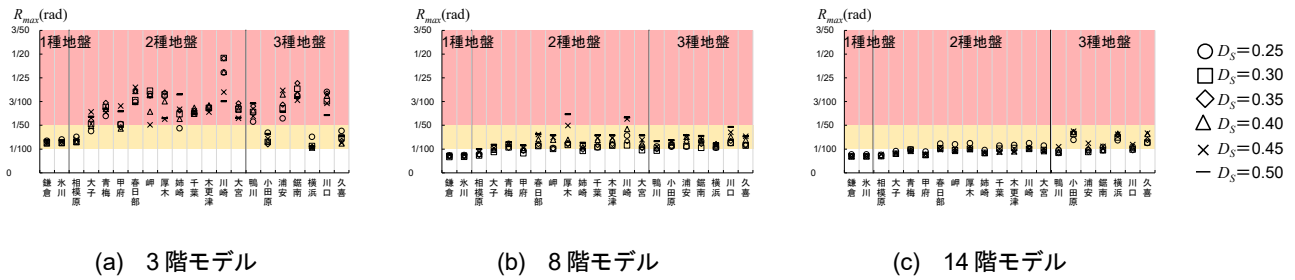
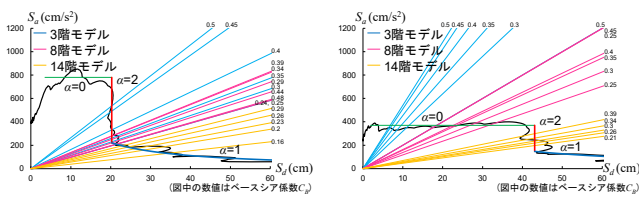


図4 最大応答変形角 R_{max} の比較



(a) 2種地盤(厚木) (b) 3種地盤(横浜)

図5 $S_a - S_d$ 曲線と等価周期 T_{eq}

変位応答スペクトル S_d は(2)式で表せる(図6参照)。(1)式、(2)式より、各解析地点の $S_a - S_d$ 曲線をマクロ的にとらえた線を図5に示す。

$$S_a = C \cdot T^{-\alpha} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{C^{\frac{2}{\alpha}}}{4\pi^2} \cdot S_a^{-\frac{2}{\alpha} + 1} \quad (2)$$

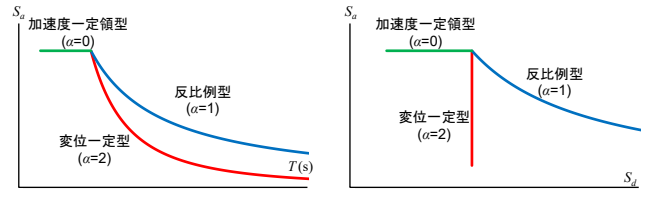
α : 加速度応答スペクトル S_a の低下を表す係数

T : 周期(s)

C : S_a の大きさを表す任意の定数

図5、図6より、 $\alpha=0$ では加速度応答スペクトル S_a は周期 T によらずほぼ一定で、ベースシア係数 C_B の減少と共に応答変位が増大する(加速度一定型)。 $\alpha=2$ では加速度応答スペクトル S_a が周期 T に対して顕著に減少し、ベースシア係数 C_B の値に係わらず応答変位がほぼ一定ないし、場合によってはベースシア係数 C_B が大きくなると応答変位が大きくなる(変位一定型)。 $\alpha=1$ では加速度応答スペクトル S_a が周期 T と共に緩やかに減少し、ベースシア係数 C_B の減少と共に応答変位が増大する(反比例型)。

最大層間変形角 R_{max} が一定ないし、大きくなる現象がみられた厚木(2種地盤)のような地盤に建つ中低層建物と横浜(3種地盤)のような地盤に建つ高層建物において、変位一定型の $\alpha=1$ から反比例型の $\alpha=2$ の境界を含む領域に等価周期 T_{eq} と $S_a - S_d$ 曲線の交点(応答点)が集中した。本研究では、この領域を「応答の溜まり場」と呼称する。このため、この領域における応答変形が許容できる場合、応答の溜まり場における最



(a) 加速度一定領型

(b) $S_a - S_d$ 曲線

S_a

S_d

$T(s)$

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

$\alpha=0$

$\alpha=1$

$\alpha=2$

反比例型

変位一定型

図6 簡略化した応答スペクトル

小ベースシア係数 C_B が要求強度に対する重要な指標となる。また、本事例の厚木(2種地盤)のような地盤に建つ中低層建物では、最大応答を応答の溜り場の前の領域に留める必要があり、そのためにはかなり大きな建物の耐力を要する。

V まとめ

本研究では、実地盤情報を反映した地震動を用いた鉄骨造建築物の応答解析結果より、応答の溜まり場が存在することを明らかにした。また、応答の溜まり場を用いれば合理的な建築物の耐震性能の設定が可能であることを紹介した。なお、本研究の詳細な研究成果は、文献^{5),6)}に掲載されている。

謝辞: 本研究では、防災科学研究所強震ネットワーク(K-NET)に公開されている土質データを利用した。また、(株)構造計画研究所のRESP-MXと鹿嶋俊英氏(建築研究所)のView Waveを使用した。ここに記し、深く感謝の意を表します。

参考文献: 1) 平石久廣, 和泉寛幹, 積山悠: 首都圏における現行基準鉄筋コンクリート造建物の耐震性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第81巻, 第722号, pp.769-777, 2016 2) 大塚悠里, 五十田博, 平石久廣: 首都圏における木造軸組構法住宅の耐震性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第86巻, 第790号, pp.1664-1673, 2021 3) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, DOI: 10.17598/NIED.0004 4) 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省建築研究所, 財団法人日本建築センター, 社団法人建築振興協会 編集: 2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説 第2版, 工学図書, 2001 5) 大塚悠里, 平石久廣: 地盤の増幅特性を考慮した鉄骨造建築物の耐震性能に関する研究, 建築研究報告, No.151, 2022 6) 大塚悠里, 平石

久廣: 地盤増幅特性を反映した建築物の応答評価に関する研究, 日本建築学会
大会学術講演梗概集(北海道), pp.921-922, 2022