

高層建物の高さや階層別の地震時室内被害に関する研究

名古屋大学社会環境工学科建築学コース

護研究室 柴田輝

1. 背景と目的

2011年3月に発生した東日本大震災により首都圏等の都市部では高層建物の主に家具の転倒や天井の落下による被害が多数確認されている。近年の発生が懸念される南海トラフでの巨大地震においては、構造的被害のほか、高層建物室内被害も予測しておく必要があると考えられる。室内被害予測に関しては家具の転倒条件や建築設備の被害率曲線に関する既往の研究が存在するが、本研究では、高層建物の高さや階層別の室内被害に着目し、建物モデルを用いた地震応答解析により算出した建物各階の地震時応答加速度と既往の研究や被害調査結果から、危険度の高い階層はどこか、どのような被害が起こるかを予測することを試みた。

2. 地震時建物応答加速度と家具と天井の破損・転倒の関係

東日本大震災における調査を基にした地震時建物応答加速度と家具(ダンス・本棚)の転倒の関係を図1、地震応答加速度と天井の破損の関係を図2(システム天井)、図3(在来天井)に示す。少しでも転倒・破損がみられた場合は1、それ以外は0としている。図1を見ると家具はおおよそ170galから200galの間で転倒し始めていることがわかる。図2を見るとシステム天井では150gal、在来天井では200gal程度から破損し始めることがわかる。また既往の研究として金子²⁾による応答加速度と家具転倒率の関係を示したのが図4である。また、表1は24~33階建の高層建物を階層別にまとめた実被害である。なお、応答加速度と室内被害を関連付けた調査結果があること、ある条件下では、家具の転倒、天井の破損がともに応答加速度の1つの因子として説明できることから、ここでは、応答加速度を被害予測の指標として用いることとした。

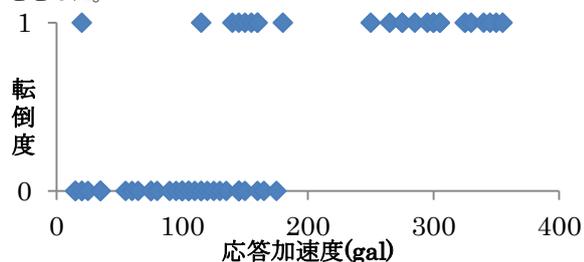


図1 応答加速度と家具の転倒度の関係

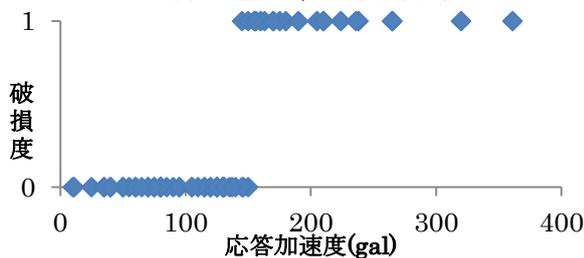


図2 応答加速度とシステム天井の破損度の関係

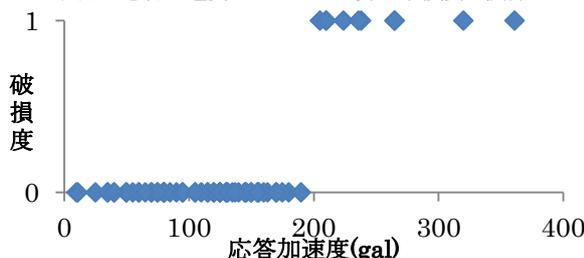


図3 応答加速度と在来天井の破損度の関係

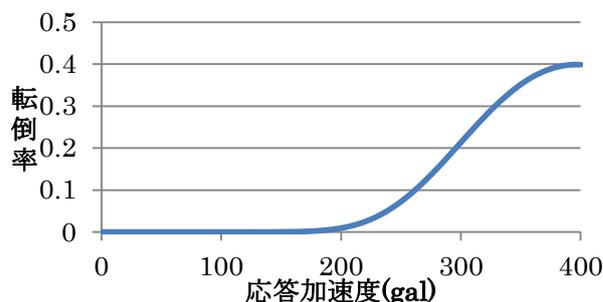


図4 応答加速度と家具の転倒率の関係

表1 階層別家具被害状況(%)

	大きく転倒	一部転倒	全く動かず
高層階	19	61	25
中層階	1	34	73
低層階	0	22	100

3. 建物モデルを用いた地震応答加速度の検討

建物応答予測では、10階、20階、30階の3つの仮想S造建物を想定し、多質点せん断ばねモデルに置換した。1次固有周期を建物高さとの関係から算定した結果を表2に示す。また、各階質量は $1 \times 10^7 \text{kg}$ とした。各層のせん断剛性は、高さ方向の分布形をAi分布に基づく層せん断力分布に比例させることとし、値は建物の1次固有周期が表2と対応するように設定した。また減衰は1次固有周期で2%の剛性比例型とした。

対象地点は、図5に示すように2006年2月の愛知県設計用入力地震動研究協議会³⁾で検討され、表層地盤モデルの存在する名古屋市内の7地点とした。入力地震波としては、2014年に公表された愛知県の被害予測で推定された工学的基盤の波から、非線形地盤応答解析により推定した地表面における地震波を用いる。地震波の例として名古屋駅(NST)における加速度波形を図6に、減衰2%のトリパタイトスペクトルを図7に示す。これらの地震波と作成した建物モデルを用いて地震応答解析を実施し応答加速度を算出した。解析結果の一例として、名古屋駅(NST)における応答加速度の最大値とその値を建物上に色分けして示したのが図9である。

表2 各建物モデルの1次固有周期

階	10	20	30
T(s)	1.2	2.4	3.6



図5 評価対象とする名古屋市内の7地点

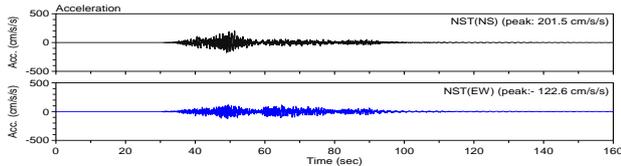


図7 名古屋駅(NST)における地震波の加速度波形

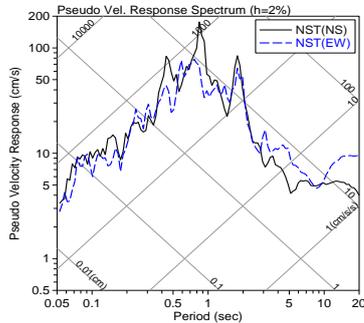


図8 名古屋駅(NST)における減衰2%トリバタイトスペクトル

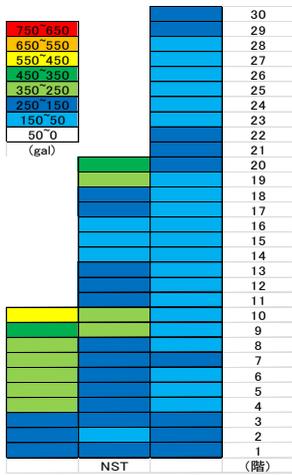


図9 名古屋駅(NST)における応答最大加速度分布

図9から、各階の応答最大加速度の分布を見ることができ、これを基に室内被害を予測する。これを見ると応答最大加速度値が高さ方向でばらつきがあることがわかる

4. 地震応答解析に基づく地震時室内被害予測

得られた応答加速度から既往の研究と実際の被害データを基に地震時の室内被害予測を行った。本研究では建物を高層階・中層階・低層階の3つの層に分け、家具(形状比0.2、床摩擦係数0.5)・天井の被害について推定した。その結果を図10と図11に

示す。3層に分ける理由として、調査結果が階層別で表したものであった点も挙げられるが階層別に分けることでばらつきを少なくし、一般的な建物の室内被害の指標として用いることのできるようにする点がある。

さらにこれらの被害結果を組み合わせることで、地震時室内被害を検討した。評価指標を表3の5段階で評価し、室内危険度を表したものが図12である。図12から地域や建物、階層によって危険度の違いが表現できた。

5. まとめ

本研究を通して、地盤・地震波・建物高さ・階層の違いによる室内被害予測の可能性、必要性を示すことができた。一概に建物高さの条件だけで、高層階では被害が大きく、低層階では被害が小さいと決定できるわけではなく、諸条件を考慮した地震時の建物応答評価を実施した上で、家具の破損や天井被害を推定する必要があることがわかった。今後の課題として、家具と天井以外の非構造部材の破損による室内被害の検討を行うこと、本研究で用いた地震動では長周期成分が十分に評価されておらず、過小評価になっていることがあることから、長周期地震動に対する再評価を行うこと、応答加速度だけでなく家具の被害に関する応答速度、天井の被害に関する層間変形から被害予測を行うこと、建物の構造的破壊を考慮した上での室内被害予測を行うことなどがあげられ、検討追究が必要である。

表3 地震時室内被害予測の5段階評価の指標

室内危険度	A	B	C	D	E
家具転倒率	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1
天井被害					
室内危険度	家具の転倒が多く、天井の破損する可能性も高い				
A	家具の転倒が少し見られ、天井の破損する可能性が高い。				
B	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性がある。				
C	家具の転倒はほとんどないが、天井の破損する可能性が少しある。				
D	家具の転倒も、天井の破損もほとんど起こらない				
E					
家具転倒率	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
天井被害					
室内危険度	破損する可能性が高い				
A	確率は低いですが破損する可能性がある				
B	ほぼ破損しない				
C					
D					
E					

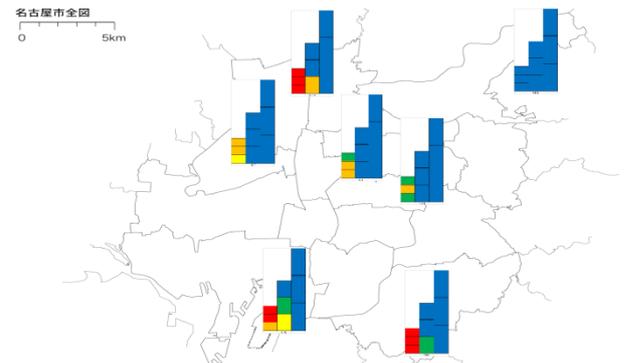


図10 金子に基づく7地点の家具転倒率の分布

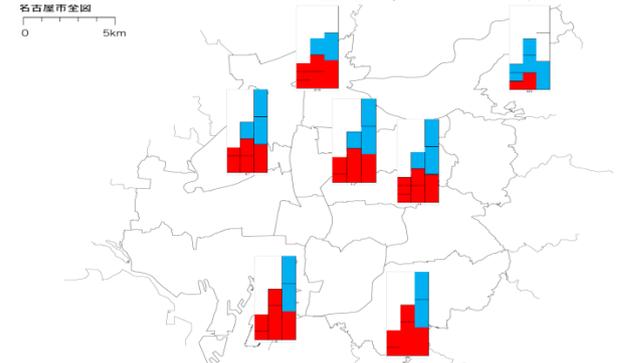


図11 調査結果に基づく7地点の天井破損度の分布

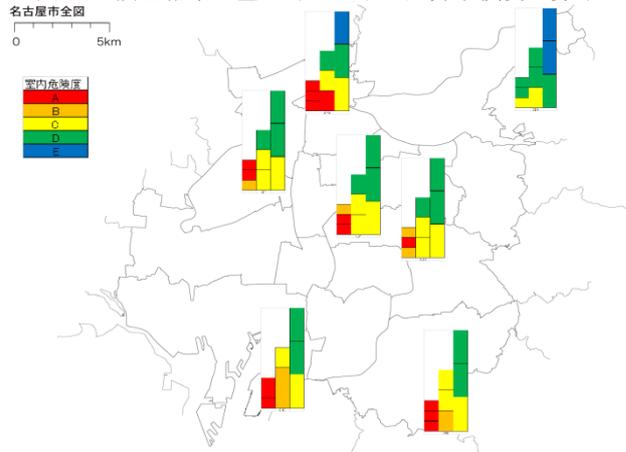


図12 図10、11から評価した階層別地震時室内危険度

参考文献 1)日本建築学会：長周期地震動対策に関する公開研究集会第5、6章
 2)金子美香：地震時における家具の転倒率推定方法 日本建築学会構造系論文集 第551号、pp.61-68、2002年1月
 3)愛知県設計用入力地震動研究協議会：愛知県設計用入力地震動の作成 想定地震による強震動予測(改訂版) 2006年2月