

建物群と微地形を考慮した表層地盤上の地震応答に関する基礎的研究

東北大学大学院 学生員 名取 美咲
 東北大学大学院 学生員 車谷 麻緒
 東北大学大学院 正 員 寺田賢二郎
 東北大学大学院 正 員 山田 真幸

1. はじめに

耐震・防災意識の向上を背景として、近年国や地方公共団体の地震防災対策の整備や大規模計算機を用いた数値解析による地震災害予測システムの構築が急速に進んでいる。その中でも地震ハザードマップは我々に身近な地震防災対策であるといえるが、同一区分に属す地点であっても実際には近接する地震災害には大きな差があることが報告されている¹⁾。この要因として、地震ハザードマップ作成に用いられている GIS で入手可能な地理情報の多くは局所的領域内での地形の情報や建物群の存在は考慮されておらず、現在の地震被害予測は大域的な検討結果の代表値程度にとどまっていることが挙げられる。そこで本研究では、既存の地盤や建物群、局所的な地形の差異を考慮した市街地の地震時挙動の有限要素解析を行い、それらが周辺地盤の地震応答に与える影響評価を試みる。

2. 表層地盤への影響を考慮した地下構造を含む建物群の地震応答解析

地震災害に影響を及ぼすと考えられる建物群の表層地盤への影響について、仙台市内の市街地の1街区をモデルに地下構造を考慮した地震応答解析を行い、表層地盤に対して建物および建物群がどのような影響を及ぼすか調査する。形状モデリングには3D-CADを用い、これをVOXELCON²⁾でVOXELメッシュ分割し有限要素解析を行った。

2.1 解析モデルと解析条件

サイトは仙台市の市街地をモデルとした1区画とし、入力する各材料定数も仙台市内で得られたデータを用いる。解析モデルおよび材料定数を図-1、表-1に示す。このモデルは地盤3層と建物群18棟からなり、そのうち地下構造を有するものは8棟である。これらの建物群による影響を比較・考察するために図-2に示す8つの解析モデルを設定した。ここで、設定したモデルのうち地下構造を有するものはA-4、A-6、A-7およびA-8である。

解析は、評価対象領域：120×100×60[m]に対して線形動的陽解法による並列計算を行った³⁾。なお、建物群の材料定数は表-1に示した等価材料定数を解析的に求め同一の値を建物全てに用いた。また入力地震波は、1978年の宮城県沖地震の際に住友生命仙台中央ビル地下2階で取られた加速度データを変位に変換したものをを用いた。

表-1 材料定数

	高さ z [m]	ヤング率 [Pa]	密度 [kg/m ³]
砂礫	$0 \leq z \leq 13$	2.84×10^8	1.89×10^3
砂礫	$13 \leq z \leq 17$	1.26×10^7	1.89×10^3
表土	$17 \leq z \leq 20$	1.92×10^7	1.39×10^3
道路	$19 \leq z \leq 20$	2.00×10^{10}	2.50×10^3
構造物	$20 \leq z \leq 65$	2.52×10^8	4.21×10^2

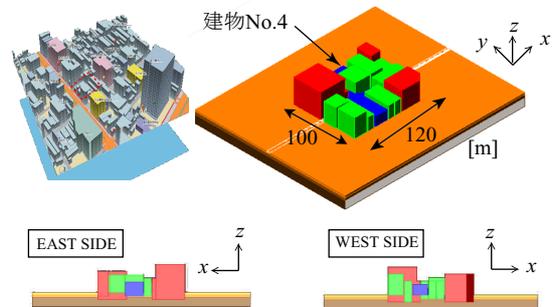


図-1 地下構造を考慮した地盤と建物群の解析モデル

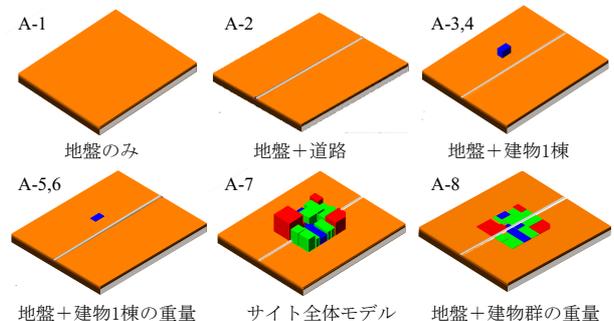


図-2 各解析モデル (A-1 ~ A-8)

2.2 評価指標の導入

解析結果の評価指標としては、各モデルについて、建物基部で得られた速度の時刻歴応答から算出したスペクトル強度をモデル A-1 の結果で正規化したものを用いる。したがって、値が1を基準として1より大きいものは地震動が増幅し揺れが大きくなっていることを、1より小さいものは地震動が抑制され、揺れが小さくなっていることを示している。

また、評価点は表層地盤上の点を取り、建物 No.4 の中

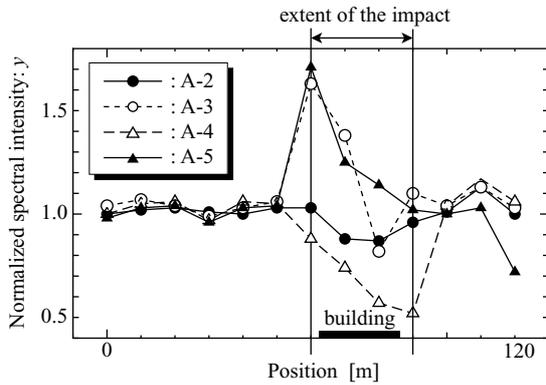


図-3 A-2～A-5の $a-a'$ 断面・ y 成分解析結果

心点を通る $a-a'$ 断面と道路中央点を通り $a-a'$ 断面に平行な $b-b'$ 断面上での正規化したスペクトル強度の値をプロットした。

2.3 解析結果および考察

得られた結果の一例を図-3に示し、以下考察を述べる。まず、図-3に示したA-2, A-3の結果を比較する。道路を含む地盤(A-2)上に地下構造を持たない建物1棟(建物No.4)を建てたものがモデルA-3である。図-3に示した結果から、上部構造の存在あるいはその重量が周辺地盤の揺れを増幅させる効果を持つことがわかる。次に、モデルA-3とこの建物1棟が地下構造を有するモデルA-4を比較する。図-3に示す $a-a'$ 断面での y 成分をみると、地下構造を持たないモデルA-3では地震動が増幅するのに対して、地下構造を有するA-4では値が1以下となり揺れが抑制されていることが確認できる。つまり、地下構造を有する建物の周辺地盤は揺れにくくなり、逆に地下構造を持たない建物周辺では地震動が増幅されることがわかる。

次に、A-3とA-3の上部構造を考慮しないモデルであるA-5の結果を比較する。図-3には $a-a'$ 断面の y 成分のみを示したが、両断面の x, y 成分ともに地震応答が酷似していることが確認された。したがって、A-2とA-3の比較から得られた結果と併せて、地震動の増減は建物の上部構造の振動特性に依存するのではなく、上部構造の重量(質量)のみが周辺地盤の地震動を大きくする原因であると考えられる。以上で述べた内容はモデルA-4とA-6の関係でもそのままあてはまる結果を得た。なお、この結果と先に述べたA-2, A-3の結果を比較すると、上部構造の存在あるいはその重量が周辺地盤の揺れを増幅させる効果よりも、地下構造が地震動を抑制する効果の方が大きいといえる。

また、建物1棟が存在することによる地震応答への影響範囲は図-3より地下構造の有無にかかわらず最大でも $x = 50 \sim 90$ [m]の範囲であることがわかる。つまり、この影響範囲は建物No.4の周辺10[m]四方を取り囲む領域であり、非常に局所的であるといえる。

最後にモデルA-7とA-8の解析結果を $b-b'$ 断面について比較する。モデルA-7が仙台市街地の仮想1区画をモデル化したものであるのに対して、A-5やA-6のように上部構造を除外し重量のみを考慮したモデルがA-8である。 x, y 成分ともにほぼ同じ傾向を示したことから、この結果は上部構造の重量のみが周辺地盤の地震動を大きくする原因

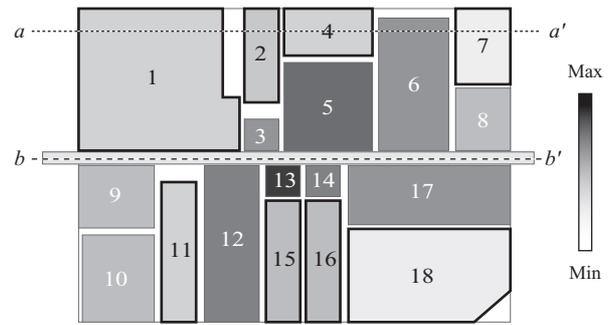


図-4 A-7での各建物 x 成分スペクトル強度の分布

であるとした前段落までの考察を裏付けるものである。

また、モデルA-7において群として存在する際の建物おのこの地震時挙動を調べると各建物基部中心点の x 成分スペクトル強度分布は図-4に示すとおりであり、 x, y 両方向で値の大きさは異なるものの同じ傾向であった。ここで太枠で囲まれているものが地下構造を有する建物である。すなわち、地下構造を有する建物の周辺地盤はスペクトル強度の値が小さく、地震動が抑えられているのに対して、地下構造を持たない建物の周辺地盤は大きく揺れることがわかる。これは、上部構造の重量と地下構造の有無が周辺地盤の地震動に与える影響は非常に局所的であり、周囲に与える影響が小さいというA-3とA-4を比較した際の結論とも整合している。

このように、群構造の場合においても建物相互の影響と比較して建物自身の構造特性が揺れに対して支配的であり、地下構造を有するものは地震動を抑制し、逆に持たないものは比較的大きく揺れることがわかる。建物自身の上部構造の重量による地震動への影響は地下構造がある場合には現れないが、地下構造を持たない建物については、群として存在していても揺れを大きくする効果があると結論づけられる。

3. おわりに

本研究では、建物群および微地形が表層地盤上の地震応答に与える影響を調査した。その結果、地下構造を持たない建物では上部構造の重量が揺れを大きくする働きをするのに対して、地下構造を有する建物の場合には、地下構造が地震動を抑制する効果を示すことを確認し、後者の影響は前者のそれを上回ることがわかった。また、建物が及ぼす地震応答の影響範囲は建物周辺の非常に局所的な領域であることを指摘した。さらに、群構造であっても、建物同士の相互作用よりも自身の構造特性の方が周辺地盤の地震応答に及ぼす影響は大きく、一般に隣接効果と呼ばれる現象は存在しないか、あるいは存在するとしても極めて微小に観測される程度であることがわかった。

参考文献

- 1) 松山智恵, 福和伸夫, 飛田潤: 強振観測・強制振動実験・常時微動計測に基づく隣接する中低層建物の振動特性, 日本建築学会構造系論文集 第545号, pp.87-94, 2001.
- 2) 石井恵三, 中里力: イメージベースモデリング/解析システムの開発, 計算工学講演会論文集, Vol. 3, pp.385-386, 1998.
- 3) 生出佳, 寺田賢二郎, 山田真幸: 市街地の地震時挙動における地下構造物の影響評価の試み, 日本計算工学講演会論文集, Vol.10, pp.339-342, 2005.