

## 造成地の旧地形形状が地震応答に及ぼす影響

造成地, 地形形状, 地震応答

東北大学大学院	正会員	森 友宏
東北大学大学院 (現 NEXCO 東日本)	正会員	中尻智大
ミサワホーム総合研究所	正会員	松下克也
ミサワホーム	正会員	川崎淳志
復建技術コンサルタント	正会員	佐藤真吾
東北大学大学院	国際会員	渦岡良介 風間基樹

## 1. はじめに

都市への人口集中が進むにつれて、住宅地は平野部から丘陵地へと拡大してきた。起伏のある丘陵地では、地山の切盛を行って平坦な宅地を造成するが、造成によって作られた盛土地盤は自然地盤に比べて地震による被害を受けやすいと言われている。本研究では、宮城県仙台市内の実際の造成宅地地盤を対象とした地震観測および数値解析を行い、造成地の旧地形形状が地震応答に及ぼす影響について検討を行った。解析には、新旧地形図に基づいて作成した三次元 FEM モデルを用いた全応力解析(LIQCA<sup>1)</sup>)を用いた。

## 2. 地震観測に基づく造成宅地の地震動増幅特性

旧版地図(昭和31年米軍撮影空中写真より作成, 1/2,500相当)と造成宅地の造成計画平面図(1/500)の標高と座標から推定した切盛分布図を図-1に示す。また、同図中に地震観測に用いた地震計の設置位置および設置位置の盛土厚さ、位置の特徴を示す。これまで7つの地震記録が得られているが、ここでは2007年12月25日(宮城県沖)、2008年6月14日(岩手・宮城内陸地震)、2008年7月24日(岩手県沿岸北部)の地震の観測結果を基に、対象とした造成宅地の地震動増幅特性を検討する。表-1に地震計で観測された計測震度を示す。盛土厚の厚いNo.7では、切土部のNo.1, No.3と比較して計測震度が0.3~0.4程大きい。また、図-2に地震計No.2, No.7のNo.1に対する伝達関数を示す。計測震度レベルの異なる三つの地震において、伝達関数はほぼ同じ形状を示している。3.0 Hz 付近の増幅率に注目してみると、切盛境界上に位置する地震計 No.2 は EW 方向に3倍程度増幅しているのに対し、NS 方向は1.5倍程度しか増幅していない。一方、盛土中央部に位置する地震計 No.7 は EW, NS 方向共に3倍程度増幅している。このような違いが生じる要因として、地震計設置位置における旧地形形状の違いが考えられた。

## 3. 三次元全応力地震応答解析による旧地形形状と地震応答との関係

解析コードには LIQCA を用いた。土の構成モデルは修正 R-O モデルを用いた。なお、LIQCA は有効応力解析コードであるが、ここでは間隙水圧を考慮しない全応力解析を行った。空間離散化には有限要素法を、時間離散化には Newmark の時間積分法を用いた。モデルは盛土層2層(新盛土, 旧盛土)、基盤層1層の3層構造とした。盛土部は G.L. 4.0 m まで新盛土とした。物性は PS 検層結果等から決定した。解析に用いたパラメータを表-2に示す。メッシュは幅5m, 高さ2mの立方体要素を用いた。境界条件は、底面は水平・鉛直を固定、側面は水平ローラーとした。各要素の初期応力は、鉛直方向に

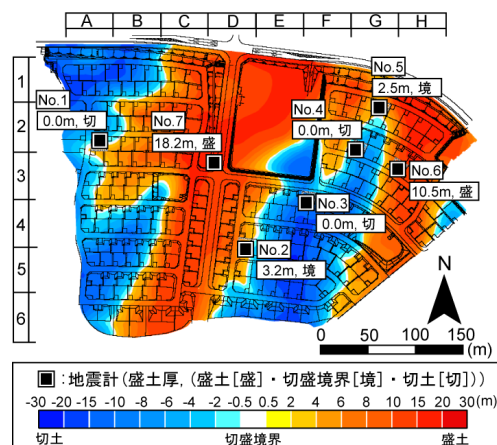


図-1 新旧地形図に基づく切盛分布, 地震計位置

表-1 観測された主な地震動と計測震度

地震	計測震度	計測震度			
		No.1	No.2	No.3	No.7
2007/12/25 EQ	2.1	1.6	1.8	1.5	1.8
2008/6/14 EQ	5.0	4.0	4.1	3.8	4.2
2008/7/24 EQ	4.3	3.8	4.0	-	4.1

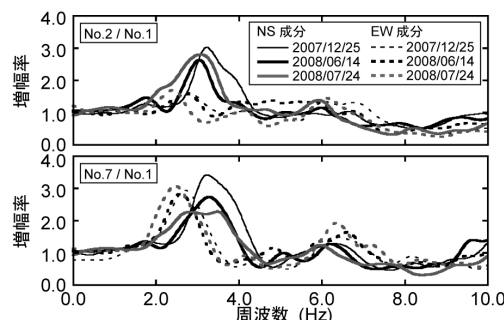


図-2 観測波の地震動増幅率

表-2 解析モデルパラメータ

記号	単位	新盛土	旧盛土	基盤(弾性)	
密度	$\rho$	$\text{g/cm}^3$	1.70	1.70	2.00
ポアソン比	$\nu$		0.48	0.48	-
粘着力	$c$	$\text{kN/m}^2$	0.00	0.00	-
内部摩擦角	$\phi$	rad	0.60	0.60	-
R-Oモデルパラメータ	$a$		36000	50000	-
R-Oモデルパラメータ	$b$		0.20	0.20	-
R-Oモデルパラメータ	$\alpha$		1.10	1.00	-
R-Oモデルパラメータ	$\beta$		2.30	2.50	-
ラメ定数	$\lambda$	$\text{kN/m}^2$	-	-	$5.62 \times 10^5$
ラメ定数	$\mu$	$\text{kN/m}^2$	-	-	$2.82 \times 10^5$

Influence of the old topographical shape on the seismic response of fill ground.

Tomohiro MORI, Ryosuke UZUOKA and Motoki KAZAMA, Graduate school of Eng. Tohoku University.

Tomohiro NAKAJIRI, East Nippon Expressway Company.

Katsuya MATSUSHITA, Misawa Homes Institute of Research and Development Co., Ltd.

Atsushi KAWASAKI, Misawa Homes Co., Ltd.

Shingo SATO, Fukken Gijyutu Consultant.

加速度を段階的に  $9.8 \text{ m/s}^2$  まで作用させて算出した。入力地震動は、岩手・宮城内陸地震の際に地震計 No.3 で観測された波を、重複反射理論によって FEM モデル底面まで引戻して用いた（以後、引戻し波と呼ぶ）。図 - 3 に観測波及び引戻し波の加速度時刻歴を示す。図 - 4 に観測波及び引戻し波の加速度スペクトルを示す。引戻し波は 1.0 Hz, 6.0~7.0 Hz にスペクトルのピークを持つ。数値解析上の解析条件として、計算時間増分 0.01 秒, Newmark 法の係数は  $\alpha=0.3025$ ,  $\beta=0.6$  とした。Rayleigh 減衰として初期剛性比例型を用いた。その係数は、盛土中央部の一次固有振動数 3.0 Hz に減衰定数 2.8 % を仮定して 0.003 とした。図 - 5 に No.2, No.3, No.7 の地表面における観測波と解析波の加速度スペクトルを示す。No.2 においては, EW 成分では 3.0 Hz 付近のピークを再現できていない。NS 成分では解析値の方が全体的に小さいものの傾向は一致している。No.3 においては, EW 成分, NS 成分とも良好な再現性を示している。No.7 においては, EW 成分では 3.0 Hz 付近のピークを再現できていない。NS 成分では解析値の方が全体的に小さいものの傾向は一致している。また EW 成分, NS 成分とも 7.0 Hz 付近に観測値よりも大きなピークを示す。全体として旧地形形状の変化の大きい EW 成分では一致度が低く, 旧地形形状の変化の小さい NS 成分では一致度が高い。

次に、解析結果を基に作成した盛土厚と地表面における計測震度分布を図 - 6 に示す。また、図 - 7 に図 - 6 に示す各断面の盛土形状と計測震度の分布を示す。解析範囲の東西 250 m, 南北 200 m の範囲で、計測震度は 3.85~4.25 のばらつきを示した。計測震度は切盛境界を境に明瞭な違いを見せている。盛土厚が厚くなるほど計測震度も大きくなる傾向があるが、地形形状の影響を受けて盛土厚と計測震度が比例しない部分もある（図 - 6 D3 左上、図 - 7 断面 1 距離 150 m）。また、切盛境界が湾状になっている部分では、湾の焦点周辺に、その周囲よりも計測震度が大きい部分が生じている（図 - 6 B3, 図 - 7 断面 1 距離 70 m）（図 - 6 D3 左下, 図 - 7 断面 2 距離 190 m）。表 - 3 に観測及び解析による計測震度を示す。全体的に解析による計測震度は観測値の計測震度よりやや小さくなっているが、全体としての傾向は一致している。

#### 4. まとめ

造成地の谷埋め盛土地盤における旧地形形状と計測震度分布との関係を示した。計測震度は基本的に盛土厚が厚くなるほど大きくなるが、旧地形が湾状になっている部分では湾の焦点付近で計測震度が大きくなる傾向がある。計測震度に関しては、解析値は観測値の傾向を良く示した。しかし、地震動の周波数特性に関しては解析値は観測値を定量的に再現するには至っておらず、旧地形の基盤相当面の設定やモデルパラメータの設定を含め、今後の課題である。

参考文献: 1) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ: LIQCA2007 (2007 年公開版) 資料, 2007.

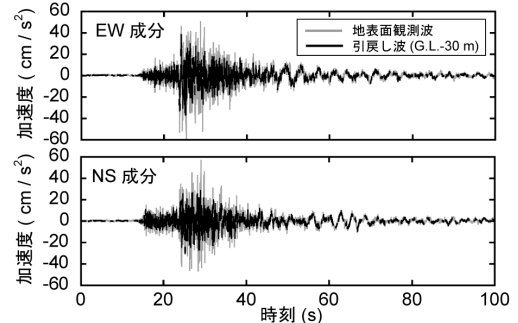


図 - 3 No.3 観測波, 引戻し波の加速度時刻歴

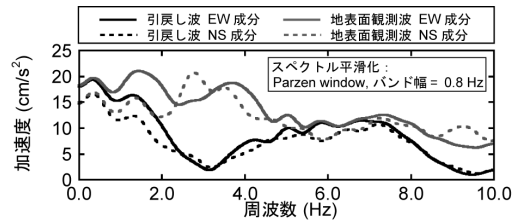


図 - 4 No.3 観測波, 引戻し波の加速度スペクトル

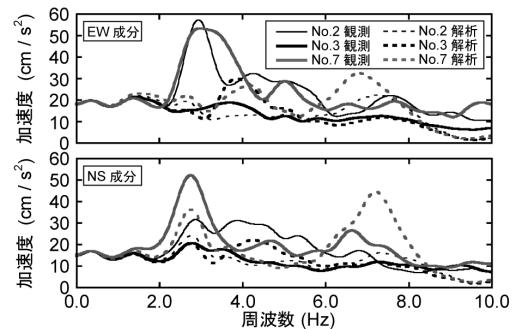


図 - 5 観測波, 解析波の加速度スペクトル

表 - 3 観測波, 解析波の計測震度の比較

	No.1	No.2	No.3	No.7
観測値	4.04	4.18	3.88	4.23
解析値	4.00	3.94	3.92	4.07

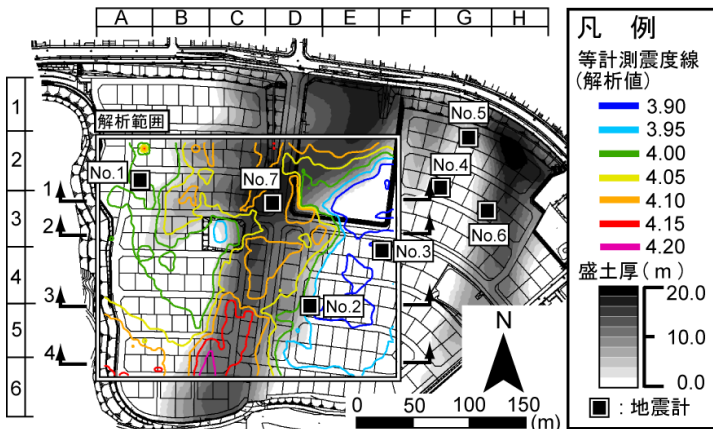


図 - 6 盛土厚と計測震度の分布

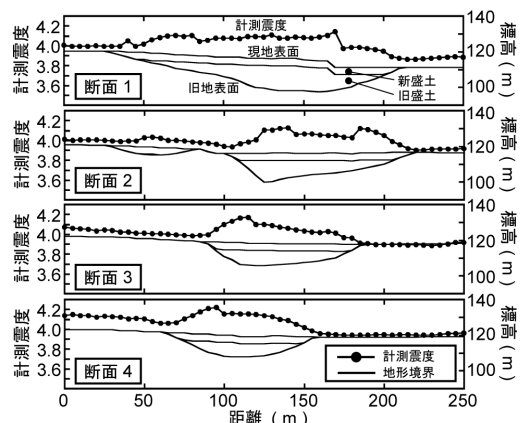


図 - 7 盛土の断面形状と計測震度の分布