

造成宅地地盤における盛土厚分布の推定手法による違い

東北大学 学 瀬尾 玄輝 フ 風間 基樹 正 森 友宏

1. はじめに

人口の増加や都市化に伴い、山間部を切盛りして造られた造成宅地が増加している。一般に、盛土地盤は自然地盤と比較して、地震による被害を受けやすいと言われており、地震時における、盛土地盤の地震動の増幅量を推定する必要がある。地震動の増幅には、盛土の厚さ、および盛土の下の切土地盤の形状が大きく影響を及ぼすが、原位置物理探査試験から、盛土厚や切土地盤形状を推定する手法は確立されていない。そこで、本研究では、まず造成宅地地盤における盛土厚の推定に用いる手法の違いにより、得られる盛土厚の分布がどの程度異なるかを示す。次に、得られた盛土厚分布を用いて三次元地震応答解析を行い、原位置地震動観測結果との比較を行った。

2. 盛土厚分布の推定

2.1 地形図による盛土厚分布

本研究で対象とした造成地は、山林を切り崩してゴルフ場を開発し、その後に宅地とした経緯がある。以後、山林からゴルフ場に至る際に発生した盛土を旧盛土、ゴルフ場から宅地に至る際に発生した盛土を新盛土と呼ぶ。

旧版地形図（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）の標高差分および座標作成した切盛り分布図¹⁾を図-1 に示す。また同図中に、地震計設置位置および設置位置の盛土厚、位置の特徴を示す。

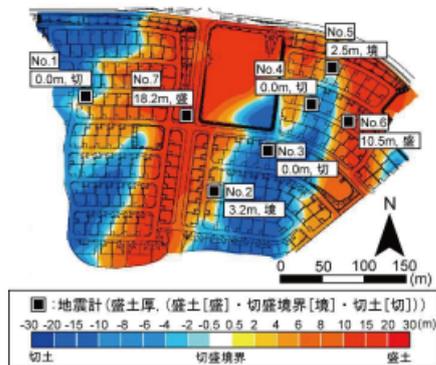


図-1 地形改変前後の地形図に基づいて評価した切盛り分布図

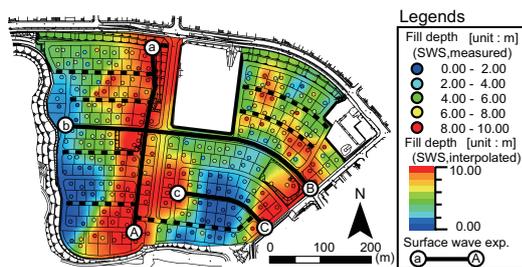


図-2 SWS 試験に基づき作成した盛土厚分布および表面波探査実地側線

2.2 SWS 試験による盛土厚分布

対象地盤では、SWS 試験や表面波探査などの物理探査試験を行っている。まず、SWS 試験の結果に基づいて、盛土厚分布の把握を行った。SWS 試験における問題点として、礫当たりによって貫入が停止してしまうこと、10m 以深は測定できないことが挙げられる。本研究で対象とした造成宅地では、一街区につき 5 点の位置で SWS 試験を行った。盛土厚分布判定の際には、5 点のうち最も深く貫入したものを代表値として用いた。SWS 試験の結果において、 $N_{sw} > 200$ の層が連続して 1m 以上現れた層の上面を基盤面、 $N_{sw} > 20$ の層が連続して 1m 以上現れた層の上面を新旧盛土の境界と定義し、クリギングによる補完を行うことで、境界面を決定した。ここで、重み関数はスフェリカルモデルを用い、参照点数は 8 点とした。SWS 試験に基づき作成した盛土厚分布および表面波探査の実施側線を図-2 に示す。

2.3 SWS 試験および表面波探査による盛土厚分布

実施側線のうち、No.2,7 が含まれる側線を、図-3 に示す。今井ら²⁾は、S 波速度と N 値との関係式を提案している。今井の式によると、表面波探査において、S 波速度 $V_S=300$ m/s が N 値=40 に相当するため、概ね基盤面と判断することができる。表面波探査だけでは、範囲が狭いため、結果を面的に補完しなくてはならない。そこで、SWS 試験による盛土厚分布が基盤面 G.L.-10m までの箇所は、SWS 試験に基づく値を採用し、盛土厚がそれ以深になった箇所は、表面波探査試験において S 波速度が 300m/s の層を基盤とし、SWS 試験による結果と補完した。各推定手法による、No.2,7 の地形図による盛土深さ、SWS 試験および表面波探査の結果による盛土深さを表した柱状図を図-4 に示す。No.2 においては、地形図をもとにした場合、切盛り境界と判断されたが、基盤面は、SWS 試験によるとおよそ G.L.-9m であり、表面波探査によると G.L.-14m である。地形図では縮尺による誤差が生じてしまうため、このような違いが発生したと考えられる。No.7 においては、SWS 試験は G.L.-10m で貫入停止してしまったが、表面波探査によると基盤面は G.L.-20m であり、より深い部分まで考慮できている。以上の方法により作成した盛土厚分布図を図-5 に示す。全体的に、SWS 試験および表面波探査に基づく盛土厚の方が、地形図に基づく盛土厚よりも深く評価できている。

3. 3次元地震応答解析

3.1 解析手法

対象宅地地盤では、常時地震動観測³⁾を行っている。盛土厚分布の違いが地震応答に及ぼす影響を検討するために、三次元地震応答解析を行った。解析コードには LIQCA⁴⁾を、土の構成式には、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。

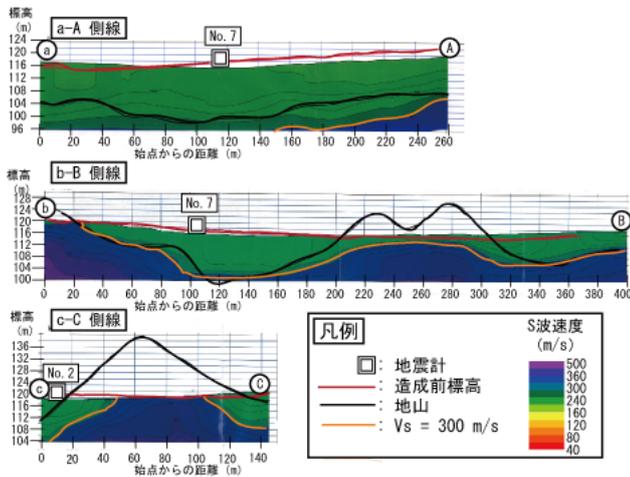


図-3 表面波探査結果

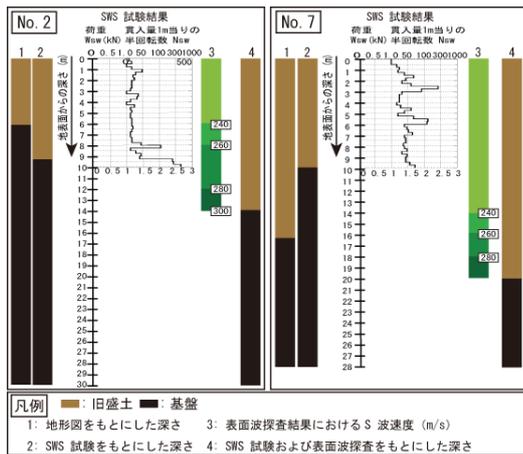


図-4 No.2,7 の柱状図

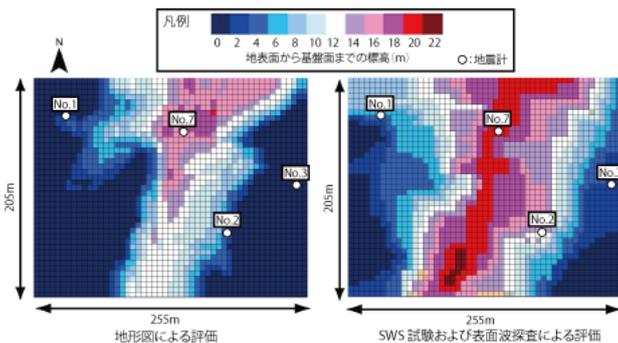


図-5 地表面から基盤面までの標高差

3.2 解析条件

メッシュは、幅 5 m、高さ 2 m の立方体要素を用い、東西 255 m、南北 205 m の範囲で解析を行った。境界条件は底面は水平・鉛直を固定し、側面は水平ローラーとした。旧盛土層と基盤層との境界面は、地形図から求めたもの（モデル 1）と、SWS 試験および表面波探査の結果から求めたもの（モデル 2）を用いた。

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 モデル底面まで引き戻して用いた。

数値解析における物性は、PS 検層や三軸圧縮試験結果等から決定した。解析に用いたパラメータを表-1 に示す。

3.3 解析結果

図-6 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、どちらの

表-1 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 | ρ g/cm ³ | 1.70 | 1.70 | 2.00 |
| ポアソン比 | ν | 0.48 | 0.48 | - |
| 粘着力 | c kN/m ² | 0.00 | 0.00 | - |
| 内部摩擦角 | ϕ 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 | α | 1.10 | 1.00 | - |
| R-O モデルパラメータ | γ | 2.30 | 2.50 | - |
| ラメ定数 | λ kN/m ² | - | - | 5.62×10^5 |
| ラメ定数 | μ kN/m ² | - | - | 2.82×10^5 |

モデルも EW 成分にある 3.0 Hz 付近のピークを再現できていない。No.3 においては、モデル 1, 2 共に両成分とも良好な再現性を示している。No.7 においては、モデル 1, 2 共に、値は小さいものの、ピーク周波数はおよそ一致している。全体として、NS 成分の方が、EW 成分よりも一致度が高い。これは、旧地形が谷形状をしており、EW 方向の方が、NS 方向よりも旧地形形状の変化が大きいためと考えられる。表-2 に、観測波及び解析波の最大加速度、計測震度を示す。計測震度は、両モデルとも、概ね一致している。

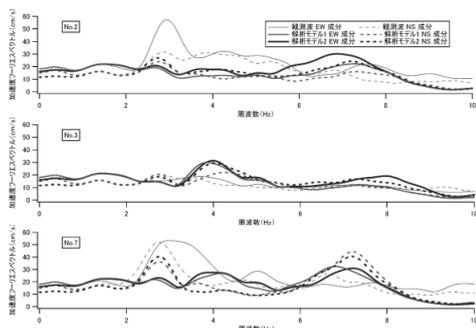


図-6 観測波、解析波の加速度スペクトル

表-2 観測波および解析波の最大加速度、計測震度

| 地震計、方向 | 最大加速度 | | 計測震度 | | | |
|---------|--------|---------|---------|------|---------|---------|
| | 観測波 | 解析モデル 1 | 解析モデル 2 | 観測波 | 解析モデル 1 | 解析モデル 2 |
| No.2 EW | 91.82 | 41.95 | 57.27 | | | |
| No.2 NS | 75.80 | 56.33 | 79.54 | 4.18 | 3.94 | 4.03 |
| No.3 EW | 49.98 | 53.64 | 60.03 | | | |
| No.3 NS | 56.36 | 61.03 | 71.26 | 3.88 | 3.92 | 3.95 |
| No.7 EW | 147.00 | 62.27 | 56.39 | | | |
| No.7 NS | 90.18 | 96.30 | 90.02 | 4.23 | 4.07 | 4.10 |

4. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

1. 造成地盤の形状把握において、用いる手法が異なると、盛土厚の分布は大きく異なる。
2. 三次元地震応答解析を行った結果、加速度スペクトルにおいて、基盤の表面形状の変化が大きい方向では、再現性が低かった。
3. SWS 試験および表面波探査から盛土厚分布を求めることで、盛土厚さが大きくなった No.2, 7 では、地形図をもとにしたモデルよりも SWS 試験および表面波探査をもとにしたモデルの方が、加速度スペクトルは実測結果に近づいた。

参考文献

- 1) 松下 克也, 藤井 衛, 森 友宏, 風間 基樹, 林 宏一: 造成宅地地盤の地形把握手法とその適用性に関する事例研究, 地盤工学ジャーナル, Vol. 5, No.1, pp.89-101, 2010
- 2) Imai, T. and Tonouchi, K.: Correlation of N-value with S-wave velocity and shear modulus, Proceedings of the second European symposium on penetration testing, pp.67-72, 1982.
- 3) 中尻智大, 森友宏, 風間基樹, 松下克也, 佐藤真吾: 造成宅地地盤の切盛りに着目した地震動増幅特性調査, 第 43 回地盤工学研究発表会, pp.2201-2202, 2008.
- 4) 液状化解析手法 LIQCA 開発グループ: LIQCA2007 (2007 年公開版) 資料, 2007.