

宅地地盤改良による震動特性の変化を 微動観測を用いて評価する試み

鳥取大学 学生会員 大岡 佑輔
鳥取大学 正会員 野口 竜也
鳥取大学 正会員 香川 敬生
鳥取大学 学生会員 福田 大地

1. はじめに

鳥取市では過去に鳥取地震や千代川の氾濫などによる家屋被害が多く、さらに軟弱地盤が広く分布し、それらの被害を防ぐために家屋、地盤の改良が必要と考えられる。通常改良工事は建物の不等沈下などを防ぎ、静定的な地盤強度増加が主目的だが、動的挙動に対する効果も期待できる。そこで本研究では、地震などの被害を視野に入れ、微動観測によって動的な面から宅地の地盤改良工事前後の震動特性の変化を調べ、地盤の動的挙動に関する評価を試みることを目的とする。地震動に対する効果について微動観測を用いて評価するために、五角形アレイ（群列配列）観測、三成分単点観測の2種類の観測を行うものとする。

2. 対象地域

鳥取市の平野部は軟弱地盤の地域が大半を占め、過去に鳥取地震での家屋被害が甚大であった。そこで鳥取市の千代川左岸付近にある K 邸新築工事において地盤改良工事を行う宅地を調査対象とした。対象地点は鳥取市街地に位置する沖積層の厚さが 30m 以下の地域の平坦な宅地であり、横幅約 17m、奥行約 18m の土地となっている。一車線道路に面しているが、交通量の少ない場所である。

3. 観測

微動観測では地盤改良前後で適切な半径の円周上に 5 点と円の中心点の 1 点にセンサーを配置した五角形アレイ観測を実施した。地盤改良前の観測は、宅地内に観測点を 7 点設け（図 1）、観測点

①から⑥ではそれぞれ半径 0.3m、1m、3m、観測点⑦では敷地全体を含むように半径 8.5m で観測を行った。同時にそれぞれ 7 点の観測点の中心で単点 3 成分観測を行った。地盤改良後の観測は、改良杭が密な箇所と粗い箇所および敷地全体での観測を行ない（図 2）、杭が粗な観測点⑤と杭が密な観測点②' で半径 0.3m、1m、3m、観測点②で 0.3m、1m、観測点⑦で半径 3m、8m の 3 点で実施した。単点観測はその 3 点と杭の上で 1 点観測した。

3. 解析

3 成分単点観測記録は、観測データからノイズの少ない区間を複数選択し、FFT を用いてフーリエ変換した。係数 20 の対数型ウィンドウ¹⁾を用いて平滑化しフーリエスペクトルを求め、水平動/上下動スペクトル比 (H/V) を求めた。アレイ観測記録は、セグメン

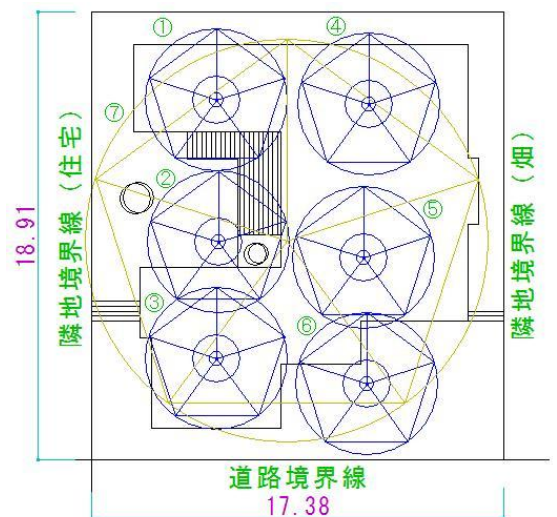


図-1 宅地改良前の観測点配置

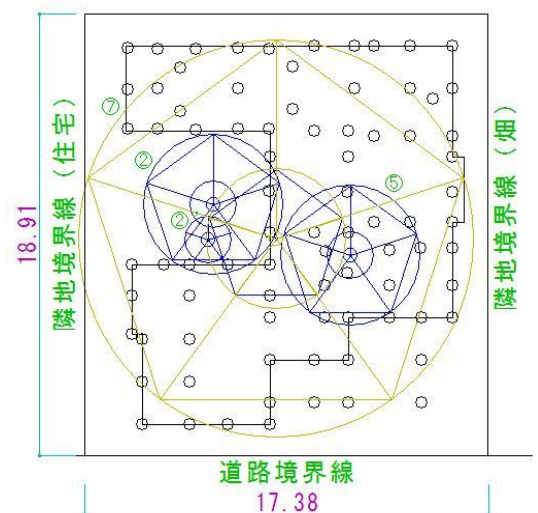


図 2 宅地改良後の観測点配置

ト長 10.24 秒の複数区間をフーリエ変換し、0.1Hz の Parzen ウィンドウで平滑化し、CCA 法²⁾を用いて位相速度分散曲線を求めた。

得られた H/V と位相速度分散曲線をもとに、順解析(フォワード)により改良前後の地盤構造モデルを求めた。

地盤の地震応答は、一次元の地震応答を Haskell Matrix 法³⁾により求めた。

4. 結果および考察

H/V では改良の有無に関わらずどの観測点でも 1.2Hz あたりが大きく卓越しており、この周波数に変化はなかった。ただし、改良後では 4.5Hz あたりにも小さな卓越が見られ、特に杭の上の観測点②’ ではより明瞭であった(図 5)。位相速度分散曲線では、改良前後でどの観測点でも最小位相速度が 125m/sec 前後であった。改良後では、杭が密な場所にあたる観測点⑤の 5Hz 付近で局所的に速度が上がっていた(図 6)。このことから、5Hz 付近の周波数帯域で改良による変化があるとして着目した。

改良前地盤構造モデルは 2 層モデルとし、表層の S 波速度を 125m/sec、層厚を 26m として、H/V の卓越周波数も考慮に入れ、地盤構造モデルを求めた(表 1)。図 3、図 4 に地盤構造モデルで算出されるレイリー波基本モードの H/V と位相分散曲線を観測値に重ねて示す。改良後のモデルは改良杭の挿入深度 GL-7.5m までを 1 層目とする 3 層地盤と仮定し(表 2)、1 次モードを考慮すると、H/V と位相速度分散曲線ともに 5Hz 付近の変化を説明できた(図 5、図 6)。改良前後の地盤構造モデルより地震応答を計算し、応答の改良前/改良後の比をとって比較すると、周波数がおおよそ 1.2~3Hz、3.5~8Hz では改良前よりも改良後の応答値が小さいことが分かった(図 7)。3.5~8Hz の応答倍率の減少については、木造住宅の固有振動数 2~4Hz の共振周波数帯に対応し、地盤震動の抑制に対しても効果があると考えられる。

表 2 改良前地盤モデル

層厚 (m)	密度 (t/m ³)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)
26.0	1.60	1430	125
-1.0	2.00	1850	500

表 1 改良後地盤モデル

層厚 (m)	密度 (t/m ³)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)
7.5	1.70	1460	150
20.0	1.60	1430	125
-1.0	2.00	1850	500

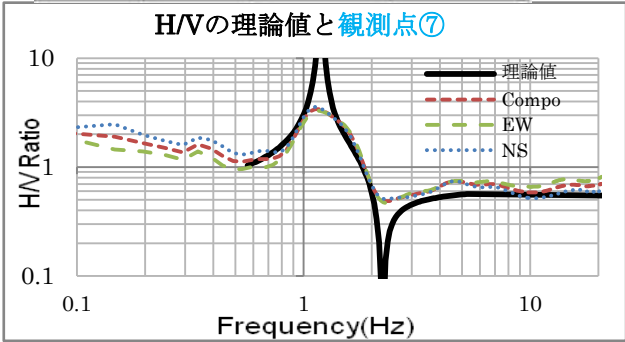


図 3 改良前の H/V の実測値と理論値

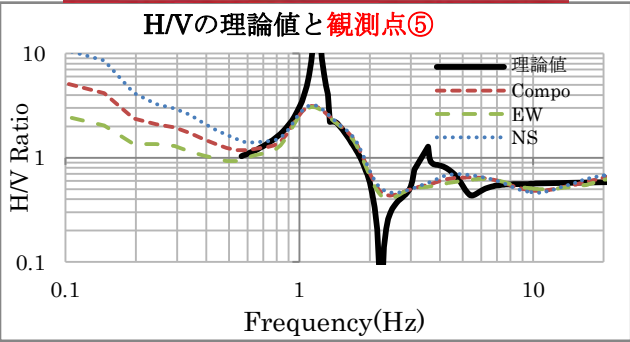


図 5 改良後の H/V の実測値と理論値

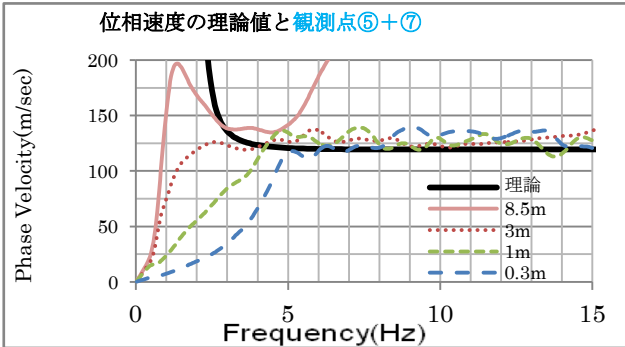


図 4 改良後の位相速度の実測値と理論値

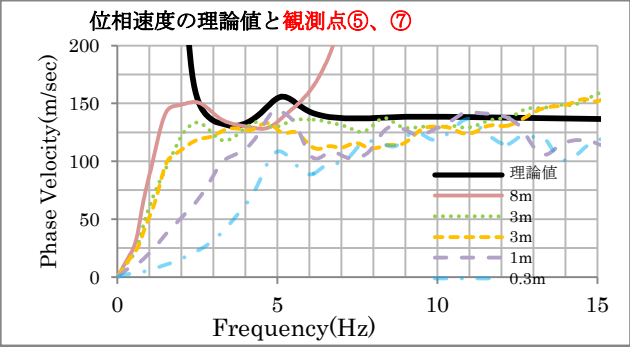


図 6 改良後の位相速度の実測値と理論値

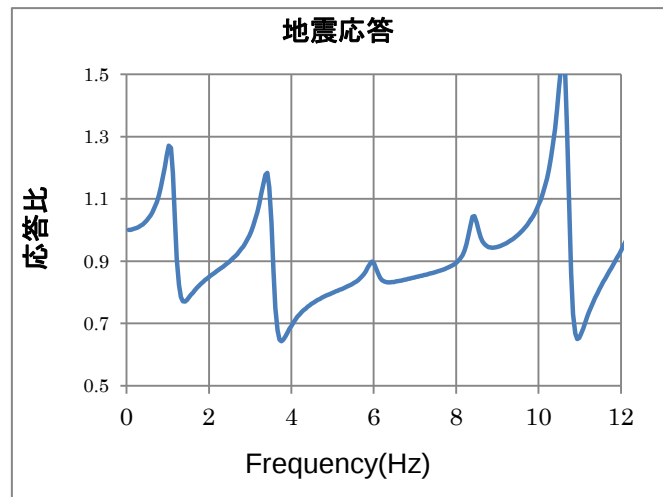


図 7 改良前後の地震応答の比

5. 結論

宅地地盤改良による震動特性の変化を評価するという目的で、微動の五角形アレイ観測と単点 3 成分観測を行った。その結果、改良前後での地下構造(S 波速度)と地震応答の変化を示すことができた。その内容を以下に記述する。

- 1) 改良前の地盤構造モデルは、2 層モデルの表層の S 波速度は 125m/sec、厚さが 26m となった。H/V より地盤の固有周期 0.83 秒(1.2Hz)には地盤改良による変化がなかった。
- 2) 改良後の位相速度分散曲線は 5Hz 付近が局所的に上昇していた。この現象について、1 層目に改良部分(S 波速度 150m/s)の層を追加した 3 層モデルとし、レイリー波の 1 次モードまでを考慮に入れて理論値を計算することにより説明できた。
- 3) H/V より 5Hz 付近に改良地盤と表層のコントラストが見えた。
- 4) 改良前後の地盤モデルから得られる地震応答比より、3.5～8Hz の地震応答が減少することがわかった。これは、地震時の木造住宅の共振作用に対する震動抑制効果を示唆する結果となった。

6.参考文献

- 1) 紺野克昭, 大町達夫; 常時微動の水平/上下スペクトル比を用いる増幅倍率の推定に適した平滑化とその適用例, 土木学会論文集 No.525/ I -33, pp.247-259, 1995.
- 2) Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki(2006), Centerless circular array method: Inferring phase velocities of Rayleigh waves in broad wavelength ranges using microtremor records, J. Geophys. Res., 111, B09315, doi:10.1029/2005JB004235.
- 3) 地震動・動的物性, 動的解析と耐震設計法(1989), 第 1 巻, 技報堂出版