

実測に基づく改良地盤上に立地する免震建物の地盤構造の推定

名古屋大学工学部社会環境工学科
建築学コース 福和研究室 藤網晋太郎

1. 背景と目的

半田市役所では2013年8月から庁舎の新築工事が行われている。新庁舎では大地震時にも防災拠点として建物の機能維持が可能な基礎免震構造を採用している。

免震建物に大きな影響を及ぼす長周期の地震動は卓越周期の長い深部地盤の影響を受ける。当該建物の敷地周辺における既往の深部地盤モデルは、過去に実施されたP波反射法探査及び屈折法探査結果¹⁾を元に作成されているが、基盤深度が異なっており、深部地盤での地震動の増幅を把握するためには、より正確なモデルの推定が必要である。また、直接基礎を実現するため、地盤の支持力向上及び液状化防止を目的として地盤改良工事が行われた。地盤から建物への地震動の入力を考えるにあたり、地盤改良工事によって振動性状がどのように変化したかを確認することは重要である。

本研究では深部地盤構造の把握と地盤改良効果の検討を目的として、常時微動計測、微動アレイ探査、及び浅層レイリー波探査を実施した。

2. 対象敷地及び地盤改良工事概要

対象敷地は半田市の阿久比川河口付近の干拓地に位置している。図1に敷地平面図を、図2に図1の地点Xにおける既存のボーリング調査及びPS検層結果を示す。表層の沖積層と段丘堆積物は、N値が低く、液状化の危険性もある軟弱地盤であり、工学的基盤は14m以深のS波速度が400 m/s以上となる常滑累層である。

当該建物は直接基礎の底面を改良地盤上に設定している。地盤改良には常滑累層を支持層として深層混合処理工法が用いられ、図1の施工平面図に示すように直径2500 mm、中心距離2330 mmで深さ11.5 mまたは10.5 mのソイルセメントコラムが706本施工されている。

3. 計測概要

本研究では地盤改良の有無による地盤震動特性の違いとS波速度構造の把握を目的として、常時微動計測、浅層レイリー波探査、及びL字微動アレイ探査を行った。地盤改良の前後に行った計測内容を図1と表1に示す。

また、地震基盤までのS波速度構造の推定を目的として大規模微動アレイ探査を行った。図3に計測位置、表2に計測ケースの詳細を示す。

4. 計測結果に基づく地盤改良効果の検討

4.1 改良前後のS波速度構造の推定

浅層レイリー波探査及びL字微動アレイ探査によって得られたデータをもとに解析を行い、改良前後における地盤のS波速度構造を推定した。図4に浅層レイリー波探査南北測線における改良前の測線(d)と改良後の測線(g)（打設37～45日後の範囲で実施）の結果を示す。改良により深度14m以浅においてS波速度が100 m/s程度から全体的に400 m/s程度に向上したことが分かる。

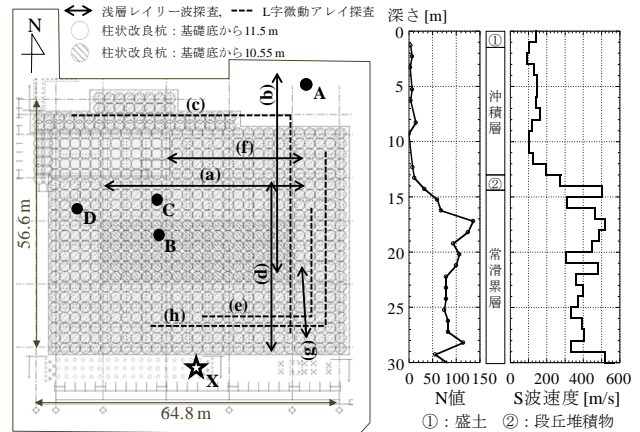


図1 地盤改良平面図及び敷地内計測位置

図2 X地点のボーリングデータ、PS検層結果

表1 敷地内での調査内容

(記号は図1参照)

改良前	改良前(CL-2mまで掘削)	改良後(CL-2mまで掘削)
・常時微動計測 -地点A・B	・常時微動計測 -地点A・C	・常時微動計測 -地点A・D
・浅層レイリー波探査 -(a)東西46m・(b)南北46m	・浅層レイリー波探査 -(d)南北39.1m	・浅層レイリー波探査 -(f)東西30m・(g)南北16.5m
・微動アレイ探査 -L字アレイ(c)	・微動アレイ探査 -L字アレイ(e)	・微動アレイ探査 -L字アレイ(h)
(50m×50m)	(20m×20m)	(25m×25m)

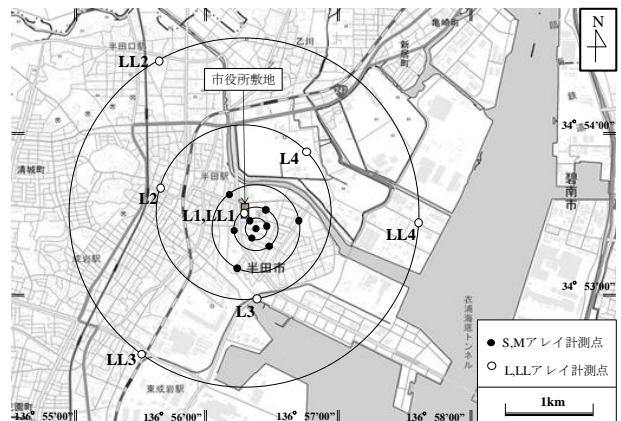


図3 大規模微動アレイ探査 計測位置

表2 大規模微動アレイ探査 計測ケース

アレイ名	アレイ半径 [m]	センサー数	計測日	開始時刻	終了時刻
S	125,250	7	2013.10.27	13:55	14:55
M	250,500	7	2013.10.27	12:40	13:40
L	1000	4	2013.12.15	12:19	14:19
LL	2000	4	2013.12.15	12:19	14:19

また、図5にレイリー波探査測線(d)・(g)及びL字アレイ探査(c)・(h)（L字微動アレイ探査(h)は打設18～45日後の範囲で実施）のそれぞれの推定結果と、過去に敷地内で行われたPS検層結果を示す。レイリー波探査については、測線中央における結果を示している。深度0～14mにおいて、改良によりS波速度が100 m/s程度から400～550 m/s程度まで向上している。しかし、改良前の深度14m以深ではPS検層結果に比べると推定結果のS波速度が100 m/sほど小さくなっており、両者の関係については、さらに検討する必要がある。

4.2 常時微動計測に基づく地盤震動特性の把握

常時微動計測によって得られたデータを用いて解析を行った。図6に地盤改良後における地点A, Dの加速度フーリエスペクトルを示す。改良が行われた地点Dでは改良が行われていない地点Aと比べて、どの方向でも1 Hzより高振動数側の振幅が小さくなっており、地盤改良によって表層地盤での高振動数の増幅が低減されたことが分かる。図7に示す地点A, DのH/Vスペクトルを見ると、2.5~4 Hzにおいて地点Dでは卓越がみられるが地点Aではそれがみられない。

また、改良前のX地点におけるPS検層結果と改良後のL字微動アレイ探査(h)から得られたS波速度を用いて1次元重複反射理論に基づく解析を行った。図8に改良前後における工学的基盤(地表面からの深度14 m)に対する地表面の伝達関数をそれぞれ示す。改良前では卓越振動数が2.8 Hzとなっている。一方、改良後では卓越がみられない。図7のH/Vスペクトルにおいても改良前では同様の振動数付近で卓越がみられ、改良後では卓越がみられない。工学的基盤が浅い地盤の卓越振動数は約2.8 Hzで、改良により卓越がなくなることを確認できた。

5. 計測結果に基づく深部地盤構造の推定

対象敷地周辺で行った大規模微動アレイ探査から得られたデータを用いて解析を行った。図9に各アレイの計測点ごとのH/Vスペクトルを示す。図9から、図3に示すL, LLアレイにおける計測点ごとの地震基盤が浅い地盤の卓越振動数を読み取ると、0.25~0.31 Hz(卓越周期3.2~4.0秒)となる。免震装置稼働時における新庁舎の設計固有周期は4.4~5.2秒であり、地震基盤が浅い地盤の卓越周期とは一致していないことが確認できる。また、図3のL, LLアレイにおいて、地震基盤が浅い地盤の卓越振動数はL4, LL4でやや大きくなっており、東側の地震基盤上面の深度が浅くなっていると考えられる。

次に、計測結果から解析を行い、地震基盤までのS波速度構造を推定した。図10に本解析結果とあわせてJ-SHIS²⁾及び長周期地震動予測地図³⁾の対象敷地に対応するモデルを、また、図11に図10の各モデルのレイリー波基本モードの理論H/Vスペクトルとあわせて、実測から得られたアレイの各計測地点での微動のH/Vスペクトルを示す。卓越振動数を見ると、本研究における解析結果が最も実測のH/Vスペクトルを説明できているとわかる。

6. まとめと今後の展望

本論では地盤改良効果の把握と深部地盤構造の把握を目的として、それぞれ実測を行った。

敷地内における浅部地盤の分析結果から、改良地盤のS波速度構造と震動特性が推定できた。また、敷地周辺における深部地盤の分析結果から、微動のH/Vスペクトルに対応するS波速度構造が推定できた。

今後は、上部建物が建設されることによる、地盤の震動特性の変化について研究を行う予定である。

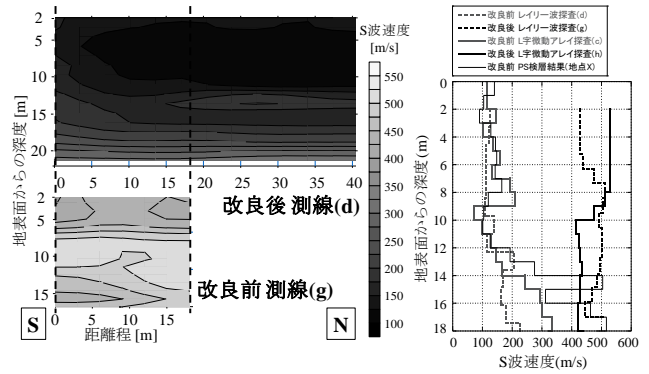


図4 浅層レイリー波探査 (改良前後南北測線)

図5 改良前後における S波速度構造の比較

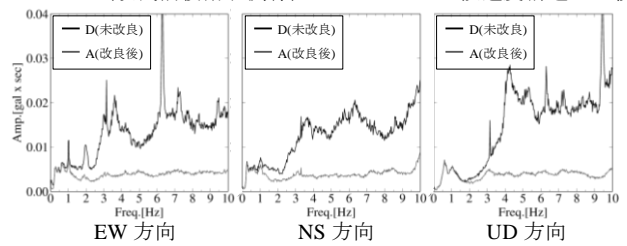


図6 加速度フーリエスペクトル

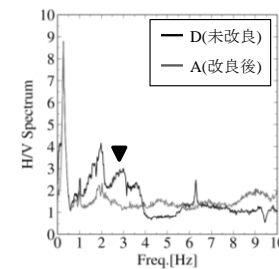


図7 H/V スペクトル

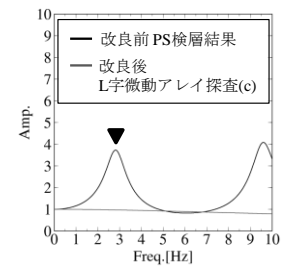


図8 地盤モデルの伝達関数

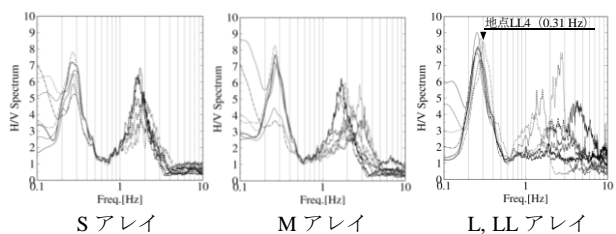


図9 大規模アレイ各計測点 H/V スペクトル

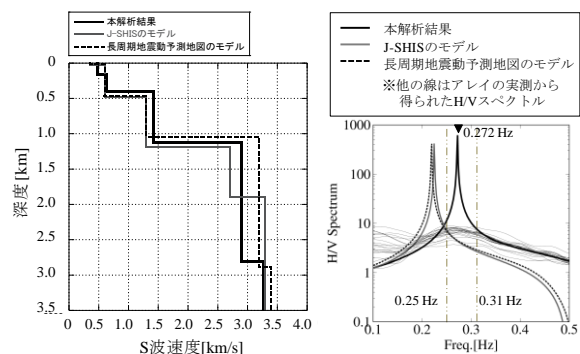


図10 深部地盤の S波速度構造

図11 各モデルの理論 H/V スペクトルと実測から得られた H/V スペクトル

参考文献

- 1) 愛知県：三河地域堆積平野地下構造調査成果報告書
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所：地震ハザードステーション
- 3) 地震調査研究推進本部：長周期地震動予測地図 2012 年試作版