

# 台南市における微動観測に基づく地盤震動特性の推定に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○三木 拓人  
京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史

## 1 研究の背景と目的

地震防災を考える上で、地震波の増幅の一因である表層地盤の地盤震動特性を知ることが重要である。その手法として、ボーリング調査より安価で簡単な常時微動観測がよく用いられている。2016年2月6日には台湾南部でM6.4の地震が発生し、台南市ではビルの倒壊(図1左)や液状化などの被害(図1右)が見られた。そこで本研究では、常時微動観測を行い、観測で得られた微動スペクトルの水平動成分と上下動成分の比(H/V スペクトル<sup>1)</sup>)を算出し、地盤の固有周期を求め、地盤震動特性を推定する。ボーリング調査の記録などと比較して、今回の微動調査の妥当性を検討する。そして、H/V スペクトルを利用して液状化ポテンシャルとの関連性の有無について調べることを目的とする。

## 2 微動調査に基づく地盤の固有周期

### 2.1 研究の手法

地震記録のある地点17地点では、表面最大加速度(PGA)の分布がわかっている。つまり、台南地震による地盤の揺れやすさがわかっている。観測は台南市内の地震記録のある地点17地点とボーリングデータのある地点92地点、計109地点を対象に行った。解析ソフトBIDO2.0を用いて、観測データからH/V スペクトルを算出し、ピーク時の周期を固有周期とした。

### 2.2 結果

PGAの分布と微動調査に基づく地盤の固有周期の分布を比較すると、PGAが大きく、地盤が揺れやすいと推定されたところが、固有周期が大きく地盤が弱い傾向にあることがわかる。

微動調査に基づく地盤の固有周期の分布(図2)を見ると、固有周期が、台南市東部の大湾低地では1.0秒前後、中央の台南台地では0.5秒前後、西部海岸部の安平平原では0.3秒前後の所と1.0秒前後の所が混在していることがわかる。つまり、台南台地と海岸部の一部の地点において周囲より固有周期が小さく、地盤が硬くなっていることがわかる。これは、台南市全域が

昔、海に覆われていた頃から台南市が陸地であったこ



©AP 通信

©2016年高雄美濃地震

現地調査報告(速報)<sup>2)</sup>

図1 倒壊ビル(左)と液状化で不同沈下した建物(右)

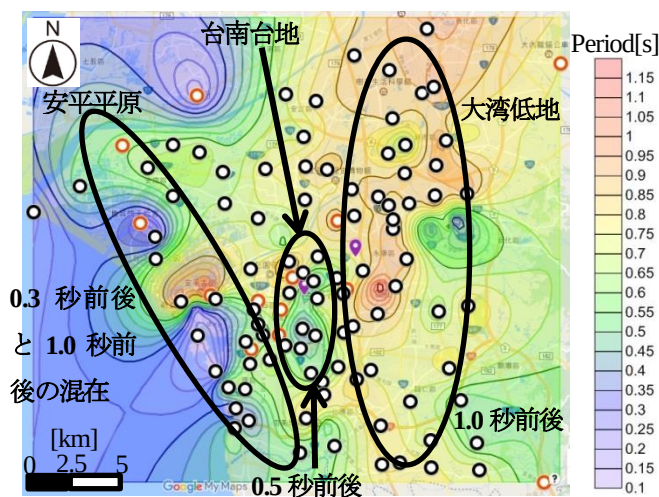
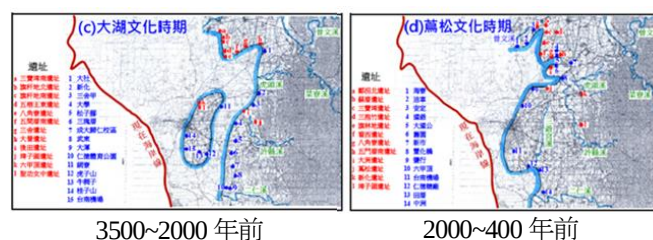
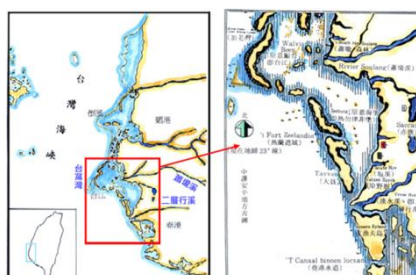


図2 微動観測に基づく台南市の地盤の固有周期の分布図 黒点はボーリングデータ、赤点は地震記録のある地点の近くの観測点



3500~2000 年前

2000~400 年前



©美濃地震台南震害區之大地環境特性<sup>3)</sup>

図3 台南市西部の海岸線の推移(上)と17世紀の台南市西部の地図(下)

キーワード 常時微動, H/V スペクトル, 地盤震動特性, 液状化危険度, 固有周期

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター C1-2 号棟 TEL 075-383-3251

とや、海岸部に砂州があったという既往の研究(図3)<sup>2)</sup>を踏まえても、整合性の取れた結果であることがわかる。つまり、台南台地や海岸部の一部が昔から陸地であったことが、固有周期が小さく、地盤が硬くなっている理由であると考えられる。

### 3 常時微動観測とボーリングデータに基づく地盤の固有周期の比較

92 地点ある 30m までのボーリングデータの層厚, N 値などのパラメータを用いて, 地下 30m を基盤面として地盤を 10 層ほどに分けた。そして, 重複反射理論を用いて各周期における地震波の増幅倍率を算出し, ピークの周期を固有周期とした。

常時微動観測とボーリングデータに基づく地盤の固有周期を比較すると, どちらも台南台地と海岸部の一部の地点が周囲より固有周期が小さく, 地盤が硬くなっているという共通点があることがわかる。しかし, 全体的に固有周期に平均 0.2 秒前後の違いが見られ, 固有周期の差が大きくなっている地域の中で, 台南市の南部は, ボーリングデータに基づく固有周期の方が大きくなっていて, 逆に, 海岸部の一部の地点では, ボーリングデータに基づく固有周期の方が小さくなっていた。この固有周期の値の差の要因の一つとして, ボーリングデータでの基盤面の設定を一律して地下 30m としていることが考えられる。実際は基盤面の深さは地点によって様々で, 一律ではないからである。

### 4 常時微動観測の H/V スペクトルと液状化被害の関係

微動調査を行った 109 地点の H/V スペクトルの固有周期だけでなくその時刻歴波形に着目して, ボーリングデータによる液状化ポテンシャルとの関係を用いて液状化危険度の推定の可能性を探った。ARMA モデルや最小二乗法を用いて, H/V スペクトルの ARMA の係数や固有周期などのパラメータから液状化指数  $P_L$  値を推定する式をたて, 実際の台南地震で液状化被害の有無がわかる地点<sup>2)</sup>で推定  $P_L$  値を算出し, 液状化被害の有無と比較を行った。すべての地点で推定  $P_L$  値と液状化被害の有無が一致する結果は得られなかった。時刻歴波形データを変えても適切な結果は得られなかった。ボーリングデータから算定した  $P_L$  値を実測  $P_L$  値としたとき, 微動調査を行った地点で実測  $P_L$  値と推定  $P_L$  値を比較すると, 大きな差が見られた(図4)。このことから, 推定  $P_L$  値を導く式を見直す必要があることが

わかる。

## 5 結論

本研究では, 台湾の台南市を対象に常時微動単点観測を行い, 微動観測による地盤の震動特性の推定の妥当性を検証し, 微動観測によって得られた H/V スペクトルから液状化危険度の推定の可能性を探った。地震記録から得られる PGA が大きく, 地盤が揺れやすいと推定されたところが, 固有周期が大きく地盤が弱い傾向にあることがわかった。地震記録の PGA が示す地盤の揺れやすさと常時微動観測に基づく地盤の震動特性に相関性があることがわかる。また, 微動調査の結果から, 台南市の台南台地と海岸部の一部の地域では周囲に比べて固有周期が小さく, 地盤が硬いことがわかった。これは台南市の古地図やボーリングデータから得られる地盤震動特性からも整合性の取れた結果である。そして, H/V スペクトルから液状化危険度の推定においては, 現状では H/V スペクトルの適当なパラメータから適切な液状化指数を示すモデルが得られなかった。モデルの見直しや他の解析法の提案などが今後の課題として考えられる。

## 参考文献

- 1) 中村豊: H/V スペクトル比の基本構造, 2008
- 2) 清野純史, 奥村与志弘, 土肥裕史, 八木宏晃, 呉建宏, 李徳河, 黄博寅, 何慶齡: 2016 年高雄美濃地震現地調査報告(速報), 2016
- 3) 李徳河, 呉建宏, 蔡百祥, 林宏明, 清野純史: 美濃地震台南震害区之大地環境特性, 2016

## 謝辞

地震記録やボーリングデータは台湾国立成功大学の李徳河教授と呉建宏教授に頂いたものを使用させていただきました。

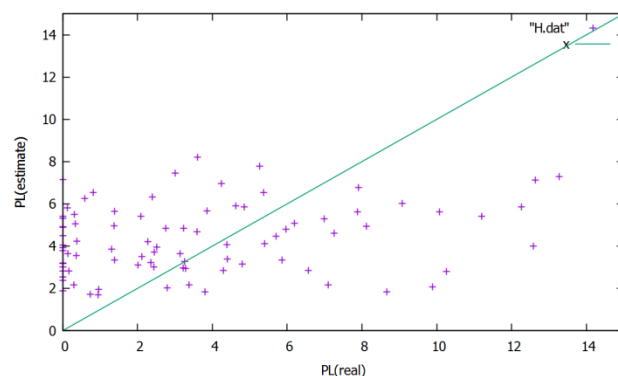


図4 微動の加速度の時系列データの NS 成分と ES 成分の二乗和平方根を用いた縦軸の推定  $P_L$  値と横軸の実測  $P_L$  値のばらつき(直線は  $y=x$ )