

インドネシア・スラウェシ地震における 常時微動観測を用いた地盤動特性評価および地震動推定

金沢大学大学院環境デザイン学専攻 学生会員 ○大野 竜治
金沢大学理工研究域地球社会基盤学系 正会員 村田 晶, 宮島 昌克

1. はじめに

2018年9月28日18時2分、インドネシアのスラウェシ島 Palu 市の北 78km 地点を震央とする、モーメントマグニチュード 7.5 の地震が発生した。この地震により、大規模な地盤流動や津波が発生し、死者 1000 名以上、行方不明者 2000 名以上が確認された。地盤流動は、Palu 市内及びその周辺地区において合計 5 箇所が発生した。死者、行方不明者が集中している Palu 市の Balaroa 地区では約 1,500,000 m² の大規模地盤流動が発生し、多くの建物が倒壊、埋没した。これほど大規模な地盤流動は過去に確認されておらず、液状化に起因するものであるという見解はあるが、未だ詳細な地盤特性や発生機構は解明されていない。

そこで、本研究では Balaroa 地区の大規模地盤流動地において常時微動観測を行い、その結果より地盤振動特性を評価する。また、地震動推定により当該地盤に働いた地震動を算出し、地盤流動との関連性を明らかにすることを目的とする。なお、本研究では地盤流動が発生した後の地盤で常時微動観測を行っているが、流動発生の前後で各点の地盤動特性は変化しないと考える。

2. Balaroa 地区の地盤流動の特徴

Balaroa 地区の地盤流動は南西を上流として北東の方位に向かって発生した。上流端部から下流端部までの直線距離は 1000m である。流動の境界については、現地にて確認した宅地や道路の途切れている箇所を参考にし、後日に Google Map の航空写真と照合することにより判断した。

現地での観察により確認された Balaroa 地区の地盤流動の様子を記す。上流の端部では地盤の滑落により形成された高低差 4m 程の崖が確認された。上流部は元の地表が下流に流出し地盤が露わになっていた。その土質特性は石や礫が混じっているものの粒形が砂よりも大きくないため、粘土と判断した。

中流部では地面には湧き水による複数のぬかるみや水たまりが確認され、地下水位は地表面近くに存在すると考えられる。中流部の土質特性は上流と同じく、石や礫が混在する粘土質であった。下流部では上流・中流から流出した土砂や瓦礫が堆積し、地表高さが上流・中流よりも高くなっていた。その高さは建物の 1 階部分を覆う程の箇所もあった。土質特性は大きな瓦礫や石、礫が混在していたが、基本的には粘土で構成されていた。

3. 常時微動観測および観測を用いた地震動推定

(1) 常時微動観測および地震動推定概要

常時微動観測は、2019年2月22, 23日の日中に、スラウェシ地震によって集中的な被害が報告された Palu 市の Balaroa 地区において行った。地盤流動の外側も含めるように約 100m ごとに、縦方向 12 点、横方向 8 点の合計 20 点を観測し、観測時間は 1 点につき 12 分間である。サンプリング振動数は 100Hz である。

また、常時微動観測のデータより、N-S, E-W, U-D 成分それぞれにおいて、微動が安定している 4096 個 (40.96 秒) を 1 単位として 5 個以上抜き出す。これらの時間領域のデータファイルを高速フーリエ変換した後、ノイズの影響を減らすため加算平均し、バンド幅 0.8Hz の Parzen Window により平滑化する。水平成分 H は N-S, E-W 成分の相乗平均値、鉛直成分 V は U-D 成分の値とし、水平成分 H を鉛直成分 V で除すことにより H/V スペクトル比を算出する。

本稿では常時微動観測を用いた地震動推定を行う。推定については松村 りの方法を用いる。推定に利用する基準観測記録としては、palu 強震観測点における強震観測記録を用い、強震観測点と各推定点の常時微動 H/V スペクトル比を用いて算出する。

(2) 観測結果および地震動推定

観測結果の周期 - H/V スペクトル比のグラフを図

-1に、卓越周期分布を図-2に示す。加えて、常時微動観測を利用した地震動推定式から算出した各観測点の最大速度分布を図-3に示す。

周期分布図に示す、測点 t1, t2, t10, t11, t12 では卓越周期が 0.1~0.4(s)と短周期であり、また、測点 t1, t2 では明瞭な卓越周期が確認できない。この理由としては、基盤の影響を大きく受けているためであると考えられる。一方、測点 t4~t8 については 0.8~1.0(s)の長周期で明瞭な卓越がみられる。これは、基盤の上に堆積している層の影響を受けたためであると考えられる。周期分布から、地盤流動の内部では外部と比べて長周期が卓越している傾向があることがわかる。以上より、流動の外部には硬い基礎地盤が表層近くに存在し、流動が発生した地点には厚い堆積層を持つ軟弱地盤が存在すると考えられる。測点 t3~t8 では流動の外部や下流末端では見られないような周期 0.8~1.0(s)における卓越が確認できる。この周期帯は palu 強震観測記録の卓越周期と一致しており、共振により地震動が増幅したと考えられる。

また、図-3に示す推定地震動より算出した最大速度分布から、地盤流動の上流は最大速度が大きい傾向にあることがわかる。地盤破壊が起きた流動上流において地盤に大きな地震外力が働いていることが確認できた。

4. まとめ

Balaroa 地区における常時微動 H/V スペクトル比より判断した卓越周期は、流動範囲の内側では長周期、外側では短周期であるという傾向が確認された。内側は卓越が長周期であることから、厚い堆積層をもつ軟弱地盤であると判断した。また、推定地震動による最大速度は地盤流動上流で大きな値を示しており、地盤流動を励起した可能性が高いと考えられる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、常時微動観測を芹川由布子氏、Hendra Setiawan 氏にご協力いただきました。また、幸左賢二氏提供の Palu 強震観測記録を利用させていただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松村直輝, 村田晶, 秦吉弥, 宮島昌克: 地盤常時微動 H/V スペクトルを用いた地震動推定—2016年熊本地震における地震動推定精度検証—, 2017年度土木学会中部支部研究発表会講演集, 土木学会, CD-ROM, 2018.

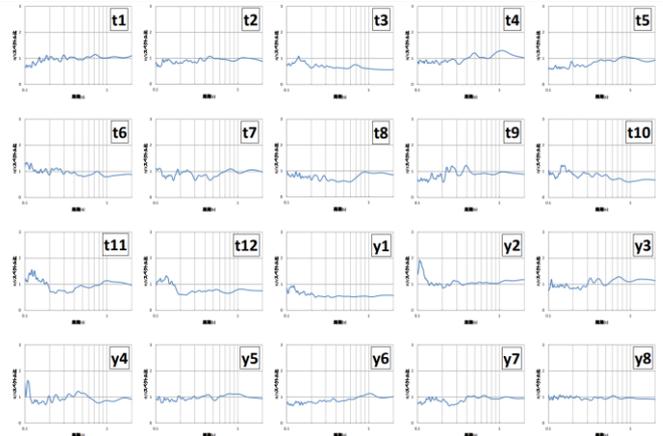


図-1 測点における周期 - H/V スペクトル比 (縦軸 : H/V スペクトル比, 横軸 : 周期 (s))

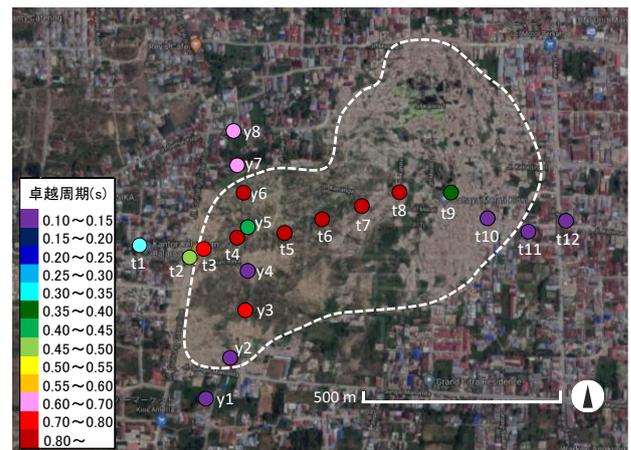


図-2 卓越周期分布

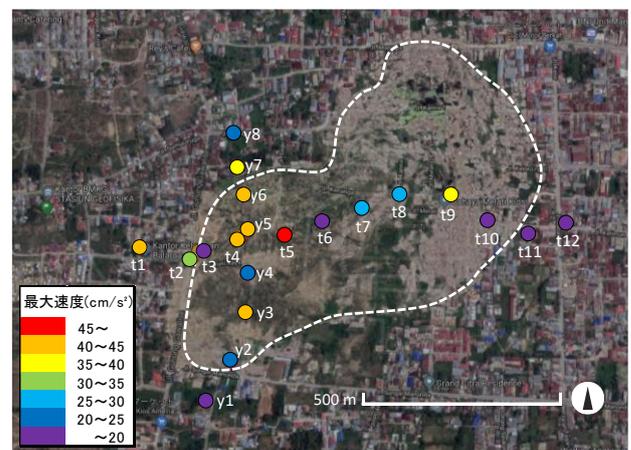


図-3 最大速度分布