

2018年インドネシア・スラウェシ島地震による 大規模長距離地盤流動の誘因に関する有効応力に基づく解析的検討

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○今井 克実
長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明

群馬工業高等専門学校 正会員 井上 和真
東京大学生産術研究所 正会員 清田 隆

1. はじめに

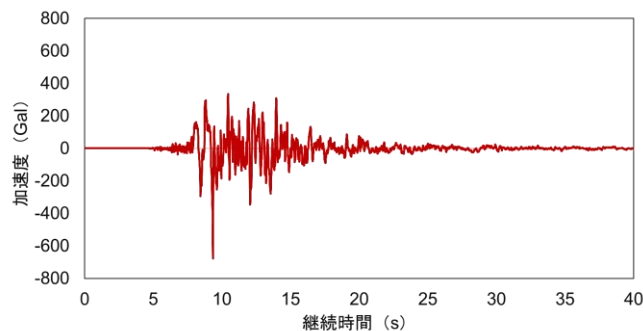
2018年9月28日10時02分(UTC)にインドネシア共和国スラウェシ島中部でモーメントマグニチュード(Mw)7.5の地震が発生し、震源の南約80kmのPalu市およびその周辺では5つの地域で大規模地盤流動が生じた。そのほかにも多数の地盤流動が生じ、地盤流動は最も大きい範囲で約3.5km×1.5kmにまで達した。地盤流動が発生した地域に共通する特徴は、平均勾配が約1~5%という緩斜面な地域ということである。このように緩斜面な地域において大規模長距離地盤流動が発生する事態は稀である。現地地質調査において、周囲には2000m級の山が存在し、その下は扇状地となっていることから水が集まりやすいことが確認され、また、地層の関係や住民からの聞き取り調査により被圧地下水の存在も推察されている¹⁾。現在までに、大規模長距離地盤流動の誘因を解明するために様々な検討が行われているが、その詳細は不明な点が依然として多い。そこで本研究では、大規模長距離地盤流動の誘因を解明することを目的として、大規模長距離地盤流動の発生地点を対象に、液状化挙動を考慮した有効応力に基づく地震応答解析を実施し、地震時の挙動について評価する。具体的には、液状化の発生や、被圧地下水の存在が与える影響について検討を行う。

2. 有効応力に基づく地震応答解析手法

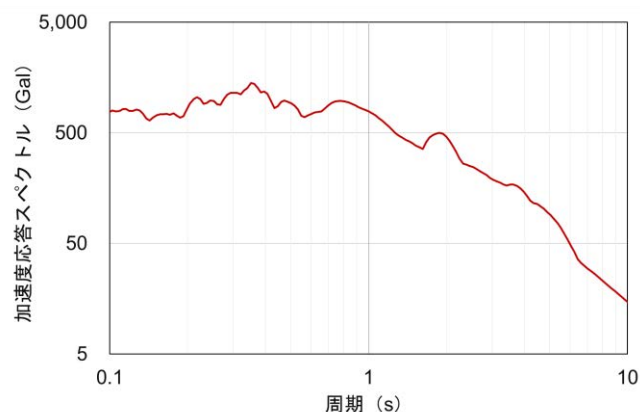
本検討では、1次元有効応力地震応答解析プログラム(YUSAYUSA-2)を用いる。

2.1 地震応答解析に使用する入力地震動

本地震は基盤位置での観測波が存在しない。そこで、本地震と同じ内陸地殻型地震である1995年兵庫県南部地震における神戸ポートアイランドのG.L.-83mで観測された加速度時刻歴を入力地震動とする。なお、熊谷らの研究²⁾を参考に入力地震動に0.3倍の入力倍率を乗じる。入力倍率を乗じる前の入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図1に示す。



(a) 入力地震動の加速度時刻歴



(b) 入力地震動の加速度応答スペクトル (h=0.05)

図1 1995年兵庫県南部地震・神戸ポートアイランドG.L.-83[m](NS成分)

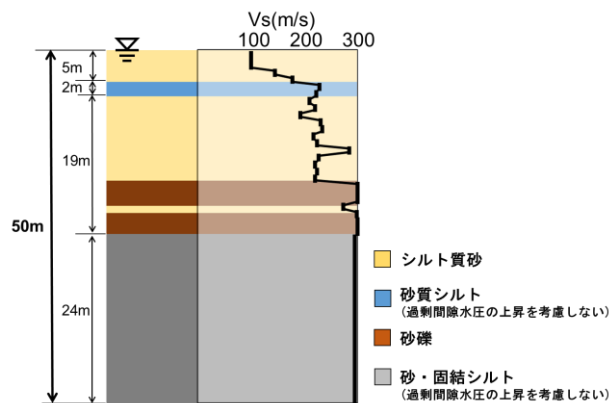


図2 1次元土柱モデルの概略図

キーワード 地盤流動, 液状化, 被圧, 有効応力解析, 2018年インドネシア・スラウェシ島地震

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580 群馬工業高等専門学校 TEL: 027-254-9180 E-mail: inoue@cvt.gunma-ct.ac.jp

2.2 地震応答解析における地盤のモデル化

本検討では、大規模地盤流動域内で行われた地盤調査地点を対象とする。現地のボーリング柱状図³⁾を参考に、水平1方向のみに自由度を持つ1次元土中モデルを作成する。図2に1次元土柱モデルの概略図を示す。この地盤の特徴として、帯水層である礫質土層が透水性の低いシルト質砂と砂質シルト層に覆われており、高い被圧が形成されやすい構造となっている。ボーリングで示されている部分を後述する非線形特性を考慮して計算し、さらにその下に深度が50mとなるように弾性の土層を追加する。土層は地表から0.5m刻みで分割する。せん断波速度に関して、N値を用いて式(1a, b)より算出する。各土層の密度はボーリング柱状図を基に設定し、式(2)よりせん断波速度を算出する。その他のパラメータもN値や算出したせん断弾性係数によって決定する。また、追加した弾性の土層のパラメータに関しては、非線形特性を考慮する土層の最下層と同様とする。地盤の非線形モデルでは、骨格曲線は修正HDモデルを採用する。また、被圧の考慮に関して、砂・固結シルト層より上部の単位体積重量を減少させることを行うものとする。また、被圧の割合に関しては、不明であるため、単位体積重量の減少割合で仮定する。本研究では被圧の割合を7割とする。

$$\text{砂質土層} : V_s = 80N^{1/3} \quad (1a)$$

$$\text{粘性土層} : V_s = 100N^{1/3} \quad (1b)$$

$$G_0 = \rho V_s^2 \quad (2)$$

ここに、 V_s : せん断波速度 [m/s], N : N値
 G_0 : せん断弾性係数 [kN/m²], ρ : 密度 [ton/m³]

3. 有効応力に基づく地震応答解析の結果と考察

図3に最大せん断ひずみ、図4に過剰間隙水圧比の深度分布を示す。地層区分は図2と同様である。

3.1 被圧考慮なしの結果の考察

最大せん断ひずみにに関して、地表面付近のシルト質砂層において最大1.0%であり、その他のシルト質砂層においても0.1%から0.5%程度である。過剰間隙水圧比に関して、表層付近で約0.3となりそれ以深はおおむね深さに比例して小さくなり、液状化は発生しない結果となった。

3.2 被圧考慮ありの結果の考察

最大せん断ひずみにに関して、キャップ層である砂質シルト層上下のシルト質砂層において1%を超え最大で2.5%程度である。過剰間隙水圧比に関して、地表面付近

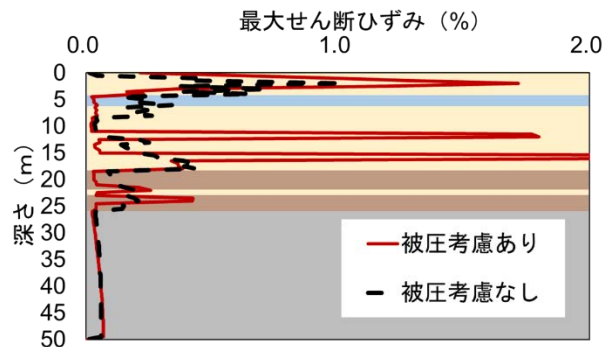


図3 最大せん断ひずみの深度分布

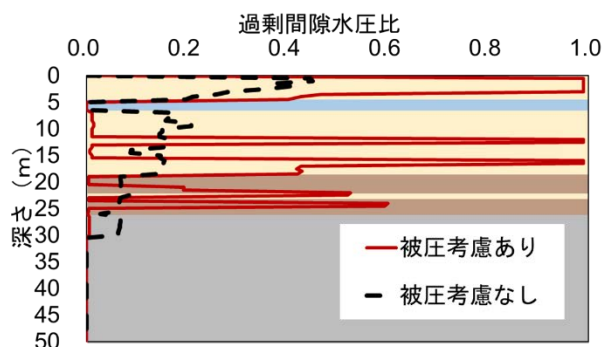


図4 過剰間隙水圧比の深度分布

やキャップ層下側の砂層で1.0となっており、液状化が発生したと判断できる。また、帯水層である砂礫層においても0.6程度まで上昇しており、その他の層においても過剰間隙水圧比の上昇が見られる。

4. おわりに

本研究では、大規模長距離地盤流動が発生した地点を対象に有効応力に基づく地震応答解析を実施した。その結果、被圧が存在した場合に液状化が発生することがわかった。以上の結果から被圧地下水の存在によって液状化が引き起こされたことが大規模長距離地盤流動の誘因のひとつであることが示唆された。

謝辞

本研究は科研費19KK0108の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 吉田ら：2018年インドネシア・スラウェシ島地震における液状化による地盤流動の要因に関する考察，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.76, No.4, I_647-I_655,
- 2) 2020.平熊谷ら：2018年インドネシア・スラウェシ島地震による大規模地盤流動近傍の表層地盤挙動の評価，生産研究，72巻，6号，pp.415-418，2020.
- 3) JICA：インドネシア国中部スラウェシ州復興計画策定及び実施支援プロジェクト，液状化地すべり（内陸部）に関する国内支援委員会，技術支援委員会，2021.