

強震時の間隙水圧上昇に伴う谷埋め盛土住宅地盤の不安定化機構（その2）

郷隆之・松波孝治・釜井俊孝・中村正夫

1. はじめに

その1(A-23)で述べたように、和歌山市内の谷埋め盛土住宅地盤で地震動と間隙水圧の同時連続観測を実施した結果、地動速度(Rd成分)に対する間隙水圧応答は良好な線形性を示し、その応答率は周波数に依存しないことがわかった。そこで、本観測及び他観測地点で得られた地動速度と間隙水圧の原記録から両者間の関係(経験式)を評価し、本観測地点(OIK)での地盤の不安定化(液状化)プロセスを議論する。

2. Pcomp 及び Pshear 成分と地動速度の関係

間隙水圧の応答を、P波(体積ひずみ)に反応するPcomp成分と、SH波(せん断ひずみ)に反応するPshear成分に分ける(図-1)。地動速度レベルが小さい時(応力-ひずみ関係が線形弾性範囲)は、P波によるPcomp成分のみ存在し、地動速度の増加に伴い線形に増大する。強震時(ひずみレベルが非線形弾性範囲(10⁻⁴-10⁻³オーダ))には、SH波によるPshear成分(残留間隙水圧)が発生し、その後地盤の排水効果により時間経過と共に減衰する。同時にSV-P変換波によるPcomp成分も存在している。これ故、観測される間隙水圧は両成分の和となる。本観測では、残留間隙水圧が発生する非線形弾性範囲でのデータが得られていないため、他観測地点のデータを用いてPcomp及びPshear成分と地動速度の関係を調べた(図-2)。残留間隙水圧発生後のPshear成分は地動速度およそ5cm/sで発生し始め、地動速度の増加に伴い非線形に急激に増大する。一方、PcompもPshear成分の1-1/2倍の振幅を持ち同様に非線形に増大する。この非線形な間隙水圧応答P(kPa)を地動速度V(cm/s)の累乗で近似した。すなわち、 $P_{comp} = 0.0203V^{2.46}$ (1)、 $P_{shear} = 0.0684V^{2.18}$ (2)。一方、本観測地点でのPcomp成分の応答(POIK)はおよそ1cm/sまでは線形であり、地動速度に対するPOIKの応答率は、 $POIK = 1.3055V$ (3)で近似される。この係数(傾き)は、観測地点の地盤物性や地震波の入射角に依存している。

3. 間隙水圧応答の経験式を用いた液状化予測

これらの経験式を利用し、3つのCaseに分けて本観測地点での液状化予測を試みる。図-2に各Caseにおける間隙水圧応答と地動速度及びせん断ひずみの関係を示す。地表面でのせん断ひずみは、SH波の自由表面への入射を仮定(S波速度140m/s、入射角30度)して計算された。Case1は、経験式(1)と(2)をそのまま用いた場合の予測である。この予測では、観測地点の違いを考慮せず、残留間隙水圧は地動速度がおよそ5cm/s以上で発生すると仮定された。地動速度が5cm/s以上になると、Pshear成分は(2)式で表される非線形応答を始め、有効上載圧力の減少と共に地盤の変形が進行する。本観測地点で完全液状化が起こる地動速度レベルは、Pshear成分で16cm/s、

Pcomp成分で19cm/sと予測される。Case2の場合、間隙水圧はせん断ひずみが 1.0×10^{-3} (土のダイレイタンシー効果が顕在化し始めるひずみレベル)に達するまでPcomp成分による線形弾性応答をし、その後非線形応答(残留間隙水圧の発生)すると仮定される。従って(3)式で表されるPOIKの線形性はこのひずみレベルまで続くと考えられる。その後地動速度が4.4cm/s(ひずみレベル 1.0×10^{-3})を超えるとPcomp成分及びPshear成分は、 $P_{comp} = 0.0203(V+5.52)^{2.46}$ (V:4.4)(5)、 $P_{shear} = 0.0684(V+3.23)^{2.18}$ (V:4.4)(6)と仮定される。この場合、完全液状化が起こる地動速度レベルは、Pshear成分で13cm/s、Pcomp成分で14cm/sと予測される。線形弾性範囲内の間隙水圧応答率は、観測地点の地盤物性にも依存するため、Case2の予測は現実に則した合理的なものといえる。Case3では、間隙水圧がPOIKの(3)式で表される線形弾性応答の傾きを保ちながら、完全液状化に至るまで推移すると仮定される。液状化が起こる地動速度は23cm/sと予測されるが、実際にはダイレイタンシー効果により間隙水圧の非線形性が生じるため、この値は完全液状化の上限値と考えてよい。以上を総合すると、本観測地点では地動速度13-23cm/sで液状化の発生が予測される。しかしながらこの予測は、間隙水圧応答の経験式と地盤内のせん断ひずみの見積もりに大きく依存する。従って今後、観測データの蓄積とせん断ひずみの評価が重要課題である。

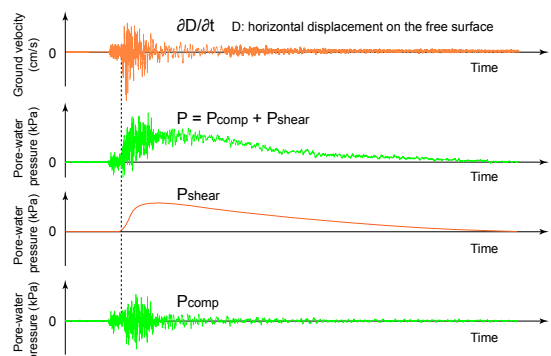


図-1 間隙水圧Pを構成するPcomp及びPshear成分

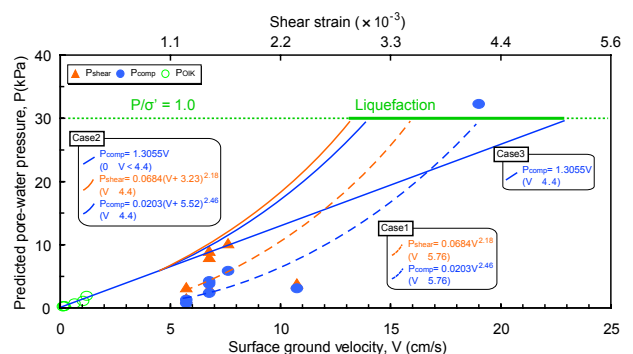


図-2 本観測地点(OIK)での液状化予測