

Ⅲ-13 間隙水圧入試験による土の流動特性

東 北 大 学 工 学 部 土 木 工 学 科 学 生 会 員 ○大村 洋史
 東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 学生会員 赤堀 一彦
 東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 正 会 員 風間 基樹

1. はじめに

強震を受けた地震の液状化による残留変形量は、地震動が作用している過程の変形量と地震動が終息した後の変形量の和である。前者のメカニズムは、主要動は高々数秒から数十秒であることから、その間の間隙水の移動は無視できるものとし、非排水条件下の繰返しせん断試験が行われてきた。現在の残留変形量の予測は、この非排水変形に関するものがほとんどである。しかし、新潟地震において地震動が終息した後、変形が時間をかけて進行した例もある。後者のメカニズムは、Yosimi ら¹⁾が水平地盤の地震後の浸透現象を解析し、下層の液状化に伴い上層に間隙水が転移する過程において、容易に上層が有効応力ゼロに達することを示している。

ここでは、地震後の過剰間隙水圧の浸透によって土が破壊し、せん断ひずみが発達する流動変形機構を考える。

2. 地震時の液状化による土の残留変形機構

傾斜角度に応じた初期せん断応力を受けている地下水位の高い緩斜面が地震動を受けた場合を考察する。地震力が作用すると繰返しせん断により過剰間隙水圧が発生する。この間、地盤は慣性力を受けると同時にせん断抵抗が減少するため変形する。これが非排水せん断変形量である。次に、振動が終息した時点から、各層の残留過剰間隙水圧の再配分が生じる。層厚、透水係数や体積圧縮係数に応じて時間とともに間隙水が浸透し、最終的に静水圧に戻る。この間、排水量より流入量の大きな層では有効応力が減少し、破壊線に達して浸透破壊を起こす可能性がある。これが浸透破壊による流動変形量である。

以上のような一連の過程における土の応力状態、及び体積ひずみ・せん断ひずみの発達を模式的に描くと図-1 のようになる。a) は振動中 (A→B) に破壊までは到達しないものの、間隙水の流入によって浸透破壊 (B→C) した層の挙動、b) は振動中 (A→B) に破壊しせん断変形した後、間隙水を絞り出す層の挙動 (B→D) を模式的に書いたものである。

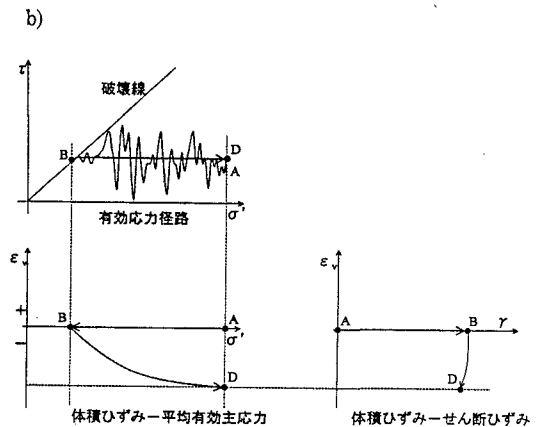
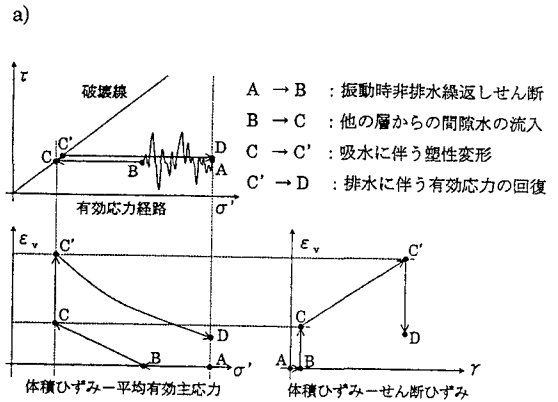


図-1 緩斜地盤の浸透による破壊機構の概念図

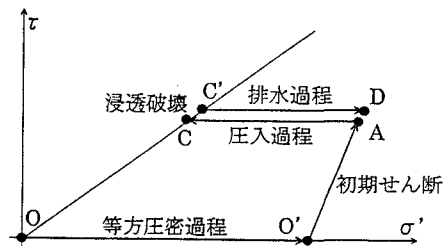


図-2 実験で行った有効応力経路

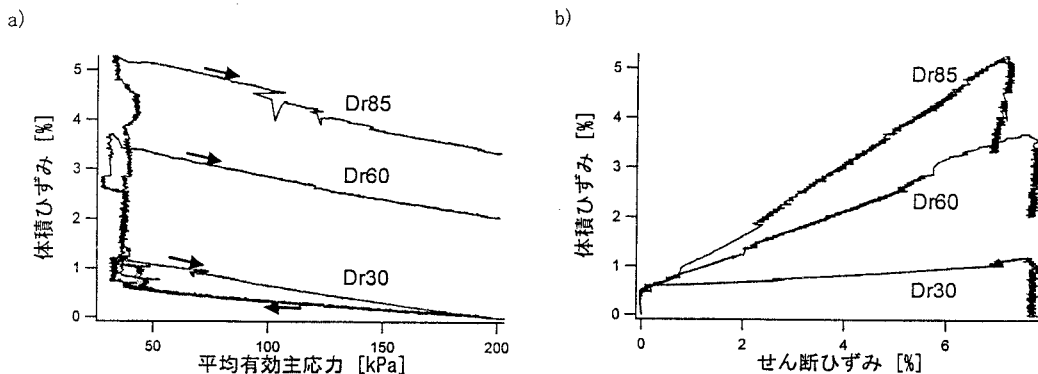


図-3 密度の異なる豊浦砂に対する実験結果 (初期せん断応力 49kPa)

3. 間隙水の流入による浸透破壊実験

2. に示した流動機構が現実的に発生するか否かを検討するために、三軸試験を用いた基礎的な要素試験を実施した。傾斜角に相当する初期せん断応力 (軸差応力) を一定に保ちながら背圧を増加させ、間隙水を圧入する。軸ひずみが 5% まで生じた後、背圧を減らしながら排水させ、初期応力状態に戻す実験 (図-2) を行った。

時松ら^{2), 3)} は、図-1 a) の C→C' 過程において、中空ねじりせん断試験機を使用し、体積ひずみとせん断ひずみの関係を制御した実験を行い、緩い砂ほど少ない間隙水の転移で大きなせん断ひずみを生じる事を示している。

4. 実験結果および考察

図-3 は、密度の異なる豊浦砂に対する実験結果である。供試体は破壊線に達した後、体積ひずみにして 0.5 ~ 1% 程度でせん断ひずみが大きく発達していることが分かる。また、流動破壊の進行に関しては緩い砂ほど僅かな体積ひずみで大きなせん断ひずみが生じていることが分かる。浸透破壊後の排水による有効応力回復過程では、密度の高い供試体ほど体積膨張分の回復が小さいこと、この過程ではせん断変形が生じないことがわかる。図-4 は豊浦砂の体積ひずみ-せん断ひずみ関係に圧密排水試験 (CD 試験) による結果を付加したものである。CD 試験はダイレイタンシーを評価するために行った。この図から、せん断ひずみが 4% を越えた辺りからの $\beta^{2), 3)}$ ($= \varepsilon_v / \gamma$) は、CD 試験と圧入試験でほぼ等しい値を示している。したがって、流動破壊時の β は砂のダイレイタンシー特性を反映していると考えられる。つまり、体積収縮特性が大きい砂は浸透破壊が脆性的に生じ、逆に体積膨張特性を示す砂は浸透破壊に対してダイレイタンシーで補う事によって、浸透破壊に対して靱性を持つ。

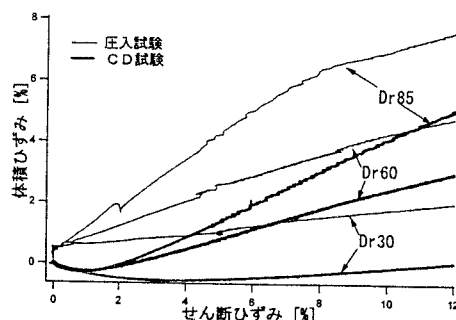


図-4 体積ひずみ-せん断ひずみ関係 (初期せん断応力 49kPa)

5. 結論

本文では、地震後の浸透破壊による流動変形メカニズムを要素レベルの挙動から考察した。繰返しせん断によって液状化させた後の排水による体積ひずみが容易に 1% を越えることから、浸透破壊は十分に起こりうると言える。また、CD 試験によるダイレイタンシー特性が浸透破壊に対する抵抗力を反映していることを示した。

謝辞

本文をとりまとめるにあたり、東北学院大学の飛田善雄教授から貴重なご意見をいただいた。お礼を申し上げる次第である。

参考文献: 1) Yoshimi, Kuwabara: Effect Of Subsurface Liquefaction On The Strength Of Surface Soil, Soil and Foundations, Vol.13, No.2, 1973. 2) 時松ら: 体積ひずみ・せん断ひずみ比一定条件下で吸水する飽和砂のせん断強度・変形特性, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.1017-1018, 1999. 3) 時松, 若井: 間隙水の転移による吸水が傾斜地盤の流動特性に与える影響, 第 34 回地盤工学研究発表会, pp.1019-1020, 1999.