

液状化時に発生する流動量の定量的評価に関する実験的研究

東北学院大学 学生員 ○佐藤由惟 奥平喜広
東北学院大学 正会員 山口晶 飛田善雄 吉田望 斎藤孝一

1. はじめに

非排水時に発生する地盤の流動は、有効応力の回復により停止する。従って、せん断に伴って有効応力が急変するひずみの大きさを求めることができれば、地盤の流動量を予測することが可能である。ここでは、土の骨格構造が乱れる過程を想定し、有効応力が急変するひずみの大きさと応力履歴の関係を実験的に調べ、これらの関係から流動量の定量的予測を試みる。

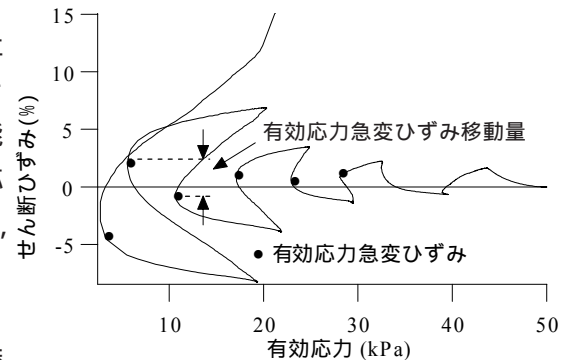


図 -1 有効応力急変ひずみの移動量

2. 想定した流動過程

著者らが既に行った初期せん断力を与えた供試体にせん断履歴

を与える実験¹⁾では、初期せん断応力と反対側の変相線と交わった場合、有効応力が急変するひずみ(図-1)が大きく移動することを示した。液状化が発生した後の有効応力が急変するひずみの位置を求めることができれば、液状化後の流動量を推定できると考えられる。そこで、上

表 -1 実験条件

実験名	s127	s137	s137-2	s147	rPI	rOD	rOF	sc5	sc7
相対密度	42.9	53	62.6	65.3	66.3	65.9	61.1	61.3	56.8
応力振幅	12.7	13.7	13.7	14.7	---	---	---	---	---
最大応力	---	---	---	---	18.9	18.9	18.9	---	---
ひずみ振幅	---	---	---	---	---	---	---	5 %	7 %
せん断履歴	規則波				ランダム波			ひずみ制御	

記の研究を参考に以下のように流動が発生する過程を想定した。1)有効応力経路上で変相線と交わり、有効応力が回復することによって砂に異方性構造が形成される、2)形成された異方性構造は、反対側の変相線と交わることによって解消されるとともに、有効応力の回復に伴って新たに異方性構造が形成される、3)その過程において構造が乱され、有効応力が低下するとともに有効応力が急変するひずみが増大する。このような流動が発生する過程を念頭におき、応力制御実験(規則波、ランダム波)、ひずみ制御実験を行い、結果を整理した。

3. 非排水繰返し単純せん断試験

本試験では、簡易型単純せん断試験機を用いて非排水繰返しせん断試験を行った。拘束圧は等方圧で49kPa、二重負圧法で通水し、B値を確認している。せん断時は排水バルブを閉じると共に、上下方向の変位も拘束した。表-1に実験条件を示す。使用した試料は豊浦砂である。全ての供試体で、相対密度60%を目標とした。載荷した応力履歴は、規則波とランダム波である。また、推定した流動メカニズムから定量的に流動量が推定できるかを確認する目的で、ひずみ制御試験も行った。

4. 実験結果

ここでは、実験結果を整理することにより、せん断応力履歴と、有効応力の低下、流動量の増加の関係を調べた。図-2に変相線に交わる前のせん断応力と有効応力の低下量の関係を示す。この図により、ランダム波のデータを追加した。図のように対数で近似した場合、近似式は

$$y = 7.565 + 4.8355 \log(x) \quad R = 0.83984 \quad \dots 1)$$

と書ける。ここでxは有効応力低下量、yはせん断応力である。

図-3に過剰間隙水圧比が0.8に達する前、図-4に過剰間隙水圧比が0.8に達した後の、変相線に交わる時の有効応力回復比(有効応力回復量/有効応力が回復する直前の有効応力)と有効応力低下比(有効応力の低下量/有効応力が回復する直前の有効応力)の関係を示す。なお、ここでいう有効応力回復量と有効応力低下量は図-5に示すように定義した。図-3をみると、有効応力回復比に対応して有効応力低下比が増加している。対数で近似すると

$$y = 0.19559 + 0.045628 \log(x) \quad R = 0.55144 \quad \dots 2)$$

となる。xは有効応力回復比、yは有効応力低下比である。図-4では、有効応力回復比の増加に伴って有効

応力低下比が減少している．近似式は

$$y = 0.19537 - 0.012203x \quad R = 0.6992 \quad \dots 3)$$

である．有効応力低下比が減少する理由は，有効応力の回復が大きく発生する場合は，有効応力が既に小さくなっており，低下量に限界があるためである．図-6に繰返しサイクル毎の有効応力が急変するひずみ（有効応力急変ひずみ）の移動量（ n 回目と $n-1$ 回目の差）と有効応力回復量の関係を示す．この図から，有効応力急変ひずみと有効応力回復量に相関があることがわかる．図-7に有効応力急変ひずみの移動量の増分と有効応力回復比のグラフを示す．近似式は以下の式となった．

$$y = 0.11783x \quad R = 0.48013 \quad \dots 4)$$

x が有効応力回復量， y が有効応力急変ひずみの移動量の増分である．

5．計算結果と実験結果の比較

今回得られた実験結果を2章で想定した流動メカニズムに導入し，せん断応力履歴から流動量を計算した．なお，ここでいう流動量とは，非排水状態で有効応力がほぼゼロの状態が発生するひずみ量であり，有効応力急変ひずみの移動量と一致すると考える．図-8に流動量，図-9に過剰間隙水圧比0.9に達したときの繰返し回数の，実験とその応力履歴から計算した結果との比較を示す．この図をみると若干のばらつきはあるものの，概ね一致している．

6．まとめ

流動のメカニズムを仮定して実験結果を整理し，流動量を予測した．その結果，実験結果と推定した流動量や過剰間隙水圧比は概ね一致した結果が得られた．

7．参考文献

1) 山口晶，飛田善雄，風間基樹：非排水繰返しせん断履歴後に間隙水の流入を受ける土のせん断変形特性，土木学会論文集，No. 778/ -69，pp. 139-150，2004．

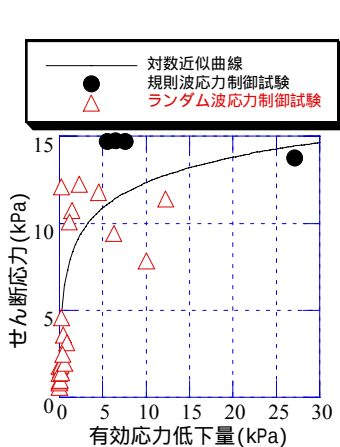


図-2 せん断応力有効応力低下量関係

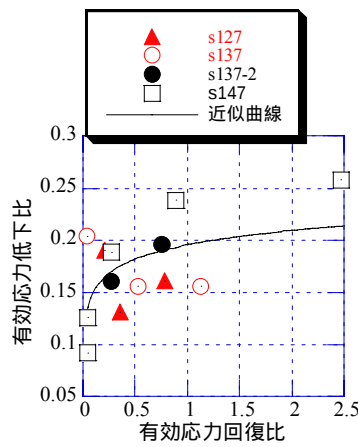


図-3 有効応力低下比回復比関係
(過剰間隙水圧比 0.8 以下)

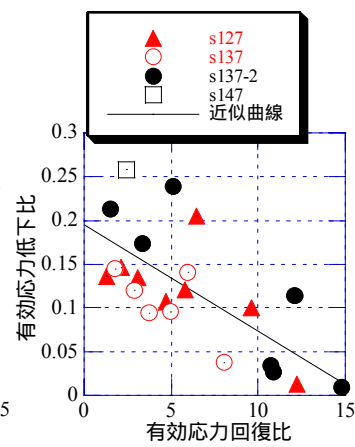


図-4 有効応力低下比回復比関係
(過剰間隙水圧比 0.8 以上)

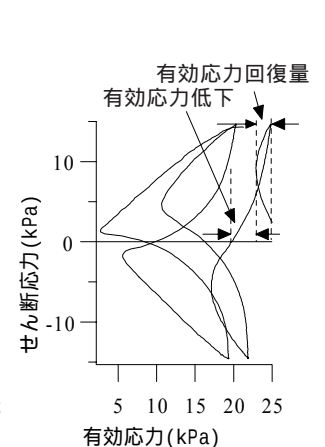


図-5 有効応力低下量の定義

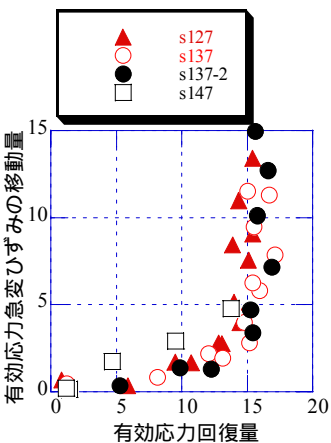


図-6 有効応力急変ひずみ移動量
有効応力回復量関係

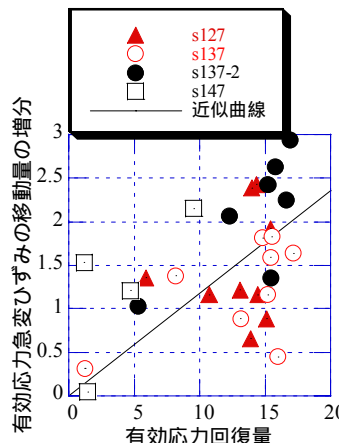


図-7 有効応力急変ひずみ移動量増分
有効応力回復量関係

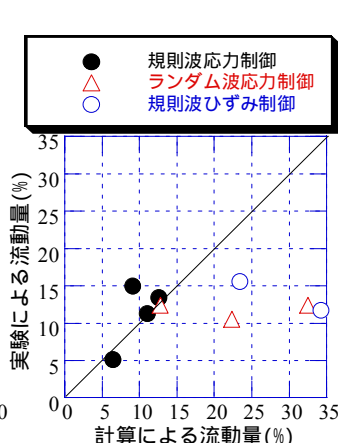


図-8 計算値と実験値の比較
(流動量)

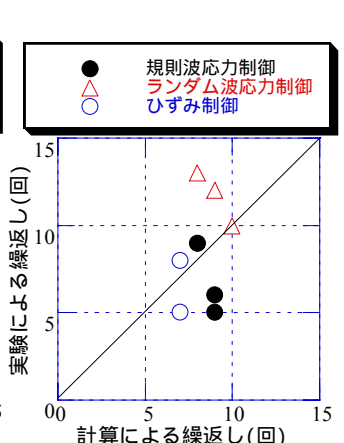


図-9 計算値と実験地の比較
(繰返し回数)