繰返し段階載荷による繰返し三軸強度比の推定

国立研究開発法人土木研究所　　正会員　石原　雅規
佐々木　哲也

1．背景

繰返し三軸強度比を求めるための非排水繰返し三軸試験は，3～4 本の供試体を用意し，応力振幅を変えて繰返しせん断を行う必要があり，比較的手間がかかる試験法である．また，実地盤で採取した試料で非排水繰返し三軸試験を行い，その供試体 1 つ 1 つの粒度分布を調べた結果，同一土層と判断していた供試体間の粒度分布が大きくバラツク場合もあることが報告[1)]されており，少ない数の供試体で試験可能な方法が望まれる．これらを背景に，1 本の供試体から繰返し三軸強度比を推定する方法を検討した．

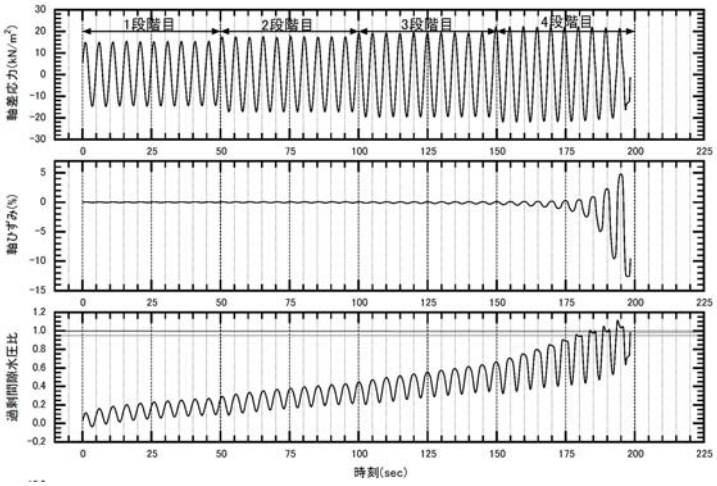

図-1 繰返し段階載荷の典型的な試験結果

2．繰返し段階載荷

繰返し段階載荷による試験法は，基本的には，非排水繰返し三軸試験と同じ作業工程である．繰返しせん断の方法のみが異なり，一定応力振幅で与え続けるところを，一定応力振幅 10 波を 1 段階として，徐々に応力振幅を増加させながら，数段階を与える方法である．応力比振幅は，0,15,0.175,0.200,0.225,0.250,0.300,0.350,0.400,0.500 の順に，想定される繰返し三軸強度比の 4 段階程度手前から与えた．

典型的な繰返し段階載荷の試験結果を**図-1** に示す。この試験結果から繰返し三軸強度比を推定する 2 つの方法を提案する．方法 1 が繰返し回数と両ひずみ振幅の関係から，各段階の平均的な勾配（両ひずみ振幅/繰返し回数）を算出し，ここから両ひずみ振幅 5%に必要な繰返し回数を段階ごとに求め，液状化強度曲線のような関係（以下，便宜上，液状化強度曲線と言う）を求める方法である．方法 2 が，各段階の最終両ひずみ振幅が 10 回の繰返しによって発生したものだと仮定して勾配を求め，方法 1 と同様に液状化強度曲線を求める方法である。方法 1 と方法 2 の勾配の算出方法の例を**図-2** に示す．

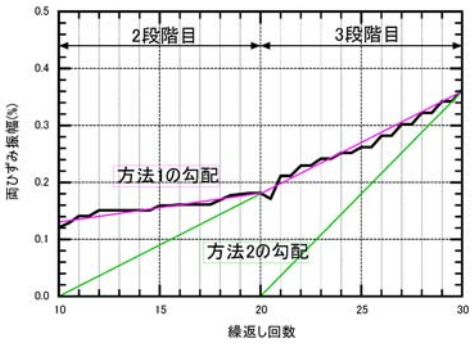

図-2 勾配の算出方法

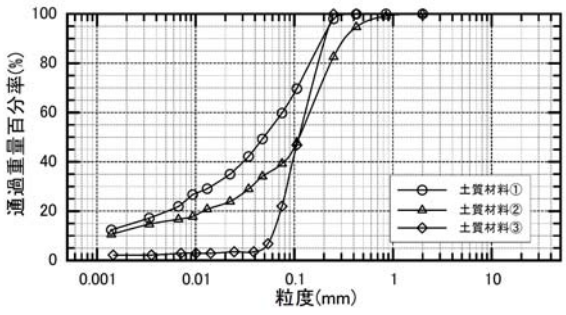

図-3 土質材料の粒径加積曲線

表-1 勾配（両ひずみ振幅/繰返し回数）の算出方法

		①－1	①－2	①－3	②－1	②－2	②－3	③－1	③－2	③-3
土質材料		土質材料①			土質材料②			土質材料③		
土粒子密度	g/cm^3	2.662			2.702			2.630		
目標乾燥密度	g/cm^3	1.210		1.350	1.400		1.550	1.415	1.459	1.540
		Dc=90%		Dc=100%	Dc=90%		Dc=100%	Dr=54%	Dr=66%	Dr=87%
供試体作成時含水	%	34.1	31.1		29.2	23.5		気乾状態		

キーワード　非排水繰返し三軸試験，繰返し三軸強度比
連絡先　　〒350-8516　茨城県つくば市南原 1-6　（国研）土木研究所土質・振動チーム　TEL 029-879-6771

３．非排水繰返し三軸試験と繰返し段階載荷試験の比較

表-1 に示すように 3 種類の土質材料（粒径加積曲線は**図-3**）を用いて，合計 9 種類の供試体を作成した．通常の非排水繰返し三軸試験と繰返し段階載荷の結果から得られた液状化強度曲線を土質材料ごとに**図-4** に示す．

方法 1 及び方法 2 で求めた液状化強度曲線は，非排水繰返し三軸試験から得られた液状化強度曲線に比べて，全般的に緩やかな勾配の関係である．一定の応力振幅で繰返し載荷した場合には，過剰間隙水圧が低い間はひずみ振幅がゆっくり増え，過剰間隙水圧比がある程度大きくなってきた段階でひずみ振幅の増え方が大きくなる場合がよくある．このため，繰返し段階載荷の小さな繰返し応力比の段階においては，過剰間隙水圧が十分に大きくなっておらずひずみ振幅がゆっくり増える状態にあるため，通常の試験に比べ繰返し回数が大きくなる傾向にある．逆に，大きな繰返し応力比の段階では，過剰間隙水圧が上がった状態にあるため，通常の試験に比べ繰返し回数が小さくなる傾向にある．

また，全体的にいずれの液状化強度曲線も同じような位置にある傾向であるが，①-1 と①-2 は若干ずれが大きい．①-2 に関しては，結果的に段階載荷用の供試体の乾燥密度が通常の試験法用よりも 5%程大きかったことが影響している可能性がある。①-1 ではそのような違いは確認されていない．

図-4 (c) では，方法 1 の液状化強度曲線が「く」の字型になっている．土質材料③は全ての密度において密詰め砂のようにひずみ振幅が収束するような挙動を示しているためである．このような挙動を示す場合には，③-3 のように繰返し回数 20 回と交差しない場合もあり，方法 2 を用いるしかない．さらに，原因は不明であるが，③-1 と③-2 では，通常の試験法の試験結果がバラついた．このような場合，繰返し三軸強度比を決めることが難しいが，繰返し段階載荷では，そういった問題は生じなかった．

図-5 に，通常の試験法と繰返し段階載荷で求めた繰返し三軸強度比を比較した．両者は概ね一致していることが分かる．

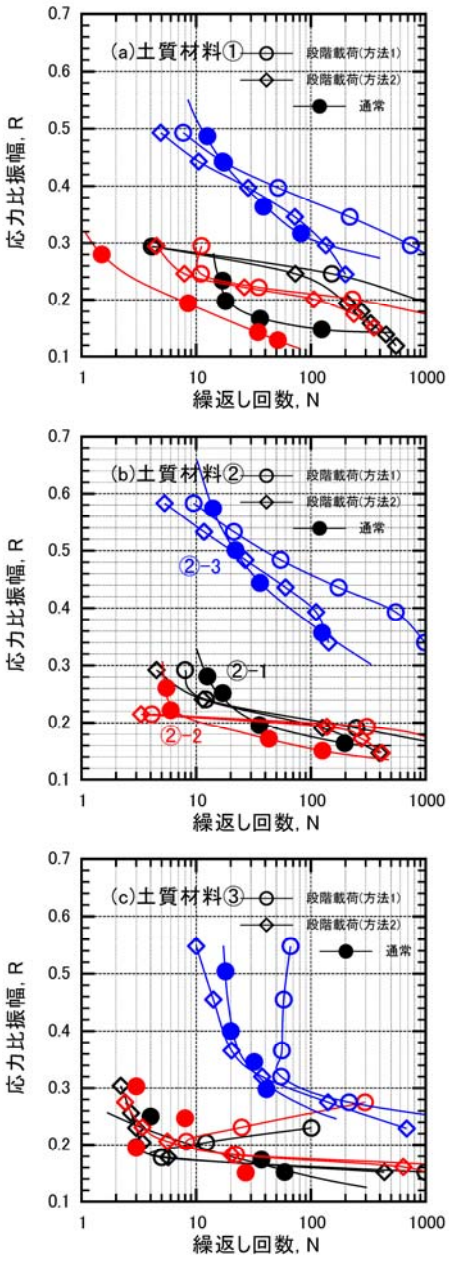

図-4 液状化強度曲線の比較

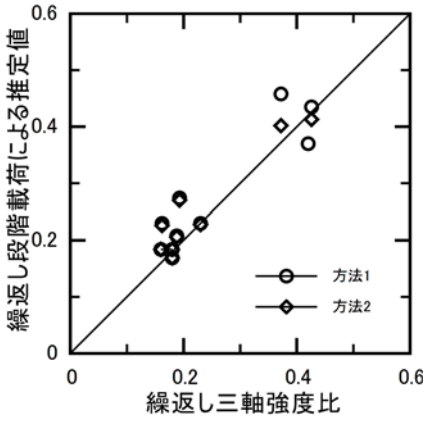

図-5 繰返し三軸強度比の比較

４．まとめ

一般的に 3～4 本の供試体を用いて求める繰返し三軸強度比を，1 本の供試体に繰返し段階載荷を与えた結果から推定する方法を提案した．土の種類や密度等の供試体作成方法を変えた様々な条件で，通常の試験から求めた繰返し三軸強度比と推定値を比較した結果，概ね一致していることが確認できた．液状化強度曲線は必要なく，繰返し三軸強度比の概略値のみが分かれば良い場合には，提案した繰返し段階載荷によって効率的に繰返し三軸強度比を推定することができる．

参考文献　1)鷲見，谷本等：細粒分を含む砂の液状化強度に関する調査（その 1　地盤の不均質性），第 48 回地盤工学研究発表会，2013.