

III-42 不規則荷重を受ける砂の残留変形特性のエネルギー的評価

東北大学工学部 学生会員 ○日野杉 喬之 山口 晶
 正会員 柳沢 栄司 風間 基樹

1. はじめに

地震時の地盤の液状化の検討において、ランダムな地震動波形の影響については不明な点がある。石原らは地表で得られた加速度記録を地中に発生した応力履歴とみなし、このランダムな応力時刻歴を用いた繰返し中空ねじり試験を行い、波形の影響を検討した¹⁾。その結果、地震動を衝撃型と振動型に分類し、一定振幅の波形に換算するための換算係数を求めた。この研究では、ランダム波と正弦波の等価性を検討する際に、同じ過剰間隙水圧の発生量を生じる最大応力比の大きさの関係を評価している。その結果、たとえば同じ最大振幅を持つ振動型波形と衝撃型波形を繰返し回数20回の正弦波に換算した場合、振動型波形の振幅換算係数は約0.7、衝撃型波形のそれが約0.55であることを明らかにしている。すなわち、同じ最大振幅を持つならば、衝撃型より振動型の方が外力としてはより厳しいということになる。

しかし、以上の知見は以下の二つの観点で見直しが必要と考えられる。第一には、地表の加速度記録をそのまま地中応力比の時刻歴と見なしている点である。風間は、地中のせん断応力の時刻歴には、地表の加速度記録に含まれる短周期成分が大きく寄与しないことを示している²⁾。第二に、応力履歴によっては過剰間隙水圧が大きく蓄積する以前に、供試体がせん断破壊を起こすことを考慮していない点である。言い換えれば、静的強度に近いような大きな応力比の繰返しせん断を受けた場合には、間隙水圧の蓄積が小さくともひずみが大きく発達する可能性がある。そこで本研究では観測された地表加速度時刻歴から地中-10m地点の応力波形を推定し、これを用いて、地盤が費やす累積損失エネルギーをパラメーターとして緩い砂質土の液状化と地震動波形の関係について検討を行う。

2. 実験方法

繰返しせん断試験には、供試体寸法 $\phi=7\text{ cm}$ 、 $h=3\text{ cm}$ の応力制御単純せん断試験装置を使用した。実験に用いた試料は豊浦砂 ($G_s=2.64$ 、 $e_{\max}=0.982$ 、 $e_{\min}=0.604$)であり、空中落下法で作製し、相対密度65～70%になった。なお、供試体の飽和の程度はB値を0.95以上としている。有効拘束圧 1.0 kgf/cm^2 を等方で作用させ、非排水状態でせん断した。表-1に使用した5つの応力波

形と実験条件を示す。なお実験では実際の応力比をそのまま入力したものと応力比の振幅を変えたものについて実験を行った。図-1に実験に用いた応力比波形を示す。前述したように、この応力時刻歴は適当なフィルターをかけて算定された地中-10mの地中せん断応力比の時刻歴である。文献1)の分類によれば、三陸はるか沖・兵庫県南部・釧路沖地震が衝撃型、北海道南西沖地震が振動型に分類される。

表1 実験に用いた地震波の諸元

番号	発生年	地震名	観測地点	方向	最大せん断 応力比	文献1)による分類
1	1994	三陸はるか沖	八戸港	EW	0.5928	衝撃型
2	1993	釧路沖	釧路港	EW	0.3044	衝撃型
3	1995	兵庫県南部	神戸市	NS	0.4959	衝撃型
4	1994	北海道南西沖	函館港	N03W	0.1710	振動型
5	1994	北海道南西沖	室蘭港	EW	0.1484	振動型

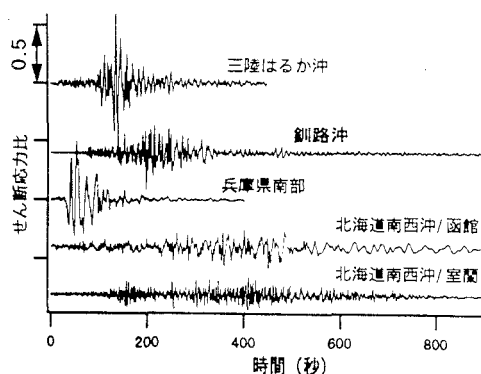


図-1 試験に用いたせん断応力比の時刻歴

3. 結果及び考察

(1) 累積損失エネルギーによる検討

図-2は三陸はるか沖の波形について最大応力比を変えたときの累積損失エネルギーとひずみ両振幅の関係を示したものである。図より同じ累積損失エネルギー量の時を比べると、応力比が大きいくほどひずみが大きく発達していることが分かる。つまり応力振幅が大きいくほど、地盤は粘りを発揮せずにひずみが発達することを示している。

図-3は各波形の累積損失エネルギーとひずみ両振幅の関係である。振動型2波形に比べ衝撃型3波形は同じひずみ量での累積損失エネルギー量が小さい。つまり衝撃的な地震では地盤は粘りを発揮できずにひずみが発達することを示している。

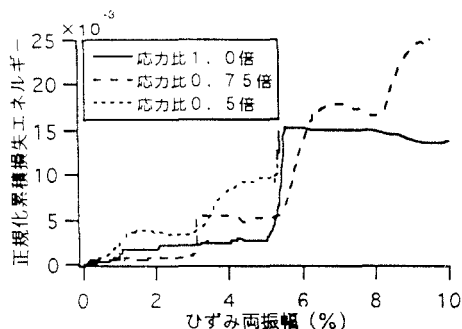


図-2 三陸はるか沖地震の応力比を載荷したときにおける正規化累積損失エネルギーとひずみ両振幅の関係

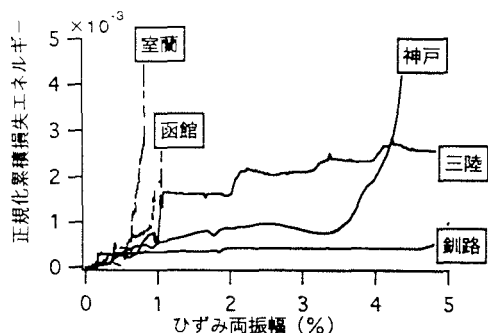


図-3 実際の応力比での累積損失エネルギーとひずみ両振幅の関係

図-4は累積損失エネルギーと応力比の係数の関係を示したものである。この係数は実験に用いた最大応力比と実際の地震動から算定された最大応力比の何倍かを表すものである。まず、実際の地震応力レベルと比較すると(係数=1), 供試体の塑性化に費やされたエネルギー量としては、三陸はるか沖、兵庫県南部、釧路沖、北海道南西沖/函館、北海道南西沖/室蘭の順で大きい。また、当然ながら応力比を大きくすると地震荷重終了後の累積損失エネルギーも大きくなる。図から、たとえば、三陸はるか沖地震と同じエネルギー量を与えるためには、南西沖・函館港の応力波形は振幅を1.6倍にしなければならないことがわかる。

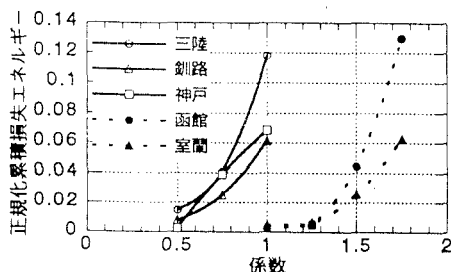


図-4 正規化累積損失エネルギーと係数の関係

2) 累積損傷度による検討

一定振幅の応力波形を入力した試験から得られた液状化強度曲線(過剰間隙水圧比が1.0になった時点で液状化とする)を図-5に示す。また、表1の各波形から累積損傷度理論³⁾によって累積損傷度を求め、応力比の係数との関係を示したのが図-6である。衝撃型に分類された3波形は係数1.0で累積損傷度が1.0を越えているので過剰間隙水圧比が1に達することが分かる。一方、振動型2波形では応力比を約1.4倍にすると液状化に至るが、実際の応力比では全く液状化しないという結果になっている。図-4と5を比較すると、ほぼ同じ傾向を示しているが、累積損傷度1に対して、正規化累積損失エネルギー0.04程度が対応しているようである。

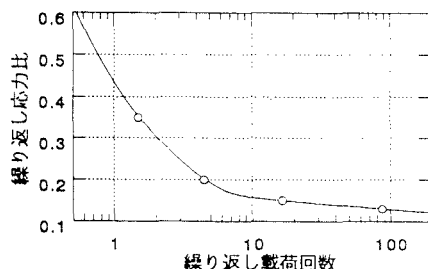


図-5 液状化強度曲線

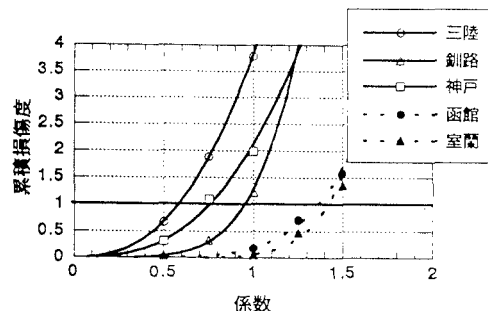


図-6 累積損傷度と係数の関係

4. 結論

地盤が発揮する靱性という観点から見ると、小さい振動的な多数のパルスが外力として作用するよりも、大きな少数の衝撃的なパルスが外力として作用した方が地盤は粘りを発揮できずにひずみが増大する。

【参考文献】

- 1) K. Ishihara and S. Yasuda : Sand Liquefaction in Hollow Cylinder Torsion under Irregular Excitation, Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.45-59, 1975
- 2) 風間基樹：地震時の地中せん断応力の再考察, 土と基礎, Vol.47, No.8, pp.13-16, 1999
- 3) (財)沿岸開発技術センター編：埋立地の液状化 対策ハンドブック (改訂版), 1997