

東京大学 工学部 正 石原研而
 東京大学 工学部 正 関 元希
 東京大学 大学院 学 O 永瀬英生
 国鉄中央鉄道学園 正 棚村史郎

1. はじめに 地震波が水平面内で多様な方向に不規則な動きを呈することは周知の事実である。そこで、地震時の砂地盤の液状化特性を現実に近い形で把握するためには、地震波の不規則性並びに作用方向の多様性の影響について検討する必要がある。安田⁽¹⁾は三軸装置及び中空わじり単純せん断装置を用いた繰返しせん断試験により、不規則荷重を受ける砂の液状化特性を調べ、ゆるい砂の液状化に及ぼす波形の不規則性の影響について考察を加えた。本稿では、水平二方向に荷重を独立に制御可能な二方向単純せん断装置を用いて、一方向、さらに二方向に不規則荷重を受けるゆるい砂の液状化特性について検討を加えるとともに、密な砂に対する同種の実験結果⁽²⁾との比較を行なっている。

2. 実験方法 実験装置及び試料については既に報告している⁽²⁾⁽³⁾、ここでは省略する。すべての実験は、飽和した砂の供試体を等方圧密し、非排水条件のもとで実施した。地震波のEW成分及びNS成分を一方向にだけ載荷する通常の単純せん断試験と両成分を同時に載荷する二方向単純せん断試験の2種類の繰返し試験を行なっており、比較している。使用した地震波を表1に示しているが、波形はすべて衝撃型に属している。繰返し荷重は空圧式で負荷したが、密な砂の場合⁽⁴⁾と同様に、荷重の追従性をよくするために、地震波の時間軸を4倍に引きのばして繰返し載荷を行なった。

表1 使用した地震波の詳細

Earthquake name	Observation place and year	Max. acc.(gal)	
		E-W	N-S
Niigata	Kawagishi-cho, Niigata, 1964	159	155
Romania	Bucharest, 1977	163	195
Mid-Chiba	Owi island No.1, Tokyo, 1980	64	95
Tokachi-oki	Hachinohe, 1968	181	233

3. 実験結果及び考察 新潟地震のEW成分を単独に加えた試験結果の生データを図1に示している。3つの異なる最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_v の値を加えているが、 τ_{max}/σ'_v が小さいときの間隙水圧比 u/σ'_v はあまり上昇せず、最大せん断ひずみ γ_{max} が τ_{max} の載荷されたときに生じている。 τ_{max}/σ'_v が大きい試験では、 u/σ'_v が1.0に近づくとき急にひずみが発生しやすくなり、 τ_{max} より後に加わる小さなせん断応力でも大変形を生じている。このような現象は密な砂においては認められず、 u/σ'_v が1.0に近づいても大変形はみられなかった。図2は、新潟地震の波を用いた試験結果より、最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_v と残留間隙水圧比 u/σ'_v の関係をプロットしたものである。図3には同じデータから τ_{max}/σ'_v と γ_{max} の関係を求めプロットしている。両図で二方向の試験に対しては、 τ_{max} に $\sqrt{\tau_{EW}^2 + \tau_{NS}^2}$ を、 γ_{max} に $\sqrt{\gamma_{EW}^2 + \gamma_{NS}^2}$ を採用している。図2と図3をみると、 u/σ'_v が1.0になるときと γ_{max} が5%になるときの τ_{max}/σ'_v がよく一致していることがわかる。この傾向はその他の地震波を用いたときの結果にも認められた。密な砂では $\gamma_{max} = 5\%$ 時の最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_v を繰返し強度と定めたので、ゆるい砂についても同じ規準を用いている。とここで、図2と図3において、二方向載荷によって求めた繰返し強度 τ_{max}/σ'_v と、EW成分とNS成分を別々に加えた一方向載荷の τ_{max}/σ'_v を平均したものを比べると、二方向載荷によって繰返し強度は25%程度減少している。その他の地震波では14~25%程度の減少が認められた。密な砂では

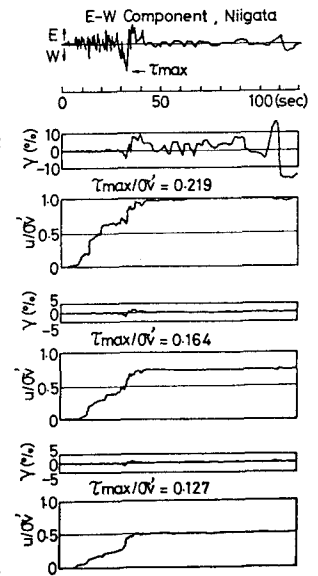


図1 生データ

20~33%減少していることから、地震波の多方向性が強度に及ぼす影響はゆるい砂の方が小さいと言えよう。これは、以前同じ試験機を用いた水平面内に回転状の経路を描く繰返しせん断試験の結果と同じ傾向である。

4つの不規則荷重を一方にだけ受ける試験よりそれぞれの繰返し強度 τ_{avg} を求め、一樣振幅荷重(Sm波)を受ける試験から

求めた繰返し強度 τ_{avg} と比較しているのが図4である。図4に示した一樣振幅荷重の試験結果から、繰返し回数 $N=10, 20, 30, 40$ 回の応力比 τ/τ_{max} を不規則荷重の試験結果より求めた τ_{max} で除いた値 τ/τ_{max} を、それぞれの繰返し回数に対してプロットした図が図5である。繰返し回数が20回のときの τ/τ_{max} の値は0.46~0.68の範囲に存在している。この値はこれまでの研究成果と比較的よく一致している。また、この値は密な砂で求めた τ/τ_{max} の値0.62~0.84より小さくなっている。図6では、二方向に不規則荷重を受ける試験の繰返し強度 τ_{avg} と一樣振幅荷重の試験で求めた τ_{avg} を比較している。繰返し回数が20回のときのせん断応力比 τ/τ_{avg} と τ_{avg} を比べると、密な砂では τ_{avg} の平均値が τ/τ_{avg} の値とほぼ等しかったが、ゆるい砂の場合は τ_{avg} の方が大きい値を示している。

4. まとめ 二方向単純せん断装置を用いて不規則荷重を受けるゆるい砂の液状化特性について調べたところ、 τ/τ_{max} の値は密な砂で求めた値より小さく、従来のゆるい砂についての結果と比較的よく一致した。二方向載荷によるゆるい砂の強度の減少率は密な砂より小さいことが明らかになったが、地震波の多方向性の影響についてはさらに検討を加えていく必要があると考えられる。

5. 参考文献 (1) 安達(1978)「不規則荷重を受ける砂の液状化」東京大学博論、(2) 石原、関、永瀬、棚村(1982)「二方向の不規則荷重を受ける砂の液状化試験」第17回土質工学会大会、(3) 石原、関、永瀬、棚村(1982)「二方向単純せん断装置を用いた密結砂の繰返しせん断特性」第17回土質工学会大会

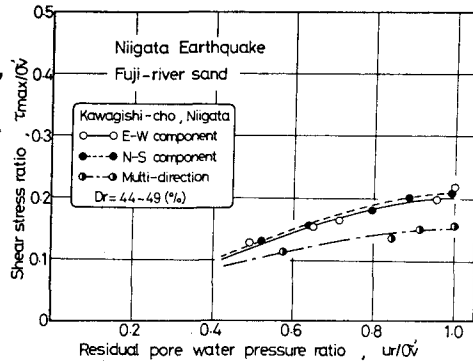


図2 最大せん断応力比と残留間隙水圧比の関係

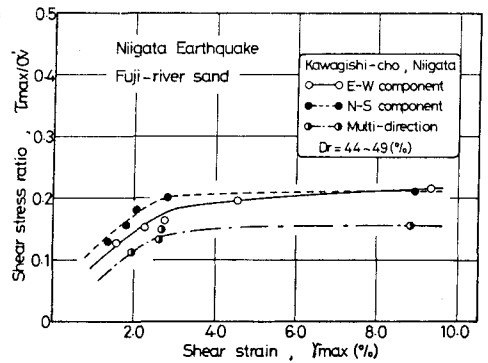


図3 最大せん断応力比と最大せん断ひずみの関係

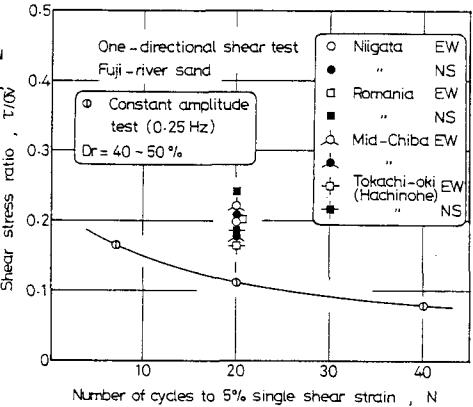


図4 せん断応力比と繰返し回数の関係

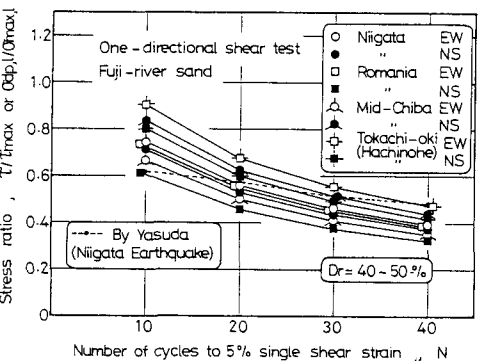


図5 応力比と繰返し回数の関係

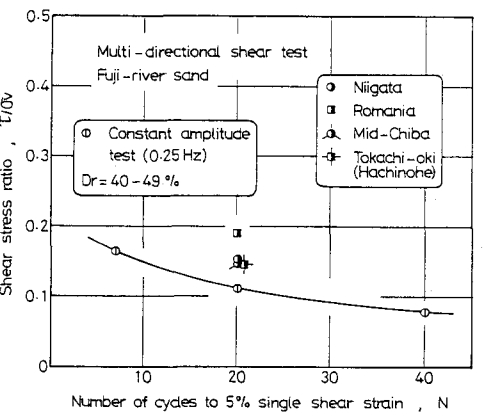


図6 せん断応力比と繰返し回数の関係