

第Ⅲ部門

水平・上下同時制御による砂質土の繰返し一面せん断特性

舞鶴高専専攻科 総合システム工学専攻 建設工学コース 学生員 ○前田 翼  
舞鶴高専 建設システム工学科 正会員 加登 文学

1. はじめに

地震時の上下動は、その発生メカニズムが明確に解明されておらず、耐震設計においても取り扱いが難しい。しかしながら、これまでに起こった大地震時には、上下動が無視できないレベルで発生しており、強震時に大きな上下動が発生するメカニズムを解明することは強震動予測において重要である。森尾ら<sup>1)</sup>は2008年岩手・宮城内陸地震の一関西で得られた3866galの上下動に対して、強大な水平動（せん断）が入力された結果、地下水位以浅の地盤が非線形化し、ダイレイタンシーに起因した上下動が発生したものと推測し、弾塑性構成式を用いた解析を実施して地震波形の特徴を再現している。強震動予測の高精度化に際して、ダイレイタンシーに起因した上下動を定量的に表現することが必要である。そのためには、水平動と上下動が同時に入力された場合の土のせん断挙動など、基本的な特性を十分に把握しておく必要がある。そこで本研究では砂質土に対して水平動と上下動を制御した繰返し一面せん断試験を実施した結果に対して考察する。

2. 用いた試料と実験方法

実験には、乾燥した豊浦砂 ( $\rho_s=2.633\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\max}=0.922$ ,  $e_{\min}=0.605$ ) を相対密度  $D_r=35\%$ 、 $80\%$  に調製した供試体と、 $w=25\%$  の赤土を  $\rho_d=1.37\text{g/cm}^3$ 、 $1.60\text{g/cm}^3$  に締め固めた供試体を用いた。繰返し一面せん断試験機により、図1に示すように繰返しせん断変位を変位振幅1mm、周期20sで与える実験と、図2に示すように周期20s、片振幅0.1mmの繰返しせん断変位の3波目に合わせて垂直応力を半波だけ増加(+50kN/m<sup>2</sup>) させる実験、および減少(-50kN/m<sup>2</sup>) させる実験を行った。なお、いずれもせん断開始時の垂直応力は100kN/m<sup>2</sup>とした。実験条件と実験名の一覧を表1に示す。

3. 結果と考察

繰返しせん断のみを入力した場合の豊浦砂の上下動の挙動を図3に示す。図より、繰返しせん断変位によって垂直変位が2倍の周期で発生していることが読み取れる。そして、密度が小さい試料の初期挙動は収縮傾向を示しているが、密度が大きい試料の初期挙動は膨張傾向を示していることが読み取れる。図4は応力経路を示している。垂直応力を一定に保つ制御をしているが、せん断速度が速いため制御が追い付かず垂直応力が振動していることがわかる。また、載荷直後の挙動は密詰めでは垂直応力が増加し、緩詰めでは減少している。

次に繰返しせん断中に上下動を加えた場合の結果を図5~8に示す。それぞれ、(a)に応力経路、(b)に垂直応力増加時のせん断変位 - せん断応力関係、(c)に垂直応力減少時のせん断変位 - せん断応力関係となっ

表1 実験条件と実験名

せん断変位片振幅:D(mm)	1(mm)	0.1(mm)
垂直応力: $\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\sigma=100$ (kN/m <sup>2</sup> )	100(kN/m <sup>2</sup> )
上下動: $\Delta\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )		+50(kN/m <sup>2</sup> ) / -50(kN/m <sup>2</sup> )
豊浦砂 ( $D_r=35\%$ )	c100TL	p100TL / m100TL
豊浦砂 ( $D_r=80\%$ )	c100TD	p100TD / m100TD
赤土 ( $\rho_d=1.37\text{g/cm}^3$ )	c100AL	p100AL / m100AL
赤土 ( $\rho_d=1.60\text{g/cm}^3$ )	c100AD	p100AD / m100AD

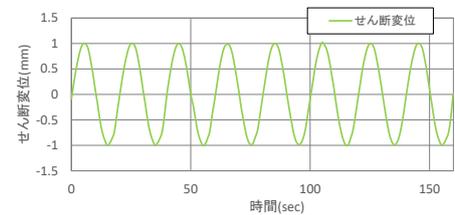


図1 せん断変位のみ入力時の入力波形

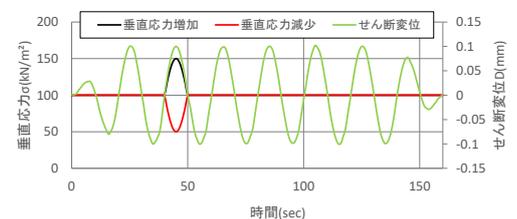


図2 上下動入力時の入力波形

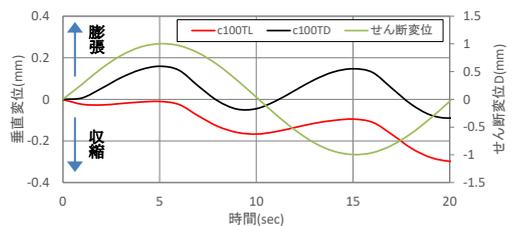


図3 せん断変位と垂直変位の時刻歴

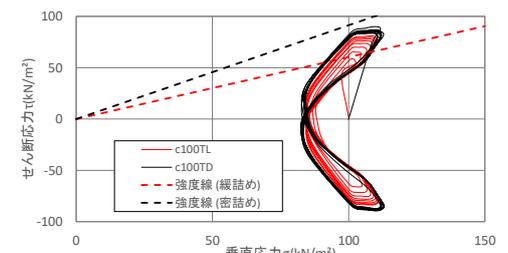


図4 応力経路

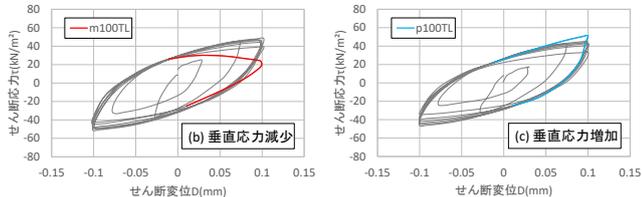
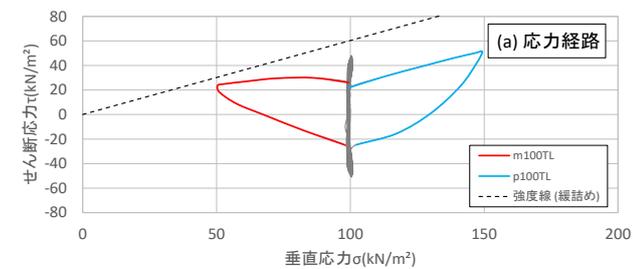


図5 水平・上下同時入力の結果 (豊浦砂  $D_r=35\%$ )

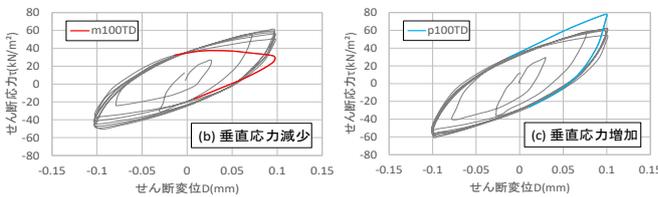
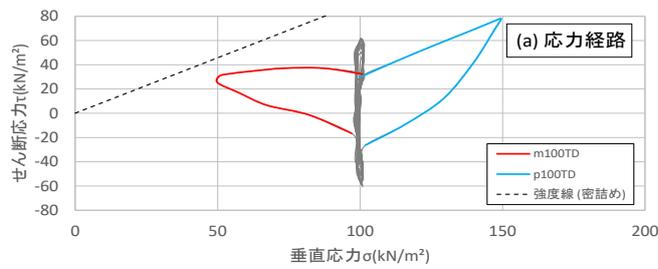


図6 水平・上下同時入力の結果 (豊浦砂  $D_r=80\%$ )

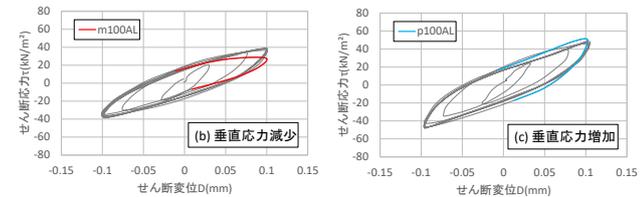
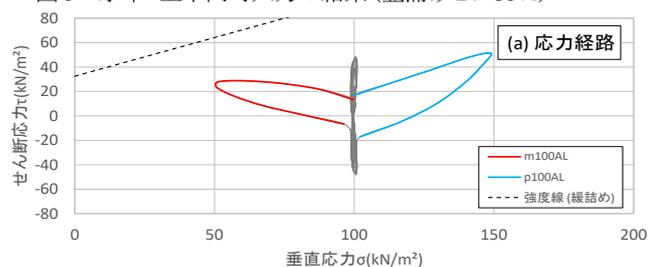


図7 水平・上下同時入力の結果 (赤土  $\rho_s=1.37\text{g/cm}^3$ )

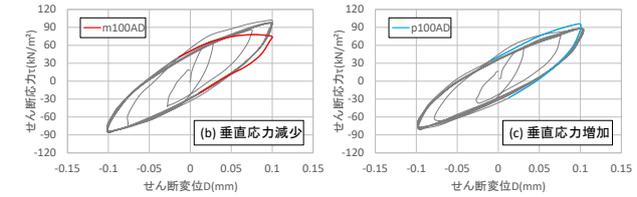
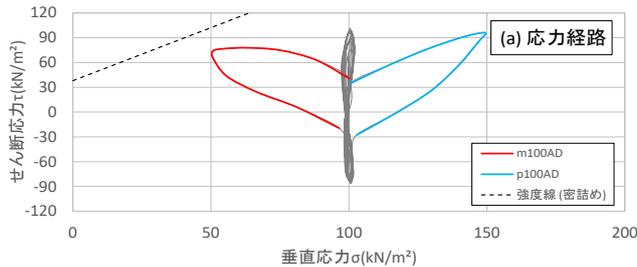


図8 水平・上下同時入力の結果 (赤土  $\rho_s=1.60\text{g/cm}^3$ )

ている。(a)応力経路を見てみると、いずれも垂直応力を減少させたときは破壊線に近づきせん断応力は増加せず、垂直応力を増加させたときはせん断応力が增加することがわかる。(b)より、垂直応力を減少させたときにはせん断変位 0.1mm 時のせん断応力が低下しており、逆に、(c)の垂直応力増加の場合はせん断応力が増加していることがわかる。

ここで、一面せん断試験におけるせん断ひずみを  $\gamma=D/H$  ( $H$ : 高さ、 $D$ : せん断変位) と定義し、図5~8の(b)、(c)のせん断変位 - せん断応力関係におけるせん断変位ピーク時の割線勾配をせん断剛性  $G= \tau/\gamma$  とする。図5は繰返し回数ごとのせん断剛性の変化をまとめており、供試体の条件に関係なく上下動が入力される3波目において、垂直応力増加時はせん断剛性も増加し、垂直応力減少時にせん断剛性は減少している。このせん断剛性の変化によって、揺れの大きさなどの水平動の特徴が変化することが考えられる。

#### 4. まとめ

地震時の水平動と上下動の関係について考察を行う。実験の結果、繰返しせん断が作用したとき、上下動が発生し、載荷初期の挙動は密な砂では膨張(上向き加速度)、緩い砂は収縮(下向き加速度)となることがわかった。また、繰返しせん断時に上下動を入力した場合、せん断剛性が変化することがわかった。このことから、地震時では、水平動によって上下動が励起されること、上下動によって水平動の大きさが変化することが考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 森尾敏, 加登文学, 藤井照久: 2つの地震観測地点での大加速度記録に関する地盤の弾塑性論的考察, 日本地震工学会論文集, 第17巻, 4号, pp.4\_30-4\_49, 2017.

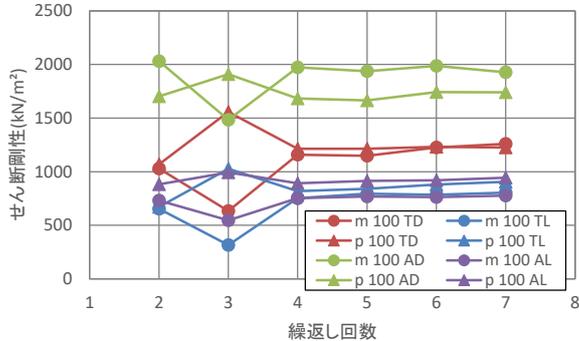


図9 繰返し回数ごとのせん断剛性