

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710185

研究課題名（和文）不均質性の導入による土構造物の変形制御に関する研究

研究課題名（英文） Study on passive control of earth structure by introducing material anisotropy

研究代表者

飛田 哲男 (TOBITA TETSUO)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：00346058

研究成果の概要（和文）：本研究は、地盤材料の剛性等を部分的に変化させることで材料の不均質性、異方性を導入した場合に、地盤-構造物系の動的な変形挙動がどのように変化するかを調べ、設計者の意図したとおりの変形を導くよう試みるものである。中空ねじりせん断試験より、流れ盤構造、水平構造、受け盤構造の順で強度が大きくなった。模型振動台実験より、受け盤構造の安定性が水平構造、流れ盤構造よりも高いことがわかった。

研究成果の概要（英文）：By introducing material anisotropy and heterogeneity in soil structure, rigidity and strength of the ground can be modified so that intended deformation pattern during earthquakes may be achieved. To investigate basic characteristics of the ground material, dry sand is tested through hollow cylindrical cyclic shear tests and small model tests of embankments. The investigation is focused on studying structural anisotropy by varying formation of sand specimen, i.e., flat bed and inclined bed against shear. (1) From the cyclic shear tests, regardless of the relative density of sand, the maximum shear resistance of sand was obtained when the specimen is formed as dip slope. (2) After the model test, embankment constituted of dip slope showed maximum resistance to dynamic force.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：土構造物，不均質性，耐震設計，地震，模型実験

1. 研究開始当初の背景

近年、土木構造物の耐震設計においては、目標性能を明示する設計（性能設計）が一般的になりつつある。この設計手法は、目標性能を満たすことが保証される限りどのような設計を行っても良いというものであり、設計における自由度が大きいことが利点であ

る。また、従来の応力に基づく設計法などと比較すると経済的な設計となる場合が多く、今後わが国のみならず世界的にも土木構造物の設計法の標準になりつつある。一般の土木構造物における上部構造物については、この設計手法がいち早く取り入れられている（ISO3010, 2001）。しかし、大地震時に地盤

と構造物とが相互に作用し合う地中構造物や地盤-基礎構造物系については現象が複雑であるため現段階では性能の照査が難しく、その適用が遅れている (ISO23469, 2005)。

地盤の変形を最小限に抑える方法としては、地盤内に固化材料を注入する等の地盤改良がなされることが多く、これまでの大地震においてもその効果は確認されている。しかし、広域的に分布する比較的重要度の低い地盤構造物については、経済性の面から同様の対策を講ずることは難しい。

2. 研究の目的

本研究の目的は、地盤材料の剛性等を部分的に変化させ材料の不均質性と構造異方性を導入した場合に、地盤-構造物系の動的な変形挙動がどのように変化するかを調べ、設計者の意図した変形挙動を導くことができるかどうか実験的に検証するものである。

土構造物の変形は、ミクロに見れば土を構成する土粒子間に作用する力、水、空気力の釣り合いと応力-ひずみ関係（構成関係）によって決まる。またマクロに見れば、原地盤と構造物間の摩擦力等、力の釣り合いによって決まる。これまでの土構造物の設計では、対象とする土に対し室内試験を行い、力学的、物理的性質を調べ（ミクロ的考察）、原位置調査により原地盤の特性を調べる（マクロ的考察）ことにより、可能な限り安全かつ合理的な設計となるよう試みられてきた。したがって、これまでは「土構造物の変形制御」という視点では設計は行われてこなかった。地盤-構造物系のように外力に対し強い非線形性を示す材料を制御するためには、機械によるアクティブな制御ではなく、剛性や亀裂に代表される地盤内部の不均質性や異方性をうまく利用するパッシブな制御が有効なのではないかと考えられる。すなわち、異方性を逆手にとって、あらかじめ不均質性や構造異方性を導入することで、設計者の意図するおりの変形モードを得ることができるものと考えられる。

3. 研究の方法

構造異方性を導入した土の基本的な強度特性を調べるために、含水比1%の湿潤珪砂7号を用いた応力制御による中空ねじり試験を実施した。試験方法は、地盤工学会「土質試験の方法と解説」に従った。構造異方性を持つ供試体の作成は、図1に示すように、投入した砂を突き固める際、棒を鉛直から約45度斜めにして突き固めた。このように作成した供試体に、図2に示すように、載荷方向を変えることにより流れ盤構造と受け盤構造に対する載荷を実現した。実験は再現性を得るために、実験者A、Bの二人が同じ方法で独立に行った（表1）。

水平、流れ盤、受け盤の三種の構造異方性を持たせた供試体の変形・強度特性の違いを、せん断応力-せん断ひずみ曲線、せん断強度と初期せん断弾性係数を用いて比較した。

次に、地盤内に導入した不均質性が変形挙動に与える影響を調べるため、室内模型実験を行った。水平、流れ盤、受け盤状の三種の構造異方性を導入した盛土型の模型地盤を作成した[図3(a)-(c)]。いずれも六層から成り、各層ごとに締固めを行った。試料には先に述べた中空ねじりせん断試験と同じ砂を使用した。

模型実験では、室内実験用小型振動台を用いて、1G場において正弦波（7Hz）を200波入力した。用いた計測機器は、加速度計1台、レーザー変位計1台である。加速度計は入力加速度の計測用として振動台に設置した。レーザー変位計の計測ポイントは盛土の天端の鉛直変位である。

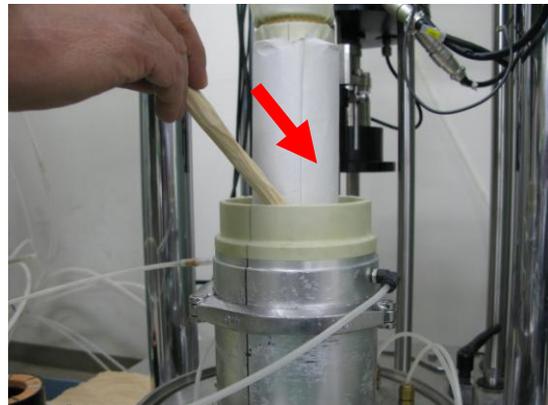


図1 中空ねじり試験の供試体作成方法

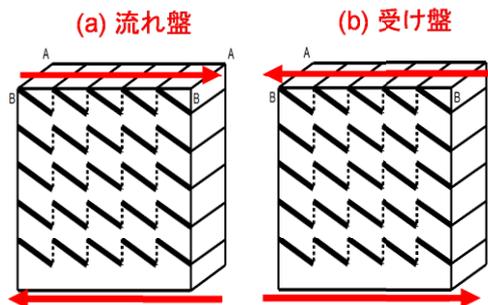


図2 中空ねじり試験の供試体に対する載荷方向の違いにより、(a)流れ盤、(b)受け盤を表現する。

4. 研究成果

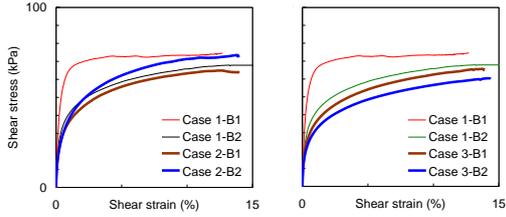
本研究で得られた結論を以下に示す。

(1) 中空ねじりせん断試験では、 $Dr=40\%$ の緩詰め、 $Dr=70\%$ の密詰めのどちらにおいても、流れ盤構造、水平構造、受け盤構造の順で変形・強度特性が大きくなることがわかった。

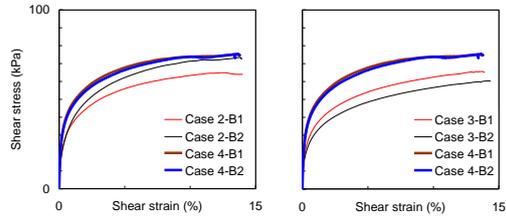
(表1, 図3)

(2) 構造異方性によって変形・強度特性が異なるのは、外力による土粒子の回転に原因

実験者A	せん断強度 (kPa)	初期せん断弾性係数 (kPa)
Case 1-A1(水平・時)	72.6	28
Case 1-A2(水平・時)	71.2	27
Case 2-A1(水平・反)	71.5	22.2
Case 2-A2(水平・反)	79.1	28
Case 3-A1(流れ盤)	55.3	20.1
Case 3-A2(流れ盤)	63	21.1
Case 4-A1(受け盤)	73.2	25
Case 4-A2(受け盤)	76.9	29.1
実験者B	せん断強度 (kPa)	初期せん断弾性係数 (kPa)
Case 1-B1(水平・時)	74.6	34.8
Case 1-B2(水平・時)	67.9	24.3
Case 2-B1(水平・反)	64.9	22.2
Case 2-B2(水平・反)	73.5	24.3
Case 3-B1(流れ盤)	65.7	21.6
Case 3-B2(流れ盤)	60.4	19.1
Case 4-B1(受け盤)	75.3	28.1
Case 4-B2(受け盤)	75.2	27.1



(a) 水平(時)-水平(反) (b) 水平(時)



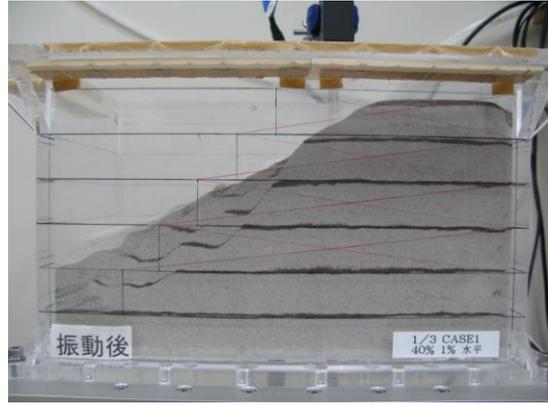
(c) 水平(反)-受け盤 (d) 水平(時)

図3 せん断応力-せん断ひずみ曲線 ($D_r=40\%$ 、実験者B)

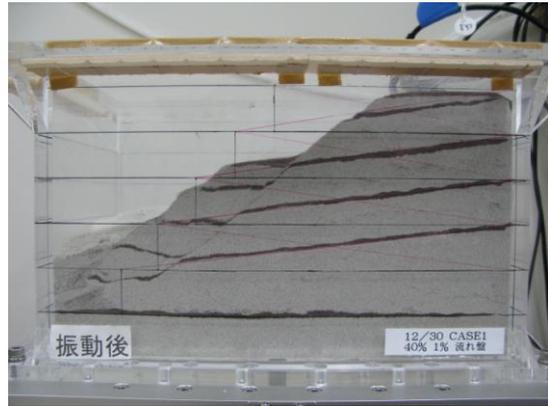
表1 中空ねじり試験の実験ケースと結果があると思われる。

(3) 模型振動台実験では、受け盤構造の斜面の安定性が水平構造と流れ盤構造に比べて高い、言い換えると、すべり破壊に伴う土塊の滑動が遅いことがわかった。また、すべり面を観察した結果、すべての構造異方性において斜面先破壊がみられ、受け盤構造においてはすべり面が深くなった。

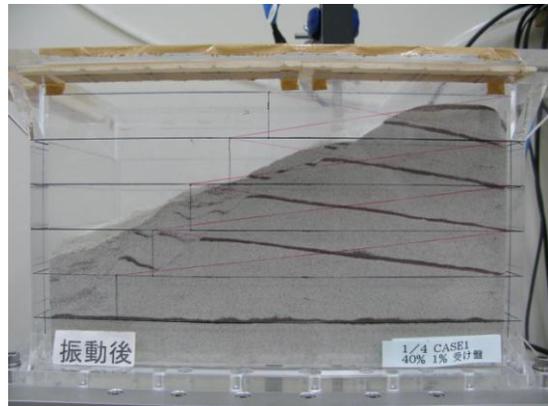
(4) 構造異方性により土塊の滑動の速度が異なる原因として、盛土堆積時の長軸方向とすべり面に働くせん断応力の向きのなす角度に関係があると考えられる。また、すべり面の深さが異なるのは、構造異方性によってせん断強度が異なるからである。



(a) 水平成層



(b) 流れ盤



(c) 受け盤

図4 加振後の盛土模型の変形状況

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計0件)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飛田 哲男 (TOBITA TETSUO)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：00346058

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：