

III-28

 鳴瀬川不飽和堤防土を用いた
中空ねじり試験機による浸水試験

東北大学 学 ○栗原 崇 正 渦岡 良介 仙頭 紀明

1. はじめに

近年、都市部における豪雨災害では、河川堤防の破堤による洪水災害が頻発し、多くの人命や財産が失われている。これら堤防の破堤には、従来、浸透によるすべり破壊や掃流力による側岸侵食、パイピング破壊等がそのメカニズムとして考えられてきた。

堤防土は常時河川水位より高いため、その大部分が不飽和土層である。それらは降雨や水位上昇より水浸すると、大きく変形（水浸コラプス）することが知られている。これまでの不飽和土の水浸コラプスに関する研究¹⁾は、粘性土を対象とした圧密試験機による体積圧縮量のみを求める研究がほとんどであった。また堤防や盛土の水浸圧縮変形を評価できるような、構造物の形状を再現した応力状態も考慮されていない。

そこで本研究では鉛直、水平及びせん断応力成分の制御が可能な中空ねじり試験機を使用した。その上で、実際の堤防土を使用し、等方応力一定条件下と堤防斜面を仮定したせん断応力一定条件下における土骨格の水浸挙動を比較することとした。それらの結果を用いて、水浸により生じる不飽和砂質土の変形特性を考察した。

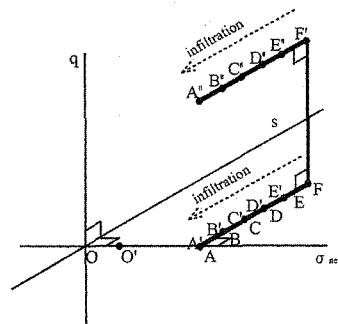
2. 不飽和土浸水試験方法

試料には礫分を取り除いた鳴瀬川右岸13.2k付近（木間塚地区下流側）の二次砂質盛土²⁾を用いた。実験装置には、供試体の外体積を測定するための、二重セル室を取り付けた不飽和土試験用の三軸中空ねじり試験機を使用した。供試体は蒸留水と砂質土を交互に入れ、金属棒で締め固めて作製した。供試体に作用させる応力は地盤の有限要素変形解析ソフトPlaxisを用いて算定した。実験ケースと初期試料条件は（図-1中のA点の状態）表-1の通りである。表中のiso.70-0、shear.70-10について、前者が等方応力一定条件、後者がせん断応力一定条件である。一連の応力経路を図-1に示す。試験方法は排水過程と水浸過程の二つに分かれている。排水過程では初め、セル圧を上昇させ、試料に土被り圧に相当する基底応力 σ_{net} （A点）を載荷する。次に飽和度を低下させるため、サクシオン値 s （F点）を作用させる。サクシオン値は間隙空気圧によって制御する。せん断応力一定条件（F'点）の場合

には、せん断応力一定が制御となる行。水浸過程ではサクシオン値を除荷し、試料を吸水させる。全過程を通して、10(kPa)を5段階に分けて載荷・除荷させる（shear.70-10の場合A→Fを一気に作用させる）。各段階では間隙空気圧を一定に保ち、排水量が一定となったことを確認し、次の段階に進んだ。また、排気排水条件で、間隙水圧を大気圧と一定に保つ。更に、軸応力、内外セル圧を一定に制御する。全過程を通して、体積ひずみとせん断ひずみ、軸ひずみ、間隙水 bodies 積変化量を測定し、考察を行った。

表-1 実験ケース

	iso.70-0	shear.70-10
砂質土 $m_s(g)$	433.37	417.10
蒸留水 $m_w(g)$	158.33	159.00
含水率 (%)	36.54	38.12
間隙比	0.98	0.99
基底応力 $\sigma_{net}(kPa)$	70	70
せん断応力 $\tau(kPa)$	0	10
最大サクシオン値 $s(kPa)$	10	10


 図-1 応力経路（奥行き方向にサクシオン s ）

3. 結果と考察

図-2に水浸過程のせん断ひずみとせん断応力の経時変化を示す。iso.70-0は水浸過程でせん断ひずみにほとんど変化がみられなかった。一方、shear.70-10は一定のせん断応力を載荷しているが、水浸させていくとせん断ひずみが上昇する傾向になった。尚、図-2より、せん断ひずみに見られる周期的なウェーブはせん断応力制御誤差によるものと考えられ、今後の課題で

ある。

図-3は体積含水率に対するせん断ひずみである。図中のinfiltration過程に関して、iso.70-0の場合、せん断ひずみは可逆的変形である。しかしshear.70-10の場合、非可逆的変形を示している。

図-4に体積含水率に対する体積ひずみの変化量を示す。体積ひずみは圧縮を正とし、A点を基準とする。図-4より供試体内の水分量が減少すると(A → F, A → F')供試体は圧縮し、更に水分量が増加に転じてても体積ひずみは増加し続けた。これは実堤防の応力状態を再現した本実験の供試体に関しても、従来の不飽和土の水浸による体積収縮が生じたことが確認できる。また水分量が増加する過程では減少する過程に比べ、体積ひずみの変化率が大きくなった。今回実験で作製した供試体の間隙比は、0.9付近の比較的緩いものであったが、鳴瀬川の実堤防の間隙比は1.05²⁾と更に緩いものである。したがって、実堤防土では降雨や水位上昇による不飽和土層の吸排水が更に大きな変形を生じること示唆している。また最終的な体積ひずみは等しくなった。したがって、せん断応力比が小さい場合においては体積変化量は変わらず、せん断応力作用下における体積変形特性は等方応力載荷時と変わらないと言える。堤防におけるせん断応力の影響を議論するには、更にせん断応力比を変更したケースが必要と考えられる。

図-5に各段階の体積ひずみ増加量を示す。水浸開始時を0とする。どちらもサクション値が減少するに従い、体積ひずみの増加量が大きくなる傾向を示す。図-5でiso.70-0のE'点で、他と比べ、体積ひずみが大きくなっている。これは、間隙水圧の一定制御において、間隙水制御装置の制御幅が大きく、FE'過程の制御の初めに間隙水が吸水・排水を繰り返した。そのため前述の図-4の考察にあるように、吸水・排水の繰り返しのによって大きな体積圧縮変形が生じたと考えられる。

4. まとめ

本研究により、以下のような結論が得られた。

- 緩い不飽和土においてせん断応力を作用させた状態で水浸させると、せん断ひずみと体積圧縮が生じた。
- 堤防の応力状態において、せん断応力が基底応力に比べ小さい場合にはせん断応力による変形特性への影響は小さく、体積ひずみは等方状態と同量になった。

謝辞

科学研究費補助金(河川の浸透・越水を考慮した堤防の進行性破壊現象の解明とその予測、課題番号17560441)の助成を頂きました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 加藤正司: 締め固めた粘性土の等方応力条件下におけるコラプス時の変形特性とコラプス後のせん断特性, 土木学会論文集 No. 596/III-43, 271-281, 1998.6.
- 2) 国土交通省 東北整備局 北上川下流河川事務所, 財団法人 国土技術研究センター: 平成15年度 鳴瀬川堤防検討会 第4回委員会資料

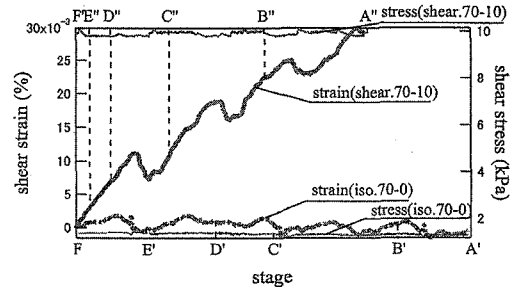


図-2 各ケースのせん断ひずみ・せん断応力の経時変化

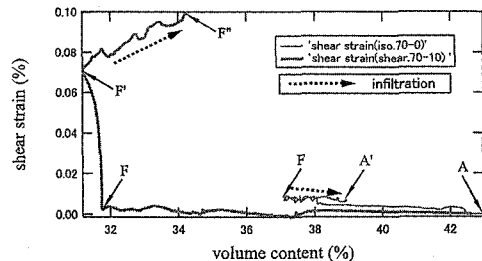


図-3 体積含水率の変化に対するせん断ひずみ

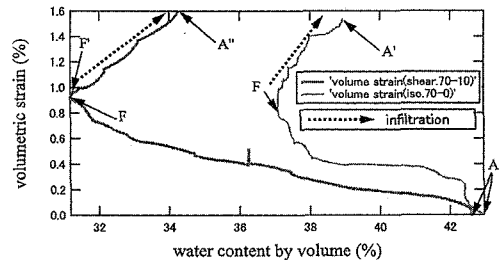


図-4 体積含水率の変化に対する体積ひずみ

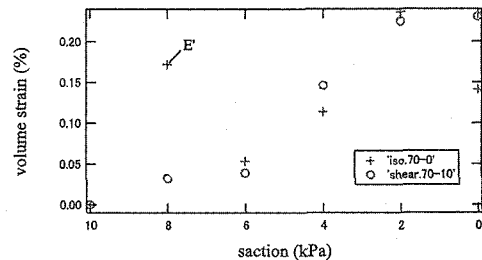


図-5 各段階における体積ひずみ増加量