

# 吸水軟化試験による砂質土の浸透耐性の評価

中部土質試験協同組合	正会員	○久保裕一
名城大学	正会員	小高猛司
建設技術研究所	正会員	李 圭太
土木研究所	正会員	石原雅規

## 1. はじめに

洪水時の河川堤防の変状や決壊など、堤体自身のすべり破壊やパイピングに起因する被災事例も多い。堤体の浸透時の破壊は、初期せん断を受けた堤体の有効応力の低下によって発生する。したがって、堤体の浸透耐性を適正に評価するために、筆者らは吸水軟化試験（詳細は後述する）を提案<sup>1)</sup>し、各地の堤防土を使用して検討を重ねている<sup>2)~4)</sup>。吸水軟化試験は、越流後の侵食崩壊や基礎地盤のパイピングに起因する堤体崩壊などの堤体の浸水条件下でのせん断強度の評価にも有効であると考えている。本報では、この吸水軟化試験を均一粒径の6号珪砂に適用し、ゆる詰めから密詰めまでの広範囲の相対密度で実施した試験事例を示す。

## 2. 実験方法

吸水軟化試験とは、三軸セル内で土供試体を一旦異方応力条件下の初期せん断を与えた状態とし、その後、軸差応力を所定の値で一定に保持したまま、間隙水圧のみを徐々に上昇させることにより、有効応力を低下させて土供試体を破壊に至らしめる試験である。細粒分が多い堤体土ほど、間隙水圧の上昇はゆっくりと行う必要がある。初期せん断の与え方は、有効拘束圧 50 および 100kPa で等方圧密後、軸差応力が 50 および 100kPa に到達するまで軸載荷速度一定で排水せん断を行う方法を採用した。所定の軸差応力に到達後、速やかに軸差応力一定条件下での間隙水圧上昇に移行した。なお、異方圧密試験と同様な手法で初期せん断を与えても良いが、その後の吸水軟化試験の結果に差異はない。土試料は均一粒径の6号珪砂を用い、相対密度  $Dr=30, 40, 50, 60, 80\%$  の合計5種類の供試体を、すべて乾燥砂による空中落下法で作製した。二重負圧法による飽和化後、背圧 200kPa を作用させ B 値 95%以上を確認して試験を実施した。本報では、比較のため通常の CUB 三軸試験も実施しているが、CUB 試験と初期せん断載荷時の排水せん断の軸載荷速度は 0.1%/min とした。

## 3. 実験結果

CUB 三軸試験の有効応力経路を図 1 に示す。相対密度  $Dr=30\sim 80\%$  の結果を併せている。CUB 試験の限界応力比はおよそ 1.5 であり、変相応力比はおよそ 1.0 となった。 $Dr$  が低いほど変相状態までの塑性圧縮が顕著であるが、変相後はすべての  $Dr$  において正のダイレイタンスの拘束による軸差応力の顕著な増加が見られる。 $Dr=30\%$  のゆる詰め供試体であっても、変相後に軸差応力が増加しているのは、高位な構造が形成しづらく過圧密性のみが顕著となる空中落下法で作製された供試体の特徴が現れた結果である。湿潤締め法などで作製した供試体は、同じ  $Dr$  でも異なる力学特性を示すことに注意すべきである。

次に、吸水軟化試験と CUB 試験の有効応力経路を重ねたものを図 2 に示す。

吸水軟化試験の結果は L 字を逆にしたような試験結果となる。まず、横軸から右斜に上昇している部分が排水せん断の経路を、ほぼ水平に左に向かう部分が軸差応力一定で間隙水圧の上昇によって平均有効応力が低下する経路を表している。左下に折れた時点で土供試体が崩壊した判断する。その崩壊部分に着目すると、相対

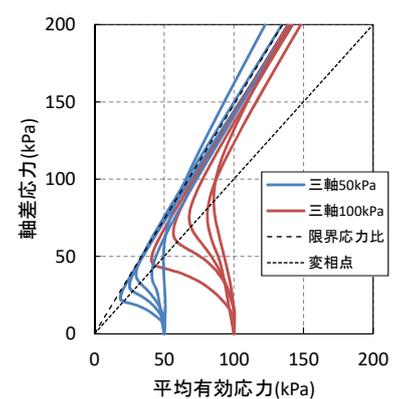


図 1 CUB 三軸試験結果

キーワード 砂質土, 力学特性, 堤防, 浸透,

連絡先 〒463-0009 愛知県名古屋市守山区緑ヶ丘 804 中部土質試験協同組合(ジオ・ラボ中部) TEL052-758-1500

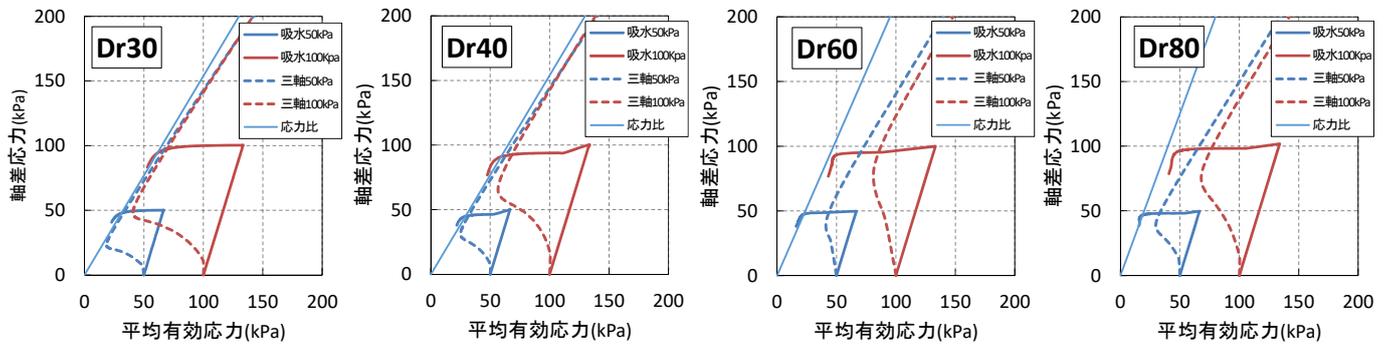


図2 吸水軟化試験とCUB三軸試験結果

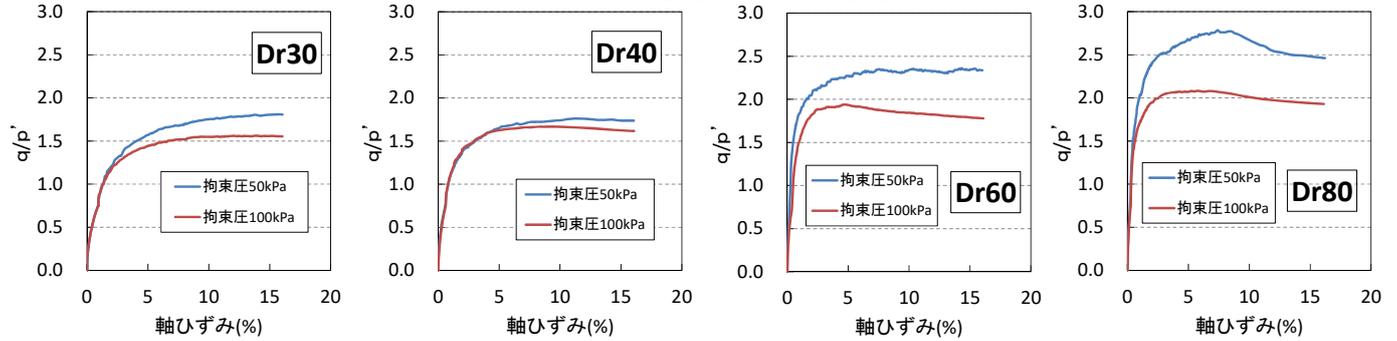


図3 応力比  $q/p'$  と軸ひずみ関係

密度の高い  $Dr=80$  や  $60\%$  (グラフでは例えば  $Dr80$  などと表記) では明確な折れ点が現れるが、相対密度の低い  $Dr=30\%$  などは折れ点が不明瞭となる。明確な折れ点ほど急激な応力低下を意味するが、 $Dr$  が高いほど一気に崩壊に至り、 $Dr$  が低いほど徐々に崩壊することがわかる。この崩壊時の応力比  $q/p'$  を拘束圧  $50\text{kPa}$  の場合のみ破線で表した。相対密度が低い  $Dr=30$  や  $40\%$  では  $q/p'$  にそれ程大きな差は無いが、相対密度が高い  $Dr=60$  や  $80\%$  では次第に  $q/p'$  が大きくなる。図3に  $q/p'$  と軸ひずみの関係を示し、図4に相対密度と  $q/p'$  の関係を示す。吸水軟化試験は、有効応力を0に近づけていくため、応力比の限界の値は3となる。この3に近い方が浸透破壊に対する抵抗、すなわち浸透耐性が大きいと考えることができる。相対密度が低い  $Dr=30$  と  $40\%$  では、いずれの拘束圧でも1.5前後の値となっており、変化もほとんどない。しかしながら、相対密度が高い  $Dr=80\%$  では  $q/p'$  が2.5となっており、限界値の3に近い数値となっている。これら  $q/p'$  の値は、全ての相対密度の試験結果において、拘束圧が小さい  $50\text{kPa}$  の方が大きくなっており、空中落下法による6号珪砂の供試体においては低拘束圧の浸透耐性が大きいことがわかる。この傾向は、中間土を用いた吸水軟化試験において拘束圧の増加と共に  $q/p'$  が低下していくパターン<sup>3)</sup>と一致する。

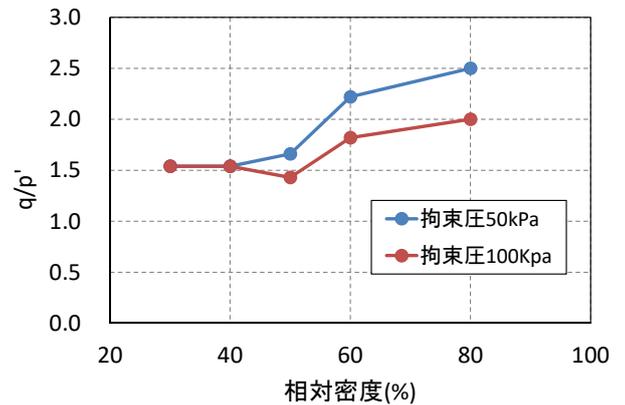


図4 崩壊時の  $q/p'$  と相対密度の関係

#### 4. まとめ

6号珪砂を用いた吸水軟化試験を実施した結果、細粒分がほとんど含まれない砂であっても、相対密度が高い密詰め砂の場合には、限界値に近い応力比の値を示すことがわかった。また、相対密度が低いと応力比はあまり変化せず、相対密度が高くなると急激に応力比が増大し、浸透耐性が高まることが示された。なお、本報の吸水軟化試験では、間隙水圧増加時に軸差応力が若干低下してしまっているために、崩壊時の応力比  $q/p'$  をやや過大評価している可能性があり、試験法の確立には検討すべき課題も残されている。

参考文献：1)小高ら：弾塑性論と吸水軟化試験による砂質土の強度定数に関する考察，第70回土木学会年次学術講演会，2015。2)小高ら：「粘性土」堤体土の浸透時の力学特性の評価，第4回河川堤防技術シンポジウム，2016。3)小高ら：吸水軟化試験による細粒分が卓越した堤防土の浸透耐性の評価，第52回地盤工学研究発表会，2017。4)田中ら：中間土堤体土の吸水軟化試験における供試体作製方法による浸透耐性の評価，第72回土木学会年次学術講演会，2017。