

河川堤防, 礫質土, 三軸試験

名城大学 国際会員 小高猛司・崔 瑛  
 名城大学院 学生会員 ○田村太郎 武 楊  
 建設技術研究所 国際会員 小林芳樹 李 圭太

1. はじめに

礫質堤防土は原粒度のまま三軸試験などの室内力学試験を実施するのは難しいため、粒度調整試料で三軸試験を行うか、あるいは力学試験自体がなされずに N 値などの地盤調査結果から推定する場合もあり、総じて現地礫質堤防の土質定数評価法は明確に定まっていない。また、室内試験を実施する場合においても、供試体の再構成方法についての検討も十分にはなされていないのが現状である。本報では、河川堤防で採取した礫質土を用いて原粒度に近い試料での大型三軸試験を実施することにより、粒度調整や供試体作製時の含水比、相対密度等の供試体再構成時の各種の条件が堤防土の力学特性の評価に及ぼす影響について検討した。

2. 試験の概要

実験試料は高知県仁淀川河口付近の高水敷からバックホウを用いて採取した。細粒分が流出しないように泥水まで丁寧につく取り、実験室に慎重に搬入し、乾燥させた後、四分法を用いて試験に必要な分量まで均等に小分けした。最大・最小密度試験の試験結果より、礫試料の最大密度は  $2.12\text{g/cm}^3$ 、最小密度は  $1.85\text{g/cm}^3$  であった。

実施した室内試験は直径 20cm、高さ 40cm の供試体寸法の大型三軸試験である。ごく稀に含まれる大径の礫は除外し、最大粒径 53.0mm とした。また、比較のため最大粒径 37.5mm に粒度調整した試料も準備した。図 1 に試験試料の粒度分布を示す。

原粒度に近い最大粒径 53.0mm の試料を用いて、初期含水比を 2% に調整した後に、5 層に分けて慎重に密度管理をしながら締め固め、相対密度 50% および 60% の 2 種類の供試体を作製した。最大粒径 37.5mm の試料については、相対密度 50% のみとした。その後、2 重負圧法による飽和化を行い、1 時間等方圧密した後に、荷重速度  $0.1\%/\text{min}$  で非排水せん断試験を実施した（すなわち CUB 試験）。

3. 試験結果

図 2 に最大粒径 53.0mm 試料の相対密度 50% および 60% の CUB 試験結果を示す。いずれの試験においても典型的な密詰め差のせん断挙動を示しているが、相対密度 60% の方がその傾向はより顕著である。相対密度 60% の有効拘束圧 150kPa のケースでは、軸ひずみ 10% の段階で試験装置の荷重容量に近づいたためせん断を終了している。その他のケースについては、軸ひずみ 15% までせん断を実施した。図 3 には、最大粒径 37.5mm、相対密度 50% の CUB 試験結果を示す。図 2 の結果と比較すると、ほぼ同じ傾向を示しているが、有効拘束圧 150kPa のケースについては最大粒径 37.5mm の方が密詰め傾向を示し、有効拘束圧 100kPa のケースについては最大粒径 53.0mm の方が密詰め傾向を示しており、粒径による明確な差は判別できない。

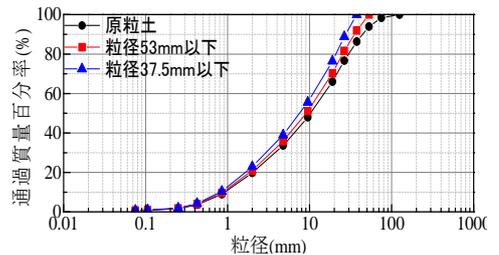


図 1 試験試料の粒度分布

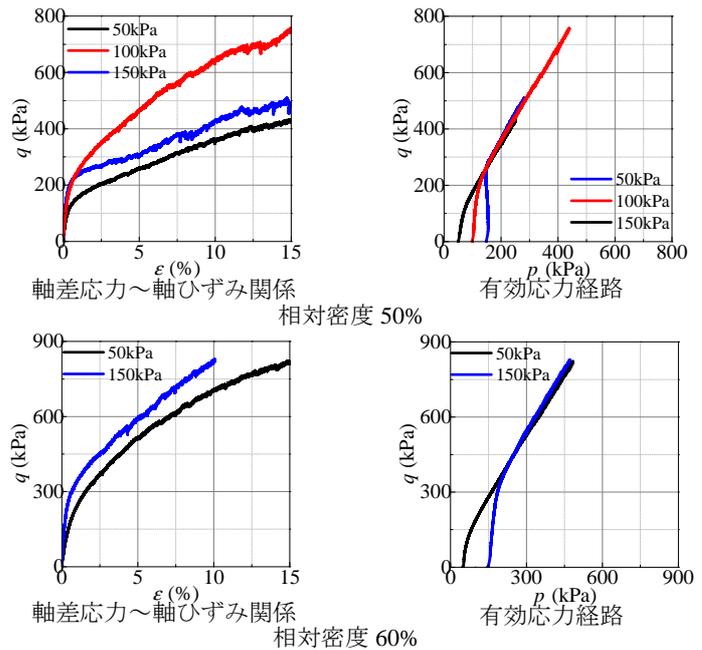


図 2 CUB 試験結果 (最大粒径 53mm 以下)

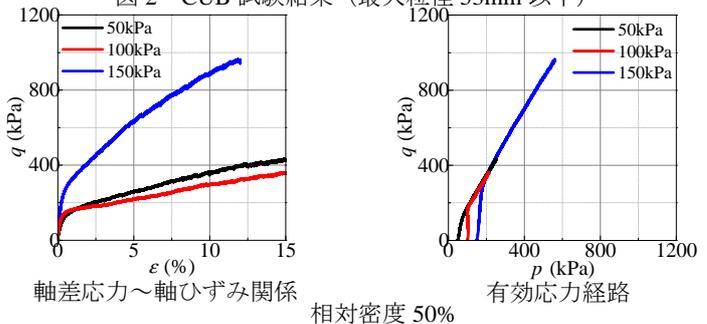


図 3 CUB 試験結果 (最大粒径 37.5mm 以下)

図 4 に最大粒径 53.0mm 試料のモールの応力円を示す。それぞれ全応力と有効応力で整理しているが、全応力は CU 試験結果に相当する。また、図 5 には最大粒径 37.5mm 試料のモールの応力円を示す。いずれのケースにおいても、全応力で整理すると拘束圧に整合したモールの応力円を得ることはできず、強度定数の設定は難しい。これは各試験における最大軸差応力の大きさの不整合を反映している。本試験試料のように密詰め傾向を示す材料の場合には、図 2 および 3 の有効応力経路を見ればわかるように、最大軸差応力は理想的な完全非排水条件下で得られるものであり、特に最大値に関しては、現実的に礫質土堤防が発揮するせん断強度とは本質的な関係はない。また、この完全非排水条件下での最大軸差応力の大きさは、試料のわずかな乱れの影響を受けやすいこともわかっており、堤防土の強度定数を評価するための適切な指標ではない。したがって、CU 試験（全応力）の結果を強度定数の評価に用いるのは不適切である。ただし、礫質土堤防の強度評価に CU 試験を用いることは現実的には少ない。有効応力のモールの円については、いずれもせん断中のダイレイタンスー特性が反映されているため、有効拘束圧に整合するモールの応力円が得られている。

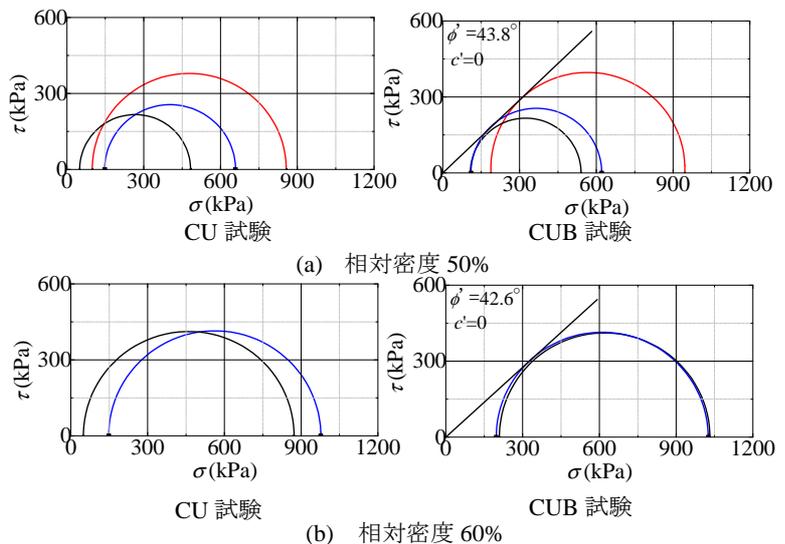


図 4 モールの応力円 (最大粒径 53mm)

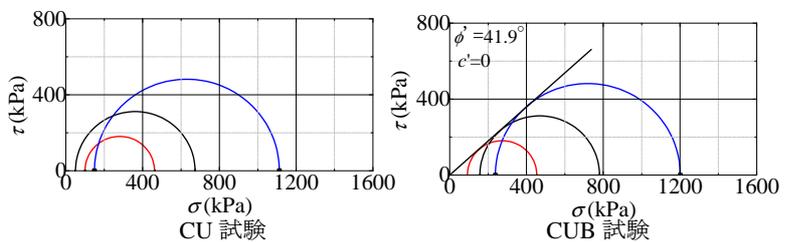


図 5 モールの応力円(相対密度 60%)  
(最大粒径 37.5mm)

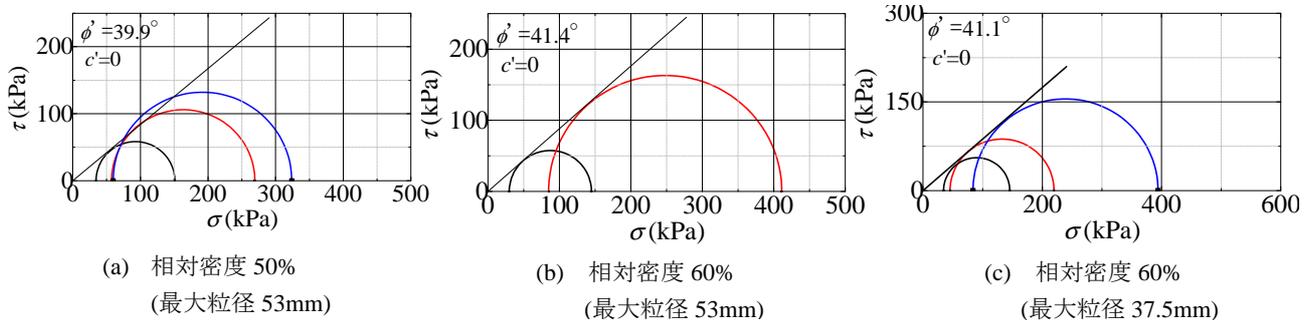


図 6 変相時における CUB 試験でのモールの応力円

筆者らは、堤防土の強度定数を適正に評価するために、CUB 試験を実施した上で、変相時の応力で強度定数を評価することを提案している 2)。図 6 は各試験ケースの変相時の有効応力で整理したモールの応力円である。通常の CUB 試験結果に三者の差がそれほど生じていなかったこともあり、変相時で評価した強度定数にも大きな差はない。CUB 試験の内部摩擦角 $\phi'$ と比べると、変相時の内部摩擦角 $\phi_p$ は若干小さくなっているが、それほど大きな差ではない。

#### 4. まとめ

本研究で用いたような細粒分を多く含まない礫質土を用いて CUB 試験を実施すると、典型的な密詰めせん断挙動を呈することが多い。その場合、試験後半において、正のダイレイタンスーを体積拘束することによって過大に増加する軸差応力は、本来の堤防が発揮するせん断強度とは本質的に異なる。本報で試行している変相状態での強度定数の評価は、非現実的な非排水せん断を引き起こす前の状態で本質的な土質定数を決定するための提案である。ただし、再構成試料では、通常の CUB 試験との差が出にくい 3) こともあり、明確な差別化を示すことはできなかった。今後は、より小さな粒径まで粒度調整した試料での評価も実施する。

参考文献：1) 小高ら：三軸試験の試験条件が河川堤防土の強度定数に及ぼす影響，河川技術論文集，19，2013. 2) 小高ら：河川堤防の安定性照査に用いる適切な強度定数の検討，第 59 回地盤工学シンポジウム論文集，2014. 3) 小高ら：砂質堤防土の強度定数評価に及ぼす供試体再構成と凍結過程の影響，第 50 回地盤工学研究発表会，2015.