

# 三軸試験による河川堤防礫まじり砂の強度評価

河川堤防, 三軸試験, 礫混じり砂

名城大学 国際会員 小高猛司・板橋一雄  
 建設技術研究所 国際会員 李 圭太  
 名城大学大学院 学生会員 ○中島康介・岸 賢吾  
 元名城大学生 天野留実  
 ジオ・ラボ中部 正会員 坪田邦治・加藤雅也

## 1. はじめに

河川堤防は現地発生土で築造されている場合が多く、礫分から細粒分まで幅広い粒度の土で構成されていることが多い。しかしながら、大きな礫を含む堤防構成土の強度定数を室内試験で求めるには、大型三軸試験を実施する以外には、大きな礫を除外して試験を実施するしか手段はない。別報<sup>1)</sup>において、原粒度の礫混じり砂の試料を用いた大型三軸試験と大きな礫を除外して粒度調整した小型三軸試験の $\overline{CU}$ 試験結果を比較したところ、いずれも現場密度に合わせて再構成した供試体であっても、両者の結果は大きく異なることがわかった。

本報では、現地堤防で採取した礫混じり砂を用いて、小型あるいは中型の三軸試験により適正に強度評価を行う手法について、粒度調整の観点から検討を行った。

## 2. 粒度調整の方法と実験手順

図1に実際の堤防で採取した礫混じり砂の原粒度の分布を示す。直径9.5mm以上の礫を質量比で32%含んでおり、原粒度のままでは通常三軸試験を実施するのは困難である。本報では、小型三軸試験(直径5cm, 高さ10cm)と中型三軸試験(直径10cm, 高さ20cm)を行い、大型三軸試験結果との比較を行うが、小型三軸試験の場合には9.5mm超の粒径の礫を取り除き、中型三軸試験の場合には19.1mm超の礫を取り除いた。また、小型三軸の場合には、原粒度の試料から単に9.5mm以上の礫を除外する通常の粒度調整をした試料(以下、通常粒調試料)と9.5mm超の礫分を取り除いた同じ質量分だけ、4.75mm~9.5mmの礫を人為的に混入した試料(以下、礫分粒調試料)の2種類で実験を行った。なお、礫分粒調試料は図1の粒度分布からわかるように、4.75mm以下の粒径に関しては原粒度試料と全く同じ粒度分布となっていることが特徴である。

小型、中型ともに自然乾燥状態の試料を現場と同じ乾燥密度 $1.57\text{Mg/m}^3$ となるように、5層に分けて空中落下法により供試体を作製し、二重負圧法にて飽和化を行った後に、背圧200kPaで軸ひずみ速度0.1%/minで $\overline{CU}$ 試験を行った。

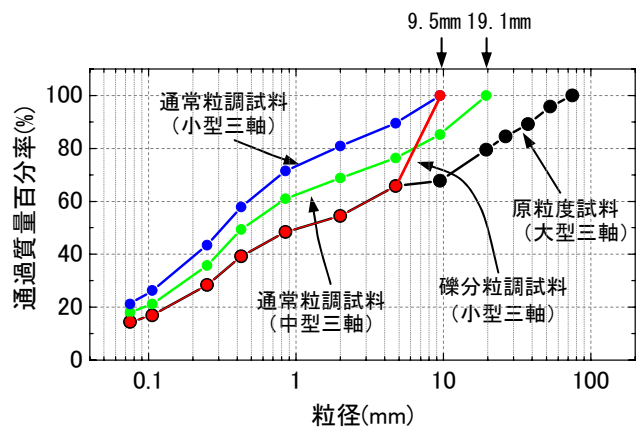
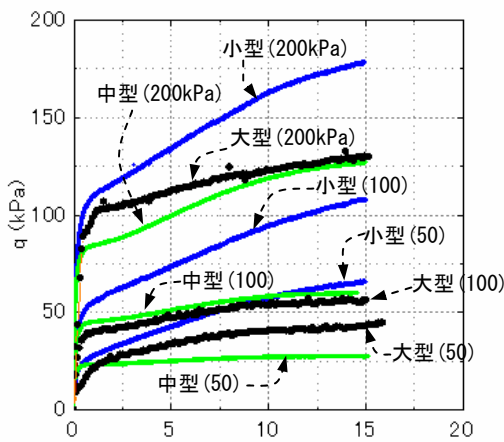
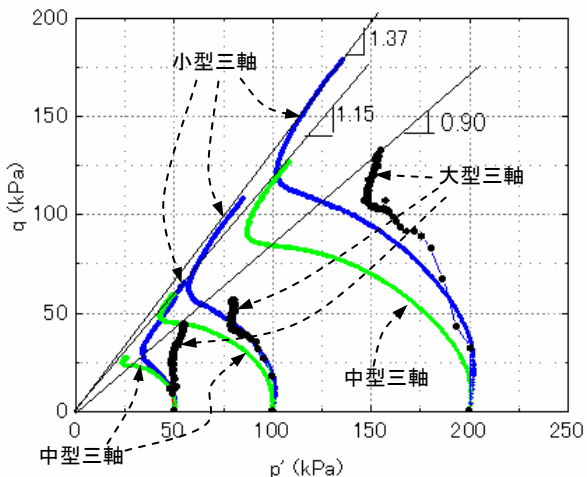


図1 実験試料の粒度分布



(a) 軸差応力~軸ひずみ関係



(b) 有効応力経路

図2 大型三軸(原粒度試料), 中型三軸(通常粒調試料), 小型三軸(通常粒調試料)の各試験結果

### 3. 供試体径の違いによる三軸試験結果の比較

図2に大型（原粒度試料）、中型（通常粒調試料）、小型三軸試験（通常粒調試料）の結果をまとめて示す。粒度調整によって各寸法の供試体に含まれる礫の最大粒径は異なるものの、密度は同一として各供試体をそれぞれ再構成をして作製し三軸試験を行ったが、大型、中型、小型のそれぞれの試験で傾向が異なる結果となった。

図2(b)の有効応力経路を見ると、どの試験も塑性圧縮した後に変相し、正のダイレイタンスにより軸差応力が増大する挙動は同じであるが、その度合いはそれぞれの大きさの試験ごとに異なっている。具体的には、中型三軸の方が小型三軸に比べて過剰間隙水圧の上昇が大きく、それに伴う有効応力の減少度合いが大きい。変相角も中型三軸の方が小さく、変相後の軸差応力の増加も小さい。大型三軸では、変相角や破壊線の傾きは中型よりもさらに小さくなるが、過剰間隙水圧の発生傾向は中型よりもむしろ小型三軸の試験結果に近く、初期有効拘束圧 100kPa ならびに 200kPa の大型三軸の有効応力経路は、途中まで小型三軸の有効応力経路に近い。しかしながら、大型三軸は小型三軸に比べて変相がはやく起こり、また正のダイレイタンスに伴う軸差応力の増加量も小さい。

礫混じり材料の相対密度を計測することは非常に難しく試験規格も統一されていないが、今回、小型および中型三軸に用いた通常粒調試料について、直径 10cm、高さ 20cm のモールドを用いて、乾燥状態での最大密度、最小密度を計測した。その結果、今回の乾燥密度  $1.57\text{Mg/m}^3$  の供試体の相対密度は、小型供試体で 36%、中型供試体で 4% となり、この差が、小型三軸と中型三軸の試験結果の差となって表れたと考えられる。一方、大型供試体の相対密度については、供試体と同サイズの大型モールドで計測するだけの試料を確保していなかったために、直径 15cm、高さ 15cm のモールドで最大密度、最小密度を計測して相対密度を計算したところ -26% となり、極めてゆる詰めであることが確認できた。相対密度が負の値になるのは、モールドのサイズが小さく、大きな礫が混入した状態での正確な最小密度の計測ができなかったことによるものと考えられる。いずれにしても大型三軸の供試体は、中型供試体よりもゆる詰めであると考えられるが、変相するまでの塑性圧縮の程度は中型三軸よりも小さく、一概に相対密度だけで論じることは難しい。

### 4. 粒度調整による三軸試験結果の比較

大型供試体とはできるだけ粒度分布を変えないように、4.75mm 以下の粒径の土の質量比は大型供試体と同一とし、それ以上の礫の含有率も同一とするような、礫分粒調試料の試験結果を次に示す。図3は小型三軸の礫分粒調試料の試験結果を、図2に示した各寸法の三軸試験結果と比較したものである。有効応力経路を見ると、有効拘束圧 200kPa の礫分粒調試料の試験結果が若干難があると思われるが、総じて小型三軸の通常粒調試料の試験結果と比べてゆる詰め砂の傾向が大きくなる。特に変相後の軸差応力の増加は非常に小さくなり、正のダイレイタンスの発揮が抑制されていることがわかる。また、有効拘束圧 50kPa ならびに 100kPa において、礫分粒調試料の有効応力経路は中型三軸の経路と近く、塑性圧縮の傾向が類似することがわかる。その一方で、変相角は大型三軸の変相角と極めて近く、変相後の軸差応力の増加量も大型三軸の試験結果に非常に近い。

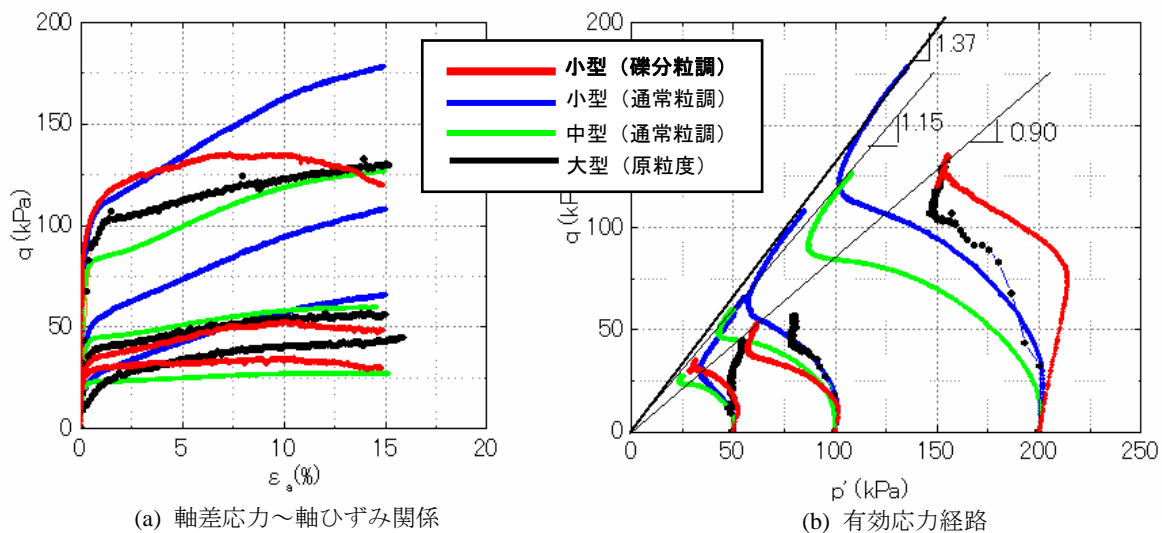


図3 小型三軸（礫分粒調試料）の試験結果

### 5. まとめ

大型三軸試験の試験結果が、原粒度の土の変形・強度特性を知る上で最も適切であると仮定した場合、供試体に混入できる最大粒径に限度がある小型三軸を用いて、大型三軸に近似した変形・強度特性を得るために、粒度調整の観点から検討を行った。その結果、礫含有率を揃えることが、その方法のひとつであることが示唆された。

参考文献：1) 小高ら：河川堤防礫混じり砂の大型三軸試験，第43回地盤工学研究発表会概要集，2008.