

河川堤防砂礫の変形・強度特性の適正な評価

Evaluation of deformation and strength characteristics of sandy gravel in river embankments

中島康介*, 牧田祐輝*, 小高猛司**, 板橋一雄**, 李圭太***, 坪田邦治****, 加藤雅也****

Kosuke NAKASHIMA, Yuki MAKITA, Takeshi KODAKA, Kazuo ITABASHI, KyuTae LEE,

Kuniharu TUBOTA and Masaya KATO

大きな礫から細粒分まで含む河川堤防土について、原粒度のままの変形・強度特性を求めるには大型三軸試験を行うのが理想であるが、現実には、大きな礫を除外した粒度調整試料を用いて室内試験を実施することになる。本研究では、河川堤防で採取した礫混じり砂を用いて原粒度の大型三軸試験を実施することにより、供試体密度と排水条件が試験結果に及ぼす影響について検討した。さらに、粒度調整した小型三軸試験も実施し、大型三軸試験と同様の検討を実施した。その結果、大型、小型ともに、CD試験で得られる ϕ_d とCU試験で得られる ϕ' は、供試体密度が大きい場合にはほぼ同じになるものの、供試体密度が小さくなると大きな差が生じることが示された。また、大型と小型の結果を比較すると、同じ供試体密度であっても、供試体の寸法効果によって、小型の試験結果はかなり密詰め傾向を表すことがわかった。しかしながら、本論文で提案している礫分含有率を変えない粒度調整を行うことで、小型の試験結果は大型の試験結果に近づくことが示された。

キーワード：河川堤防，砂礫，大型三軸試験，供試体密度，排水条件

River embankments, sandy gravel, large size triaxial test, density of specimen, drainage condition

1. はじめに

現在、全国の国土交通省直轄河川の堤防において、浸透に対する安全性評価のための詳細点検が実施されているが、現状におけるすべり破壊に対する安全性評価は、全応力解析で行われ、主に室内三軸試験で得られた強度定数が用いられる。その際、強度定数は堤防構成土が粘性土であればUU試験、砂質土であればCU試験で求められる¹⁾。一方、河川堤防は現地発生土で築造されている場合がほとんどであり、礫分から細粒分まで広範な粒度の土で構成されていることが多い。そのため、室内試験を行う際には、粒度調整をした再構成供試体を用いることとなる。大きな礫を含有している原粒度のままの土の強度定数を求めるためには、大型三軸試験を実施することが理想であるが、現実にはコストがかかることと大量の実験試料を確保する必要があるため、実務上で実施するのは難しい。また室内試験で用いる供試体は現地堤防の乾燥密度に合わせて作製されることが一般的であるが、その密度のわずかな違いで変形、強度特性が異なることはあまり知られていない。本研究では、現地堤防で採取した砂礫を用いて大型三軸試験を実施し、大きな礫分を除外して実施した小型ならびに中型三軸試験との比較を行った。また異なった供試体密度で再構成した供試体を用いて大型三軸試験ならびに小型三軸試験も実

施した。以上の実験をふまえ、粒度調整、供試体寸法、供試体密度、排水条件に着目し、それらの試験条件の違いが砂礫の力学特性に及ぼす影響について検討した。

2. 試験方法

図-1 および図-2 はそれぞれの実験試料の粒度分布を示す。実際の詳細点検がなされた小鴨川、高津川、江の川の3河川で採取した試料を用いた。いずれの試料も、1ヶ所から大型三軸試験での必要量(100kg 弱)を確保することは困難であるため、同じ堤防のいくつかの地点で採取した試料を混合して用いた。高津川試料においては大型、中型および小型三軸試験を実施し、大型三軸試験の場合には図に示す原粒度のままの試料を用いて試験を実施した。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試料を用いて試験を実施した。特に、小型三軸試験の場合には、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、通常粒調試料と呼ぶ)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礫含有率を原粒度試料と同一とした試料(以下、礫分粒調試料と呼ぶ)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

*	名城大学大学院 大学院生	Graduated Student, Graduate school of Science and Technology, Meijo University
**	名城大学理工学部 教授	Prof., Faculty of Science and Technology, Meijo University
***	(株) 建設技術研究所	CTI Engineering, Co., Ltd.
****	ジオ・ラボ中部	Geo-Labo Chubu

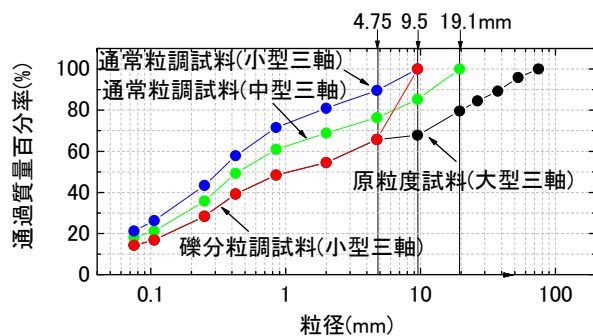


図-1 高津川試料の粒度分布

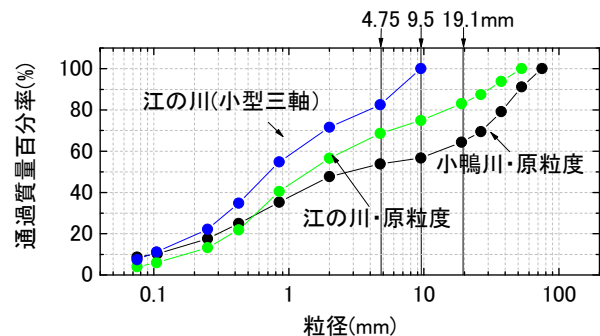


図-2 小鴨川および江の川試料の粒度分布

表-1 内部摩擦角と粘着力(小鴨川および江の川)

試料名	小鴨川				江の川			
供試体	大型				小型			
乾燥密度(g/cm ³)	1.8		1.69		1.78		1.66	
締固め度(%)	90		85		90		85	
試験条件	C $\bar{U}$	CD	C $\bar{U}$	CD	C $\bar{U}$	CD	C $\bar{U}$	CD

表-2 内部摩擦角と粘着力(高津川)

試料名	高津川			
粒度調整法	通常粒調			礫分粒調
供試体	小型	中型	大型	小型
乾燥密度(g/cm ³)	1.57(ゆる詰め)			
試験条件	C $\bar{U}$			

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。小鴨川試料においては原粒度のままの試料を用いて大型三軸試験を実施し、江の川試料においては 9.5mm 超の粒径の礫を取り除いた試料を用いて小型三軸試験を実施した。高津川試料を用いた試験において供試体密度は大型、中型および小型ともに現地堤防で計測した乾燥密度と同じ 1.57g/cm³とし、自然乾燥試料をモールド内で 5 層ずつ密度管理をしながら、軽く締固めて供試体を作製した。この場合、突固め試験を実施しておらず正確な締固め度は得られていないが、比較的ゆる詰め供試体となっている。小鴨川および江の川試料においては、乾燥密度は別途実施した突固め試験を参考にし、小鴨川試料においては締固め度 90%、85%に対応するように 1.8、1.69 g/cm³とし、江の川試料においては締固め度 90、85、80%に対応するように、1.78、1.66、1.56g/cm³とした。小鴨川試料を用いた大型三軸試験においては、高津川試料と同様に、乾燥状態の試料を 5 層ずつモールド内で締固めることにより供試体を作製した。江の川試料を用いた小型三軸試験においては、含水比 14%に水分調整した後に、モールドを用いて 5 層に突き固めて供試体を作製した。大型三軸試験においては高津川試料、小鴨川試料ともに供試体作製後、二酸化炭素による飽和化を行い、18 時間程度、50、100、200kPa の有効拘束圧で等方圧密させてから、載荷速度は 0.1%/min でせん断を行った。高津川試料を用いた小型、中型三軸試験および江の川試料を用いた小型三軸試験においては

供試体作製後、二重負圧法にて飽和化を行い、小型では 1 時間、中型では 1 時間半、50、100、200kPa の有効拘束圧で等方圧密し、載荷速度は 0.1%/min でせん断を行った。試験条件は高津川試料を用いた試験では C $\bar{U}$ 試験、小鴨川および江の川試料を用いた試験では C $\bar{U}$ と CD の 2 種とした。表-1 および表-2 ではそれぞれ高津川および小鴨川、江の川試料で用いた各種三軸試験の供試体データを示す。

3. 供試体寸法の違いによる三軸試験結果の比較

図-3 に高津川試料を用いた大型(原粒度試料)、中型、小型(いずれも通常粒調試料)の三軸試験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再構成したが、それぞれの供試体寸法で傾向が異なる結果となった。図-3(a)の応力～ひずみ関係を見てみると、いずれの供試体寸法においてもせん断初期に軸差応力が大幅に増加し、その後単調に増加し続ける傾向がある。しかしながら小型の試験結果では大型および中型に比べ、軸差応力が大きな傾きで単調に増加している。また有効拘束圧 100 および 200kPa の大型、中型を比較すると、軸差応力の最大値は同じような値を示している。

図-3(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供試体寸法ごとに異なっている。具体的には、中型の

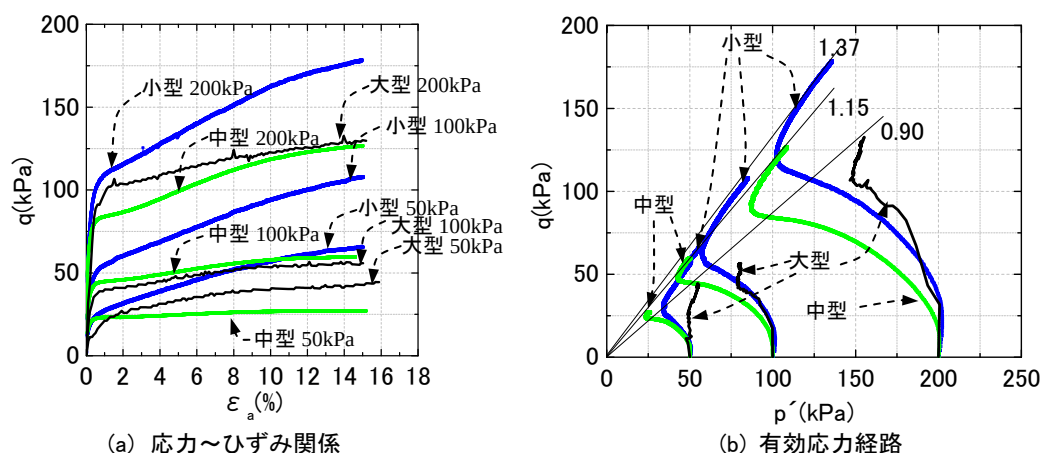


図-3 供試体寸法の違いによる三軸試験結果の比較(高津川・通常粒調)

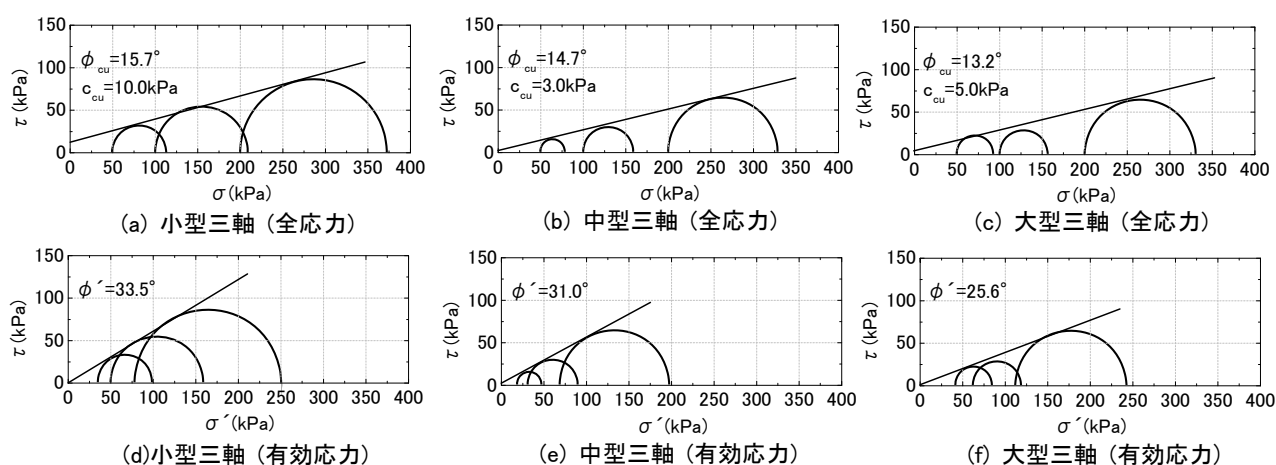


図-4 全応力と有効応力のモールの応力円(高津川・通常粒調)

表-3 内部摩擦角と粘着力(高津川)

実験の種類	$\phi_{cu} (^{\circ})$	$c_{cu} (kPa)$	$\phi' (^{\circ})$
小型三軸試験	15.7	10.0	33.5
中型三軸試験	14.7	3.0	31.0
大型三軸試験	13.2	5.0	25.6

方が小型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。変相角も中型の方が小さく、変相後の軸差応力の増加も小さい。大型では、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の試験結果に近く、初期有効拘束圧 100kPa ならびに 200kPa の大型の有効応力経路は、途中まで小型の有効応力経路に近い。しかしながら、大型は小型に比べて変相がはやくなり、また正のダイレイタンスに伴う軸差応力の増量も小さい。

図-4 はそれぞれの、三軸試験における破壊時のモールの応力円とそれらから求められる破壊規準ならびに強度定数を示す。表-3 は図-4 の結果の強度定数をまとめて示したものである。全応力で整理した内部摩擦角はいずれもかなり小さく、比較的ゆる詰めであることがわかる。内部摩擦角 ϕ_{cu} の値は大型、中型および小型ではほとんど

差がない。現状の河川堤防の安定性検討の実務においては、砂質土に対しては CU 試験を実施し、それで求められる内部摩擦角 ϕ_{cu} のみを強度定数として用いることとされている¹⁾。その観点においては、今回の試験結果は、供試体寸法の影響は小さく、小型三軸試験で現地堤防砂の強度を評価しても差し支えないことになる。しかしながら、図-3 で見たように、各供試体寸法でせん断挙動は大きく異なっており、その差は図-4 の有効応力で整理した内部摩擦角 ϕ' の差としても明確に表れており、CU 試験では土のせん断特性まで把握できないことに注意する必要がある。

4. 粒度調整による三軸試験結果の比較

図-5 および図-6 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示す。図-5 は小型三軸の礫分粒調試料の試験結果を、図-3 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、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

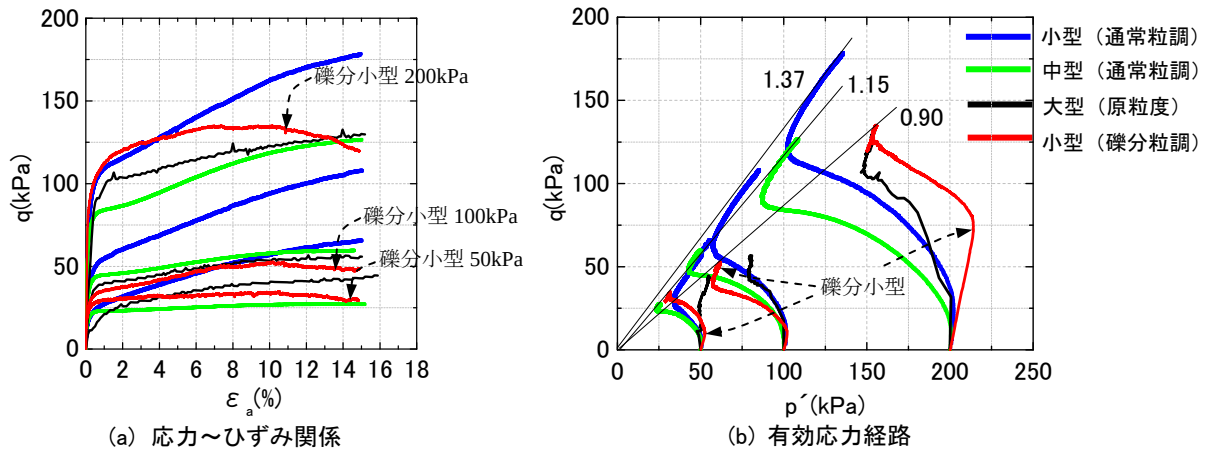


図-5 礫分粒調試料の小型三軸試験結果（高津川・図-4に追記）

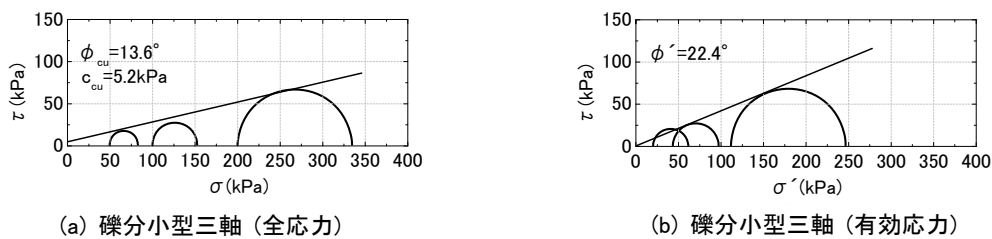


図-6 全応力と有効応力のモールの応力円（高津川・礫分粒調試料）

制されることがわかる。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-6 は礫分粒調試料の全応力および有効応力で整理したモールの応力円を示す。 ϕ_{cu} は通常粒調のものと同様に小さな値となった。また ϕ' は大型三軸試験の試験結果に非常に近い値となっている。

5. 供試体密度の違いによる大型三軸試験の結果の比較

図-7 および図-8 は小鴨川試料を用いた実験結果の応力～ひずみ関係および有効応力経路を示す。図-7 の応力～ひずみ関係を見てみると、締固め度 90% の CD 試験では、どの拘束圧でも軸ひずみ 7～8% 付近で増加が止まり一定値となるか、やや減少している。一方、締固め度 85% の CD 試験では、有効拘束圧 50、100kPa の場合は軸ひずみ 7～8% 付近で増加が止まることにおいては締固め度 90% と同様であるが、その後やや軸差応力が増加している傾向がある。有効拘束圧 200kPa の場合は軸ひずみ 9～10% 付近で増加がとまり、その後残留状態に至る。締固め度 90% の $\overline{CU}$ 試験では、軸差応力は単調増加するのに対し、締固め度 85% の $\overline{CU}$ 試験では軸差応力はせん断初期に増加するのみで、その後はほぼ一定値となる。図-8 の有効応力経路を見てみると、締固め度 90% の $\overline{CU}$ 試験では、せん断初期に少し塑性圧縮を示し、その後正のダイレタンシーの発現により軸差応力が大きく増加している。また、 $\overline{CU}$ 試験での破壊応力比は 1.46、CD 試験での破壊

表-4 内部摩擦角と粘着力（小鴨川・大型三軸）

実験の種類	$\phi_{cu}(^{\circ})$	$c_{cu}(kPa)$	$\phi'(^{\circ})$	$\phi_d(^{\circ})$
締固め度 90%	22.5	39.1	35.3	42.1
締固め度 85%	12.1	0	24.7	40.9

応力比は 1.74 となっており、CD 試験での値は比較的大きな値となった。締固め度 85% の $\overline{CU}$ 試験においては、せん断初期から大きく塑性圧縮し続ける傾向があり、破壊応力比は 1.02 で極めて小さい値となった。一方、CD 試験では、 $\overline{CU}$ 試験とは対照的に、せん断中の排水の効果により破壊応力比は 1.73 と非常に大きくなった。締固め度 90% の CD 試験と締固め度 85% の CD 試験では破壊応力比を比較すると、同じような値となっている。また締固め度 90% の $\overline{CU}$ 試験と締固め度 85% の $\overline{CU}$ 試験の有効応力経路を見ると、正のダイレタンシーに変相するまでの経路は非常に近いことがわかる。

図-9 および図-10 は、大型三軸試験における破壊時のモールの応力円とそれらから求められる破壊規準ならびに強度定数を示す。表-4 は各試験で得られた内部摩擦角と粘着力をまとめたものである。 $\overline{CU}$ 試験では全応力でも整理することにより、CU 試験と解釈した強度定数も示している。いずれの試料においても、試験条件別の内部摩擦角の大きさは $\phi_{cu} < \phi' < \phi_d$ の順になっている。全応力で整理した場合、密詰め傾向の強い締固め度 90% では大きな粘着力が現れるが、締固め度 85% では粘着力が見られない。いずれの ϕ_{cu} も小さい値となるが、特に緩詰め傾向の強い締固め度 85% の ϕ_{cu} は非常に小さい値となる。また、締固め度 90% において、 $\overline{CU}$ 試験による ϕ' と CD 試

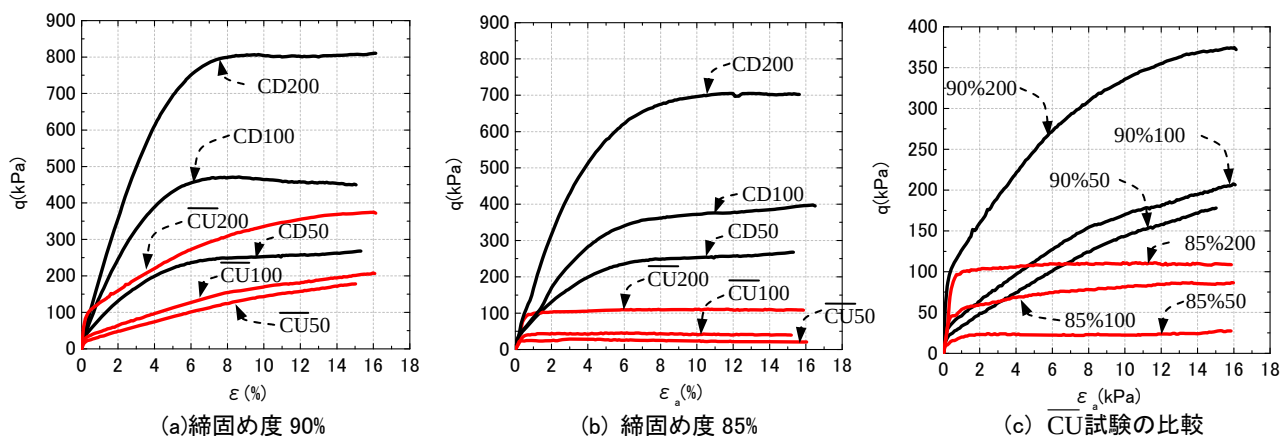


図-7 供試体密度の違いによる大型三軸試験結果の比較(応力～ひずみ関係) (小鴨川・大型三軸)

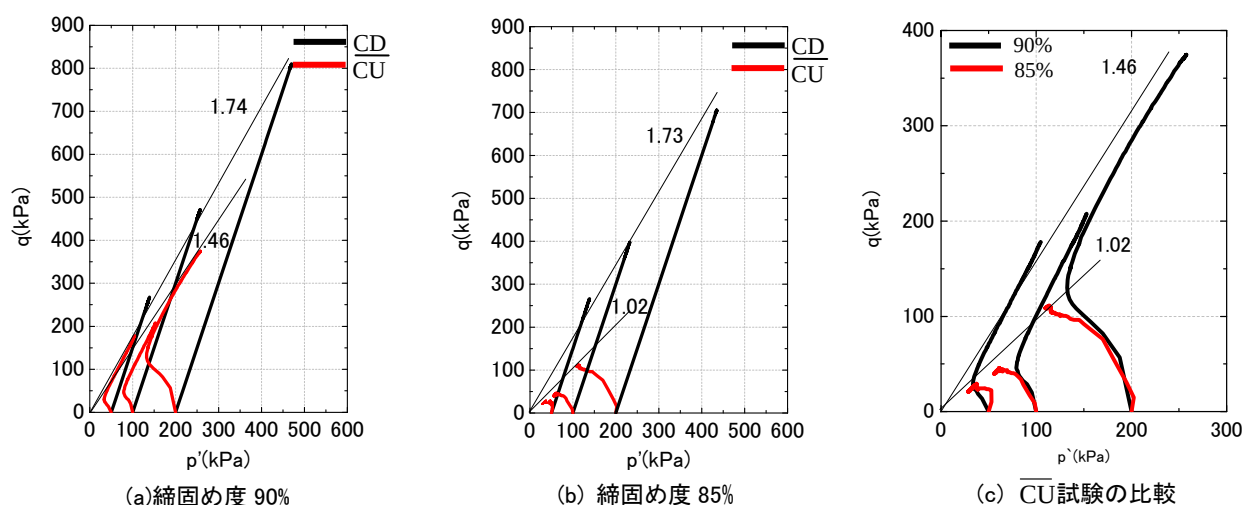


図-8 供試体密度の違いによる大型三軸試験結果の比較(有効応力経路) (小鴨川・大型三軸)

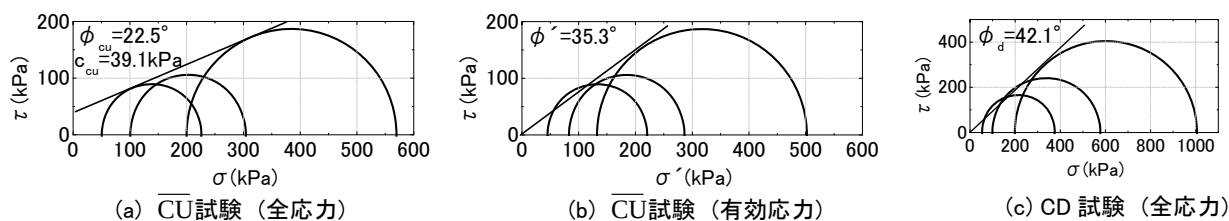


図-9 全応力と有効応力のモールの応力円(締固め度 90%) (小鴨川・大型三軸)

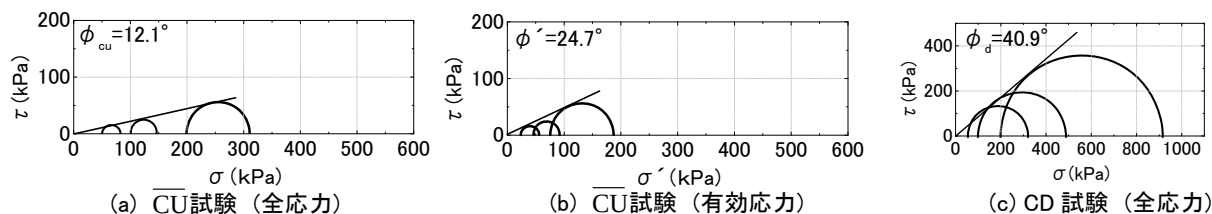


図-10 全応力と有効応力のモールの応力円(締固め度 85%) (小鴨川・大型三軸)

験による ϕ_d を比べると、 ϕ_d の方が若干大きくなっている。ただし、 $\overline{\text{CU}}$ 試験結果にばらつきがあるため、初期有効拘束圧 100kPa の結果のみ比較すると、 ϕ' と ϕ_d にはそれほど大きな差がない。しかし、締固め度 85%においては、

明らかに ϕ' と ϕ_d には大きな差があり、緩詰め傾向の砂礫においては、同じ有効応力で整理した2つの内部摩擦角であっても、せん断中の体積変化の有無によって大きな差が生じることが分かった。

6. 供試体密度の違いによる小型三軸試験結果の比較

前章の大型三軸試験において観察された、供試体密度が力学挙動へ及ぼす影響について、より系統的に調べるために、粒度調整した江の川試料を用いて小型三軸試験を実施した。図-11 および図-12 はそれぞれ、全試験の応力～ひずみ関係および有効応力経路を示す。図-11 に着目すると、締固め度 90%の供試体においては、CD 試験ではピーク強度を示した後、減少するに対し、 $\overline{\text{CU}}$ 試験では軸差応力はなだらかに単調に増加しつづける。一方、締固め度 85%と 80%の供試体においては、CD 試験ではせん断初期の増加傾向は異なるものの、いずれもなだらかに軸差応力は増加し続けるのに対して、 $\overline{\text{CU}}$ 試験では軸差応力はせん断初期に小さいながらもピーク強度を示した後、減少している。図-12 の有効応力経路に着目すると、(a)に示す締固め度 90%の供試体の $\overline{\text{CU}}$ 試験においては、正のダイラテンシーに起因し、せん断の半ばから塑性膨張を伴うひずみ硬化を示し、典型的な密詰めの砂の挙動を示していることが分かる。また、どの初期有効拘束圧の試験においても、最終的な軸差応力の差はほとんどない。初期有効拘束圧 50kPa および 100kPa の $\overline{\text{CU}}$ 試験では、CD 試験で得られる破壊線（破壊応力比 1.58）に漸近してゆくが、初期有効拘束圧 200kPa の試験ではその破壊線に漸近しないまま最終状態となった。図-12 (b)

に示す締固め度 85%の供試体においては、初期有効拘束圧が小さい試験では塑性膨張を示し、初期有効拘束圧が大きい試験では塑性圧縮を示していることが分かる。図-12(c)に示す締固め度 80%の供試体の $\overline{\text{CU}}$ 試験では、ピーク強度を示した後、塑性圧縮を伴うひずみ軟化を示しており、典型的な緩詰め砂の挙動を示していることが分かる。破壊応力比を見てみると、締固め度が小さくなるにつれて、CD 試験および $\overline{\text{CU}}$ 試験で得られた破壊応力比に差が生じていることが分かる。また締固め度 80%の供試体においては、 $\overline{\text{CU}}$ 試験での破壊応力比は CD 試験に比べてさらに小さくなり 1.04 となった。これは後述するように、緩詰め砂になると $\overline{\text{CU}}$ 試験での ϕ' と CD 試験での ϕ_d が、同じ有効応力で整理した内部摩擦角であっても大きく異なることを示唆している。

図-13～図 15 は、小型三軸試験における破壊時のモールの応力円とそれらから求められる破壊規準ならびに強度定数を示す。表-5 に各試験で得られた強度定数、すなわち内部摩擦角と粘着力をまとめて示す。締固め度 90%および締固め度 85%では $c_{cu}=110\text{kPa}$ 、 $c_{cu}=50\text{kPa}$ と非常に大きな粘着力が見られ、逆に締固め度 80%では粘着力が現れないという差があるものの、いずれも全応力で整理したモールの応力円で得られた内部摩擦角 ϕ_{cu} は非常に小さい値となっている。有効応力で整理したモールの

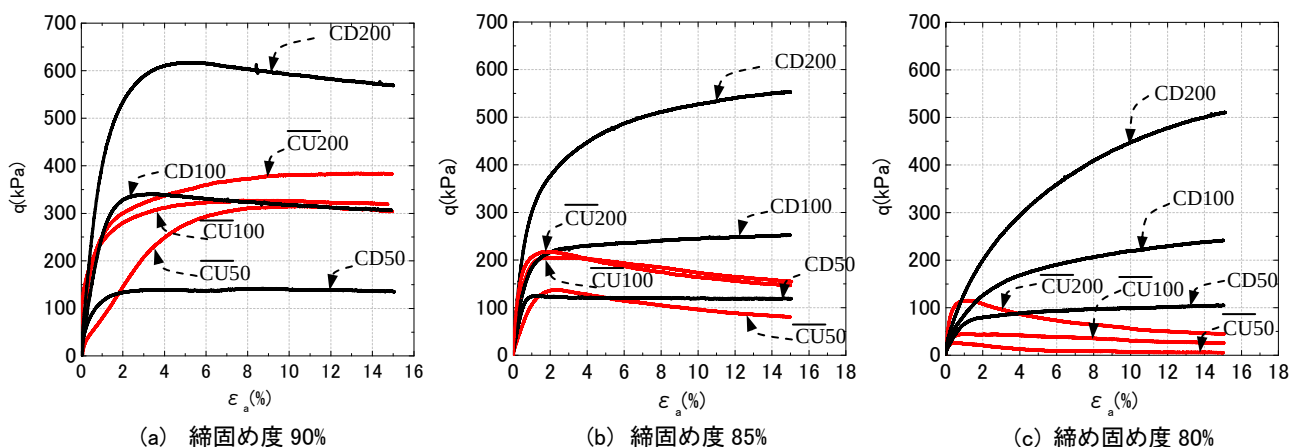


図-11 供試体密度の違いによる小型三軸試験結果の比較（応力～ひずみ関係）（江の川・小型三軸）

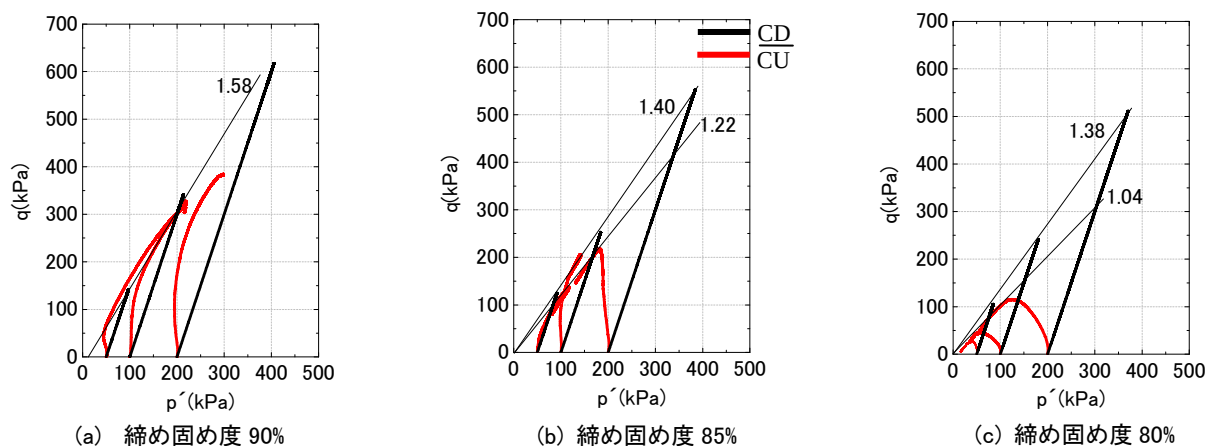


図-12 供試体密度の違いによる小型三軸試験結果の比較（有効応力経路）（江の川・小型三軸）

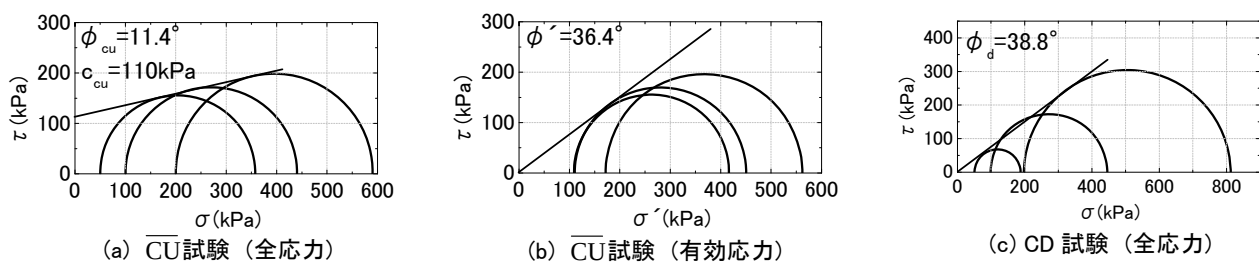


図-13 全応力と有効応力のモールの応力円(締固め度 90%) (江の川・小型三軸)

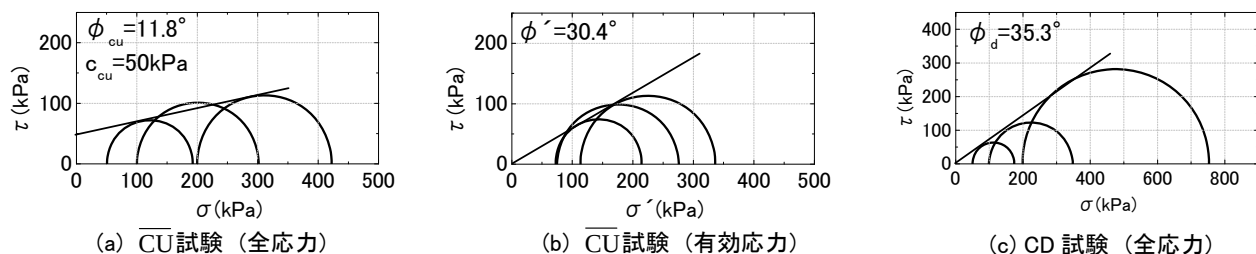


図-14 全応力と有効応力のモールの応力円(締固め度 85%) (江の川・小型三軸)

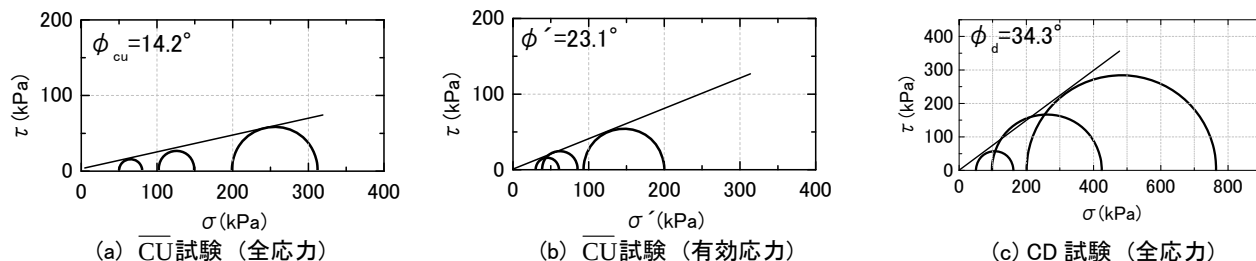


図-15 全応力と有効応力のモールの応力円(締固め度 80%) (江の川・小型三軸)

表-5 内部摩擦角と粘着力(江の川・小型三軸)

実験の種類	$\phi_{cu}(^\circ)$	$c_{cu}(\text{kPa})$	$\phi'(^\circ)$	$\phi_d(^\circ)$
締固め度 90%	11.4	110	36.4	38.8
締固め度 85%	11.8	50	30.4	35.3
締固め度 80%	14.2	0	23.1	34.3

応力円で得られた ϕ' は締固め度の違いにより内部摩擦角も大きく異なる。CD 試験の結果を整理したモールの応力円で得られた ϕ_d は、いずれの試験においても大きな値を示し、ほとんど差がないことが分かる。いずれの試験結果においても、試験条件別の内部摩擦角の大きさは、 $\phi_{cu}<\phi'<\phi_d$ の順になっている。CD 試験は基本的に有効応力であることから CD 試験で得られる強度定数は、 $\overline{\text{CU}}$ 試験で得られる有効応力の強度定数と近いものとなるように考えられる。しかしながら、今回の試験結果では、締固め度が小さくなるにつれて ϕ' と ϕ_d には大きな差が生じている。

7. 結論

様々な供試体寸法で $\overline{\text{CU}}$ 試験を行った結果、河川堤防の実務において砂質土や礫質土の評価には CU 試験が標準であることを想定して、今回の一連の試験を全応力で整理してみれば、大型三軸、中型三軸、小型三軸で得られる内部摩擦角 ϕ_{cu} には大きな差はなかった。しかしながら、せん断時の変形特性まで評価するために有効応力経

路まで着目すれば、大型三軸、中型三軸、小型三軸の試験結果にはせん断挙動に大きな違いが見られた。その結果を受けて、本論文では大型三軸試験の試験結果が原粒度の土の変形・強度特性を最も正確に表していると仮定し、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の粒度調整法について検討も行った。その結果、単に大きな礫分を除外するのではなく、礫含有率を揃えて粒度調整することにより、小型三軸試験であっても、大型三軸試験の変形強度特性に近づけられることがわかった。現状の堤防の安定性評価では全応力に基づく円弧すべり解析を基本としている¹⁾が、昨今ではより詳細に安定性評価を行うための有効応力解析も提案されてきている^{2),3)}。今後、有効応力解析を用いて河川堤防の安定性を検討する際には、実験結果を用いてパラメータを決定する過程において、供試体密度や供試体寸法の効果を十分に吟味するなど、地盤材料の特性を正確に把握しておく必要がある。

一方、供試体密度の効果をより詳細に検討するために、様々な供試体密度の大型および小型供試体で $\overline{\text{CU}}$ 、CD 試験を行った。その結果、締固め度が高いものから低いものまで、どの密度の供試体であっても、全応力で整理した ϕ_{cu} は非常に小さな値となった。河川堤防のすべりに対する安全性検討を行う場合には、粘着力はほとんど考慮せずに円弧すべり安定計算を行うため、たとえ締固め度

が高い密詰め供試体であっても、算出される安全率は小さな値となる。この安全率は安全側ではあるものの、すべりに対して不適格であると過度に判定される堤防も多く発生してしまうなど不都合も多い。そのような場合には、現場の技術者の判断で CD 試験で得られる ϕ_d を強度定数として用いる事例もしばしば見られる。しかしながら、本論文の実験結果からも分かるように、締固め度が高い場合には、それほど大きな問題はないとおもわれるものの、締固め度が低くなるにつれて ϕ' と ϕ_d には大きな差が生じており、たとえ CD 試験で得た ϕ_d が大きい場合でも、 $\overline{CU}$ 試験を見る限り、構造的にも不安定な緩詰め傾向が強い場合があり、危険な判断となる場合もある。したがって、全応力解析に CD 試験の結果を用いる場合には、対象とする砂礫材料の現地での密度を考慮し、結果として表れるダイレタンシー特性や透水性まで含めて、

十分にその地盤材料の力学特性を把握しておく必要がある。また、有効応力解析を実施する場合であっても、材料パラメータの決定の際には、現地堤防の密度を十分に反映した実験結果を用いて評価を行う必要がある。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター:河川構造の構造検討の手引き, 2002.
- 2) 小高猛司:地盤防災に対する数値地盤力学～地盤材料－間隙流体相互作用のモデリング～, 地学雑誌, Vol.115, No.3, pp. 295-308, 2006.
- 3) 李圭太, 小山倫史, 大西有三, 古川秀明, 小林猛嗣:越流を考慮した河川堤防の浸透崩壊に対する応力－浸透連成解析, 地盤工学ジャーナル, Vol.4, No.1, pp. 1-9, 2009.

In the present paper, in order to study the dry density of specimen and the drainage conditions on the shear characteristics of sandy gravels in river embankments, various series of large triaxial test were performed using the original grain sandy gravels. The small size triaxial tests using the graded grain soils were also performed to compare the results of the large size triaxial tests using the original grain soils. From the results of the above tests, in the case of the high dry density of specimen, ϕ_d obtained by CD tests is similar to ϕ' by $\overline{CU}$ test. However, in the case of low dry density of specimens, there is big difference between ϕ_d and ϕ' . From the comparison the results between the large and small size triaxial tests using the same dry density specimens, the shear behavior of graded grain sandy gravel observed by the small size triaxial test has shown the dense tendency. Therefore, in order to evaluate the shear properties of the original grain soil using by the conventional small size triaxial test, the effective mechanical stabilization method is newly proposed, which is replacing large grain gravels with small grain gravels.