

機関番号：33919

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560466

研究課題名 (和文) 河川堤防の合理的構造検討に向けた礫混じり堤体材料の力学特性の再評価

研究課題名 (英文) Re-evaluation of mechanical properties of gravel-mixed geo-materials for rational structural consideration of river embankments

研究代表者

板橋 一雄 (ITABASHI KAZUO)

名城大学・法人・常勤理事

研究者番号：30109269

研究成果の概要 (和文) : 河川堤防砂礫を用いて、原粒度の大型三軸試験と粒度調整した小型三軸試験を実施し、供試体寸法、供試体密度、排水条件、粒度調整の効果について検討した。その結果、同じ乾燥密度でも小型三軸試験結果は密詰め傾向の変形・強度特性を示すことがわかった。また、CD 試験と CU 試験で得られる内部摩擦角は、密詰めの場合にはほぼ同じになるが、ゆる詰めの場合には差が生じることが示された。さらに、礫分含有率を変えない粒度調整を行うことで、小型三軸で得られる変形・強度特性は、大型三軸の結果に近づくことが示された。

研究成果の概要 (英文) : In order to study effects of the specimen size, the dry density of specimen, the drainage conditions and the grading method on the shear characteristics of sandy gravels in river embankments, various series of large and small size triaxial tests were performed using the original grain sandy gravels and the graded grain soils, respectively. From the results of the tests, in the case of the high dry density of specimen, the internal friction angle obtained by CD tests is similar to that by CU test. However, in the case of low dry density of specimens, there is big difference of internal friction angle. From the comparison of 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. 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 proposed, which is replacing large grain gravels with small grain gravels.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：地盤工学

科研費の分科・細目：土木工学、地盤工学

キーワード：河川堤防、砂礫、粒度調整、三軸試験、強度定数、浸透破壊、詳細検討、安全率

1. 研究開始当初の背景

河川堤防の詳細点検において、浸透時のすべり破壊に対する安全性を照査する場合、砂や砂礫でできた堤防ではCU試験で求めた強度定数が用いられる。その場合、安全率は過度に小さく求められることも多いため、現場の判断によりCD試験やCUバー試験の結果を用いることもある。しかし、都合のよい試験結果を恣意的に用いることは不合理であるばかりではなく、確実に危険側の評価をすることになるため注意が必要である。また、砂礫堤防の強度定数を原粒度試料の試験から求めるには、大型三軸試験を実施する他にないが、通常の実務では粒度調整された小型三軸試験が実施されている。したがって、せん断試験時の排水条件のみならず、供試体寸法や供試体密度が試験結果に及ぼす影響なども把握しておく必要があるが、残念ながら河川堤防の実務の現状では、上記の点は十分に検討されておらず、安定解析に用いる強度定数がどのような位置づけであるのかも不明確なまま詳細点検がなされているのが実情である。そのため、砂礫堤防の強度定数を求めるのにあたり、合理的かつ低コストで、原粒度試料の強度定数を評価することが必須の研究課題であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、広範な粒度を有する砂礫混じり堤防材料の変形・強度特性を評価する手法を提案することと、慣用解析で用いる強度定数の合理的かつ経済的な設定法を示すことである。具体的には、小型三軸試験で得られる堤防砂礫試料の変形・強度特性がどのような位置づけにあるのか明確にし、小型三軸試験で大型三軸試験と同等の試験結果を得る手法を模索する。

3. 研究の方法

本研究では、比較的大きな礫が混在しながらも、砂質系材料でマトリックスを形成している比較的良配合の河川堤防砂礫を対象とし、その力学特性の評価手法について考察を行った。具体的には、現地堤防で採取した砂礫を用いて、原粒度試料本来の力学特性を取得できる大型三軸試験を実施し、ベンチマークとなる変形・強度特性を求めた。その上で、大きな礫を除外した粒度調整試料を用いた小型および中型三軸試験を実施し、大型三軸試験結果と比較検討するとともに、その差を縮めるための粒度調整法について検討を行った。また、再構成供試体作製時の供試体密度と試験時の排水条件が、砂礫の変形・強度特性に及ぼす影響についても、大型および小型三軸試験を通して検討した。

4. 研究成果

実際の河川堤防（高津川、小鴨川、江の川）で採取した砂礫を用いて、大型および小型（一部中型）の三軸試験を実施した。

図1に高津川試料の粒度曲線を示す。

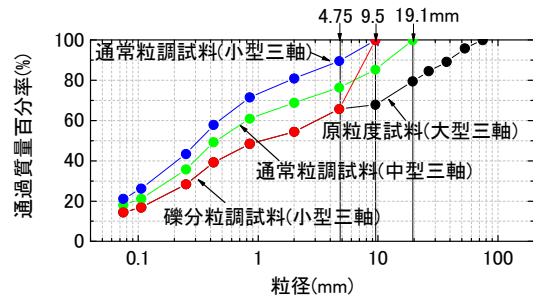
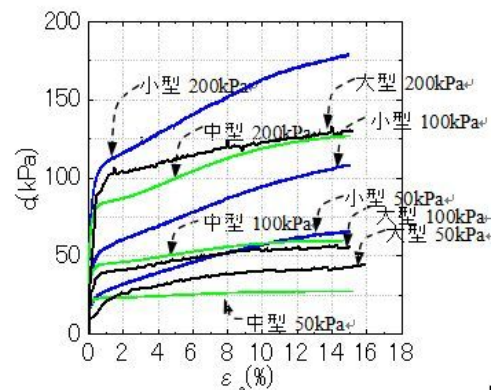
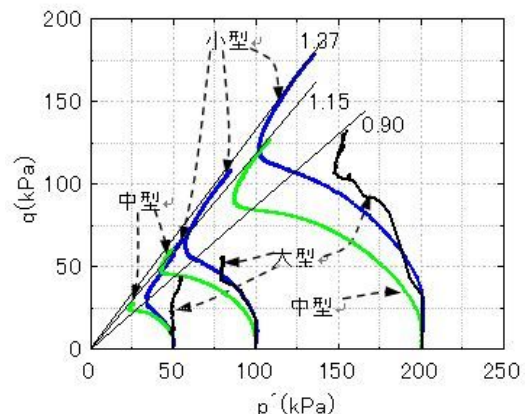


図1 高津川試料の粒度分布

高津川試料を用いて、河川堤防で計測した現地の乾燥密度と同一の供試体を再構成して、大型、中型および小型三軸試験を実施した。図2は供試体寸法による試験結果の違いを比較したものである。同じ乾燥密度の供試体であるにも拘わらず、供試体寸法が小さくなるほど、密詰め傾向が大きく現れる変形・強度特性を示すことが明らかになった。



(a) 応力~ひずみ関係



(b) 有効応力経路

図2 高津川試料の三軸試験結果

以上の小型三軸試験は、図1に示す通常の粒度調整法（通常粒調と表記）、すなわちい

わゆるせん頭粒度の試料であった。河川堤防砂礫は、礫分のみならず細粒分も含むのが特徴であるため、通常粒調では相対的に礫分の割合が低くなるために、大きな礫分を除くマトリックス部分の割合が増加することになる。図3に示すように、土全体の力学特性を特徴づけるのはマトリックス部分であるため、粒度調整した小型供試体の方が見かけの間隙比が小さくなり、密詰め傾向の力学挙動を呈することになる。

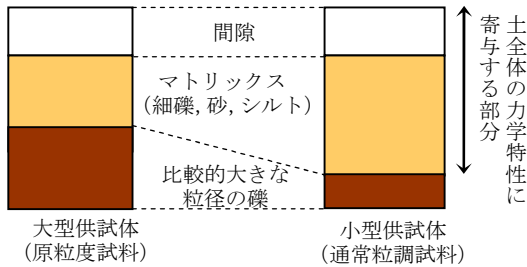
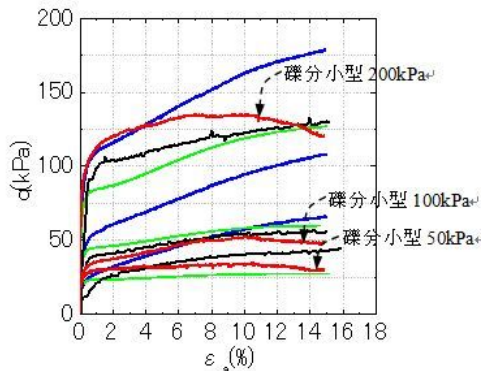
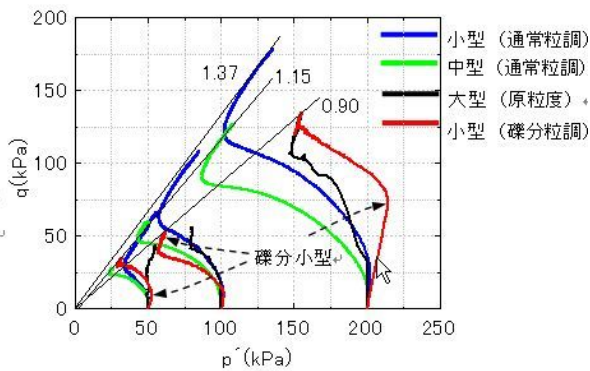


図3 供試体寸法による示相図の違い



(a) 応力～ひずみ関係



(b) 有効応力経路

図4 礫分粒調試料の試験結果

本研究では、供試体の大小によって力学挙動を変化させないように、礫分含有率を変えない粒度調整方法（礫分粒調と表記）で試料を準備して小型三軸試験を実施した。すなわち、図1のように4.7mmまでは原粒度と同じ粒度曲線となるようにし、それ以上の粒径の

礫はすべて9.5mm以下の礫と入れ替えることで礫分含有量を原粒度試料と同一としたものである。図4は図2に礫分粒調試料の試験結果を加えたものである。通常粒調試料の試験結果と異なり、小型であっても密詰め傾向はなくなり大型三軸試験の結果に近い変形・強度特性が得られることが示された。本手法は、今後の河川堤防のみならず、砂礫を多く含む盛土材料の力学特性を求める際にも広く用いられるべきものである。

一方、原粒度は高津川と非常に近い小鴨川試料を用いた試験も実施した。2種類の締固め度の供試体を用いて、CUバー試験およびCD試験を大型三軸試験で実施した結果、CUバー試験では供試体の締固め度によって変形・強度特性に顕著な差が観察されたのに対し、CD試験では、締固め度による差は顕著ではなかった。また、小型三軸試験を大型三軸試験と同様な条件で実施して両者を比較した結果、締固め度が小さい供試体では、試験結果に供試体寸法の影響が大きく現れ、小型三軸試験の方が密詰め傾向が強い変形・強度特性を示した。さらに江の川試料では、3種類の締固め度の供試体を用いて、CUバー試験およびCD試験で小型三軸試験を実施した結果、試験では供試体の締固め度によって徐々に変化する変形・強度特性を系統的に観察することができた。また、CD試験においては、締固め度が小さい供試体ほど、せん断中の体積ひずみが大きく観察され、乾燥密度が増加しながら破壊に近づいてゆく様子が見られた。以上の試験結果から、内部摩擦角を整理したものが表1および表2である。

表1 小鴨川試料の大型・小型三軸試験結果

締固め度	試験	ϕ_{cu}	c_{cu} (kPa)	ϕ' (°)	ϕ_d (°)
90%	大型	22.5°	39.1	35.3	42.1
	小型	24.5°	115.0	41.1	41.7
85%	大型	12.1°	0	24.7	40.9
	小型	30.6°	0	40.6	39.0

表2 江の川試料の大型・小型三軸試験結果

締固め度	ϕ_{cu} (°)	c_{cu} (kPa)	ϕ' (°)	ϕ_d (°)
90%	11.4	110	36.4	38.8
85%	11.8	50	30.4	35.3
80%	14.2	0	23.1	34.3

試験結果を全応力で整理して得られる内部摩擦角 ϕ_{cu} は、どの条件の供試体であっても小さい値であった。ただし、供試体の締固め度に応じて相当量の粘着力 c_{cu} が発生しているため、締固め度に応じて非排水せん断強さは大きくなる。また、 ϕ_{cu} と有効応力で整理して得られる内部摩擦角 ϕ' 、さらにCD試験結果から得られる ϕ_d を比較すると、 $\phi_{cu} < \phi' < \phi_d$ の関係が得られる。特に、締固め度が小さい

ゆる詰め供試体ほど、 ϕ' と ϕ_d の差が大きく現れる。その理由は、ゆる詰め供試体の場合、CD 試験では排水せん断中に体積圧縮するために密詰め構造に変化するが、試験ではゆる詰め構造のまま変化しないためである。

以上の試験結果より、総じて全応力で整理した ϕ_{cu} は小さな値となることがわかった。ただし、表 1 および 2 より、供試体密度が大きい場合には、粘着力が大きいために内部摩擦角が小さくても非排水せん断強さそのものが小さいわけではないことがわかる。しかし、河川堤防の詳細点検においては、粘着力は考慮せずに全応力円弧すべり安定計算を行うため、たとえ供試体密度が大きい場合でも、算出される安全率は小さな値となる。その安全率は安全側であるが、すべりに対して不適格であると過度に判定される堤防が多発するなどの不都合が生じる。そのような場合には、現場の技術者の判断により、CD 試験で得られる ϕ_d を強度定数として用いる事例がしばしば見られる。しかし、本研究の試験結果からも分かるように、供試体密度（縮固め度）が大きい場合には問題はないが、供試体密度（縮固め度）が小さくなるにつれて ϕ' と ϕ_d には大きな差があるため、たとえ CD 試験の ϕ_d が大きくても、構造的に不安定な緩詰め傾向の場合もあり、危険側に判断する可能性がある。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、対象とする堤防砂礫材料が排水条件を仮定して安定解析して良いほど透水性が高い土であることを判断した上で、現地堤防の乾燥密度や予想されるダイレイタンス特性まで含めて、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。本研究の結果は、力学特性も考えずに、安易に強度定数の読み替えをすべきではないことを示唆しており、我が国の河川堤防の安定性検討手法のあり方に警告を発するものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 10 件)

- ① 小高猛司、板橋一雄、中島康介、牧田祐輝、李 圭太、上村俊英、坪田邦治、加藤雅也、河川堤防砂礫の変形・強度特性の評価手法に関する考察、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 5、No. 2、pp. 193-205、2010
- ② 牧田祐輝、中島康介、小高猛司、板橋一雄、三軸試験による河川堤防砂礫の強度特性の評価、名城大学理工学研究報告、査読有、第 50 号、pp. 171-176、2010
- ③ 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、河

川堤防砂礫の変形・強度特性の適正な評価、第 54 回地盤工学シンポジウム論文集、査読無、pp. 219-226、2009

- ④ 牧田祐輝、中島康介、小高猛司、板橋一雄、李 圭太、坪田邦治、加藤雅也、三軸試験による礫混じり堤体材料の力学特性の評価、第 21 回中部地盤工学シンポジウム論文集、査読無、pp. 151-156、2009
- ⑤ 加藤亮輔、岡二三生、木元小百合、小高猛司、角南 進、不飽和浸透-変形連成解析手法と河川堤防への適用、土木学会論文集 C、査読有、Vol. 65、No. 1、pp. 226-240、2009
- ⑥ 山本 剛、中井卓巳、丸木義文、小高猛司、岸田潔、大西有三、長期劣化の概念を導入した道路法面の健全性評価手法の提案、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol. 4、No. 1、pp. 21-33、2009
- ⑦ 中島康介、岸 賢吾、小高猛司、板橋一雄、李 圭太、礫分粒度調整を用いた礫混じり砂の強度定数の評価、名城大学理工学研究報告、査読有、第 49 号、pp. 139-142、2009
- ⑧ 小高猛司、板橋一雄、長期劣化を考慮した豪雨時の法面の安定性評価、名城大学総合研究所紀要、査読無、No. 14、pp. 35-38、2009
- ⑨ 小高猛司、板橋一雄、中島康介、岸 賢吾、李 圭太、坪田邦治、加藤雅也、河川堤防試料の室内せん断試験における礫分粒度調整の効果、第 20 回中部地盤工学シンポジウム論文集、査読無、pp. 19-22、2008
- ⑩ 岸 賢吾、小高猛司、板橋一雄、河川堤防を構成する砂質材料の強度定数の評価、名城大学理工学部研究報告、査読有、第 48 号、pp. 88-93、2008

〔学会発表〕(計 12 件)

- ① 小高猛司、板橋一雄、他 4 名、供試体作製法の違いが砂礫の力学特性に及ぼす影響、平成 22 年度土木学会中部支部研究発表会、2011 年 3 月 4 日、春日井市・中部大学
- ② 小高猛司、板橋一雄、他 5 名、河川堤防砂礫の液状化強度特性の評価、土木学会全国大会第 65 回年次学術講演会、2010 年 9 月 1 日、札幌市・北海道大学
- ③ 小高猛司、板橋一雄、他 5 名、河川堤防砂礫のせん断強度特性に及ぼす供試体寸法・密度・排水条件の影響、第 45 回地盤工学研究発表会、2010 年 8 月 20 日、松山市・愛媛大学
- ④ 小高猛司、板橋一雄、他 2 名、大型ならびに小型三軸試験による河川堤防砂礫の力学特性の評価、平成 21 年度土木学会中部

支部年次学術講演会、2010年3月1日、金沢市・金沢工業大学

- ⑤小高猛司、板橋一雄、他2名、締固め度が礫混じり砂の力学特性に及ぼす影響、第64回土木学会年次学術講演会、2009年9月4日、福岡市・福岡大学
- ⑥小高猛司、板橋一雄、他5名、大型三軸試験による河川堤防土の力学特性の評価、第44回地盤工学研究発表会、2009年8月18日、横浜市・関東学院大学
- ⑦小高猛司、他4名、地層境界における透水性ギャップを考慮した不飽和浸透－変形連成解析法、第44回地盤工学研究発表会、2009年8月18日、横浜市・関東学院大学
- ⑧小高猛司、板橋一雄、他3名、河川堤防礫混じり砂の供試体密度が力学特性に及ぼす影響、土木学会中部支部平成20年度研究発表会、2009年3月3日、名古屋市・名城大学
- ⑨小高猛司、板橋一雄、他2名、擬似飽和状態の不飽和砂質土の乾湿繰り返し履歴による強度低下、第63回土木学会年次学術講演会、2008年9月12日、仙台市・東北大学
- ⑩小高猛司、板橋一雄、他6名、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、2008年7月9日、広島市・国際会議場
- ⑪小高猛司、板橋一雄、他6名、三軸試験による河川堤防礫まじり砂の強度評価、第43回地盤工学研究発表会、2008年7月9日、広島市・国際会議場
- ⑫小高猛司、他4名、多相系の手法を用いた不飽和地盤の浸透－変形連成解析法、第43回地盤工学研究発表会講演概要集、2008年7月9日、広島市・国際会議場

[その他]

ホームページ等

<http://civil.meijo-u.ac.jp/lab/kodaka/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板橋 一雄 (ITABASHI KAZUO)
名城大学・法人・常勤理事
研究者番号：30109269

(2) 研究分担者

小高 猛司 (KODAKA TAKESHI)
名城大学・理工学部・教授
研究者番号：00252271