信濃川中流域の礫質堤防土の力学特性の評価

堤防	礫質土	三軸圧縮試験	名城大学	国際会員	小高・猛司・崔	瑛
			名城大学大学院	学生会員	○田村 太郎・武	楊
			建設技術研究所	国際会員	李 圭太	

1. はじめに

礫質土で構成された河川堤防の安定性評価については、その堤防土の正確な力学特性を把握することが難しいため、 粒度調整試料で三軸試験を行うか、あるいは室内力学試験自体が行われずに 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、室内力学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。本研究では、信濃川中流域の河川堤防 から礫質堤防土を採取し、原粒度に違い状態で大型三軸試験を行い、締固め度 95%および 97%において各種排水条件で 大型三軸試験を行い締固め度などの試験条件の違いが礫質土の力学特性に及ぼす影響について検討した。

2. 試験の概要

実験試料は新潟県信濃川の中流域の河川堤防の基礎地盤からバックホウを用いて採取した。採取した試料は実験室に 搬入し、細粒分に注意しながら一度試料を広げ自然乾燥させた。その後、4 分法を用いて試験に必要な分量まで均等に 小分けした。締固め試験の試験結果より、実験に用いた礫試料の最適含水比 W_{opt}=7.0%、最大乾燥密度 ρ_{dmax}=2.233g/cm³ 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。図 1 は原粒度ならびに粒度調整した試料の粒度分布を示す。細粒分が比較的多く 含まれるために最大粒径 53.0mm のせん頭粒度のまま試験に用いた。この粒度調整試料を用いて初期含水比 5%に調整し た後に、5 層に分けて慎重に密度管理を行いながら締固め、締固

め度 95%および 97%の 2 種類の供試体を作製した。2 重負圧法 による飽和化を行い、1 時間等方圧密した後、載荷速度 0.1%/min で非排水せん断試験および排水せん断試験を実施した。

3. 試験結果

図 2 に締固め度 95%および 97%での CU 試験の結果を示す。 有効拘束圧 150kPa および 100kPa では、軸ひずみ 1%程度まで軸 差応力が急激に増加した後、ひずみ軟化の挙動が見られた。 有効拘束圧 50kPa では軸差応力が急激に増加し、軸ひずみ 3%程度まで一定の値になった後、軸差応力が減少した。 締固め度 97%では、有効拘束圧 150kPa 50kPa では、軸差 応力が急激に増加した後、軸ひずみ 5%程度までほぼ一定 の値になった後に軸差応力が減少している。有効拘束圧 100kPa では、50kPa,100kPa よりも軸差応力が緩やかに増加 し、最大値に達した後、一定の値になっている。また、こ の時軸ひずみの増加に応じて載荷ロッドに偏心が生じたた め、軸ひずみ 10%で試験を終了した。締固め度 95%と 97% を比較すると、締固め度 97%の方が全体的に軸差応力が高 くなっている。高い拘束圧の方が、この傾向が顕著に表れ ている。

図3に締固め度95%および97%でのCD試験の結果を示 す。締固め度95%では、有効拘束E100kPaのケースでせ ん断初期に軸差応力が急激に増加し、せん断終了まで緩や かに増加したのに対し、有効拘束E50kPaでは軸差応力が 急激に増加した後、若干低下し、せん断終了まで一定の値 になった。体積ひずみ~軸ひずみ関係では、有効拘束E 100kPaのケースでは、せん断終了時まで体積圧縮し続け揺 る詰め傾向を示している。有効拘束E50kPaでは、せん断 開始直後に一度、圧縮しその後膨張したが、せん断中にメ





T. Kodaka, Y. Cui, Y. Wu, T. Tamura, (Meijo Univ.) and K.-T. Lee (CTI Engg.)

ンブレンに穴が開いてしまったため試験を途中で終了した。 締固め度 97%, 有効拘束圧 100kPa のケースでも, せん断 中にメンブレンに穴が開いてしまったため,試験を途中で 終了したが、せん断初期に軸差応力が急激に増加し、体積 ひずみ~軸ひずみ関係では,一度せん断初期に圧縮する挙 動が見られた。有効拘束圧 50kPa では、軸差応力が急激に 増加し、その後ひずみ軟化の挙動が得られた。体積ひずみ ~軸ひずみ関係では軸ひずみ1%程度まで圧縮し、その後 膨張し密詰め傾向を示している。

図 4, 5 に CU 試験および CD 試験でのモールの応力円 を示す。 CU 試験においては、内部摩擦角を比較すると締 固め度 95%の方が若干大きくなっているが、CD 試験では 締固め度による違いはほとんど見られなかった。

地盤工学会の三軸試験の基準では、破壊を軸差応力の最 大値か,最大値を持たない場合には,便宜上軸ひずみ 15% と定義している。しかし、堤防土が密詰めの場合には、非 排水せん断時に軸差応力は単調に増加し続ける場合が多い。 それは、正のダイレイタンシーを極度に拘束するために軸 差応力が増加し続けるためであり、自然状態で堤体が発揮

a 200 g g 200

100

(kPa)

ũ 100

ŭ

できる非排水せん断強度とは異なるため, 安全率を過大評価していると思われる。そ こで、今回、堤防土の強度定数を適切に評 価するためにCU 試験を実施したうえで, 変相状態の応力で強度定数を評価すること を提案する¹⁾。図 6 に変相状態における CU 試験結果を有効応力で整理したモール の応力円を示す。図4の軸差応力が最大時 のモールの応力円と比較すると,いずれの 締固め度においても変相時では、 ひずみレ ベルが小さくなるため内部摩擦角が小さく なった。

4. まとめ

信濃川の基礎地盤から採取した礫質土を 用いて締固め度の異なる供試体で大型三軸 試験を行った結果、締固め度 95%では、ゆ る詰め傾向,締固め度 97%では密詰め傾向 の試験結果となった。また、過去に同じ信 濃川の堤体から採取した試料を用いて締固 め度90%相当の供試体で同様の試験を行っ た²⁾。その結果,ひずみ軟化が著しい極め てゆる詰めの挙動が観察された。そのため 今回は、若干締固め度を上げて試験を実施 したが、締固め度が数%変わるだけで、礫 質土の力学挙動が大きく変化することがわ かった。実在堤防の照査においては、既設 堤防の締固め度を正確に把握するのは難し



図6 変相時における CU 試験でのモールの応力円(有効応力で整理)

い。一方、新設堤防であっても、室内突固め試験で得られた最大乾燥密度を指標にして施工管理していても、施工時の 締固めエネルギーは異なるために、想定の締固め度となっていないことはよくあるため、わずかな密度の違いで評価が 異なる強度特性をそのまま照査・設計に結びつけるのはある種の危険が伴う。今回の変相状態での土質定数の評価は、 わずかな密度変化に大きな影響を受けることなく、その礫質土本来のせん断強度が評価できるものと考えている。 参考文献:1) 小高ら:河川堤防の安全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. 2) 田村ら: 大型三軸試験による実河川礫質堤防土の強度特性の評価, 第70回土木学会年次学術講演会, 2015.