固結粒状材料のダイレタンシーと破壊形態

山口大学大学院	学生会員	香月大輔	多久和学		
山口大学工学部	正会員	中田幸男	兵動正幸	吉本憲正	村田秀一

1.序論

不攪乱で半固結状態にある粒状地盤材料の力学特性の評価については,成因などからいくつかの分類も試みられている¹⁾が,工学的な要請に従えば拘束圧下での種々の材料に共通な力学特性の評価がより重要であると考えられる²⁾.このような考えに基づいて検討を行った結果,固結した粒状材料は,未固結のものと比較して強度およびピーク時のダイレタンシーが増加する挙動がみられ,このとき強度のダイレタンシー成分をピーク時のダイレタンシーから評価できることを報告しており³⁾,これらのメカニズムについても併せて検討を行ってきた⁴⁾.一方このような脆性材料では変形の局所化が顕著であり,安定解析などにおいて局所化を積極的に取り入れた構成関係を確立することが重要と考えられる.そのためここではさらに,ある程度拘束圧が作用した状態での破壊形態について上記のような特性との関連性について検討した結果,固結材料の局所化の程度が正のダイレタンシーの大きさと密接な関係にあることが裏付けられた.

2.試験概要

実験に用いた固結供試体は,試料に粒径 0.25~2.0mm のシリカ砂を,固化材にセメントを用いて人工的に作成された ものである.供試体の配合上の特徴について,本概要では試料に対するセメントの質量百分率で定義されたセメント添 加率 Q_cを用いて表す.なお今回用いた供試体は,試料のみで考慮した相対密度 D_{rs}を 45%に統一し,セメント添加率の みを Q_c = 0, 3.4, 6% と変化させたものである.また試験は,拘束圧 σ_c = 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0MPa で行った圧密排水三軸 圧縮試験である.

3.試験結果

図1は拘束圧 σ_c = 0.1MPa の条件において,相対密度 D_{is} = 45%でセメント添加率だけが Q_c = 0,3.4,6% と異なる各供試体の応力ひずみ関係を示している.未固結のものを含めて全ての供試体で正のダイレタンシーが発生しており,ひずみ軟化型の挙動を呈している.また,ピーク時の強度および正のダイレタンシー量はセメント添加率の高い供試体ほど大きくなっていることがわかる.図2はセメント添加率 Q_c = 6%の供試体について,拘束圧 σ_c = 0.1,0.3,2.0MPa における応力ひずみ関係を示している.図2はセメント添加率 Q_c = 6%の供試体について,拘束圧 σ_c = 0.1,0.3,2.0MPa における応力ひずみ関係を示している.図より拘束圧の増加にあわせて,その挙動は脆性的な挙動から延性的なものへ,またひずみ軟化型からひずみ硬化型の挙動へと変化しており,この間に最初粒子間に発達していた固結構造が損傷しているものと考えられる.図3は図1と同配合の供試体に対して実施された拘束圧 σ_c = 0.1~2.0MPa の範囲における三軸圧縮試験結果から,強度のダイレタンシー成分[ϕ_i]_{peak} - [ϕ_i]_{res}とピーク時ダイレタンシー比[-d ε_i /d γ]_{peak}の関係をまとめて表している.図より,全ての供試体において両者の間には明確な比例関係が認められ,このことは固結による強度の増加分をダイレタンシーによる成分として評価できること³³を示唆していると考えられる.さらに同様の傾向が,不攪乱供試体を



固結粒状材料,ダイレタンシー,破壊形態,セカントアングル,局所化

〒755-8611 山口大学工学部社会建設工学科 Tel. 0836-85-9344 Fax. 0836-85-9301 HP. http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp/

用いて行われた試験結果からも報告されている⁵⁾.図4は図1のデー タにおけるストレス・ダイレタンシー関係と各供試体において残留時 にみられた破壊形態を示している.固結供試体のストレス・ダイレタ ンシー関係は,セメント添加率Q_c=3.4%および6%の供試体でそれぞ れ,応力比 a/p'の値が 1.8, 2.2 付近で折れ曲がり,その後応力比の値 がほとんど増加しないままに顕著なダイレタンシーが発生しているこ とが確認できる.このように顕著なダイレタンシーが発生するメカニ ズムについては,既に検討を行っている4).そして,図中の破壊形態 についてみると, セメント添加率の高い供試体ほどその破壊形態は脆 性的であり,図からは認識しにくいもののせん断面はより明確で局所 化の程度が高い.図5は図2のデータについて,ストレス・ダイレタ ンシー関係と各拘束圧条件での残留時の破壊形態をまとめたものであ る. 拘束圧が増加するのに伴って, 固結材料のストレス・ダイレタン シー関係は未固結材料のものに近い挙動を呈し、ピーク時のダイレタ ンシー比は低下している.一方,破壊形態は拘束圧の増加に伴って, 未固結の材料で認められるバルジ型を示すことが確認でき,破壊形態 においても未固結材料へと近付いていることが認められる.図6は, 各セメント添加率の供試体についてピーク時および残留時のセカント アングル[ϕ_{s}]_{reak}および[ϕ_{s}]_{res}と拘束圧 σ_{c} の関係をまとめたものである. なお図中右側の縦軸には,最大主応力の作用面と最大応力傾角面のな す角αの目盛りが,セカントアングルの値に対応する形で振ってある. ここで最大応力傾角面の角度αはセカントアングルω'との間に以下の 式(1)で表される関係がある.

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\varphi_s}{2} \tag{1}$$

図より拘束圧の増加に伴い,固結供試体のピーク時のセカントアングルが低下していることがわかる.また未固結材料においても,拘束圧 σ_c = 2.0MPa のときのピークと残留時のセカントアングルが低下して おり,粒子の破砕が発生していると予想される.一方図4および図5 より,実験終了時のせん断面の角度は,写真を見る限り全ての供試体 でほぼ同じような角度を示しており,図6で示すαに対応していると いうよりもむしろ,残留時の応力状態が固結による影響を受けないこ とに対応している.さらに,脆性的な破壊の傾向が強い供試体ほどピ ーク時のダイレタンシー比が高いことから,正の高いダイレタンシー を示す材料では明確な局所化が進行していることがわかる.

4.結論

- 1). 固結材料のピーク時の正のダイレタンシーおよび脆性的な破壊 形態は固結の程度に依存する.
- 2).1)の特徴には拘束圧依存性が大きく,比較的高い拘束圧下では未 固結材料と同様の破壊形態(バルジ型)を示す.
- 正のダイレタンシーの大きさから固結材料の局所化の程度が定 性的ではあるが推定できる.

参考文献

- Barton, M. E., Cohesive sands: The natural transition from sands to sandstones, Geotechnical Engineering of Hard Solis and Soft Rocks (A.Anagnostopoulos et al ed.), Balkema, Vol. 1, pp. 367-374, 1993.
- 2) Leroueil, S. and Vaughan, P. R.: The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks, Géotechnique 40, No. 3, pp. 467-488, 1990.
- 3)多久和学,中田幸男,香月大輔,兵動正幸,吉本憲正,村田秀一:ダイレタンシーに着目した固結粒状材料の強度特性,第37回地盤工学研究発 表会発表講演集(投稿中)
- 4) 香月大輔,中田幸男,兵動正幸,吉本憲正,村田秀一,多久和学:固結粒状材料のダイレタンシーと引張特性,第37回地盤工学研究発表会発表 講演集(投稿中)
- 5) Cuccovillo, T. & Coop, M. R., On the mechanics of structured sands, Géotechnique 49, No.6, pp.741-760, 1999.



-602-