

ダイレタンシーに着目した固結粒状材料の三軸圧縮挙動

山口大学大学院 学生会員 ○吉川直孝 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. まえがき

自然堆積地盤中には、粒子同士が固結した状態がしばしば見受けられる。代表的なものとして、地山しらすなどの火山性堆積物やカルカリアス堆積物などが挙げられる。また、セメントなどの改良材を加えた人工固結材料においても粒子間に固結の効果が発揮される。これら地盤材料に対する工学的な取り扱いに際して、特殊な材料として分類もなされている¹⁾が、各材料に共通な特性に着目した評価も重要である²⁾。本報告では、人工固結材料に対して三軸圧縮試験を行い、比較的広範な拘束圧下における強度特性の評価を 1 つの目標としている。実験結果から、固結の効果により固結材料のピーク強度は未固結材料に比べて増加し、その時のダイレタンシーも大きいことがわかった。しかし、固結材料の残留強度は未固結と相違がないこと、その挙動は拘束圧の増加に伴い未固結の挙動に近づくこともわかった。以下に、ダイレタンシーに着目した強度の発現とそこから推察される固結材料の破壊形態について述べる。

2. 試料および実験概要

実験に用いた供試体は、試料にシリカ砂(粒径: 0.25~2.0mm)およびガラスビーズ(粒径: 0.85~1.0mm)を使用し、セメントを添加して人工的に固結させたものである。ここで、相対密度は試料のみの密度であり、45%とした。セメント添加率 Q_c は試料との質量百分率で定義している。供試体寸法は直径 50mm、高さ 100mm にそろえた。実験には低圧・中圧用三軸圧縮試験機を用い、拘束圧 $\sigma_c = 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ MPa の各条件下で、圧密排水せん断試験を行った。ひずみ速度はそれぞれ 0.1%/min である。

3. 実験結果および考察

図-1 は、試料にシリカ砂を用いた未固結供試体($Q_c = 0\%$)および固結供試体($Q_c = 3.4, 6\%$)について拘束圧 $\sigma_c = 0.1$ MPa のときの応力比 $\eta (= q/p')$ -軸差ひずみ γ -体積ひずみ ϵ_v 関係を示している。これより、未固結と固結材料を比較すると、固結材料ではより明確な応力比のピークとより顕著な正のダイレタンシーが発生していることがわかる。これらの特徴はセメント添加率の多いものほど顕著である。次に、固結の効果に対する拘束圧の影響をみるため、図-2 に同固結供試体($Q_c = 6\%$)の $\sigma_c = 0.1, 0.5, 2.0$ MPa の応力ひずみ関係を示す。図より、拘束圧の増加に伴いピーク応力比 η_{peak}

が低下すると伴にダイレタンシーは正から負へと変換し、ひずみ硬化型の挙動へと移行している。図-1 の未固結供試体の残留応力比 η_{res} と図-2 の固結供試体の $\sigma_c = 2.0$ MPa における η_{res} は約 1.3 とほぼ等しいことがわかる。また低圧域の固結供試体の η_{res} がわずかに高い値を示している。

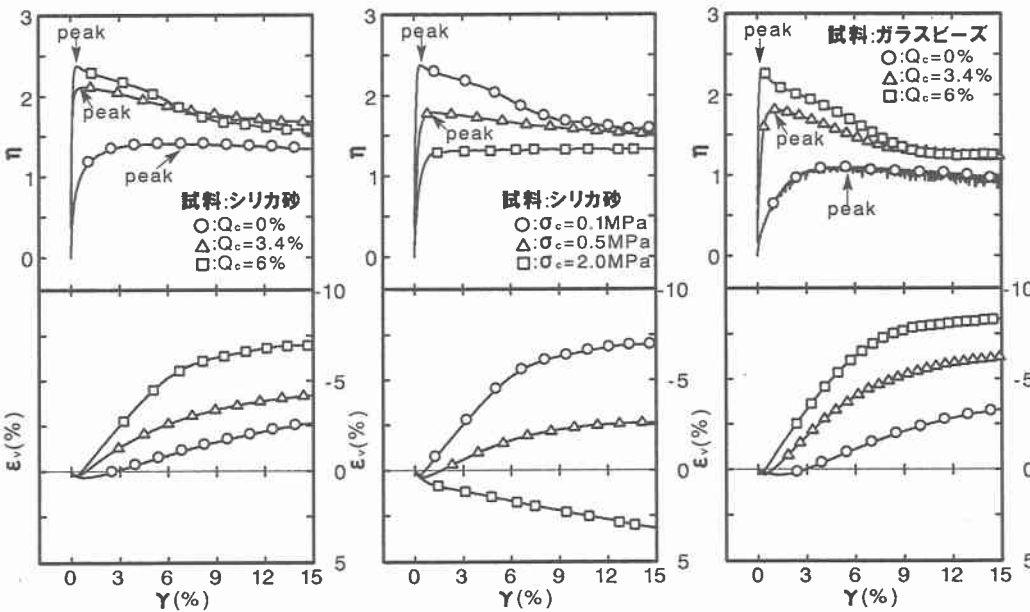


図-1 応力ひずみ関係 ($\sigma_c = 0.1$ MPa) 図-2 応力ひずみ関係 ($Q_c = 6\%$) 図-3 応力ひずみ関係 ($\sigma_c = 0.1$ MPa)

これは明確なせん断面を示す固結供試体において、試験時に供試体を覆うゴムメンブレンの張力が大きく影響したためであると考えられる。図-3 はガラスビーズの未固結($Q_c = 0\%$)および固結供試体($Q_c = 3.4, 6\%$)に対する応力ひずみ関係を示しており、拘束圧は 0.1MPa である。同図からガラスビーズ供試体においても、シリカ砂供試体と同様の傾向を示すことがわかった。次に応力ひずみ関係のデータから、ストレス・ダイレタンシー関係を示す。図-4 は、シリカ砂の未固結($Q_c = 0\%$)および固結供試体($Q_c = 3.4, 6\%$)についてのストレス・ダイレタンシー関係である。また、ガラスビーズの固結供試体($Q_c = 6\%$)

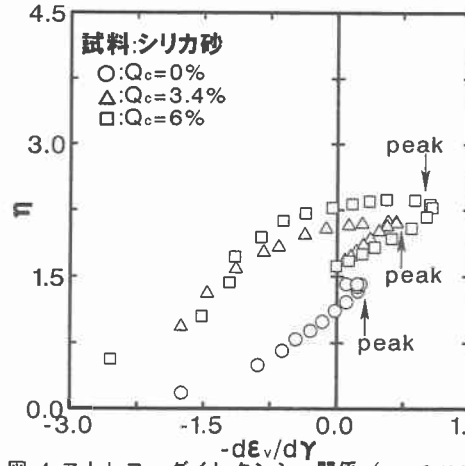


図-4 ストレス・ダイレタンシー関係 ($\sigma_c = 0.1\text{MPa}$)

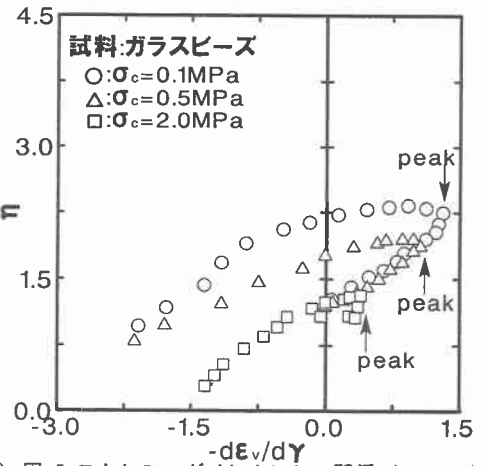


図-5 ストレス・ダイレタンシー関係 ($Q_c = 6\%$)

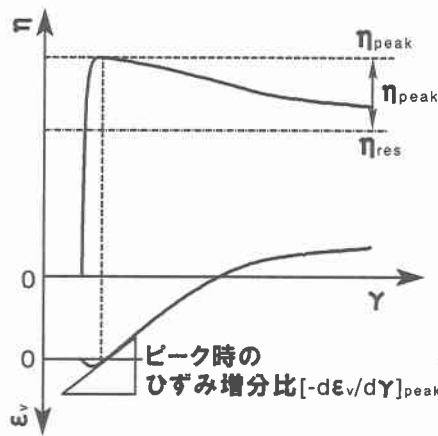


図-6 応力ひずみ関係の模式図

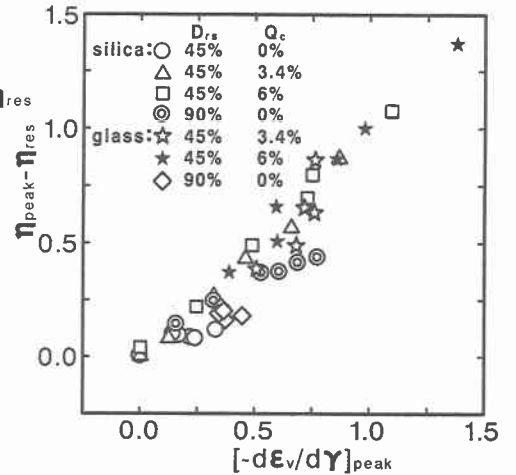


図-7 $[\eta_{\text{peak}} - \eta_{\text{res}}]$ と $[-d\varepsilon_v/d\gamma]_{\text{peak}}$ との関係

のストレス・ダイレタンシー関係を図-5 に示す。図-4、図-5 から、どの供試体においてもほぼ応力比のピーク η_{peak} とダイレタンシー比 $-d\varepsilon_v/d\gamma$ のピークは同一線上に位置し、ダイレタンシー比の値が大きいほど応力比のピーク値も大きくなる傾向にある。さらに、不攪乱供試体の実験結果からも同様の傾向になることが報告されている³⁾。以上のことを、図-6 の模式図により考察する。固結材料において、固結による強度への影響は、ピーク強度 η_{peak} のみに認められ、残留強度 η_{res} には影響を与えないことから、 η_{peak} と η_{res} との差が増加していると考えられ、またピーク強度を発揮するときのダイレタンシー比も増加している。そこで、この差を強度のダイレタンシー成分として、それを縦軸に、ピーク時ダイレタンシー比 $[-d\varepsilon_v/d\gamma]_{\text{peak}}$ を横軸にとったものを図-7 に示す。

図より、両者の間には一義的な関係があることから固結材料の強度の増加分をダイレタンシーから評価できることが示されており、固結によるダイレタンシーの増加は粒子の団粒化によるものと推察される⁴⁾。また、この固結による強度のダイレタンシー成分は拘束圧の増加に伴い減少しており、拘束圧に対する依存性が高い。図-8 に、実験終了時に見られた破壊形態の模式図と図-7 の関係を示す。図より、強度に対する固結の効果が高いものほどその破壊形態は局所化が際立っており、ダイレタンシーの大きなものほど局所化が顕著である。

まとめ

比較的広範な拘束圧下での三軸圧縮時の固結粒状材料の強度特性を検討した結果、固結による強度の増加分をそのダイレタンシーから評価することができた。

[参考文献] 1) Barton, M. E., Cohesive sands: The natural transition from sands to sandstones, Geotechnical Engineering of Hard Solids 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) Cuccovillo, T. & Coop, M. R.: On the mechanics of structured sands, Géotechnique 49, No. 6, pp. 741 - 760, 1999

4) 多久和学, 中田幸男, 香月大輔: 固結粒状材料の割裂およびせん断特性, 土木学会中国支部第 54 回研究発表会, 2002, (投稿中)