

圧縮条件下でのセメント固結砂の固結力の評価とその損傷過程

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 村田秀一

1. はじめに

基礎地盤の設計において、支持力に問題がある場合には、各種地盤改良が施されるケースも多い。しかし、原地盤がある程度固結力などのせん断抵抗成分を持つ場合には、構造物の重要度などを含めた検討から支持層としての利用を探ることも重要である。本研究では、種々の固結粒状材料に適用可能な構成モデルの提案を目指し、その代表的な人工材料であるセメント固結砂を用いて検討を行った。固結材料が応力ひずみ関係において示す強度のピークの存在は同時にその材料の破壊を意味することから、ピーク強度を発揮するまでの負荷に対し、材料には固結力の損傷が生じているものと考えることができる。このことから、構造物の安定性を検討する上においても、広範な応力域において結合力の損傷を検討することは重要である。本報告では、固結砂の等方圧縮およびせん断中の固結力の評価とその損傷を検討することを目的に、等方圧縮試験、一軸および三軸圧縮試験を行った結果について報告する。

2. 試料および試験概要

実験に用いたセメント固結砂供試体の作製には、試料として粒度調整された三河珪砂を用いており、砂の相対密度 D_{rs} を 45% に合わせて作製した。また固化材として、セメント系固化材を試料との乾燥質量比で規定したセメント添加率(Q_c)に換算して 3.4%、6%の添加率で添加し、水およびベントナイトをそれぞれ水セメント比(W/C)で 150%、ベントナイト水比(B/W)で 2%として添加した。実験は、等方圧縮試験、一軸圧縮試験および三軸圧縮試験の各試験を行った。試験条件は、三軸圧縮試験での拘束圧を $\sigma_c=0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ MPa とした。なお一軸および三軸圧縮試験においては、ひずみ速度を 0.05~0.09%/min として、ひずみ制御式の載荷を行った。等方圧縮試験の最大平均主応力は約 40MPa である。試料物性値および供試体配合割合をそれぞれ表-1、表-2 に示す。

表-1 試料物性値

粒径 mm	Gs	e_{max}	e_{min}	D_{50} mm	Uc
0.25~2.0	2.655	0.936	0.588	0.737	2.197

表-2 供試体配合割合

Q_c %	珪砂 g	セメント g	ベント g	水 g
3.4	292.97	9.96	0.30	14.94
6.0	292.97	17.58	0.53	26.37

3. 試験結果

等方圧縮試験の結果を図-1 に示す。同図は、砂の間隙比 e_s と平均主応力 p の関係を示したものである。ここでは、初期の砂の相対密度が等しい未固結砂供試体の結果についても示している。供試体のセメント添加率が増加するとともに、載荷過程全般で間隙比の減少が抑えられる傾向が認められる。また、各供試体において圧密降伏応力の決定は困難であった。そこで、これらの結果を圧縮指数 C_c と平均主応力 p の関係においてまとめたものを図-2 に示す。図より各供試体において、図中の矢印で示した圧縮指数が 0.1 を超える応力域から急激に圧縮性が増大する傾向がうかがえる。この圧縮指数 $C_c=0.1$ を与える平均主応力を降伏応力の一つとして検討可能であるといえる。加えて、未固結砂と比較して平均主応力が 10MPa を示す付近では $Q_c=3.4\%$ の供試体の圧縮指数の値が大きくなること、すべての供試体において最終的な圧縮指数の値はほぼ同じ値を示していることがわかる。Kasama ら¹⁾は、等方圧縮条件下のセメント固化粘性土の挙動をカムクレイパラメータを用いてモデル化している。ここでは、弾塑性構成モデルへの展開を視野に入れ、巨視的にみた固結力を内部

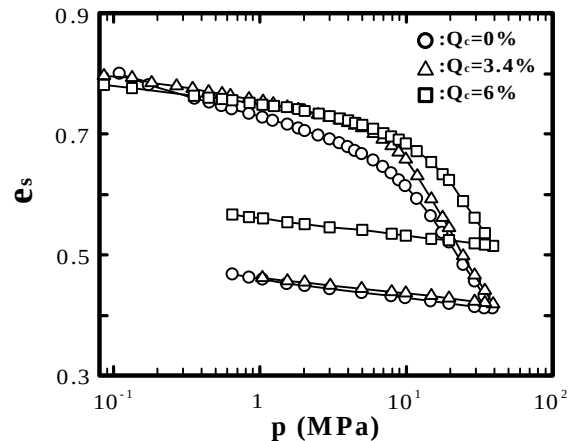


図-1 砂の間隙比 e_s —平均主応力 p 関係

キーワード：セメント固結砂，等方・三軸圧縮試験，固結力，仕事量，弾塑性構成モデル

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 Tel:0836-85-9344 Fax:0836-85-9301

固結応力として平均主応力の成分で与えることを考える。等方圧縮条件下で発揮される巨視的な固結力を同一の圧縮指数を示す状態下での固結砂と未固結砂供試体の平均主応力の差として以下の式(1)で定義した。

$$\Delta p = \{p_{(bonded)} - p_{(sand)}\}_{C_c=const} \quad (1)$$

ここに、 Δp ：内部固結応力、 $p_{(bonded)}$ ：固結砂の载荷平均主応力、 $p_{(sand)}$ ：未固結砂の载荷平均主応力である。加えて、著者ら²⁾は既に、三軸圧縮条件下における破壊強度の応力状態から内部固結応力の減少と仕事量の増加に関連性を見出している。そのことを踏まえ、上で定義した内部固結応力 Δp と各固結砂供試体の仕事量 W の関係を図-3に示す。図より両者の関係には、片対数グラフ上において点線で示したような直線関係が認められる。両供試体の近似線から、仕事量の増加に対する内部固結応力の減少割合は、セメント添加率が増加しても大きく変化しないことがわかる。また、ある仕事量における内部固結応力の大きさがセメント添加率の増加に伴って増加することを示している。図-4は先ほどの関係を等方条件下で求めた内部固結応力と、一軸および三軸圧縮条件下でのピーク時の強度線から求めた内部固結応力²⁾とで比較した図である。等方圧縮条件下では一軸および三軸圧縮条件下における値と比較して、内部固結応力の損傷により大きな仕事量が必要になることがわかる。これは等方圧縮条件下と比較して、一軸および三軸圧縮条件下においては変形が局所化する傾向が強まるためであると考えられる。また一軸および三軸圧縮条件下において、各供試体が図中に矢印で示した値以上の仕事を受けると内部固結応力 Δp は大きく減少する傾向を示すが、その仕事量の増加に対する減少割合はほぼ一定であること、その減少割合は等方圧縮条件下から得られたものと同程度であることがわかる。一方、破壊までの仕事量が小さな条件では、せん断過程における内部固結応力の損傷は小さいことがわかる。

4. 結論

今回、新たに等方圧縮条件下でのセメント固結砂の巨視的な固結力の評価を行った。また、仕事量との関係でみた内部固結応力の損傷過程を異方圧縮条件下における過程と比較した。その結果、等方圧縮条件下では異方応力条件下に比べ、仕事量の増加に対する固結力の損傷は小さくなることが確認された。加えて、破壊までの仕事量が小さい条件においては、せん断過程においても巨視的に評価した内部固結応力の損傷はほぼ生じなくなる。これらの現象には、供試体の変形の局所化の程度が深く関与しているものと推察される。

<参考文献>

- 1). K. Kasama, H. Ochiai, N. Yasufuku, "On the stress-strain behaviour of lightly cemented clay based on an extended critical state concept", SOILS AND FOUNDATION, Vol. 40, No. 5, pp.37-47. (2000)
- 2). 香月大輔, 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一：セメント固結砂の固結力の損傷過程と仕事量の関係, 第55回年次学術講演会講演概要集, III-A012, (2000)

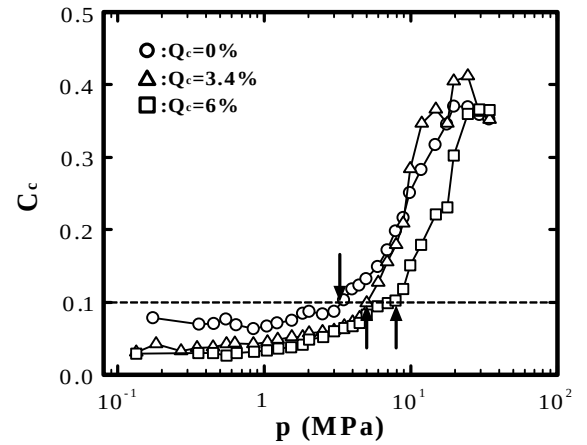


図-2 圧縮指数 C_c —平均主応力 p 関係

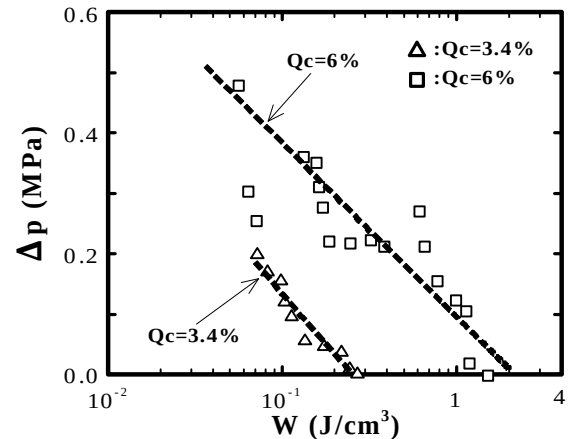


図-3 内部固結応力 Δp —仕事量 W 関係

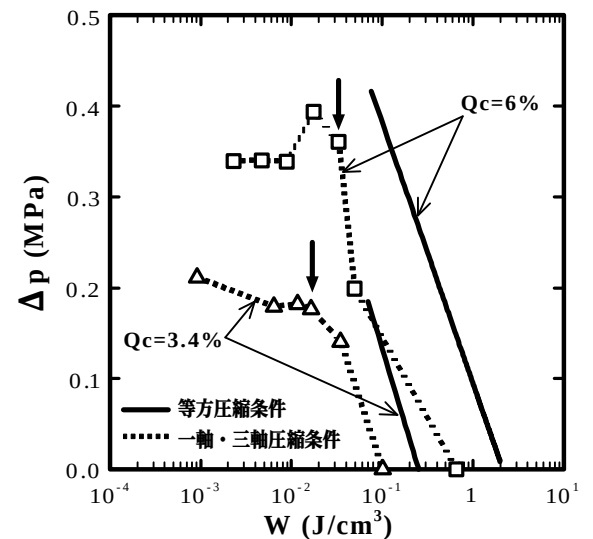


図-4 内部固結応力 Δp —仕事量 W 関係