

日本道路公団 正会員 ○和泉 聡
金沢工業大学 正会員 前川晴義
島根大学 正会員 亀井健史

1. まえがき

近年、高速道路工事では山間部における構造物の大型化に伴う土圧軽減、あるいは軟弱地盤地帯における沈下量の軽減を目的として土よりも軽く、かつ垂直に自立可能な発泡モルタル（FCB）の施工実績が増えてきている。FCBは母材となる砂に気泡とセメントを水とともに混合したもので、間隙比が4以上もある非常に多孔質な材料である。このため、土の1/2以下という軽量性を有する一方、圧縮に対しては、局部的に組織破壊を繰返しながら変形が増進するなど、一般の土とは異なる力学特性を有している。通常、FCBは簡便性から一軸圧縮試験と密度で評価している。しかし、FCBのような多孔質な材料を地盤材料として使う以上、最大強度以外に降伏特性や変形特性を考慮に入れた対応が不可欠である。

筆者らは三軸圧縮試験の結果から、FCBはセメンテーション効果が卓越した材料であること、また弾性変形域の境界を表現する降伏曲面の形状を明らかにしている¹⁾。本研究ではクリープ試験によりFCBの変形特性をより明確にするとともに、変形を意識した設計の重要性を提案するものである。

2. 供試体作成および実験方法

FCBのうち高速道路の路体として標準的な設計条件となっている $q_u=5.0\text{kgf/cm}^2$ 以上、湿潤密度 $\rho_t=0.7\pm0.1\text{g/cm}^3$ 程度を満足する様、表－1に示すJH指針の暫定配合を基に試料を作成した。試料は内径50mm、高さ100mmの縦割りモールドに余盛りをして打設した。48時間後に脱枠した供試体は、容器内に密封し、恒温恒湿室内（温度約21℃、湿度約95%）で養生を行った。実験に使用した供試体は、打設から13週間以上が経過している。供試体は水浸状況下で真空を負荷して、ほぼ飽和状態にした後、高さ100mmに成形し、三軸セルにセットした。供試体の両端面には、厚さ10mmのポーラスメタルを置き、厚さ0.5mmのゴムスリーブを装着した。

表－1 FCBの配合(種別K1-5)

空気量	(%)	60
セメント	(kg/m^3)	233
砂	(kg/m^3)	233
起 泡 剤	(kg/m^3)	1.04
水	(kg/m^3)	235

表－2 成形後の物理的諸性質

湿潤密度 ρ_t	(g/cm^3)	1.214
乾燥密度 ρ_d	(g/cm^3)	0.567
含水比 w	(%)	114.19

実験は平均有効主応力 $p' (=1/3 (\sigma_a' + 2 \sigma_r'))$ を一定にして、主応力差 $q (= \sigma_a - \sigma_r)$ を増加させる応力制御で載荷試験を実施した。実験は等方圧 0.5kgf/cm^2 で予備圧密を1時間行った後、 5.0kgf/cm^2 のバックプレッシャーを与えて、翌日まで放置した。載荷条件の平均有効主応力 $(p'=4, 6\text{kgf/cm}^2)$ に等しい等方圧で1340分間圧密をした後、 p' を一定に保ちながら、 q を 1kgf/cm^2 づつ増加させた。一段階の載荷時間は、30～90分間とした。なお、表－2には、セット時の供試体の物理的諸性質を示している。

3. 実験結果および考察

1) 載荷時間と軸ひずみの関係

図－1には $p'=6\text{kgf/cm}^2$ における載荷時間 t と軸ひずみ ϵ_a の関係を示した。時間軸は対数目盛で示しており、また図－2は $q=5\text{kgf/cm}^2$ の場合の時間軸を普通目盛にしたものを与えている。 q が 3kgf/cm^2 までは、載荷時間 t の経過に伴う ϵ_a に変化がみられないものの、 $q=4\text{kgf/cm}^2$ の時点では $t=4$ 分前後を境に、増加傾向を強めているのがわかる。 $q=5\text{kgf/cm}^2$ の場合（図－2）、軸ひずみ ϵ_a は断続的に増進と安定を繰返しているが、 $t=35$ 分以降に ϵ_a は急増したため実験は中止した。このような一連の挙動は、供試体内部の組織的に弱い箇所の破壊が連鎖的に起き、広い領域に破壊が拡大したためと考えられる。一般土であれば、この ϵ_a の急増箇所はクリープ破壊に相当するであろうが、供試体の変形状況は ϵ_a のみが卓越し、側方ひずみには

変化が認められなかった。つまり、今回のような載荷荷重の範囲では、 K_0 載荷のような変形の仕方をしており、組織自体は再配列が進行しているにすぎない。

2) クリープひずみ開始時の応力と降伏応力の関係

図-3は各載荷終了後の q と体積ひずみ ε_v の関係を示している。この図からは、 $p'=4, 6\text{kgf/cm}^2$ の降伏応力 q_y (↓印)として、 6.9kgf/cm^2 、 3.9kgf/cm^2 を求めた。降伏応力 q_y は、図-4の $q-p'$ 域での載荷径路上にプロットしている。図中には、ここでの結果を明確にするため、同一混合条件で作製した供試体の排水せん断試験から得た最大強度と最大強度線、降伏応力と降伏曲面を併記している。今回の載荷試験の結果は、降伏曲面付近を境に変形が進行し始めており、降伏は載荷条件に依存していないことがわかる。また、今回の実験の $p'=6\text{kgf/cm}^2$ の場合、降伏直後で既に軸ひずみが約6%に達しており、もし排水せん断試験から求めた最大強度線まで載荷したならば、相当な変形が起きていたであろう。

4. あとがき

今回の実験結果からも、FCBは塑性域に入るとひずみを急増させることが確認できた。通常、FCBの設計ではひずみ制御による最大強度に主眼が置かれている。最大強度以下の応力条件であっても、塑性域に入るとひずみが急増することになり、構造物としての形状を保つには現行の最大強度で設計してよいか、はなはだ疑問である。FCBを適正に評価するには、従来のような破壊基準ではなく、今回のようなクリープ試験や排水せん断試験から降伏応力、降伏曲面を求め、ひずみが微小値内で収まる弾性域内で設計することが重要となる。

終わりに、実験に協力を得た金沢工業大学学生の明山哲也、木村政仁、高磯祐介、光松章の諸君に心から感謝の意を表します。

参考文献

1) 和泉 聡, 前川 晴義: 発泡モルタルの強度および降伏特性, 第34回地盤工学研究発表会講演集, pp. 881-882, 1999.

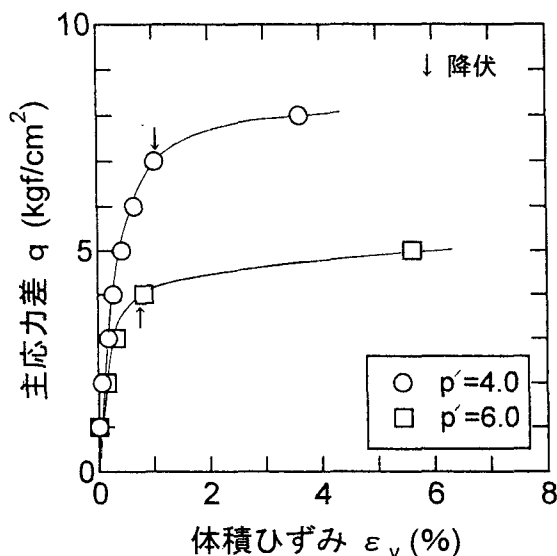


図-3 p' 一定載荷試験における主応力差と体積ひずみの関係

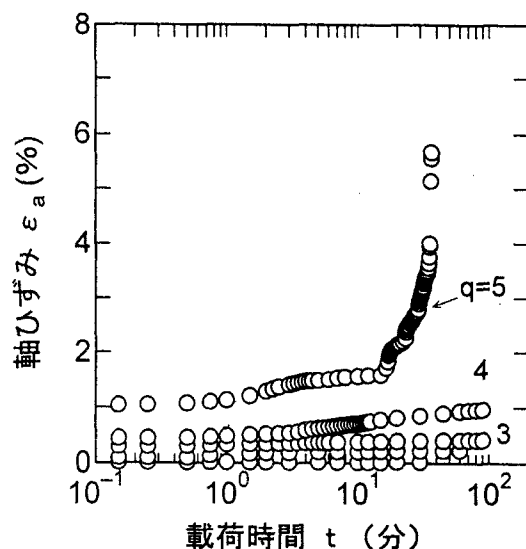


図-1 載荷時間と軸ひずみの関係 ($p'=6.0\text{kgf/cm}^2$ 一定載荷試験)

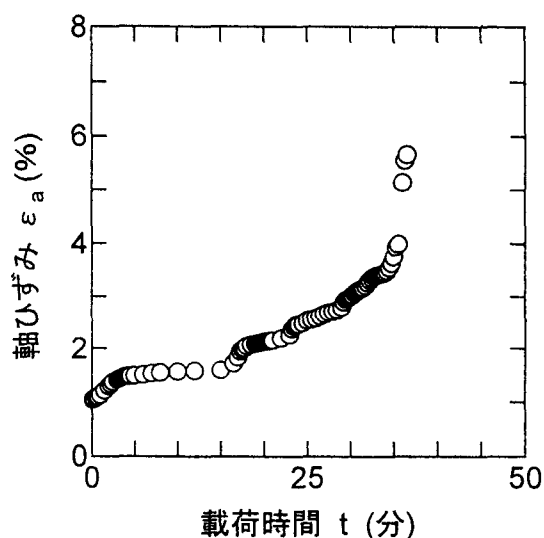


図-2 $q=5.0\text{kgf/cm}^2$ 時の載荷時間と軸ひずみの関係 ($p'=6.0\text{kgf/cm}^2$ 一定載荷試験)

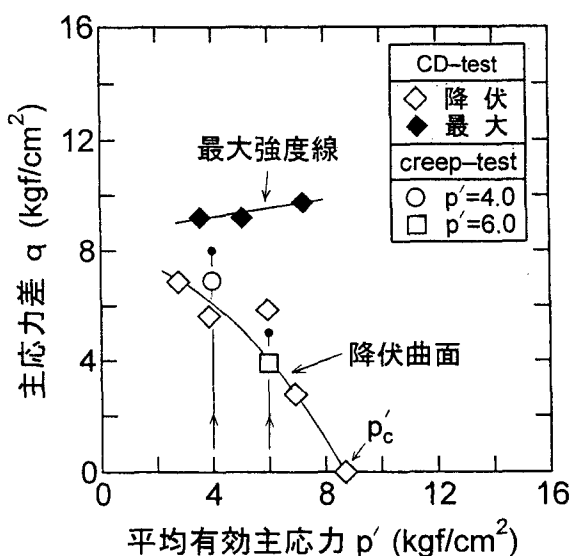


図-4 p' 一定載荷時の降伏特性