

V-80

セメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮試験による実験的研究

山口大学工学部 学生会員 佐々木 慎吾

山口大学工学部 非会員 金田 雅之

山口大学工学部 正会員 上田 満

山口大学工学部 正会員 村田 秀一

山口大学工学部 正会員 浜田 純夫

1. まえがき

アスファルト乳剤は常温で個体または半個体である石油アスファルトと異なり常温において液状で舗設後乾燥固化する材料である。このアスファルト乳剤、セメント、標準砂の三成分より形成されるセメントアスファルト乳剤モルタル(以下CAEモルタル)に対して一軸、三軸圧縮試験を行いMohrの応力円を描くと、破壊包絡線が右下がり(負)となるものが存在する。このような材料の一軸、三軸圧縮試験および等方圧縮後の一軸、三軸圧縮試験を行い破壊包絡線が右下がりとなる要因を推論する。

2. 実験概要

材料は普通ポルトランドセメント(比重3.15)、ノニオン系アスファルト乳剤(濃度57.9%)、豊浦標準砂(比重2.63)で配合はセメント、アスファルト乳剤、砂の三成分より成る三角座標の各格子点(10%ピッチ)で決定し、セメント、アスファルト乳剤の配合が0のものは除いた。供試体寸法は $\phi 5 \times 10$ (cm)の円柱形で材令28日のものを用い側圧は一軸圧縮強度以下および以上に対し3段階ずつ一律とし、一定のひずみ速度で変位および荷重を測定した。また予備圧縮は材令7日のモルタルに対して一軸圧縮強度の0.5、1.0、1.5倍の圧力で等方圧縮し材令28日で試験を行った。

3. 実験結果および考察

3-1 一軸、三軸圧縮試験

図1にC/Eと一軸圧縮強度、空隙率、内部摩擦角の関係を示す。この図の(a)よりC/Eと一軸圧縮強度は正比例で、(b)より空隙率はC/Eが1.0で極大をとることがわかる。また(c)から一軸圧縮強度以下の側圧における内部摩擦角はC/Eが大きいところでは正でC/Eの減少に伴い負へ変遷しC/Eが1.0で極小をとり更にC/Eが減少すると0°に収束する傾向にある。以上のことをふまえて(a)~(c)を比較するとC/Eと空隙率の組み合わせにより破壊包絡線の傾きが決まることがわかる。正となるものは空隙率が少なく且一軸圧縮強度が大であり、これらの相乗効果より圧縮に強い内部構造を形成するものと考えられる。また内部摩擦角が大きな負のものは空隙が大きいため側圧を受けると不安定な構造となり圧縮への抵抗性が減少する。

小さい負となるものは空隙は少ないが一軸圧縮強度が小さく乳剤が多いため、側圧により内部構造が破壊されて粘着力に依存し粘性土的な性状を呈すと思われる。破壊包絡線が負になるCAEモルタルの等方圧縮後の

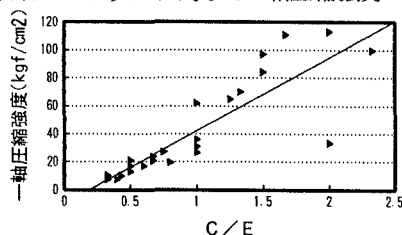


図1(a) C/E — 一軸圧縮強度

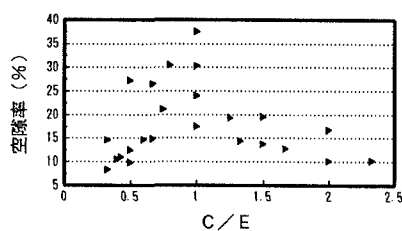


図1(b) C/E — 空隙率

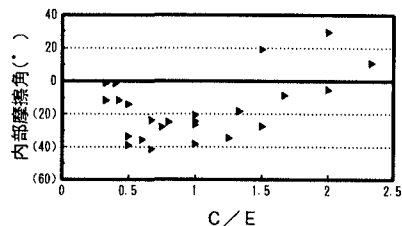


図1(c) C/E — 内部摩擦角

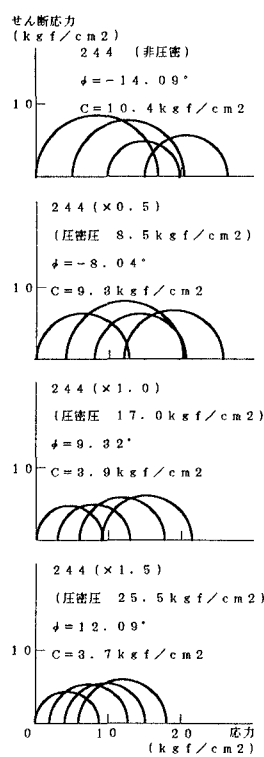


図2 CES=244のMohrの応力円

Mohrの応力円群を示した図2を見ると圧縮圧の増加に伴い傾きが正へと変遷している。これは圧縮によりCAEモルタルの空隙が減少し内部粒子間の内部摩擦角が増し圧縮強度が増加するものと思われる。圧縮圧と内部摩擦角の関係を示した図3より一軸圧縮強度とほぼ等しい圧力による等方圧縮で内部摩擦角が負から正へ変わることがわかる。更に図4より一軸圧縮強度以上の側圧での応力円に注目すると等方圧縮した場合と同様な効果をもたらしていることがわかる。

3-2 細孔径分布測定

図5に一軸圧縮試験後と三軸圧縮試験（一軸圧縮強度の2倍の側圧）後の平均細孔直径と累積細孔容積の関係を内部摩擦角が正(a)と負(b)の場合について示した。負のものは元々空隙が多いため一軸圧縮試験後より三軸圧縮試験後の方が全細孔容積(空隙)が実際に減少しているのがわかる。正のものは三軸圧縮試験後の方が全細孔容積が多くなっているが、これは側圧により逆に小さな細孔が多数発生したためと思われる。

4. 破壊形態による破壊崩落線の分類

Muskhelishviliによると楕円孔の形状に沿った接線応力(σ_θ)は次のようになる。¹⁾

$$\sigma_\theta = (\sigma_1 + \sigma_3) \frac{1 - m^2}{1 - 2m \cos 2\theta + m^2} + 2(\sigma_1 - \sigma_3) \frac{m \cos 2\alpha - \cos 2(\theta + \alpha)}{1 - 2m \cos 2\theta + m^2}$$

$m = (a - b)/(a + b)$ (a, b : 楕円の半軸 ; $a > b$)

$\alpha = \sigma_1$ の方向に対する長さ $2a$ の軸の角度

θ = 楕円形状の点を決定するパラメーター

σ_1, σ_3 : 主応力、圧縮の場合が正

図6に最大接線応力の発生分類を示し各接線応力の式を以下に示す。

CASE①: $\sigma_\theta = (2a/b+1)\sigma_3 - \sigma_1$

CASE②: $\sigma_\theta = (2b/a+1)\sigma_1 - \sigma_3$

CASE③: $\sigma_\theta = (2b/a+1)\sigma_3 - \sigma_1$

CASE④: $\sigma_\theta = (2a/b+1)\sigma_1 - \sigma_3$

CASE③(CASE①)において材料の最大結晶間結合力(T)に等しい引張応力が生じるとき、 $\sigma_1 - \sigma_3 = T + 2b\sigma_3/a$ という軸差応力関係を呈し材料の破壊を示す破壊包絡線は右上がりの形態を有する。これに対してCASE④(CASE②)において限界せん断応力の二倍(K)の圧縮により材料は異質の物性を生じ、この場合軸差応力は $\sigma_1 - \sigma_3 = (K - 2a\sigma_3/b)/(2a/b+1)$ となるので破壊包絡線は右下がりの形態を有する。

5. まとめ

1) 一軸圧縮強度とC/Eは比例関係にある。

2) CAEモルタルの破壊包絡線の傾きは一軸圧縮強度(C/E)と空隙率に依存し、その相乗作用によって決まる。(表1参照)

3) 負の破壊包絡線を有するCAEモルタルは一軸圧縮強度以上の圧力で等方圧縮されると正の破壊包絡線を有す性状に変化し、一軸圧縮強度以上の側圧についても同様のことが言える。

4) 提案式より、材料中の楕円孔の最大主応力作用縁での引張応力による破壊に関する破壊崩落線は正の勾配を有し、楕円孔の最小主応力作用縁での圧縮による破壊に関する破壊崩落線は負の勾配を有する。

※参考文献: 1) Dr. S. URIEL ROMERO: Brittle and Plastic Failure of Rocks

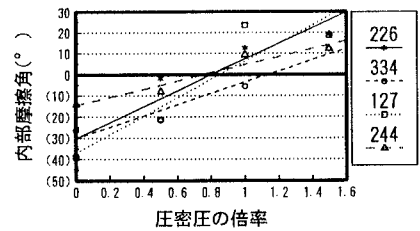


図3 圧密圧-内部摩擦角

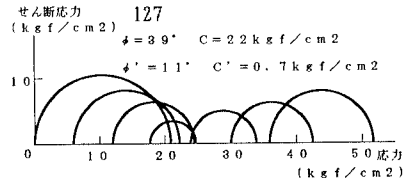


図4 CES=127のMohrの応力円

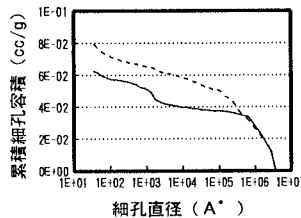


図5(a) CES=424の細孔径分布

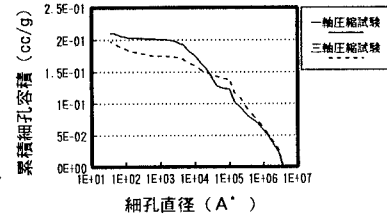


図5(b) CES=451の細孔径分布

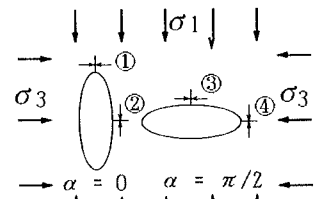


図6 最大接線応力の発生分類

表1 C/E、空隙率と内部摩擦角		
C/E	空隙率(%)	
	~17	17~
~0.5	負(小)	—
0.5~1.5	—	負(大)
0.5~	正	—