

論文

[1077] セメント・アスファルト乳剤複合体の力学特性

上田満\*1・浜田純夫\*2・黒川卓郎\*3・安久憲一\*4

1. はじめに

セメント・アスファルト乳剤複合体については、数多くの研究がなされており、スラブ軌道用充填モルタル〔1〕,〔2〕や路上再生路盤工法用バインダー〔3〕などいくつかのものが既に実用化されている。筆者らは、このセメント・アスファルト乳剤複合体がセメントとアスファルト乳剤の配合比を変化させることにより、剛性からたわみ性の広い範囲で調整できることに着目し、セメント-アスファルト乳剤-砂の三成分系の配合比を大きく変化させた場合のセメント・アスファルト乳剤モルタル（以下CAEモルタルという）の諸物性について研究を進めてきた。これらのCAEモルタルはその配合によってある特性には優れた性状を示すといった傾向を示す。いずれはこれらのそれぞれの特性を生かし、複合化して用いることにより、付加価値の高いものが得られればと考えている。今回は、CAEモルタルのセメントコンクリートとの付着強度、透水性、曲げクリープ、三軸圧縮強度特性について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.15，粉末度：3280）、砂は豊浦標準砂（比重：2.63）、及びアスファルト乳剤はノニオン系のセメント混合用乳剤（蒸発残留分58%、蒸発残留物の針入度は210）を用いた。

2.2 配合

配合はセメント-アスファルト乳剤-砂の三成分より構成される三角座標〔4〕により決定し、セメント、アスファルト乳剤のいずれかの配合が0のものを除くすべての格子点上配合（10%ピッチ）とした。曲げクリープ試験の場合、長時間要するので有用と思われる18配合で行った。供試体の作製は流し込みを基本とし、JISのセメントモルタル供試体成形時に適用される締め固め以外の突固めは行わなかった。また、練り上がり直後にモルタルのコンシステンシーを観察をした。

2.3 実験方法

(1) 付着強度試験

供試体は図-1のように研磨したコンクリート版上に幅4cm厚さ1cmの型枠を設置しCAEモルタルを打設することにより作製した。供試体は室温20℃の気中または湿潤養生を行なった後、材令7日、28日において建設省建築研究所方式簡易引張試験機を用いて、付着強度の測定及び破断面の観察を行った。また、以下の試験はすべて28日養生にて行った。

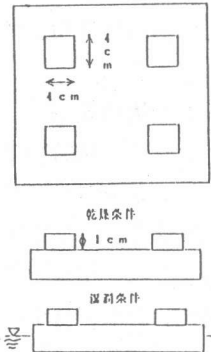


図-1 付着強度測定法

\*1 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

\*2 山口大学教授 工学部社会建設工学科 Ph. D. (正会員)

\*3 日瀝化学工業(株) 技術研究所

\*4 大阪セメント(株) 中央研究所

## (2) 透水試験

供試体はその寸法が $\Phi 10 \times 1$  cmの円板形であり、これを透水試験装置(図-2参照)の有孔円盤上に敷き詰めた砂の上に乗せ、水が供試体とモールドの側壁に沿って洩れないように周囲をブローンアスファルトで充填した。次に上部コックより圧力水を送り込み、透水させた。CAEモルタルに大きな圧力をかけると変形すると思われるので、水圧は1~2気圧とし、透水量の大きな供試体は1気圧、小さい供試体は2気圧とした。なお、試験時の温度は20°Cで行った。

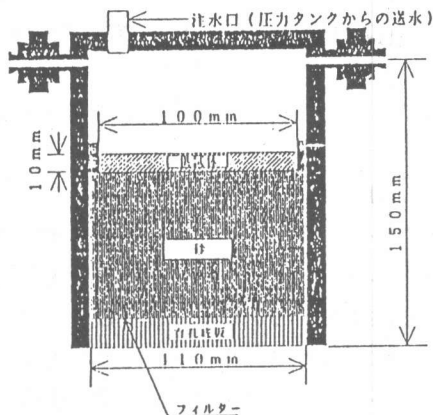


図-2 透水試験装置

## (3) 曲げクリープ試験

供試体はその寸法が $4 \times 4 \times 16$  cmのモルタルバーであり三連型枠により成形した。試験時の温度は-10°C~40°C間を10°Cおきに変えた6種の温度とし、載荷前に供試体を試験温度に1時間保持させた。載荷は3点曲げ(スパンは10 cm、中央1点載荷)とし〔3〕、載荷荷重は20°Cに於ける曲げ破壊荷重の20%とした。たわみの測定時間は載荷2時間、除荷後2時間の合計4時間に設定した。たわみ及び温度の測定はカンチレバー方式のひずみ計、熱電対を用い出力はデータロガーで記録させた。

## (4) 三軸圧縮試験

供試体はその寸法が $\Phi 5 \times 10$  cmの円柱形である。シールを施した供試体に側圧を一軸圧縮強度の範囲内で三段階に作用させ、軸方向の破壊応力を求めた。載荷速度は4 mm/minであり、最大側圧は三軸セルの機能により50 kgf/cm<sup>2</sup>とした。この試験結果をもとにモールの応力円を描き内部摩擦角、粘着力を各配合について求めた。なお、試験時の温度は20°Cとした。

## 3. 実験結果

### 3.1 付着強度試験

セメントコンクリートとの付着強度試験の結果を図-3に示す。この図は各配合の付着強度をもとに等付着強度曲線を描いたもので湿潤、28日養生の場合である。等付着強度曲線の間隔は1 kgf/cm<sup>2</sup>である。付着強度が最大になる配合はセメント、アスファルト乳剤、砂の配合割合が5:5:0(以下記号的にCE550とする)の場合であり17 kgf/cm<sup>2</sup>の付着強度を示している。付着強度が極大となるライン(山の稜線)は、

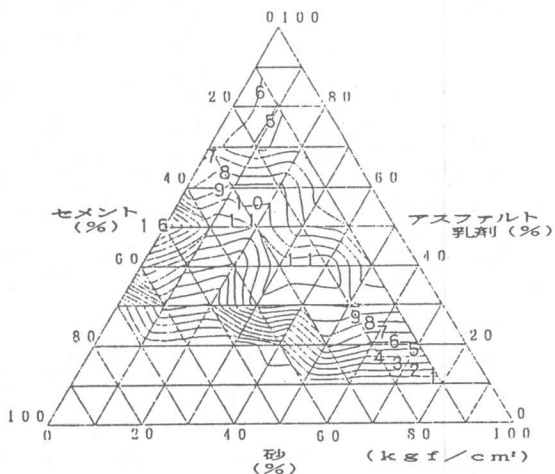


図-3 等接着強度曲線(湿潤)

C/E(セメントとアスファルト乳剤との重量比)が1.0前後の配合に於てみられる。付着強度が3 kgf/cm<sup>2</sup>以下の場合には接着界面の破壊は界面剥離であり、同じく3以上の場合には凝集破壊となる。なお気中養生の場合は、湿潤養生に比べて20%程度強度の低下がみられた。

### 3.2 透水試験

透水試験の結果を図-4に示す。この図は等透水係数曲線で示している。曲線の間隔は $10^{-1}$  (cm/sec) である。透水係数が $10^{-7}$  (cm/sec) 以下となるCAEモルタルの配合はC/E<1.00に於ける10種類程度である。透水係数はアスファルト量が多くなるほど低くなる傾向を示した。

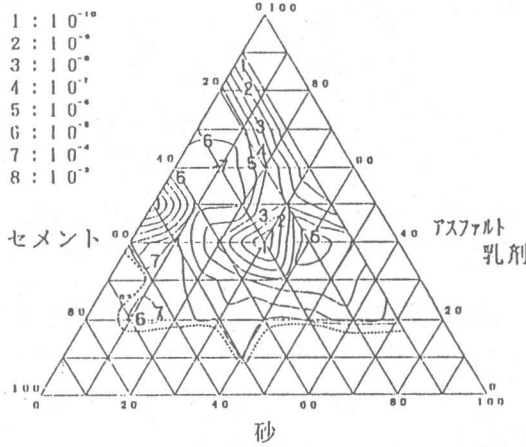


図-4 透水係数分布

### 3.3 曲げクリープ試験

モルタルバーによる3点曲げクリープ試験の結果を図-5に示す。この図はCE334の場合とグースアスファルトの場合の、たわみ-時間関係図を示している。密粒度アスコンについても求めたが紙面の関係により省略した。粘弾性体のクリープ試験結果の解析としてよく用いられるモデルに4要素掛金モデルがある。図-6に示されるこの様なモデルに於いてはひずみは一般に次の式にて示される。

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_p + \sigma_0/E_1 + \sigma_0/\eta_1 \times t + \sigma_0/E_2 \times (1 - \exp(-t/\tau)) \quad (1)$$

- $\varepsilon(t)$  : 全ひずみ
- $\varepsilon_p$  : 塑性ひずみ
- $\sigma_0$  : 一定応力 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- $E_1, E_2$  : バネ定数 (kgf/cm<sup>2</sup>)
- $\eta_1, \eta_2$  : 粘性係数 (kgf·min/cm<sup>2</sup>)
- $t$  : 時間 (min)
- $\tau$  : 遅延時間 (min) 但し  $\tau = \eta_2/E_2$

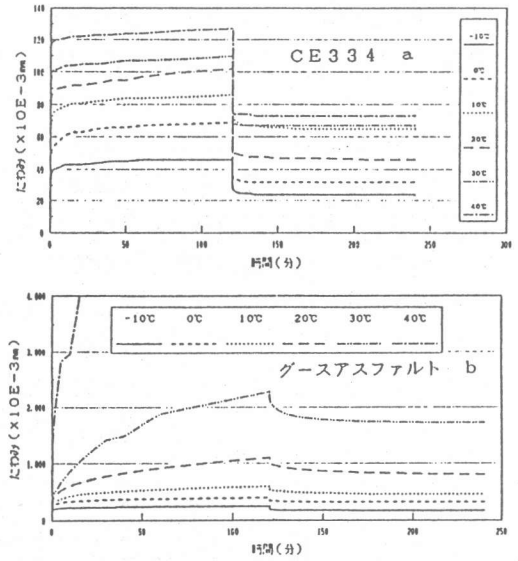


図-5 曲げクリープ試験結果

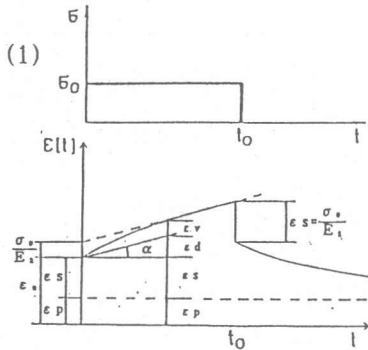
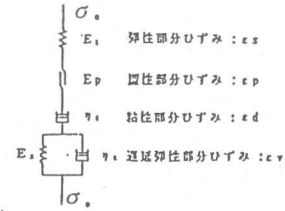


図-6 粘弾性モデル

式(1)を用いて各配合に於ける粘弾性定数及び塑性ひずみを求め、 $E_1$ の分布を示すと図-7のようになる。この図は温度が20°Cの場合のものである。他の粘弾性定数の概略値は配合によ

って異なり20°Cの場合表-1のようになる。クリープコンプライアンス ( $J(t) = \epsilon(t)/\sigma_0$ ) を-10°C~40°Cまでの温度について求めたものが図-8、図-9である。20°Cに於ける曲げ強度はCE334; 18.6(kgf/cm<sup>2</sup>),グース; 29.7(kgf/cm<sup>2</sup>)である。図-8、9よりクリープコンプライアンスの値はCAEモルタルの方がグースアスコンより小さい値を示し、CAEモルタルは温度の影響が小さいものと思われる。またグースアスファルトの場合には温度40°Cに

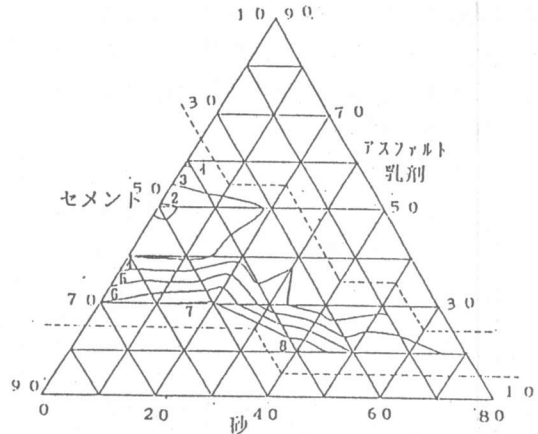


図-7 E<sub>1</sub>分布図

て載荷2時間以内に曲げクリープにより破壊(載荷荷重は20°Cに於ける破壊荷重の20%)し、密粒アスコンの場合は同様に20°C以上に於て破壊した。図-9には10°Cのクリープコンプライアンスを基準にとったマスターカーブも描かれている。

表-1 粘弾性定数

材料・定数	E <sub>1</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )		E <sub>2</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )		η <sub>1</sub> (kgf·min/cm <sup>2</sup> )		η <sub>2</sub> (kgf·min/cm <sup>2</sup> )		ε <sub>0</sub>	
	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値	最小値
CEモルタル	8.10×10 <sup>7</sup>	1.76×10 <sup>8</sup>	6.53×10 <sup>6</sup>	1.57×10 <sup>7</sup>	4.37×10 <sup>6</sup>	1.73×10 <sup>6</sup>	4.03×10 <sup>6</sup>	4.03×10 <sup>6</sup>	3.47×10 <sup>-3</sup>	3.70×10 <sup>-4</sup>
密粒アスコン	3.04×10 <sup>8</sup>		1.70×10 <sup>7</sup>		3.03×10 <sup>6</sup>		4.71×10 <sup>6</sup>		1.31×10 <sup>-4</sup>	
グースAS	2.19×10 <sup>7</sup>		3.61×10 <sup>8</sup>		1.59×10 <sup>6</sup>		1.22×10 <sup>6</sup>		2.81×10 <sup>-4</sup>	

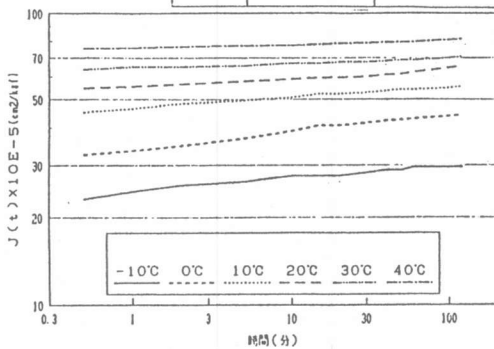


図-8 クリープコンプライアンス (CE334)

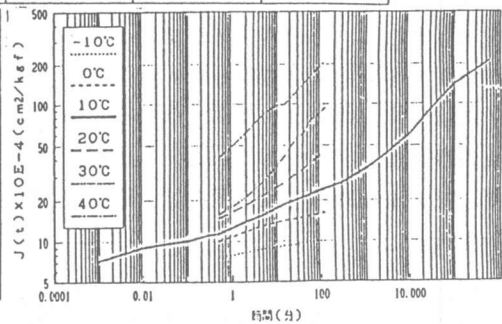


図-9 クリープコンプライアンス (グース)

### 3.4 三軸圧縮試験

側圧を3種に変化させて描いたモールの応力円は図-10のようになる。この図はCE325の場合であるが配合によっては包絡線の傾きが負になるものも存在し、内部摩擦角分布を示したものが図-11である。内部摩擦角の最大値はCE325において28度である。乳剤量が多くなると内部摩擦角が見かけ上、負になる傾向が見受けられ、この顕著な場合のモールの応力円は図-12のようになりこの図はCE550の場合で、内部摩擦角は-53度である。このようなモルタルの応

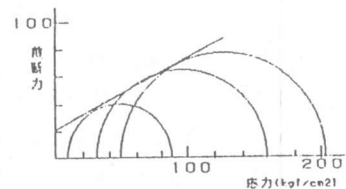


図-10 モールの応力円 (CE325)

カーヒズミ曲線は図-13となり側圧が高くなるに従い脆性破壊から延性破壊に移行するものと思われる。破壊時の強度はひずみレベルを同一にするため、脆性破壊終了後のひずみ0.05以内に於ける最大値を採用している。

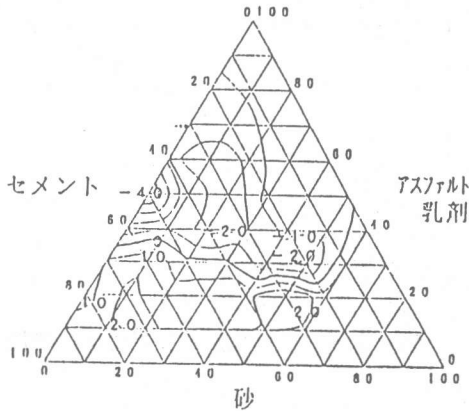


図-11 等内部摩擦角曲線

4. 考察

三角座標配合における練り上がり直後のフレッシュなCAEモルタルのコンシステンシー分布は図-14に示すようである。モルタルフロー試験〔5〕、L型フロー試験、スランプ試験、グリース貫入試験等〔4〕いろいろ試みたがこのように広範囲に変化するコンシステンシー評価法が見あたらず、そこで図のように観察による評価を行なった。土木構造用（地中連続壁、防水壁等）に用いる場合流し込み成形が基本となるので、CAEモルタルの配合はC/Eが0.3~2.0の範囲内配合（図の斜線部分配合）に限定される。またCAEモルタルはC/E>1.68の場合セメントが水和するのに必要な水が供給されない、C/E<0.5の場合材料分離が生じる為に使用に耐えられない。従って流し込み成形により、有効に使用できるCAEモルタルの配合の範囲は0.5<C/E<1.6、C/Wで表示すれば1.19<C/W<3.81（但しWとは乳剤中の水分量を示す）となる。この範囲内配合においてもCAEモルタルはC/E=1.5付近にて曲げ、圧縮強度が大となりC/E=0.5~1.0において透水性、付着強度に優れている等独自の特色を持っている。従って異なる配合のCAEモルタル2種、CAEモルタルとセメントコンクリートとを用い二層または多層構造の構造部材とすればより一層の効果を発揮するものと思われる。温度を-10℃~40℃まで変化させた曲げクリープ試験結果よりCAEモルタルは加熱アスコンと比較すれば感温性が小さく、定応力下に於ける抵抗力が認められ、セメントコンクリートとの付着性にも優れていると考えられるので土木構造用材料には適しているものと思われる。三軸圧縮試験に於いては、内部摩擦角が負となる配合のCAEモルタルが数多くみられる。このようなモルタルの場合、延性破壊を示すものと思われ許容ひずみを大きくとれる優位性を持っている。このモルタルは一軸強度が10(kgf/cm<sup>2</sup>)~60(kgf/cm<sup>2</sup>)までの値であるが、密度が1.0~

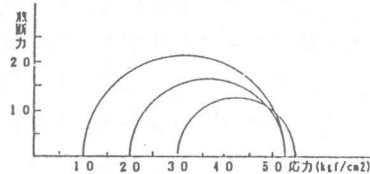


図-12 モールの応力円

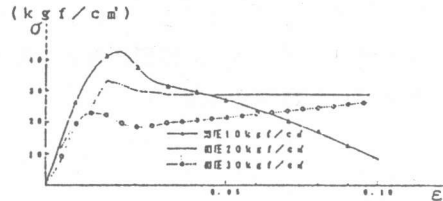


図-13 応力ひずみ曲線 (CE550)

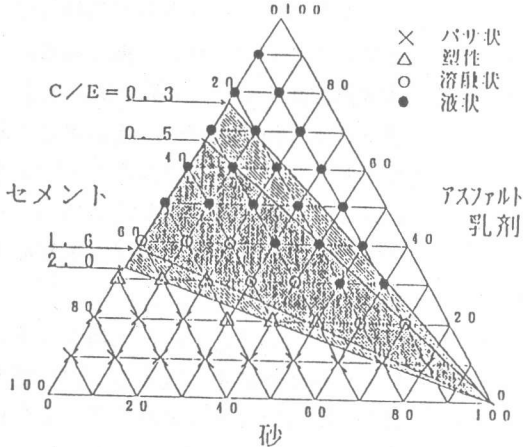


図-14 コンシステンシー分布

密度が1.0~

1.  $4 \text{ (gf/cm}^3\text{)}$  と他の材料と比べて小さく、また空隙率が  $15 \sim 35 \text{ (}\%)$  と大きく、図-15のように圧縮強度が  $60 \text{ kgf/cm}^2$  以下に於いては曲げ強度が圧縮強度に近い値を示していること、さらに流し込みにより成形しているために骨材の噛み合わせがあまり期待できないこと等の要因が総合的に影響することにより、内部摩擦角が負となる原因となっているものと思われる。しかしながら、この点については明らかではなく、種々の要因が考えられるので、今後の検討課題としたい。

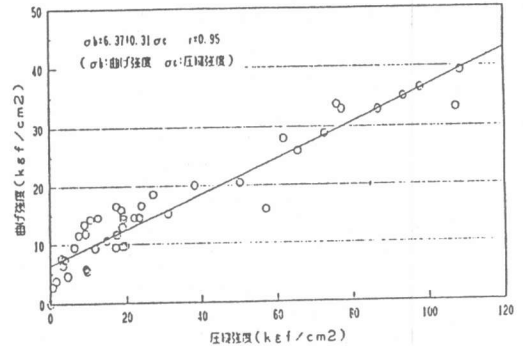


図-15 圧縮強度と曲げ強度の相関性

### 5. まとめ

セメント・アスファルト乳剤複合体の今回の実験結果をまとめると次のようになる。

- (1) セメントコンクリートの付着強度については、 $C/E$  が  $1.0$  付近に於て大となりその値は  $17 \text{ kgf/cm}$  程度である。
- (2) 透水係数が  $10^{-7} \text{ (cm/sec)}$  以下となる CAE モルタルは、 $C/E$  の値が  $1.0$  以下の  $10$  種類程度の配合の場合であり、不透水層材として利用できるものと思われる。
- (3) CAE モルタルは加熱混合タイプアスコンに比べて感温性が小さく。弾性率が大きく、応力下に於ける安定性が大きい。セメントコンクリートとの付着性も良好である。
- (4) 三軸圧縮試験結果によれば内部摩擦角が見かけ上、負になる配合が存在し、 $C/E$  が  $1.5$  以下ではその傾向が強い。
- (5) セメント・アスファルト乳剤複合体の力学特性、諸物性等は  $C/E$  による影響が大きく、流し込みにより成形し、硬化後土木構造用部材として使用するためには CAE モルタルの配合は  $C/E$  が  $0.5 \sim 1.6$  の範囲内の配合で、またアスファルト乳剤量を  $20\%$  以上にすることが好ましい。

[謝辞] 本研究に於いて三軸圧縮強度特性に関する実験結果および考察に御助言を頂きました山口大学村田秀一教授に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 樋口 芳郎, 原田 豊, 杉山 道行: 軌道用充満モルタルの諸性質と施工性, セメント技術年報 XXVII, pp. 363~368, 1973
- 2) 鳥取 誠一: 鉄道軌道に用いられるセメントアスファルトモルタル, アスファルト, Vol. 34, No. 171, 1992
- 3) 路上再生路盤工法技術指針(案), 社団法人日本道路協会, 1987
- 4) 上田 満, 田代 忠一, 黒川 卓郎, 小林 哲夫: アスファルト乳剤がアスファルトセメントモルタルの諸特性に与える影響について, コンクリート工学年次論文報告集 Vol. 14, No. 1, pp. 573~578, 1992
- 5) 上田 満, 田代 忠一, 兼行 啓治: セメントアスファルトモルタルの曲げ, 圧縮強度特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, pp. 351~356, 1991