

論文 浸透形アスファルト系免震材の基礎的物性について

田中康太郎*¹・片岡義人*²・上田満*³

要旨：アスファルト乳剤にセメント，フライアッシュ等を混入させたアスファルト系材料（以下ではCA複合体と称す）を空隙の多い砕石間に注入することによって，ライフライン等の保護を行うことを主目的とした。注入後の砕石を含むCA複合体の基本的な力学特性を把握し，免震材としての是非を検討した。その結果，アスファルト系材料が免震材としての要求性能をほぼ満たすことが確認された。

キーワード：C/E，せん断弾性係数，免震材

1. はじめに

以前から地震によりライフライン等の地下構造物が被害を受け市民生活に多大な支障をもたらしたことが報告されており，現在では地下構造物の地震対策が注目されている。地震対策の考え方としては2通りあり，1つは地震力に直接抵抗できるよう構造物自体の剛性を上げる方法，もう1つは地震力が構造物に伝達される前に構造物周辺で低減させる方法である。地下構造物への地震による被害は地盤の変形により大きく左右される。そのため伝達される地盤変形の影響を低減させることが必須条件となる。¹⁾

筆者等の研究によって，アスファルト乳剤を用いたCA複合体は，特異な材料であり，衝撃吸収材としての性質を持っていることが明らかとなった。^{1)~3)}そこで本研究では，その特性を活かし，CA複合体を用いた免震材の開発に取り組んだ。

まず使用材料及び配合の違いによるCA複合体の基本的な力学特性を見るため，一軸圧縮強度，割裂強度を求め，さらに衝撃吸収材としての特性を検討するため，応力緩和試験を行った。

次に本研究の主目的である免震材としての適否を検討するため，せん断弾性係数，透水係

表-1 材料特性

種類別	名称	詳細説明
細骨材	海砂	比重:2.62、粒径:0.6~0.074mm
	ファイラー	比重:2.60、粒径:0.074mm以下
粗骨材	砕石1	比重:2.68、粒径:5~13mm
	砕石2	比重:2.71、粒径:5~20mm
アスファルト乳剤	アスファルト乳剤	ノニオン系YON乳剤 比重:1.03、蒸発残留分の針入度211
セメント(結合材)	普通ポルトランドセメント	比重:3.15、粉末度:3280cm ² /g
	超速硬セメント	比重:3.09、粉末度:6280cm ² /g
	フライアッシュ	比重:2.30

表-2 使用材料

名称	細骨材	粗骨材	セメント(結合材)	アスファルト
複合体A	海砂	砕石1	超速硬セメント	アスファルト乳剤
複合体B	海砂	砕石1 砕石2	普通ポルトランドセメント	アスファルト乳剤
複合体C	海砂 ファイラー	砕石2	普通ポルトランドセメント	アスファルト乳剤
複合体D	海砂	砕石2	普通ポルトランドセメント フライアッシュ	アスファルト乳剤
複合体E	海砂	砕石2	フライアッシュ	アスファルト乳剤

*1山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻 (正会員)

*2(株)荒谷建設コンサルタント

*3山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

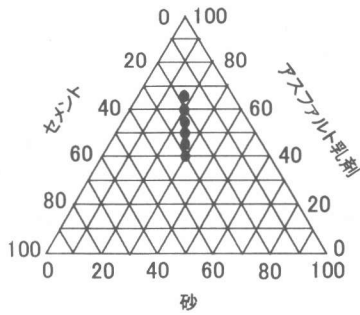


図-1 基本配合

数、水浸マーシャル安定度を求めた。

2. 実験概要

2.1 使用材料、及び配合

本研究ではCA複合体の種類を5種類設定し、それらを複合体A、B、C、D、Eと称す。また、複合体A、Bでは作製した供試体の基本的な力学特性の把握を主目的とし、複合体C、D、Eでは供試体の免震材としての適否を検討することを目的とした。材料の詳細を表-1に、使用材料を表-2に示した。注入するCA複合体は、図-1に示す、セメント(結合材)、アスファルト乳剤、砂の三成分系による三角座標上の6配合を基本とした。

2.2 供試体作製方法

現場における施工方法の想定、及び実験室内における供試体作製方法を簡潔に示したものが図-2である。現場においてライフラインの周囲に碎石を詰めCA複合体を浸透させ施工することを想定し、これと同様の方法を模擬的に再現するため、実験室内において図のような状況での打設を行った。碎石は型枠に詰め後、バイブレーターにより振動を加えて締め固めを行い、CA複合体は基本として自重により浸透させた。碎石充填時の空隙率は碎石1で45.3%、碎石2で46.3%となった。なお、型枠の寸法は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ とした。

2.3 マーシャル安定度試験、透水試験用供試体

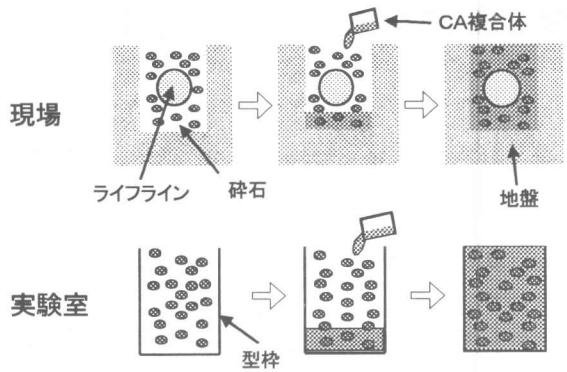


図-2 作製方法

マーシャル安定度試験用供試体は、標準試験用と水浸試験用の2種作製し、ともに $\phi 10 \times (6.35 \pm 0.13\text{cm})$ の円柱形とした。標準試験用の供試体は温度 20°C の室内にて1週間の常温養生、試験前に30分の水浸養生を行い、水浸用供試体

は5日間の常温養生、試験前に48時間の水浸養生を行った。試験時の載荷速度は $50 \pm 5\text{mm/min}$ とし、フロー値が40(1/100cm)に達した時の荷重を測定した。なお、試験時の温度は 20°C とした。²⁾

透水試験用の供試体はマーシャル安定度試験用供試体と同一寸法とし5日間の常温養生とした。試験には透水試験器を用いて行い、水槽の排水口からの越流量がほぼ一定になるのを待って、一定時間内に越流する水量を量った。さらに水頭をノギスで測り、水槽中の水温を温度計で計った。⁴⁾これらの測定値より透水係数を求めた。

2.4 一軸圧縮試験、割裂試験、応力緩和試験用供試体

供試体の形状及び寸法は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱形とした。型枠中に碎石を詰め後、所定の配合に混合されたCA複合体を流し込んだ。その後加圧面を整形しセメント:水=100:29のセメントペーストでキャッピングを行った。養生は28日間の常温養生を基本とし、複合体Bについては材令期間を3、7、14、28日間の4種類設けた。

一軸圧縮試験、割裂試験は万能圧縮試験機(最大荷重49kN、ひずみ制御方式)を用い、ひずみ速度一定(2mm/min)のもとで行った。また、

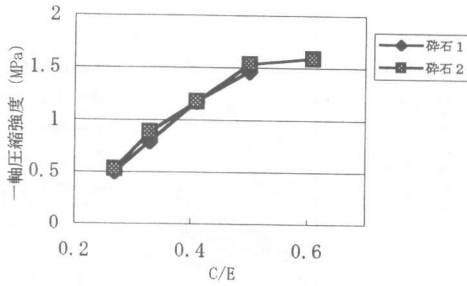


図-3 砕石の違いによる比較

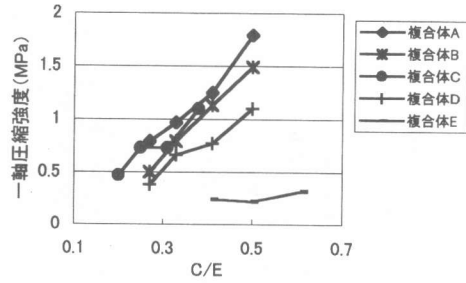


図-5 一軸圧縮強度比較

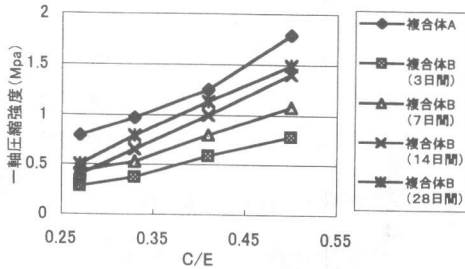


図-4 養生期間の違いによる比較

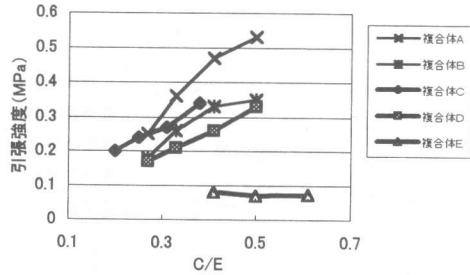


図-6 割裂強度

供試体にストレインゲージを貼り、縦ひずみと横ひずみを測定した。

応力緩和試験は万能圧縮試験機（最大荷重 29.4kN、ひずみ制御方式）を用いて行った。まず供試体破壊時のひずみ（後述では破壊時ひずみと称す）を測定し、破壊時ひずみの50%に達するまで一定のひずみ速度（変位速度：5mm/min）で載荷した後ひずみを拘束し、載荷開始より170分間、時間経過に伴う応力の変化を測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 CA複合体充填に効果的な配合

複合体Aで供試体を作製した結果、C/E（セメント（結合材）とアスファルト乳剤の質量比）=0.75の配合のCA複合体は、砕石間に注入不可能であった。またC/E=0.61の配合のCA複合体においては、注入可能であったり不可能であったりとまちまちであった。そこでC/E=0.5以下の供試体を砕石間に注入可能なCA複合体として実験を行った。また他のCA複合体につ

いても同様に判定を行い、配合の範囲を変更し実験を行った。

3.2 一軸圧縮強度

複合体Bにおいて砕石の種類の違いによる一軸圧縮強度の比較を、一軸圧縮強度とC/Eの関係で示したものが図-3である。図よりC/Eが大となると一軸圧縮強度も大となることがわかり、砕石の粒径の違いによる影響がほとんどないことが伺える。

セメントと養生期間の違いによる一軸圧縮強度の比較を示したものが図-4である。養生期間が長くなるに従って、一軸圧縮強度が大となった。また複合体Aが複合体Bの強度の1~1.2倍となっており、セメントの粉末度が異なることによる影響と思われる。ここで路床、路盤への適用を述べると7~10日以内に0.7~1.0MPa以上の強度を満たすことがいわれている。この条件より今回の結果を踏まえると、この材料を路床、路盤へ適用することが可能であることが分かる。

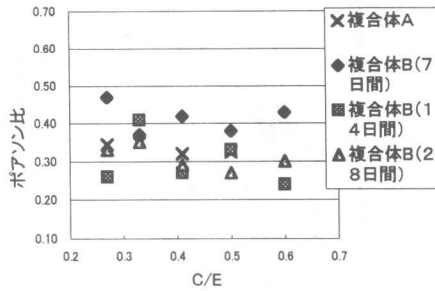


図-7 ポアソン比 (複合体A, B)

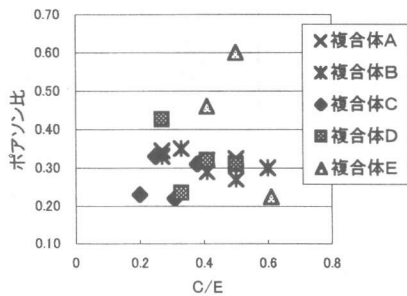


図-8 ポアソン比

各複合体の強度比較を示したものが図-5である。図よりCA複合体の一軸圧縮強度の関係がA>C>B>D>Eとなることが明らかとなった。複合体EはC/Eの変化に伴う影響がほとんど見られなかった。

3.3 割裂強度

各複合体の割裂強度の比較を示したものが図-6である。図より割裂強度も一軸圧縮強度と同様の傾向を示すことが見て取れる。また、割裂強度の圧縮強度に対する強度比は1/3~1/5であった。

3.4 ポアソン比

一軸圧縮試験を行う際、供試体にストレインゲージを貼り縦ひずみを測定し、ひずみ-変位のグラフにより得られる横ひずみの角度を ϕ_1 、縦ひずみの角度を ϕ_2 とし、次式によりポアソン比 ν を算出する。

$$\nu = \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_2} \quad (1)$$

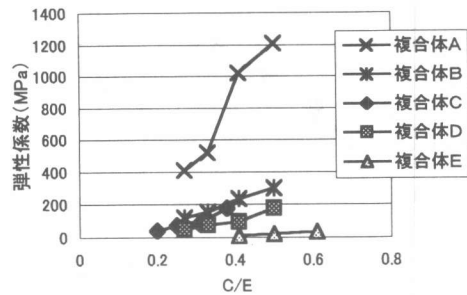


図-9 弾性係数

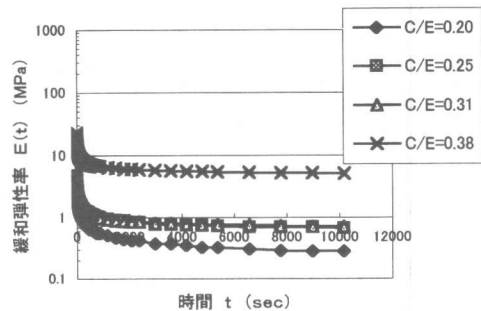


図-10 緩和弾性率と時間の関係

同条件の供試体を2個ずつ作製しそれぞれの平均値をポアソン比とした。ポアソン比とC/Eの関係複合体A, Bについて示したものを図-7、複合体C, D, Eの場合を図-8に示した。図-7よりポアソン比はC/E、及び養生期間に関わらず、また図-8より使用材料の違いに関わらず0.22~0.47のほぼ一定の値を示した。

3.5 弾性係数

弾性係数とC/Eの関係を示したものが図-9である。図よりC/Eが大になるに従って弾性係数も大となる傾向があることがわかる。複合体Aは他の複合体に比べ急激な増加傾向が見られた。この要因は超速硬セメントによるものと思われる。弾性係数、圧縮強度等はセメントによる影響を受けやすいと考えられる。

4. 応力緩和試験

材料の応力緩和特性を顕著に表現できる物理常数として粘弾性体には緩和弾性率が一般的に用いられる。緩和弾性率は、次式のように定義されている。

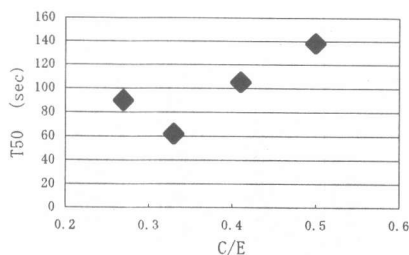


図-1 1 T50とC/Eの関係

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} \quad (2)$$

$E(t)$: 緩和弾性率 (MPa)

$\sigma(t)$: 緩和応力 (MPa)

ε_0 : 一定ひずみ

4.1 応力緩和と経過時間

緩和弾性率と経過時間の関係を図-10に示した。この図は複合体BにおけるC/E別の4配合について両対数図上に示したものである。保持したひずみは破壊時ひずみの50%の場合である。緩和弾性率はひずみを一定に保った瞬間から急激に低下し、緩和時間が長くなるに従ってある一定の割合で低下する傾向が存在する。

4.2 応力緩和時間とC/Eの関係

供試体を破壊時ひずみの50%で拘束し、応力が最高値の50%まで減少するのに要する時間T50とC/Eの関係を供試体Bについて示したものが図-11である。図よりC/Eが大になるに従ってT50が大になることが伺える。従って、C/Eが小さいものほど応力緩和特性が顕著である。

5. 免震材としての適否

5.1 免震材の持つべき特性

ライフラインを保護する免震材としての要求性能を以下に示す。³⁾

- ①小さいせん断弾性係数を有する軟らかい硬化物で、高いせん断変形性能を有すること。

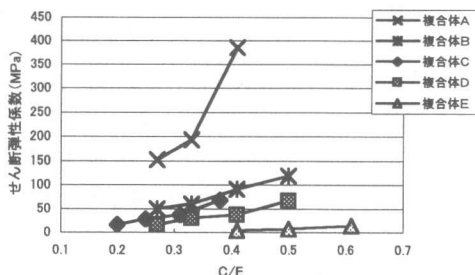


図-1 2 せん断弾性係数

- ②耐久性に優れ、長期安定材料であること。
- また、体積変化が小さい材料であること。
- ③施工性に優れること。
- ④高い止水性を有すること。
- ⑤地下水に希釈されないこと。
- ⑥有害物質を発生しないこと。

これらの条件を満たすとき、その材料が免震材として役割を果たすと言える。そこで先でも述べたが複合体C, D, Eにおいて本来の目的である免震材の適否を検討するため、今回、条件①, ④, ⑤の3つに着目し、複合体A, Bの実験結果を交えて比較検討した。

5.2 せん断弾性係数

地盤とライフラインとの間に周辺地盤よりもせん断弾性係数の小さい免震層を設置することにより地盤変形からライフラインを絶縁することできると考えられている。せん断弾性係数は次式により定義されている。

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3)$$

G : せん断弾性係数 (MPa)

E : 弾性係数 (MPa)

ν : ポアソン比

式(2)を用いて本実験で得られた各測定値を代入し計算した結果を、せん断弾性係数とC/Eの関係で示したものが図-12である。複合体A, Bと複合体C, D, Eとを比較すると、後者の方がせん断弾性係数が小さくなっており、3.85~6.80MPa となった。これは使用材料セメ

ントの質量比で50%をフィラーに変えたり、またフライアッシュに変えたためと考えられる。せん断弾性係数は周辺地盤の1/100が望ましいとされており、実験結果より得た値はまだ大きすぎると思われる。本研究にてせん断弾性係数の低減は図れたものの、条件①に関して言えば十分な免震効果を発揮するとは断言できない。しかし、周辺地盤が硬い場所、例えばトンネルの裏込め材などに用いる場合は十分免震材として期待できるとと思われる。

5.3 CA複合体の止水性

透水係数が 10^{-7} cm/s以下ならば高い止水性を有するとされている。今回の透水試験では、排水量がほとんどなく計測をするに至らない程度であった。よって、本研究で用いた供試体は高い止水性を持ち条件④を十分に満たすと言える。

5.4 水浸によるCA複合体の強度変化

条件⑤について検討するため、標準マーシャル安定度試験結果と水浸マーシャル安定度試験結果の比較を行った。その結果を複合体Dについて示したものが図-13である。これより残留安定度（水浸マーシャル安定度の標準マーシャル安定度に対する百分率）を求め平均すると75.3%となった。残留安定度は60%以上が必要とされており、今回の実験より得られた結果はほぼ条件を満たすと思われる。従って、地下水などの影響による供試体の強度変化は許容範囲であると言える。

5.5 免震材としての課題

CA複合体は、常温で液体のアスファルト乳剤を用いているため材料混合時に加熱を必要とせず、また混合後流動性を持つ特殊な材料である。従って、施工性に優れ、有害物質を発生しないと考えられ条件③、⑥は十分満足するものと思われる。今後の課題として、条件②に示されている長期安定材料であることの究明、また、動的なせん断試験による検討が挙げられるが、アスファルト系材料の免震材への適用は、十分可能であると期待される。

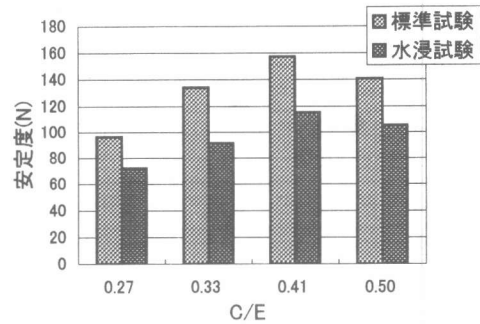


図-13 マーシャル安定度試験結果

6. まとめ

- 1) CA複合体はセメントによる影響が大である。逆に、セメントの量、種類を変えることによりCA複合体のせん断弾性係数等は幅広く変えることができる。
- 2) ボアソン比は使用材料、C/E、養生期間に関わらず0.22~0.47の範囲内の値をとる。
- 3) CA複合体はC/Eが小さいほど応力緩和特性が顕著にあらわれ、緩和弾性率が半減するのに要する時間は、複合体BのC/E=0.33の配合の場合で60(sec)である。
- 4) 今回の実験範囲内で、免震材の要求性能をほぼ満たすことが確認された。

参考文献

- 1) 横溝三恵, 上田満, 片岡義人: ライフライン保護を主目的としたアスファルト系免震材の基礎的研究, 土木学会中国支部発表概要集, Vol. 51, pp. 569-570, 1999
- 2) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, pp. 897-903, 506-516, 1988
- 3) (社)土木学会: 土木学会誌, Vol. 83, No13, 1998. 11
- 4) 上田満, 浜田純夫, 黒川卓郎, 安久健一: セメントアスファルト乳剤複合体の乾燥収縮及び曲げ特性、コンクリート年次論文報告集、第16巻、第1号、pp. 591-596、1994