

論文 骨材および配合がセメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮強度特性に与える影響

藤本 晋矢*1・原田 竜也*2・上田 満*3・村田 秀一*4

要旨: セメントにアスファルト乳剤を添加し混合することにより得られるセメントアスファルト乳剤複合体（以下では CA 複合体と称す）は三軸圧縮試験を行うと、破壊包絡線の傾きが右下がりになる複合体が存在する。この欠点を改良するため、使用骨材を変化させ、また、配合をかえることによって CA 複合体の破壊包絡線の傾きを正にすることが可能となった。さらに、地下水の影響を考慮するため水中養生後の一軸強度等を求めた。
キーワード: Mohr の応力円、破壊包絡線、耐酸性、消泡剤、吸水率

1. はじめに

筆者等の研究によれば図-1に示すように、CA 複合体の三軸圧縮試験より得られた破壊包絡線の傾き（以下では内部摩擦角と称す）は正のものとの負のものとの2種存在する。また、内部摩擦角が負になるという CA 複合体特有の三軸圧縮特性は、複合体内部の空隙に依存していることが確認された¹⁾⁻²⁾。そこで、本研究では速水を目的とした地中連続壁等の構造物に適用できる CA 複合体の開発に焦点を置き、CA 複合体の内部摩擦角を正にすることを主目的とした。従って、空隙率を減少させるため混和剤として消泡剤を用い、セメントは粉末度の高いセメントを用いた。また、実際の構造物としての適用も配慮し、骨材を標準砂から海砂にかえて三軸圧縮試験を行った。さらに、CA 複合体中の骨材体積率の変化が三軸圧縮特性に与える影響を検討するため、上記の材料に砕砂を CA 複合体の体積割合で 50%添加した複合体の三軸圧縮特性についても検討した。また、地中における CA 複合体の環境条件を配慮し、地下水等による一軸強度の変化も検討した。この際に酸性雨等の影響も考慮するため、CA 複合体の酸性水溶液

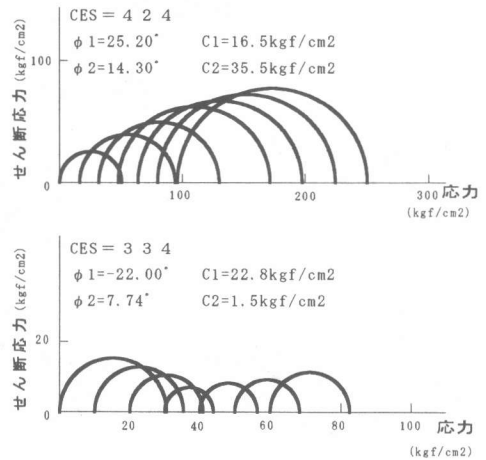


図-1 Mohr の応力円群

養生後の一軸強度についても検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究では、使用骨材の異なる 2 種の複合体を作製した。すなわち複合体 A の使用材料は速硬性セメント（比重：3.09，粉末度：6280cm²/g），ノニオン系のセメント混合用乳

* 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 山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻（正会員）
 * 3 山口大学助教授 工学部社会建設工学科（正会員）
 * 4 山口大学教授 工学部社会建設工学科，工博

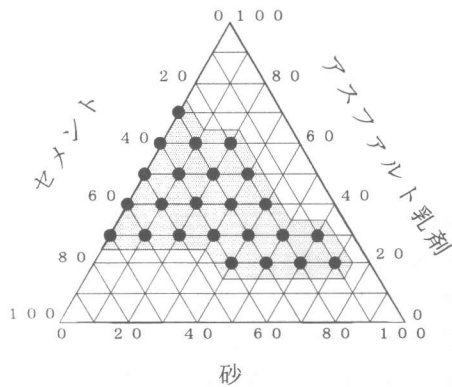


図 - 2 三角座標による配合分布 (複合体 A)

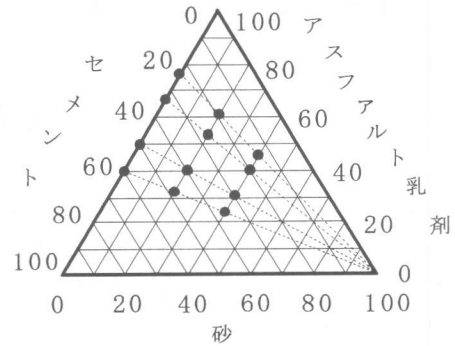


図 - 3 三角座標による配合分布 (複合体 B)

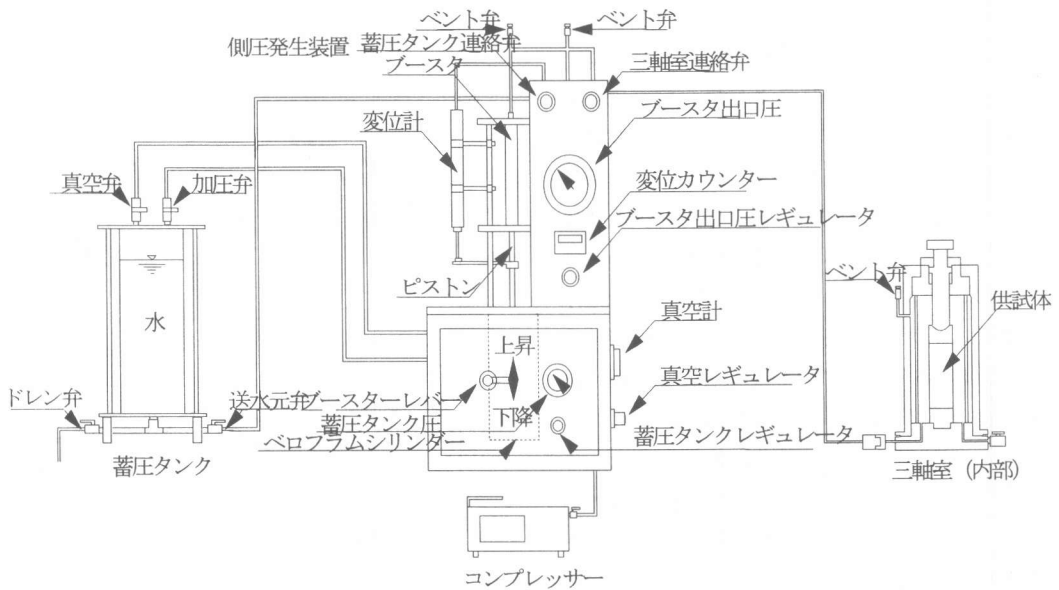


図 - 4 三軸圧縮試験装置

剤 (YON 乳剤→濃度 : 57.9%, 蒸発残留分の針入度 : 211), 海砂 (骨材最大寸法 : 0.6mm, 比重 : 2.62) とし, 配合は図 - 2 に示す三角座標の格子点上 24 配合とした。また, これに混和剤として空隙率減少効果のある消泡剤をアスファルト乳剤の質量の 0.1% 添加した。複合体 B の使用材料は, 骨材の体積割合を増加させるため複合体の体積の 50% を砕砂 (比重 : 2.60) として, 残りの体積の 50% に上記の複合体 A で使用した材料を用いた。砕砂を除いたセメント,

海砂, アスファルト乳剤の配合は図 - 3 の三角座標に示す 12 配合とした。また, セメント, アスファルト乳剤, 海砂の質量配合比が 3 : 2 : 5 の CA 複合体は 325 と以下では略記する。

2.2 一軸, 三軸圧縮試験

供試体は $\Phi 5 \times 10$ cm の円柱供試体で打設後 24 時間は温度 20°C, 湿度 80% 以上の恒温槽にて型枠のまま養生し, 脱型後は温度 20°C の室内にて 27 日間養生した。一軸圧縮試験は万能圧縮試験機 (最大荷重 5tf, ひずみ制御方式) を用

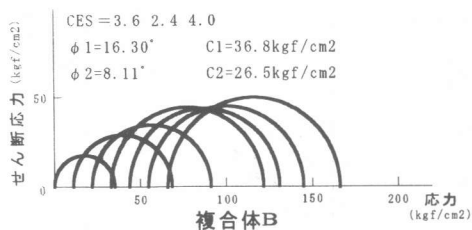
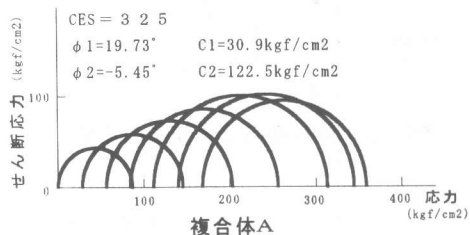
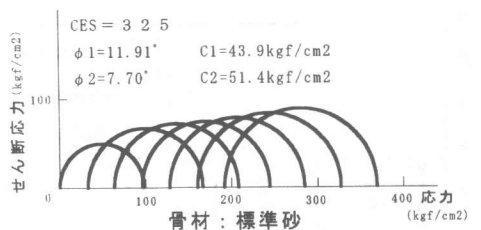


図 - 5 Mohr の応力円群
(破壊包絡線の傾き：正)

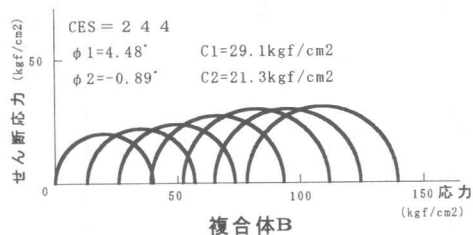
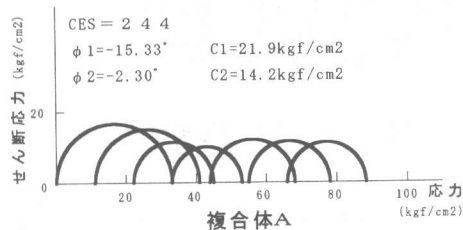
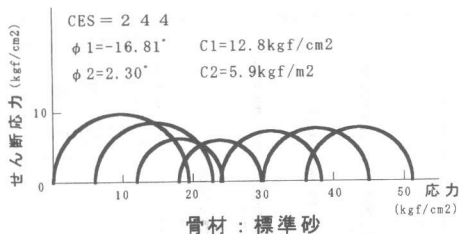


図 - 6 Mohr の応力円群
(破壊包絡線の傾き：負)

い、ひずみ速度一定 (3mm/min) のもとで行った。

三軸圧縮試験は供試体にゴムスリーブを装着し、図-4に示す試験機を用い、真空ポンプの圧力により三軸室内に水を送り込んで側圧をかけ、ひずみ速度一定 (3mm/min) のもとで軸圧をかけた。側圧の大きさは一軸圧縮試験より得られた一軸圧縮強度を側圧とするものを境に、それ以下と以上の各々に対し三段階ずつ変化させた。いずれの試験も室温 20°Cのもとで行った。

2.3 耐酸性試験

試験に用いた複合体の種別は複合体 B で、前述のように打設後空中にて 28 日間養生し、養生後の供試体の体積を測定した。養生後の供試体を空中、水中、酸性水溶液中においてさらに 28 日間養生し、計 56 日経過したそれぞれの供試体の体積を測定した後、一軸圧縮試験を行

い一軸圧縮強度を求めた。酸性水溶液は水 1000ml にフタル酸 10.21g を溶解させ、pH 値 4 程度の水溶液とした。フタル酸を用いたのは、その水溶液濃度変化による pH 値の変動が小さいこと、また、pH 値を 4 としたのは、酸性雨の pH 値が 4.5~5 に相当することによる。

3. 実験結果

3.1 三軸圧縮試験

複合体 A、複合体 B の一軸、三軸圧縮試験結果より描いた Mohr の応力円群を図-5、6に示す。図には、骨材として標準砂、セメントに普通ポルトランドセメントを用いた複合体の応力円群も示した。一軸圧縮強度以下の側圧の内部摩擦角を $\phi 1$ 、粘着力を $C1$ とし、一軸圧縮強度以上の大きさの側圧の場合を同様に $\phi 2$ 、 $C2$ と定義した。

図-5 に示された応力円群はいずれの種別の

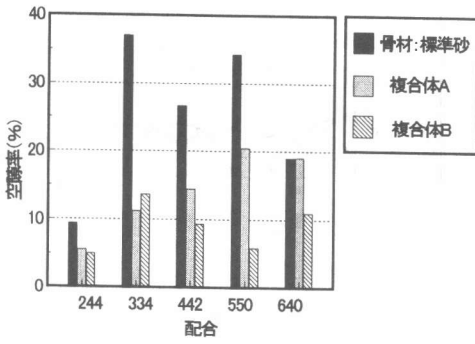


図 - 7 配合別空隙率の比較

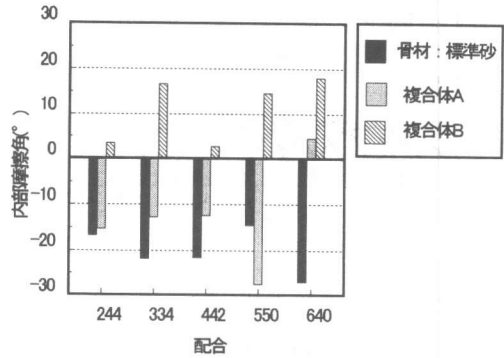


図 - 8 配合別内部摩擦角の比較

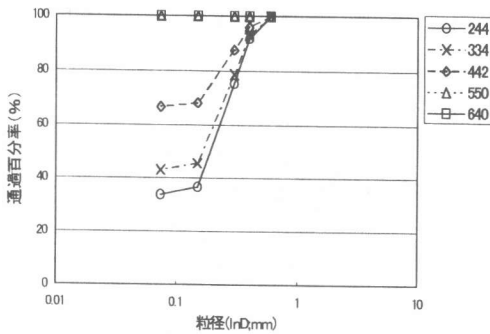


図 - 9 粒度分布 (複合体 A)

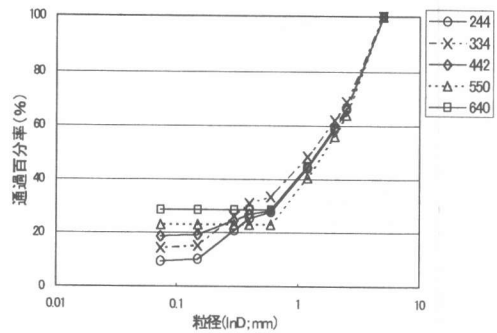


図 - 10 粒度分布 (複合体 B)

複合体においてもその内部摩擦角は正であった。図-6は以前筆者等の研究により内部摩擦角が負であった配合を取り上げ、傾きの変化を比較した図である。これより、複合体 A の内部摩擦角の傾向は骨材として標準砂を用いたものと同様であったが、粘着力は2倍程度大となった。複合体 B においては内部摩擦角が正に変化し、粘着力もさらに大となった。これらの主たる要因として、骨材の粒度分布の改善と空隙率の低下があげられる。

図-7は3種類の複合体の空隙率を配合別に比較を示したものである。この図より、複合体 A も空隙率が減少しているが、複合体 B の方が空隙率の減少が大きいといえる。その結果として、図-8に示すような内部摩擦角の変化がみられると考えられる。複合体 B の空隙率が小さい理由として粒度分布の違いが考えられる。標準砂は粒径が0.1~0.3mmと比較的粒のそろ

った単粒の骨材であり、空隙を生じやすい骨材であると思われる。複合体 A, B に用いた海砂、砕砂は単粒の骨材とはいえない。そこで、複合体 A, 複合体 B の粒度分布を図-9, 10にそれぞれ示す。一般的に、粒度分布がよい材料は粒度分布の悪い材料に比べ空隙率が小さくなるが知られているが、この場合も同じことがいえる。複合体 B は砕砂を加えたことにより、その分粒度分布がよくなり、骨材最大寸法も大である。その結果として内部摩擦角が正となり、また、粘着力も大となったものと思われる。

3.2 三軸圧縮試験における各種複合体の体積変化

ここでは、複合体 B の三軸圧縮試験より得られた内部摩擦角が正になった要因を別の角度から検証する。

内部摩擦角が負になるのは、三軸圧縮試験中

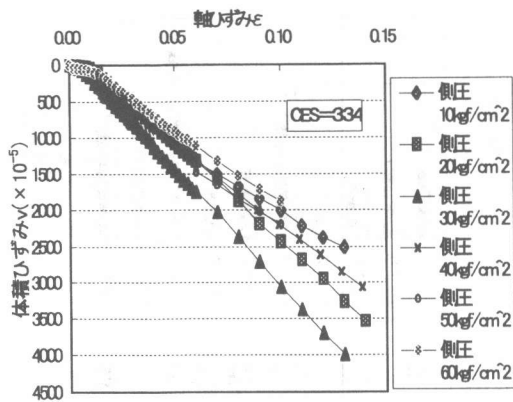


図 - 1 1 軸ひずみ-体積ひずみ曲線

に複合体内部の空隙がつぶれて流動がおきた結果、体積変化が大きくなり、強度低下が生じることによって考えられる。そこで、3種の複合体における体積変化を比較することにより要因を検討する。

図-11は三軸圧縮試験における軸ひずみと体積ひずみの関係の一例を表した図である。この図に示された軸ひずみ-体積ひずみ曲線から単位軸ひずみあたりの体積ひずみの割合を求める。即ち、軸ひずみ ϵ に対する体積ひずみ v の割合を $\tan \theta = v/\epsilon$ とし体積減少比と定義する。この値の大きさを配合別に比較した図を図-12に示す。この図における $\tan \theta$ は一軸強度の大きさの側圧を作用させて三軸圧縮試験を行った場合の値である。この図より、セメントに普通ポルトランドセメント、骨材に標準砂を用いた複合体に比べ、複合体Aの値が小さく、また、複合体Bがもっとも小さい値になることがわかる。複合体Bの体積減少比は骨材として標準砂を用いた複合体のものに比べ1/2程度以下であった。このことより考えられることは、図-7に示した空隙率の減少により体積変化が少なくなり前述のような強度低下を生じることなく内部摩擦角が正になったものと推測される。

また、複合体Bの体積変化がもっとも小さくなったのは骨材の粒度分布がよいこと、複合体中に占める骨材の体積割合が大きいことも要

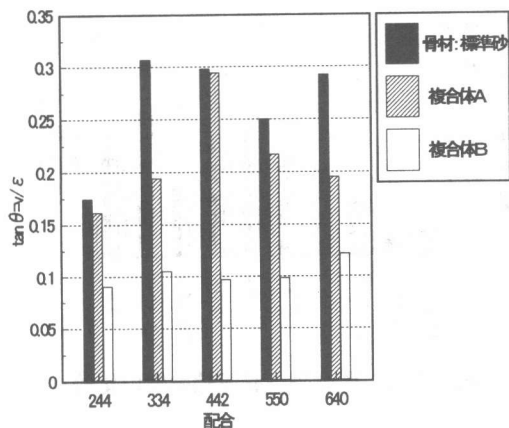


図 - 1 2 配合別体積減少比の比較

因として考えられる。

骨材の体積率がCA複合体の三軸圧縮強度特性に与える影響についての詳細は今後の検討課題としたい。

4. 一軸圧縮強度の水・酸による影響

図-13は養生方法の違いによる一軸圧縮強度を配合別に比較したものである。図より空中養生による一軸強度はC/E(セメントとアスファルト乳剤との質量比)が大となるに従って大きい値を示すといえるが、C/E=1.5程度になると未水和のセメントが多く存在し、一軸強度は幾分か小さくなる。

C/E=1.0以下のCA複合体においては水中養生、酸性水溶液養生の一軸強度が空中養生の一軸強度より小さくなっている。この原因として、乳剤量の多い複合体では材齢28日程度ではアスファルト乳剤が完全に分解しておらず、水浸することによって乳剤が再乳化する傾向が存在するためである。

逆に、C/E=1.5の複合体の場合は水浸することによって未水和のセメントが水和し、一軸強度の増加をもたらしていると考えられる。そこで、これを検証するため、図-14に吸水率を配合別に比較した。図よりC/Eが高くなるほど、吸水率は増加する傾向にあるのがわかる。これは、C/Eが大の場合、透水係数が大で水が

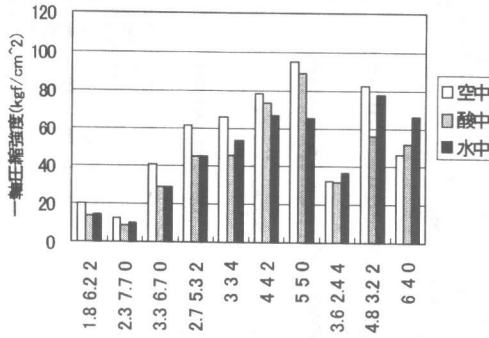


図 - 1 3 配合別一軸圧縮強度の比較

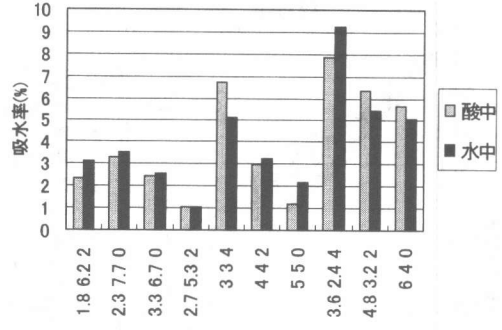


図 - 1 4 配合別吸水率の比較

浸透しやすいため、より吸水率が増加したと考えられる。したがってこのことが、未水和セメントと水との水和反応を進行させたといえる。しかし、同じ C/E をもつ CA 複合体で比較すると、砂の含有量の多いものの方が吸水率は高くなっている。この理由は、砂の含有量が多いので、空隙が生じやすく、空隙に水が侵入するためと考えられる。

以上のことより、水浸等によって一軸強度低下を生じない CA 複合体の C/E は 1.5 程度であると思われる。また、酸の影響を受けた CA 複合体の強度は空中のものより劣るものの、水中養生との強度差はさほど見られないと言える。

しかしながら、この複合体は多少流動性に欠けるため添加水を必要とするであろう。また、水浸養生後、酸性水溶液養生後の三軸圧縮試験は必須条件であると思われるので、以上の 2 点については今後の検討課題としたい。

5. まとめ

本研究の範囲内にて得られた結果をまとめる以下ようになる。

- 1) 砕砂を体積割合で 50% 添加して作成した複合体の破壊包絡線の傾きは C/E に関わらず正になる。
- 2) 水浸によって一軸強度低下を生じない CA 複合体の C/E は 1.5 程度である。
- 3) CA 複合体の破壊包絡線の傾きを正にするには、粒度分布がよい骨材を使用する

こと及び骨材の体積率を増加させる必要がある。

- 4) 砕砂を混入させた CA 複合体の体積減少比は標準砂を用いた CA 複合体の体積減少比の 1/2 以下であり、その値は 0.1 程度となった。

謝辞：本研究の遂行において材料の提供及びご指導をいただいたニチレキ（株）、住友大阪セメント（株）の関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐々木慎吾・上田満・浜田純夫・村田秀一：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，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19，No. 1，pp. 547-552，1997
- 2) 上田 満，村田秀一，金田雅之，佐々木慎吾，浜田純夫：セメントアスファルト乳剤複合体の三軸圧縮特性に関する基礎研究，土木学会論文集，No. 585/V-38，137-152，1998