

# 論文 水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

梅田 隆全<sup>\*1</sup>・藤本 晋矢<sup>\*1</sup>・原田 竜也<sup>\*2</sup>・上田 満<sup>\*3</sup>

**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)を産業廃棄物の埋立地における漏水の防止を目的とする地中連続壁として適用するため、空気中、酸性水溶液中、水中(以下ではそれぞれ、空中、酸中、水中と称す)の3種類の養生後、三軸圧縮試験を行った。その結果、材料、配合、養生方法の違いにより力学的特性は大きく異なるが、酸による影響はさほど大きくなかったことが認められた。

**キーワード:** CA複合体、C/E、耐酸性、耐水性、破壊包絡線

表-1 使用材料

	複合体A	複合体B	複合体C
乳剤	アスファルト乳剤 (蒸発残留分濃度: 57.9%, 針入度: 211)		アスファルト乳剤 (蒸発残留分針入度: 60/80)
セメント	速硬性セメント (比重: 3.09, 粉末度: 6280 cm <sup>2</sup> /g)	普通ポルトランドセメント (比重: 3.15, 粉末度: 3480 cm <sup>2</sup> /g)	
細骨材	海砂(骨材最大寸法: 0.6mm, 比重: 2.62, 均等係数: 1.6) 碎砂(粒径: 5~0.6mm, 比重: 2.6, 均等係数: 3.3)		
混和剤	消泡剤(アスファルト乳剤質量の0.1%)		

## 1. はじめに

本研究では遮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複合体が地中において、地下水の影響を如何に受けるかを考え、その耐酸性、耐水性を検討することを主目的とした。本研究は本年度から本格的に開始したものであるため、酸中、水中養生後の三軸圧縮試験は初めての試みであった。実験結果については、配合別に一軸圧縮強度、空隙率、体積膨張率等を求め、また過去の研究から<sup>1),2)</sup>材料、配合、空隙率の相違によって内部摩擦角が大きく異なるという結果が得ら

れていたため、その変化にも注目した。また、地中の産業廃液、地下水などによって、CA複合体がどの程度、水分を吸収するかを検討するため、吸水率も求めた。空隙率を減少させるための混和剤に消泡剤を用いた。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

本研究では、使用材料の異なる3種の複合体を作製し、これらの3種類の複合体をそれぞれ複合体A、B、Cとした。3種類の複合体の使用材料を表-1に示した。3種複合体すべてにおいて碎砂を体積割合で50%使用した。残りのモル

\* 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)奥村組

\* 3 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

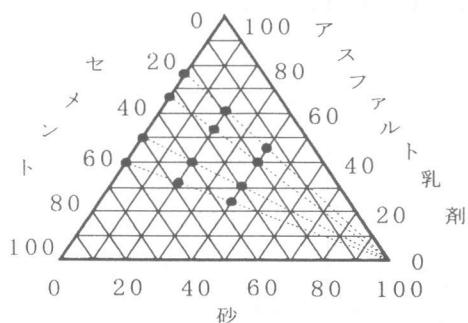


図-1 三角座標による配合分布

タル部分の配合は図-1に示す三角座標の12配合とした。複合体Bの使用材料は、経済性を考慮し、複合体Aで使用した速硬性セメントの代わりに普通ポルトランドセメントを用いた。複合体Cの使用材料は、複合体Bの使用材料においてアスファルト乳剤の蒸発残留分針入度を211のものから60/80に替えたものを使用した。これは、近年一般に用いられる乳剤の針入度が後者のもののほうが普及してきたことと入手のしやすさを考慮したことによる。

またここで、砕砂以外のセメント、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 実験方法

複合体種別の実験フローチャートを図-2に示す。供試体は3種複合体ともΦ5×10cmの円柱供試体を12個作製した。作製方法としては、乳剤にセメント・細骨材・消泡剤を注入し、一定時間混合させ、その後練りあがった複合体を型枠に注入する際、2層に分け流し込み打設・突き固め打設を行った。養生方法は、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することによって行った。複合体Aは脱型後、温度20°Cの室内にて27日間養生し、養生後の複合体の空中重量と水中重量を測定した。その後供試体を4個ずつ空中、酸中、水中の3種類の養生状態に分け、それぞれ28日間更に養生し、それぞれの空中重量、水中重量を測定した後、一軸圧縮試験を万能圧縮試験機（

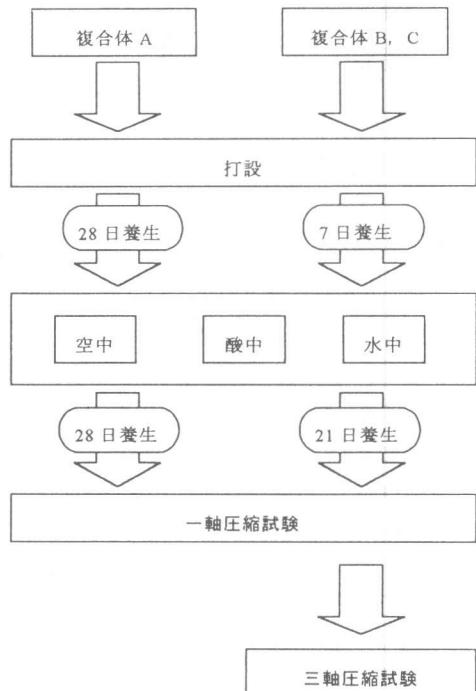


図-2 実験フローチャート

最大荷重5tf、ひずみ制御方式)を用いて、ひずみ速度一定(3mm/min)のもとで行った。複合体B,Cは複合体Aと養生期間が異なっており、脱型後は6日間空中養生し、浸水後は21日間養生した。計28日間養生を行った後、一軸圧縮試験を行った。また、この2種類の複合体については三軸圧縮試験も行った。三軸圧縮試験にセッティング時間等も含め供試体1本当たり1時間弱要する為(1日12本:計約12時間)各試験条件当たり供試体1本とした。

三軸圧縮試験は供試体にゴムスリーブを装着し、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の1/3, 2/3, 3/3倍の三段階に変化させた。いずれの試験も室温20°Cのもとで行った。

酸性水溶液は水1000mlに対しフタル酸10.21gの割合で溶解させ、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、

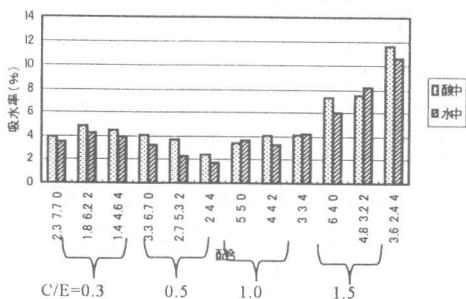


図-3 吸水率の比較（複合体B）

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。空隙率は供試体の空中重量、水中重量より求められる見掛け密度とその供試体の配合比より決定される理論密度の両者により計算した。

### 3. 実験結果

ここでは、実験によって得られた結果を、1種類の複合体に注目し空中、酸中、水中の3種類の養生方法における比較（3.1 養生方法の相違による比較）と、1種類の養生状態に注目して複合体A、B、Cの3種類の使用材料における比較（3.2 使用材料の相違による比較）という2つの角度から検討を行った。

#### 3.1 養生方法の相違による比較

ここでは複合体Bの実験結果について例示する。

図-3は地下水等によって複合体がどの程度の水分を吸収するかを検討するため、吸水率の比較を行ったものである。吸水率を各配合別に棒グラフにて示した。図よりセメントとアスファルト乳剤の質量比C/E（以下はC/Eと称す）がC/E=1.5程度のものになると複合体内部に未水和のセメントが多く存在するため、水浸中に水和反応をおこし、水分を吸収したものと考えられる。また、C/E=0.3のものがC/E=0.5,1.0のものに比べ、大きな値となっているのは複合体内の空隙が大きく関与しているものと考えられる。また、酸中養生と水中養生のものではさほど両者に差は見られなかったといえるが、

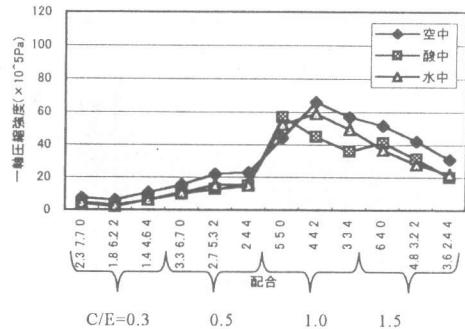


図-4 一軸圧縮強度の比較（複合体B）

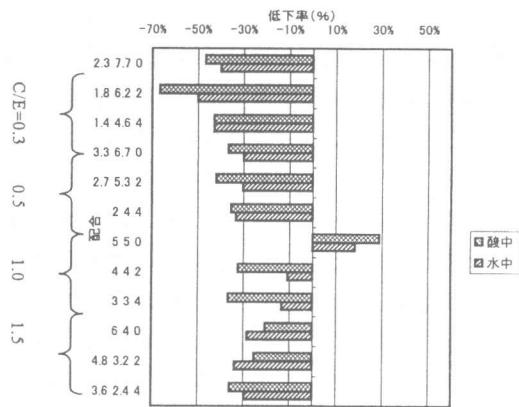


図-5 水浸による一軸圧縮強度低下率（複合体B）

酸中のほうが若干吸水率の増加を伴っているものがあるのは、吸水率の算出に水浸前と水浸後の空中重量を用いて計算しており、水浸後はタル酸の結晶が複合体に幾分付着するためその影響が出たものと考えられる。

図-4は一軸圧縮強度の比較を行ったものである。全体的に山形のカーブを描いた傾向になっているのがわかる。C/Eが小であると強度が低下するのは、セメント量が少ないと粒子間結合力が低下したことによる。しかしC/Eが大になりすぎても強度が低下するのは、水和反応を起こすための水分が不足したため、所要の強度を出すまでに至らなかったためと考えられる。

図-5は水浸によって一軸圧縮強度がどの程度低下したかを空中養生の一軸圧縮強度に対する低下百分率にて示した。また、養生別に酸中、

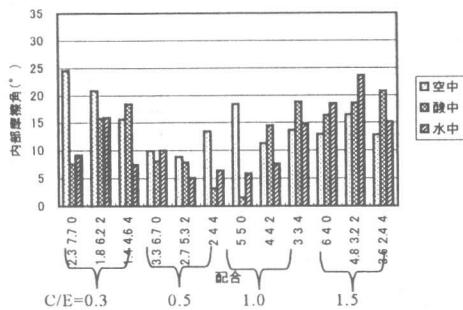


図-6 内部摩擦角の比較（複合体B）

水中と区別して示したものである。図で負の値をとっているものは水浸によって強度が低下したことを表している。ここでは、複合体A, Cについてのグラフを掲載していないが、3種類の複合体とも水浸によって低下した割合は30%前後になった。水浸によりほとんどの配合で強度は低下するが、酸中と水中とではさほど違いはみられなかった。これより、水浸による強度低下はC/Eが小さい配合において著しく、C/E=1.0の配合で極小となる。しかしながら、酸による影響はほとんど無いといえる。

図-6は三軸圧縮試験によって得られた内部摩擦角の比較を行ったものである。全体的に見ると下に凸のカーブを描いている。3種類の養生を比較すると、C/E=1.0以下の複合体は空中養生のものに比べ酸中、水中養生の内部摩擦角が小さくなっている。しかし、C/E=1.5のものになると、空中養生のものより他の2種類における養生のほうが大きくなっている。この要因としては、C/Eが低いものは乳剤量が多く水浸させたことによって完全に分解されていなかった乳剤中のアスファルトが分離したことによると考えられる。また、C/Eが大のものは水浸させたことにより、未水和のセメントが水和反応を起こしたため、内部摩擦角が増加したと考えられる。

図-7は粘着力を養生別に比較したものである。全体的に見ると、C/E=0.5以下の複合体の粘着力は小さな値であるが、C/E=1.0になるとその

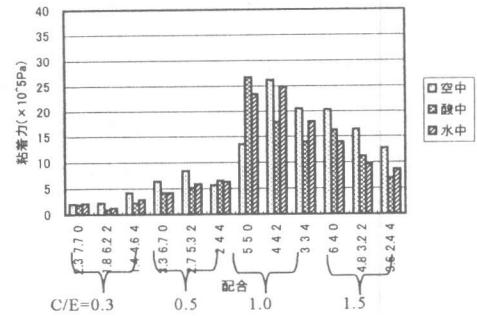


図-7 粘着力の比較（複合体B）

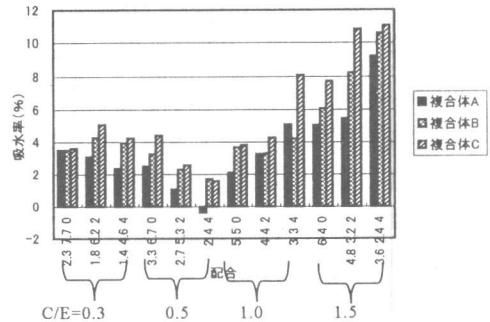


図-8 吸水率の比較（水中養生）

値は急激に大となり、その後徐々に減少していく。これは、C/E=1.0のものはセメント結合力による効果が顕著に現れたものと考えられ、C/E=1.5のものがC/E=1.0のものより減少しているのは、複合体内に未水和のセメントが多く存在したためと考えられる。水浸させたことによって、ほとんどの配合で若干の粘着力低下が見られた。

### 3.2 使用材料の相違による比較

図-8は水中養生における吸水率を複合体種別に比較したものである。これより複合体A, B, Cの順で吸水率が増加する傾向にあるのがわかる。複合体Aは速硬性のセメントのため水和反応が早く、かつ水浸までの養生期間が他の複合体に比べ長かったため、乳剤の分解が十分に行われ、水浸後の吸水が少なかったものと考えられる。また、複合体Cは複合体Bに比べ乳剤中の蒸発残留分針入度が低い。すなわち、固いアスファルトであるため、セメントが水和反応を

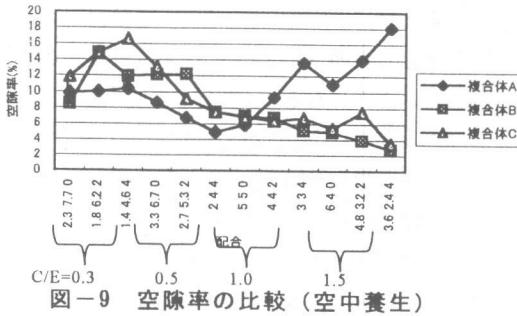


図-9 空隙率の比較（空中養生）

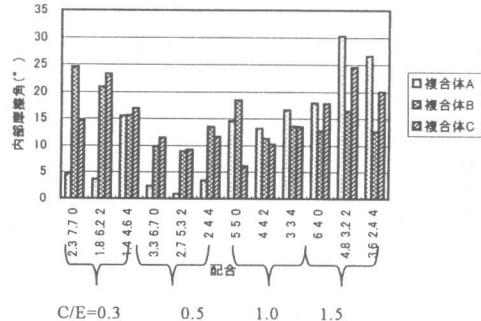


図-11 内部摩擦角の比較（空中養生）

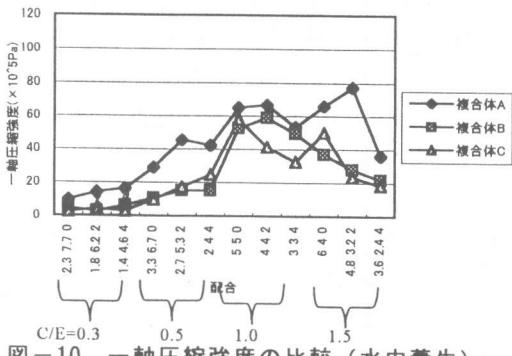


図-10 一軸圧縮強度の比較（水中養生）

起こすための水分がアスファルト乳剤からは得られにくく、水浸時に周囲から水分を吸収したものと考えられる。なお、酸中養生における吸水率もこの図とほぼ同様の傾向が見られた。

図-9は複合体の種類別に空隙率の比較を行ったものである。この図から複合体BとCにはさほどC/Eの違いによる大きな空隙率の相違は見られないが、複合体Aと他の2種類の複合体ではC/Eが1.0以上の配合において大きく異なっている。複合体BおよびCはC/Eが増加するに従い、空隙率は減少する傾向にあるが、複合体AはC/Eの増加に伴いある程度まで減少するがC/E=1.0以上で増加している。これは、複合体Aはセメントに速硬性のものを用いたため、C/Eの大きいものは打設中にすでに硬化をはじめていた。したがって供試体成型に支障をもたらしたため、空隙率が大となったものと思われる。

図-10は水中養生における複合体別一軸圧縮

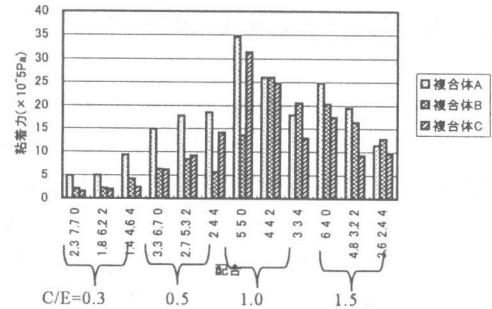


図-12 粘着力の比較（空中養生）

強度を比較したものである。この図より明らかに複合体Aが全ての配合で値が最も高くなっている。これは複合体Aのセメントは粉末度の高いものを使用しているため、水和反応の進行が早く、水浸までの空中養生期間が長いことから、強度が増加したものと考えられる。

図-11は空中養生における内部摩擦角の比較を複合体種別に行ったものである。これより、C/Eの小さい配合においては複合体Aのほうが、C/Eが大きいものは複合体B、Cのほうが、内部摩擦角が小さくなっていることがわかる。また、C/Eが0.5~1.0のものは内部摩擦角が小であるにもかかわらず、図-4、図-10の一軸圧縮強度の値は大となっている。

図-12は空中養生における粘着力の比較を複合体種別に比較したものである。この図より、C/Eの小さい配合においては複合体AとB・Cとの間で顕著な粘着力の相違が見られる。これは、粉末度の高いセメントを使用したことによ

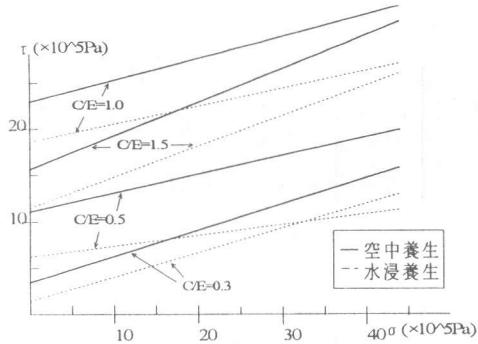


図-13 C/Eと破壊包絡線の関係

より、多量の乳剤に対し、量の少ないセメントが十分に水和したため、その結合力による影響が大きく現れたものと考えられる。また、複合体BとCについて蒸発残留分の針入度が大きく異なるため、粘着力の変化を期待したが、思ったほど違はない見られなかった。

### 3.3 水中養生による破壊包絡線の変化

水中養生による内部摩擦角、粘着力の変化は前述したとおりであるが、せん断破壊に与える影響を検討するため、異なるC/Eに対して破壊包絡線を描くと図-13となる。

図は水中養生による影響を概略的に検討するため、同一C/Eの3配合のものについてその平均値として表した。図より破壊包絡線の傾きは水中養生と空中養生との間で大きな変化は見られない。しかしながら、縦軸との切片で示される粘着力にいたっては、水浸により50%程度にまで低下することが読みとれる。C/E別に検討すると、C/E=1.0の配合の複合体は、水中養生することによるせん断破壊強度変化が他のものに比べ小さい。これらのことから総合的に判断すれば、C/E=1.0の複合体について、そのせん断破壊強度が、水中養生を行っても低下しないものとすることが今後の研究課題となるであろう。また、材令は28日程度ではなく、長期にわたって、変化させることなども検討の余地があると思われる。

### 4.まとめ

本研究の範囲内にて得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 吸水率は、C/Eが大になるにつれて、また複合体A、B、Cの順に増加していく傾向にあった。酸中養生と水中養生ではほとんど差は見られなかった。
- 2) 空隙率は、複合体AにおいてはC/E=1.0前後にて極小値をとるが、他の複合体はC/Eが大になるにつれて減少傾向にあった。
- 3) 一軸圧縮強度は、3種複合体全てにおいてC/E=1.0付近の配合にて極大値となる。
- 4) 水浸により一軸圧縮強度は30%程度低下するが、酸による影響はほとんど見られない。
- 5) 水浸によりせん断破壊に与える影響は、内部摩擦角よりも粘着力が大きく関与している。

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, pp.137-152, 1998