

セメント・アスファルト乳剤混合物の 力学的性状に関する基礎研究

A FUNDAMENTAL STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF CEMENT-ASPHALT EMULSION MIXTURES

阿部 頼政*

By Yorimasa ABE

This paper describes mechanical properties of cement-asphalt emulsion mixtures which have been developed recently as base materials for pavement construction. Specimens having various proportions of portland cement and asphalt emulsion content are made and examined through shrinkage strain measurement, Marshall test, unconfined compression test, stress relaxation test, bending test and freezing-thawing test. Experimental results show that compressive strength of the mixture is mainly controlled by cement content, but bending stress is largely influenced by asphalt emulsion content especially at low temperature and under high rate of deformation. Some advantages of using cement and asphalt emulsion in a same mixture are also discussed comparing with cement mixtures and asphalt emulsion mixtures.

1. ま え が き

本研究は、セメント・アスファルト乳剤混合物（以下、CE混合物と略す）の力学性状を各種の基礎的実験から把握しようとするものである。

セメントやアスファルト乳剤をそれぞれ単独に使用して路盤を安定処理する工法は、わが国でも古くから行われていたが、それぞれに長所と短所のあることが、多くの研究者、技術者によって指摘されてきた。そのうち、最も共通した見解としてはまずセメントによる安定処理では、力学的強度が期待できる反面、収縮クラックが入りやすいこと、アスファルト乳剤による安定処理では、たわみ性がある下層の沈下に追従できるが、初期の安定度が不足することなどが挙げられよう。このように両者は、相反するような特徴を有するため、セメントとアスファルト乳剤を併用して一方の短所を他方で補おうとする試みが、1960年頃から行われるようになった。

この研究には2つの方向がある。すなわち、セメント安定処理の改良に少量のアスファルト乳剤を添加するものと、アスファルト乳剤安定処理の改良に少量のセメントを添加するものである。わが国では、前者に関して

菅原ら¹⁾、建設省土木研究所²⁾の研究があり、後者に関しては一瀬³⁾、竹下ら⁴⁾が研究している。海外では、Terrelら⁵⁾、Schmidtら⁶⁾の例にみられるように後者の研究が多い。

このように、舗装材料の研究では、セメントとアスファルト乳剤のいずれかを主とし、他方を従とする考え方が支配的であったが、両者の配合比を自由に変えて目的とする性状を得ようとする研究が別の分野で始まった。

すなわち、新幹線のスラブ軌道用コンクリート（セメントアスファルトモルタル）の開発⁷⁾である。このモルタルは、セメントとアスファルト乳剤が重量比で全体の50%を超えていること、粗骨材が含まれていないことなどのため、舗装用材料として適したものではないが、セメントとアスファルト乳剤を同格にとらえるという考え方は舗装用材料の研究開発に徐々に影響を与えることになった。以上のような背景のもとに開発されたCE混合物は、最近では施工実績も増え^{8),9)}、それに応じてセメントと混合性のよいアスファルト乳剤の規格も発表されるようになった¹⁰⁾。しかし、CE混合物の力学的性状に関しては必ずしも明らかにされておらず、経験に頼っている部分も多い。

本研究は、セメントとアスファルト乳剤の配合比を変えて各種の試験を行うことにより、CE混合物の力学的

* 正会員 工博 日本大学助教授 理工学部土木工学科
(〒101 千代田区神田駿河台1-8)

特性に対するそれぞれの影響と役割を把握しようとするものである。

2. 実験方法

本研究では数多くの実験を行っているため、それぞれの試験法、条件等を詳細に記述することは、紙面の制約から無理でありまた繁雑にもなるので、ここでは後の考察に必要な要点のみを述べることにする。

(1) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント、アスファルト乳剤は日本アスファルト乳剤協会規格に適合するもの(表-1)をそれぞれ種類選定し、全実験を通じて同一の材料を使用した。また骨材は、葛生産の単粒度硬質砂岩を使用し、図-1の粒度分布とした。

(2) 供試体の作製

実験に使用した供試体は、一軸供試体、マーシャル供試体(以上、いずれもアスファルト舗装要綱記載の作製方法に準拠)、曲げ供試体の3種類である。

曲げ供試体の作製にあたっては、5(高さ)×9.2(幅)×30cm(長さ)の供試体が得られるような型枠を用い、マーシャル供試体と同一の締め固めを目標にローラコンバクタで転圧した。

作製した供試体は、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温室で空中養生し、所定の温度に設定された恒温槽内で試験した。なお、恒温室の性能上、湿度を厳密に設定することは困難で、相対湿度は60~80%の間にあったが、供試体はすべて同時に養生したので相対的な比較をすることには問題は無いと思われる。

(3) 試験方法

本研究で行った主な試験は次のとおりである。

- 1) 収縮ひずみの測定(水分蒸発量の測定も含む)
- 2) 応力緩和試験

表-1 アスファルト乳剤の規格と試験値

項目	日本アスファルト乳剤協会規格	使用した乳剤の試験値
エングラ一度(25℃)	2~30	4.4
ふるい残留分(1.190μm)%	0.3以下	0.06
セメント混合性%	1以下	0.3
蒸発残留分%	57以上	58.0
蒸発残留物	針入度(25℃)	60~300
	伸度(15℃)cm	80以上
	三塩化エタン可容分%	97以上
貯蔵安定度(5日)%	5以下	1.3
電荷の種類	規定なし	ノニオン

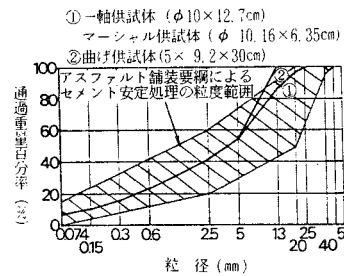


図-1 骨材粒度

表-2 試験方法の一覧表

試験方法	供試体作成			養生		試験条件	
	寸法	最大粒径	締め固め方法	養生方法	養生日数	試験温度	荷重速度
1) 収縮ひずみの測定(水分蒸発量の測定も含む)	5×9.2×30cm	13mm	ローラコンバクタによる転圧	20±3℃ 60~80%RH 空中養生	112日まで測定	(測定方法) コンタクトゲージ法 経長: 1日合 5時間	
2) 応力緩和試験	φ10×12.7cm	25mm	JIS A 1210(1.4-b法)	"	3, 7, 35 日	10, 20, 30℃	設定ひずみ 0.2% 設定ひずみまでの 荷重速度 100mm/min
3) 一軸圧縮試験	φ10×12.7cm	25mm	JIS A 1210(1.4-b法)	"	① 7日 ② 0.2, 0.5, 1, 3, 7, 14, 28, 56, 112 日 ③ 3, 7, 35 日	30℃ 30℃ 10, 10, 20, 30℃	1mm/min 1mm/min 100, 1000mm/min
4) マーシャル試験	φ10, 16×6.35cm	25mm	マーシャル試験方法による突固め供試体作製方法(表-裏各500回)	"	7日	30℃	1mm/min
5) 曲げ試験(スパン中央1点荷重方式)	5×9.2×30cm	13mm	ローラコンバクタによる転圧	"	① 7日 ② 3, 7, 28, 56, 112日	10, 0, 10, 20, 40℃ 20℃	1, 100mm/min 1, 6mm/min
6) 凍結融解試験	φ10×12.7cm	25mm	JIS A 1210(1.4-b法)	"	7, 14, 28, 56, 112日	ASTM C 666に準ずる。 期間/ 49日, 30日, 9日。 任意のサイクル毎に中央変位率と物価係数(超音波法)を測定。終了後、一軸圧縮試験(20℃, 1mm/min)を実施。	

- 3) 一軸圧縮試験
- 4) マーシャル試験
- 5) 曲げ試験
- 6) 凍結融解試験

以上の試験条件を一覧表にして示す(表-2)。

(4) セメント量と乳剤量

セメント量と乳剤量が混合物の性質に与える影響をみるため、それぞれの添加率を種々に変えて供試体を作製した。なお、ここでいう添加率は後の解析、図示に便利するように次の式による値に統一した。

$$\text{セメント添加率 } C (\%) = \frac{\text{セメント重量} \times 100}{\text{セメント重量} + \text{乳剤重量} + \text{骨材重量}}$$

$$\text{乳剤添加率 } E (\%) = \frac{\text{乳剤重量} \times 100}{\text{セメント重量} + \text{乳剤重量} + \text{骨材重量}}$$

各試験に供したこれらの添加率の組合せは表-3に示すとおりである。

3. 最適含水比の決定

本研究に使用する所定の骨材に対し、セメント混合物(セメント+添加水+骨材)、アスファルト乳剤混合物(アスファルト乳剤+添加水+骨材)、CE混合物(セメント+アスファルト乳剤+添加水+骨材)それぞれの

最適含水比を求めた。なお、マーシャル供試体と一軸供試体では締固めエネルギーが異なるので、それぞれについて実験を行った。

図-2は、マーシャル供試体でセメント混合物のセメント量と添加水量を変えて最適含水比を求めた結果である。図から明らかなように、最適含水比はセメント量によらず、6.0%と一定である。

一方、乳剤混合物の最大乾燥密度を与える添加水量は図-3のように乳剤添加率によって直線的に減少することがわかった。しかし、乳剤は、もともと(アスファルト+乳剤水)によって構成されていることを考慮し、(添加水量+乳剤水量)が混合物の締固めを左右する因子であるとみなせば、最適含水比は図-4のように、ほぼ6.0%と一定であり、セメント混合物の場合と同一の値となった。したがって、締固め効果からみれば、乳剤中の水(乳剤水)は添加水と同様の働きをすることを考えた方が合理的であると判断できる。

以上の考察を進めれば、CE混合物において、セメント添加率、乳剤添加率を種々に変えても最適含水比はほぼ一定であろうと推定できる。図-5の実験結果は、若干のバラツキはあるもののこの推定がほぼ妥当であることを示しているといえよう。すなわち、CE混合物の最適含水比もセメント量、乳剤量にかかわらず(添加水量+乳剤水量)によって決定されると結論できる。

表-3 セメント添加率と乳剤添加率の組合せ

試験の種類	C (%)		0					2					4					6					8					10				
	E (%)		0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10	0	2	4	6	8	10
1) 収縮ひずみ測定	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2) 応力緩和試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3) 一軸圧縮試験①	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
" ②			○	○	○	○	○																									
" ③			○	○	○	○	○																									
4) マーシャル試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5) 曲げ試験 ①																																
" ②			○	○	○	○	○																									
6) 凍結融解試験			○	○	○	○	○																									

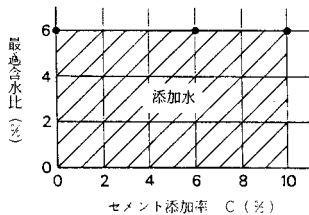


図-2 セメント混合物の最適含水比 (マーシャル供試体)

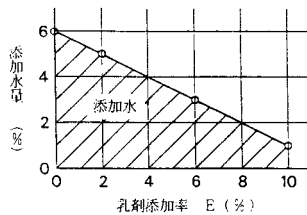


図-3 乳剤混合物の添加水量 (マーシャル供試体)

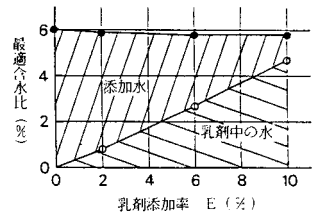


図-4 乳剤混合物の最適含水比 (マーシャル供試体)

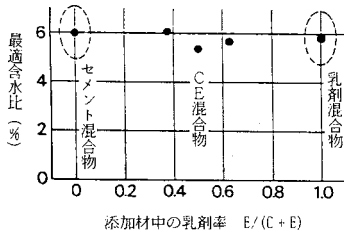


図-5 CE 混合物の最適含水比 (マーシャル供試体)

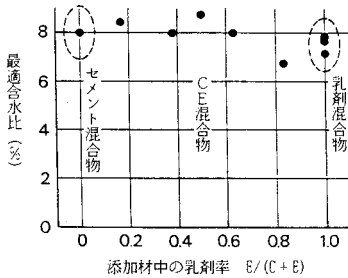


図-6 CE 混合物の最適含水比 (一軸供試体)

図-6 は、一軸供試体による実験結果である。締固めエネルギーがマーシャル供試体に比較して小さいため、最適含水比は 8.0% と高くなっているが、図-5 と同様にはほぼ一定であることに変わりはない。

4. 水分蒸発量の測定

CE 混合物は、セメントが入っているため、初期の乾燥と硬化に伴う収縮ひずみにより、クラック発生の危険が懸念される。そこで、まず収縮ひずみに大きな影響を与えと思われる水分蒸発量を曲げ供試体によって測定してみた。

測定結果の一例を図-7 に示す (なお、本章以下、実験結果は C=4% の場合を中心に図示することにする)。セメント量が等しければ、乳剤量が増すに従って水分蒸発率は減少する。なお、ここで水分蒸発率は次の式によって定義したものである。

$$\text{水分蒸発率 (\%)} = \frac{\text{蒸発水量} \times 100}{\text{添加水量} + \text{乳剤中の水量}}$$

次に、水分蒸発率と配合との量的関係を調べるため、以下のような解析を行った。

図-8, 9 は、それぞれセメント混合物、乳剤混合物の材令 7 日における水分残留率 (100-水分蒸発率) を示したものである。E=0, C=0 における値 (18.2%) は骨材を水締めした供試体の残留水分率であり、セメントや乳剤が加わっても骨材がこの割合で水分を保有しているものと仮定すれば、図の実測値との差は、セメント、乳剤がそれぞれ保有している水分とみなすことができよう。さらに、CE 混合物においても、骨材、セメント、

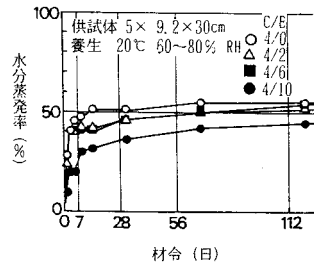


図-7 水分蒸発率の経時変化

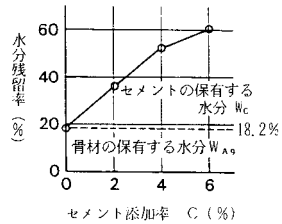


図-8 セメント混合物の水分残留率 (材令 7 日)

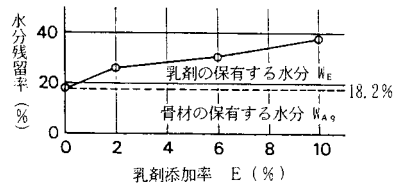


図-9 乳剤混合物の水分残留率 (材令 7 日)

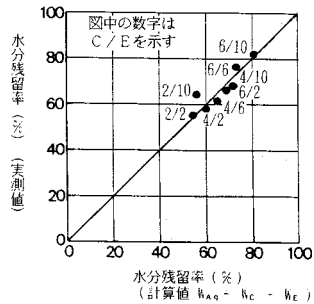


図-10 CE 混合物の水分残留率 (材令 7 日)

乳剤がそれぞれ単独にこの割合で水分を保有すると仮定すれば、任意の CE 混合物の残留水分率を計算することができる。

このような仮定により求めた計算値と実測値との関係を図-10 に示す。両者は、ほぼ一致しているとみなしてよさそう。図-11 には、材令 112 日の場合を示したが、若干ばらつきはあるものの図-10 とほぼ同様の傾向にある。

以上の結果を総合すると、骨材、セメント、乳剤には

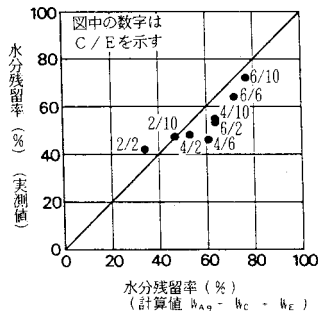


図-11 CE 混合物の水分残留率 (材令 112 日)

それぞれ材令に応じて単独に保有できる水分量が定まっており、CE 混合物の残留水分量はそれらの単純な和であると結論できる。なお、乳剤の保有する水分は分解以前のものか、分解後に何らかの形で残留しているものなのか明らかにはできないが、CE 混合物はセメント混合物に比べてこの余分な水が存在しているだけ、セメントの養生に有利となる可能性がある。

5. 収縮ひずみの測定

収縮ひずみは、曲げ供試体 (5×9.2×30 cm) を図-12 のように設置して①と③、②と④、③と⑤の間隔 (約 10 cm) をコンタクトゲージ法により測定した。なお、図の油紙とガラス板は、収縮時の摩擦を軽減するためのものである。

測定結果の一例を図-13 に示す。本実験の範囲では、収縮ひずみは材令とともに増加し、乳剤添加率が大きくなるに従って減少する。材令 7 日の供試体について、セメント添加率、乳剤添加率による収縮ひずみの変化をみると図-14 のようになる。やはり、乳剤添加は収縮ひずみ低減の効果のあることがわかる。セメント混合物 (E=0 の場合) では、セメント量が多くなるに従って収縮ひずみも大きくなるであろうと予測していたが、本実験では C=2% の場合が最大で C=6%, 4% の順となった。

この原因は、C=2% の場合、硬化収縮量が他に比べて小さくとも、図-8 の水分蒸発率から明らかなように乾燥収縮量が大きかったためと思われる。

図-15 は、乳剤添加率一定 (2%) の場合を例にとりセメント添加率と材令により、水分蒸発率と収縮ひずみ

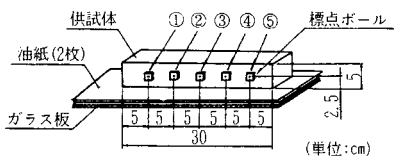


図-12 収縮ひずみの測定方法

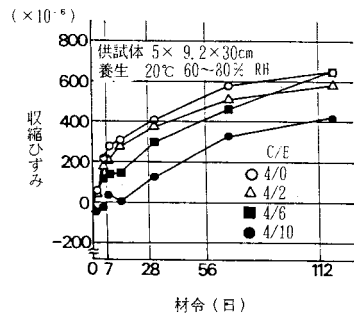


図-13 収縮ひずみの経時変化

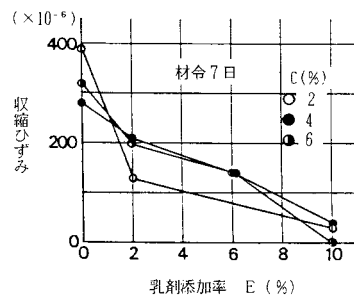


図-14 収縮ひずみと乳剤添加率の関係

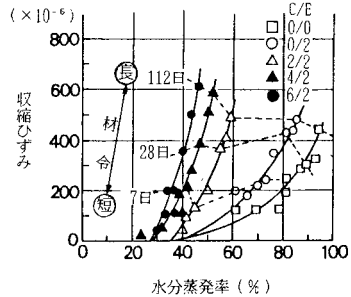
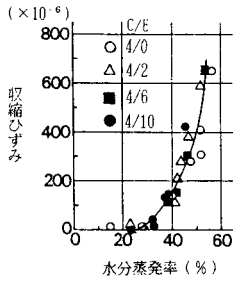


図-15 収縮ひずみと水分蒸発率の関係 (E=2%)

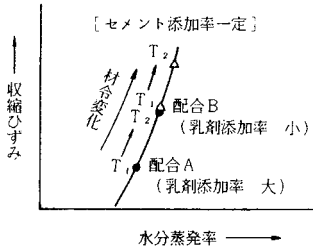
の関係が変化する様子を示したものである。プロットした点はセメント添加率ごとに一定の曲線上にあり、水分蒸発率と収縮ひずみが密接な関係にあることを示している。また、セメント添加率が大きくなるに従って、収縮ひずみは水分蒸発率の変化に敏感となることがわかる。

図-16 は逆に、セメント添加率を一定 (4%) とした場合の例を、前図と同様にプロットしたものである。図から明らかなように、水分蒸発率と収縮ひずみの関係は乳剤添加率、材令によらずほぼ一本の曲線で代表させることができる。すなわち、セメント添加率が一定ならば、収縮ひずみは乳剤添加率、材令にかかわらず水分蒸発率のみを変数にしてとらえればよいと結論できる。

ここで、CE 混合物の収縮ひずみに関し、乳剤の役割を考えてみよう。材令のある一時期 T_1 をとらえると、セメント添加率が一定ならば、乳剤添加率が大きいほど



図一16 収縮ひずみと水分蒸発率の関係 (C=4%)



図一17 収縮ひずみと水分蒸発率の概念図

水分蒸発率は小さく(図一7より), 収縮ひずみも小さい(図一13, 14より).

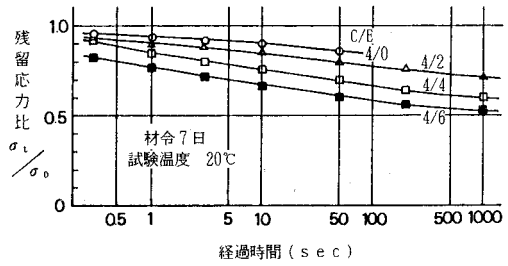
いま, この乳剤添加率の大きい場合を配合A, 小さい場合を配合Bとし, 図一16をモデル化した線上にプロットすれば, 両者の位置関係は図一17のようになる. この後, 材令がさらに長くなれば, 配合Aの水分蒸発率, 収縮ひずみも増大するが, この増大量はセメント添加率によって定められた一定の線上を動くはずである(図一16より).

したがっていつか(材令 T_2)は, 配合Bが材令 T_1 でいた位置を配合Aが通ることになる. すなわち, AとBの配合の相違は, 同一の収縮ひずみに到達する日数 T_2 と T_1 の相違に換算することができよう. 言い換えれば, CE混合物の乳剤は, 収縮ひずみの増加を遅らせる働きをするということである.

6. 応力緩和試験

応力緩和試験は, オートマックス社製電気油圧サーボ制御方式ダイナミック試験機を使用して行った. 実験条件は, 表一2に示したとおりであるが, 試験を始める前に設定ひずみ0.2%(応力で見ると, 圧縮強度の20~50%)を10回, 断続的に与えて供試体の表面粗さによる測定誤差を回避したことを付記する.

結果の一例を図一18に示す. 乳剤添加率が大きくなるに従って緩和性状がよくなっている. 前章の収縮ひずみ測定結果とあわせて考えれば, CE混合物はセメント混合物に比べて, 収縮クラックに対しかなり安全側にあ



図一18 応力緩和性状の一例(材令7日)

るといえよう.

7. 圧縮試験

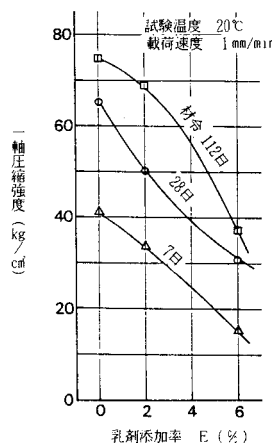
圧縮試験は次の2種類の方法を採用した.

- (1) 一軸圧縮試験
- (2) マーシャル試験

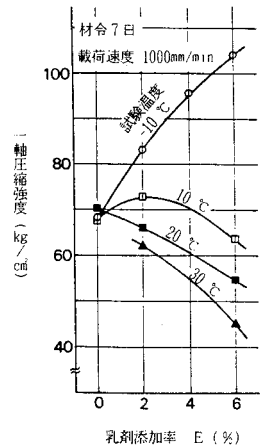
これらの試験において, 供試体の作製等はいずれもアスファルト舗装要綱の付録に記載された方法に準拠したが, 温度と載荷速度は必要に応じて表一2のように変化させた.

図一19は, 温度20°C, 載荷速度1mm/minにおける一軸圧縮試験の結果である. この例は, セメント添加率4%の場合であるが, 一般にセメント添加率が高いほど, また材令が長くなるほど一軸圧縮強度は大きくなる. 一方, この試験条件では, 乳剤添加率が高いほど, 一軸圧縮強度は小さくなる. 温度30°C, 載荷速度1mm/minで行ったマーシャル試験でも, 以上の傾向と同様の結果が得られた.

しかし, CE混合物は乳剤が入っているため, 当然のことながら温度と載荷速度の影響を受けると考えられる.



図一19 一軸圧縮強度と乳剤添加率の関係 (C=4%)



図一20 一軸圧縮強度の温度依存性 (C=4%)

図-20は、載荷速度を極端に速くし、温度を変化させて試験した結果であるが、このような条件のもとでは乳剤添加率の大きい方が一軸圧縮強度も大きくなる場合もある(-10℃)ことが確認された。

8. 曲げ試験

曲げ供試体は、当初最大粒径 25 mm、厚さ 7.5 cm のものを使用していたが¹¹⁾、供試体の作製方法および厚さに問題があって、荷重をかけた際、載荷軸直下に沈下の生ずることが明らかとなったため、最大粒径 13 mm、厚さ 5 cm に変更した。

曲げ強度の測定結果をセメント添加率 2% および 4% の場合につき、それぞれ図-21、図-22 に示す。これらの図から、読み取れる内容は以下のように要約できる。

- (1) セメント添加率が大きいほど曲げ強度は大きくなる。
- (2) 材令が長くなれば曲げ強度は増大する傾向にあるが、28 日以後はあまり差がなくなる。
- (3) 圧縮強度に関しては、試験温度 20℃ の場合、載荷速度にかかわらずセメント混合物が卓越していたが、曲げ強度に関しては、乳剤を 2~6% 添加した方がセメント混合物よりも大きい値を示す。
- (4) 乳剤添加率 4% 前後に曲げ強度のピークがある。

以上の結果は、試験温度 20℃、載荷速度 1.6 mm/min の場合にのみ適用できるものである。これらの条件が変わると、図-23、図-24 に示すように曲げ強度も大きく変化する。すなわち、曲げ強度は温度が低いほど、また載荷速度が速いほど大きくなるが、乳剤添加率の大きいものほどこの影響を受けやすいといえる。したがって、前の実験条件で乳剤添加率 4% 付近にあった曲げ強度のピークは、この影響のため乳剤添加率の大きい方へ移行することになる。逆に、温度が高く載荷速度が遅くなればピークは乳剤添加率の小さい方へ移行し、最終的には、温度と載荷速度にあまり依存しないセメント混合物がピークとなろう。

図-25、図-26 には、それぞれ C=2%、4% の場合の破壊時におけるひずみ(次式により算出した値)を示した。

$$\epsilon = \frac{6hl_0}{l^2}$$

ここに、 ϵ :破壊時のひずみ、 h :供試体の高さ(cm)、 l_0 :供試体中央部の変位(cm)、 l :スパン長(cm)

CE 混合物では、乳剤添加率の大きいほど、また材令の長いほど破壊ひずみは大きくなる傾向がうかがえる

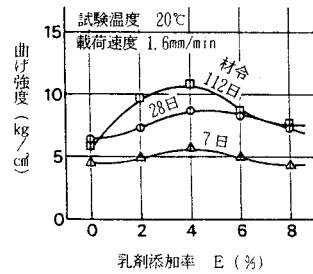


図-21 乳剤添加率と材令による曲げ強度の変化 (C=2%)

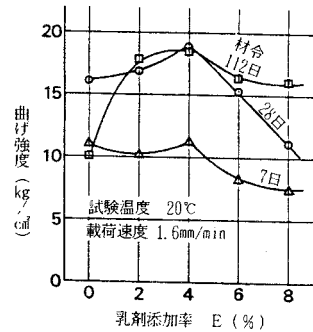


図-22 乳剤添加率と材令による曲げ強度の変化 (C=4%)

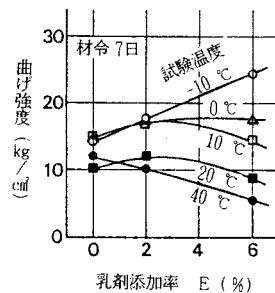


図-23 曲げ強度の温度依存性 (C=4%, 載荷速度 1 mm/min)

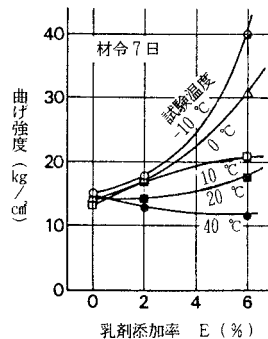


図-24 曲げ強度の温度依存性 (C=4%, 載荷速度 100 mm/min)

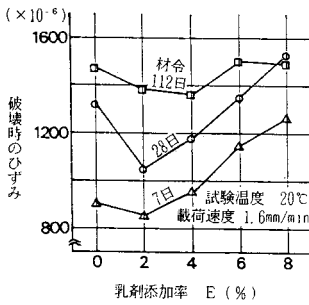


図-25 曲げ供試体の破壊時のひずみ (C=2%)

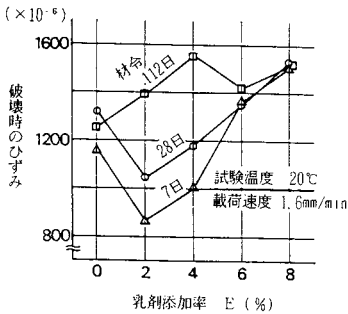


図-26 曲げ供試体の破壊時のひずみ (C=4%)

が、セメント添加率の影響、セメント混合物とCE混合物の差については明確な傾向が得られなかった。

なお、乳剤混合物の破壊ひずみは、図中では示さなかったが、 2200μ (材令112日)~ 3600μ (材令7日)と大きなものであったことを付記しておく。

9. 凍結融解試験

一軸用供試体を用いた凍結融解試験結果の例を、図-27、図-28に示す。ここで、相対動弾性係数は次式によって計算された値であり、凍結融解に対する抵抗性を表わす指標として一般に使用されている。

相対動弾性係数 (%)

$$= \frac{\text{任意のサイクル時の動弾性係数}}{\text{凍結融解前の動弾性係数}} \times 100$$

セメント混合物は、C=2%の場合1サイクル、C=4%の場合7サイクルで破壊したのに対し、CE混合物はC/E=2/2 (18サイクルで破壊) の場合を除き、30サイクルまでではいずれも破壊に至っていない。しかし、図から明らかなようにC/E=4/2の場合、ほとんど破壊に近づいているので、セメント添加率、乳剤添加率ともある程度以上に大きくする必要がある。なお、相対動弾性係数が100%を超えるものがあるのは、供試体の組織がゆるみ含水量が進行し動弾性係数が大きくなるためと思われる。

図-29は、30サイクル後の相対動弾性係数を示した

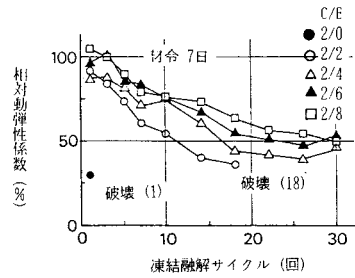


図-27 凍結融解による相対動弾性係数の変化 (C=2%)

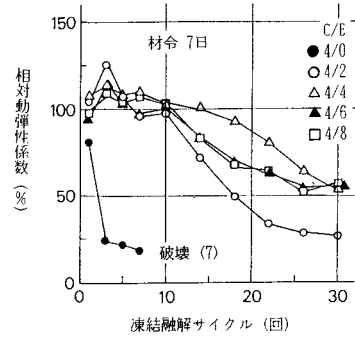


図-28 凍結融解による相対動弾性係数の変化 (C=4%)

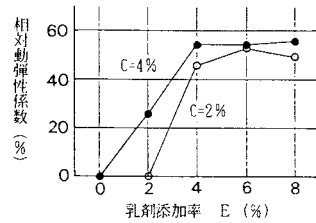


図-29 相対動弾性係数と乳剤添加率の関係 (材令7日、凍結融解30サイクル)

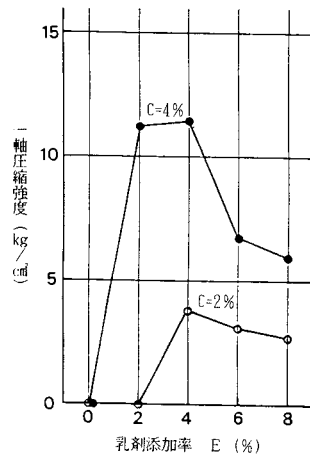


図-30 一軸圧縮強度と乳剤添加率の関係 (材令7日、凍結融解30サイクル)

ものである。この図では乳剤添加率の影響が顕著に現われているが、これらの供試体の一軸圧縮強度は、図—30のようにセメント添加率に大きく支配されている。

10. ま と め

材料、試験方法など限られた条件のもとではあるが、本研究で得られた成果は次のとおりである。

(1) CE 混合物の最適含水比は、(添加水量+乳剤中の水量)によって決定される。

(2) CE 混合物中の残留水分量は、セメント、アスファルト乳剤、骨材それぞれに保有されている水分の和として計算することができる。

(3) 混合物の収縮ひずみ量はセメント添加率に支配され、アスファルト乳剤はその収縮ひずみの増加を遅延させる働きがある。

(4) 応力緩和性状は乳剤量が多いほどよくなる。

(5) 圧縮強度はセメント量が多いほど、材令が長くなるほど大きくなる。温度、載荷速度の依存性はあるものの、極端な場合を除き乳剤量が多くなるほど、圧縮強度は低下する。

(6) 曲げ強度もセメント量が多いほど、材令が長くなるほど大きくなる。しかし、圧縮強度の場合と異なりセメント量が同一ならば、適量の乳剤を加えた方が曲げ強度は大きくなる。温度が低く、載荷速度が速くなるに伴ってこの最大値は乳剤量の多い方へ移行する。

(7) 凍結融解に対する抵抗性からみれば、セメントと乳剤の合計量が6%以上必要と思われる。

以上の成果をみると、CE 混合物ではセメント混合物の短所である収縮クラックの発生は軽減され((3)、(4))、乳剤混合物の短所である初期安定度の不足も改善されている((5))。しかし、一方では、CE 混合物はセメント混合物よりも圧縮強度が小さく、乳剤混合物よりもたわみ性が小さくなっている。すなわち、CE 混合物は、他の混合物の短所を補っている反面、長所を弱めているわけである。

したがって、本研究の結果だけから、一概にCE 混合物が他の混合物に比べてよい材料であると結論づけることはできないが、実舗装における路盤の圧縮強度、たわみ性はある程度以上あればよいこと、表層の比較的薄い舗装では路盤材料の曲げ強度が非常に重要であることなどを考慮すれば、CE 混合物は総合的にみて優れた特性を有しているといえよう。また、セメントと乳剤の配

合比を変えることにより種々の特性が得られることは、この材料の適用範囲が非常に広いことを意味しているものと思われる。

11. あとがき

セメント・アスファルト乳剤混合物については、配合設計の検討、現場試験による評価などまだまだ研究すべき課題は多いが、基礎的な性状に関する一応の成果が得られたのでここに発表する次第である。

本研究の推進にあたって、日本大学理工学研究所所属の研究生である野村敏明君には、実験と解析で多大のご協力をいただいた。また、当研究室所属の大学院生である亀田昭一君および栢野 宏君、滝瀬 稔君には膨大なデータの整理、資料の作成などにご協力いただいた。

以上の諸君をはじめ、本研究に対し適切なアドバイスと激励を賜った関係各位に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 菅原・菊池・萩原：ソイルセメントに特殊乳剤(リグメント)を添加した路盤の施工、舗装, Vol. 4, No. 6, pp. 22~25, 1969.
- 2) 建設省土木研究所：上層路盤の工法および材料に関する大日試験舗装, 土木研究所資料, 第547点, 1970年3月.
- 3) 一瀬：歴青乳剤による安定処理工法, アスファルト, No. 19, 1961.
- 4) 竹下・遠藤：乳剤による土の安定処理, 土木技術資料, 3-7, 1961.
- 5) Terrel, R. L. and Wang, C. K. : Early Curing Behavior of Cement Modified Asphalt Emulsion Mixture, Proc. of AAPT, Vol. 40, pp. 108~125, 1971.
- 6) Schmidt, R. J., Santucci, L. E. and Coyne, L. D. : Performance Characteristics of Cement Modified Emulsion Mixes, Proc. of AAPT, Vol. 42, pp. 300~319, 1973.
- 7) 樋口・原田・杉山：軌道用でん充モルタルの諸性質と施工法, セメント技術年報, XXVII, 1973.
- 8) 徳田：セメント・アスファルト乳剤による現状土安定処理路盤について, 舗装, Vol. 12, No. 7, pp. 13~18, 1977.
- 9) 内田・山崎・望月：現位置材の有効利用について, 道路建設, pp. 55~64, 1981年7月.
- 10) 特殊アスファルト乳剤規格の新旧対比, あすふあるとにゆうざい, No. 70, p. 25, 1982.
- 11) 野村・阿部：セメント・アスファルト乳剤混合物の力学性状に関する基礎研究, 土木学会第38回年次学術講演会講演概要集, 第5部, pp. 463~464, 1983.

(1984. 6. 11・受付)