

論文

[1161] セメントフィラー使用アスファルト乳剤コンクリートの強度発現

正会員 田代忠一 (山口大学工学部)

正会員○上田 満 (山口大学工業短期大学部)

1. まえがき

アスファルト乳剤を使用した安定処理工法は道路の上層路盤によく使用されている。また、路上再生路盤工法(破壊した既設舗装の表層及び路盤を現位置にて破碎、安定処理し新しい路盤に再生する)などにも使用されている[1~4]。このようにアスファルト乳剤の適用範囲は路盤が主であり、表層、基層等への利用は今後の課題とされている。半たわみ性舗装(空隙率の大きいアスファルト混合物にセメントミルクを注入・浸透させ、剛性を高めた舗装)の施工が全国各地で行われていることを考慮し、筆者らはアスファルトとセメントの複合材料的なものとして、フィラーにセメントを使用したアスファルト乳剤コンクリートの基礎的な実験を試みた。すなわちフィラーとしてセメントを使用した場合、アスファルト乳剤中の水とセメントが水和反応を起こし混合物の圧縮強度の増加並びに早期強度発現が見込まれるものと思われる[5]。このようなことは、舗装廃材の再利用の際にセメントを添加して行われることがあるが、これらの圧縮強度発現の基礎的な検討を試みた例は少ない。

本研究はそれらを明らかにするために、セメントフィラー使用アスファルト乳剤コンクリートの一軸圧縮強度試験を試みた。その結果、一軸圧縮強度の増加は石粉をフィラーとして使用した場合の3~4倍もの圧縮強度が得られ、特に水浸養生の場合においては顕著な効果を得た。この強度発現に影響すると思われる実験要素の検討等も行ったので以下にその概要について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 供試体

普通ポルトランドセメント(比重: 3.15、粉末度: 3,600 cm²/g)、山砂(比重: 2.63)、碎石(最大寸法5mm、比重: 2.73)、石粉(比重: 2.72)、アスファルト乳剤(混合用)を用い

表-1 配合表

区分	n	0.25		0.30		0.35		0.40		0.45	
		百分率 (%)	質量 (g)	百分率 (%)	質量 (g)	百分率 (%)	質量 (g)	百分率 (%)	質量 (g)	百分率 (%)	質量 (g)
碎石	5.0~2.5	16.0	48.0	18.8	56.4	21.5	64.5	24.2	72.6	26.8	80.4
	2.5~0.6	25.5	76.5	28.3	84.9	30.9	92.7	33.0	99.0	34.7	104.1
細砂	0.6~0.3	9.0	27.0	9.9	29.7	10.2	30.6	10.3	30.9	10.3	30.9
	0.3~0.15	7.9	23.7	8.1	24.3	8.1	24.3	7.9	23.7	7.6	22.8
	0.15~0.074	6.7	20.1	6.0	18.0	6.5	19.5	6.1	18.3	5.6	16.8
フィラー	0.074以下	34.9	104.7	28.9	86.7	22.8	68.4	18.5	55.5	15.0	45.0
合計		100.0	300.0	100.0	300.0	100.0	300.0	100.0	300.0	100.0	300.0
乳剤量 (全骨材重量に対する 重量百分率)		13.3	40.0	13.3	40.0	13.3	40.0	13.3	40.0	13.3	40.0
		16.7	50.0	16.7	50.0	16.7	50.0	16.7	50.0	16.7	50.0
		20.0	60.0	20.0	60.0	20.0	60.0	20.0	60.0	20.0	60.0

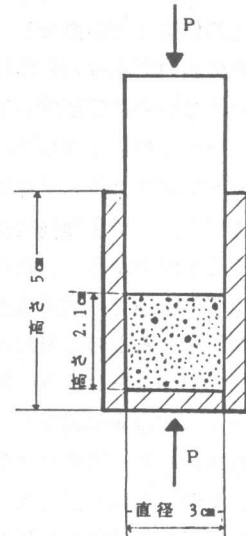


図-1 供試体の形状および寸法

表-1に示す配合にて乳剤コンクリートを作製した。なおこの配合は最大密度を与えると言われているTalbotの式、 $H = (d/D)^n \times 100$ [ここで、H：加積通過率(%)、D：最大粒径(mm)、d：任意の粒径(mm)、n：指数]にて決定し、 $n = 0.25 \sim 0.45$ まで0.05おきに変えて行ったものである。供試体寸法は $\phi 30 \times$ 高さ 21 ± 0.5 mmであり、この供試体を作製するにあたって図-1に示すように内径30×高さ50mmのシリンダー間に混合物をつめ、締め固め用棒を挿入し、 $1,000 \text{ kgf/cm}^2$ の圧力をかけ、圧縮が終了するまで締め固めを行った。1バッチで6個の供試体を作製し、水浸用3個、非水浸用3個とした。一軸圧縮強度試験は養生期間3、7、14、28日にて行った。

2.2 試験方法

供試体の養生は、水浸の場合 $21.0^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ の恒温水槽中に、空中養生の場合は $21.0^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度80%にて養生を行った。一軸圧縮試験は万能圧縮検機(最大荷重5t、ひずみ速度制御方式、ひずみ速度は 0.2 mm/min から 70 mm/min まで連続的に変えられる)を用いひずみ速度 0.3 mm/min で行った。応力、およびひずみ測定は、ブルーピングリング(荷重測定用)よりひずみを変換器によりX-YレコーダーのY軸に、ひずみ測定は、ダイヤルゲージ(歪測定用)の読みを同様にX軸に記録させ、破壊に至るまで試験を行い、その後 115°C 、24時間乾燥器の中に入れ蒸発性水分量の測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 石粉使用試験

フィラーとして石粉を使用した場合の一軸圧縮試験の結果は表-2に示される。配合は表-1の配合表の $n = 0.35$ に

表-2 石粉使用の場合の一軸圧縮強度

バインター	水浸または非水浸	温度	破壊時の応力(kgf/cm ²)	測定時のひずみ
アスファルト乳剤	水浸	21℃	水浸により破壊	測定不可能
	非水浸	21℃	7.4	0.109
ストレートアスファルト	水浸	21℃	12.6	0.073
	非水浸	21℃	22.9	0.116

相当するもので行い、バインダーとしてアスファルト乳剤、ストレートアスファルトと2種類のものについて行った結果である。養生期間はいずれも3日間である。乳剤使用(常温混合)

の場合において水浸のものは3日間水浸により水中にて破壊してしまった。表-2のように水浸によりストレートアスファルト(加熱混合)の場合でも、一軸圧縮強度は約半分になることが分かる。これらはアスファルトの水中での剥離現象により強度が低くなるものと思われる。

3.2 セメントフィラー使用試験

表-1の配合表に於て 0.074 mm 以下の粒径を通常フィラーと称しているが、これを全てセメントと置換した場合の実験の結果を示す。

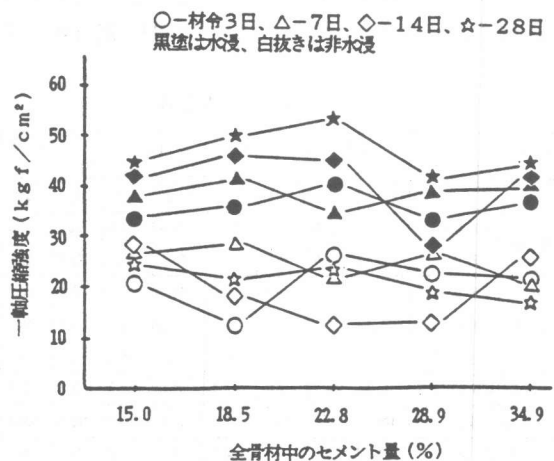


図-2 圧縮強度と全骨材中のセメント量との関係

実験要素として変えたパラメーターは、養生期間、セメント量、乳剤量である。

(1) セメントの影響

セメント量を全骨材（碎石、砂、セメント）中の百分率で表した場合、表-1に示すように15.0～34.9%まで変わり、この時の一軸圧縮強度と全骨材中のセメント量の関係が図-2に示されている。これらはいずれもアスファルト乳剤量は全骨材重量に対する乳剤の重量百分率は20%である。この乳剤量20%はセメントが水和するに必要な水分量を含むものとして仮に定めた量である。図-2には、養生期間3日、7日、14日、28日の圧縮強度の各々について、水浸、非水浸の両者についても示されている。これらの図を見るとセメント量の影響は少ないが、全骨材中のセメント量22.8%前後の配合のところで一軸圧縮強度は安定しているように思える。しかしながら、この効果は粒径による影響も考えられるが、水浸の強度がいずれも非水浸の場合の1.5～2.0倍ぐらいであることは、セメントの水和によって強度が増しているものと思われる。

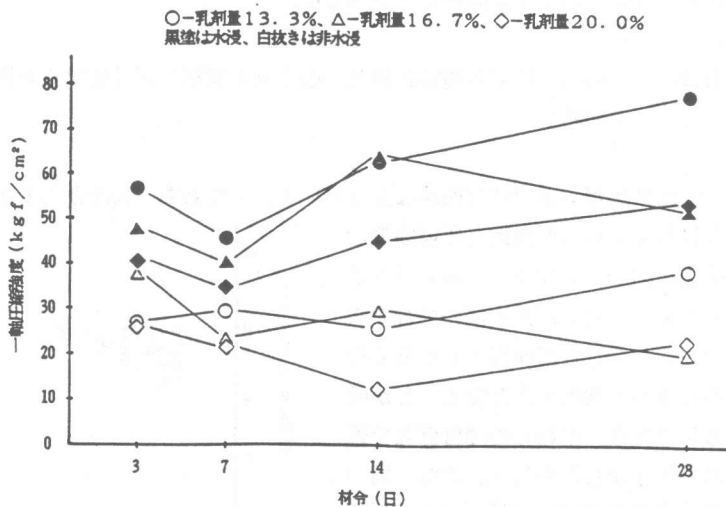


図-3 圧縮強度と材令の関係

(2) 養生期間との関係

全骨材中のセメント量22.8%、表-1のn=0.35乳剤量13.3～20%の配合において養生期間と圧縮強度との関係が図-3である。これを見ると、多少はばらつきはあるが、養生期間とともに一軸圧縮強度は増加する傾向にある。水浸の場合が特に顕著である。一方非水浸の場合は供試体作製時に保有していた水による水和反応が多少進行するが、空中養生のため保有水も乾燥により少なくなり、未水和のセメント粒子が多く圧縮強度の増加もあまり期待できないようである。

(3) 乳剤量との関係

全骨材中のセメント量22.8%と一定とした場合の乳剤量と圧縮強度との間の関係が図-4に示されている。ただし、乳剤量は全骨材重量に対する乳剤の重量百分率で表している。図中には養生期間が3～28日までのものについて水浸、非水浸別に示されている。乳剤量の減少とともに圧

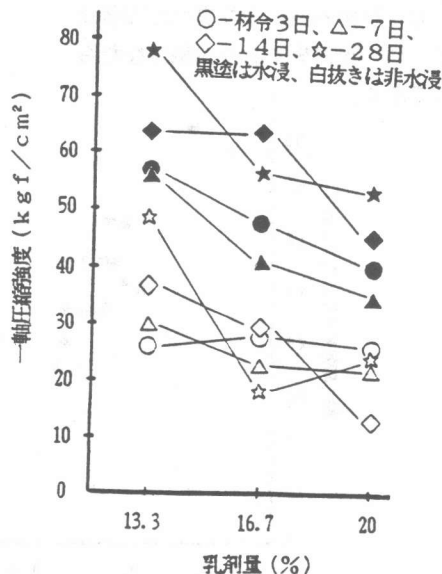


図-4 圧縮強度と乳剤量の関係

縮強度は大きくなるが、乳剤量13%未満の場合は本実験の場合、手作業で混合を行ったため、もはや供試体の作成時に均一な混合物が出来にくくなる。また、これ以下の乳剤量では、セメントの水和に必要な水分量が不足し、セメントの水和による強度の増加は見込まれないものと思われる。この点を改善するには、乳剤とは別に水を加えワーカビリティを増すと同時に水和に必要な水分量を確保する必要があるかと思われる。

(4) 応力-ひずみ曲線との関係

乳剤コンクリートに定ひずみ速度試験(ひずみ速度0.3mm/min)を行った場合の応力-ひずみ曲線は本実験の場合、図-5のようなになる。この曲線の勾配の大小と圧縮強度との関係を見るため次のような面積比を定義した。

$$\text{面積比} = (\text{応力, ひずみ曲線と横軸で囲まれる面積}) / (\text{破壊点と原点を対角線とする長方形の面積})$$

この面積比が小さいほど曲線は立っている。すなわち、勾配が急であることを示している。このよにして求めた面積比と圧縮強度の関係が図-6となり、(A)が水浸の場合、(B)が非水浸の場合である。これを見れば面積比が小さくなるに従って強度も大となることが明らかであり、それらの間は直線で近似できるかと思われる。また、同一面積比の場合でも水浸のほうが圧縮強度が大である。フィラーに石粉を使用した場合の一軸圧縮試験による、応力-ひずみ曲線より求めた面積比は、0.5前後であり曲線はなだらかである。

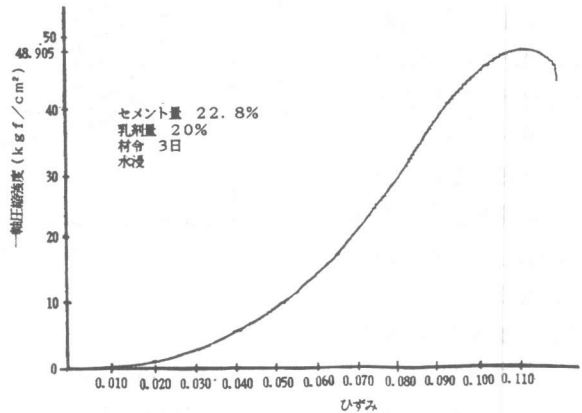


図-5 応力-ひずみ曲線

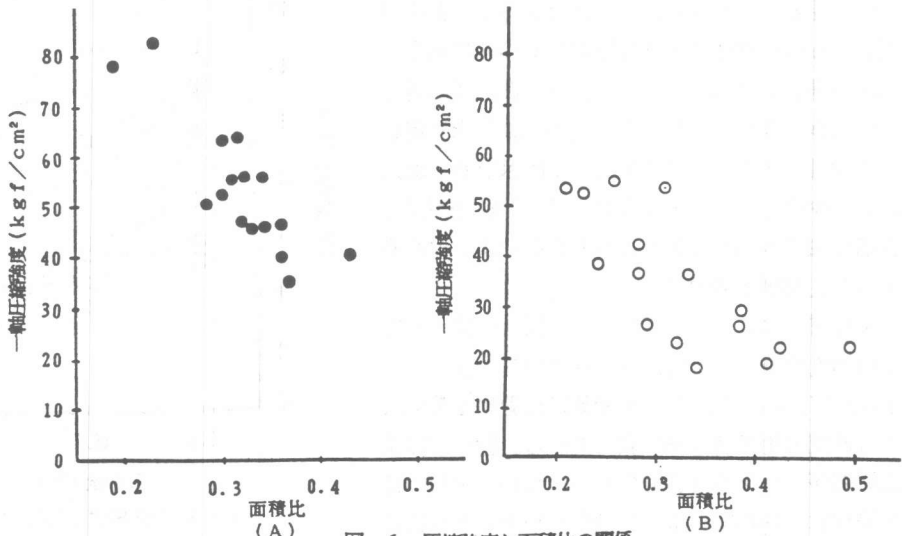


図-6 圧縮強度と面積比の関係

(5) 含水比との関係

供試体破壊後含水比を測定した結果、一軸圧縮強度と含水比との関係が図-7に示されている。図には材令3~28日までのすべての点が記載されている。この図をみると、水浸、非水浸とでは全く異なる様相を示し、非水浸の場合は含水比1.0~1.5%の間で縦に伸びる分布を示し、水浸の場合は含水比3.5~10%まで横に伸びる分布を示している。非水浸の場合の含水比が1.0~1.5%ということはセメントが水和するに必要な水分量は、もはや十分ではないことがうかがえる。

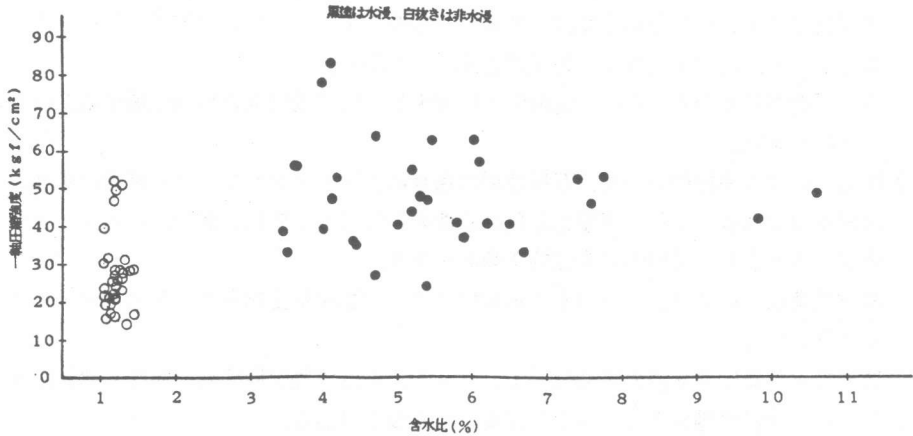


図-7 圧縮強度と含水比の関係

(6) 微細構造について

電子顕微鏡による微細構造写真が図-8に示されている。同図(a)は水浸後28日の写真であり、(b)は非水浸の28日養生の場合、また、(c)は乳剤ではなくストレートアスファルト使用(加熱混合)の場合でいずれも倍率3,000倍のものである。写真のように、水浸後約28日のものは水和によりセメントがゲル化し、これによりセメント粒子の表面積が大となりアスファルトの付着も十分であるが、非水浸のものは、アスファルトの中にセメント粒子が埋まり込んでいて、初期に保有していた水分による水和のみが進行し、ただ目つぶし材として作用しているにすぎないように思われる。ストレートアスファルトの場合は表面が滑らかで、アスファルトの堅さ、および骨材粒子間の摩擦力により一軸圧縮強度が生じるものであろう。



(a) 水浸

(b) 非水浸

(c) ストレートアスファルト

図-8 電子顕微鏡写真

4. まとめ

本実験から以下の結果を得る。

- (1) セメントフィラーを使用したアスファルト乳剤コンクリートは、水浸の場合フィラーに石粉を使用した場合に比べて一軸圧縮強度は3～4倍となる。
- (2) 石粉をフィラーとして乳剤を使用した場合には混合物の中の水が蒸発し、蒸発率が40～50%程度にならないと強度が見込まれないため、養生期間がある程度、長期間必要となるが、セメントをフィラーとして使用すると、セメントが混合物中の水と水和反応を起こしアスファルトと骨材との付着を早め、早期に強度が発現するものと思われる。
- (3) 水浸養生の場合一軸圧縮強度は、非水浸の場合の1.5～2.0倍で全骨材中のセメント量22.8%付近の配合で一軸圧縮強度は大となる。
- (4) 養生期間が長くなるに従い、圧縮強度は増大し、乳剤量は混合可能な最低限度の乳剤量で行うのがよい。
- (5) 応力-ひずみ曲線については石粉使用の場合に比べセメントフィラー使用の場合が曲線の勾配が急である。また、面積比と圧縮強度の関係においては、面積比の減少とともに圧縮強度も大となり、近似的に直線的な傾向を示す。
- (6) 微細構造については、セメントの水和により、水和物が生成され、アスファルトとの付着が良好になる。
- (7) 蒸発性水分量は非水浸の場合は、1.0～1.5%で養生期間に関係なくほとんど一定であるが、水浸の場合3.5～10%までばらつきがある。

参考文献

- 1) DEVINE J: How to Avoid in Recycling Using Asphalt Emulsions, Proc Asph. Emulsion Manuf Assoc. Semin Pavement Recycl Asph. Emulsion, 131-137 1984(USA)
- 2) WOOD L: The Use of Asphalt Emulsion in Cold Recycled Asphalt Paving Emulsions, Proc Asph. Emulsion Manuf Assoc. Semin Pavement Recycl Asph. Emulsion, 34-64 1984(USA)
- 3) BROWN E R, VOLLER T W: Cold Recycling with Asphalt Emulsion at Mcguire Air Force Base, Proc Asph. Emulsion Manuf Assoc. Semin Pavement Recycl Asph. Emulsion, 108-121 1984(USA)
- 4) STONE E M: Recycling with Hard Base Asphalt Emulsion, Proc Asph. Emulsion Manuf Assoc. Semin Pavement Recycl Asph. Emulsion, 122-130 1984(USA)
- 5) 樋渡正義、上田満、本田論: 乳剤処理土の繰り返し衝撃試験について
日本道路会議一般講演論文集 PP, 39-40 1969