

セメントアスファルトコンクリートによる遮水膜に関する研究

齋藤二郎 豎川孝生
内藤和章 十河茂幸
(本社技術本部土木技術部)

Fundamental Studies of Cutoff Curtain Using Cement-Asphalt Concrete

Jiro Saito Takaiki Tatekawa
Kazuaki Naito Shigeyuki Sogo

Abstract

A cement-asphalt concrete consisting of a special asphalt emulsion and portland cement has been developed for use in water cutoff at fill-type dams. The use of this cement-asphalt concrete enables construction of concrete curtains with the flexibility and high watertightness of heated and rolled asphalt concrete without the necessity for heating and rolling.

概 要

フィルタイプダムなどの遮水膜材料として特殊アスファルト乳剤とセメントを使用したセメントアスファルトコンクリートを開発した。このセメントアスファルトコンクリートを使用すれば通常セメントコンクリートに使用する設備を使用し、加熱、転圧を必要としないで加熱、転圧したアスファルトコンクリートと同様のたわみ性のある遮水性の高いコンクリートを打設する事ができる。

1. まえがき

近年、水資源開発の要請や水力発電事業の発展により多くのダムが築造され、今後もますます水資源開発の要請が増大するものと思われる。しかしながら現在までに築造されたダムは地形、地質の良好な場所での築造がほとんどで、そのような場所はほとんど開発しつくされた状態にある。そのため、今後は地形地質上の制約のある場所にも開発を進める必要がある。このような要望から最近では基礎地盤の良好でない場所でもフィルタイプダムの築造が増加し、その需要も年々増大する傾向にある。

フィルタイプダムの遮水壁には通常、透水係数の小さな粘土が使われてきたが、良質な粘土がダムサイトで入手しにくいなどの関係からアスファルトコンクリートの使用が検討され、わが国でもいくつか実施されるようになった。アスファルトコンクリートをダムの遮水層に使用した歴史は古く、1934年ドイツのAmeckerダムが最初の例といわれる。アスファルトコンクリートは盛土材料の工事中や完成後の長期間にわたる沈下にも追随し、十分な遮水層としての働きを示す。またその長期にわたる耐久性もまったく問題をおこし

ていない。しかし、アスファルトコンクリートには加熱、転圧を必要とする、水中打設ができないなどのいろいろな欠点がある。

本研究はアスファルトコンクリートのこのような欠点を補い、加熱、転圧を必要としないで加熱、転圧したのと同様のアスファルトコンクリートを打設でき、しかも、水中打設も可能な工法を開発する事を目的としたものである。

2. 実験の概要

2.1. 使用材料

2.1.1. セメント セメントは住友セメント㈱製の普通ポルトランドセメント（比重3.17、ブレン3060 cm²/g……コンクリートおよびモルタル用）および小野田セメント㈱製のジェットセメント（比重3.03、ブレン5620 cm²/g……モルタル用）を使用した。

2.1.2. アスファルト乳剤 アスファルト乳剤は蒸発残留分65～70%の特殊乳剤を使用した。当初は一般にスラブ軌道に使用されている蒸発残留分58～63%のA乳剤を使用する予定であったが、遮水効果がまったくみられなかったため高濃度消泡型の特殊乳剤を開発した。この材料は遮水層を築造する場合の不可欠な要

素となる。

2.1.3. 細骨材 細骨材は渡良瀬川産の川砂(比重2.63, M. S. =5mm, F. M. =2.86……コンクリート用)および鬼怒川産の川砂(比重2.55, M. S. =1.2mm, F. M. =2.02モルタル用)を使用した。

2.1.4. 粗骨材 粗骨材は多摩川産の玉石碎石(比重2.65, M. S. =25mm, F. M. =6.96)を使用した。

2.2. 実験方法

2.2.1. A乳剤を使用したコンクリートの配合と硬化コンクリートの諸性質 コンクリート用強制練りミキサを使用し表-1に示すように単位セメント量を100, 150, 200kgの3種類, A乳剤と水との置き換え率を0, 20, 40%の3種類に変え, 圧縮強度, 引張強度, 弾性係数および透水係数の測定を行った。圧縮, 引張強度の測定にはφ10×20cm円柱形供試体, 弾性係数の測定にはφ15×30cmの円柱形供試体, 透水係数の測定にはφ15×30cmの中空厚肉円筒形供試体(内径2cm)を使用した。

配合No.	セメント(kg)	A乳剤(kg)	水(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)
A-100-0	100	196	0	862	1043
A-100-20		157	39		
A-100-40		118	78		
A-150-0	150	204	0	833	1009
A-150-20		163	41		
A-150-40		122	82		
A-200-0	200	213	0	804	974
A-200-20		170	43		
A-200-40		128	85		

*セメントは普通ポルトランドセメント

表-1 A乳剤を使用したコンクリートの配合表

2.2.2. 特殊乳剤を使用したコンクリートの配合と硬化コンクリートの諸性質 強制練りミキサを使用し表-2に示すように単位セメント量を100, 150, 200kgの3種類, 乳剤と水との置き換え率を0および40%の2種類に変え, 圧縮強度, 引張強度, 曲げ強度, 弾性係数および透水係数の測定を行った。

2.2.3. 特殊乳剤を使用したコンクリートの暴露試験

配合No.	セメント(kg)	特殊乳剤(kg)	水(kg)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)
H-100-0	100	265	0	874	903
H-100-40		130	87	936	967
H-150-0	150	285	0	795	889
H-150-40		130	87	879	984
H-200-0	200	305	0	718	871
H-200-40		130	87	823	998

*セメントは普通ポルトランドセメント

表-2 特殊乳剤を使用したコンクリートの配合表

表-2の配合 No. H-150-0 のコンクリートを使用し20cm×90cm×180cmの版および内容積70cm×70cm×70cm, 肉厚15cmの水槽を作成し, 暴露試験を行った。

2.2.4. 特殊乳剤を使用したコンクリートの水中打設実験 表-2の配合 No. H-150-0 のコンクリートを使用し, 深さ0.7m, 幅2mの水槽中にベニア板で幅25cm, 長さ2mのかこまれた部分を作り, ベントナイト泥水を満たし, 水中コンクリートの打設実験を行った。

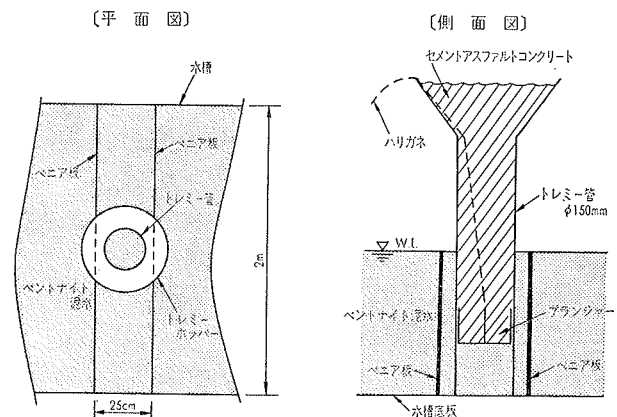


図-1 水中コンクリート打設方法

2.2.5. 特殊乳剤を使用したモルタルの配合 練り混ぜにはプレパックドモルタルミキサを使用しPロー値を2分に限定した場合, ジェットセメントと特殊乳剤との比が1:2および1:3の場合の砂の可能添加量を求めた。あわせて特殊乳剤の20%を水で置きかえたものに対しても同様の試験を行った。なお, 凝結遅延剤ジェットセンターはセメント量の0.5%とした。

2.2.6. 特殊乳剤を使用したモルタルのポンプ圧送試験 普通セメントを使用した表-3の配合のモルタル(フロー値2分)についてポンプ圧送試験を行った。使用したポンプは, (1)機械駆動ピストン式ポンプ(プレパックドコンクリート用 東邦地下機製BG-15型能力215l/分, 最大圧力20kg/cm²)および(2)液圧駆動式ポンプ(気泡モルタル用ポンプ東邦地下機製PA-15a型最大吐出量272l/分, 吐出圧15kg/cm²)の2種とした。圧送距離はグラウトホース10m+ガス管5.5m×8本=54mとし, その吐出量および圧力の測定を行った。

セメント(kg)	特殊乳剤(kg)	細骨材(kg)
282	563	915

表-3 ポンプ圧送に使用したモルタルの配合

3. 実験結果とその考察

3.1. A乳剤を使用したコンクリートの配合と硬化コンクリートの諸性質

(1)圧縮強度および引張強度 材齢28日における圧縮強度および引張強度の試験結果を図-2~3に示す。圧縮強度、引張強度とも単位セメント量が増加するほど、また水の置換率が増加するほど増加する。圧縮強度の増加量はセメント量50kgの増量に対しA乳剤100%の場合7~11kg/cm²、平均9kg/cm²、水の置換率20%で、9~15kg/cm²、平均12kg/cm²、水の置換率40%で、17~18kg/cm²、平均18kg/cm²、それぞれ強度増加となった。引張強度の増加量はセメント量50kgの増量に対しA乳剤100%の場合1.3~1.8kg/cm²、平均1.6kg/cm²、水の置換率20%で1.7~2.0kg/cm²、平均1.9kg/cm²、水の置換率40%で2.2~2.3kg/cm²、平均2.3kg/cm²、それぞれ強度増加を示した。以上のように水の置換率が増加するほどセメント増量に対する強度増加量は増大する。

(2)弾性係数 ダイアルゲージを使用して測定した材齢28日における弾性係数の値を図-4に示す。測定結果は10⁴~10⁵kg/cm²のオーダーで、セメント量が増大するほど、また水の置換率が増大するほど大きくなる。

(3)透水係数 透水試験機にセットしたが圧力をまったくかけない状態で水が流出し、測定できなかった。このような状態ではまったく止水効果は期待できない。

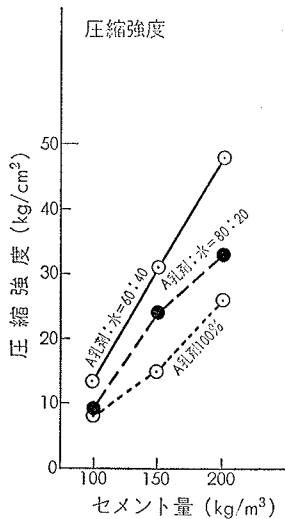


図-2 A乳剤を使用したコンクリートの配合と圧縮強度

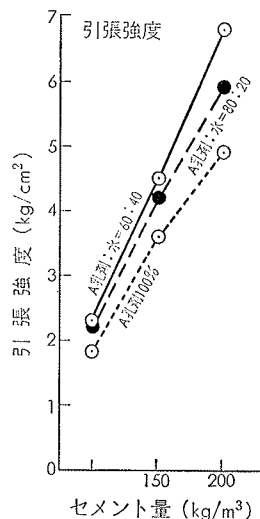


図-3 A乳剤を使用したコンクリートの配合と引張強度

3.2. 特殊乳剤を使用したコンクリートの配合と硬化コンクリートの諸性質

(1)圧縮強度、引張強度および曲げ強度

材齢28日における圧縮強度、引張強度および曲げ強度を示した図-5~図-7によるとA乳剤の場合と同様に各強度とも単位セメント量が増加するほど、水の置換率が増大するほど増加する。圧縮強度の増加量は、セメント量50kgの増量に対し、乳剤100%の配合の場合は平均11kg/cm²、水の置換率40%の場合は平均31kg/cm²となった。引張強度の増加量は同様に乳剤100%で平均3.3kg/cm²、水の置換率40%で平均4.5kg/cm²、曲げ強度の増加量は同様に乳剤100%で平均5.6kg/cm²、水の置換率40%で平均7.8kg/cm²となった。この値はA乳剤の値に比べてやや大きめの値となり、特殊乳剤の消泡性が関係しているものと思われる。また圧縮強度に対する引張強度の比率は乳剤100%の場合1/3.5~1/4.4、水との置換率40%で1/5.2~1/6.7の値となり、水が増加するほどセメントコンクリートの値1/10~1/13に近づく。しかしセメントコンクリートの値に比べてかなり大きな値となる。

圧縮強度に対する曲げ強度の比率は乳剤100%の場合1/1.7~1/2.0、水との置換率40%で1/2.4~1/3.6の値となり、引張強度の場合と同様セメントコンクリートの場合の値1/5~1/7に比べてかなり大きな値を示す。

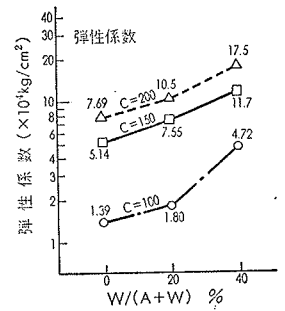


図-4 A乳剤を使用したコンクリート弾性係数

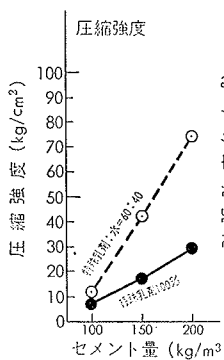


図-5 特殊乳剤を使用したコンクリートの圧縮強度

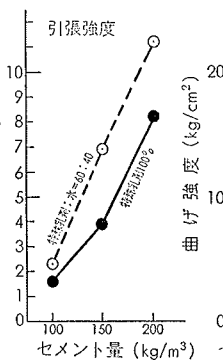


図-6 特殊乳剤を使用したコンクリートの引張強度

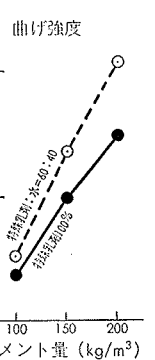


図-7 特殊乳剤を使用したコンクリートの曲げ強度

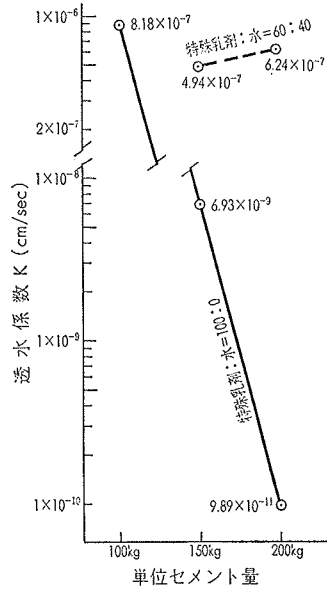
(2)弾性係数 表-2に示した配合のコンクリートについてダイアルゲージを使用して測定した材齢28日における弾性係数の値を表-4に示す。実験結果は多少のバラツキはあるが10³kg/cm²のオーダーを示しA

特殊乳剤：水 セメント量(kg)	弾性係数 $\times 10^3 \text{kg/cm}^2$	
	100 : 0	60 : 40
100	2.68	5.27
150	7.43	1.63
200	1.15	2.49

表一四 特殊乳剤を使用したコンクリートの弾性係数

乳剤を使用したコンクリートの $10^4 \sim 10^5 \text{kg/cm}^2$ にくらべ $1/10 \sim 1/100$ の値で高濃度乳剤の特徴をよく表わしている。

(3)透水係数 透水試験の結果を示した図一八によると特殊乳剤のみ使用し、水を使用しないものはセメント量が増加するほど透水係数は低下し、セメント量 100kg で 10^{-7}cm/sec 、150kg で 10^{-9}cm/sec 、200kg で 10^{-11}cm/sec とセメント

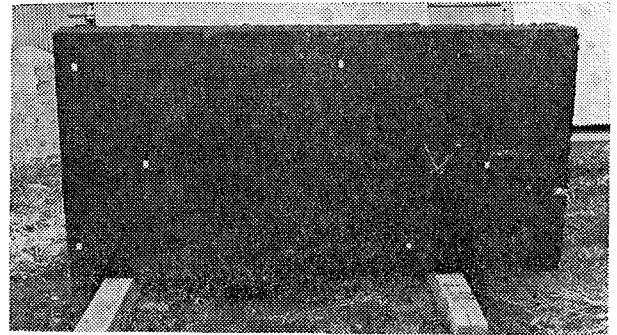


量を増量すると 図一八 特殊乳剤を使用したコンクリートの透水試験結果 一部を水と置換したものは多少泡が発生する事もあって透水係数はセメントを増量しても 10^{-7}cm/sec 程度しかならず、高い遮水性が要求される場合には特殊乳剤に水を添加しないでセメントを増量するなどの配慮が必要である。

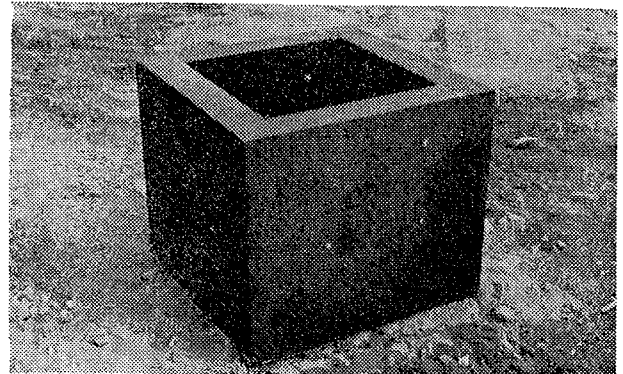
(4)暴露試験 セメントアスファルトコンクリートの上面は、コンクリート打設後2日目に雨が降った事もあり白っぽくなった。型わくに接した面は1ヶ月程黒い表面を見せていたが、風雨にさらされるにしたがい白っぽくなって来た。この白っぽい色はセメント分によるものと考えられる。しかし、打設後3ヶ月になる現在、表面をはがすと内側は黒々としており、また表面には何らの異常はない。水をはった水槽は脱型当初、セパレーターからわずかに水がにじみ出たが1週間ほどでセメント成分によるものと思われる結晶が目詰まり、6ヶ月を経た現在ではまったく漏れは見られない。

(5)水中打設実験 ベントナイト泥水中に打設したセメントアスファルトコンクリートの泥水と接している上面は、アスファルト乳剤が溶け出し、泥水がか

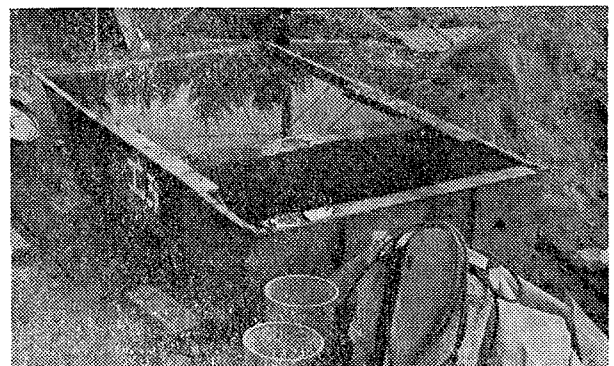
色を呈した。しかし、セメントアスファルトコンクリートは高強度コンクリートの流動性にて、粘性の高いスラリー状で保水性はよく、型わくのすみずみまで分離する事なく詰まり、上面は放置しておいてもほぼ水平になった。材齢7日に達した時、水中ポンプで片側の排水を行ったが、写真一三にみられるように、漏水はまったく見られなかった。



写真一 暴露試験状態 (その1)
($\square 20\text{cm} \times 90\text{cm} \times 180\text{cm}$ 版)



写真二 暴露試験用水槽
(内容積 $70\text{cm} \times 70\text{cm} \times 70\text{cm}$ 肉厚 15cm)



写真三 水中コンクリート打設による止水壁
(まったく漏水はみられない)

(6)特殊乳剤を使用したモルタルの配合 ジェットセメントを使用したセメントアスファルトモルタルのセメントと特殊乳剤との比を一定とし、フロー値を一定(約2分)とした場合の砂の混入量の割合を表一五

に示す。特殊乳剤はアスファルト分が65~70%と多いため特殊乳剤だけでもフロー値は14秒とかなり高い。そのため目標フロー値を2分程度と大きく取らなければ砂の混入はまったく不可能である。表に見られるように特殊乳剤に内割で20%の水を混入するとC:A=1:2の場合、混入し得る砂が3から6と倍増、C:A=1:3の場合、混入し得る砂が6から9へと1.5倍に増加する。その結果、1m³当りの価格も大幅に減少する。しかし、水を混入する事は、コンクリートの項にものべたように大きく遮水性を損う事になるのでその目的によって使いわけなければならない。ミキサへの投入順序としては1アスファルト乳剤、2ジェットセッター、3砂(8割)、4ジェットセメント、5砂(2割)が望ましい。セメントを投入するとアスファルト乳剤の粘性が高まり、本実験に使用したプレバクドモルタルミキサでは回転数が少なく、羽根が小さいため分散しきれず、フロックを形成する。また、その後から砂を投入しても砂がアスファルト乳剤の表面に浮び、分散しきれない。そのため、上記のように砂の7割をアスファルト乳剤中に分散させ、セメントを投入する。そして浮び上がっているセメントを残りの砂でおさえこみ、ミキサの回転力でモルタル中に分散させることが望ましい。

配合No.	C:(A+W):S	単 位 量 (kg/m ³)			
		ジェットセメント	特殊乳剤	水	砂
1	1:2:3	287	575	—	862
2	1:2:6	216	346	86	1297
3	1:3:6	178	533	—	1066
4	1:3:9	148	354	89	1328

表一五 特殊乳剤を使用したモルタルの配合表

(7)特殊乳剤を使用したモルタルのポンプ圧送性

特殊乳剤を使用したフロー値2分程度の粘性の高いスラリー状のモルタルの圧送性はOMG工法等に使用される場合、大いに問題となる。実験の結果機械駆動式ポンプの吐出量は51l/分、圧力8~10kg/cm²でメーカーカタログデータ215l/分の約1/4の値となった。そのため予定した吐出量を確保するためにはかなり大型のポンプを用意する必要がある。また液圧駆動式ポンプの吐出量は133l/分でメーカーのカタログデータ272l/分の約1/2の吐出量となり、かなりの圧送性を示した。さらに液圧駆動式ポンプは機械駆動式ポンプに比べて脈動が小さい、吐出量の調節ができるなどの利点がありOMG用セメントアスファルトモルタルの圧送には液圧駆動式ポンプのほうが機械駆動式ポンプに比べて優れているといえる。

4. まとめ

前述のように、フィルダムなどの遮水壁、コア、フェーシング等に使用するたわみ性のある材料として特殊アスファルト乳剤とセメントを使用したセメントアスファルトコンクリート(モルタル)を開発した。本報告書はそのセメントアスファルトコンクリート(モルタル)の配合および硬化コンクリートの基礎的性質について検討を行ったものである。本実験の結果をまとめると次のようになる。

(1)圧縮強度、引張強度、および曲げ強度とも単位セメント量が増加するほど、また水の置換率が増加するほど増加するが、アスファルトのもつたわみ性が失われ、セメントコンクリートの性質に近づく。

(2)圧縮強度に対する引張強度の比率は特殊乳剤100%の場合1/3.5~1/4.4、水の置換率40%で1/5.2~1/6.7の値を示し、水が増加するほどセメントコンクリートの値1/10~1/13に近づく。

(3)圧縮強度に対する曲げ強度の比率は特殊乳剤100%の場合1/1.7~1/2.0、水の置換率40%で1/2.4~1/3.6の値となり、引張強度の場合と同様に水が増加するほどセメントコンクリートの値1/5~1/7に近づく。

(4)特殊乳剤を使用したコンクリートの弾性係数は、10³kg/cm²のオーダーとなり、かなりのたわみ性を示す。

(5)特殊乳剤を使用したコンクリートの透水係数は、10⁻⁷~10⁻¹⁰cm/secの範囲にあるが、水を使用するとセメント量が増加しても透水係数はほとんど低下せず、10⁻⁷cm/sec程度の値を示す。

(6)特殊乳剤を使用したセメントアスファルトコンクリートはベントナイト泥水中への打設も可能で、打設されたコンクリートは遮水壁としての機能を十分に果たす。

本実験の結果、フィルタイプダムのコアや遮水壁、フェーシング等に使用するたわみ性のある遮水材として、今回開発したセメントアスファルトコンクリートは十分その目的を達せられるものであると考えられる。将来の応用分野としてフィルタイプダムのコア、止水壁、フェーシングの他にも切土斜面などに施すたわみ性のある安定処理材、道路、駐車場などの舗装材としての利用が考えられる。しかし、本材料は開発されたばかりで日も浅く実施例もないが、近々実施される予定である。今後は現場での適用に際して生ずる諸問題を解決し、さらに研究を進めて行くつもりである。