

コールドアスコンによる遮水壁に関する研究 (その4)

——コールドアスコンの諸特性——

芳賀孝成 中川武志
(本社 技術本部 土木技術部)

豎川孝生
(本社 技術本部 土木技術部)

Fundamental Studies of Cutoff Curtain Using Cold-Asphalt Concrete (Part 4)

——Various Characteristics of Cold-Asphalt Concrete——

Takashige Haga Takeshi Nakagawa
Takaiki Tatekawa

Abstract

Cold-asphalt concrete, which was developed for use in water cutoff barriers in fill-type dams and other structures, is a material having the workability of fresh cement concrete and the flexibility of good-quality soil material. This report describes the fundamental properties of cold-asphalt concrete through laboratory experiments relative to workability of fresh concrete, strengths of various hardened concretes, flexibility, watertightness and durability.

Based on these test results, it was proved that the previous results were correct, while also, the various characteristics such as trial compressive strength and dynamic strength, which were not clear in previous reports, were made known.

概要

フィルタイプダムなどの遮水壁材料に使用するために開発したコールドアスコンは、セメントコンクリートのもつ施工性、遮水性とダムの盛土材に使用されるような土質材料のもつ変形性を有する材料である。本報告ではコールドアスコンの基礎性状を明らかにするためフレッシュコンクリートのワーカビリティ、硬化コンクリートの強度特性、変形特性、透水性および耐久性などの一連の試験を行った。試験の結果、三軸圧縮強度、動的特性、高圧下における透水係数など、これまで不明確であったコールドアスコンの諸物性が明らかになった。また、コールドアスコンを遮水壁として利用するために必要な設計定数の算定式と配合設計方法を提案するに至った。

1. 序

コールドアスコンはアスファルト乳剤とセメントおよび骨材からなる特殊なコンクリートで常温での練り混ぜ、ポンプ圧送、水中打設が可能である。

硬化したコールドアスコンの性質は図-1に示すようにセメントコンクリートと土質材料との中間的な性質を持つが、その性質は配合によって任意に変えることができる。

コールドアスコンの用途は種々あるが、その一つとしてダムの遮水壁としての利用が挙げられる。そこでコールドアスコンをダムの遮水壁に利用することを目的とし

て、設計に必要な諸物性、すなわち強度特性、変形特性などを求め、さらに配合設計法を見出すために各種の実験を行ってきた。本報告はこれらの試験結果を示し、設計に用いる諸定数の算定式と配合設計法を提案するものである。

2. 試験内容

ダムの遮水壁に適するとみなされる変形係数が $3 \times 10^3 \sim 20 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ のコールドアスコンを対象として、配合を変化させた場合のフレッシュコールドアスコンの諸性質、硬化コールドアスコンの強度特性、変形特性、透水性および耐久性を求めるために次の試験を行った。

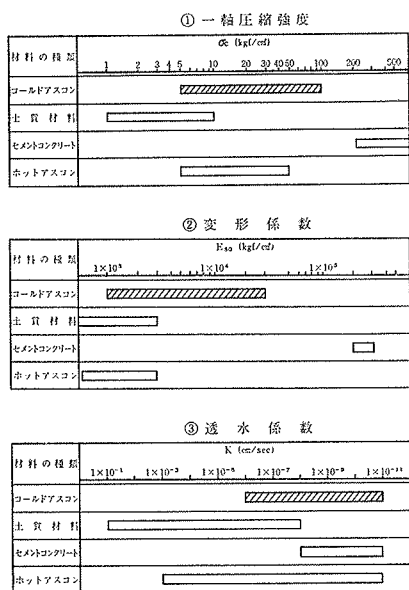


図-1 各種材料の比較

2.1. 試験項目

(1) フレッシュコンクリートに関する試験：流動性と空気量に関する試験

(2) 硬化コンクリートに関する試験：強度特性，変形特性，透水性および耐久性に関する試験

2.2. 使用材料と配合

セメントは秩父セメント(株)製の普通ポルトランドセメント(比重3.17, ブレーン 3,330 cm²/g), アスファルト乳剤は日産化学工業製のアズブル H (比重1.011, 蒸発残留分 65.5%), 細骨材は栃木県鬼怒川産の川砂(比重2.50), 粗骨材は栃木県鬼怒川産の川砂利(比重2.64)を使用した。

配合については予備試験の結果からセメント量を 100~250 kg/m³, アスファルト乳剤量を 100~210 kg/m³ とした。

3. 試験結果

3.1. フレッシュコールドアスコンの物性

3.1.1. 流動性について フレッシュコンクリートに

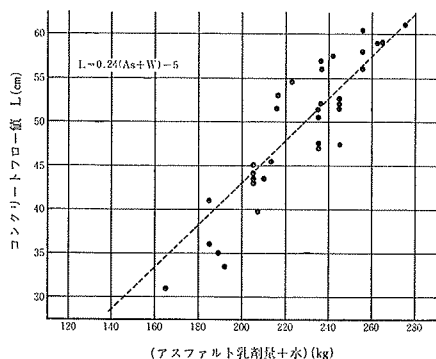


図-2 (アスファルト乳剤+水) とフロー値

関する種々の流動性試験(ワーカビリティ試験)を実施した結果フレッシュコンクリートの流動性を判断する試験方法として, 試験値のバラツキが少なく, 流動性がよくあらわされ, 試験方法が簡単な点からコンクリートの拡がり測定するフロー試験が適していると判断された。また図-2に示すようにフロー値(L cm)は主としてアスファルト乳剤+水の量 [(As+W) kg/m³] によって変化する。

3.1.2. 空気量について 練り混ぜ順序によってフレッシュコンクリートの空気量に変化するが, 細骨材, セメント, アスファルト乳剤を先に練り混ぜ, モルタル状とした中へ粗骨材を投入する方法を採用した場合が連行空気量は最も少ない。また空気量は図-3に示すようにアスファルト乳剤と水量が増加すると減少する。空気量(A%)と混合水量* [(As×0.35+W) kg/m³]との関係は次式で表わされる。

$$\text{空気量 } A = 29 - 0.16 (A_s \times 0.35 + W)$$

*混合水量……………アスファルト乳剤中の水分量 (A_s×0.35) に練り混ぜ水 (W) を加えたものを混合水量と定義する。

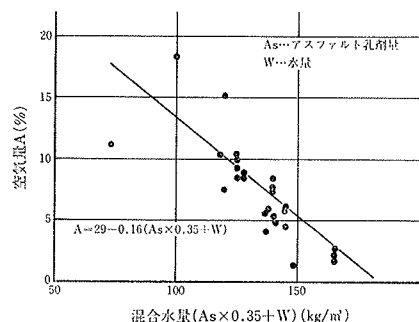


図-3 混合水量と空気量

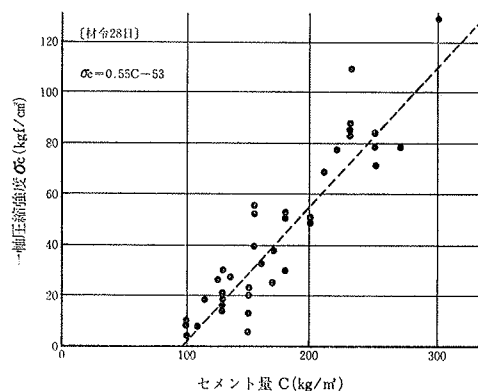


図-4 セメント量と圧縮強度

3.2. 硬化コールドアスコンの物性

3.2.1. 強度特性について 一軸圧縮強度, および曲げ強度はセメント量, アスファルト乳剤量, 水量などによって変化するが, 図-4~図-6にみられるようにいずれもセメント量と相関性が高い。なお, 材令28日に

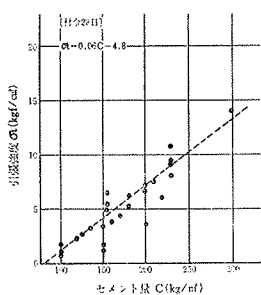


図-5 セメント量と引張強度

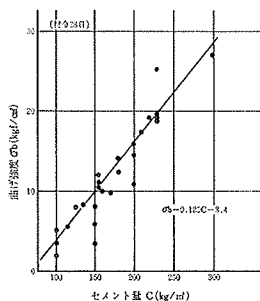


図-6 セメント量と曲げ強度

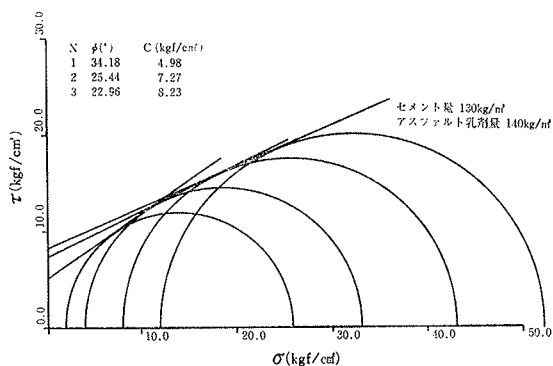


図-7 モールの応力円と包絡線

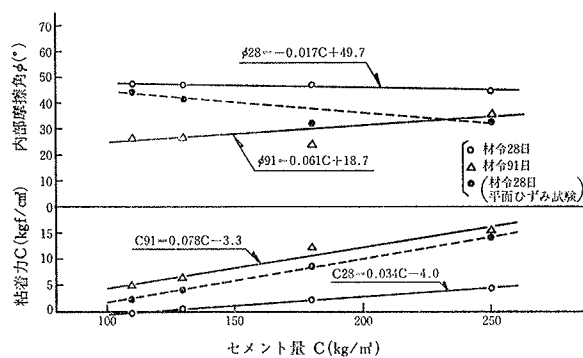


図-8 粘着力と内部摩擦角

いて引張強度は 1~10 kgf/cm² の値を、曲げ強度は 5~20 kgf/cm² の値を示し、それぞれ圧縮強度の 1/10 および 1/5 である。この比率はセメントコンクリートの場合に比較し若干小さい。

図-7 は三軸圧縮試験から求めたモールの応力円と包絡線を図示したものである。このような図から C ないし φ を求めセメント量との関係を図示したものが図-8 である。せん断強度は一軸圧縮強度と同様、セメント量の増加に伴い大きくなる。またセメント量は主として粘着力に寄与し、内部摩擦角への影響は小さい。また材令が進むにつれてセメントの結合力が大きくなるため、粘着力が増加し、内部摩擦角は小さくなる。

3.2.2. 変形特性について コールドアスコンの応力とひずみの関係は図-9 にみられるようにセメント量が増加するにしたがって破壊時のひずみが小さくなるが、

セメント量が少なくなると応力の増加に対するひずみの増加が大きく、破壊時のひずみも大きくなる。

フィルタイプダムに用いる弾性係数、内部摩擦角、粘着力などは一般に三軸圧縮試験から求めるが、セメント量の少ない配合では初期の応力の増加に対してひずみの増加が大きいため、セメントコンクリートの場合と異なり最大応力の 1/3 割線で求める弾性係数と最大応力の 1/2 割線で求める弾性係数 (E₅₀) とは異なってくる。

図-10 と図-11 は一軸圧縮試験より求めた 1/3 割線弾性係数と三軸圧縮試験より求めた 1/2 割線弾性係数である。三軸圧縮試験より求めた弾性係数は側圧による変化は少なく、図-11 にみられるように一軸圧縮試験より求めた弾性係数と同様セメント量との関係で表わすことができる。

また、弾性係数は前報¹⁾で述べたようにアスファルト乳剤量が増加するほど小さくなるが、セメント量に比べ

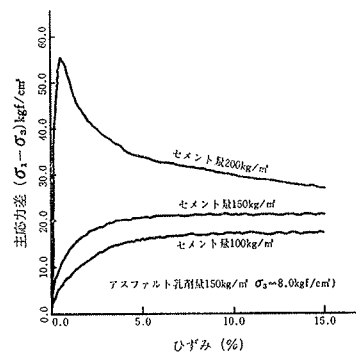


図-9 応力とひずみとの関係 (三軸圧縮試験による)

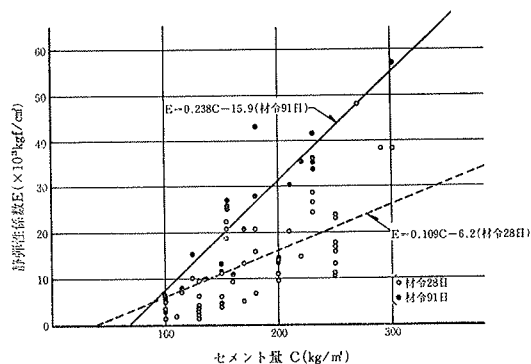


図-10 セメント量と弾性係数 (E) (一軸圧縮試験)

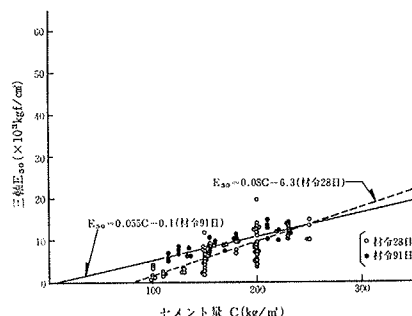


図-11 セメント量と弾性係数 (E₅₀) (三軸圧縮試験)

てその影響は小さい。

三軸圧縮試験による破壊ひずみは図-12に示されるようにセメント量が増加するほど小さくなる。同一セメント量の場合は側圧が小さいほど破壊ひずみは小さくなる。しかし、セメント量が多い場合は側圧の影響は少なくなる。また、破壊時の体積変化はセメント量が増加するほど小さくなる。高側圧における体積変化はセメント量が少ないほど大きくなるが、低側圧における体積変化はセメント量に関係なく、ほぼ一定の値を示す。

破壊形態は側圧が小さく、かつセメント量が多くアスファルト乳剤量が少ない場合、ぜい性的破壊形態を示しこれとは逆の条件の場合は塑性的破壊形態を示す。破壊形態の一例を写真-1、写真-2に示す。

平面ひずみせん断試験から求められる中間主応力と他

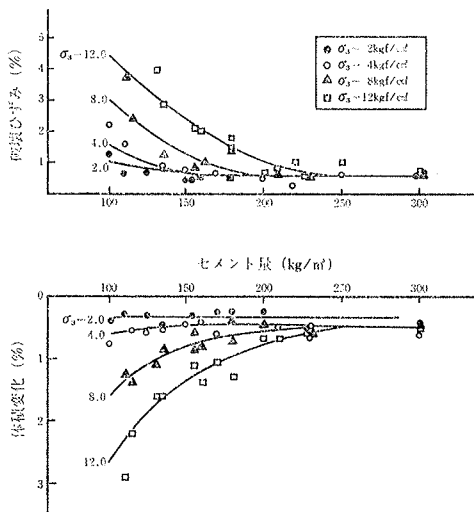


図-12 破壊ひずみと体積変化 (三軸圧縮試験による)

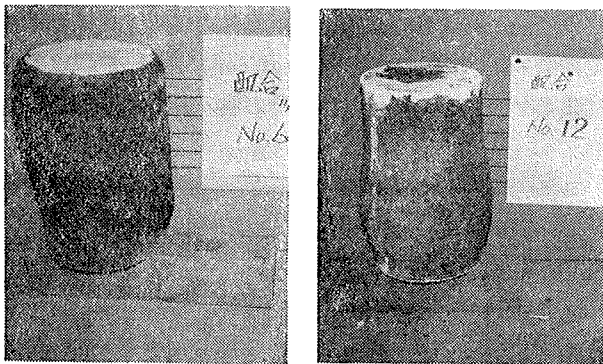


写真-1 ぜい性的破壊形態

写真-2 塑性的破壊形態

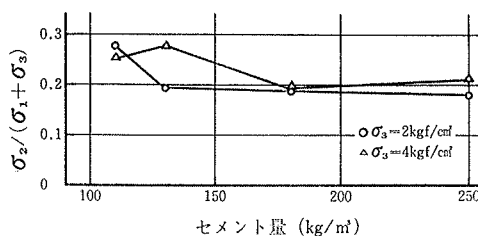


図-13 セメント量と $\sigma_2/(\sigma_1+\sigma_3)$

の4主応力の和との比はコンクリートのポアソン比に相当する値であるが、コールドアスコンの場合 $\{\sigma_2/(\sigma_1+\sigma_3)\}$ は図-7に示すようにセメント量が増加すると小さくなる傾向を示し、セメント量 $110 \text{ kg/m}^3 \sim 250 \text{ kg/m}^3$ の範囲では $0.28 \sim 0.18$ となる。

振動三軸試験より求めた減衰定数はほぼ $4 \sim 8\%$ の範囲にあり、ひずみ振幅が大きくなると減衰定数は大きくなる傾向がある。動弾性係数 E_d とひずみ振幅 ϵd の関係を初期応力比 $\sigma_1/\sigma_3=2$ でみると ϵd が $2 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-3}$ の範囲では E_d は $10 \times 10^3 \sim 30 \times 10^3$ (kgf/cm²) である (図-15参照)。

また振動三軸試験の結果、ひずみの小さい範囲 ($\epsilon=0.4\%$) では、セメント量の少ない場合には ($C=130 \text{ kg/}$

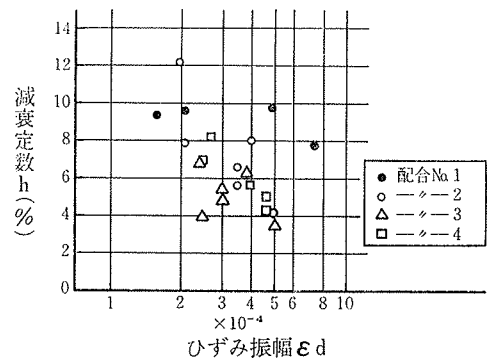


図-14 ひずみ振幅と減衰定数

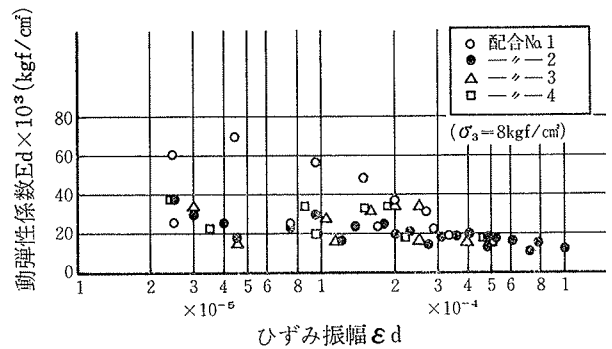


図-15 ひずみ振幅と動弾性係数

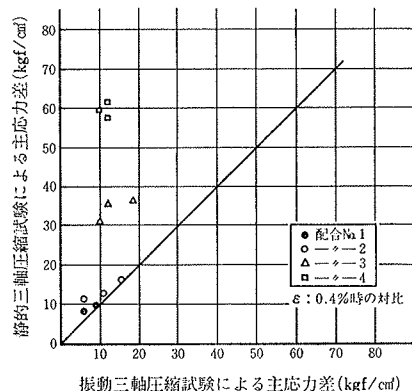


図-16 動的応力と静的応力 ($\epsilon=0.4\%$ 時の対比)

m³以下) 動的応力と静的応力はほぼ等しいが、セメント量が多くなると (C=180 kg/m³, 250 kg/m³) 静的応力が動的応力を上回る (図-16)。

3.2.3. 透水性について 透水係数は配合と透水圧力によって変化するが透水圧力が一定の場合、透水係数は図-17に示すようにセメント量が増加するにしたがって小さくなる。セメント量が多い場合 (C=200 kg/m³ 程度) にはアスファルト乳剤の影響は少ないが、セメント量が少ない場合 (C=100 kg/m³ 程度) にはアスファルト乳剤が多くなると透水係数が大きくなる。また配合が一定の場合、圧力が高くなるにしたがって図-18に示すように透水係数は大きくなる。透水圧力 3 kg/m² 以下の場合には各配合とも透水圧力の増加に伴い透水係数の増大は顕著であるが、透水圧力 3 kg/m² 以上になると透

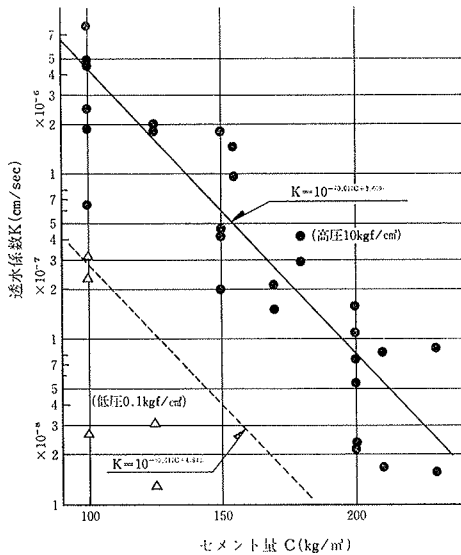


図-17 セメント量と透水係数

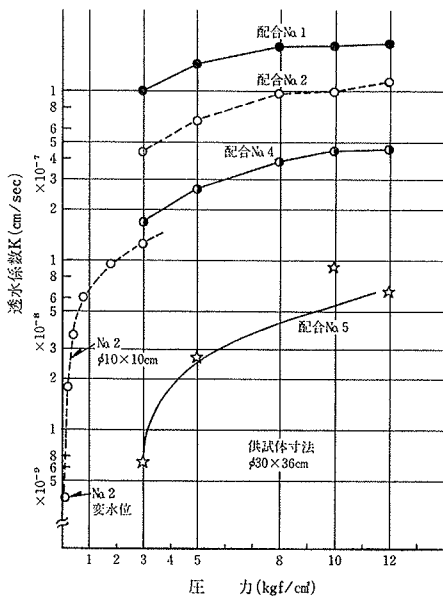


図-18 圧力と透水係数

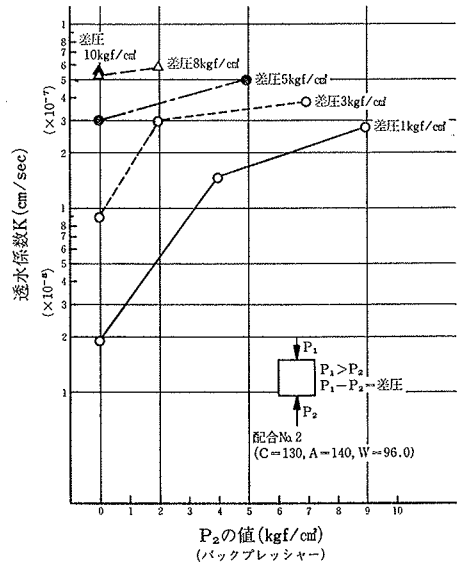


図-19 圧力下における透水係数

水係数の増大はわずかである。供試体の両面より水圧を負荷させた透水試験では図-19に示すように、供試体に加わる圧力差が同じでも、高圧下ほど透水係数が大きくなる。このことから堤防などのあまり水圧のかからない場所での遮水壁としては低圧下での透水係数を使ってもよいが、ダムなどの水圧の高い場合の遮水壁としては高圧下での透水係数を用いるのがよいと考えられる。

3.2.4. 耐久性について 凍結融解試験によると、相対動弾性係数はセメント量が多くなるにしたがって大きくなり、重量減少率はアスファルト乳剤量の増加に伴い小さくなる。この結果により凍結融解に対する抵抗性は、セメント量とアスファルト乳剤量が多いほど大きくなるものと考えられる。

300 mm (φ) × 150 mm (h) の供試体の端面に48時間間隔で段階的に (4 kgf/cm² ~ 12 kgf/cm²) 水圧を高め透水によるアスファルト分およびその他の溶出量を測定した

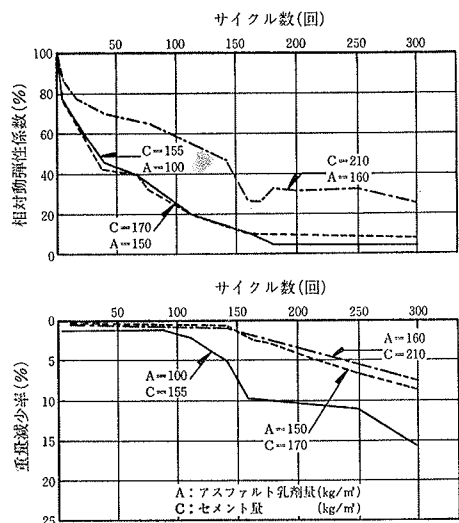


図-20 凍結融解試験結果

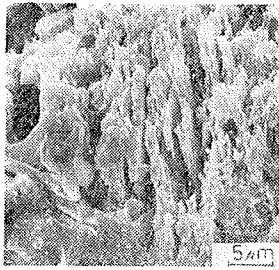


写真-3 微細構造 (2000倍)

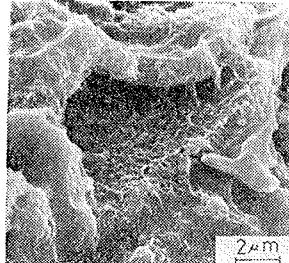


写真-4 微細構造 (5000倍)

結果, 試験初期にわずかに炭酸カルシウムと有機炭素量が検出されたが, 時間とともに溶出量は減少した。

また, 電子顕微鏡によってコールドアスコンの微細構造を観察したが, 2,000倍に拡大した写真-3では, 板状結晶のつき重ねが観察され, 5,000倍に拡大した写真-4では板状結晶を結ぶ格子が観察された。これらの試験結果では直径 2~3 μ といわれるアスファルト粒子は認められず, 通常の配合ではセメントとアスファルトとは一体化しているものとみなされる。そのため硬化したコールドアスコンからアスファルト分が溶出したり, 圧力によってアスファルト分が押し出されたりすることはないものと考えられる。

4. まとめ

今回の試験の結果, コールドアスコンの流動性 (特にワーカビリティ), 強度特性, 変形特性などの基礎物性についてほぼ把握することができた。また, コールドアスコンはダムの遮水壁として使用するのに必要な耐久性, 遮水性を有する事が確認できた。

試験結果にもとづいてダムの遮水壁として利用するために必要な配合設計方法, 設計常数の求め方を次に提案する。

(1) 配合設計方法

コールドアスコンのワーカビリティはフロー値で管理するのが良く, その値は主としてアスファルト乳剤に水を加えた量によって変化する。また空気量は主としてコンクリート中の水分量によって変化する。強度, 変形定数からセメント量が決定される。そのためコールドアスコンは図-21に示す手順で配合設計を行なうのがよい。

(2) 設計常数

強度特性, 変形特性などの試験の結果をまとめると表-1のようになる。設計常数は配合その他からこの表に示された各計算式によって求めるとよい。

5. 謝辞

この研究は東京電力(株)技術開発研究所の委託研究として実施されたものである。一連の試験を実施するにあたっては元土木建築研究室増田瑛主任研究員 (現, 福島

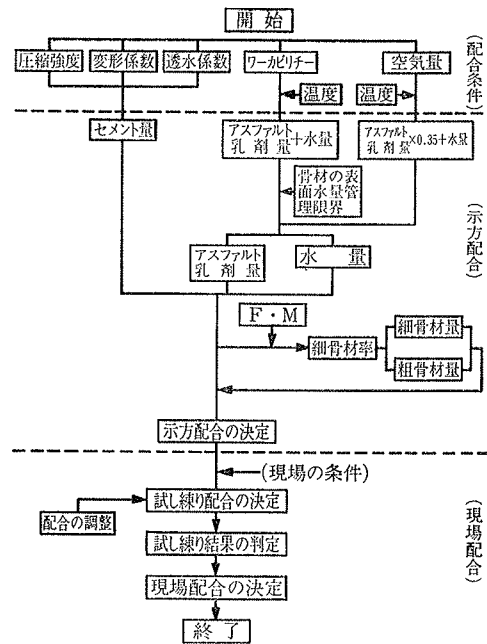


図-21 コールドアスコンの配合設計フロー図

項目	実 験 式	式の注釈	備考
フ レ ョ ー 値	$L = 0.24(As + W) - 5$	L...フロー値(cm) As...アスファルト乳剤量(kg/m ³)	実用的フロー値 (0cm~60cm)
	$A = 29 - 0.16(As \times 0.35 + W)$	W...水(kg/m ³) A...空気量(%)	
強 度	材令28日 $\sigma_c = 0.55C - 53$	C...セメント量(kg/m ³)	実用強度 10~80kgf/cm ²
	材令91日 $\sigma_c = 0.58C - 37$		* 20~90kgf/cm ²
	材令28日 $\sigma_t = 0.06C - 4.8$		実用強度 1~10kgf/cm ²
	材令91日 $\sigma_t = 0.07C - 4.3$		* 2~13kgf/cm ²
	材令28日 $\sigma_b = 0.12C - 8.4$		実用強度 5~20kgf/cm ²
	材令91日 $\sigma_b = 0.12C - 2.9$		* 10~25kgf/cm ²
粘 着 力	材令28日 $C = 0.034C - 4.0$		0~5kgf/cm ²
	材令91日 $C = 0.078C - 3.3$		5~15kgf/cm ²
内 部 摩 擦 角	材令28日 $\phi = -0.017C + 49.7$		45°~50°
	材令91日 $\phi = 0.061C + 18.7$		25°~35°
変 形 性	材令28日 $E = 0.109C - 6.2$	E...弾性係数 ($\times 10^3$ kgf/cm ²)	1/3割総弾性係数 $3 \times 10^3 \sim 40 \times 10^3$ (kgf/cm ²)
	材令91日 $E = 0.238C - 15.9$	C...セメント量(kg/m ³)	
	材令28日 $E = 0.08C - 6.3$		1/2割総弾性係数 $3 \times 10^3 \sim 15 \times 10^3$ (kgf/cm ²)
	材令91日 $E = 0.06C - 0.1$		
平 面 ひ ず み	材令28日 $\frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}$	σ_1 ...総圧 σ_2 ...中間応力 σ_3 ...側圧	供試体寸法 $360 \times 360 \times 140$ mm U-U法
	低 圧 $K = 10^{-10.03C + 4.67}$	K...透水係数(cm/sec) C...セメント量(kg/m ³)	堤防等低水圧の場所
透 水 性	高 圧 $K = 10^{-10.00C + 9.6}$		ダム等高水圧の場所

表-1 コールドアスコンの設計常数の算定式

第一原子力発電所改良工事事務所土木建築課長), 船越正司主任 (現, 今市水力総建設所第二建設所 第一土木課副長) をはじめとする東京電力(株)の関係各位より多大な御指導, 御協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表わします。

参考文献

1) 西林, 他: コールドアスコンによる遮水壁に関する研究 (その3), 大林組技術研究所報, No. 18, (1979), pp. 51~55