

論文

[1120] ベントナイト、アスファルトを添加したコンクリートの基本性状

トラン デュク フィ オン^{*1}・広永道彦^{*2}・遠藤孝夫^{*3}・島辺賢一郎^{*4}

1. まえがき

地下に建設する構造物の躯体と周辺岩盤との間の埋戻しなどに使用可能な材料として、コンクリートにアスファルト乳剤またはベントナイトを多量に添加したコンクリートアスファルト複合材料（以下CAと記す）およびコンクリートベントナイト複合材料（以下CBと記す）に着目して、材料の流動性、強度・変形特性、透水性などの基本性状を室内試験により把握した。これはベントナイトやアスファルト乳剤の添加により材料の耐久性の維持・改善とともに、変形性能や遮水性の向上を期待したものである。

アスファルトは古くから遺跡や建設構造物の止水・防水を目的として利用された実績が多い。その遮水性は実質的に不透水性とみなせるほど水密性を期待でき、強度特性についても柔軟性、耐衝撃性、粘着性等の他の材料にない特徴を有している。

一方、ベントナイトは天然材料のため、長期の健全性が認知されやすい材料であり、遮水性や変形性能に優れた特性を有している。

筆者らは地下深度約300メートルの岩盤中に建造される構造物を想定し、周辺岩盤の変形性や透水性を十分に追従できる、下記のような目標の物性値を満たす材料の開発をねらいに室内試験を実施した。すなわち、弾性係数が $5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、圧縮強度が $50 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の比較的低強度の材料で、透水係数は 10^{-7} cm/s 以下、また流動性ではコンクリート（粗骨材最大寸法20mm）の場合、スランプが16~21cm、モルタル系（細骨材最大寸法5mm）の場合、テールフローが180~220mmとした。

本報はCAおよびCBの基本物性とその影響要因について取りまとめたものである。

2. 試験概要

2.1 試験条件

1) 使用材料

使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は碎石、アスファルト乳剤はアニオン系で主成分はアスファルト（蒸発残留分約60%）、水と乳化剤、安定剤で、ベントナイトは米国ワイミング産ベクトリスPVである。

2) 配合条件

用いたCAおよびCBの配合条件を

表1、2に示す。練混ぜはCAでは所定量の骨材、セメントを2軸ミキサー（公称容量60リットル、羽根回転数45~90rpm）に入れて1分間空練りした後、羽根を回しながら乳剤と水を投入し2分間混合した。

CBでは骨材、セメントとベントナイトをミキサーに入れて1分間空練りしたのち、水を投入し2分間混合した。

表-1 CAの配合条件

項目	因子
材料区分	モルタル系（M）、コンクリート系（C）
水セメント比 W/C（%）	40（モルタル系のみ）、50、90、100
アスファルトセメント比 A/C（%）	0、20、40、60、100、125

凡例：例えばM-40-20：モルタル系、W/C=40%、A/C=20%

表-2 CB材の配合条件

項目	因子
材料区分	モルタル系（M）、コンクリート系（C）
水セメント W/C（%）	100、130、160
ベントナイトセメント比 B/C（%）	0、10、20、30、40、50、60

凡例：例えばC-100-10：コンクリート系、W/C=100%、B/C=10%

*1（株）間組 技術本部技術研究所 主任研究員、工修（正会員）

*2（財）電力中央研究所 原燃サイクルプロジェクト部処分チーム（正会員）

*3（財）電力中央研究所 構造部建設材料グループ グループリーダー、工博（正会員）

*4（株）間組 技術本部原子力部 課長、工修

2. 2 試験項目と方法

表-3に主な試験項目と試験方法の一覧を示す。

各配合に対し、練り上がり直後の施工性をみるためにスラングまたは70-、空気量、ブリージング率などを測定した。また、所定の養生後に強度・変形特性、透水性に関する試験を行った。

3. 試験結果および考察

3. 1 まだ固まらない材料

の特性

1) 単位水量

CAでは1m³当りの添加水量にアスファルト乳剤中の水分量(約40%)を加算したものを単位水量とする。

アスファルトセメント比A/Cが大きくなるにつれて単位水量が減少する(図-1)。またアスファルト乳剤率RA(全体重量に対するアスファルトの比率)による単位水量の変化をみると珉珉系ではRA=15%、珉珉系ではRA=10%程度を境に単位水量が増加傾向が見られた(図-2)。これはアスファルト乳剤と水が混合したアスファルト珉珉珉が珉珉や骨材の周囲を取り込むことにより流動性が向上し、単位水量が少なくなるが粘性の高いアスファルト成分が多くなると練り上がり材料の粘性が高くなり、所定の流動性を確保するために、単位水量が増加したものと考えられる。

図-3にCB

におけるB/Cと単位水量の関係を示す。

所定の流動性(目標のスラングまたは70-)を得るため単位水量は、B/Cが

大きいものほど大きくなった。また、各水珉珉比W/Cで、B/Cが最大となる配合では単位水量の増加や単位骨材の減少では所定の流動性が得られず、施工可能な珉珉珉珉添加量には限度のあることが判明した。

2) 空気量

CAの空気量は図-4のRAと空気量の関係から、RA=10%程度をピークに増加する傾向を示す。

連行空気量は珉珉珉の場合、細骨材中の0.15~0.6mmの細粒分の増加とともに増加すると言われており、今回の配合ではRA=10%をピークに骨材率は減少すること(図-5)に加え、粘性の高いアスファルト珉珉珉が骨材の周囲を取り込むことにより

表-4 試験項目と試験方法

内容	試験項目	供試体寸法	試験方法、規格
練り上がり直後の試験	テ-ブルフロー	珉珉系のみ	・ASTMの方法
	スラング	珉珉系のみ	・JIS A 1101
	空気量	珉珉系1リットル 珉珉系7リットル	・JIS A 1128の 空気室圧力方法
	ブリージング	珉珉系全配合 珉珉系W/C=160%	・土木学会(珉珉珉袋法) ・JIS A 1123
硬化後の材料試験	圧縮強度	珉珉系φ5×10cm 珉珉系φ10×20cm 材令1、4、8週、 3、6、9、12ヶ月	・供試体作製：JIS A 1132 ・試験：JIS A 1108 ・弾性係数は圧縮試験時のひずみで算出。
	透水	φ20cm×10cm 材令4週以後	・アウトプット法 ・水圧28kgf/cm ²
	長さ変化	珉珉系4×4×16cm 珉珉系10×10×40cm 測定期間12ヶ月まで	・JIS A 1129 ・測定方法：珉珉珉珉

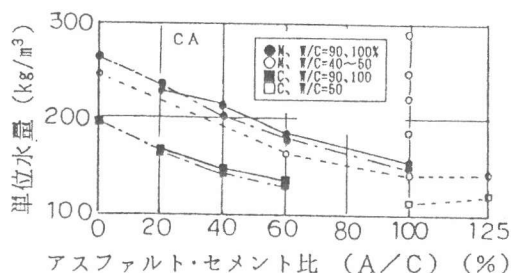


図-1 A/Cと単位水量の関係

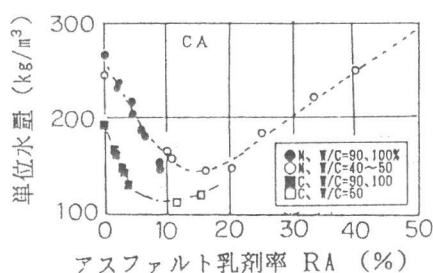


図-2 RAと単位水量の関係

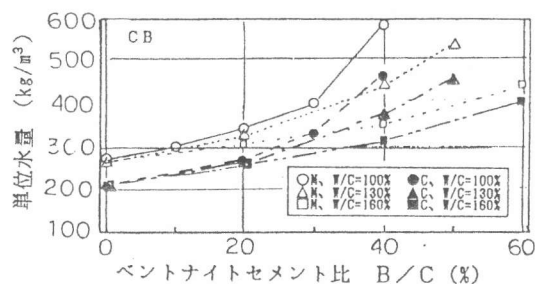


図-3 B/Cと単位水量の関係

空気を封じ込めるためと考えられる。

消泡剤による空気量低減を図-6に示すようにエマルジョン型の消泡剤では $70\text{g}/\text{m}^3$ の添加で空気量は

よそ5%まで減少し、消泡効果が見られた。

一方、CBの場合、CAと逆な方向でベントナイトの添加により空気量は減少し、 $B/C=20\%$ 以上の空気量が2%以下となっている(図-7)。これはベントナイトの添加により間隙が小さくなり、大きな空隙が少なくなり空気連行能力が小さくなるためと考えられる。

3) プリージング

図-8にA/Cとプリージング率の関係を示す。プリージング率はモルタル系、コンクリート系ともにA/Cの増加により減少する。これはアスファルト乳剤の添加に伴う単位水量の減少、試料中の水分がアスファルト乳剤に封じ込められることなどの影響と考えられる。

また、CBのプリージングもCAと同様な変化傾向で、ベントナイトの添加によりプリージング率が小さくなる。 $B/C=10\%$ 以上でプリージング率が1%以下となった(図-9)。これは余剰な水がベントナイト中のモルタルの層間に吹込まれる¹⁾ためと考えられる。

3. 2 強度・変形特性²⁾

CA材の圧縮強度 σ_c はA/Cが大きくなると小さくなる(図-10)。また、乳剤率と圧縮強度の関係を見るとRAの増加によ

って σ_c は小さくなっており、 $RA=10\sim15\%$ 以上では σ_c がおおよそ $40\sim50\text{kgf}/\text{cm}^2$ とほぼ一定の値を示す(図-11)。これに対して E_c はRAの増大とともに減少し、 $RA=10\%$ 以上では $E_c<10^5\text{kgf}/\text{cm}^2$ の目標値を満足した(図-12)。

図-13、14にそれぞれCBのB/Cと σ_c 関係、B/Cと E_c の関係を示す。ベントナイトの添加が圧縮強度に

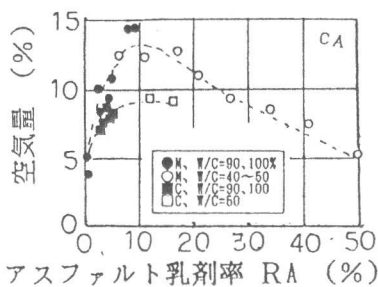


図-4 RAと空気量の関係

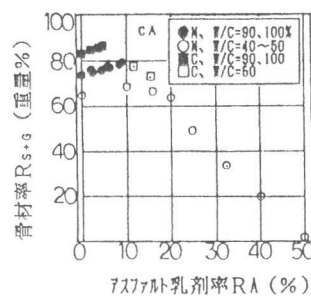


図-5 RAと骨材率の関係

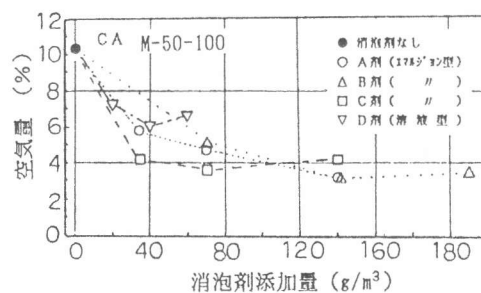


図-6 消泡剤添加による空気量の変化

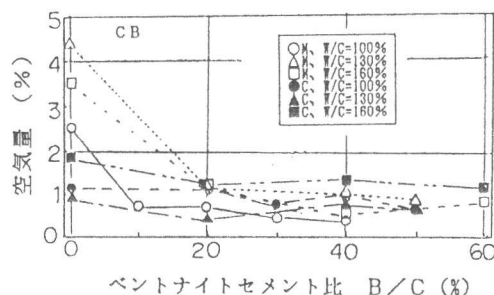


図-7 B/Cと空気量の関係

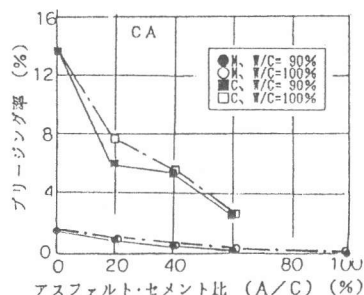


図-8 A/Cとプリージング率の関係

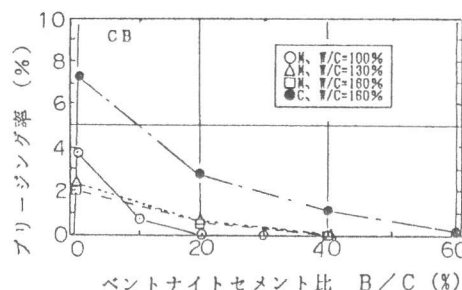


図-9 B/Cとプリージング率の関係

与る影響はほとんど見られず、べントナトを添加しない場合とほぼ同等であった。これはべントナトが水和反応に寄与しない材料であるためと考えられる。

一方、弾性係数ではB/Cが増大するに従い低下する傾向を示し、最大添加量（B/C=30～50%）の場合では添加しない場合の約30～60%まで低下した。また、同一W/Cで、珪砂系よりコンクリート系の方の弾性係数は大きい。これはコンクリート系の骨材が大きいことや単位骨材量の多いことが重要な要因であると考えられる。

3. 3 透水特性

図-15にCAのA/Cと透水係数の関係を示す。貧配合材料の

k は約 $2 \times 10^{-10} \sim 6 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ とな

った。しかし、特に珪砂系材料ではばらつきがみられ、A/Cとkとの相関は明らかではない

がおおむねアスファルトの添加で透水係数

は小さくなっている。一方富配合材料の透水係数について、珪砂系では $k = 10^{-12} \sim 10^{-10} \text{ cm/s}$ オーダーで、コンクリート系では $k = 10^{-9} \text{ cm/s}$ 程度であり、貧配合材料と同程度の値を示した。また、消泡剤を添加した供試体（空気量3.6%）の $k < 10^{-12} \text{ cm/s}$ となり、空気量減少に伴う透水係数の低下が見られた。

CBの透水試験結果を図-16に示す。

W/C=100%では、コンクリート系、珪砂系材料とも、B/Cの増加とともにkは減少し、B/C=40%ではべントナト無添加の場合に比べて約1/1000倍と小さくなった。

W/C=130、160%ではべントナトの添加による透水係数の低減効果が認められなかったが $k = 10^{-10} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$ の範囲で変化し、目標値とした $k < 10^{-7} \text{ cm/s}$ はほぼ達成できた。

3. 4 乾燥収縮特性³⁾

図-17、18にCAにおける貧配合、珪砂系の富配合の乾燥収縮率の経時変化を示す。

貧配合のコンクリート系材料の収縮率は期間6ヶ月でほぼ一定となり、最終収縮率は $6 \sim 9 \times 10^{-4}$ となり、普通コンクリート（W/C=90%、A/C=0%）と同程度であった。珪砂系で貧配合の収縮率は期間3ヶ月でほぼ一定となり、最終収縮率は $5 \sim 15 \times 10^{-4}$ で、普通珪砂（W/C=90%、A/C=0）と同程度の値を示す。

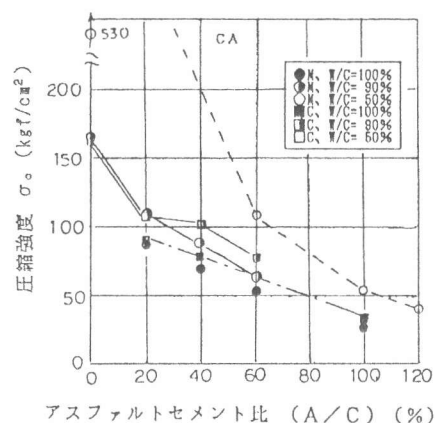


図-10 A/Cと圧縮強度の関係

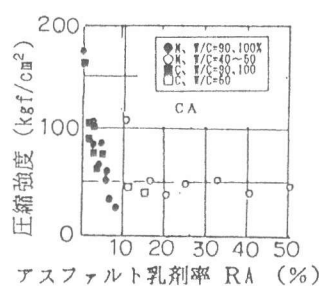


図-11 RAと圧縮強度の関係

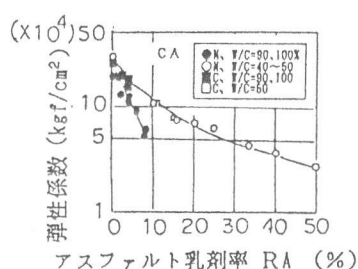


図-12 RAと弾性係数の関係

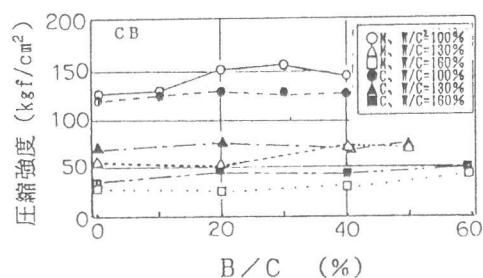


図-13 B/Cと圧縮強度の関係

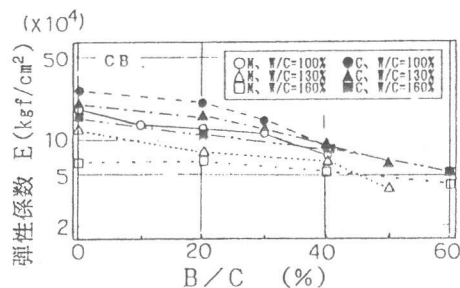


図-14 B/Cと弾性係数の関係

一方、富配合材料の最終収縮率は $15 \sim 27 \times 10^{-4}$ で、貧配合より約2~3倍大きくなった。

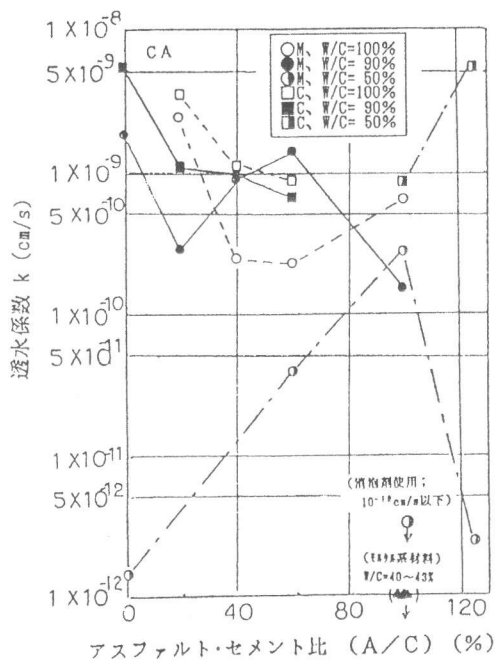


図-15 CAの透水係数の変化

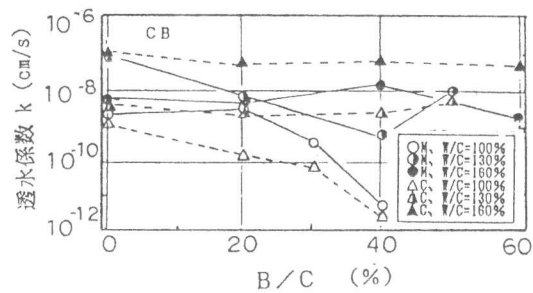


図-16 CBの透水係数の変化

また、図-19より珪砂系材料のアスファルト乳剤率RAと収縮率の関係をみるとRA=10%近傍で収縮率が小さくなり、それ以上では大きくなる傾向を示す。これは所定の流動性を得るための単位水量はRA=10~15%近傍で小さくなったためと考えられる(図-2参照)。

図-20にCBの収縮率の経時変化を示す。

CBの収縮率は珪砂系材料では養生3ヶ月でほぼ一定と

となったが、コンクリート系では1年経過後もわずかながら増加する傾向を示す。養生1年における収縮率は、珪砂系では $10 \sim 82 \times 10^{-4}$ 、コンクリート系では $8 \sim 48 \times 10^{-4}$ とな

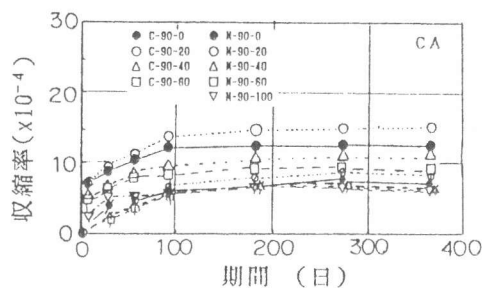


図-17 CAの収縮率(貧配合)

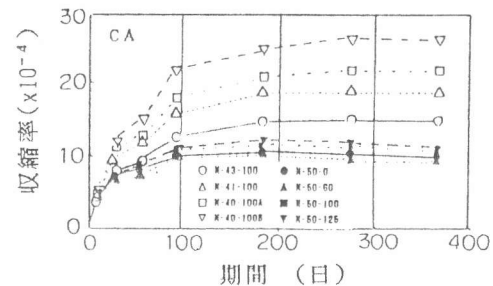


図-18 CAの収縮率(富配合)

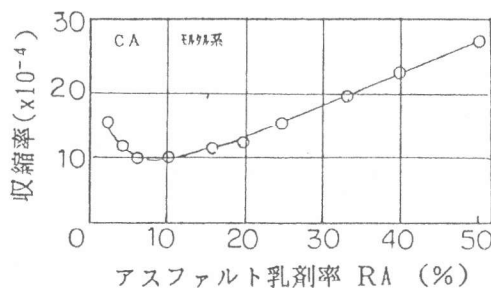


図-19 RAと収縮率の関係

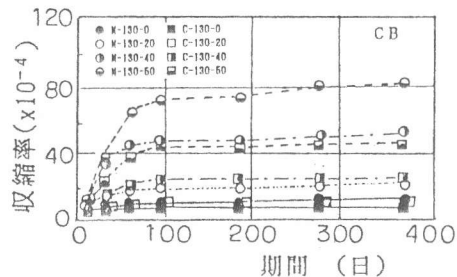


図-20 CBの収縮率

り、コンクリートより珪砂系材料の方が大きい。同様なW/Cにおいて、B/Cが大きいほど収縮率は大きくなる。B/C=40%において、コンクリート系では $27 \sim 82 \times 10^{-4}$ 、珪砂系では $17 \sim 47 \times 10^{-4}$ で、ベントナイトを添加しない配合に比較してそれぞれ4~6倍、2~5倍となった。

これはベントナイトの添加により単位水量が増加し、乾燥による収縮が大きくなるためと考えられる。

しかし、水中養生の場合、図-21に示すようにCBの収縮はほとんど発生しない。

4. まとめ

以下に本試験で得られた結論をまとめて示す。

1) CAについて

- ①練混ぜ後の連行空気量はA/Cが大きい場合に入り易く、最大で9~14%に達した。硬化後の耐久性などに悪影響を及ぼすと考えられることにより、消泡剤の使用などの対策が必要である。
- ②アスファルト乳材の添加により圧縮強度、弾性係数ともに低下する。これはアスファルトの柔軟性に加え、細孔径分布測定結果からも判明したようにアスファルトの添加により全細孔容積が増加したためと考えられる。今回の配合の範囲内において、目標の $\sigma_c = 50 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c < 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2$ を得るためにアスファルト乳剤率 $RA \geq 10 \sim 15\%$ が必要である。
- ③透水係数 k は、貧配合材料ではアスファルトの添加により小さくなり、 $k = 10^{-9} \text{ cm/s}$ 以下で目標の $k < 10^{-7} \text{ cm/s}$ を満足した。一方、富配合では乳剤率や骨材率の条件で k の変動が大きかったが、骨材率の小さい配合の k は 10^{-12} cm/s 以下となり、優れた遮水性を示した。
- ④乾燥収縮では単位水量との相関が見られ、乳剤率 $RA = 10 \sim 15\%$ 近傍で単位水量が最も小さい配合では、アスファルト添加しない場合より小さくなった。

2) CBについて

- ①所定の流動性を得るための単位水量は、べントナイトの吸水作用により増加するが、B/Cが約40%以下ではべントナイトの添加により「ブリージング」の低減等による品質や施工性の改善が期待できる。
- ②べントナイトの添加が圧縮強度に影響を与えないが変形性能（弾性係数）が改善されることからW/CおよびB/Cを適切に選択にすることにより必要な強度・変形特性が得られると考えられる。
- ③透水係数 k では、粘土系材料の一部で試験データにばらつきが見られたがW/C=100~160%で $k = 10^{-7} \sim 10^{-12} \text{ cm/s}$ となり、目標値 10^{-7} cm/s 以下を達成できた。
- ④収縮率はべントナイトの添加により大きくなるのが欠点として取り上げられるが、水中または湿度の高い場所で適用する場合、収縮率はほとんどなく、乾燥収縮によるひびわれの発生などは少ないと考えられる。

5. あとがき

本試験はCA、CB材料について、練上がり直後の流動性試験や硬化後の強度・変形特性試験などを行い、それぞれの材料の基本物性とその特徴を把握できた。今後、材料の耐久性評価の実施とともに適用目的や条件に応じた設計・施工法の検討などが重要であると考えられる。

本研究を遂行するに当たって、貴重なご指導を賜った東京工業大学長瀧教授に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第二版、(株)技報堂出版、pp.1053~1054、1987年4月。
- 2) 駒田広也、楠本太、他：セメントアスファルト（セメントべントナイト）複合材料の強度・変形特性について、土木学会第46回年次学術講演会、第6部、pp.142~145、H.3年9月。
- 3) 駒田広也、大沼博志、他：セメントアスファルト（セメントべントナイト）複合材料の長期材令における強度・変形特性について、土木学会第46回年次学術講演会、第6部、pp.88~91、H.4年9月。

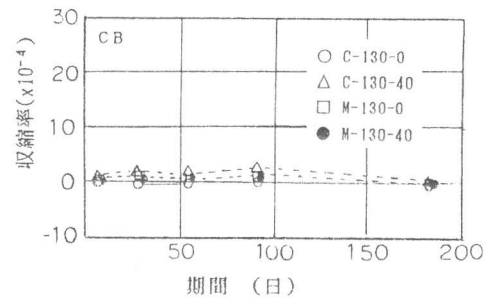


図-21 CBの水中養生での長さ変化