

[1097] セメントアスファルト乳剤複合体の乾燥収縮及び曲げ特性

上田 満^{*1} 浜田 純夫^{*2} 黒川 卓郎^{*3} 安久 奨一^{*4}

1. まえがき

セメントアスファルト乳剤複合体を壁や床のように部材が薄く平面形状でかつ周囲からの拘束を考慮しなければならない構造体に適用する場合、その間に依存するひずみ即ち乾燥収縮ひずみ及びクリープひずみ等を事前に把握しなければならない。このようなセメントアスファルト乳剤複合体（以下複合体）は、セメントとアスファルトが共存するという複合材料の持つ複雑さ、内部組成の不確定さ等から力学性状に与える材料要因の影響は定性的にも説明が困難である。複合体の力学性状についての研究報告は以前にも数編あるが〔1〕、〔2〕、〔3〕、〔4〕あるが、乾燥収縮ひずみ、クリープひずみ等についての研究は皆無に等しく〔5〕、今後の検討課題とされている。そこで本研究では複合体を面的な構造体に適用する際のひび割れ等の発生を検討するための物性でもある乾燥収縮特性を明らかにし、今後の壁体または壁体保護材等への設計に役立てる事を目的とする。このため本報では、セメント、アスファルト乳剤、砂の3成分の配合比を大きく変化させた複合体の乾燥収縮ひずみ、曲げ強度及び曲げ破断ひずみ、曲げクリープひずみを測定したのでその実験結果について報告する。

2. 実験概要

2. 1 使用材料・配合

使用材料については、セメントは普通ポルトランドセメント（比重：3.15, 粉末度：3280 cm²/g）、アスファルト乳剤はノニオン系のセメント混合用乳剤（蒸発残留分：57.9%, 蒸発残留物の針入度：211）、骨材は豊浦標準砂（比重：2.63）をそれぞれ使用した。配合は図-1に示したセメント・アスフ

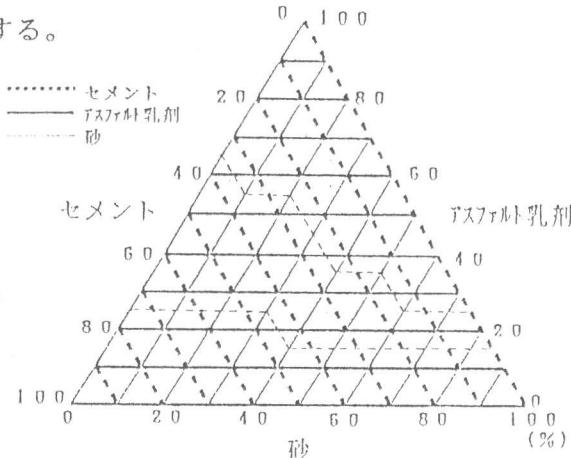


図-1 三角座標配合

アルト乳剤・砂の三成分系より構成される三角座標（10%ピッチ）において決定し、有用であると思われる粘性領域（図-1の点線で囲まれた部分）における18格子点上の配合とした。

2. 2 供試体の作成、形状、寸法

供試体の寸法は4×4×16 cmとし、モルタルの練り混ぜはJIS R 5201に準拠して行い、基本的に流し込み成形とした。まず、型枠中にほぼ等しい厚さに詰め、その上面を所定回数突き均し、材料の分離を生じる恐れがある場合は分離を生じないように突き数を調整した。仕上げ層数は2層とした。

*1 山口大学助教授 工学部社会建設工学科 (正会員)

*2 山口大学教授 工学部社会建設工学科 Ph. D. (正会員)

*3 日瀬化学工業(株) 技術研究所

*4 大阪セメント(株) 中央研究所

2.3 実験方法

2.3.1 乾燥収縮試験法

打ち込み直後の供試体を三連型枠のまま $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 80% 以上の恒温槽で 24 時間養生し、この時供試体にコンタクトチップを埋設した。コンタクトチップの間隔は 10 cm とした。24 時間養生後脱型し 20°C の水中にて 7 日間養生した。長さの基長は 7 日間水中養生後の測定長とした。供試体の保存は、端部から 3 cm の位置を 2 点支持しつつ、温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度が $60 \pm 5\%$ に設定した恒温恒湿室で行った。長さの測定方法はコンタクトゲージ法 (JIS A 1129) に従い、測定は基長測定から、1 日、3 日、7 日及び 2、4、6、9、13 週間後で行った。

2.3.2 曲げ試験法

供試体は脱型後、温度が $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度が $60 \pm 5\%$ に設定した恒温恒湿室にて 28 日間養生を行った。供試体の質量、高さを測定（高さについては 4箇所測定し \bar{w} その平均値を採用）した後、供試体を打ち込み方向に対して直行する面が支点上（支点間の距離は 100 mm ）

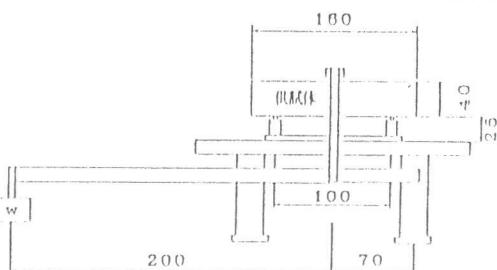


図-2 曲げクリープ試験機

に載るように試験機内にセットした。試験機は、万能圧縮試験機（最大荷重： 5 t 、ひずみ速度制御方式）を用いた。この試験機にて、載荷変位速度を 10 mm/min と一定にし、荷重と変位の測定はロードセルと変位計にて行い、それぞれの測定値を動ひずみ計を介して X-Y レコーダーの Y 軸、X 軸に出力した。供試体を試験開始前 2 時間程度所定の温度にて養生を行い、曲げ試験を行った。養生温度は $-10^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 間を 10°C おきに変えた 6 種の温度とした。

2.3.3 曲げクリープ試験法

供試体の養生方法は曲げ試験用供試体と同様の方法で行った。供試体寸法 $4 \times 4 \times 16\text{ cm}$ のモルタルバーを用いて、28 日間の中期の 3 点曲げクリープ試験を行った。実験は図-2 に示す装置で行った。載荷荷重は曲げ強度の 20% 荷重とし、試験時の温度は 20°C にて行った。たわみの測定はカンチレバー方式のひずみ計で行い、温度の測定は熱電対を用い、データロガーに取り込まれた、たわみ及び温度の測定データは、GPIB インターフェイスを介してパソコンに送りデータ処理した。

3. 実験結果

3.1 乾燥収縮試験

複合体の各配合に於ける乾燥収縮ひずみと材令の関係を図-3、図-4 に示す。なお 18 配合のうち基長測定前に破壊したセメント、アスファルト乳剤、砂の配合割合が $1:2:7$ (以下記号的に CE 127 とする) 及び CE 730 のものについては記載していない。これらの図より、材令と共に乾燥収縮ひずみは増大するがその増加傾向は、砂の混合割合が大きいものは緩やかであり、砂の混合割合の小さいもの、特に砂の含有率が 0 (以下 CE ペーストと呼ぶことにする) の場合が特に大きいひずみを示す。材令が 91 日では、乾燥収縮ひずみは、 $2500 \times$

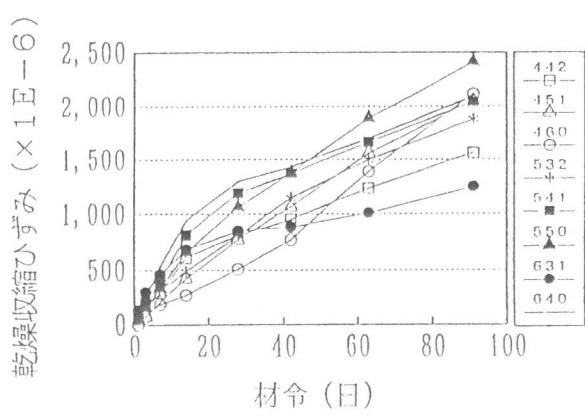


図-3 乾燥収縮ひずみ

10^{-6} にも達する。

3.2 曲げ試験

曲げ試験の結果を図-5～8に示す。図5～6は各配合に於ける曲げ強度と温度の関係を、図7～8は曲げ破断ひずみと温度の関係を示し、各配合別に記号を変えて直線又は点線で結んである。これらをみるとセメント、アスファルト乳剤比（以下C/Eと呼ぶことにする）が大きい配合のものは曲げ強度は大であるが、破断ひずみについては小さいものとなっている。また曲げ強度は温度の低下と共に大となり破断ひずみについても同様の傾向がみられるが、曲げ強度ほど顕著ではない。

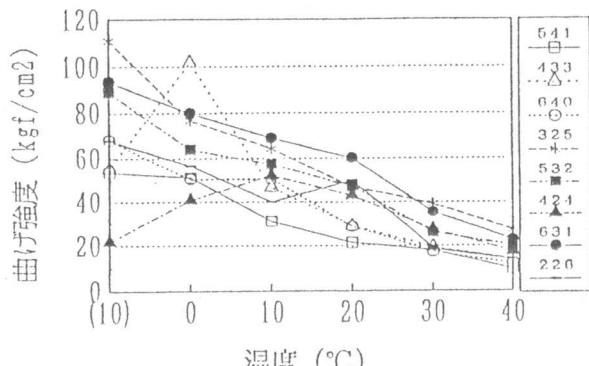


図-5 曲げ強度

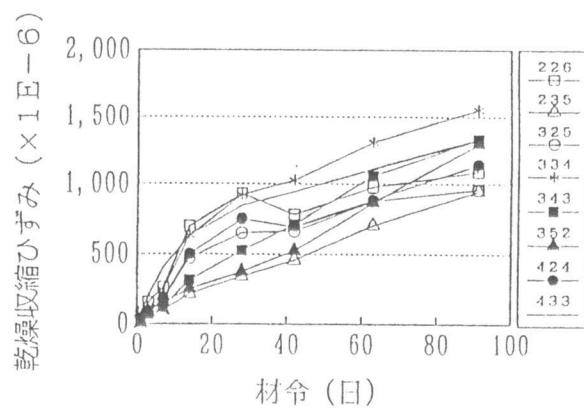


図-4 乾燥収縮ひずみ

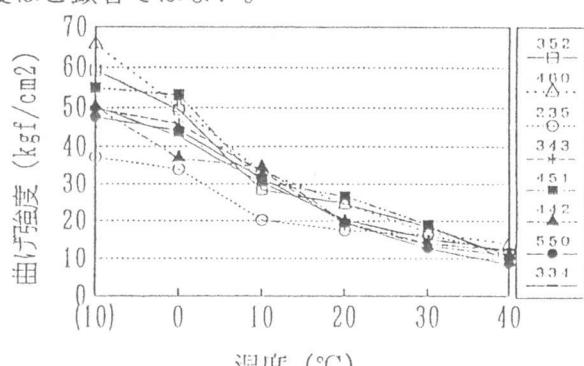


図-6 曲げ強度

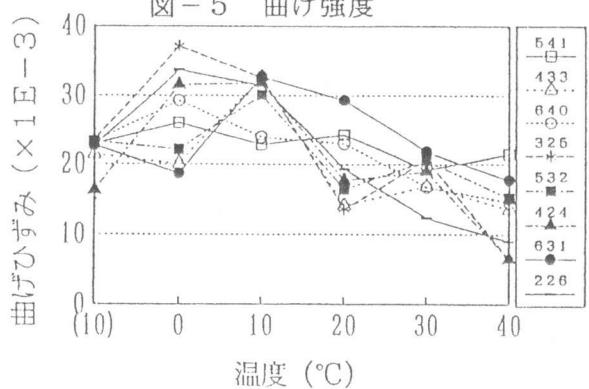


図-7 曲げひずみ

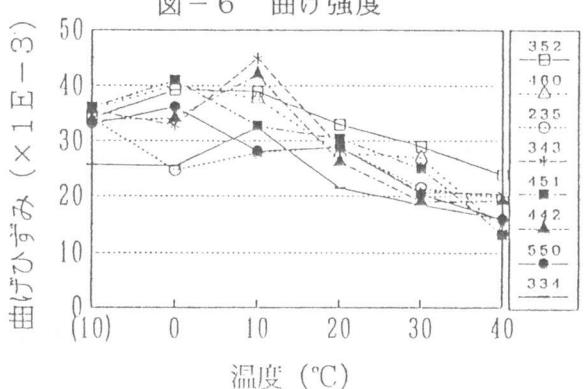


図-8 曲げひずみ

3.3 曲げクリープ試験

曲げクリープ試験の結果を図-9に示す。この図には配合の異なる4種のものについての結果が示されており、28日ぐらいになるとほぼ定常なひずみとなる。C/Eによってひずみの増大傾向に差がみられ、C/Eが大の場合は、ひずみの絶対値が小さく、ひずみの増加が徐々に変化する。なお同図に於いてCE343のひずみがC/Eが小さいにもかかわらず小さいのは、30%含まれる砂が影響しているものと思

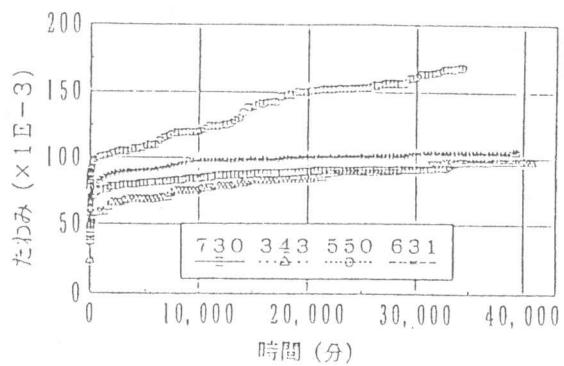


図-9 曲げクリープ試験

われる。

4. 考察

4. 1 乾燥収縮ひずみについて

このような複合体の乾燥収縮ひずみに影響を与えると思われる材料としての特性は現在のことろ明確にされていないので、複合体の材料としての特性を顕著に表現する物性であるC/E、乳剤量、弾性係数について、それらと乾燥収縮ひずみとの関係を検討してみることにする。

複合体のフレッシュな状態に於けるコンシステンシーをある程度限定して考察するため、 $0.6 \leq C/E \leq 1.4$ の範囲内の配合について上記の特性値と乾燥収縮ひずみとの関係を示すと図10～12となる。

これらの図を見ると乾燥収縮ひずみはC/Eには影響されないが、乳剤量、弾性係数には多少とも影響され、乾燥収縮ひずみは乳剤量の増加、弾性係数の低下と共に大きくなる。

乳剤中には42%程度水が含まれているので乳剤量が増加すると単位水量の増加となるので乾燥収縮ひずみは増加する。乾燥収縮ひずみがC/Eに影響されず、乳剤量に影響されることから複合体中に含まれる砂（骨材）の影響が大きいものと考えられる。従って骨材の拘束の影響を検討する為に次のようにして骨材体積率を定義する。骨材体積率を砂が空隙を含む複合体中に占める容積の比として以下の式によって求める。

$$v = v_0 (1 - a) \dots \dots \dots (1)$$

v : 骨材体積率

v_0 : 無空隙複合体の骨材体積率

a : 空隙比

このような複合体の場合は、空隙比がセメントコンクリート、アスファルトコンクリートに比べて大きいので空隙による補正を行っている。乾燥収縮ひずみと骨材体積率の関係を示すと図-13となる。図より乾燥収縮ひずみは骨材体積率の増加とともに急激に小さくな

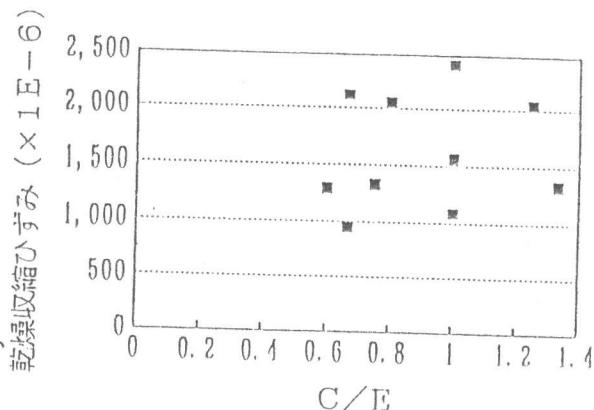


図-10 乾燥収縮ひずみとC/E

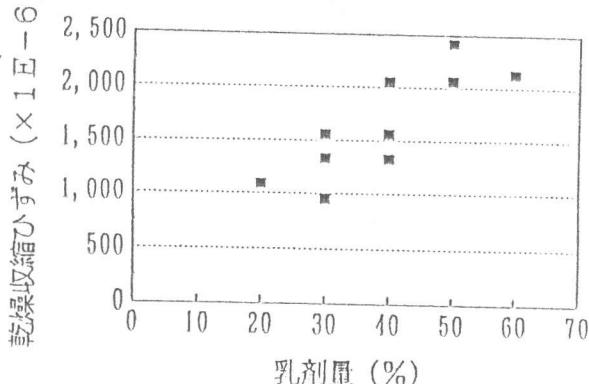


図-11 乾燥収縮ひずみと乳剤量

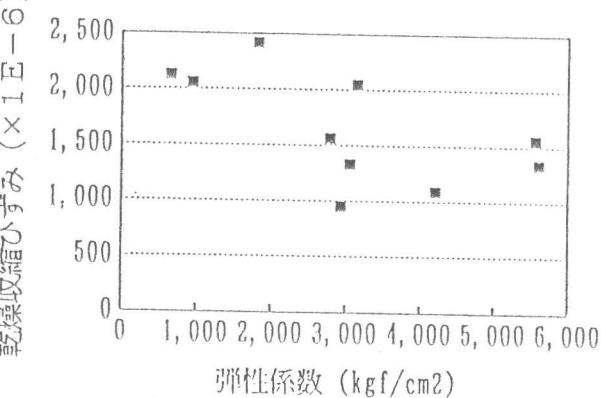


図-12 乾燥収縮ひずみと弾性係数

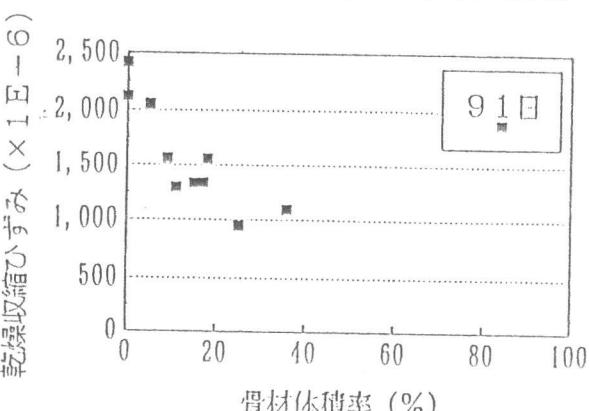


図-13 乾燥収縮ひずみと骨材体積率

り骨材の拘束の影響が顕著に現れている。

4.2 曲げクリープひずみについて

複合体CE631, CE343の載荷点のたわみより求めた曲げクリープひずみを図-14、15に示す。比較的長期の曲げクリープひずみの場合乾燥収縮によるひずみも考慮にいれなければならないと思われる所以両図には乾燥収縮ひずみも示している。しかしながらクリープひずみ測定開始材令のイニシャルと乾燥収縮の場合の同イニシャル、さらには両者の測定開始前の養生方法が異なる為に単純に比較することはできない。材令28日後(CE631の場合)には材令91日後)に於ける乾燥収縮ひずみは載荷直後の弾性ひずみ(厳密には、瞬間弾性ひずみと塑性ひずみの和[6])と同程度となることが両図より明かとなる。従って、曲げ破壊応力度の20%応力に相当する曲げひずみは材令28日から91日における乾燥収縮ひずみとなる。図に示したものは2配合だけであるがこの傾向は他の配合の複合体についても同様である。

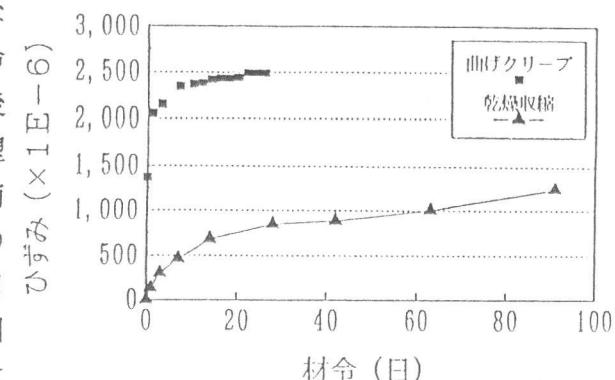


図-14 曲げクリープ及び乾燥収縮ひずみ

4.3 フェーシング材としての適合性について

フェーシング材にも多種多様あるが、既報[6]にも報告したようにこの複合体は不透水性も兼ね備えている事からダム、ため池等の止水目的のフェーシング材に適しているものと思われる。そこでこのようなフェーシング材の場合ひび割れは致命的な欠陥となるのでひび割れ発生の有無を乾燥収縮ひずみをもとに検討してみる。材令91日に於ける乾燥収縮ひずみの最大値はCEペーストの2500μである。また曲げ破断ひずみは複合体の配合によって異なるがその最小値で1300μとなっている。しかしながらこの結果はいずれも20°Cに於けるものであって温度の上昇と共に乾燥収縮ひずみは大きくなると思われ、曲げ破断ひずみの最小値は実験結果より40°Cでは10000μ程度と小さくなることからこの両者は接近する恐れもある。乾燥収縮ひずみは骨材体積率が大きくなると小さくなる傾向があること、不透水層材としての特性を持つ複合体の乳剤混合率は30%以上であること、カーリング現象(ため池等において、粘土等の土が堆積し、池が干上がったときその粘土の乾燥収縮によりフェーシング材が引っ張られる現象)を考慮に入れると15kgf/cm²程度の引張強度が必要であること、等から複合材の配合は流し込み施工による場合乾燥収縮のみを考慮すれば、乳剤量が30~50%程度のものに絞られる。したがってこれらを満足すると思われる複合体はCE442, CE343, CE352となり、それらの配合の範囲はセメント:乳剤:砂=20~40:30~50:10~30で囲まれる三角座標内配

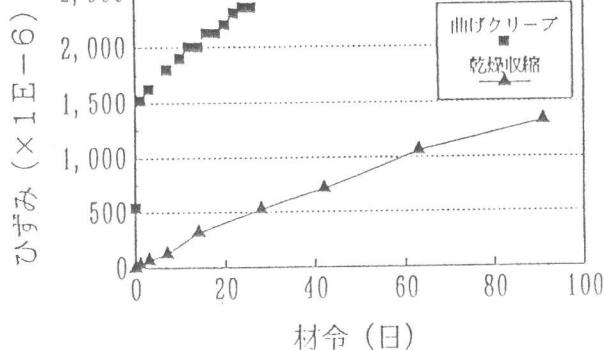


図-15 曲げクリープ及び乾燥収縮ひずみ

合が適しているものと思われる。

今後はこのような複合体が部分乾燥を受けた場合の収縮応力測定、複合体の線膨張係数測定、耐候性試験等を行い、フェーシング材としての適合性を総合的に判断する必要があるものと思われる。

5.まとめ

セメントアスファルト乳剤複合体の乾燥収縮試験、曲げ試験、曲げクリープ試験から得られた結果を要約すると以下のようになる。

- (1) 乾燥収縮ひずみは砂の混合割合が0の複合体即ちペーストに於いて最大となり、その値は材令91日に於いて 2500μ 程度となる。
- (2) 乾燥収縮ひずみは複合体のC/Eには影響されず、乳剤量、弾性係数によって、多少の影響が現れる。
- (3) 乾燥収縮ひずみに最も影響を及ぼすと考えられる複合体の材料特性として、骨材体積率が上げられる。
- (4) 材令28日に於ける乾燥収縮ひずみは 20°C の温度環境の基では曲げ破壊応力度の20%載荷ひずみ以下である。
- (5) 複合体を止水目的のフェーシング材に適用する場合、乾燥収縮のみを考慮すればその配合は三角座標においてセメント：乳剤：砂 = 20~40 : 30~50 : 10~30で囲まれる座標内配合が対象となる。

参考文献

- 1) 樋口芳郎、原田豊、杉山直行：軌道用てん充モルタルの諸性質と施工性、セメント技術年報 XXVII、P.P. 363~368、1973
- 2) 中川武志、堅川孝生：セメント乳剤コンクリートの遮水壁への適用、あすふあるとにゅうざい、No 78、pp 4~14、1984
- 3) (社)日本アスファルト乳剤協会：セメント・アスファルト乳剤混合物の配合設計方法（その二）、あすふあるとにゅうざい、No 85、1986
- 4) 鳥取城一：鉄道軌道に用いられるセメントアスファルトモルタル、アスファルト、V.L. 34, No 171、1992
- 5) 石森広、行方文吾：アスファルト乳剤添加によるソイルセメントの工学的性質の改善、金沢工業大学研究紀要 A No 16, P.P. 65~76、1981
- 6) 上田満、浜田純夫、黒川卓朗、安久憲一：セメントアスファルト乳剤複合体の力学特性、コンクリート工学年次論文報告書、第15巻、第1号、P.P. 465~470、1993