

粒子径を改善したパラフィン系養生剤を用いたコンクリートの基礎物性

太平洋マテリアル株式会社	正会員	博士 (工学)	○郭 度連
オリエンタル白石株式会社	正会員	博士 (工学)	呉 承寧
太平洋マテリアル株式会社		工修	花田達雄
オリエンタル白石株式会社	正会員	工修	俵 道和

Concrete curing is very important to the construction site because inadequate curing causes the lack of proper strength and durability. The use of paraffin curing agent is an effective method to prevent the loss of moisture of concrete for a period sufficient to achieve a desired strength level. However, the paraffin curing agent has the weak point with low adhesive strength. To improve the weak point, the adhesive test was carried out to investigate the influence of particle size of emulsified paraffin on the curing agent.

The experimental results showed that the paraffin curing agent with small particle size is effective on high adhesive strength and the concrete using the paraffin curing agent with small particle size is superior to the plane concrete in the final finishing operations, compressive strength, moisture protect and drying shrinkage.

Key word : paraffin curing agent, small particle size, adhesive strength

1. はじめに

コンクリート用養生剤は、初期材齢のコンクリート表面からの急激な水分の蒸発を抑制し、セメントの水和反応を適切に進めるものであり、湿潤養生が困難な実際の構造物では、養生剤の使用は有効な養生効果が得られる方法である。JASS5「鉄筋コンクリート工事」では、湿潤養生方法として、養生マットまたは水密シートなどで覆い、水分を維持する方法、連続または断続的に散水または噴霧を行い、水分を供給する方法とともに、膜養生剤や浸透性の養生剤の塗布により、水分の逸散を防ぐ方法を有効な湿潤養生方法として取上げている¹⁾。一方、コンクリート標準示方書では、膜養生剤の性能として、湿気（水分）を遮蔽する能力を持つこと、散布あるいは塗布が容易で作業性に優れ、人体に無害であること、コンクリートによく付着すること、風雨、日照等の気象作用に対して十分な耐久性を有すること、被覆材等との付着を阻害しないこと等が要求されている²⁾。

このような養生剤の代表的なものとしてパラフィン系の養生剤があり、パラフィン系養生剤は、コンクリートやモルタルの水分の蒸発を防ぐ養生効果に優れ、安全性が高い。また、こて滑りがよくなるので、ブリーディングが無く粘性が高い高強度コンクリートの仕上げ作業を容易にし、プラスチックひび割れを抑制する効果がある。

しかしながら、従来のパラフィン系養生剤は、付着強度の低下が懸念されており、養生剤塗布後に仕上げ材を施工する場合は、養生剤の除去を行う場合が多い^{3),4)}。

パラフィン系の養生剤は、パラフィンを有効成分として水中に乳化させたものであり、乳化されるパラフィンの粒子径を調整することによって付着性能は改善されるものと考えられる。

そこで本研究では、パラフィンの粒子径に着目し、従来のパラフィン系養生剤に分散されているパラフィンの粒子径を調整することによって付着強度の改善を行っており、その養生剤を用いたコンクリートの基礎物性を検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

室内試験とともにPC橋梁の床版を模擬した実物大の曝露試験を行っており、表-1に使用材料を、表-2にコンクリートの配合を示す。橋梁上部工の高強度コンクリートを想定し、セメントは早強セメントを用いた。水セメント比は室内試験で38%、曝露試験で40%であり、単位水量は両方とも165kg/m³のコンクリートを用いている。

2.2 実験方法

表-3に示すそれぞれの試験体作製の型枠にコンクリートを打設後、コンクリート表面の水光りが消えた直後を仕上げタイミングとし、噴霧器および金ごてを用いて養生剤の塗布を行った。養生剤の使用量は150g/m²を標準量とした。

(1) 付着強度

図-1に一般的なコンクリート床版の防水層の構成断面を、図-2に建研式付着試験機を用いて行った付着試験方法を示す。防水シートとコンクリート床版を接着するために使用するアスゴム系接着剤と養生剤を用いて仕上げたコンクリート表面との付着強度を確認した。5回試験を行い、平均値を付着強度とした。

(2) 仕上げ性評価

セメントペーストに養生剤を添加し、B型粘度計を用いて回転数を変えながら、粘度を測定した。ずり速度と粘度からせん断応力を算出し、

表-1 使用材料

	材料	記号	備 考
室内試験	セメント	C	早強ポルトランドセメント、密度:3.14g/cm ³
	細骨材	S	静岡県小笠産陸砂、表乾密度:2.60g/cm ³
	粗骨材	G	茨城県岩瀬産砕石、表乾密度:2.65g/cm ³
	混和剤	Ad	AE減水剤
		AE	空気量調整剤
	養生剤		パラフィンの平均粒子径:0.44,0.8,1.28,2.17 μm
曝露試験	セメント	C	早強ポルトランドセメント、密度:3.14g/cm ³
	細骨材	S	茨城郡岩瀬町産砕砂、表乾密度:2.66g/cm ³
	粗骨材	G	茨城郡岩瀬町産砕石、表乾密度:2.66g/cm ³
	混和剤	Ad	高性能AE減水剤
		AE	空気量調整剤
	養生剤		パラフィンの平均粒子径:0.44 μm

表-2 コンクリートの配合

	W/C (%)	s/a (%)	スラフ ^o (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
室内試験	38	42	12±2.5	4.5±1.5	165	434	715	1002
曝露試験	40	39	13	3.1	165	413	683	1069

表-3 試験概要

	項 目	試験体概要	試験材齢	試 験 方 法
室内試験	仕上げ性能	50×50×5cmの平板	仕上げ時および脱型時	仕上げ性能評価。硬化後、ひび割れ有無の目視観察
	テストハンマ		脱型直後	JSCE G 504-1999 「硬化コンクリートのテストハンマー強度試験」
	付着強度		材齢42日	建研式接着力試験 (LPT-1000)
	吸水性評価		材齢28日	JIS A 6909「建築用仕上塗材」の透水試験B法に順じ、ガラス管による透水量の経時変化
	仕上げ性評価	ペースト	—	B型粘度計による粘度測定
	乾燥収縮	10×10×40mm	所定の材齢で6ヶ月間	JIS A 1129コンタクトゲージ法
	水分保持能力	10×10×40mm	所定の材齢で28日間	質量変化の測定
	圧縮強度試験	φ10×20cm	材齢28日	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」
曝露試験	仕上げ性能	100×200×20cm	仕上げ時および脱型時	仕上げ性能評価。硬化後、ひび割れ有無の目視観察
	乾燥収縮		所定の材齢	JIS A 1129コンタクトゲージ法
	付着強度	材齢91日	建研式接着力試験	
	圧縮強度試験	φ10×20cm	材齢7日、28日、91日	JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」

仕上げ性の間接的な評価指標とした。養生剤の混入量はペースト体積の1%である。

(3) 乾燥収縮および水分保持能力

乾燥収縮ひずみは、JIS A 1129 のコンタクトゲージ法に準じて行った。各水準に対して3体の10×10×40cmの角柱供試体を用いてコンクリート打設24時間後脱型し、養生剤150g/m²を全面に塗布した。供試体は、温度20℃、相対湿度60%の恒温恒湿室内に曝露し、乾燥期間6ヶ月まで所定の測定材齢における乾燥収縮ひずみ及び質量変化率を測定した。なお、圧縮強度試験用の円柱供試体も同様に塗布を行い、所定の材齢で試験を行った。

(4) 曝露試験

100×200×20cmの鉄筋コンクリート模擬床版を打設後、室内試験同様に養生剤150g/m²を塗布し、仕上げを行った。仕上げ面の長手方向の5箇所に測長距離20cmのコンタクトプラグを30cmピッチで設置し、コンタクトゲージ法による乾燥収縮の測定を行った。仕上げ面以外はアルミ箔でシールを行っている。材齢91日では、室内試験同様の方法で付着試験を行った。



図-1 コンクリート床版の防水層の構成断面

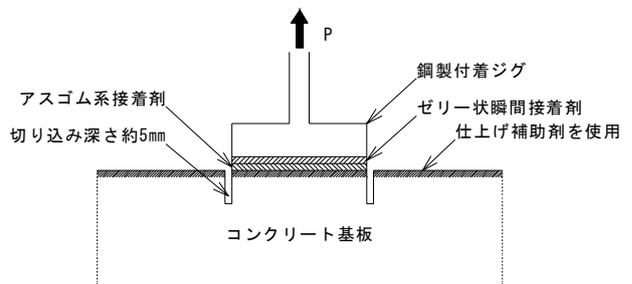


図-2 付着試験方法

3. パラフィンの粒子径による付着強度

乳化されるパラフィンの粒子径を0.44, 0.8, 1.28, 2.17 μmの4種類に変化させた養生剤を用い、50×50×5cmのコンクリート平板の仕上げを行った。材齢7日においてコンクリート床版の防水シートを接着するためのアスゴム系接着剤を試験体に塗布し、材齢28日で付着試験を行った。

付着試験結果を図-3に示す。乳化されるパラフィンの粒子径が小さいほど、付着強度は増加する傾向を示している。セメント系硬化体の付着強度に関しては、使用材料、使用環境、使用部材等によって様々な規格があり、一概には規定できないが、代表的な規定として建築工事共通仕様書(国土交通省大臣官房官庁営繕部監修)に1.0N/mm²以上が規定されており、1.0N/mm²以上であればほとんどの規格

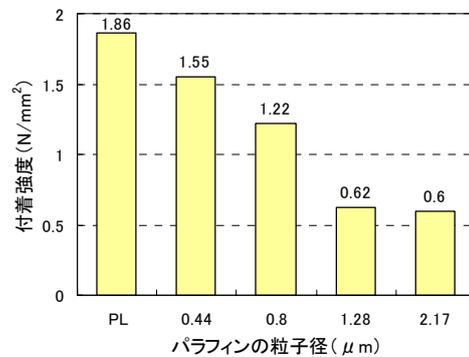


図-3 粒径による付着強度

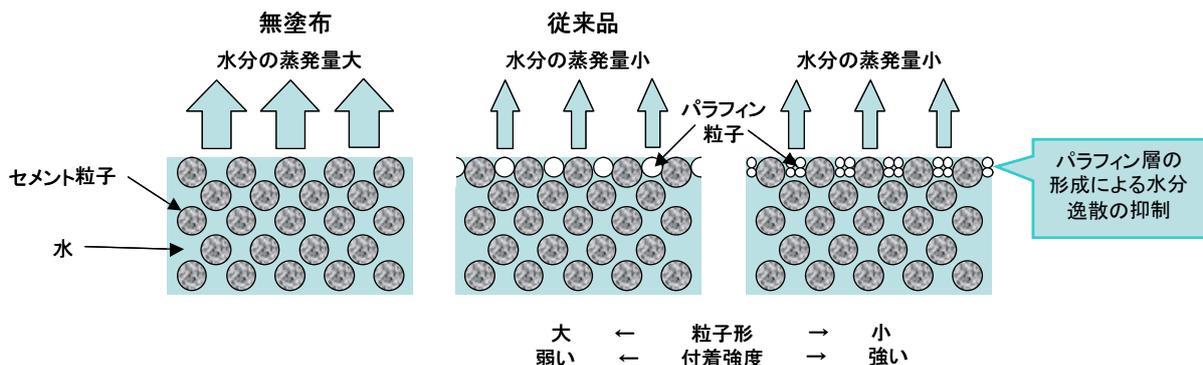


図-4 パラフィン系養生剤の効果の模式図

を満足すること、また $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であれば実施工上問題がない十分な付着強度であると考えられる。本実験の範囲内では、 $0.8\mu\text{m}$ 以下の粒子径のパラフィン乳化させた養生剤で $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の付着強度が得られている。

パラフィン系養生剤はコンクリート表面にパラフィン層を形成しており、図-4 に示すようにパラフィン層が薄いほど付着強度は増加することに起因すると考えられる。また、粒子径が小さいことで表層部のセメント粒子間への充填性も優れており、水分蒸発の抑制効果が向上すると考えられる。

4. 粒子径改善養生剤を施したコンクリートの性能

平均粒子径を $0.44\mu\text{m}$ と調整した粒子径改善養生剤を用いて仕上げを行ったコンクリートの基礎物性を無塗布コンクリートと比較した試験結果を以下に示す。

4.1 仕上げ性能

コンクリート表面仕上げにおいて、こてをコンクリート表面から離す際に、こてに付着したセメントペーストのせん断応力が大きいほどコンクリート表面に影響を与えるため平滑にし難く、せん断応力が小さいほどこてを操作した通りに表面のセメントペーストが移動し、容易にコンクリート表面が平滑に仕上げできると考えられる。こて仕上げ性の良否は、他の要因も含まれると考えられるが、こて仕上げ性を定量的に評価できる手法は見当たらず、コンクリート表面のせん断応力がこて仕上げ性に及ぼす影響は大きいと考え、セメントペーストのせん断応力でこて仕上げ性を評価した。

図-5 にそのコンシステンシー曲線を示す。ひずみ速度が小さい場合、養生剤混入によるせん断応力の低減が大きくなり、降伏値は低下することから、養生剤を塗布することによってこて仕上げ性能は改善されることが考えられる。

4.2 初期硬化性状

図-6 に脱型直後および材齢 7 日で行ったテストハンマー試験の結果を示す。材齢 24 時間および 7 日ともに養生剤塗布コンクリートは、無塗布に比べて同等以上の基準反発度を示している。養生剤を塗布することで初期材齢の水分の逸散を防止することは、コンクリート表面硬度の増加、それに伴う長期材齢における劣化因子の浸透防止に寄与することも考えられる。

4.3 水分保持能力および吸水性能

脱型後の急激な水分の逸散を抑制し、湿潤状態を保つ膜養生剤としての性能を確認するために行った水分保持能力

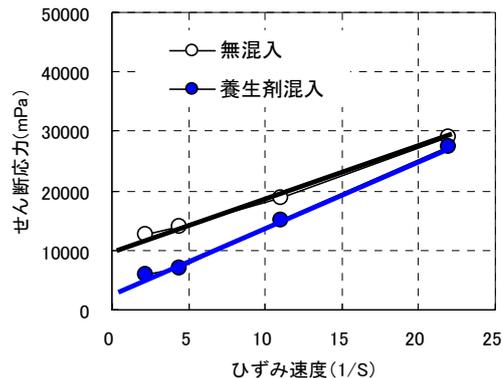


図-5 仕上げ性能

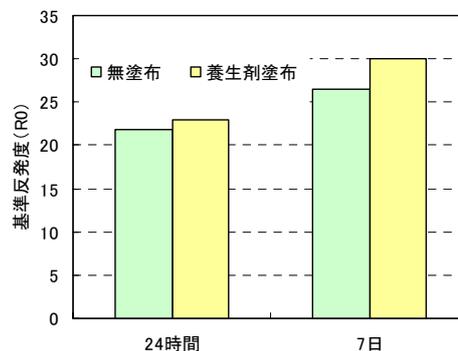


図-6 仕上げ表面の表面硬度

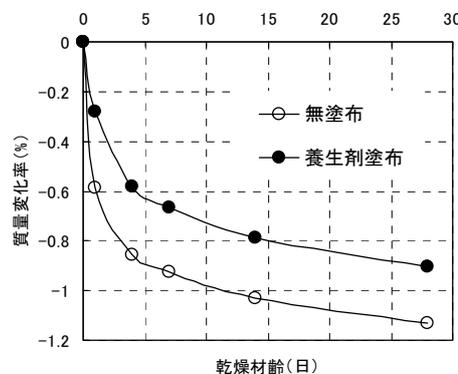


図-7 水分保持性能

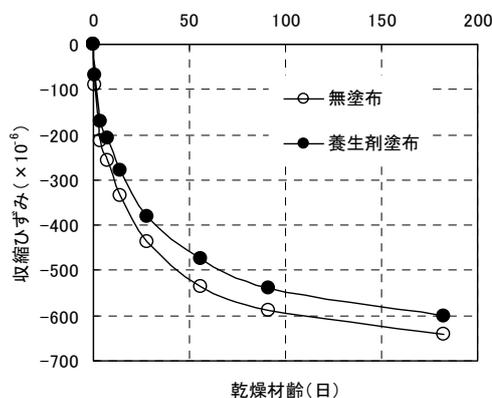


図-8 乾燥収縮

の評価結果を図-7に示す。養生剤塗布コンクリートは、パラフィン層の形成により、初期材齢の水分保持能力に優れており、若材齢のセメントの水和反応に有効である。その結果、養生剤塗布コンクリートの28日圧縮強度 60N/mm^2 で、無塗布コンクリートの 55N/mm^2 に比べて約1割増加する傾向にある。

一方、コンクリートの乾燥収縮が最も激しく進行する初期材齢において水分の逸散を防止することで、図-8に示すように、乾燥材齢6ヶ月における乾燥収縮は、無塗布に比べて若干少なくなる傾向にある。

また、図-9に簡易吸水試験結果を示す。吸水率が低く、表面の撥水性が強いため外部からの水分の浸透を抑制し、白華を防止する効果も期待される。

5. 曝露試験

実物大の試験体による評価および曝露試験による長期材齢の耐久性評価を目的とし、 $100 \times 200 \times 20\text{cm}$ の試験体を2体作製し、養生剤の使用有無による比較試験を行っている。曝露環境は、屋根のない野晒しで直射日光および風雨に晒されている。打設時のコンクリート温度は 23°C であり、曝露環境の温度変化は図-10に示す通りである。

5.1 圧縮強度

実物大試験体と一緒に曝露した供試体の圧縮強度の変化を図-11に示す。材齢91日の標準水中養生供試体の圧縮強度は 74N/mm^2 あり、最も高い圧縮強度を示している。養生剤塗布コンクリートは、無塗布コンクリートに比べて、室内試験で得られたような約1割の増加には満たないが、材齢7日から材齢91日にかけて同等以上の圧縮強度が確実に得られている。

5.2 乾燥収縮

図-12に材齢94日までの乾燥収縮ひずみを示す。曝露試験体の特性上、温度と湿度等の環境条件によるひずみの変化および降雨等によるひずみの回復等は全く考慮されていない全ひずみの結果であり、乾燥収縮は室内試験に比べて小さくなっている。ばらつきはあるものの、初期材齢の養生剤塗布コンクリートのひずみは、無塗布コンクリートに比べて大幅に抑制されており、養生剤の塗布による初期材齢の水分逸散の抑制効果は、室内試験同様に曝露試験からも確認できている。

5.3 付着試験

材齢91日に行った付着試験の結果を図-13に示す。5

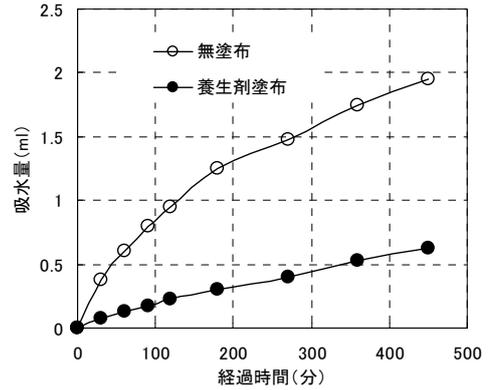


図-9 簡易吸水試験

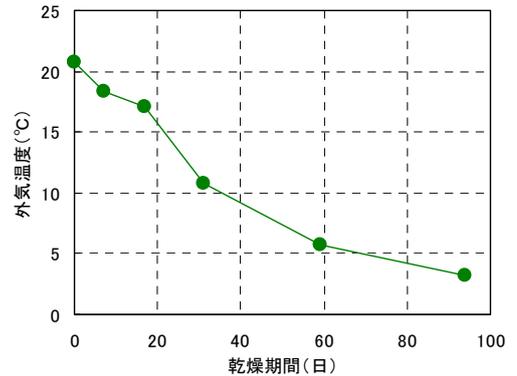


図-10 曝露環境温度の変化

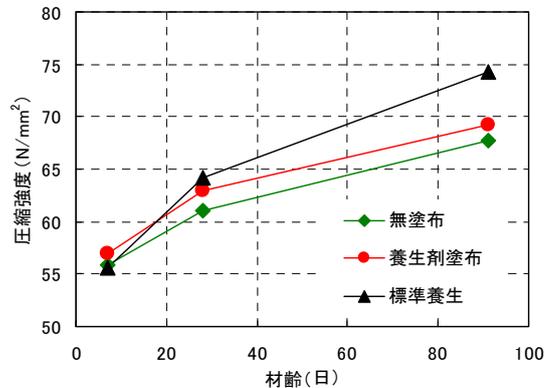


図-11 曝露試験体の圧縮強度

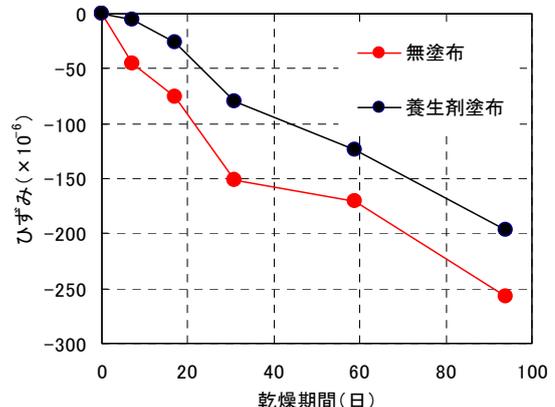


図-12 曝露試験体の乾燥収縮

回の測定を行っており、養生剤塗布コンクリートの平均値は 1.62N/mm^2 、無塗布コンクリートの平均値は 1.42N/mm^2 である。粒子径を改善した養生剤を用いることで、無塗布コンクリート同等以上の付着強度が得られており、実用上問題ない十分な付着強度であることが示された。

以上の報告した曝露試験体については、今後も曝露を継続することで、さらに長期材齢の性状の確認、耐久性の確認および養生剤の効果の持続有無を検討する予定である。

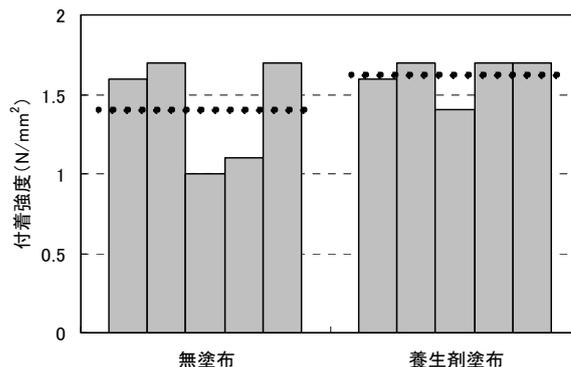


図-13 曝露試験体の付着強度

6. まとめ

従来からのパラフィン系養生剤の弱点であった付着強度を改善するため、乳化されるパラフィンの粒子径を変化させ実験を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 乳化されるパラフィンの粒子径が小さいほど、付着強度は高くなる傾向にあり、 $0.8\mu\text{m}$ 以上の粒子径であれば、 1.0N/mm^2 以上の付着強度が得られ、実用上問題ないと考えられる。
- (2) 平均粒子径 $0.44\mu\text{m}$ の粒径改善パラフィン系養生剤を用いることで、
 - ・ こて滑りがよくなるので、ブリーディングが無く粘性が高い高強度コンクリートの仕上げ作業を容易にすることができる。
 - ・ コンクリートやモルタルの水分の蒸発を防ぐ養生効果に優れ、初期材齢の表面硬度や圧縮強度の増進、乾燥収縮の抑制が期待できる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2009, pp.270 - 280, 2009
- 2) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.126 - 129, 2008
- 3) 日本建築学会材料施工委員会コンクリート・ポリマー複合体の試験方法小委員会：コンクリート・ポリマー複合体の試験方法に関する技術の現状，pp.110 - 129, 2005
- 4) 西村進，岩崎昭雄，谷津健二，大倉真人：膜養生剤を用いたコンクリートの養生に関する実験的検討（その2. 仕上げ材の付着力及ぼす影響），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.801 - 802, 2001
- 5) 榊原泰造，近松竜一，十河茂幸：コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.1, pp.817 - 822, 2005
- 6) 豊福俊泰，潮先正博：コンクリート構造物の初期ひび割れの発生予測とこれに対応した膜養生剤の開発，コンクリート工学，Vol.44, No.4, pp.33 - 42, 2006
- 7) 潮先正博，片脇清士，小林茂敏：コンクリート用被膜養生剤の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.12, No.1, pp.1005 - 1008, 1990