

報告 プラスチックフィルムを用いた長期的な封緘養生の効果について

壹岐 直之*1・福島 賢治*2・三浦 克康*2・吉武 勇*3

要旨：プラスチックフィルムを用いた封緘養生を、打設後から28日間以上行ったコンクリートについて、養生環境の計測、強度試験、透気性試験を実施した。養生方法の違いがコンクリートの性質に及ぼす影響を比較するため、現場気中養生、被膜養生剤塗布による膜養生、材齢7日までの保水シートによる湿布養生について検討した。その結果、封緘養生の内部は急激な温度変化から保護され、湿度99%以上の環境を維持できた。封緘養生を行ったコンクリートの圧縮強度は、現場気中養生を行った場合の120%程度になった。膜養生を行った場合、現場気中養生よりも圧縮強度の増加は認められたが、乾燥を抑制する効果は小さかった。

キーワード：封緘養生, 長期養生, 湿度, 強度, 透気性, 現場計測

1. はじめに

コンクリートが強度や耐久性など所要の品質を確保するためには、打込み後一定の期間は適当な温度のもとで、十分な湿潤状態を保って養生しなければならない。とくに、湿潤状態を保つことは水和反応を十分に行うために重要なことである。暑中あるいは寒中などの環境やマスコンクリートでない限り温度について特段の配慮は不要であるが、湿潤状態を十分に保つことは常に配慮する必要がある。

また、湿潤養生の期間は、コンクリートの強度や耐久性などを十分に発揮させるため、できるだけ長いほうがよい。コンクリート標準示方書¹⁾では、湿潤養生の期間はセメント種類や環境温度に応じて3~12日程度を標準としているが、湿潤養生は施工上可能な限り長く実施することが望ましいと記されている。水セメント比が大きい場合には湿潤養生期間を長くすることによる組織の緻密化が重要であることを示唆した文献²⁾や、養生の期間が長いほど塩分浸透に対する抵抗性が向上するとした文献³⁾もある。

本報告は、実施工において材齢28日以上の湿潤養生を行った結果について取りまとめたものである。湿潤養生の方法はプラスチックフィルムを用いた封緘養生である。養生に使用したプラスチックフィルムは、市販の養生シートや養生マットなどと比較して経済性に優れるものである。対象とした構造物は防波堤ケーソンと、山岳トンネルの覆工コンクリートである。なお、防波堤ケーソンは厳しい塩害環境に設置されるため、高い耐久性が要求される構造物である。また、トンネルの覆工コンクリートは、一般的に施工サイクルの制約から材齢1日で脱型され、その後は特別な養生が行われなため乾燥の作用を受ける。このため、初期の養生が通常コンクリートと同様に重要とされる部材である⁴⁾。

2. 防波堤ケーソンにおける封緘養生

2.1 構造物の概要およびコンクリートの配合

ケーソン式防波堤本体の形状寸法を図-1に、コンクリートの使用材料および配合を表-1および表-2に示す。この配合は、海洋構造物のコンクリートとして一般的なものである。

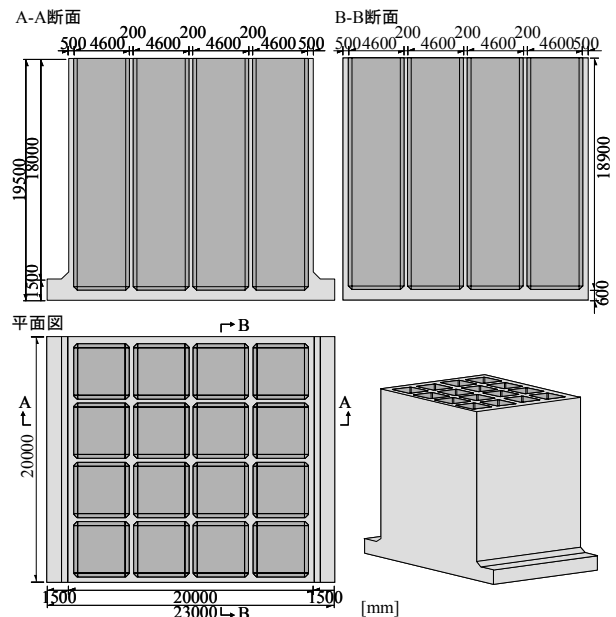


図-1 防波堤ケーソンの形状寸法

表-1 使用材料の特性

材 料	成分・性質
水: W	上澄水・地下水
セメント:C	高炉セメントB種 (密度: 3.04g/cm ³)
細骨材: S	山砂 (石川県七尾市鳥屋産, 密度: 2.46g/cm ³) 砕砂 (輪島市石休場産, 密度: 2.56g/cm ³) 混合割合(絶対容積比) 山砂: 砕砂 = 75 : 25
粗骨材: G	砕石 (輪島市石休場産, 最大寸法25mm, 密度: 2.60g/cm ³)
混和剤: Ad	AE減水剤 (標準形I種) リグニンスルホン酸塩・オキシカルボン酸塩

*1 若築建設(株) 建設事業本部土木部総合評価対策室長 博(工) (正会員)

*2 若築建設(株) 建設事業本部土木部総合評価対策室

*3 山口大学大学院 理工学研究科准教授 博(工) (正会員)

表-2 コンクリートの配合 (24-12-25 BB)

W/C [%]	スランブ [cm]	空気量 [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]				
				W	C	S	G	Ad
51.5	12.0	4.5	41.3	174	338	701	1038	3.72

表-3 供試体を用いた養生方法の比較ケース

養生の名称	養生材料や養生期間など
封緘養生	材齢2日で脱型し、その直後に厚さ0.02mmのプラスチックフィルムで封緘。 材齢56日まで養生実施。
標準養生	材齢2日で脱型し、その直後から20℃の水中に静置。材齢56日まで養生実施。
現場気中養生	材齢2日で脱型し、その直後から現場環境に静置。
膜養生	材齢2日で脱型し、その直後に市販されている水溶性エマルジョン系の表面養生剤を塗布。
保水シートによる湿布養生	材齢2日で脱型し、その直後に保水シートを貼り付けた。材齢7日で保水シートを取外し、その後は現場環境に静置。保水シートは市販されているものであり、厚さ1.3mm、防水フィルムと不織布で構成される。

表-4 計測項目

計測項目	計測方法など
養生内の温度	温度・湿度データロガーによる1時間毎の自動計測
養生内の相対湿度	温度・湿度データロガーによる1時間毎の自動計測
圧縮強度	JIS A 1108:2006に準拠 供試体φ100×200mm
供試体の質量	供試体φ100×200mmを計量

2.2 封緘養生の方法および計測方法

(1) 封緘養生の方法

実構造物における封緘養生の実施状況を図-2に示す。ポリエチレンを素材とする厚さ0.02mm程度のプラスチックフィルムで、ケーソンの外壁全体を覆った。養生期間は脱型から28日以上であるが、打設リフトによって異なる。養生開始は各リフトの脱型直後とし、最終リフトの打設から28日経過した後に、全てのリフトの養生用プラスチックフィルムを除去した。

一般的に行われている養生方法と長期的な封緘養生の効果を比較するため、φ100×200mmの供試体を用い、一般的な養生方法として標準養生、現場気中養生、膜養生、および保水シートによる湿布養生を施して試験を行った。それぞれの養生方法を表-3に示す。なお、表-3に示した封緘養生は、防波堤ケーソン本体に施した養生方法と同じである。

(2) 計測項目および方法

計測項目を表-4に示す。実構造物での養生中の温度および湿度は3リフト目の東側の側面で計測した。計測は小型の温湿度記録計を用いて行い、計測間隔は1時間毎とした。養生内部での温湿度の計測状況を図-3に示す。なお、外気については防波堤ケーソン製作現場から1km程度離れた場所にある気象庁測候所が公表した温度および湿度とした。

圧縮強度は、表-3に示した養生を施した供試体(φ



図-2 防波堤ケーソンでの養生状況

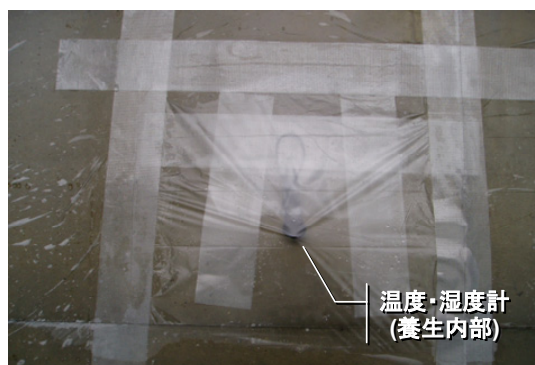


図-3 温度・湿度計の取付状況

100×200mm) について、材齢56日に試験を行った。供試体の質量は、これらの供試体を用いて、材齢7日までは1日毎、材齢21日までは3日毎、材齢56日までは7日毎に計測した。なお、封緘養生と保水シート湿布養生を施した供試体では、脱型直後に養生前後の供試体質量を計測して、その差を養生材の質量とし、養生中の質量計測においては、養生したままの計測値から養生材の質量を差し引いた値を供試体の質量とした。

2.3 計測結果

(1) 温度・湿度の計測結果

実構造物での養生内部および外気温の経時変化を、図-4に示す。外気温は16.1~34.1℃で推移したのに対し、養生内部では18.5~29.5℃で推移した。気温の日較差は、外気では最大10.1℃であったが、養生内部では5.5℃であった。封緘養生を行うことによって、外気温の変動に対して養生内部の温度変化を緩和する効果が認められた。

養生内および外気の相対湿度の経時変化を、図-5に示す。外気の相対湿度は45.0~93.0%推移し、養生内部の相対湿度は93.7~100%であった。封緘養生を行うことによって、コンクリートがほとんど乾燥しない環境を維持することができた。

(2) 強度試験結果

供試体の圧縮強度について試験結果を図-6に示す。供試体の圧縮強度は、標準養生では35.5N/mm²、現場気中養生では32.7N/mm²であった。現場気中養生での圧縮強度は、標準養生の場合に対して7.9%小さかった。

表-5 使用材料の特性

材料	成分・性質
水: W	上澄水・地下水
セメント: C	高炉セメントB種 (密度: 3.04g/cm ³)
細骨材: S	砕砂 (阿波市小月産, 密度: 2.56g/cm ³)
粗骨材: G	砂利 (吉野川産, 最大寸法40mm, 密度: 2.59g/cm ³)
混和剤: Ad	AE減水剤 (標準形I種) リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

表-6 コンクリートの配合 (21-15-40BB)

W/C [%]	スランプ [cm]	空気量 [%]	s/a [%]	単用量 [kg/m ³]				
				W	C	S	G	Ad
59.1	14.0	4.7	41.5	172	291	730	1041	4.34

表-7 計測項目

計測項目	計測方法など
養生内外の温度	温度・湿度データロガーによる1時間毎の自動計測
養生内外の湿度	温度・湿度データロガーによる1時間毎の自動計測
圧縮強度	JIS A 1108:2006に準拠 供試体φ125×250mm
割裂引張強度	JIS A 1113:2006に準拠 供試体φ125×250mm
透気速度	RILEM規格TC116-PCDに準拠 供試体φ150×50mm

表-8 供試体を用いた養生方法の比較ケース

養生の名称	養生材料や養生期間など
封緘養生	材齢1日で脱型し、その直後に厚さ0.02mmのプラスチックフィルムで封緘。材齢28日まで養生実施。
標準養生	材齢1日で脱型し、その直後から20℃の水中に静置。材齢28日まで養生実施。
現場気中養生	材齢1日で脱型し、その直後から現場環境に静置。

貫通した後に打設したものであり、坑口からおよそ100mの位置にある。

覆工コンクリートの使用材料および配合を、表-5および表-6に示す。この配合は、覆工コンクリートとして一般的なものである。

3.2 封緘養生の方法および計測方法

(1) 封緘養生の方法

封緘養生の実施状況を図-9に示す。2章で述べた防波堤ケーソンと同様に、ポリエチレンを素材とする厚さ0.02mm程度のプラスチックフィルムで、覆工コンクリート1スパンの表面全体を覆った。養生は、コンクリート打設の翌日にセントルを取外した直後から開始し、材齢28日までとした。

(2) 計測項目および方法

計測項目を表-7に示す。封緘養生内とトンネル内での外気の温度および湿度の計測は、地面から高さ2mの位置で、小型の温湿度記録計を用い、計測間隔を1時間毎として行った。温度および湿度の計測状況を図-10に示す。また、トンネル施工現場から15km程度離れた場所にある気象庁気象台が公表した温度および湿度も整理した。

強度試験について、表-8に示した養生を施した供試



図-9 トンネルでの養生状況 (1スパンのみ)

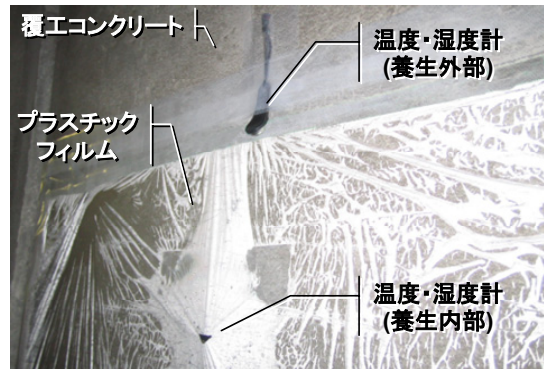


図-10 温度湿度計の取付状況



図-11 透気性試験供試体の養生状況

体 (φ125×250mm) を用い、圧縮強度は材齢7,28,56日に、割裂引張強度試験は材齢7,28日に試験を行った。なお、材齢56日の圧縮強度試験に用いた供試体は、材齢28日まででは表-8に示した養生を行い、その後28日は全て気中に静置した。

透気速度の試験は、封緘養生および現場気中養生についてφ150×50mmの供試体3体ずつとして行った。養生方法は表-8に示したとおりである。φ150×150mmの供試体を製作し、施工中のトンネル内で28日間養生した。養生の状況を図-11に示す。なお、封緘養生の供試体では、養生用のプラスチックフィルムが破損しないように、プラスチックフィルムの上からポリエチレンテープ (緑色) を貼付けた。

養生終了後、供試体の打設時の底面側を厚さ50mmに整形し、試験前養生として50℃環境で10日間の乾燥処理を行った。その後、RILEM TC116-PCD⁵⁾に準拠して透気

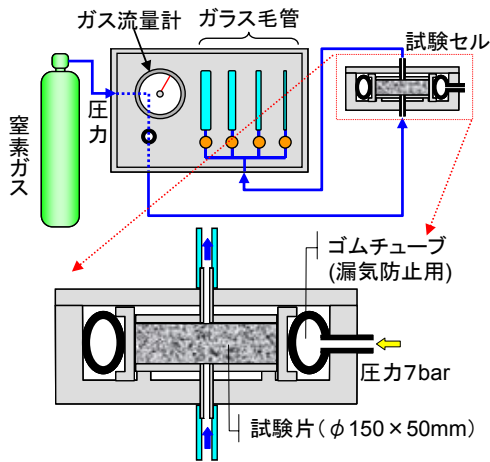


図-12 透気性試験の概要

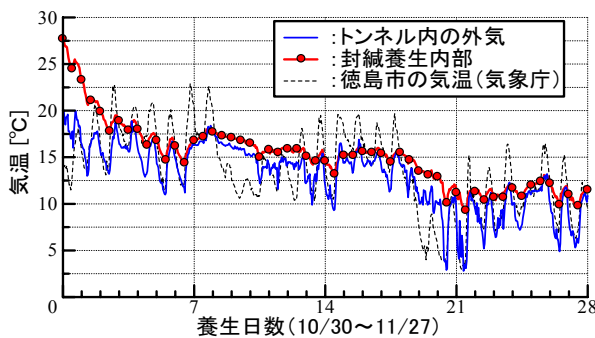


図-13 温度の計測結果

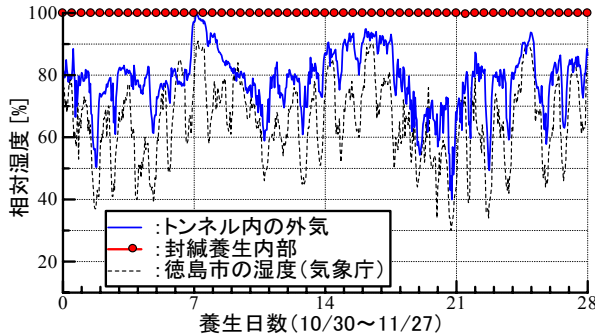


図-14 湿度の計測結果

性試験を実施した。透気性試験の概要を図-12に示す。

3.3 計測結果

(1) 温度・湿度の計測結果

温度の計測結果を図-13に示す。計測はセントル脱型後(材齢1日)から開始したものである。養生開始時(図-13中で養生日数0日)において、養生内部の温度はトンネル内の外気よりも7.5℃高かった。これは、プラスチックフィルムとコンクリート表面の間に空気あるいは水の層ができ、この層によってコンクリートの水和熱が保温されていたためと考える。トンネル内の外気温の変化に対して、養生内部の温度変化は振幅が若干小さく、とくにトンネル内の外気温が低下した際に養生内部の温度低下が少なかった。

相対湿度の計測結果を図-14に示す。トンネル内の外

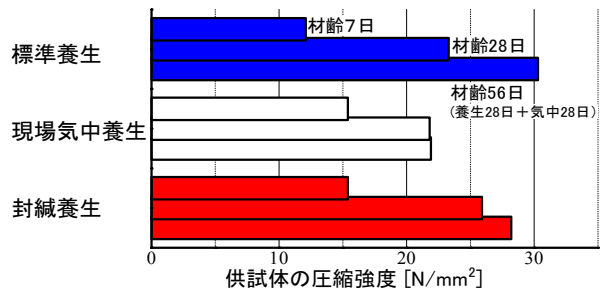


図-15 圧縮強度の試験結果

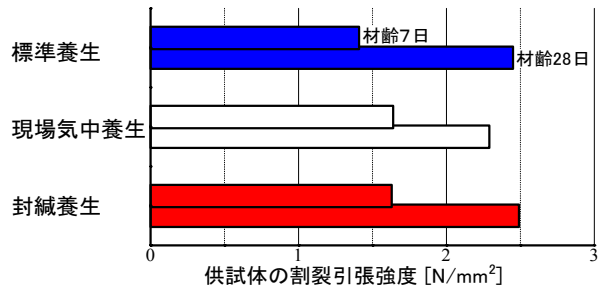


図-16 割裂引張強度の試験結果

気の相対湿度は40～99%で推移し、計測した28日間の平均値は78.2%であった。一方、養生内部の相対湿度は、99.0～99.9%で推移し、28日間の平均値は99.9%であった。

この計測はトンネルが貫通した後に行ったものであり、貫通前と比較して乾燥しやすい環境である⁴⁾。そのような環境においても、封緘養生を行うことによってコンクリートを乾燥からほぼ完全に保護することができた。また、封緘養生によって急激な気温低下から覆工コンクリートの温度変化を抑制することができ、覆工表面に作用する引張応力を緩和できると考えられる。

(2) 強度試験結果

圧縮強度の試験結果を図-15に示す。材齢28日の圧縮強度で比較すると、標準養生では23.3N/mm²、現場気中養生では21.8N/mm²、封緘養生では25.9N/mm²であった。標準養生での圧縮強度に対して、現場気中養生での圧縮強度は6.4%低下し、封緘養生では11.2%向上した。

材齢56日(=28日間養生の後、28日間は気中)の圧縮強度で比較すると、標準養生では30.3N/mm²、現場気中養生では21.9N/mm²、封緘養生では28.2N/mm²であった。現場気中養生では材齢28日からの圧縮強度の増進はほとんど無いが、封緘養生では2.3N/mm²増進した。標準養生での強度の増進はさらに多く、7.0N/mm²の増進であった。標準養生での圧縮強度の増進が大きかった理由として、以下の二つが推測される。一つは、水中養生を行った場合は強度の増進が緩やかであるが、終局値は大きかったとする推測である。もう一つの推測は、試験時におけるコンクリートの含水状態が圧縮強度試験の結果に及ぼす影響である。つまり、材齢28日目までの標準養生の場合の強度については、供試体は水中から取り出して直ぐに載荷するので含水比が高く、ある程度乾燥した状態での

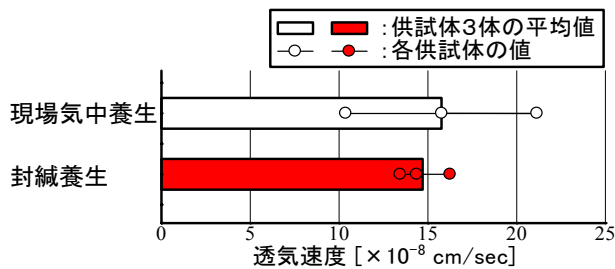


図-17 透気速度の試験結果

強度よりも低い値となる。一方、材齢56日では、乾燥を受けているため水を含んだ状態のコンクリートよりも強度が高くなったとする推測である。このことを明らかにするためには、強度試験の方法を再考する必要があると考えている。

割裂引張強度の試験結果を図-16に示す。材齢28日の割裂引張強度で比較すると、標準養生では2.45N/mm²、現場気中養生では2.29N/mm²、封緘養生では2.49N/mm²であった。封緘養生での割裂引張強度は、気中養生に対して109%、水中養生に対して102%であった。

以上のことから、長期的な封緘養生を行うことによってコンクリート強度の向上が期待できると考える。

(3) 透気性試験結果

透気速度の計測結果を図-17に示す。透気速度は試験から得た透気量を用い、式(1)により計算した。ここに、 K_s : 透気速度[mm/sec], Q_i : 透気量[mm³/sec], A : 試験体の断面積[mm²], L : 試験体の厚さ[mm], P_a : 印加圧力[N/mm²], P_i : 大気圧[N/mm²], γ : 気体の単位容積重量(空素:1.25×10⁻³) [g/mm³], g : 重力加速度[mm/sec²]である。

$$K_s = \frac{2 \cdot \gamma \cdot g \cdot P_a \cdot L}{P_i^2 - P_a^2} \cdot \frac{Q_i}{A} \times 10 \quad (1)$$

封緘養生を施した供試体の透気速度は、気中養生の供試体と比較して供試体毎の値の差が少なく、透気速度の平均値は若干小さい値であった。封緘養生を行うことによって、透気速度がわずかに低下したが、これが有意な差であるかは不明である。

なお、水セメント比が50~60%のコンクリートでの一般的な透気速度は10~100×10⁻⁸cm/sec程度であり⁶⁾、透気速度は骨材の使用量によって変動するとされている⁷⁾。本実験において、透気速度は上述と同程度の値であったが、各供試体の試験値に差があったのは、粗骨材の最大寸法が40mmであり、供試体作成時において粗骨材の混入比率に差があったことが影響したと考えている。

4. まとめ

プラスチックフィルムを用いた長期的な封緘養生について、その効果を確認するため、実構造物の養生内外で気温および相対湿度を計測し、供試体レベルにおいてコンクリートの性質を確認した。結果を以下にまとめる。

- (1) プラスチックフィルムを用いた封緘養生を行うことによって、外気温の変動に対して養生環境内の温度変化を緩和させる効果があり、養生環境内の相対湿度を99%以上に保つことができた。また、封緘養生を行った供試体の質量は、養生期間中ほとんど変化しなかった。
- (2) 封緘養生を行った場合の材齢28日の圧縮強度は、現場気中養生に比べて20%程度増加し、標準養生に比べて11%程度増加した。また、材齢28日の割裂引張強度は、現場気中養生に比べて9%程度増加した。
- (3) 透気性について、封緘養生を行った供試体は現場気中養生の場合と比較して、透気速度が若干低下した。
- (4) 養生方法の違いについて、封緘養生を行った場合は、保水シートによる湿布養生を7日間行った場合や皮膜養生剤塗布による膜養生を行った場合よりも、圧縮強度が向上し、経時的な質量減少が少なかった。

以上のことから、プラスチックフィルムを用いた長期的な封緘養生は、養生期間中の乾燥を抑制することができ、コンクリートの品質向上に有効であることが確認できた。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，2007
- 2) 郭 度連，國分勝郎，宇治公隆，上野 敦：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす水セメント比および養生条件の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.743-749，2003
- 3) 遠藤裕丈，谷口史雄，島田久俊：養生と乾燥日数が異なるコンクリートの凍害と塩害の複合劣化特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.741-746，2002
- 4) 馬場弘二，伊藤哲男，城間博通，宮野一也，中島浩，谷口裕史：施工中のトンネル坑内環境と覆工コンクリートの湿度変化に関する研究，土木学会論文集，No.742/VI-60，pp.27-35，2003.9
- 5) RILEM TC 116-PCD : Permeability of concrete as a criterion of its durability Final report : Concrete durability - An approach towards performance testing, Materials and Structures, Vol.32, pp.163-173, 1999.4
- 6) 金 武漢，權 寧璠，朴 宣圭，姜 錫杓：モルタルおよびコンクリートの中性化に影響を及ぼす透気係数に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.1，pp.193-198，2000
- 7) 塚原絵万，加藤佳孝，魚本健人：欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する実験的考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，pp.823-828，2001