

# 各種セメントを用いたコンクリートの合理的な湿潤養生期間に関する実験 初期湿潤養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響

安部 弘康\*

## Experiments on the Proper Terms of Moisture Curing of Concretes Using Different Cements

Influence of the initial moist curing on the quality of concrete in a structure

by Hiroyasu ABE

### Abstract

The number of cases involving the use of moderate- and low-heat Portland cement for building work increases. This paper reports on the results of experiments regarding the effects of strength development and durability of concrete in a structure by initial moist curing periods using these cements. Based on the results of this experiment, the authors confirmed the following. As well as the case of using the normal Portland cement, even when we use these cements, and even if we abort moist curing when a certain compressive strength has been obtained, there is no decrease in strength development and durability.

### 要 旨

建築工事への使用が増加している中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートを対象に、初期湿潤養生期間が構造体コンクリート強度の発現や耐久性に及ぼす影響について検討した結果を報告する。本実験の結果、これらのポルトランドセメントを用いたコンクリートでも普通ポルトランドセメントを用いたものと同様に、圧縮強度が一定値以上得られた時点で湿潤養生を打ち切った場合、その後の強度発現や耐久性が特に劣ることがないことが確認された。

キーワード：湿潤養生／中庸熱ポルトランドセメント／低熱ポルトランドセメント／強度／耐久性

### 1. はじめに

近年、コンクリートのひび割れ抑制や高強度コンクリートへの対応を目的として、建築工事に中庸熱ポルトランドセメント（以下、Mセメント）や低熱ポルトランドセメント（以下、Lセメント）を使用する例が増加してきている。しかし、これらのセメントは主にダムなどの大型土木コンクリート構造物の水和熱抑制を目的に開発されたもので、一般建築物に使用されるようになってからの日は浅く、その品質に関するデータが十分に収集・整備されていないのが現状である。

構造体コンクリートの品質確保のために重要な管

理項目とされている初期の湿潤養生期間についても、強度発現や耐久性に及ぼす影響は十分に明らかになっているとは言い難い。普通ポルトランドセメント（以下、Nセメント）や早強ポルトランドセメントを用いたコンクリートについては、和泉らの研究[1]により「圧縮強度が一定値以上得られた時点で湿潤養生を打ち切ってもその後の強度発現や耐久性が特に劣ることがない」との報告がなされ、現行JASS5[2]では圧縮強度が $10\text{N/mm}^2$ に到達したことを確認すれば、湿潤養生を打ち切ることができることと規定されている。これに対し、MセメントやLセメントは、高炉セメントやフライアッシュセメント

\* 技術研究所材料施工研究室

と同一の「その他のセメント」の規格が適用されることから、7日間以上の湿潤養生が必要とされ、一般的にせき板の存置をもって湿潤養生とする工事現場において、使用上大きな制約となっている。

そこでMセメントやLセメントを用いたコンクリートについて、湿潤養生打ち切り時期を圧縮強度や積算養生温度等によって合理的に設定するために、各種実験を行い、初期湿潤養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響を検討した。

## 2. 実験計画

### 2.1 実験概要

実験で使用したコンクリートの調合、フレッシュ性及び標準養生圧縮強度試験結果を表1に示す。今回対象としたのは、Mセメント、Lセメントを用いたコンクリート及び比較のためのNセメントを用いたコンクリートである。コンクリートの水セメント比は45%ないしは55%とした。また、一部の試験には当コンクリートをウェットスクリーニングして得られたモルタルを使用している。

実験の種類と組合せを表2に示す。実験は壁模擬試験体および小型試験体からなる。実験はいずれも湿潤養生打ち切り時期を要因とし、壁模擬試験体は標準期及び冬期に製作し、標準期では湿潤養生打ち切り時期を材齢2,4,7日,冬期では材齢3,5,7日として、湿潤養生打ち切り時期がコア強度、表層部の強度や含水率に及ぼす影響を検討した。また、壁模擬試験体から切り取ったコア供試体を用いて促進中性化試験や細孔径分布の測定を行った。小型試験体では、含水率測定試験、質量減少率試験、乾燥収縮ひずみ試験を行った。

### 2.2 実験方法

コンクリートはレディーミクスト工場の容量2m<sup>3</sup>の傾胴ミキサを用いて製造し、練混ぜ量を1.5m<sup>3</sup>とした。コンクリートはアジテータ車に4.5 m<sup>3</sup>積載し、実験場へ運搬した。運搬時間は約30分であり、荷卸し時のコンクリートの品質を確認後、各試験体型枠へ試料を打ち込んだ。

表1 コンクリートの調合・フレッシュ及び圧縮強度試験結果

種別	試験時期	W/C (%)	調合				混和剤 C× (%)	フレッシュコンクリート試験			標準養生圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )				単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )
			C	W	S	G		スランプ (cm)	空気量 (%)	コン温度 (°C)	7日	28日	56日	91日	
N55	標準	55.0	324	178	827	946	1.00	17.0	3.9	25.0	21.4	33.8	36.5	38.4	2.28
	冬		316	174	845			18.0	3.8	15.2	23.5	36.1	38.3	40.9	2.28
M55	標準	55.0	318	175	845			18.5	4.7	22.0	14.7	25.4	35.1	38.1	2.28
	冬		311	171	861			17.5	5.1	12.0	9.4	22.5	31.1	35.0	2.29
M45	標準	45.0	409	184	749			19.5	3.7	23.0	23.1	40.2	49.5	54.0	2.29
	冬		400	180	764			19.0	4.1	13.0	19.5	40.4	49.2	52.8	2.29
L45	冬	45.0	391	176	783			19.0	4.0	13.5	9.5	34.1	49.1	52.9	2.30

C: N=普通ポルトランドセメント (密度3.16g/cm<sup>3</sup>) (太平洋セメント社製) S: 鹿島産砂(表乾密度2.59g/cm<sup>3</sup>, 吸水率2.35%)と  
 M=中庸熱ポルトランドセメント(密度3.21g/cm<sup>3</sup>) (太平洋セメント社製) 鹿沼産砕砂(表乾密度2.62g/cm<sup>3</sup>, 吸水率1.98%)を容積比7.3で混合  
 L=低熱ポルトランドセメント (密度3.22g/cm<sup>3</sup>) (太平洋セメント社製) G: 鹿沼産2005砕石(表乾密度2.64g/cm<sup>3</sup>, 吸水率0.96%)  
 W: 工業用水及び上澄水 混和剤: AE減水剤(フローリック社製)

表2 実験の種類と組合せ

実験の種類		試験環境	コンクリートの調合			
			N55	M55	M45	L45
壁模擬試験体	標準期	① 円柱供試体圧縮強度試験	2,4,7d	2,4,7d	2,4,7d	2,4,7d
		② コア供試体圧縮強度試験	2d	2,4,7d	2d	-
		③ 含水率測定	2d	2,4,7d	2d	-
		④ 表層強度	2d	2,4,7d	2d	-
		⑤ 促進中性化試験	2d	2,4,7d	2d	-
	冬期	① 円柱供試体圧縮強度試験	3,5,7d	3,5,7d	3,5,7d	3,5,7d
		② コア供試体圧縮強度試験	5d	3,5,7d	5d	5,7d
		③ 含水率測定	5d	3,5,7d	5d	5,7d
		④ 表層強度	5d	3,5,7d	5d	5,7d
		⑤ 促進中性化試験	5d	3,5,7d	5d	5,7d
小型試験体	標準期	⑥ 細孔径分布	5d	3,5,7d	5d	5,7d
		① 含水率分布試験	1,2,4,7d	1,2,4,7d	1,2,4,7d	-
		② 質量減少率試験	2,7d	1,2,4,7d	2,7d	-
		③ 乾燥収縮ひずみ試験	3,5,7d	3,5,7d	3,5,7d	-

(表中の1d,2d...7dは湿潤養生打ち切り材齢を示す)

### 1) 壁模擬試験体による試験

図1に示す厚さが20cm、幅×高さ=90×90cmの壁模擬試験体を用いて、以下①～⑥の試験を行った。なお、湿潤養生の打ち切りは、せき板の取り外しによった。

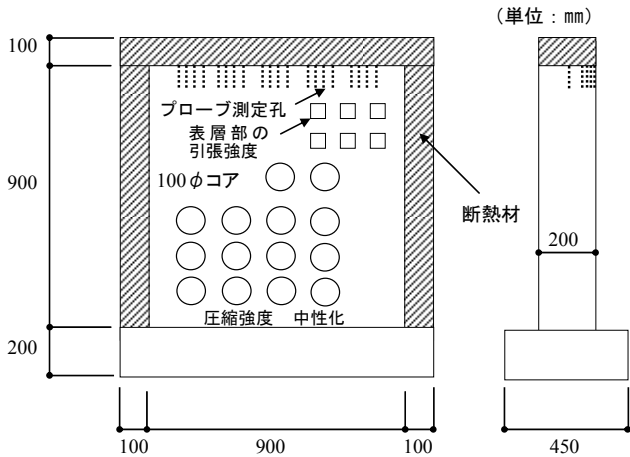


図1 壁模擬試験体の形状・寸法

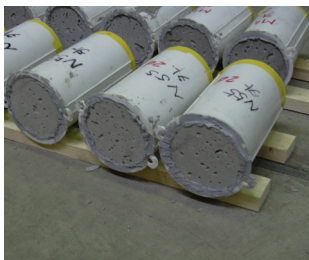


写真1 上下開放円柱供試体



写真2 壁模擬試験体コア採取状況



写真3 含水率測定用のプローブ挿入孔設置

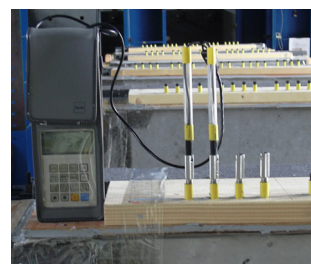


写真4 含水率測定

#### ① 円柱供試体圧縮強度試験

標準養生供試体、現場封かん養生供試体の他に、壁模擬試験体の乾燥状態をφ10×20cm円柱供試体で再現するために、所定の湿潤養生打ち切り材齢に達した時点で供試体上下面のみを開放して外気放置した上下開放円柱供試体について圧縮強度試験を実施した。(写真1)

#### ② コア供試体圧縮強度試験

材齢28,56及び91日で壁模擬試験体からφ10×

20cmのコア供試体を3本ずつ抜き取って、アンボンドキャッピングによる圧縮強度試験を実施した。

(写真2)

#### ③ 含水率の測定

コンクリート表面からの距離が1,2,3,5及び10cmとなるように、試験体上面に含水率測定用のプローブ挿入孔を設置して、市販の抵抗式含水率計を用いて乾燥期間に伴う含水率の推移を測定した。含水率は各距離で3点測定した平均値とした。ただしこの値は、幅広い適用範囲に対応するように設定された市販の含水率計で計測していることから、別途校正試験[3]を実施し、調合毎に検量線を求めて補正を行った。また、計測値自体は質量含水率であることから、調合による単位容積質量を乗じて容積含水率への換算を行った。(写真3, 4)

#### ④ コンクリートの表層部の引張強度試験

壁模擬試験体のコンクリート表面にアタッチメント(40×40mm、周囲は縁切り)をエポキシ樹脂系接着剤で貼付け1日養生後、建研式接着力試験機を用いて引張試験を行い、引張強度を算出した。冬期壁模擬試験体では材齢91日において各6箇所、標準期壁模擬試験体では材齢161日において各3箇所とした。

#### ⑤ 促進中性化試験

標準期の壁模擬試験体から材齢1年に、冬期の壁模擬試験体から材齢6ヶ月において、それぞれφ10×20cmのコア供試体を各5本抜き取り、コア側面にシールを施した後、炭酸ガス濃度5±0.5%、温度20±1℃、湿度60±3%RHで中性化を促進させた。促進期間7,28,56,91及び182日でフェノールフタレイン溶液を噴霧し、溶液噴霧直後にコンクリート表面から赤紫着色部までの距離を測定し、中性化深さとした。

#### ⑥ 細孔径分布

冬期に製作した一部の壁模擬試験体から材齢56日においてφ10 cmのコアを抜き取り、それぞれ中心深さが1,3,5及び10cmの位置で厚さが1cm程度になるようコンクリートカッターで切り出し、前処理(モルタル部で1辺5mmの立方体を切り出して、水和停止させ乾燥)後に水銀圧入法により細孔径分布および総細孔量を測定した。

### 2) 小型試験体による試験

#### ① 含水率測定試験

標準期のコンクリートを呼び名5mmの篩によりウェットスクリーニングして得られたモルタルを用

いて、図2に示すように $10 \times 10 \times 40$ cm試験体を作製し、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 3\% \text{RH}$ の試験室で密封して保管し、所定の材齢で両端面のみを開放して乾燥させた。その後、材齢28日で乾燥面から中心に向かって、それぞれ中心深さが1,3,5,10及び19cmの位置で厚さが2cm程度になるよう割裂破断して採取した試験片について、乾燥法による質量減少率から質量含水率を算出した。

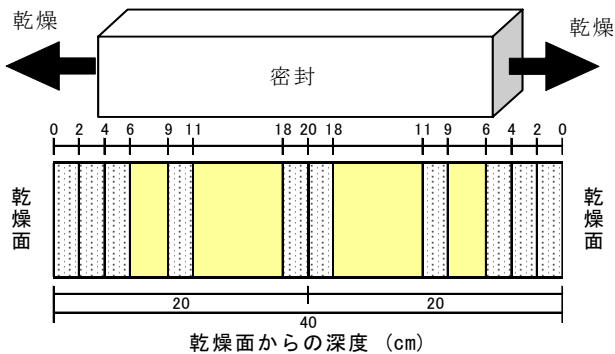


図2 含水率測定用試験体

② 質量減少率試験

標準期のコンクリートを用いて、図3に示すように、 $10 \times 40$ cm形状で厚さの異なる試験体を作製し、封かん養生後、所定の材齢で脱型し、基準値となる質量を測定して、一面のみ開放状態とした。その後、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 3\% \text{RH}$ の試験室で乾燥を開始し、材齢1,2,4,7,14,28,56及び91日で質量を測定して、基準値との差から質量減少率を算出した。なお、厚さ1.25mmの試験体は、5mmの篩によりウエットスクリーニングして得られたモルタルを、2.5mmではモルタル、コンクリートの双方で試験体を作製した。

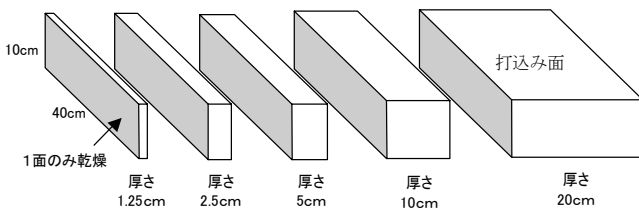


図3 質量減少率測定用試験体

③ 乾燥収縮ひずみ試験

標準期のコンクリートを用いて、 $5 \times 10 \times 40$ cm及び $10 \times 10 \times 40$ cmの試験体を作製して、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 3\% \text{RH}$ の試験室で密封して保管した。その後、それぞれ所定材齢で2側面(=  $10 \times 40$ cm)のみを開放し、基準長さを測定して、乾燥を開始、その長さ変化を

コンタクトゲージ法(検長200mm, 精度1/1000mm)で測定した(写真5,6)。



写真5 乾燥収縮ひずみ試験体 写真6 コンタクトゲージ法による長さ変化試験

3. 実験結果の検討と考察

3.1 圧縮強度

1) 湿潤養生打ち切り材齢とコア強度の関係

図4に材齢とコア強度の関係の一例として、Mセメントを用いた水セメント比55%のコンクリートについて標準期及び冬期試験結果を示す。図中の凡例は湿潤養生打ち切り時の圧縮強度である。湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が $6.4 \sim 15.0 \text{N/mm}^2$ の範囲にあった標準期試験では、材齢91日や365日のコア強度に及ぼす湿潤養生打ち切り時の圧縮強度の違いはほとんどみられなかった。一方、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が $2.7 \sim 8.6 \text{N/mm}^2$ の範囲にあった冬期試験では、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が大きいものほど強度増進が大きく、長期材齢では大きな強度を示した。これらから、圧縮強度がある程度発現してから湿潤養生を打ち切った場合は、構造体コンクリートの長期材齢の強度は材齢7日までに十分に湿潤養生した場合と概ね同等になると考えられる。

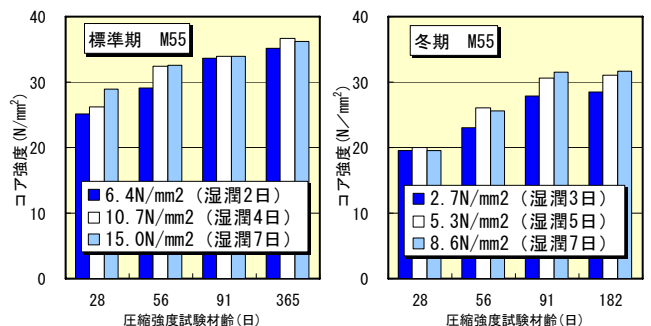


図4 材例とコア強度の関係

2) 湿潤養生打ち切り時強度とコア強度の関係

図4と同じコンクリートについて湿潤養生打ち切り時強度とコア強度の関係を図5に示す。和泉らの研究[1]ではNセメントを用いたコンクリートの場合

10N/mm<sup>2</sup>に到達したことを確認してから湿潤養生を打ち切れば、その後の強度発現が特に劣ることがない事を報告している。これに基づき、図中に湿潤養生打ち切り時強度10N/mm<sup>2</sup>ラインを示した。これによれば、M55コンクリートにおいても圧縮強度が10N/mm<sup>2</sup>以上に到達してから湿潤養生を打ち切れば、材齢56日以降の構造体コンクリート強度が低下することは無いようである。

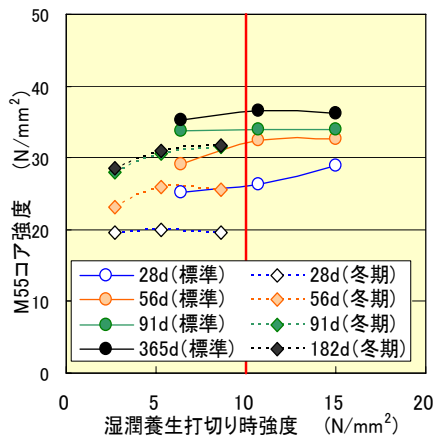


図5 材齢とコア強度の関係

### 3) 上下開放円柱供試体強度とコア強度の関係

図6にコア強度と湿潤養生打ち切り時に上下面を開放したφ10×20cm円柱供試体の圧縮強度の関係を示す。コア強度は上下面開放円柱供試体の圧縮強度を若干上回っていることから、上下面開放円柱供試体の圧縮強度は湿潤養生期間の影響を含めた構造体コンクリート強度を安全側に評価できているといえる。

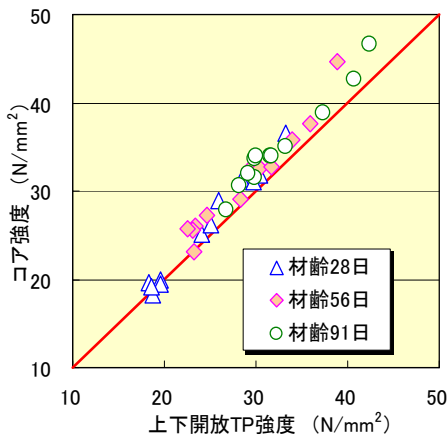


図6 上下開放円柱供試体強度とコア強度の関係

### 4) 湿潤養生7日間を基準とした場合の強度比

図7に標準期および冬期の壁模擬試験体の湿潤養生

生打ち切り時の圧縮強度と、壁模擬試験体のコア強度をそれぞれ湿潤養生7日間実施したコア強度で除した強度比との関係を示す。ただし、図中には前述した上下面開放円柱供試体の圧縮強度を構造体コンクリート強度と見なして、併せてプロットした。

材齢28日での強度は、圧縮強度が10N/mm<sup>2</sup>に到達してから湿潤養生を打ち切った場合でも、湿潤養生を7日間行ったものを下回るものも多く存在したが、材齢91日では、セメントの種類、実験時期のいずれにも関わらず、湿潤養生を7日間行ったものと同程度の強度発現が認められた。また、材齢182日、365日でも、10N/mm<sup>2</sup>に到達してから湿潤養生を打ち切れば、湿潤養生を7日間行ったものと概ね同等の強度発現が認められた。この結果より、MセメントやLセメントは強度発現が緩慢であり、材齢28日での強度管理が不向きであることを考慮すると、これらのセメントを用いた場合でも、Nセメントと同様に湿潤養生を打ち切ることのできる圧縮強度の目安を10N/mm<sup>2</sup>とすることができると考えられる。

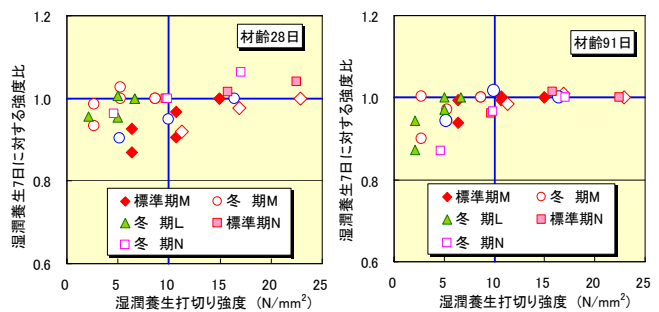


図7 湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と湿潤養生7日間を基準とした強度比の関係

### 5) 積算養生温度と圧縮強度の関係

図8に若材齢における圧縮強度と積算養生温度の

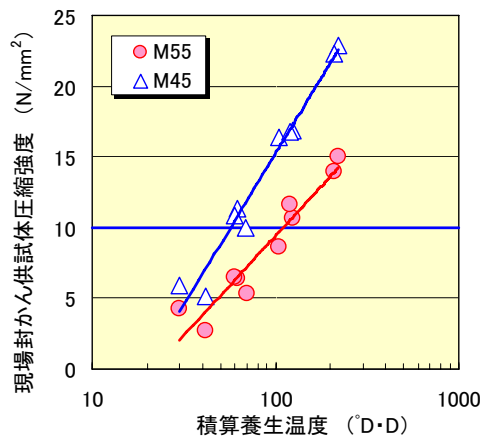


図8 積算養生温度と圧縮強度の関係

関係を示す。積算養生温度で現場封かん養生供試体強度を精度高く推定できた。このことから、実際に使用するコンクリートの強度が10 N/mm<sup>2</sup>に到達する積算養生温度を事前に把握することで、湿潤養生の打ち切り時期を積算養生温度で管理することができると考えられる。

### 3.2 含水率測定結果

#### 1) 壁模擬試験体の含水率

材齢に伴う容積含水率の履歴の一例を図9に示す。湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が6.4~15.0N/mm<sup>2</sup>の範囲にあった標準期試験では、湿潤養生打ち切り時期が異なっても含水率の推移に大きな差異は生じな

かった。しかしながら、2.7~8.6 N/mm<sup>2</sup>で湿潤養生を打ち切った冬期試験では、湿潤養生打ち切りが早期であるほど材齢に伴う含水率の低下が大きく、その傾向は表層からの深度が浅いほど顕著であった。

また、図10に湿潤養生打ち切り強度と材齢56日での容積含水率の関係を示す。湿潤養生打ち切り時の圧縮強度8~10N/mm<sup>2</sup>以下の範囲では、湿潤養生打ち切り強度が低いほど容積含水率も低下した。一方、それ以上の範囲では、湿潤養生打ち切り強度が異なっても容積含水率が大きく変化することはなかった。したがって、湿潤養生打ち切り強度を10N/mm<sup>2</sup>以上確保すれば、含水率が大きく低下することはないようである。

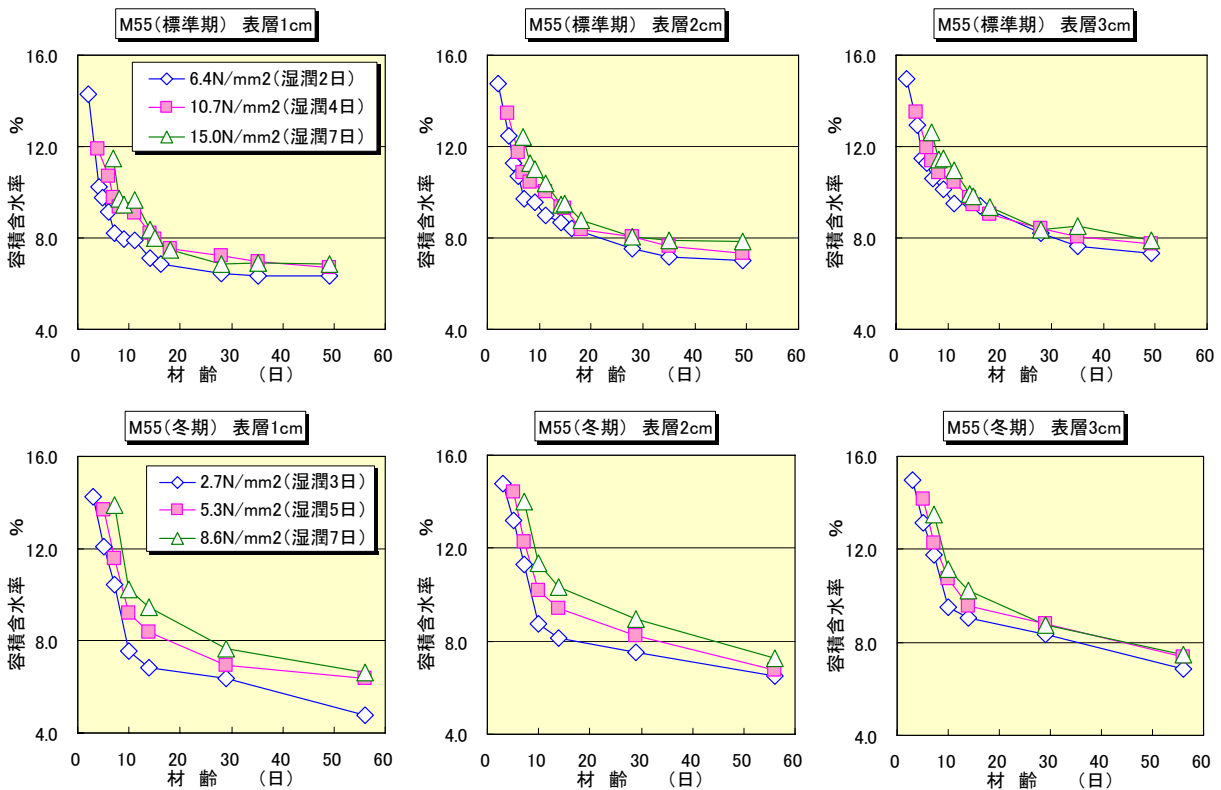


図9 材齢と容積含水率の関係

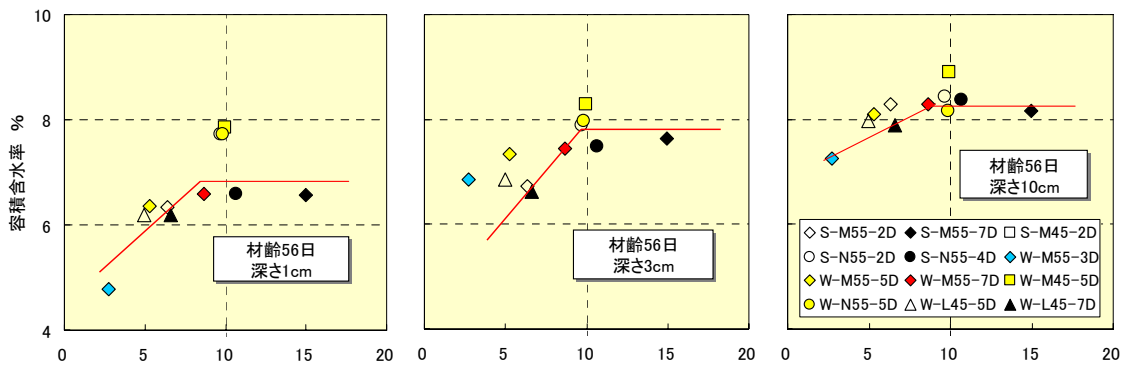


図10 湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と容積含水率の関係

## 2) 小型試験体の含水率

図11に材齢28日における乾燥面からの距離と乾燥法で求めた質量含水率の関係の例を示す。含水率は湿潤養生を施した期間が短い場合、および乾燥面に近くなるほど小さくなった。特に、深度が5cmから乾燥面までの含水率の低下は、それ以深に比較して著しい。この含水率は乾燥により逸散した水分と、水和により消費された水分の影響を受けていると考えられる。そこで、供試体中央付近の含水率は、乾燥によって逸散する水分はほぼないものと仮定し、各乾燥面からの深度による含水率と供試体中央付近である乾燥面から19cmのところの含水率との差異を、乾燥によって逸散した水分量として検討した。M55の調査についてまとめた結果を図12に示す。また、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が約10N/mm<sup>2</sup>の試験体で各種コンクリートを整理したものを図13に示す。これらより、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が同一であれば、使用するセメントや調合が異なっても含水率の分布が大きく異なることはなかったといえる。

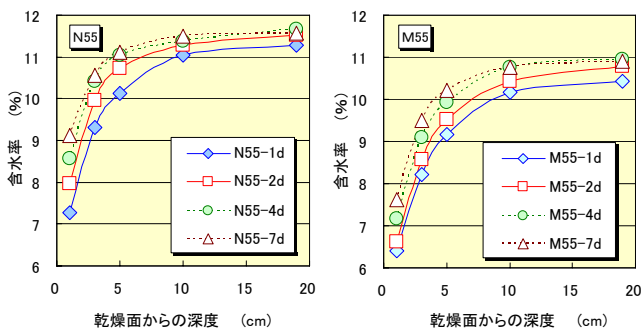


図11 乾燥面からの深度と含水率の関係

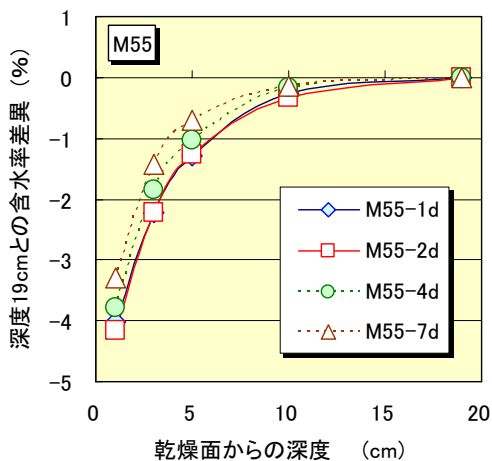


図12 乾燥面からの深度と含水率の関係 (深度19cmとの差異)

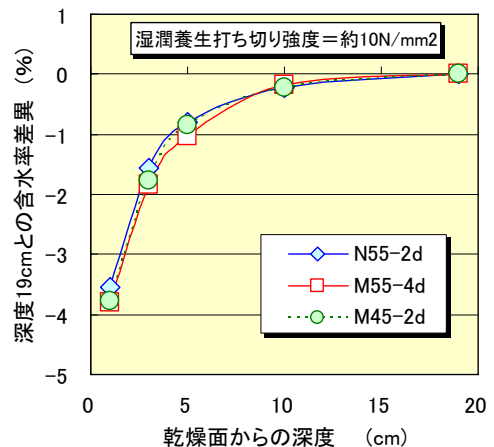


図13 湿潤養生打ち切り強度10N/mm<sup>2</sup>での含水率分布 (深度19cmとの差異)

## 3.3 質量減少率試験結果

試験体の質量変化量を体積表面積比 (V/S) で除した質量変化割合と、供試体厚さの関係の一例を図14に示す。質量変化割合は、乾燥開始が早い程、すなわち湿潤養生打ち切りが早い程大きくなったが、その傾向は5cmより薄い供試体で顕著であり、10cm以上の厚さの供試体における質量変化割合の変化量は小さなものであった。これより、供試体厚さが5cmを超える場合には、質量減少率に及ぼす湿潤養生期間の影響は小さいものと考えられる。

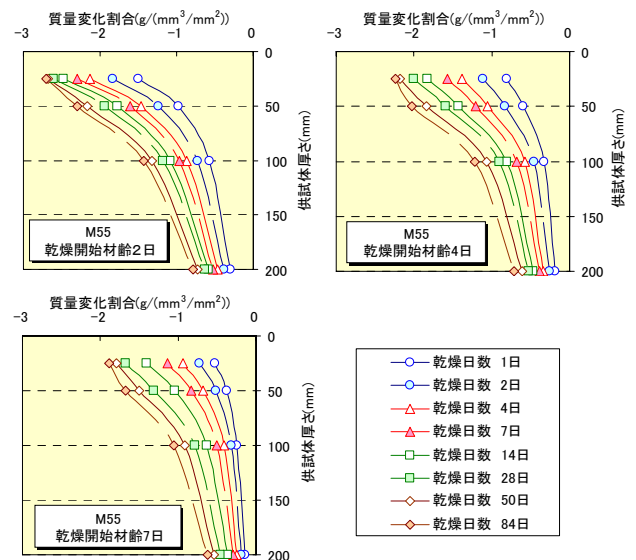


図14 供試体厚さと質量変化割合 (=質量変化量 / (V/S)) の関係

## 3.4 コンクリート表面の引張強度

引張強度と湿潤養生打ち切り時の圧縮強度の関係を図15に示す。湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が過

度に小さい場合は表層部の引張強度が低下する傾向にあったが、湿潤養生打ち切り時の強度が概ね7N/mm<sup>2</sup>以上の範囲では大差は生じなかった。なお、コンクリート表面に吸水調整剤を塗布して1日乾燥させた後に、既調合モルタルを用いて張付けたタイルの接着力は基準値0.4N/mm<sup>2</sup>を十分上回っていたが、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度とタイルの接着強度に相関は認められなかった。(図16)

これらの結果から、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が過度に小さくなければ、表層の強度や仕上げ材の接着強度に大きな影響は及ぼさないと考えられる。

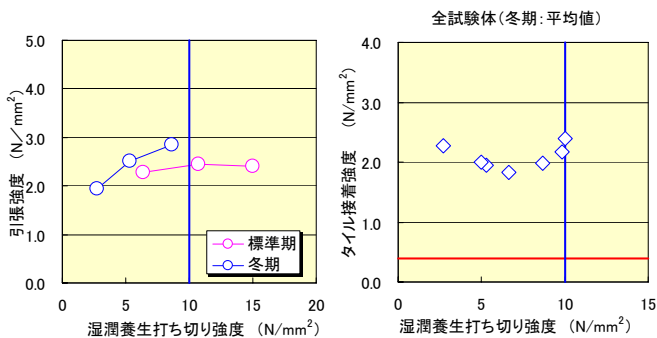


図15 表層部の引張強度と湿潤養生打ち切り強度の関係  
図16 タイルの接着強度と湿潤養生打ち切り強度の関係

### 3.5 乾燥収縮ひずみ

図17に小型試験体によるコンクリートの乾燥収縮の経時変化の一例を示す。NセメントとMセメントを用いたコンクリートの厚さ5cmや10cmの試験体の乾燥収縮には、いずれも湿潤養生打ち切り時期の違いは明確に顕れていない。

図18に湿潤養生を7日間実施した場合の乾燥収縮ひずみに対する湿潤養生期間3日及び5日の乾燥収縮

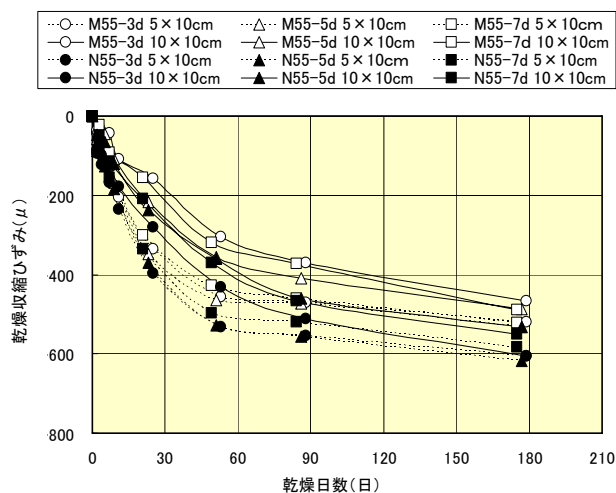


図17 乾燥収縮ひずみ試験結果 (N55 と M55)

ひずみの比、及び、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と材齢91日における乾燥収縮ひずみの関係を示す。このように、湿潤養生期間や湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が乾燥収縮ひずみに与える影響は認められなかった。

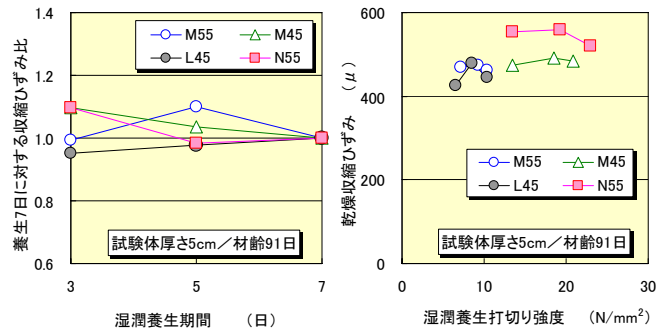


図18 乾燥収縮ひずみ試験結果 (N55 と M55)

### 3.6 促進中性化

図19に湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と中性化促進期間182日での中性化深さの関係を示す。湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が大きいほど中性化深さは小さくなる傾向にあった。しかしながら、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が10N/mm<sup>2</sup>以上の範囲においては湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が中性化抵抗性に与える影響は小さく、今回の実験の範囲では使用するセメント種類や調合に関らず、中性化期間182日での中性化深さは概ね30mm以下であった。

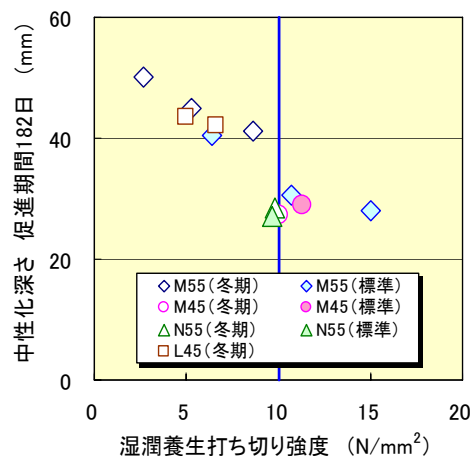


図19 湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と中性化深さ

### 3.7 細孔径分布測定結果

図20に細孔径分布測定結果の例を示す。湿潤養生打ち切り強度が低い場合には、細孔直径が0.044~2.47μmの細孔量が増加する傾向にあった。



図21には、深さ10cmの細孔分布を基準とした場合の各深度での差異を示す。何れも、深度1cmでは0.044~2.47 μmの細孔量は増加する傾向にあった。一方、深度3cmや5cmでは、湿潤養生打ち切り強度の低いM55-5dやL45-5dでは深度10cmと比較して0.044~2.47 μmの細孔量が増加したが、湿潤養生打ち切り時の強度が10N/mm<sup>2</sup>程度のM55-7d, M45-5d, N55-5dでは深度10cmとの差異は僅かであった。

また、図22に、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度と深度10cmと各深度の0.044~2.47 μmの細孔量の差異を示す。表層1cmでは湿潤養生打ち切り時の圧縮強度に関わらず、壁の中心部(=深度10cm)よりも0.044~2.47 μmの細孔量は増加した。一方、深度3cm以深では湿潤養生打ち切り時の圧縮強度を10N/mm<sup>2</sup>確保すれば、0.044~2.47 μmの細孔量は深度10cmと同程度となった。

このことから、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度を10N/mm<sup>2</sup>確保すれば、深度3cm以深では細孔量、すなわち、コンクリートの微細組織における緻密さは深度10cmと同程度であるといえる。

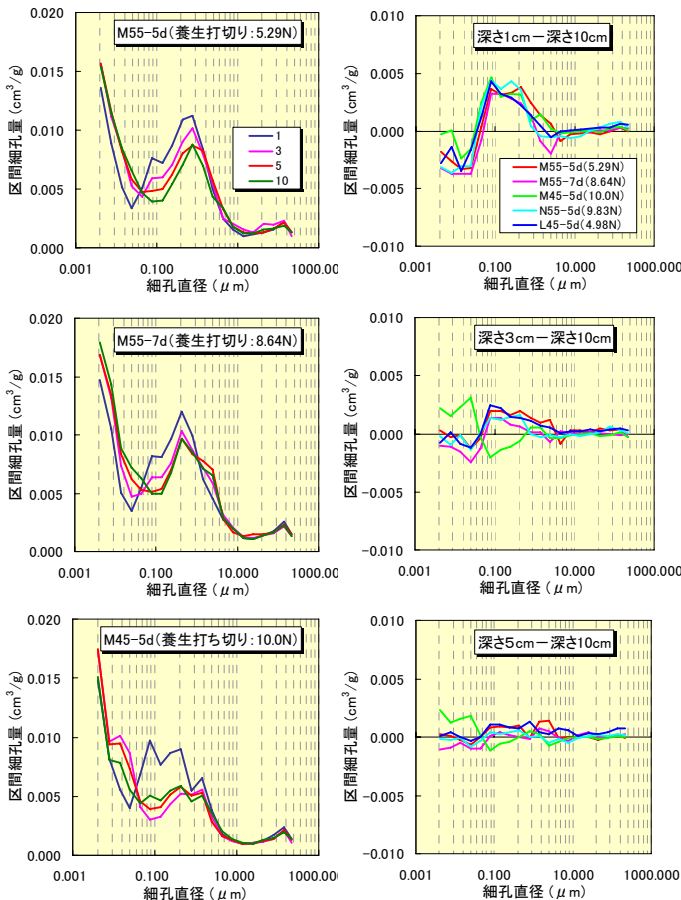


図20 細孔径分布測定結果

図21 深度10cmに対する細孔分布の差異

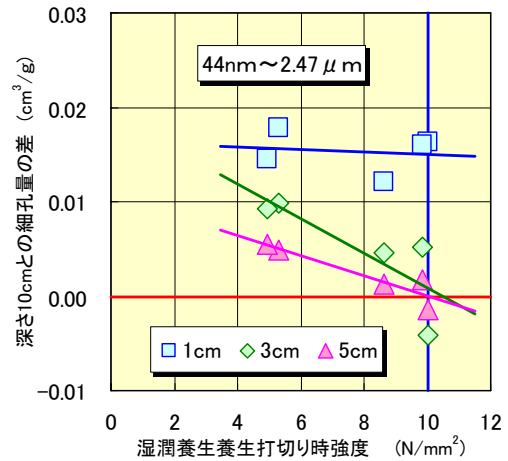


図22 湿潤養生打ち切り強度と深度10cmとの細孔量の差異の関係

なお、図23には前掲の促進中性化試験結果と細孔量の関係を示した。郭らの研究[4]で報告されているように、中性化深さは50nm以上の細孔量や総細孔量と高い相関が認められた。

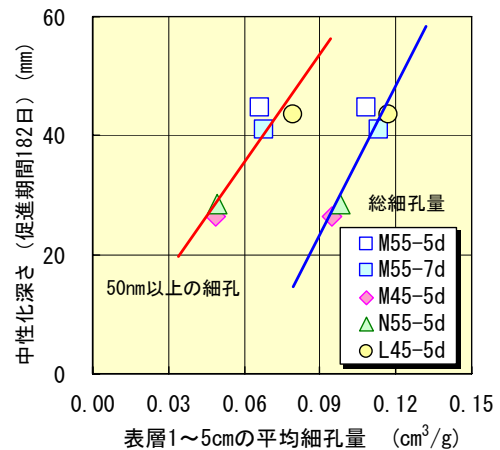


図23 細孔量と中性化深さの関係

#### 4. まとめ

各種セメントの圧縮強度を指標とした初期湿潤養生に関する実験結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 圧縮強度が「概ね10N/mm<sup>2</sup>に到達」したことを確認してから湿潤養生を打ち切れば、所定の構造体コンクリート強度を確保できる。
- 2) 壁模擬試験体の乾燥状況を再現した「上下開放円柱供試体」を用いることで、構造体コンクリート強度を合理的に管理できる。
- 3) 積算養生温度で若材齢時のコンクリート強度を精度高く推定できることから、圧縮強度の代替として積算温度で湿潤養生打ち切り時期の管理

が可能である。

- 4) 湿潤養生打ち切り時期が早いほど、コンクリート乾燥面に近いほど、壁模擬部材の含水率は小さな値で推移する。
- 5) 壁模擬部材内の含水率分布に及ぼす影響が小さくなる湿潤養生打ち切り強度は、試験時期やセメント種別に係らず概ね $10\text{N}/\text{mm}^2$ である。
- 6) 湿潤養生打ち切り時期が早期である程、質量変化の割合は大きくなるが、その傾向は部材厚さが $5\text{cm}$ より薄い場合に顕著で、それより厚い場合には影響は小さい。
- 7) 湿潤養生打ち切り時期や湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響は確認されなかった。
- 8) 湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が小さいほど中性化深さは大きくなる傾向にあるが、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度が $10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であれば中性化深さに大きな差異はない。
- 9) コンクリート表層の引張強度や仕上材としてタイルを張付けた場合の接着強度は、湿潤養生打ち切り時の強度が $10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であれば特に問題はないと思われる。
- 10) 湿潤養生打ち切り時期や、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度に関らず、コンクリート表層からの深度 $1\text{cm}$ では壁中心部よりも径の大きな細孔は増加するが、湿潤養生打ち切り時の圧縮強度を $10\text{N}/\text{mm}^2$ 確保すれば深度 $3\text{cm}$ 以深の細孔量分布は壁の中心部とほぼ同程度となる。
- 11) コンクリートの打ち切り時強度は $50\text{nm}$ 以上の細孔量や総細孔量へ影響を及ぼし、中性化抵抗性と密接な関係があると考えられる。

以上、中庸熱ポルトランドセメントや低熱ポルトランドセメントを用いたコンクリートにおいても、普通ポルトランドセメントと同様に、圧縮強度が $10\text{N}/\text{mm}^2$ に到達したことを確認した後に湿潤養生を打ち切れば、所要の強度や耐久性を確保できると考えられる。しかし、コンクリート中の含水率と圧縮強度の関係や、含水率と表層品質の関係等、各試験値相互の関連性については、今後の検討課題としたい。

## 謝辞

本実験は養生方法研究会（安藤建設(株)、大木建設(株)、西武建設(株)、(株) 銭高組、大末建設

(株)、鉄建建設(株)、東亜建設工業(株)、東洋建設(株)、(株)長谷工コーポレーション、三井住友建設(株)の計10社)で行ったものであり、宇都宮大学工学部教授柘田佳寛先生の御指導を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 和泉他：せき板の存置期間および初期養生が構造体コンクリートの品質に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.449, 1993.7
- [2] 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5鉄筋コンクリート工事 2003
- [3] 安部他：各種セメントを用いたコンクリートの合理的な湿潤養生期間に関する実験品（その9含水率計の校正試験結果）、日本建築学会学術講演梗概集,2007年、A-1分冊、pp.607～608
- [4] 郭他：養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価、土木学会論文集、No.718/V-57,pp.57-69, 2002.11