

# 論文 非接触変位計による若材齢コンクリートの熱膨張係数の計測

小澤 満津雄\*1・金 鴻勝\*2・島崎 磐\*3・森本 博昭\*4

**要旨**：本研究では、非接触変位計（ギャップセンサー）を用いて極若材齢期からのコンクリートの熱膨張係数の計測を行った。また、凝結試験を同時に行い、凝結時間と熱膨張係数の経時変化との関係も検討した。その結果、本計測装置を用いることによりコンクリートの打設直後からの熱膨張係数の性状を明らかにすることができた。また、凝結試験結果から、若材齢の熱膨張係数はコンクリートの始発から終結に至る凝結段階で大きく変化することが明らかとなった。

**キーワード**：熱膨張係数, 非接触変位計, 若材齢コンクリート, 凝結

## 1. はじめに

コンクリート構造物の初期欠陥（ひび割れ）の原因として、自己収縮、乾燥収縮およびセメントの水和熱による温度応力等の体積変化による初期応力が挙げられる。これらの応力を精度よく推定解析するためには、応力の発現性状にかかわるコンクリートの諸物性を把握し、これらを的確に評価する必要がある。コンクリートの水和熱による温度応力の発現性状は、セメントの水和発熱、拘束状態、コンクリートの性状などに影響を受ける。コンクリート物性のうち、熱膨張係数は骨材の岩質、骨材量、材齢、配合および含水量などにより変化する。コンクリートの熱膨張係数は大略  $6\sim 13 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  の範囲であるが、一般的には  $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  が解析で用いられている<sup>1)</sup>。しかし、若材齢期のコンクリ

ートは凝結から硬化に至る過程でその性状が大きく変化するため、これにともない熱膨張係数も打設直後から大きく変化すると考えられる。従って、より精度の高い温度応力解析を行うためには、熱膨張係数の材齢に伴う変化を把握しておく必要がある。そこで、本研究では、高強度コンクリートを対象として非接触変位計（ギャップセンサー）を用い、極若材齢期からのコンクリートの熱膨張係数を計測するとともに、同一バッチから採取したモルタルの凝結試験を実施し、凝結の進行と熱膨張係数の経時変化との関係について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 配合

本研究で用いたコンクリートの示方配合を表-1に示す。コンクリートの種類は、高強度

表-1 示方配合

W/C	s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G* <sup>1</sup>	Ad* <sup>2</sup>
30	44.2	132	440	840	1060	22

\*1 : Gmax 25mm \*2 : 高性能 AE 減水剤

\*1 岐阜大学助手 工学部土木工学科 工修 (正会員)  
 \*2 岐阜大学大学院 土木工学専攻 (非会員)  
 \*3 岐阜工業高等専門学校教授 環境都市工学科 (正会員)  
 \*4 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

表-2 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度試験結果

NO.	スランブ(cm)	空気量(%)	練り上がり温度(°C)	28日強度(N/mm <sup>2</sup> )
1	17.8	1.45	18.0	79.4
2	19.7	1.80	14.0	76.1
3	22.9	1.80	13.0	74.0

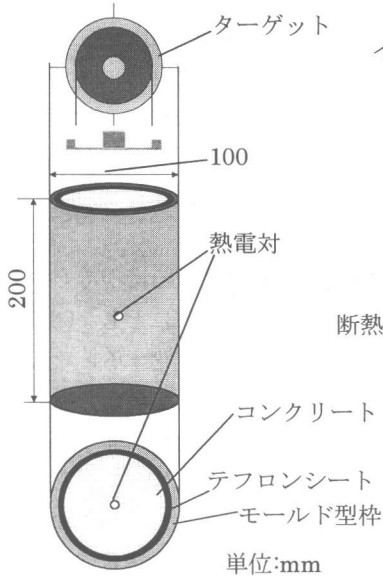


図-1 供試体寸法

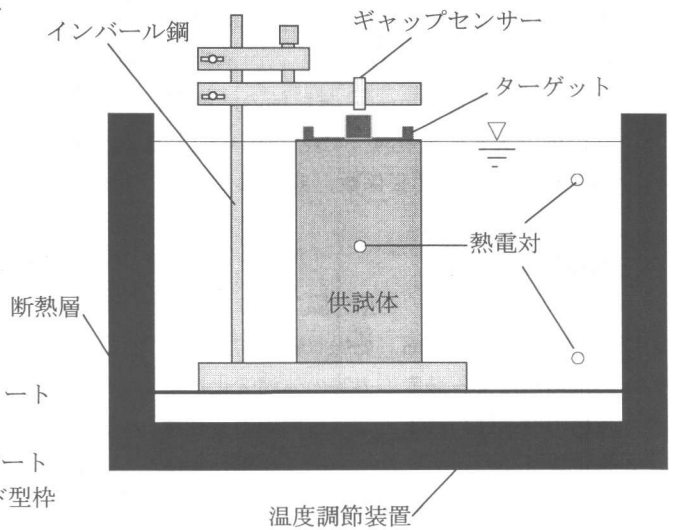


図-2 熱膨張係数計測装置

コンクリートとした。セメントは普通セメントを用いた。水セメント比は30%とした。骨材は、長良川産骨材（比重2.60）を用いた。粗骨材の最大寸法は25mmとした。混和剤は高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系と架橋ポリマーの複合体）を使用した。供試体はバッチごとに1体、合計3体作製した。表-2にフレッシュコンクリートの性状と28日強度を合わせて示す。

## 2.2 計測方法

本研究で用いた供試体の寸法および熱膨張係数計測装置を図-1~2に示す。供試体寸法はφ100×200mmとし、薄厚の鋼製のモールド型枠(厚さ0.3mm)を用いた。コンクリートと型枠との間に、摩擦をなくすためにテフロンシート

を配置した。コンクリート打設後、供試体上面に鋼製のターゲットを配置した。本計測装置はインバール鋼(熱膨張係数： $0.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )製測定台に供試体を配置し、非接触変位計（ギャップセンサー：精度1/1000mm）を用いて供試体に温度変化を与えた時の供試体端面の変位を計測することにより、打設直後の初期材齢からの熱膨張係数の計測を可能とするものである。温度制御は液圧式自動温度調節器および水循環ポンプを備えた内径300×400mmの試験用水槽を用いた。温度昇降パターンを図-3に示す。供試体に与える温度変化量は20°Cから25°Cの5°Cとした。図に示すように、供試体の温度履歴は、[20°Cから25°Cに5°C上昇(90min.)]→[25°C一定(90min.)]→[25°Cから20°Cへ5°C下降

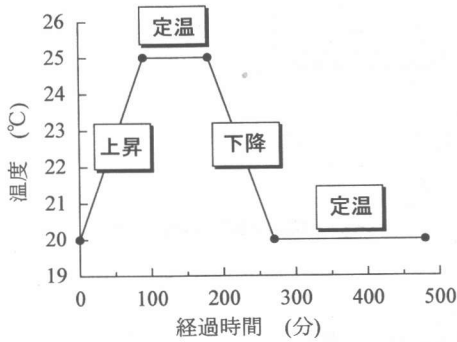


図-3 温度昇降パターン

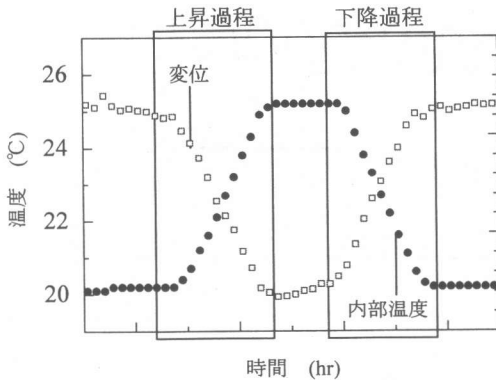


図-5 供試体内部温度と供試体変位の経時変化

(90min.)]→[20°C一定(210min.)]を1サイクルとした。計測は1日3サイクルで7日間実施した。温度昇降パターンは、予備実験より内部温度が水温の変化に追従できること、および装置の能力などを考慮して決定した。また、予備試験より、打設直後にターゲットを供試体上面に配置するとターゲットの自重によってターゲットが沈下するので、変位計測はターゲットの沈下が落ち着くのを待ってから開始した。変位の計測インターバルを図-4に示す。インターバルは5sec.×12回(1min.)計測→8min.→5sec.×12回(1min.)計測を1セットとした。具体的な実験手順は以下のものである。コンクリートを打設後、ターゲットを供試体上面に設置し水温20°C一定の試験水槽に静置した。その後、ギャップセンサーにより、ターゲットの沈下量を計測した。ターゲットの沈下が収まった時点で、図-3の温度昇降パターンに従って、水温を変

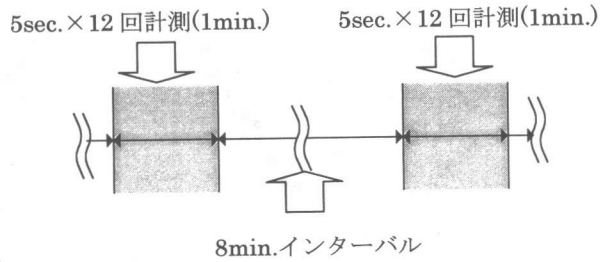


図-4 変位計測インターバル

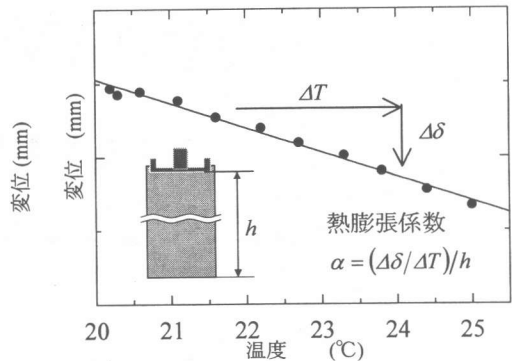


図-6 内部温度変化と供試体変位関係

化させていった。同時に図-4の計測インターバルに従い計測を行った。

### 2.3 凝結試験

供試体コンクリートの凝結過程を検討するために、JIS A 6204によるプロクター貫入抵抗試験<sup>2)</sup>を実施した。凝結試験用供試体は、練り上がったコンクリートを5mmふるいでウェットスクリーニングして採取したモルタルを用いて作成した。供試体は温度20°C一定の恒温恒湿室内に静置し、随時、貫入抵抗を測定した。

### 2.4 熱膨張係数の求め方

本研究での熱膨張係数を求める方法を以下に示す。図-5に供試体内部温度と供試体変位の経時変化の計測例を示す。図-5において、内部温度変化を上昇過程と下降過程に分ける。それぞれの領域において内部温度と供試体変位の関係を求める。図-6に内部温度変化と供試体変位関係の一例を示す。内部温度と供試体変位

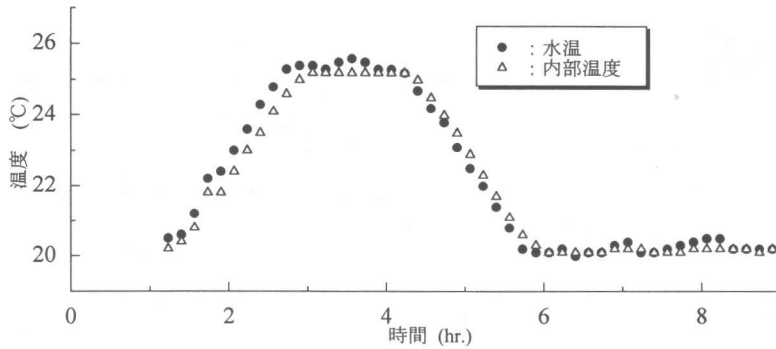


図-7 水温と供試体内部温度の変化

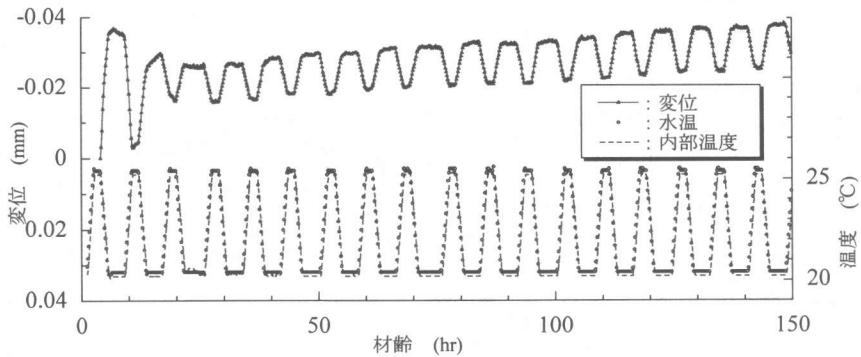


図-8 温度変化による供試体変位の経時変化

関係を最小二乗法により一次関数で表し、その傾きを得る。これを供試体底面からターゲットの底面までの高さ  $h$  で除すことにより、温度上昇過程と下降過程それぞれの中間時点における熱膨張係数  $\alpha$  を算出した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 供試体温度変化

図-7 に試験水槽内の水温と供試体内部温度の経時変化の一例を示す。図より、水温の変化に対して、供試体内部の温度は若干遅れて変化しているが、無視できる程度であり供試体の温度は水温に十分に追随していることが分かる。また、試験水槽内の上部と下部で温度差の差異はなかった。また、表面と中心の差は小さく供試体温度は、ほぼ一様に変化していることを確認している<sup>3)</sup>。

#### 3.2 供試体変位の経時変化

図-8 に温度変化による供試体変位の経時変化の一例を示す。図より、材齢 20hr. までは温度変化に伴う変位の変動量が大きいことが分かる。材齢 20hr. 以降は、温度変化に伴う変位の変動量は一定値に安定していることがわかる。また、材齢の進行とともに変位計測値が全体的に右肩上がりに増加（収縮方向にシフト）する傾向が見られた。これは、コンクリートの自己収縮の影響によるものと考えられる。

#### 3.3 凝結試験結果

図-9 に本研究で用いた高強度コンクリートの凝結試験結果を示す。図から、いずれの供試体も、材齢 4hr. 程度で始発に相当する貫入抵抗値  $3.5\text{N/mm}^2$  を示した。その後、材齢 10hr. までは凝結遅延がみられるが、それ以降は急激に貫入抵抗は増加し、材齢 15~16hr. で終結に相当する貫入抵抗  $28.0\text{N/mm}^2$  を得た。本研究で用いた高強度コンクリートは、高性能 AE 減水剤の添

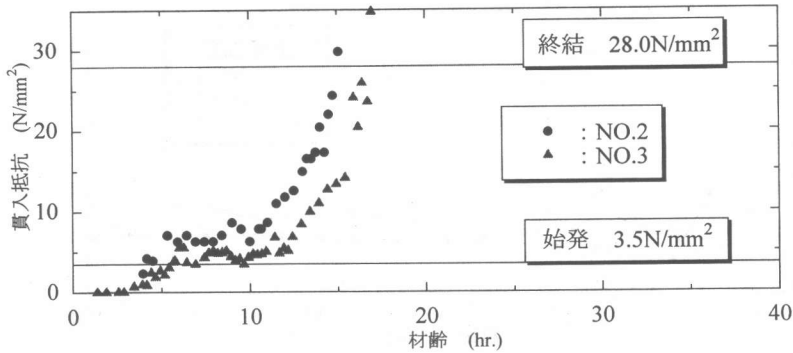


図-9 凝結試験結果

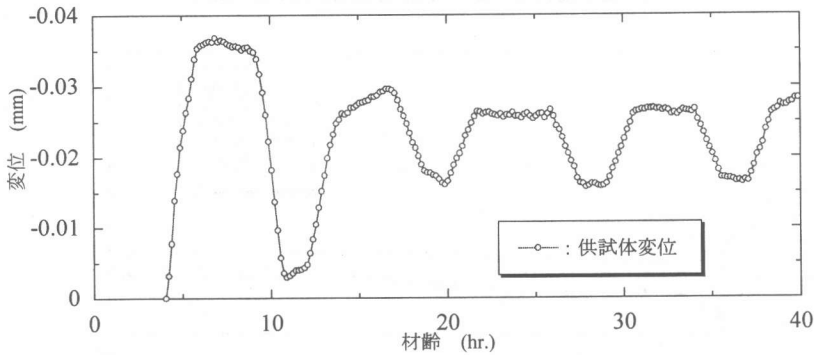


図-10 供試体変位の経時変化 (NO. 3)

加量がセメント量の 5%と通常の使用より多いために、凝結遅延を起こしたと思われる。

### 3.4 供試体熱変位と凝結時間

材齢 40hr.までの供試体変位の経時変化を図-10に示す。図-9と比較すると、温度変化に対する供試体の変位量が大きい材齢 20hr.までの期間は、凝結試験における始発から終結までの時期に相当することが分かる。このことは、コンクリートが流動性を失って硬化体に変化していく過程で組織構造がまだ脆弱なため、大きな熱膨張係数 ( $207 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) をもつコンクリート中の水の影響が顕著に表れたものと考えられる。凝結が終了した材齢 20hr.以降は、温度昇降による変位量はほぼ一定値を示す。

### 3.5 熱膨張係数の経時変化

図-11~12 に温度上昇過程および温度下降過程における熱膨張係数の経時変化を示す。温度上昇過程における熱膨張係数は、試験開始直後の材齢 10hr.程度で最も大きく、20~30 ×

$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度の値となっている。その後、凝結の進行に伴い急激に減少し、終結後の材齢 20hr.以降は  $6 \sim 15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度の範囲に収束している。温度下降過程においても材齢 10hr.付近で  $20 \sim 40 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度と大きい値を示すが、材齢 20hr.位から  $6 \sim 15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度の一定値に収束していることがわかる。温度上昇過程および温度下降過程ともに、熱膨張係数が材齢 20hr.付近で極小値を示す場合があった。これは、セメントの水和反応による収縮と温度変化による供試体の伸縮の相互作用による影響とも考えられるが、さらに検討が必要である。硬化の初期において熱膨張係数が大きくなる現象については、使用材料、特に水の熱膨張の影響が大きく現れるためであり、終結以降は、材料が一体化して硬化コンクリートとしての熱膨張特性を示すためであると考えられる。類似の現象については、いくつかの報告がなされている<sup>3)4)5)</sup>。

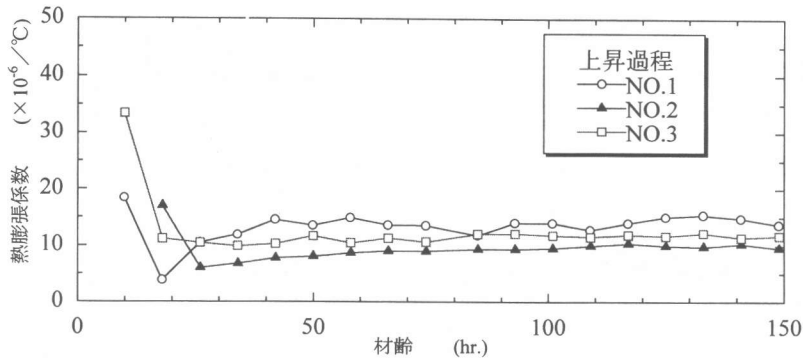


図-11 温度上昇過程における熱膨張係数の経時変化

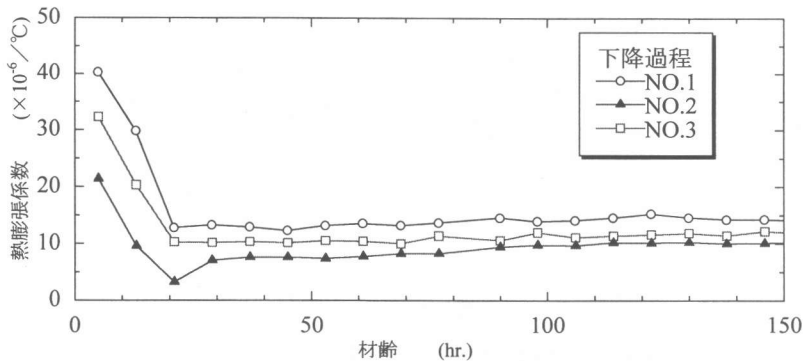


図-12 温度下降過程における熱膨張係数の経時変化

#### 4. まとめ

本研究のまとめを以下に示す。

- 1) 非接触変位計を用いて一定 (5°C) の繰り返し温度変化を与えた時の供試体の軸方向変位を計測することにより、打設直後からのコンクリートの熱膨張係数を連続的に計測することが可能であることを示した。
- 2) 始発以降の測定範囲内では、コンクリートの熱膨張係数は凝結過程において大きく変化する。すなわち、始発の貫入抵抗を示す材齢 10hr. 付近で最大となり、その後は凝結の進行に伴い急激に減少し、終結以降の材齢 20hr. ではほぼ一定値を示した。
- 3) 本研究で用いた高強度コンクリートの熱膨張係数は材齢 10hr で  $20\sim 30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度であり、材齢 20hr. 以降は  $6\sim 15 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  程度の値に収束した。

#### 【参考文献】

- 1) 川口徹：コンクリートの熱膨張係数に関する既往の研究成果について、マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集, pp.15-18, 1982.2
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧, 技報堂, pp.215-219, 1996.2
- 3) 国森亮平ほか：若材齢コンクリートの熱膨張係数に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.2, pp.1033-1038, No.2, 2000.6
- 4) 丁海文ほか：高強度コンクリートの線膨張係数に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.2, pp.955-960, No.2, 2000.6
- 5) 揚揚, 佐藤良一, 田澤栄一：硬化過程にある高強度コンクリートの線膨張係数測定方法の一提案, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.2, pp.961-966, No.2, 2000.6