

# Some Measurements of the Temperature and Strains in a Massive Concrete Structure

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: Kawamura, Mitsunori, Hasaba, Shigemasa, Koizumi, Toru, Torii, Kazuyuki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00011707">https://doi.org/10.24517/00011707</a>

## マスコンクリート中の温度とひずみについて

川村 満紀\* 栫場 重正\*\* 小泉 徹\*\*\* 鳥居 和之\*\*

### Some Measurements of the Temperature and Strains in a Massive Concrete Structure

by

Mitsunori KAWAMURA, Shigemasa HASABA, Toru KOIZUMI and Kazuyuki TORII

#### Abstract

Recently, relatively massive concrete has been placed in the construction of the reservoir for waterworks. It has been frequently reported that the cracks in the vertical direction occurred in the mass concrete. The cracks may mainly be caused by the thermal stresses arising from the restraint of the contraction of concrete at the heat dissipation. The measurements of the temperature and strains in a massive concrete reservoir were carried out to reveal the effect of the temperature rise on the tensile stresses induced on the surface of the concrete structure, giving the fundamental data for the control of cracking in massive concrete. The major conclusions obtained are as follows:

- (1) The temperatures reach maxima 14 to 23 hours after placement of concrete, the maximum temperatures ranging from 20°C to 25°C in the massive concrete investigated here.
- (2) The extensometers embedded in the various positions show the ultimate tensile strains smaller than  $50 \times 10^{-6}$  in the concrete structure in which any crack does not occur.
- (3) It is found that the tensile stresses on the surface calculated using the strains measured were so small that the mass concrete did not crack.

#### 1. ま え が き

鉄筋コンクリート造の配水池が多く建造されているが、貯水槽壁体コンクリートの水和熱による温度応力および乾燥収縮に起因すると考えられる鉛直方向のひびわれの発生例が報告されている<sup>1),2),3)</sup>。昭和51年10月～11月に建造された金沢市若松配水池のコンクリート壁体においても鉛直方向のひびわれが発生した。このひびわれ発生の原因について不同沈下、温度応力および乾燥収縮応力等多方面からの検討がなされたが決定的な結論を得るまでには至らなかった。その後、金沢市大桑配水池における同様なコンクリート壁体が建設されるに際し、若松配水池のコンクリート壁体におけるひびわれ発生の原因を再検討し、今後の設計、施工上の基礎資料をうるために、鉄筋コンクリート壁体部分

\* 複合材料応用研究センター \*\* 土木工学科 \*\*\* 石川工業高等専門学校

のコンクリート打設直後より壁体表面から各深さにおけるコンクリート内部の温度およびひずみの測定を行なった。本論文は一般に複雑な挙動を示す現場のコンクリート壁体中の温度およびコンクリート打設後初期における温度変化に起因するひずみを測定することによってマスコンクリートの温度ひびわれ発生の機構およびひびわれ制御対策について一考察を加えたものである。

## 2. 配水池の概要

すでにコンクリートの打設、硬化が完了した基礎スラブ、フーチングの上に図1に示すブロック①の壁、柱およびスラブのコンクリート打設が行なわれた。コンクリート打設は昭和52年12月20日午前8時30分より午後7時までの10時間半にわたって連続して行い、1リフトで打ち上げた。コンクリートの使用材料および配合は表1および表2に示す通りである。また、コンクリート硬化時の水和熱を低減させるために混和材ベトンAが使用されている。

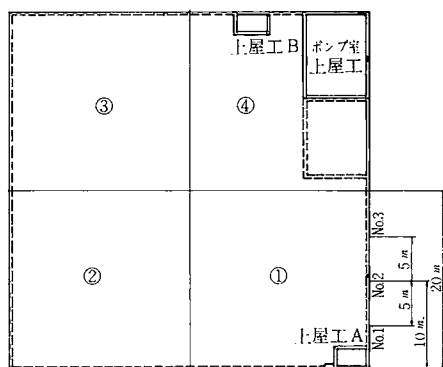


図1 大桑貯水池平面図

表1 使用材料の物理的性質

セメントの比重	3.17
粗骨材の比重	2.62
細骨材の比重	2.59
粗骨材のFM	6.90
細骨材のFM	2.70
砕石混入率	65%

表2 使用コンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	目標ス ランプ (cm)	空気量 (%)	水・セメ ント比 W/C (%)	細骨材 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混 和 材 料	
									混和材	混和剤
25	12	4	56	46	165	295	847	1009	12	0.74

## 3. コンクリート壁体中の温度およびひずみ測定法

図1に示す断面 No.1, No.2 および No.3 におけるコンクリート壁体中の温度およびひずみを測定するためにカールソン型ひずみ計22個、カールソン型温度計5個を図2に示すように側壁下部、中央部および上部に埋め込んだ。カールソン型ひずみ計および温度計の埋め込み位置はコンクリート壁体の内側および外側表面より深さ5cmと断面中心線上である。コンクリートの温度とひずみの測定はコンクリート打設直後より6時間までは1時間ごと、その後12時間は2時間ごと、打設後18時間から30時間までは再び1時間ごとに行なった。その後は長期(6ヶ月)にわたって定期的に測定を行なった。

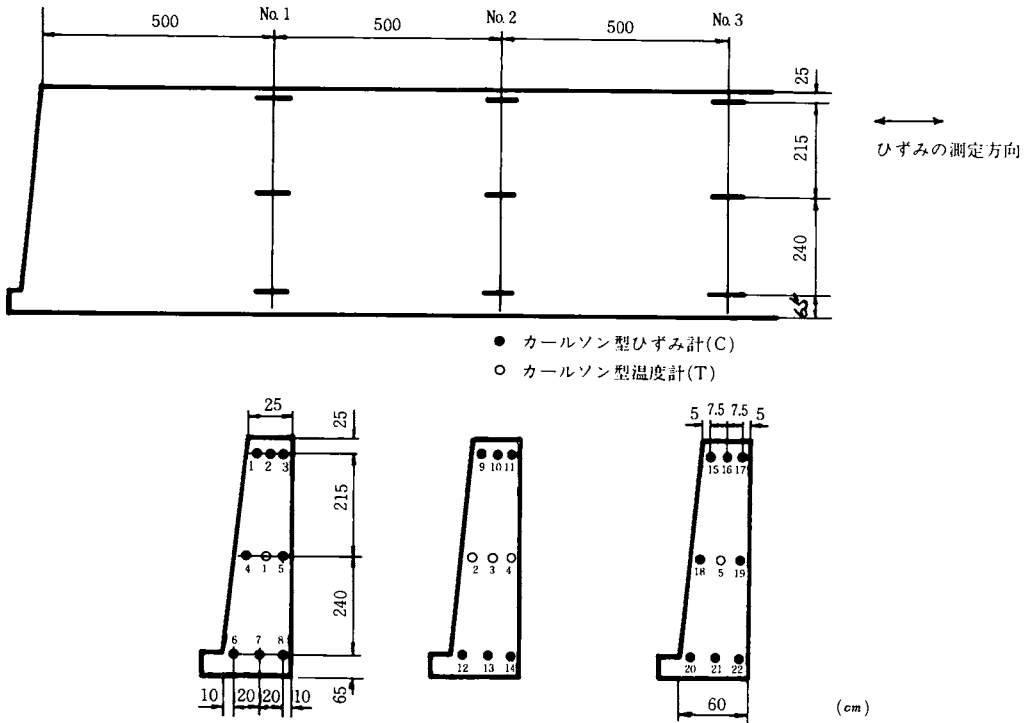


図2 カールソン型温度計およびひずみ計の埋め込み位置

型枠はずしはコンクリート打設後6日目に行われ、脱型後1日間は1時間ごとにひずみおよび温度測定を実施した。このようなコンクリート壁体中の温度測定に加えて、型枠の表面温度（脱型後はコンクリートの表面温度）および外気温を測定した。

#### 4. 測定結果と考察

##### (1) 温度測定結果

マスコンクリート中に埋め込まれたカールソン型温度計によって測定された温度および外気温の時間ともなう変化状況を示すと図3および図4のようである。図3より明らかなようにT-4を除いてすべての温度計はほとんど同様な温度変化を示す。T-4は外気に接する表面より最も近い位置にあり、外気温の影響のためにピーク時に他のものより2℃程度小さくなっている。また図-3より、セメントの水和熱発生にもなると、コンクリート温度は上昇し続け、コンクリート打設後18時間において最大値を示し、その後低下することがわかる。最高は平均約24.3℃であり、コンクリートの打込時の温度（平均14.9℃）との差は9.4℃である。最高温度時の外気温は6.1℃でありそのときのコンクリート温度との差は18.2℃である。

カールソン型ひずみ計によって測定された最高温度および最高温度に達する時間は表3に示す通りである。最高温度に達する時間は温度計による測定結果とはほぼ同様である。図3に示されるように、コンクリート温度は32時間前後において打込み時の温度まで低下する。長期にわたる温度変化は図5および図6に示す通りである。

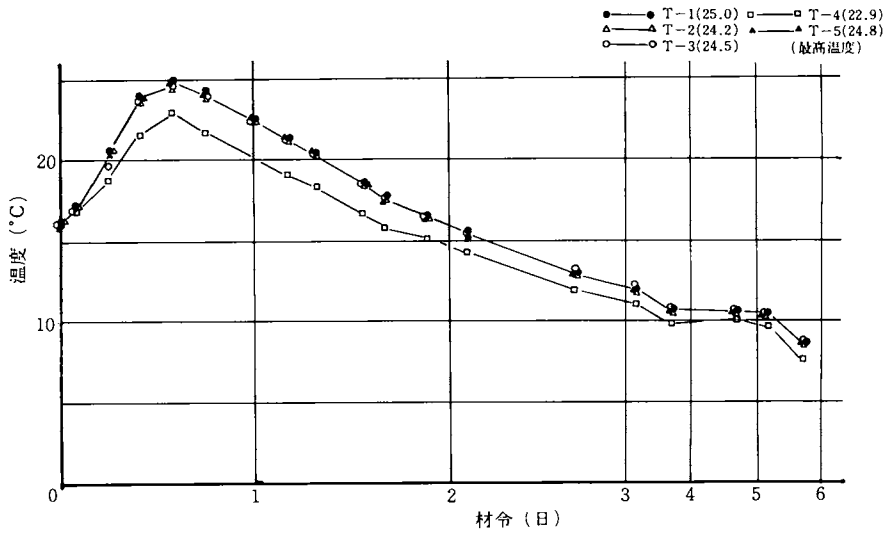


図3 壁体中の温度の変化状況 (カールソン型温度計)

表3 最高温度および最高温度に達した時間

ひずみ計番	計号	最高温度 (°C)	最高温度上昇 (°C) (注)	時間
C-1		19.6	7.3	17
C-2		19.1	6.8	15
C-3		18.7	6.4	15
C-4		22.5	10.2	17
C-5		24.6	12.3	15
C-6		22.0	9.7	19
C-7		23.8	11.5	20
C-8		18.3	6.0	19
C-9		19.8	7.5	18
C-10		19.7	7.4	17
C-11		19.6	7.3	17
C-12		22.3	10.0	20
C-13		22.5	10.2	20
C-14		19.5	9.2	18
C-15		19.4	7.1	14
C-16		20.0	7.7	14
C-17		19.9	7.6	14
C-18		24.0	11.7	18
C-19		22.4	12.3	14
C-20		21.8	9.5	23
C-21		21.4	9.1	22
C-22		18.8	6.5	21
平均		20.9	8.7	17.6

注：打設温度：12.3°C

打設中の温度範囲：12.3°～13.9°C

最高および最低気温：5°～0°C

コンクリートの温度上昇：平均8.7°C

注：最大温度上昇：打設温度と最高温度の差

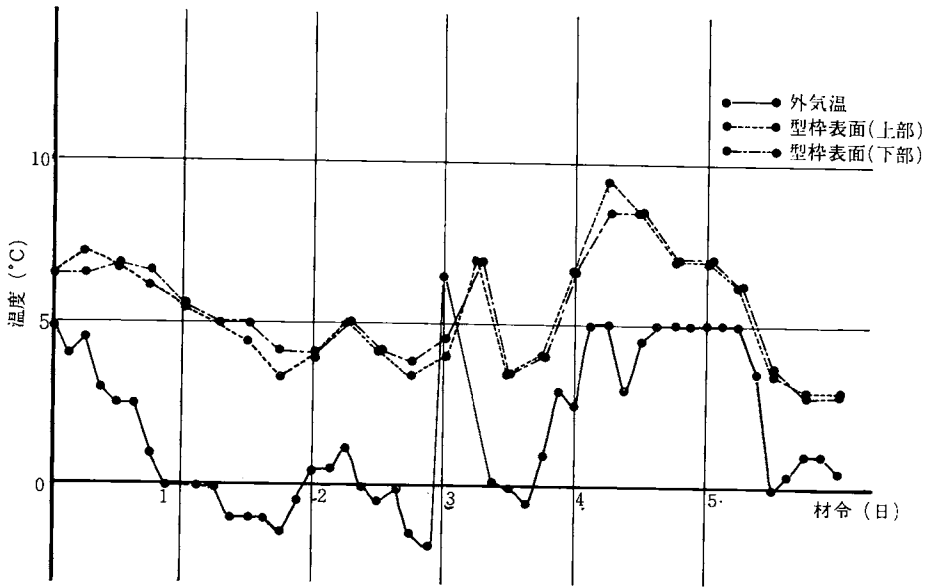


図4 気温および型枠表面の温度変化

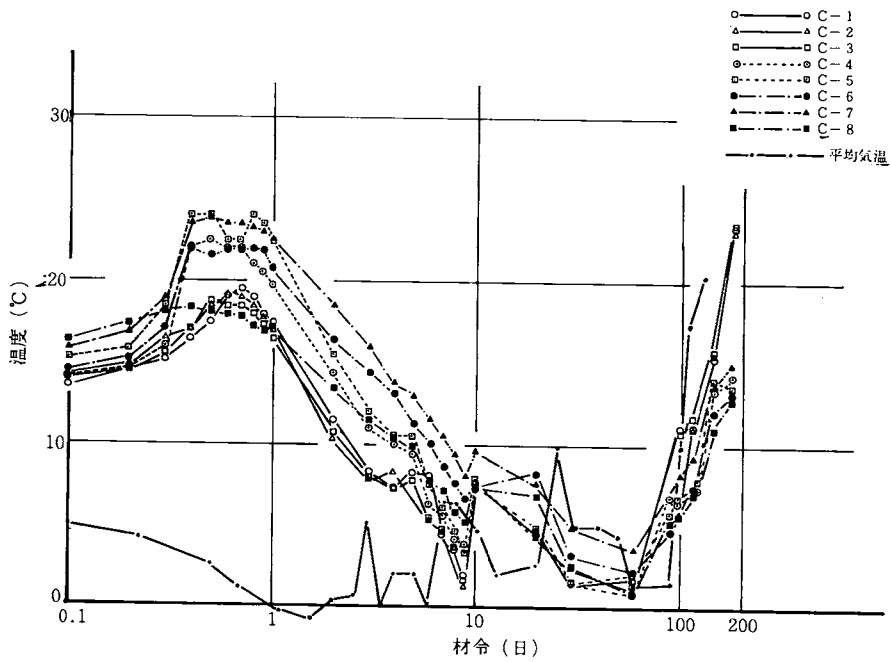


図5 壁体中の温度の変化状況 (カールソン型ひずみ計)

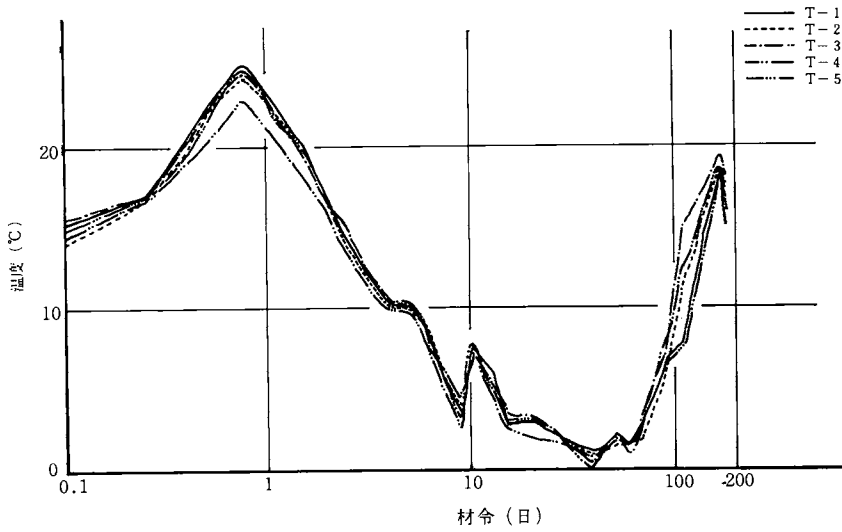


図6 壁体中の温度の変化状況 (カールソン温度計)

(2) ひずみ測定結果

6ヶ月にわたるひずみ測定結果を半対数紙上にえがくと図7, 8および9のようになる。各測定位置の間にはかなりのばらつきがみられる。このばらつきは壁体全体のコンクリート打設完了までの初期

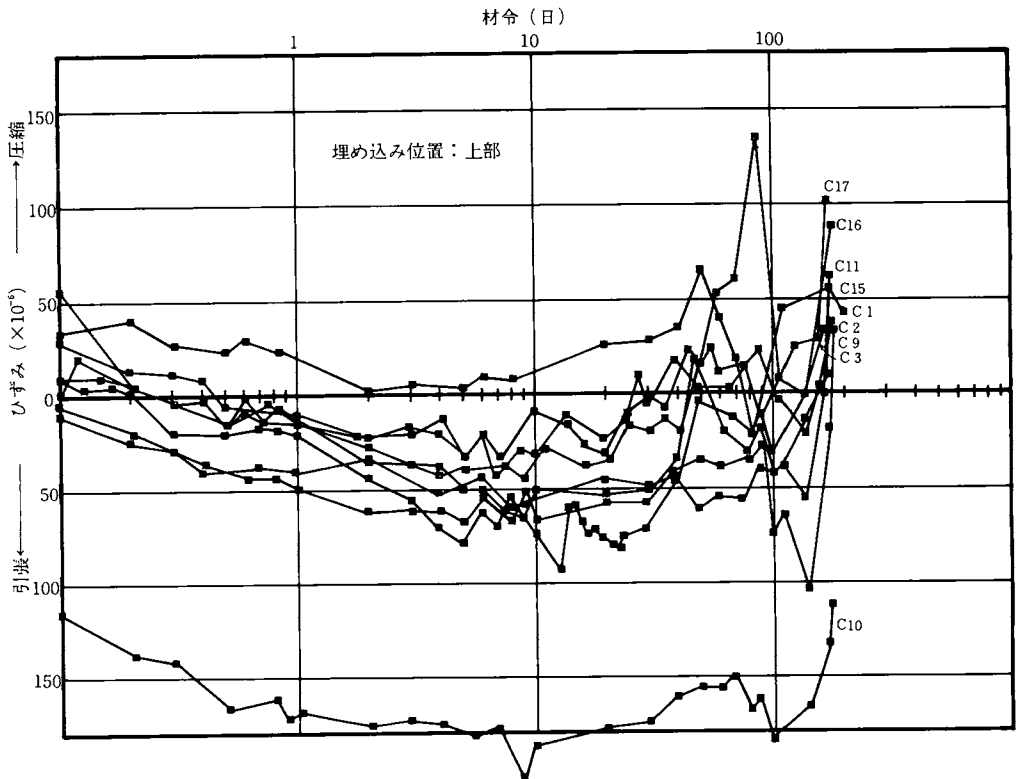


図7 壁体上部の各位置におけるひずみの発生状況

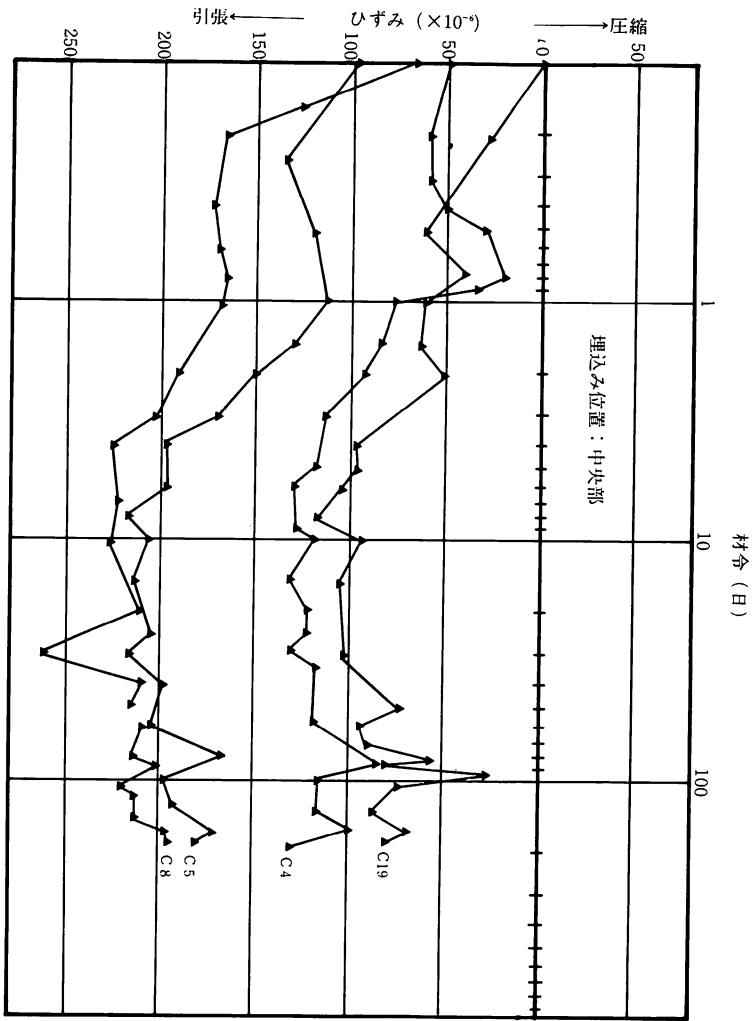


図 8 壁体中央部の各位置におけるひずみの発生状況

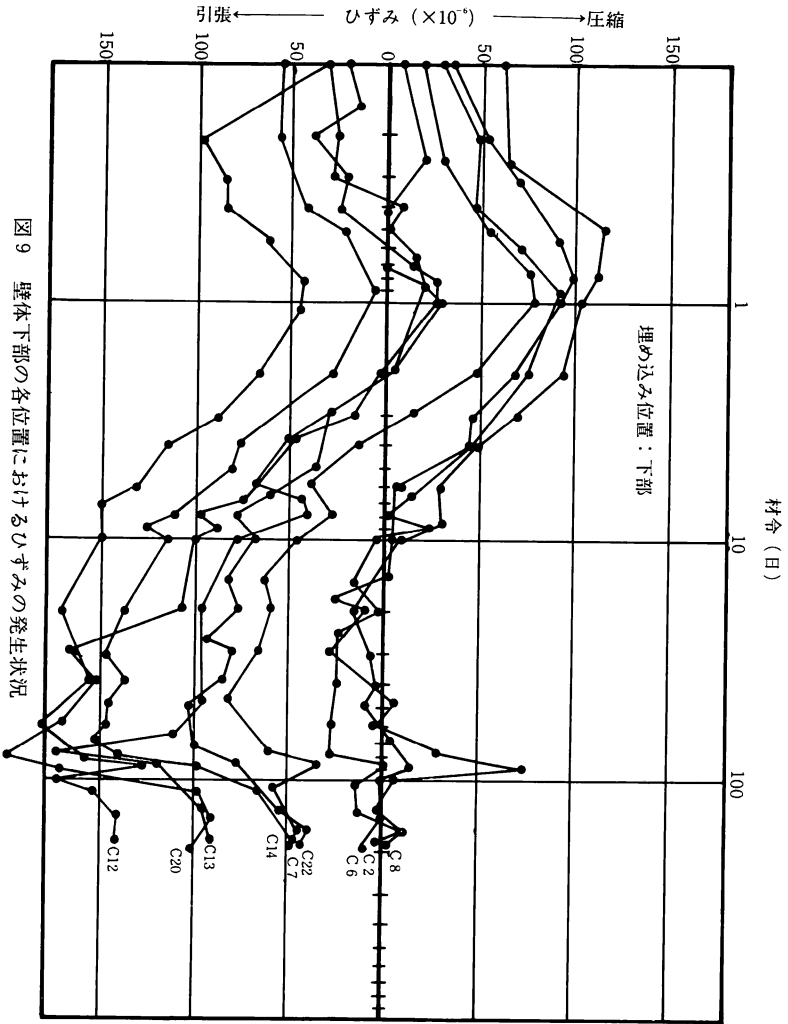


図 9 壁体下部の各位置におけるひずみの発生状況



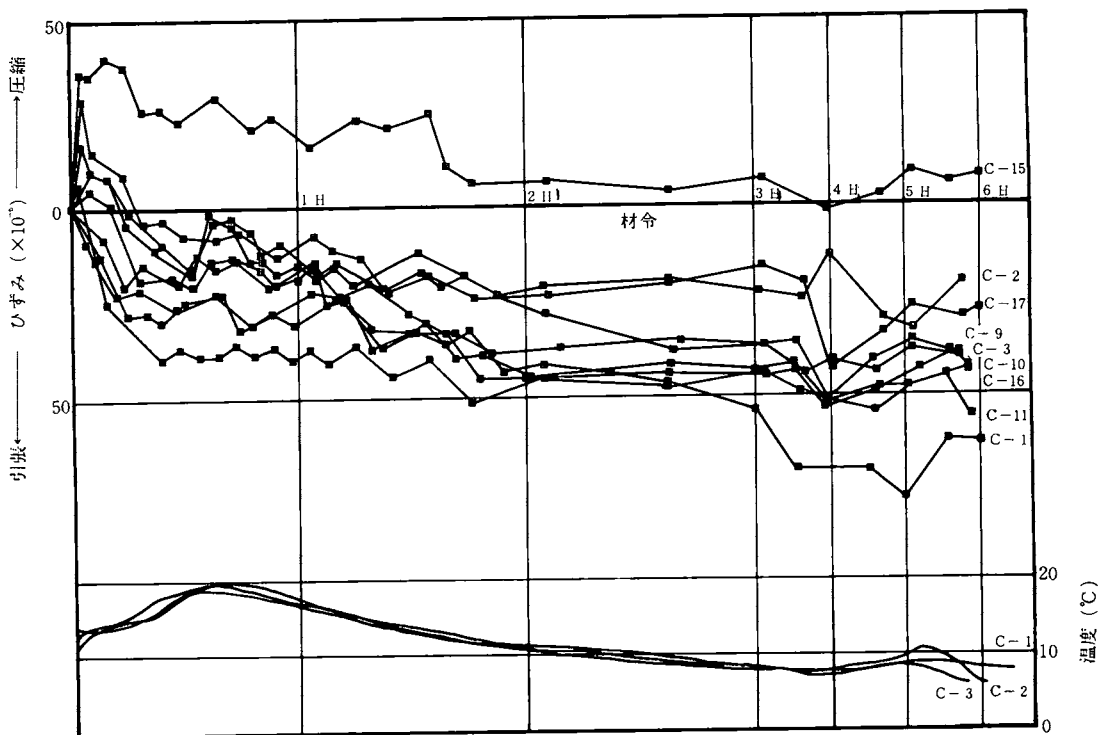


図10 壁体上部の各位置におけるひずみの発生状況

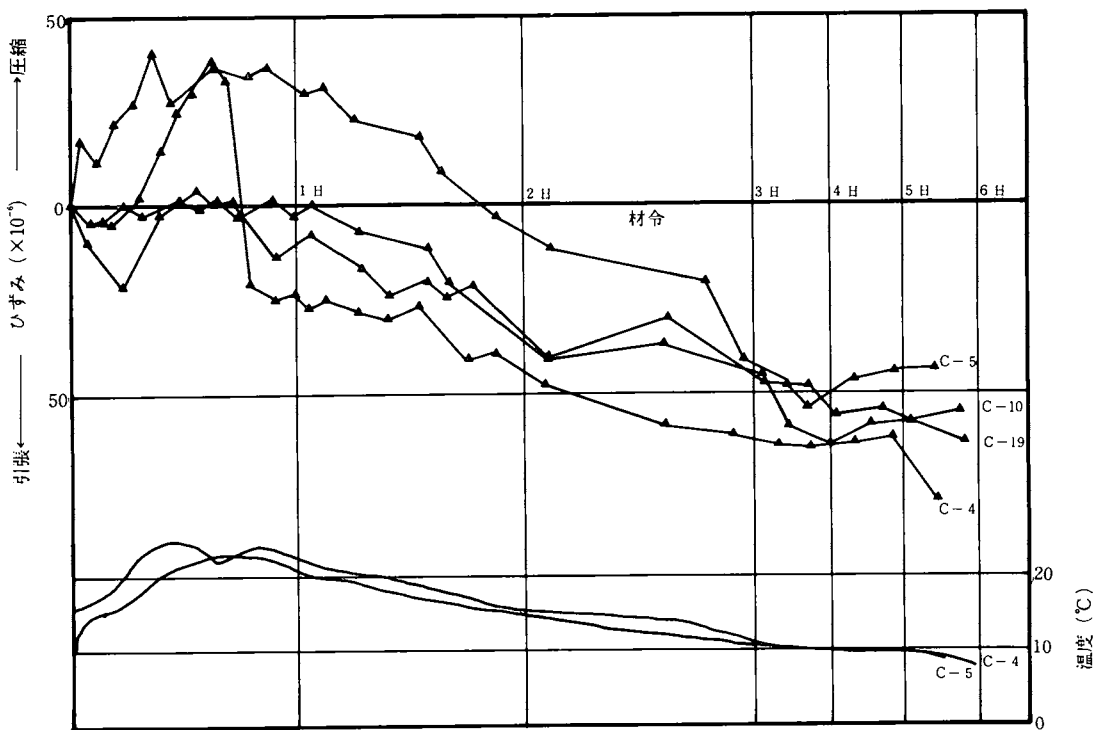


図11 壁体中央部の各位置におけるひずみの発生状況

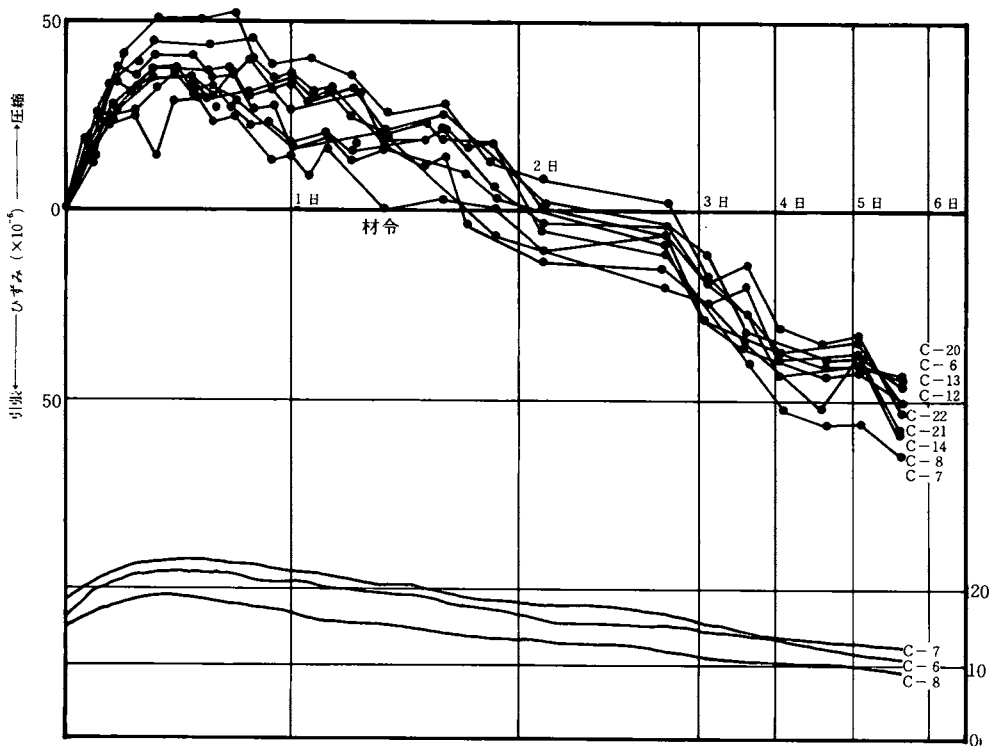


図12 壁体下部の各位置におけるひずみの発生状況

の数時間に生ずる異常に大きな引張ひずみによるものであることから判断して、コンクリート打設作業中におけるバイブレーターの振動などのために鉄筋組に荷重が作用し、2, 3のひずみ計に引張力が働いたためと考えられる。そこで、コンクリート壁体全体のコンクリート打設作業完了直後を基準にしてひずみ測定結果をえがくと図10～図12のようになる。これらの図から明らかなように、最上部に埋め込まれたひずみ計はC-15を除いてすべて(C-1, C-2, C-3, C-9, C-10, C-11, C-16, C-17)初期の数時間において小さい圧縮ひずみを示すが、その後約12時間にわたって急速に引張ひずみが生ずる。一方、最下部に位置するC-6, C-7, C-8, C-12, C-13, C-14, C-20, C-21, C-22は2日前後まで打込み時のまだ固まらない流動状態のコンクリートの静水圧の残留によるものと思われる圧縮ひずみが生じており、その後かなり急速に引張ひずみが増大する。また中央部にあるC-4, C-5, C-18, C-19のひずみは最上部と最下部のひずみ計が示すひずみ発生挙動の平均的なものとなっているようである。すなわち、比較的熱放出の容易な壁体上部においてはかなり初期より引張ひずみが発生し、中央部および下部においては水和熱による温度上昇が終了すると考えられる2日目前後より引張ひずみが生じはじめる。

### (3) ひびわれ発生に関する考察

(2)において述べたように、壁体上部、中央部、下部における引張ひずみの発生時期は異なり、壁体上部においてはかなり初期よりひびわれが発生する危険性があり、打設後2日目頃から中央部、下部へとひびわれが進展すると予測される。すでに発表されている報告によると実際にひびわれが発生した貯水池における実測例ではコンクリート打設後2～3日目における引張ひずみは $100\sim 300 \times 10^{-6}$ に達している(最高温度 $51.7^{\circ}\text{C}$ 、最低気温約 $25^{\circ}\text{C}$ 、最大温度上昇 $18.0^{\circ}\text{C}$ )。しかし、図10, 11, 12より明らかなように、本測定において発生した引張ひずみはほとんどの位置で約 $50 \times 10^{-6}$ 以下とな

り、初期の温度応力によるひびわれ発生はなかったものと考えられる。実際に、現場においてもひずみ測定期間中に壁体表面にひびわれは発見されていない。コンクリート壁体温度の低下にもなって発生する引張ひずみが小さかった原因は壁体の温度上昇が小さい（前述のように最高温度は約 20°C）ことと相まって、図 3 に示すようにコンクリート壁体からの熱放出が最も激しい時間（打設後 2 日までの間）における外気温（5°C 前後）が比較的高かったためであろう。すなわち、ひびわれ発生例<sup>1)</sup>における最高温度 51.7°C、最大温度上昇 18.0°C に対して本実測の最高温度および最大温度上昇はそれぞれ平均 20.9 および 8.7°C である。長期にわたる引張ひずみの変化は図 10, 11, 12 に示すように小さく、乾燥収縮によるひびわれ発生もなかったものと考えられる。

#### (4) 温度応力の推定

コンクリート壁体表面に生ずる引張温度力はコンクリート壁体の厚さ方向の不均一な温度分布による応力  $\sigma_1$  (式(1)) とコンクリート壁体が全体として外的に拘束されるために生ずる応力  $\sigma_2$  (式(2)) よりなる<sup>4)</sup>。

$$\sigma_1 = \frac{2}{3} E_1 \alpha \Delta T_1 \quad (1)$$

$$\sigma_2 = R E_1 \alpha \Delta T_2 \quad (2)$$

$$\sigma_t = \sigma_1 + \sigma_2 \quad (3)$$

ここで、 $\sigma_1$ ：内部拘束応力、 $\sigma_2$ ：外部拘束応力、 $E_1$ ：コンクリートのヤング係数、 $\alpha$ ：コンクリートの線膨張係数（ $=1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ）、 $\Delta T_1$ ：中心部温度と表面温度の差、 $\Delta T_2$ ：基礎との付着が生じた時点からの部材の温度変化、 $R$ ：拘束度

コンクリート打設時に採取され、現場養生されたコンクリート円柱供試体（直径 10cm、高さ 20cm）によって得られた各材令におけるヤング係数、引張強度および圧縮強度は図 13 のようである。最高温度に達したときに壁体とスラブが付着したと仮定し、 $R$  を 0.5<sup>4)</sup> として計算された  $\sigma_t$  を図 14 に示す（ただし、表面温度は形枠の表面温度である）。このように理論的に推定された温度応力  $\sigma_t$  は時間とともに増加する。つぎに、カールソン型ひずみ計により測定したひずみにヤング係数  $E_1$  を乗ずることによって得られたコンクリート壁体中の各位置における温度応力 ( $\sigma_a$ ) の時間にもなう変化状況を示すと図 14 のようである。図 14 における  $\sigma_a$  と  $\sigma_t$  を比較すると明らかなように温度より理論的に推定された  $\sigma_t$  と実測によるひずみより計算した  $\sigma_a$  の間にかなり大きな相違がみられる。このような相違はおもに式 (1)、(2) および (3) より  $\sigma_t$  を推定するにあたって用いられる 1 日、3 日の若材令における線膨張係数は実際の応力計算にあたって通常使用される  $1.0 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$  と異なることおよび式 (1) によって表わされる内部拘束応力  $\sigma_1$  はかなりの断熱性をもつ型枠の影響を考慮に入れて導かれたものではないことに起因するものと思われる。実際の発生応力により近い値をあたえらる  $\sigma_a$  は図 14 に示すようにほとんどの各材令におけるコンクリートの引張強度より小さい。さらに、コンクリート壁体表面に発生する温度応力はコンクリートのクリープの影響を考慮すると図 14 に示される  $\sigma_a$  の値よりさらに小さくなることから、本コンクリート壁体表面にはひびわれが発生する程大きな引張応力は生じなかったことが確認できる。

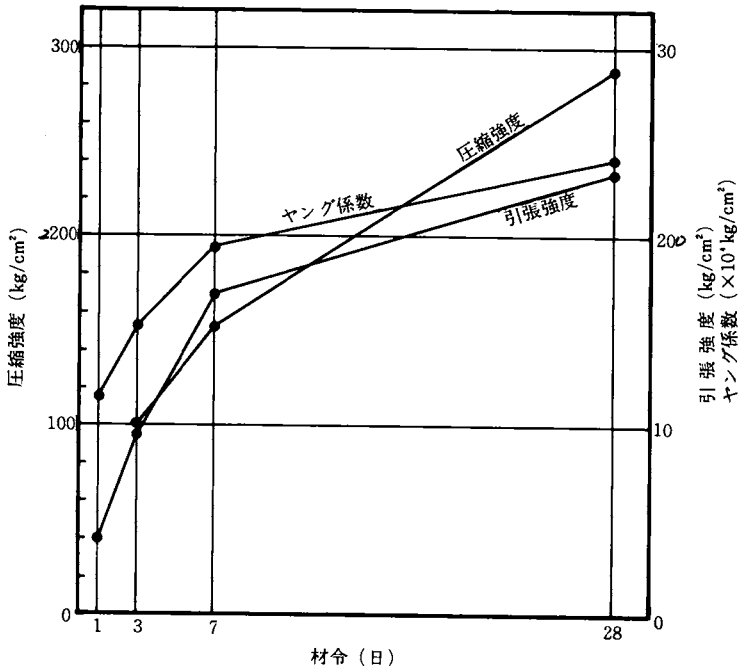


図13 現場養生したコンクリートの圧縮強度、引張強度およびヤング係数

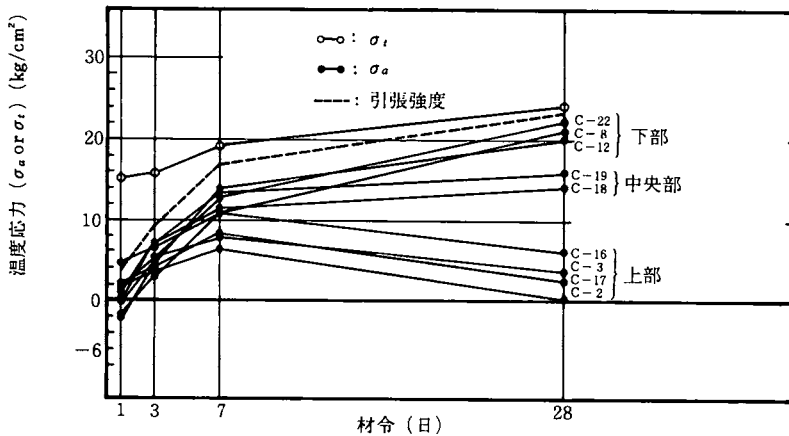


図14 材令にともなう温度応力の変化状況

(5) 若松貯水池におけるひびわれ発生原因の検討

(2)において述べたように、最上部に埋め込まれたひずみ計が示すひずみ値は引張強度が小さい24時間まで増加し続ける。この事実は温度応力によるひびわれは最高温度に達した後数時間の間に発生する確率が高いことを示す。したがって、コンクリート打設当日および翌日における気温の変化が温度応力によるひびわれ発生に大きな影響をおよぼすと考えられる。図15は若松貯水池におけるひびわれ発生個所および温度記録の結果を示す。ひびわれはNo.1およびNo.3ブロックに集中して発生している。表4は若松貯水池において使用されたコンクリートの配合を示す。表2および表4より明

表4 使用したコンクリートの配合

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	目標ス ランプ (cm)	空気量 (%)	水、セメ ント比 率 W/C (%)	細骨材 S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	12	4	47.0	39.5	160	341	715	1105	0.852

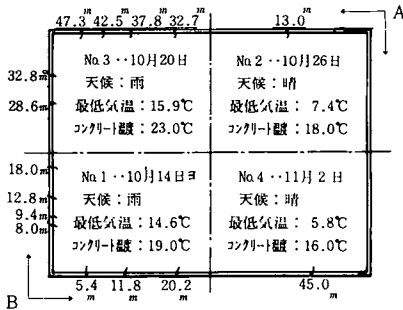


図15 ひびわれ発生箇所略図 注) ひびわれ  
上部の数字はAおよびBからの距離

らかなように、若松配水池においては本実験のコンクリートより 46kg/m<sup>3</sup> だけ大きい単位セメント量のコンクリートが打設されている。一般にコンクリートの断熱上昇温度は単位セメント量に比例して増加する。普通セメントを使用したコンクリートに対してつぎのような実験式があたえられている<sup>5)</sup>。

$$T_{\infty} = 7.8 + 0.095 W_c \quad (4)$$

ここで、 $T_{\infty}$  : 断熱上昇温度、 $W_c$  : 単位セメント量。

(4) 式を用いて計算すると、若松貯水池において使用されたコンクリートは本実験より 4.4°C 高い

断熱上昇温度を示すことがわかる。さらに、単位セメント量および気温の相違によって若松貯水池におけるコンクリートの打込み温度(約 20°C)は本実験より約 8°C 高くなっている。コンクリートの打込み温度が 20°C のときの最高上昇温度は 10°C のときよりも 5°C 程度高くなるので<sup>6)</sup>、単位セメント量と打込み温度の相違を同時に考慮すると、若松貯水池のコンクリート壁体においては、本実験より 10°C 程高い最高上昇温度に達した可能性がある。したがって、外気温の低いブロック No. 2 および No. 4 においては本実験の場合よりかなり高い引張応力が壁体表面に発生していたと推定される。しかし、かなり低い最低気温を示す日に打設された壁体 (No. 2, No. 4 ブロック) におけるひびわれは少なく、ほとんどのひびわれは雨天の比較的最低気温の高い日にコンクリート打設が行われた No. 1 および No. 3 ブロックに集中して発生している。これらの事実より判断して、若松貯水池のコンクリート壁に発生したひびわれは温度応力による可能性もないとはいえないが、一部のきれつが大きくかつ、局部的に偏在していることから考えて、基礎地盤や基礎杭などの状況より躯体に不等沈下が生じたことによって発生したものと結論づける方が妥当なようである。

### 5. ま と め

コンクリート壁体中に埋め込まれたカールソン型ひずみ計によって測定された温度およびひずみ発生履歴によると、壁体上部に埋め込まれたひずみ計は初期の数時間において小さい圧縮ひずみを示すが、その後 12 時間にわたって急速に引張ひずみが生ずる。一方、最下部に位置するひずみ計は 2 日目前後までまだ固まらない流動状態のコンクリートの打込み時の静水圧によって受けたと思われる圧縮ひずみが残留しているが、その後急速に引張ひずみが増大する。これらの結果より、コンクリート打設後 20 時間においてひびわれ発生の危険性があると考えられる。温度応力がより小さいと推定されるブロックの壁体にひびわれが集中していることから判断して、若松貯水池のコンクリート壁体にみられ

たひびわれは温度応力によるものではないと考えた方が妥当なようである。本実験によって得られたその他のおもな結果はつぎのようである。

- (1) コンクリート温度は本実験におけるコンクリート配合, 施工条件において打設後 14~23 時間において最高となり, 最高温度は 20°C~25°C の範囲にある。また, コンクリートの配合条件の異なるマスコンクリートにおける温度上昇の比較より使用セメント量はできるだけ少くする方が良いことが判明した。
- (2) 各位置に埋め込まれたひずみ計によって発生した終局引張ひずみは  $50 \times 10^{-6}$  以下であることがわかった。この程度のひずみを示すコンクリート構造物にはひびわれは生じない。
- (3) 計算によって求められた表面の引張応力はひびわれが生じない程度の小さいものであることが判明した。
- (4) 基礎面積の広いマツシブなコンクリート構造物に対しては基礎地盤, 基礎杭に対する配慮を充分に行うべきである。

終りに, 本実験を行うにあたって御助力いただいた金沢市企業局建設課および北川建設㈱に対して感謝の意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 藤井, 村尾, 大前: "鉄筋コンクリート壁のひびわれ制御に関する 2, 3 の考察", 第 32 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部, pp.255~256, 昭和 52 年 10 月。
- 2) 吉岡, 米沢, 丹原: "マスコンクリートに生じる熱拘束ひずみについて", 第 32 回土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部, pp.246~247, 昭和 52 年 10 月。
- 3) 吉岡, 米沢, 神山: "マツシブな部材中の不均一収縮によるひびわれ例", 「コンクリート構造物のひびわれに関するシンポジウム」発表報文集, pp.108~112, 昭和 52 年 3 月。
- 4) 井村, 土岐, 岡田: "マスコンクリートと膨張性セメント混和材", セメント・コンクリート, No.358, pp.20~27, Dec. 1976.
- 5) 塚山隆一: "マスコンクリートの施工", コンクリート技術の基礎 '73, 日本コンクリート会議, 1973 年 9 月。
- 6) Ross, A.D. and J.W. Bray: "The Prediction of Temperatures in Mass Concrete by Numerical Computation", Mag. of Conc. Res. Jan. 1949.

(昭和53年12月14日受理)