

固定式 PC タンクについての一考察

濱 田 純 夫†
 阿 部 宗 人*
 浜 崎 健 雄**
 長 崎 文 麿***

1. まえがき

本タンクは、沖縄県において施工された PC タンクである。周知のように沖縄県では、水事情が悪く、その対策が急がれており、多くの水タンクが建設され、また計画されている。本タンクもその対策の一環として施工されたものである。

今日まで多くの PC タンクが建設されているが、いくつかの問題点が残っており、固定式 PC タンク側壁脚部におけるひびわれの問題もそのひとつである。本タンクの施工にあたって、この問題を主としていくつかの実験を試みた。このタンクの形式、規模を下記に示す。また一般図を図-1 に示す。

- 形 式：固定式 PC タンク（ドーム型）
- 容 量：16 500 t
- 内 径：48.8 m
- 有効水深：8.84 m

2. 測定概要

よく知られているように本タンクのように底版と側壁

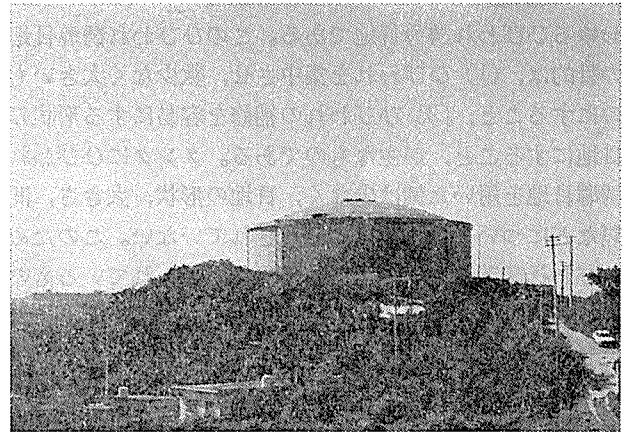


写真-1 PC タンク全景

を剛結にしたものを固定式 PC タンクという。この固定式 PC タンクは、施工の容易さという大きな利点がある一方、自然条件、施工条件によっては底版に近い側壁にひびわれ^{1),2),3)}が生じる場合がある。本タンクは貯水槽であるという性質上、ひびわれは事前に防ぐか、あるいは補修を要することになる。底版は側壁近くにおいて massive なコンクリートになっているため剛性が大きい

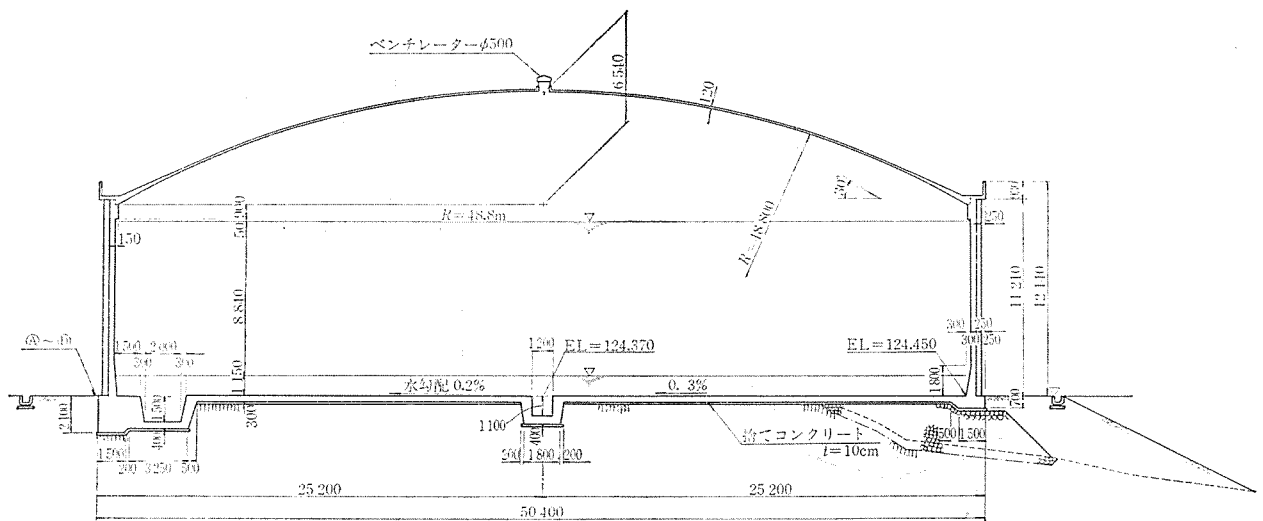


図-1 固定式 PC タンク一般図

† 琉球大学土木工学科助教授

* ピー・エス・コンクリート（株）技術部主任研究員

** ピー・エス・コンクリート（株）福岡支店

*** ピー・エス・コンクリート（株）技術部

ので側壁の収縮が拘束される。一方、側壁コンクリートの収縮を防ぐには極めて特殊なセメントを使い、さらに十分な養生を行う必要がある。このような施工は、経済性、施工性の点で非常に問題があるので、一般には発生したひびわれを補修する方法が取られている。しかしこのようなタンク側壁に発生するひびわれは不規則であり、枝状の小さいひびわれも見られるので、それらの補修は、Vカットの手間が相当かかり、また外観上も良くないものとなっている。このため、本タンクでは、ひびわれの発生を規則的に誘導するように試みた。これがいわゆるひびわれ誘導目地である。このひびわれ誘導目地の目的は、(1) ひびわれを集中させ、数少なく大きいものにする、(2) ひびわれの補修を容易にする形状の目地にする、が主なものである。タンクにひびわれ誘導目地を用いた例は少なく、目地の形状、大きさ、間隔などについては、あまり研究されていない。このためひびわれ誘導目地の寸法は建築物で用いられているものを参考にし、目地間隔は現場技術者の過去の経験を参考にし、推定計算と併せて考えた。この誘導目地に関して、種々の測定を行った。それらは、(1) コンクリートの温度変化、(2) 目地に生じるひびわれ幅、(3) コンクリートのひずみ、および(4) 材料試験である。測定(1)、(2) および(3) はコンクリート打込み直後から24時間は1~2時間、その後1~2日間隔の測定を行い、さらに(3) は、プレストレス導入時にも測定した。

上記の測定項目からもわかるように、コンクリートのひびわれに着目したものであり、このひびわれは、さらにプレストレスによりどの程度閉じるものかにも注目し

ている。もっともプレストレスを導入する以前にひびわれは補修されているので、必ずしも閉じ量そのものは大きい問題を含んではない。プレストレス導入時の応力測定は、この種のタンクでは極めて多く実施されているので^{4),5),6),7),8)} 特に大きい問題ではないが、ひびわれ幅等の測定に付随して行うことにした。

3. 測定方法および内容

前述したようにひびわれ誘導目地を図-2のように側壁第1リフトに配置し、コンクリート打込み後、コンクリートの温度変化、ひびわれ幅、ひずみについて測定を行った。これらの測定は打込み直後から始めた。特に、硬化し始めたコンクリートの性状を知るため、打込み後1~2時間毎に測定し、40時間程度続けた。その後1~2日毎に測定した。

3.1 温度測定

温度は特に打込み直後に変化が大きいと言われており、温度変化を十分測定できるように測定時間に気を配った。また、測定ゲージはコンクリート内部温度を知るため、埋込みゲージ KM-100T (東京測器) を用いた。測定箇所は図-3に示されるように、底版に1か所、側壁第1リフトに9か所、側壁第2および第3リフトにそれぞれ1か所、設けた。参考のため、外気温も測定した。

3.2 ひびわれ幅の測定

ひびわれはすべて誘導目地に生じるものと仮定し、19か所の誘導目地のうち、8か所を選んで測定した。これらはいずれも側壁第1リフトである。これらの位置を図-3に示す。ひびわれ幅は高さによっても変わると考

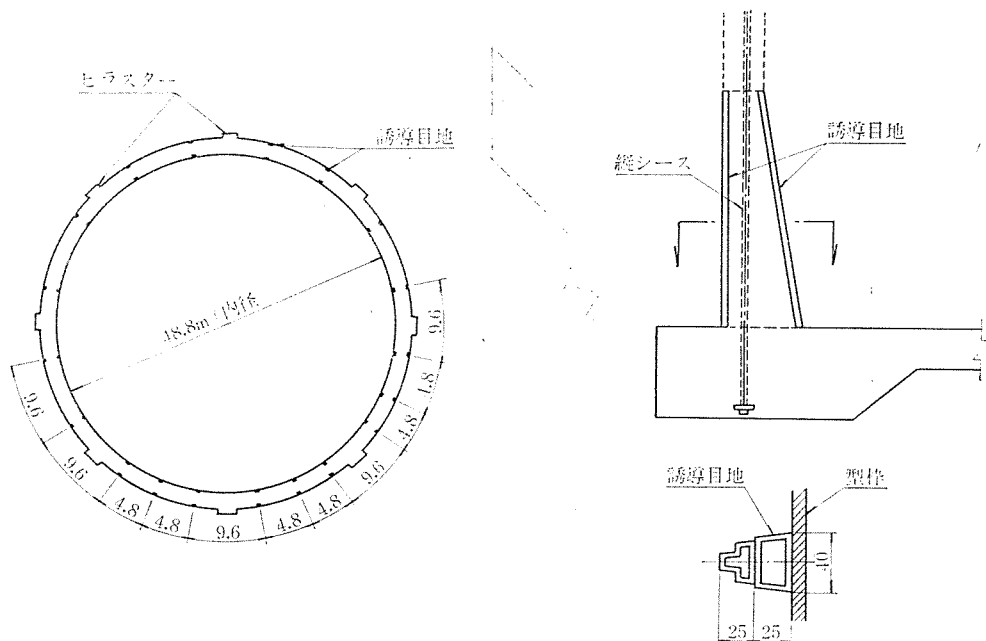


図-2 誘導目地

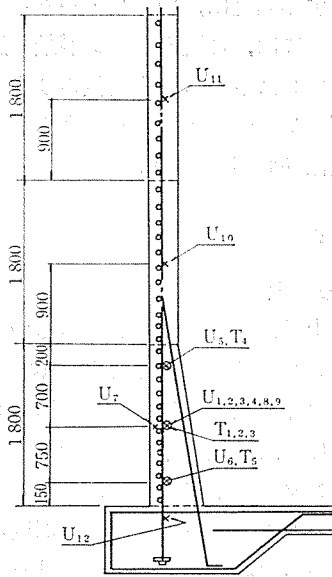
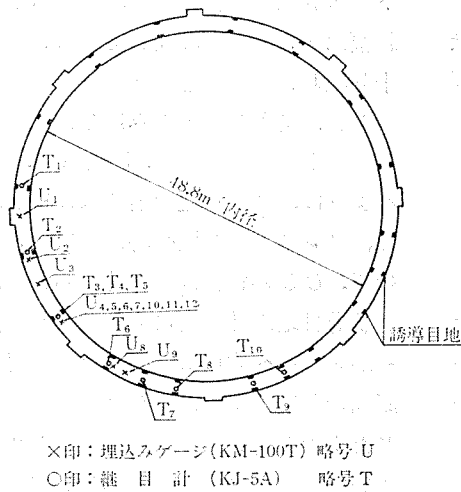


図-3 埋込みゲージ，継目計配置図

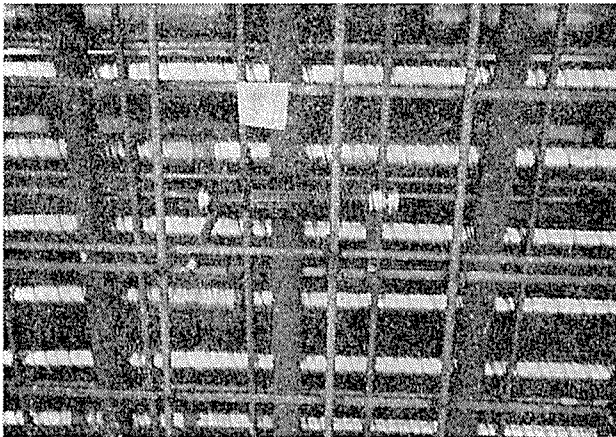


写真-2 継目計取付け状況

えられ、異なる高さの位置にも配置した。ひびわれはひとつの変位として表わされるので、測定ゲージとして継目計 KJ-5A (東京測器) を選んだ。この継目計は埋込み型であり、ひびわれが生ずる時間と正確な幅を測定することを目的としたものである。継目計の設置の状況を、写真-2 に示す。

3.3 ひずみ測定

コンクリートのひずみ測定の方法には種々ある。本測定の方法としては打込み後の温度変化、乾燥収縮の目的もあり、一般に用いられているコンタクトゲージ、ポリエステルひずみゲージ (コンクリート表面に張り付ける) のほか、温度ゲージと併用できる埋込みゲージも使

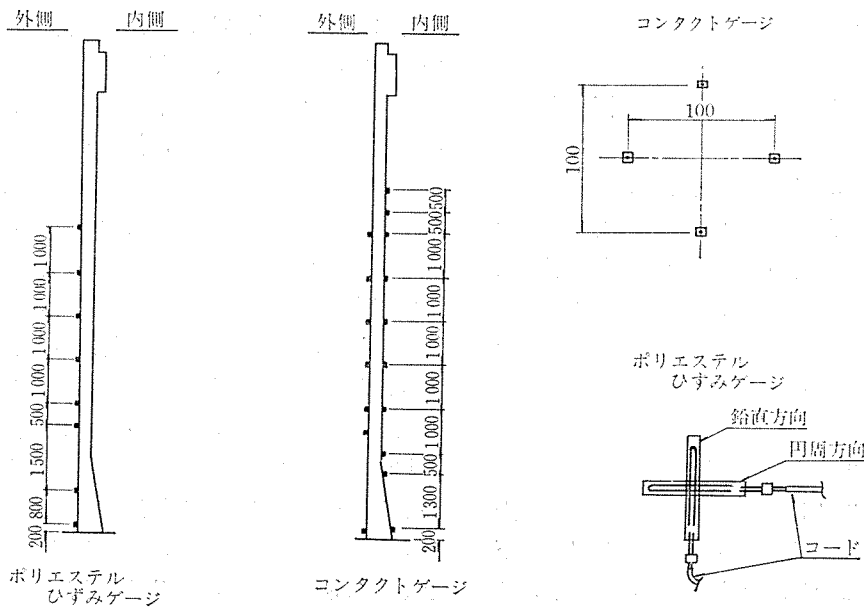


図-4 ポリエステルひずみゲージ，コンタクトゲージ配置図

用した。硬化直後のひずみ測定は、型枠などがあってもなお測定可能にするためには、埋込みゲージが最も適していると考えられる。プレストレス導入前後のひずみは主としてコンタクトゲージとポリエステルひずみゲージを利用した。測定位置は 図-4 に示す。

4. 結果および考察

4.1 コンクリートの温度

コンクリートの温度上昇は配合に影響されるものであり、底版および側壁のコンクリートの配合表を 表-1 に示す。スランプはポンプ車による打設のため 12 cm と PC 用コンクリートとしては比較的やわらかいものとなっている。これらのコンクリート打込みは、6 月の夏場（沖縄では）であり、コンクリートの現場到着温度は、いずれも 31°C 前後であった。測定したコンクリート温度と打設後の時間との関係の一例を 図-5、図-6 に示す。また、これらをまとめ、打設日、最高温度とその生じる時間、およびコンクリート温度と外気温の差が 3°C 以下になった日数を 表-2 に示す。図および表からも判明するように最高温度の生じる時間は、底版で 15~16 時間であり、側壁では 9~11 時間である。また最高温度は、底版で 47°C、側壁では 48~71°C であり、相当差があるが、No. 5 ゲージは第 1 リフトの上から 20 cm の所で外気温の到達が早かったものと考えられる。一方、No. 1 ゲージはピラスター（PC ケーブル定着用の突起）に埋め込んだもので壁よりかなり厚くなることにより、温度上昇量が増えたと考えられる。他の No. 2~10 ゲージの間にはほとんど差がなく、おおむねコンクリートの硬化温度にばらつきがなかったと考えられる。いずれも打設後 2~3 日でコンクリート温度は外気温とほとんど差がなくなっている。

4.2 ひびわれ幅

誘導目地に設置した継目計によるひびわれ幅と時間の関係の一部を 図-7 に示す。図からわかるように、打設後約 40 時間で約 0.2 mm 程度の急激な変位を示し、ひびわれの発生が確認できた。このひびわれの生じる時間は、コンクリートが最高温度から約 20°C 程度降下した時期であり、ひびわれは温度降下により生じることがよくわかる。なお、ひびわれの生じる時間には型枠は設置されたままであり、乾燥収縮の影響はあまり考えられない。

第 2 リフトのコンクリート打込み後、コンクリートの温度上昇が生じ、第 1 リフトのひびわれ幅もこの温度上昇につれてさらに 0.2 mm 程度広がる。しかし温度降下とともにクラック幅は減少し、第 2 リフト打込み前のひびわれ幅にもどることがわかる。これらのひびわれの補

修は、無機質浸透性防水剤（バンデックス）で、プレストレス導入前に行われた。プレストレス導入後のひびわれ幅は 0.08 mm 収縮している。プレストレスの効果が十分現われていると考えられよう（図-8 参照）。

なお、第 1 リフトのみにひびわれが生じているが、このリフトの中でも No. 3 と No. 5 を比較すればわかるように、底版に近い所ではひびわれ幅は比較的小さく、プレストレス緊張時にも底版の拘束を大きくうけるので、ひびわれ幅は小さくならない。

誘導目地以外の所にもひびわれは生じ、特にピラスターから 30~50 cm の所に多く発生している。これは断面の急変により、ピラスターより薄い断面の側壁に生じたものと考えられる。このほかでは誘導目地間隔の大きい所の中間にひびわれが生じている。これらのひびわれは、いずれも打込み後 2 日目には発見されず、9 日目の脱枠後発見されたもので、第 2 リフトコンクリート打込みにより生じたとも考えられる。誘導目地のピッチを適当に変えることにより、これらのひびわれは十分目地に誘導できると考えられる。

ひびわれの特徴としては、誘導されたひびわれは目地通りほぼ直線的であり、目地以外のひびわれは枝状になっているものもあった。壁の内外のひびわれ発生箇所はほぼ一致しており、ひびわれは貫通しているものと考えられよう。またいずれのひびわれも縦シースの位置とほぼ一致していた。

4.3 コンクリートのひずみ

埋込みゲージで測定されたコンクリートのひずみと打込み後の時間の関係の一部を 図-9 および 図-6 に示す。

底版のひずみは側壁と比較して急激な変動がなく温度上昇に合わせて上昇し、また温度降下とともに下がっていった。これは、底版に全くひびわれが生じなかったことと底版自体が自由構造になっていることによるものと考えられよう。一方、側壁の方は急激なひずみの変化をもたらしているが、これは底版による拘束、およびひびわれなどにより生じたものと考えられる。また側壁のひずみが底版のひずみのように、打込み後きれいなカーブで上昇していないことも、底版の拘束によるものと考えられる。側壁に関して、打込み後約 40 時間で、ひずみは急な降下を示している。これはひびわれが生じた時期と全く一致しており、ひびわれの発生はひずみからも判明できることがわかる。継目計によるひびわれ幅の測定と同様に第 2 リフト打込み後温度変化とともに第 1 リフトのひずみは変化し、第 1 リフトの底版に近い所ほどその影響は小さい。第 2 リフトのひずみは、コンクリート打込み後、温度上昇につれて、きれいな曲線で上昇

表一 コンクリート配合表

	セメントの種類	δ_{ok} kg/cm ²	位置 単セメント kg	単位水量 kg	水セメント 比 %	粗骨材 kg	細骨材 kg	粗骨材の 最大寸法 mm	混和剤 kg	スランプ cm
底版コンクリート	普通	300	398	171	43	1000	779	20	ボゾリス 0.995	12±2
側壁コンクリート	普通	350	408	171	42	1010	761	20	ボゾリス 1.02	12±2

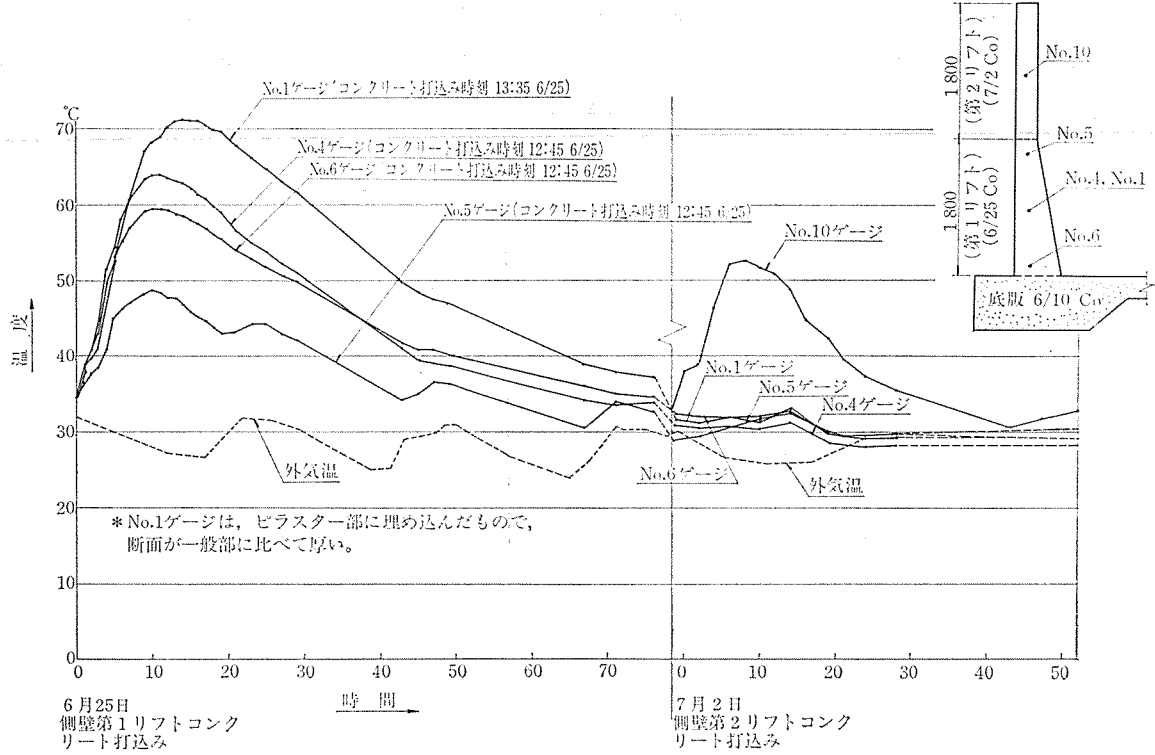


図-5 側壁コンクリート 温度-時間曲線

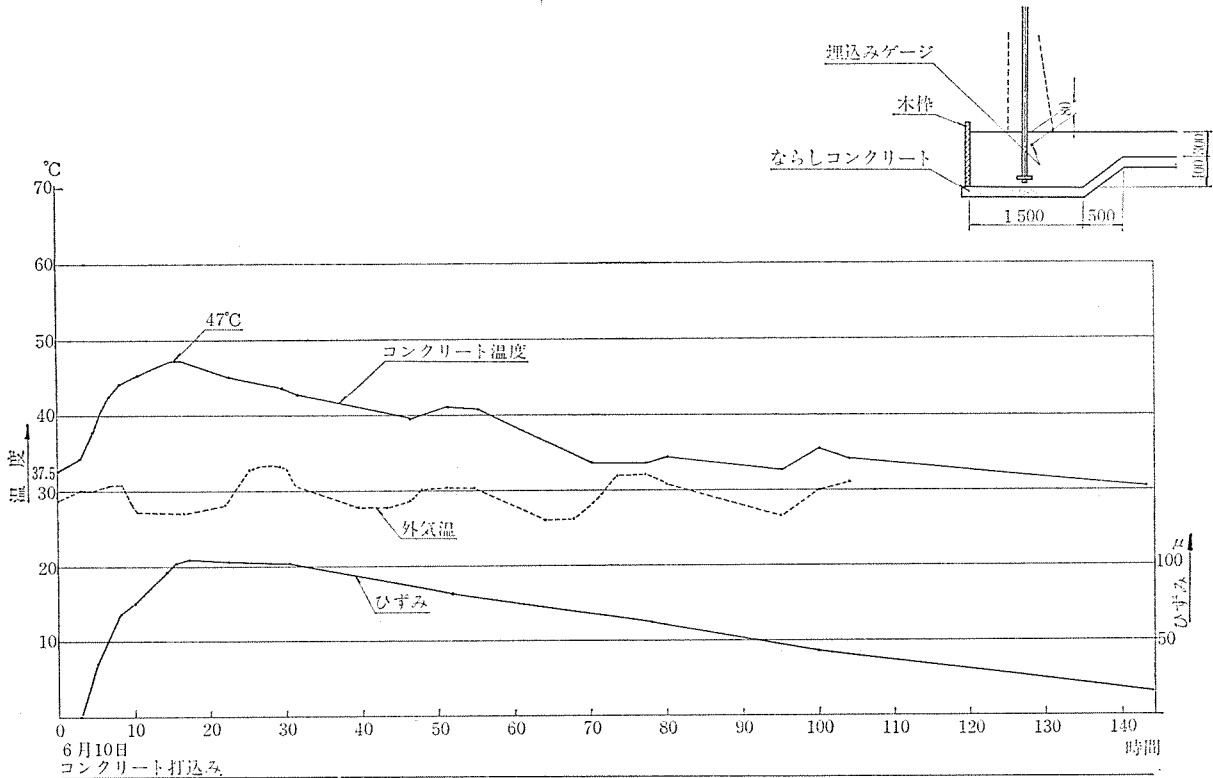


図-6 底版コンクリート 温度-時間曲線、ひずみ-時間曲線

表-2 コンクリート温度一覧表

		側壁第1リフト									第2リフト	底版
コンクリート打込み 年 月 日		55. 6. 25									55. 7. 2	55. 6. 10
コンクリート温度 現場到着時		31℃									31℃	31℃
ゲージ No.		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
最高温度(℃)		71	61.9	65.5	63.9	48.5	59.6	60.9	63.3	64.0	52	47
最高温度 到達時間(hr)		14	11	11	11	10	10	11	11	10	9.5	15.5
コンクリート温度が外気温 +3℃以下に下がった時		打込み後3日目									打込み後 2日	打込み後 3日

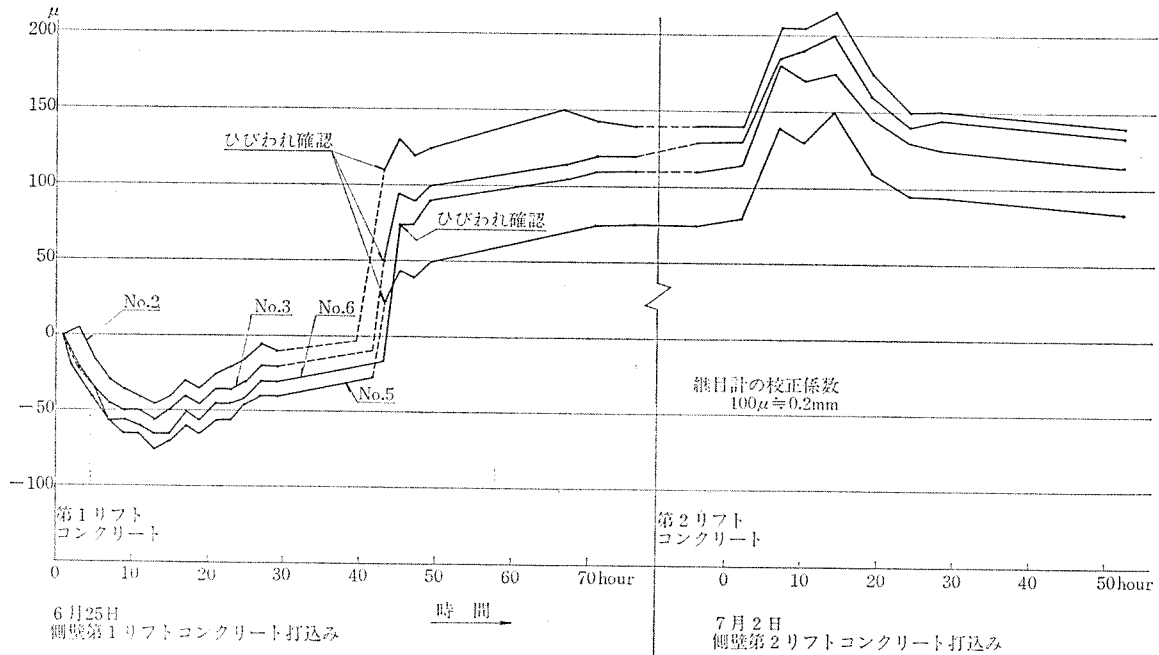
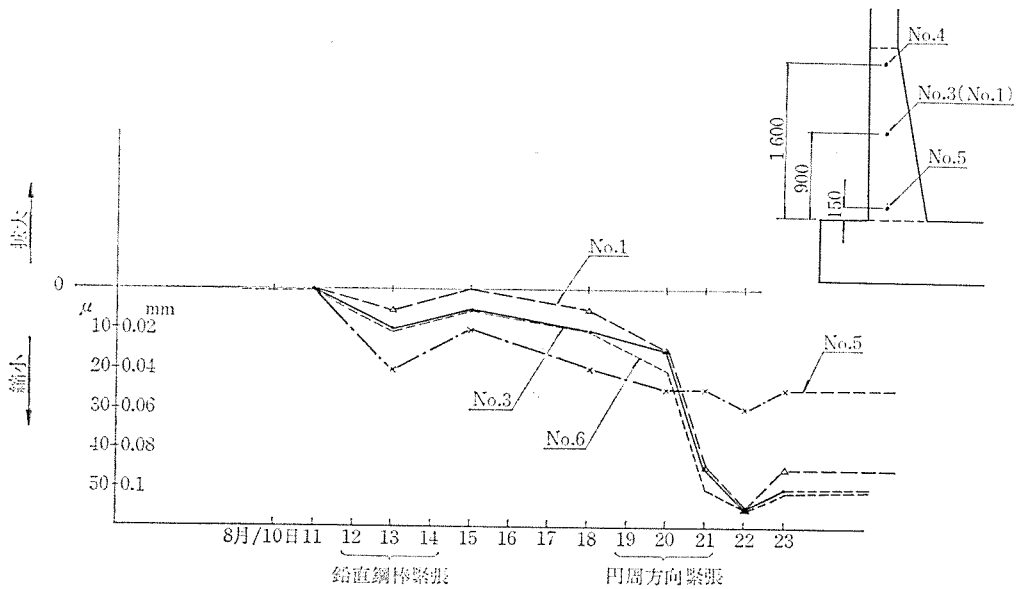


図-7 継目計測定結果



No.5ゲージ以外はほぼ
同じ挙動を示した。

図-8 プレストressingによるひびわれ幅の変化

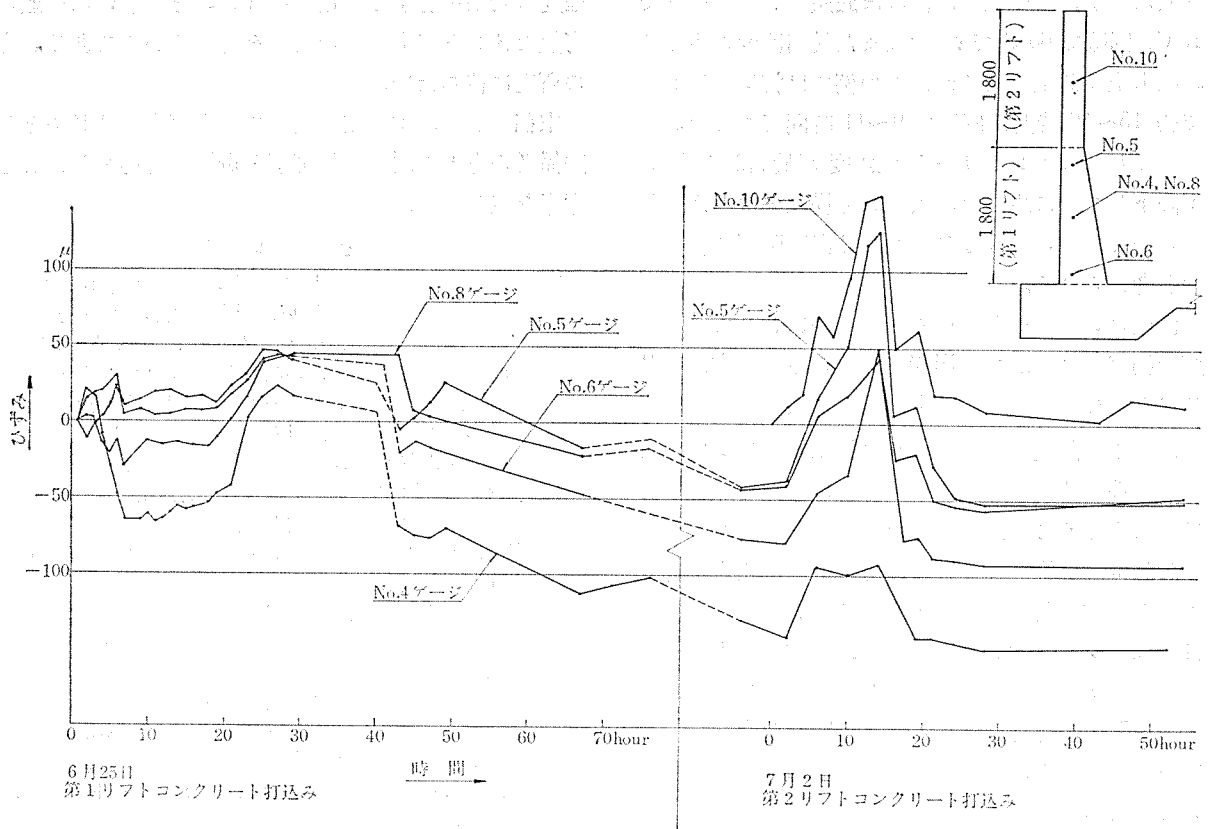


図-9 側壁コンクリート ひずみ-時間曲線

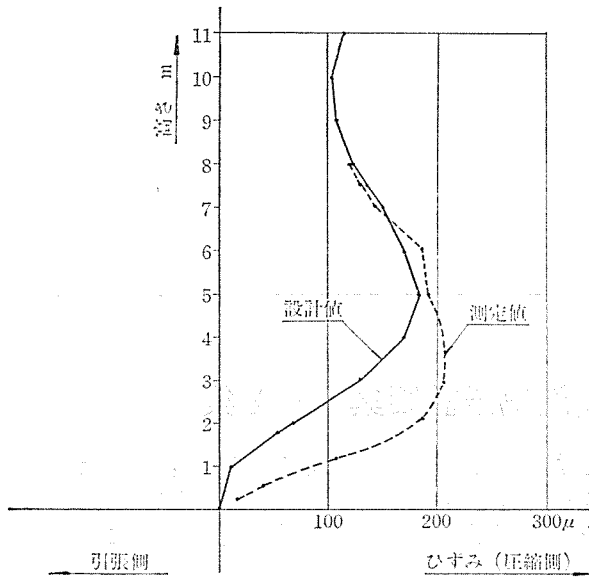


図-10 円周方向プレストレスによる円周方向のひずみ

している。これは、第1リフトの拘束が小さく、ひずみも自由になることを示している。

プレストレス導入時のひずみ測定結果の一部を図-10 および 図-11 に示す。これらの図から判明できるように設計時の計算結果と測定値はよく一致している。

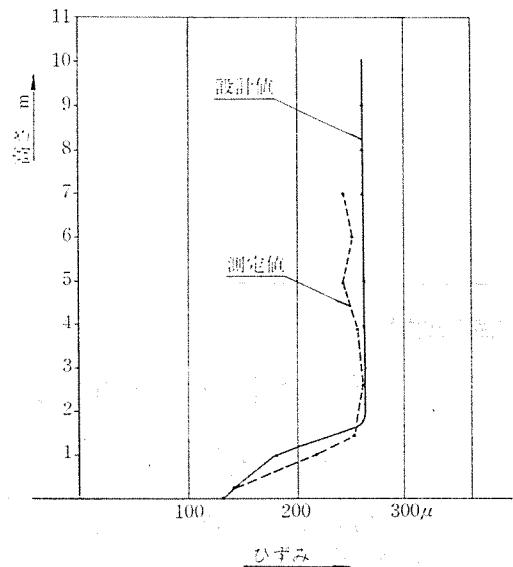


図-11 鉛直方向プレストレスによる鉛直方向のひずみ

5. む す び

これらの測定結果から、温度、ひびわれ、およびひずみに関して次のような点が判明した。

- 1) コンクリートの最高温度は、主としてコンクリートの配合および部材厚、養生条件、気象条件等によ

報 告

り異なるが、この例では、ほぼ底版コンクリートで47°C、側壁で65°Cであった。また最高温度の生じる時間も上記諸量によるが、この例では打込み後底版で約15~16時間、側壁で9~11時間であった。

- 2) ひびわれはコンクリートの温度が最高から約20°C降下した時に生じた。大きい乾燥収縮は考えられないので、このようなひびわれは温度降下によるものと考えられる。
- 3) 側壁コンクリートのひずみは、ひびわれおよび底版の拘束によりかなり影響されている。一方、第2リフト以後のひずみの拘束はあまり大きくない。

さらに、この測定から次のような施工法が提案できよう。誘導目地の位置を適切にすれば、ほとんどのひびわれは目地に生じることがわかった。このため、あらかじめひびわれ位置が推定できれば、その位置に止水板を入れておくと、防水効果が十分現われると考えられる。さらに目地部をシールすることにより、二重の防水を行うことができ、防水に関しては十分と考えられる。目地の間隔は4~5mが適切であり、また目地の形状としては応力集中の関係から、できるかぎりV字形にするのが望ましいと考えられる。

また、このようなひびわれに対する防止策として中庸熱セメントを用いることも考えられるが、それらがどの

程度の効果を有するか定かでない。というのは一般の中庸熱セメントでも相当の発熱を有するからである。今後の研究に待ちたい。

未稿ながら、本測定に関して、監督官をはじめとして関係者の方々の暖かい御理解と御協力を得ましたことに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 万木, 小谷, 中矢, 大友 (訳): マッシュなコンクリートのひびわれに対する拘束, 体積変化および鉄筋の影響, ACI 207 委員会報告, コンクリート工学, Vol. 13, 1975
- 2) コンクリートひびわれ対策研究会: コンクリートのひびわれ資料集, 続コンクリートのひびわれ資料集
- 3) 西田: 場所打ち張出式 PC 鉄道橋の打継目付近に生ずるひびわれに関する研究, 鉄道技術研究報告
- 4) 鈴木, 吉岡: PC タンクの現場応力測定
- 5) 飯島, 萩原: 新東京火力発電所 7000t PC 水槽の設計と施工について, プレストレスト コンクリート, Vol. 1, No. 4, 1959
- 6) 村井, 渡辺, 石川, 山下: 福岡市水道局 PC タンクの設計施工について, プレストレスト コンクリート, Vol. 7, No. 1, 1965
- 7) 池田, 佐藤, 渡辺: 川崎市水道・高区配水塔の建設報告, プレストレスト コンクリート, Vol. 7, No. 3, 1965
- 8) 鳥羽, 鈴木, 細川: 松本市上水道 PC 配水槽の設計と施工について, プレストレスト コンクリート, Vol. 5, No. 5, 1963

【昭和56年2月10日受付】

◀新刊図書案内▶

プレストレストコンクリート構造物設計図集 (第2集)

本書は協会設立20周年行事の一環として、前回発行した設計図集の様式にならない編集した、その第2集である。協会誌第10巻より21巻に亘る巻末折込付図を主体とし、写真ならびに説明を付し、その他参考になるPC構造物についてとりまとめた設計図集で、PC技術者の座右に備え付けるべき格好の資料と考えます。

希望者は代金(現金為替または郵便振替 東京7-62774)を添え、下記宛お申し込みください。

体 裁: B5判 224頁

定 価: 9,000円(会員特価 7,000円) 送 料: 1,000円

内 容: PC 橋梁(道路および鉄道) 74件, PC 建築構造物 25件, その他タンクおよび舗装等 10件

申 込 先: (社)プレストレストコンクリート技術協会

〒102 東京都千代田区麹町 1-10-15 (紀の国やビル) 電話 03 (261) 9151