

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.13 (1981) No.3

神戸市水道局西垂水調整タンク工事における底版コンクリートの施工について

Execution of Foundation Slab Concrete under Nishitarumi Water Tank in Kobe City

木川 進(Susumu Kigawa) 近藤 伸治(Shinji Kondo) 尾原 幸人(Yukito Obara)

要旨：

神戸市水道局では西垂水配水場内に容量 20000kl の円筒型鋼製タンクの建設を計画し、基礎ぐいを除く底版コンクリートとタンク本体およびその付帯工事を当社が担当した。本報告はこれらのうちタンク底版の施工に関するものである。底版コンクリートは直径 46m、厚さ 0.7～1.0m でマスコンクリートの範囲に属し、しかも打設時期が工程上、夏期となったためコンクリートの水和熱による温度のひびわれ、長期強度の低下等を事前に検討しなければならなかった。また、この西垂水配水場の周辺は住宅地域で、かつ建設用地が狭い等の条件もあり約 1500m²×3 のコンクリートを打設するには環境上厳しい制約があった。本工事ではこれらの設計・施工上の問題に対して高炉セメント B 種や最大寸法 40mm の粗骨材の採用、底版コンクリートの鉛直分割打設等の対策を講じて施工した結果、ひびわれ発生の少ない良好なタンク底版を建設することができた。

Synopsis：

The Kobe City Government planned to construct a steel water tank at Nshitarumi Service Distributing Reservoir in Kobe City, which would be able to store 20000kl of water, Kawasaki Steel's Engineering Division took part in this project as a prime contractor and executed placing of foundation slab concrete and fabrication of the steel tank. This paper describes the construction of this concrete slab of 46 m in diameter and 0.7～1.0 m in thickness. Since this construction work was performed in midsummer, consideration had to be given to the possible strength reduction of hardened concrete at a later period due to hot weather concreting, and thermal cracking caused by the chemical reaction between cement and water in mass concrete. On the other hand, the construction site was in the middle of a residential area and the space for execution of construction work was cramped. Therefore, Portland blast-furnace slag cement and aggregates of max. 40 mm in size were used and the foundation slab was constructed by dividing it into five blanks with vertical joint surfaces, in order to cope with those adverse conditions. As a result, it was possible to construct a satisfactory concrete foundation slab with few cracks.

本文は次のページから閲覧できます。

神戸市水道局西垂水調整タンク工事における底版コンクリートの施工について

Execution of Foundation Slab Concrete under Nishitarumi Water Tank in Kobe City

木 川 進*
Susumu Kigawa

近 藤 伸 治**
Shinji Kondo

尾 原 幸 人**
Yukito Obara

Synopsis:

The Kobe City Government planned to construct a steel water tank at Nishitarumi Service Distributing Reservoir in Kobe City, which would be able to store 20 000 k³ of water, Kawasaki Steel's Engineering Division took part in this project as a prime contractor and executed placing of foundation slab concrete and fabrication of the steel tank.

This paper describes the construction of this concrete slab of 46 m in diameter and 0.7 ~ 1.0 m in thickness. Since this construction work was performed in midsummer, consideration had to be given to the possible strength reduction of hardened concrete at a later period due to hot weather concreting, and thermal cracking caused by the chemical reaction between cement and water in mass concrete.

On the other hand, the construction site was in the middle of a residential area and the space for execution of construction work was cramped. Therefore, Portland blast-furnace slag cement and aggregates of max. 40 mm in size were used and the foundation slab was constructed by dividing it into five blanks with vertical joint surfaces, in order to cope with those adverse conditions. As a result, it was possible to construct a satisfactory concrete foundation slab with few cracks.

1. ま え が き

神戸市水道局では地理的特殊性のため自己水源が少なく、水源の7割までを阪神水道事業団からの受水に頼っている。この受水はトンネル(2.5m馬蹄形、勾配1/2500)により行っているが、配水量の時間的変動に定常的な送水能力が対応できないため調整機能をもつ多くの大容量配水タンクが必要となっている。西垂水3号タンクはこの目的のために建設されたものである。この規模は内径45m有効水深13m、有効容量20 000k³で、すでに建設されている10 000k³の1、2号タンクと同

一のH.W.L.で垂水区周辺の人口増に対応したものである。タンク本体はSS41・SM41を主体とする鋼製で底版は鉄筋コンクリート構造が採用されている。工事はその1とその2に分割発注され、その1工事は底版を支持するφ1200mmのベトぐい148本の打込み工事、その2工事は底版コンクリート打設および鋼製タンク構築とその附帯工事である。その1工事は奥村組土木興業(株)、その2工事は当社が担当した。

本報告は、昭和55年7月下旬から同9月初旬にかけて施工したその2工事における底版コンクリート工事の概要を述べるものである。本工事における底版コンクリートは直径46m、厚さ0.7m~1.0

* エンジニアリング事業部ハイフライン海洋技術部主査(部長待遇)

** エンジニアリング事業部土木技術部主査(部長待遇)

[昭和56年3月16日原稿受付]

m, 総量約1500m³のマスコングリートで、しかも暑中コンクリートであるため事前に設計施工上の問題を検討しなければならなかった¹⁻⁴⁾。また周辺環境が住宅地域で日没後の作業が禁止され、かつ、近辺の生コンプラントの施工能力が小さく分割して打設しなければならないという施工上の制限もあった。マスコングリートや暑中コンクリートについては温度ひびわれが最大の問題⁵⁻⁹⁾であるが、その主因となるコンクリート硬化時の発熱量は一般にセメント量に比例するといわれている。本工事のコンクリート設計基準強度は $\sigma_{CK}=270\text{kgf/cm}^2$ であり、このため普通ポルトランドセメントを用いた場合、初期水和熱量による温度上昇の計算値はかなり高く、約40°Cとなった。また打設時期が真夏で暑中コンクリートの懸念もあるため、ここでは単位セメント量の少ない高炉セメントB種を採用して施工した。なお底版コンクリートの中へ温度計を埋設し水和熱による温度の経時変化を測定した。コンクリート硬化時の温度変化については、R.W.Carlson¹⁰⁾、塚山¹¹⁾、小野¹²⁾らにより種々研究され、現在ではかなり実用的な解析方法が見出されている。この現場における温度上昇についてもこれらの方法で計算を行ない実測値と比較した。

2. 底版の構造

本構造物における底版はくいを支点とするフラ

ットスラブ構造で鋼製タンクにおける高度の水密性を必要とする。図1はタンク構造図、図2は鉄筋コンクリート底版の詳細断面図を示す。また表1にタンクの概略仕様を示す。

本構造物におけるコンクリート部の防水としては図2のように底版コンクリートの表面にタール

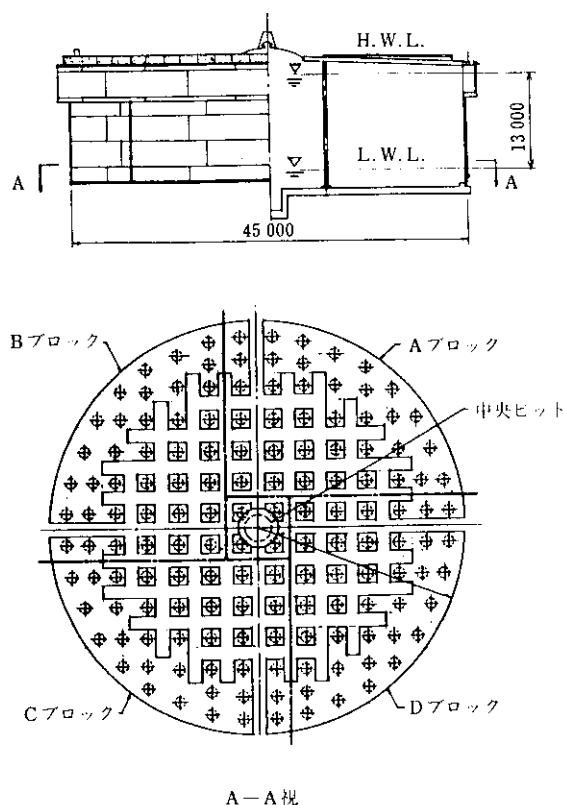


図1 タンク構造図

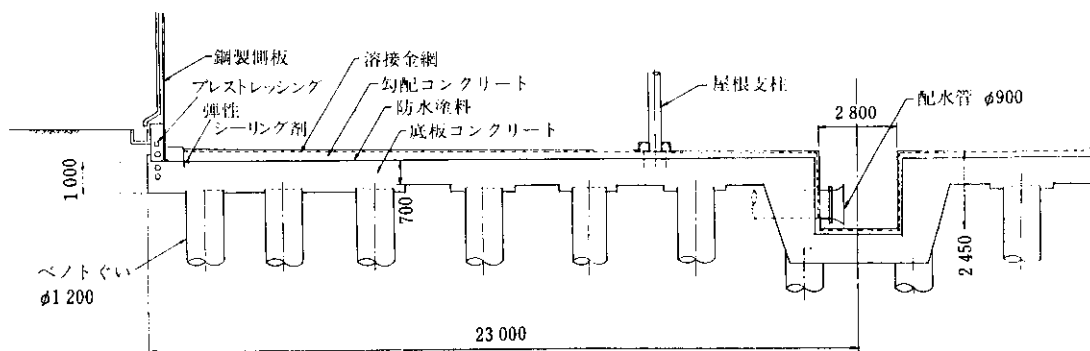


図2 底版詳細断面図

表1 タンクの概略仕様

1	容 量	20 000 kℓ
2	直 径	45 000m
3	有効水深	13 000m
4	使用材料	鋼 材 約 700t
		コンクリート 約 1 500m ³
		鉄 筋 約 150t
5	基礎構造	ベトぐい基礎(φ1 200)

エポキシ系防水塗料を塗布し、側板鋼製部との接点にはシリコン系の弾性シーリング材を充填した。また、側板からのスラストによるビュアテンションを打ち消す程度の約1.5kgf/cm²のプレストレスを外周に導入した。底版コンクリートの示方配合は表2のとおりである。

鉄筋は主鉄筋としてD19を使用し、外周および鉛直分割面の周辺にはひびわれ補強筋としてD13を配置した。

3. 底版の施工

3.1 施工条件と施工手順

底版コンクリートは約1 500m³と比較的多量であるため、中央ピットおよび周辺4ブロックA、B、C、Dの合計5分割で施工することにしたがそれらの配置は図1のとおりである。

また、マスコンクリートおよび暑中コンクリートの問題^{5,13,14)}として水和熱による温度ひびわれ、長期強度の低下等があるがそれらに対してはつぎのような対策を講じた。

- (1) 高炉セメントB種(JIS-R 5 211)を採用する^{15,16)}。
- (2) 粗骨材最大寸法を40mmとする。
- (3) 添加剤として硬化遅延剤(ポゾリス No. 8)を使用する。

これらの処置によりセメント量を減少させ水和熱の発生量と長期強度の低下を制限した。今回使用した高炉セメントの化学成分、物理的性質は表3に示す。底版コンクリートは以上のような基本

表2 コンクリートの示方配合

	セメント	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨材 (%)	単 位 重 量 (kgf/m ³)					設計基準強度 (28日・kgf/cm ²)
							セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	
底版 コンクリート	高炉 セメント、B	40	8 ±2.5	4 ±1	49	37.9	320	157	686	1 131	0.800	270

表3 高炉セメントの性質

化 学 成 分	種 別	強 熱 減 量 (%)	不 溶 分 (%)	二酸化 けい素 (%)	酸化アル ミニウム (%)	酸 化 第二鉄 (%)	酸 化 カルシウム (%)	酸化マグ ネシウム (%)	三酸化 いおう (%)	一酸化 マンガン (%)	硫酸化 いおう (%)	合 計 (%)	
		高炉セメント B 種	0.4	0.1	26.3	9.2	2.1	55.6	2.7	2.2	0.4	0.3	99.3
		JIS R 5 211	3.0以下						6.0以下	4.0以下			

物 理 的 性 質	種 別	比重	粉 末 度		凝 結					安 定 性	強 さ						
			比表面積 (cm ² /g)	88μ 残分 (%)	水量 (%)	始 発 (h-min)	終 結 (h-min)	室温 (°C)	湿度 (%)		フ ロ ー 値	曲 げ (kgf/cm ²)			圧 縮 (kgf/cm ²)		
												3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
	高炉セメント B 種	3.04	3 680	1.2	29.3	3-0.5	4-16	20.0	86	良	259	29	37	69	113	194	406
JIS R 5 211		3 000 以上			60以後 (min)	10以内 (h)	20 ±3	80 以上	良					60 以上	120 以上	290 以上	

的な条件のもとで図3のような手順で施工した。

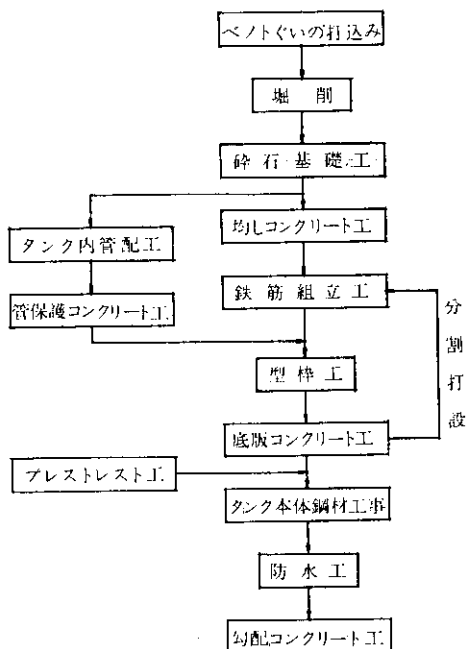


図3 鉄筋コンクリート底版の施工手順

3.2 底版の分割

図1に示したように底版コンクリートは鉛直に5分割して打設したが正確にはタンク本体の側板据付け後施工した2段の外周コンクリートを含めると合計7回の打設となる。鉛直打継面の断面は図4に示すように、突起部をもつ形状としてせん断抵抗および防水効果を高め、また打継面はコンクリートの密着一体化を考慮して硬化遅延剤の使用による洗出しを行った。なお、打継面処理の施工については水平面の場合と一括して後述する。

3.3 コンクリート工

D19mmの主鉄筋約150tを125mm～250mmピッチで格子状に配筋し、D13mmのひびわれ補強筋をブロック周辺に配置したのちコンクリートを打設した。コンクリートの打設量は表4に示すように中央ピットが60m³で周辺のA、B、C、Dブロックで各々350m³であった。

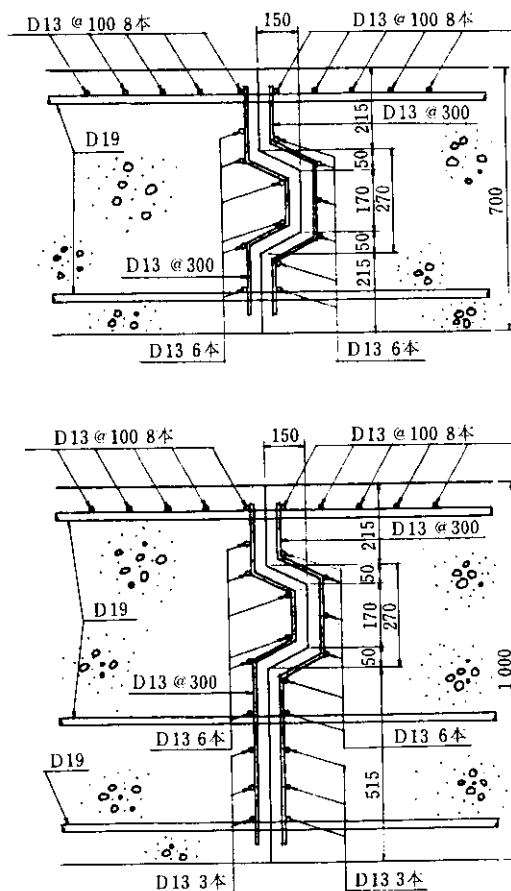


図4 鉛直打継面の断面形状

表4 底版コンクリートの打設

	打設場所	打設日時	打設量 (m ³)	備考
1	中央ピット部	7/26, 8/3	10+50	底版と壁体部は分割打ち 周囲4面の鉛直打継目処理
2	D	8/11	350	AD, CD間の鉛直打継目 処理
3	B	8/26	350	AB, BC間の鉛直打継目 処理
4	A	9/2	350	
5	C	9/4	350	

ポンプ車は図5に示すように筒先の口径5インチ、吐出能力65m³/h～75m³/hを有するもの2台をブロック両端に配置し、また締固め用のバイブレーターをポンプ車筒先と周辺部に合計20台準備し

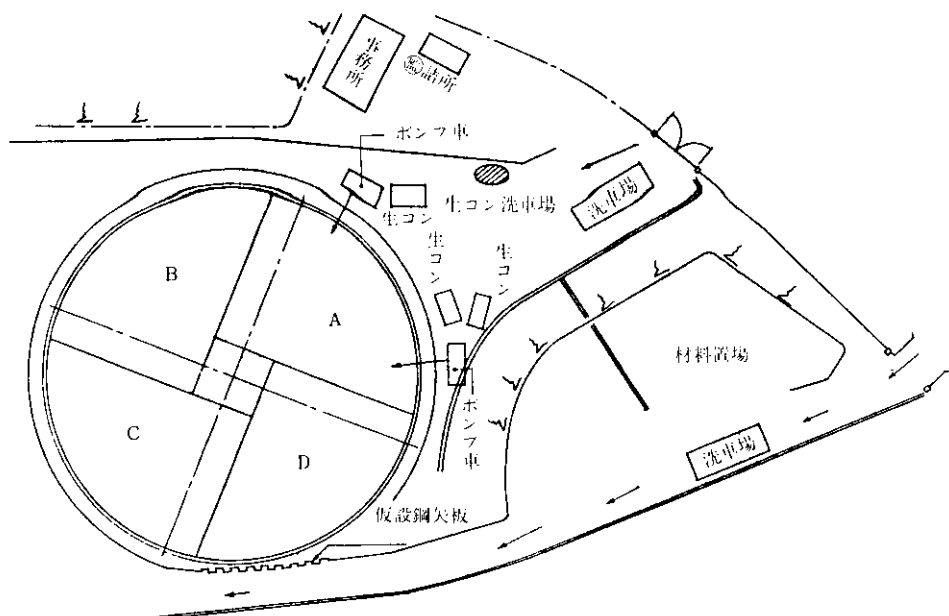


図5 ポンプ車配置図 (Aブロック)

た。打設速度は1時間あたり約 50m^3 とし、ポンプ車の能力に余裕をもたせた。一方生コンプラントの供給能力は最大 $60\text{m}^3/\text{h}$ と比較的小規模であったが上記の数量とほぼ一致し、問題はなかった。

コンクリートの打込みはコールドジョイントとにならない程度に水平層打ちを行ない十分にバイブレータで締固めた。なお、打込時のコンクリート温度はいずれも 30°C 以下であった¹⁷⁾。写真1にAブロックの打設状況を示す。

3・4 打継面処理

外周部等の水平打継面には打設後、木ゴテで仕上げてから直ちに硬化遅延剤ルガゾールCを散布した。打継面処理を実施しないコンクリート表面との境界は合板や発泡スチロールで仕切ってルガゾールの流出を防止した。洗い出し作業は散布してから8～12時間経過後、水圧 $40\text{kgf}/\text{cm}^2$ のウォータージェットで実施した。コンクリートの表面温度は水和熱により 50°C 前後まで上昇しているため洗い出し用水には温水を使用した。

つぎに鉛直面の打継面処理はルガゾールFwを型枠にあらかじめ塗布する方法で行った。洗い出し作業は脱型時間の関係でコンクリート打設後、約20

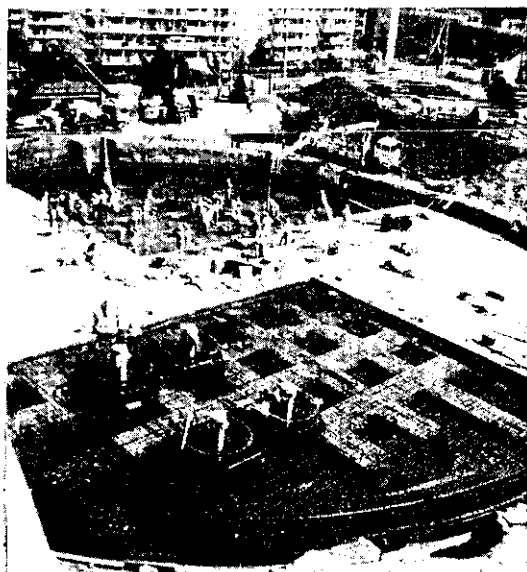


写真1 Aブロックのコンクリート打設

時間を経過した時点で開始し、水圧 $40\text{kgf}/\text{cm}^2$ と $150\text{kgf}/\text{cm}^2$ のウォータージェットを用いて表面の未硬化コンクリートを除去した。その結果写真2に示すようにほぼ完全な洗い出し表面を形成することができた。

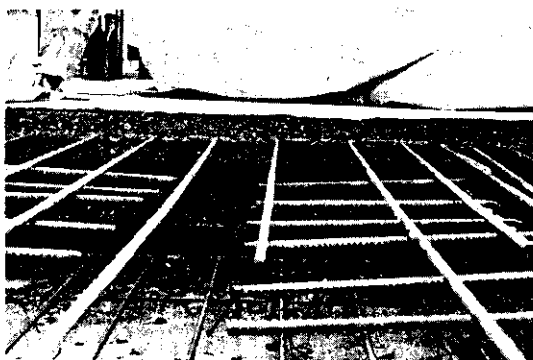


写真2 鉛直打継面

3-5 養生

コンクリートの打設後養生マットで全表面をカバーし、マットには洗出しの時と同様の温水を浸透させた。さらに組立用鉄筋やバリケードを適当な間隔でマット上に配置し、その上にブルーシートをかけ外気との間に保温空気層に近いものを設けた。また鉛直打継面は洗出し後発泡スチロールで表面を覆った。養生期間はコンクリート内外面の温度差を考慮し5日～6日とした。

3-6 品質管理

コンクリートの圧縮試験用供試体はA、B、C、D各ブロックでそれぞれ4回採取し、そのうち2

回は標準養生と現場養生、残りの2回は標準養生のみとした。表5に供試体の数量と圧縮試験結果を示すがいずれも4週強度 σ_{28} が設計基準強度 σ_{CK} を上回り、またスランプ、空気量も所定の範囲におさまり全く問題がなかった。

3-7 ひび割れ発生状況

底版コンクリートは以上のようにきわめて慎重な施工管理のもとで実施されたがひびわれの発生が皆無というわけにはいかなかった。図6にコンクリート打設後約1箇月における表面ひびわれの発生状況を示す。図6より底版上面のひびわれはブロックごとによりかなり密度の差が見受けられるがひびわれの幅は最大0.3mmで特に構造上の問題はないと思われる。またひびわれの発生がブロックごとに差が生じているのは、天候や気温またはコンクリート打設手順の若干の違いが影響したと思われる。他方1号タンクのとき若干発生した外周側面のひびわれは今回のタンクでは全く発生しなかった。このことは高炉セメントの採用や適切な施工管理の成果と考えられる。

4. 水和熱による上昇温度の測定

4-1 測定方法

温度測定にはカールソン型埋込式温度計（共和

表5 供試体の数量と圧縮試験結果

ブロック	打設量	養生期間	供 試 体 数			圧 縮 試 験 結 果 (kgf/cm ²)					
			標準養生	現場養生	計	σ_7			σ_{28}		
						最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
中央ピット	50	7 28	3 3	0 0	3 3	214	204	209	351	339	346
A	350	7 28	3×4 3×4	3×2 3×2	18 18	251	212	236	347	302	324
B	"	7 28	" "	" "	18 18	259	198	229	350	306	333
C	"	7 28	" "	" "	18 18	227	197	210	339	313	322
D	"	7 28	" "	" "	18 18	228	204	218	367	314	336
計					150			平均 220			平均 332

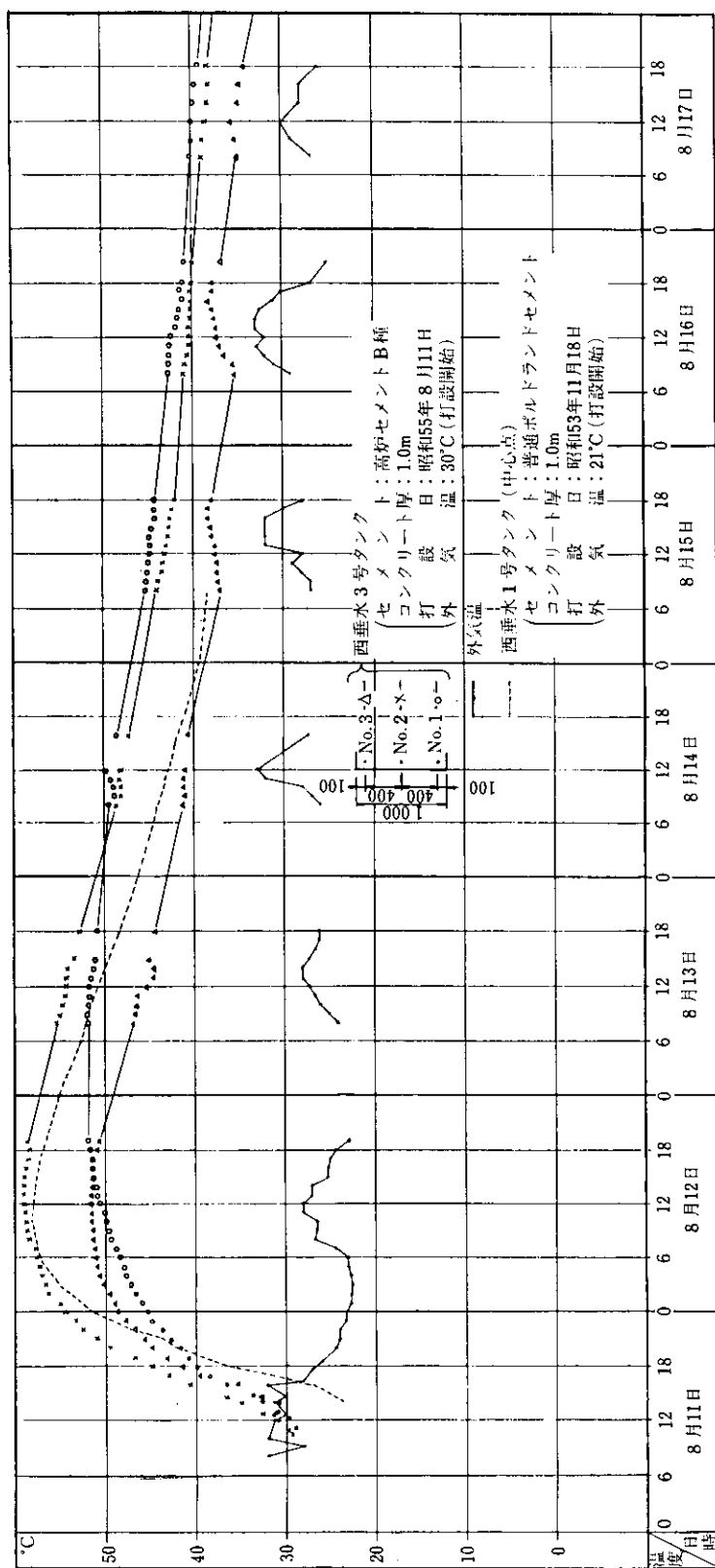


図7 コンクリート温度の経時変化

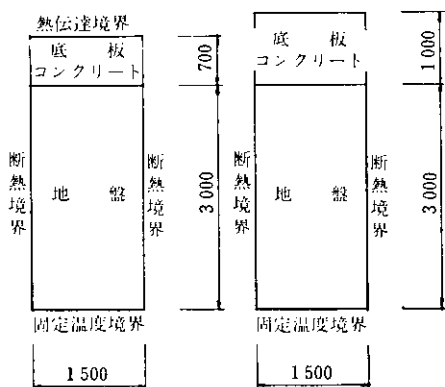


図8 解析モデルおよび境界条件

表6 温度解析に使用した諸定数

1	コンクリートの打込み温度 (°C)	29
2	地盤温度 (°C)	25
3	コンクリート厚 (m)	0.7, 1.0
4	コンクリートの熱容量 (kcal/m³·°C)	725
5	コンクリートの熱伝導率(kcal/mh·°C)	2424
6	地盤の熱容量 (kcal/m³·°C)	705
7	地盤の熱伝導率 (kcal/mh·°C)	1.16
8	単位セメント量 (kg/m³)	320
9	コンクリートの終局発熱温度 θ_b (°C)	39.6
10	実験定数 r	1.50
11	上昇温度 θ_a	$\theta_b (1 - e^{-rt})$
12	外気温 (°C)	31
13	熱伝達率 (kcal/m²h·°C)	10
14	使用セメントの種類	高炉セメントB種

x, y : 直角座標 (m)

$Q(t)$: セメントの単位時間あたりの発熱量 (kcal/kg)

c : コンクリートの比熱 (kcal/kg·°C)

ρ : コンクリートの単位体積重量 (kg/m³)

この解析においてこれらの入力定数すなわちコンクリートの熱的性質および境界条件をどのように定めるか問題であるが、ここではつぎのような

考え方で進めた。まずコンクリートの熱容量 $c \cdot \rho$ と熱伝達率 λ (または熱拡散率 $h^2 = \lambda / c \cdot \rho$) および断熱温度上昇曲線は過去において実験室で得られた平均的な数値²⁰⁾を採用した。コンクリートの境界における熱伝達率は風速や養生方法等により異なるが、ここでは経験的に知られている5~15 kcal/m²·H·°Cの中央値を用い、その他地盤についてもやや硬い粘土層の一般的な熱的性質を導入して計算した。図9(a)および(b)にコンクリート厚0.7mと1.0mの版中央(No.2)における計算結果を実測値と比較して示した。この図より実測値と計算値とはよく近似しており本解析方法は十分に実用に供しうることがわかる。特に0.7mの場合全般にわたって良く一致しているが1.0mの場合は温度下降時において計算値の方がややゆるやかな勾配であった。これは高炉セメントの断熱温度上昇曲線 $\theta_a = \theta_b (1 - e^{-rt})$ における実験定数 r の決め方によるとと思われるが今後の検討項目であろうなお θ_a は t 時間後の断熱温度、 θ_b は使用セメントの最大断熱温度を示す。

4.3.2 Carlsonの方法による解析

コンクリートの温度上昇に関する計算方法としてR.W.Carlson⁸⁾やR.E.Glover²¹⁾らの考え方がある。これらの方法は境界条件を簡略化して1次元非定常熱伝導方程式を解析したもので従来マスコンクリートの温度特性に関する検討において多用されてきている。ここではこれらの中からスラブにも適用できるCarlsonの逐次計算法を採用した。図10および(2),(3)式にこの方法の概略内容を示す。

$$\begin{aligned}
 \theta_j &= \theta_{j-1} \cdot Z_j + L_j \\
 \text{ただし } Z_j &= \frac{1}{2(S+1) - Z_{j+1}} \\
 L_j &= (L_{j+1} + C_j) Z_j \\
 C_j &= \theta'_{j+1} + \theta'_{j-1} + 2(S-1)\theta'_j + 2S \cdot \Delta\theta \\
 S &= \frac{X^2}{h^2 t}
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \dots (2) \end{array} \right\}$$

ここに θ'_j : j 点の初期温度 (°C)
 θ_j : j 点の t 時間後の温度 (°C)
 $\Delta\theta$: 断熱上昇温度 (°C)
 X : 要素の長さ (m)

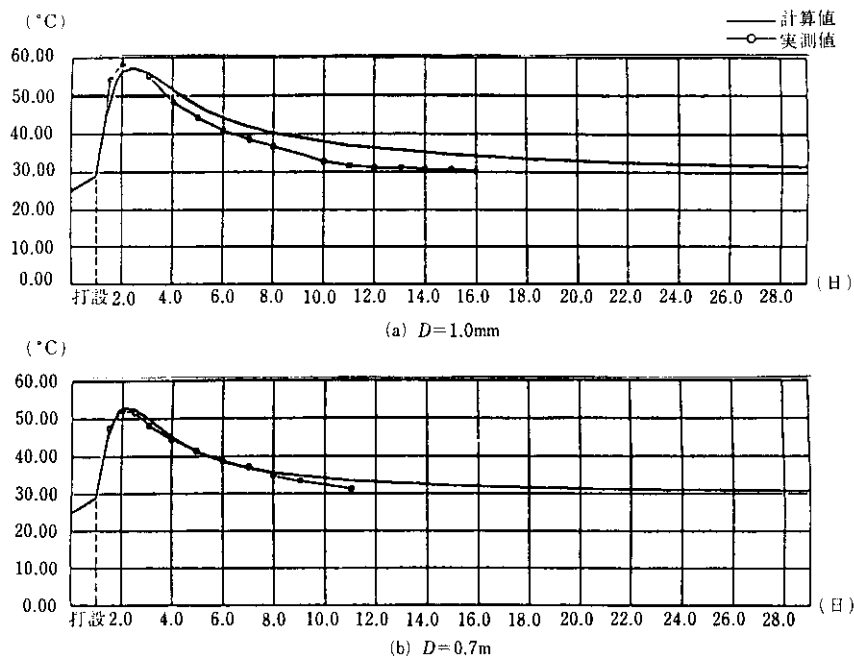


図9 コンクリート温度のF. E. M. による計算値と実測値の比較

h^2 : 熱拡散率 (m^2/h)

t : 時間 (h)

また $j=n$ すなわち温度の最大値のところでは

$$C_n = 2\theta'_{n-1} + 2(S-1)\theta'_n + 2S\Delta\theta$$

$$Z_n = \frac{1}{S+1}$$

$$L_n = \frac{C_n \cdot Z_n}{2}$$

... (3)

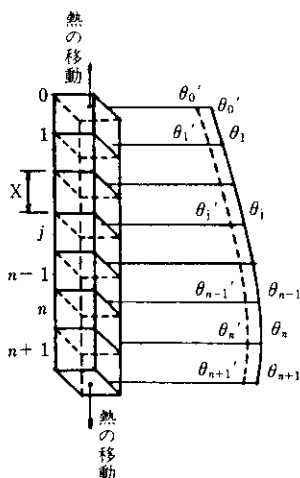


図10 コンクリート中の温度分布

とする。

(2)式において熱拡散率 h^2 はコンクリートの水セメント比 W/C や骨材等より推定して $h^2=0.002746 \text{ m}^2/\text{h}$ を採用し、また断熱上昇温度計算式に(4)式を用いた。

$$\theta_a = \theta_b(1 - e^{-r \cdot t}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式においてF. E. M. 解析と同様発熱温度に関する定数 r をやや大きい値としたのは前述した表面ひびわれの発生から推定して温度上昇が何らかの理由により速くなったと考えたためであるが、詳細については今後さらに検討する必要がある。図11はこれらの条件で計算した結果と実測値とを比較したものである。厚さ1.0mの方は温度下降時に差異が認められるが厚さ0.7mの場合は良く近似していることがわかる。なお温度上昇とひびわれとの関係については若材令におけるコンクリートのヤング係数、拘束度等が複雑に影響するためこの解析は今後の課題とした。

5. まとめ

以上のように本工事では底版コンクリートの打設にあたってマスコンクリートや暑中コンクリー

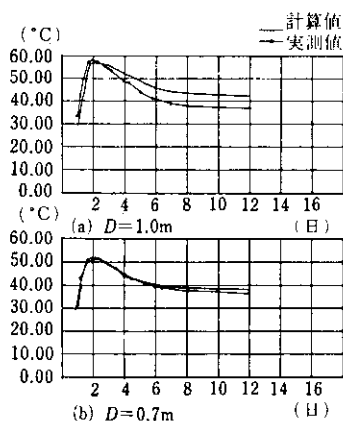


図11 コンクリート温度の Carlson の逐次計算法による計算値と実測値の比較

トの温度ひびわれなど設計施工面で十分な検討を行い実施したが、主な成果はつぎのとおりである。

- (1) 水和熱による温度ひびわれを考慮して高炉セメント B 種、最大寸法 40mm の粗骨材等を用いて施工した結果、表面ひびわれは最大幅 0.3mm で、その発生量も予想より少なかった。このことは高炉セメントの採用や分割打設、および従来から実施してきた補強筋や保温養生等のひびわれ対策が、相乗的な効果をもたらしたものと思われる。

参考文献

- 1) 西堀忠信：「基礎スラブ打設後のコンクリートの温度上昇および温度応力に関する検討報告書」，大阪市大報告書，(1980，8)
- 2) 武田昭彦，中村修吾：「暑中コンクリートとその問題点」，セメントコンクリート，179 (1964) 26
- 3) 魚本健人，田沢雄二郎訳：「暑中コンクリート施工法」，コンクリート工学，17 (1979) 10，45
- 4) Klieger, P. : 「Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength」, J of A. C. I., 6 (1958), 1063
- 5) 塚山隆一：「暑中コンクリートと温度ひびわれ」，コンクリートジャーナル，4 (1966) 6，47
- 6) 小野定：「マスコンクリートの温度ひびわれ制禦効果に及ぼすセメントの種類ならびに単位セメント量の影響」，第35回土木学会年次学術講演会資料 (1980)，V-83
- 7) 大島清，森山謙二ら：「マッシュな熱風が基礎スラブコンクリートの施工計画について」，セメント技術年報，XXX (1976)，468
- 8) 塚山隆一：「マッシュな鉄筋コンクリート構造物の温度ひびわれ発生条件」，セメント技術年報，XXXI (1977)，433
- 9) 加藤幹夫，竹藜昇，島田功：「PC ばり橋脚はり部の温度応力について」，第35回土木学会年次学術講演会資料，(1980)，V-88
- 10) Carlson, R. W. : 「A Simple Method for the Computation of Temperotures in Concrete Structuses」, Pro. J of A. C. I., (1937)
- 11) 塚山隆一，宮地日出男：「各種セメントを用いたコンクリートの温度上昇」，セメント年報，XXV. (1971)
- 12) 小野定：「マスコンクリート打込み後の温度上昇に関する二、三の考察」，コンクリート工学，15 (1977) 1，42
- 13) 神田衛，鈴木脩，石渡章介：「夏期におけるコンクリート強度の低下現象に関する一考察」，コンクリートジャーナ

(2) 外周側面のひびわれは、タンク底版にとって最も注意を必要とするものであるが、これらは第1号タンクで若干発生したにもかかわらず、今回のタンクでは全くみとめられなかった。この結果と温度上昇が第1号タンクより7～8℃少ないことをあわせて考えると、部材内外面温度差による温度応力は、外周側面のひびわれ発生に大きく影響するものと推定される。

(3) 水和熱による温度測定を実施し、その測定値と計算値とを比較した。その結果 F. E. M. および Carlson の方法による計算結果は実測値と比較的よく近似し、これらの方法による解析が実用に十分供しうることがわかった。今後は温度測定値からひびわれの解析まで発展した理論的検討が必要であろう。

なお、おわりにあたり本工事の施工および各種検討にあたり懇切なご指導をいただいた神戸市水道局拡張工事事務所の本工事監督員の方々に深謝の意を表す。また F. E. M. 解析では清水建設株式会社小野定氏、梶田泰仁氏よりご協力および貴重なお助言をいただいた。これらの方々にもあわせて謝意を表す。さらに施工管理において当社営繕部、千葉製鉄所土建部の協力をえた。

ル, 8 (1970) 11, 12

- 14) 土岐高史:「暑中コンクリートの強度上の性質とセメントの問題点」コンクリートジャーナル, 4 (1966) 6, 31
- 15) 日本鉄鋼連盟:「鉄鋼スラグ」, (1980)
- 16) 丸安隆和, 小林一輔, 阪本好史:「高炉セメントコンクリートの研究」, 土木学会, コンクリートライブラリー No. 25 (1970)
- 17) 土木学会:コンクリート標準示方書解説, (1980), 193
- 18) 小野定:「コンクリート打込後の温度上昇の推定への電算機の利用」, 土木学会電算機利用に関するシンポジウム資料, (1976, 11), 131
- 19) 小野定, 櫛田泰仁:「F.E.M.によるマスコンクリートの温度解析に関する一考察」, 第35回土木学会学術講演会資料 (1980), V-85
- 20) 徳田弘, 庄谷征美:「コンクリートの熱特性値の測定と二, 三の考察」, 土木学会論文報告集, 212 (1973) 4, 89
- 21) Glover.R.E:「Calculation of Temperature Distribution in Succession of Lifts Due to Release of Chemical Heat」 J of A.C.I Pro.Vol.3・4 (1937), 105