

## 新十勝大橋(仮称)の施工

—柱頭部のマスコンクリート管理と冬期施工について—

佐	藤	昌	志*
熊	谷	政	行**
平	井	篤	夫***
佐	藤	一	二†
滝		慎	一郎††

## 1. はじめに

一般国道 241 号の交通渋滞を解消するため計画された帯広北バイパスに架設中の新十勝大橋は、昭和 60 年度に下部工事が着手され、平成元年度には上部連続桁の閉合を終え、橋面工事を残すまでに至っている。

本橋は、北海道でも有数の一級河川である十勝川を渡る橋長 755 m の長大橋で、その主径間部の構造形式は 3 径間連続 PC 変断面箱桁であり、中央支間は連続桁としては国内最大の 170 m を有するものである。

このため、中間支点部の反力が約 1 万 t にもなり、中間支点横桁は桁高 10 m、桁幅 6.7 m、桁厚 3 m の壁となるほか、工程上施工時期が 7~8 月になるため、マスコンクリートとしての検討が必要となった。

また、本橋の架設地点は、北海道内でも有数の厳寒地域であり、架設時の約 30 ブロックは冬期間での施工となることから、特に養生方法に関する対策も行った。

本文では、上述した柱頭部(中間支点横桁)のマスコンクリート管理、および冬期施工での養生管理について報告するものである。

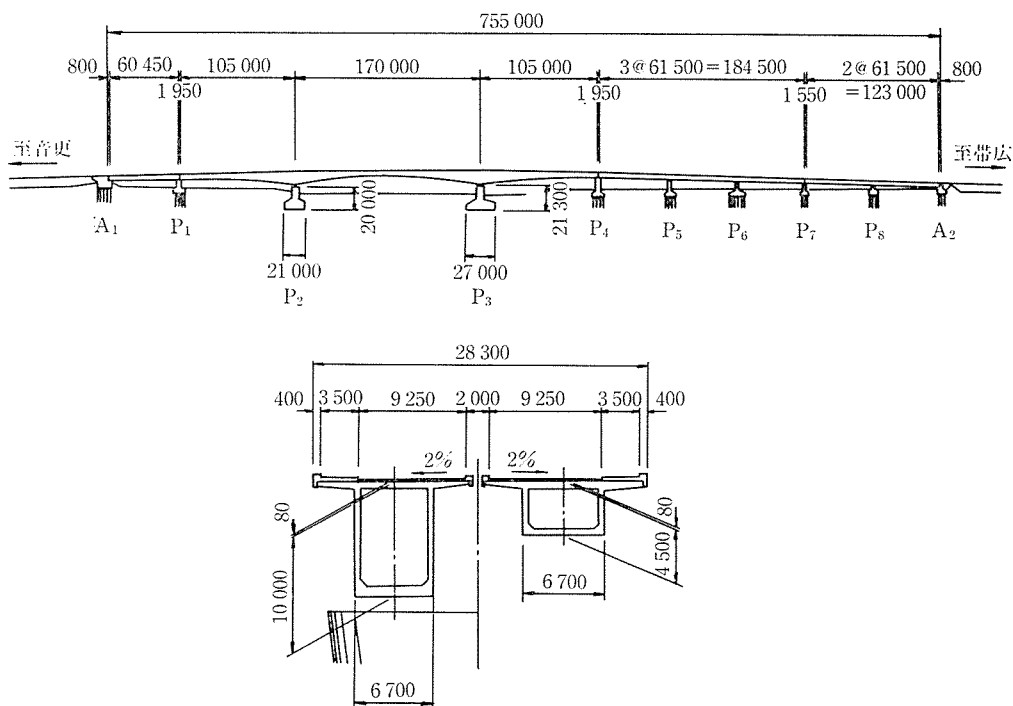
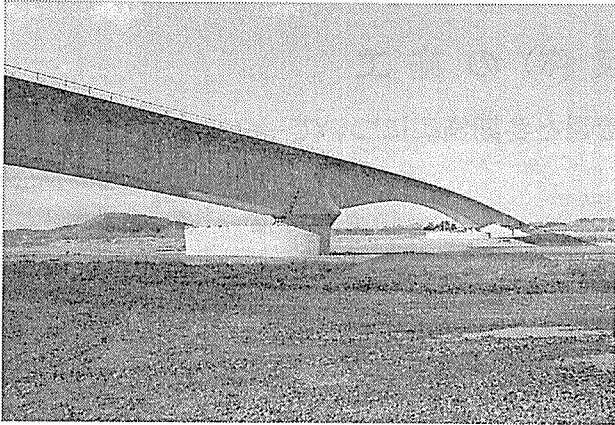


図-1 全体一般図

- \* Masashi SATO : 北海道開発局帯広開発建設部帯広道路事務所工事課長  
 \*\* Masayuki KUMAGAI : 北海道開発局帯広開発建設部帯広道路事務所第一建設係長  
 \*\*\* Atsuo HIRAI : 北海道開発局帯広開発建設部帯広道路事務所技官  
 † Kazuji SATO : 住友建設(株)北海道支店新十勝大橋作業所現場代理人  
 †† Shin'ichiro TAKI : 住友建設(株)北海道支店新十勝大橋作業所



写真一

## 2. 工事概要

### 2.1 橋梁諸元

主径間構造形式：3径間連続 PC 変断面箱桁  
 橋 格：1等橋 (TL-20)  
 橋 長：380 m (105 m+170 m+105 m)  
 有効幅員：9.25 m (車道)+3.5 m (歩道)  
 縦断勾配： $i=3.0\%$ ,  $i=1.0715\%$   
 架設方法：場所打ち片持ち架設工法  
 定着方法：主方向～ディビダーク工法  
 横方向～フレシネー工法

### 2.2 主要材料 (下り線のみ)

コンクリート： $\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$  6 658 m<sup>3</sup>  
 鉄 筋：SD 30 A 695 t  
 PC 鋼 棒：B 種 2 号,  $\phi 32 \text{ mm}$  591 t  
 PC 鋼 線：SWPR 1 12  $\phi 7 \text{ mm}$  38 t

### 2.3 主桁形状およびブロック割り

主桁形状は、図-2 に示すように柱頭部 10.0 m, 支間中央部 4.5 m で sin 曲線で変化させており、施工ブロック割りは各橋脚とも 62 ブロックで、200 tm フォルバウワーゲンにて、1 ブロックを 2.0~3.2 m で施工した。

## 3. 柱頭部のマスコンクリート管理

先に述べたように、柱頭部横桁ではコンクリートの水と熱によるひびわれに対して「マスコンクリートのひびわれ制御指針」にのっとり 2次元 F.E.M. 解析により温度応力解析を行うとともに計測による照査を行った。

また、マスコンクリートのひびわれ制御に関しては、図-4 で示すような指針に記載されている制御フローがあるが、この最終段階まで照査を行うまでに至った。

### 3.1 ひびわれ制御のための解析

柱頭部の断面は 図-5 に示すように、支点横桁と仮固定鋼棒位置の 2 枚の壁で構成されている。

解析手法は、簡易な方法として Schmidt 法等があるが、ここではより厳密をきすために 2次元 F.E.M. 解析

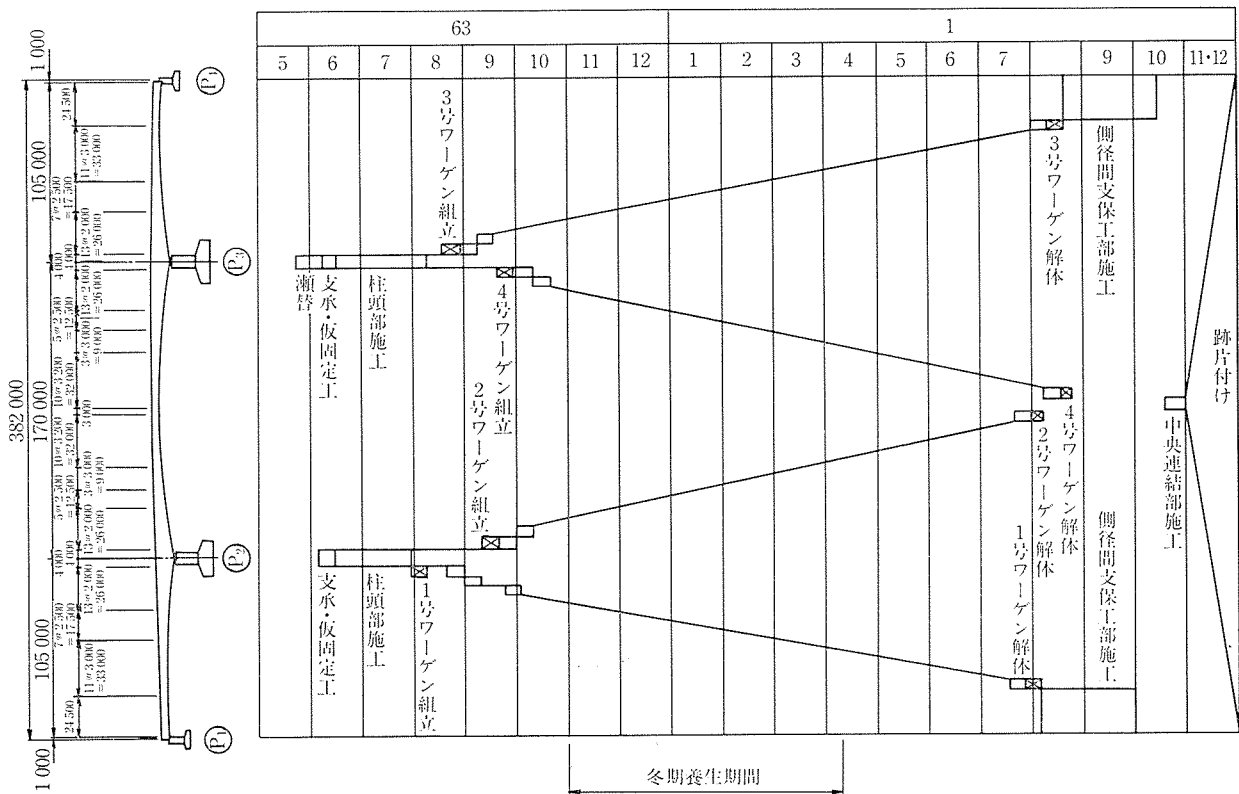


図-2 ブロック割りおよび工程表

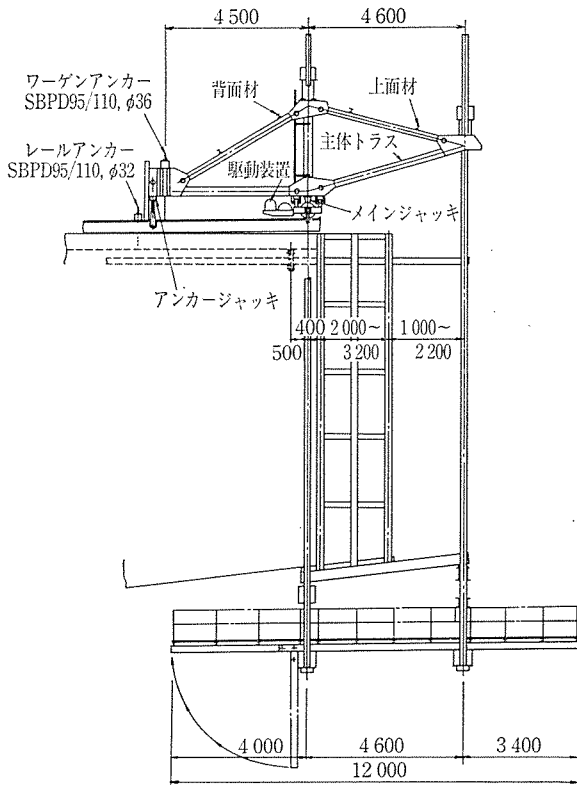


図-3 200tm フォルパウワーゲン

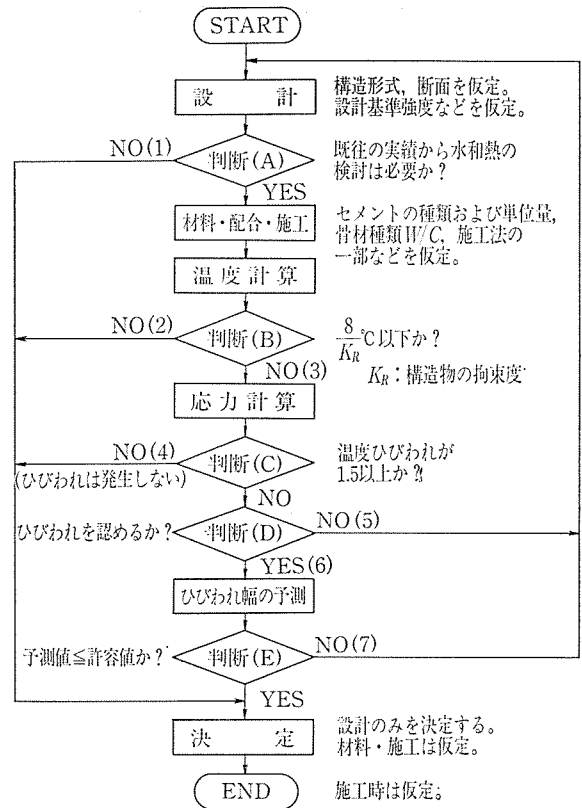
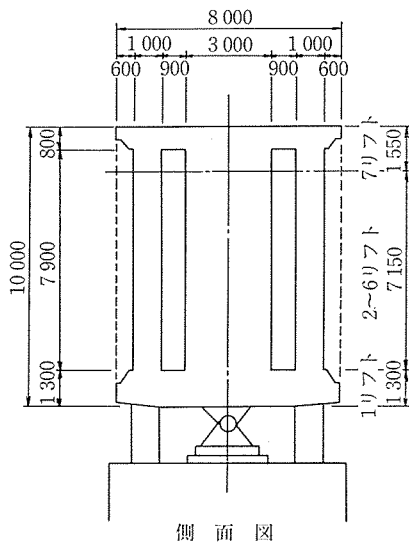
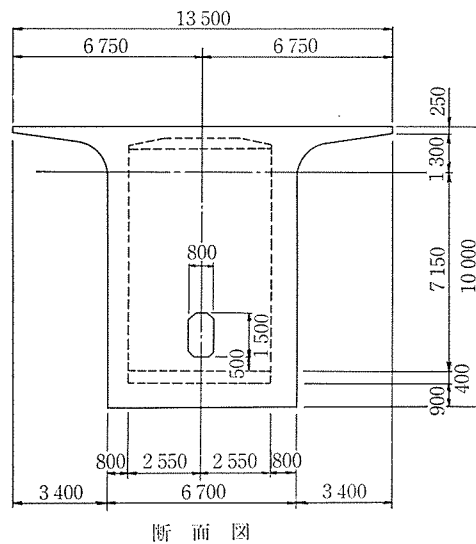


図-4 マスコンクリートのひびわれ制御フロー



側面図



断面図

図-5 柱頭部断面・側面図

を用い、コンクリートの水和熱による温度解析および温度応力解析を行った。解析モデルは、対称条件により1/2モデルで行い、大別するとコンクリートの打設を5リフトとした場合と7リフトとした場合のほか、使用セメントとして普通+早強の場合、および早強の場合のみの4ケースについて行った。

解析結果では、5リフト打設の場合、打設工程、配合、

打込み温度の制御(打設時期)等、条件を種々変えたが、制御フロー中のNo.4(温度ひびわれ指数  $f_t(t)/\sigma_t(t)$  が1.5以上かどうか)の段階で、指数がいずれの場合も1.0未満(0.6~0.8)としかならなかった。

以下では、フローの最終段階までの照査を必要としたが、結果的に設計上では制御が可能であったリフト打設(早強ポルトランドセメント使用)について、解析の条

◇工事報告◇

表—1 設計条件および材料特性

項目	内容				
設計条件	コンクリートの種類	早強ポルトランド $\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$			
	外気温	19°C (桁下面のみ 14°C)			
	コンクリート打込み温度	20°C			
	リフト割りと打設間隔	7リフトで 1~6 リフトが5日, 7リフトが7日			
材料	配合	$W_w$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$W_c$ (kgf/m <sup>3</sup> )	$W_s$ (kgf/m <sup>3</sup> )	
		160	430	1793	
		密度 $\rho$	2.3 t/m <sup>3</sup>		
	比熱 $C$	0.29 kcal/kgf°C			
	熱伝導率 $\lambda_c$	2.3 kcal/mh°C			
料	熱伝達率 $\eta$	コンクリート表面 型枠 (合板)	11 kcal/m <sup>2</sup> h°C		
		シート養生 養生マット+散水	7.5 kcal/m <sup>2</sup> h°C		
特性	断熱温度上昇式	$Q(t) = 58.0 \times (1 - e^{-1.404t})$			
	力学的特性	圧縮強度 $f_c'(t) = \frac{t}{2.9+0.97} \times f_c'(91)$			
		引張強度 $f_t(t) = 1.4\sqrt{f_c'(t)}$			
		ヤング係数	$E_e = 1.1 \times 10^4 \sqrt{f_c'(t)}$ : t=3 日まで		
			$E_e = 1.5 \times 10^4 \sqrt{f_c'(t)}$ : t=3 日以降		
線膨張係数 $\alpha = 10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$					
ポアソン比 $\nu = 0.167$					

件および解析結果を紹介する。

3.1.1 設計条件

設計条件および材料特性を 表—1 に示した。表中の外気温については、打設時期を 7~8 月と想定し、架橋地点の過去 8 年間の月平均気温としているほか、桁高が高いことから桁上下面の温度差を考慮して、桁下面の外気温を 5°C 下げ 14°C とした。

3.1.2 解析モデルの設定

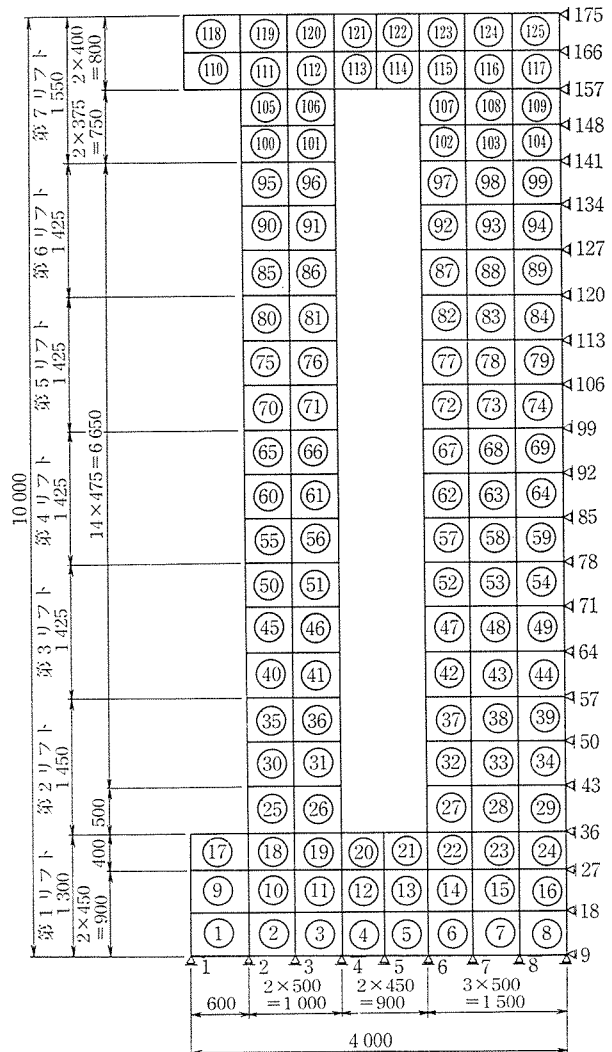
コンクリート打設のリフト数は、前述のとおり 7 リフトで、第 1 リフトは下床版、第 2~6 リフトがウェブ、第 7 リフトが上床版として分割を行った。

また、この種の解析の場合、境界条件の設定が重要となるが、これについては施工状況を可能な限り反映させ、具体的にはコンクリート表面の熱伝達率を施工段階に応じて変化させることとした。

3.1.3 F.E.M. 解析結果について

表—2 に各リフトごとの最高温度が生じる要素および最大引張応力度の生じる要素とその経過時間を示す。

第 1 リフトでは、最大引張応力度が生



図—6 解析モデル図

じる位置は横桁中心線に沿った桁下端の No. 8 要素で、第 2 リフト 打設後 3 日目に  $\sigma_t = 22 \text{ kgf/cm}^2$  の応力度が発生している。

第 2~6 リフトについても、最大引張応力度が生じる位置はすべて横桁中心線に沿った要素で、発生時期はコンクリート打設後、1 か月以上経過している。

表—2 各リフトごとの最高温度および最大引張応力の生じる要素・経過時刻

項目	リフト	リフト						
		1	2	3	4	5	6	7
最高温度	温度 (°C)	64.1	70.1	70.1	70.1	70.1	70.1	70.9
	発生位置節点番号	12	43	64	85	106	127	157
	時間ステップ番号	4	11	18	25	32	39	48
	1リフト打設からの累加日数(日)	2	7	12	17	22	27	34
	打設後日数(日)	2	2	2	2	2	2	2
最大引張応力	$\sigma_t(t)$ 引張応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	22.0	22.3	22.5	21.7	21.2	18.6	25.8
	発生位置要素番号	8	39	44	59	74	89	114
	応力計算ステップ番号	12	58	58	58	58	58	58
	1リフト打設からの累加日数(日)	8	93	93	93	93	93	93
	打設後日数	8	88	83	78	73	68	61
$f_t(t)$ 引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	28.5	32.9	32.8	32.8	32.8	32.7	32.6	
$f_t(t)/\sigma_t(t)$ 温度ひびわれ指数	1.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.8	1.3	

第7リフトでは、横桁と上床版との付根の No. 114 要素で最大引張応力度がコンクリート打設後2か月以上経過して発生している。また、No. 107 要素（隅角部）でも同様の応力度が生じている。

最大引張応力度に対して、ひびわれ指数の照査を行ったところ、2~6 リフトでは1.5以上となったが、1, 7 リフトでは1.5未満となったため、検討を必要とした。また、コンクリートの引張強度が小さい若材令期についても同様の照査を行ったが、引張応力度は発生するものの、ひびわれ指数は全要素において1.5以上となった。

以上の照査より、本リフト割りではほぼすべての施工段階でひびわれ発生の可能性が少ないという結果を得た

が、特定の2箇所ですらに検討が必要となった。

これらについては、コンクリート標準示方書（設計編 7.3.4）よりひびわれ幅を算出した結果、その幅は0.03~0.02mm程度で、許容ひびわれ幅（0.2mm）をはるかに下回ったもので問題のない範囲であると判断した。

### 3.2 温度および温度応力測定について

#### 3.2.1 計測の目的と内容

F.E.M. 解析により決定された施工リフト割りにおいて計算された温度、温度応力および諸仮定の妥当性を検証するため、柱頭部横桁各部に計測機器を設置し、実際に生ずる温度および温度応力（有効応力計、埋込み型ひずみ計による測定）を測定した。

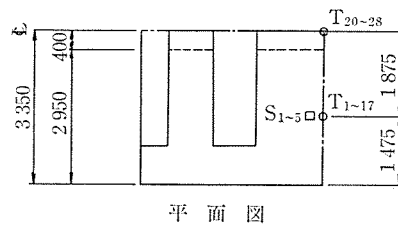
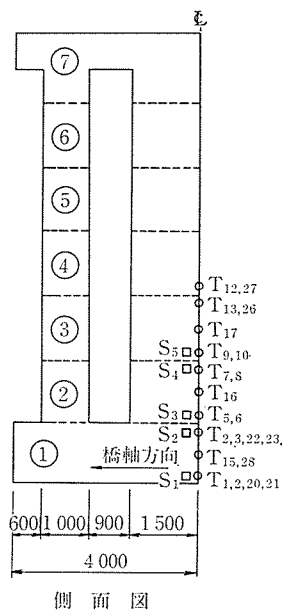
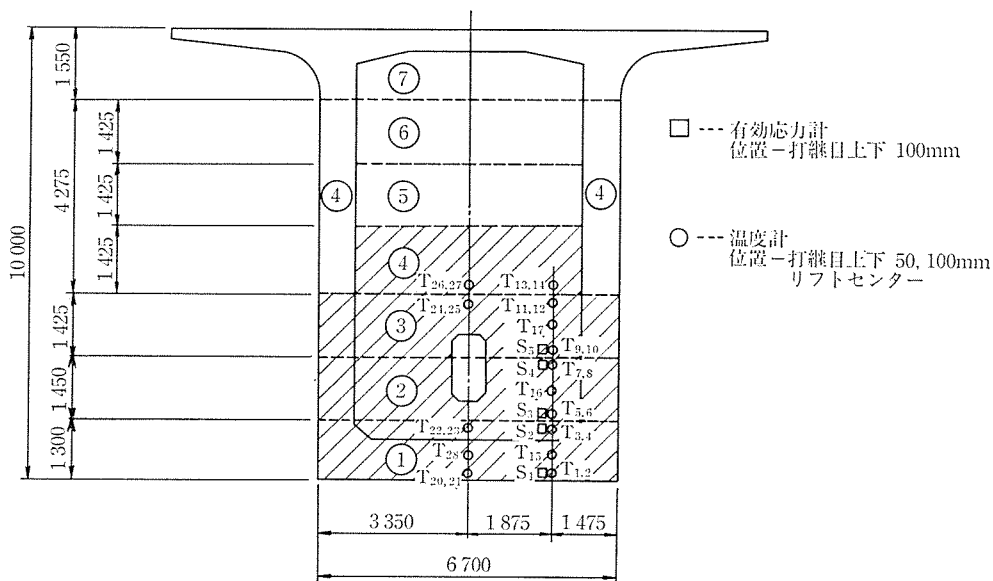


図-7 計測器取付け位置

◇工事報告◇

測定は P<sub>3</sub> 柱頭部横桁で行い、測定リフトはプレストレスが導入される時期を考慮して 1~4 リフトとした。

3.2.2 計測機器取付け位置と計測システム

計測方法は、各リフトごとに熱伝対、埋込み型ひずみ計、有効応力計を所定の位置に配置し、コンクリート打設後逐次データを採取することとした(図-7)。なお、P<sub>3</sub> 柱頭部のコンクリート打設の工程は、1~7 リフトまでが昭和 63 年 7 月 6 日~8 月 6 日となり、この地域では比較的暑くなり、この間の平均外気温が設計外気温 19°C に対して 22.5°C であった。

3.3 測定結果

測定結果は解析値の妥当性を検討するため、① 温度履歴、② コンクリートの力学的特性値、③ 温度応力履歴について、各々比較を行った。

3.3.1 温度履歴と最高温度

① 最高温度

各リフトでの最高温度は第 1 リフトでは中央部で 74.4°C となり、F.E.M. 解析結果より約 10°C 高く、そのピークは解析値より 1 日早い、コンクリート打設後 1 日目で現われている。第 2, 3 リフトでは測定値は 5°C と高く、ピークも第 1 リフトと同じ時期に現われた。これらについて、第 1 リフトでは実際のコンクリート打設温度が解析値よりも 2°C と高く、外気温もピーク時で 6°C と高かったことが考えられる。他のリフトでは、コンクリート打設温度が約 20±1°C で、外気温も 20°C 以下の日が多かったため、大きな温度上昇が生じなかったと推察される。

② 温度履歴(図-8(1), 8(2), 8(3))

第 1 リフト下層部の履歴形状は解析値とほぼ同様の傾向であるが、橋軸直角方向中心部の測定値(T<sub>20</sub>, T<sub>21</sub>)がウェブ寄りの測定値(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)と比較していずれも高く、特にピーク時での底版温度差は T<sub>20</sub> が T<sub>1</sub> より約 14°C 高くなっており、さらに、解析値とのピーク時での温度差は T<sub>20</sub> が約 26°C も高くなる結果となった。これは打設温度と外気温が解析値とでは異ったうえに、底版付近で型枠・支保工があるため空気の流通が悪く放熱が少なかったためと考えられる。また、測点位置において約 14°C 差が生じているのは、測点 T<sub>1</sub> は支承上、測点 T<sub>20</sub> は型枠合板上であり境界条件に大差があったためと考えられる。

中心部での履歴形状は、上層側(No. 27)の形状とほぼ一致しピーク時での温度は約 10°C 測定値が高くなったが、測定位置での温度差は下層部ほど顕著ではなかった。

また、上層部での履歴はピークも第 2 リフト打設後 2 日とほぼ一致しているが、第 2 リフト打設前までは、表

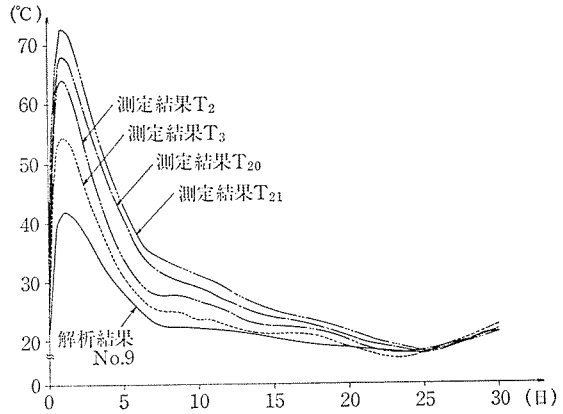


図-8(1) 第 1 リフト下層部 温度履歴図

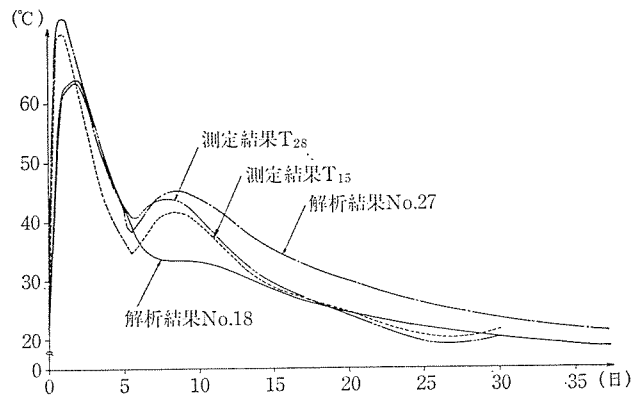


図-8(2) 第 1 リフト中心部 温度履歴図

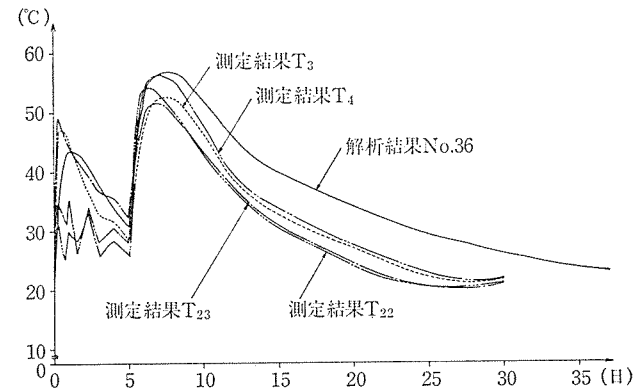


図-8(3) 第 1 リフト上層部 温度履歴図

層部(T<sub>4</sub>, T<sub>23</sub>)の値は外気の影響を受け易いため、その履歴は次リフト打設まで顕著に現われた。

以上、第 1 リフトについて主に述べたが、第 2~4 リフトでも測定位置による温度差は、第 1 リフトほどではなく、約 5°C 程度であった。これは F.E.M. 解析を 2 次元で行い、実際の 3 次元立体構造物との差が生じていると考えられるが、5°C 程度の温度差で本構造物のような形状であれば、一般的な 2 次元解析で十分追従、把握できるものと思われる。

3.3.2 コンクリートの強度特性

温度応力が問題となる若材令時においては、コンクリ

ートの圧縮強度、引張強度、ヤング係数などの基本的性質が材令によって著しく変化するため、E.F.M. 解析で推定した特性値について試験結果と比較を行った。

① 圧縮強度 (図-9 (1))

各材令における強度試験を行った第1リフトでは、他のリフトでの圧縮強度より小さく、第2~7リフトの平均値の約90%であったが、強度発現については第1リフトで材令0~4日、2~7リフトで0~7日の初期段階で仮定値 ( $\sigma_7=400 \text{ kgf/cm}^2$ ) を上回る結果となった。

また、仮定値については、コンクリート標準示方書の式を用いたが、後述する温度応力測定の結果からもわかるように、本工事では  $\sigma_7=400 \text{ kgf/cm}^2$  から推定した圧縮強度曲線で応力解析を行ってもその応力状態は十分に把握できるものと考えられる。

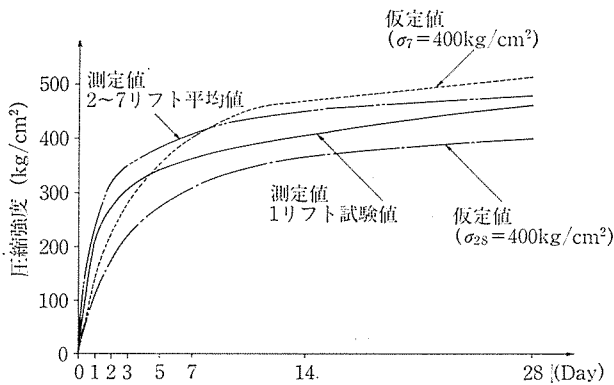


図-9 (1) 材令に対する圧縮強度

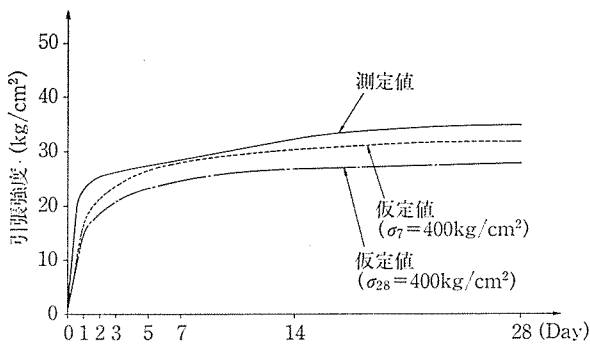


図-9 (2) 材令に対する引張強度

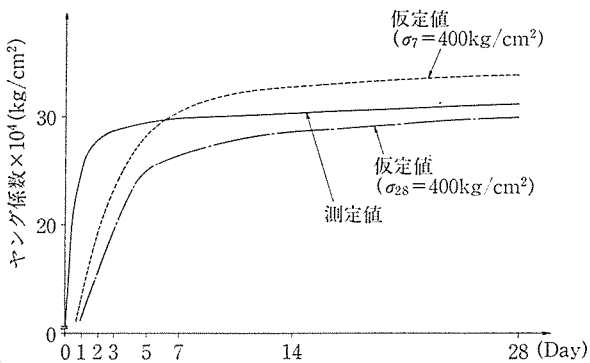


図-9 (3) 材令に対するヤング係数

② 引張強度 (図-9 (2))

引張強度は全期間の材令において測定値が仮定値を上回り、特に初期の段階 ( $t=0\sim3$  日) では圧縮強度同様、強度発現が早く全体的に測定値が大きくなった。

③ ヤング係数 (図-9 (3))

強度同様、測定値が若材令 ( $t=0\sim5$  日) において仮定値を上回り、それ以降は  $\sigma_7=\sigma_{28}=400 \text{ kgf/cm}^2$  の仮定値内に入った。また、仮定値については、クリープの影響が大きい初期の段階 (材令  $t=0\sim5$  日) を除いては、 $\sigma_7=400 \text{ kgf/cm}^2$  で推定した値で解析を行った場合、ヤング係数が測定値より7~8%高いので、算出された引張強度は測定値と比較して多少高目の値になることが予想される。

3.3.3 温度応力履歴

温度応力の経時変化については、3.2.1 で述べたようにひずみ測定から応力算出したものと有効応力計にて直接測定したものと2通りで追従しているが、ここでは有効応力計を設置した箇所について結果を報告する。

① 第1リフト (図-10 (1), 10 (2))

第1リフトでは、打設後0~5日の間で、解析値が引張応力度、測定値が圧縮応力度を生じ、次リフト打設以降は22日以後の解析値を除き、どちらも引張応力度となっている。上層部での全体的な履歴形状は、測定値、

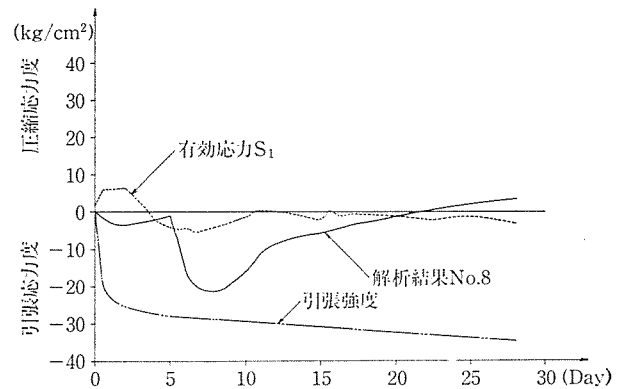


図-10 (1) 第1リフト下層部 応力履歴図

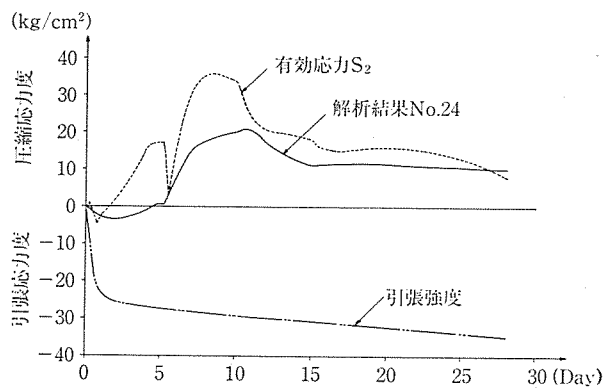
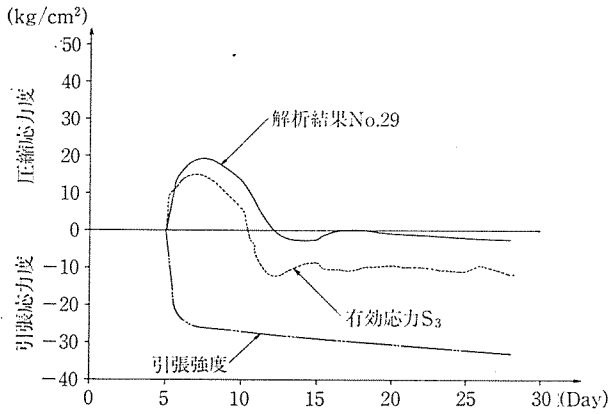
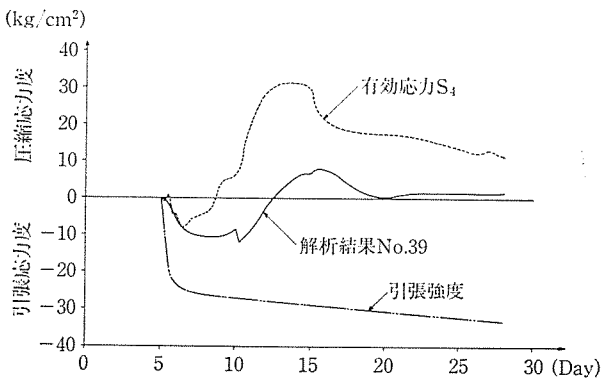


図-10 (2) 第1リフト上層部 応力履歴図

◇工事報告◇



図一10 (3) 第2リフト下層部 応力履歴図



図一10 (4) 第2リフト上層部 応力履歴図

解析値とも同じ傾向を示すが、打設後 0～5 日の間で測定値は外気と接しているために急激な変化を示しており、打設後 18 時間で約  $-4.5 \text{ kgf/cm}^2$  の引張応力度が生じている。

② 第2リフト (図一10 (3), 10 (4))

下層部でも、有効応力と解析値はほぼ同じ傾向を示しているが、次リフト打設後においては測定値は 12 時間後、解析値は 3 日で引張応力度に変わり、測定値で最大約  $12 \text{ kgf/cm}^2$ 、解析値で最大約  $3 \text{ kgf/cm}^2$  の引張応力度が生じた。

上層部も応力度の大小はあるが同様の傾向を示しており、測定値は打設後 3 日で圧縮応力度に、解析値は打設後 8 日で圧縮応力度となっている。

以上、第 1, 2 リフトの一般的傾向を述べたが、第 1 リフトで打設後 0～5 日の間で解析値が引張応力、測定値が圧縮応力となったのは、底版部での拘束条件 (解析では可動支承、実際には仮支承による拘束が働いた) および設計条件 (解析時の設定温度と打設時の温度差) の違いによるものと考えられる。

また、第 1, 2 リフトの上層部では、温度履歴からも示されるように、昼夜の外気温に大きな差があるので、外気温を一定として行った解析値と比較して引張応力度が急激に変化していることに注意すべきであろう。

4. 冬期施工について

前述したように、当該地域は、冬期間は道内でも有数の極寒地で、過去の気象データから年に数度は  $-30^\circ\text{C}$  を超える日もあり、ここでは冬期養生期間における養生管理について述べる。

① ワーゲン養生

ワーゲンについては 図一11 に示したように主桁に接する部分はジャッキベースによってスライドできる構造とし、桁高の変化に対応できるように考慮した。仮囲いは前方、側方、後方足場でビティーを利用し防災シート 2 枚張りとしたほか、厳寒期において温度差によるワーゲン鋼棒への悪影響を避けるため、ワーゲン鋼棒も養生上屋内に入る構造とした。資材搬入口として、中央部分にシャッター、側方部分に出入口としてドアを左右 2 箇所配置した。

② 床面養生

床面は作業床足場上にグラスウールを敷き、その上に防災シートを張り施工した。

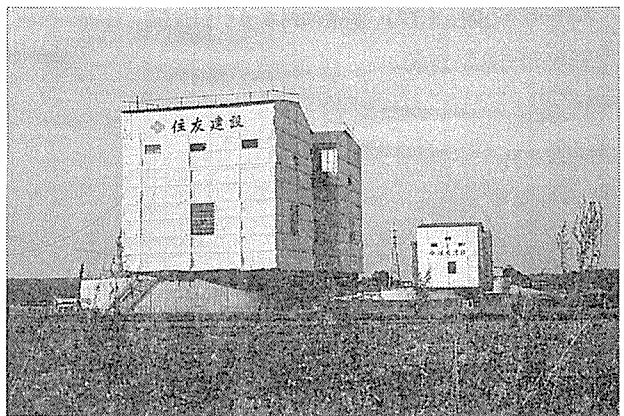
当初、厳寒期には、養生水のグラスウールへの浸透で、それが凍結し層状化による作業荷重の増大を懸念したが、外気温が  $-25^\circ\text{C}$  になっても上屋内の温度が  $0\sim 10^\circ\text{C}$  に管理できたため、この現象は起こらなかった。

③ 養生管理

養生機械は、算定した必要熱量に基づき検討した結果、橋面上 2 台、作業床上 2 台の計 4 台設置し、また、前方上部受梁上に空気の循環を行うため、送風器を設置し、養生上屋全体の温度を一定に保つようにした。

温度管理は設定温度がコンクリート打設後 2 日間は  $10^\circ\text{C}$ 、その後 3.5 日は  $0^\circ\text{C}$  と規定されており、コンクリート打設前に熱伝対を 図一12 のように 6 点配置し、打点記録計にて管理を行った。

作業床から天井まで約 20 m もあるので、上下面での温度差が大きくなることが心配されたが、容積 (約 1 000



写真一2



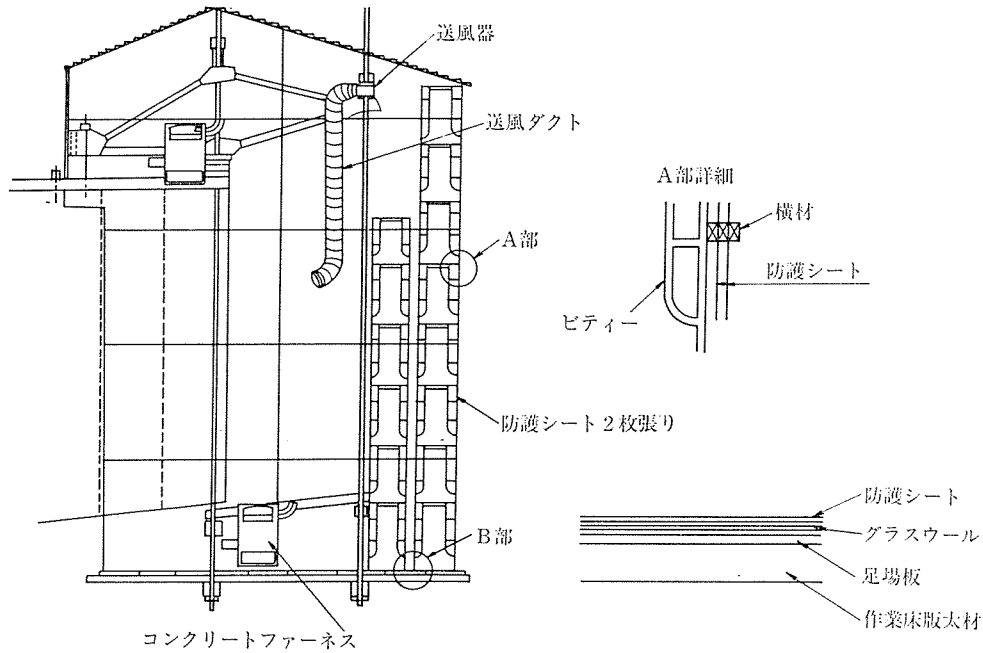


図-11 養生仮囲い

た。

### 5. まとめ

柱頭部のマスコンクリート管理では、F.E.M. 解析で決定されたリフト割りで施工を行った結果、測定機器を埋め込んだ P<sub>1</sub> 橋脚柱頭部、および先行施工した P<sub>2</sub> 橋脚柱頭部では、どちらも温度応力によるひびわれ発生は認められなかった。これらの理由について考察すると、

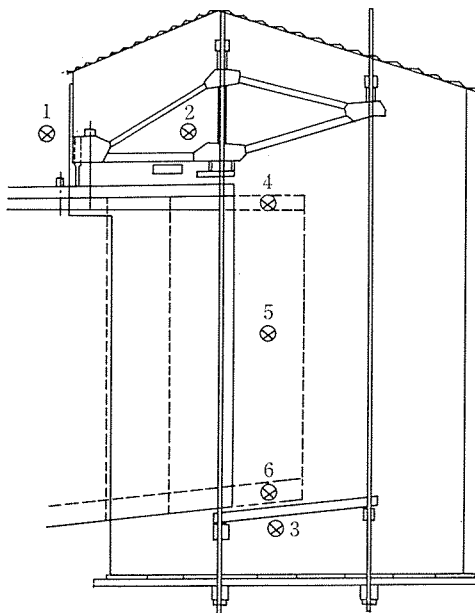
① 設計条件については、コンクリート打設温度が仮定値 ( $T=20^{\circ}\text{C}$ ) 前後であり、施工時期の平均外気温に大きな変動がなかったこと、および各リフトの打設間隔も設定した日数で施工できたことなどがあげられる。

② 材料特性については、引張強度が仮定値をすべて上回り、初期強度は特に大きかったこと。ヤング係数が初期において解析値よりも大きかったにもかかわらず、クリープ等によるひずみ成分が多く、解析値程度の引張応力度しか作用しなかったことなどがあげられる。

次に、F.E.M. 解析と測定に関して留意すべき点として、

① 設計条件では、熱伝達率などの境界条件が敏感に影響を与えているので、解析に対しては十分に考慮すべきであることと、測定結果から判断して、昼夜の温度差が  $10^{\circ}\text{C}$  程度であれば、外気温を一定として解析を行っても評価はできると考えられる。

② 応力解析では、クリープ等のひずみによる影響は、次リフト打設後、外部拘束によって引張応力度を受ける打継目部では、それ以降でも温度応力以外のひずみによる影響が大きいことなどがあげられる。



- 1: 外気温
- 2: 養生温度(上面)
- 3: " (下面)
- 4: コンクリート温度(上床版)
- 5: " (ウェブ)
- 6: " (下床版)

図-12 養生温度管理

$\text{m}^3$ ) が大きく、空気の循環が十分であったため、この現象も生じなかった。

ワーゲン内部においては、冬期間どの部分においても  $5\sim 15^{\circ}\text{C}$  ぐらいに保たれており、作業性もよく、コンクリートの品質管理についても材令期における強度遅延といった工程に直接影響のするような問題も全くなかつ

## ◇工事報告◇

一方、冬期施工については、約 30 ブロックが冬期養生期間に入ったが、北海道内の厳寒地域においても、仮囲いの材料・使用方法、断熱のためのグラスウール配置、養生のための適切な温度管理、並びに防寒性を考慮した資材搬入用シャッターの設置等、細部にいたるまで配慮した結果、養生仮囲い内の温度に大きな寒暖の差もないうえ作業性も十分で、良好な結果を得ることができた。

### 6. おわりに

最近は工事の大型化が目立ってきており、道内においても複数年度にわたって施工する工事が増大している。特に片持ち架設工法については、養生設備が他の工法に比較し施工が容易で、冬期間においても夏場とほとんど

変わらない作業性を得ることができる。

これまでに述べたように、長大橋においてはマスコンクリートの管理、防寒養生等、様々な点を考慮しなければならないが、本稿がこの種の施工管理において少しでも参考になれば幸いである。

最後に、本橋の設計・施工に際し、適切なるご指導、ご尽力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考および引用文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひびわれ制御指針，昭和 61 年 3 月
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計・施工編），昭和 61 年 10 月

【1990 年 6 月 28 日受付】

---

## ◀刊行物案内▶

### FIP「プレストレストコンクリート材料の極低温下挙動」 に関する技術水準報告書

体 裁：B 5 判 53 頁

定 価：2 500 円 送 料：300 円

内 容：緒言，序論。1. 極低温化の構造物と荷重載荷条件；極低温下の構造物，供用条件と荷重，危険状態と荷重，構造物の設計と材料特性。2. 低温下における材料の挙動；PC 鋼材，定着具用鋼材の種類と性質，鉄筋，極低温下のコンクリートとグラウト。3. 低温下での複合挙動；はじめに，低温下での付着，プレストレスング・システムの挙動，注釈，PC の破壊靱性。4. 低温試験方法；鋼材の試験，コンクリートおよびグラウトの試験方法，定着部の試験，付着部の試験，付着に関する試験。