

5. 穴内川ダムにおける施工中の温度 応力軽減対策

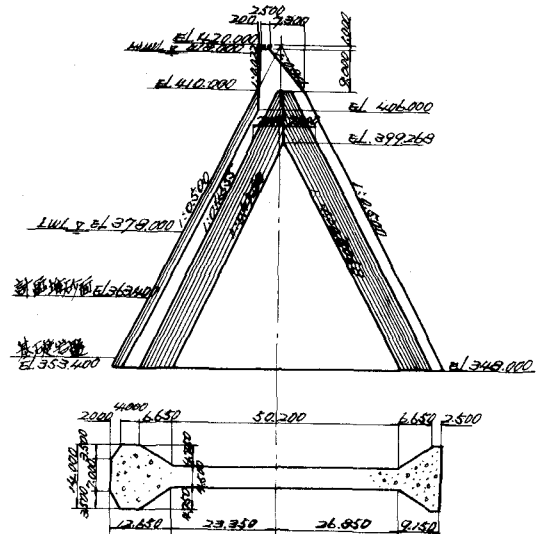
四国電力。糸賀郁雄

はしがき

昭和32年から34年にかけ建設された大森川ダムは四国で最初のホローグラビティ型ダムであるが、不幸にしてダムコンクリートにひびわれの発生を見た。このため引き続き続いて行なわれた同型式の穴内川ダム建設にあたっては、このダムコンクリートのひびわれ防止ということが重要な課題の一つとなった。

穴内川ダムの諸元は次のとおりである

ダム型式	ホローグラビティダム
堤高	65.600 m
堤頂長	251.900 m
ニラ配	上流とも 1:0.500
ブロック幅	14.000 m
堤体積	218,560 m ³



§1. コンクリート 材料の選定

1) セメントの水和熱

セメントの硬化に伴う水和熱の発生は、ひびわれ発生の最大の原因となるものであるが、所要強度の得られる範囲内で水和熱の低いセメントを選ぶべきである。

この観点から、中熱セメントにフライアッシュ

図-1 ダム標準断面図 単位:m

配合……単位セメント量が少さし、%が大きい程フリース量は大きい。

セメントの種類……骨材%同じ他の条件が同じであれば高炉セメント、中熱セメント、中熱セメント、中熱セメントの順にフリース量は大きい。

以上(1)～(8)までの検討事項の他に、所要強度、耐久性並びにヤウカビリテーを考慮して4種類の配合を決定した。ダイヤモンドにはB配合($C+F=190\%$)を用いたもので、その諸特性を表-1に示す。

穴内川ダム用中熱セメント	水 和 率 (cc/g)		養生時セメント温度	摘 要
	7日	28日		
	65(58)	78(75)	60°C以下	()内は目標値

配合	単位水量	セメント 7315322	セメント	7315322	7315322	セメント	粗骨材	細骨材	粗骨材	細骨材	12.5%骨材
種別	W (kg)	C+F (kg)	C (kg)	F (kg)	C+F (%)	W/C (%)	G/S	S (kg)	G (kg)		(cc)
B	100	189	132	57	30	52.9	2.8	553	1,550		3,780

圧縮強度 試験片寸法(mm)	圧 縮 強 度 (kg/cm ²)	弾 性 係 数 (kg/cm ²)	圧縮クリープ曲線式	摘 要
3	37	76×10^3	$11.26 + 4.66 \ln(t+1)$	
5	—	133×10^3	$9.71 + 3.56 \ln(t+1)$	
7	68	156×10^3	$9.50 + 2.79 \ln(t+1)$	板状 1.35 $\ln(t+1)$ 大断 0.636 $\ln(t+1)$
28	164	206×10^3	$7.49 + 1.94 \ln(t+1)$	板状 0.903 $\ln(t+1)$ 大断 0.519 $\ln(t+1)$
91	320	246×10^3	$4.76 + 0.80 \ln(t+1)$	

表-1 ダムコンクリート(B配合)の諸性質

他のダムコンクリートと比較して穴内川ダムコンクリートのフリース量は非常に大きいことがわかる。

シエも混入しさうにセメント分散剤を用い
 るニとにより強度を低下せしめるニとなく
 單にセメント量を減じ、コンクリートの湿
 度上昇もコントロールするという方法かと
 うれた。

ロ) 高温養生におけるインクリートの強度
とひびわれ抵抗性

に度普通は氷セは
 熱温はて日熱トは
 弁高いて28度
 の高いて令中大きい。
 はなりおに枝方セ高
 はな1期が一入がす
 部か養生初る。混ガ示
 のも養生はある。混ガ示
 のり温トて存ツ強度性
 の高ニ大にアツ強度性
 リ(20℃)なメは逆イの抵抗
 ク生よや強何フ養生れを混
 ニ養の高り順び温が強ト
 ゴ華ニトよのよ高ハゲ
 ス標加ニ生ニお共曲ナ
 マてるナ養はト令ぎてセ
 っほセ華でニ枝つし令
 よに通標降メ子枝つし令
 混縮ぎい

ハ) π リ - π' と 力の 緩和

フリープが大きいければこれによつて起る抵抗力も大きく、二の二とはひびわれ防止上非常に有利である。

つぎにフリープに影響を及ぼす諸因子について述べる。

骨材……セメントペースト量が一定の場合
合粗粗率が大きくなると、かつ $\frac{G}{S}$ が大きくなる。
い程クリープ量は大きい。

§2. 種々の条件下における温度応答とその対策

前節で穴川ダム用コンクリートが決定されたが、種々の条件下でこのコンクリートにひびわれ発生危険性があるかどうかを検討した。

標準気温日変化時の温度応答

ダムコンクリートのリフト高、打設速度は土木学会示方書に準じて、それぞれ1.50 m/リフトと決められていたのので、標準気温日変化の条件下で型枠取り外し直後のコンクリート側表面の温度応答を検討し、ひびわれ発生防止上必要な型枠存置期間を見出すことにした。代々の比較的短い期間を計算範囲とするので温度分布計算はすべて一次元熱流として行った。まず上下方向の一次元熱流を考慮して基礎岩盤の影響のなくなるリフト内の平均温度一代令曲線(図-2)を求めこれを昇熱環境ととして、水平方向一次元熱流の計算を行った。

計算条件は次のとおりである

コンクリート断熱温度上昇

$$\theta = 25.5(1 - e^{-0.25t}) \text{ } ^\circ\text{C}$$

コンクリート熱拡散係数

$$k^2 = 0.0042 \text{ m}^2/\text{hr}$$

気温の日変化曲線

$$\Theta = 6.55 \sin\left(\frac{2\pi}{24}t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ } ^\circ\text{C}$$

コンクリート初期温度

打設完了時の気温(日最高気温)に等しいとする。

コンクリート側表面からの熱伝達率

型枠のある場合 $1.88 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

露出の場合 $12.00 \text{ } "$

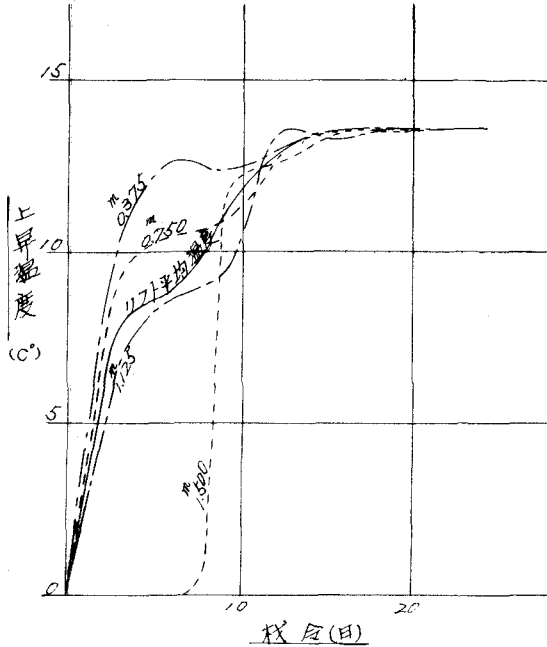


図-2 リフト内温度-日数曲線
縦方向熱流のみの場合

上記温度分布計算は Carlson の表解法によつて行なつた。

得られた温度分布曲線より Compensation line method により温度ひずみ ΔEt を求めこれに弾性係数 E_t を乗じれば、各時間間隔ごとの温度応力が得られ果計算の際に、たれ緩和曲線(図-3)を用い

ればコンクリートのクリープを考慮した温度応力が得られる。

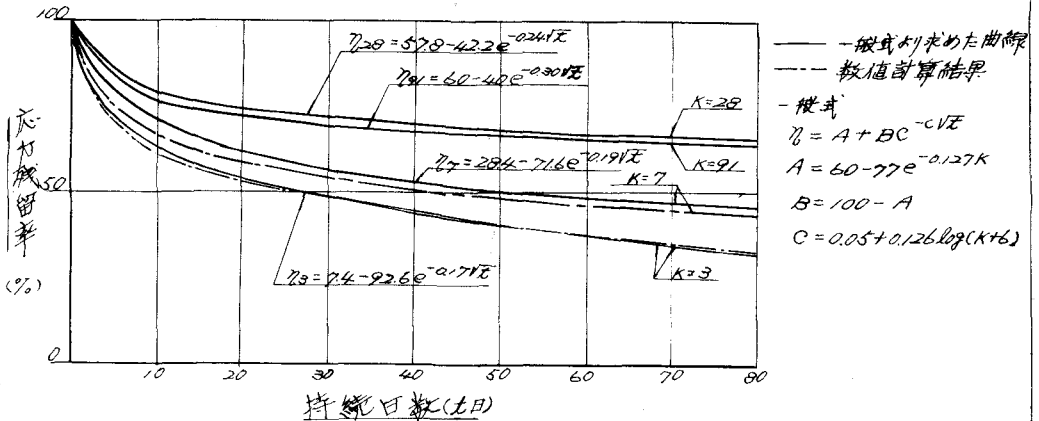


図-3 穴谷川ダム底たれ緩和曲線

計算は型枠存置期間、2日、4日、6日について行なつたが計算結果(図-4)から判断して型枠存置期間の標準を4日とし、特にひびわれの発生

しやすい状口にはこれを蔽ふした。

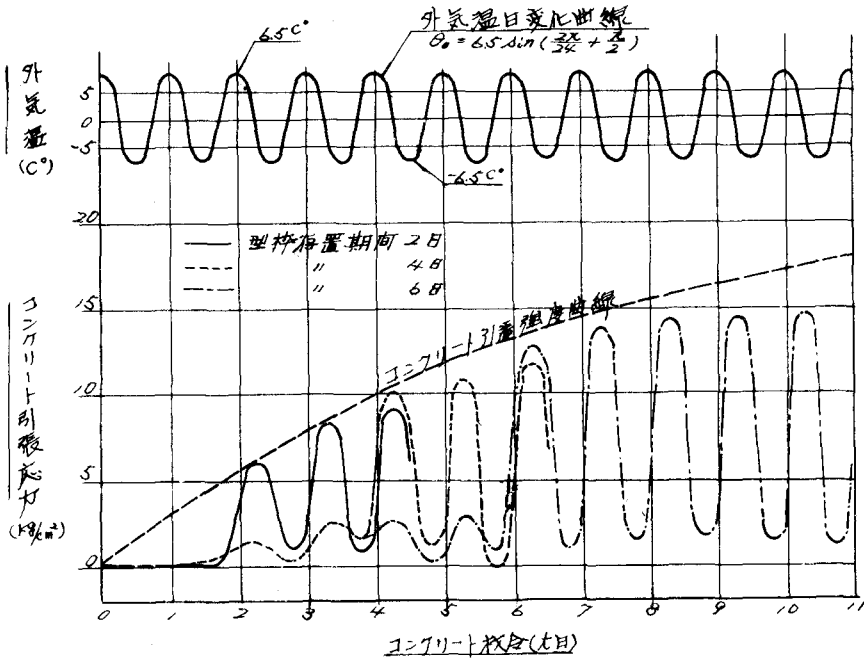


図-4 型枠取り外し時期とコンクリート表面の温度変化

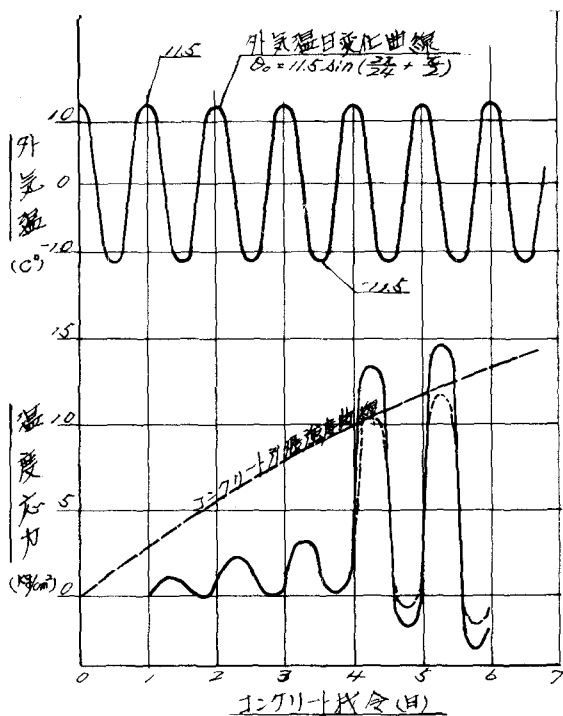
ロ) 最大気温日変化時の温度変化

前節では年間を通じての平均的な気温日変化について検討したがここでは過去の観測記録のうちで最大の気温日変化について計算する。

計算方法は前節と全く同じである。ただし表面をシートで覆った場合の熱伝達率は $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$ とした。

図-5の計算結果がわかるようにシートで覆ラニシにより温度変化は20%減少する。そして施工時には上流面のスライド・ホームの下に2リフト分の長さのシートを重畳してコンクリート側表面を保護した。

施工期間は10月から翌年の3月までとし



—— コンクリート側表面を露出させた場合
 ---- " シートで覆った場合

図-5 コンクリート側表面の温度変化

外気温降下曲線として昭和29年～35年の日最高最低から日平均気温を求め、その7年間の平均値に適合する曲線 $\Theta = (14.6 + 11 \sin \frac{2\pi}{365} t) ^\circ \text{C}$ を用いた。

コンクリート練上り温度は実測の結果(日平均気温+3) $^\circ \text{C}$ とした。

計算方法は上下方向の一次元熱流計算から対象とするリフトの昇熱項を求め、また、はりの場合と同様に水平方向はダイヤモンドヘッドの形状寸法を考慮した二次元熱流として計算した。この計算結果を図9-1に示すが、ひびわれ発生危険性はないようである。

日中は熱放射を速やかにするため、シートを捲き上げておくようにした。

ハ) 外気温降下期の温度変化
 コンクリートは熱の不良導体であるが、終つた後、イも外気温が降下すれば、同様に危険な温度になる可能性がある。ニニでは

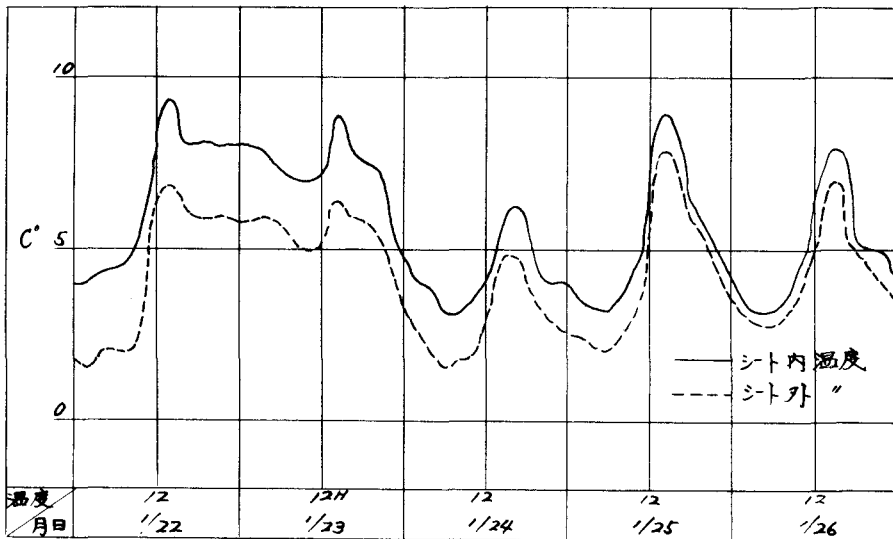


図-6 グムコンクリート保温用シート内、外温度記録

シートの外気温異常低下期の温度変化
 数日間温暖な日が続いた後に急に気温
 が低下する現象があり、これが表の気温降
 下期に起るといふ恐れが生ずる危険が予想さ
 れる。そこで、ここでは日平均気温がコンク
 リートに致して10日までは標準気温降下(-0.09%)
 10日～16日は異常降下(-0.9%)であり、これに更
 に年平均的な気温日変化量(±6.5°C)を加えたも
 のを計算条件として与えた。

計算結果を図-7に示すが、代令14日頃から
 側表面の温度変化はコンクリート引張強度
 を起えており、いふ恐れが生ずる危険性が非
 常に高い。このため次のような対策が考
 えられた。

1. 既述のように型枠の下2リフト分をシ
 ートで覆い、気温急降下の thermal shock を

緩和する。

2. ダイヤモンドヘッドと流路凹部の幅^m1.50
程度はB配合もA配合に変更しコンク
リートの強度を高める。

3. 排水養生をいつもう徹底させ乾燥収縮
などの他のひびわれ発生原因を極
力排除する。

4. 打設サイクルを10月、11月の2ヶ月間は
9日に延ばす(図-8参照)

等であつたが1~3項は各々に実施された
が4項については当時(38年9月)は打設ブロッ
ク数も増えコンクリート打設の最盛期に入
つておりその上コンクリート数量の増加も
予想されてゐたので打設サイクルの延長策
は工期上絶対不可な気があつた。したが
う今後既述のような異常降下とい
う最悪の事態が予想される中で現存の6%
の打設サイクルを維持する最も確実な工法
としてダイヤモンドヘッドのみをパンプ
ーリニングも施工するにと決定した。
リニングの方法は次のようなものであ
る。

冷却水	： 自然河水
冷却用パイプ	： 直径1" エンジット
パイプ垂直間隔	： 1.50 m
パイプ水平間隔	： 1.50 m
通水量	： 10 $\frac{\text{g}}{\text{min}}$
通水期間	： 18 日

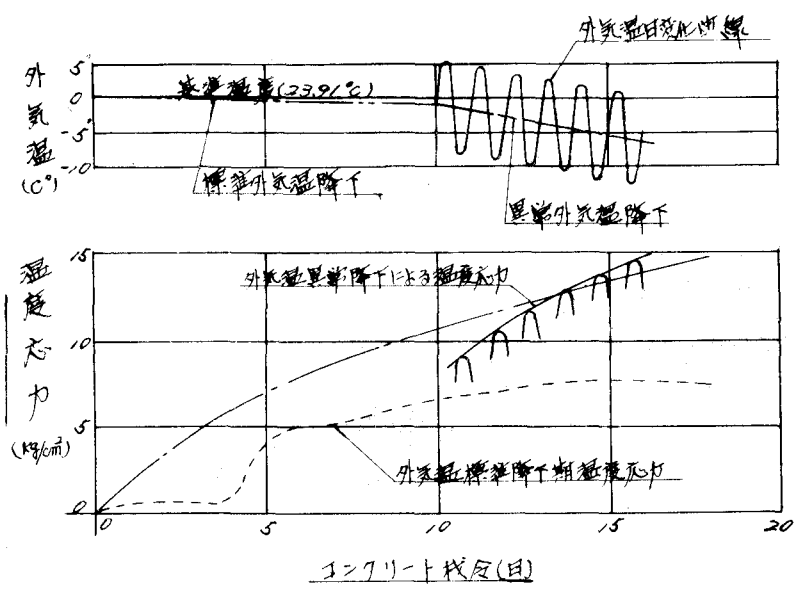


図-7 外気温異常降下期湿度応力

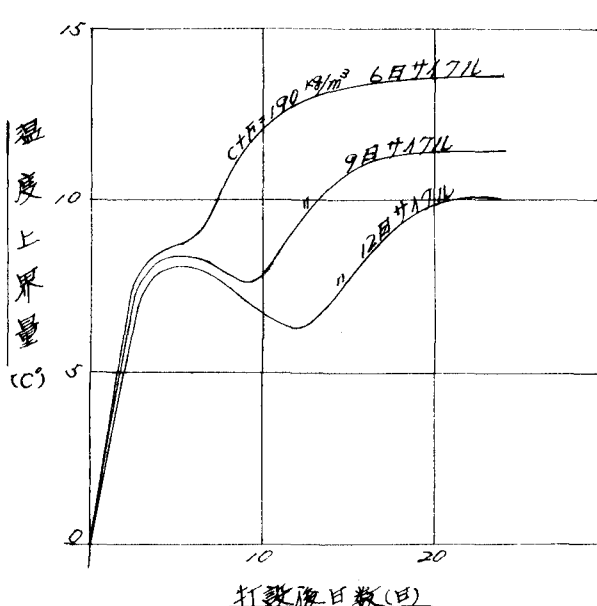


図-8 打設シグナルを要す場合のリフト昇平均温度

クーリングの
効果を知るため
に、クーリングシ
フト断面、および
クーリング断面
の代表として、
No. 10^{BL}の EL 386.750
(9/8 打設)と EL 395.750
(10/23 打設)に 温度計
を埋設シ、ダイヤ
モニドヘッド中
心線上の 温度分
布を測定シ、これ

より Compensation. line method により、ダイヤモニ
ドヘッド上流中央点の 温度応力を計算シ、
が、計算結果を図 9-1、9-2. に示す。図 9-1

の上からある日平均気温をみると、建設後8
 日から14日の間に -1.2° という異常降下を
 示しており、計算条件の外気温異常降下($-$
 $0.9^{\circ}/\text{日}$)を上回る悪条件が現れたわけで
 同図に示された表面より 20cm の位置に埋設さ
 れたひずみ計の動きも 110×10^{-6} に達しており
 コンクリートの伸び能力が 150×10^{-6} 程度であ
 るニヒから考えても非常にひびわれ発生の
 危険があったニヒがわかる。次に図9-2を
 みると、クーリングシない場合と比較して
 その応力値は約 $1/2$ に落っている。またその
 応力値はほぼ横ばい状態であり、パイプク
 ーリングの通水期も適当であったようであ
 る。

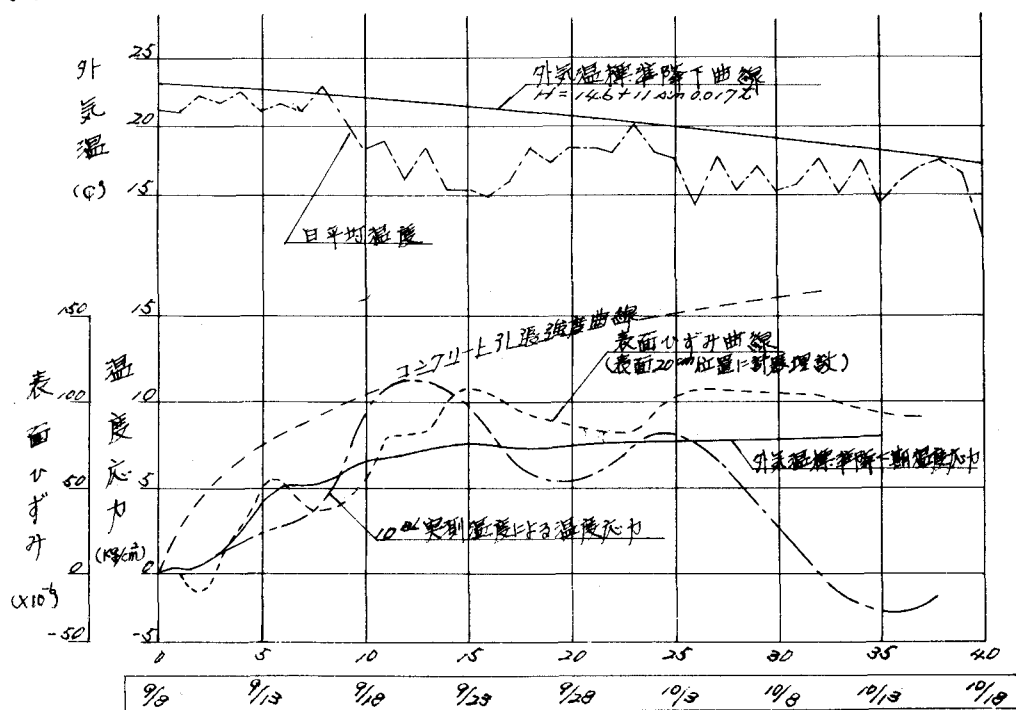


図9-1. ダイヤモンドヘッド上流中央部の温度応力曲線
 クーリングしない断面 (E=206,750)

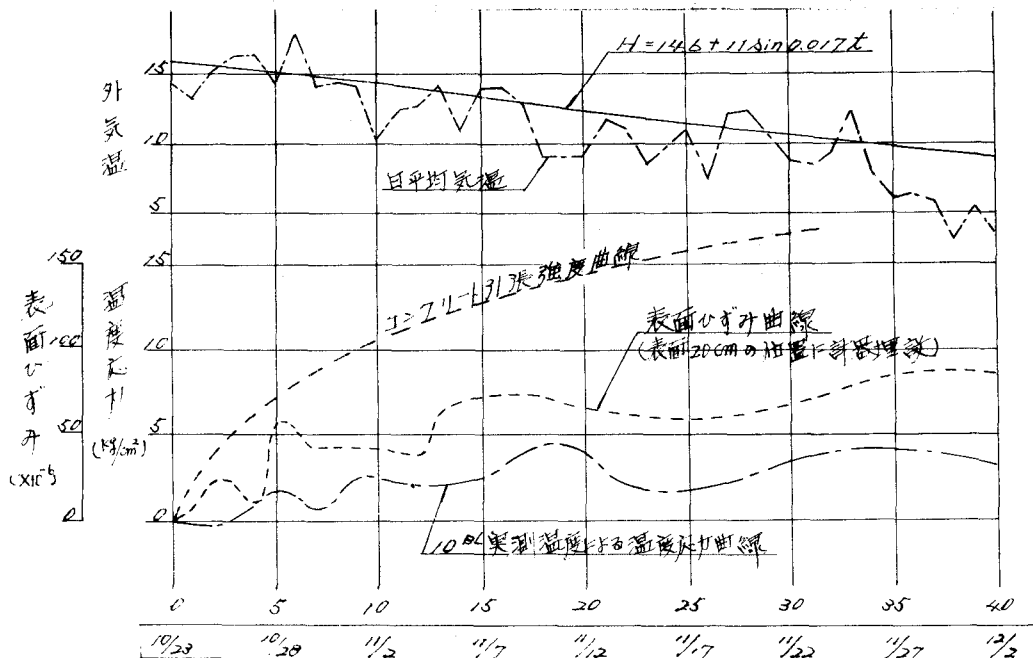


図9-2 ダムモントヘッド上流中央部の温度及び曲線
フーリング断面 (EL 395.750)

この両日と比較、てわかるように、フーリングはひびわれ防止上非常に効果があった。

結び

以上穴内川ダムコンクリートのひびわれ防止対策について述べたが、コンクリートのひびわれ問題には未だ不明な点が多く、今後この方面の研究にいささかでも参考になれば幸いである。