

彙 報

第 29 卷 第 9 號 昭和 16 年 9 月

黄 水 院 堰 堤 の 内 部 温 度

正會員 佐 藤 時 彦*

要 旨 起戦江長津江と同様虚川江（何れも鴨緑江の支流）も亦流域變更に依る大貯水池式高落差發電方式に依り開發せられたのである。黄水院堰堤は虚川江の支流たる黄水院江に築造されたもので、工事施工中昭和 14, 15 年の 2 箇年に互り 12 箇の電気抵抗温度計を埋設し、堤體内部の温度上昇其の他を調査した。測定は昭和 14 年 4 月 26 日開始以來今尙続けられてゐるが、本報告は現在の結果を一應取纏めたものである。

目 次

- | | |
|---|--|
| 1. 緒 論
1. 氣 温
2. コンクリート材料
3. コンクリートの製造
4. コンクリート打込
2. 測定設備と測定法 | 3. コンクリートの硬化に依る上昇温度
1. 上段打込に依る影響を受けざる場合
2. 上段打込に依る影響を受けたる場合
3. 最大上昇温度
4. 稍長期に互る堤體内部温度の變化
5. 結 言 |
|---|--|

1. 緒 論

1. 氣 温

當地は北鮮山間の寒地にして、氣温は嚴寒 -20°C 以下となる。従て 11 月上旬より 3 月迄はコンクリートの施工は不能である。昭和 13~16 年の 4 箇年の月別平均氣温表を示せば表-1 の如くである。

表-1. 黄水院月別平均氣温表

月 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平 均
最 高($^{\circ}\text{C}$)	-8.1	-5.7	0.2	8.4	16.2	20.7	25.5	23.3	18.7	13.4	3.8	-4.4	9.3
最 低($^{\circ}\text{C}$)	-24.8	-22.2	-13.9	-5.6	2.4	7.1	11.7	11.1	3.9	-3.4	-10.8	-20.4	-5.4
平 均($^{\circ}\text{C}$)	-16.5	-13.9	-6.8	1.4	9.3	13.9	18.6	17.3	16.3	5.0	-3.5	-12.4	2.0

備 考 本表は昭和 13~16 年の 4 箇年の平均氣温を示す。

3. コンクリート材料

骨材は主として堰堤上流の川敷より採取せる切込砂利であるが、豫め骨材の粒度を調査し置き、別に貯へた砂、砂利を加へる事に依り、骨材が所要の粒度となる如く調節する事に努めた。

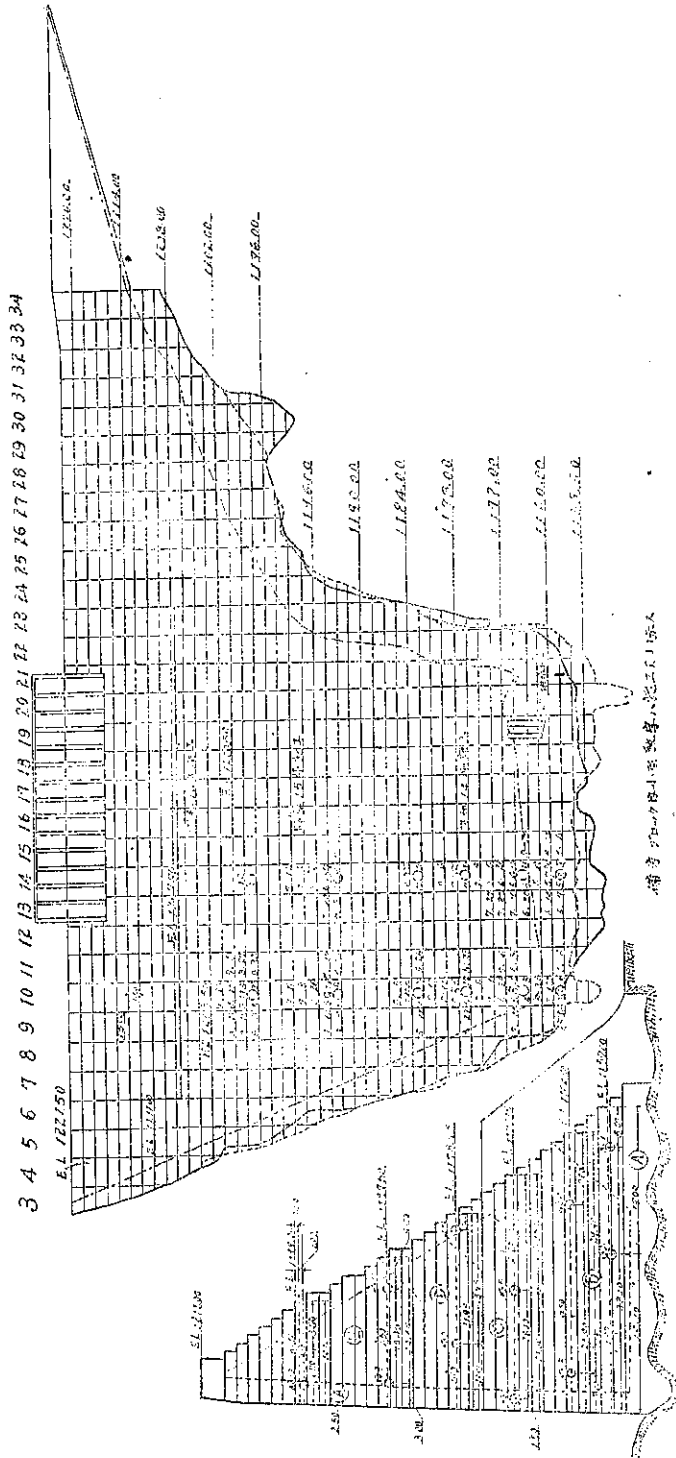
表-2 は採取された切込骨材の試験成績である。

表-2. 切込骨材試験成績

項	容 積 比		比 重	容 量 (kg/m^3)	細 率	表 面 水 (%)	泥 土 分 (%)	摘 要
	砂	砂 利						
試 験 値	1	1.80~2.35	2.35~2.54	1970~2057	6.49~6.77	3.2~4.4	3.1~3.4	有機物は土木學會標準色以下
平 均	1	2.12	2.44	2000	6.62	4.0	3.2	骨材最大寸法 120 mm

* 工學士鴨緑江水力發電株式会社

圖-1. 黄水院堤堤サ-子コイル埋設位置並に施工標準配合圖



備考 作中の埋設位置は、標準配合圖に示す通りである。

堰堤に使用したセメントは朝鮮小野田社川内里工場製の普通ポルトランドセメントで、其の化学成分より礦物組成を算出し Bogue 氏の數式を用ひて完全水和熱を求めれば表-3 の如く平均 105 cal/g となる。

表-3. 使用セメント礦物組成(%)

礦物組成	C ₃ A	C ₂ S	C ₁ S	C ₄ AF	MgO
平均値	8.04	44.44	31.74	10.36	2.40

$$\text{完全水和熱} = 2.07 \times C_3A + 1.20 \times C_2S + 0.63 \times C_1S + 1.00 \times C_4AF + 2.03 \times MgO = 105 \text{ cal/g}$$

水は黄水院江の流水を使用した。

3. コンクリートの製造

コンクリートの配合は表-4 の如く 5 種に區別し塊體施工標準配合圖 (圖-1) に示す要領に依り施工した。コンクリートの混合には 28 切ウオセクリター 2 臺, 28 切ミキサー 4 臺を使用した。ミキサー出口に於て毎日スランプ試験を行ひ、又 1 リフト毎に 9 箇以上の壓縮強度試験供試體を作つて試験した。その成績は表-5 の如く、28 日強度の最小値に於ても所要強度の 5 倍以上の強度を有してゐる。

表-4. コンクリート配合標準

配合別	1 m ³ 當セメント使用量(kg)	1 m ³ 當使用水量(kg)	水セメント比(%)	摘 要
A	250	150	60	切込骨材の重量配合比は 1:2 なり。
B	230	〃	65	
C	210	〃	72	
D	200	〃	75	
E	190	〃	79	

表-5. 黄水院堰堤コンクリートの壓縮強度(kg/cm²)

材齡 配合別	7 日			28 日			90 日		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
A	121	70	91	191	123	150	215	140	176
B	109	59	72	169	103	132	175	119	152
C	85	48	59	150	88	111	166	100	133
D	83	43	55	121	81	101	140	92	121
E	78	35	46	110	72	85	127	78	96

4. コンクリート打込

コンクリート打込みの爲、石川島製作所製兩端移動式 7.5 ton ケーブルクレーンを使用した。3 m³ 容量のバケツに依り、所定の位置にコンクリートが運搬されると、2 臺のバイブレーターに依りコンクリートの搗固めが行はれ、其の使用時間は 30~60 sec であつた。コンクリートは 1 リフト 1.5 m を 50 cm 筈 3 段に分けて施工し、1 リフトが打終ると表面を席にて覆ひ撒水し、上段打繼ぎ迄濕潤状態に保つ様に努めた。

2. 測定設備と測定法

測定装置は總べて日立製作所製電気抵抗温度計である。之は 12 個のサーコイル (日立 C 127 型) ケーブルヒタックス整流器、切換スイッチ及び抵抗温度計 (日立 H 11 型) より成つてゐる。

サーチコイルは小型の箱の中に収められ、之にケーブルを繋ぎ、所定の位置に埋設した。

温度計、スイッチ、整流器等は堰堤近くに設けた測温室に据付け、ケーブルに依りサーチコイルと結んである。サーチコイルは何れも埋設前に所要のケーブルを繋ぎ、豫め 0~60°C の温度に就き検定した。

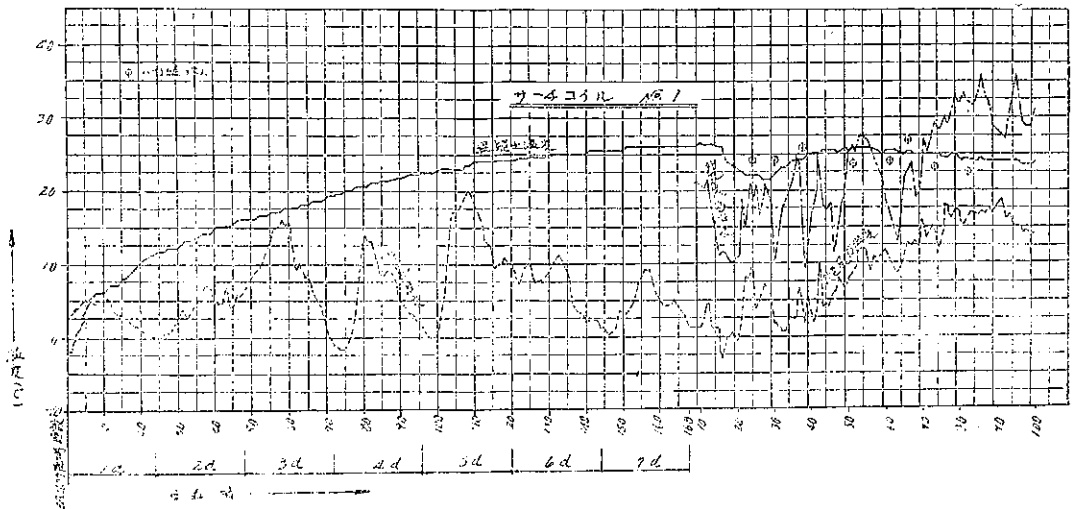
サーチコイル埋設と同時に其の箇所のコンクリート温度を棒状水銀寒暖計にて測り、之を最初の温度とし其の後はこの電気抵抗温度計に依り、最初の 7 日間毎時間、其れ以後は毎日午前 8 時に 1 回測温してゐる。

表-6. サーチコイル埋設位置

サーチ コイル 番 号	表面よりの距離 (m)				ブロック 1 リフト 打 始 時 刻	サーチコイル 埋 設 時 刻	ブロック 1 リフト 打 終 時 刻	埋設當時 コンクリ ート温度 (°C)	コンクリ ート 1m ³ 當 七セメン ト 使用量 (kg)	IV G	スランプ (cm)
	上段打込 面より	上流側 より	下流側 より	隣接プロ ックより							
No. 1	1.0	33.1	5.0	7.5	14.4.25 1900	4.26 0300	4.26 0400	2.0	250	60	3.0
" 2	1.0	19.1	19.0	"	14.5.27 0350	5.27 1430	5.28 0600	14.7	230	65	5.0
" 3	0.5	5.0	29.9	"	14.6.2 2000	6.3 1000	6.3 1100	12.0	230	65	4.0
" 4	0.5	25.9	9.0	"	14.6.11 0800	6.11 2100	6.12 0100	15.5	230	65	4.5
" 5	0.75	14.6	15.0	"	14.7.16 2130	7.17 1200	7.23 1615	15.2	210	72	4.0
" 6	0.75	1.5	28.1	"	14.7.20 2230	7.24 1700	7.24 1830	23.0	250	60	2.5
" 7	0.75	21.95	2.0	"	15.4.27 0800	4.28 1500	4.29 0030	8.0	230	65	4.0
" 8	0.75	10.0	13.95	"	14.10.7 0430	10.7 1600	10.7 1810	14.0	200	75	4.2
" 9	1.0	3.0	14.45	"	15.6.7 2150	6.8 0230	6.8 0620	9.5	190	79	4.0
" 10	1.0	13.45	4.0	"	15.6.7 1300	6.7 1600	6.7 2100	16.0	190	79	4.0
" 11	0.5	6.80	5.8	"	15.7.27 2100	7.28 0600	7.28 1000	20.0	190	79	5.1
" 12	1.0	9.5	10.1	"	15.7.28 1000	7.28 1500	7.28 1800	23.0	250	60	6.0

備考 埋設後故障のため使用不可能となりたるもの下記 7 個なり。() 内は故障年月日を示す。
 No. 9 (15.7.15) No. 7 (15.8.9) No. 12 (15.8.9) No. 2 (15.8.23)
 No. 3 (15.11.17) No. 4 (17.1.8) No. 10 (17.4.23)

圖-2.



サーチコイル埋設位置、並びに其の位置のセメント使用量等は圖-1,表-6 に示す如くである。

此處に No. 5 コイル埋設ブロック I リフトのコンクリート打込に當つては、ケーブルクレーンの故障の爲、下流側より 2/3 打込後 6 日間休み残部コンクリートを打つた。又 No. 6 コイルの場合も前同様の事故に依り、下流側より約 3/4 打込後 3 日間休止後残部を打つた。其の後のコイルは何れもコンクリート施工中事故なく順調に埋設が出来た。

3. 硬化に依る上昇温度

No. 1~12 の 12 個に對する打込後 100 日間の記録を圖-2~13 に示した。

之に依ればコンクリートの硬化に依る温度上昇は打込みと同時に始まり、最初の數日間の上昇が特に著しい。

圖-3.

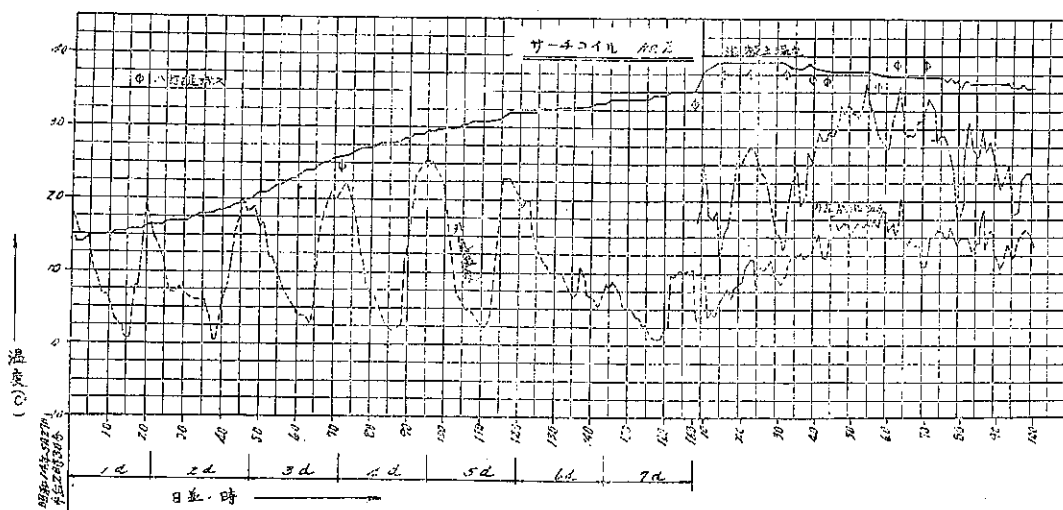


圖-4.

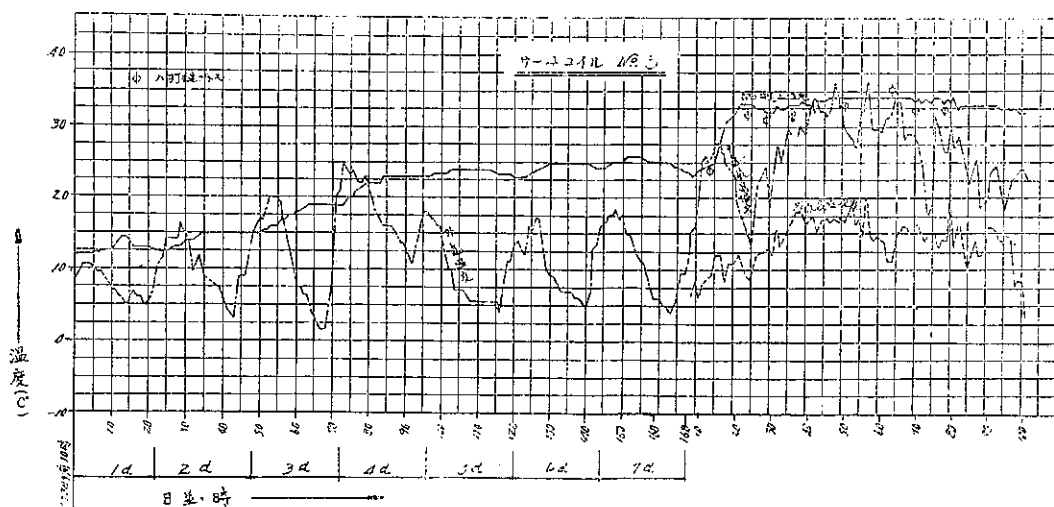


圖-5.

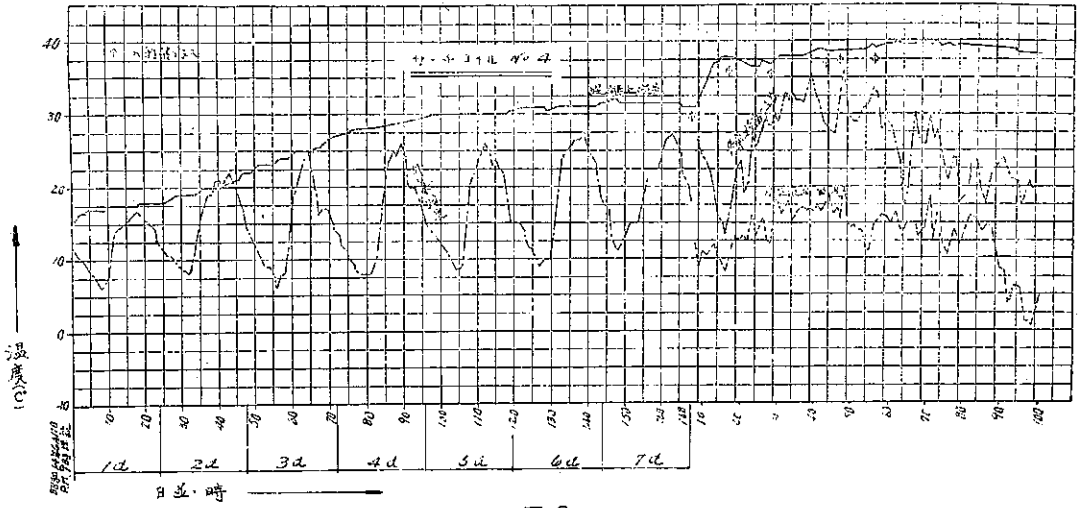


圖-6.

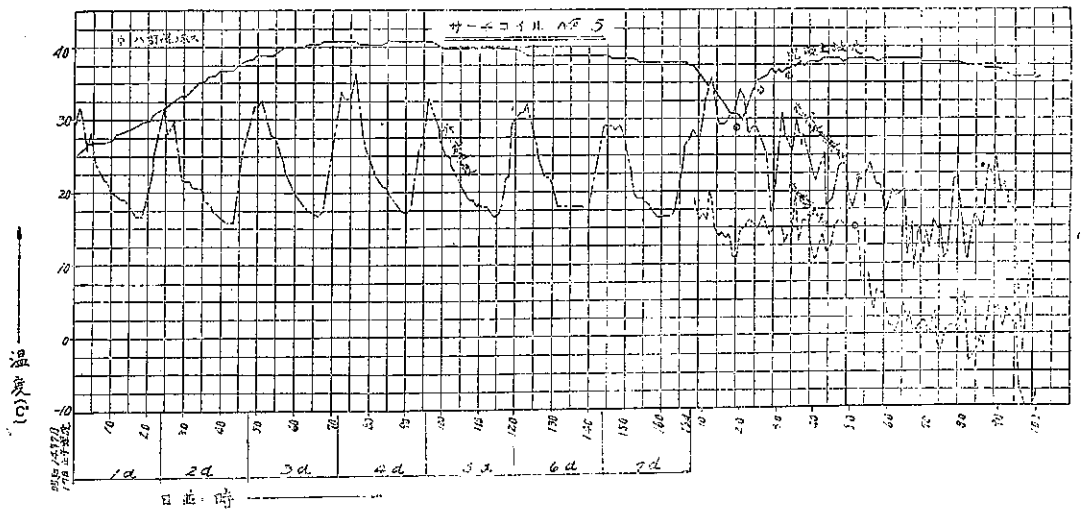


圖-7.

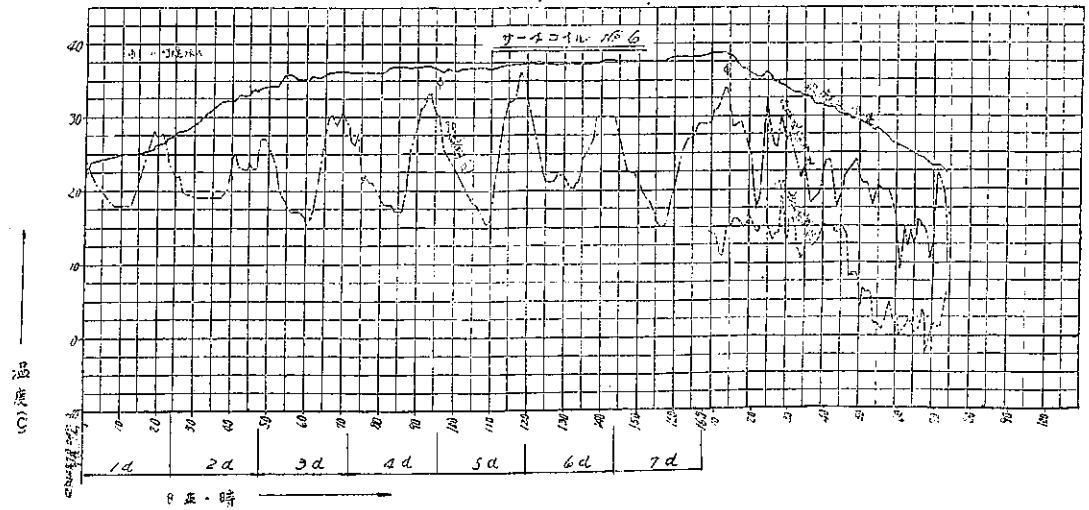


圖-8.

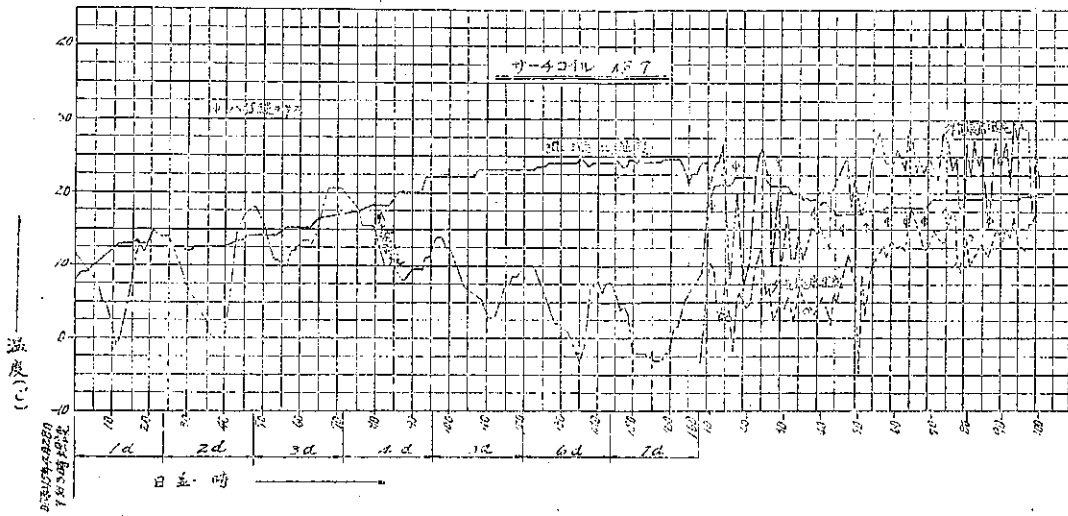


圖-9.

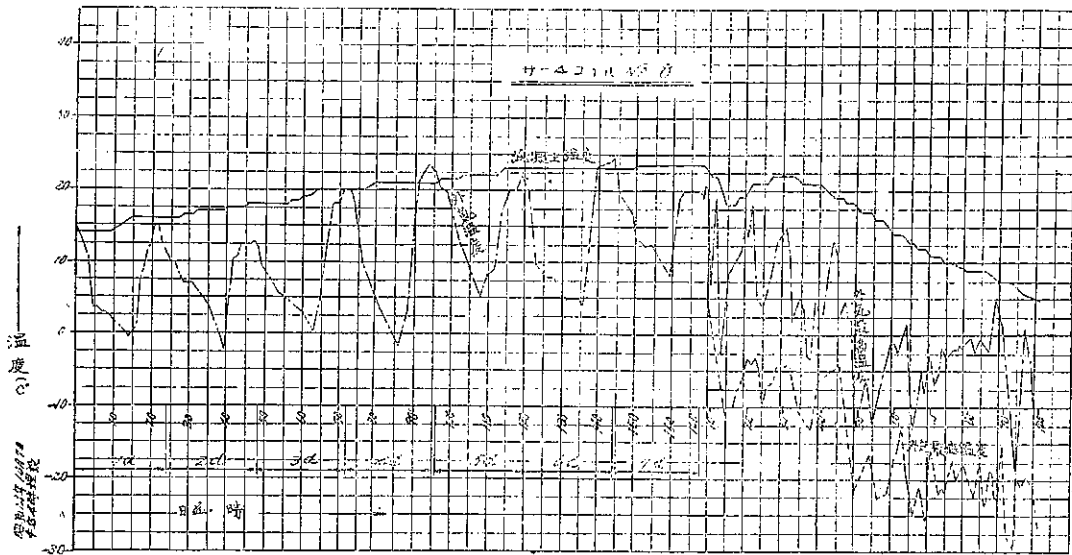


圖-10.

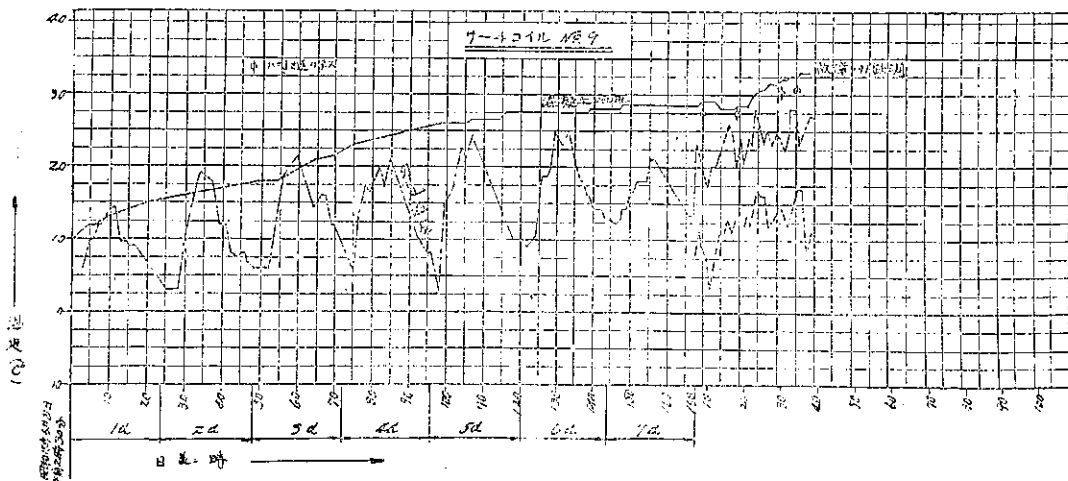


圖-11.

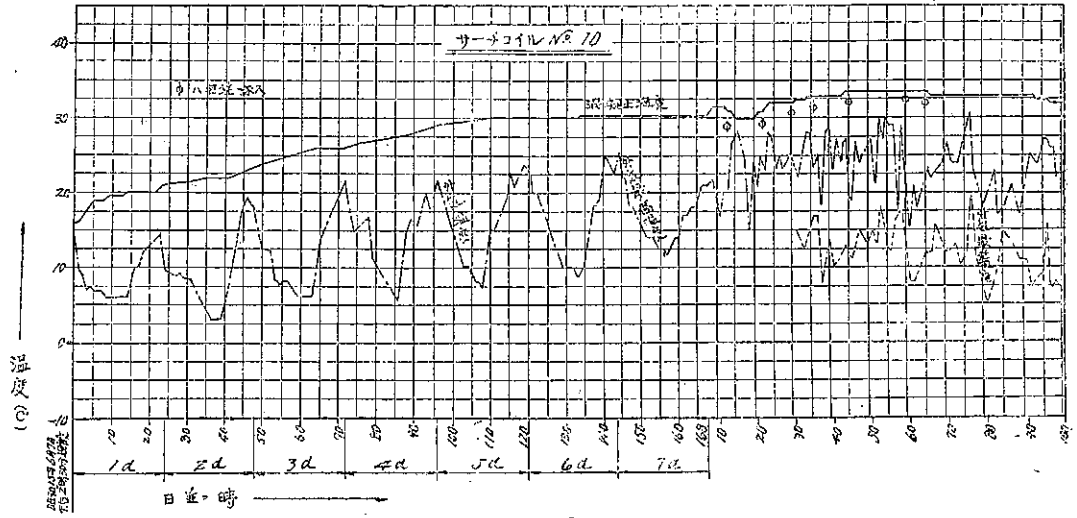


圖-12.

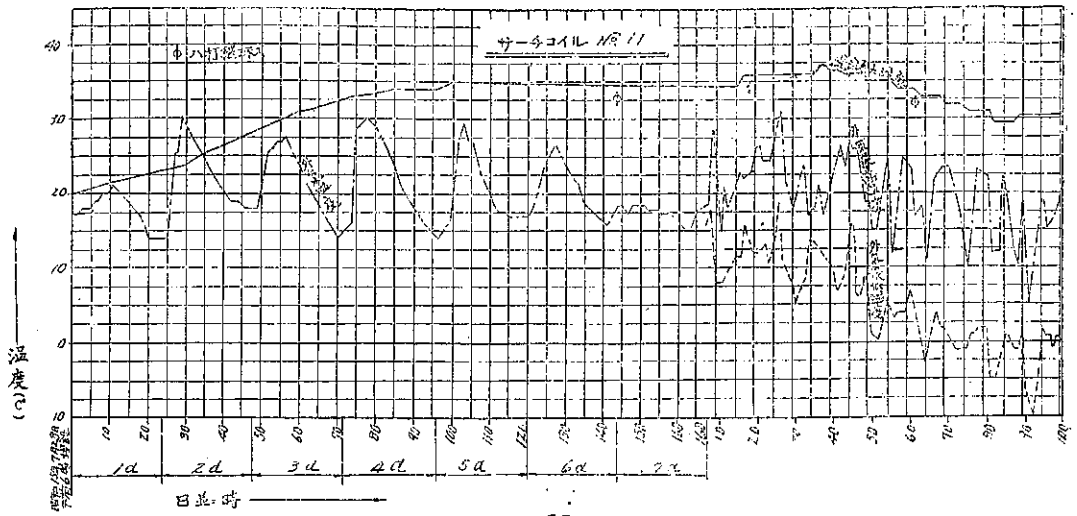
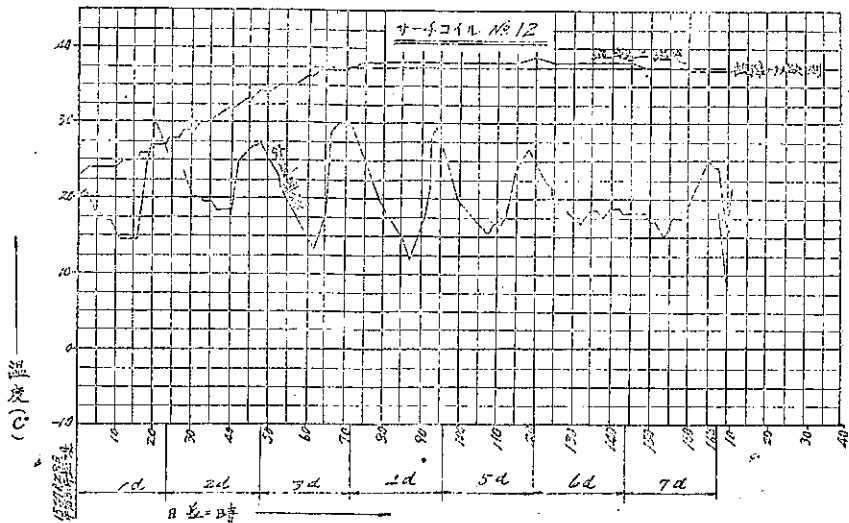


圖-13.



温度計は 1 リフト施工中に埋設したもので、その深さは 0.50 m, 0.75 m, 1.00 m の 3 種としたが、深さ 0.50 m の No. 3, 4, 11, 特に No. 3 は 夜間気温低下の影響を受けてゐるのが明瞭に看取される。深さ 0.75 m の No. 5, 6, 7, 8 にも其の影響が表はれてをり、又 1.00 m の場合でも No. 9, 10 に於て夜間の低気温のため温度上昇の抑制せられた形跡が見られる。

1. 上段打継に依る影響を受けざる場合

一般に上段コンクリート打継の影響を受けない場合は 4~10 日にて大部分の上昇を終つてゐる。而して、No. 5, 6, 11, 12 の如く夏期高温時に施工したも程、最初の温度上昇度は急激で水和熱、硬化速度が温度に比例する事を示してゐる。その後の変化は極めて緩慢となり、何時を最高とすべきか決定し難いものが多い。今、最高温度に到達する迄、上段打継及び左右隣接ブロックの施工なく、従つて之等に依る硬化熱の影響を受けなかつたサーチャコイルに就き上昇温度を調べれば表-7 の如くである。

表-7. コンクリート硬化に依る温度上昇(°C)

項目	サーチャコイル番號												摘 要
	No.1	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12		
埋 設 月 日	4.26	6.3	6.12	7.17	7.24	4.29	10.7	6.8	6.7	7.28	7.28		
上段打継面より最短距離	1.0	0.5	0.5	0.75	0.75	1.00	0.75	1.0	1.0	0.5	1.0		
上下流面より最短距離	5.0	5.0	9.00	14.6	1.5	2.0	10.0	3.0	4.0	5.8	2.5		
1m ³ 當りセメント使用量(kg)	250	230	230	210	250	230	200	190	190	190	250		
最高温度到達所要日数(日)	10	7	6	3	5	6	7	7	7	5	4		
到達最高温度	26.6	26.0	32	41	38.5	24.6	24.0	29.0	31.0	35.0	38.0		
埋設當時のコンクリート温度	2.0	12.0	15.5	25.2	23.0	8.0	14.0	9.5	16.0	20.0	23.0		
同 上 よりの上昇	24.6	14.0	16.5	15.8	15.5	16.6	10.0	19.5	15.0	15.0	15.0		
埋設後 5 日間の平均気温	6.2	12.4	16.5	25.0	23.3	8.5	9.4	12.8	12.8	21.7	21.7		
同 上 よりの上昇	20.4	13.6	15.5	16.0	15.2	16.1	14.6	16.2	18.2	13.3	16.3	平均約 16°C	
埋設後 10 日間の平均気温	7.5	12.0	16.3	24.1	23.2	7.5	9.6	13.9	13.9	21.7	21.7		
同 上 よりの上昇	19.1	14.0	15.7	16.9	15.3	17.1	14.4	15.1	17.1	13.3	16.3	平均約 16°C	
備 考	No. 1 は左隣接ブロックがサーチャコイル埋設箇所標高迄打上つて居た關係上若干温度の發散が他に比し不利なりし點あり。												

表-7 より次の事が察知出来ると思ふ。

(1) コンクリートの硬化熱に依る最高上昇温度は打継の影響を蒙らざる場合は 1 週間前後に表はれ、平均気温が大なる程最高温度到達所要日数は少ない。其の關係は圖-14 の如し。

即ち打込後 10 日間の平均気温が 20~25°C の時は 4~5 日、15~20°C では 5~6 日、10~15°C では 6~8 日、5~10°C では 8~10 日にて最高温度に達する。

此の事實より硬化に基く温度上昇の重複を避ける爲に次段打継迄に必要な最少限經過日数を各時期毎(温度により)に決定する事が出来る。

而して、後述の理由に依り高気温の時は努めて次のリフトを施工する迄の日数を多くとり、又状況により低温時に於ては多少短縮するも差支へない。

(2) 堤體內上昇温度と打込後 10 日間の平均気温との關係を圖示すれば圖-15 の如し。

本圖に依れば上昇温度は 14~18°C にして、その平均上昇は約 16°C と考へられる。

今表-7 の備考に示した理由に依り No. 1 及び No. 11 を除外すれば、AB の如きものが想像せられ、従て打込後の 10 日間の平均気温の高低に依り上昇温度も又若干の影響を受け、上昇温度に高低をもたらず傾向が窺はれ、気温 10°C に就き上昇温度に 1~2°C の変化を興ふるものと推定されるが、資料少なき爲論断し得ぬは遺憾である。以上の事實は堰堤築造に於て硬化熱抑制の方法に多大の示唆を興へる。

即ち、低温時の硬化熱に依る上昇温度が高温時のそれに比し少ない値を示す事は、低温時に施工すれば或る程度上昇温度の抑制が出来ると云ふ事である。

若し気温に關係なく上昇温度は一定にして約 16°C とするも低温時に施工せば到達最高温度は気温差丈減じ得る譯である。従て寒き地方に於ける堰堤の硬化熱抑制のために、

(イ) 高温時を避け、低温時に施工する。

(ロ) ブロック割は冷却され易い様に施工順序を考へる。

(ハ) 打繰迄の経過日数を勉めて延期する。

(ニ) 養生を兼ねて撒水を展々行ふ。

等の手段を講ずれば特別の冷却装置に依つたり、或ひは低熱セメントを使用したりしなくとも差支へない場合が相當あると考へられる。

特に大陸性氣候に於て夜間の急激な気温低下は温度抑制に相當の効果がある。

今参考の爲内地の気温表を掲記すれば表-8 の如くである。

尙普通セメントを使用した場合の例として、小牧堰堤は 2~3 日、王泊堰堤は 6~9 日、千頭堰堤は 3~8 日、大間堰堤は 3~8 日で、上昇温度は 20~30°C の値を示してある(土木學會 25 卷 12 號高田昭氏論文より)。本測定に於ては之より遙かに少ない上昇温度を示してある事は注目に値する。

圖-14. 最高温度到達所要日數と気温との關係

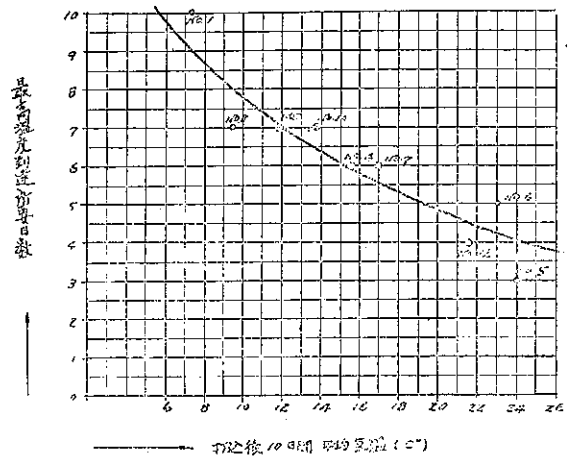


圖-15. 打込當時気温と上昇温度の關係

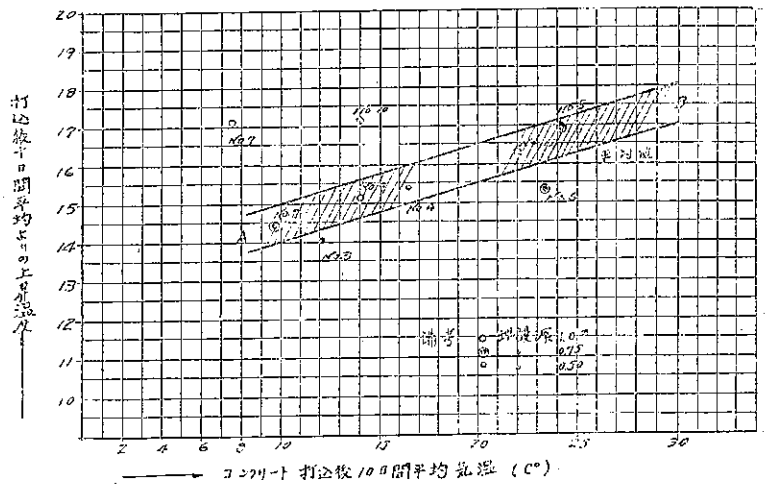


表-8. 月別平均気温比較表 (°C)

場所	月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
四国中央 電力 大橋堰堤	最高	5.5	5.5	10.8	19.35	21.88	27.13	37.63	26.97	25.50	20.81	15.2	10.95	18.06
	最低	-3.2	-2.8	1.45	4.18	5.21	14.30	16.06	18.16	14.23	10.61	12.00	-0.79	6.55
	平均	1.15	1.35	6.13	11.77	13.30	20.72	21.85	22.57	19.87	15.71	8.20	5.08	13.31
黄水院 堰堤	最高	-8.1	-5.7	0.2	8.4	16.2	20.7	25.5	23.3	18.7	13.4	3.8	-4.4	9.3
	最低	-24.8	-22.2	-13.9	-5.6	2.4	7.1	11.7	11.1	3.9	-3.4	-10.8	-20.4	-5.4
	平均	-16.5	-13.9	-6.8	1.4	9.3	13.9	18.6	17.2	16.3	5.0	-3.5	-12.4	2.0

(3) 圖-15に依れば埋設深さが上昇温度に影響する如く見られる。

圖-16. 埋設深と上昇温度との関係

埋設深 0.50 m, 0.75 m, 1.00 m の 3 種に就き上昇温度を圖示すれば圖-16 の如くである。即ち深さ 0.50~1.00 m の區間に於て平均 14~18°C の上昇を示す故、リフト下層部たる 1.50 m の箇所では 20°C 内外の温度上昇があるものと推定せられる。

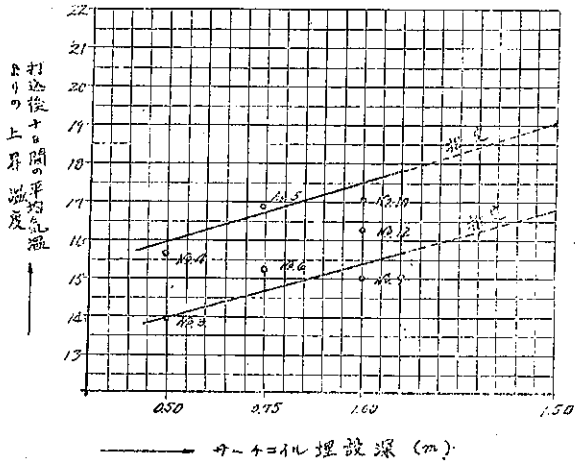
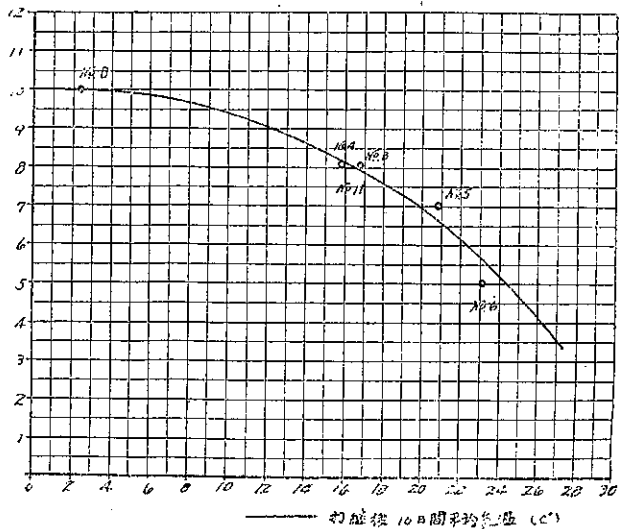


圖-15, 16 に於ては何れも大體の傾向を示し得るに過ぎないが、之等は気温以外にセメントの性質、コンクリートの配合（熱的特性）等の要素も關係する爲、気温のみの函数にて表し得ないのであらう。

圖-17.

本測定に於ては資料不足の爲セメント使用量と上昇温度との關係に就いては明瞭にし得なかつた。



2. 上段打繼に依る影響を受けたる場合

セメントの水和に依て起る温度上昇はセメントの發熱特性、コンクリートの配合特に外気温に依て左右せられる事は前項に於て述べた通りであるが、内部温度曲線の極點は冷却の割合が發熱の割合に等しくなり、之を超過せんとする時に起るもので、若しこの際打繼が行はれば、一部の熱量は依然ブロックの側面及上下流面より發散するが、大部分の熱の放散

は遮断減殺せられると同時に、打継コンクリート硬化熱の影響を受けて温度は再び上昇する。

今、打継に依る影響を観察する爲、サーチコイル埋設箇所の施工に基く上昇温度の曲線が、極點に達した後に、第1回の打継ぎをなし、而も之に依る影響が充分表はれたと思はれる迄第2回目打継のなかつたものに就き温度變化を調べれば、表-9の如くである。

表-9. 第1回打継に依る温度上昇(°C)

項 目	サーチコイル番號					
	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 8	No. 11
打込より打継迄の日數	13	7	19	4	15	6
打継時コンクリート内部温度(T_0)	24	31.5	30.0	36.5	18.0	35
最高温度到達所要日數	8	8	7	5	10	8
到達最高温度(T)	33.0	38	36.0	38.5	22.0	36.0
上昇温度($T-T_0$)	9.0	6.5	6.0	2.0	4.0	1.0
打継後10日間の平均気温	16.9	15.9	20.8	23.0	2.6	16.1
サーチコイル埋設深	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.50
打継後に於ける熱放散面への最短距離	5.0	7.50	7.50	1.5	7.5	5.8

僅少なる資料であるが表-9より次の事が看取される。

(1) 最高温度到達所要日數が気温の高い程少ない傾向を示してゐる事は前項の場合と同様で、圖示すれば圖-17の如くなる。

即ち気温が20~25°Cのときは5~7日(前項に於ては4~5日以下括弧内に示す)、10~20°Cにては7~9日(5~8日)、0~10°Cにては9~10日(8~10日)経過して最高温度に達するが、前項の場合に比して大なる變化がない。

次段打継迄の最少限経過日數を表-10に示して見た。

(2) 上昇温度(打継後の到達最高温度と打継當時コンクリート温度との差)と打継後10日間の平均気温との關係を調べると圖-18の如くである。

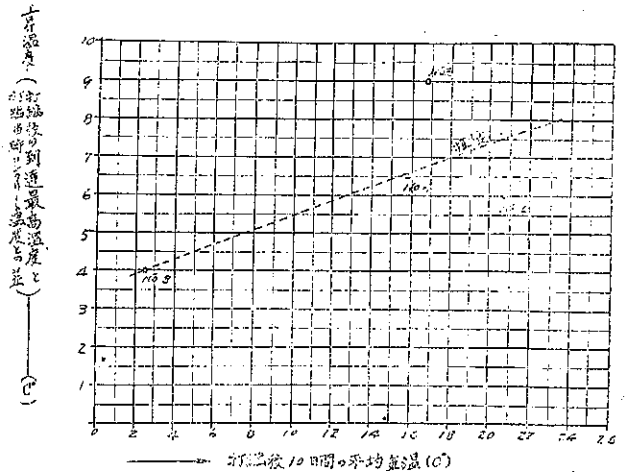
No. 6は上流面上より1.5mの深さの所で

熱放散の條件良く且つ、No. 6, No. 11の上段コンクリートの施工後屢々降雨ありし爲、上昇温度少なしと判断せられる故之を除外すれば、上昇温度は打継當時の気温に或る影響を受ける様に推察されるが、之は前項の場合

表-10. 打継迄の最少限経過日數

打込當時平均気温	最少限経過日數	備 考
0~10°C	8~10	1. 本表の日數は硬化熱による温度の上昇の重複を避る爲の所要日數なり。 2. 高温時は勉めて日數を多く取り低温時は情況止むを得ねば多少短縮するも差支へなし。
10~20°C	5~8	
20~25°C	4~7	

圖-18.



と同様尙今後の研究を要するものと思はれる。

(3) 打継前に於ては硬化熱は主として上部打継面より放散せられるが、打継後に於ては上段施工コンクリートの硬化熱に依る温度上昇の影響を受ける爲、熱放散は上部最短距離に依らず、主として側方及上下流中の最短距離面より行はれるものと考へられるので、この前後の距離と上昇温度との關係を圖-19 に示してみた。

前項同様 No. 11 を除外すれば、放散面迄の距離の大なる程上昇温度の大なる傾向が窺はれるが、數字的に示す事は不可能である。

(4) サーテコイル埋設深と上昇温度との關係は何等見るべきものなく、單に淺い程上昇温度の大なる傾向が若干看取出来る程度である。即ち、埋設深の小なる程打継コンクリートの硬化熱の影響を多く受けてゐる。

以上の事實より打継ぎに依る温度の上昇を論ずるには、更に系統的に多くのサーテコイルを必要とすべく、斯る資料のみより斷ずる事は輕率の議を免れないが、打継ぎの影響を受けない場合の上昇温度 (14~18°C) に比し遙かに少く 0~10°C なる温度上昇を示すに過ぎない。

第 2 回以後の打継の影響は明瞭ならざるも、1~2°C の僅少なる温度上昇を示すに過ぎず、情況に依りては却て低下する場合もあり、論ずるに足らぬ程度のものであると考へられる。

3. 最大上昇温度

コンクリート打込後に於て絶對的な最高到達温度を各サーテコイル毎に調べれば表-11 の如くである。

表-11. 最高到達温度及温度上昇 (°C)

項目	サーテコイル番號	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11
最高到達温度		26.6	39.3	34.0	39.9	41.0	39.8	24.6	24.0	33.0	33.5	37.0
最初のコンクリート温度		2.0	14.7	12.0	15.5	25.2	23.0	8.0	14.0	9.5	16.0	20.0
同上よりの上昇		24.6	24.6	23.0	24.4	15.8	16.8	16.6	10.0	23.5	17.5	17.0
埋設後10日間の平均気温		7.5	10.2	12.0	16.3	24.1	23.2	7.5	9.6	16.9	13.9	21.7
同上よりの上昇		19.1	29.3	22.0	23.6	16.9	16.6	17.1	14.4	13.1	19.6	15.3
上段打継迄の日數		24	3	13	7	19	4	7	15	16	13	16
最高温度到達所要日數		9	20	47	68	3	7	6	7	38	45	38

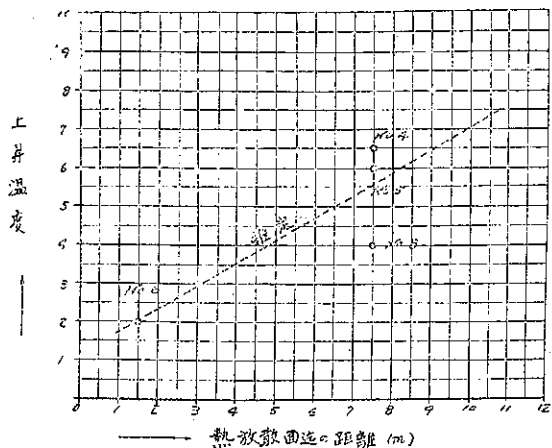
本表によれば最高温度到達は打継ぎ迄に表はれたもの 5、數回の打継後に於て起つたもの 6 である。而して前者は後來に比し比較的少い上昇温度を示してゐる (打継に依る影響を受けない事になる)。

斯く打継ぎの影響は種々雜多である。

最大上昇温度に就き見るに、20°C 以上のものは 3 個のみで大部分は 20°C 以下 (8 箇の平均 17.3°C) を示し、其の平均値は 19.3°C である。

本表中最大値を示した No. 2 はサーテコイル埋設後 3 日目に第 1 回打継、更に 5 日経て第 2 回打継が行は

圖-19. 打継に依る温度上昇と熱放散面迄の距離との關係



れ、従て温度上昇途中に於て上段施工が行われた事となり打継の影響の累加せる極端な例である。又、最少値を示した No. 8 は 圖-1 より明かなる如く 10 月秋冷の候に施工したもので、當時の気温は春施工された No. 1, No. 7 より 2.1°C 高いが、後者は向暑期なるに對し前者は向寒期であつて、硬化熱放散には好條件となつてゐる爲であらう。而して、測定開始前に豫想したよりも案外少い上昇温度を示したが、其れは次の理由に依るものと思ふ。

- (イ) 熱放散の條件有利なる事
即ち左右隣接ブロックはサーチコイル埋設箇所コンクリート施工後長時日を経て打込まれ、冷却の條件がよかつた事。
- (ロ) 上段打継迄に相當の日數を置いた事。
- (ハ) 一般に気温が低い事。
- (ニ) コンクリート施工を第 1 期と第 2 期に分割施工した事。

等が擧げられる。

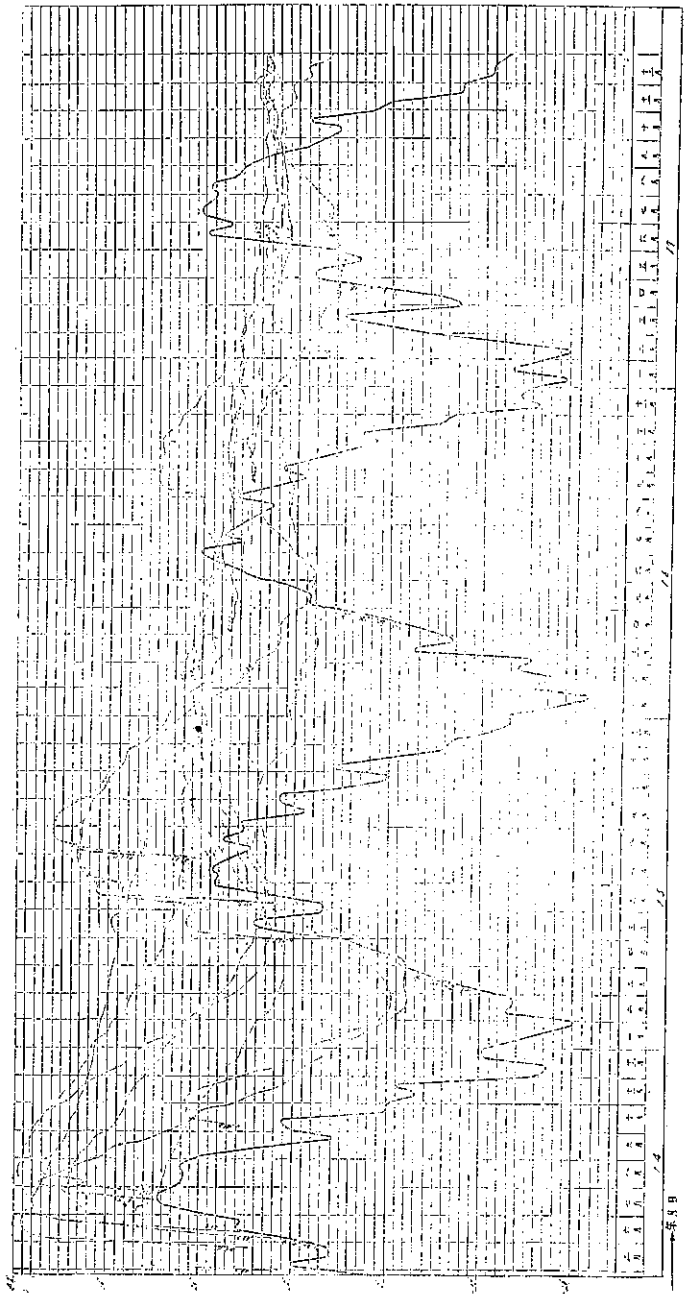
之等に關しては更に研究を進めたいと思つて居る。

4. 稍々長期に亙る堤體內温度の變化

昭和 14 年 4 月 26 日 No. 1 サーチコイル埋設以後昭和 17 年末迄の約 4 年に亙る記録を示せば圖-20 の如くである。

此の中 No. 9, 7, 12, 2, 3 の 5 個は昭和 15 年に、No. 4, 10 の 2 個は昭和 17 年春に故障を生じ、完全に現在迄測定し得たものは 12 個中僅か 5 個に過ぎない。又、昭和 15 年には第 2

圖-20. 堤體內温度測定値



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14.4	14.7	14.2	14.1	14.2	14.2	14.1	14.2	14.1	14.2	14.1	14.2

期工事の一部を施工し、同年7月には第1期工事の完成を待たずして灌水を開始した爲、堤體内部の温度に及ぼす因子が増加複雑となりたるに反し、前述の温度計の故障續出の爲、缺測の部分多く長期に亙る温度變化を論ずる事は困難であるが圖-20より次の事が推察される。

即ち各サーチャイルの温度曲線は平均気温の曲線に對し明瞭に1~4箇月の位相の遅れを示してゐる。又、コンクリートの最高温度は略く最高気温に近い値を示してゐるに拘らず最低温度の方は其の半分位しか下降してゐない。一般に硬化熱の處理に於て、最初の上昇温度の抑制の必要なるは勿論にして、其の外に施工繼手のグラウト前に最高温度より定常温度に至る全域に亙て勉めて早くコンクリートを冷却し、而も此の期間中斷面に於ける温度状態が一樣なる如くするのが理想的である。最高温度の抑制は續いて起る温度低下を減じ容積變化從て龜裂發生の機會を減ずる事になり、又繼手が冷却された状態でグラウトされると次の温度が定常状態上昇してもコンクリートが膨脹して壓力を受ける丈である。

本地方の如き寒地帯に於ては、普通の施工に依つても、或る程度上昇温度の抑制が出来、且、冬季作業を休止する間の自然的冷却が相當の效果を示してゐる様に思はれる。

コンクリートの斷面に於ける温度勾配が成るべく一樣なる如く冷却せしめるには人工冷却の装置を要すべしと考へられるが、各ブロックの施工順序を決定する場合、堤體の内部になる部分は必ず冬季外氣に曝される如く考慮するか或はコンクリートの配合、低熱セメントの使用等に依り或る程度目的を達成し得るものと考へられる。

今、打込後1年以内(昭和15年春迄)の内部温度の變化を見るに、外氣の影響を受ける事前述の如くして、特に寒氣に依る影響は、堤體内部の最低温度と其の年の極寒時10日間の平均気温との差 $T(^{\circ}\text{C})$ を縦軸としコンクリート表面からの距離 $d(\text{m})$ を横軸とすれば圖-21に示す如くして

$$T = 2.6\sqrt{d}$$

にて表はされる。

深さ 9.00 m 以上に於ては漸次低下し何時を最低と決定し難い。外氣の影響を受ける範圍はコンクリート表面下 2.0 m 以下に於て特に著しい事が判る。

次に内部温度の最低時は気温の最低時より幾日遅れて現れるかを示せば圖-22の如くである。

昭和15年夏期の影響は其の後の打繼灌水等の爲圖-21と

圖-21. 堤體コンクリートに及ぼす外氣深の影響

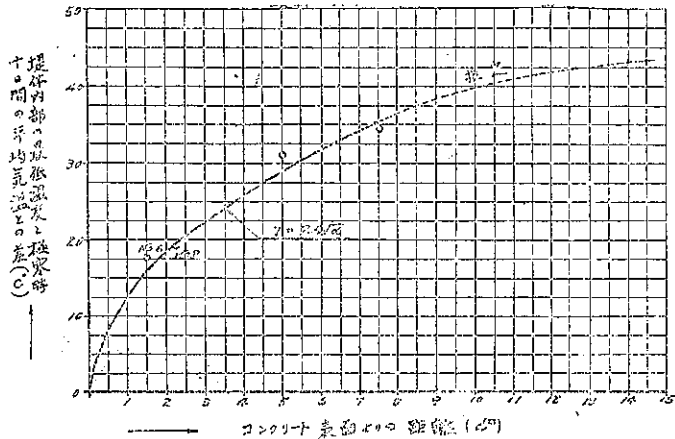
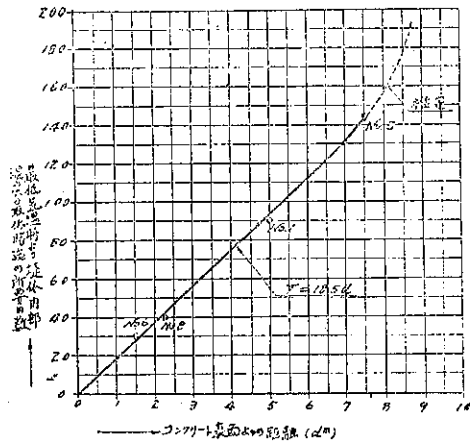


圖-22.



關聯して示し兼ねるのは遺憾である。

以上の結果より見ると最も温度勾配の急なるはコンクリート表面に近き部分である。堤體完成後永久に外氣に曝されるコンクリートの表面附近の風化の害は寒地程大にして特に堰堤下流側の風化対策は考慮すべき問題である。

向寒の季節に於て堤體内部温度の低下する事は前述の通りであるが、圖-20 に依れば一般にその勾配は外氣温度低下の勾配に比し緩なる故、内外温度差益々大となる傾向があるが、(勿論この爲にコンクリートは早く冷却される事になる) 向暑の期間に於ては一旦低下した内部温度は再び上昇し(コンクリート表面より深きものは逐次低下するのみなり) 5, 6 月に於て断面各部の温度並びに外氣温度は甚だしく近接し、温度による内應力が最小の状態となる。

堤體コンクリート内の温度變化に依る歪は極めて大で、後より働く如何なる荷重に依る歪よりも大である故、温度變化の範圍を出来るだけ縮少するに勉むべきである。硬化熱處理対策としての自然的條件たる冬期寒冷の利用に就ては一段の研究が必要と思ふ。

5. 結 言

以上は單に測定結果より内部温度に就き種々の場合を推定せしのみで理論的な結果を得ざるを遺憾とするも、實地施工に當り或る種の參考ともならば幸ひと思ひ取敢へず纏めたもので、尙この調査を進めるならば何等か満足すべき結果を得るに非ずやと思はれる。本文は無理な推論も相當多く大方諸賢の御批判を乞ふものである。

最後に温度測定並びに資料集收到に援助せられた鈴木製吉、田子和一の兩君に厚く感謝する。

(昭. 18. 6. 2. 受付)