



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	コンクリートの電気養生に関する研究（Ⅰ）
Author(s)	板倉, 忠三
Citation	Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, 8(2), 147-166
Issue Date	1949-08-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/37755
Type	departmental bulletin paper
File Information	8(2)_147-166.pdf



コンクリートの電気養生に関する研究 (I)

工學博士 板 倉 忠 三

昭和24年1月6日

Researches on Curing of Concrete with Electric Current (I)

Chūzō Itakura.

To prevent the freezing damages of concrete before its setting and hardening on the execution of concrete in cold weather, there has been considered a method of utilizing Joule's heat due to electric resistance in concrete in Denmark and Soviet Russia since 1932 to 1934. Later in our country, there were laboratory researches by Prof. Tatsumi of Kōbe Higher Technical School, Prof. Kondō of the Kyōto University and Eng. Shimada of the Civil engineering Laboratory of Department of Home Affairs, and the field executions by Japan Electric Generation & Transmission Co. and by Prof. Ōtsubo and Assist. Prof. Ichiki at the same time of researches and field executions by the writer.

In this paper, fundamental researches utilized mainly for the field executions and those examples directed and superintended by the writer in 1946 to 1948 are described.

Contents.

I. Introduction. II. Extents of the researches. III. Relations between spacing of electric poles, density of electric current and amount of electric power consumed. IV. Relation between density of electric current or spacing of electric poles and temperature of concrete. V. Bending and compressive strength of concrete cured with electric current. VI. Relations among setting temperature of cement paste, setting time and compressive strength. VII. Uniform raising of temperature of concrete. VIII. Examples of field executions. IX. Conclusion.

主 要 目 次

I 概 説	148
II 研究の概要	148
III 異種電極間隔と電流密度及び電力量	151
IV 電流密度或は異種電極間隔とコンクリート温度	162

V	電氣養生を行つたコンクリートの強度	156
VI	セメント糊の温度と凝結時間及び耐圧強度との関係	160
VII	コンクリート温度の均一なる上昇	162
VIII	實 施 例	165
IX	結 説	166

I. 概 説

コンクリートの電氣養生に關しては 1932~1934 年ソ聯の研究及施工報告があり、本邦に於てはその頃神戸工專の巽教授、京大の近藤教授、少し遅れて昭和 16 年以降建設省土木技術研究所の島田技官等の貴重な實驗室研究があり、施工には昭和 22 年 1 月筆者の研究施工と偶然時を同うし、然も何等相互の連絡無しに本州では日發、北海道では本學大坪教授、一木助教授等の施工例があつた。

北海道の様に酷寒中でもコンクリート工事を行なはなければならない地方では極めて重要、且緊急解決を要する問題であつて筆者は多年繼續して來た寒地施工、即ち寒地特有の氣象條件を克服すべき材料及び構造物に關する研究の一環をなすものとして全く獨自の立場から施工を主題として着手したのであつて、既に建設工學第 2 號、技術と社會第 1 卷第 5 號、及び第 2 卷第 1 號誌上に於て、昭和 22 年初頭の研究成果を應用した實例を上げて、施工法を説明し、仕様の概略を述べた。

而して昭和 22 年末より昭和 23 年春に至る冬期間、北海道各地で各種の構造物に實施した。これら實施技術の基礎となつたものは、基礎的實驗の結果であつて茲にはその一部を述べんとするものである。

II. 研 究 の 概 要

1. 目 的

本研究は實施の際最も重要な基礎資料を得る爲、先づ次の諸點に目的を置いた。

- (I) 電極間隔と單位斷面積當りの電流密度、單位容積當りの最大電力及び電力量並にコンクリート温度の上昇狀況。
- (II) 電氣養生と普通養生の場合のコンクリートの強度比較。
- (III) コンクリートの混合水に海水を使用した場合の同上の關係。
- (IV) コンクリート温度の均一上昇

以上に關する實驗の種類は次の 4 種とした。

2. 供 試 體

供試體の寸法は斷面 $10\text{cm} \times 10\text{cm} = 100\text{cm}^2$ 、長さは 20, 40, 60, 80, 100 及び 120cm であつたが、前項 (III) の場合には長さを 100, 150, 200, 250 及び 300cm とした。

型枠は總て厚 6 分板の木製でボルト締め、或は楔止めである。

使用セメントは浅野セメントであるが、新品、貯蔵品4種類で、その規格試験は表-1に示す通りである。

セメント No.1 は新品で規格に合格するものであつたが、これ以外は貯蔵品であり、No.3 は風化の度合特に甚しいものであつたので本報告に載せる事は躊躇したが、練上り温度及び室温の低いものであるから、何等かの参考にもと思つて載せた。

骨材は2種類で表-2に示し、篩分試験成績は図-1の通りである。

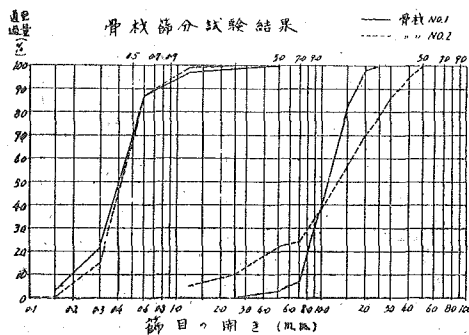


図-1

加水量は75%前後でスランプ15~17cmの軟練りであつて一種類3個以上を製作し同一条件で比較した。

水中養生迄は表面は何れも無被覆である。

3. 電極及び電圧

電極は現場施工に最も使用範囲の広い亜鉛引8番鐵線を10cm×10cmの断面に於て兩端に夫々1本とした。

電圧は普通低壓交流の100V及び200V級で観測中±5voltの上下があつたが現場の条件に近からしめる目的もあつて特に電圧の調整は行なはかつた。

純通電時間は大略22~24時間程度であつた。

4. 測 定

供試體については電圧、電流、コンクリート温度及び室温を測定した。

電圧は横河製精密級箱型電圧計(300V, 150V)

表-1 使用セメントの規格試験成績

種 別	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
粉 末 度 (%)	5.0	32.0	21.1	11.2
比 重	3.14	2.94	29.9	3.10
膨 脹 性 龜 裂	なし	なし	なし	なし
凝 結 試 験	始 發 (時 分)	2-15	1-50	—
	終 發	5-15	3-50	—
標 準 稠 度 w/c (%)	30.5	34.5	30.0	30.0
抗 曲 強 度	3 H	16.0	—	—
	7 H	39.2	8.1	4.5
	kg/cm ² 28 H	60.1	14.4	9.4
				32.8
耐 壓 強 度	3 H	20.7	—	2.4
	7 H	139.1	15.8	17.0
	kg/cm ² 28 H	186.2	45.5	46.2
				102.1

表-2 骨材の標準試験成績

種 別	No. 1		No. 2	
	細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
産 地	豊平川砂	豊平川砂利	蘭 島 砂	小 樽 石
比 重	2.8	2.56	2.55	2.60
單位容積重量 kg/m ³	1,380	1,553	1,330	1,513
細 率	1.92	4.71	1.99	5.15
吸 水 率 (%)	4.8	3.2	2.3	3.5
泥 土 率 (%)	1.6	1.0	0.8	2.5

* 實驗(IV)に使用した海水の鹽分含量

採取場所: 小樽港内築港工場附近

蒸發殘渣: 3.73, 3.81, 3.70% 平均 3.75%

電流は横河製精密級箱型電流計 (250V, 5 及 1Amp) を用ひて観測し, コンクリート温度はアルコーン棒状温度計 ($-10^{\circ}\text{C} \rightarrow 100^{\circ}\text{C}$) を供試体内に約 25cm 間隔に埋込んで測定した。

これらの測定に実験 (III) の内には通電開始より温度最高を過ぎる頃即ち深夜まで行ひ, 翌朝から続行したのもあつたが, 実験 (I), (II) 及び (IV) はすべて徹夜 24 時間継続し, 30 分毎に記録を取つた。その記録の一部は 圖-2~4 の通りである。

以上 4 種の実験の諸條件は表-3 の通りである。又これらの観測値は最小自乗法によつて處理して一應の關係曲線を見出した。

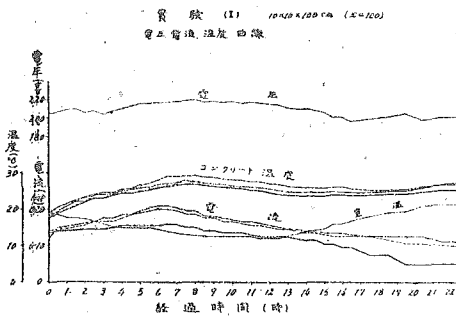


圖-3

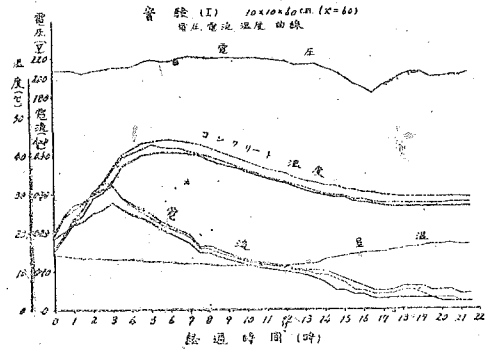


圖-2

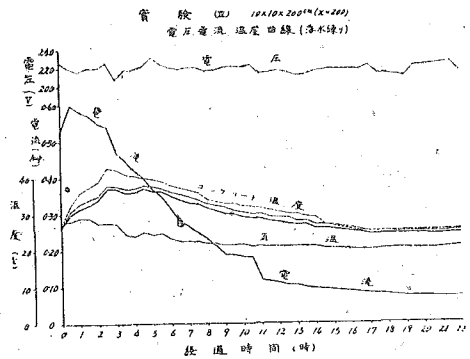


圖-4

表-3 実験の諸条件

実番 験號	セン メト	骨 材	水セ トメ 比	ス ラ ブ (cm)	供試體寸法 cm			混 合 水	練上り通電前 コンクリート 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	室温及気温 ($^{\circ}\text{C}$)	電 圧 (Volt)	備 考
					幅	厚	長					
I	No. 1				10	10	20, 40, 60, 80, 100, 120.	上	15.0 $\rightarrow$ 19.1	12.7 $\rightarrow$ 21.0	197.5 $\rightarrow$ 209 94 $\rightarrow$ 102	實 験 室 内
II	No. 2	No. 1	75%	45, 18	10	10	60, 80, 100.	水	16.5 $\rightarrow$ 21.0	14.0 $\rightarrow$ 22.0	203 $\rightarrow$ 214	
III	No. 3				10	10	20, 40, 60, 80, 100, 133.	水	0. $\rightarrow$ 4.0	-5.5 $\rightarrow$ 1.4	180 $\rightarrow$ 203 90 $\rightarrow$ 100	
IV	No. 4	No. 2		17	10	10	100, 150, 200, 250, 300.	小樽 港内 海水	22.0 $\rightarrow$ 29.0	22.0 $\rightarrow$ 27.0	209 $\rightarrow$ 224	戸外 日蔭

5. 強 度

供試體の寸法は表上の通りであるから軟練モルタルの例に倣ひ, 徑間 20cm で抗折強度を取り,

折つた兩端で耐壓強度を測定した。

材齡は3日, 7日, 14日, 23日で實驗(IV)では此の外半ケ年及び1ケ年の強度試験を行つた。

供驗體の内, 電氣養生のものは24時間の連續通電終了後2~3時間を置いて, 又普通養生のものは打込後48時間空氣中に置いた後共に, 型枠を取外して15~20°Cの淡水中で養生した。

III. 異種電極間隔と電流密度及び電力量

1. 異種電極間隔と電流密度との關係

一般に異種電極間隔が小ならば電流密度が急激に上昇して peak を表はし直ちに下降し, 間隔が大となるに伴つて電流密度の最大値は低下し曲線は平になり, 通電開始よりの時間が長くなる。

而して異種電極間隔と通電開始時の初電流密度及び最大電流密度とは大體双曲的關係にある。即ち實驗式で表はせば次の通りである。

$$I_i, I_{max} = \frac{K}{x^p} \dots\dots\dots (1)$$

但し, I_i, I_{max} = 夫々初電流並に最大電流密度 (Amp/100cm²)

x = 異種電極間隔 (cm)

K, p = セメントの品質, コンクリートの配合, 水量, 熱の放散等による定數

而して最大電流密度と初電流との比

$$I_{max}/I_i = 1.16 \sim 1.61 \quad \text{平均 1.39 である。}$$

これらの値は表-4に示す通りである。而してこれらは電極及び分岐線の容量決定に必要なものである。又セメントが古くなれば電流密度は x の増大に伴つて減少の度が多い。

セメントの新しい場合には x の増大に伴つて I の減少率の小さいことは注目すべきである。特に電壓の高い時はこの傾向がよく現れてゐる。同じ電流密度でも x が増大した場合 100V と 200V とではその電壓に必ずしも比例しない。これは VII に述べる接觸抵抗の爲であつてオームの法則は適用されないのである。

表-4 K 及 p の 値

實 驗 番 號	電 壓 (Volt)	I_i		I_{max}		$\frac{I_{max}}{I_i}$
		K	p	K	p	
I	200	2.02	0.6	3.01	0.6	1.49
	100	4.45	1.0	5.56	1.0	1.25
II	200	9.53	1.0	12.45	1.0	1.31
III	200	103.7	1.5	1567.0	2.0	1.51
	100	5.14	1.0	8.27	1.0	1.61
IV	200	104.0	1.0	120.5	1.0	1.16

2. 異種電極間隔と電力量との關係

異種電極間隔とコンクリート1立方メートル當り所要電流との關係は次式から求められる。

$$P = I \frac{10 \times 10 \times 100}{x} = \frac{I}{x} \times 10^4 \dots\dots\dots (2)$$

同上電力は

$$p = I^0 V / 1,000 = \frac{IV}{\pi} \times 10 \dots\dots\dots (3)$$

但し $I^0 =$ コンクリート 1m^3 當り電流量 (amp/ m^3)

$p =$ 同上電力 (kw/ m^3)

これらを初電流, 最大電流, 並に初電力, 最大電力に關して, 實驗(I)及び(IV)について求めれば 圖表-5~8 の通りであつて, 一回に打つたコンクリートの電氣養生に必要な變壓器, 主電線, 開閉器等の電力設計に用ひられる。

IV. 電流密度及び異種電極間隔とコンクリート溫度

1. 電流密度とコンクリート溫度との關係

一般に電氣抵抗によるジュール熱と導電體の溫度上昇の關係は次の通りである。但し簡單の爲に冷却は考へないこととする。

$$\begin{aligned} \text{ジュール熱} \quad H &= 0.24 I^2 R t \\ &= 0.24 V I t \end{aligned}$$

但し $H =$ 發生する電氣抵抗熱 (Gram cal)

$I =$ 電流 (amp) $R =$ 電氣抵抗 (ohm)

$V =$ 電壓 (volt) $t =$ 時間 (sec)

$$\text{物體の溫度上昇} \quad T - T_0 = \frac{1}{cm} H$$

但し $T, T_0 =$ 夫々終, 始めの物體の溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

$c =$ 比熱 $m =$ 物體の質量 (gram)

$$\text{兩式より} \quad T - T_0 = 0.24 \frac{1}{cm} V I t$$

嚴密には c, m はこの場合 t の函數であるが今簡單の爲常數とし V を一定, t を一定時間とすれば

$$T = T_0 + k I \quad \text{茲に} \quad k = 0.24 \frac{1}{cm} V t$$

の關係が得られる。

コンクリートの溫度上昇は電流密度の外, 氣溫, コンクリート容積及び冷却面積, 被覆の程度の函數で僅かの實驗から律することは出来ない。

今回の實驗は表面無被覆の狀態で又コンクリート容積も少い反面氣溫が高い環境下に於けるものである。こゝでは 24 時間繼續通電中の最高溫度を取つた。

今實驗の結果から最大電流密度とコンクリート最高溫度との關係を求めれば電壓に關係せず直線的であつて (4) 式の通りである。

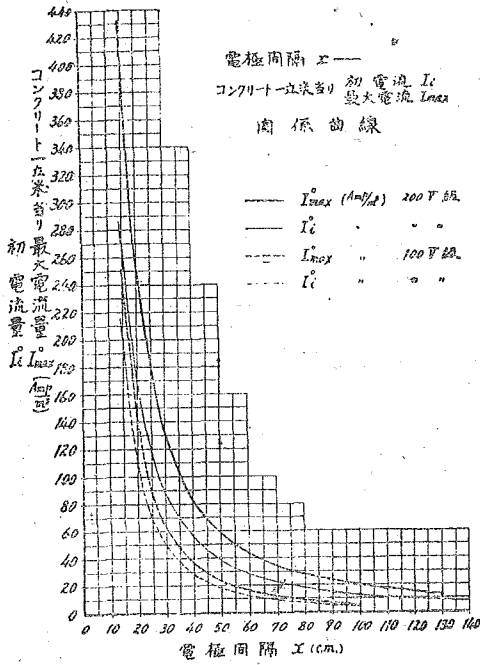


圖-5

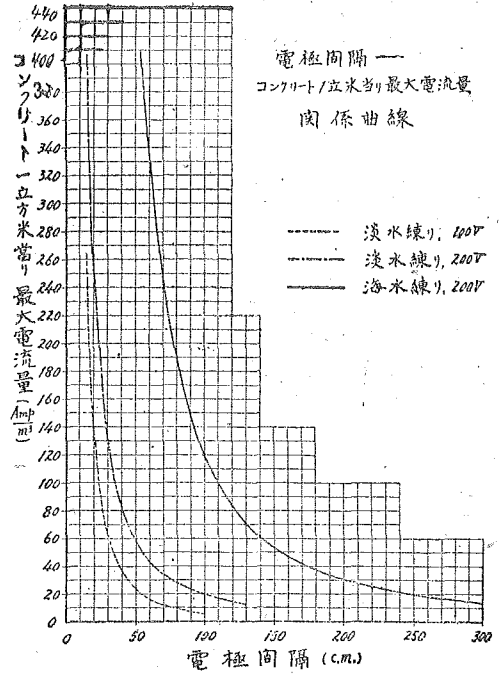


圖-6

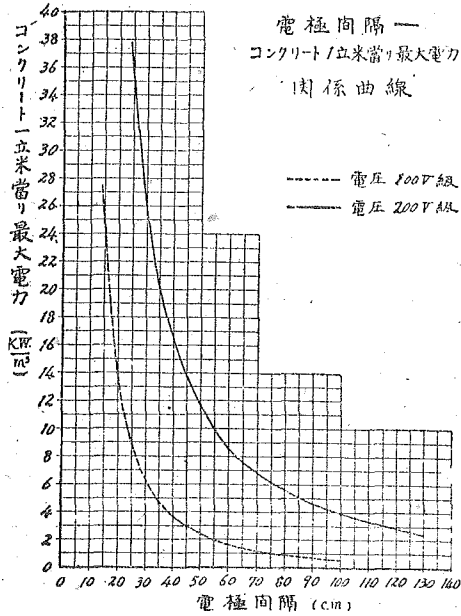


圖-7

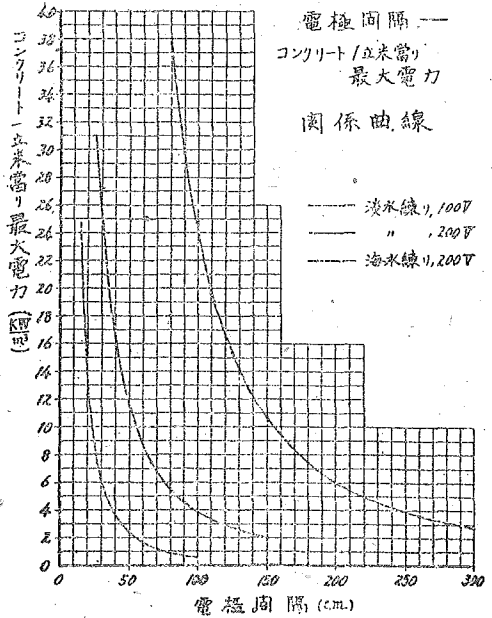


圖-8

$$T_{\max} = a + bI_{\max} \dots\dots\dots(4)$$

茲に $T_{\max}$ = コンクリートの最高温度 (°C)

$I_{\max}$ = 最大電流密度 (amp/100cm²)

a, b = 常数であつて a はコンクリート練上り通電前の温度を示し, (b) と共に各実験に就いて 表-5 の通りである。

2. 電極間隔とコンクリート温度

表-5 a 及 b の値

(4) 式を (1) 式に代入すれば直接電極間隔とコンクリート最高温度との関係が得られる。

$$T_{\max} = a + K'/x^{p'} \dots\dots\dots(5)$$

茲に a, p', K' は常数で 表-6 に示す通りである。

3. 電極間隔とコンクリート温度上昇率並に最高温度に達する時間との関係

表-6 a, K' 及 p' の値

コンクリート温度上昇と経過時間との関係曲線は最初の勾配は急で最高温度に近づくに伴つて緩になる。此處では最初の温度と最高温度とを直線で結んだものを取つて温度上昇率 Td (°C/hr) と電極間隔 x^{cm} との関係を求めた處次の通りである。

$$Td = \frac{K''}{x^{p''}} \dots\dots\dots(6)$$

茲に K'', P'' = 常数で 表-7 の値を取る。

次に通電開始後コンクリート温度が最高に達する時間 t (時) は次の通りである。

$$t = a'x^{p'''} + b' \dots\dots\dots(7)$$

茲に a', b', p''' = 常数で 表-8 に示す通りである。

實施の場合に

表-7 K'' 及 p'' の値

表-8 a', b' 及 p''' の値

はコンクリート容積が多く、冷却面積が少ければ温度上昇率は大となり冷却面積が多ければ小となる。
又練上りの温

實驗番號	電 壓 (Volt)	K''	p''
I	200	6,320	1.8
	100	3,220	1.8
II	200	5,530	1.8
	200	36,032	2.2
III	200	18,135	2.5
	200	53,376	1.8

實驗番號	電 壓 (Volt)	a'	b'	p'''
I	200	0.86	-1.7	0.5
	100	0.99	0.4	0.5
II	200	0.79	-1.6	0.5
	200	0.49	-6.5	1.0
III	200	—	—	—
	100	—	—	—
IV	200	0.28	0.59	0.5

度が低ければ一定温度に迄上昇するに要する時間が長くなることは當然である。

III-1, IV-1, 2, 3 を一括して各實驗別に圖表にすれば 圖-9 ~ 12 に示す通りである。

コンクリート電気養生実験(Ⅱ)

配合 1:2:4, w/c = 75%, スランプ 17 cm.
セメント No. 4, 骨材 No. 2, 海水 (蒸気減率 3.75%) 練り.

電極間隔—電流密度—コンクリート最高温度

関係曲線

I_1 : 初電流密度 T_{max} : コンクリート最高温度
 I_{max} : 最大電流密度

外気温 10.0~27.0°C
通電開始時コンクリート温度 22.0~27.0°C
連続 24 時間通電, 電圧 207~226 V
供試体寸法 10×10×20 (cm.)

電極 亜鉛引 8 番線

電極間隔 < コンクリート温度上昇 = 全最高温度上昇時
関係曲線

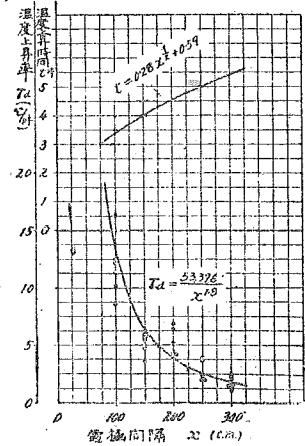
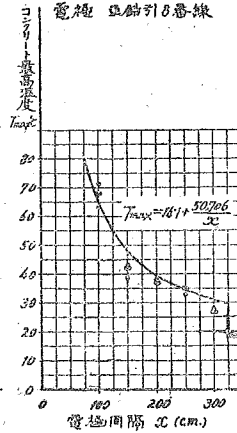
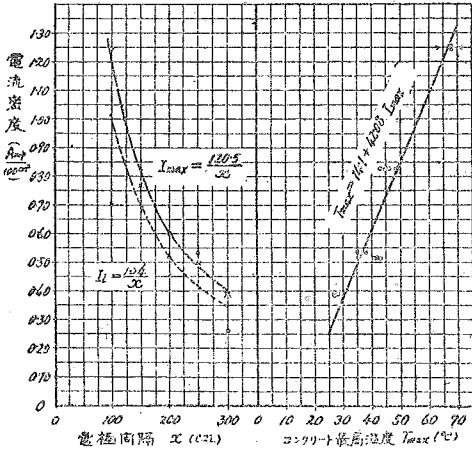


圖-12

V. 電気養生を行つたコンクリートの強度

敘上の供試體について得られた抗折, 耐壓破壊強度は各實驗別に挙げれば次の通りである。

1. 實 験 (I)

實驗 (I) に於ては電流を通じて高温にした場合と然らざる場合とに分けて 3 日, 7 日, 14 日及び 28 日の強度を取り材齢と強度との関係を取り纏めて (8) 式を得た。

$$\sigma_B, \sigma_C = CA^{\frac{1}{2}} + d \dots\dots\dots (8)$$

茲に σ_B, σ_C = 夫々コンクリートの抗折並びに耐壓強度 (kg/cm²)

A = 材齢 (日), c, d = 常數で 表-9 の通りである。

而してその強度を示せば 表-10 の通りで抗折,

表-9 c 及 d の値

耐壓強度共電気養生の方が夫々 26.1 及び 8.7% 上廻つてゐるが 28 日後もこの式に示す通りに強度が増進するものとするれば, 係數の傾向から普通養生と電気養生の強度の等しくなる時が来るものと思はれる。

今試みにその材齢及び強度を求めれば次の通りである。

種 別	σ_B		σ_C	
	c	d	c	d
普通養生	5.55	-3.7	16.84	+11.9
電気養生	5.04	0	16.05	+24.9

抗折強度 $A = 53$ 日 $\sigma_B = 37\text{kg/cm}^2$

耐圧強度 $A = 271$ 日 $\sigma_C = 290\text{kg/cm}^2$

表-10 材齢と強度との関係

材齢 (日)	3 日		7 日		14日		28日	
	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C
(1) 普通養生	6.9	41.1	11.0	56.4	17.0	74.9	25.7	101.0
(2) 電気養生	8.7	52.7	13.3	67.4	18.9	85.0	26.7	109.8
比 (2) : (1)	1.26	1.28	1.21	1.20	1.11	1.14	1.04	1.09

2. 實 験 (II)

実験(II)については貯蔵した風化セメントを使用した為強度は出てゐない。特に電気養生の方の強度の減じてゐるのは注意を要する。材齢は7日、14日及び28日の3種であるが、強度増進の關係は(8)式の形で表はされ、係數 c, d の値は表-11に示す通りである。

表-11 c 及 d の 値

種 別	σ_B		σ_C	
	c	d	c	d
普通養生	2.08	2.5	14.5	-17.6
電気養生	2.52	-2.1	9.5	-1.2

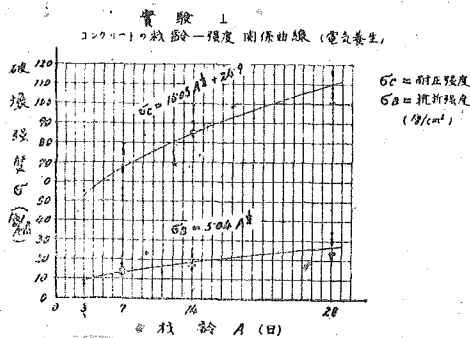
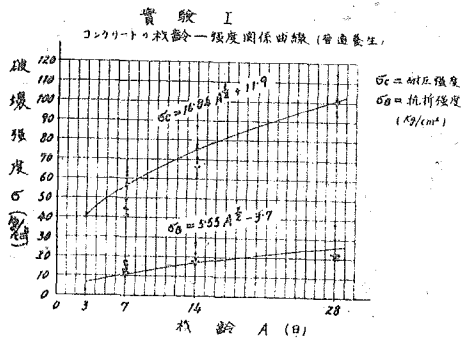


圖-13

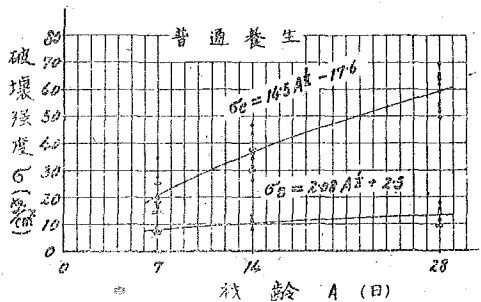
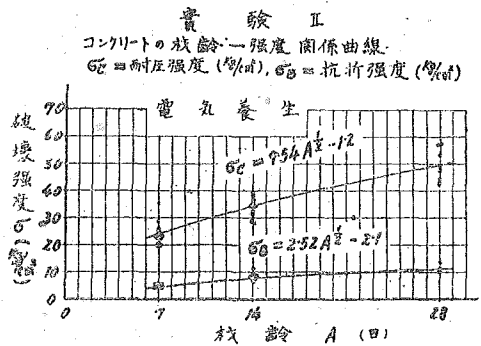


圖-14

又 28 日迄の各材齢強度比は 表-12 の通りである。又これらを圖示すれば 圖-14 に示す通りである。

3. 實 験 (IV)

實驗 (IV) に於ては實驗 (II), (III) より良質であるが貯藏セメントを用ひ淡水及び海水使用、普通養生及び電氣養生の各種につき、材齢は 3 日、7 日、28 日、半年及び 1 ケ年の 5 種である。

この強度増進の關係は (9) 式に示す通りの對數曲線が最も近い。

$$\sigma_B, \sigma_C = c' \log A + d' \dots\dots\dots (9)$$

$$\sigma_B, \sigma_C, A = (8) \text{ 式 の 通 り }$$

$c', d' =$ 常數で 表-13 に示す通りである。

表-12 材齢と強度との關係表

材 齢 (日) 破壊強度 kg/cm ²	7		14		28	
	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C
(1) 普通養生	8.0	20.8	10.3	36.7	13.5	59.1
(2) 電氣養生	4.6	24.0	7.3	34.5	11.2	49.3
比 (2) : (1)	0.57	1.15	0.71	0.94	0.83	0.83

表-13 c' 及 d' の 値 表

種 別	混合水	σ_B		σ_C	
		c'	d'	c'	d'
普通養生	淡 水	30.7	-9.4	81.3	-2.5
	海 水	21.0	-0.7	41.2	18.3
電氣養生	淡 水	24.0	-2.2	58.6	14.5
	海 水	24.7	-6.1	51.4	11.0

而して各材齢に於ける強度並びに強度比は 表-14 に示され、又材齢 28 日の強度を 1 として他の材齢の強度を比較すれば 表-15 の通りである。

又圖示すれば 圖-15-1, 2, 3, 4 の通りである。

表-14 材 齢 と 強 度 關 係 表

種 別	番 號	混 合 水	3 日		7 日		28 日		6 ヶ月		1 ケ年	
			σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C	σ_B	σ_C
普 通 生 養	(1)	淡 水	5.2	36.3	16.6	66.2	35.0	115.2	59.8	180.9	69.3	205.8
	(2)	海 水	9.3	38.0	17.0	53.1	29.6	78.0	46.6	111.3	53.0	123.9
電 氣 生 養	(3)	淡 水	8.3	42.5	18.1	64.0	32.5	99.3	51.9	146.7	59.3	164.7
	(4)	海 水	10.0	35.5	14.8	54.4	29.7	85.4	49.7	126.9	57.2	142.9
強 度 比	(2) : (1)		1.79	1.05	1.02	0.80	0.85	0.68	0.78	0.62	0.76	0.60
	(3) : (1)		1.60	1.17	1.09	0.97	0.93	0.86	0.87	0.81	0.86	0.80
	(4) : (1)		1.92	0.98	0.89	0.82	0.85	0.74	0.83	0.70	0.83	0.69
	(4) : (3)		1.20	0.83	0.82	0.85	0.91	0.86	0.96	0.86	0.97	0.87
	(4) : (2)		1.07	0.93	0.87	1.02	1.00	1.10	1.07	1.14	1.08	1.15

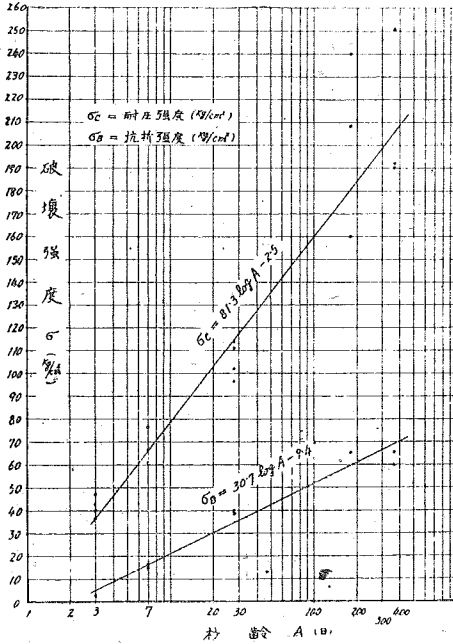
これらの結果を總括すれば次の通りである。

(1) 普通養生、淡水練りと海水練り

海水練りのものは早期の 3 日～7 日に於ては大體淡水練りに優るが、一個年後になつて海水練

コンクリートの養分——強度関係曲線

配合 1:2:4, W/C=75%, スラング 17cm, 養生温度 26.6°C
供試体寸法 10×10×100cm 20日後水中養生
養生水温: A=20迄 20°C, 以後 20-0°C 淡水養生

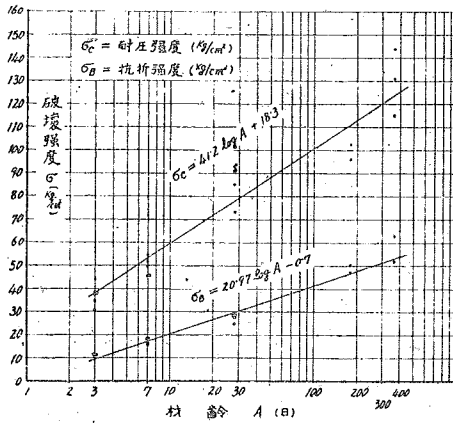


1

海水養生コンクリートの

養分——強度関係曲線

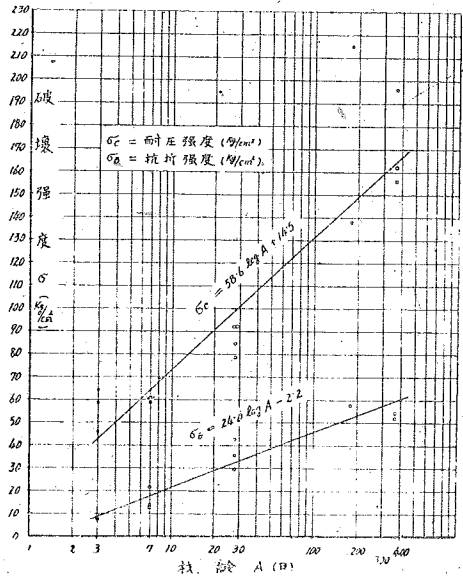
配合 1:2:4, W/C=75%, スラング 17cm, 養生温度 23.5°C
供試体寸法 10×10×150cm 養生水温 20-0°C (A=20迄 20°C, 以後 20-0°C)



3

コンクリートの養分——強度関係曲線

配合 1:2:4, W/C=75%, スラング 17cm, 養生温度 20.5°C
供試体寸法 10×10×100cm, 電圧 209-224V, 通電 24時間通電 以後 水中養生, 水温: A=20迄 20°C
以後 20-0°C 淡水養生, 電極 8番電線引鉄線

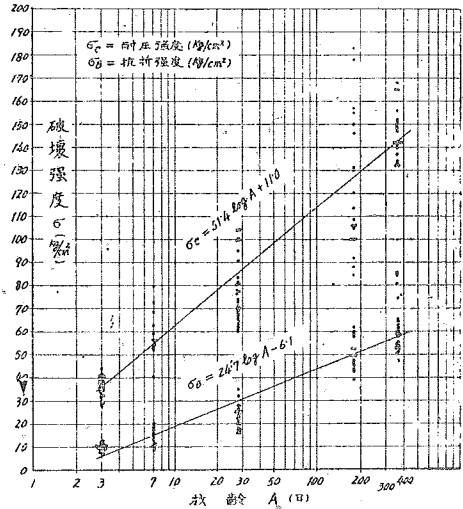


2

海水養生コンクリートの

養分——強度関係曲線

配合 1:2:4, W/C=75%, スラング 17cm, 養生温度 22-27°C
通電 24時間 電圧 209-224V, 通電 以後 水中養生,
水温: A=20迄 20°C, 以後 20-0°C 電柱, 電線 8番電線引鉄線
供試体寸法 10×10×100, 150, 200, 250, 300cm



4

りは抗折強度 76.5%, 耐壓強度 60.2% となる。

(2) 淡水練り, 普通養生と電気養生

材齢 7 日迄は大體電気養生の強度が上廻つてゐるが 28 日は逆となり, 一個年後には普通養生に比して抗折強度 85.6%, 耐壓強度 80.0% となつた。

(3) 淡水練り普通養生と海水練り電気養生

大體に於て海水練り電気養生が劣つて, 材齢と共にその低下が著しい。一個年後には抗折強度 82.5%, 耐壓強度 69.3% となつてゐる。

(4) 電気養生淡水練りと海水練り

概して海水練りの方の強度は低い, 材齢と共にその比が小さくなつてゐるのは興味がある。抗折, 耐壓強度は夫々一個年後には淡水練りの場合の 96.5% 及び 86.6% である。

(5) 海水練りの普通養生と電気養生

電気養生の方が優り且つ材齢と共にその比が大になつて行く。即ち一個年後には抗折強度, 耐壓強度夫々 107.9% 及び 115.2% を示してゐる。

(6) 一般に電気養生の強度が實驗(I)に比して低下してゐるのはセメントが古い爲であらう。新しいセメントについて行へば又異つた結果を得られると思ふ。

(7) 電気養生の抗折強度が早期に於て特に高いのは著しい現象である。

表-15 材 齢 と 強 度 比 較 關 係 表

種 別	混 合 水	σ_B の比					σ_c の比				
		3 日	7 日	28日	6ヶ月	1ヶ年	3 日	7 日	28日	6ヶ月	1ヶ年
普 養 通 生	淡 水	0.14	0.47	1	1.7	2.0	0.32	0.57	1	1.6	1.8
	海 水	0.31	0.57	1	1.6	1.8	0.49	0.68	1	1.4	1.6
電 養 氣 生	淡 水	0.25	0.56	1	1.6	1.8	0.43	0.64	1	1.5	1.7
	海 水	0.34	0.50	1	1.7	1.9	0.42	0.64	1	1.5	1.7

VI. セメント糊の温度と凝結時間及び

耐壓強度との關係

1. セメント糊と凝結時間との關係

供試體寸法は $4 \times 4 \times 10$ cm で凝結試験の標準稠度とし温度を一定にしてに 1, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 60, 90, 95°C 保ちその凝結時間を測定した。これら各温度の内 20°C 以下は低温室及び實驗室内, それ以上は電流を通じて 1~5 分間で目的の温度迄上昇せしめ無被覆のまま電圧を加減しつつ温度を一定に保ちミハエリス凝結試験により凝結の始發と終結とを測定した。

その目的温度に達してからの凝結時間と温度との關係は 圖-16 に示す通り大體双曲線的關係に

あり、(10) 式を以つて表はされる。

$$\left. \begin{array}{ll}
 \text{始發} & t = 470/T^{0.34} \\
 & = 215 - 3.84(25 - T) \\
 & = 30,600/T^{1.76} \\
 \text{終結} & t = 2,350/T^{3.0} \\
 & = 463 - 11.46(27 - T) \\
 & = 85,200/T^{1.76}
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 10 \geq T \geq 1 \\
 25 \geq T \geq 10 \\
 60 \geq T \geq 25 \\
 15 \geq T \geq 1 \\
 27 \geq T \geq 15 \\
 60 \geq T \geq 27
 \end{array} \dots\dots\dots (10)$$

茲に t = 凝結時間 (分)

T = セメント糊の温度 (°C)

この際 60°C 以上は殆んど直線的で變化が無い。

2. セメント糊の凝結温度と耐壓強度との關係

敘上の凝結の終つた供試體を 1 日間空氣中に放置し、翌日より 6 日間 20°C ~ 22°C の水中に養生し、7 日目の耐壓強度を觀測した。

その結果は 圖-17 に示す通りであつて、これを最小自乗法によつて實驗式を作製すれば (11) 式の通りである。

$$\sigma_c = 73.3 + 22.3T - 2.27T^{1.5} \dots\dots\dots (11)$$

茲に σ_c = セメント糊の材齡 7 日の壓縮強度 (kg/cm²)

T = セメントの凝結中の温度 (°C)

即ち、この曲線は拋物線形で、凝結温度 30°C ~ 50°C 附近に最も早期強度を發揮する處があり、(11)

式より求めれば次の通りである。

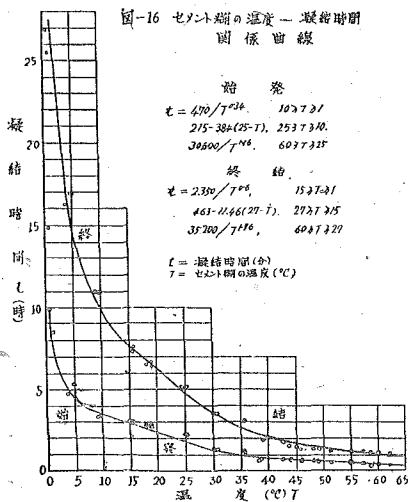


圖-16

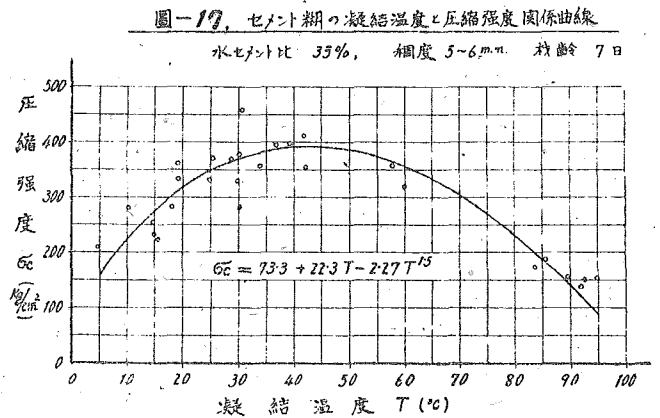


圖-17

$$\frac{d\sigma_c}{dT} = 22.3 - 1.15 \times 2.27T^{0.5} = 0$$

$$T = 43^{\circ}\text{C}$$

又この曲線によれば $T = 50^{\circ}\text{C}$ を超過すれば漸次強度が低下するのであつて電気養生の際最も注意すべき事項である。

VII. コンクリート温度の均一なる上昇

コンクリートに電流を通じて保温或は加温する場合、コンクリート體全體の温度が凡べて均一に上昇することが理想であつて最も重要な事項であると共に又困難が多い。今これに關する諸要素を挙げれば次の通りである。

- (1) コンクリートの混捏状態
- (2) コンクリートの練上り温度
- (3) 冷却面の状況
- (4) 電極附近の電流の状態
- (5) コンクリート温度の上昇速度
- (6) 電極の設置方式 等。

(1) コンクリートの混捏状態

一般にコンクリートは全體が全く等質であると考へられない。理想を言へば、骨材は細粗適度に混合し、その間隙をセメント糊が均等に行き亘つてゐるべきであるが、實驗室に於て製作される供試體でさへ全く同一のものは得られず、強度の差を生ずる大きな原因をなしてゐる。沉んや實際の構造物に於ては、如何に入念に施工しても部分的に差異を生ずることのあるのは寧ろ當然であつて、構造物から抜き取つたコアの強度が著しく不揃ひなのは、コアを抜取る技術にもよることであるが、施工の際の不均質によることが大きな原因であると考へられる。甚しきは骨材の分離を見ることも少くない。

この様な状況に於てコンクリートに電流を通す場合、セメント糊の濃度の大きな處、水量の多い個所には電流が多く通つて温度の上昇は速かであるのに反し、然らざる部分は温度の上昇は遅れ勝ちである。又、骨材は電氣の不導體であるから、これを包むセメント糊の發生する熱の傳導によつて暖められるのである。従つて粒度の粗い骨材の附近、或はセメント糊の少い部分はどうしても温度上昇が遅れる。骨材の分離してゐる個所は特に甚しいのである。

(2) コンクリートの練上り温度

一般に、コンクリート温度と電流量とは互に相關關係があつて、電流が多く通れば温度が上昇しイオン電導であるから凝結する迄は、温度が高ければ通る電流量は多い。この相對的關係に於て凝結開始迄はコンクリート温度は上昇する。

従つて通電の最初に於て温度の高い部分は低い部分よりも電流が多く通り、發熱量は電流量の2乗に比例するから益々温度差が開いて来る。

酷寒中のコンクリート施工に混捏水或は骨材を暖める場合、一バッチ、一バッチのコンクリートが凡べて均一な温度で打込まれ、然も全體一樣な温度の下で電流を通すことは到底望まれない。茲に生ずる最初の温度差は電流を通することによつて益々大きくなるのである。

(3) 冷却面の狀況

コンクリート體に電流によるジュール熱が発生しても、外部からの冷却がより大ならば、その部分のコンクリートの温度は上昇しにくい。コンクリートの容積と冷却面積及び外気温がこれに關係する。

木製型枠の保温力は大であるから、型枠面からの熱の放散量は比較的僅少であるが、露出面が大きい場合ここからの放熱量は大であつて、露出面から内部に至る温度の傾度は熱傳導の方から算定出来る。

(4) 電極附近の電流の狀態

一般に抵抗の異なる連續した通路内を流れが移動する場合、その抵抗の變換點附近に於て必ず異常狀態が起る。水流の場合には湍流その他の不定流となり、電流の場合には接觸抵抗と名付ける抵抗の存在を考へてゐる。而して相接する2導體の抵抗差の大なる程、その接觸抵抗は大きい。電極が金屬とすれば、これとコンクリートとではその導電率に大差があるから當然その接觸點附近の抵抗は大きい筈である。

ここに電壓の局部的降下があり、實驗によれば端子電壓 100V の場合、電極の附近僅々1~1.5 cm の間で 15~16V に達してゐて、これはコンクリートの全面に鉄板を接せしめても、程度の差はあるが、この現象の起ることには變りはない。この爲、電極間に直接オームの法則を適用することは出来ないのである。又電線から電極迄は電子電導であるが、コンクリート内ではイオン電導であるから、その界面附近には異常現象が起り得て、これも局所の電壓低下を起す。この兩電極附近の電壓降下の傾度と中間の電壓傾度の間の轉移の圓滑な場合に最も温度差が小さい。

次に鐵線の様な小さい表面から廣いコンクリート内に電流が通るのであるから、その流線はここに集中する。即ちこの部分の電流密度は特に大となる。

以上3つの電氣的現象はコンクリート内、電極附近の特別な温度上昇、即ちコンクリート體の温度の不均一を生ぜしめる原因となる。

(5) コンクリート温度の上昇速度

電流は水流と同様に抵抗の少い處を選んで通り、スイッチを入れたまゝにしておけばその主な通路は殆んど一定し、この主な通路に當る個所は直接發熱量は大であるが、その他の發熱量の少い部分は發熱量の多い部分からの傳導熱に助けられて暖められる。この發熱速度と傳導速度とが同率ならば理想的の均一な温度の上昇が得られ、兩者に相異があれば不均一となる。而してコンクリートの傳熱係数は小であるから、ジュール熱による温度の上昇速度を大にすることは好ましくない。即ち施工上はなるべく電流量を少くして温度上昇を緩漫にすべきである。

今實驗 I, II, III, 及び IV の供試體に就て、電極間隔 x 及び温度上昇率とコンクリートの電極

附近並にその他の部分の温度差との関係を圖示すれば 圖-18 及び 圖-19 の通りである。これによればセメントの新鮮の程度及び電媒質の混合量によつて、これらの關係に相異があつて極めて興味深いことである。即ち電壓 200V で、新しいセメントでは異種電極間隔 $x=40\text{cm}$ 附近、貯藏セメントでは $40\sim 60\text{cm}$ 或は 80cm の附近である。

圖-18, 電極間隔とコンクリート各部の温度差
電圧 200 V

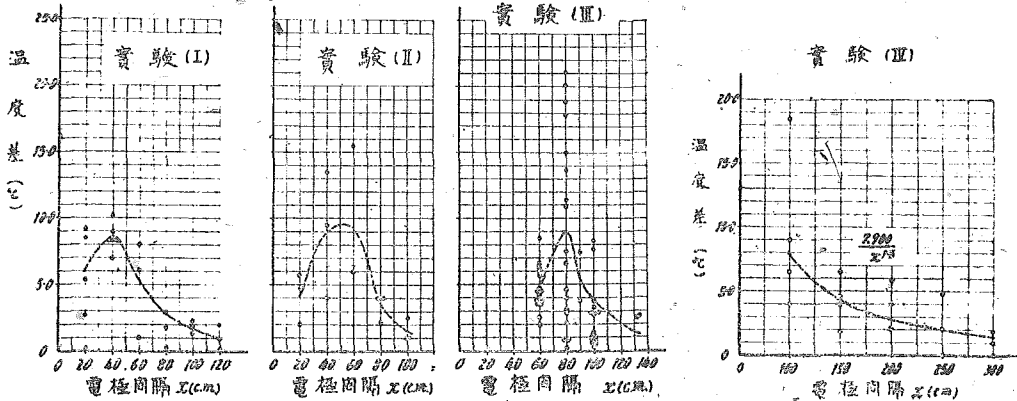


圖-18

又、温度上昇率からすれば實驗 I 及び II は 夫々 $10^{\circ}\text{C}/\text{時}$ 、並に $5^{\circ}\text{C}/\text{時}$ の時、實驗 III では $2.3^{\circ}\text{C}/\text{時}$ の時に温度差が最も大きく、更に上昇速度が大となれば温度差が小さくなるが緩慢である。實驗 IV にあつては温度上昇率と温度差とは殆んど比例してゐる。これは (4) と密接な關連があり、更に稿を新たにするつもりである。

(6) 電極の設置方式

以上の電気的特質から考へれば、鐵線或は鐵棒電極の場合には、同種電極間隔を密にして鐵網狀にし、異種電極間隔はなるべく離隔せしめて設置し、異種電極間隔を伸ばされない時は電壓はなるべく低くして施工すべきこととなる。

断面が小さくても鐵線或は鐵棒を 1 本だけ電極にすることは極力避けるべきである。特に直接垂直下方に漏洩して電極と地面との間の温度を特に上昇せしめるから注意すべきである。

以上の温度の不均一上昇の原因を探索することによつてその對策は自ら定まるのである。

(1) ~ (3) は普通コンクリート施工の際の技術的常識であつて、良いコンクリートを作る方針そのものであつて、特に電氣を通す場合には充分注意したい事項である。

圖-19, コンクリート温度上昇率—温度差
關係圖表

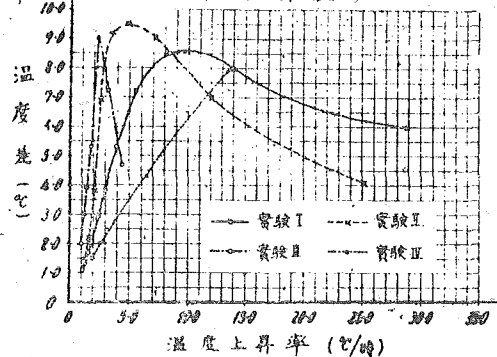


圖-19

(4)～(6)は電極設置上極めて重要な事項であつて、同種電極間隔を密にし、異種電極間隔を大きく取るか、電壓を低くして温度上昇を緩慢にすることが要訣であることを教へる。

これらの具體的資料は極めて多いから次回に報告したい。

VIII. 實 施 例

本研究を基本にして昭和22年春以降23年春迄實地に施行した電氣養生の中、筆者が直接、間接にタッチした工事例は表-16、に示す通り現場數18、構造物の種類20で、その内No. 31～46については建設工學誌第2號に詳述した。

今No. 77以下について少しく説明を加える。

No. 77, No. 98～1, 2, No. 99は建設工學誌第2號3頁所載の電極種類及結線5)と大同小異で堰板内面に鐵線をはりつけ長手の方向に電流を通したのである。

No. 98～3, 4, 5は鐵線を30cm間隔に垂直に埋込んだもの、No. 107は施工後、鑛業所から報告を受けたものであつて、幅7.5cmの帶狀鐵板を垂直に埋込んだものであるが、1本を1極とした爲温度の不均一が甚しく、禁止すべき電極設置の例である。

No. 100～4, 5は鐵線を1本水平に埋込んだもの、No. 103は極に鐵線をはりつけてコンクリート上面に接せしめたもので成績は共に芳ばしくない。少くも同種電極間隔は前に發表した通り10～15cm程度にして埋込み、電極數を節約すべきではない。この様にすることによつて電極附近コンクリートのエンタルピーも増加せしめ得るのである。そうでなければ通電中は電極附近のみが過熱され、通電を停止すれば忽ち温度が降下して均一な温度の上昇は望まれない。

No. 104は内外型枠の堰板内面に同種電極間隔25～30cmにしてはり付け、内外堰板間に電流を通した。

No. 90はNo. 104と同様の設置で同種電極間隔約20cmにした。No. 91, 92, 93は構造鐵筋の間を縫つて電極を埋込んだ。No. 90～93は筆者が研究室を舉げて日本發送電株式會社北海道支店の緊急工事に協力したものであつて、現在迄の電氣養生施工としては最も慎重に實施し、豊富な資料を得たもので本學部彙報に報告することとした。これは電流を通した場合の鐵筋の附着強度の實驗も行つた。

No. 94は床版上面も堰板で覆ひ、上下堰板内面に1mm ϕ 鐵線を10cm間隔にはり付けた。複鐵筋斷面であつたが温度も比較的均一に上昇せしめ得た。

No. 95, No. 104は別途報告したい。

No. 96は堰板面に垂直に鐵筋の間を縫つて電極を挿入した。

又No. 77に関しては土木技術誌第3卷、第5號に井華赤平鑛業所森田正義氏によつて發表されてゐる。

これらの電力消費關係は圖-5～9に比較すれば極めて近似の値であることを知る。

以上實施例の經驗並に研究の結果を取織め北海道炭礦技術會土建部會よりコンクリートの電氣養生施工法と名付けた小刷子を發刊し施工に便してゐる。

IX. 結 説

本研究の各項によりコンクリートを一定溫度に保温養生するに要する適當な電壓、電極間隔、電流密度及び單位容積に對する所要最大電力の關係を得た。これは數多くの施工に於てコンクリート全體に通電する際、現地の種々の條件によつても 10~20% の誤差内に入るものであつて表-17 に示す通りである。

表-17 電壓、異種電極間隔最大電力及びコンクリート溫度關係表

電 壓 (Volt)	異種電極間隔 (cm)	コンクリート 1m ³ 當り		最大電流密度 (amp/100cm ²)	コンクリート 最高溫度 (°C)
		最大電力 (kW)	最大電力量(kWh)		
200	90~120	3.5~5.5	65~85	0.17~0.20	40~50
100	30~40	4.0~6.0	70~100		
50	10~15	5.0~7.0	85~135		

而して特に施工に際しては III の各項を充分に熟知すべきである。

又、本報告の研究完成後更に良質のセメント或は特殊セメントの出廻るのを待つて特に強度關係を調べたいと思つてゐる。

コンクリートに對する交流の影響はセメントの化學成分よりすれば單なる熱的効果のみで、化學的に顯著な作用は無いと考へられる。

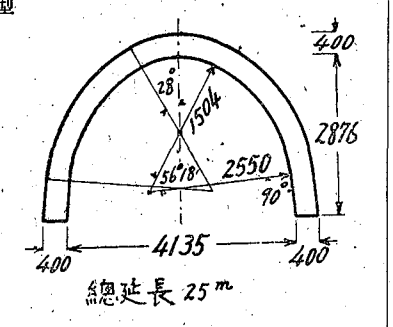
從つて化學的特殊成分を有する寒地向の特殊セメントが大量に市販される様になれば電氣養生施工も終を告げる時期が來るものであらう。

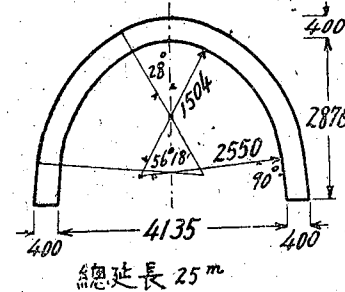
筆者の研究室には各方面の御支援により小さい乍ら 2~3 名の研究員が入室して觀測可能の低溫室が完成したので本格的に寒地施設の研究を進めることの出來たことを欣快とする。

最後に本研究は寒地材料及構造物と題する科學研究費の補助を得、更に色々の面で御支援を得た北海道廳河川課、石狩川治水事務所、札幌、小樽各土木現業所及び大成建設株式會社、鹿島建設株式會社、鐵道工業株式會社、各札幌支店、株式會社菅原組等各民間會社、並に徹夜研究に獻身的協力を得た太齋助手の外、當時の土木工學科學生橋均、西澤道夫、淺見千春、遠山奈須男の諸君に深く感謝の意を表する次第である。

表-16 コンクリート電気養生施工実施例一覧表 (I) (23. 9. 4)

無筋コンクリート

番 號	寸 法 (cm)			コ ン ト ク 容 積 (m³)	コ ン ト ク 配 リ 合	電 及 極 結 種 類 線	電 極 間 隔 (cm)	電 流 密 度 (Amp/100cm²)	電 源 (V)	通 電 時 間 (時)	總 消 電 力 費 (KWH)	消 電 力 單 位 量 (KWH/m³)	最 大 電 流 密 度 (Amp/100cm²)	コンクリート温度(°C)			天 候	氣 温 (°C)		摘 要	施 工 場 所	施 工 期 日	施 工 者	
														打 設 後	通 電 中 最 高			最 高	最 低					
															表 面 下 5cm	内 部								
31~1	30	63	300	0.564	1:3:6	8 亜鉛引線	100	0.171	三相 200	19	34.9	61.8	3.61	4.5~4.2	23~50	—	雪	+3	-7.2	基礎割栗上直接打設	眞駒内	22. 3. 21-22	大成建設	
31~2	30	60	300	0.54	〃	〃	〃	0.147	〃	19	28.9	53.4	3.24	7.5~5.5	26~42	—	〃	+3	-7.2	底面桹板敷上打設	〃	〃	〃	
35	21	60	3640	4.8	1:2:4	10 鋼線	〃	0.166	単相 200	30	—	—	3.13	0.8	11~21.4	—	小雪小雨	+3.5	-1.0	途中で6.2及び4時間計12時間通電停止 割栗上の均しコンクリート	豊中 平之島	22. 3. 24-26	鹿島建設	
36	21	60	5100	6.7	〃	〃	〃	0.180	〃	16	—	—	2.90	1.7~3.0	11.5~29.5	—	〃	〃	0	同上 4時間通電停止	〃	22. 3. 25-27	〃	
38	21	60	5300	7.0	〃	〃	〃	〃	〃	33	—	—	—	4.0~1.0	16.0~19.0	—	晴, 強風	+10.0	-3.5	同上 3時間通電停止	〃	22. 3. 26-28	〃	
25	60	21	240	0.324	1:2.5:5	8 鋼線	80	0.088	〃	23	24.1	80.9	2.06	7.0~5.0	58~67	—	雪	+7.7	-2.0	底面板敷供試體	戸外 研究室	22. 3. 12-14	大成建設	
27	146	21	307	0.214	〃	〃	105	0.135	〃	22	10.3	45.9	2.39	3.0~2.0	22	31.5	〃	+13.7	-3.5	〃	〃	22. 3. 14-16	〃	
28	146	36	2620	13.9	1:3:6	8 亜鉛引線	90	0.137	三相 200	23	800.5	57.6	2.94	7.7~5.8	30.5	57.8	晴	+6.3	-5.4	基礎均コンクリート上布コンクリート K.T.O. 混合	眞駒内	3. 16-17	大成建設	
29	146	36	1780	9.65	〃	〃	〃	0.151	〃	23	642.6	66.7	3.25	11.8~5.5	40	59.5	〃	〃	-6.3	同上 K.T.O. を含まず		3. 17-18		
32	146	36	500	6.7	〃	〃	〃	0.203	〃	14	464.7	69.3	5.39	5.5~3.2	—	43~66.5	雪	-0.2	-5.8	同上 縫一枚被覆		3. 19-20		
33	146	21	1140		〃	〃	〃	〃	0.177	〃	23	779.5	76.4	3.41	19.3~8.0	20.5~28.0	34~43	吹雪	-2.1	-7.2		同上 被覆なし		3. 20-21
34	146	21	1210	5.4	〃	〃	〃	0.326	〃	24	566.7	104.9	4.98	8.0~2.5	14~16.3	39	曇, 小雪	+8.6	-7.7	〃		3. 23-24		
37	146	21	1850	4.9	〃	〃	〃	0.268	〃	21	662.3	135.4	6.90	5.0~4.0	19~35	—	〃	+3.3	-2.8	〃		3. 24-25		
39	146	18	2300	6.1	〃	〃	100	0.175	〃	21.5	426.3	69.9	3.47	3.0~0.5	18~25.7	—	曇	+4.8	+0.3	〃		3. 25-26		
40	146	18	1364	3.6	〃	〃	90	0.155	〃	19	325.1	88.3	6.18	1.0~0	28~47	—	曇, 晴	+11.0	-0.8	〃		3. 26-27		
41	50 @ 18° ~ 36° × 76			2.8	〃	〃	75.8	0.137	〃	30.5	183.7	61.6	3.68	2.0	20~40	—	晴, 雪	+11.3	-1.3	コンクリートブロック上口6寸下口1.2尺角, 長2.5尺打設5時間放置後通電		〃		3. 28-29
43	100	21	3200	4.4	1:2:4	10 鋼線	80	0.223	単相 200	13	124.1	28.4	2.93	3.0~2.0	15~18	23	雪	+1.5	-5.0	〃	豊中 平之島	3. 30-31	鹿島建設	
44	100	21	3400	6.7	〃	〃	〃	0.210	〃	13	279.4	41.7	4.48	3.0	11~15	19	曇	+2.5	-4.0	〃		3. 31-4. 1		
45	100	21	3270	7.5	〃	〃	〃	0.163	〃	17	384.7	51.3	3.72	1.0~0	8.0	11	小雨	+8.0	0	〃		4. 2-3		
46	(140°-90°) × 230			2.2	〃	〃	120	0.166	〃	17	711.6	50.9	3.47	10.0~9.0	32~33	36~40	晴時々小雨	+8.3	-2.5	四角形下水マンホール下部35cm. 水中コンクリート	眞駒内	4. 8-9	鐵道工業	
90	(300-240)φ × 350			8.9	〃	〃	30	0.118	〃	28	714.24	79.9	3.94	4.0~10.0	—	4.5~35.5	小雪	-3.0	-16.0	鐵筋コンクリートケーソン軀體	砂川			
平均	—			—	—	—	—	0.175	—	—	—	74.8	3.54	—	—	—	—	—	—	—				
77~1	21	82	500	1.396	1:2:4	10 鋼線	100	0.217	単相 200	24	126	90.26	3.8	5~7	24	37~44	雪	1.0	-1.0	建築基礎布コンクリート	赤平	23. 2. 2		
77~2	21	82	2050	5.724	〃	〃	100	0.257	〃	24	628.1	109.73	4.5	11.0	50	61~68	〃	1.0	-11.0	〃 前日のコンクリートにも通電		〃		2. 3
77~3	21	82	2545	7.106 (5.724)	〃	〃	100	0.366	〃	24	1103.4	155.28 (86.00)	6.4 (3.5)	10.0	37	45~37	〃	1.0	-9.0	〃 砂川電力量欄中 () 内の数字は當日のコンクリート		〃		2. 4
77~4	21	82	2727	7.614 (7.106)	〃	〃	100	0.343	〃	24	1277.5	107.78 (86.79)	6.0 (3.1)	8.0	68	75~74	〃	5.0	-8.5	〃 に通電の分		〃		2. 5
98~1	15	120	450	0.8	1:3:6	8 焼鈍鋼線	30	0.163	単相 100	22	72.5	90.6	4.3	17.0	—	50	晴	-4	-15	建築基礎布コンクリート	尺別	22. 12. 19		
98~2	15	126	560	1.0	〃	〃	30	0.161	〃	22	90.6	90.6	4.13	17.0	—	50	〃	-4	-15	〃		〃		〃
98~3	100	60	110	1.9	1:2:4	〃	30	0.070	〃	41	152.2	80.0	2.5	5.0	—	23	〃	-4	-12	40馬力扇風機基礎コンクリート		〃		23. 1. 31
98~4	140	60	150		〃	〃	〃	30	0.185	〃	44	160	64.0	6.7	1.0	—	64~75	〃	-4	-12		〃		〃
98~5	124	84	208	4.3	〃	〃	28	0.200	〃	13	17.2	—	3.4	4.0	—	28~61	〃	-3	-14	〃		〃		23. 2. 3
99~1	140	60	208		〃	〃	〃	28	0.200	〃	13	17.2	—	3.4	4.0	—	28~61	〃	-3	-14	〃	〃	23. 2. 3	
99~1	24	85	5000	2.3	1:2:4	〃	90	0.155	単相 200	5	4230	184.0	3.5	12~19	—	25~49	晴雪晴	-4	-6.5	建築基礎布コンクリート	新幌内	23. 1. 26~28		
100~4	142	13	2400	3.85	1:3:6	11 鋼線	66	0.161	単相 200~180	41	483.8	125.7	2.2	4.5	13~25	—	—	+2	-1	鐵道貨車職場舗装コンクリート無被覆	輪西	23. 2. 16		
100~5	142	13	2800	4.49	〃	〃	66	0.158	〃	44	516.0	114.9	5.12	5~6.1	13~17	—	—	+3	-2	〃		〃		23. 2. 20
103	130	18	606	1.23	1:2:4	〃	67	0.171	単相 200	11	50.99	40.9	5.7	2.5~8.0	13~29	—	—	0	-3	舗装コンクリート	成増	22. 12. 26-27	三建工業	
109~1	40			4.08	1:13:2	8 亜鉛引線	40	0.132	97~100	24	193.88	47.52	3.31	3~19	—	52~59	—	3	-5.5	斜坑掘立コンクリートⅠ號型		夕張市清水澤北炭清水澤新嶺	23. 2. 29-31	鹿島建設
~2	40		7.78	〃	〃		〃	0.154	95~105	16.5	416.81	53.51	3.93	2~8	—	52~68	—	1	-1.7	〃			2. 2-3	
~3	40		7.89	〃	〃		〃	0.157	97~101	15	455.78	57.77	3.85	1.5~8	—	56~66	—	0	-11	〃			3. 3-4	
~4	40		9.08	〃	〃		〃	0.132	98~103	16.5	434.77	47.88	3.34	4~9	—	44~62	—	1	-7	〃			3. 5-6	
~5	40		8.16	〃	〃		〃	0.147	101~103	13	325.52	39.89	3.75	4~6	—	22~36	—	-2	-5	〃			3. 7-8	
</																								



コンクリート電気養生施工実例一覧表 (II) (23. 9. 4.)

鉄筋コンクリート

番 号	寸 法 徑 長		コン ト容 積 m³	コン クリ ト合	電 極 種 類	電 極 間 隔 cm	電 流 密 度 Amp/ 100cm	電 源 (V)	通 電 時 間 (時)	總消 電 力 費 K.W.H.	消電 費 力 位 量 KWH/m³	最 大 電 位 差 KWH/m³	コンクリート温度(°C)		天 候	氣 温		摘 要	施 工 場 所	施 工 期 日	施 工 者	
													打 通 設 電 後 前	通 電 中 最 高		最 高	最 低					
														表面下 5cm	内 部							
90~1	300~400	330	8.40	1:2:4	亜鉛引鉄線	20	4.69	92.3~95	29	704.62	83.88	0.146	4~10	—	29.5~30	—	-1.5	-15.5	ケーソン躯体 D ₂	日本發送電株式會社第十八號鐵塔基礎ケーソン工事棟戸郡新津川村	22.12.4~6	白石基礎工業株式會社(電気養生、日發直營、板倉研究室協力)
~2	"	328	8.35	"		"	3.82	90~96	22.5	511.82	61.33	0.122	6~7	—	43~45.5	—	-1.5	-12.0	" A ₂		12.7~9	
~3	"	328	8.35	"		"	—	—	20.0	推(481.0)	推(87.60)	—	0~8.8	—	46~49.5	—	-4.0	-11.5	" C ₂		12.15~16	
~4	"	350	8.90	"		"	—	—	22.0	推(564.0)	推(63.36)	—	0	—	40~42	—	-3.3	-12.0	" B ₂		12.16~17	
~5	"	327	8.33	"		"	4.68	75~94	17.0	391.08	46.95	0.158	5~12	—	38~45.5	—	+2.5	-4.0	" A ₃		23.1.5~7	
~6	"	327	8.33	"		"	4.27	86~92.5	20.0	545.16	65.45	0.144	5.2~7	—	30.5~38	—	-1.0	-9.0	" C ₃		1.11~13	
~7	"	325	8.27	"		"	3.92	81~90	16.0	387.70	46.89	0.131	9~10	—	30~35.2	—	+1.0	-7.0	" D ₃		1.13~14	
~8	"	300	8.27	"		"	4.23	87~97	16.0	365.30	47.81	0.138	5.5~7	—	31~40	—	+3.0	-2.0	" B ₃		1.20~21	
~9	"	300	7.64	"		"	4.38	88.5~97	21.0	500.03	65.45	0.144	8~10	—	33.5~42	—	+2.0	-5.0	" A ₄		1.15~17	
~10	"	300	7.64	"		"	3.47	82~92.5	19.0	354.13	46.35	0.113	0~1.0	—	39.2~55	—	+0	-15.0	" C ₄		1.25~26	
~11	"	300	7.64	"		"	3.35	85~89	25.0	492.66	64.48	0.116	0.3~1.8	—	39.2~51.5	—	-1.5	-7.5	" D ₄		23.2.1~3	
~12	"	300	7.64	"		"	4.13	89.5~98	27.0	635.47	83.17	0.130	2.3~4.6	—	32.2~48.5	—	0	-13.0	" B ₄		2.15~17	
平均	—	—	—	—	—	—	4.09	—	22.5	488.8	61.18	0.134	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
91~1	300	100	7.37	1:2:4	19φ 8 亜鉛引鉄線及鉄筋	50	6.39	105.5~100	12.0 (11.0)	384.06	52.11	0.344	2.0	—	16~32	—	-1.0	-3.0	ケーソン上蓋床版 B ₆	—	23.3.8~9	—
~2	300	"	7.37	"		"	6.15	105~100	28.0 (9.0)	350.68	47.53	0.338	2.0~3.0	—	25~39	—	+1.0	-3.0	" D ₆		3.8~9	
~3	300	"	7.37	"		"	5.60	101~111	21.0 (9.0)	287.79	39.12	0.272	2.6~3.0	—	31~47	—	+1.5	-8.0	" A ₆		3.14~15	
~4	300	"	7.37	"		"	4.21	107~114	32.0 (17.0)	433.38	59.48	0.185	2.5~6.2	—	32~43	—	+1.5	-8.0	() 内は純通電時間 C ₆		3.14~15	
平均	—	—	—	—	—	—	5.59	—	23.3 (11.5)	365.23	49.56	0.285	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
92~1	300~200	300	7.60	1:3:6	19φ 8 亜鉛引鉄線及鉄筋	50	3.40	104~111	10.0	226.86	29.85	0.200	2.5~3.0	—	30~42	—	+4.0	+1.0	鐵塔支脚鐵 D ₇	—	23.3.12~13	—
~2	"	"	7.60	"		"	4.41	104~110	23.0	621.91	81.83	0.197	"	—	39~41	—	+5.0	-11.0	" B ₇		3.11~12	
~3	"	"	7.60	"		"	4.19	104~113	21.0 (15.0)	399.73	52.60	0.199	3.0~5.0	—	30~50	—	+4.0	-5.0	" C ₇		3.16~17	
~4	"	"	7.60	"		"	3.93	110~113	22.0 (10.0)	265.32	34.91	0.187	3.0~5.0	—	28~50	—	+4.5	-7.0	" A ₇		3.16~17	
平均	—	—	—	—	—	—	3.98	—	18.5 (14.5)	378.46	49.80	0.196	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
93~1	200~100	300	3.95	1:3:6	同 上	50	5.97	106~111	23.0 (10.0)	167.62	42.45	0.465	9.5~10.5	—	25.5~36	—	+6.0	-2.5	塔支脚鐵 C ₈	—	23.3.21~23	—
~2	"	"	3.95	"		"	4.03	105~115	7.0	102.59	25.97	0.225	9.5~11.0	—	20~41	—	+4.0	0	" B ₈		3.22	
~3	"	"	3.95	"		"	4.60	106~109	6.0	96.40	24.41	0.351	8.0~10.0	—	22~50	—	+4.5	-2.5	" D ₈		3.21~28	
~4	"	"	3.95	"		"	4.18	105~115	6.0	75.71	19.17	0.254	12.0~12.5	—	28~64	—	+4.0	0	" A ₈		3.22	
平均	—	—	—	—	—	—	4.70	—	10.5 (7.5)	110.58	28.00	0.328	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
94~1	幅 210 高 30 長 425	3.3	1:2:4	亜鉛引 2mm φ 鐵線	30	0.120	100~110	72.5 (33.0)	217.02	65.77	3.15	3.0	—	34~40 28~48	曇雪	-5.0	-16.5	左岸 2段目	日電用本所鐵筋コンクリート工事棟戸郡新津川村	23.2.14~17	日發直營	
~2	210 30 425	3.3	"		30	0.224	93.3~100	62.0 (23.0)	231.39	70.12	5.84	3.0	—	18.5~49.5	"	+4.0	-25.0	右岸 "		2.18~21		
~3	210 30 425	3.3	"		30	0.130	80~85.5	43.5 (22.5)	179.98	54.54	2.89	2~4	—	22~44	"	+4.0	-8.0	右岸 1段目		3.25~27		
~4	210 30 425	3.3	"		30	0.140	80~83.5	44.0 (31.5)	255.95	77.56	3.15	4.5	—	35~49	"	+4.5	-17.0	左岸 "		2.29~3.2		
~5	210 30 425	3.3	"		30	0.163	80~85.0	54.0 (29.5)	267.00	80.91	3.66	1.0	—	31~42	"	0	-15.0	左岸 3段目		3.8~10		
~6	210 30 425	3.3	"		30	0.163	75~83.3	55.4 (28.6)	277.39	84.06	3.25	4.0	—	34~45	"	+4	-15.5	右岸 "		3.11~13		
平均	—	—	—	—	—	0.157	—	—	—	238.12	74.16	3.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
95~1	18 30 3700	2.0	1:2:4	12mmφ 鐵筋	25	—	單相 100	—	—	—	11.2	5.6	9.0	—	51	—	-7.0	-10.0	建築基礎布コンクリート	歌志内炭礦	—	—
~2	18 30 3700	2.0	"		10	—	—	" 100	—	—	—	26.4	13.2	10.0	—	72	—	—	"			
104~1	49.6 49.6 182	0.427	1:2:4	10mm 鐵線	30	—	單相 200	平均 10	30	平均 68	4.2	—	—	平均 10~30	平均 25	曇小雨	平均 2	平均 -9	柱	井一リ華三〇坪平屋別建鐵筋コンクリート工事棟戸郡新津川村	23.3.10~20	大林組
~2	49.6 49.6 182	0.427	"		30	—	"	11	—	—	—	—	—	10~33	28	"	4	-8	柱			
~3	36.4 36.4 182	0.240	"		30	—	"	10	—	—	—	—	—	8~40	—	曇	1	-12	梁			
~4	67 36.4 182	0.440	"		30	—	"	10	—	—	—	—	—	7~18	—	"	-1	-12	梁			
~5	67 36.4 182	0.440	"		21	—	"	11	—	—	—	—	—	7~30	—	晴	3	-9	梁			
~6	30 24 182	0.133	"		15	—	"	9	—	—	—	—	—	15~40	—	"	2	-9	小梁			
~7	15 18.2 182	0.500	"		24	—	"	13	36	71	4.3	—	—	5~25	15	曇	5	-4	壁			
~8	15 24 24	0.890	"		15	—	"	13	63	63	4.2	—	—	6~18	18	"	4	-4	版			
96~1	内徑 1100 高 1000 内厚 60	—	1:2:4	6mmφ 鐵筋	60	—	單相 100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	600 トン入選炭ポケット	茅沼鐵	22.12.25 ~23.3.20	大成建設