

のもとでは相当によい結果を与える事を示している。即ちこの両者の精度の間には、實際上理論値程の差はない様である。

### 11. 結 言

以上を要約すると、20" 読みのトランシットを使って測角する際には、倍角回数の限度は6倍位で、之以上増加させるのは無意味である事、器械誤差を消去する意味からは12倍の複式倍角法を採用すれば最も信頼出来る結果が得られる事、単測法の精度は倍角法に比べてさほどに遜色がなく、倍角法を過信する事は危険である事、3つの器械の間には著しい優劣がなかつた事の4点になる。

尙この他、個人誤差、気象の影響等について研究すべき余地を残しているが、之は今後俟つ事にする。

本研究は文部省科学研究費交付金によつて行われたものである事を附記する。

### 文 献

- 1) Jordan-Eggert: "Hondb. d. Vermes." Bd. II 1914 s.289
- 2) 玉屋, 測機合カタログ
- 3) 吉田正太郎 ● 光学器械基礎編 p.286
- 4) 河出書房: 物理実験学 第5巻 p.223
- 5) 大前氏他3氏: 陸地測量学 p.450
- 6) 草場精一: 精密機械測定法 p.101

(昭.25.12.16)

## コンクリート電気養生に関する研究

准 員 大 浜 文 彦\*

### A RESEARCH FOR THE CURING OF CONCRETE BY MEANS OF ELECTRICITY

(JSCE April 1951)

Fumihiko Ohama, C.E.Assoc. Member

**Synopsis** This paper describes the studies of the curing of concrete by means of electricity. At first the writer mentioned the study on the effects of electrical heating on the properties of concrete, which contained strength elasticity etc. And then he related the electrical properties of concrete, the relation between pole-arrangement and its total electrical resistance, and some recommended method of predetermination of local difference of temperatures, and also he proposed some formula for calculation of the volume of consumed electrical power that were needed to get required temperature-rise in concrete mass.

**要 旨** 本論文はコンクリート電気養生に関する研究の報告である。先づ最初に、著者は、電気養生が、コンクリートの諸性質、(強度、弾性の如きを含む)に及ぼす影響について述べ、次いで、コンクリートの電氣的性質、電極配置とその全抵抗との関係について論じ、更に、部分的温度差の予想に関する一つの試みを提示している。そして、最後にコンクリート塊に於て必要とする温度上昇度を与える電力量の算定について一つの公式を提示している。

### 1. 序 言

著者は、コンクリートの電気養生工法の最も計画的、経済的、且つ平易な方法の完成を目標とし、1946年冬より現在まで研究に従事した。尙京都大学近藤教授の指導下にて得た成果の一部は、土木学会の講演会、その

他<sup>1)</sup>において、既に断片的に報告したが、こゝに、それ以外の成果を追加し、本研究を総合して報告したい。

尙、北大、日発、建設省等においても、この工法の研究が行われ、その報告は、著者にとつて、甚だ有益で啓発されること多大であつた。こゝに深い敬意を表する次第である。

### 2. 概 説

コンクリートの電気養生は、交流電流をコンクリート中に通じて、その抵抗熱により保温加熱するものである。電極は板状、棒状、金網、ラス等を用いた例がある。これらは、何れも一長一短があり、場合々々によつて選定すべきである。尙、一般に板状のものが良好であるように考えられ易いが、コンクリートの硬化につれて、その接触面がコンクリートより離れ、抵抗が部分的に高まつたり、埋設に難点があつたりして、反つて不都合を生ずる場合もあるから注意を要する。

### 3. 電気養生とコンクリートの諸性質

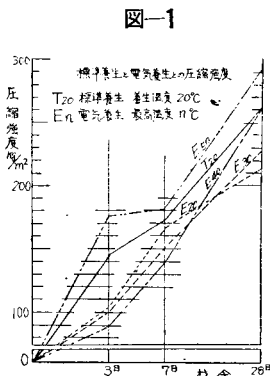
\* 山口大学助教授、工学部土木工学科

1) 昭和24年5月土木学会講演会、昭和24年10月、土木学会中国四国支部講演会、昭和25年10月土木学会中国四国支部講演会、昭和23、24年および25年セメント技術年報(日本セメント技術協会発行)

電気養生によつて、コンクリート及びモルタルの性質が受ける影響についての従来の諸研究の研究結果は、通電状況その他により影響せられてまちまちであるが、一般には、良好な影響を与える場合と、然らざる場合とが存在している。又、これらの実験で、所謂 Control specimen として比較の基準となるものも問題であつて、厳密に言えば、コンクリートが凍害を受けたものは硬化せず、これとの比較は不可能である。

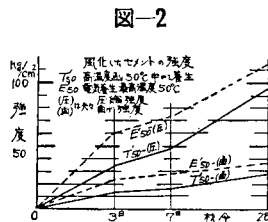
今、点の辛い比較となるが、普通養生、(水中) 20°C のものと比較するとすれば、電気養生による上昇温度の低いものは、その硬化の初期に過度の水和熱を促進し、その後、通電中多少の乾燥を生ずれば、当然強度その他に悪影響あることが考えられる。しかし、温度をある程度高め、保温期間を長くし、更に保湿に注意すれば、水和作用を長期間にわたり、全体として盛んならしめ、良結果を期待できるものと考えられる。

著者は、図一1~6 に示す如く、モルタル、コンクリートについて、強度、



図一1

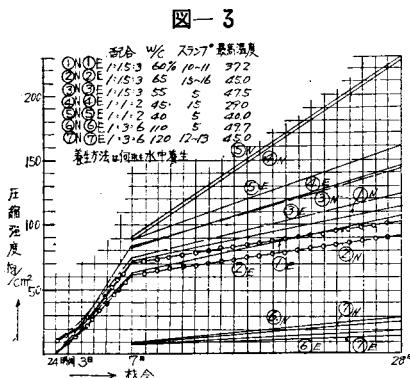
弾性、鉄筋附着力、癒着の各項目にわたり実験を行った。強度については、モルタルは、圧縮、曲げ



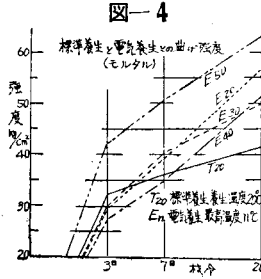
図一2

強度共に増大せしめることができたが、コンクリートは、圧縮強度のみについて行い、これはすべて低下している。弾性率、鉄筋附着力、癒着率は殆んど皆増大している。

尚、本実験中、モルタル供試体、 $E_{50}$  は上昇温度最高 50°C で、特に、保温、保湿に留意したもので、強度が大であると同時に癒着率は低下し、全体的に水和



図一3

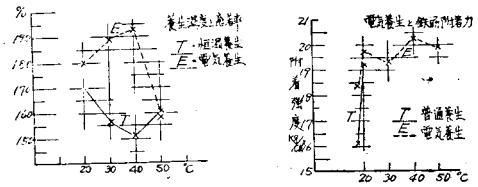


図一4

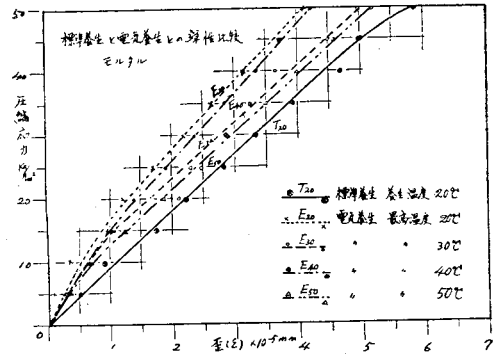
作用を盛んならしめたことが認められる。以上を総合すれば、

- (1) 強度：場合により、圧縮強度は低下すること多く、その低下率は、材令28日で20%前後以下である。
- (2) 弾性：一般にコンクリートは硬くなり、ヤング係数は増加する。

図一5 (a) (b)



図一6



(3) 鉄筋附着力：少くとも低下はしない。

以上で特に注意すべきことは、モルタル曲げ強度はすべて増大していること、及び  $E_{50}$  が、圧縮強度すら増大していることで、施工に注意すれば、強度を増大せしめることが可能であると思われる。

#### 4. コンクリートの電気的性質

使用電圧及び電極配置が一定の場合、流れる電流量は、コンクリートの比抵抗に左右される。又、同一電流密度でも、その発熱量は比抵抗により異なる。但し混合物たるコンクリートの比抵抗は実在しないわけであるが、相当量のコンクリートの抵抗を、 $1\text{cm}^3$  の立方体の相対する側面間の値にオームの法則を適用して換算した値をかく称するものとする。

この比抵抗  $\rho$  は、配合、特に水量、セメント品種により異なり、又、通電中に時間的変化をする。この測定には、コンクリートマスを代表するような量について、電極間に接触抵抗が入つて来ないようにして求める必要がある。著者の考案した方法は、図一7、写真一1にこれを示す。

図-7 比抵抗計

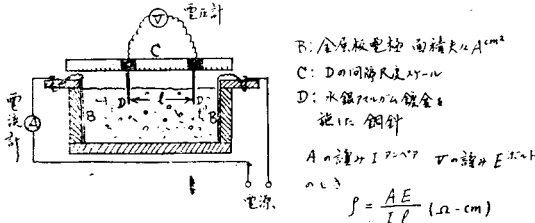
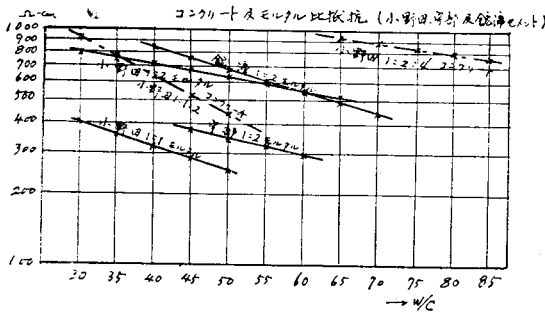


写真-1 大演式コンクリート比抵抗測定状況



図-8



このようにして測定した結果は、図-8に示す如く何れも、 $\rho = Ae^{-Bx}$  (但し、 $A, B$  は係数、 $x$  は水セメント比) の形を示している。図-8の  $A, B$  を表にしたものが、表-1である。

表-1

コンクリート又はモルタル	A	B
小野田セメント 1:2 モルタル	1 160	0.0124
" 1:1 モルタル	815.6	0.0236
宇部セメント 1:2 モルタル	789.6	0.0166
鉦澤セメント 1:2 モルタル	1 914	0.0209
小野田セメント 1:2:4 コンクリート	1 799	0.0104
" 1:1:2 コンクリート	2 665	0.0359

又  $\rho$  の時間的变化を図-9に示す。これは、大体、凝結の始まる前後に最小値を示し、13~15時間後に略一定となつている。これは上昇温度が著しく影響す

るであろう。極間抵抗はこの  $\rho$  の他に接触抵抗の変化も加わり、多少変化が異なる。著者は、打設直後の極間抵抗  $R_0$  と、その最小時の値  $R_{min}$  とから、 $a = R_{min}/R_0$  を抵抗減少率と名づけ、実験値を整理して表-2の値を与えている。これはスラブにより異なるが、表-2は何れも概略の値でこの確定は予備実験によるべきである。

図-9

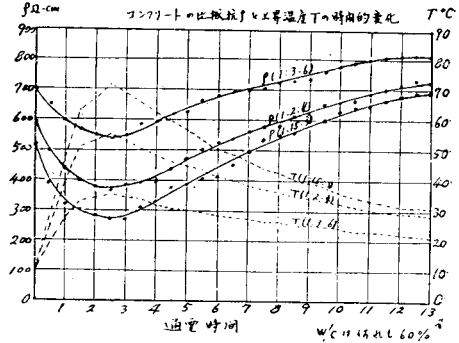


表-2

スラブ(cm)	抵抗減少率
6前後	0.95
8~10	0.65
10~12	0.60
15前後	0.57
普通軟度の鉄筋コンクリート	0.53

5. 電極配置と極間抵抗

簡単な配置のものについては、Raplanceの方程式を用いて、その全抵抗は計算できる。交流電流の場合、Maxwellの波動方程式において伝播速度を無限大とおくことによりRaplanceの方程式となるものである。しかし、この解法を一般技術者に望むことは無理と考え、著者は、簡単な場合の近似解を求めて表-3に示している。一般に厳密解は至難又は不可能な場合が多い。

表-3

$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{d}{r}$	$R = \frac{\rho}{d} \ln \frac{d}{r}$	$R = \frac{\rho}{d} \ln \frac{d}{r}$	$R = \frac{\rho}{2\pi d} \ln \frac{d}{r}$
<p>備 考                  ① 断面: 断面の方向の厚さ <math>d \text{ cm}</math>                  ② ①は互に異極にある静電電極の断面に平行な長さ <math>l \text{ cm}</math>                  ③ ①は <math>l</math> の比に充分小であるものとす</p>			

しかし、等厚、相似断面のコンクリート構造物では互に相似な電流管を同数考えることができ、しかも、断面、長さが同じ相似比をなすので、比抵抗が等

しければ、全抵抗が等しくなる。尚、厚さも相似であれば、その相似比に逆比例する。これより、小型の相似な試験体を用いて予備試験を行うことによつて、極間抵抗を予想することができる。

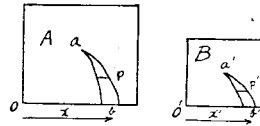
著者は、ある電極配置の抵抗  $R$  と、比抵抗  $\rho$  との比  $n=R/\rho$  を、その配置の電極配置係数と名づけ、これを何れかの方法で求め、 $\rho$  の変化に応じて  $R$  を予想し、更に抵抗減少率により、電圧を選定することができると考えている。

6. 温度分布及び部分的温度差

温度分布の時間的変化は、気象条件の偶発的変化がしばしばであるため、その把握は事実上不可能である。唯、通電中、定常状態となつた時のみ、これを求めることができる。著者が得た実験結果を図-10に示す。

しかしながら、部分的温度差のみを求めるので充分である場合には、電気抵抗の場合と同じく、相似な断面をもつ試験体によりこれを推定できる。\*

図-11



\*図-12に示す如く、相似断面中に、相似熱流管  $ab, a'b'$  及び対応点  $p, p'$  を考え、 $B$  が  $A$  の  $m$  倍の電力量により定常状態を来しているものとする。 $p, p'$  点の流管の断面積、及び温度勾配を夫々、 $df, df'$ ;  $d\theta/ds, d\theta'/ds'$  とし、熱伝導率が両者相等しいものとする。

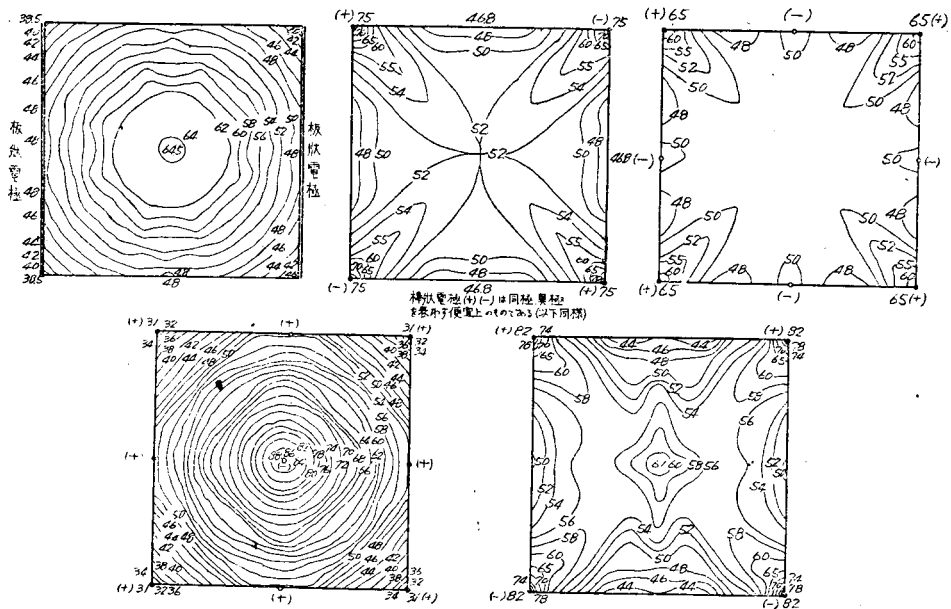
このとき、放熱の分布は相似であり、放熱面積も相似比をなすことより、結局  $p, p'$  を通る熱量も  $B$  は  $A$  の  $m$  倍であると考えられることができる。

$$\therefore \lambda \frac{d\theta}{ds} df = m\lambda \frac{d\theta'}{ds'} df'$$

$$df/df' = ds/ds' \quad \therefore d\theta = md\theta'$$

今  $a, a'$  即ち最高温度の点の温度を  $\theta_0, \theta_0'$  とし、 $b, b'$  点の温度を  $\theta_1, \theta_1'$  とすれば \*\*

図-10



$$** \int_{\theta_0}^{\theta_1} d\theta = m \int_{\theta_0'}^{\theta_1'} d\theta' \quad \therefore \theta_1 - \theta_0 = m(\theta_1' - \theta_0')$$

$b, b'$  が最低温度を示すような流管をえらべば、両者の部分的最高温度差は定常状態となつたときの電力量に比例する。故に、相似な供試体を用いて、単位厚あたりの電力量  $W_s$  ワット/単位厚 で定常状態となつたときの最高温度差  $\Delta\theta_e$  より、 $q = \Delta\theta_e / W_s$  を求めておけば、電力量  $W$  ワット/単位厚 の電力で定常となる相似な構造物の最高温度差  $\Delta\theta$  は次式で予想できる。

$$\Delta\theta = qW$$

この  $q$  を、著者は最大温度差係数と名付けている。コンクリートの熱伝導率を等しくするように定常となる時の温度を大体等しくならしめるように注意することが必要である。

7. 温度上昇と必要電力

今まで述べたところにより明らかな如く、電力量によりコンクリートの温度(最高)を推定、又は、予定温度を上昇せしむるに必要な電力量の算定が必要である。

この項に関しては、セメント技術年報Ⅳに詳論した著者の報文がある。

これは要するに、定常時の発熱量と放熱量との平衡条件より求めるもので、この時の外気温  $\theta_a^\circ\text{C}$ 、コンクリート表温(平均)  $\theta_c^\circ\text{C}$ 、電力量  $W$ ワット、コンクリート放熱面積  $F_a\text{m}^2$ 、水分の蒸発を考えると蒸発面積  $F_e\text{m}^2$  であるとき、次式より求める。

$$W = \frac{1}{J} \{KF_a(\theta_c - \theta_a) + 600H_e\}$$

$$H_e = K_v(H_w - H_a)F_e f(w)$$

但し  $H_e$ : 蒸発量

式中,  $J$ : ジュール熱 = 0.864

$K$ : 放熱面熱貫流率 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>C

600: 蒸発熱

$H_w$ : 表温における水蒸気

$f(w)$ : 風速 mm/sec による係数

最大張力 Hg 柱 mm

$K_v$ : 蒸発率 = 0.012, 表面完全に濡れているとき 0.020

尚,  $K$ kcal/m<sup>2</sup>h<sup>2</sup>C は  $\theta_c - \theta_a^\circ\text{C}$  輻射, 風速の函数で, 実験又は既知の物理量より求められ, セメント技術年報Ⅳに詳述し数表として揭示した。

## 8. 結語

近年 AE コンクリートの出現により, 寒中コンクリート工法はその必要性が多少減少したかのように見られ易いが, コンクリートの急速硬化を計り, 脱型を早めるためにはこの電気養生は著るしく有効であり, ポゾランの使用その他の組合わせて, その将来性もあると思われる。そのためにも, この工法にある程度計画性をもたせることは是非必要なことである。著者は以上述べた所よりして, 相当の計画性が得られると信ずる。最近の著者の実験では, この適用により相当計画性のある施工をなし得ている。

茲に, 著者の特に提唱したい方法は, 上昇温度の最高値及び, 外気温の予想より必要な電力を算定し, 変圧又は抵抗挿入により, あるいは電極配置により, 計画量の電力を消費せしめて, 所期の効果を上げんとする方法である。

最後に, 始終温情の下に本研究を指導頂いた恩師近藤先生に深い敬意をさし上げる。

付記 5. に述べた極配置と抵抗の解法の参考文献セメント技術年報Ⅲ, 著者: 電気養生コンクリート内部の電流に対する一考察  
セメントコンクリート誌 1950.3月, 福岡醇一: コンクリート電気養生法における2, 3の問題(その他専門電気学の著書に多数あり) (昭. 25. 11.20)

## 鉄筋コンクリート部材の接合に関する実験的研究

准員 吉村 虎 蔵\*

### ON THE EXPERIMENTAL STUDY OF BUILT-UP PRE-CAST REINFORCED CONCRETE MEMBERS.

(JSCE April 1951)

Torazo Yoshimura, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** This paper presents the results of certain tests made with a view of getting some experimental information with regard to the strength of the monolithic type and that of the structure which consists of pre-cast members jointed at a junction in reinforced concrete structures. The tests were carried on a girder jointed at the top of an interior column and a girder jointed by an end column in the rigid framed structure.

**要旨** 鉄筋コンクリート構造物に於て, プレキャストの部材を接合して組立てた構造と一体式構造との強度を比較するために, ラーメンの内柱上の梁接合部と, 外柱と梁との接合部とについて夫々比較実験したものである。

### 1. 緒言

鉄筋コンクリート構造物こそは土木建築の技術者が現場で自らの手ですべてを造らねばならない唯一の

構造物である。然し他の構造物のように, 鉄筋コンクリートのプレキャスト部材をうまく接合して, 一体式鉄筋コンクリート構造に劣らない構造物が得られるならば, 同一規格の土木構造物或いは建築物の大量施工に当つては, 1) 現場仮作工事費を儘少にし, 2) 手軽に確実に短期間に施工が出来, 3) 比較的季節天候に左右されず, 4) 与えられた材料で最も齊等質且つ最も大きい強度をもつ, 5) 現場の作業量の最も少い工法となつて, このような構造物はその用途の如何,

\* 熊本大学工学部講師, 応用力学教室