

【討 議】

プレストレスト コンクリート シリンダーの熱応力に関する研究

(土木学会論文集第 147 号 昭和 43 年 11 月所載)

藤 田 亀 太 郎 著

討議者：森 忠 次(京都大学工学部)

熱応力に関する実験的研究は、通常の載荷実験以上に関連因子が多くて案外に困難であって精度にも疑問の多いことは、この種の実験を行なう者が誰しも経験するところであり、実験の遂行に非常な努力を払われたことを推察します。

論文中にかなり疑問箇所があり、そのために著者の結論が成立するかどうか再検討の必要があると思いますので、以下にそれらの要点を記します。ただし、著者の説明と式の意味するものとの関連がはっきりつかめず、かつ式に誤植が多いので、推測による思い違いがあればご訂正願います。

(1) この実験のように、構造物が2種の材料で構成され、かつ温度変動と力の両者が荷重となっている場合には、材料の熱膨張係数はできるだけ正しい値を採用するのが基本原則である。熱応力は熱膨張係数に直接的関係有し、しかもコンクリートにおいては、使用するセメントと骨材の種類ならびに配合などの諸条件によって熱膨張係数に大きい差の生ずることは、公表されている多くの試験結果より明らかである。したがって、コンクリートの熱膨張係数を実測するか、そうでなくても慎重に推定した値を用いるべきであった。

(2) ひずみの測定値から、材料のクリープを考慮して応力を求めるための基本関係式はつぎのとおりである。

直応力 σ によるその方向の直ひずみ ϵ は、

$$\epsilon(t) = \int \left\{ \frac{1}{E(K)} + Q(K, T) \right\} \frac{d\sigma}{dK} dK \dots \dots (a)$$

であって、直角座標に関する直応力と直ひずみとの関係は、

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \{ (1-\nu)\epsilon_x + \nu(\epsilon_y + \epsilon_z) \}, \dots, \text{等} \dots \dots (b)$$

である。

ここに、 E ：弾性係数、 Q ：単位クリープ、 ν ：ポアソン比、 K ：コンクリート材令、 T ：載荷継続時間、 t ：当該材令

したがって、 ϵ_x などを測定して式(a)の積分方程式を解けばよく、この数値計算は古くから step-by-step

computation¹⁾として実行されており、少し計算を便利にする方法も工夫されている²⁾。せっかくひずみを測定したからには、この方法でも用いて応力を求め、その実情を把握すべきであったと思う。この方法では、微小時間中は応力が一定であると仮定する以外に近似をしていないが、著者はさらに多くの仮定を導入し、それらの仮定によってひずみ経歴を計算してみて、これが実測値とやや似た傾向であるから応力計算方針が妥当であると推定している。このときに採用された仮定における疑点をつぎに記す。

半径方向直ひずみ ϵ_r を測定していないため正しい応力は求められないが、その場合には半径方向直応力 $\sigma_r = 0$ と仮定してもかなりよい近似が得られると思われる。著者のように $\epsilon_r = 0$ と仮定すれば、適合条件式(つり合い条件式ではない。原式(12))が満足するためには、原式(14 a)のように $\epsilon_\theta \times r = \text{一定}$ となり、これは半径方向の変位が不変であるという不自然な状態を認めていることになる。

原式(17)は、

$$\int_a^b \Delta \sigma_\theta \cdot dr = 0 \dots \dots (c)$$

すなわち、半径方向断面の直応力の合力に時間的変化がないという意味にとればよいであろう。そうすれば、外周からPC鋼線によってプレストレスを与えているときに、クリープを生じても半径方向断面の合力は減じないと仮定したことになる。円筒の軸方向応力についても、式(22)によれば、コンクリートにクリープを生じても導入されたプレストレスの合力は不変であると仮定しているわけである。

図-23において、 ϵ_θ の実測値の変化と材料の1軸圧縮によるクリープとを比較して、前者が後者の約1/2であるから、実験円筒のクリープ(3軸圧縮のクリープ)を1軸試験のクリープの1/2として計算してられる。しかし ϵ_θ は σ_r, σ_z の関数であるから、これらの応力の影響を差し引いたもので比較しなければならない。

なお、式(a)のように、 E, Q ともに応力が変動する時刻の関数であるが、この点を計算上考慮してられないように推測される。この影響のみであれば応力の減少は図-24(r_θ とあるが σ_θ であろう)ほど著しくないだろう。

(3) p. 33 において内外面温度差(温度勾配でなく温度差とするべきだと思います) T による円筒の応力を求めていられますが、平面ひずみの場合と平面応力の場合とが混同しています。一般にひずみや変位は両者に差があり、とくに熱応力問題では必ず応力も異なります。当面の問題では、温度変動と変位量が関係するためにこれらの点を厳密に考察すべきであり、ここでは平面ひずみとして取扱うべきです。原式(7 a)の右辺第1項は平面応力状態の変位ですから、正しくは

$$(U)_{r=b} = \frac{b \alpha T}{1-\nu} \left(\frac{1}{2 \log(b/a)} - \frac{a^2}{b^2 - a^2} \right) \dots \dots \dots (d)$$

原式(5)および(9)においても外圧による平面応力状態の解として示されていますが、平面ひずみ状態の解とすべきです。そうしないと総まとめにした原式(11)が平面ひずみ状態の解であるから理論が一致しません。なお、これらの式では引張応力を正值としていて数値計算では圧縮応力を正值とし示されているために困惑されます。

(4) p. 37 の左欄中央に、「図-19 における円筒の軸方向直ひずみの測定値 ϵ_z をみれば、 $\epsilon_z = \text{一定}$ という力学上の仮定が成立していないのは、円筒が短いため自由端の影響が表われていることによる。したがって σ_z については計算しない。」という意味の記述があるのは問題だと思います。もし図-19 に示された程度に重大な ϵ_z の変動があれば、実験全部を不適切だと判定しなければなりません。また、自由端の影響がかなり小さいという最初の計算例にも反します。そもそも図-19 は熱膨張 αT を差し引いたものだから、図-19 の ϵ_z に αT を加えたものがひずみであって、これが断面中で一定であるかどうかを確かめなければならない。

(5) p. 39 の左欄では、原子炉の压力容器と考えた

ときには、炉の運転停止によって内側温度が急速降下しても、円筒温度が定常に達するまでに1カ月ほどかかるから、この間にクリープによって重大な引張応力が避けられると推定していただける。しかしながら、このような急激な温度降下を仮定すれば、非定常温度状態のときに内面に大きい引張応力の発生することは避けられない。むしろ実際の原子炉では、中性子や γ 線による発熱の影響、炉の出力低下速度、冷却能力の制御などによって、極端に急速な温度低下はないと考えてよいだろう。

なお、温上上昇の時期は、この論文の仮定よりずっと遅い材令から始まるのが実際であろうから、クリープの影響は計算値よりかなり小さいはずである。

(6) 気付いた誤植その他の主要なものを記します。

p. 26 左欄 M_z の式: $\alpha \rightarrow 2$

p. 29 左欄 8 行 外水温を一定 \rightarrow 外水温差を一定

p. 29 右欄 2 行 $T = \dots$ の式右辺に $+T_b$ を追加

p. 30 式(1): $\alpha \rightarrow 2, l \rightarrow b$

p. 32 図-13: 下部の破線は σ_z 計算値か?

M と M_z, E と E_c, μ と ν, r と r は同じもの。

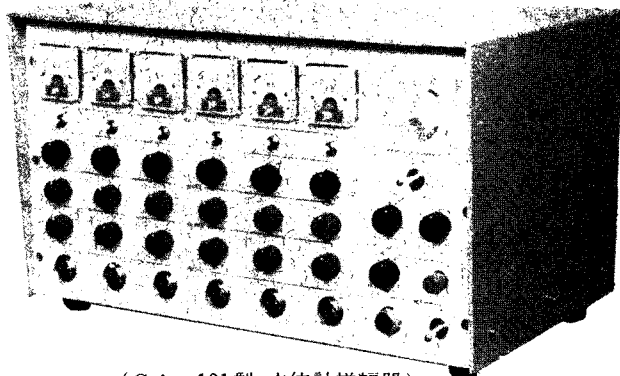
(7) 以上のような誤りと思われる点および疑点がありまので、研究結果の総括の(3)以降についてはどの程度の妥当性があるかをよく検討してみる必要があると思います。ご回示願えれば幸いです。

参考文献

- 1) J.M. Raphael : Determination of Stress from Measurement in Concrete Dams, Third Congress on Large Dams, Vol. 1, p. 629 (1948)
- 2) K. Jones : Calculation of Stress from Strain in Concrete, U.S. Bureau of Reclamation, Tech. Memorandum 653 (1955).

注: 本討議に対する回答は原著者より原稿の提出があり次第掲載します。(論文集編集委員会)

水理実験波高解析にどうぞ!!



(CA-101型 水位計増幅器)

- ☆波高計(抵抗式)と記録器をつなげばOK
- ☆簡単な取扱いで直線性良好
- ☆価格低廉
- ☆豊富な納入実績を持っています

カタログ請求先

計測技研株式会社

東京都武蔵野市中町3丁目29番地19号
TEL (0422) (51) 8958

トルクレット コンクリート

西ドイツ・トルクレット社の技術導入による
工期短縮・工費節減に大きく役立ちます。
●お申し込み次第資料をご送付致します。

●営業種目＝特殊土木工事(トルクレットコンクリート吹付)、ボーリング、測量、物探、地質調査、一般土木工事、建築、その他

開発工事株式会社 社長 前沢 肥 肥たか 東京都新宿区新宿1丁目76番地(共益ビル)
電話 東京(352)6221(代表) 6501~2(直通)

PARTNER K12 パートナー エンジンカッター 切る

■誰でも切れる

スターターを引張るだけで誰にでも簡単にエンジンがかかります。切断作業は一人で行い、特別の熟練を要しません。

■どこでも切れる

小型で軽量ですから持ち運びに至便です。その割に馬力は強く、どの様な姿勢でも操作出来、どこでも切れます。

■何でも切れる

鉄、コンクリート、その他何でも切れます。ヒューム管、土管、鉄骨、鉄筋など土木建設、その他種々の業務の切断作業に威力を発揮します。

■はやく切れる

例えばコンクリート道路で3 cmの深さ、15 mの長さに要する切断時間はわずか約15分です。

■きれいに切れる

切口はきれいに切れます。切断作業の後バリトリとか仕上とかの必要はほとんどありません。

■安全に切れる

特にパートナーカッター用に製作したディスクを用いておりますので切断作業は極めて安全且、迅速に行えます。



- 鋳 鉄 管
- ダ ク タ イ ル 管
- ヒ ュ ー ム 管
- 道 路
- ワ イ ヤ ー ・ ケ ー プ ル

日本アレン機械部

東京都豊島区巢鴨7丁目1875番地 TEL(944) 1711(代)
 本 社 東京都千代田区内神田2丁目4-4 TEL(256) 6551(代)
 大阪支店 大阪市北区牛丸町55東洋ビル内 TEL(372) 4571(代)
 福岡営業所 福岡市轟町149 TEL(53) 1515
 広島営業所 広島市三川町10-13 TEL広島(47) 6351
 北海道出張所 北海道苫小牧市音羽町13の11 TEL(苫小牧)2-5016