

岐阜大学 大浜文彦
○ 森本博昭

1. まえがき

コンクリート部材に発生するひびわれは外観をそこなうばかりが、その耐久性をいさぐしく低下させる。このひびわれは荷重応力のほか熱応力、乾燥収縮応力などの影響により発生するものと考えられている。本研究は、これらひびわれ発生原因となる応力のうち特にエアーモルタルに発生する収縮応力について種々、検討を行なったものである。

さて、この乾燥収縮応力には、部材各部における収縮ひずみの分布が適合の条件と満足しているから部材が拘束されている為に発生するもの、収縮ひずみの分布が適合の条件と満足していないために、無拘束の状態でも発生するもの、また、これらが組合わさって発生するものなどが考えられる。

本研究で取り上げたのは第二番目のケース、すなわち無拘束の状態でありながら、ひずみ分布が適合の条件と満足していないために応力を発生する場合である。

なお、本研究で研究対象となつたエアーモルタルとはモルタル中に少量の気泡を運行したもので、その特徴をモカレエ本、建築の各分野に於て、その使用例が最近、特にふえてきた。しかし常湿、常圧養生をしたエアーモルタルは、その乾燥収縮が普通コンクリートに比較して特に大きく、その為、収縮きれつの発生が非常に多い。そこでCSAなどを投入して収縮きれつの発生を防ぐことと意図した研究も見うけられる。

2. 使用材料

セメントは佐友セメント社製の普通ポルトランドセメント、細骨材は揖斐川産川砂、比重2.36 F.M 2.68、最大寸法2.5mmのものを使用した。また、起剤についてはT本油脂社製の改良グラボール No.1000を使用した。

表-1 エアーモルタルの示方配合

3. 練り混ぜ、および示方配合

エアーモルタル製造にあたってはプレフォーム式を採用した。ミキサーはプレパクトコンクリート用のパドル式ミキサーを使用した。表-1に示方配合を示す。

記号	目標空気量	W/C	S/C	AE/C	C	W	S	AE
AM-1	10%	55%	1		775kg	426kg	775kg	
AM-2	10%	65%	1		719kg	467kg	719kg	
AM-3	30%	55%	1		775kg	426kg	775kg	
AM-4	30%	65%	1		719kg	467kg	719kg	

4. 試験方法

(注) AE剤の添加量は試験により決定する。

4-1. エアーモルタル部材中の湿気こう配に関する実験

エアーモルタルに発生する前述のような収縮応力を求める為には、まず部材中の収縮ひずみの分布を知らなければならない。しかし直接、ひずみ分布を知ることは现阶段に於ては不可能である。

そこで他にもその例がみられるように、含水率あるいは湿度と収縮率との関係に着目して、これら含水率のこう配あるいは湿気こう配により部材中の収縮ひずみの分布を推定することができる。

本研究に於ては湿度と収縮率との関係に着目して湿気ウウ配から収縮率を推定することにした。
この湿気ウウ配は電気湿度計を使用しある程度、実測可能なものであるが一才式(1)に不可拡散方程式を解いてもある程度推定できるものである。

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

そこでまずエア-モルタルの透湿率 S 、および湿気拡散率を求める実験から開始した。今、透湿率、湿気拡散率を次のように定義する。

$$g = \frac{W - W_0}{V} \quad , \quad J = \frac{dQ}{d\tau} \quad , \quad j = \frac{dJ}{dS}$$

$$J = -S \delta \frac{dH}{dx} \quad (2)$$

$$J = -\lambda \delta \frac{dg}{dx} \quad (3)$$

$$(2)(3)より \quad \lambda = S \frac{dH}{dg} \quad (4)$$

上式に於て g : 湿気密度 W_0 : 湿度0%の時の物体の質量 J : 湿流の強さ
 Q : 湿気 δ : 湿流の方向に垂直な面積 j : 湿流の密度
 dH/dx : 湿気ウウ配 S : 透湿率 λ : 湿気拡散率

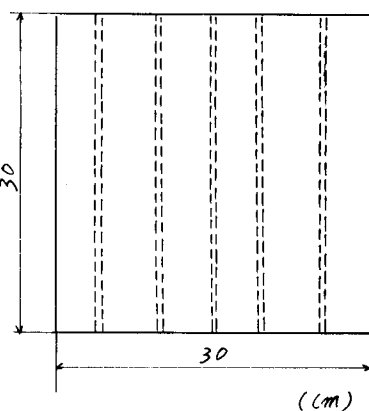
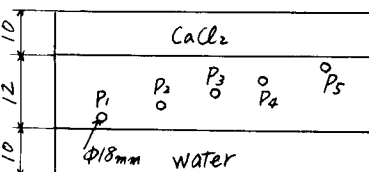
すなわち(2)(3)(4)式より透湿率および湿気拡散率を求めることができる。

実験は表-1に示す4種類のエア-モルタルについて行ない供試体す法は図-1に示すとおりである。

図に示すように供試体の上はcoverでおおい下オには水を入

図-1. 供試体す法

れたパンに入れ上オのcoverには塩化カルシウムを入れたパンをおいた。湿気と上下一方向のみに通過させるため供試体の側面は十分な防湿処理をほどこした。供試体は恒温室に設置し側面に設けた測定用の小孔の中の湿度を電気湿度計(共和HD-100B)にて随時、測定を行なった。測定は各測定の湿度が一定になりかつ水の重量減と塩化カルシウムの重量増とが等しくなるまで行なった。これらの実験により湿気密度、湿度ウウ配などを知られるので(2)式より各湿度ごとの透湿率を求めることができる。次に(4)式により湿気拡散率を求めるには湿度と湿気密度の微分比 dH/dg を求める必要がある。そこで本研究に於ては $4 \times 4 \times 4$ の供試体を作成し、各湿度ごとに湿度一定の湿度箱に入れ、供試体の重量が一定になるまで測定を行ない各配合ごとに dH/dg の関係と求めた。

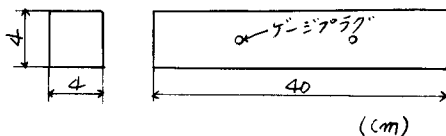


4-2. 湿度と収縮率に関する実験

前述の実験により収縮能力を究明しているエア-モルタル部材の湿気ウウ配を実測あるいは、ある程度、計算により推定できるわけであるが、これを収縮ひずみ分布に変換するためには湿度と収縮率の関係と求めておかねばならない。そこで図-2に示すような供試体を作成し湿度と収縮率との関

係を求める実験を行なった。供試体は打ち込み後、直ちに湿度100%の恒温室に放置し28日間養生を行なった。供試体側面には検長200mmのゲージラグを設けた。ゲージの基長は打設後3日に設定し、その後28日目にあらためて基長とチェックした。その後、恒温室の湿度を段階的に下げてゆき各湿度に於て収縮量が一定値におちつくまで不イットモアーストレインゲージにて測定を行なった。

図-2 供試体寸法



4-3. 初応力の解析(平面ひずみ)

平面状態における初応力の問題は次に示す①式と満足する重調和関数 ϕ を求める問題に帰着する。

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = -\frac{1}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad \text{--- ①}$$

$$\text{E 対し } \sigma_x - \nu = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y - \nu = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}$$

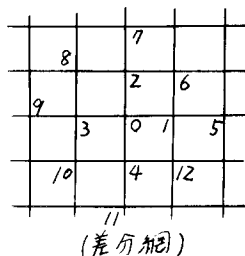
V : ポテンシャル関数

本研究に於ては①式を解くにあたり差分法と変分法とを併用した。

4-3-1. 差分法による解法

式①を差分表示して②式を得る。

$$\frac{1}{54} \left\{ 20\phi_0 - 8(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) + 2(\phi_6 + \phi_8 + \phi_{10} + \phi_{12}) + \phi_5 + \phi_7 + \phi_9 + \phi_{11} \right\} = -\frac{1}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad \text{--- ②}$$



境界上の応力関数は境界条件より求め、また仮想解点での応力関数は $\phi_A = \phi_B \pm \left(\frac{\partial \phi}{\partial S} \right) \delta$ より求めた。②式より連立方程式を手算電卓計算機で処理して解と求めた。

4-3-2. 変分法による解法(ガレルキンの方法)

式①を示す偏微分方程式の境界値問題は変分問題に帰着される。

すなわち

$$\nabla^4 \phi = -\frac{1}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = -C_0 \quad \text{--- ③}$$

$$x = \pm l \quad \text{に於て} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = 0 \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

$$y = \pm l \quad \text{に於て} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = 0 \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0$$

なる境界値問題に於て

$$\phi = \sum_{n=1}^{\infty} a_n w_n$$

基底関数と

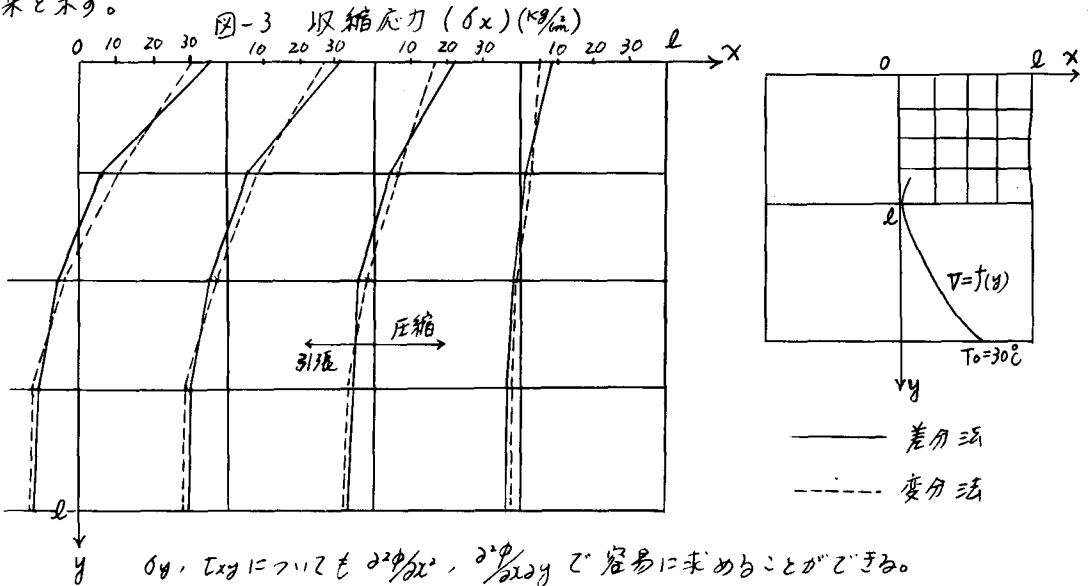
$$w_1 = (x^2 - l^2)^2 (y^2 - l^2)^2, \quad w_2 = x^2 (x^2 - l^2)^2 (y^2 - l^2)^2, \dots \text{とすれば}$$

$$\int_{-l}^l \int_{-l}^l (\nabla^4 \phi + C_0) w_n dy dx = 0 \quad \text{--- ④}$$

従って式(4)より係数 $a_1, a_2, a_3, \dots$ を求めることができる。本研究に於ては、こころみにポテンシャル関数を次に示すように仮定して2つの解法により問題を解いてみた。

$$V = \frac{\alpha E T_0}{l^2} (l - y)^2 \quad T_0 = 30^\circ\text{C}, \quad \alpha = 8 \times 10^{-6}, \quad E = 3 \times 10^5 (\text{kg/cm}^2), \quad l = 10 \text{ cm}$$

計算にあたっては差分法に於ては 4×4 メッシュ、変分法に於ては第1次近似で解を求めた。図-3に結果を示す。



4-3-3 クリープを考慮に入れた収縮応力

上記求めた収縮応力はクリープを全く考慮に入れていないので実情に合っていない。そこでエアーモルタルのクリープを考慮に入れた収縮応力は次の微分方程式の解として求まる。

$$\frac{d\sigma_t}{dt} + \sigma_t \frac{d\varphi_t}{dt} = \frac{S_n E_c}{m} \frac{d\varphi_t}{dt} \quad \text{--- ①}$$

ここで $S_t = S_n \varphi_t / m$ とする。

ただし、 φ : クリープ特性、 S_n : 収縮率の終局値、 m : 定数

初期条件 $\varphi_t = 0$ の時 $\sigma_t = 0$ を考慮に入れて①式を解くと次に示す解となる。

$$\sigma_t = \frac{S_n E_c}{m} (1 - e^{-\varphi_t}) \quad \text{--- ②}$$

すなわち②式よりクリープを考慮に入れた収縮応力を求めることができる。

4-4. クリープおよび乾燥収縮試験

エアーモルタルの収縮特性およびクリープ特性を知るために $10 \times 10 \times 50$ の角柱状試体で実験を行った。各試体側面には換長 200 mm のゲージラグを設けマイクロモーター計で測定を行った。試体は温度 20°C 、湿度 60% の恒温室に放置した。なお、クリープ試験用試体には中 10 mm のP.C鋼棒を用いて材料7日に於てその時の圧縮変形の約 $1/3$ の圧縮力を導入した。なお、本研究は続行中であるので、実験および解析結果は発表当日に示す。