

エアモルタルの側面拘束による収縮応力について

岐阜大学 正 大英彦
学 〇 森本博昭

1. まえがき

fig-1 に示すような側面と拘束されたコンクリート部材に於て、収縮応力についての検討を行なう場合、たとえ部材中の収縮ひずみ分布が一樣であると仮定することが可能であっても、側面において拘束をうける為に発生する拘束による収縮応力についての考慮をばらわなければならない。この場合、問題となるのは、拘束面に発生するセリ断応力の分布であり、これについて、セリ断応力の分布は fig-1 に示すように部材の端面近くに極大値を持つ山形分布とすることが知られている。

しかし、その極大値と極大値と与える長は、種々の因子により影響をうけ、また現段階においては、これを直接、実験的に求めることは非常に困難である。そこで筆者らは、極大値と与える長は部材の端面近くの任意長と採んでよいことにし、また極大値(最大セリ断応力) T_{max} は、同じ物理的境界条件におかれた無拘束の部材と、拘束をうける部材との収縮ひずみの比をもってあらわすことにした。すなわち

$$T_{max} = k S_n E \quad \text{--- ①} \quad k (< 1): \text{定数(拘束度)}$$

$$k = \frac{S_n - S_r}{S_n} \quad \text{--- ②} \quad S_n: \text{無拘束部材のひずみ}$$

$$S_r: \text{拘束部材の収縮ひずみ}$$

そしてセリ断応力の分布を拘束面を底辺として T_{max} の値を高さとする三角形で近似させた。(fig-2)

なお、本研究に於ては、厚さの薄いエアモルタル部材が、非常に剛なる部材に打ちつがれ、それにより側面において拘束を受け時に発生する収縮応力について検討を行なった。なお、部材中の収縮ひずみは全断面一様であると仮定した。

2. 試験方法

2-1. 使用材料、配合

セメントは普通ポルトランドセメント、砂は揖斐川産川砂、比重 2.65, F.M. 2.68, 最大寸法 2.5mm のものを使用した。使用したエアモルタルの配合は表-1 に示す。

2-2. 試験体

試験体寸法は fig-3 に示す。試験体は表-1 に示す配合について、打ちつぎ面の滑らかなもの、打ちつぎ面を荒したもの、無拘束で同じ物理的境界条件におかれたもの、以上の種類を作成した。各試験体においては、打ちつぎ部のごく近くに収縮ひずみ測定用のゲージプラグを設けた。各試験体は打ち込み後、5 分以内に相対湿度 40~44%, 室温 20±1℃ の恒温室に設置した。fig-4 に試験体寸法の種類を示す。

なお、本研究においては、この問題と解打するにあたり平面応力の問題として取り扱った。

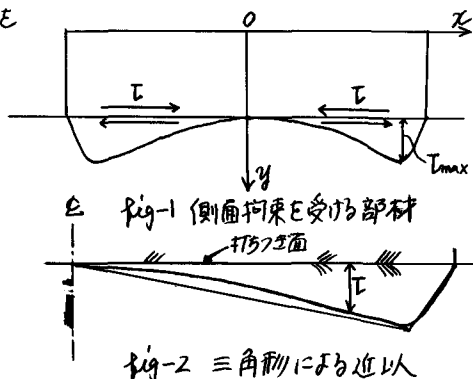


fig-2 三角形による近似

W/C (%)	S/C	AE/C (%)	空気量 (%)
55	1	0.2	23~25

3. 解析方法

側面に面内せん断力を受け板の応力解析問題は

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \quad (3)$$

なる応力関数を導入すると

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} = 0 \quad (4)$$

④式を満足し、かつ境界条件を満たす応力関数中と求める問題に帰する。本研究に於ては差分法により④式を解くことにした。④式を差分表示すると次式が得られる。

$$20\phi_0 - 8(\phi_1 + \phi_2 + \phi_4) + 2(\phi_6 + \phi_8 + \phi_{10} + \phi_{12}) + \phi_5 + \phi_7 + \phi_9 + \phi_{11} = 0 \quad (5)$$

次に打ちつぎエア-モルタル部材に fig-5 のように 3×18 メッシュの差分網を設ける。

境界における応力関数は次のように求める。

側面に切くせん断応力と次のようにフリーエッジ数に置換する。

$$\tau_{xy} = \frac{2 \tau_{\max} l^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi a/l}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (6)$$

①. ②式より $\tau_{\max} = k S_n E$ ($k < 1$) とすると

$$\tau_{xy} = \frac{2 k S_n E l^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin n\pi a/l}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (6')$$

ii) Γ_1 に於て, $P_x = 0, P_y = 0, l = 0, m = 1$

$$\text{境界条件} \quad \sigma_x l + \tau_{xy} m = P_x, \quad \sigma_y m + \tau_{xy} l = P_y \quad (7)$$

$$\text{④式に③式を代入して} \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} l - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} m = P_x, \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} m - \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} l = P_y \quad (8)$$

今, Γ_1 に於ては $l = 0, m = 1$ であるので ⑧式より

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} = 0, \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad \text{すなわち} \quad d(\frac{\partial \phi}{\partial x})/dx = 0, \quad d(\frac{\partial \phi}{\partial y})/dx = 0$$

$$\text{従って, } \frac{\partial \phi}{\partial y} = C_1, \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = C_2 \quad (9)$$

$$\text{今, 境界上の応力関数は次式より求める} \quad \phi_F = x \frac{\partial \phi}{\partial x} + y \frac{\partial \phi}{\partial y} - \int (x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} + y \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}) ds \quad (10)$$

fig-3 供試体寸法

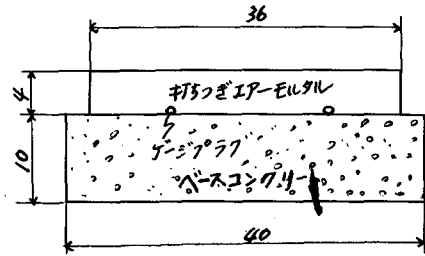


fig-4 供試体の種類

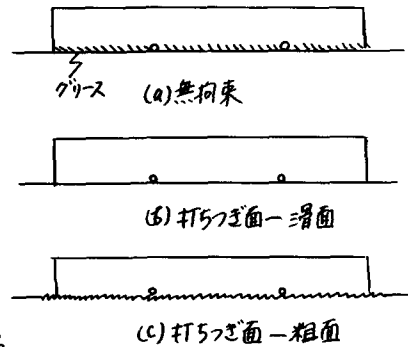
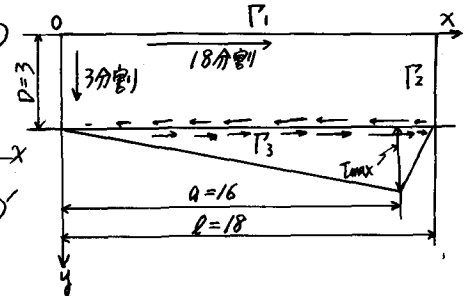


fig-5 エア-モルタル部材



⑩式と⑨式を代入して

$$\Phi_{P_1} = C_2 x + C_1 y - C_3 \quad \text{--- ⑪} \quad \text{と得る。}$$

今 $C_1 = C_2 = C_3$ とすると

$$\Phi_{P_1} = 0 \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_{P_1} = 0, \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)_{P_1} = 0 \quad \text{--- ⑫} \quad \text{と得る。}$$

iii) P_2 に於て, $P_x = 0, P_y = 0, l = 1, m = 0, ds = dy$ 前と同様とし, かつ P_1 と P_2 の連続条件より次式が求まる。

$$\Phi_{P_2} = 0 \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_{P_2} = 0 \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)_{P_2} = 0 \quad \text{--- ⑬}$$

iv) P_3 に於て $ds = -dx, l = 0, m = 1$

$$\text{境界上の釣り合いより} \quad \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} = 0$$

$$\text{従って} \quad \sigma_y = - \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \right) dy = -D \left[\frac{2kSnEl}{a(l-a)\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n} \cos \frac{n\pi}{l} x \right] + C \quad \text{--- ⑭}$$

 $\therefore \int_0^l \sigma_y dx = 0$ とすると ⑭式に於て $C = 0$ と得る。

$$\text{以上により} \quad P_x = \frac{2kSnEl^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x, \quad P_y = -D \left[\frac{2kSnEl}{a(l-a)\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n} \cos \frac{n\pi}{l} x \right] \quad \text{--- ⑮}$$

⑭式と⑮式を代入して

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial y}\right)_{P_3} = \frac{2kSnEl^3}{a(l-a)\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^3} \cos \frac{n\pi}{l} x + C_7, \quad \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x}\right)_{P_3} = -D \left[\frac{2kSnEl^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \right] + C_8 \quad \text{--- ⑯}$$

⑯式と⑰式を代入して

$$\begin{aligned} \Phi_{P_3} &= -D \left[\frac{2kSnEl^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \right] x + C_8 x + y \left[\frac{2kSnEl^3}{a(l-a)\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^3} \cos \frac{n\pi}{l} x \right] \\ &\quad + C_7 y + \int \left[D \left(\frac{2kSnEl}{a(l-a)\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n} \cos \frac{n\pi}{l} x \right) x + \left(\frac{2kSnEl^2}{a(l-a)\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^2} \sin \frac{n\pi}{l} x \right) y \right] dx \\ &= D \left[\frac{2kSnEl^3}{a(l-a)\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^3} \cos \frac{n\pi}{l} x \right] + C_7 y + C_8 x + C_9 \end{aligned}$$

連続条件 $\Phi_{P_2, x=l} = \Phi_{P_3, x=l}, \quad \left(\frac{\partial \Phi_{P_3}}{\partial y}\right)_{x=l} = \left(\frac{\partial \Phi_{P_2}}{\partial y}\right)_{x=l}, \quad \left(\frac{\partial \Phi_{P_3}}{\partial x}\right)_{x=l} = \left(\frac{\partial \Phi_{P_2}}{\partial x}\right)_{x=l}$ より

$$C_7 = -(-1)^n \frac{2kSnEl^3}{a(l-a)\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^3}, \quad C_8 = C_9 = 0 \quad \text{と得る。}$$

以上により

$$\Phi_{P_3} = \frac{2kSnEl^3}{a(l-a)\pi^3} D \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{\sin \frac{n\pi}{l} a}{n^3} \left(\cos \frac{n\pi}{l} x - (-1)^n \right) \right] \quad \text{--- ⑰}$$

なお仮想断面上の応力関数は次より求まる。 $\Phi = \Phi \pm \left(\frac{\partial \Phi}{\partial s}\right) \delta$ --- ⑱式中の級数は各式まで $n=20$ まで取った。

4. 試験結果

fig-6 に無拘束試体、および拘束試体二種類、計三種の試体の側面における収縮ひずみを示す。なお、無拘束試体は、打ちつぎ部Eに引く打ち、1日後、直ちに脱型し拘束試体と同じベースコンクリートの上に置いておく状態にしておいたものである。

fig-7 に式②より計算した α (拘束度) の値を示す。又、fig-8, fig-9 に打ちつぎ後、7日、10日における二種類の拘束試体の拘束面におけるセリ断応力の分布を示す。なお試体の弾性係数は $E_7 = 5.6 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$, $E_{10} = 6.5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ (添字は日令) であった。

なお、収縮応力 σ_x , σ_y , τ_{xy} の計算結果、その他詳細は発表当日に述べる。

fig-6 各試体の収縮ひずみ

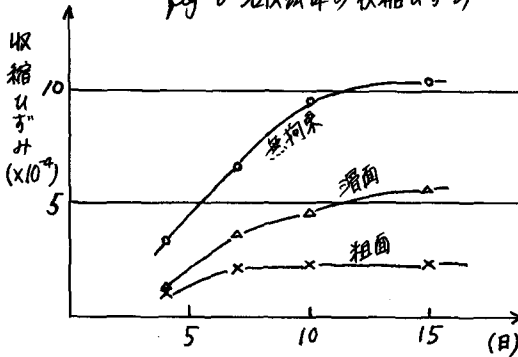


fig-7 α の値

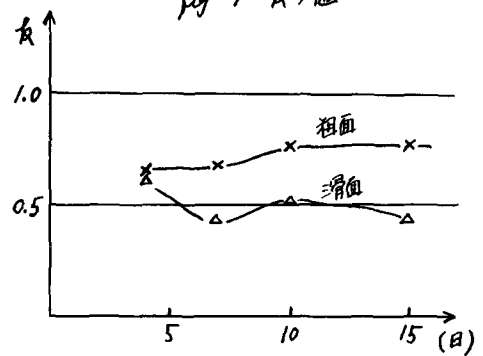


fig-8 セリ断応力の分布 (滑面)

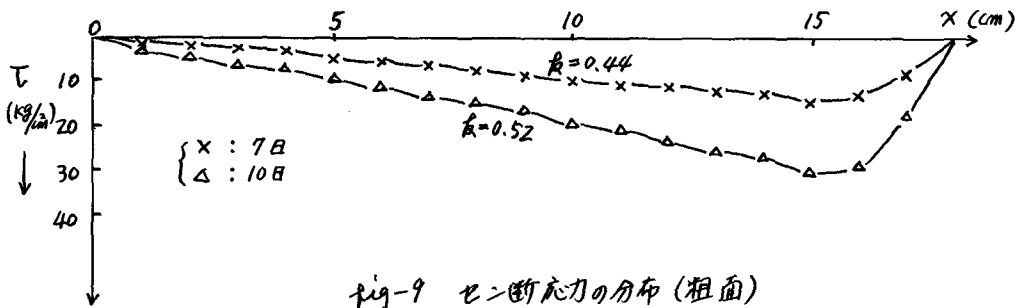


fig-9 セリ断応力の分布 (粗面)

