

V-378 切込み法によるモルタルの乾燥収縮応力の実測について

広島大学 正会員 宮沢伸吾
 〳 正会員 田澤榮一
 〳 学生員 重川幸司

1. まえがき

セメント系材料に生じる乾燥収縮応力などの自己応力は、ひずみの測定値と対応しないこと、部材断面内で不均一に分布すること等から実測が困難であった。著者らは、2面乾燥を受けるモルタルやコンクリート供試体の乾燥収縮応力分布を切断法により実測できることを既に明らかにしている¹⁾²⁾。本報告は、部分的な乾燥面を有するモルタル供試体の乾燥収縮応力を切込み法により測定した結果を示したものである。

2. 実験概要

表-1, 2は、それぞれ使用材料およびモルタルの配合を示したものである。表-3は水中養生7日終了直後のモルタルの圧縮強度($\phi 7.5 \times 15\text{cm}$)、割裂引張強度($\phi 10 \times 15\text{cm}$)、圧縮載荷時の静弾性係数($\phi 7.5 \times 15\text{cm}$: $1/3$ セカントモデュラス)を示したものである。

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(比重3.14)
細骨材	風化花崗岩系山砂(F.N.:3.00, 比重:2.59, 吸水率:1.14%)
混和剤	リグニンスルホン酸塩系A E減水剤(WF)
混和剤	ナフタリン系高性能減水剤(SP) W/C=30%の場合
混和剤	シリカフェーム(比表面積:約200万 m^2/g)のみ使用

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m^3)				
		W	C	S	Si	ad.(cc)
30	1.00	288	883	981	98	9800
50	2.50	282	563	1408	0	1408
70	3.12	317	452	1408	0	704

表-3 モルタルの力学的特性

W/C (%)	圧縮強度 (kg/cm^2)	引張強度 (kg/cm^2)	静弾性係数 (kg/cm^2)
30	673	45.9	1.75×10^5
50	428	38.4	2.40×10^5
70	250	22.5	2.63×10^5

モルタル打設後2日で脱型し、材令7日まで 20°C で水中養生し、その後 20°C , 50% R.H.の室内に静置した。相対する2面に乾燥面を設け、断面内分布の異なる乾燥収縮応力を生じさせるために乾燥幅 a (図-3参照)を0, 2, 4, 10, 40cmと変化させた。乾燥面以外は、アルミ粘着テープ(厚さ0.05mm)によりコーティングした。所定の乾燥期間の後、 $a=40\text{cm}$ の場合は切断法¹⁾³⁾(図-1)により、 $a=2, 4, 10\text{cm}$ の場合は切込み法³⁾⁴⁾(図-3)により供試体長手方向の乾燥収縮応力を測定した。

3. 結果および考察

乾燥収縮応力測定に用いた供試体の幅(W)が切断法($W=4\text{cm}$)と切込み法($W=2\text{cm}$)とで異なるが、三次元FEM解析の結果、両供試体に生じる乾燥収縮応力にはほとんど差は認められなかった。

図-2は、 $a=40\text{cm}$ の供試体を切断した際に生じる供試体長手方向のひずみを電気抵抗線ひずみゲージ(ゲージ長10mm)で測定した結果を示したものである。乾燥収縮応力の断面内分布を以下に示す二次曲線で近似すれば、図-2の結果および力とモーメントの釣合い条件から、乾燥面の乾燥収縮応力($\sigma_{\max}$)を表-4のように求めることができる。

$$\sigma = 6\sigma_{\max} \left\{ \left(\frac{Y}{h} \right)^2 - \frac{1}{12} \right\} \quad \dots(1)$$

Y: 断面中央からの距離, h: 供試体高さ
 $\sigma_{\max}$: 乾燥面の乾燥収縮応力

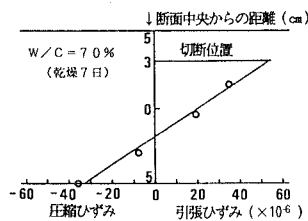


図-2 切断により生じるひずみ

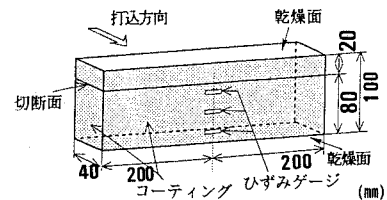


図-1 切断法による乾燥収縮応力測定方法

表-4 乾燥面における乾燥収縮応力 $\sigma_{\max}$ の切断法による実測値

W/C (%)	乾燥期間	供試体 No.	$\sigma_{\max}$ (kg/cm^2)
30	3日	1	32.5
		2	28.0
50	7日	1	29.7
		2	28.3
70	7日	1	20.8
		2	15.7

図-3に示すように、乾燥面から切込みを入れていくと、引張の乾燥収縮応力が解放されるため収縮ひずみが生じる。このひずみは切込み深さ(y)とともに増加するが $y=1\sim 2\text{cm}$ で一定値となる。この傾向は

図-4に示すFEM解析結果とほぼ一致した。電気抵抗線ひずみゲージ（ゲージ長5mm）による測定値と回帰曲線（式（2））を図-5に示す。

$$\varepsilon(y) = y \cdot \exp(p - qy) \quad p, q: \text{定数} \quad (2)$$

図-3に示すように深さ y まで切込みが進んでいるとし、さらに dy の切込みを行なった場合、等価的には $-\sigma(y) dy$ の力が幅 D の応力解放部分の底部に加わることになる。そのために生じる表面ひずみを $d\varepsilon(y)$ とすると、 E を弾性係数として次式が成立すると考える。

$$d\varepsilon(y) = Ky \cdot (1/E) \cdot \sigma(y) dy \quad (3)$$

$$d\varepsilon_0(y) = Ky \cdot (1/E_0) \cdot \sigma_0(y) dy \quad (4)$$

$$(3), (4) \text{ より } \sigma(y) = \frac{E(d\varepsilon/dy)}{E_0(d\varepsilon_0/dy)} \sigma_0(y) \quad (5)$$

Ky : D , t , y およびゲージの種類・配置に依存する実験定数で、モルタルの配合とは無関係（ D , t , y は図-3参照）

添字 $_0$: $a=40\text{cm}$, $W/C=50\%$, 乾燥期間7日の供試体を示す

$\sigma_0(y)$ を切断法による実測値とし、 $\varepsilon(y)$ および $\varepsilon_0(y)$ を式(1)で表わせば、式(5)により $a=2\sim 10\text{cm}$ の場合の表面付近の乾燥収縮応力を求めることができる。本方法で求めた乾燥面における乾燥収縮応力（ $\sigma_{\max}$ ）を図-6に示す。

$\varepsilon(y)$ は $y=1\sim 2\text{cm}$ で最大値（ $\varepsilon_{\max}$ ）を示したが、このとき表面の乾燥収縮応力は完全に解放されると次式が成立する。

$$\sigma_{\max} = E \times \varepsilon_{\max} \quad (6)$$

図-7は式(5)あるいは(6)から求めた $\sigma_{\max}$ の比較を示したものであるが、両者は概ね一致している。

以上のことから、モルタルの乾燥収縮応力の測定に切断法および切込み法を適用することが有効である。

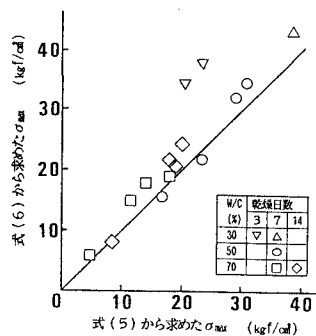


図-7 式(5)から求めた $\sigma_{\max}$ と式(6)から求めた $\sigma_{\max}$ の関係

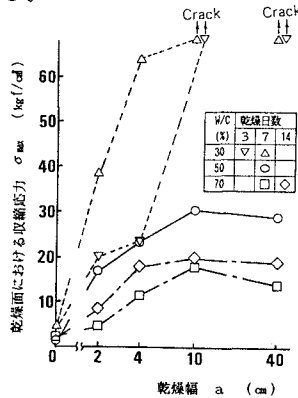


図-6 切込み法により求めた乾燥面の自己応力（ $\sigma_{\max}$ ）

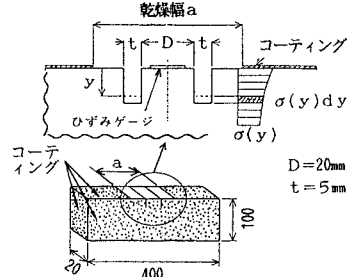


図-3 切込み法による乾燥収縮応力測定方法

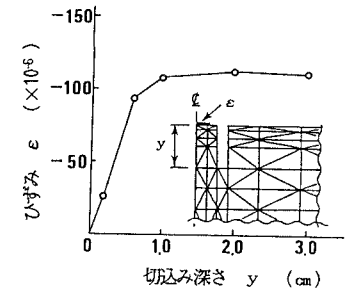


図-4 切込みにより生じるひずみ（FEM解析値）

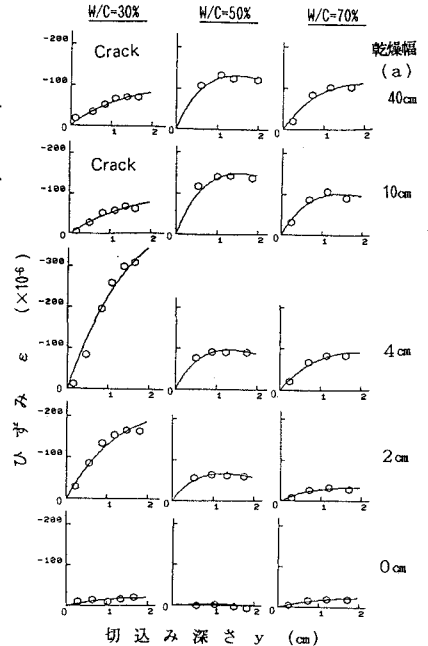


図-5 切込みにより生じるひずみの測定値と回帰曲線

参考文献

- 1) 田澤栄一他：乾燥を受ける無筋コンクリートの自己応力について，コンクリート工学年次論文報告集，10-2，pp.255～260，1988
- 2) 宮沢伸吾他：モルタルの曲げ強度に及ぼす自己応力の影響，コンクリート工学年次論文報告集，11-1，pp.271～276，1989
- 3) 米谷 茂：残留応力の発生と対策，養賢堂，1975
- 4) Von Helmut Wolf et al. : Das Ring-Kern-Verfahren zur Messung von Eigenspannungen und seine Anwendung bei Turbinen und Generatorwellen, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 42, 1971