

モルタルの乾燥収縮応力分布の実測について

広島大学 正会員 田澤 栄一
広島大学 正会員 宮沢 伸吾
広島大学 学生員 ○重川 幸司

1. まえがき

コンクリートの乾燥収縮により生じる自己応力に関しては、これまで数多くの研究がなされてきたが、この種の自己応力はひずみの測定値に弾性係数を乗じて求めることが原理的に不可能なため、一般にその測定は困難とされてきた。そのため、自己応力に関する研究は、解析値のみにより検討されることが多く、信頼性に欠けるきらいがあった。

本研究では、部分乾燥を受けるモルタル供試体の切断あるいは切込みにより、その応力を部分的に解放させ、そのときに生じる弾性ひずみの測定値から乾燥収縮応力分布を求めた結果について報告する。

2. 実験概要

セメントには早強ポルトランド、細骨材には風化花崗岩系山砂を使用した。モルタルの配合は表-1に示す様に、W/C=30、50、70%の3種類にした。W/C=50、70%の場合はリグニン系標準型AE減水剤を、W/C=30%の場合はナフタリン系高性能減水剤を使用した。なお表-2は、水中養生7日終了時のモルタルの圧縮強度($\phi 7.5 \times 15\text{cm}$)、圧縮載荷時の静弾性係数、割裂引張強度($\phi 10 \times 15$)を

表-1 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

示したものである。供試体は打設後2日で脱型し、材令7日まで20℃で水中養生した。乾燥させる場合はその後20℃、50%RHの恒温恒湿室に静置した。また断面内分布の異なる乾燥収縮応力を発生させるため、供試体の相対する2面に乾燥部分を設け、乾燥幅aを0、2、4、10、40cmと変化させた。なお、乾燥面以外はアルミ箔テープによりコーティングした。

表-2 モルタルの力学的特性

W/C (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/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

3. 結果及び考察

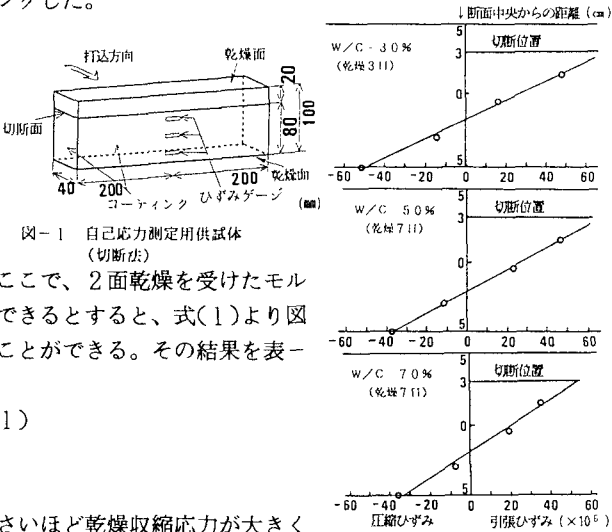
図-1に示す様な乾燥幅a=40cmの供試体について、供試体に生じる乾燥収縮応力の測定を切断法¹⁾²⁾により行った。図-2は供試体切断により生じるひずみ変化量を示したものである。図中の直線は測定値を直線回帰したものであり、切断に伴う弾性変形に対しては平面保持が成立していることがわかる。ここで、2面乾燥を受けたモルタルに生じる乾燥収縮応力を2次曲線で近似できるとすると、式(1)より図-2の結果を用いて乾燥収縮応力を計算することができる。その結果を表-3に示す。

$$\sigma = 6 \sigma_{\max} \{ (Y/h)^2 - 1/12 \} \quad (1)$$

h: 供試体高さ、Y: 断面中央からの距離

$\sigma_{\max}$: 表面における乾燥収縮応力

これより同一乾燥条件においてはW/Cが小さいほど乾燥収縮応力が大きくなる。ただしW/C=30%の場合は、乾燥面に微細なひびわれが



確認されたことから、乾燥収縮応力が若干緩和されているものと考えられる。

表-3 切断法より求めた表面における乾燥収縮応力

W/C (%)	乾燥期間	供試体 No	σ_{max} (kgf/cm ²)	平均
30	3日	1	32.5	30.3
		2	28.0	
50	7日	1	29.7	29.0
		2	28.3	
70	7日	1	20.8	18.3
		2	15.7	

乾燥幅 $a = 4.0$ cm 以外の場合は、供試体長手方向に対して乾燥収縮応力が著しく変化しているため、先の切断法では測定することができない。そこで、部分乾燥を受けるモルタルの乾燥収縮応力を、図-3に示すような切込み法³⁾を用いて測定した。図-3に示すように供試体の表面から徐々に切込みを入れて、応力の解放された部分を作る。そのときのひずみ変化を電気抵抗線ひずみゲージ (5 mm ゲージ) で測定する。図-4は測定結果の一例を示したものである。そこでこの結果を用いて以下に示す方法で乾燥収縮応力を求めた。

まず、切込み深さ y と表面ひずみ $\epsilon(y)$ の関係を $y \leq 2$ cm の範囲について次式で回帰した。 $\epsilon(y) = y \cdot e \times p(p - qy)$ (2) p, q : 定数

いま深さ y まで切込みが進んでいるとし、更に dy の切込みを行った場合、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のひずみを $d\epsilon(y)$ とすると、次式が成立すると考える。

$$d\epsilon(y) = K_y \cdot (1/E) \cdot \sigma(y) dy \quad (3)$$

$$d\epsilon_0(y) = K_y \cdot (1/E_0) \cdot \sigma_0(y) dy \quad (4)$$

式(3)、(4)より

$$\sigma(y) = \frac{E d\epsilon / dy}{E_0 d\epsilon_0 / dy} \sigma_0(y) \quad (5)$$

K_y : D 、 t 、 y 及びゲージの種類、配置に依存する定数

σ_0 : $W/C = 50\%$ 、 $a = 4.0$ cm、乾燥 7 日の供試体の値

$\sigma_0(y)$ として切断法により求めた応力分布を用い、切込み法による測定値 $\epsilon_0(y)$ 及び $\epsilon(y)$ を式(2)で表せば式(5)より、部分乾燥を受けるモルタルの乾燥収縮応力を求めることができる。この結果を図-5、図-6に示す。これより乾燥幅 $a = 2 \sim 1.0$ cm の範囲では、乾燥幅が小さくなるほど表面における乾燥収縮応力 σ_{max} は小さく、同一乾燥条件では W/C が小さいほど σ_{max} が大きくなる

ことが分かる。なお、切断法と切込み法による応力測定では、用いた供試体の幅 (W) が異なる。しかし、幅 2、4 cm の供試体に生じる乾燥収縮応力の 3 次元 FEM 解析結果では、その応力分布に大きな差が見られなかったため、切断法 ($W = 4$ cm) 及び切込み法 ($W = 2$ cm) の測定結果に供試体の幅 (W) に関する補正は行わなかった。

以上より断面内に不均一に分布する乾燥収縮応力は、切断法及び切込み法により実測できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 米谷茂: 残留応力の発生と対策、養賢堂、1975
- 2) 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、1988
- 3) Von Helmut Wolf et al: Des Ring-Kern-zur Messung von Eigenspannungen und seine Anwendung bei Turbinen und Generatorwellen, Archiv für das Eisenhüttenwesen

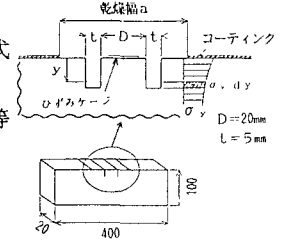


図-3 切込み法による自己応力測定

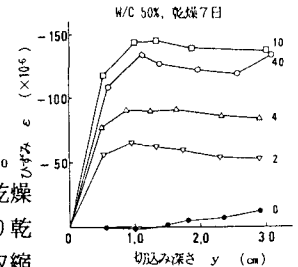


図-4 切込みにより生じるひずみ

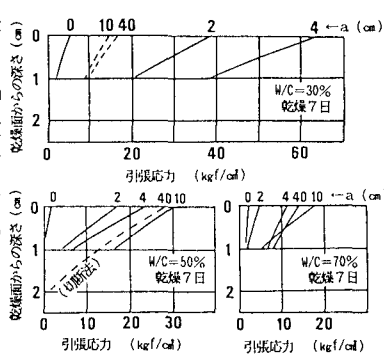


図-5 切込み法により求めた乾燥収縮応力

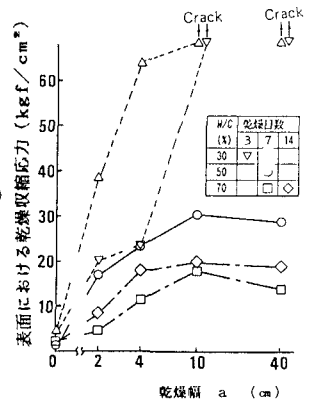


図-6 切込み法により求めた表面の乾燥収縮応力