

# コンクリート構造物のひび割れ発生に及ぼす 温度・自己・乾燥収縮の影響に関する研究

G21702 任 堂 維

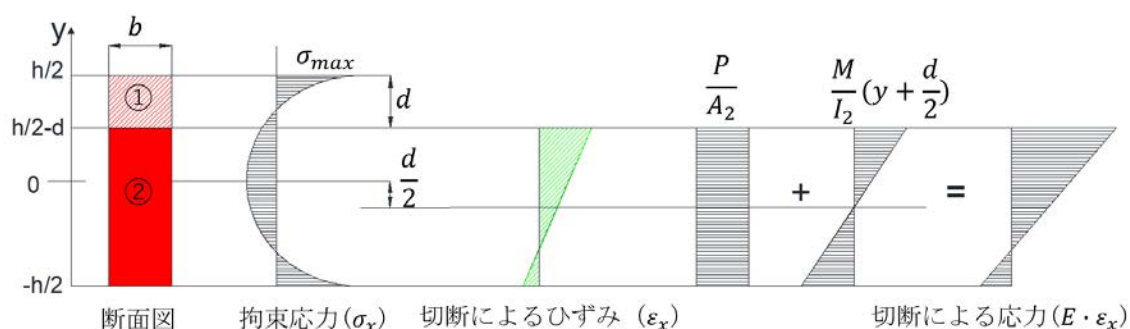
図6 切断法による乾燥収縮応力(σ<sub>x</sub>)の算定方法

写真1 切断法による乾燥収縮応力測定

## 1. 研究目的

---

## 2. 実験及び解析の概要

### 2.2 乾燥収縮応力の測定

図1は、供試体の寸法は60×200×400mm、水セメント比は50%とした。供試体は材齢7日まで20℃で水中養生し、その後側面をシールし、上面と下面のみを乾燥面とし、20℃、60%R.H.の恒温恒湿室内に静置した。

コンクリートの乾燥収縮が内部拘束を受けることによって供試体長さ方向(Y軸方向)の乾燥収縮応力が発生する。部材内に生じている自己応力は断面内でつり合っているため、供試体の一部を切断すれば新たなつり合い条件を満足するように弾性変形を生じる。この変形量の測定から自己応力を求める方法、すなわち切断法<sup>1)</sup>をコンクリートの乾燥収縮応力測定に適用した。供試体は所定の期間、乾燥させた後に、図2.1に示すように両側面および上下面にひずみゲージを貼り、写真1に示すように、上面から50mmの位置で、乾燥面に平行に切断した。

### 2.3 壁状構造物の収縮応力解析

図2及び図3に示すような、壁厚600mmの壁状構造物を対象とし、有限要素法により温度応力解析を行った。

壁部材は、底版打込み後、1ヶ月で打ち込み、仕上げ面には7日間養生マット(熱伝達係数5W/m・℃)を使用し、鋼製型枠(熱伝達係数14W/m・℃)を材齢7日で取り外した後は、20℃、R.H.60%の条件で乾燥を受けることとした。また、コンクリートには、普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比は55%、単位セメント量は340kg/m<sup>3</sup>とした。解析には日本コンクリート工学会の温度応力解析プログラムを用い、有限要素法(FEM)により、

セメントの水和発熱、セメントの水和反応に伴う自己収縮及びコンクリート中の水分の蒸発に伴う拘束応力を計算した。次に、各要素の引張応力(σ<sub>t</sub>)が引張強度(f<sub>t</sub>)に等しくなる時、すなわちひび割れ指数(f<sub>t</sub>/σ<sub>t</sub>)が初めて1.0になる材齢を求めて、この材齢の乾燥収縮、自己収縮、および温度収縮の各収縮に起因する拘束応力の比率を求め、ひび割れ発生に3つの収縮がどの程度ひび割れ発生に寄与しているかを検討した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.2 乾燥収縮応力の測定

乾燥収縮により断面内に生じる拘束応力σ<sub>x</sub>の分布を

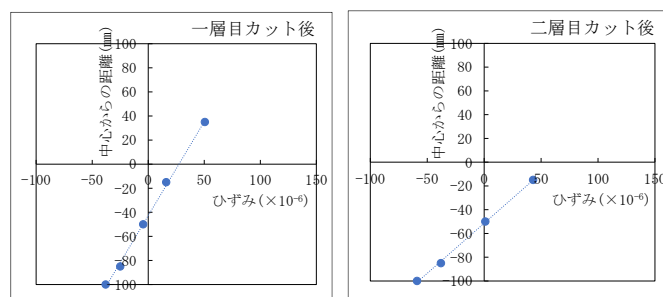


図7 供試体の切断により生じるひずみの実測値

簡単のため二次式と仮定し、乾燥条件の対称性および断面内に生じている応力は、力の釣り合い条件を考慮すると次式が得られる。

$$\sigma_x = 6\sigma_{max} \left\{ \left( \frac{y}{h} \right)^2 - \frac{1}{12} \right\} \quad (3.3)$$

ここに、 $\sigma_{max}$ :乾燥面の応力

図 6 に示すように、供試体を①部と②部の 2 つの部分に切断した場合、切断に伴い②部に生じるひずみ分布は①部の拘束応力が外力として②部に作用した場合の弾性変形に相当すると考えられる。作用位置は、切断前の②部に対する①部の位置である。この偏心力を軸力の成分と曲げの成分に分離して考える次式が成立する。

$$E \cdot \varepsilon_x = \frac{P}{A_2} + \frac{M}{I_2} \left( y + \frac{d}{2} \right) \quad (3.4)$$

$$P = \int_{\frac{h}{2}-d}^{\frac{h}{2}} \sigma_x b dy \quad (3.5)$$

$$M = \int_{\frac{h}{2}-d}^{\frac{h}{2}} \sigma_x b \left( y + \frac{d}{2} \right) dy \quad (3.6)$$

ここに、 $\varepsilon_x$ :切断により①部に生じるひずみ

$E$ :コンクリートの弾性係数 ( $E = c_3 \times f_c^{c_4}$ 、  
 $f_c$ :圧縮強度、 $c_3 = 6300$ 、 $c_4 = 0.45$ )

$A_2$ :②部の断面積

$I_2$ :②部の断面積 2 次モーメント

$d$ :乾燥面から切断位置までの距離

図 7 は、供試体の切断により生じるひずみ測定値を示している。このひずみを直線で近似し、式 (3.4) と比較することによって  $\sigma_{max}$  を表 1 のとおり求めることができる。この  $\sigma_{max}$  の測定値と FEM 応力解析結果がほぼ等しくなるように(図 8 参照)、乾燥収縮モデルの調整係数を 0.62 とした。

### 3.3 壁状構造物の収縮応力の解析結果

壁状構造物モデルについて FEM 応力解析を行い、ひび割れ指数が最小となる部位(図 3)に着目して検討した。図 9 および図 10 に示すように、壁の中心部では、材齢は

3.4 日でひび割れ指数が初めて 1.0 となり、その時点での拘束応力に占める各収縮の割合は温度応力が 85%、自己収縮が 15%であり、乾燥収縮の影響はほぼないことが分かった。

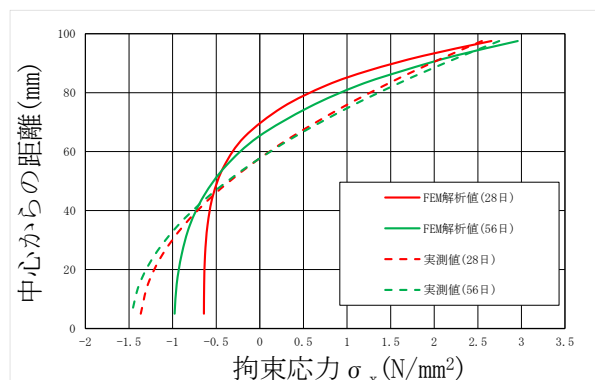


図 8 拘束応力分布の実測値および解析値

中心部のひび割れ指数は 6.4 日で 0.8 まで減少し、ひび割れ発生確率も 80% まで大きくなる。しかし、残り 20% は中心部で発生しない構造物が存在すると考えられ、その場合には、その後の乾燥収縮によりひび割れ指数が 27 日で 0.6 まで減少し、ひび割れ発生確率が 100% になる。よって壁厚 60 cm 程度の構造物の場合は、初期材齢では、温度応力によって、部材の中心部で温度応力ひび割れが発生しやすく、その後の乾燥収縮により、表面部でひび割れが発生しやすくなる。

### 4. 結論

コンクリートの乾燥収縮応力を切断法により測定し、FEM 応力解析による計算値と実測値がほぼ同じ値になるように、応力解析における乾燥収縮のパラメータを決定することができた。

決定した乾燥収縮のパラメータを用いて FEM 応力解析を行った結果、壁厚さ 600 mm 程度の構造物の場合は、初期材齢では中心部で温度ひび割れが発生しやすく、その後、表面部でひび割れが発生しやすいことが分かった。

### 参考文献

- 1) 米谷茂、残留応力の発生と対策、養賢堂、1992
- 2) 日本コンクリート工学会、マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016
- 3) 石川雅美、Max A. N. Hendriks、細孔構造に基づく乾燥収縮モデルの提案、コンクリート工学年次論文集、Vol. 39、No.1、pp. 373-378、2017

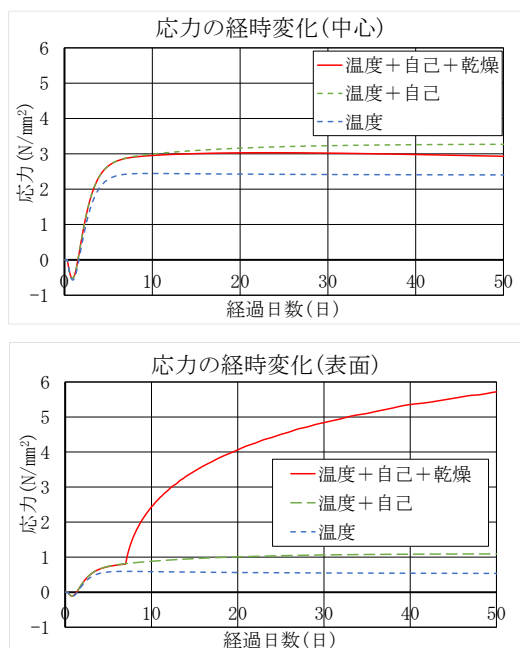


図 10 拘束応力の経時変化の解析値