

1. まえがき

筆者はコンクリート構造物の開口部に乾燥収縮が原因で発生するひびわれの防止策について検討している。防止策としては鉄筋による補強、収縮目地を入れる、膨張コンクリートの使用、繊維補強コンクリートの使用、プレストレスの導入などが考えられる。第1段階として開口部を有する模型コンクリート版を用い、周辺の拘束条件と鉄筋の有無が乾燥収縮量とひびわれの発生に及ぼす影響について検討した¹⁾。本報告は鉄筋による補強効果を調べるために行った基礎的な実験結果について述べたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料 使用したセメントは早強ポルトランドセメントで、その比重は3.14、7日の圧縮強度は309 kgf/cm^2 、曲げ強さは3.14 kgf/cm^2 であった。細骨材および粗骨材は山梨県の富士川産で、粗粒率はそれぞれ2.46、7.89であった。コンクリートの配合は粗骨材の最大寸法15mm、水セメント比0.60、単位水量204 kgf 、スランプ14cmであった。この配合は前報¹⁾の場合と同じで、乾燥収縮量が大きくなるようにしたものである。

2.2 供試体と実験方法 供試体の種類および測定項目を表-1に示した。コンクリート打設後1日で脱型し、2日間水中養生を行ったのち、長さ変化測定用のターゲットを貼付し基準長を測定した。その後直ちに温度 $20 \pm 1(^{\circ}\text{C})$ 、湿度45~50(%)の室内に静置した。長さ変化の測定には1/1000mmまで測定できるコンタクトゲージを使用した。鉄筋の歪測定にあたっては、鉄筋の引張試験を行い歪と軸力の関係を求めると共に初期歪の経時変化を見るために、室内に静置した鋼棒の歪を測定したがほとんど変化しなかった。

3. 実験結果

図-1は乾燥収縮量の経時変化を示したものである。乾燥収縮量は40cmの供試体の場合、コンクリート打設面に直角な二面で基準長30cmの長さ変化から求めた。80cmと120cmの供試体では一面のみで、基準長を10cmとしてそれぞれ7スパンと11スパンで長さ変化を求めた。図-1の曲線は乾燥収縮量と乾燥日数の関係を双曲線関数で仮定し、上述の方法を求めた実験値から最小自乗法で求めた。図-2は無筋標準供試体の乾燥収縮量を基準にして鉄筋量が乾燥収縮量に与える影響を示したものである。これらの図より鉄筋比が2%以下の場合、自由乾燥収縮量が $(3 \sim 4) \times 10^{-4}$ までは鉄筋による拘束効果はほとんどないことがわかる。また鉄筋による拘束効果は自由乾燥収縮量が大きいほど著しい。

図-3はコンクリート表面の乾燥収縮量と鉄筋の歪の測定例である。鉄筋の歪は乾燥日数30~50日で最大値に達しその後減少する。他の測定値もほぼ同様の挙動を示した。鉄筋の歪が減少するとコンクリート表面の乾燥収縮量は増加しなくなる。これは肉眼では観察できなかったが、鉄筋とコンクリートの接触面近傍うにひびわれが入ったためと推定される。

図-4はコンクリート表面の乾燥収縮量の分布、鉄筋の軸力および軸

表-1 供試体一覧表

供試体の寸法	鉄筋量	供試体数	測定項目
10×10×40 ^(cm)	無筋	3	(1)鉄筋量と乾燥収縮量の関係
	D10-1本	3	(2)鉄筋量と逸散水量の関係
	D16-1本	3	
	D22-1本	3	
10×10×40 ^(cm)	D10-1本	2	(1)表面の歪分布
	D10-2本	2	(2)鉄筋の歪分布
10×10×80 ^(cm)	D10-1本	2	(1)貫入試験の長さ
	D10-1本	2	(2)貫入試験の長さ

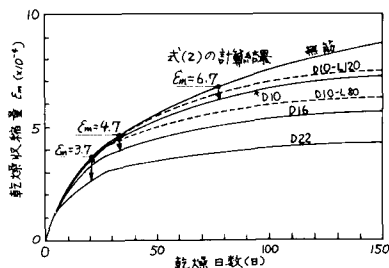


図-1 鉄筋量が乾燥収縮量に与える影響

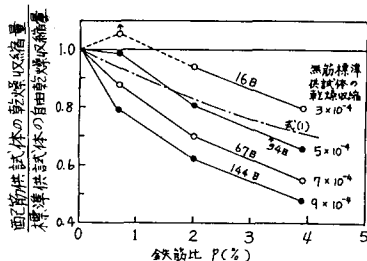


図-2 鉄筋による乾燥収縮量の拘束率

力と軸力変化から求めた鉄筋とコンクリートとの間の付着力を示したものである。コンクリート表面の乾燥収縮量を見ると、 $(3\sim4)\times 10^{-3}$ 以下では一様分布であるがそれ以上では中央部が小さい不均一な分布となる。他の供試体(40cm, 80cm, 120cm)の場合にも同様の現象が認められた。この分布の変化は、図-1で鉄筋の拘束効果が著しくなる裏に対応している。分布が不均一になるのは、粗骨材および鉄筋による拘束のためにひびわれが発生したためと思われる。

4. 考察

鉄筋とコンクリートが弾性体で平面保持を仮定すると、自由乾燥収縮量 ε_f と鉄筋コンクリートの弾性歪 ε_e との比は次式で与えられる。

$$\varepsilon_f/\varepsilon_e = (1-\nu)/\{1+(n-1)P\} \quad (1)$$

ここに、 ν : 鉄筋比、 n : 弾性係数比。 $n=10$ としたときの結果を図-2に示した。この式はひびわれのない長い鉄筋コンクリートに適用される。

今回実験に用いた試験体で測定される乾燥収縮量は式(2)で表わされるものと仮定する。(記号等は図-5参照のこと)

$$\varepsilon_m = \varepsilon_R + \varepsilon_s + \varepsilon_e + \varepsilon_p = \varepsilon_R + \varepsilon_s + \varepsilon_e(1+\phi) \quad (2)$$

ここに、 ε_m : 測定される乾燥収縮量、 ε_R : 付着力による鉄筋の軸歪、 ε_s : 付着力によるコンクリートのせん断歪、 ε_e : コンクリートの弾性引張歪、 ε_p : コンクリートのクリープ歪、 ϕ : クリープ係数。いずれも時間の関数である。

(1) ε_R について: 実験結果から付着応力度を式(3)で仮定すると、鉄筋の軸力 Q_x と鉄筋の軸歪 ε_R は式(4)、(5)で与えられる。

$$T_x = 2T_0x/l \quad (3) \quad Q_x = \pi r_0 T_0 (l^2 - 4x^2)/2l \quad (4)$$

$$\varepsilon_R = \pi r_0 T_0 (l^2 - 4x^2)/2EA l \quad (5)$$

ここに、 E , A は鉄筋の弾性係数と断面積。式(4)において、 $T_0 = 5, 10, 15 \text{ kgf/cm}^2$ としたときの結果を図-4(b)に示した。

(2) ε_s について: 図-5のように軸対称の弾性体を仮定すると、 x 軸方向の応力の釣合方程式およびせん断歪はそれぞれ次式で与えられる。

$$r(\partial \sigma_r / \partial r) + \partial(\tau r) / \partial r = 0 \quad (6) \quad \gamma = \partial u / \partial x + \partial \delta / \partial r \quad (7)$$

応力、変形ともに r 方向に比べて x 方向の変化は小さいから、 $\partial \sigma_r / \partial x = 0$ 、 $\partial u / \partial x = 0$ とにおいて、式(6)、(7)を解くと次式を得る。

$$\tau = T_0 r_0 / r \quad (8) \quad \delta = T_0 r_0 \ln(r/r_0) / G \quad (9)$$

ここに、 G : コンクリートのせん断弾性係数。 $r=r_0$ において、せん断応力では0となるように修正するとせん断 ε_s は次式で与えられる。

$$\varepsilon_s = 2T_0 r_0 \{ \ln(r/r_0) \cdot r_0 / (r_0 - r_0) - 1 \} / G l \quad (10)$$

(3) $\varepsilon_e(1+\phi)$ について: 鉄筋のかぶり厚を考慮して次式で仮定する。

$$\varepsilon_e(1+\phi) = \{ \ln(r/r_0) / \ln(r_m/r_0) \} \cdot \varepsilon_0 \quad (11)$$

(4) 計算例: $l=40\text{cm}$, $x=15\text{cm}$, $r_0=5\text{cm}$, $T_0=15 \text{ kgf/cm}^2$, $r_0/r_0=10$, $\phi=4 \times 10^{-4}$ (文献2)と仮定し、 $r_0=0.5\text{cm}$, 0.8cm , 1.1cm に対する ε_m の計算結果を図-1に示した。 $\varepsilon_f = \varepsilon_m$ のときひびわれが発生し、コンクリート表面の乾燥収縮歪はこの ε_m より大きくなることはない。計算結果は実験値にほぼ対応することを示している。

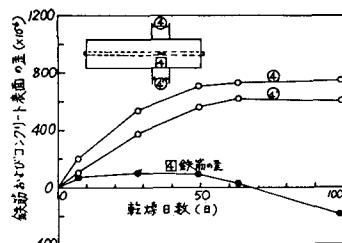


図-3 鉄筋およびコンクリート表面の歪測定例

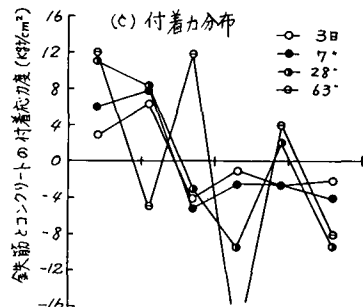
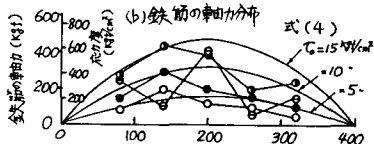
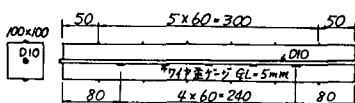
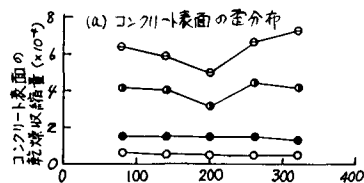


図-4 コンクリート表面の歪、鉄筋の軸力、付着力の測定例

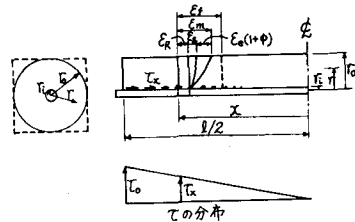


図-5 標準供試体における σ と ε の分布の仮定

(参考文献)

- 1) 高野昭信: 開口部を有するコンクリート版の乾燥収縮に関する実験結果, 第38回, PP.325, 1983
- 2) 毛尾虎彦: 配筋率とひびわれ, コンクリート・フォーラム, Vol.11 No.9, PP.12-18, 1973