論文 鉄筋コンクリート部材の乾燥収縮ひび割れ幅算定法の検討

劉 勇^{*1}·大野義照^{*2}·中川隆夫^{*3}

要旨:鉄筋 D6 を埋設したコンクリートの一軸拘束ひび割れ試験体の材齢 100 日までのひ び割れ挙動ならびに D10,D13 および D16 を埋設した一軸拘束ひび割れ試験体の材齢 70 日 までの鉄筋ひずみ分布の変化やひび割れ挙動を調べた。RC プリズム両引き試験体の単調載 荷試験及び持続載荷試験で得られた付着応力~すべり関係を用いた付着解析によって,長 期乾燥収縮ひび割れ幅と等価付着消失長さ L。を算定し, 既報 1)2) で提示した収縮ひび割れ 幅計算法を検証した。

キーワード:一軸拘束試験,乾燥収縮,ひび割れ幅,付着解析,鉄筋ひずみ

1.はじめに

壁などにおける乾燥収縮等に起因する乾燥収 縮ひび割れの幅は,既報1)において,鉄筋ひず み分布を捉えることができれば,算定できるこ とを示した。さらに,前報2)において,コンク リートのクリープ及び乾燥収縮を考慮した付着 解析によって,ひび割れ発生後の鉄筋ひずみ分 布を捉え,長期の乾燥収縮ひび割れ幅も計算で きることを報告した。

本報では,前報2)の鉄筋を埋設した角柱体の 一軸拘束ひび割れ試験のうち D6 を埋設した試 験体の100日間のひび割れ挙動ならびに,新た に実施した D10,D13 および D16 を埋設した-軸拘束ひび割れ試験の材齢 70 日までのひび割 れ挙動について検討する。付着解析によって, 鉄筋ひずみ分布を求め,ひび割れ幅を計算する とともに、曲げひび割れ幅の算定式におけるひ び割れ間隔に相当する等価付着消失長さ Lb に ついても考察した。なお,一軸拘束ひび割れ試 験体でのひび割れ位置の鉄筋応力の計算法は前 報2)で述べているので,本報では鉄筋応力は既 知として実測値を用いて付着解析を行っている。

2. 収縮ひび割れ幅の算定式

2.1 長期収縮ひび割れ幅の算定式²⁾

収縮ひび割れ幅は,図-1のように,ひび割れ 近傍の鉄筋とコンクリートのひずみ分布曲線で



図-1 ひび割れ近傍模式	,図
--------------	----

*1	大阪大学大学院	工学研究科建築工学専攻	工修(正会員)
*2	大阪大学教授	工学研究科建築工学専攻	工博(正会員)
*3	大阪大学助手	工学研究科建築工学専攻	(正会員)

囲まれた部分の面積で計算される。等価付着消 失長さ L_b を定義すれば、収縮ひび割れ幅は式 (1)で計算される²⁾。

$$W = \left\{ \varepsilon_{st} + \left(\varepsilon_{sh} - \varepsilon_{creep} \right) \right\} \times L_b \tag{1}$$

なお,式(1)中の記号は図-1に示している。 2.2 鉄筋ひずみ分布の計算

本報では,**図-2**に示す付着モデル³⁾を用いた 付着解析を行い,鉄筋ひずみ分布を求めた。拘 束ひび割れ試験体()と当時に製作した RC 柱体の両引き試験から得られた付着応力 ~す べりS関係から ~Sモデルの特性値のK₀, _y を与えた。付着剛性K_tを次式のように時間 t の 関数で表した³。

$$K_{t} = (0.25 + 0.5t^{0.2})/t^{0.2}K_{0}$$

$$\tau_{vt} = 0.75\tau_{0}$$
(2)



図-2 付着解析モデル

3.拘束ひび割れ試験()

3.1 使用材料及び乾燥収縮・クリープ係数

使用したコンクリートは普通ポルトランドセ メントを用いたレディーミクストコンクリート である。材齢 28 日におけるコンクリートの圧縮 強度は 33.1N/mm²,引張強度は 2.6N/mm²,ヤン グ係数は 25.6KN/mm²であった。試験は D6 D10, D13 を用いて行ったが,明瞭な貫通ひび割れが 生じた D6 試験体について検討する。

ー軸拘束ひび割れ試験体の形状・寸法は JIS 原案の乾燥収縮ひび割れ試験体に準拠したもの で,拘束材には市販の軽みぞ型鋼(100×40× 40mm,厚さ2.3mm,断面積は397mm²)と厚さ 1.6mmの平板を加工した軽みぞ型鋼(100×50 ×50mm,断面積310mm²)を用いた(以下,そ れぞれRとSと呼ぶ)。乾燥収縮試験体は100 ×100×500(mm)の角柱体で,圧縮クリープ試験 体は100×100×500(mm)の角柱体であった。乾 燥収縮ひずみ,圧縮クリープ係数の経時変化を **図-3**に示す。図中に最小自乗法により求めた実 測値の回帰式による値を示している。なお,実 験概要と50日までの結果は前報²⁾に報告して いる。



図-3 乾燥収縮ひずみ,クリープ係数(1)

3.2 鉄筋ひずみ分布

材齢 21,50,80,100 日における試験体 RD06, SD06 のひび割れ近傍の鉄筋ひずみ分布の実測 値を図-4 に示す。材齢 80 日と 100 日のひずみ 分布は重なっている。付着解析(__y = 5.3N/mm² K₀ = 1200N/mm²/mm,)によって得られた同材 齢の鉄筋ひずみ分布の解析値も同図中に示す。 図中にコンクリートのひずみ分布も併せて示し ている。解析値は実測値とほぼ一致している。

3.3 ひび割れ幅の経時変化

RD06、SD06 試験体のひび割れ幅の経時変化 を図-5 に示す。同図には鉄筋ひずみ分布実測値 から計算した収縮ひび割れ幅Wを計算値,付着 解析によって得られた鉄筋ひずみ分布から計算 した収縮ひび割れ幅 W を解析値として示して いる。ひび割れ幅の計算値は実測値と一致して いる。また,鉄筋ひずみ分布の解析値が実測値



図-4 拘束試験体の鉄筋ひずみ分布(1)



図-5 収縮ひび割れ幅の経時変化(1)

とほぼ一致していることから収縮ひび割れ幅も 解析値と実測値は一致している。

3.4 等価付着消失 L_b

式(1)から求めた等価付着消失長さ L_bの経時 変化を図-6 に示す。L_bの計算値は実測した鉄筋 ひずみ分布から算出した値であり,解析値は付 着解析で得られた鉄筋ひずみ分布から算出した 値である。L_bはひび割れ発生後,時間経過に伴 い増大するが材齢 80日から変化量が小さく, 材齢 100日での値は約 160mm である。なお, その時点での RD06、SD06 の鉄筋応力は 343 N/mm², 310N/mm²であった。



図-6 等価付着消失長さLbの経時変化(1)

4. 拘束ひび割れ試験()

- 4.1 実験概要
- (1) 使用材料

使用したコンクリートは普通ポルトランドセ メントを用いたレディーミクストコンクリート で,表-1にコンクリートの力学的性質を示す。 スランプは20.0cm,空気量は4.8%である。鉄 筋は横ふし異形鉄筋D10,D13及びD16を用いた。

表-1 コンクリートの強度試験結果

材齢	圧縮強度	引張強度	ヤング係数
(日)	(N/mm ²)	(N/mm²)	(KN/mm ²)
7	24.6	2.12	23.8
14	30.1	2.51	22.6
21	31.3	2.15	22.9
28	30.2	2.88	25.5

(2) 試験体の形状と種類

拘束ひび割れ試験体の形状を図-7に示す。試

験体中央のコンクリート断面は 150×150mm, 試験体全長は 1400mm である。試験体の種類を **表-2**に示す。拘束ひび割れ試験体は各条件に対 して 2 体製作した。拘束鋼材は市販の軽みぞ型 鋼(呼び名 1285,150×50×50mm,厚さ 3.2mm, 断面積は 766mm²)を用いた。拘束鋼材比は 6.8% である。乾燥収縮試験体は 100×100×500(mm), 150×150×500(mm)の 2 種類の角柱体を,圧縮 クリープ試験体は 100×100×500(mm)の角柱体 を,各 2 体製作した。

(3) 実験方法及び測定方法

試験は 20±1 ,R.H.60±5%の恒温・恒湿室 で実施した。試験体の製作及び試験は「JIS 原 案のコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法 (案)」⁴⁾に準拠して行った。各試験体ともコン



図-7 拘束試験体形状

表-2 試験体の種類

試験体	鉄筋	スリット
記号	呼び名	深さ(mm)
D10(L)	D10	25
D10(S)	D10	15
D13(L)	D13	25
D13(S)	D13	15
D16(L)	D16	25
D16(S)	D16	15

クリート打設後,型枠のまま湿潤養生し,材齢 7 日に脱型後,乾燥を開始した。なお,ひび割 れを試験体中央に発生させるため,同位置に厚 さ 1mm のプラスチック板をくり貫いて加工し た切り欠き(各辺の深さ 15mm と 25mm)を設 けた。ひび割れ幅の測定のため、コンタクトスト レインゲージ(C.S.G)を用いて,試験体中央部 長手方向の3区間(100mm×3)の変位を測定 した。また箔ゲージ(F.S.G)を用い,埋設した 鉄筋のひずみや拘束鋼材のひずみを4時間毎に 計測した。鉄筋 D10, D13 および D16 における 箔ゲージの貼付間隔はそれぞれ 52mm, 55mm および 55mm である。コンクリートの乾燥収縮 および圧縮クリープ試験(載荷開始材齢:14日, 持続圧縮応力: 6N/mm²) では C.S.G にて コンク リートのひずみを測定した。

- 4.2 実験結果および考察
- (1) 乾燥収縮・クリープ係数

乾燥収縮ひずみ,圧縮クリープ係数の経時変 化を図-8に示す。図中に最小自乗法により求め た実測値の回帰式による値を示している。



図-8 乾燥収縮ひずみ,クリープ係数(2)

(2) ひび割れ幅と等価付着消失長さ Lb

a) 鉄筋ひずみ分布

-440-

前述した解析モデル³⁾を用いて,付着解析を 行った。 ~ s モデルの各特性値は既報²⁾で得 られた**表-3**の値を用いた。

試験体名	$K_0(N/mm^2/mm)$	$\tau_y(N/mm^2)$
D10	1200	4.5
D13	1200	5.3
D16	1200	5.3

表-3 -S 関係モデルの特性値

試験体 D10(S),D13(L)および D16(S)の鉄筋ひ ずみ分布を図-9に示す。ひび割れは材齢9~14 日に,すべての試験体において,スリットを設 けた試験体中央に生じた。材齢3週、10週にお ける鉄筋ひずみ分布を付着解析より求めた。図 中では実測値を記号で,解析値は曲線で示して いる。D16(S)試験体には2本のひび割れが生じ



ているが,ひび割れ1本が生じた試験体では解 析値は実測値とほぼ一致している。

b) ひび割れ幅

ひび割れ幅の経時変化を図-10 に示す。同図 には,実測値とともに,材齢3,5,7,10週に おける実測の鉄筋ひずみ分布から計算したひび 割れ幅を計算値,付着解析により得られた鉄筋 ひずみ分布から計算した値を解析値として示し ている。D13(S),D16(S)におけるひび割れ幅の計 算値は実測値より大きいが,他の試験体ではひ び割れ幅の計算値は実測値とほぼ一致している。 D10(L),D10(S)のひび割れ幅解析値が計算値よ り大きいが,他の試験体における解析値は計算 値とほぼ一致している。なお,埋設した鉄筋径 が大きい程,ひび割れ位置の鉄筋応力が小さく, ひび割れ幅は小さくなっている。

c) 等価付着消失長さ L_b

ひび割れ幅の計算値と解析値を用いて,式 (1)から計算した等価付着消失長さし。をそれ ぞれ計算値,解析値として,図-11に示す。D10 試験体ではし。の解析値が計算値より大きいが, D13、D16 試験体では両者ほぼ一致している。 材齢 70 日におけるし。の解析値(2体の平均) を比較すると,D10,D13 およびD13 はそれぞ れ260,238,および222 mm で,鉄筋径(鉄筋 比)が大きい程,L。は小さくなった。これは鉄 筋径が大きい程,鉄筋応力が 300N/mm², 218N/mm2 および139N/mm²と小さくなったこ とによる。ただし,同じ鉄筋応力の場合,鉄筋 径が大きい程,L。は大きくなるので,解析値間 の差は小さい。

5. まとめ

以上の結果をまとめると次のようになる。

(1) ひび割れ位置の鉄筋応力を用い,付着応力 ~すべり関係をモデル化して付着解析より 求めた一軸拘束試験体に埋設した鉄筋のひ ずみ分布は実測値と一致した。また,鉄筋 ひずみ分布より算定したひび割れ幅は実測



図-11 等価付着消失長さしの経時変化(2)

値とほぼ等しかった。

- (2) 乾燥収縮による収縮ひび割れの幅は時間経 過に伴って大きくなるが,埋設した鉄筋径 (鉄筋比)が大きくなると,ひび割れ位置 の鉄筋応力が小さくなるので,ひび割れ幅 は小さく,ひび割れ幅の経時変化は緩やか になる。
- (3) 曲げひび割れ幅計算式におけるひび割れ間 隔に相当する等価付着消失長さL_bは,埋設 した鉄筋径(鉄筋比)が大きくなるに従い, ひび割れ位置の鉄筋応力が小さくなること から,等価付着消失長さL_b(解析値)も小 さくなり,材齢70日におけるD10,D13 お よびD16のL_bはそれぞれ260 238 222mm であった。材齢100日におけるD6の等価付 着消失長さL_bは約160mmであった。 なお,本報告で得られた成果を基に付着解

析によって,鉄筋径,鉄筋応力,コンクリートの諸性状と等価付着消失長さ L_b との関係を求める予定である。

謝辞 本研究は本学学生松浦祥介君及びタイコー千里 工場の協力を得て行ったものであり,記して謝意を表 します。

参考文献

- 劉勇,大野義照,中川隆夫,林田都芳:コンクリートの収縮ひび割れ幅に及ぼす鉄筋量の影響,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.23,No.2, pp.751~756,2001
- 2) 劉勇,大野義照,中川隆夫:コンクリートの収縮ひび 割れ幅の算定,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24,No.1, pp.405~410,2002
- 3) 鈴木計夫,大野義照,李振宝,太田崇士:持続荷重下に おける異型鉄筋の付着応力~すべり関係,コンク リート工学年次論文報告集Vol.14,No.2,pp.51~56, 1992
- 4) 鈴木計夫,大野義照,中川隆夫,太田寛:コンクリートの収縮拘束ひびわれ試験,第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集,pp.25~28.1988