

# [6] コンクリートの乾燥収縮と収縮拘束に関する研究

正会員 ○牧 角 龍 憲 (九州大学工学部)  
 正会員 徳 光 善 治 ( )

## 1. まえがき

コンクリートの乾燥収縮によるひびわれは、コンクリートの避けがたい宿命の一つである。この収縮ひびわれを制御する方法として、コンクリート中に埋設した鉄筋による制御方法があるが、その方法に関して過去多くの研究報告がなされているものの未だ明確な結論は得られていない。

コンクリート中に埋設した鉄筋は付着によりコンクリートの乾燥収縮を拘束し、適切な鉄筋量の場合は乾燥収縮量を低減させる役目を果たすが、鉄筋量が過渡に多くなると逆に収縮ひびわれを生じさせる原因となる。この関連について、向井<sup>1)</sup>、大島<sup>2)</sup>らは、拘束されたひずみ量とクリープも含めたコンクリートの伸び能力との関係で検討を行ない、2~4%の鉄筋比を限界とし、柿崎<sup>3)</sup>は拘束により生じた引張応力度と引張強度や鉄筋付着との関係から3~5%の鉄筋比を示している。また、森田<sup>4)</sup>は外部で完全拘束された場合、鉄筋は関係なく収縮応力と引張強度の関係からひび割れを論じている。このように、鉄筋による内部拘束下のひびわれ発生条件については種々報告があるが、制御を目的とする時の鉄筋とコンクリートの収縮の関係について論じたものは数少ない。

そこで本研究は、鉄筋による収縮ひびわれ制御を目的とする研究の基礎として、収縮を拘束する鉄筋に生じる応力とその分布を測定し、内部拘束下の収縮性状およびひびわれ発生について検討したもので、材令とともに付着拘束状態が変化すること、初期材令において、鉄筋に生じる応力は鉄筋比によらずほぼ同程度あることなどの結果を得た。ここにその報告をする。

## 2. 実験概要

コンクリートの配合および使用材料を表-1に示す。供試体断面寸法は図-1に示すとおりで、長さは160cmである。供試体は材令1日で脱型し、その直後に恒温恒湿室(20±1℃ 60±3%R.H.)に移し、その時点を基準に測定を開始した。鉄筋にはD22を使用し、それを半割にした断面に溝を掘り、図-2に示す位置にひずみゲージを貼付した。実験は鉄筋量により2シリーズに分け、シリーズ1では定着長と収縮応力分布を、シリーズ2では、ひびわれ発生時の応力分布を測定することを目的とし、そのため、鉄筋ひずみ測定位置を変化させた。コンクリートひずみは、モールドゲージ(KM-100)と表面にとりつけた装置(1/1000mmダイヤルゲージ、測長50cm)により測定した。自由収縮は同一形状寸法供試体で、鉄筋位置にはモールドゲージを埋設して測定した。

なお、供試体長が長いので、10cm間隔にコロを付けた台上に供試体を設置した。

## 3. 実験結果

図-3にシリーズ1の、図-4にシリーズ2のひずみ経時変化曲線を示す。3~5日頃まで自由収縮と鉄筋拘束供試体のコンクリートひず

表-1 コンクリートの配合および使用材料

w/c (%)	G <sub>max</sub> (mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				POZ. cc	slump cm	air (%)
			W	C	S	G			
50	20	41	162	324	757	1299	3240	6.0	4.0

セメント	普通ポルトランド			
骨材	種別	比重	吸水量	F.M.
粗骨材	角セシ岩砕石	2.90	1.70%	6.87
細骨材	海砂	2.60	1.15%	2.95

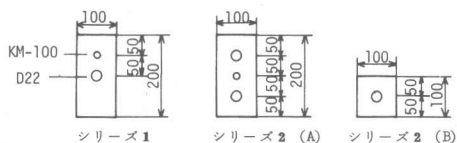


図-1 供試体の断面寸法

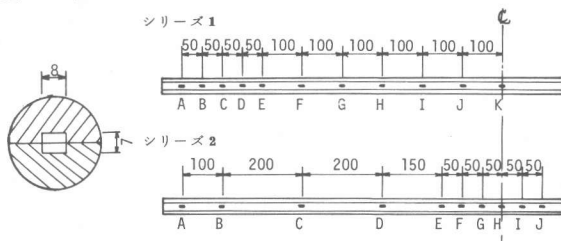


図-2 鉄筋ひずみ測定位置

みにあまり差がみられないが、その後日数の経過とともに拘束による差が生じている。シリーズ1では端部(A,B,C)を除いて、鉄筋ひずみはコンクリートひずみに追従して増加しているが、7日頃から位置によるひずみ差が生じており、とくに中央Kのひずみ増加は極端に小さく、178日を経過した時点で鉄筋ひずみ最大のFで $443 \times 10^{-6}$  Kが $247 \times 10^{-6}$ と $200 \times 10^{-6}$ 近い差が生じている。このとき、自由収縮供試体は $737 \times 10^{-6}$ であり、ひびわれは拘束供試体表面には皆無であった。

シリーズ2では、大半はシリーズ1と同様の傾向を示しているが、中央部とF(端から65cm)は他と異なって10日頃からひずみ増加を示した。このFの近傍(端から60cm)に、33日頃ひびわれが生じている。このとき鉄筋最大ひずみDで $260 \times 10^{-6}$ 、Fが $68 \times 10^{-6}$ 、自由収縮供試体は $535 \times 10^{-6}$ であった。また10×10cm断面供試体(B)においても同様の傾向が観察され、中央部Hが8日頃からひずみ増加を示し、20日頃ひびわれが生じており、そのときの鉄筋最大ひずみDは $228 \times 10^{-6}$ 、Hが $65 \times 10^{-6}$ 、自由収縮が $460 \times 10^{-6}$ であった。

自由収縮量に対する鉄筋ひずみの比は、シリーズ1が約60%、シリーズ2が約50%で顕著な差とはいえないにもかかわらず、ひびわれ発生や収縮性状に異なる傾向がみられたのは、かぶりや鉄筋比の影響と考えられる。そこで、断面内の収縮ひずみ分布の経時変化を図-5および図-6に示すが、シリーズ1では、初期ではあまりひずみ差がないが、その後40日頃まで、鉄筋ひずみとKM-100のひずみ勾配は徐々に増加し、40日以降はほぼ同じあるいは逆に小さくなる勾配の分布を示している。これは、鉄筋中心から少なくとも5cmまでの範囲が付着拘束の影響範囲になるためと考えられる。

シリーズ2においては、10日頃まで勾配が変化するが、それ以降は表面と鉄筋ひずみの差が約 $80 \times 10^{-6}$ 、KM-100と鉄筋の差が約 $25 \times 10^{-6}$ のほぼ同じ勾配の分布を示している。また、自由収縮と拘束供試体の表面ひずみの差はシリーズ2がシリーズ1よりかなり大きく、このことからシリーズ2では供試体全体が付着拘束の影響を受けていると考えられる。またいずれのシリーズでもひずみ分布が日数は違うが同様の傾向で変化していることから、材令とともに付着拘束状態が変化することが考えられる。

次に、図-7に鉄筋のひずみ分布を7日以前と30日前後と70日以降に分けてその経時変化を示す。7日以前に

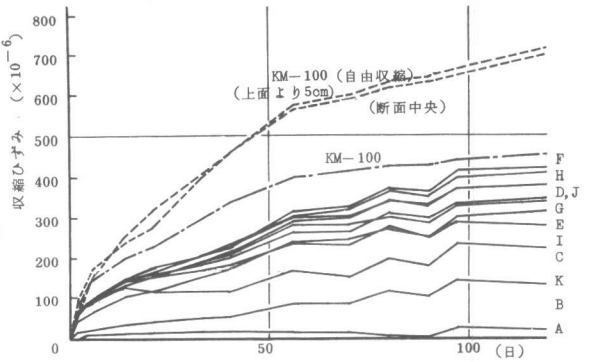


図-3 収縮ひずみ経時変化曲線 シリーズ1

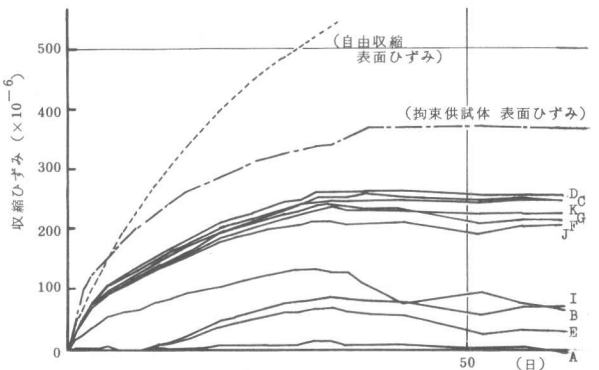


図-4 収縮ひずみ経時変化曲線 シリーズ2(A)

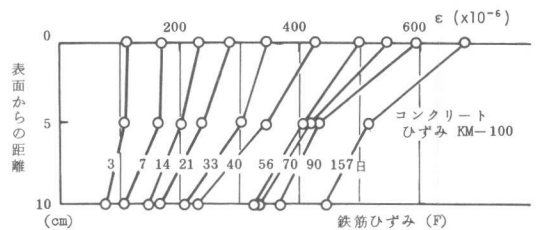


図-5 断面内の収縮ひずみ分布 シリーズ1

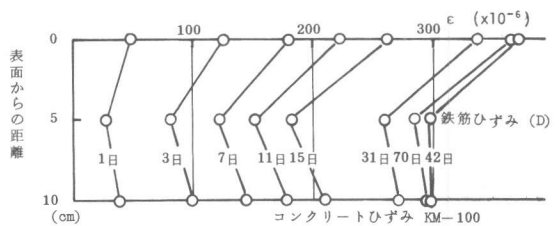


図-6 断面内の収縮ひずみ分布 シリーズ2(A)

において、定着長15~20cmの端部を除いてシリーズ1ではほぼ一定のひずみを示している。シリーズ2では、鉄筋量が倍近いにもかかわらず、1日と2日ではシリーズ1とほぼ同じ値を示しているが、位置によるひずみ差があり、7日ではひずみ差がかなりはつきりしてきている。

14日になるといずれの場合も、ひずみの山と谷が生じているが、シリーズ2がシリーズ1より大きなひずみと山を示しており、B供試体にひびわれが生じた21日には、かなりの落差のあるひずみ分布を示している。さらにA供試体にひびわれが生じた33日には、この傾向が強まるとともに、ほぼ15~20cm間隔で鉄筋ひずみの山が生じることが示されている。図下にシリーズ2供試体のひびわれ発生位置を示しているが、鉄筋ひずみの山あるいは谷とほぼ同じ位置に生じており、内部拘束の場合、拘束ひずみ量や引張応力とともに付着性状が大きな要素であることがうかがえる。

70日以降では、ひずみの山と谷の存在がより明確に示されているが、シリーズ1供試体ではかなりのひずみ差があるにもかかわらずひびわれは発生していない。この鉄筋ひずみ差により求めた付着応力の経時変化を図-8に、付着応力分布を図-9に示すが、端部では50日程度で30kg/cm<sup>2</sup>以上の付着応力が生じその後減少しているが、中央部では、100日前後まで徐々に増加しそれ以後10kg/cm<sup>2</sup>前後の応力でほぼ一定に落ち着いている。いずれの図においても不連続な点はなく、ひびわれ発生に関して付着応力単独では論じられないことがうかがえる。

次に、鉄筋に生じる圧縮応力とコンクリートに拘束により生じる引張応力のつり合いから、コンクリート

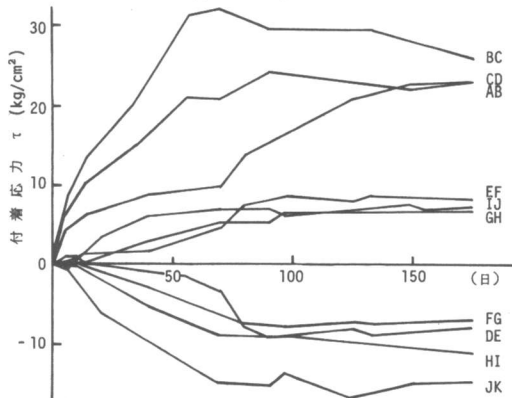


図-8 付着応力の経時変化 シリーズ1

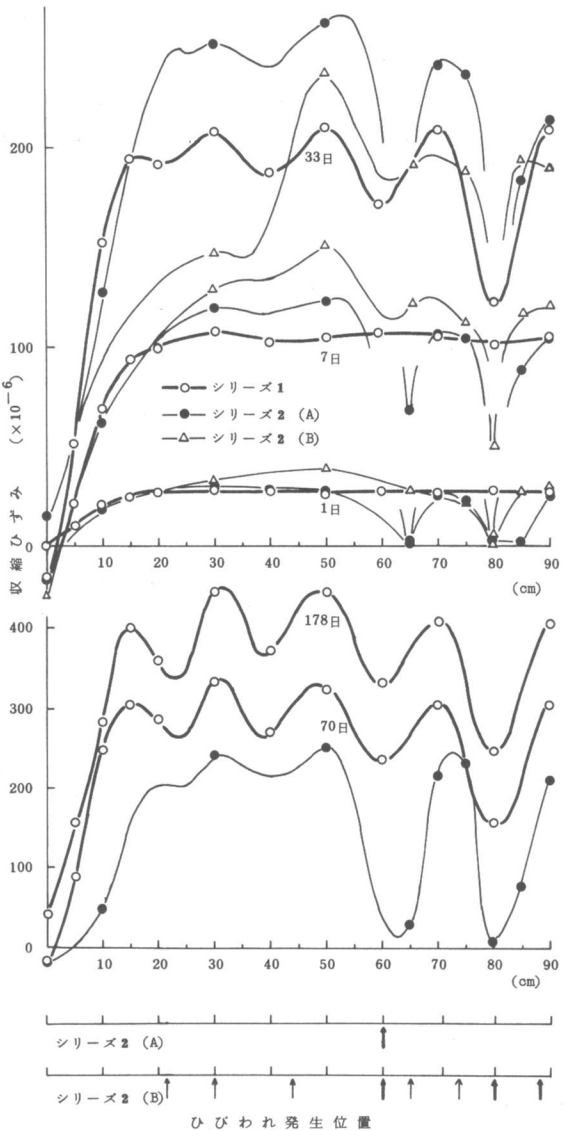


図-7 鉄筋ひずみ分布

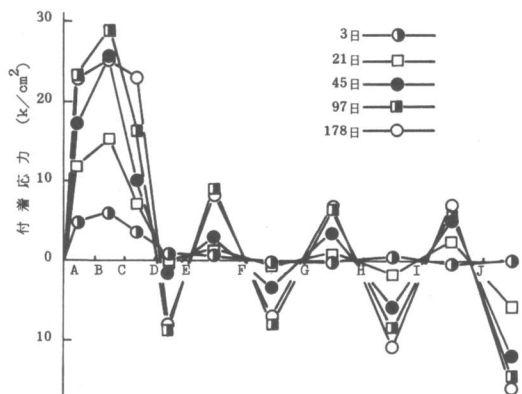


図-9 付着応力分布 シリーズ1

の引張応力を求め、図-10に示す。ただし鉄筋ひずみには最大ひずみ(1はF, 2(A),(B)ともD)を用いて算定している。シリーズ2供試体のひびわれ発生時の応力は(A)が $20.4 \text{ kg/cm}^2$ 、(B)が $16.4 \text{ kg/cm}^2$ であり、図中に示す同一養生円柱供試体の割裂引張強度よりかなり小さい値であった。これは、全断面に均等な引張応力がかかるとして算定するためと考えられ、付着拘束の範囲を考慮すれば、引張強度に近い引張応力になると考えられる。

図-11に拘束下の収縮ひずみと自由収縮ひずみの差、拘束ひずみの経時変化を示す。シリーズ2供試体はほぼ同じ直線的に増加する傾向を示しており、拘束ひずみが $250 \sim 300 \times 10^{-6}$ の間でひびわれが生じている。これに対し、シリーズ1供試体は、初期は2供試体と同様のひずみ変化を示すが、10日頃からゆるやかなひずみ増加を示し、鉄筋Fと自由収縮中央ひずみの差は180日で $294 \times 10^{-6}$ であり、この拘束ひずみの増加速度も、ひびわれ発生や収縮性状に大きく影響すると考えられる。

図-12に、拘束ひずみ $\epsilon_t$ と先に算定した引張応力度 $\sigma_t$ との関係を示す。シリーズ2供試体では、ひびわれ発生まではほぼ直線的な関係を示すが、その勾配は $5 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 程度とかなり小さく(同一材令で $E_c = 2.5 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )また、初期においては、拘束ひずみが小さいため、みかけ上 $\sigma_t$ が $\epsilon_t = 0$ で発生する関係もみられる。シリーズ1供試体も同様に直線関係を示すが、 $\epsilon_t$ が $200 \times 10^{-6}$ 以上(40日頃)で折点をもち、それ以前はかなり小さな勾配であるが、折点以降は、 $1.2 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 程度の勾配を示す。これは、図-5にも示されたように一定の収縮応力状態になるため、ほぼ弾性に近い性状を示すことによると考えられる。

#### 4. 結論

本実験で得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) 鉄筋によりコンクリートの乾燥収縮を内部拘束する場合、鉄筋付着性状が大きく影響する。
- (2) 付着性状は、材令とともに変化し、鉄筋比が小さい場合は、40日前後から一定の応力状態を示し出す。また、付着拘束の影響範囲も材令とともに変化すると考えられ、コンクリートに生じる引張応力もこの範囲で算定すればより定量的なひびわれ発生条件を導けると考えられる。影響範囲については今後検討する予定である。
- (3) 鉄筋比が異なっても、初期に鉄筋に生じる収縮応力はほぼ同一であり、乾燥1日目から確実な付着拘束がなされると考えられる。

最後に、本研究は、昭和55年度科学研究費補助を受けて行った研究の一部である。

#### 5. 参考文献

- 1) 向井毅、コンクリートジャーナル Vol.18 No.11, 1970. 2) 大島久次、池永博威、セメントコンクリート No.314, 1973
- 3) 柿崎正義、セメントコンクリート No.398, 1975. 4) 森田司郎、建築学会大会梗概集、昭49

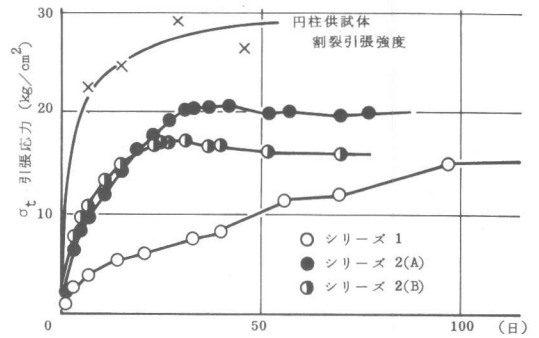


図-10 コンクリートに生じる引張応力度

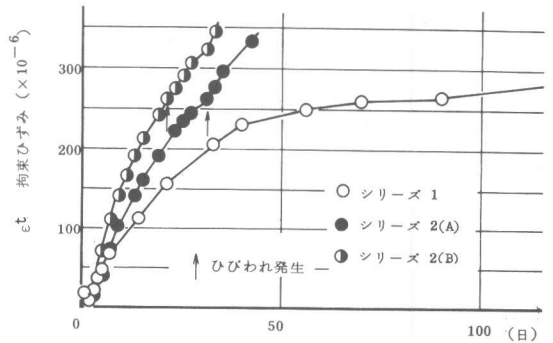


図-11 拘束ひずみ $\epsilon_t$

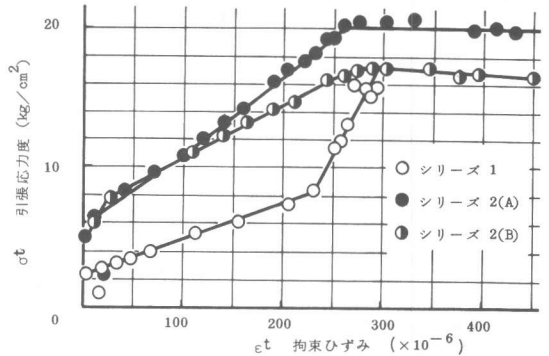


図-12 拘束ひずみ $\epsilon_t$ と引張応力度 $\sigma_t$ との関係