

[139] 異形鉄筋とコンクリートの付着クリープ性状

正会員 長瀬重義（東京工業大学工学部）

正会員 ○佐藤良一（宇都宮大学工学部）

正会員 鯉淵芳伸（防衛大学校土木工学教室）

1. まえがき

持続荷重を受ける鉄筋コンクリート（R.C.）構造物の変形・ひびわれ挙動を解明するうえで鉄筋とコンクリートとの付着クリープ特性の把握は重要であると考えられる。しかし、この種の研究は一部¹⁾を除けば極めて少なく不明の点が多いのが実情である。先に筆者らはひびわれ間要素に着目して持続引張荷重を受けるR.C.部材の変形・ひびわれ解析を行なったが²⁾、この中でも付着クリープについては大胆な仮定を設けざるを得なかった。

本研究は、これらのことから、特に早期における付着クリープ特性を明らかにすることを目的として実施した実験結果を取りまとめたものである。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

用いたセメントは比重3.16の普通ボルトランドセメントである。細骨材は千葉県法木産の山砂で比重2.61、F.M.2.72である。粗骨材は大井川産の川砂利で比重2.65、F.M.6.85である。減水剤としてリグニンスルホン酸塩系のものをセメント重量の0.25%用いた。コンクリートの配合を示せば表-1のとおりである。

鉄筋は横ぶし型異形鉄筋SD30D16を用いた。この鉄筋にはゲージ貼付による付着の乱れをなくすため図-1に示すような溝を設けた。鉄筋の実断面積と弾性係数は表-2のとおりである。

2.2 供試体の作製

供試体は、図-2に示すような付着クリープ実験用供試体4体、水中内のコンクリートのクリープ実験用供試体2体とダミー供試体2体および室内でのコンクリート

のクリープ実験用供試体3体とダミー供試体3体をそれぞれ作製した。

付着クリープ実験の条件は表-2に示すとおりであり、鉄筋応力度と湿度を実験パラメータとした。供試体は打設後2日で脱型し、一週間防水膜内で湿润養生した後、両端面にエポキシ樹脂を塗布する期間を除き載荷日前日（打設日から53

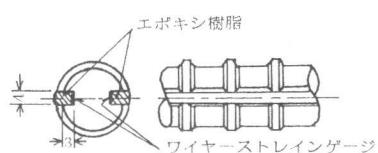


図-1 鉄筋の詳細 (単位:mm)

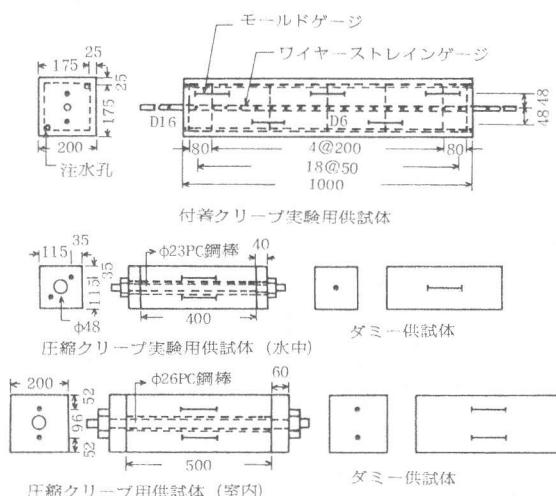


図-2 供試体の形状・寸法 (mm)

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤
25	7.6	5.3	53	42.0	146	275	798	1121	0.69

表-2 付着クリープ実験条件

名 称	作用鉄筋応力度 (kgf/cm²)	実断面積 (cm²)	弾性係数 (10⁶ kgf/cm²)	環境条件
D-1	1000 (960)	1.60	2.05	室 内
D-2	2000 (2090)	1.62	2.06	
W-1	1000 (970)	1.67	2.05	
W-2	2000 (1940)	1.62	2.07	水 中

() 実鉄筋応力度

日目)まで室内の水槽(室温: 5~15°C)で養生した。これらの供試体はいずれも載荷日まで市販の家庭用ラップフィルムで被い飽水状態を保った。Dシリーズの場合載荷と同時にフィルムを取り除き乾燥を開始した。Wシリーズの場合は載荷中もフィルムを被った状態で注水孔より水道水を常時注水し飽水状態を保持した。クリープ実験用およびダミー供試体もDとWシリーズの供試体と全く同一の湿度条件下においてた。この準備により付着クリープにおよぼす乾燥収縮の影響を調べた。

2.3 載荷装置および計測

持続荷重は、図-3に示すように、約20倍の倍率を有するて式加力装置を用いて与えた。与えた持続荷重は、鉄筋応力度で1000と2000 kgf/cm²の2種類であり(表-2参照), 載荷日数は49日である。

鉄筋ひずみは、図-2に示すように、鉄筋の両側の溝に対し5cm間隔で貼付したゲージ長2mmのワイヤーストレインゲージにより測定した。表-2に示した弾性係数はコンクリートの打設に先立ち、鉄筋応力度で2000 kgf/cm²の範囲で引張試験を実施し、これらのひずみゲージにより求めたものの平均値である。実験中のひずみはダミーゲージを供試体中に埋め込んで2ゲージ法で測定した。

コンクリートのひずみは、図-2に示すように、鉄筋中心から鉄筋径の3倍の位置にセットしたゲージ長60mm, ベース長120mmの両端つば付きのモールドゲージを用いて測定した。温度補正是実測値から温度変化による変形とゲージのドリフト値を差し引いて行なった。供試体の温度は供試体中に埋め込んだC-C熱電対で測定した。

コンクリートのクリープひずみはP-C鋼棒によりおよそ80 kgf/cm²のストレスを導入して測定した。クリープによるP-C鋼棒の再緊張は行なわず実測値を補正してクリープひずみを求めた。

なお、載荷期間中の室内温度は2~9°C, 湿度は45~65%R.H.である。

2.4 コンクリートの諸性質

載荷時のコンクリートの圧縮強度、引張強度および弾性係数は、3体の平均値として、それぞれ317 kgf/cm², 22.3 kgf/cm², 29.0 × 10⁴ kgf/cm²である。

図-4はダミー供試体から温度補正をして得られた乾燥収縮ひずみを示したものであり、経過日数49日で約170μの収縮ひずみを示した。

図-5はクリープひずみを示したものである。これによれば、室内の場合水中の場合の2倍強の増加量を示し、一般に指摘されている乾燥クリープの存在が認められる。

3. 実験結果および考察

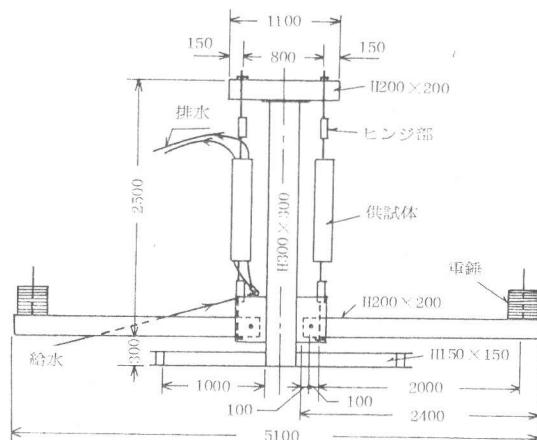


図-3 載荷装置(単位: mm)

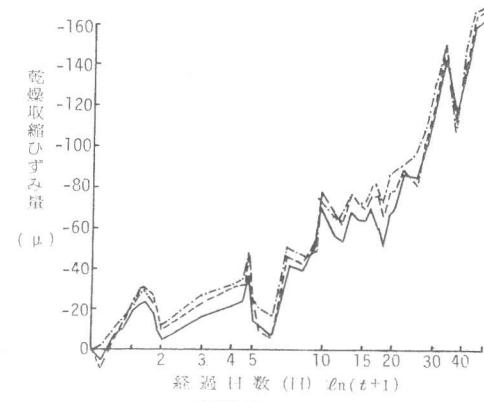


図-4 乾燥収縮ひずみの特性

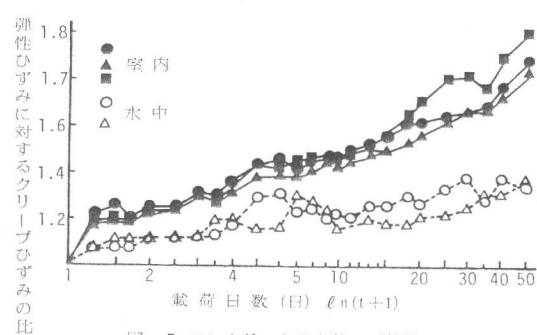


図-5 コンクリートのクリープ特性

図-6は、鉄筋およびコンクリートの材軸方向のひずみ分布について、D-2とW-2の場合を比較して示したものである。ここで、自由端のコンクリートひずみは、D-2の場合図-4に示した自由乾燥収縮ひずみであり、W-2の場合0としたものである。これらの図から内部のひずみ状態は、いずれも、すべりのある領域と一体挙動してすべりのない領域の2つに大別できる。すべりのない領域のコンクリートは、計算上 8 kgf/cm^2 の引張応力を受け、図-5によれば載荷日数49日でD-2の場合約50 μ 、W-2の場合約35 μ の伸びひずみを示すことになるが、D-2の場合乾燥収縮の影響により80 μ 程度の収縮ひずみを示している。一方、自由端の鉄筋ひずみは変化しないため、乾燥収縮の影響を受ける場合、すべり領域における鉄筋とコンクリートのひずみ差、すなわち、後述するように端部抜け出し量が大きくなるのである。

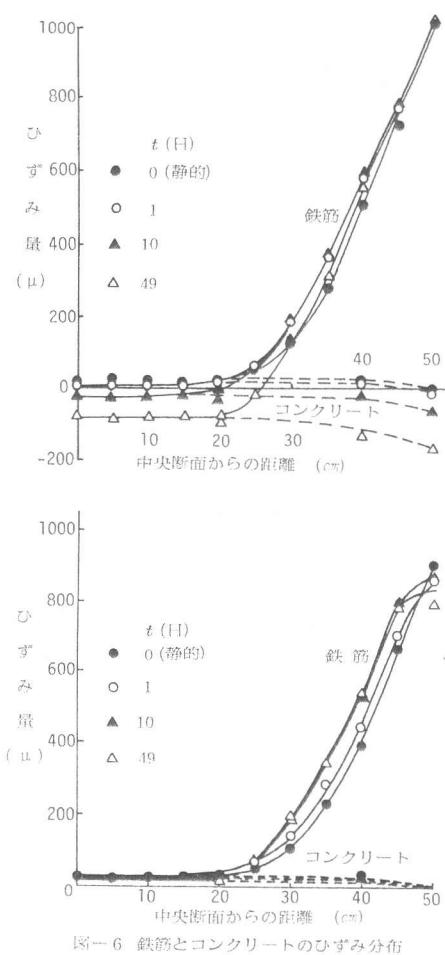


図-6 鉄筋とコンクリートのひずみ分布

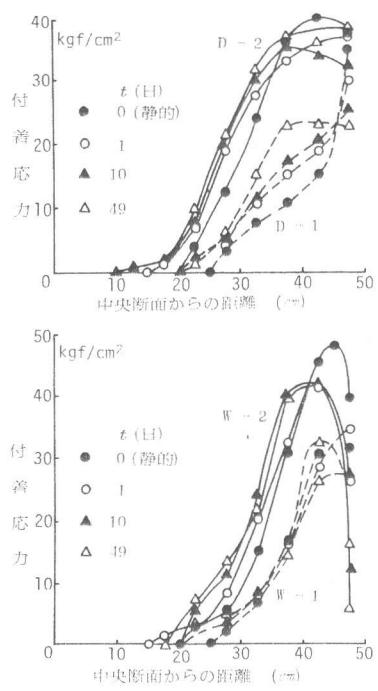


図-7 付着応力分布の経日変化

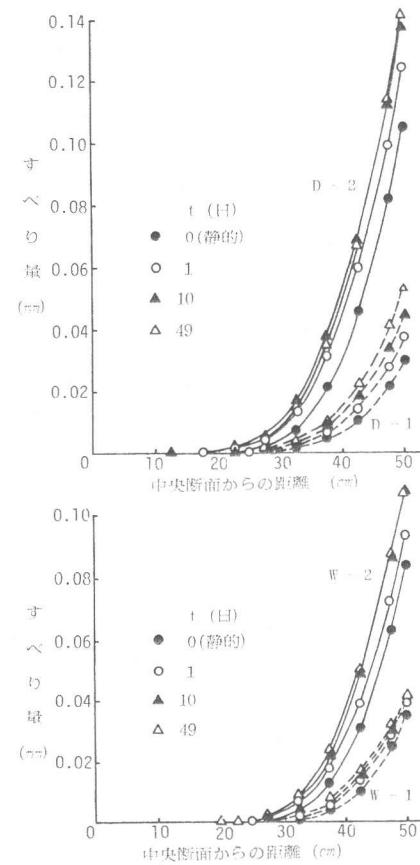


図-8 すべり量分布の経日変化

次に、図-7は図-6に示した鉄筋ひずみ分布から求めた材軸方向の付着応力分布の経日変化を示したものである。いずれの分布も中心断面方向に移動し、その移動量も載荷後一日の間が顕著であり、また乾燥収縮の影響を受ける方が大きい傾向を示す。自由端から10~12.5 cmの間の領域でみられる最大付着応力も、少々のばらつきがあるが、いずれも載荷日数の経過とともに低下する傾向を示し、その低下率は鉄筋応力度の大小、乾燥の有無に拘らず約10~15%の間にある。ただし、この領域は一般に付着の劣化領域と認識されているが、D-1のように付着の劣化が持続荷重によって生じる場合には大きな低下率を示し、付着応力分布の形状も著しく変化する。

図-9は、鉄筋およびコンクリートのひずみ分布から算定したすべり量分布を示したものである。すべり量の場合も付着応力分布と同様載荷日数の経過とともにその分布曲線は中心断面方向に移動し、

その移動量も載荷後一日の間が著しく、また乾燥収縮の影響を受ける方が大きくなる傾向を示す。

前述の付着応力およびすべり量分布に基づいて、それぞれの供試体について、付着応力-すべり量曲線を示したのが図-9である。ここで、図示した曲線は供試体の上下の領域で得られた曲線の平均値である。これらの曲線は、材軸方向の各位置で付着応力およびすべり量が載荷日数の経過により異なることを考えれば、すべり領域の付着クリープ現象を巨視的に表わしたものといべきものである。また、付着応力-すべり量曲線が自由端の近傍領域とそれらの領域を除く領域とでは著しく異なることが既に明らかにされているが^{3), 4)}、これらの領域の違いも併せて含まれた曲線である。

これらの曲線をみれば、一般的には、載荷日数の経過とともに付着剛性、最大付着応力が共に低下し、さらに乾燥収縮の影響が明確に表われていないのが認められる。

最後に、図-10はひずみ分布より求めた上下両自由端の抜け出し量の平均値の載荷日数の経過に伴なう推移を示したものである。この図によれば、端部抜け出し量は、2種類の鉄筋応力度の場合とも、Dシリーズの方が大きいことがわかる。たとえば、49日において、W-1で0.013mm、D-1で0.023mmと乾燥収縮の影響により約77%大きく、また鉄筋応力度が2000kgf/cm²の場合W-2で0.024mm、D-2で0.033mmと約42%大きくなる。このように端部抜け出し量におよぼす乾燥収縮の影響は著しいが、特に鉄筋応力度が1000kgf/cm²の場合の比率が高いのは、鉄筋応力度が低いにも拘らず自由端近傍の領域で付着の劣化が生じており、相対的にコンクリートの収縮に対する鉄筋の拘束効果が低下するためと思われる。

4. まとめ

異形鉄筋とコンクリートとの比較的早期における付着クリープ性状を把握する目的で鉄筋応力度と湿度をパラメーターとする4体の供試体を用いて両引き実験を実施した結果、本実験の範囲内で以下のことがいえると思われる。

- 1) 材軸方向の付着応力およびすべり量分布とも、載荷日数の経過に伴なって、中央断面方向に移動し、その程度は乾燥収縮の影響を受ける方が大きい傾向にある。
- 2) 供試体中の最大付着応力は持続荷重により低下し、鉄筋応力度の大小や乾燥の有無に拘らず、その低下率は最大で10~15%である。
- 3) 持続荷重による端部抜け出し量におよぼす乾燥収縮の影響は著しく、飽水状態にある場合と比較して、鉄筋応力度が1000および2000kgf/cm²の場合、載荷日数49日でそれぞれ77%, 42%増である。

参考文献

- 1) 高橋久雄ほか：鉄筋とコンクリートの付着クリープ性状に関する研究、第1回コンクリート工学年次講演会論文集、昭和54年。
- 2) 長瀬重義ほか：持続引張荷重を受けるRC部材の変形・ひびわれ解析に関する考察、第5回コンクリート工学年次講演会論文集、昭和58年。
- 3) 黒正清治ほか：異形鉄筋とコンクリートの付着に関する基礎的研究、日本建築学会大会昭和57年。
- 4) Plank G. et al: Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams with Special Regard to Bond Behavior, IABSE COLLOQUIUM DELFT 1981

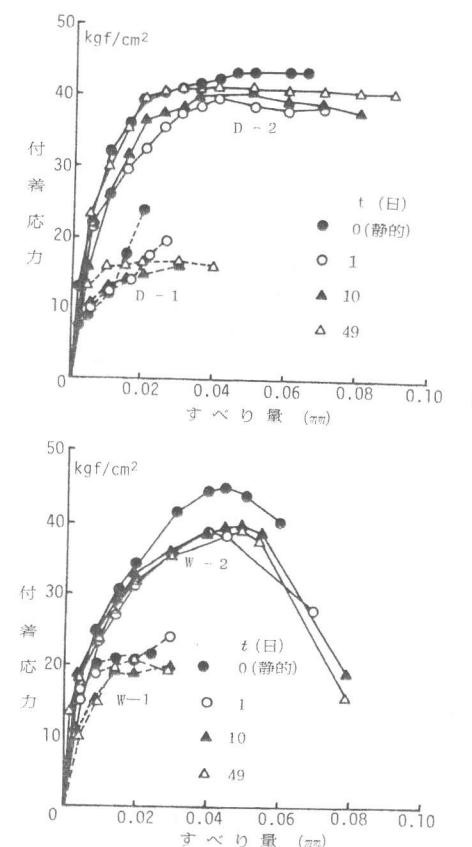


図-9 付着応力-すべり量関係の経日変化

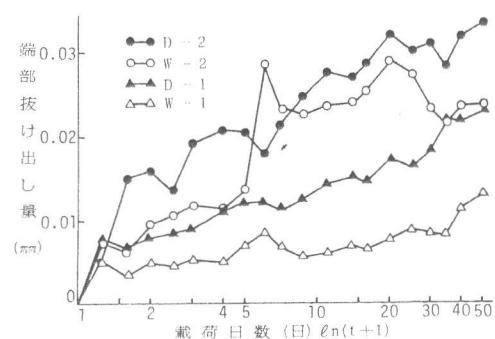


図-10 端部抜け出し量の経日変化