

論文 高強度コンクリートの若材齢引張クリープに及ぼす水分移動の影響

伊藤 秀敏*¹ 田澤 榮一 *² 大島 邦裕*³ 小野 敦*⁴

要旨：本研究では、高強度コンクリートについて乾燥・封緘および水中条件下で、コンクリート内部の水分移動が若材齢時における引張クリープ挙動に及ぼす影響について実験的に検討した。

その結果、異なった条件下の引張クリープは水分移動に伴う変形と単純な重ね合わせができないこと。また、シリカフュームを混入すると引張応力下で経時的に圧縮ひずみを生じることが明らかになった。

キーワード：高強度コンクリート，若材齢引張クリープ，水分移動，シリカフューム

1. まえがき

コンクリートのクリープの大部分は圧縮クリープに関する研究である。これらの研究成果から、圧縮クリープのメカニズムおよび構成則は徐々に明らかにされてきている。また、若材齢時における高強度コンクリートの圧縮クリープについても、第4回高強度コンクリートの使用に関するシンポジウムにおいて、その構成則が検討されている¹⁾。しかしながら、引張クリープについては、構造部材の設計においてコンクリートの引張強度が考慮されていないこと、また、正確な測定が難しいことから研究報告が比較的少ない。一方、外部拘束を受けるマスコンクリートでは圧縮クリープ、引張クリープともその影響を考慮する必要があり、さらに鉄筋コンクリート部材のひび割れ幅の解析には引張クリープの影響を無視することができない。セメントや混和材を多量に必要とする高強度コンクリートの若材齢圧縮クリープ、引張クリープでは、載荷力あるいは乾燥収縮の他、自己収縮による自己応力の影響を考慮しておく必要がある。自己収縮は、結合材の水和が引き金となっ

て若材齢時から起こるものと考えられている²⁾。したがって、コンクリート内部の水の挙動は、結合材の水和による自己乾燥とコンクリート外部への水の逸散とのバランスにより異なると考えられる。以上のことを考慮し、セメント単味の他、シリカフュームを用いた若材齢の高強度コンクリートについて、コンクリート外部からの吸水、内部からの脱水あるいは吸・脱水を伴わない条件を設定し、引張荷重下における経時変形を検討した。すなわち、乾燥・封緘および水中条件下で引張クリープ試験を行った。同時にそれぞれの条件下で、無載荷状態における長さ変化とコンクリート中の含水率の測定を行い、水分移動と高強度コンクリートの若材齢引張クリープの相互関係について考察した。

2. 試験概要

2.1 材料の品質と配合

セメントは普通ポルトランドセメント(比重：3.15, 比表面積：3220cm²/g)を、混和材は、シリカフューム(比重：2.3, 比表面積：

*1 広島工業大学助教授 工学部土木工学科 工修(正会員)

*2 広島大学教授 工学部第四類(建設系) 工博(正会員)

*3 広島大学大学院 工学研究科構造工学専攻

*4 広島大学工学部 第四類(建設系)

140000cm²/g)を用いた。細骨材は、山砂(比重：2.54，吸水率：2.00%，F M：2.84)を，粗骨材は，碎石(比重：2.64，吸水率：0.84%，最大寸法：20mm)を使用した。高性能減水剤はポリカルボン酸塩系のものを使用した。引張クリープ試験で用いた配合は，表-1に示す2種類である。すなわち，単位結合材量および水セメント比は，それぞれ700kg/m³，25%とし，セメント単味(以下P Lと略記)とシリカフュームで10%置換(以下S Fと略記)したものである。なお，細骨材率は，いずれも35%である。

表-1 コンクリートの配合

	水	セメント	シリカフューム	細骨材	粗骨材	Ad
P L	175	700	—	505	962	1%
S F	175	630	70	505	962	1%

※配合表中のAdは高性能減水剤 (SP-8HS) 結合材質量に対し1%

2.2 引張クリープ供試体の形状及び長さ変化の測定方法

引張クリープ試験は，図-1に示すような100×100×400mmの角柱供試体を載荷・無載荷と

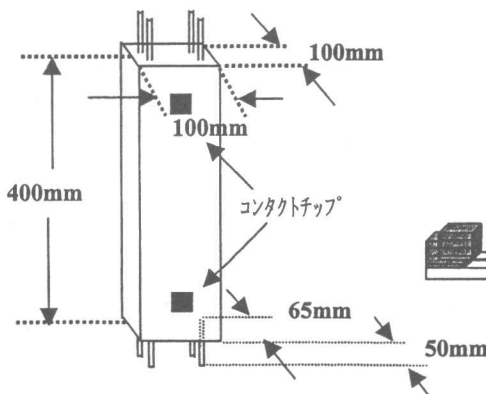


図-1 載荷供試体の形状

もに各2体用いて行なった。長さ変化は，コンクリート打設時に供試体中央部にあらかじめ埋込んだストレインゲージ (PMS-60L，2時間間隔)と検長30cmのコンタクトゲージ法(24時間間隔)により測定し，各条件ごとに平均をとった。これら供試体は打込み直後から試験開始直前まで20℃，R.H.95±5%の恒温恒湿室で養生した。

(1)強度試験

コンクリートの強度試験は，圧縮強度ならびに割裂試験を行った。材齢は両試験共に1,2,4,8および28日である。この供試体の養生条件は，引張クリープ試験に用いる供試体と同条件とした。

(2)引張クリープ試験方法

引張クリープ試験は図-2に示すレバー式の装置を用いて行った。引張クリープ供試体と試験装置との接合は，図-1に示すように，コンクリート打設時に供試体両端の所定の位置にあらかじめ埋込んである4本のボルトを治具を介して，偏心がないようにナットの締付けにより調整しながら行った。また無載荷供試体は100×100×400mmの角柱である。引張クリープ試験は，開始材齢を2日とし材齢28日まで行なった。なお，引張クリープ試験は20℃，R.H.50%

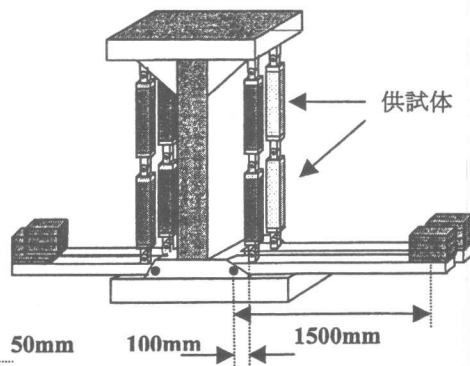


図-2 レバー式引張クリープ試験装置

±5%の室内環境下で行った。

(3)引張クリープ試験条件

本実験は応力強度比を 0.3 及び 0.6 の 2 種類とし、また、試験条件としては、乾燥・封緘および水中の 3 種類の組合せで行った。乾燥条件は、無処置とし、封緘条件は 24 時間後、供試体全面にアルミ箔テープ(厚さ 0.05mm)を貼り付け、供試体内部からの水分の逸散を防いだ。水中条件は供試体周囲を塩化ビニール袋で覆い、シリコン系ボンドや粘土等で防水処理を施した後に、水を注入したものである。全ての供試体は、試験前と同養生下で静置した。なお、水中条件以外の無載荷供試体は 1 日ごとに質量を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 強度試験結果

表-2 に、強度試験結果を示す。両配合共に材齢 28 日では 70N/mm² 以上の圧縮強度が発現した。

3.2 引張クリープ試験結果

3.2.1 載荷・無載荷供試体のひずみ変化

図-3 は PL、SF の各試験条件における供試体のひずみ変化を示す。乾燥条件では、乾燥収縮と自己収縮とが加算されているので、載荷・無載荷にかかわらず、収縮ひずみは大きくなっ

ている。一方、封緘条件では、自己収縮のみと考えられることから、初期材齢領域の収縮ひずみは大きいですが、材齢の増加に伴うひずみの増分はわずかであった。また、図-3(3)より、水中条件では PL の場合、無載荷供試体は接水初期に僅かな膨潤が生じた後、時間経過に伴って引張方向のひずみが増加する傾向にあった。一方、SF では、無載荷の場合、PL の場合と同様に膨潤したが、吸水条件であるのにも関わらず、経時的に収縮する傾向が認められた。なお、無載荷供試体の試験終了時の水量に換算した重量減少率は、乾燥条件の PL では約 10%、SF では約 7%低減したが、封緘養生における質量の経時変化はほとんど認められなかった。

3.2.2 引張クリープ

図-4 は 3.2.1 の結果から載荷・無載荷のひずみの差を単純に計算し、重ね合わせが成り立つと仮定した場合の引張クリープを示したものである。PL 及び SF と各試験条件下の引張クリープは乾燥条件が最も大きく、次いで封緘条件、水中条件の順に小さくなった。これは、応力強度比が 0.6 の場合でも同傾向であった。PL と SF とを比較すると、いずれの試験条件および応力強度比においても PL の方が大きな引張クリープを生じていることが分かる。PL で応力強度比が 0.3 の場合、試験条件の相異による引張クリープの差異が最も小さくなった。

表-2 強度試験結果

	1日	2日	4日	8日	28日
PL 圧縮強度 (N/mm ²)	36.8	42.2	43.6	49.7	72.9
SF 圧縮強度 (N/mm ²)	27	40.6	49.8	52.8	73.7
PL 割裂強度 (N/mm ²)	2.45	3.37	—	3.78	4.59
SF 割裂強度 (N/mm ²)	2.34	3.27	—	3.88	4.61

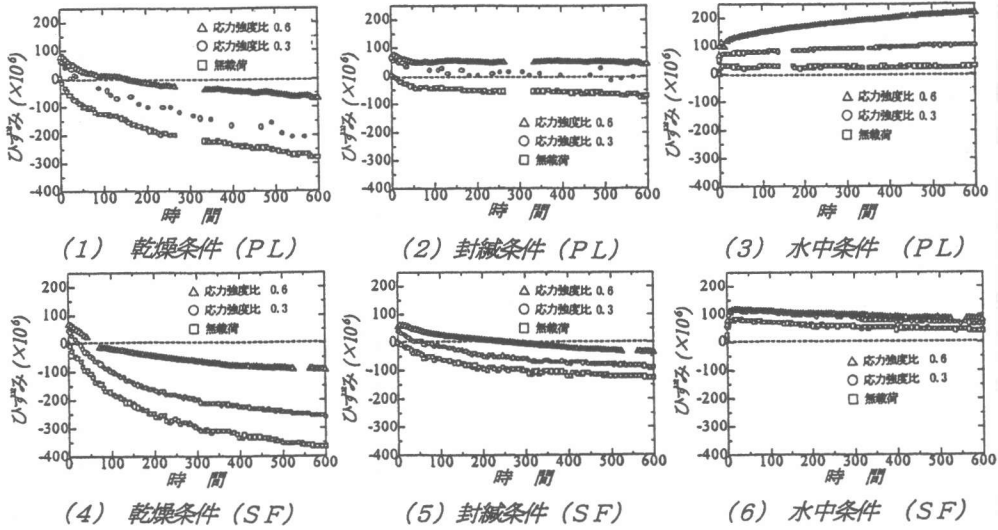


図-3 ひずみの経時変化

乾燥クリープ以外は、いずれの条件下であっても、封緘及び水中条件での引張クリープに大きな差異は認められなかった。また、PLの引張クリープは、各試験条件ともに増加傾向であったのに対し、SFの応力強度比が0.3の場合、封緘及び水中条件における引張クリープは載荷後100時間あたりから見かけ上ひずみが圧縮方向に転ずる傾向が見られ、材齢28日では載荷時での瞬間弾性ひずみ以下の値にまでなった。この理由としては、毛細管の変形あるいは載荷力により毛細管に生じるメニスカスが分散することによって、自己収縮が大きくなったことによるものと推測される。0.6の場合においても、同様の傾向が僅かに確認された。図-5にはそれぞれPL及びSFの各試験条件における単位クリープを示したものである。図-5(1)~(3)から、PLの封緘

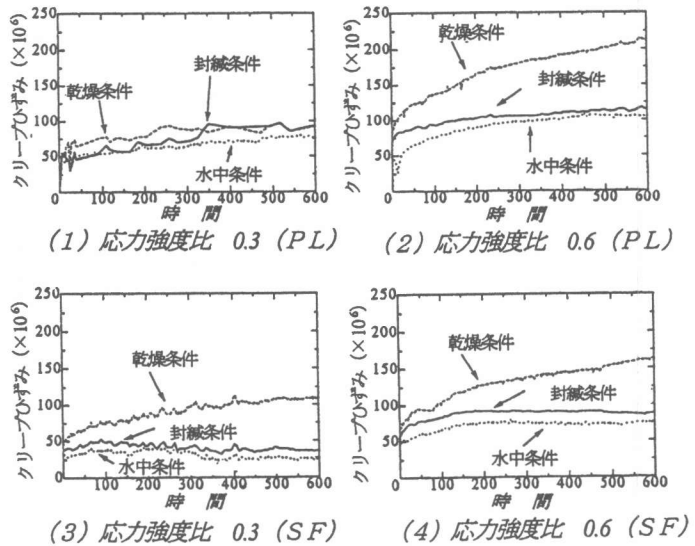


図-4 クリープひずみの経時変化

条件、水中条件では応力強度比を変えても、単位クリープはほぼ同様の値を示すが、乾燥条件では応力強度比が0.6の場合が大きくなっている。また、SFの乾燥条件ではPLの場合と同じく応力強度比が0.6の単位クリープは増加している。封緘及び水中条件の単位クリープの経

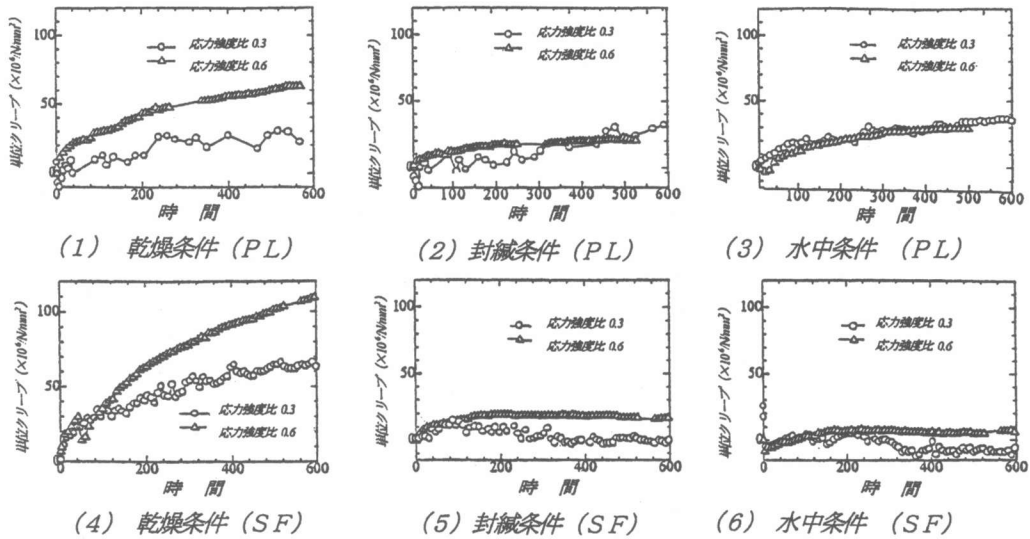


図-5 単位クリープの経時変化

時変化は共に同様の傾向にある。応力強度比が 0.3 の場合は上述のように、経過時間にもなつて引張応力下で圧縮方向にひずみが増加しているのが認められる。これに対して、応力強度比が 0.6 では、この傾向は僅かであった。

$$\varepsilon_f = \varepsilon_A + \varepsilon_D \quad (1)$$

$$\varepsilon_L = \varepsilon_A + \varepsilon_D + \varepsilon_E + \varepsilon_C \quad (2)$$

ここに

ε_f : 無荷荷供試体の全ひずみ

ε_L : 荷荷供試体の全ひずみ

ε_A : 自己収縮

ε_D : 乾燥収縮

ε_E : 弾性ひずみ

ε_C : 引張クリープ

従来、引張クリープひずみはひずみの重ね合わせを前提として、荷荷供試体のひずみから無荷荷供試体のひずみを差し引けば求まる。この方法によれば荷荷供試体の全ひずみから荷荷時

の弾性ひずみを除いた値、すなわち時間に依存する全ひずみは、無荷状態の収縮ひずみよりも小さくなるはずである。自己収縮を考えると無荷状態の長さ変化は式(1)のようになると考えられる。また、荷荷供試体のひずみ成分は式(2)になるものと考えられる。そこで図-6はそれぞれの水分条件について荷荷状態のひずみから荷荷時の弾性ひずみを差し引いたひずみと無荷時のひずみの相関を示したものである。この図は SF の応力強度比が 0.3 のものである。荷荷、無荷状態のひずみが等しい場合には破線上に乗ることになる。傾きが 1 未満であれば荷荷による弾性および粘弾性変形による影響が現れたものと考えられる。一方、この傾きが 1 以上であれば荷荷供試体のひずみが無荷供試体のひずみより大きくなるので一般的な重ね合わせの原理だけでは説明できない現象と考えられる。以上の観点から封緘条件では初期材齢の傾きは 1 以下であり、材齢の経過に伴ってこの傾きは大きくなりほぼ 1 になった。これは通常の重ね合わせの原理からでは説明できない挙動である。水中条件でも初期材齢から傾きが 1 以上であることから封緘条件の場合と同様のことが言える。

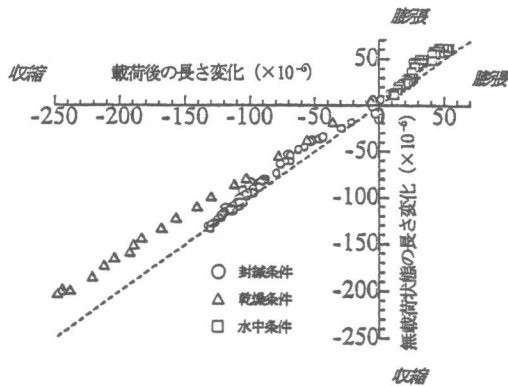


図-6 収縮ひずみと荷重供試体ひずみの関係
(シリカフェーム混入 応力強度比 0.3)

3.2.3 水分分布

図-7 には材齢 28 日における SF の供試表面及び中心部の含水率を示している。含水率は打込み時の単位水量を基準とした試料中の水の質量の比率を示す。この試験では、曲げ試験機で供試体中央部を切断し、この断面から供試体表面部および中央部より 20~30g 程度採取したモルタル部分の質量を迅速に計量した後 1 日炉乾燥した。含水率はこれらの測定結果から供試体作製時の水量に換算した値を基に求めたものである。この図より水中条件では供試体表面より中心部の含水率が低いことから中心部で自己乾燥が生じていることがわかる。一方、乾燥条

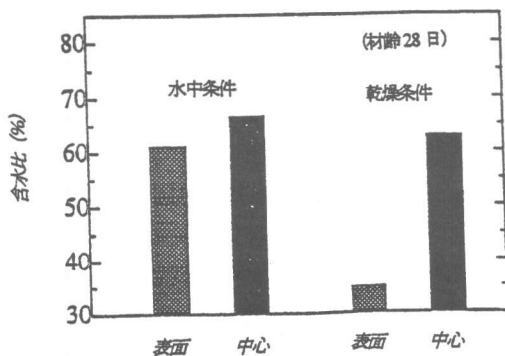


図-7 各水分条件での供試体の含水率
(シリカフェーム混入コンクリート)

件では逸散による水分の消失に見合う水分が中心部から供給されないため表面部の含水率が低下したものと考えられる。このような水分分布から供試体断面に生じる湿度勾配により、水中条件ではコンクリート中の水が表層部から中心部に移動する挙動を示すものと考えられる。一方、乾燥条件における水分移動はこれと逆と考えられる。これは 3.2 で示した乾燥条件、水中条件における引張クリープ挙動の特徴と共通している。

4. まとめ

- (1) 高強度コンクリートの若材齢引張クリープは乾燥、封緘、水中条件の順に大きくなった。
- (2) シリカフェームを混入すると封緘及び水中条件では応力強度比によらず、ある材齢から引張応力下で見かけのクリープが圧縮になる。
- (3) 高強度コンクリートの若材齢引張クリープの算出時はひずみの重ね合わせの原理が適用できない可能性がある。

(謝辞)

本試験を終わるに当たり、広島大学米倉亜州夫教授には終始にわたりご指導いただいたこと、並びに実験に協力して頂いた広島工業大学 4 年生の山内、田淵、中原、深田君に深謝する次第です。

参考文献

- (1) Trinh, J.L : Time Dependent Behavior of High Strength Concrete Dimension Effect 4th International Symposium on Utilization of High Strength/High-performance Concrete Paris 1996
- (2) 田澤 栄一, 宮沢 伸吾, 佐藤 剛 : 自己収縮に及ぼすセメント化学組成の影響, セメントコンクリート論文集 No.70,1993,pp528~pp533