

V-6 コンクリートのクリープ及び乾燥収縮の長期測定例

室蘭工業大学 フェロー 尾崎 訓
室蘭工業大学 正 員 菅田紀之

1. はじめに

コンクリートのクリープ及び乾燥収縮は時間依存変形の影響をコンクリート構造物の設計に反映させる上で極めて重要なコンクリートの特性である。この値を正確に見積もるためには適用可能な資料を得るための長期にわたる測定を必要とし、そのようなデータに基づいた精度の高い予測値が望まれている。

土木学会では従来、外国の研究結果を参照し、旧コンクリート標準示方書ではCEBの予測式を解説に示し、これを用いてきたが、平成8年度に改定された新しいコンクリート標準示方書では国内の研究結果による新しい予測式を採用している。¹⁾

著者等は、1985年に高強度コンクリートのクリープ測定も可能な大型バネ式クリープ試験装置を製作し、その後約10年間にわたって2種類のコンクリートのクリープを測定してきた。その結果を長期測定の一例として発表し、今回改定された土木学会のコンクリート標準示方書による予測値等とも比較してみる。

2. クリープ試験装置

一般に用いられている圧縮クリープ試験機は、コイルスプリング式、油圧式、てこ式等である。コイルスプリング式は偏心荷重が架かりがちで、大きな荷重には不向きであるが、広いスペースを必要としないので最も一般的な方式である。これに対し油圧式は荷重範囲が広く、荷重の安定性も良いが、高価であり、てこ式は荷重の安定性が良く、調整も簡単であるが広いスペースを必要とし大きな荷重には不向きである。

当実験室ではコンパクトで廉価なことを考慮し、コイルスプリング方式を採用したが、高強度コンクリートのクリープ試験を念頭に置き大容量の大型コイルスプリングを採用する傍ら、引っ張り反力を取る3本の鋼棒にコンタクトボールを埋め込み、電気抵抗線ひずみ計も設置して3本の鋼棒のひずみから荷重をチェックし、偏心荷重が架からぬよう配慮した。なお、コイルスプリング方式の装置に要求される性能は、載荷後の応力減退をできるだけ小さくするために、載荷時のコイルスプリングの圧縮変形量を予想されるクリープ及び乾燥収縮による変形量に比べて十分大きくすることである。ここでは1%程度の応力減退にとどめた。

クリープ試験装置を図-1に示す。通常のコイルスプリング方式に比べ大型のコイルスプリングを使用しており、その諸元を表-1に示す。

引張によって荷重を支える長さ1312mmの鋼棒はM24のS45Cとし、コイルスプリングの内側に設置すべく、厚さ30mmの加圧鋼板の半径166mmの位置に直径25mmの穴を開けて鋼棒を通し、六角ナットで組み立てている。4枚の鋼板は、コイルスプリング、供試体、油圧ジャッキを押えるための厚さと大きさを必要とするが、最上部の鋼板は載荷後、

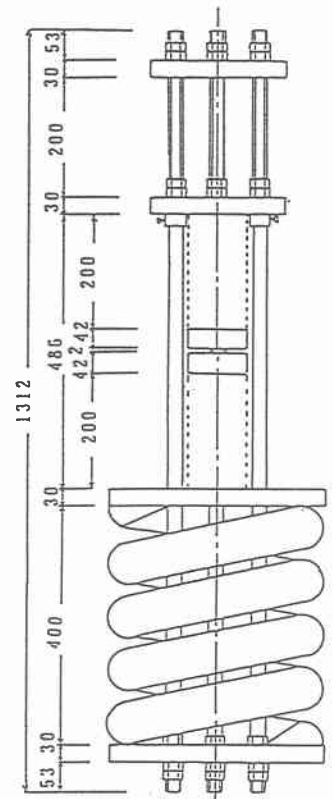


図-1. クリープ試験装置

ジャッキを取り外してしまえば必要ない。

供試体の長さは 400mm、または 200 mm のものを2本直列に、圧縮載荷できるように、42 mm 厚さの2枚の加圧版の間に 2 mm の隙間を保持して直径 25.4mm の球を挟んだ球面座を設置している。

このクリープ試験装置は恒温恒湿室に設置し、10年以上に亘って、温度は 20 ℃、湿度は 60 %に保ってきた。

3. クリープ測定供試体

(1) 普通セメントを用いたコンクリートの場合

使用材料としては、セメントは比重3.16の普通ポルトランドセメント、細骨材は比重2.68の海砂、粗骨材は比重2.67の碎石、このほかA E剤と減水剤を用いた。配合はプレストレストコンクリートを想定して設計基準強度 40 MPa (400 kgf/cm²) ～を目標に、表－2のような配合とした。

クリープ試験には28日間水中養生した直径 10cm、高さ20 cm の供試体を用いたが、圧縮強度 45.4 MPa (463 kgf/cm²)、弾性係数は 31.2 GPa (319,000 kgf/cm²) であった。

表－1. コイルスプリングの諸元

材質	S U P 10
材料直径	70 mm
コイル内径	230 mm
コイル外径	370 mm
巻き数	4.6
自由高さ	400 mm
密着高さ	322 mm
設計荷重	15 tf
たわみ	52 mm
バネ定数	290 kgf/mm

表－2. 普通ポルトランドセメントを用いたP C用コンクリートの配合

最大寸法 (cm)	スランプ (%)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セメント	細骨材	粗骨材	A E剤	減水剤
20	8.0	4.0	40	41	142	355	770	1104	95 cc	1755cc

(2) 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの場合

使用材料としては、比重 3.12 の早強ポルトランドセメントに比重 2.90 で比表面積 8000 cm²/g の高炉スラグ微粉末を 50 %ブレンドした比重 2.96 の結合材、細骨材としては比重 2.92 の高炉スラグ細骨材と比重 2.76 の海砂、粗骨材は比重 2.65 の碎石を用いた。配合は、設計基準強度 70 MPa (700 kgf/cm²) の高強度コンクリートを想定して、表－3. のような配合とした。

クリープ試験には28日間水中で養生した直径 10 cm、高さ 20 cm の供試体を用いたが、その圧縮強度は 69.4 MPa (708 kgf/cm²)、弾性係数はクリープ試験時の歪から 32.7 GPa (334,000 kgf/cm²) であった。

表－3. 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの配合

最大寸法 (cm)	スランプ (%)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水	セメント	スラグ 微	スラグ 細	細骨材	粗骨材
15	8.0	2.0	41	44	171	209	209	278	541	996

4. クリープの測定と試験結果

クリープの測定では、コンタクトゲージ用のプラグを2対設置した供試体を2本重ねてセットし、圧縮強度の 30 %の応力でジャッキによって載荷した。載荷時には 載荷応力の1/2の時点で、各測定点における歪の差が 10 %未満に成るように偏心載荷を修正して載荷した。

載荷重は油圧ジャッキの圧力計による他、3本の鋼棒に2枚ずつ貼った電気低抗線歪計の歪測定結果に鋼棒の弾性係数と断面積を乗じて求まる引張力から確認した。ただし、長期の力は3本の鋼棒に2対ずつ埋め込んだコンタクトボールの標点間距離の変化による歪の測定結果から求まる引張力で確認している。

クリープ試験装置にセットされたコンクリート供試体の歪測定は、温度 20℃、湿度 60% の一定環境下において約 10 年間続けて来たが、この側に乾燥収縮測定用供試体を置き、その歪も同時に測定して来た。

試験結果について記すと、

(1) の普通セメントを用いたコンクリートの場合、載荷時の荷重は 107 kN (11 tf)、コンクリートの応力度は 13.6 MPa (139 kgf/cm²)、歪は 449×10^{-6} である。逆算による弾性係数は 30.3 GPa となる。

測定は1985年12月に開始し、1996年11月までの11年間のデータを用いた。この試験結果を図-2. にまとめて示す。

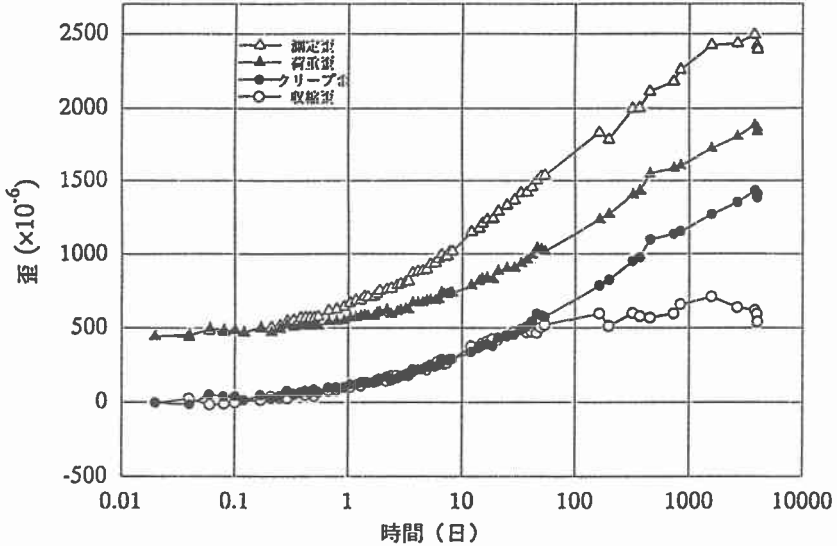


図-2. 普通セメントを用いたコンクリートのクリープ及び乾燥収縮歪の試験結果

(2) の高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの場合、載荷時の荷重は 163 kN (16.6 tf)、コンクリートの応力度は 20.8 MPa (212 kgf/cm²)、歪は 635×10^{-6} である。弾性係数は 32.7 GPa となる。

測定は1988年9月に開始し、1996年11月までの8年2ヵ月間のデータを用いた。この試験結果を図-3 にまとめて示す。

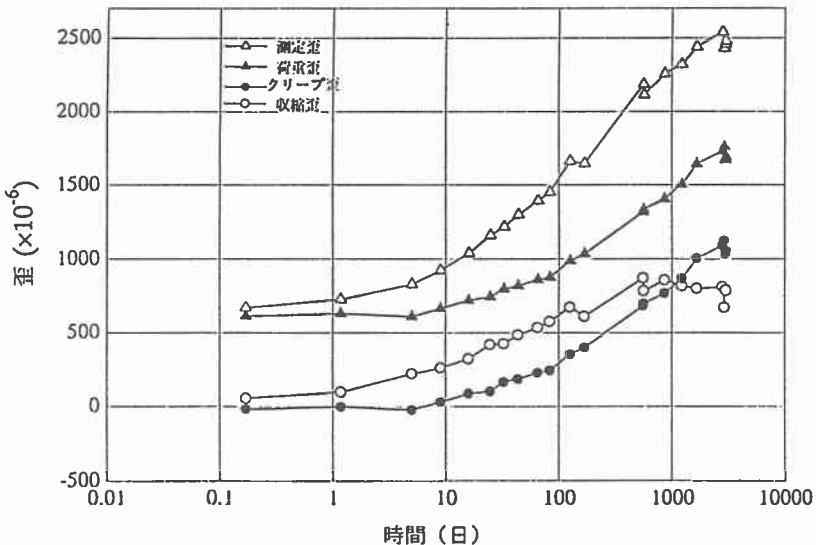


図-3. 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートのクリープ及び乾燥収縮歪の試験結果

5. 測定結果と予測値との比較

平成8年制定の土木学会コンクリート標準示方書では、有効材齢 t' に載荷されたコンクリートの有効材齢 t における単位応力当りのクリープ歪の予測値について、単位応力当りの基本クリープ歪の最終値と乾燥クリープ歪の最終値との和としての、単位応力当りのクリープ歪の最終値から求める予測式を示している。影響因子としては、セメント量、水量、水セメント比のほか、載荷時材齢、体積表面積比、相対湿度、乾燥開始時材齢を考慮している。また、コンクリートの有効材齢 t_0 から t までの収縮歪の予測についても同様に、相対湿度、水量、体積表面積比をパラメーターとして、収縮歪の最終値から求める予測式を示している。

ただし、これらの式は普通ポルトランドセメントを対象としたものであり、体積表面積比が $100\text{mm} \leq V/S \leq 300\text{mm}$ の範囲内に限定されており、本実験のように小さな供試体には直接適用できないが、 $V/S=25\text{mm}$ として、これら予測式との比較を試みる。そこでまず、予測式を用いて計算してみると、次の結果を得る。

(1) の普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの場合、4000日における単位応力当りのクリープ歪の予測値は最終値と同じ $36.6 \times 10^{-6} / (\text{N}/\text{mm}^2)$ 、乾燥収縮歪も最終値と同じで 700×10^{-6} となる。

(2) の高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの場合、3000日における単位応力当りのクリープ歪の予測値は最終値と同じ $53.1 \times 10^{-6} / (\text{N}/\text{mm}^2)$ 、乾燥収縮歪も最終値と同じで 771×10^{-6} となる。

単位クリープ歪について予測式と測定値とを比較すると、それぞれ図-4. 及び図-5. のようになる。

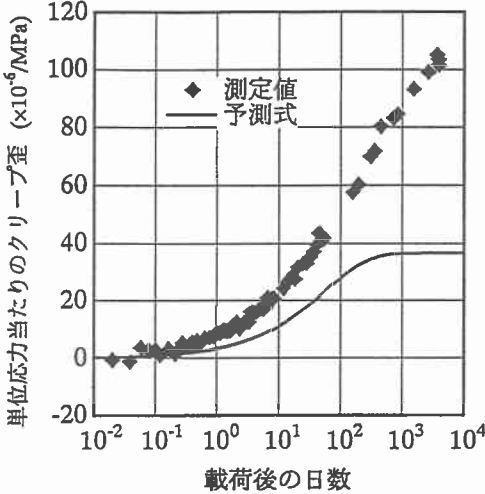


図-4. 普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの単位応力当りクリープ歪

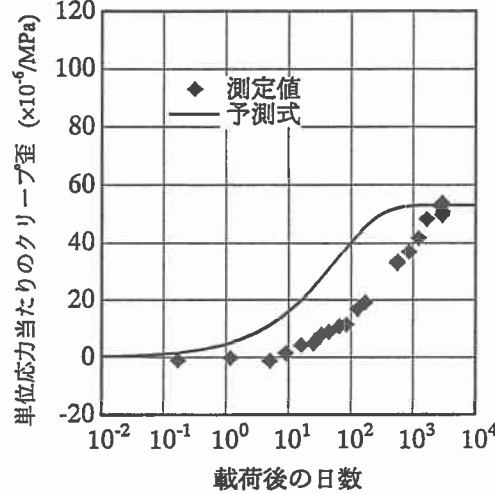


図-5. 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの単位応力当りのクリープ歪

6. まとめ

クリープ試験を開始した1985年に示されていた JIS原案²⁾ は未だ実現していないが、ある程度これも考慮して装置を試作し、温度20℃、湿度60%の環境下で実施した約10年間の試験結果から次のことが分かった。

- (1) 土木学会のコンクリート標準示方書に記されている予測式とは異なり、コンクリートの圧縮クリープは予測値より2倍以上も大きな値を示し、約10年を経過しても収斂せずに未だ増加傾向にある。
- (2) 高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの場合のクリープは小さいが、短期の増加が極めて小さい特徴がある。高炉スラグ微粉末をセメントと見做した予測値は長期では測定値と似た値を示す。
- (3) 旧示方書では小さく見積もられていた乾燥収縮歪の測定値は、新示方書の予測式とほぼ一致した。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年版）設計編，（1996年）pp.26-33
- 2) JIS 原案：コンクリートの圧縮クリープ試験方法（案），コンクリート工学 Vol.23, No.3（1985年）pp.55-56