

論文 若材齢コンクリートのクリープポアソン比に関する実験的検討

小澤 満津雄*1・嶋田 久稔*2・森本 博昭*3

要旨: 初期応力解析にクリープポアソン比を導入する基礎的資料を得るため, 載荷材齢を 1,3 日として若材齢コンクリートのクリープポアソン比を実験的に検討した。その結果, クリープポアソン比は弾性ポアソン比(載荷材齢 1 日: 0.13 程度, 載荷材齢 3 日: 0.11 程度)と比べて, 載荷初期に小さな値(載荷材齢 1 日: 0.01 程度, 載荷材齢 3 日: 0.07 程度)を示すが, 載荷期間が長くなると弾性ポアソン比に比べ, やや大きくなる(載荷材齢 1 日: 0.2 程度, 載荷材齢 3 日: 0.15 程度)ことが明らかとなった。

キーワード: 若材齢コンクリート, クリープポアソン比, 弾性ポアソン比, 載荷材齢

1. はじめに

コンクリート構造物の温度応力などの初期応力解析を行うには, 若材齢期からのクリープを合理的に評価する必要がある。クリープを考慮する際, クリープ関数を求め, 重ね合せ理論により解析に組み込んでいる。その際, 弾性ポアソン比だけでなく, クリープに対するポアソン比を組み込む必要がある。しかし, 載荷軸方向の変形に比べ, 載荷軸直角方向の変形は, 極めて小さいために弾性ポアソン比およびクリープポアソン比の正確な値を求めることは困難であり, 報告も少ないのが現状である。一般的に, 長期材齢(28 日以降)の弾性ポアソン比 ν_e は 0.15~0.22 の範囲にあると言われている¹⁾。一方, 長期材齢のクリープポアソン比 ν_{cr} は, 現在までに種々の報告がなされ, 0 または非常に小さいとする説²⁾や通常のポアソン比と等しいとする説³⁾などがあり, その値にはばらつきがある。

多軸応力状態においてはクリープポアソン比 (0.09~0.17) は一軸応力状態のクリープポアソン比(0.17~0.20)よりも小さくなるという報告⁴⁾と, 多軸応力状態の方が大きくなるという報告⁵⁾がある。しかし, 若材齢期を対象としたクリープポアソン比についての報告は極めて少ないのが

現状である。そこで, 本研究では初期応力解析にクリープポアソン比を導入する基礎的資料を得るため, 載荷材齢を 1,3 日として, 若材齢期からのクリープポアソン比の計測を行った。また, 弾性ポアソン比との比較も行った。

2. 初期応力解析におけるクリープポアソン比

初期応力解析におけるクリープひずみ増分は式(1)~(4)で求めることができる。

$$\Delta\{\varepsilon_{cr}\} = [D_o] \frac{\partial C(t, t')}{\partial t} \cdot \frac{\partial \{\sigma\}}{\partial t'} dt' \quad (1)$$

$$\Delta\{\varepsilon_{cr}\}^T = [\varepsilon_{cx}, \varepsilon_{cy}, \varepsilon_{cz}, \gamma_{cxy}, \gamma_{cyz}, \gamma_{czx}] \quad (2)$$

$$\{\sigma\}^T = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}] \quad (3)$$

$$[D_o] = \begin{bmatrix} 1 & -\nu_{cr} & -\nu_{cr} & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & -\nu_{cr} & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & 2(1+\nu_{cr}) & 0 & 0 \\ & & & & 2(1+\nu_{cr}) & 0 \\ & & & & & 2(1+\nu_{cr}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここに, $\{\varepsilon_{cr}\}$: クリープひずみベクトル, $\{\sigma\}$: 応力ベクトル, $C(t, t')$: クリープ関数, t : 材齢, t' : 載荷材齢, ν_{cr} : クリープポアソン比, $[D_o]$:

*1 岐阜大学 工学部社会基盤工学科助手 博士(工学) (正会員)

*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (非会員)

*3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

応力-クリープひずみマトリックス

図-1 に荷重軸方向(以下, Y 方向)と荷重軸直角方向(以下, X 方向)の弾性ひずみ ϵ_e とクリープひずみ ϵ_{cr} の関係を示す。全ひずみ ϵ_{all} には, 弾性ひずみとクリープひずみおよび自由収縮ひずみ(ダミー供試体ひずみ) ϵ_{dammy} の和と仮定し, Y 方向および X 方向のひずみはそれぞれ式(5),(6)で表すことができる。

$$\epsilon_{allY} = \epsilon_{ey} + \epsilon_{cry} + \epsilon_{dammy} \quad (5)$$

$$\epsilon_{allX} = \epsilon_{ex} + \epsilon_{crx} + \epsilon_{dammy} \quad (6)$$

ここに, $\epsilon_{allY}, \epsilon_{allX}$: Y 方向および X 方向の全ひずみ($\times 10^{-6}$), $\epsilon_{ey}, \epsilon_{ex}$: Y 方向および X 方向の弾性ひずみ($\times 10^{-6}$), $\epsilon_{cry}, \epsilon_{crx}$: Y 方向および X 方向のクリープひずみ($\times 10^{-6}$), ϵ_{dammy} : ダミー供試体のひずみ($\times 10^{-6}$)

弾性ひずみとクリープひずみを分離することにより, 弾性ポアソン比 ν_e とクリープポアソン比 ν_{cr} はそれぞれ式(7),(8)によって求めることができる。

$$\nu_e = \epsilon_{ex} / \epsilon_{ey} \quad (7)$$

$$\nu_{cr} = \epsilon_{crx} / \epsilon_{cry} \quad (8)$$

ここに, ν_e : 弾性ポアソン比, ν_{cr} : クリープポアソン比

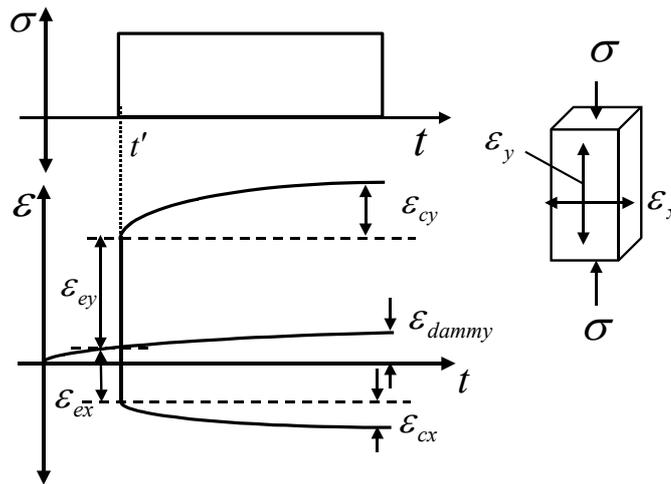


図-1 弾性ひずみとクリープひずみの関係

表-1 供試体の種類

荷重材齢	供試体の種類	寸法	ひずみゲージ配置方向
		(mm)	
1	クリープ	150*150*450	Y, X方向
	ダミー	100*100*400	Y方向
3	クリープ	150*150*530	Y, X方向
	ダミー	100*100*400	Y方向

3. 実験概要

表-1 に供試体の種類を示す。荷重材齢は 1 日と 3 日とし, クリープ供試体とダミー供試体を作製した。図-2 に供試体の形状寸法を示す。供試体は, 断面を 150×150mm とし, 長さは荷重材齢 1 日と 3 日でそれぞれ 450mm と 530mm とした。ひずみの計測には埋め込み型ひずみゲージ (T 社製 KM - 50F) を用い, 供試体中央部の荷重軸方向(以下, Y 方向とする)と荷重軸直角方向(以下, X 方向とする)にそれぞれ 1 本ずつ配置した。また, 寸法 100×100×400mm のダミー供試体を作製した。ダミー供試体を同環境に設置し, 長手方向のひずみを計測して, クリープ供試体の全ひずみからダミー供試体のひずみを差し引くことによってクリープひずみを求めた。使用したコンクリートの示方配合を表-2 に示す。セメントは普通セメント(比表面積: 3360cm²/g, 密度: 3.15g/cm³)を用いた。水セメント比は 57% とした。細骨材は長良川産砂 (密度: 2.62 g/cm³, FM: 2.63) を用いた。粗骨材は長良川産碎石 (密度: 2.61 g/cm³, 最大寸法: 25mm) を用いた。混和剤には AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体)を用いた。

表-2 示方配合

w/c	s/a	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad
(%)	(%)					
57	44.2	180	316	851	926	3.16

Gmax : 25mm, Ad : AE 減水剤

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

载荷材齢 (日)	スランプ (cm)	Air (%)	温度 (°C)
1	8.7	5.5	18
3	7	4.4	15

表-4 圧縮強度と弾性係数

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
1	8.0	13.3
3	16.3	21.2
7	26.2	25.3
14	32.6	27.3
28	34.3	28.5

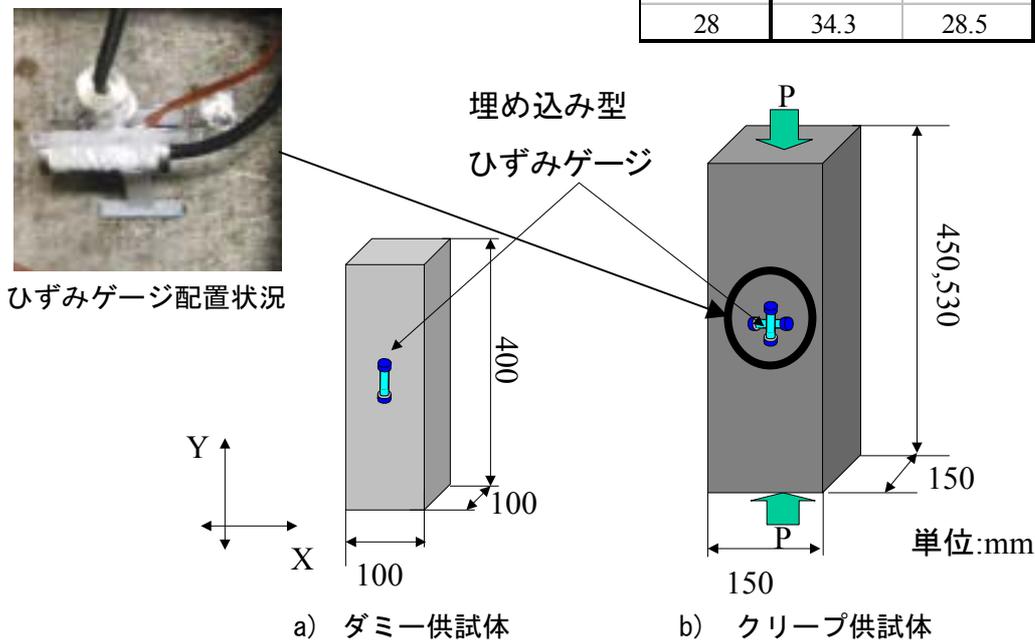


図-2 供試体形状・寸法

使用したフレッシュコンクリートのスランプと空気量および温度を表-3に示す。供試体には乾燥を防ぐためにアルミ箔テープによる封緘処理を行った。図-3に本研究で使用した圧縮クリープ試験装置を示す。図に示すように、最大容量500kNの油圧ジャッキを用い载荷を行った。供試体は、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ および湿度 $75 \pm 5\%$ の恒温恒湿室に設置した。所定の荷重を供試体に载荷後、データロガーにより1時間毎に供試体のひずみと荷重を計測した。各载荷材齢において実施した強度試験より得られた強度の40%を载荷応力として载荷した。表-4に圧縮強度と弾性係数の試験結果の一例を示す。

4. 実験結果

4.1 ダミー供試体ひずみの経時変化

図-4に载荷材齢3日におけるダミー供試体ひずみの経時変化を示す。図より、材齢20日で 100×10^{-6} 程度の収縮を示した。この値を用いて、全ひずみからダミー供試体ひずみを差し引くことにより、クリープひずみを求めた。

4.2 载荷応力と全ひずみの経時変化

図-5に载荷材齢1日の全ひずみの経時変化を示す。図より、载荷直後のY方向ひずみは 330×10^{-6} 程度の弾性ひずみが生じ、その後、クリープひずみが生じ、材齢20日で総計 400×10^{-6} 程度となった。それに対し、X方向の弾性ひずみは

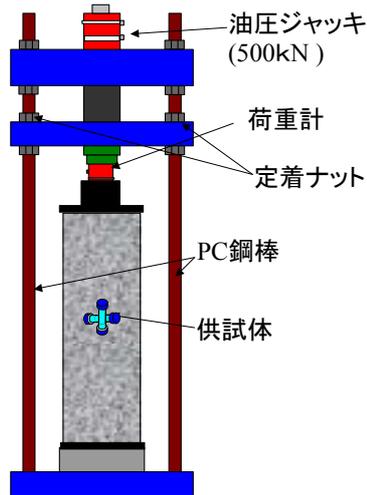


図-3 圧縮クリープ荷重試験装置

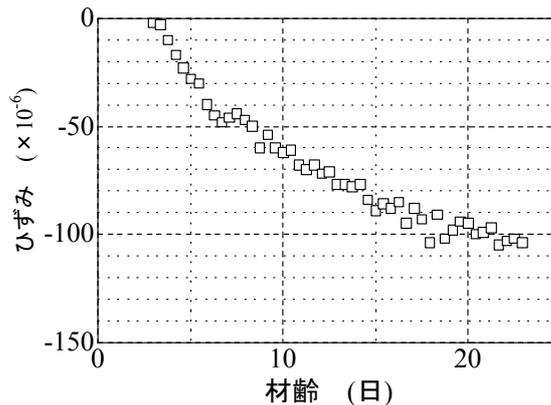


図-4 ダミー供試体ひずみの経時変化
(荷重材齢：3日)

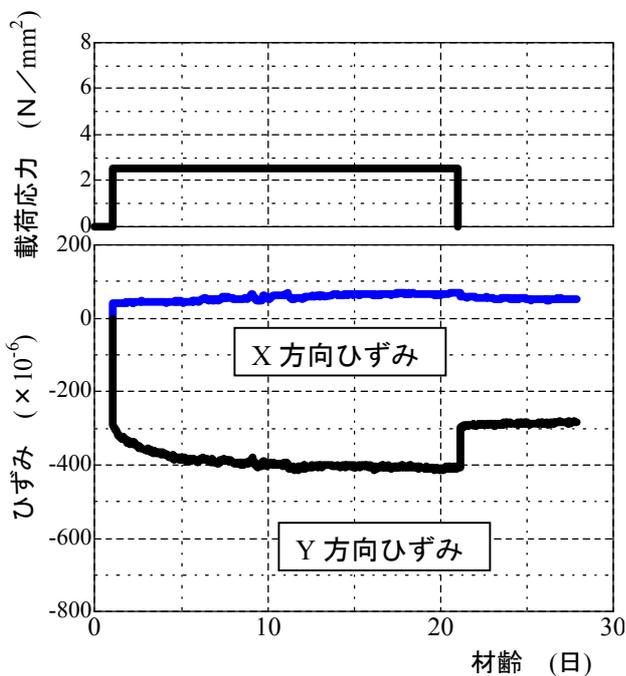


図-5 荷重応力と全ひずみの経時変化
(荷重材齢 1日)

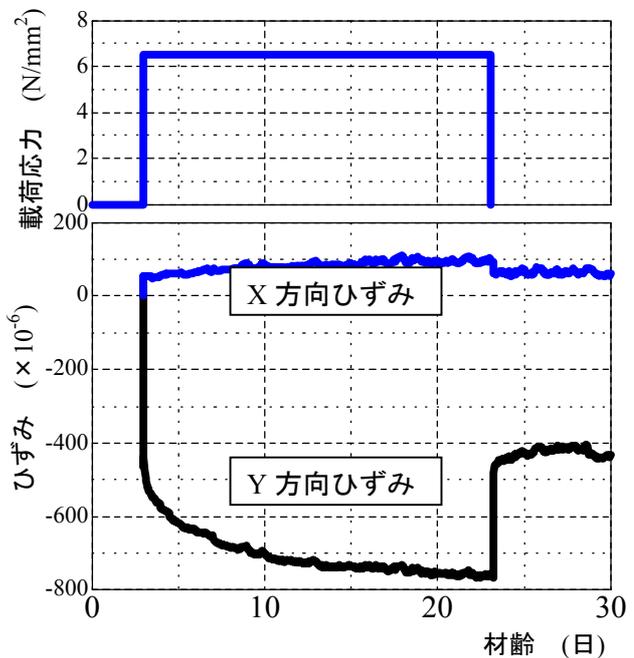


図-6 荷重応力と全ひずみの経時変化
(荷重材齢 3日)

43×10^{-6} 程度であり、その後、クリープひずみが生じ、材齢 20 日では 65×10^{-6} 程度であった。次に、図-6 に荷重材齢 3 日の全ひずみの経時変化を示す。図より、Y 方向に -440×10^{-6} 程度の弾性ひずみが生じ、その後、クリープひずみが生じ、材齢 20 日で総計 -760×10^{-6} 程度となった。それに対し、X 方向の弾性ひずみは 50×10^{-6} 程度であり、材齢 20 日では 100×10^{-6} 程度であった。いずれのケースも、Y 方向の変形に比べて、X 方向の変形が小さいことが確認された。荷重材齢 1 日および 3 日における荷重直後の弾性ポアソン比はそれ

ぞれ 0.13 と 0.11 程度であった。弾性ポアソン比については、通常 0.15~0.22 の範囲という報告¹⁾があるが、若材齢コンクリートについて計測した今回の値はそれよりも小さな値となった。

4.3 単位応力あたりのクリープひずみとクリープポアソン比の経時変化

図-7 に荷重材齢 1 日の Y および X 方向の単位応力あたりのクリープひずみ(以下、単位クリープひずみ)およびクリープポアソン比の経時変化を示す。図より、Y 方向の単位クリープひずみは荷重直後から進行し、荷重期間 10 日までは-40

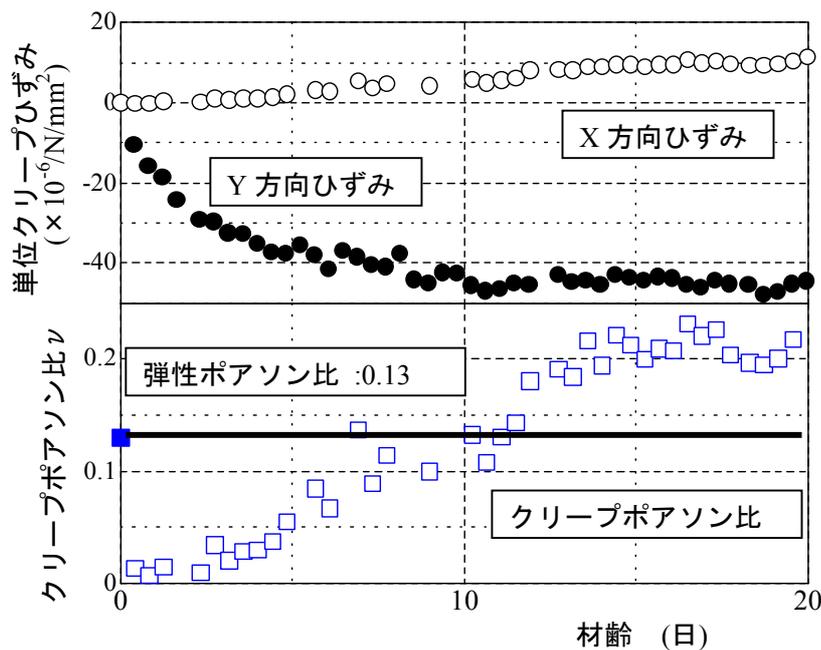


図-7 単位クリープとクリープポアソン比の経時変化(載荷材齢1日)

$\times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ 程度となり、その後収束する傾向となった。一方、X方向の単位クリープひずみは載荷期間5日まであまり発現せず、載荷期間10日で $5 \times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり、載荷期間20日では $10 \times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ 程度となった。クリープポアソン比は、載荷後0.01程度と小さいが、載荷期間が進むと徐々に大きくなり、載荷期間13日で0.2程度となり、一定値に収束する傾向が見られた。図-8に載荷材齢3日のY方向とX方向の単位クリープひずみおよびクリープポアソン比の経時変化を示す。図より、Y方向の単位クリープひずみは載荷直後から進行し、載荷期間10日までは $-43 \times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ 程度となり、その後収束する傾向となった。一方、X方向の単位クリープひずみは、載荷期間10日で $5 \times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり、載荷期間10日では $10 \times 10^{-6}/\text{N}/\text{mm}^2$ となった。クリープポアソン比は、載荷後0.07程度であるが、載荷期間が進むと0.15程度に収束する傾向が見られた。

4.4 載荷材齢とクリープポアソン比の関係

前節において、クリープポアソン比の経時変化について述べたが、載荷材齢とクリープポアソン

比の関係について考察する。載荷材齢1日のケースは、載荷期間5日までクリープポアソン比は0.01程度と小さい。しかし、材齢が進行していくと0.2程度に落ち着く傾向が見られた。これは、コンクリートの骨格がまだ脆弱なためと解釈することが可能である。コンクリートの水和が進行していくと骨格の形成によりX方向へ応力が伝達され、X方向の変形も増加していくと推察される。一方、載荷材齢3日のクリープポアソン比は載荷材齢1日より水和による骨格形成が進んでいるため、載荷初期より0.07程度の値を示していると推察される。

以上のことより、載荷材齢の影響によって、クリープポアソン比は変化し、さらに載荷期間によっても変化することが明らかとなった。

4.5 弾性ポアソン比とクリープポアソン比の比較

図-7より載荷材齢1日の弾性ポアソン比は、0.13程度である。クリープポアソン比は材齢初期に0.01と小さく材齢が進行すると0.2程度となり、弾性ポアソン比よりも若干大きくなった。一方、図-8より載荷材齢3日の弾性ポアソン比は、0.11

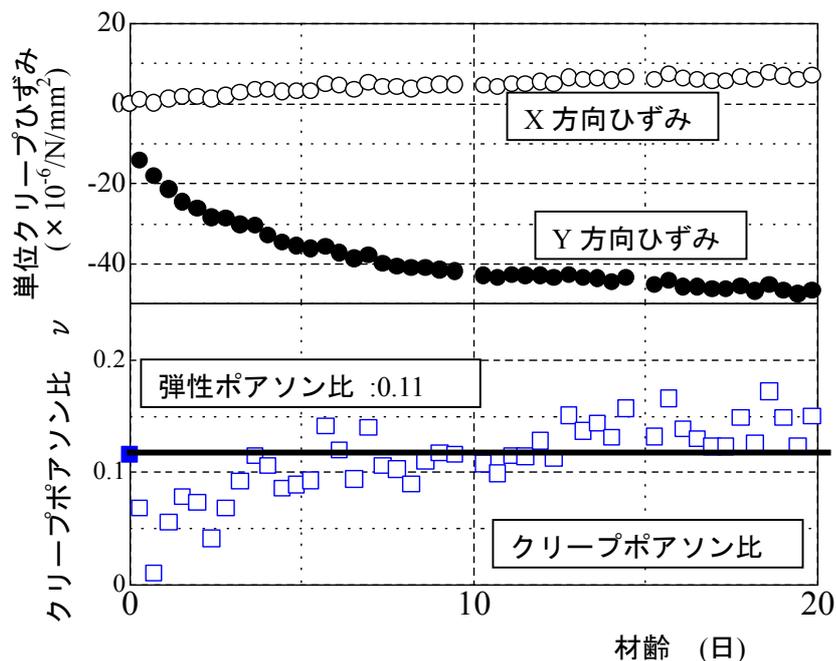


図-8 単位クリープとクリープポアソン比の経時変化(荷材齢1日)

程度である。クリープポアソン比は材齢初期に0.07程度と小さく、材齢が進行すると0.15程度となった。以上より、クリープポアソン比は弾性ポアソン比と比べて、荷初期に小さな値を示すが、材齢が進行していくとやや大きな値となることが分かった。今回の結果は、長期材齢時の弾性ポアソン比よりも小さい結果となったが、長期材齢の試験結果との比較は今後の検討課題とした。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 荷材齢1日のクリープポアソン比は、荷直後、0.01程度と小さいが、荷期間が進むと徐々に大きくなり、荷期間13日で0.2程度となり、一定値に収束する傾向が見られた。
- 2) 荷材齢3日のクリープポアソン比は、荷後0.07程度であるが、荷期間が進むと0.15程度に収束する傾向が見られた。
- 3) クリープポアソン比は弾性ポアソン比と比べて、荷初期に小さな値を示すが、材齢が進行していくと弾性ポアソン比に比べ、やや大きく

なることが明らかとなった。

今後、荷材齢の影響等について、データの蓄積し、式(4)中のポアソン比に実験で得られた弾性およびクリープポアソン比を導入する過程については、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) A.M.Neville,三浦尚訳；ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂, pp520~522, 2004
- 2) Ross,A,D :Experimental on the creep of Concrete Under Two-Dimensional Stressing, Magazine of Concrete Research (London), pp.3-10, V.6. No.16, June 1954
- 3) Polivka,M., Pirtz, D. and Adams,R.F. :Studies of Creep in Mass Concrete, Symposium on Mass Concrete, SP-6, ACI, Detroit,pp.257-283,1963,
- 4) A.M.Neville ; Creep Poisson's Ratio of Concrete Under Multi-axial Compression, ACI JOURNAL, pp.1008~1021, 1969
- 5) 大岸佐吉,小野博宣, 山川久：立体コンクリートの常温一軸, 二軸, 三軸クリープ試験, 第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp.169-172, 1980