

# 論文 超軽量コンクリートを用いた PC スラブ桁のクリープ・乾燥収縮に関する研究

田附 伸一<sup>\*1</sup>・大庭 光商<sup>\*2</sup>・石川 雄康<sup>\*3</sup>・濱田 謙<sup>\*4</sup>

**要旨：**造粒型人工軽量骨材を使用したコンクリート単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$  を、鉄道橋 RC 単純桁に用いて、試験的にプレストレスを導入してクリープ・乾燥収縮ひずみを計測し、単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$ 、 $1.50 \text{ t/m}^3$ 、 $1.80 \text{ t/m}^3$  の 3 種類の供試体を温度、湿度を一定管理した条件下で、クリープ・乾燥収縮ひずみ測定を行った。その結果、供試体では単位容積質量が小さいほど、乾燥収縮ひずみ、クリープ係数は大きくなる傾向を示した。単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$  の無筋コンクリートの乾燥収縮ひずみは、 $600 \times 10^{-6}$  程度を考慮すればよくクリープ係数は、土木学会標準示方書の値を用いることで安全側に設計が可能となる。

**キーワード：**造粒型人工軽量骨材、クリープ、乾燥収縮、軽量骨材コンクリート

## 1. はじめに

近年、高性能軽量コンクリートが開発されたことによるコンクリート構造物の大規模化、軽量化に注目が集まっている。膨張頁岩を主原料とした従来の軽量コンクリートは軽量骨材の吸水率の高さから、ポンプ圧送性に課題があり、適用範囲が限られるものであった。

このような背景から、従来の軽量骨材より吸水性が低く、かつ高強度な造粒型人工軽量骨材<sup>1)</sup> (以下、高性能軽量骨材と記す) が開発された。

高性能軽量骨材を使用したコンクリートの特性を有効に活用するには、PC 橋梁等の長大化、大断面化、軟弱地盤上における施工等の利用が考えられる。その中で特に、長大スパン橋梁に適用するためには、高性能軽量骨材のクリープ特性を明らかにすることが必要となるが、クリープ特性は使用する骨材の種類など種々の要因により、かなり相違することが知られている<sup>2)</sup>。

今回、骨材に高性能軽量骨材を用いた小規模な鉄道橋の RC 単純スラブ桁に、試験的に PC 鋼棒 ( $\phi 32 \text{ mm}$ ) でプレストレスを導入し、各種ひずみ等の計測を行った。また、単位容積質量を変えた 3 種類の供試体

においてもひずみ計測をあわせて行った。

本文では、高性能軽量骨材を使用したコンクリートのクリープ・乾燥収縮特性について検討した内容を報告する。

## 2. 使用材料および配合

表-1 に実橋および供試体の使用材料を示す。

単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$ 、 $1.50 \text{ t/m}^3$ 、 $1.80 \text{ t/m}^3$  の供試体の使用材料は、実橋と同様のものであるが、単位容積質量  $1.50 \text{ t/m}^3$ 、 $1.80 \text{ t/m}^3$  の細骨材 (S) は、陸砂を大井川産川砂に変えて使用している。なお、実橋の単位容積質量は  $1.25 \text{ t/m}^3$  とした。

表-2 に実橋のコンクリート配合、表-3 に各供試体のコンクリート配合を示す。

単位容積質量  $1.80 \text{ t/m}^3$  の供試体では、粗骨材のみにおいて軽量骨材を使用した。

なお、コンクリートの水セメント比 (W/C) は全て 35% とした。

## 3. 構造概要および計測概要

3 種類の供試体は、温度  $20^\circ \text{C}$ 、湿度 60% で一定管理した恒温室内において、クリープ・乾燥収縮ひずみの計測を行った。計測に用いた供試体は、 $\phi 150 \text{ mm}$

\*1 JR 東日本 (株) 東北工事事務所 工事管理室 課員 (正会員)

\*2 JR 東日本 (株) 東北工事事務所 山形工事区 区長 (正会員)

\*3 太平洋セメント (株) 清澄研究所 超軽量コンクリート技術グループ リーダー 工修 (正会員)

\*4 ドーピー建設工業 (株) 技術センター 主任研究員 (正会員)

表-1 使用材料

使用材料	種類	物性または主成分
セメント (C)	早強ポルトランドセメント	密度3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材 (S)	真珠岩系人工軽量骨材	絶乾密度：1.10g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：5.4%
	造粒型廃ガラス骨材	絶乾密度：0.73g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：4.2%
	高強度軽量フィラー	絶乾密度：0.74g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：0%
	陸砂	表乾密度：2.56g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：2.9%
	川砂	表乾密度：2.61g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：1.4%
粗骨材 (G)	真珠岩系人工軽量骨材※1	絶乾密度：0.88g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：4.0%
	真珠岩系人工軽量骨材※2	絶乾密度：1.09g/cm <sup>3</sup> 24hr吸水率：2.6%
混和剤	高性能A E減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系 (標準型)
	A E剤 (AE)	変形アルキルカルボン酸化合物

※1：実橋および単位容積質量1.25t/m<sup>3</sup>

※2：単位容積質量1.50t/m<sup>3</sup>・1.80t/m<sup>3</sup>

表-2 実橋のコンクリート配合

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
					W	C	細骨材S				粗骨材 G	SP (%)	AE (%)
							I	II	III	陸砂			
30	15	35	47.3	5.0±1.5	150	430	137	69	48	79	308	0.85	0.009

注) SP：ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 I：真珠岩系人工軽量骨材 II：造粒型廃ガラス骨材  
III：高強度軽量フィラー

注) 軽量骨材は絶乾比重・天然骨材は表乾比重である。

表-3 供試体のコンクリート配合

単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
					W	C	細骨材S				粗骨材 G	SP (%)	AE (%)
							I	II	III	陸砂			
1.25	15	35	47.3	5.0±1.5	150	430	137	69	48	79	308	0.85	0.009

単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
					W	C	細骨材S				粗骨材 G	SP (%)	AE (%)
							I	II	III	川砂			
1.50	15	35	46.0	5.0±1.5	155	443	165	—	—	393	385	0.35	0.002
1.80			48.0				—	—	—	819			

注) SP：ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 I：真珠岩系人工軽量骨材 II：造粒型廃ガラス骨材  
III：高強度軽量フィラー

注) 軽量骨材は絶乾比重・天然骨材は表乾比重である。

×300mmのサイズを使用した。

荷重載荷方法は、油圧ジャッキを用いて行い、その後も一定荷重を保つようにした。供試体の計測状況を写真-1に示す。

ひずみ測定は、供試体表面にチップを埋込み、荷重載荷直後のチップ間の距離を基準として、材齢毎のチップ間の距離を測定することにより算出した。

初期導入応力は、供試体の圧縮強度が30N/mm<sup>2</sup>以上発現していることを確認後、圧縮強度の30%相当分を油圧ジャッキにより載荷し、弾性ひずみを計測した。計測は、この時点初期値として開始した。

供試体の乾燥収縮ひずみは、無載荷条件下で計測を行い、全ひずみから乾燥収縮ひずみを引くことでクリープひずみを算出した。

各供試体の計測は、荷重を載荷した直後のコンクリート材齢 17 日後から開始した。計測開始直後は 1 時間程度のピッチで計測を行い、材齢 19 日目以降からは徐々に測定間隔を大きくし、1 回/日～1 回/120 日程度の範囲で計測を行った。

次に実橋の計器の埋設箇所を図-1 に示す。

本橋梁は構造的には、鉄筋コンクリート桁として設計したものであるが、今回適用する高性能軽量骨材を用いたコンクリートのクリープ特性を把握するために、試験的に PC 鋼棒を用いてプレストレスを与えたものである。なお、実橋の引張鉄筋比は 1.27% である。表-4 に実橋のコンクリート応力度の設計値を示す。表中のプレストレス導入直後の値は、桁自重を含めた値である。

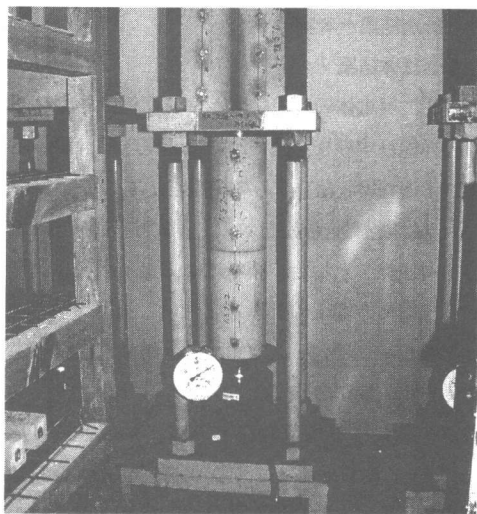


写真-1 供試体室内計測状況

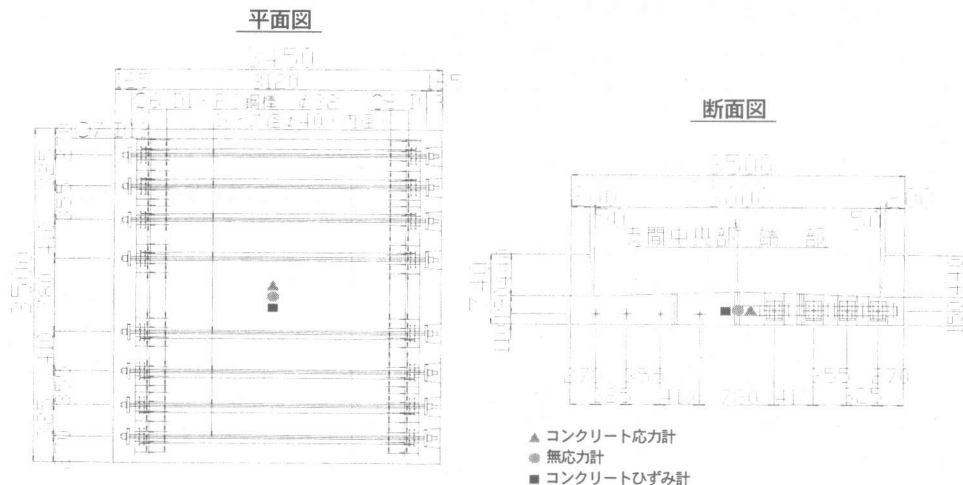


図-1 実橋概略図及び計器埋設箇所

設計値に用いたクリープ係数  $\phi$  は 2.8、乾燥収縮ひずみ  $\epsilon'cs$  は  $200 \times 10^{-6}$  として計算しており、表中の値は鉄筋の反力も考慮した値である。

なお、コンクリート応力計、無応力計、コンクリートひずみ計は、スラブ桁の図心に位置するように配置した。

スラブ桁は、コンクリート打設後 11 日目に PC 緊張を行い、材齢約 128 日経過後に架設作業を行った。

スラブ桁のひずみ計測は、PC 鋼棒を緊張する直前のコンクリート材齢 11 日目を初期値 0 として計測を開始した。

クリープひずみは、コンクリートひずみ計で得ら

表-4 コンクリート応力度

単位：N/mm<sup>2</sup>

	上縁	図心	下縁
プレストレス導入直後	-1.83	2.73	4.25
永久荷重作用時	1.01	1.03	1.24
変動荷重作用時	4.01	1.19	0.24

れた全ひずみから、無応力計で得られる乾燥収縮ひずみと、PC 鋼棒の緊張前後の増分値をコンクリート応力計で抽出して求めた弾性ひずみを差し引くことにより算出した。

スラブ桁の各種ひずみ等の計測頻度は、開始直後から毎日 0:00 と 12:00 の 2 回測定を行った。

#### 4. 計測結果と考察

##### 4. 1 供試体結果

表-5 に供試体の圧縮強度とヤング係数および初期導入弾性ひずみを、図-2 に恒温室内で計測した各供試体の乾燥収縮ひずみの結果を示す。

グラフは、横軸を測定日数(日)、縦軸をひずみ( $\times 10^{-6}$ ) [:-圧縮] とした。図中には、土木学会コンクリート標準示方書<sup>3)</sup>の計算式を用いて湿度 60% で算出した値を示している。なお、計算値は、温度による有効材齢の補正を行った。

計測の結果、乾燥収縮ひずみは、単位容積質量 1.50t/m<sup>3</sup>、1.80t/m<sup>3</sup> の 1.25t/m<sup>3</sup> の順で値が大きくなっており、特に単位容積質量 1.25 t/m<sup>3</sup> では、材齢 100 日程度までの増加が顕著である。また、材齢 300 日時点での乾燥収縮ひずみは、単位容積質量 1.50 t/m<sup>3</sup>、1.80t/m<sup>3</sup> が  $400 \times 10^{-6}$  程度で比較的類似した傾向を示すのに対して、1.25 t/m<sup>3</sup> では  $600 \times 10^{-6}$  程度と大きな値を示している。

単位容積質量 1.25 t/m<sup>3</sup> の値は、材齢 200 日程度で  $600 \times 10^{-6}$  となり、計算値の値と類似した傾向を示しているが、単位容積質量 1.50 t/m<sup>3</sup>、1.80t/m<sup>3</sup> は値が小さく、全体的には計算値より小さい傾向にあった。

図-3 に各供試体の単位クリープひずみを示す。

グラフの単位クリープ値は、初期導入応力度が必ずしも等しくないことから、クリープひずみを初期導入応力で除した値で示した。

単位クリープひずみは、単位容積質量 1.25t/m<sup>3</sup>、1.50t/m<sup>3</sup>、1.80t/m<sup>3</sup> の順で値が小さくなっており、単位容積質量が小さいほど発生する単位クリープひずみは大きくなった。特に、単位容積質量 1.50t/m<sup>3</sup> と 1.80t/m<sup>3</sup> では、単位クリープひずみの値に大きな差は見られないのに対し、単位容積質量 1.25t/m<sup>3</sup> は、単位クリープひずみの値が大きくなり 2 倍程度となっていることが分る。

図-4 には各供試体のクリープ係数の計測結果を示す。

クリープ係数は、単位容積質量 1.25t/m<sup>3</sup>、1.50t/m<sup>3</sup>、1.80t/m<sup>3</sup> の順で値が小さくなっており、材齢 300 日時点で、単位容積質量 1.25 t/m<sup>3</sup> でクリープ係数は 1.2、単位容積質量 1.50t/m<sup>3</sup> と 1.80t/m<sup>3</sup> では増加傾

表-5 供試体圧縮強度とヤング係数

単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	28日圧縮強度 (kN/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	弾性ひずみ ( $\mu$ )
1.25	32.7	12.2	-837
1.50	43.4	17.8	-829
1.80	55.4	23.3	-881

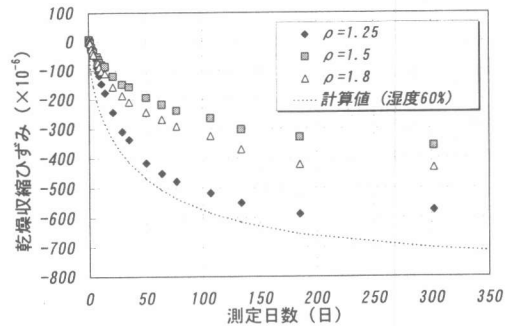


図-2 供試体乾燥収縮ひずみ

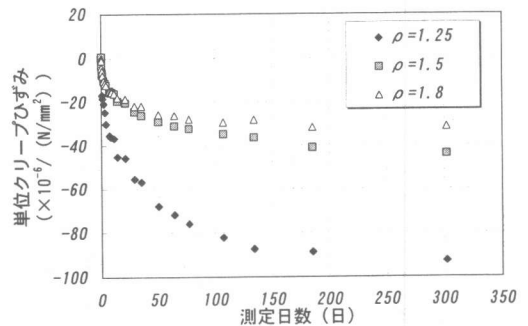


図-3 供試体の単位クリープひずみ

向にほとんど差がなく、クリープ係数が 0.7 程度である。これにより、単位容積質量 1.25 t/m<sup>3</sup> は 1.80t/m<sup>3</sup> と比べて、値が 1.6 倍程度となっている。これは、各供試体に使用した高性能軽量骨材の種類および弾性係数が異なることから、クリープに対する骨材の拘束効果が小さくなることが起因したものと考えられる。

##### 4. 2 実橋計測結果

図-5 に実橋の各種ひずみの経時変化を示す。材

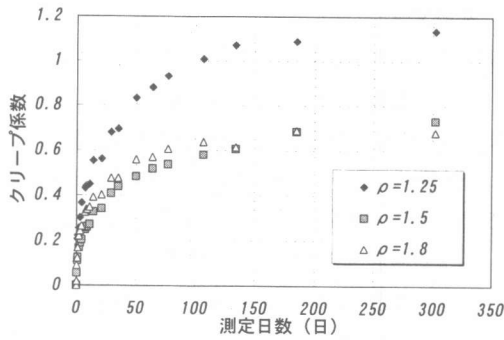


図-4 供試体のクリープ係数

齢 100 日付近でデータが一度切れているが、これは架設作業にともない、計測が一時的に中断されたためである。

クリープひずみの算定にあたり、弾性ひずみはプレストレス導入直後にコンクリート応力計から計測された値 ( $163 \times 10^{-6}$ ) を用い、弾性ひずみの値は、その後も変化がないものと仮定して算出している。

実橋での乾燥収縮ひずみは、材齢 200 日程度で最大  $110 \times 10^{-6}$  程度となった。また、クリープひずみは、桁架設後の材齢 130 日程度から増加傾向を示し、材齢 250 日あたりから  $170 \times 10^{-6}$  程度で推移している。この理由としては、実橋が架設される前後の桁の支持条件が変化したもので、架設前はステージング上にあることから拘束を受けており、それが影響したと考えられる。

#### 4. 3 乾燥収縮ひずみ

図-6 に恒温室内の供試体 (単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$ ) と、実橋の乾燥収縮ひずみの計測結果を示す。

グラフには、参考値として土木学会コンクリート標準示方書による普通コンクリートの乾燥収縮ひずみの計算式より湿度 80% として算出した値を示した。湿度は桁架設時期から理科年表<sup>4)</sup>を参考とした。

計算値は、実橋を普通コンクリートで施工した場合の値で、温度による有効材齢の補正を行っている。

実橋では、コンクリート中に配置された鋼材の拘束等が影響したものと思われ、乾燥収縮ひずみが  $100 \times 10^{-6}$  程度であるのに対し、拘束を受けない供試体では、材齢 300 日程度で  $600 \times 10^{-6}$  となっている。これにより、高性能軽量骨材を細、粗骨材に使用し

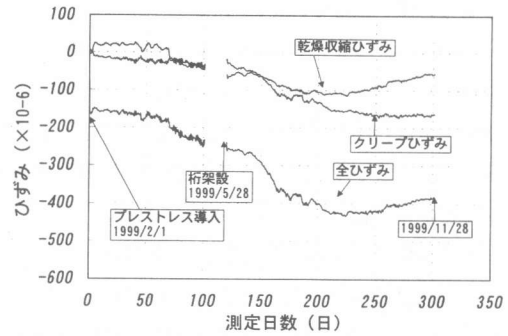


図-5 実橋の計測結果

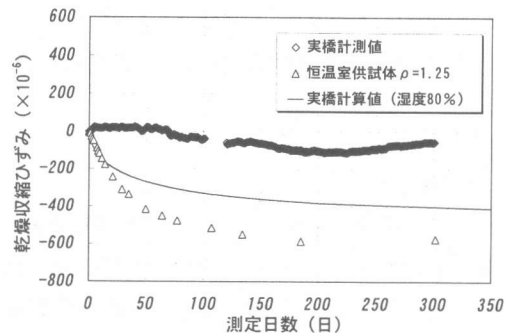


図-6 供試体と実橋の乾燥収縮ひずみ

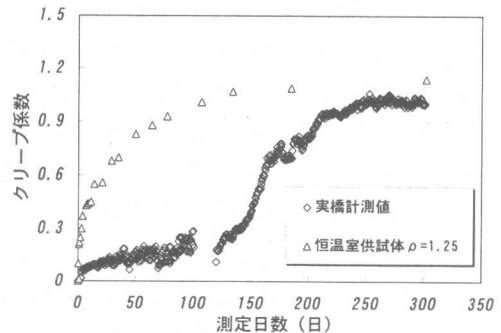


図-7 供試体と実橋のクリープ係数

た部材厚さ 300mm 程度の無筋コンクリートの乾燥収縮ひずみは、 $600 \times 10^{-6}$  程度を考慮すれば良いものと思われる。

#### 4. 4 クリープ係数

図-7 に恒温室内の供試体 (単位容積質量  $1.25 \text{ t/m}^3$ ) と、実橋のクリープ係数との比較を示す。

実橋のクリープ係数は、材齢 300 日程度で 1.1 程度であり、同じ単位容積質量 ( $1.25 \text{ t/m}^3$ ) の値とほ

ば等しい値を示している。

実橋のクリープ係数の挙動が、桁架設前後で大きく変動している理由としては、実橋が架設される前後の支持条件が変化したためと考えられるが、測定日数 250 日～300 日にかけて大きな変動が見られないことから、収束していると推察される。

土木学会コンクリート標準示方書の軽量コンクリートの設計に用いられるクリープ係数は 1.3 (載荷材齢 14 日) 程度であり、実橋および供試体の計測結果と比較すると、材齢 300 日時点での値は幾分小さいようであるが、実用上、高性能軽量骨材を使用したコンクリートのクリープ係数は、土木学会コンクリート標準示方書の値を用いることが可能と思われる。

## 5. まとめ

今回、高性能軽量骨材を使用した単位容積質量の異なる 3 種類のコンクリートを用いた供試体と、試験的にプレストレスを導入した単位容積質量  $1.25\text{t/m}^3$  のスラブ桁の各種ひずみ計測結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 乾燥収縮ひずみは、コンクリート単位容積質量  $1.50\text{t/m}^3$  と  $1.80\text{t/m}^3$  の供試体が、比較的類似した傾向を示すのに対し、 $1.25\text{t/m}^3$  の供試体では他供試体の 1.5 倍程度となった。また、高性能軽量骨材を使用した無筋コンクリートの乾燥収縮ひずみは、単位容積質量  $1.25\text{t/m}^3$  で  $600 \times 10^{-6}$  程度、単位容積質量  $1.50\text{t/m}^3$  では  $400 \times 10^{-6}$  程度を考慮することで、比較的適正な評価が可能と考えられる。

(2) 単位クリープひずみは、単位容積質量が小さいほど発生するクリープひずみは大きくなり、その値は単位体積質量  $1.25\text{t/m}^3$  と  $1.50\text{t/m}^3$  では、2 倍程度となった。これは、高性能軽量骨材の種類および弾性係数が異なることから、クリープに対する骨材の拘束効果の違いによる影響が考えられる。

(3) 高性能軽量骨材を使用したコンクリートのクリープ係数は、土木学会コンクリート標準示方書の値を用いることが可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 岡本, 早野, 柴田: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol136, No. 1, pp. 48-52, 1998. 1
- 2) 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, pp. 67-69, 1992. 11
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書 設計編 (平成 8 年制定), pp. 26-33, 1996. 3
- 4) 国立天文台, 理科年表 平成 12 年, 丸善株式会社, p. 210, 1999. 11