

同一水セメント比でスランプの違いがコンクリートの自己収縮ひずみに及ぼす影響

太平洋セメント(株)	中央研究所	正会員	○面来	洋児
太平洋セメント(株)	中央研究所	正会員		大野 拓也
太平洋シンガポール		正会員		三谷 裕二
名古屋大学		正会員		丸山 一平

1. はじめに

若材齢に高温履歴を受けるマスコンクリートのひび割れ制御・照査において自己収縮を考慮する必要性が指摘され、セメント種類や水セメント比を考慮した予測式が提案されている¹⁾。一方で、自己収縮はセメントペースト部分で生じるため、同一水セメント比であっても単位水量や単位粗骨材量によって収縮量は異なると考えられる。しかし、汎用コンクリートにおける一般的なスランプの範囲(8cm~21cm)で単位水量と自己収縮の関係について検討した事例はほとんどない。

本検討では、同一水セメント比でスランプ(単位水量)が異なるコンクリートの自己収縮ひずみを測定し、セメントペースト量(骨材量)が自己収縮ひずみに及ぼす影響を検討した。また、セメントペーストと骨材の複合則を用いた予測式におけるセメントペースト量の影響度と実験値を比較・検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表1に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)、低熱ポルトランドセメント(L)の3種類とした。細骨材には山砂、粗骨材には硬質砂岩砕石、混和材にはAE減水剤とAE剤を用いた。

コンクリートの配合およびフレッシュ性状を表2に示す。水セメント比を50%、細骨材率を45%、AE減水剤の添加率は $C \times 0.25\%$ 一定とした。スランプの目標値は、Nで8cm, 15cm, 21cm(N8, N15, N21), BBとLは、8cm, 21cm(BB8, BB21, L8, L21)とし、スランプが目標値 ± 1.5 cm, 空気量が $4.5 \pm 1.0\%$ となるように単位水量および空気量調整剤を変化させた。練混ぜは、20°C-R.H.80%環境の室内で実施した。

2.1 測定方法

自己収縮ひずみは、10×10×40cmの角柱供試体の中心部に測温機能付きひずみ計を埋設して測定した。材齢24時間で脱型した後、供試体全体をアルミ箔粘着テープで封緘し、20°C環境下で材齢91日まで保管した。ひずみの起点は凝結の始発時間とし、測定値から温度ひずみを差し引いて自己収縮ひずみを算出した。なお、温度ひずみの算出に用いた熱膨張係数は、N, BB, Lともに $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とした。

表1 使用材料

材料	記号	備考
セメント	N	密度:3.16g/cm ³ , 比表面積:3220cm ² /g
	BB	密度:3.04g/cm ³ , 比表面積:3770cm ² /g
	L	密度:3.22g/cm ³ , 比表面積:3650cm ² /g
細骨材	S	静岡県掛川市産山砂 表乾密度:2.56g/cm ³ , 吸水率:1.85%
粗骨材	G	茨城県桜川市産砕石 2005 表乾密度:2.63g/cm ³ , 吸水率:0.58%
混和剤	AD	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤
	AE	空気量調整剤

表2 コンクリートの配合およびフレッシュ性状

記号	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				S.L. (cm)	Air (%)
		W	C	S	G		
N8	50	154	308	810	1025	7.5	3.9
N15		169	338	782	990	16.5	4.3
N21		181	362	760	961	21.5	4.5
BB8		153	306	808	1022	7.5	3.6
BB21		179	358	758	959	20.0	3.5
L8		148	296	824	1042	8.0	4.3
L21		175	350	773	978	20.0	3.5

3. 実験結果

3.1 自己収縮ひずみ

自己収縮ひずみの経時変化を図1~図3に示す。自己収縮ひずみは、配合によらず材齢20日程度までに顕著な収縮が生じ、材齢91日時点で概ね横ばいとなる傾向であった。収縮の挙動を見ると、Nは材齢約7日、Lが材齢約1日で第1屈曲点、材齢約20日、材齢約15日で第2屈曲点が現れた。一方、BBには屈曲点が現れなかった。屈曲点での収縮は、エトリンガイト結晶がモノサルフェートへの転化や再結晶化などによって溶解したこと、溶解により生じた微細空隙が分子間力によって閉じたことなどが考えられる²⁾。BBで屈曲点が現れなかったのは、セメントの鉱物組成(間隙相量やせっこう量)の違いによるものと考えられる³⁾。

材齢91日時点の自己収縮ひずみを比較すると、スランプによらずNとBBは同程度なのに対してLは30%程度小さかった。スランプで比較すると、材齢91日時点の自己収縮ひずみは、N8, BB8, L8に対して、N21, BB21, L21はそれぞれ15%, 10%, 7%程度大きく、いずれのセメント種類でもスランプが大きいかほど自己収縮ひずみは大きくなった。これは、スランプを大きくし

キーワード：自己収縮ひずみ，単位水量，スランプ，セメントペースト量，複合則

連絡先：〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL:043-498-3893

たことにより、コンクリートにおけるセメントペーストの割合が増加したためであると考えられる⁴⁾。

3.2 複合則による考察

コンクリートをセメントペーストと骨材の2相材料とみなす Hobbs モデル⁴⁾の式(1)を用いて、同一水セメント比で単位水量を変化させたコンクリートの自己収縮ひずみと単位水量の関係を算出し、実験値との比較した。

$$\frac{\epsilon_c}{\epsilon_p} = \frac{(1 - V_a) \left(\frac{K_a}{K_p} + 1 \right)}{1 + \frac{K_a}{K_p} + V_a \left(\frac{K_a}{K_p} - 1 \right)} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 ϵ_c : コンクリートの自己収縮ひずみ($\times 10^{-6}$)、 ϵ_p : セメントペーストの自己収縮ひずみ($\times 10^{-6}$)、 V_a : 骨材容積(m^3/m^3)、 K_p : セメントペーストの体積弾性係数(kN/mm^2)、 K_a : 骨材の体積弾性係数(kN/mm^2)である。

自己収縮ひずみと単位水量の関係について、N8の単位水量に相当するコンクリートの自己収縮ひずみに対する比を式(1)より算出した。図4にHobbsモデルより得られた結果(点線)および本実験結果を示す。Hobbsモデルにより算出した自己収縮ひずみの比と単位水量の関係は概ね直線関係であった。W/C=50%における一般的なスランブコンクリートの範囲(単位水量 $150kg/m^3 \sim 185kg/m^3$)でみると、セメント種類によらず、単位水量 $185kg/m^3$ の自己収縮ひずみは単位水量 $150kg/m^3$ (スランブ8cm相当)に比べ20%程度大きくなった。実験値と比較すると、N15およびN21は複合則に基づく関係より若干小さいものの、概ね良く対応していた。以上から、同一水セメント比のコンクリートでスランブが一般的な範囲内(8~21cm程度)で変化した場合、自己収縮ひずみの差は最大15~20%程度と考えられる。

4. まとめ

- (1) スランブ8cm自己収縮ひずみはスランブ21cmに対して、N, BB, Lでそれぞれ15%, 10%, 7%程度大きく、同一水セメント比でも、スランブ(単位水量)が大きいくほど、コンクリートの自己収縮ひずみは大きくなる傾向であった。
- (2) Hobbsモデルにより算出した単位水量と自己収縮の関係では、単位水量 $150kg/m^3 \sim 185kg/m^3$ の範囲における自己収縮の差は最大で20%程度であり、実験結果と概ね対応していた。

【参考文献】

- 1) 公益社団法人 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2016
- 2) 高橋俊之、中田英喜、吉田孝三郎、後藤誠史：セメントペーストの自己収縮に及ぼす水和反応の影響、コンクリート工学論文集、第7巻第2号、pp.137-142、1996
- 3) 大崎雅史、中田英喜、坂井悦郎、大門正機：セメントペーストの自己収縮に及ぼす間隙相量およびその組成の影響、第55回セメント技術大会講演要旨、pp.188-189、2001
- 4) 宮澤伸吾、北田悦子、井田教師：コンクリートの自己収縮に及ぼす骨材混入量の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.20, No.2, PP.667-672、1998
- 5) Hobbs.D.W : Influence of Aggregate Restraint on the Shrinkage of Concrete, Journal of ACI, Vol.71, No.79, pp.445-450, 1974

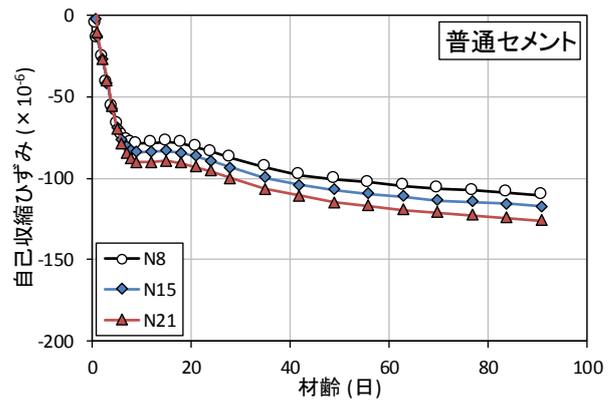


図1 自己収縮ひずみ (N)

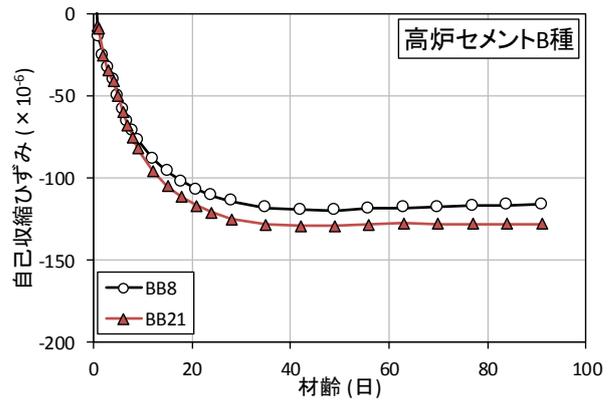


図2 自己収縮ひずみ (BB)

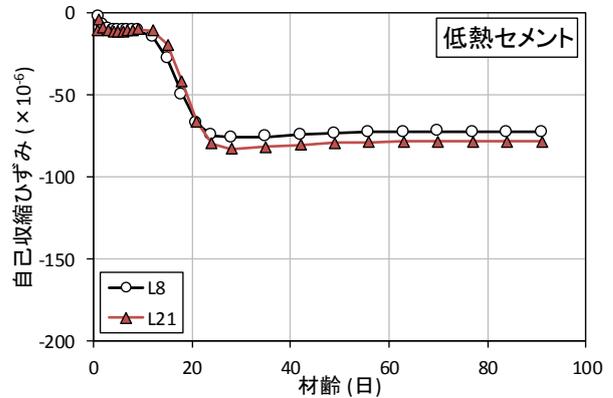


図3 自己収縮ひずみ (L)

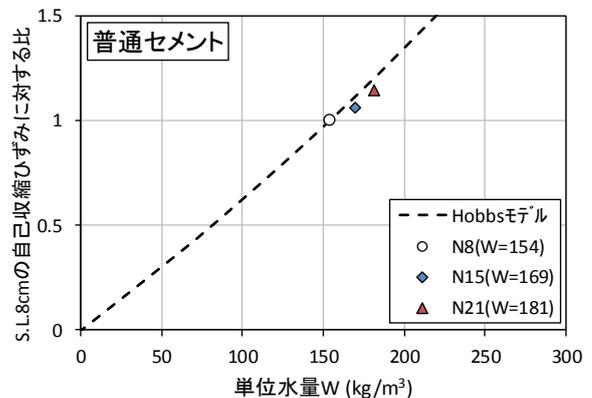


図4 自己収縮ひずみに及ぼす単位水量の影響