

論文

[1095] 低発熱セメントを使用したコンクリートのひび割れ抵抗性

岡本修一\*1・松岡康訓\*2

1. はじめに

従来の規模を大きく上回る土木・建築コンクリート構造物の大型化や、配合上粉体量が必然的に多くなる高強度コンクリートならびに高流動コンクリートの使用が要望されると言った近年の状況から、これまでの低発熱セメントよりも更に発熱の少ないセメントが開発され、実際に現場で使用されるようになってきた。また、低発熱セメントを使用する場合に、ブリーディング抑制や、コンクリートの材料分離抵抗性・流動性を増大させるための粉体量確保の目的で石粉を併用するケースが多く見受けられる。しかしながら、これら低発熱セメントを使用したコンクリートの物性に関する基礎データの蓄積はまだ不十分と思われる。

本研究では、低発熱セメントの種類や石粉の量を変えたコンクリートのひび割れ抵抗性に関して、乾燥収縮ならびに自己収縮による体積変化を拘束することにより基礎検討を行った。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは、通常のマスコングリート想定配合では、普通ポルトランドセメント (NP)、ビーライト系低発熱ポルトランドセメント (LC) および、高炉セメントC種 (BC) の3種類を、高流動コンクリートを想定した配合では3成分系の低発熱セメント (MBF) を使用した。

石粉には炭酸カルシウム (比重: 2.70、石灰純度: 98.8%、ブレン値: 3800 g/cm<sup>2</sup>) を使用した。その他の材料の諸元については表-1にまとめて示す。各コンクリートの配合は表-2に示す通りである。

2.2 拘束ひび割れ試験

供試体は無拘束供試体と拘束供試体の2種類とし、無拘束供試体は、10×10×40cmの直方体を使用した。

拘束ひび割れ試験方法についてはJIS「コンクリートのひび割れ試験方法」(案) [1]を参考にしたが、拘束供試体には図-1に示す形状寸法のものを使用した。

表-1 使用材料の種類と品質

		配合1~5	配合6
セメント	NP	比重: 3.15 比表面積: 3260 cm <sup>2</sup> /g C <sub>3</sub> S=53%, C <sub>2</sub> S=21%	—
	LC	比重: 3.22 比表面積: 3990 cm <sup>2</sup> /g C <sub>3</sub> S=28%, C <sub>2</sub> S=56%	—
	BC	比重: 2.99 比表面積: 4060 cm <sup>2</sup> /g スラグ混入率: 70%	—
	MBF	—	比重: 2.78 比表面積: 3680 cm <sup>2</sup> /g NP:B:F=45:35:20で混合
細骨材	海砂 比重: 2.57 吸水率: 1.67% F M: 2.62	陸砂 比重: 2.58 吸水率: 2.05% F M: 2.55	
粗骨材	安山岩系砕石 比重: 2.61 吸水率: 1.04%	硬質砂岩系砕石 比重: 2.64 吸水率: 1.06%	
高性能AE減水剤	変性リグニン、アルキルアリスルホン酸化合物および活性ポリマーの複合物	—	
AE減水剤	—	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体	
高性能減水剤	—	ナフタレン系	
分離低減剤	—	グルコース系多糖類を主成分とする天然高分子	

\*1 大成建設 (株) 技術研究所 土木構造・水理研究グループ、工修 (正会員)

\*2 大成建設 (株) 技術研究所 土木構造・水理研究グループ チームリーダー、工博 (正会員)

表-2 コンクリートの配合

配合 No.	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								混和剤			
	水	セメント (C)				細骨材	石 粉	粗骨材	高性能 AE減水剤	AE 減水剤	高性能 減水剤	分離 低減剤
		NP	LC	BC	MBF							
1	140	260	—	—	—	712	30	1161	C×1.1%	—	—	—
2		—	260	—	—	714	30	1163				
3		—	—	260	—	710	30	1157				
4		—	—	260	—	670	70	1157				
5		—	—	260	—	590	150	1157				
6	170	—	—	—	500	761	—	845	—	C×0.15%	C×1.25%	1.0 kg/m <sup>3</sup>

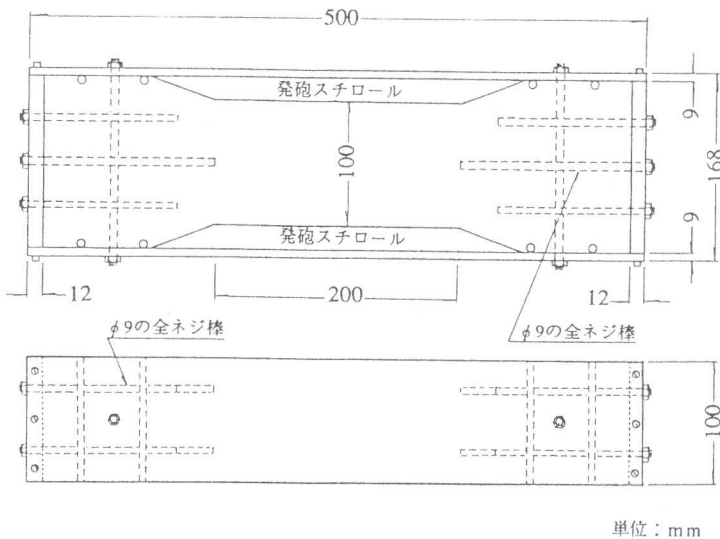


図-1 拘束供試体の形状寸法

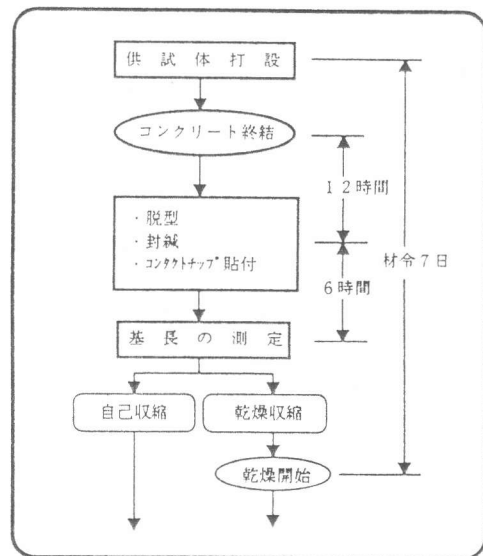


図-2 実験手順

拘束板には、側板に9mm、端版に12mmの一般構造用圧延鋼材（SS34）を使用し、側板と端版は6mmのボルトにより固定されている。

測定項目は自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみ、およびひび割れ発生時期である。実験手順を図-2に示す。供試体は一配合につき、無拘束、拘束供試を各々4本ずつ合計8本作製し、厚さ0.05mmのアルミ箔粘着テープにより封緘を行い、温度20℃、RH65%の室内に保管した。それらのうち乾燥収縮測定用供試体として、無拘束、拘束供試を各々2本ずつ、打設後7日目に上下面のシールを剥し2面乾燥を行った。

供試体の長さ変化のは、乾燥収縮、自己収縮ともに、無拘束供試体についてはコンタクトゲージで、拘束供試体については側部拘束板に貼付けたひずみゲージおよびコンタクトゲージにより測定を行った。何れの配合もコンクリート終結後18時間に基長をとり原点とした。

その他、圧縮強度および静弾性係数の測定をφ10×20cmの円柱供試体を用い、20℃封緘養生の条件で行った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 基本性状

図-3 に各配合の圧縮強度と静弾性係数の試験結果を示す。いずれの配合も、材齢の経過にともない、強度、静弾性係数は増大している。なかでもLCを使用した配合2の強度増大率が大きく、材齢初期では最小であるが、材齢28日以降に於てはBCを上回っており最も大きな強度増加を示している。弾性係数も同様な傾向を示している。また、BCを使用した配合に於て、石粉添加量増大の影響は殆ど認められなかった。

次に、無拘束供試体の乾燥収縮量を図-4 に、自己収縮量を図-5 に示す。乾燥収縮に関しては、単位水量、単位ペースト量が最も多い配合6が最も大きくなった。同一W/Cである配合1～5の乾燥収縮量は、セメントの種別に見ると、BCを使用した場合が最も小さく、石粉の

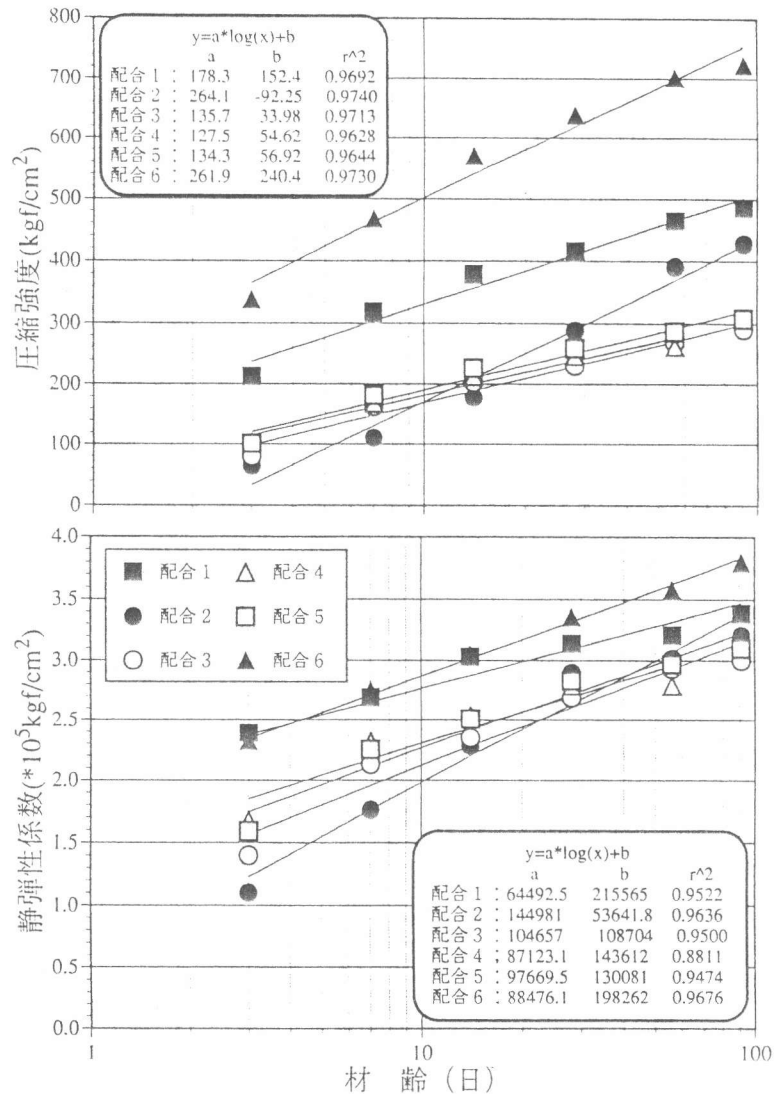


図-3 圧縮強度・静弾性係数試験結果

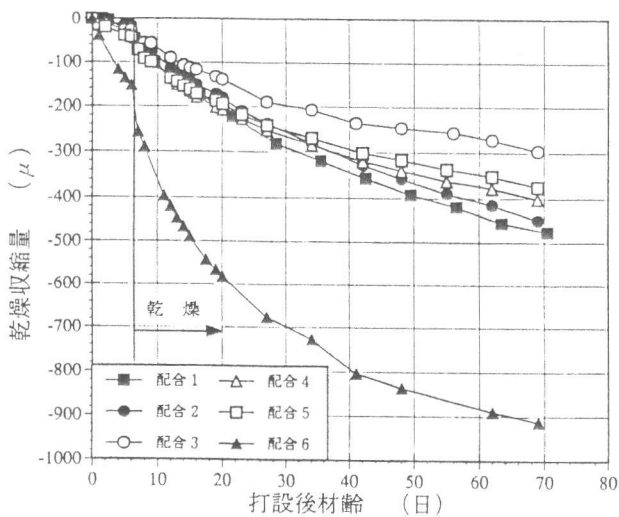


図-4 乾燥収縮の経時変化 (無拘束)

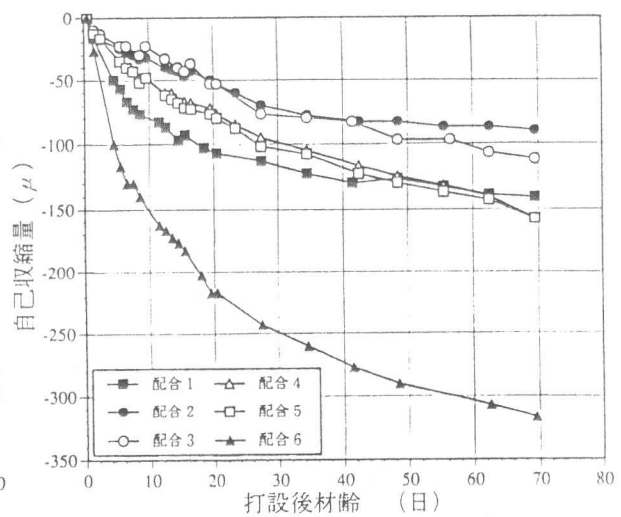


図-5 自己収縮の経時変化 (無拘束)

添加量が70、150kg/m<sup>3</sup>のものの方が、30kg/m<sup>3</sup>より乾燥収縮量は大きくなる傾向が認められた。LCを使用した場合はNPを使用したコンクリートと同程度の収縮量となった。

自己収縮に関しては、乾燥収縮と同様に配合6が最も大きくなったが、これはW/Cが小さいことが主原因と考えられる [2]。

また、同一W/Cの配合では、乾燥収縮量はNPと同程度であったLCを使用したコンクリートが、自己収縮量は最小となった。一方、BCを使用したコンクリートの自己収縮は、NPやLCを使用したコンクリートの自己収縮は安定傾向にあるが、今後も増大する傾向を示し、石粉の添加量が70、150 kg/m<sup>3</sup>のものの方が、30kg/m<sup>3</sup>より自己収縮量は大きくなる傾向が認められた。

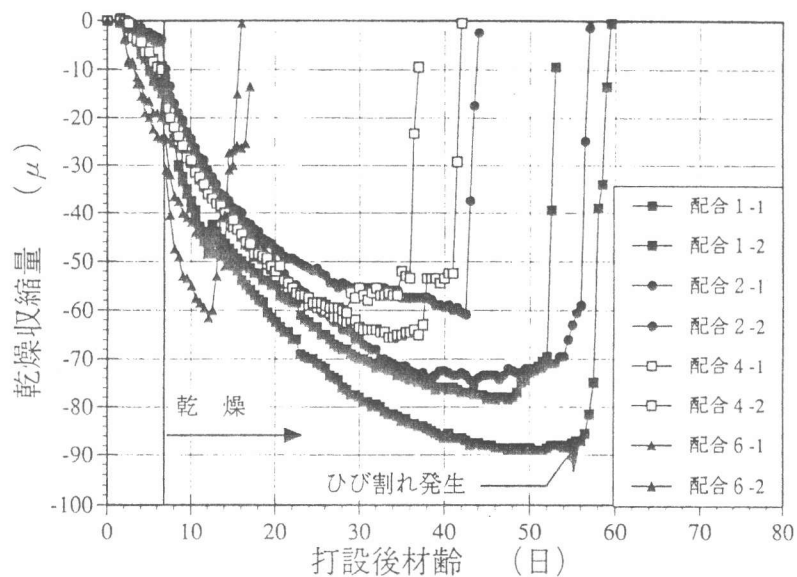


図-6 拘束板ひずみの経時変化 (乾燥収縮)

### 3.2 ひび割れ試験結果

乾燥収縮を拘束した供試体は、

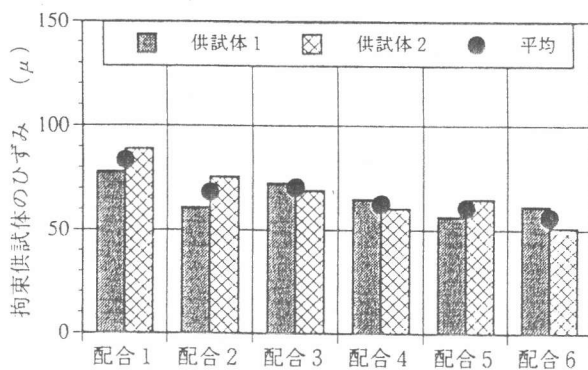


図-7 ひび割れ発生時の拘束板のひずみ

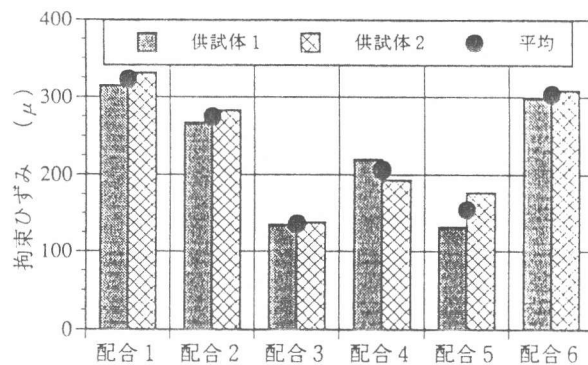


図-8 ひび割れ発生時の拘束ひずみ

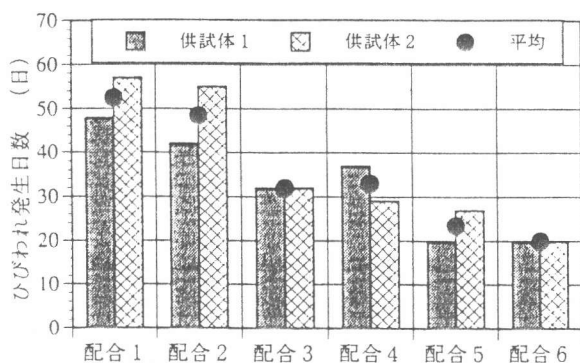


図-9 ひび割れ発生日数

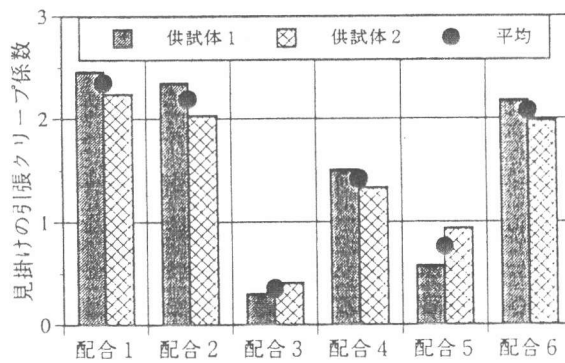


図-10 見掛けのクリープ係数

図-6に示す拘束板ひずみの測定例のように、ひび割れが発生し、その際の拘束板ひずみは図-7に示すように平均値で60~80 $\mu$ であり、無拘束供試体との差を拘束ひずみとすると図-8に示すような値であった。ひび割れの発生日数を図-9に示すが、平均値と比較すると、無拘束供試体の収縮量が最大であった配合6が最も早く、BCを使用したコンクリートでは、無拘束供試体の収縮量は小さかったにも関わらず、NPやLCを使用したコンクリートと比較して早くひび割れが発生し、また、ひび割れの発生日数への石粉の使用量の影響は明確ではなかった。

コンクリートのひび割れ発生に影響をおよぼす一要因として、コンクリートの引張クリープ特性があげられる。そこで、今回の測定結果を用いて、供試体に発生する応力を式(1)のように考え、見掛けの引張クリープ係数( $\phi t$ )を定義することで、間接的に引張クリープ特性[3][4]に関して比較を行うものとした。

$$\sigma_c = E_{eff} \times \epsilon_r = (E_c / (1 + \phi t)) \times \epsilon_r \quad (1)$$

ここで、 $E_{eff}$ : 有効弾性係数  $\epsilon_r$ : 拘束ひずみ

$$\sigma_c: \text{発生応力} = 2 \times \epsilon_s \times E_s \times A_s / A_c$$

[ $\epsilon_s$ : 拘束板のひずみ、 $E_s$ : 拘束板の弾性係数 (2.1 $\times 10^6$  kgf/cm $^2$ )、

$A_s$ : 拘束板の断面積 (9 cm $^2$ )、 $A_c$ : コンクリートの断面積 (100 cm $^2$ ) ]

$\phi t$ を式(1)より逆算した結果を図-10に示す。図より、BCを使用した配合2~5のコンクリートの $\phi t$ が小さいことがわかる。このことは言い替えるとクリープによる応力緩和が小さいという事であり、ひび割れ発生が早くなった要因の1つと考えられ、 $\phi t$ の面から言えばBCを使用したコンクリートのひび割れ抵抗性はNPやLCを使用したコンクリートと比べ低いと考えられる。

しかし、配合6のように発生する収縮量が非常に大きい場合には、たとえ $\phi t$ が大きな低発熱セメントを使用しても、ひび割れ発生を抑制することは困難と思われる。

一方、図-11に示すように、自己収縮を拘束した供試体では、いずれの配合においても材齢70日までの計測期間中に、ひび割れは発生していない。これは、図-8のひずみをひび割れ発生限界ひずみと仮定すれば、図-12に示す自己収縮により発生した拘束ひずみがひび割れ発生限界に達していないためと思われる。

また、普通コンクリートを対象とした配

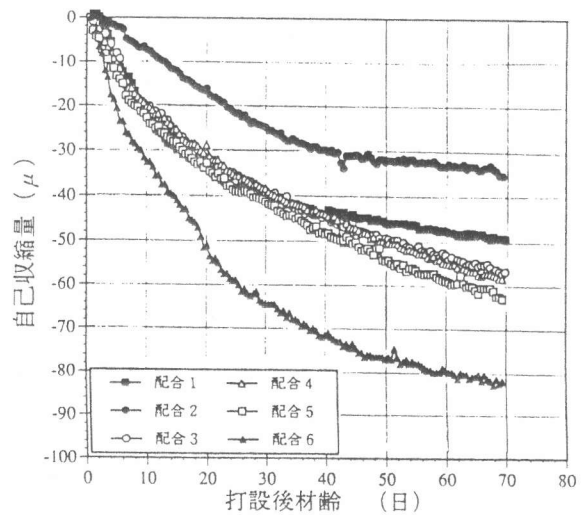


図-11 拘束板ひずみの経時変化 (自己収縮)

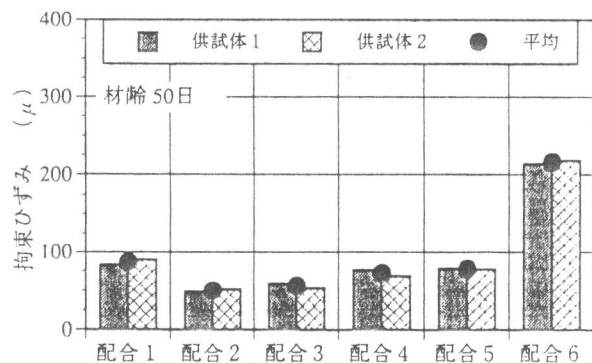


図-12 拘束ひずみ (自己収縮)

合1～配合5に関しては拘束ひずみは小さいが、配合6では自己収縮のみでもかなり大きな拘束ひずみが生じている。この結果は高粉体・低W/Cとなるコンクリートに於ては、低発熱セメントを使用し温度応力の低減を行う際に、ひび割れ発生の要因として自己収縮を考慮する必要があることを示唆するものと思われる。

図-1.1および図-1.2から乾燥収縮の場合と同様に $\phi t$ を試算した結果を図-1.3に示す。この結果からもBCを使用したコンクリートの $\phi t$ は小さいことがわかる。

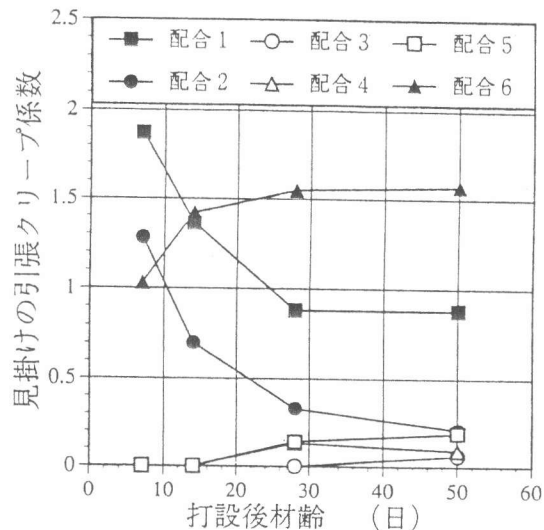


図-1.3 見掛けのクリープ係数

#### 4. まとめ

本実験の範囲内で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 乾燥収縮拘束試験の結果、C種高炉セメントを使用したコンクリートは、普通ポルトランドセメントやビーライト系のポルトランドセメントに比べ、ひび割れ抵抗性が小さいことが認められた。
- (2) これは、C種高炉セメントを使用したコンクリートの見掛けのクリープ係数が他のものと比較しかなり小さく、クリープによる応力緩和が少ないためと思われる。
- (3) また、C種高炉セメントを使用したコンクリートに於て、石粉の使用量がひび割れ抵抗性に与える影響は明確に現れなかった。
- (4) クリープによる応力緩和がある程度期待できる低発熱セメントの場合でも、高粉体・低W/Cと言った配合のように、発生する拘束ひずみが非常に大きくなるようなコンクリートでは、ひび割れを抑制することは困難なようである。

#### [謝辞]

本実験を行うに際し、自己収縮の測定方法に関しては、広島大学工学部 田沢栄一教授にご指導を頂きました。

#### [参考文献]

- 1) 仕入豊和ほか：コンクリートのひび割れ試験方法（案）、コンクリート工学、Vol.23、No.3、1985
- 2) 田沢栄一、宮沢伸吾ほか：コンクリートの自己収縮、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.1、1992
- 3) 赤塚雄三：コンクリートの引張クリープ測定方法に関する提案、セメント・コンクリート、No.195、1963
- 4) 川瀬清孝：コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法、セメント・コンクリート、No.532～No.536、1991