

# 論文 養生方法の違いによる高強度コンクリートの初期ひずみに関する研究

羽生田 剛成\*1・岡島 達雄\*2・河辺 伸二\*3・加藤 三晴\*4

**要旨：**本研究の目的は、高強度コンクリートの硬化反応熱による温度勾配、熱膨張率、および脱型前・脱型後の非拘束条件下の初期自由収縮ひずみと、養生期間、養生方法、セメント種類との関係を測定・考察することにより、高強度コンクリートのひび割れ防止対策を検討することである。研究結果として、熱膨張率はコンクリート強度によってほとんど変化しないこと、本実験の範囲では断熱養生はひび割れ防止に有効であるが、最高温度の高い大断面部材については明確でないため今後検討が必要であること、ハイフローセメントの高強度コンクリートへの使用はひび割れ防止に有効であるが、封かん・断熱養生を行った後脱型するとひび割れ発生の可能性も出てくることが分かった。  
**キーワード：**高強度コンクリート、自由収縮ひずみ、熱膨張率、ハイフローセメント

## 1.はじめに

高強度コンクリートを使用した高層RC構造物では、梁部材に早期にひび割れが入りやすいという例が報告されている。<sup>1)</sup> コンクリートは高強度になるほど水セメント比が小さくなり、それにともない単位セメント量が増大する。そのため、コンクリート部材内が高温になり<sup>2)</sup>、温度ひずみによる温度ひび割れが発生しやすくなると考えられる。また、コンクリートの自己収縮が大きくなり、ひび割れ発生の原因の1つと考えられる。<sup>3)</sup>

本研究では自由収縮ひずみが、自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみ、および温度ひずみの和からなるという仮定のもとに、ひび割れの防止対策の検討を行う。非拘束条件下における高強度コンクリートの温度勾配、熱膨張率、および初期自由収縮ひずみの脱型前と脱型後の挙動を測定し、考察したものである。

## 2.実験概要

本実験では、自己収縮ひずみと乾燥収縮ひずみの和 $\epsilon_b$ について考察するが直接測定できないため、あらかじめ温度ひずみを求め、自由収縮ひずみから温度ひずみを差し引くことにより $\epsilon_b$ を求めた。 $\epsilon_b$ の求め方を図-1に示す。自由収縮ひずみ測定試験体により $\epsilon_a$ を求める。熱膨張率測定試験体により求められた熱膨張率と自由収縮ひずみ測定試験体の温度変化を用い、自由収縮ひずみ測定試験体の $\epsilon_3$ を算出した。

ここで、 $\epsilon_a$ ；自由収縮ひずみ

$\epsilon_b$ ；自己収縮ひずみ+乾燥収縮ひずみ

$\epsilon_1$ ；自己収縮ひずみ

(水和反応によるひずみ)

$\epsilon_2$ ；乾燥収縮ひずみ

(乾燥によるひずみ)

$\epsilon_3$ ；温度ひずみ (温度変化によるひずみ)

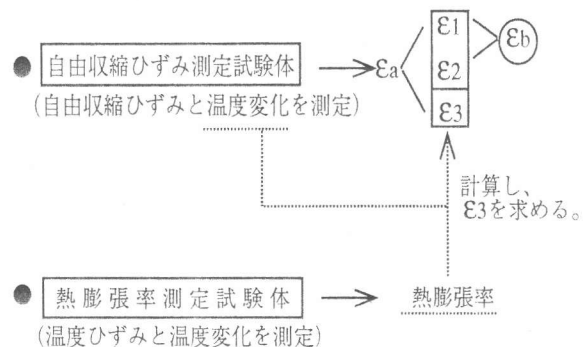


図-1  $\epsilon_b$ の求め方

\*1 矢作建設工業(株) 建築工務部 技術課 (正会員)

\*2 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科、工博 (正会員)

\*3 名古屋工業大学助教授 工学部社会開発工学科、工博 (正会員)

\*4 矢作建設工業(株) 建築工務部、次長

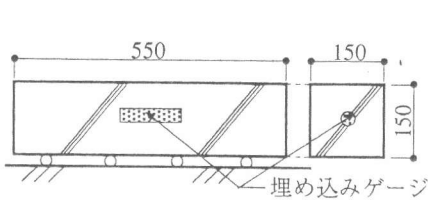


図-2 自由収縮ひずみ測定試験体

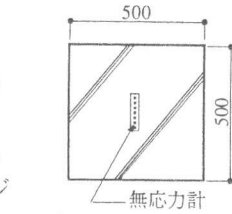


図-3 熱膨張率測定試験体

表-1 実験のパラメータ

パラメータ	種類	数
コンクリート種類	N210, N480, HF480	3
養生方法	A;1日間気中養生後、脱型 B;7日間気中養生後、脱型 C;7日間封かん養生後、脱型 D;7日間断熱養生後、脱型	4

2.1 実験のパラメータ

実験のパラメータを表-1に示す。コンクリートの種類は、普通と高強度の2種類とし、養生方法は初期の養生がひび割れ発生の原因となると考え、4種類とした。

2.2 試験体、測定方法

(1)自由収縮ひずみ測定試験体

自由収縮ひずみ測定試験体 (15×15×55cm) を図-2に、試験体の内容を表-2に示す。1要因につき1体である。試験体と設置面の界面にベアリングを介することにより、収縮に対する拘束をなくしている。ひずみは埋め込み変位計、およびコンタクトゲージにより、温度は熱電対により測定した。

(2)熱膨張率測定試験体

熱膨張率測定試験体 (50×50×50cm) を図-3に示す。各コンクリート種類につき1体である。熱膨張率算出のための温度ひずみは無応力容器内の埋め込み変位計により、温度は熱電対により測定した。

2.3 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント (N)、およびハイフローセメント (HF) を使用した。高強度コンクリートの混和剤として高性能AE減水剤を使用した。使用骨材を表-3に示す。

2.4 調合、コンクリート打設方法

調合を表-4に示す。自由収縮ひずみ測定試験体のコンクリート打設はJIS A 1132に従った。

2.5 試験体の養生方法

各試験体は温度20℃、湿度80~90%R.H.の恒温恒湿室内に設置し、養生方法は表-1のようにコンクリート打設後1日間型枠を存置したまま気中で養生し、翌日脱型する養生方法A、その他B、C、Dの4種類とした。

表-2 自由収縮ひずみ測定試験体の内容

試験体名	設計強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	セメント種類	養生方法	
N210-A	210	N (普通ポルトランドセメント)	A	
N210-B			B	
N210-C			C	
N210-D			D	
N480-A	480		HF (ハイフローセメント)	A
N480-B				B
N480-C				C
N480-D				D
HF480-A				A
HF480-B				B
HF480-C				C
HF480-D				D

表-3 使用骨材

	種類	最大寸法(mm)	表乾比重	粗粒率	備考
細骨材	木曾川	5	2.60	2.75	N210,N480,HF480に使用
	笠原	5	2.59	2.75	N210に使用
粗骨材	木曾川	25	2.62	6.85	N210,N480,HF480に使用
	笠原	25	2.61	6.85	N210に使用

表-4 調合表

種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランプ (cm)
				C	W	S	G	SP	
N210	60	46.9	4.5	297	178	832	951	3	18
N480	33	45.2	3.0	515	170	749	914	5.2	18
HF480	35	46.1	3.0	486	170	777	914	4.6	18

3.実験結果と考察

3.1 温度勾配と熱膨張率について

熱膨張率測定試験体の温度勾配を図-4に示す。高強度コンクリートは単位セメント量が多いので、普通強度コンクリートと比較して最高温度が高くなっている。HF480はピーライト系のセ

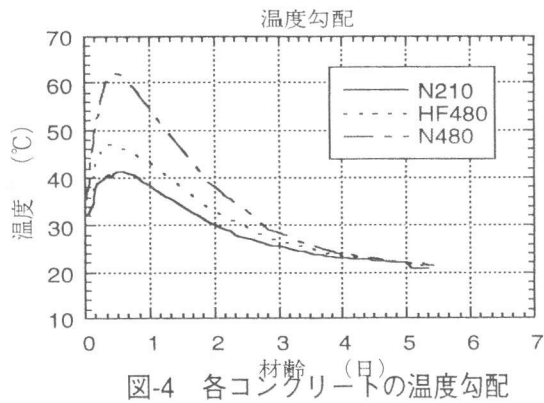


図-4 各コンクリートの温度勾配

メント、ハイフローセメントを使用しているので普通ポルトランドセメントを使用しているN480と比較すると最高温度はかなり小さく、最高温度に達した後の温度降下の勾配もN480と比較して緩やかであるので、ハイフローセメント使用は温度ひび割れ防止に有効であると考えられる。

各種類コンクリートの熱膨張率を図-5に示す。コンクリート間ではっきりと相違は見られなかった。次に図-5で求めた熱膨張率を用いて、自由収縮ひずみ測定試験体の温度変化から算出した温度ひずみ

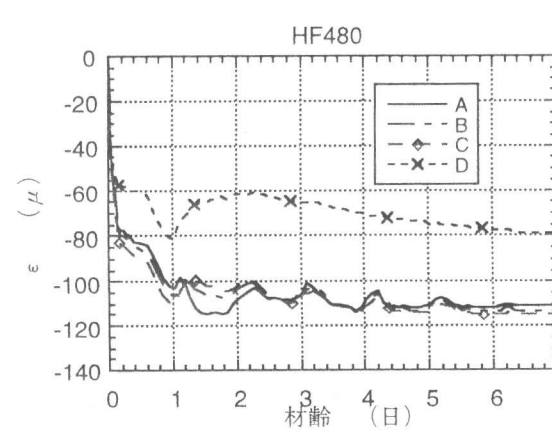
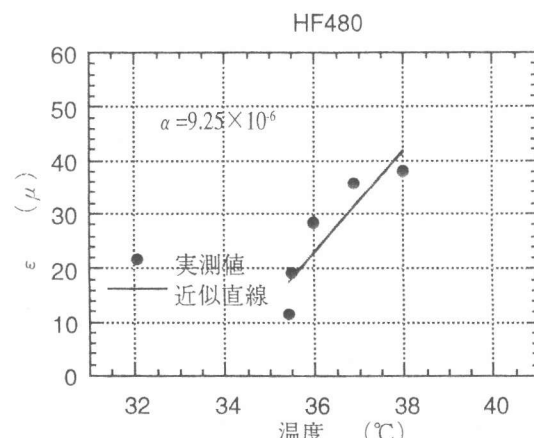
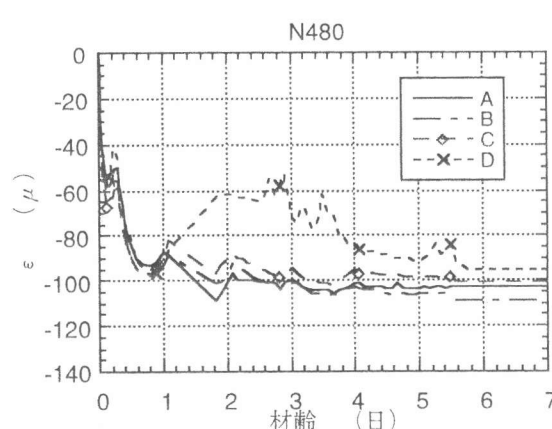
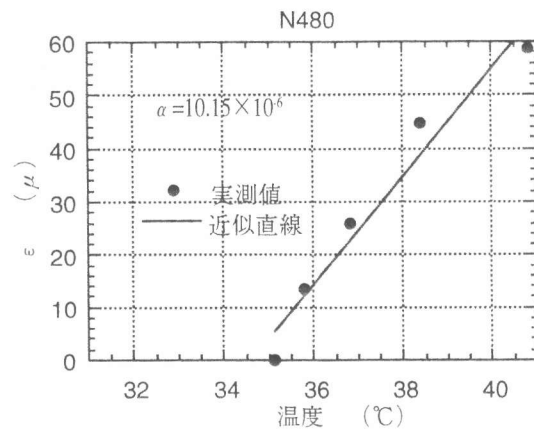
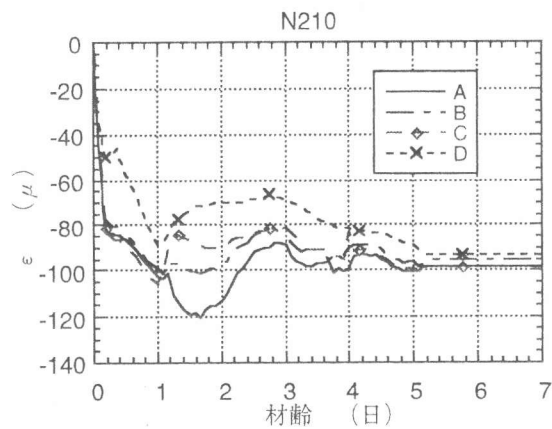
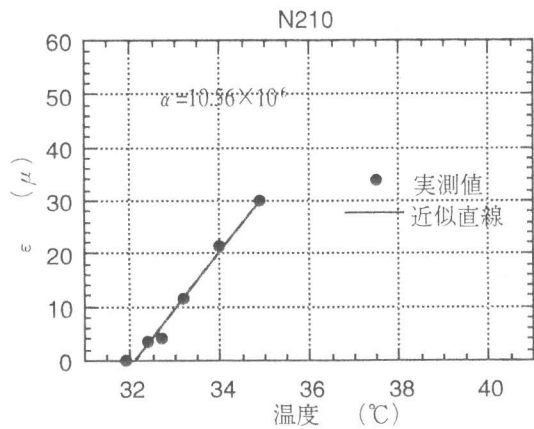


図-5 各コンクリートの熱膨張率

図-6 自由収縮ひずみ測定試験体の温度ひずみ

を図-6に示す。自由収縮ひずみ測定試験体は容積が小さいため、打設直後から温度上昇はなかった。養生Dでは断熱型枠を用いているので、温度降下の勾配が他の養生に比べ少し緩やかであり、養生中の温度ひずみも小さい。よって、断熱養生が温度ひび割れ防止に有効であると考えられるが、部材断面が大きくなると最高温度が高くなりすぎるので、大断面部材についての研究が今後必要である。

### 3.2 $\epsilon_b$ (自己収縮+乾燥収縮ひずみ)について

#### 3.2.1 脱型前の $\epsilon_b$ の挙動

脱型前はほとんど乾燥しないため乾燥収縮は小さく、 $\epsilon_b$ は主に自己収縮ひずみに支配される。

##### (1)各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動

各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動を図-7に示す。養生方法A、Bの場合、N480の材齢30日までの $\epsilon_b$ は他のコンクリートに比べて大きい。一方、HF480の $\epsilon_b$ はN210のものと同程度となった。このことは、普通ポルトランドセメントを使用したN480は水和反応速度が比較的早く、早期に $\epsilon_b$ が増加するのに対して、ハイフローセメントを使用したHF480は反応速度が遅く、 $\epsilon_b$ の増加が遅いことを示唆している。脱型まで気中養生する場合、ハイフローセメントの高強度コンクリートへの使用はひび割れ防止に有効であると考えられる。

養生方法A、Bの場合、HF480の材齢30日までの $\epsilon_b$ はN210のものと同程度だが、養生方法C、Dであると、HF480の $\epsilon_b$ はN480のものと同程度になる。ハイフローセメント使用の高強度コンクリートのひび割れ発生は、養生方法A、Bの場合、普通強度コンクリートと同程度まで制御できるが、脱型まで封かん養生や断熱養生を行う場合、普通ポルトランドセメントの高強度コンクリートへの使用と同様、ハイフローセメントを高強度コンクリートへ使用するとひび割れ発生の危険性があると本実験の範囲では考えられる。

##### (2)各養生方法、各種コンクリートにおける脱型直前の $\epsilon_b$

各養生方法、各種コンクリートにおける脱型直前の $\epsilon_b$ を図-8に示す。水和反応速度の遅いHF480は、水和反応速度の早いN480と比較して $\epsilon_b$ が小さいことが分かる。高強度コンクリートでは、初期の水和反応速度がひび割れ発生に大きく影響すると考えられるので、反応速度の遅いハイフローセメントの使用はひび割れ防止に有効である。しかし、養生方法C、Dの場合、図-8によると脱型直前の $\epsilon_b$ はHF480の方が小さいにもかかわらず、図-7によると前述したように材齢30日での $\epsilon_b$ はHF480とN480とは同程度ある。つまり、HF480の $\epsilon_b$ は脱型後、急に増加していることを示している。これは、ハイフローセメントを使用したHF480は水和反応速度が遅いので、部材内に水分が他のコンクリートよりも多く残っていて、脱型後その水分が急に乾燥するため、この時の $\epsilon_b$ の増加率が大きすぎるとひび割れが発生しやすくなると考えられる。

#### 3.2.2 脱型後の $\epsilon_b$ の挙動

脱型後では、コンクリートはほぼ硬化しているため自己収縮は小さく、 $\epsilon_b$ は主に乾燥収縮ひずみに支配される。

##### (1)各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動

各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動を図-9に示す。脱型後乾燥が始まるので、ここでは脱型後からの材齢を乾燥材齢とする。図-9から分かることは、養生方法AではHF480の $\epsilon_b$ の増加率が他と比べて緩く、ひび割れ防止に有効であると考えられることと、養生方法C、Dでは、乾燥初期でのHF480の $\epsilon_b$ のひずみ量が他のものと比較して少々大きいことである。

##### (2)各養生、各種コンクリートの打設後の $\epsilon_b$ のひずみ量比

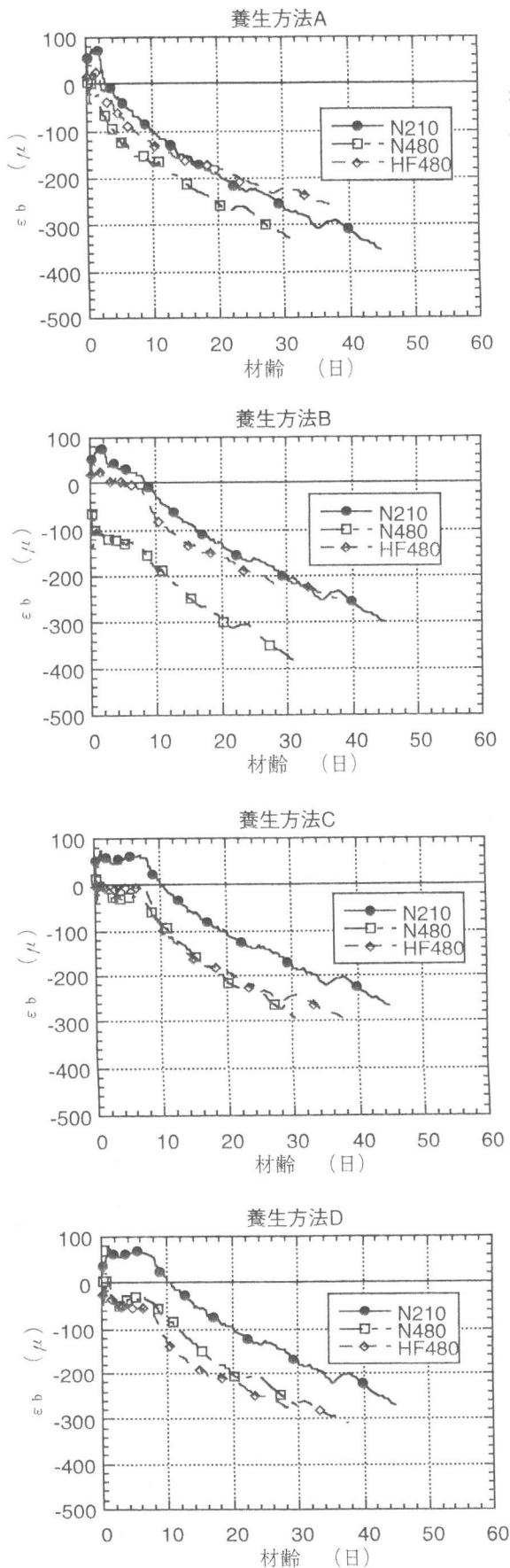


図-7 脱型前の各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動

各養生、各種コンクリートの普通強度コンクリートの養生方法A (N210-A) でのひずみに対する打設後の $\epsilon_b$ のひずみ量比を図-10に示す。ここでの $\epsilon_b$ のひずみ量比は脱型後1日間の $\epsilon_b$ を脱型後1日間のN210の養生方法Aにおける $\epsilon_b$ で除して、単位を無次元化したものである。養生方法AではHF480のひずみ量比が他と比べて小さいので、ひび割れが発生しにくいと考えられる。養生方法BではHF480のひずみ量比はN480のものと同程度であるが、図-8に示すように脱型直前の $\epsilon_b$ がN480より小さいので、養生方法A同様HF480はひび割れが発生しにくいと考えられる。養生方法C、Dでは、乾燥初期でのHF480のひずみ量比が他のものと比較して大きい。これは、前述したようにハイフローセメントを使用したHF480は水和反応速度が遅いので、封かん養生や断熱養生により部材内の水分が他のコンクリートよりも多く残っていて、脱型後その水分が急激に乾燥したためであると思われる。よって、ハイフローセメントの高強度コンクリートへの使用は、封かん養生や断熱養生を行った後、脱型するとひび割れを発生しやすくする可能性もあると考えられる。

N210とN480の場合、養生方法B、C、Dと比較して養生方法Aは乾燥初期においてひずみ量比が大きいのは、コンクリートがまだ硬化の途中なので乾燥収縮と同時に自己収縮が進行しているためであると考えられる。ただし、硬化途中のRC構造物ではコンクリート組織が緻密でないので、養生方法Aのひずみ量比が他の養生のものより大きくても一概にひび割れ発生に不利であるとは言えない。

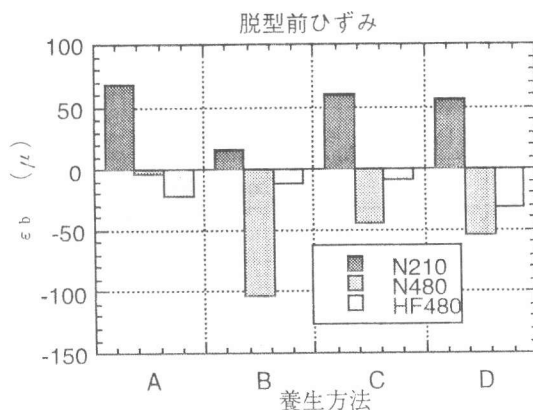


図-8 各養生、各種コンクリートにおける脱型直前の $\epsilon_b$

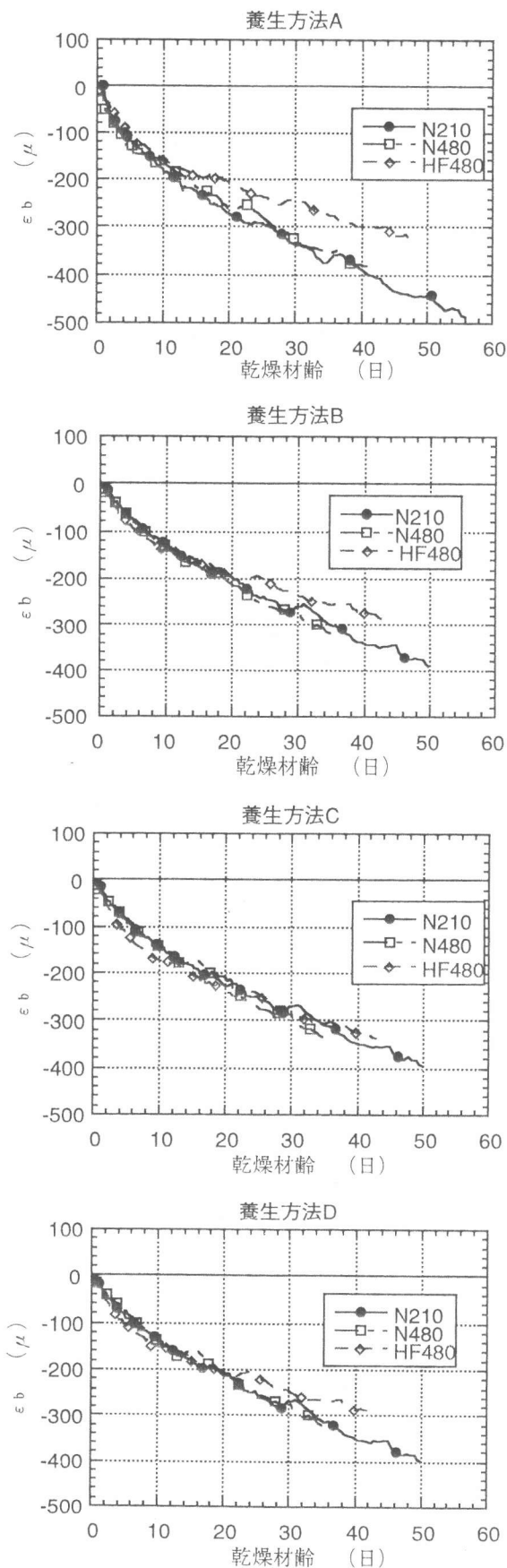


図-9 脱型後の各養生における各種コンクリートでの $\epsilon_b$ の挙動

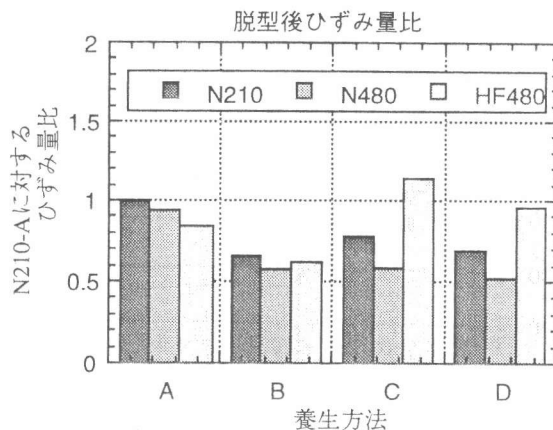


図-10 各養生、各種コンクリートの

N210-Aに対する脱型後の $\epsilon_b$ のひずみ量比

コンクリート脱型前の $\epsilon_b$ は高強度ほど大きくなる傾向にあるのに対し、脱型後では強度の違いによってそれほど大きな差は見られなかった。このことは、高強度コンクリートの初期の水和反応による自己収縮が、普通強度コンクリートに比べ大きいことを示している。

#### 4. 結論

本実験で以下のような結果が得られた。

- 1) 熱膨張率は、各種コンクリート間であまり変化は見られなかった。
- 2) 本実験の試験体においては、断熱養生が温度ひび割れ防止に有効であると思われるが、最高温度が高くなる大断面部材のについても検討する必要がある。
- 3) 高強度コンクリートでは初期の水和反応速度がひび割れ発生に大きく影響すると考えられるので、反応速度の遅いハイフローセメントの使用はひび割れ防止に有効である。
- 4) ハイフローセメントの高強度コンクリートへの使用は、封かん養生や断熱養生を行った後、脱型するとひび割れが発生しやすくなる可能性も出てくると考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 江口 清ほか：高強度コンクリート梁の温度ひびわれ測定、日本建築学会大会学術梗概集、pp.293~294、1992.8
- 2) 平賀 友見ほか：コンクリートの断熱温度上昇特性に関する既往の研究成果について、日本コンクリート工学協会、マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム、pp.1~6、1982.9
- 3) 飛坂 基夫ほか：コンクリートのひび割れ発生に及ぼす水セメント比の影響、第44回セメント技術大会講演集、pp.782~787、1990.4