

重要構造物マスコンクリートの品質管理手法に関する研究：その2 構造体コンクリートの夏期強度管理とプレクーリングについて

御手洗, 泰文
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻博士後期課程

小山, 智幸
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/19086>

出版情報：都市・建築学研究. 10, pp.129-138, 2006-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

重要構造物マスコンクリートの品質管理手法に関する研究

Study on Quality Control of High Strength Mass Concrete in Important Structures

その2 構造体コンクリートの夏期強度管理とプレクーリングについて

Part 2. Quality Control of Concrete in Structure and Effect of Pre-cooling on Hot Weather Concreting

御手洗泰文*, 小山智幸**

Yasufumi MITARAI and Tomoyuki KOYAMA

In this paper, we described the study on quality control of concrete in structures of Nuclear Power Plant. First we studied the effects of factors influencing strength developing characteristics of concrete for high strength mass concrete. Next, we had the result of the strength gain properties of mass concrete placed in the summer season, and the effect of Pre-cooling of concrete. Finally we conducted the properties of mass concrete on strength gain up to 12 years age carried out in the preliminary examination.

Keywords : *Important Structures, Quality Control, High Strength Mass Concrete, Full-Scale Experiment, Hot Weather Concreting*
重要構造物, 品質管理, 高強度マスコンクリート, 実規模供試体, 暑中コンクリート

1. はじめに

重要構造物として代表的な原子力発電所施設の各建屋には、一般のコンクリート構造物に要求される性能と比較して、耐震性・遮へい性等において一段と高度な性能が要求される。したがって各構造物ともその構成は鉄筋量の多いマッシュな部材で占められるのが大きな特徴であり、規模的には発電所1基当たり25~30万m³もの大量のコンクリートが使用されることとなる。その要求性能や構造物の信頼性を考慮すると、コンクリートの品質確保に関しては一般の構造物に増して綿密な事前検討、また建設中の徹底した品質管理、並びに発電所の稼働期間中にまで及ぶコンクリート構造物の耐久性調査と物性評価を継続し、施設の安全と健全性を確保していく必要がある。

原子力発電所施設の建設に当たっては、日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説「JASS 5 鉄筋コンクリート工事」及び「JASS 5N 原子力発電施設における鉄筋コンクリート工事」¹⁾をよりどころとしているが、要求される性能を実現するためには、工事着手前から入念にコンクリート諸物性を把握し品質管理手法を検証しておくことが重要な課題である。既報の(その1 構造体コ

ンクリートの冬期強度管理について)においては、冬期施工時の高強度マスコンクリートの強度管理をいかなる手法で実現できるかについて検証したが、(その2)では、夏期施工時²⁾の構造体コンクリートの強度発現及び練上がり温度の構造体への影響について検討した。以下にその概要を示す。

- ①夏期施工時の温度履歴を実物レベルの模擬部材を用いて試験的に再現し、温度履歴特性と構造体コンクリートの強度発現性状について検証した。
- ②高強度マスコンクリートの夏期施工時の長期強度発現の改善ならびに温度ひびわれ対策をねらいとしたプレクーリング手法³⁾の影響について検討した。また、夏期の構造体コンクリートの長期強度発現を確保できる適切な強度補正値を検証した。
- ③提案する管理手法にて夏期に施工されたコンクリートの長期物性(材齢12年)について検証した。

尚、当研究は昭和58年に開始され、調査・試験の立案と実施、それから得られた基本理念を設計へ反映し、また、厳密な品質管理のもと実構造物の建設と実証試験を繰り返す、その後、同構造物で今日まで長期物性調査・試験を継続して来ているものである。このため、記載には重力単位系のデータを換算せず使用している。

*空間システム専攻 博士後期課程

**都市・建築学部門

2 試験計画

2.1 試験の全体構成

重要構造物における高強度マスコンクリートの構造体強度管理の基本理念を確立することを目的として、九州における夏期の温度履歴を試験的に再現し、コンクリートの強度発現性状等について長期にわたる検討^{(4)~(6)}を行った。

試験構成を表-1に示す。尚、図-1に示す試験用に作製した実物レベルの試験体は(研究報告 その1)と同様のものである。

表-1 試験の全体構成

		試験1	試験2
試験場所		現場試験	研究所構内試験
試験要因		・打込温度(水セメント比一定) ・部材寸法	
模擬部材 タイプ別 試験要因 割付け	模擬部材	打込温度	模擬部材
	A	: 30°C	D1
	B	: 30°C	D2
	C1	: 35°C	D3
	C2	: 25°C	D4
	C3	: 20°C	D5
			D6
		D7	

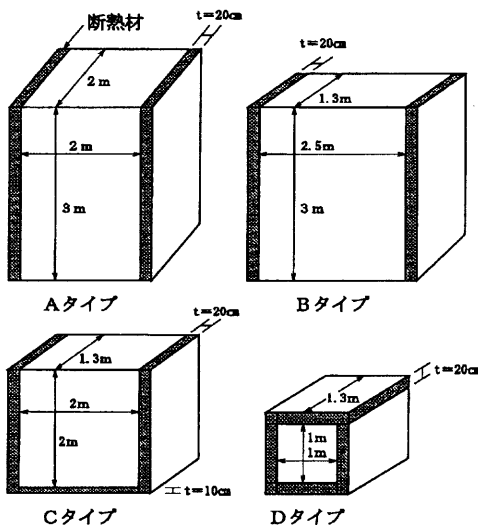


図-1 模擬部材の種類

3. 夏期試験における温度履歴と強度発現性状

3.1 コンクリートの調合と性状

夏期に施工するマスコンクリートの温度履歴特性および強度発現性状を中心に述べる。夏期試験は、コンクリートのプレクーリング効果の検討を主目的として、現場試験(試験1)と研究所構内試験(試験2)に分けて実施している。

打込温度をパラメータとしたので、調合は表-2に示す1種類とした。練上り温度が異なるので当然のことな

がら、練上りスランプも違ってくるが、これを流動化剤の工場添加により目標スランプに合わせるように調整した。フレッシュコンクリートの物性を表-3~4に示す。フライアッシュ混入セメント用特殊補助AE剤を用いたので、空気量の安定性は、かなり改善されたと考える。試験1, 2ともに、コンクリートの打込温度は、計画通りに実施できた。

表-2 夏期試験用コンクリートの調合表(試験1,2)

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量	セメント	細骨材		粗骨材	遅延型 AE 減水剤	特殊補助 AE 剤
				海砂	砕砂			
41	43.0	163	398	503	231	1059	0.995	可変

表-3 フレッシュコンクリートの物性

(試験1)

模擬部材名称	目標打込温度 (°C)	出荷時			打込時		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
A, B	30	7.5	4.0	27.0	10.0	4.4	30.0
C1	35	6.0	3.5	34.4	11.5	4.1	33.7
C2	25	8.5	4.6	17.0	9.5	5.3	24.5
C3	20	10.8	4.1	14.9	9.7	4.4	21.0

表-4 フレッシュコンクリートの物性

(試験2)

模擬部材名称	目標打込温度 (°C)	打込時		
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
D1	5	10.3	4.4	5.1
D2	10	10.9	3.5	10.6
D3	15	14.5	4.0	15.2
D4	20	12.3	3.7	19.9
D5	25	11.8	3.6	25.1
D6	30	13.5	4.0	30.1
D7	35	13.3	3.4	34.4

3.2 温度履歴特性

A~Cタイプ模擬部材温度測定位置は、研究報告(その1)3.2と同一であり、Dタイプについては、図-2に示す通りである。各模擬部材中心の温度履歴を、図-3~4に示し、最高温度とその到達時間を表-5~6に示す。

特別のプレクーリングをしないときの打込温度として30°Cを想定しているが、このときの最高温度は約70°Cにも達することがわかる。また、試験1, 2ともに打込温度の差が、最高温度の差として明瞭に現われている。表-7は、断面の予想平均養生温度を示しており、これから、初期材齢においてプレクーリングの差がかなり認められるが、材齢13週においては、その差は殆どなくなっていることがわかる。また、盛夏に打ち込まれたものの材齢13週時平均養生温度は、20°Cを大きく上廻っていることがわかる。

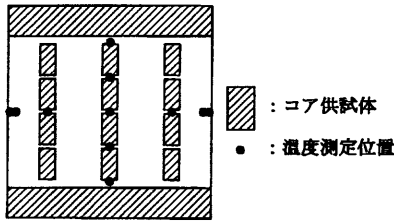


図-2 Dタイプ模擬部材
コア抜取位置と温度測定点 (断面図)

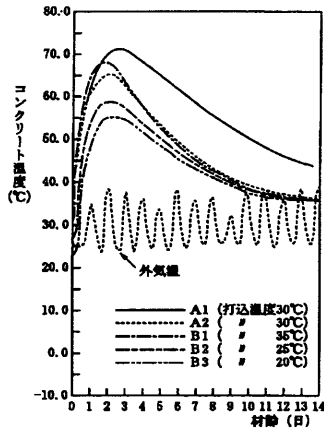


図-3 各模擬部材中心温度履歴
(試験1)

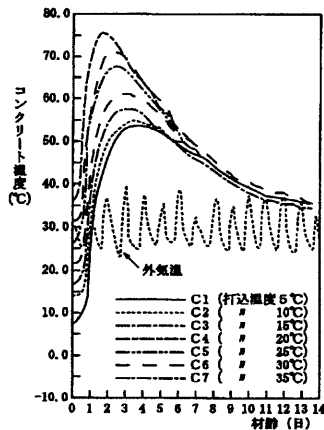


図-4 各模擬部材中心温度履歴
(試験2)

表-5 各模擬部材の最高
温度と到達時間 (試験1)

模擬部材種類	目標打込温度 (°C)	最高温度 (°C)	到達時間 (hrs)
A	30	71.3	61.5
B	30	64.8	52.5
C 1	35	67.9	46.0
C 2	25	58.6	50.5
C 3	20	55.1	55.5

表-6 各模擬部材の最高
温度と到達時間 (試験2)

模擬部材種類	目標打込温度 (°C)	最高温度 (°C)	到達時間 (hrs)
D 1	5	54.1	87.0
D 2	10	55.1	73.0
D 3	15	57.5	70.0
D 4	20	61.8	67.0
D 5	25	67.4	61.0
D 6	30	71.2	46.0
D 7	35	75.5	43.0

表-7 予想平均養生温度 (°C)

模擬部材種類	目標打込温度	材 齢				
		1 W	4 W	13 W	6ヶ月	
試験 1	A	30	55.6	43.4	31.6	22.2
	B	30	49.4	38.3	29.9	21.4
	C 1	35	50.3	38.5	30.5	21.7
	C 2	25	46.2	37.2	30.2	21.6
	C 3	20	44.0	36.4	28.7	20.6
	平均外気温		27.6	27.8	23.7	17.1
試験 2	D 1	5	40.9	34.4	24.3	15.6
	D 2	10	42.2	35.3	25.8	17.4
	D 3	15	44.9	34.9	24.5	16.0
	D 4	20	47.5	36.6	25.8	16.6
	D 5	25	51.4	36.8	25.3	16.4
	D 6	30	52.8	37.8	26.5	17.7
	D 7	35	55.1	37.6	25.5	16.5
	平均外気温		29.7	28.3	21.4	13.7

3.3 強度発現性状性

平均コア強度と標水養生シリンダー強度の推移を図-5~6に示す。試験1, 2ともに夏期に打込んだマスコンクリートの平均コア強度は、材齢4週以降もあまり増進していない。全試験を通じて4週から13週までの伸びは、20~30kgf/cm²程度で、13週から6ヶ月までの伸びも30~60kgf/cm²程度しか見込めない。これは、冬期の強度発現性状とは著しく異なっており、この傾向は要因として採用したクーリングの温度が違っていても同様である。断面内の強度分布は、上下方向については冬期と同様であったが、水平方向については、温度履歴の高い中心部の方が表面部より強度が低いという傾向がみられた。一方、標水養生シリンダー強度は、材齢とともに暫増する傾向を示し、材齢13週以降6ヶ月までに50~100kgf/cm²程度の伸びが認められる。コアとシリンダーの強度発現性状の差は、初期材齢における高温履歴の有無が影響していると考えられる。

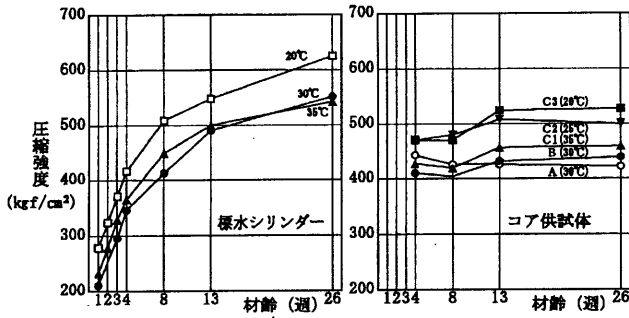


図-5 試験1における強度発現性状

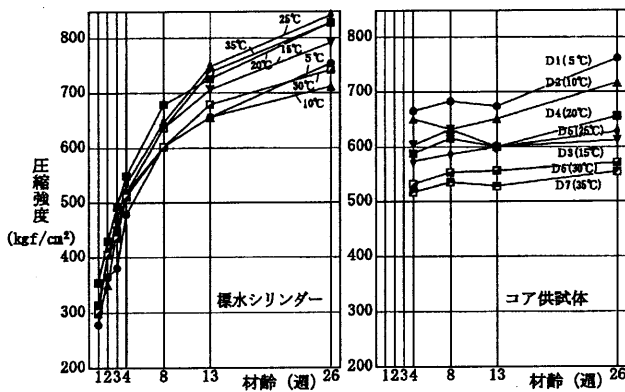


図-6 試験2における強度発現性状

3.4 コア強度と設計基準強度の関係

材齢13週時の平均コア強度をみると、試験1では、447~514kgf/cm²、試験2では、527~677kgf/cm²となり、目標とした設計基準強度(420kgf/cm²)をいずれも満足している。強度発現とプレクーリング効果との関係については、4. で述べる。

3.5 試験1と試験2の強度差の考察

温度履歴特性については、模擬部材の寸法、断熱材の配置に差があるため試験1と試験2の比較は一概にできない。強度特性については、全体的な傾向は似ているものの、強度の絶対値にかなりの差がみられた。一般に実験室と現場との試験との間には10~15%程度の強度差が生じるが、今回はそれを上廻る差となった。これは、現場試験では、表面水の補正誤差、ミキサの練り混ぜ性能等強度低下をきたす要因が多く介在するためと思われる。

4. 夏期マスコンクリートのプレクーリングによる性状

4.1 プレクーリングの効果

夏期に打込まれるコンクリートは、長期強度の発現が悪いと一般に言われている。特にマスコンクリートは、自己の発熱により内部がかなりの高温になるため、この傾向が更に顕著である。

図-7は、同一調合のコンクリートの打込み温度をプレクーリングによって変えたときの、マスコンクリートの強度発現の違いを比較したものである。

これによれば、試験1、2とも打込み温度が低いほど強度発現が大きい傾向がみられる。殊に、試験2では、打込み温度が5°Cと35°Cとの間には材齢13週時で150kgf/cm²、材齢6ヶ月時で200kgf/cm²の強度差がみられる。

このように、プレクーリングが強度発現に及ぼす効果を試験的に確認したが、さらに一般的にプレクーリングによってマスコンクリートの温度応力が軽減されるので強度が高いうえに、熱応力が小さいという状態となり、温度ひびわれ対策として大きな効果が期待できる。

4.2 温度履歴の限界値

初期に高温履歴したコンクリートの長期強度の発現が悪いという現象を別の角度から検討してみる。

図-8は、標水養生シリンダー強度に対する平均コア強度の比率を縦軸に、最高履歴温度を横軸にしてプロットしたものである。図-9は、標水養生シリンダー強度に対する温度追従養生シリンダー強度の比率を同様にプロットしたものである。

両図より、材齢4週時においては、コアおよび温度追従養生シリンダーの強度は、標水養生シリンダー強度を上廻っているが、材齢13週時のそれらは、標水養生シリンダー強度以下になっていることがわかる。

最高履歴温度55°Cを限界値として、平均コア強度が標水養生シリンダー強度を下廻るとい傾向が強くなり、材齢13週時では、最高履歴温度が70°Cの場合20%以上の差がみられる。

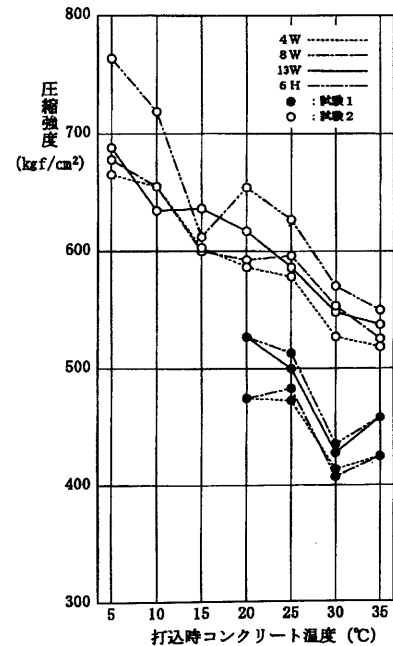


図-7 各模擬部材のコア強度と打込温度の関係

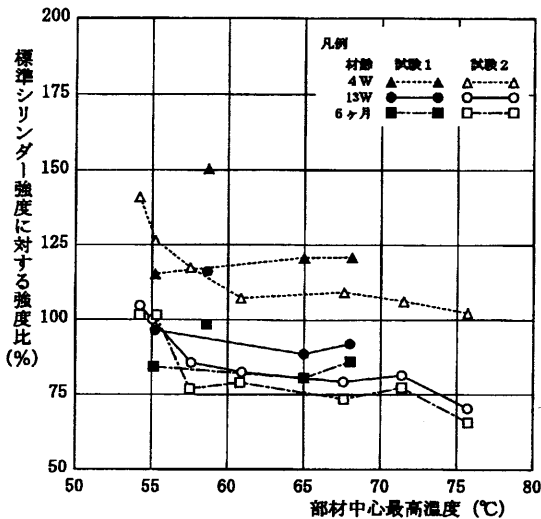


図-8 コア標水シリンダーに対する強度比と部材最高温度との関係

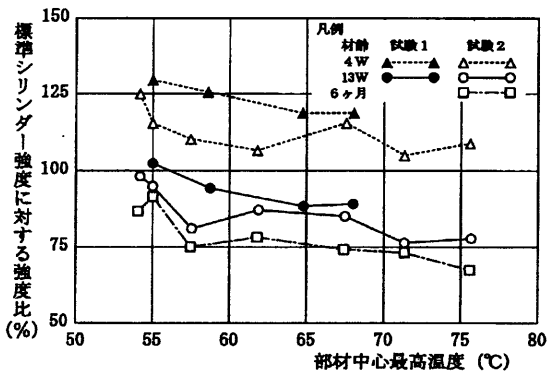


図-9 温度追従養生シリンダーの標水シリンダーに対する強度比と部材最高温度との関係

4.3 夏期マスコンクリートの強度発現モデル

これまで述べてきた夏期におけるマスコンクリートの強度発現特性を集約して、概念的に示せば、図-10, 11 のようになる。

図-10は、打込み温度を下げれば強度の発現が大きくなり、プレクーリングによって高い強度を確保できることを示している。一方、図-11は、初期の強度発現は高いが、長期の強度はそのまま横ばいのみとなるという特徴を表している。このため、長期材齢においては、標水養生強度とマスコンクリートの強度差が次第に大きくなる。

4.4 強度管理の方法

現行JASS 5Nでは、コンクリートの強度管理を標水養生シリンダーで行なうこととなっている。この場合図-11に示すように、マスコンクリート強度と標水養生シリンダー強度との対応関係は、材齢の関数となっており、長期材齢になればなるほど差が大きくなる。従って、両

者の関係は、一般に以下のように表すことができる。

$$\text{標水養生シリンダー強度} = f(n) \times (\text{マスコンクリート強度}) \quad \dots\dots(1)\text{式}$$

但し n : 材齢 (日)

したがって、標水養生シリンダーによる強度管理は、標水シリンダー強度と $f(n) \times F_c$ との対比によって、行えばよい。

4.5 夏期における調合補正

管理材齢が定まれば、そのときに必要な調合強度は、4.4の検討結果により下式を満足しなければならない。

$$F_{28} = f(28) \times (0.7F_c + 1.73\sigma) \quad \dots\dots(2)\text{式}$$

$$F_n = f(n) \times (0.7F_c + 1.73\sigma) \quad \dots\dots(3)\text{式}$$

$$F_n = f(n) \times (0.85F_c + 3\sigma_n) \quad \dots\dots(4)\text{式}$$

但し、夏期につき温度による強度補正值 $T = 0$

(2)~(4)式の右辺は、JASS 5Nの調合強度算定式に $f(n)$ を乗じたものである。

$f(n)$ を材齢をパラメーターとした係数として考えれば、一般に材齢4週では $f(28) < 1$ 、材齢13週では、 $f(91) > 1$ となる。

今回の実験から $f(n)$ を試算すれば表-8のような数値を得る。但し、この数値は、フライアッシュを混入した中庸熱セメントを用いたときのものであり、さらに、ここではコア抜きによる強度低下を考慮していない。

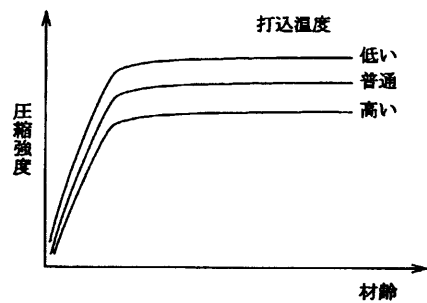


図-10 クーリング効果と強度発現性状モデル

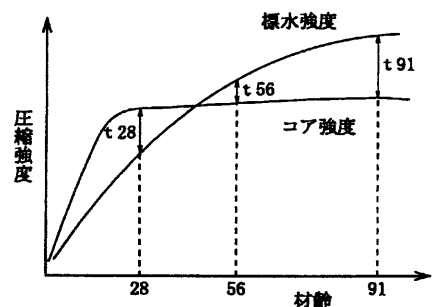


図-11 コアと標水シリンダーの強度発現性状モデル

表-8 実験結果から求めた f(n) の値

材 齢	試験 1	試験 2
4 週	0.85	0.93
8 週	1.05	1.10
13 週	1.08	1.23

5. 高温履歴を受けたマスコンクリートの長期強度特性

5.1 長期試験概要

マスコンクリートの長期物性把握調査^{7),10)}に用いた試験体は、(その1)2.2の模擬部材と同一のもので、試験体の形状・寸法およびコア抜き取り位置を図-12に示す。コアの抜き取り位置は、これまでのデータに対し、圧密の程度が同じようになることを考慮して定めている。調査項目は、標準水中養生と抜き取りコアによるコンクリートの圧縮強度である。

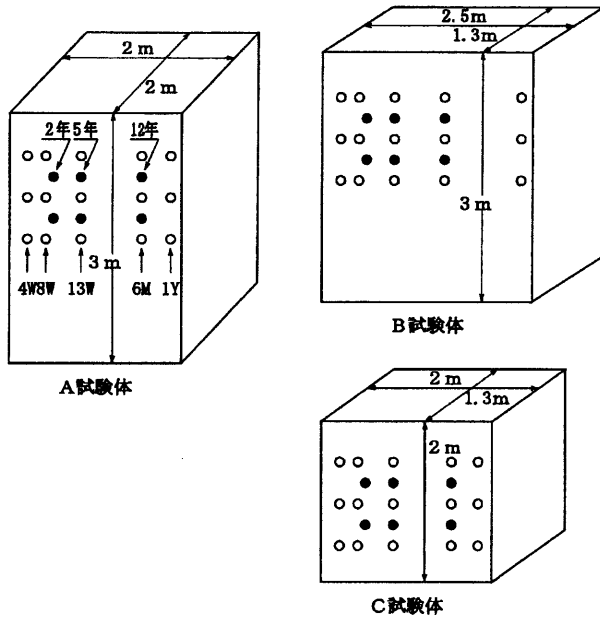


図-12 模擬試験体の形状・寸法とコア抜き取り位置

5.2 長期強度発現性状

表-9に圧縮強度試験結果をこれまでのデータとともに示す。A試験体およびB試験体の強度発現性状をそれぞれ図-13に示す。図は、それぞれの標準水中養生供試体の材齢13週強度(強度管理材齢)を100とした強度比で整理した。

3.3で述べたように、材齢6ヶ月までの構造体コンクリートの強度発現性状について、夏期打設にもものは、初期に高温履歴を受けるため初期の強度発現は大きい、長期的な強度の伸びが期待できない。このため、材齢13週では標準養生強度より小さくなり材齢の経過を待つ

もこの強度差は縮まらない状態であった。その後、材齢6ヶ月以降材齢1年までの強度発現を見ると、標準養生強度は頭打ち現象が見られ、また、コア強度でも、材齢6ヶ月以降の伸びが小さい。しかし、材齢1年から5年の間にかかなり大きい強度の伸びが見られ、材齢5年でほぼ標準養生強度とコア強度が等しくなっており、そのコンクリートが持っているポテンシャルまで強度が伸びていることが分かる。

このように、夏期打設のものは、3.3での予測と異なる強度発現性状を示した。この強度発現性状をセメント化学的に見ると以下のようなことが考えられる。

高温履歴のため、初期のセメントの水和速度は著しく早く、このため初期の強度発現が大きい。しかし、水和速度が早いために、大門らが指摘するように、セメント粒子の周囲は緻密かつ難透水性の水和生成物によって覆われ、以後のセメントの水和反応が遅れることによって材齢1年程度までは強度の伸びが見られないものと考えられる。しかし、水和が遅れるものの、非常に緩やかな水和の進行により長期(材齢2年、5年程度)には強度が伸びるものと推察することができる。

さらに、材齢5年以降材齢12年にかけて、標準水中養生供試体ならびに構造体コアの強度は若干の強度増進がみられるが、これは今後の傾向を把握する必要があり、現状では横ばいで推移している状況と評価する方が妥当であるとする(尚、平成18年度には材齢22年の試験を実施する予定である)。

表-9 圧縮強度試験結果

打設時期	試験体名称	供試体種類	試験材齢							
			4W	13W	6M	1Y	2Y	5Y	12Y	
夏期	A	標水	344	491	551	537	590	579	650	
		コア	454	441	426	463	540	544	590	
	B	標水	344	491	551	537	590	579	650	
		コア	429	452	445	479	541	570	618	
	C1	標水	360	498	543	543	607	585	652	
		コア	428	457	460	497	550	589	652	
	C2	標水	317	437	508	502	574	567	612	
		コア	474	501	500	509	651	634	648	
	C3	標水	413	547	628	645	638	601	641	
		コア	473	505	528	504	660	687	723	

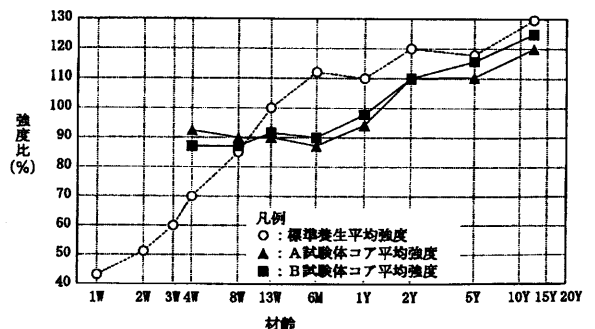


図-13 夏期打設の強度発現性状

6. 夏期プレクーリングによるコンクリート構造体の特性

6.1 実機施工時の温度応力測定

九州電力玄海原子力発電所3号機ではプレストレストコンクリート製原子炉格納容器（以後、PCCVと記す）を採用している。このPCCV建設に用いるコンクリートは、設計基準強度420kgf/cm²、部材厚寸法1.3~2.05m（PCCVシリンダー部）の高強度マスコンクリートである。PCCVの施工に当たっては、温度ひびわれ対策が重要な課題となるため、事前に温度応力によるひびわれ発生の危険性を解析的に検討し、対策を講じた上で施工を行なった。

ここでは、夏期におけるPCCVコンクリート施工時の温度および温度応力を測定し、採用した温度ひびわれ対策（プレクーリング）の効果について検討した結果^{8),9),11)}を述べる。

6.2 温度ひびわれ対策の検討

温度ひびわれは、打設後にセメントの水和熱が蓄積され、コンクリートの内部温度が上昇し、その後降下する過程に発生する温度応力が限界値に達したときに発生する。したがって、温度ひびわれ対策は、打設後のコンクリート内部の温度上昇をできるだけ低く抑えることを主眼とする対策をとった。

表-10は、玄海3号機PCCVで採用した温度ひびわれ対策の一覧を示す。これのうち、今回は、高強度コンクリートを用いるために⑧のフレークアイスによるプレクーリングの対策を特別に採用した。この対策の採用に当たっては、事前の温度応力解析でプレクーリングの必要量をチェックしている。したがって、ここでは⑧の対策の効果を中心に述べる。

なお、温度応力解析には、PCCVの基本形状を考慮して軸対称回転体あるいは2次元有限要素法を用いた。コンクリート打設後の温度分布は非定常熱伝導方程式を時間ステップ法で解析し、温度応力は、弾性係数の経時変化および若材齢クリープを考慮した応力の重ね合わせによる時間区分増分法を用いている。

表-10 温度ひびわれ対策

①. 中庸熟ポルトランドセメントの採用
②. 混和材としてフライアッシュの使用
③. 低スランブの採用
④. 強度管理材齢の長期化
⑤. 打設ブロック割りの計画
⑥. セメント受入れ温度の制限（夏期）
⑦. 練り混ぜ水の冷却（夏期）
⑧. フレークアイスによるプレクーリング

6.3 コンクリートの調合と断熱温度特性

実施工に用いたコンクリートの調合を表-11に示す。

温度分布解析に用いるコンクリートの断熱温度上昇特性は、実施工と同じ材料を用いて、事前にセメント量、打込み温度を変えて求めた。この結果を図-14に示す。これより、線形補間法を適用して、任意のセメント量・打込み温度の断熱温度上昇特性が求まるようプログラム化し、解析に供した。

表-11 コンクリートの調合

スランブ (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	重量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
10	25	43	43	151	351	758	1095	0.878

注) セメントは、中庸熟+フライアッシュ（内割り20%）セメント

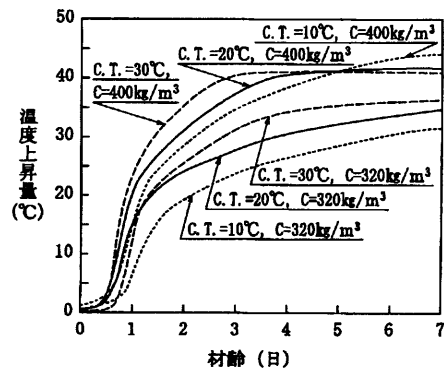


図-14 断熱温度上昇曲線

6.4 材料およびコンクリート温度

コンクリートの練り上がり温度を管理するために、ミキサ上部の材料貯蔵ビンに温度測定装置を設け、各種材料温度（セメント・水・細骨材・粗骨材）を測定した。図-15に測定結果の一例を示す。図のように、セメントは、現場搬入時の温度規制（目標50°C以下）を行った結果、40°C以下で受け入れる事が出来た。また、骨材は、コルゲートサイロで直射日光を避け、外気温より1~2°C低い温度で使用した。クーリング手法として各種検証した結果、練り混ぜ水にフレークアイスを採用した。フレークアイスは混練水（7°Cの冷水）の一部として使用し、外気温に応じてコンクリート1 m³当たり40~60kgとした。現地コンクリートプラントを設置したため、出荷から荷卸地点までの距離が短く、コンクリート温度の上昇はほとんどみられず図-15のように目標値20°C以下を満足することが出来た。また、事前試験からコンクリートの練り上がり温度の推定式を下式のように定めた。これは、JASS5の式にアイスの融解熱（79.6kcal）と重量（Wi）、融解時の熱効率（K）および混練時に発生する機械熱（978.89kcal/m³）を加味したものである。

$$\theta = \frac{0.2\theta_c W_c + 0.2\theta_a W_a + \theta_m W_m - 79.6 W_i K + 978.89}{0.2 W_c + 0.2 W_a + W_m + W_i}$$

図-16にコンクリートの温度実測値と推定値を示す¹²⁾。図から、ここで採用した推定式がコンクリートの練り上がり温度をある程度の範囲で近似出来たことが分かる。

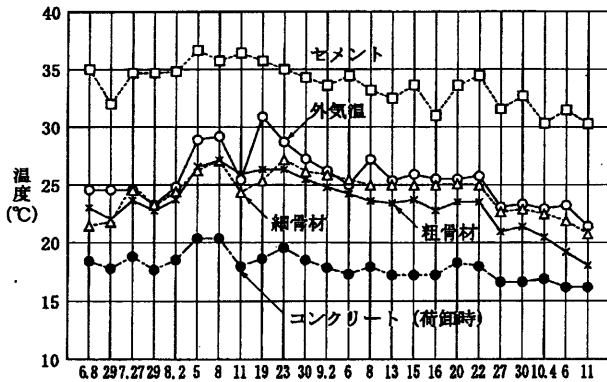


図-15 材料およびコンクリート温度

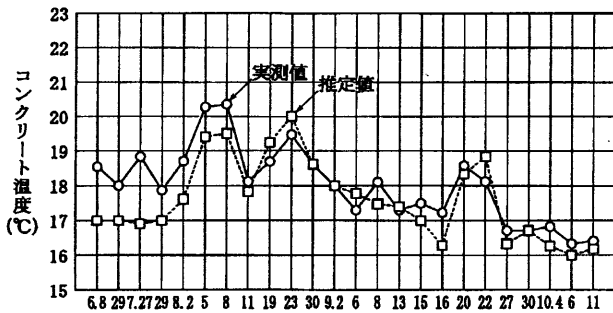


図-16 コンクリート温度実測値と推定値

6.5 温度及び応力の測定方法

温度および応力の測定は、図-17に示す通り、温度応力の発生が激しいPCCV脚部の第1リフト一般部シリンダーの中心部と表面部、パットレス部の近傍および第2リフトの一般部シリンダーの中心部と表面部について実施した。なお、応力の測定には有効応力計を用いた。

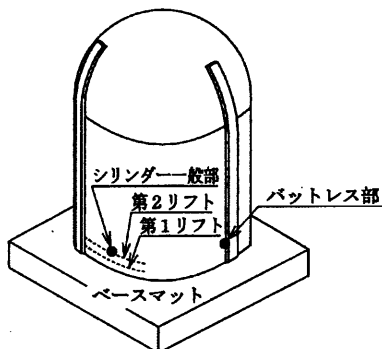


図-17 温度・応力測定場所

6.6 実測結果と解析との評価

打設したコンクリートの性状を表-13に示した。

温度および応力の実測結果¹³⁾の一例を図-18～図-21に示した。

これらの図中には、実測値および解析的にシミュレーションした結果と、さらに、フレークアイスによるプレクーリングを実施しなかった場合に想定される温度と応力を推定した結果も合わせて記載した。

解析値は実測値とよく対応していることが分かる。さらに、フレークアイスによるプレクーリングにより、コンクリート内部温度の上昇を抑えることができ、かつ、発生する引張応力を10kgf/cm²程度小さくすることができたことが分かる。また、プレクーリングにより引張応力が生じる材齢を遅らせることができることも分かる。なお、打設後の目視観察においても温度ひびわれの発生は認められなかった。

表-29 打設コンクリートの物性

リフト No	打設月日	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (°C)	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
					1週	4週	13週
1	8/9	10.0	4.2	17.2	195	360	547
2	9/21	9.8	4.0	15.1	189	362	569

注) 品質管理試験結果の平均値で示した。(No.1リフト3回, No.2リフト4回)
コンクリート打設時外気温 8/9: 28.2°C 9/21: 24.0°C

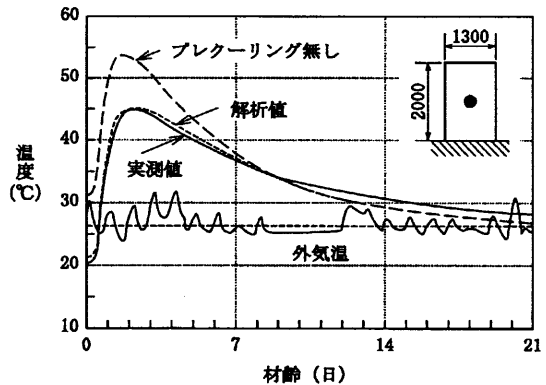


図-18 第1リフトシリンダー一般部中心部温度履歴

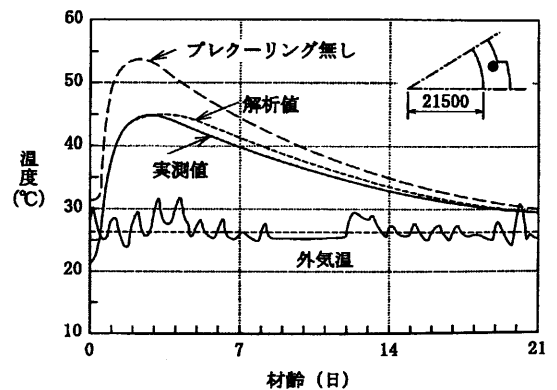


図-19 第1リフトパットレス部温度履歴

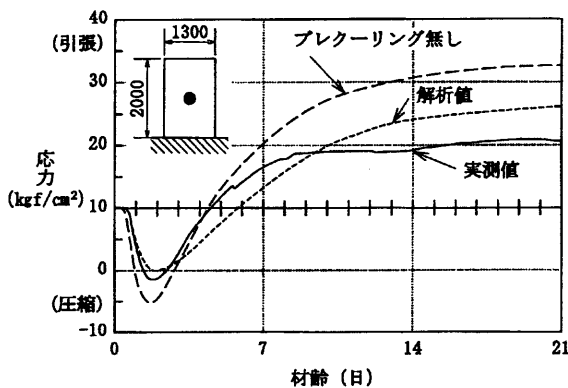


図-20 第1リフトシリンダー一般部中心部応力履歴

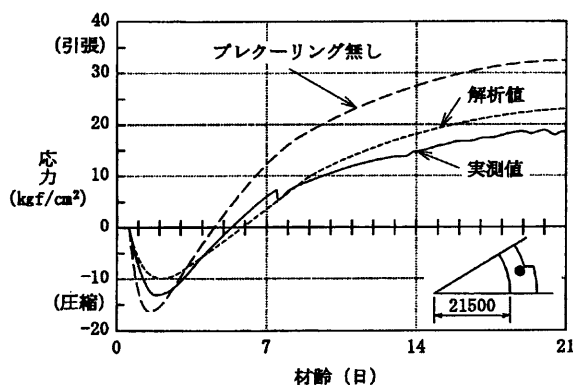


図-21 第1リフトバットレス部応力履歴

7. まとめ

実物レベルの供試体を用いて夏期における高強度マスコンクリートの温度履歴ならびに強度発現特性を検証した結果、以下のことが明らかになった。また、その検証結果をもとに実施したブレーキングの効果および施工された実物レベルでの長期構造体コンクリート強度（材齢12年）の発現性状を把握することが出来た。

- 1) 夏期に特別なクーリングをしないときのPCCV用高強度マスコンクリートは、約70°Cの高温履歴を受ける。
- 2) 夏期に打ち込んだマスコンクリートの材齢13週時の予想平均養生温度は、20°Cを大きく上回る。
- 3) 初期に高温履歴を受けたコアは、材齢の経過に伴う強度の伸びがあまり認められないが、標準水中養生シリンダーは材齢とともに暫増する。
- 4) 夏期において設計基準強度420kgf/cm²のPCCV用高強度マスコンクリートの強度管理が可能であった。
- 5) ブレーキングにより夏期高強度マスコンクリートの強度発現を改善できることを、また、温度ひび割れ対策に対する効果を検証できた。
- 6) 夏期高強度マスコンクリートの強度発現性状をモデル化して示すことができた。
- 7) 夏期高強度マスコンクリートの調合補正、強度管理

手法を示すことができた。

- 8) 夏期施工時の高強度マスコンクリートの構造体強度について長期にわたり性状を追跡した。打設直後のコア強度は高温履歴を受けるため高い発現であったが、その後、材齢1年未満までは横ばい状態であった。また、材齢1年以降から材齢5年にかけて再度強度の増進がみられ、材齢12年まではほぼ横ばいで推移している。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5N原子力発電施設における鉄筋コンクリート工事（2001），2001.5.
- 2) 日本建築学会：暑中コンクリートの施工指針・同解説，2000.9.
- 3) 日本建築学会：マスコンクリートにおける技術の現状，2001.6.
- 4) 井上勝弘，伊藤賢徹，副島研次，村上清美，中根淳，大池武：PCCV用高強度マスコンクリートの品質管理に関する実験的研究（その1 実験概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.313-314，1985.10.
- 5) 井上勝弘，伊藤賢徹，甲斐成之，中村孝光，中根淳，大池武：PCCV用高強度マスコンクリートの品質管理に関する実験的研究（その5 夏期試験における温度履歴と強度発現性状），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.321-322，1985.10.
- 6) 井上勝弘，伊藤賢徹，津村成利，阿部一裕，中根淳，大池武：PCCV用高強度マスコンクリートの品質管理に関する実験的研究（その6 夏期マスコンクリートの取り扱い），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.323-324，1985.10.
- 7) 大池武，井上勝弘，重信学，平峯正，御手洗泰文，中根淳：PCCV用高強度マスコンクリートの品質管理に関する実験的研究（その9 材齢5年までの強度発現性状），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.269-270，1990.10.
- 8) 御手洗泰文，安達稔，清原一彦，田頭紘治，坂口徹，中根淳，大池武：PCCV用高強度マスコンクリートの品質管理に関する実験的研究（その10 PCCV施工時の温度応力の抑制対策とその結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.89-90，1991.9.
- 9) 井上勝弘，重信学，副島研次，野口浩，野田陽一，坂口徹：フレークアイスによるコンクリートのブレーキング，セメント・コンクリート，No. 505. pp.8-19，1989.3.

- 10) Y. MITARAI, M. SHIGENOBU, T. HIRAMINE, K. INOUE, S. NAKANE, T. OHIKE : Strength Gain Properties up to Five - Year Age of High - Strength Mass Concrete, STRUCTURAL MECHANICS IN REACTOR TECHNOLOGY, pp.293-298, 1991.8.
- 11) 井上勝弘, 伊藤賢徹, 中根淳, 大池武 : 夏期における高強度マスコンクリートの強度発現とプレクーリング効果. コンクリート工学年次講演会論文集, pp.325-328, 1986.6.
- 12) 安達稔, 清原一彦, 御手洗泰文, 平岡信幸 : 原子力発電所設備のコンクリート, コンクリート工学, Vol.31, No.3, pp.61-66, 1993.3.
- 13) 御手洗泰文, 安達稔, 園洋一, 坂口徹 : 原子力発電所におけるマスコンクリートの施工と品質管理, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, pp.1365-1370, 1994.6.

(受理：平成 18 年 6 月 8 日)