九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

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1 構造体コンクリートの冬期強度管理について

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/10.15017/19085

出版情報：都市・建築学研究. 10, pp.119-128, 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：

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第10号，2006年７月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.10, pp. 119 ~ 128 , July. 2006

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１　構造体コンクリートの冬期強度管理について

Part 1. Quality Control of Concrete in Structure on Cold Weather Concreting

御手洗泰文*，小山智幸**
Yasufumi MITARAI and Tomoyuki KOYAMA

In this paper, we described the study of 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 a strength gain properties of mass concrete placed in the winter season due to low curing temperature after placement. Then, as a preliminary inquiry for construction with high strength mass concrete, we used "Full-size members" simulating general part of structures. 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, Cold 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，寒中コンクリート

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ブ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m^3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，並びに発電所の稼動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。

現在，原子力発電所施設の設計・工事では日本建築学会建築工事標準仕様書・同解説「JASS5　鉄筋コンクリート工事」及び「JASS5N　原子力発電所施設における鉄筋コンクリート工事」の規定[1)]をよりどころとしているが，これまで実際の設計や工事に当たっては，要求される性能を実現出来る実施事例や設計に必要な信頼すべきデータの蓄積も少なく，また，建設後，実構造物の供用期間中までに及び長期間の物性を検証した実績は皆無である。

特に，採用されるコンクリートの仕様は高強度マスコンクリートで，その構造体強度管理を実機レベルで実現する手法も容易でない。

このような背景のもと，本研究では原子力発電所建屋のマスコンクリートの設計に要求される諸物性を把握し，また，それらを踏まえて合理的な設計および品質管理手法を提案することを目的とし検討を行ってきた。

（その１）では，高強度マスコンクリートの冬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，以下の事項について検討した。

①冬期施工時の高強度マスコンクリートの温度履歴特性と構造体コンクリートの強度発現性状を検証した。
②構造体コンクリート強度と積算養生温度の関係を比較し，構造体コンクリートの強度管理手法を検討した。
③冬期施工時の構造体コンクリートの長期強度発現特性を把握し，適切な強度補正値を検討した。
④提案する管理手法にて冬期に施工されたコンクリートの長期特性（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し，その後，同構造物で今日まで長期物性調査・

＊空間システム専攻　博士後期課程
＊＊都市・建築学部門

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。

2　試験概要

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，九州における冬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[2)~5)]を行った。

試験構成を表－1に示す。

表－1　試験の全体構成

要　　因	・調合　3種類 ・部材寸法
模擬部材タイプ別試験要因の割付け	模擬部材　水セメント比 A　：41% B　：41% C1：43% C2：45%

2.2 模擬部材の種類

模擬部材は，図－1に示すように実構造物（原子炉格納容器建屋概要図　参照）の実大スケールでAタイプ～Cタイプの3種類とした。Aタイプは，原子炉格納容器建屋のバットレス部を模擬して壁厚を厚くしたものである。これ以外のものは，同構造物の一般筒身部のマスコンクリートを模擬して壁厚を1.3mとしている。

それぞれ実構造物の一部を切り出したという条件を満たすために，随所に断熱材が配置してある。さらに，断熱材のない開放面では，実機を模擬し，一面は，ライナー型枠を埋め殺しとし，他の一面は，合板型枠とした。

2.3 測定項目と方法

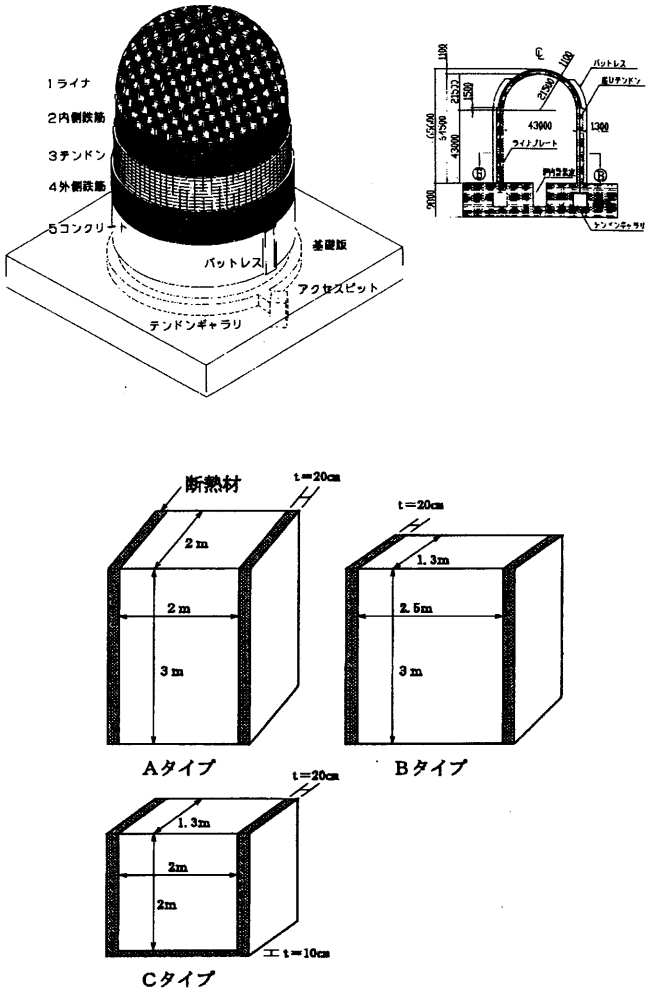
各試験で実施した測定項目と方法は，表－2に示す通りである。

表－2　測定項目と方法

	測定項目	測定方法など	測定目的
1	コンクリートの温度分布と経時変化	CC熱電対	・温度補正の要否を決めるためのマチュリティの計算
2	抜取りコアの強度	材令 4週，8週，13週，6ヶ月，1年	・設計基準強度が確保できることの実証 ・温度補正値の推定
3	管理用シリンダー強度	標準水中養生 現場水中養生 などの各種養生	・コアと管理用シリンダー強度の対比

2.4 コンクリートの調合と使用材料

セメントは，高強度マスコンクリートであることを考



図－1　原子炉格納容器と模擬部材の種類

慮して中庸熱ポルトランドセメントとし，さらに混和材としてフライアッシュを単位セメント量の内割で20%（重量比）混入した。調合条件および使用材料は，表－3に示す通りである。尚，混和材にフライアッシュを使用したため，フライアッシュに吸着される微妙な空気量の調整に特殊な補助AE剤を用いた。

表－3　調合条件と使用材料

	冬期試験
設計基準強度	420 kgf/cm²
管理材齢	13 週
水セメント比	41,43,45%
打込時スランプ	10cm
空気量	4±1%
セメント	中庸熱セメント＋フライアッシュ（内割20%）
細骨材	海砂（70%）＋玄武岩系砕砂（30%）
粗骨材	玄武岩系砕石　5～20mm
混和剤	遅延型ＡＥ減水剤，特殊補助ＡＥ剤

2.5 模擬部材の作製

打込みは，実際の工事で想定される条件下で行った。

打上り速度は，30分当り１層の打込み高さ50cm程度を標準として３～５層に分けて層打ちした。

2.6 管理用シリンダー及び抜取りコア

管理用シリンダーおよびコアの寸法は，10φ×20cmとし，それぞれ表－４の試験材齢で強度試験に供した。

管理用シリンダーは，標準水中，現場水中，現場封かん，標準水中２週間以後現場水中，標準水中３週間以後現場水中（以下，それぞれ標水，現水，現封，標２現，標３現と略称する）の各種養生を行い，コアとの強度発現を比較した。表－４にある温度追従養生とは，模擬部材の中心の温度履歴を水槽で追従させて養生したものを指す。

強度試験に用いた供試体の総本数は，表－５に示すように総計925本（材齢１年までのもの）となった。

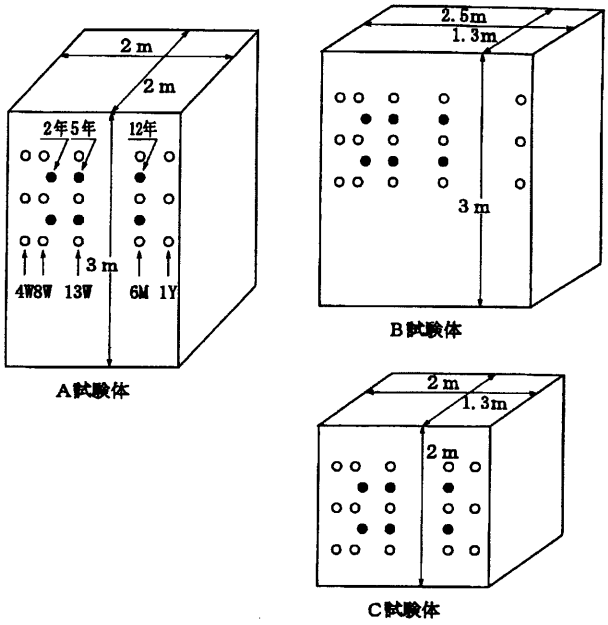
コアの抜取りは，水平方向の拭取りを原則としたが，材齢13週時では鉛直方向に抜取ったものもある。コアの抜取り位置の一例を図－２に示す。

表－４　各種供試体の試験材齢

材齢	標　水	現水,現封 標２,３現	温度追 従養生	コ　ア 供試体
１週	○	－	○	－
２週	○	－	－	－
３週	○	－	－	－
４週	○	○	○	○
６週	－	－	－	－
８週	○	○	－	○
10 週	－	－	－	－
13 週	○	○	○	○
６ケ月	○	○	－	○
１年	○	－	－	○

表－５　強度試験用供試体数一覧表

供試体 種　類	本　数
コ　ア	502
シリンダー	351
温度追従養生	72
合　計	925



図－２　模擬試験体の形状・寸法とコア抜取り位置

３　冬期試験における温度履歴特性

3.1 コンクリートの調合と性状

コンクリートの調合は，2.4に示した調合条件にもとづいて試験練りにより表－６のように定めた。フレッシュコンクリートの試験結果の一例を表－７に示す。

これより，想定したコンクリート荷降しまでの約40分間の輸送に伴なう空気量，スランプの低下が大きいことがわかる。

尚，冬期試験では，通常の補助AE剤を用いたが，フライアッシュが含まれるセメントを使用する場合には，空気量調整のため特殊な補助AE剤の使用を検討する必要がある。

表－６　強度試験用供試体の調合

(kg/m³)

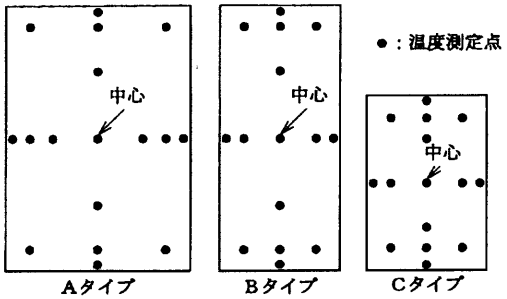
模擬部材名称	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位水量	セメント	細骨材		粗骨材	遅延型AE減水剤
					海砂	砕砂		
A，B	41	43.0	164	400	510	225	1058	1.000
C１	43	43.5	162	377	521	233	1062	0.342
C２	45	43.0	158	352	528	233	1092	0.360

表－７　フレッシュコンクリートの物性

模擬部材名称	水セメント比(%)	出荷時			荷卸時		
		スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)
A，B	41	14.0	4.4	10.0	8.5	3.3	11.0
C１	43	15.0	4.1	10.0	9.5	3.2	11.0
C２	45	14.0	4.0	10.0	8.5	3.1	10.5

3.2 温度測定位置

各模擬部材断面内の温度分布を把握するために，中央の１断面につき図－３のような位置で温度を測定した。



図－３　温度測定位置（部材立面図）

3.3 温度測定結果

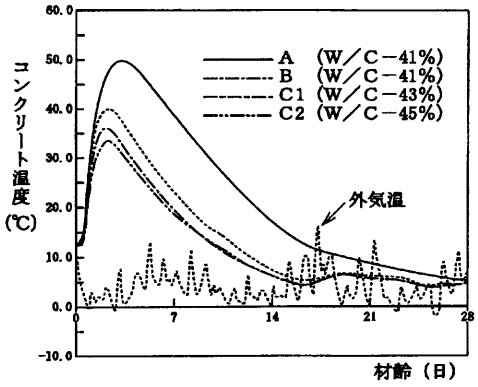
各模擬部材中心の温度履歴を図－４に示し，最高温度とその到達時間を表－８に示す。

各模擬部材の温度履歴は材齢４週まで，模擬部材の種類並びに測定位置により異なっているが，材齢４週以降では，それらにかかわらずほとんど外気温度と同じ温度履歴を示した。各模擬部材中心の最高温度は，単位セメント量が等しい場合は，断面寸法が大きいものほど高く，また，最高温度に達するまで長時間を要する。断面寸法が等しい場合には，単位セメント量の多いものほど，その最高温度は高い。

一般に，セメント10kg／m³の差が最高温度で１℃程度の差になるとされているが，今回の結果もほぼ同様である。

断面内の温度分布については，最高温度時に表面と内部中心温度との差が，12～30℃程度生じたが，材齢４週時では，この差が殆どみとめられなかった。

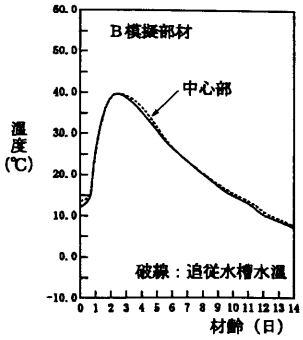
図－５は，模擬部材構造体と同等の条件を管理用シリンダーで得るための温度履歴追従養生槽の水温の変化を示しているが，模擬部材中心の温度をほぼ追随させることができた。



図－４　各模擬部材中心部温度履歴

表－８　各模擬部材の最高温度と到達時間

模擬部材種類	水セメント比 (%)	最高温度 (℃)	到達時間 (hrs)
A	41	49.7	74.0
B	41	40.1	50.0
C１	43	36.3	49.5
C２	45	33.6	49.5

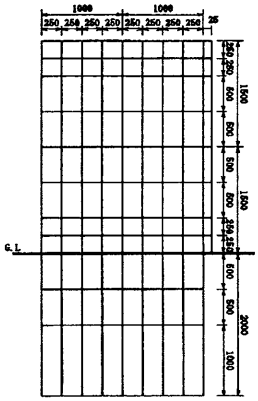


図－５　温度追従養生結果

3.4 温度履歴解析

FEM温度解析プログラム“DETECT”を用いて，図－６（模擬部材Ａタイプの例）のようなメッシュ割りをし，表－９の解析条件によって温度履歴の解析を行った。尚，コンクリートの断熱温度上昇式は同じ材料を用いて行った試験により求めたものである。

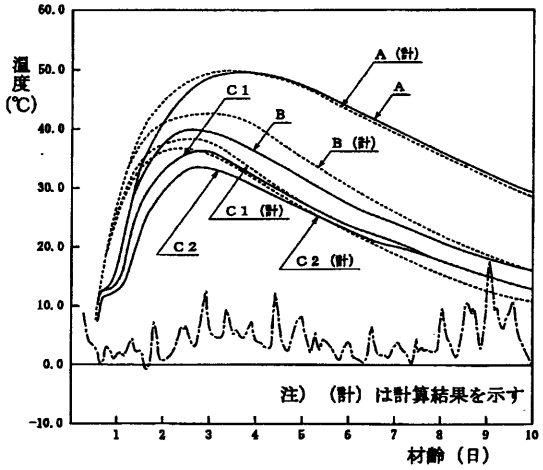
解析の結果，模擬部材中心の温度の履歴の計算値と実測値は，図－７に示すようにほぼ近似させることができた。さらに，図－３に示した断面内の中心，上下，左右の代表的な５点について，計算値の推定精度を積算温度で検討したところ０～10%の範囲で適合していることがわかった。表－10は，その検証の一例を示している。



図－６　Ａタイプ模擬部材における
メッシュ割の例（単位：mm）

表－９　温度履歴推定のための解析条件

因　子	条　件
コンクリートの断熱温度上昇式	A,B 模擬部材 (W／C=41%)T=48.87×(-e^-1.012t) C１模擬部材 (W／C=43%)T=46.83×(-e^-0.974t) C２模擬部材 (W／C=45%)T=44.78×(-e^-0.932t)
コンクリートの熱的性質	比重　：2400 kg/m³ 比熱　：0.50 Kcal/kg℃ 熱伝導率：1.83 kcal/mHr℃
型枠ベニアの熱的性質	比重　：500 kg/m³ 比熱　：0.50 Kcal/kg℃ 熱伝導率：0.50 kcal/mHr℃
外気の熱伝導率	16.0 kcal/m²Hr℃
コンクリートの打込温度	10.0℃
外気温	実測気温による
地盤の熱的性質	コンクリートと同一の熱的性質を用いる。
固定温度境界	打設面から2.0m下を固定温度境界とし，温度は10℃とする。
メッシュ割り	一例を図－６に示す。



図－7　温度履歴解析結果

表－10　積算温度の実測値と計算値の比較

模擬部材種類	測定点位置	材齢2週 実測値	材齢2週 計算値	材齢2週 比*(%)	材齢4週 実測値	材齢4週 計算値	材齢4週 比*(%)
A	下部**	486	532	109	744	834	112
	中心	609	623	102	875	304	103
	上部	370	392	106	573	610	106
B	下部	378	421	111	591	652	110
	中心	446	477	107	663	682	104
	上部	322	355	104	510	535	105
C1	下部	419	426	102	631	630	100
	中心	406	406	100	613	608	99
	上部	289	314	109	485	512	106
C2	下部	398	421	106	615	624	101
	中心	393	402	102	612	602	98
	上部	289	312	108	489	510	104

注) ＊　実測値を100とした時の割合
　　＊＊　下部，上部の測定位置は，それぞれコンクリート面から250mmの深さである。

3.5 予想平均養生温度の算定

3.4により，温度履歴解析の精度が確認されたので，ある時間における各メッシュの計算温度とその支配面積から，その時間の全断面平均温度を求めることができる。さらに，全断面平均温度の経過時間内の平均値として，各材齢時の予想平均養生温度を求めることができる。

表－11は，材齢毎の各摸擬部材の予想平均養生温度を示している。これより，初期の温度履歴は，模擬部材によってかなりの差があるが，材齢13週での平均養生温度は，10℃前後でほとんど差がないと言える。

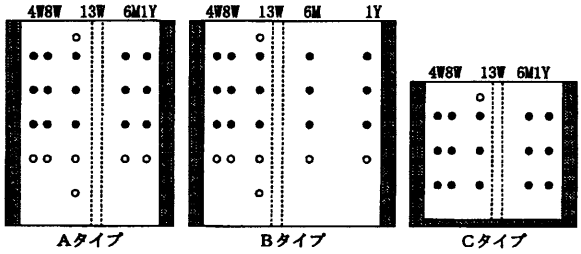
表－11　予想平均養生温度

模擬部材種類	セメント比(%)	各材齢時における予想平均養生温度 (℃) 2週	4週	8週	13週	6ヶ月	1年
A	41	25.0	16.8	11.8	11.5	17.8	17.9
B	41	18.2	11.7	9.2	10.0	17.0	17.5
C1	43	13.0	8.5	7.6	9.0	16.5	17.2
C2	45	12.7	8.5	7.6	9.0	18.5	17.2
平均外気温		3.5	3.8	5.3	7.5	15.2	15.9

4　冬期試験における強度発現性状

4.1 コア抜取り位置とコア強度

コア抜取位置は，図－8の通りであるが，模擬部材の寸法および抜取り材齢により不揃いがあるため，模擬部材間の強度比較は，図中●印をつけた部分の平均強度により行った。コアを抜取ることによって，0～15%の範囲でみかけ強度が低下することを別途行った試験によって確認したが，個々の実測値を補正するに足る因果関係を見出すにいたらなかったので，今回は実測強度をそのまま用いている。



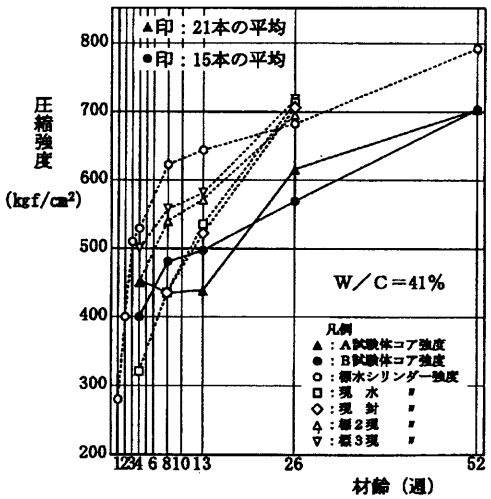
図－8　コア抜取位置（部材正面図）

4.2 コア強度

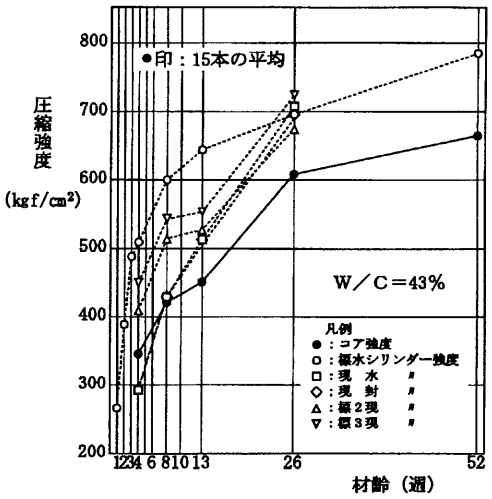
模擬部材別にみたコア強度の推移を管理用シリンダーのデータとともに図－9～11に示す。

図からでもわかるように，各模擬部材のコア強度は，材齢13週以降も，かなりの伸びがみられる。材齢13週から6ヶ月にかけての強度増加は，80～180kgf/cm²もあり，さらに，材齢6ヶ月から1年の間に60～130kgf/cm²の伸びがみとめられる。

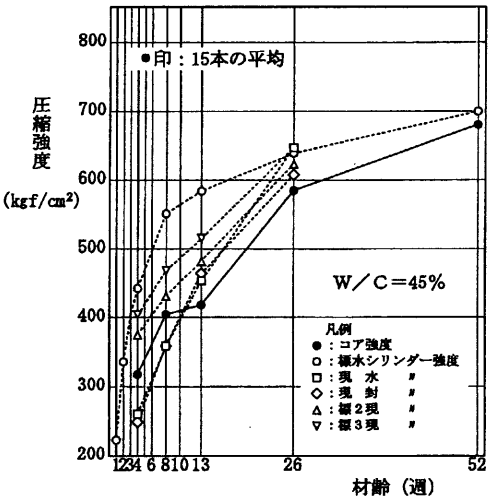
同一模擬部材の同一材齢における断面内（コア採取位置の高さ方向）の強度のばらつきは，標準偏差で45～60kgf/cm²程度であり，変動係数でみれば10%程度となる。これは主として，上下方向の圧密差による強度が50～100kgf/cm²もあったことに起因している。



図－9　A，B模擬部材コア強度と管理用シリンダー強度



図－10　C１模擬部材コア強度と管理用シリンダー強度



図－11　C２模擬部材コア強度と管理用シリンダー強度

4.3 管理用シリンダー強度

管理用シリンダー強度の推移をみると，標水養生シリンダー強度は，初期の強度発現が大きいが，材齢８週以降の伸びは，他のものより鈍化している。一方，現水養生，現封養生シリンダー強度は，初期の強度発現こそ少ないが，材齢４週以降６ヶ月まではほぼ直線的な伸びを示している。

材齢６ヶ月の時点では，各種養生シリンダー強度が，ほぼ同じ値に到達していることが注目される。一方，この時点でもコア強度との差は，依然として残っている。

模擬部材中心の温度履歴を追従させて養生したシリンダーの，中心部平均コア強度に対する強度比は，材齢４週で，106%，材齢13週で101%であり，抜取りの影響があまりなかったとすれば，両者はよく一致している。

4.4 コア強度と設計基準強度の関係

今回の試験では，目標とする設計基準強度として420 kgf/cm²を採用したが，これを満足する構造体が施工できたかどうかについて述べる。

図－８の●印以外のコアを含めた各模擬部材の平均コア強度を求めると表－12の通りである。

材齢13週においては，C2模擬部材（W/C=45%）を除く模擬部材の平均コア強度が，設計基準強度以上となった。さらに，材齢６ヶ月，材齢１年では，全ての模擬部材の平均コア強度が設計基準強度を大きく上廻っていることがわかる。

表－12　各試験体の材齢 13 週以降の平均コア強度

(kgf/cm²)

模擬部材 種　類	13　週		6ヶ月		1　年	
	平均温度	標準偏差	平均温度	標準偏差	平均温度	標準偏差
A	468	51	613	46	701	56
B	504	51	580	48	714	67
C１	438	62	606	48	662	50
C２	408	60	583	50	678	44

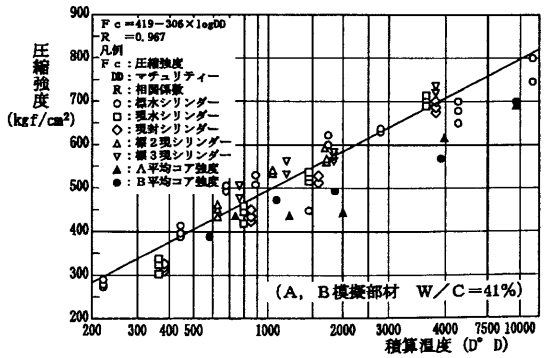
4.5 積算温度とコンクリート強度

各調合毎に，管理用シリンダー強度と積算温度の相関を求め，回帰式とともに図－12～14に示す[8]。また，それぞれの図中に，3.5で求めた予想平均養生温度から計算した積算温度を用いて，コアの平均強度をプロットしている。

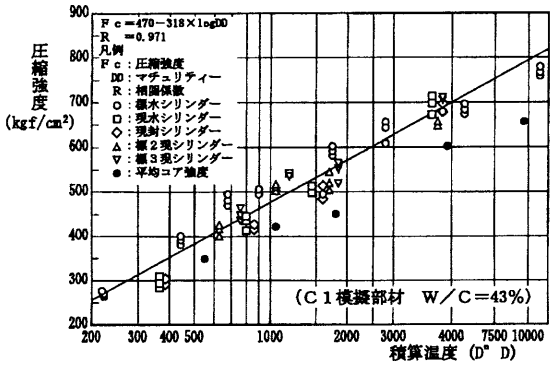
これらの図から，管理用シリンダー強度は積算温度と良く対応していることがわかる。また，相関関数でみても，全ての調合で約0.97と高い値を示している。

一方，コアについては，模擬部材全断面における積算温度と平均強度というマクロな見方をすると，両者は，比較的よい対応関係にあるが，コア強度は，同じ積算温度であっても，管理用シリンダー強度よりも低い。

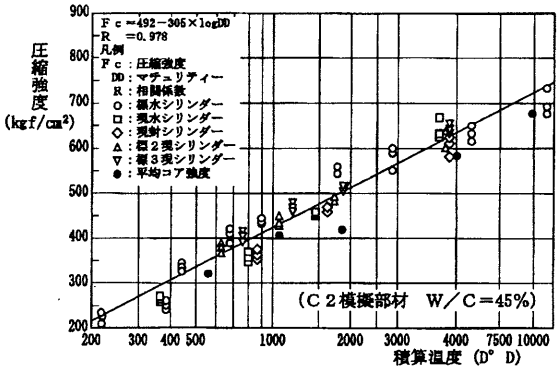
また，材齢13週あるいは材齢６ヶ月では，積算温度が小さいはずの現水，現封シリンダー強度が，いずれも平均コア強度よりも大きくなっており，必ずしも積算温度と強度の関係で強度を評価できない部分もある。



図－12　管理用シリンダー強度と積算温度の関係（A，B模擬部材　WC＝41%）



図－13　管理用シリンダー強度と積算温度の関係
（C１模擬部材　WC＝43%）



図－14　管理用シリンダー強度と積算温度の関係
（C２模擬部材　WC＝45%）

5　冬期の温度による強度補正

5.1 実測値による強度補正値の試算

JASS 5Nに述べられている温度による強度補正値Tとは，予想平均養生温度で養生した場合の強度と標準養生による強度との差であると解釈される。つまり，今回の試験でいえば，平均コア強度と標水養生シリンダー強度との差がこれに該当する。両者の差を表－13に示す。予想平均養生温度については，3.5の表－11を参照。表－13によれば予想平均養生温度が約10°Cとなる材齢13週における強度差は，約140～200kgf/cm²もあることになる。

4.1で述べたように，コア抜取の影響が０～15%程度あることを考慮に入れると，これらの値は，多少小さ目になるものと考えられるが，それでもかなり大きな値である。

一方，今回の実験結果のうち温度追従養生シリンダーと標水養生シリンダーとの強度差もまた強度補正値に相当し，材齢13週時の値をみると，約110kgf/cm²（12本の平均値の差）であった。

いずれにせよ管理材齢における実測値から試算された強度補正値は，100kgf/cm²を大幅に上廻るものとなり，これをそのまま調合計算に適用すると，極めて高い目標調合強度を設定しなければならず，また，強度判定値にも多大の影響をおよぼすことになる。

表－13　各材齢時における標水シリンダー強度とコア強度の差

(kgf/cm²)

模擬部材種類	材齢				
	4週	8週	13週	6ヶ月	1年
A	73	169	174	69	88
B	127	142	138	102	75
C1	160	177	204	85	116
C2	122	144	173	52	20

5.2 材齢13週以降のコア強度の伸び

4.2でも述べたように，冬期に打ち込まれる高強度マスコンクリートは，材齢13週以降の強度の伸びが著しく大きい。その伸び量を強度の絶対値でみると，表－14に示すような値となり，材齢13週から６ヶ月にかけて，約75～175kgf/cm²，材齢13週から１年にかけて約210～270kgf/cm²にもなる。

さらに，材齢13週時の標水養生シリンダー強度に対する各材齢の平均コア強度の強度比をみると，表－15を得る。

このように，平均コア強度は，材齢６ヶ月で材齢13週標水養生シリンダー強度の90～100%，材齢１年で103～117%の強度レベルに達していることがわかる。

このことは，つまり材齢13週時の強度補正を全くとらなくても，材齢１年になれば材齢13週時の強度不足分が充足されることを示している。

表－14　材齢13週コア強度を基準としたときの各材齢のコア強度との差

(kgf/cm²)

模擬部材種類	材齢				
	4週	8週	13週	6ヶ月	1年
A	-16	-18	0	145	233
B	-106	-27	0	76	210
C1	-91	-17	0	168	224
C2	-92	-3	0	175	270

表－15　材齢13週時標水シリンダー強度を100とした時の平均コア強度の強度比（%）

模擬部材種類	材齢		
	13週	6ヶ月	1年
A	73	95	109
B	79	90	111
C1	68	94	103
C2	70	100	117

5.3 修正強度補正値

材齢13週以降の強度の伸びを考慮に入れると，5.1で

試算した過大な強度補正値をそのまま適用するのは合理的とは考えられない。そこで，強度補正値を修正して取扱う方法を検討してみる。

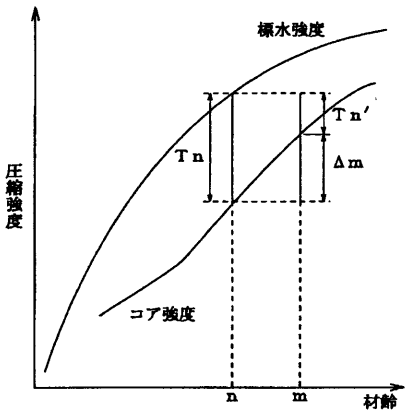
冬期における高強度マスコンクリートの強度発現性状モデルとして図－15を考える。図－15は，管理材齢における本来の強度補正値をTnとし，それ以降材齢mまでの強度の伸びΔmを考慮に入れて，管理材齢における修正強度補正値Tn’を求める方法を示している。修正強度補正値Tn’を式で示せば以下のようになる。

$$Tn' = Tn - \Delta m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)式$$

Tn’は，nとmの設定によって数値が変化するが，ここでは，mを６ヶ月にしたときの補正値をケーススタディーによりもとめてみる。また，これは構造体強度が実質的に必要となる原子炉格納容器建屋へのプレストレスの導入時期を材齢６ヶ月以降に計画していることにも関連している。

今回の試験結果から求めた各管理材齢における修正強度補正値を表－16に示す。それによれば，管理材齢を13週とするときの強度補正値の上限は約60kgf/cm²程度と考えられ，JASS 5，およびJASS 5Nに表示されている補正値の上限とほぼ対応している。

表－16の強度補正値を用いて，JASS 5Nにより調合強度を算出してみると，表－17を得る。管理材齢13週の目標調合強度としては，現実的な値の範囲にあると考えられる。



図－15　冬期マスコンクリートの強度発現モデル

表－16　修正強度補正値

(kgf/cm²)

模擬部材種類	管理材齢		
	4 週	8 週	13 週
A	29	22	30
B	0	56	70
C1	0	7	36
C2	0	12	2

表－17　修正強度補正値を採用したときの調合強度

(kgf/cm²)

模擬部材種類	管理材齢		
	4 週	8 週	13 週
A	500	510	510
B	470	540	550
C1	470	490	520
C2	470	500	490

5.4 強度管理の方法

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強度によって行うこととし，定めた管理材齢において，［設計基準強度＋強度補正値］の強度発現があるかどうかを判定することになっている。ただ，強度補正値を設定するに際し，5.3で述べた修正強度補正値を採用する点のみが新しい提案となっており，その理由は前述したとおりであるが，これにより調合設計がより合理的なものになると考えている。中庸熱ポルトランドセメント（フライアッシュ内割20％混入）を使用する場合の養生温度区分による具体的な修正強度補正値は，JASS 5N の高炉セメントＢ種または，フライアッシュセメントＢ種の補正値を準用すればよいと考える。

６．高温履歴を受けたマスコンクリートの長期強度特性

6.1 長期試験概要

高強度マスコンクリートの長期物性把握調査に用いた試験体は，2.2に示した模擬部材と同一のものである。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。

6.2 長期強度発現性状

表－18に圧縮強度試験結果[6)~7)]を示す。冬期試験のＡ試験体およびＢ試験体の強度発現性状を図－17に示す。図は，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。

既述のように，材齢１年までの構造体コンクリートの強度発現性状について，冬期打設のものは，初期の強度発現は小さいものの材齢13週以降の長期的な強度の伸びは大きい。また，強度管理材齢の13週では標準養生強度を下廻るものの，材齢６ヶ月，１年ではこの差がかなり小さくなっている。

今回の調査[9)~10)]から材齢１年以降材齢５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，冬期打設のものは材齢１年以降の伸びが小さい。さらに，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

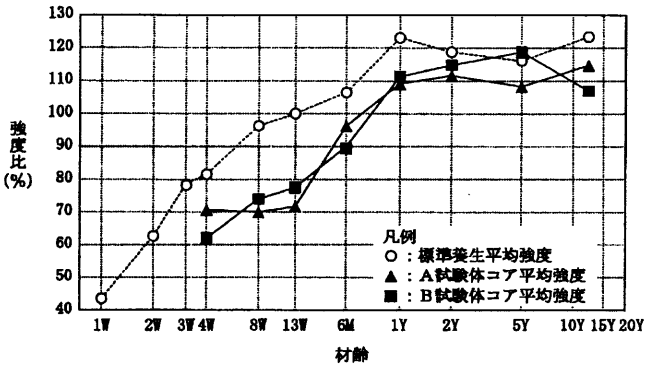
いるポテンシャルまで強度が伸びていることが分かる。また，材齢５年以降材齢12年にかけて標準養生強度ならびにコア強度は横ばいの状況と評価できる。

コンクリートの強度発現は，セメントの水和進行によるが，この進行程度は養生条件によって異なることが知られている。併せて高温履歴を受けたコンクリートの強度発現性状はセメントの水和形態あるいは状況と結び付けて諸説が考えられる。冬期試験のように初期材齢時に高温履歴を経たコンクリートの長期強度発現の低下は，セメント水和生成物組織中の未水和物が高温履歴のため著しく緻密化したため，長期での水和反応速度を阻害したのではないかと考えられる[11]。

表－18　圧縮強度試験結果

(kgf/cm²)

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
冬期	A	標水	525	642	682	789	760	746	771
		コア	452	468	613	701	718	697	729
	B	標水	525	642	682	789	760	746	771
		コア	398	504	580	714	735	758	698
	C1	標水	507	642	691	778	749	731	776
		コア	347	438	606	662	701	747	733
	C2	標水	438	581	635	698	723	692	720
		コア	316	403	583	678	697	740	681



図－16　冬期打設の強度発現性状

7．まとめ

実物レベルの模擬部材を用いて冬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）冬期における高強度マスコンクリートの温度履歴特性を把握することができた。

2）上記温度履歴特性は，解析により十分近似させることができ，これより各材齢時の予想養生温度を算出することができる。

3）材齢13週時における予想平均養生温度は，部材寸法やセメント量が異なってもそれほど影響を受けないことが分かった。

4）フライアッシュを混入した中庸熱セメントを用いて，冬期に打設した高強度マスコンクリートは，材齢13週以降も強度の伸びが著しく大きいことを明らかにできた。

5）構造体コンクリート強度と積算温度の関係は，部分的には合わないところもあるが，マクロな見方をすると両者は比較的よい対応関係にあることは分かった。

6）高強度マスコンクリートの場合，管理材齢における強度補正値を，定義に従い試験にて忠実に求めるとかなり過大な数値となり，調合計画および強度管理面において問題が多い。

7）一方，冬期に施工されるマスコンクリートは，材齢13週以降の強度の伸びが著しく，この特性を考慮に入れて修正強度補正値を用いる方が，より合理的だと考えられる。

8）コア強度は材齢２～5年までで標準養生強度とほぼ同等の強度発現であること確認できた。また，5年以降の長期強度の伸びはほぼ横ばい状態である。

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）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.

3）井上勝弘，伊藤賢徹，実松誠，杉田英明，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２　冬期試験における温度履歴特性），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.315-316，1985.10.

4）井上勝弘，伊藤賢徹，実松誠，米村方聖，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３　冬期試験における強度発現性状），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.317-318，1985.10.

5）井上勝弘，伊藤賢徹，実松誠，杉田英明，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４　冬期の温度による強度補正），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.319-320，1985.10.

6）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.
7）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.
8）井上勝弘，黒木明寛，中根淳，大池武：冬期における高強度マスコンクリートの積算養生温度と強度発現．コンクリート工学年次講演会論文集，pp.321-324，1986.6.
9）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.
10）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.
11）大門ほか：セメントの水和におよぼす過熱養生の影響，セメント技術年報，No. 26，pp.45-50，1972.5.

（受理：平成18年6月8日）