

[81] 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

井上 勝弘 (九州電力本店土木部)
 正会員 ○ 黒木 明寛 (九州電力本店土木部)
 正会員 中根 淳 (大林組技術研究所)
 正会員 大池 武 (大林組技術研究所)

1. まえがき

本研究で取り扱う高強度マスコンクリート（設計基準強度 420Kg/cm²程度）とは、原子力発電所施設中の重要構造物であるPrestressed Concrete Containment Vessel（以下 PCCV と呼ぶ）に使用するものを対象としている。先般、日本建築学会から、原子力発電所コンクリート工事の標準仕様書として JASS5N が発刊され、工事を進めるうえで有効な指標となっているが、PCCVへの適用については、信頼できるデータに基づいて判断しなければならない箇所が、かなり残されている。

本研究では、このような背景をふまえ、冬期に打設される高強度マスコンクリートの構造体における強度発現性状を調査するとともに、コンクリートが受ける温度履歴から、平均養生温度を推定し、積算養生温度と強度発現との関係について考察を加える。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-1に示す。

2.2 模擬部材の種類

模擬部材は、図-1に示すようにAタイプ～Cタイプの3種類とした。Aタイプは、パ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、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、主として側面に断熱材が配置してある。さらに、断熱材のない面では、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 その他の実験方法

温度の測定は、各模擬部材断面内の温度分布を把握するために、中央

表-1 コンクリートの調合表

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 A E 減水剤	補助 A E 剤
					海砂	砕砂			
A, B	41	43.0	164	400	510	225	1056	1.000	5 A
C1	43	43.5	162	377	521	233	1062	0.942	5 A
C2	45	43.0	158	352	526	233	1092	0.880	5 A

注) 1. 打込スランブ: 10 cm 2. 管理材令: 13 週
 3. セメント種類: 中庸熱セメント+フライアッシュ (内割20%)

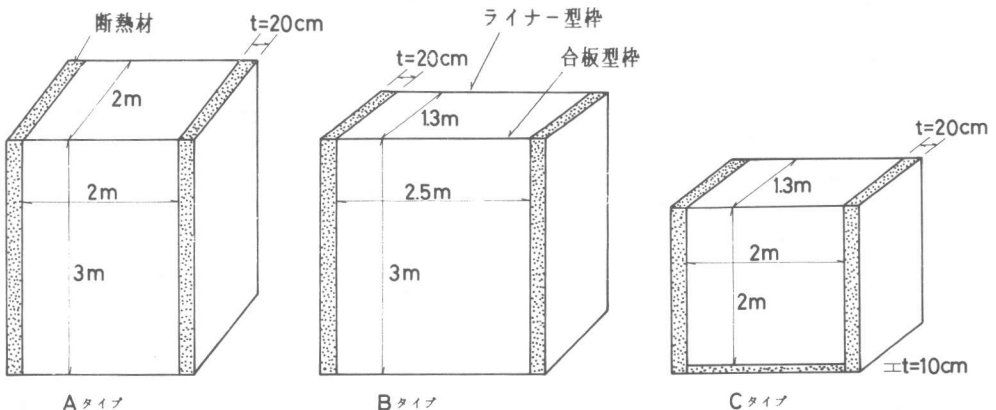


図-1 模擬試験体種類

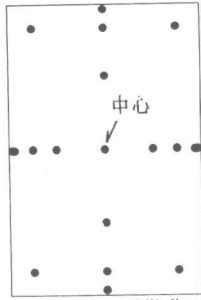


図-2 温度測定位置 (例)
Aタイプ試験体

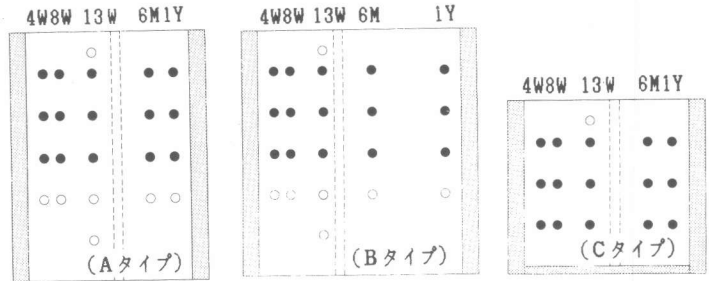


図-3 コア抜き取り位置 (正面図)

の1断面につき行った。温度測定位置の例を図-2に示す。コア抜き取り位置を、図-3に示す。

3. 平均養生温度の求め方

3.1 温度分布とその履歴の計算

各模擬部材中心部の温度履歴の実測値を図-4に示す。図から、各模擬部材の温度履歴は、材令4週までは模擬部材の種類並びに調合によって異なっているが、材令4週以降では、それらにかかわらずほとんど外気温の平均値と同じ履歴を示すことがわかる。

温度履歴の解析手順は、図-4の中心部温度履歴と計算により求めた温度履歴を対比させ、十分に近似できることを確認したのち、温度を測定していない断面内各部分についても履歴温度を計算によって求めた。計算は、断面を64の要素に分割し、FEM温度履歴解析プログラム"DETECT"¹⁾を用いて、表-2の解析条件によって行った。

この結果、模擬部材中心の温度履歴の計算値と実測値は、図-5に示すようにほぼ近似させることができた。さらに、図-2に示した断面内の代表的な数点について計算値の推定精度を積算養生温度で検討したところ0~10%の誤差範囲内で適合していることがわかった。

3.2 断面平均養生温度の算定

3.1で述べたように、温度履歴解析の有効性が確認できたので、ある材令における各要素の計算温度とその支配面積から、その材令の全断面平均温度が求められる。さらに、全断面平均温度の経過時間内の平均値として、各材令時の平均養生温度を求めることができる。

表-2 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 (実験式)	A,B 模擬部材 (W/C=41%) $T=48.87 \times (-e^{-1.012t})$ C 1 模擬部材 (W/C=43%) $T=46.83 \times (-e^{-0.974t})$ C 2 模擬部材 (W/C=45%) $T=44.78 \times (-e^{-0.932t})$
コンクリートの熱的性質	比重: 2400 kg/m ³ 比熱: 0.29 Kcal/kg°C 熱伝導率: 1.83 Kcal/mHr°C
型枠ベニアの熱的性質	比重: 500 kg/m ³ 比熱: 0.50 Kcal/kg°C 熱伝導率: 0.50 Kcal/mHr°C
外気の熱伝導率	1.60 Kcal/m ² Hr°C
コンクリートの打込温度	10.0°C
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°Cとする。

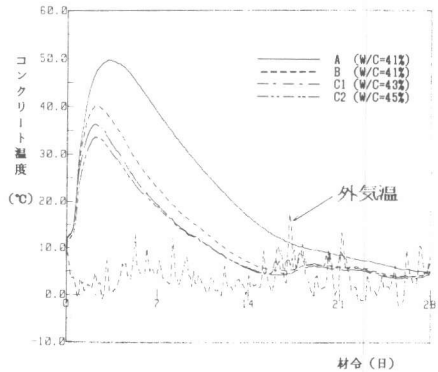


図-4 各模擬部材中心部温度履歴

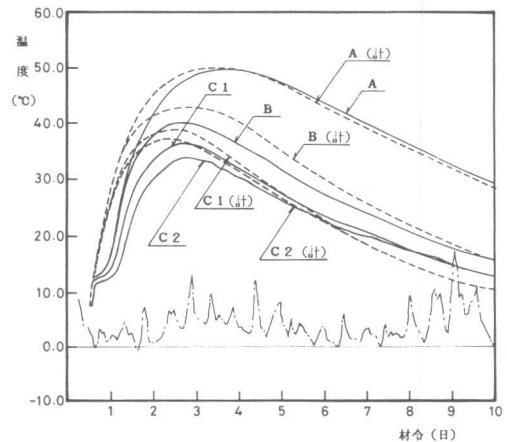


図-5 温度履歴の実測値と解析値の対比

このようにして求めた、各模擬部材の各材令毎の平均養生温度を表-3に示す。

ここで言う平均養生温度とは、JASS 5Nにおいて強度補正値を求めるのに必要な予想平均養生温度に該当する。

管理材令を4週とした場合に、予想平均養生温度は、断面寸法によって異なっており、平均外気温に比べ約5~13℃高い。

しかし、管理材令を13週とした場合には、断面寸法が異なっても平均養生温度は10℃前後でほとんど差がなく、また、平均外気温との差も2~4℃と小さくなっている。したがって、管理材令が長期の場合、外気温によって支配される部分が多くなるので、予想平均養生温度の計算には、それほど精密な温度履歴解析は必要ないものとする。

4. 積算養生温度と強度との関係

各調査毎に、管理用シリンダー強度と積算養生温度との関係を、積算養生温度を対数にとりての相関分析を行った。

この結果を回帰式とともに図-6~8に示す。また、それぞれの図中には、3で求めた平均養生温度から計算した積算養生温度を用いて、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養生温度と良く対応していることがわかる。また、相関係数でも、全ての調査で約0.97と高い値を示している。

一方、コア強度について3で求めたコア抜き取り位置毎の積算養生温度と強度の関係をプロットすると、図-9の例のように、両者の対応はかなり稀薄となっている。これは、コア抜き取り位置毎の圧密の差等が強度差の別の要因として介在するためと考える。しかし、模擬部材全断面における

- 脚注 - 図-6~8のシリンダーの養生方法は、それぞれ以下の通り。
- 標水：標準水中養生 現水：現場水中養生
- 現封：現場封街養生
- 標2現：標準水中2週間以降現場水中養生
- 標3現：標準水中3週間以降現場水中養生

表-3 平均養生温度

模擬部材種類	W/C (%)	各材令時における平均養生温度(℃)					
		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	8.6	7.6	9.0	16.5	17.2
C2	45	12.7	8.5	7.6	9.0	16.5	17.2
平均外気温		3.5	3.8	5.3	7.5	15.2	15.9

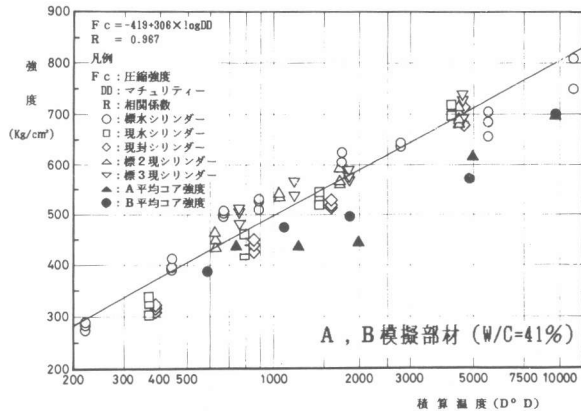


図-6 管理用シリンダーと積算温度の関係 (W/C=41%)

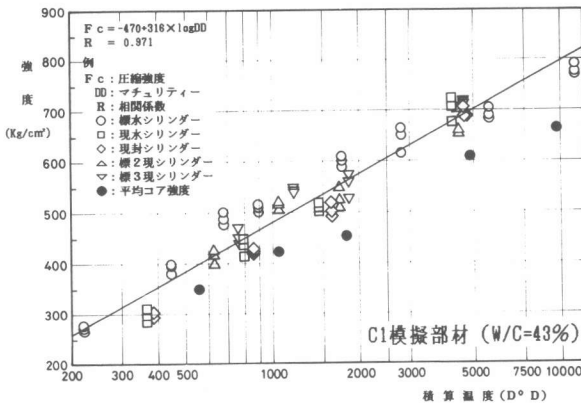


図-7 管理用シリンダーと積算温度の関係 (W/C=43%)

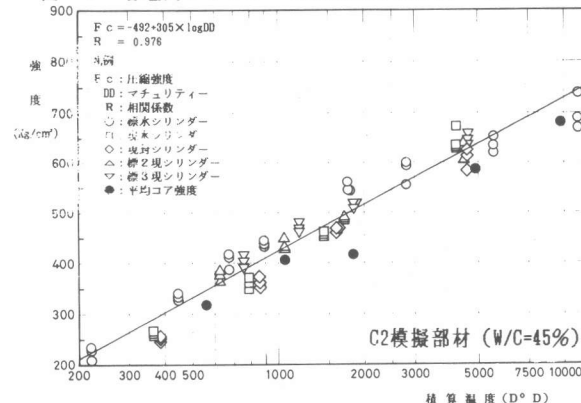


図-8 管理用シリンダーと積算温度の関係 (W/C=45%)

積算養生温度と平均コア強度というマクロな見方をすると、両者は、図-6~8に示したように比較的よい対応関係にあるが、コア強度は、同じ積算養生温度であっても、標準水中養生も含めた各種養生シリンダー強度よりも低い。

また、材令13週あるいは6ヶ月では、積算温度が小さいはずの現場水中、現場封かん養生シリンダー強度が、いずれも平均コア強度よりも大きくなっており、必ずしも積算養生温度との関係で強度を評価できない部分もある。

ここで、平均コア強度の変化をみると、図-6~8からわかるように、積算温度の増加、即ち、材令の経過にともない強度が伸びているのがわかる。この強度の伸びは、材令1年に至ってもみられる。

これらの強度の伸びを絶対値でみると表-4の通りである。

これより、材令13週から6ヶ月にかけての強度増加は、80~160 Kg/cm²、さらに、材令6ヶ月から1年にかけては60~130 Kg/cm²の強度増加があることがわかる。

JASS 5N に定義される強度補正值は、管理材令における標準水中養生シリンダー強度とコア平均強度の差と考えられる。今回の実験結果に

適用すると、約100 Kg/cm²以上の値となり、この値を忠実に採用すると、かなり大きめの目標調合強度を設定しなければならないことになる。しかし、表-4に示すような、コア強度の伸びを考えると、強度補正值の決定にあたり、JASS 5N の運用に柔軟性を持たすことが可能であると考ええる。

5. まとめ

- 1) 長期の強度管理材令を採用する場合、構造体コンクリートの平均養生温度は、断面寸法および調合の種類によってあまり差がなく、平均外気温との差も小さいことがわかった。これより、JASS 5N に定義される予想平均養生温度を求める際にそれほど綿密な温度履歴解析は要求されないと考える。
- 2) 積算養生温度と強度発現の関係は、管理用シリンダーでは相関係数が0.97と大きく、よい対応関係にあった。コア強度については、全断面の平均養生温度と平均コア強度というマクロな見方をすると比較的よい対応関係にあった。しかし、必ずしも積算温度との関係で強度を評価できない部分もあると言える。
- 3) 冬期に打設される高強度マスコンクリートでは、積算養生温度の増加、即ち、材令の経過にともなう強度の伸びを期待することができる。

《 参考文献 》

1. R.Polivka , E.Wilson 「Finite Element Analysis of Non-linear Heat Transfer Problems」 UC - S e s m 76-2
2. 井上、中根、大池他 「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)~(その4) 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)昭和60年10月 pp.313 ~ 320

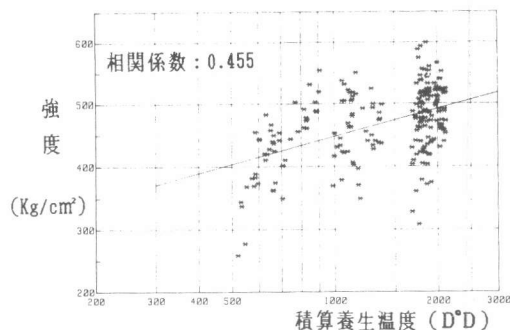


図-9 コア強度と積算温度の関係 (1例)

表-4 各模擬部材の平均コア強度の推移 (Kg/cm²)

模擬部材 種類		材 令				
		4 週	8 週	1 3 週	6 ヶ月	1 年
A	平均強度	452	450	468	613	701
	標準偏差	44	44	51	46	56
B	平均強度	398	477	504	580	714
	標準偏差	57	52	51	46	67
C 1	平均強度	347	421	438	606	662
	標準偏差	52	57	62	48	50
C 2	平均強度	316	405	408	583	678
	標準偏差	23	29	60	50	44