

[82] 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

井上 勝弘 (九州電力本店土木部)
伊藤 賢徹 (同玄海原子力発電所建設所)

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

夏期に打設されるコンクリートは、一般に長期強度の発現が悪いことが知られている。特に、マスコンクリートでは、水和熱の蓄積により打込み後初期にかなりの高温履歴を受けることになる。この高温履歴のため、初期強度は大きいものの長期的な強度の伸びが悪く、この傾向は、単位セメント量の多い高強度マスコンクリートほど一層顕著になるものと考えられる。

本研究は、このような背景をふまえ、夏期に打設する高強度マスコンクリートについて

- ① 構造体コンクリートにおける強度発現性状
- ② プレクーリングの効果

を調査・検討することを主目的としている。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの調合と打込み温度

コンクリートの調合は、打込み温度をパラメータとしたので表-1に示す1種類とし、打込温度は、5℃～35℃の範囲で、5℃ピッチに7水準を設定した。

2.2 模擬部材の形状

模擬部材形状は、図-1に示す1種類とした。模擬部材は、壁の一部を切りだしたという条件を満たすために、周囲の4面に断熱材を配置している。

2.3 その他の実験方法

温度測定位置およびコア抜き取り位置は、図-2に示す通りである。

3. 積算養生温度と強度の関係

平均コア強度と標準水中養生シリンダー強度の材令に伴う推移を図-3～4に示す。

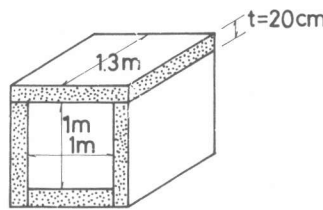
これから、夏期(本実験における材令4週までの平均外気温は28℃)に打設されるマスコンクリートのコア強度は、材令4週以降あまり増進していないことがわかる。材令4週から13週までの伸びは、10～30 Kg/cm²程度で、13週から6ヶ月まで、および6ヶ月から1年までの伸びは、それぞれ20～60 Kg/cm²、30～60 Kg/cm²程度しか見込めない。これは、冬期の強度発現性状とは著しく異なっており、この傾向は、要因として採用した打込み温度

が違って同様である。一方、標準水中養生シリンダー強度は、材令6ヶ月までは、材令とともに漸増する傾向を示し、材令13週以降6ヶ月までに、60～110 Kg/cm²程度の伸びがみとめられる。コアとシリンダーの強度発現性状の差は、初期材令における高温履歴の有無等が影響していると考えられる。また、標準水中養生シリ

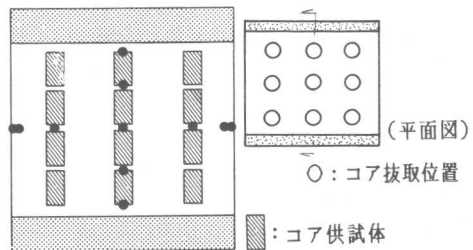
表-1 コンクリートの調合表 (kg/m³)

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	特殊 補助A E剤
				海砂	砕砂			
41	43.0	163	398	509	231	1059	0.995	可変

注) 1. セメント種類: 中庸熱セメント+フライアッシュ(内割20%)



Dタイプ
図-1 模擬部材の形状



(断面図) ●: 温度測定位置
図-2 温度測定位置とコア抜き取り位置

ンダー強度と打込み温度との相関性がないのは、シリンダー採取後数時間で打込み温度に関係なく室温に等しくなり、打込み温度の影響が小さいためと考える。

コアと標準水中養生シリンダーの強度発現を積算養生温度との関係でみると、図-5に示す通りである。

図から、標準水中養生シリンダー強度は、積算養生温度の増加にともない強度が伸びる傾向が明瞭に現われている。この積算養生温度とシリンダー強度の関係は、冬期における両者の関係と酷似している。一方、平均コア強度と積算養生温度の関係は、積算養生温度が増加しても、強度の伸びがない傾向が顕著にみられ、冬期における両者の関係とは著しく異なっている。

4. プレクーリングの効果

4.1 温度履歴

模擬試験体内部の温度分布の一例を図-6に、各模擬部材中心部の温度履歴を、図-7に示す。

特別のプレクーリングをしないときの打込み温度として30℃を想定しているが、このときの最高温度は約70℃に達することがわかる。

また、打込み温度の差が、最高温度の差として明瞭に現われている。さらに、各模擬部材の打込み温度と最高温度の到達時間との関係は、打込み温度が高いほど最高温度の到達時間は短くなっている。

表-2は、模擬部材断面の平均養生温度を示しており、これから、初期材令においてはプレクーリングの差がかなり認められるが、材令13週においては、その差が殆どなくなっている。また、盛夏に打ち込まれたマスコンクリートの材令13週時平均養生温度は、20℃を大きく上廻っていることがわかる。

4.2 強度

図-8は、図-3に示したマスコンクリートの強度発現性状を、打込み温度を横軸にとり、打込温度と強度との関係を整理したものである。

同図によれば、打込み温度が低いほど、即ち、プレクーリングの程度が大きいほど、強度発現が大きい傾向がみられる。打込み温度が5℃と35℃との間に材令13週時で150kg/cm²、材令6ヶ月時で200kg/cm²の強度差がみられる。しかし、3でも述べたように、打込み温度のいかにかわらず材令4週以降の強度の伸びはあまりみられない。このように、プレクーリングが強度発現に及ぼす効果を実験的に確認した。さらに、プレクーリングによってマスコンクリートが受ける温度履歴の最高温度を低く

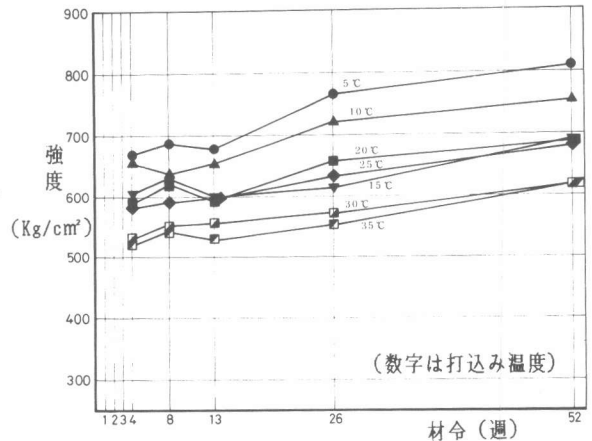


図-3 コアの強度発現性状

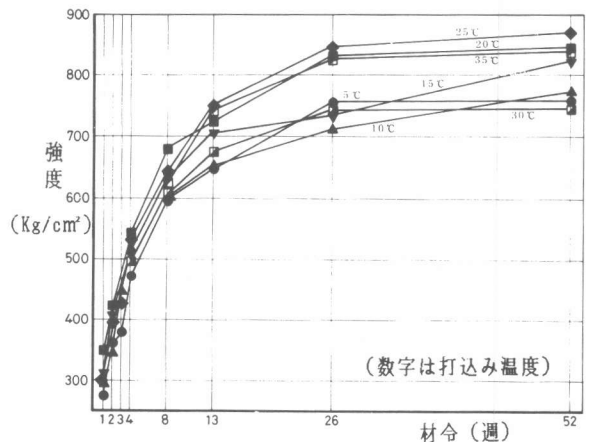


図-4 標準水中養生シリンダーの強度発現性状

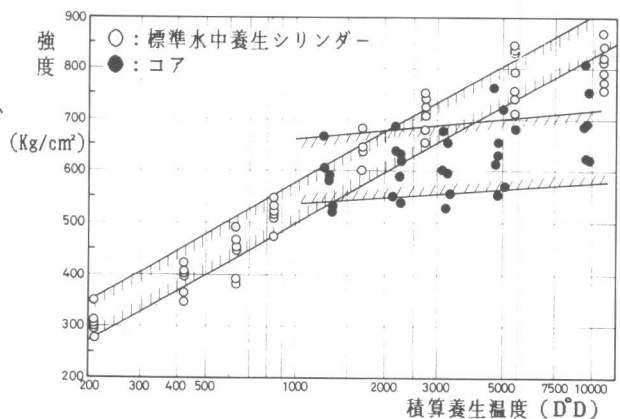


図-5 強度と積算養生温度の関係

おさえ、温度応力を小さくできるので、温度ひびわれ対策としても大きな効果が期待できる。

図-9は、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な角度から検討したものである。

標準水中養生シリンダー強度に対する平均コア強度の強度比を縦軸に、最高履歴温度を横軸にして強度発現率プロットしたものである。

この図から、材令4週時において、コアの強度は、標準水中養生シリンダー強度を上廻っているが、材令13週時のそれは、下廻ることがわかる。これは、コアの初期強度は、大きいものの長期の強度発現がみられないためである。

最高履歴温度が55℃を越えると、コア強度が標準水中養生シリンダー強度を下廻るという傾向が強くなり、最高履歴温度が70℃の場合、材令13週時では、20%以上の差がみられる。

5 夏期マスコンクリートの強度発現性状の特徴

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性状を集約すれば、概念的に図-10, 11のように

表-2 平均養生温度

模擬部材 種類	目標 打込温度	材 令			
		1W	4W	13W	6ヶ月
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

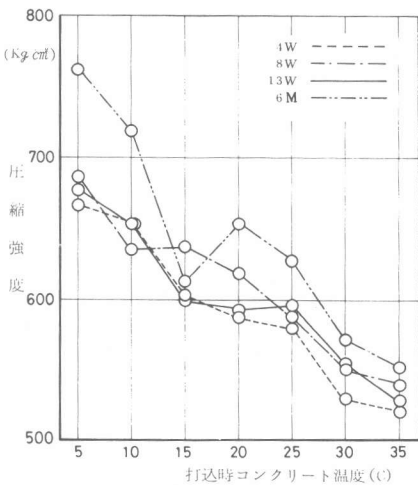


図-8 コア強度と打込温度の関係

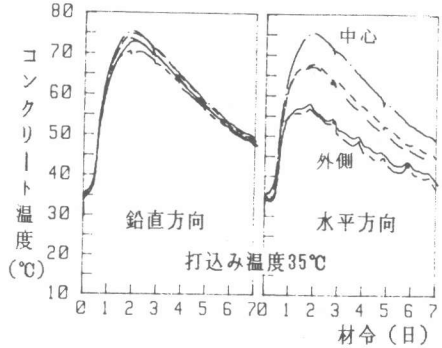


図-6 模擬試験体の温度分布(1例)

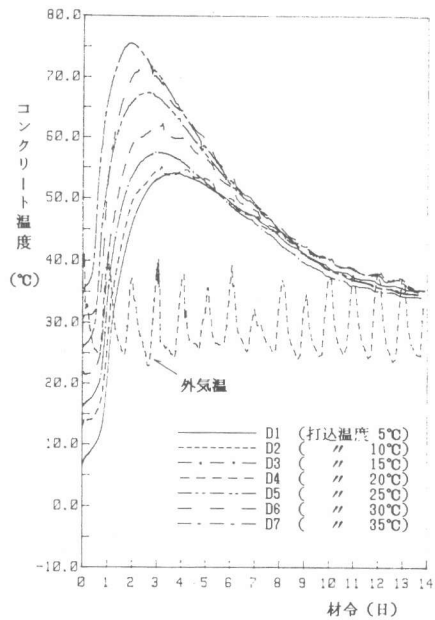


図-7 各模擬部材中心部温度履歴

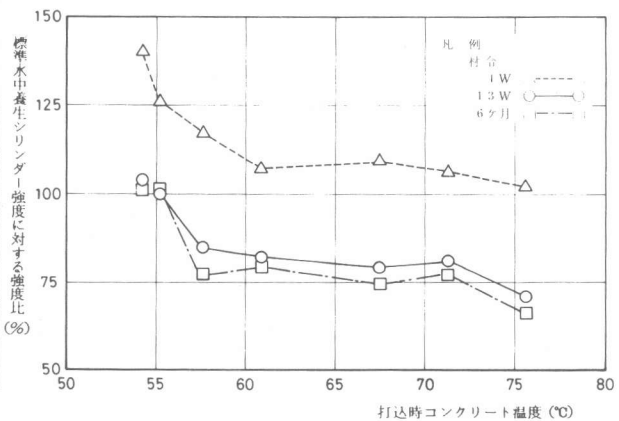


図-9 コアの標準水中養生シリンダーに対する強度比と部材最高温度の関係

示すことができる。

図-10は、初期の強度発現は大きい、長期の強度はそのまま横ばいとなるという特徴を表わしている。このため、長期材令においては、標準水中養生シリンダー強度とマスコンクリートの強度差が次第に大きくなる。

一方、図-11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。

6. 夏期マスコンクリートの取り扱いについて

6.1 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準水中養生シリンダーによって行うことになっている。この場合図-9に示すように、マスコンクリート強度と標準水中養生シリンダー強度との対応関係は、材令の関数として扱うことができ、両者の関係は、一般に以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} \text{標準水中養生シリンダー強度} &= f(n) \times \\ & \text{(マスコンクリート強度)} \quad \dots\dots (1) \text{式} \\ \text{但し、} n &: \text{材令 (日)} \end{aligned}$$

これより、標準水中養生シリンダーによる強度管理は、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と考える。

6.2 夏期における調合補正

管理材令が定まれば、そのときに必要な調合強度は、6.1の検討結果により下式を満足しなければならない。

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

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

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

(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。

$f(n)$ を材令をパラメーターとした係数として考えれば、一般に材令4週では $f(28) < 1$ 、材令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-3のような数値となる。

但し、この数値は、フライアッシュを混入した中腐熟セメントを用いたときのものであり、さらに、ここではコア抜き取りによる強度低下を考慮していない。

7. まとめ

- 1) 初期に高温履歴を受けたマスコンクリートは、材令の経過に伴う強度の伸びがあまりみとめられず、材令4週以降1年までの強度の伸びは、60～120 Kg/cm²程度であった。
- 2) プレクーリングにより、コンクリート内部温度履歴の最高温度を低くでき、強度発現を改善できることを明らかにした。また、打込み温度を低くしても、長期的な強度増加はあまり期待できないこともわかった。
- 3) 夏期マスコンクリートの強度発現の特徴を概念的に示すことができ、これより、夏期における調合補正、強度管理の一手法を示した。

《 参考文献 》

1. 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6) 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海) 昭和60年10月 pp. 313～324

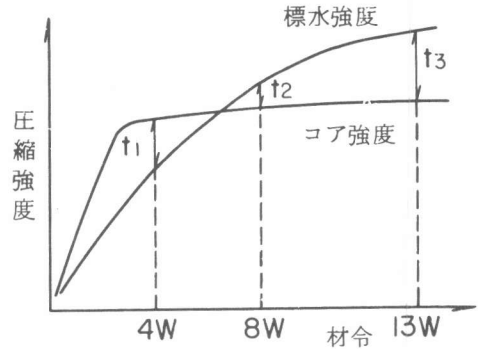


図-10 コアと標準水中養生シリンダーの強度発現性状の特徴

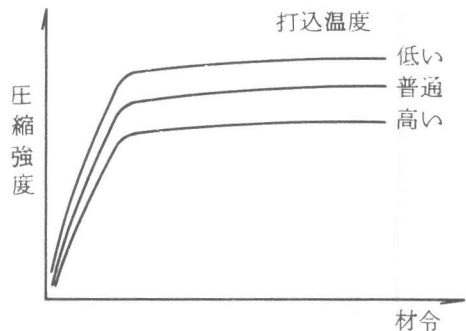


図-11 クーリング効果と強度発現性状の特徴

表-3 実験から求めた $f(n)$ の値

材 令	$f(n)$
4 週	0.93
8 週	1.10
13 週	1.23