

論文 コンクリートの保温養生に関する養生材料について

村上祐治*¹・堤 知明*²・天明敏行*³・三浦信隆*⁴

要旨：本研究は、コンクリートの養生材料に着目し、外気温および供試体のコンクリート内部の温度を測定する室内養生実験と超硬練りコンクリートを打込む現場において養生材料の現場養生実験を行うとともに温度逆解析により熱伝達率を求め、養生材料の熱的な効果について検討したものである。

キーワード：養生, 養生材料, 保温養生, 温度解析, 室内養生実験, 現場養生実験

1. まえがき

コンクリートは十分な養生を行わなければ、所定の強度が発現しないばかりか、ひび割れ、表面からの劣化などが発生して、耐久性に影響を与えることが知られている。コンクリートの養生は、コンクリートを打込んだ後に、シートなどでコンクリートの表面を囲み、外気との接触を少なくする方法などが取られている。この養生については、気体と固体の熱のやり取りを表す熱伝達率で表現されている。熱伝達率に影響する因子として、養生方法、外気温、日射、風などがあると言われており、この要因について検討されている¹⁾²⁾。特に、土木学会では、各養生方法における熱伝達率の標準を示している³⁾。また、近年、コンクリートの保温養生を目的とした養生する材料が日々開発されている。これらの材料がどの程度、熱的な効果があるのかについて検討を行う必要がある。

そこで、本研究はコンクリートの養生材料の熱的な効果を明らかにすることを目的にして、外気温および供試体のコンクリート内部の温度を測定する室内養生実験と室内養生試験で求めたデータを基に養生材料を2種に選定し、現場

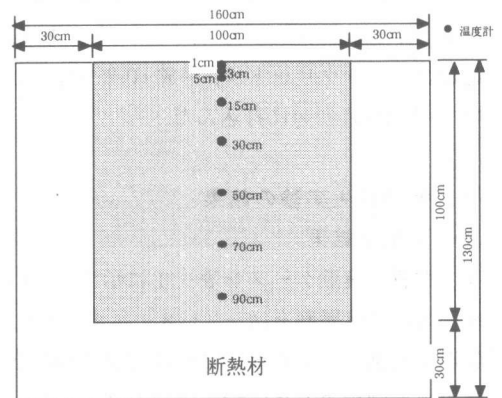
において養生材料の現場養生実験を行うとともに温度逆解析により熱伝達率を求め、養生材料の熱的な効果について検討したものである。

2. 養生実験の概要

2. 1 室内養生実験

(1) 供試体

供試体は1m×1m×1mの立方体とし、底面および側面を断熱材で覆い、一面のみが熱のやりとりができる一面放熱状態とした。セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、配合は水セメント比50%、単位セメント量356kg/m³である。28日強度は37.4N/mm²、弾性係数は



図一 室内養生実験の温度計埋設状況

* 1 (株)間組 技術研究所 技術研究部 土木研究室 工博(正会員)
 * 2 東京電力(株)電力技術研究所 土木グループ 工博(正会員)
 * 3 (株)間組 土木本部 ダム統括部(正会員)
 * 4 旭化成工業(株)ジオ技術開発部(正会員)

32,200N/mm²である。

(2) 温度計の配置

温度計は図-1に示すように表面から1, 3, 5, 15, 30, 50, 70, 90 cmに熱電対を埋設した。供試体の温度, 室内温度を30分間隔に測定した。

(3) 実験方法

実験は供試体の温度を20℃付近で一定にしておき, 養生材料を表面に設置して, 供試体を3~7℃程度の室内環境に設置した。実験室は5.0m×7.4m×高さ2.9mの室内で, 0~40℃まで可変することができる空調機が設置されている。今回の実験では, 室内温度を低下させる際の空調機の風速は0.5~1.5m/sec程度であった。供試体の温度を30分間隔に測定し, 養生材料の効果を確認した。

2. 2 現場養生実験

現場養生実験を行ったヤード図を図-2に示す。温度計は共和電業製BT-100Bを用い, ヤードの中央部に設置した。

コンクリートは, 最大骨材寸法:150mm, 結合材量:110kg/m³, フライアッシュ置換率:30%の超硬練りコンクリートである。使用したセメントは中庸熟ポルトランドセメントである。

超硬練りコンクリートは, 平成10年9月末と平成10年10月初旬に打込んだ。

3. 室内養生実験の結果

3. 1 実験結果

養生材料の実験ケースを表-1に示す。その各ケースの温度履歴を図-3~8に示す。なお, 外気温が変動しているが, これは実験室内の空調機の温度制御のため実験室内の温度が変動したためである。各ケースの温度低下速度が相違することがわかる。やはり, コンクリートの養生をしない無養生の場合は, 表面付近と内部の温度差が50時間付近で9.5℃あるのに対して, ケース5では, 温度差が4.8℃になってお

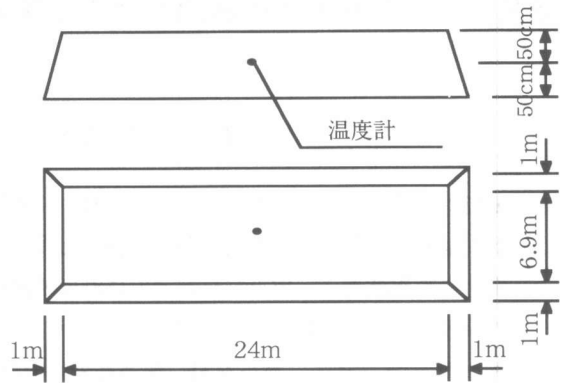


図-2 現場養生実験のコンクリート試験体

表-1 養生材料の実験ケース

実験ケース	養生材料
CASE-1	無養生
CASE-2	シート養生
CASE-3	シート+空気層5cm養生
CASE-4	シート+スポンジ10mm養生
CASE-5	ポリエチレン30mm養生
CASE-6	シート+波形シート13mm養生

り, 養生方法により相違が見られる。

コンクリートの温度計位置が5cm部分に着目すると, コンクリートの温度が約20℃付近から約5℃の外気の温度を受けて温度が低下している。その低下傾向はケース1の無養生が20時間程度で8.5℃となり, その後外気温の挙動と同調している。また, 低下勾配はケース1, 2, 3, 6, 4, 5の順番で緩やかになっている。無養生のコンクリートを5℃の環境にさらした場合, 温度は1日当り10℃程度低下することになっている。

3. 2 温度逆解析結果

温度測定結果を用いて温度逆解析を行い, 気体と固体の熱の出し入れを表す熱伝達率を求め

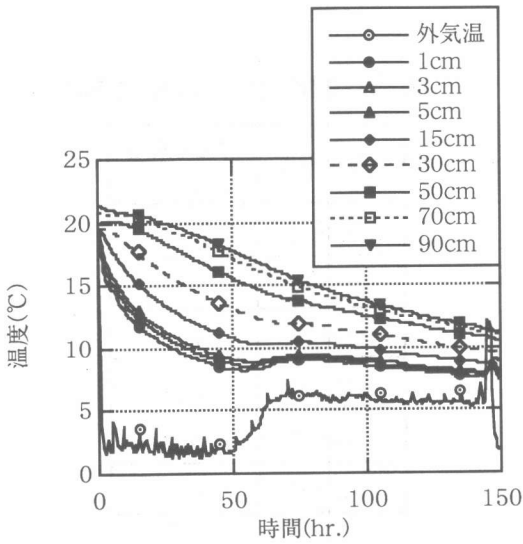


図-3 CASE-1の温度履歴

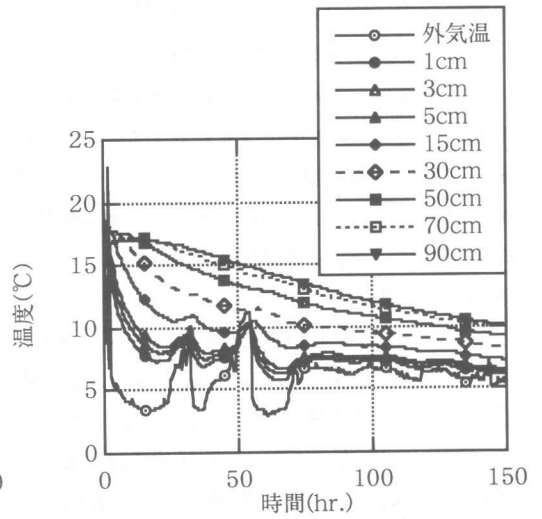


図-4 CASE-2の温度履歴

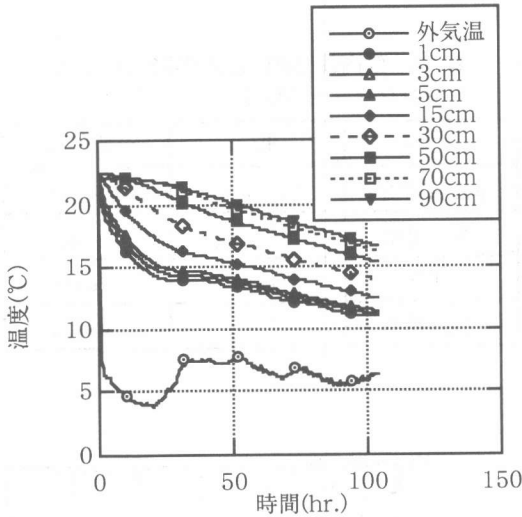


図-5 CASE-3の温度履歴

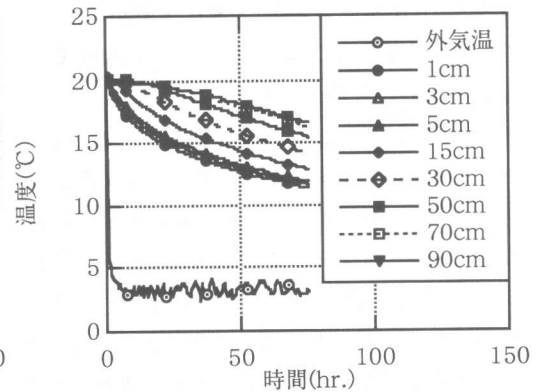


図-6 CASE-4の温度履歴

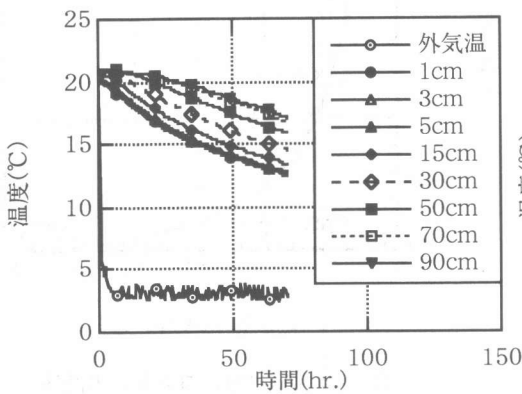


図-7 CASE-5の温度履歴

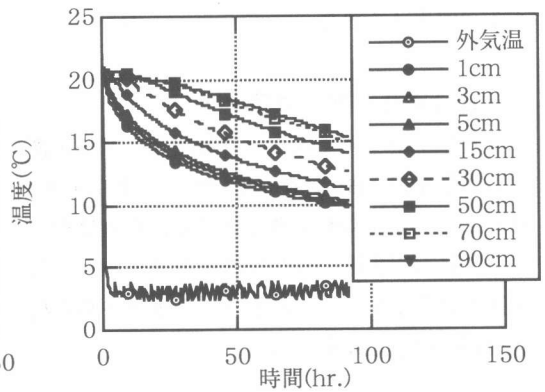


図-8 CASE-6の温度履歴

た結果を表-2に示す。温度逆解析で用いたコンクリートの熱特性を表-3に示す。なお、ここで行った温度逆解析は、最適制御理論に基づいており、空間の離散化には有限要素が用いられ、未知変数は観測点温度と計算温度の二乗差が最小となるように決定されている⁴⁾。今回の室内養生実験は空調機の温度制御の影響により外気温の温度が変動していた。

ケース1(無養生)の熱伝達率は26.0 W/m²℃であった。無養生の熱伝達率は熱送風口の近くにあり、この風の影響を受けていることが考えられる。一方、シートの熱伝達率は10.3 W/m²℃であり、近久⁵⁾のブルーシート養生とはほぼ同程度であるが、土木学会³⁾より若干高い値となった。シート養生の効果は無養生の1/2の熱を遮断する効果があることが分かる。

ケース4(シート+スポンジ養生)およびケース5(ポリエチレン養生)の熱伝達率が4.3, 3.3 W/m²℃となっており、熱を遮断する効果が大きいことが分かる。

ケース3の空気層5cmを設けた養生は、6.6 W/m²℃であり、無養生の1/4程度の熱を遮断し、空気層を設けることにより断熱的な挙動を示している。ケース6(シート+波形シート養生)の熱伝達率は、5.1 W/m²℃となっており、ほぼケース4の空気層5cmの養生と同程度になっている。これは、波形シートの中に空気層ができるような構造になっており、空気層がケース3と同様に断熱的な効果を持ったものと考えられる。

3. 3 養生材料の費用比較

各養生材料の熱伝達率と材料比率の関係を図-9に示す。なお、材料比率はシート養生を1.0として各養生の材料費と比較し、今回はケース6の材料が市販されていないため除いた。熱伝達率が低下するにしたがって、養生材料の材料費が増加する傾向を示している。

表-2 各実験ケースの熱伝達係数

実験ケース	熱伝達係数 (W/m ² ℃)
CASE-1	26.0
CASE-2	10.3
CASE-3	6.6
CASE-4	4.3
CASE-5	3.3
CASE-6	5.1

表-3 室内養生実験の温度逆解析で用いたコンクリートの物性値

項目	単位	物性値
単位容積重量	kg/m ³	2350
熱伝導率	W/m℃	2.56
比熱	J/kg℃	1047
熱拡散率	m ² /h	0.003

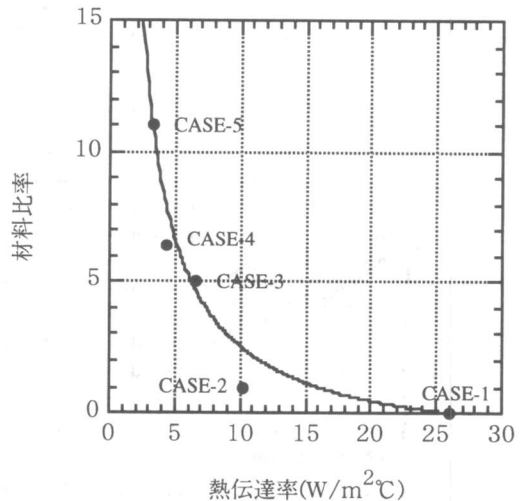


図-9 熱伝達率とコスト比の関係

4. 現場養生実験

図-2に示すようなコンクリート試験体を用い養生材料の比較実験を行った.通常,RCD工法に用いられるような超硬練りコンクリートは,マスコンクリートで45m×100mという広い

ヤードに施工するため,養生材料は施工性が高く,経済性が高い材料が使用される.そのため,今回実施した現場養生実験では,ケース4のシート+スポンジとケース6のシート+波形シートを選定した.ここで,ケース4の養生材

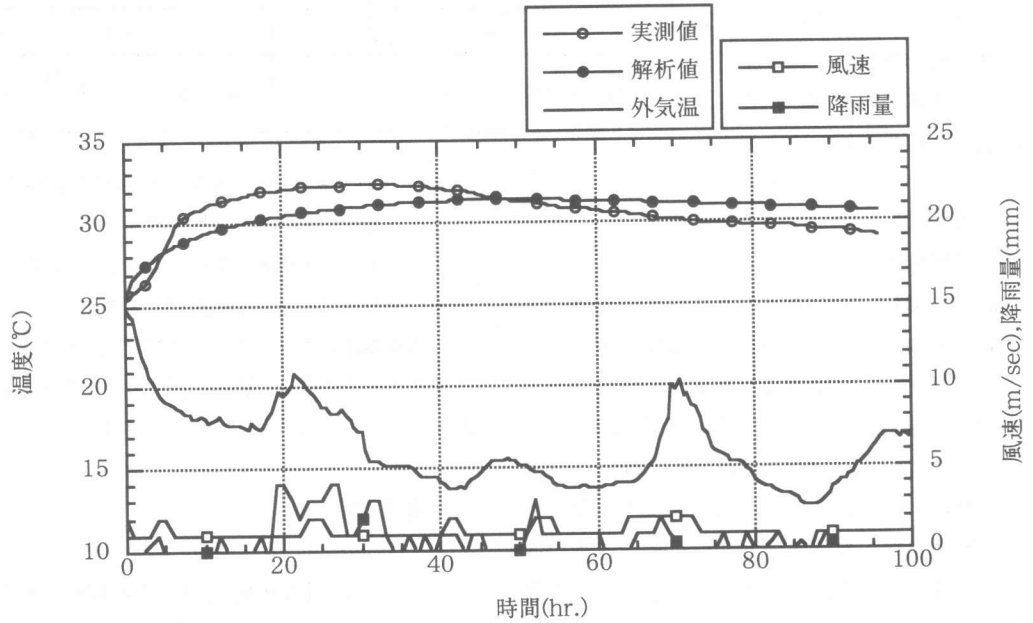


図-10 現場ケースAに関する実測値,解析値,外気温,風速および降雨量の履歴

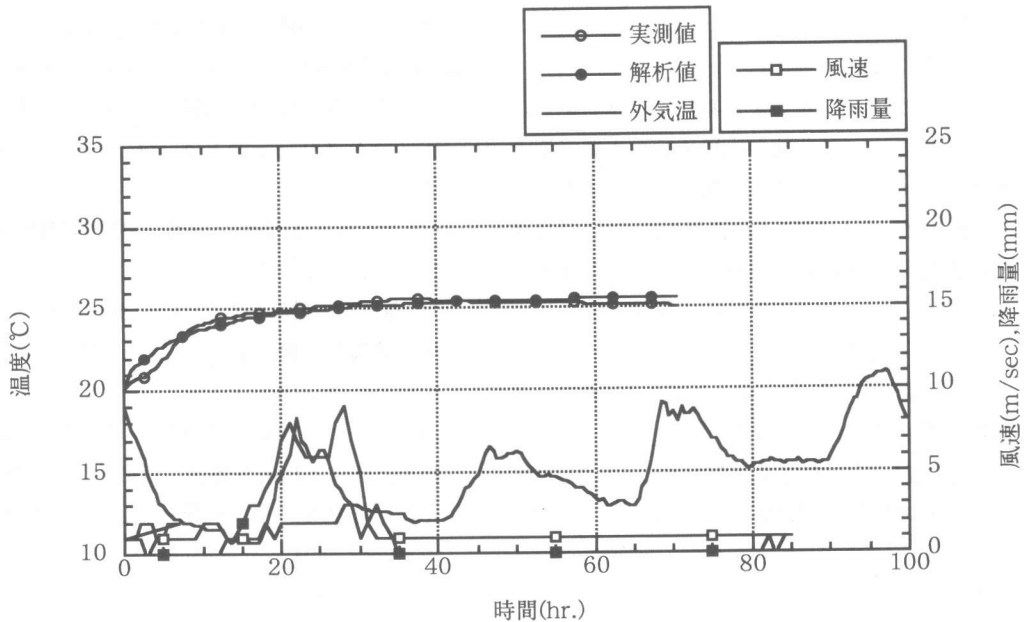


図-11 現場ケースBに関する実測値,解析値,外気温,風速および降雨量の履歴

料を用いたケースを現場ケースA、ケース6の養生材料を用いたケースを現場ケースBとする。なお、コンクリートの温度は、超硬練りコンクリートを次リフト打込むまでの時間を測定した。

現場ケースAの実測値、外気温および温度解析結果を図-10に、現場ケースBの実測値、外気温および温度解析結果を図-11に示す。な

お、コンクリートの表面のレイタンスを除去するため、3回に分けてグリーンカットを30分/回程度実施している。

温度逆解析に用いたコンクリートの熱物性値を表-4に示し、この特性値は実験により求めたものである。温度逆解析結果は、現場ケースAの熱伝達率が2.56 W/m²℃で、現場ケースBが2.76 W/m²℃であった。現場ケースAと現場ケースBでは、ほぼ同程度の値となった。室内実験の熱伝達率と比べ、熱伝達率が低い値となっている。これは、コンクリートの保温養生の他に湿潤養生を行ったため、水の影響があるものと考えられる。

5. まとめ

コンクリートの養生材料の効果を確認するため養生材料の室内実験、現場実験および温度逆解析を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 1) 養生材料の材質により温度低下速度が相違し、温度逆解析から求めたポリエチレン養生やスポンジ+シート養生の熱伝達率は、無養生の1/6~1/8である。
- 2) 熱伝達率が低下するにしたがって、養生材料の材料費が掛るようになる。
- 3) 現場養生実験の結果、現場ケースAと現場ケースBの熱伝達率は同程度であった。

6. あとがき

今回は養生材料に着目し、養生材料の熱的な

表-4 現場養生実験の温度逆解析で用いたコンクリートの物性値

項目	単位	物性値
単位容積重量	kg/m ³	2497
熱伝導率	W/m℃	2.91
比熱	J/kg℃	1047
熱拡散率	m ² /h	0.003
断熱温度上昇式	℃	$T=16.6*(1-e^{-0.46t^{0.46}})$

効果について室内養生実験、現場養生試験を行い、熱伝達率を求めた。超硬練りコンクリートにおいては、大量施工されるため、コンクリート面の養生も労力、経済的にも課題がある。今後、環境条件、コンクリートの特性、経済性、施工性などを考慮した養生を行うため、さらに、養生システムについて検討していきたい。

【参考文献】

- 1) 例えば、山川秀次他：熱伝達率試験ならびに実測例、マスコンクリート温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集、日本コンクリート工学協会、1982、pp19~26
- 2) 十河茂幸他：マッシュな鉄筋コンクリート構造物の温度ひび割れ対策とその効果、セメント・コンクリート、No. 453, Nov., 1984
- 3) コンクリート標準示方書[平成8年度版], 土木学会, P185
- 4) 佐藤勝他：固体の材量特性、発熱特性および熱伝達特性の推定について、日本シミュレーション学会、1994
- 5) 近久博志：逆解析手法を用いたマスコト構造物の熱特性と熱境界特性の評価に関する研究、とびしま技報(土木)別冊、第2号、1993。