

**投稿論文 (和文)**  
**PAPERS**

# 逆解析手法によるマスコンクリートの熱伝達係数の評価

近久博志\*・津崎淳一\*\*・荒井幸夫\*\*\*・  
桜井春輔\*\*\*\*

著者らが提案するような逆解析手法を用いれば、重力式ダム等の施工中の計測データからでもコンクリートの熱特性や熱境界特性が容易に評価できることが分かった。また、熱伝達係数に関しては、現場計測データだけでなく簡単な室内試験結果からでも評価できることを示すとともに、系統立てて実施した試験結果から同定された熱伝達係数を基にして、養生方法の違いが与える熱伝達係数への影響について報告した。

**Keywords :** mass concrete, heat conduction problem, inner heat generation, heat transfer coefficient, back analysis, finite element method, nonlinear programming

## 1. はじめに

マスコンクリート構造物の水和発熱にともなう内部の温度履歴に関して、これまで多くの研究がなされ、数々の成果が発表されてきている。なかでも、マスコンクリートの熱伝導問題は、電算機的能力向上に伴って、理論的にはかなり現実に近い解析が出来るようになってきた<sup>1)</sup>。そして、こうした解析手法の精度や能力の向上にともなって、必然的に、用いられる入力パラメータの精度も問題視されるようになってきている。例えば、マスコンクリートの熱伝導解析を行う場合には、

- a) 材料の熱特性……………発熱率, 熱伝導率, 比熱等
- b) 境界特性……………地盤温度, 外気温, 熱伝達係数, 輻射率等
- c) 施工条件……………構造物の形状寸法, コンクリート打設温度, リフトスケジュール等

を事前に決定する必要がある。しかしながら、コンクリートの内部発熱率, 熱伝達係数及び日光による輻射量等は事前の評価が難しく、内部発熱率以外は試験方法や評価方法が十分に確立されていないのが現状である。こうした中で、熱伝達係数の評価に関しては、笠原ら<sup>2)</sup>や山川ら<sup>3)</sup>や四国電力(株)<sup>4)</sup>の研究が代表的なものである。例えば、山川ら<sup>5)</sup>の研究では風速による熱伝達係数の変化に主眼をおいて試験し、得られた温度計測データから一次元の熱の釣合方程式を基にしてパラメトリックスタディによって熱伝達係数を求めている。

既往の研究がこうしたパラメトリックスタディに対して、本研究では、次に述べるような逆解

析手法<sup>6)</sup>の活用によって、簡単な室内試験や現場計測結果から熱伝達係数を実用的なオードで効率的に同定することができることを示すとともに、系統立てて実施した一連の試験結果を整理し、養生方法の違いによる熱伝達係数の変化について述べるものである。

## 2. 逆解析手法

通常のマスコングリート熱伝導解析では、材料特性、境界特性及び施工条件が事前に設定されてから構造物の水和反応に伴う内部温度の履歴を求めることになる。これに対して、ここで用いる逆解析手法は、クランク・ニコルソン法を組み込んだ有限要素法の非定常熱伝導解析<sup>7)</sup>に非線形計画法を応用したものであり<sup>8),9)</sup>、施工後のコンクリート構造物のある位置での計測された温度と解析された温度との残差平方和  $J$  (目的関数)

$$J = \sum_{i=1}^n (T_i - t_i)^2 \rightarrow \min \dots \dots \dots (1)$$

但し  $T_i$ : 解析された温度

$t_i$ : 計測された温度

$n$ : 計測点数

が最小になるときの熱特性値や境界特性を同定するものである。

## 3. 熱伝達試験<sup>10)</sup>

実施した熱伝達試験方法とその結果としての各種養生方法や周辺環境の違いによる熱伝達係数の変化について述べる。

### (1) 熱伝達係数試験

熱伝達試験装置は、図-1に示すように、直径 40 cm, 厚さ 10 cm の円柱体のコンクリート供試体を底部から加熱できるようになっている。熱電対を埋め込んだコンクリート供試体の側面は断熱材で覆っており、側面からの熱伝達が少なくなるようにしてある。この試験装置を

\*正会員 飛鳥建設(株) 技術本部 構造技術課長  
(〒270-02 千葉県東葛飾郡関宿町間ヶ瀬 5472)

\*\*正会員 飛鳥建設(株) 技術本部 構造技術部主任

\*\*\*正会員 飛鳥建設(株) 技術本部 構造技術部

\*\*\*\*正会員 工博 神戸大学教授 工学部土木工学科

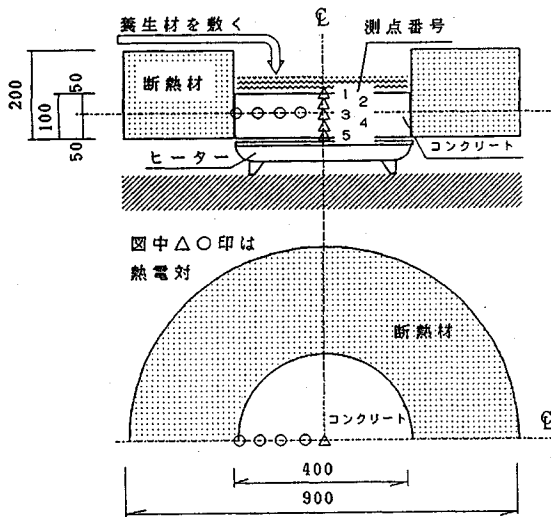


図-1 熱伝達係数試験装置

表-1 コンクリートの配置表

最大寸法 (mm)	スポンジ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)
13	10	4	58.2	45.5
単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
C	W	S	G	混和剤
297	173	828	1037	0.743

用いて、それぞれの養生方法に対して、約10時間供試体底部を加熱し、コンクリート供試体内部の温度変化を計測した。

表-1と表-2に、使用したコンクリートの配合と熱特性試験結果を示す。

(2) 熱伝達試験結果の評価方法

試験結果の評価に際して、図-2に示すような1次元の有限要素モデルを使用する。この有限要素モデルの中で、中黒で示した5つの節点は逆解析に入力データとして用いた温度測定点に対応している。そして、ヒータ部は計測された温度を入力値とする温度指定境界とし、養生しているコンクリート表面に対しては室内温度を外気温とする熱伝達境界として評価した。コンクリートの熱特性は試験によって得られているため、ここではコンクリート表面の熱伝達係数だけを未知数として一時間毎の変化について同定した。

(3) 熱伝達係数の評価結果

a) 養生方法の違いに関する試験と評価

前記した熱伝達試験装置を用いて

- 1) 湿度60%前後(湛水養生以外)
- 2) 平均試験室内温度13℃

表-2 熱特性試験結果

密度 (t/m <sup>3</sup> )	比熱 (kcal/kg・℃)	熱拡散率 (m <sup>2</sup> /hr)	熱伝導率 (kcal/m・hr・℃)
2.372	0.258	0.00306	1.87

28日強度:370 kg/cm<sup>2</sup>, セメント:N, 水:水道水,  
 細骨材:鹿島産隠砂(FM=2.69),  
 粗骨材:多摩産砕石13mm(FM=6.22),  
 混和剤:A E減水剤(※リソノ70)

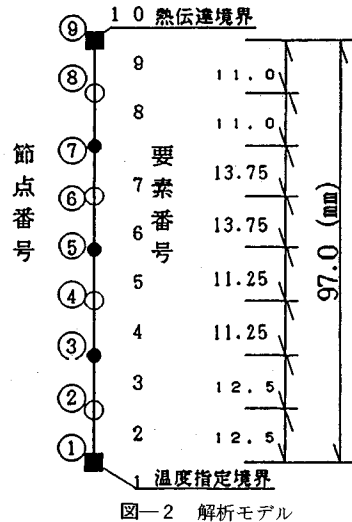


図-2 解析モデル

3) 無風状態

の室内で14通りの養生方法に対して試験した。また、噴霧・湛水・流水以外の養生材料とコンクリート供試体は、乾燥状態にある。

解析結果の例として、無養生と養生マット(一枚)の場合のコンクリート内部と試験室内の温度変化の試験結果と解析結果を図-3と図-4に示す。図中に示した測点番号は図-1の測点番号に対応している。

図-5には無養生と養生マット(一枚)の場合の試験結果から同定された熱伝達係数の経時変化を示したが、時間の経過とともに次第に一定値に収束している様子が分かる。また、試験開始10時間後の供試体内部温度の測定結果から熱伝達係数を同定する際に(1)式で表される目的関数(残差平方和)を図-6に示す。本試験結果から熱伝達係数を同定する場合、局所最適解が1つしか存在しないことと、未知数となる熱伝達係数の目的関数に対する感度が高いことが分かる。このため、熱伝達係数を同定する場合、逆解析手法の適用が容易な条件になっている。ここでは、このように同定された収束値もしくは最終値を各養生方法による熱伝達係数として表-3に整理する。

b) 風速の影響に関する試験と評価<sup>11)</sup>

つぎに、無養生の場合に対して、大型ファンを使って

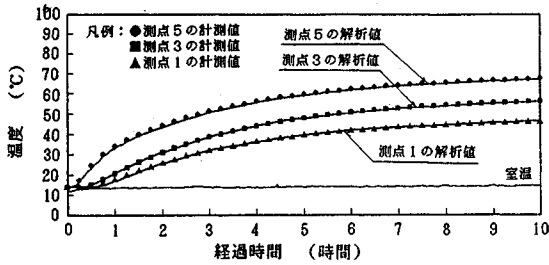


図-3 内部温度の経時変化図 (無養生)

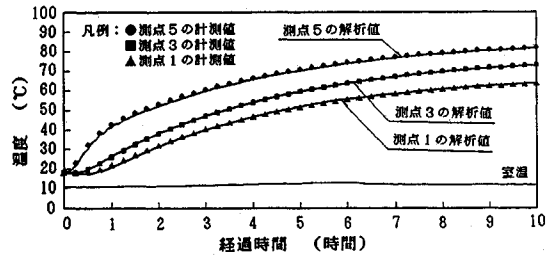


図-4 内部温度の経時変化図 (養生マット1枚)

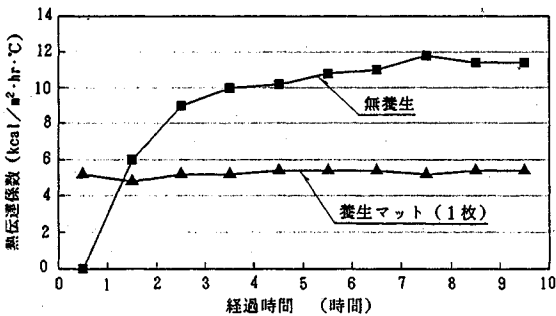


図-5 熱伝達係数の同定結果

熱伝達係数に与える風速の影響について調べた。図-1に示した熱伝達試験装置(無養生状態)の断熱材の高さを10cmにして、風速を約1.9, 2.8, 5.0, 7.4 m/secの5段階に変化させて試験した。また、大型ファンによって発生させた風速を熱線式風速計(日本カノマックス社製6151型風速計)によって測定し、積算平均値として整理した。このとき室内の湿度はほぼ60%の一定値を示していた。同定結果を図-7~図-9に示す。図-9に示した試験結果から、熱伝達係数は、0~7.4m/secの風速の変化に伴って11.4~48.8 kcal/m<sup>2</sup>·h·°Cをほぼ線形的に変化している様子が分かる。

比較のために、図-9には既往の試験結果も記入した。風速の影響を示す傾きは山川らの試験<sup>3)</sup>とほぼ同じ結果となり、無風時の熱伝達係数は四国電力の試験結果<sup>4)</sup>に近い値を示している。

今回の試験で同定された風速変化に対する熱伝達係数は、既往の試験結果に比べて大きく評価される傾向にあ

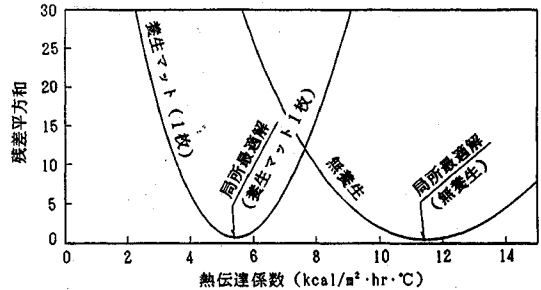


図-6 誤差局面 (熱伝達係数同定時の試験開始10時間後)

表-3 熱伝達係数一覧表 (単位: kcal/m<sup>2</sup>hr·°C)

養生材	熱伝達係数	適用
無養生	11	-
養生マット (t=7.5mm)	5	1枚
養生マット (t=7.5mm)	2	3枚
ジュート (t=2mm)	8	1枚
ジュート (t=2mm)	6	3枚
白シート (t=0.5mm)	9	1枚
ブルーシート (t=0.3mm)	9	1枚
発泡スチロール (t=3cm)	3	1枚
木板 (t=12mm)	4	2枚
鉄板 (t=12mm)	7	2枚
大鋸屑 (t=5cm)	3	-
乾燥砂 (t=5cm)	5	-
湛水	26	10cm
流水 (d=10cm)	63	20°C

- ・養生材は基本的に乾燥状態
- ・無風状態
- ・湛水試験以外は  
平均室内温度: 13.0 °C、平均室内湿度: 60.0 %

る。これは、既往の試験装置では安定した風速を発生させているのに対して、本試験において発生させた風が、養生面付近で複雑な様相を呈しているためであると考えられる。

通常の実施工中のマスコンクリート構造物においては、こうした風速の変化だけでなく、風向も複雑に変化することになるため、風速の熱伝達係数に与える影響を事前にうまく評価するのは難しいものと考えられる。しかしながら、施工現場での試験計測の結果を基にして風速と熱伝達係数の関係を整理した方が良い場合には、本文で活用している逆解析手法は、手軽で有効な解析手法になるものと思われる。

### c) 湛水深さの影響に関する試験と評価<sup>12)</sup>

最後に、湛水深さの熱伝達係数に与える影響について調べた。使用した水の顕熱や気化熱が大きく影響する事になるが、ここでは熱伝導解析上の定数の把握を目的としているため、湛水深さの違いによる保温性能の違いを熱伝達係数として評価した。また、除湿機を作動させていなかったため、湛水養生を実施した試験室内の湿度は、試験開始時に60%前後であったのが、85%程度にまで徐々に上昇した。

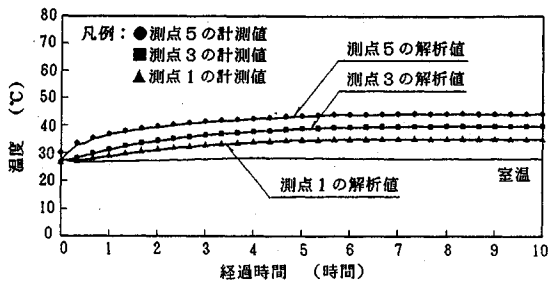


図-7 内部温度の経時変化図 (風速 1.9 m/sec)

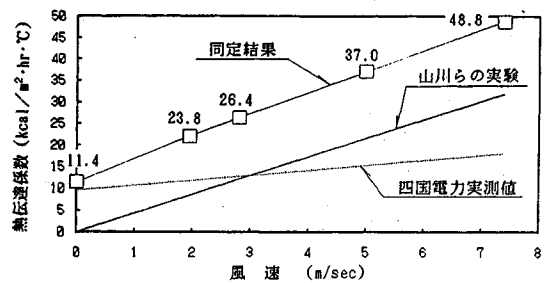


図-9 風速と熱伝達係数 (無養生の場合)

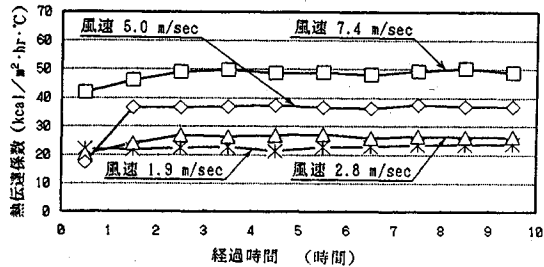


図-8 風速の変化に伴う熱伝達係数の変化

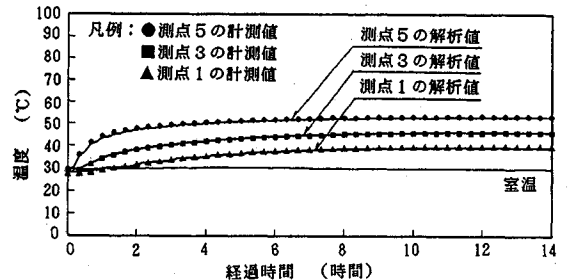


図-10 内部温度の経時変化図 (湛水養生 10 cm)

図-1 に示す熱伝達試験装置のコンクリート試験体の上部を湛水し、底部を14時間加熱した時の内部の温度変化を測定した。このとき湛水深さは、現場での変化を考慮して5、10、20、30 cmの4通りとした。

試験結果と解析結果の一例として、湛水深さ 10 cm の時のコンクリート試験体の内部温度と室内温度の変化を図-10 に示す。また、図-11 にはそれぞれの試験結果から同定した熱伝達係数の経時変化を示す。これらの試験結果から次のように考察される。

- 1) 湛水養生時の熱伝達係数は、試験直後では主に養生水の顕熱、熱伝達および気化熱の影響を受けるが、養生水温が平衡状態に達すると主に熱伝達と気化熱の影響を受けることになる。
- 2) 試験直後においては、養生水の顕熱の影響が大きく、使用した水量が多くなるに従って初期の熱伝達係数も大きく評価され、50~200 kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C の範囲で変化している。
- 3) 本文では、前記したように養生面の熱量の流出を全て熱伝達係数として評価しているため、湛水深さが 5 cm 以外の同定結果は試験が 14 時間経過後も完全には収束していないものの、時間と共に 25~35 kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C 程度の値に収束してきている。
- 4) このとき、試験した湛水深さ 5~30 cm に対する一般的な熱伝達係数としては 7~2 kcal/m<sup>2</sup>·hr·°C 程度と考えられるが、本試験結果では、養生水と空気との熱伝達よりも養生水の蒸発にと

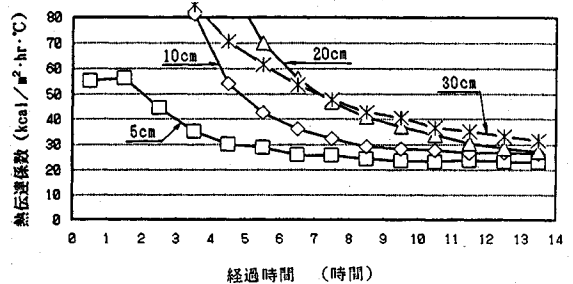


図-11 熱伝達係数の経時図

もなう気化熱の影響が大きくなっているようである。

- 5) こうした等価な熱伝達係数に対して大きく影響を与える養生水の気化熱は、養生水の温度や養生方法だけでなく、気温、湿度および風向風速等の周辺環境に大きく影響を受けることになる。
- 6) 周辺環境や養生水温等が本室内試験とは違った状況にあるにも拘らず、結果的に、本同定結果は、後述する湛水養生中のコンクリートダムの現場計測結果から同定した熱伝達係数 (図-20) と良く似た値となっている。
- 7) 実施工現場での養生水の蒸発は複雑に変化する周辺環境に大きく影響を受けて、その現場特有の違った傾向を示すことになる。従って、このような熱伝達係数を設計に用いる場合には、養生水の蒸発にとまなう気化熱に影響を与える周辺環境や養生水温等も十分に考慮しておく必要がある。

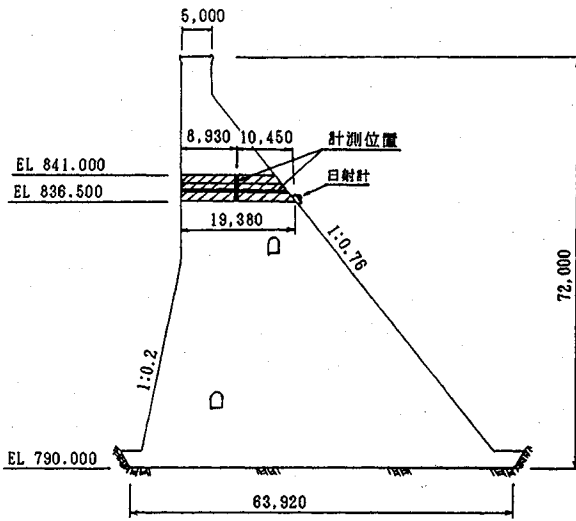


図-12 Mダム標準断面図

表-4 実験したダムの諸元

形式	重力式コンクリートダム
堤頂長	72.0 m
堤体積	297.5 m <sup>3</sup>
総貯水容量	308.470 m <sup>3</sup>
有効貯水容量	9,500,000 m <sup>3</sup>
上流面勾配	8,300,000 m <sup>3</sup>
下流面勾配	1:0.2
基礎岩盤標高	1:0.76
	EL.790.0 m

表-5 コンクリートの配合表

最大寸法 (mm)	スラング (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)
150	4	4	76.7	26.0

単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
C	W	S	G	混和剤
150	115	553	1589	0.375

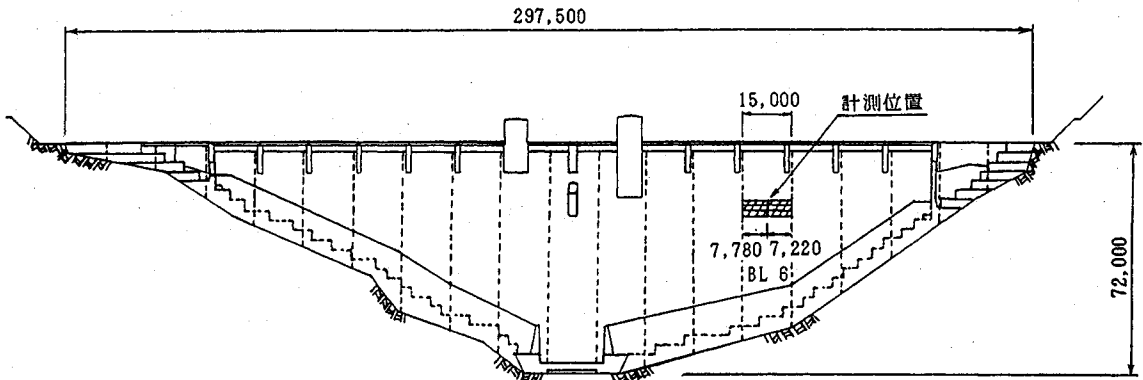


図-13 Mダム下流面図

表-6 熱特性試験結果

密度 (t/m <sup>3</sup> )	比熱 (kcal/kg·°C)	熱拡散率 (m <sup>2</sup> /hr)	熱伝導率 (kcal/m·hr·°C)
2.363	0.240	0.00423	2.40

#### 4. コンクリートダムの境界特性の評価<sup>(13), (14)</sup>

実施中のコンクリートダムにおける養生面の熱伝達係数を把握する目的で温度計測を実施した。表-4、図-12、図-13に示す重力式ダム (No. 6ブロック) のEL. 836,500~839,500の3リフトに温度計を設置した。温度計の設置位置の詳細を図-14に示す。打設したコンクリートの配合と熱特性試験結果を表-5と表-6に示す。

##### (1) 計測結果

解析対象リフトの打設は次のようである。

- 1) 下部リフト (打設温度 21.9°C) : 1989.7.21
- 2) 中間リフト (打設温度 19.9°C) : 1989.7.28

このとき、計測された外気温とコンクリートの内部温度は図-15と図-16の上図のようであった。

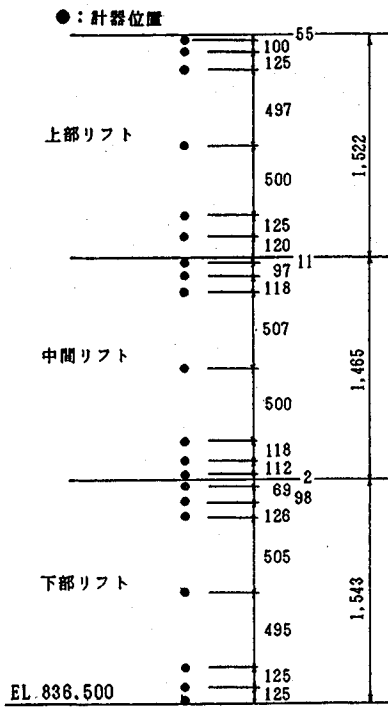
##### (2) 解析方法

上記の2リフトの熱特性の評価に用いた有限要素モデ

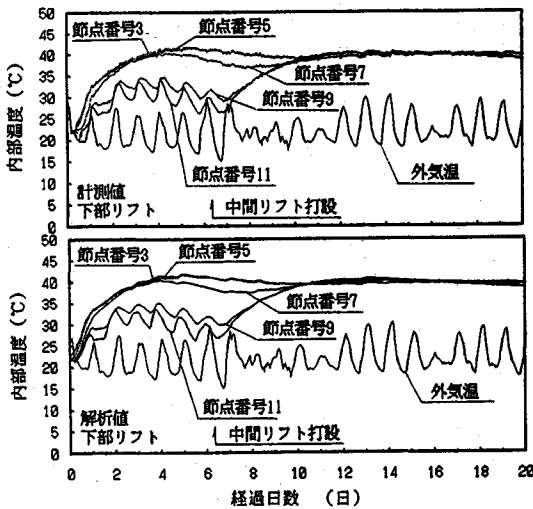
ルを図-17示す。ダム上下流面における熱伝達の影響が少ない打設コンクリートの中央部での解析であるため、コンクリート部は2節点の一次要素でモデル化した。また、下部リフトの底面は計測温度を入力値とした温度指定境界とし、打設後のリフトの上表面は熱伝達境界とした。使用した解析モデルは、

セメント:高炉B種中熱タイプ(日本セメント),  
 水:河川水,  
 細骨材:現地原石山砂  
 砂岩および粘板岩系軽質珪石(FM=2.85),  
 粗骨材:現地原石山砂  
 砂岩および粘板岩系軽質珪石  
 G1.150-80mm・25%(FM=9.94)  
 G2.80-40mm・25%(FM=8.96)  
 G3.40-25mm・25%(FM=7.98)  
 G4.25-5mm・25%(FM=6.86)  
 混和剤:A E減水剤(ネオリソNo8)

ルを図-17示す。ダム上下流面における熱伝達の影響が少ない打設コンクリートの中央部での解析であるため、コンクリート部は2節点の一次要素でモデル化した。また、下部リフトの底面は計測温度を入力値とした温度指定境界とし、打設後のリフトの上表面は熱伝達境界とした。使用した解析モデルは、



図—14 計測点の位置図

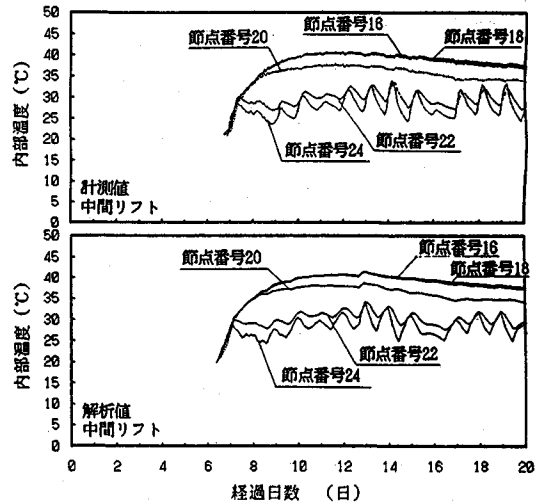


図—15 内部温度比較図 (下部リフト)

- 1) 要素数……………26 (一次要素)
- 2) 節点数……………27

であり、図中に示した●印の節点は、計測点に対応している。下部リフト打設直後から中間リフト打設14日後までの20日間のデータに対して、6時間毎(00:00~06:00~12:00~18:00~00:00)の温度計測データを基にしてコンクリートの内部発熱率と熱伝達係数を同定した。

通常、コンクリート表面は、湛水されている水温によって大きく影響を受けることになるが、ここでは、計測さ



図—16 内部温度比較図 (中間リフト)

れた外気温を外部温度とする熱伝達境界として評価した。このため、本文においては、同定を実施した6時間毎のコンクリート表面の熱量の収支を平均的な熱伝達係数として評価することになり、通常の熱伝達係数とは違った値として評価される場合がある。例えば、天気の良い日中のコンクリート表面は、熱伝達境界としては冷えようとしているが、逆に、日光によって温められることになり、流入熱量が多い日中などは、コンクリート表面の熱伝達係数は負値として評価されることになる。このように、本来の意味とは違った結果を同定することになるが、本文では広義な意味での熱伝達係数として扱うこととする。しかしながら、どのような係数として評価されようとも、それによって表面の熱量の収支が現実と合ってさえいれば、コンクリート内部の発熱量に関しては比較的精度良く同定されることを付け加えておきたい。

### (3) 解析結果

#### a) コンクリート内部温度の同定結果

計測されたコンクリートの内部温度と同定された内部温度の解析結果を図—15~図—16に示す。計測値と同定結果としての解析値との誤差は少なく、比較的精度良く同定している様子が分かる。

#### b) コンクリート内部発熱曲線

同定されたコンクリートの内部発熱曲線を図—18に示す。また、同図には、別途室内で実施した断熱温度上昇試験結果を付記した。これらの結果から次のことが分かる。

- 1) 今回の堤体コンクリートは、各リフトとも配合、材料、打設方法が同じであったが、打設温度と外部温度が若干違った環境で打設された。このため、各リフト毎の計測された内部温度はそれぞれ違った様相を呈しているが、同定されたコンクリート

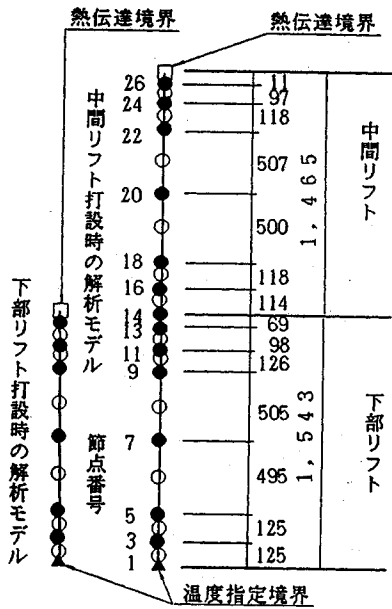


図-17 解析モデル

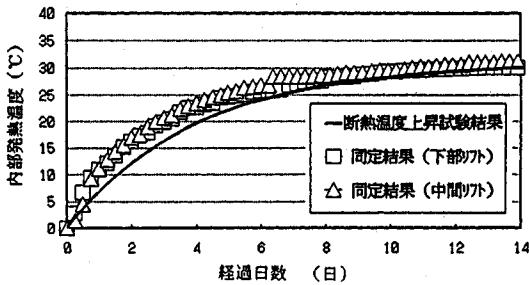


図-18 内部発熱温度の経時図

内部の発熱温度曲線はほぼ同じ結果となっている。

2) 同定結果と断熱温度上昇曲線とを比較すると、14日後の内部発熱温度は、31°C程度と良く似た値になっているが、温度上昇速度は同定結果の方が若干大きい値を示している。

c) コンクリート表面熱伝達係数

コンクリート打設後の養生方法及び同定されたコンクリートの熱伝達係数を図-19に示す。また、湛水養生期間に関して、日射の影響の無い時間のコンクリート表面の熱伝達係数の頻度分布を図-20に示す。この結果から次のことが分かる。

- 1) 前記したように、ここでの熱伝達係数は、日射の影響も含まれた、いわゆる等価な値として同定しているため、日射量の多い日中には負値として評価されている。
- 2) 型枠移動やグリーンカット等のために流水した場合、コンクリート表面の熱伝達係数は、著しく大きな値を示すことになる。

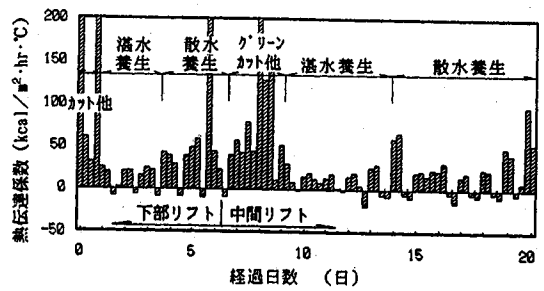


図-19 熱伝達係数の経時図

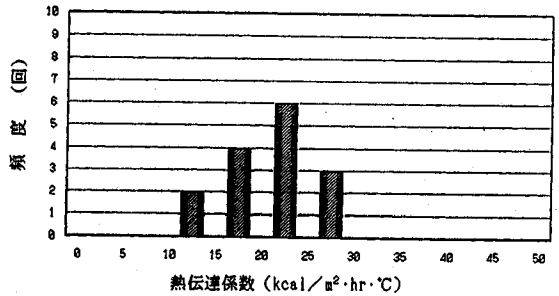


図-20 熱伝達係数の頻度図 (湛水時)

- 3) 湛水養生時の熱伝達係数は、平均 21.2 kcal/m²·hr·°C、標準偏差 4.8 kcal/m²·hr·°C である。
- 4) 養生面における熱量の流出を熱伝達係数で評価した場合、通常の養生水と空気との熱伝達よりも、養生水の蒸発に伴われる気化熱の影響が大きくなっているものと考えられる。

5. おわりに

今回、有限要素法を基にした逆解析手法を適用して、様々な試験や実構造物の温度計測の結果からコンクリート表面の熱伝達係数を同定した。

特に、実構造物としては、リフト打設されているコンクリートダムで実施した計測結果を基にして解析した。ここでは、入力値として用いたコンクリートの内部温度や外気温が違っているにも拘らず、同定された内部発熱温度曲線は、下部リフト・中間リフトともほぼ同じ結果となっている。打設したコンクリート材料 (配合や骨材等) と施工環境 (打設温度や打設方法等) が同じ場合、コンクリートの内部発熱温度曲線が同じ結果になるのは当然のことであるが、解析的に評価できたことは、本逆解析手法の有意性の証明になるものと考えている。

また、現場計測や室内試験の温度計 (熱電対) の設置に関しては、実際の適用性を勘案したために、いくぶん位置的な精度が悪くなりがちであったが、結果として、手軽な試験装置や現場で施工中のコンクリート構造物の部分的な温度計測データからでも実用的な精度で熱伝達係数が求められることが分かった。

ここで、本手法を用いて得られた熱伝達係数について、



整理すると下記のようにまとめられる。

- 1) 図一2に示したような熱伝達試験装置で実施した様々な養生方法の違いを熱伝達係数として評価すると、表一3のように整理される。
- 2) 無養生の試験体に対して、熱伝達係数へ与える風速の影響を調べたところ、風速が0.0～7.4 m/secの範囲では両者はほぼ線形関係を保ちながら、11.4～48.8 kcal/m<sup>2</sup>・hr・℃まで大きく変化した。
- 3) しかし、実施工中のマスコンクリートの表面に作用する風速と熱伝達係数との関係は、風向風速が複雑であるだけでなく、湿度や気温等の周辺環境や養生面の状態によっても大きく影響を受けるため、実際の設計に際しては、事前の十分な検討が必要となる。
- 4) 通常、コンクリートの湛水養生は無養生に比べて熱が逃げ難く、熱伝達係数として評価する場合には小さくする必要があるとされているが、前記した室内試験や現場計測から同定された熱伝達係数は無養生時11 kcal/m<sup>2</sup>・hr・℃程度であるのに対して、湛水養生時23～26 kcal/m<sup>2</sup>・hr・℃程度という結果になった。
- 5) これは、湛水養生時には、養生面の熱伝達だけではなく、養生水の蒸発に伴う気化熱が大きく影響しているためであると考えられる。
- 6) 養生水の蒸発に関しては、気温、湿度および風向風速等の周辺環境だけでなく、養生水の温度や養生方法等に大きく影響を受けることになる。

熱伝達係数の評価に関しては、今後、さらに多方面の試験等を実施する必要があるものの、本逆解析手法は計測や試験データの評価に適した手法であり、得られた結果はコンクリート構造物の熱伝導解析にも活用できる実用的なデータになり得るものと思われる。しかしながら、今回の同定結果からでも分かるように室内試験ではかなり安定した結果を示す熱伝達係数であるが、現場での実構造物では図一19に示したように、養生時の周辺環境によってかなり大きく変化する。事前に構造物内部の温度予想のための熱伝導解析を実施する場合には、いずれの評価手法を活用する場合であっても、実際の構造物の養生方法、時期等の施工状況や日射量、外気温、風向風速および養生水の蒸発等の周辺環境の影響がかなり大きくなるため、現地の状況を十分に勘案して熱伝達係数の設定をする必要があると思われる。こうした周辺環境や施工状況に影響を受け易いコンクリートの熱伝達係数等の境界特性は、例えば、施工に先立って実施される試験施工や施工の初期段階で実施される計測結果からでも、本逆解析手法を用いれば効率良く評価することができる。また、得られた結果を順解析手法を用いてリフトス

ケジュール等にフィードバックすることによって、現地の状況に応じた適切な打設計画やコンクリート構造物の品質の向上にもつながるものと思われる。

#### 謝 辞

本研究における試験と計測評価に関しては飛鳥建設(株)技術本部構造技術部の中原博隆君によるところが大きく、また、現場での計測データの収集に関しては同社東京支店北村義一氏のご協力によるものである。ここに、あらためて感謝の意を表します。

また、末尾ながら、本ダム施工に関して幅広いご指導いただきました長野県土木部上伊那ダム建設事務所の皆様方には、改めて本紙を借りてお礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) マスコンクリートの温度応力研究会：マスコンクリートの温度応力研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，1985.11.
- 2) 笠原・阿部・田辺：マスコンクリート用熱伝達試験装置の製作について，第36回年次学術講演会講演概要集，V-22，土木学会，1981，10.
- 3) 山川・笠原・小林：マスコンクリートの熱伝達試験方法の検討，第37回年次学術講演会講演概要集，V-208，土木学会，1982，10.
- 4) 四国電力(株)：マスコンクリートの初期ひび割れとその防止対策に関する研究，1965.9.
- 5) 山川・田辺・笠原：熱伝達率の試験ならびに実測例，マスコンクリートの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，1982，10.
- 6) 大河原・近久・津崎・桜井：マスコンクリートの熱特性の評価(その1)，第44回年次学術講演会講演概要集，V-141，土木学会，1989.10.
- 7) 鷲津・宮本・山田・川本・川井：有限要素法ハンドブック，倍風館，1982.
- 8) 今野浩・山下浩：非線形計画法ORライブラリー6，日科技連.
- 9) Nelder, J.A. and R.Mead: A Simplex Method for Function Minimization, Computer J., 7, pp.308～313, 1965.
- 10) 津崎・大河原・近久・中原：コンクリートの熱伝達係数の評価，第44回年次学術講演会講演概要集，V-143，土木学会，1989.10.
- 11) 津崎・武藤・荒井・中原：養生中のコンクリートの内部温度に与える風速の影響，第45回年次学術講演会講演概要集，V-181，土木学会，1990.10.
- 12) 津崎・近久・荒井・武藤：湛水養生されたコンクリートの熱伝達係数，第45回年次学術講演会講演概要集，V-182，土木学会，1990.10.
- 13) 所河・栗原・大河原・近久：堤体コンクリートの熱特性や熱境界特性のための実験，第45回年次学術講演会講演概要集，V-178，土木学会，1990.10.
- 14) 大河原・近久・荒井・桜井：逆解析手法によるリフト打設された堤体コンクリートの内部発熱の評価，第45回年次学術講演会講演概要集，V-177，土木学会，1990.10.

(1991.3.4 受付)

## ESTIMATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENTS OF MASS CONCRETE STRUCTURES BY MEANS OF A BACK ANALYSIS

Hiroshi CHIKAHISA, Junich TSUZAKI, Yukio ARAI and Shunsuke SAKURAI

Recently, there is a need for accurately determining the heat properties of mass concrete structures, because these properties are required as input data for numerical analysis. Although great efforts have already been made, as yet, there are no reliable methods for evaluating the heat properties.

This paper demonstrates that a back analysis method, proposed by the authors, is very capable for evaluating thermal and boundary characteristics of concrete dams. And this method also allows to estimate heat transfer coefficients from results of field measurements of a concrete structure or a simple test in the laboratory. The variation of the heat transfer coefficients is discussed in relation to the several curing conditions of concrete.

---