

論文

[1188] コンクリート構造物の養生面における日射の吸収率の評価

中原博隆\*1・近久博志\*2・筒井雅行\*3・桜井春輔\*4

1. はじめに

コンクリート構造物の日射の影響評価[1][2]に関しては多くの研究がなされているが、例えば、コンクリート構造物の日射の吸収率に関しては、系統立てた試験や評価が十分に実施されていないのが現状である。これは、関連する試験や現場計測によって得られる計測結果が周辺環境の影響を受けて非定常なデータであり、精度良く評価できる手法が無かったことも要因の一つであると考えられる。

これに対して、ここでは、コンクリート供試体を用いた野外試験を実施し、得られた内部温度の計測結果から逆解析手法を用いて、養生面の日射の吸収率を同定した。そして、本同定結果を基にして本解析手法の適用性を検証するとともに、養生方法の違いによる日射の吸収率の変化について考察した。

2. 逆解析手法[3]

通常のマスコングクリートの熱伝導解析では、事前に設定した解析モデル、材料特性および境界特性等からコンクリートの水和反応に伴う内部温度の履歴を求める。これに対して、ここで用いる逆解析手法は、クランク・ニコルソン法を用いた有限要素法の非定常熱伝導解析にシンプレックス法等の非線形計画法を組み込んだものであり、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) が最小となるように熱特性値や熱境界特性値を同定するものである。

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

ただし  $T_i$  : 解析された温度  
 $t_i$  : 計測された温度  
 $n$  : 計測点数

3. 日射の吸収率試験

日射の吸収率を評価するために用いた供試体と熱電対の埋設位置を図-1に示す。試験に用いた供試体は、側面部と底面部を断熱材で覆っている。また、供試体の付近に精密全天日射計 (MS-801) および三杯式微風速計 (MA-070S) を設置し、日射量および風速の測定を行った。使用したコンクリートの配合と熱特性試験結果を

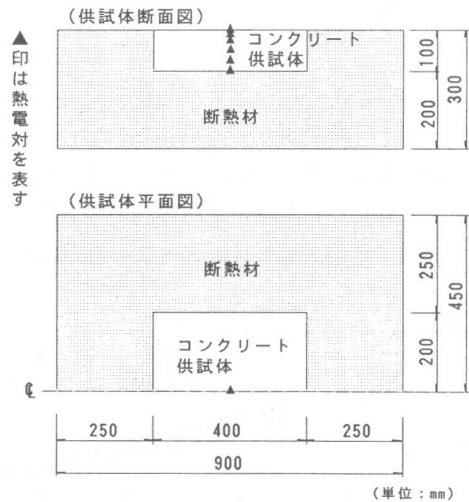


図-1 日射の吸収率評価のための試験装置

\*1 飛島建設(株)技術本部構造技術部 (正会員)  
 \*2 飛島建設(株)技術本部構造技術部課長、工博 (正会員)  
 \*3 飛島建設(株)技術本部構造技術部  
 \*4 神戸大学教授 工学部建設学科、工博

表-1と表-2に示す。

日当たりや風通しが良い地面上に試験装置を設置し、供試体の内部温度、外気温、日射量および風速を測定した。本試験装置を用いて3種類の養生材を設置した場合の養生面の熱収支について調べた。比較のために無養生の場合の塗装の有無についても調べた。

#### 4. 評価方法

前記した逆解析手法を適用するに際して、図-2に示すような一次元有限要素でコンクリート供試体をモデル化した。図中の▲印は逆解析時に入力値として用いる温度計測点である。本モデルの上部(養生面)は、外気温を外部温度とする熱伝達境界と日射量を流入熱量とする熱流束境界とし、底面は計測温度を入力値として用いる温度指定境界として評価した。ここでは養生面における30分毎の平均的な熱伝達係数と日射の吸収率を同定した。

評価手順としては、まず、日射のない夜間(19:00~00:00)の供試体内部の温度測定データから養生面の熱伝達係数を同定した。そして、この熱伝達係数を用いて昼間(09:00~15:00)の温度測定データから日射の吸収率を同定した。

#### 5. 夜間における熱伝達係数の評価

##### 5.1 計測結果

夜間の計測結果の一例として、ブルーシート(1枚)によって養生したときの供試体内部の温度、外気温および風速の経時変化図を図-3と図-4に示す。図中の測点記号は、図-2の計測点に対応している。昼間に日射によって温められた供試

表-1 コンクリートの配合表

最大寸法 mm	スラブ cm	空気量 %	W/C %	s/a %
13	16	3.0	53.9	50

単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
C	W	S	G	混和剤
317	171	898	904	0.793

28日強度:326 kg/cm<sup>2</sup>、セメント:普通ポルトランドセメント、水:水道水、細骨材:鹿島産川砂(FM=2.69)、粗骨材:多摩産砕石13mm(FM=6.22)、混和剤:AE減水剤(ネゾリスNo70)

表-2 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
2.406	0.210	0.00348	1.76

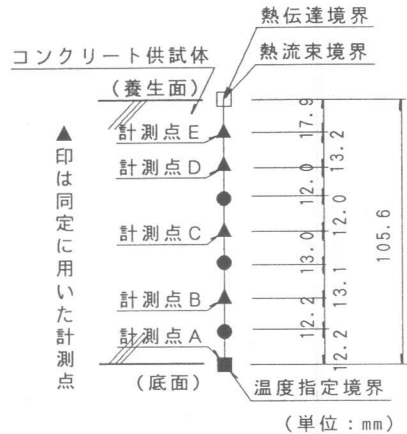


図-2 解析モデル

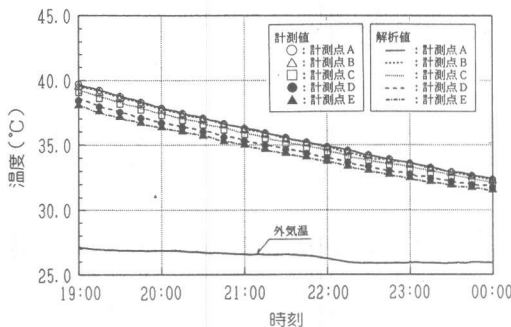


図-3 夜間の供試体の内部温度 (ブルーシート1枚)

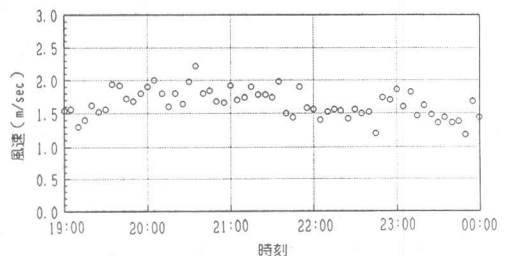


図-4 夜間の風速 (ブルーシート1枚)

体が、夜間に冷却されている様子が分かる。

## 5.2 解析結果

同定結果として、日射の影響のない夜間における養生面の熱伝達係数と風速の関係を図-5と表-3に示す。風速が0.0~2.5 m/secの範囲では多少ばらつきがあるものの、無養生状態の熱伝達係数は風速に比例しており、別途室内で実施した試験結果[4]との比較を図-5に示すが、両者は良く一致している様子が分かる。また、養生材を敷いた場合は風速に関係なくほぼ一定の値を示している。この熱伝達係数を用いて、昼間の温度計測データから養生面における日射の吸収率の評価を行った。

## 6. 昼間における日射吸収率の評価

### 6.1 計測結果

昼間の計測結果の一例として、無養生とブルーシート（1枚）による養生の場合の供試体の

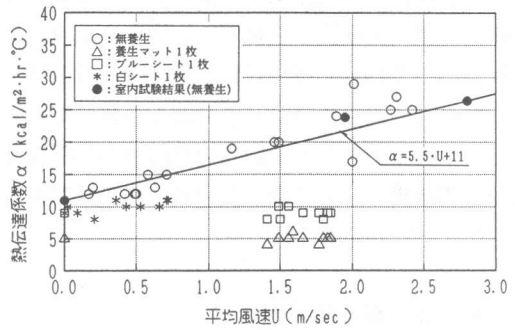


図-5 同定された熱伝達係数

表-3 同定された熱伝達係数の一覧表

養生材		熱伝達係数 (kcal/m <sup>2</sup> -hr-C)	適用
無養生	黒 <sup>ハ</sup> 塗装なし	5.5・U+11	U: 風速 (m/sec)
	黒 <sup>ハ</sup> 塗装あり		
養生マット (t=7.5mm)		5	1枚
ブルーシート (t=0.3mm)		9	1枚
白シート (t=0.5mm)		10	1枚

注) 養生材は乾燥状態

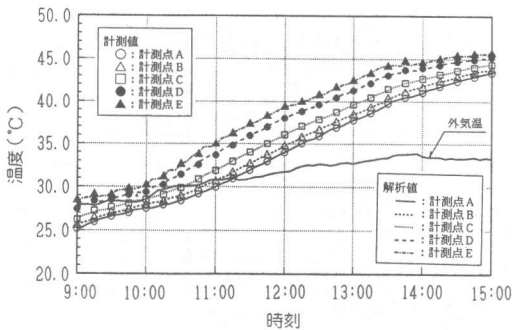


図-6 昼間の供試体の内部温度（無養生）

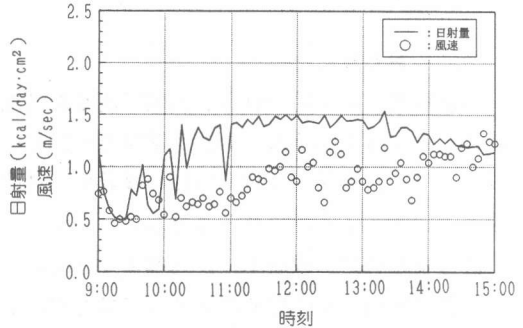


図-7 昼間の日射量と風速（無養生）

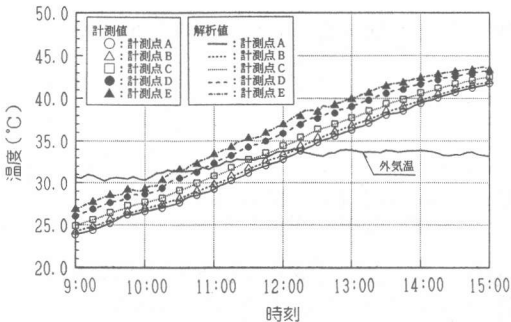


図-8 昼間の供試体の内部温度  
(ブルーシート1枚)

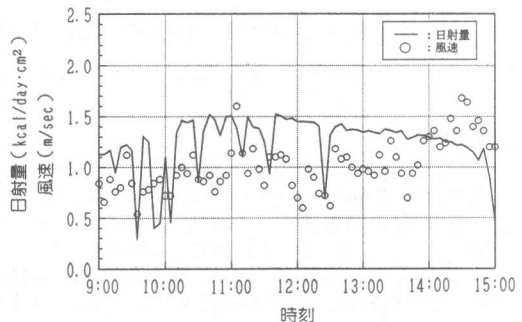


図-9 昼間の日射量と風速  
(ブルーシート1枚)

内部温度、外気温、風速および日射量の経時変化図を図-6～図-9に示す。図中の測点記号は、図-2の計測点に対応している。日射によって供試体が温められ、養生面から熱量が流入していることが分かる。この供試体の内部温度の計測結果から養生面における日射の吸収率の同定を行った。

## 6.2 解析結果

同定結果の一例として、無養生とブルーシート（1枚）による養生の場合の養生面の日射の吸収率の経時変化図を図-10と図-11に示す。同定された値は多少ばらつきがあるものの、ほぼ一定の値で安定している様子がわかる。各種養生材を用いた試験に対して実施した解析の結果を平均値と標準偏差でまとめると表-4のようになる。例えば、通常、無養生のときの日射の吸収率[5]は0.6とされているが、本同定結果では0.58となり、妥当性のある結果を示していることが分かる。

## 7. おわりに

本逆解析手法を用いれば、現場計測や野外試験によって得られるような非定常な温度測定結果からでも、熱伝達係数や日射の吸収率を精度良く同定することができることが分かった。

得られた日射の吸収率は、当然のことであるが、養生材の熱特性や厚さだけでなく色調や色の濃さに大きく影響を受けた結果となっている。また、無養生時では大きな影響を与える風速であるが、養生シートやマットを使用することでほとんど影響を受けないことが分かった。さらに、今後は、橋梁や煙突等の実構造物において現場計測と評価を実施し、日射の影響に関する基礎的データの積み重ねに努めたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 吉田弥智・田辺忠顕・梅原秀哲・上原 匠：コンクリートアーチダムの日射による日変位挙動に関する研究、土木学会論文集、第420号、V-13、pp.229-237、1990.8
- 2) 秋田宏・尾坂芳夫：日射を受けるコンクリート壁の温度分布に関する考察、土木学会論文集、第378号、V-6、pp.147-155、1987.2
- 3) 近久博志・津崎淳一・中原博隆・桜井春輔：現場計測に基づくマスコンクリート構造物の熱特性の評価のための逆解析手法、材料、日本材料学会、42巻、475号、1993.4（印刷予定）
- 4) 近久博志・津崎淳一・荒井幸夫・桜井春輔：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、土木学会論文集、No.451、V-17、pp.39-47、1992.8
- 5) 日本建築学会編：建築設計資料集成I環境、丸善株式会社、p.122、1978

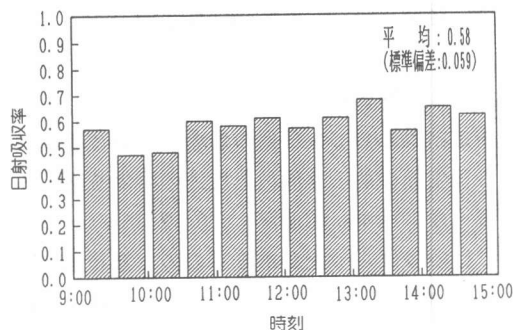


図-10 同定された日射吸収率（無養生）

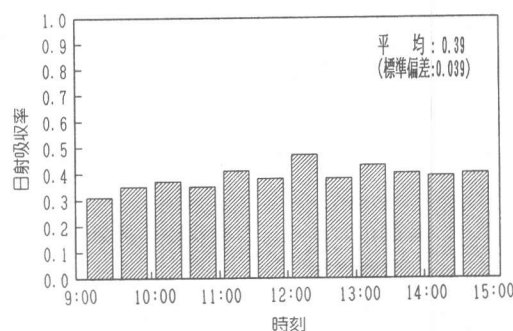


図-11 同定された日射吸収率（ブルーシート1枚）

表-4 同定された日射吸収率の一覧表

養生材	日射吸収率		適用	
	平均値	標準偏差		
無養生	黒 $\wedge$ <sub>2</sub> 塗装なし	0.58	0.059	—
	黒 $\wedge$ <sub>2</sub> 塗装あり	0.94	0.066	—
養生マット (t=7.5mm)	0.12	0.026	1枚	
ブルーシート (t=0.3mm)	0.39	0.039	1枚	
白シート (t=0.5mm)	0.21	0.047	1枚	

注) 養生材は乾燥状態