

コンクリートの過度的温度分布について

北海道工業大学 正員 犬塚 雅生  
 正員 堀口 敬  
 正員 原田 晴男  
 学生員 林 洋光  
 学生員 渡辺 寿司

1. 概説

本論文は、コンクリート供試体に一定の厚さを持たせ、一方向から温度差を与えたとき時間経過に応じて変化した上昇の温度分布を実験的に求めた。これまでは実験的に求める場合、多くは、少数因子に焦点をあて、他の多数要因を固定化した方法を取ったが、この方法に対する検討の必要があるので主要因子を定めて直交配列表による実験を行ない測定結果の分散分析を行なったものである。

2. 実験方法

供試体内部の温度分布変化は、材料配合及び養生方法などの環境因子で異なり、また、試験値は熱照射方向、材種、熱照射経路回数によっても異なってくると思われる。直交表を利用して7種材種、熱照射方向、熱照射経路回数の3要因による温度伝導の影響を実験した。

2-1. 供試体の配合設計

コンクリート供試体の配合設計は、表-1、表-2の通りに示したものである。

表-1 プレーンコンクリート及び鉄繊維補強コンクリートの配合基準

	粗骨材の 最大寸法	スランピング 範囲	水セメント 比(%)	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg)				
					水(W)	セメント(C)	細骨材(S)	粗骨材(G)	鉄繊維量
単位量	15 mm	60±15mm	50 %	47%	208	416	804	943	16.6
1バッチ(7%)	15 mm	60±15mm	50 %	47%	1.46	2.91	5.63	6.60	0.33

表-2 赤泥及び汚泥混入コンクリートと赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリートの配合基準

	セメント(C)	赤泥	汚泥	軽量骨材	塩化カルシウム
供試体1体当り(1kg)	0.553	0.996	0.277	1.107	0.133

セメント量に対する重量百分率

汚泥 = 100%  
 赤泥 = 300%  
 塩化カルシウム = 24%

2-2. 因子及び水準の決定

因子及び水準は、表-3に示すように供試体温度に影響を与えると思われるものとして、次の様に設定した。

a) 材種: 供試体の構成因子として取り上げた。

水準1; プレーンコンクリート

2; 鉄繊維補強コンクリート

3; 赤泥及び汚泥混入コンクリート

4; 赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリート

b) 熱照射方向、内部の水分が熱照射方向によって移動し、これが供試体内部の湿度分布に影響すると考えられた。

c) 熱照射経験回数、処女熱照射と熱照射経験の供試体内部の湿度分布を熱照射経験回数を増やす事によってどの様に变化するかを考えた。

表-3 因子及び水準の決定

実験因子	水準	1	2	3	4
材種		赤泥及び汚泥混入コンクリート	赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリート	鋼繊維補強コンクリート	プレーンコンクリート
熱照射方向		-90°	0°	+90°	
熱照射経験回数		0 ~ 4回			

### 3. 実験要領

供試体内部に埋め込んだ熱電対同志の熱伝導を防ぐ為に供試体型枠を作成し、予備実験を行なって欠点を修正した後、供試体型枠内に熱電対を装填し、打ち込み24時間経過後、型枠を外し28日間水中養生とし、実験日の前日に水中養生から湿潤養生に切り換え実験を行なった。実験結果は、多変自動温度記録計により+50℃まで測定された。

#### 3-1 供試体作成過程

型枠は、鉄管(内径10cm、高さ20cm)を縦割りにし、対角線上に熱電対を出す様に穴をあけた。この穴に熱電対の先が型枠の中心に固定出来る様に装填しコンクリートを打ち込んだ。この時、型枠の合成面と穴の所から材料及び水分が抜け無い様に、合成面にはゴム管を切断したものを接着させ、又、穴には粘土を詰めた。型枠の底にも一定の高さだけ粘土を詰め材料の流出を防いだ。熱電対が型枠内で固定出来ている為に、3層に分けて打ち込み一層づつにバイブレーターを約3秒間かけて気泡を出した。打ち込み後、24時間経過後型枠をはずし水中養生とした。

#### 3-2 実験過程

図-1の様に、供試体を発泡スチロールで覆い、供試体表面から25cmの距離をもたせ1.2kw電熱器で照射した。発泡スチロールは、供試体と外部温度を断熱状態にする為である。又、供試体内部に埋め込んだ熱電対は自動温度記録計の端子へ接続した。なお、表-4の様に配列して順序を反して実験を行なった。熱照射経験は、中3日間隔で4日目には実験を行ない、3日間は湿潤養生とした。

図-1 測定方法と熱電対の位置

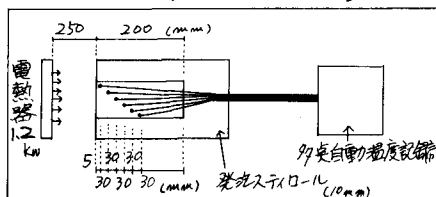


表-4 割りつけ

材種	赤泥及び汚泥混入コンクリート		赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリート				鋼繊維補強コンクリート		プレーンコンクリート			
供試体番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
方向	-90°	+90°	0°	-90°	+90°	0°	-90°	+90°	0°	-90°	+90°	0°

4. 温度伝導率の算定式

$$\text{温度伝導率} = \frac{(\Delta X)^2 \times \Delta \varphi_4}{(\varphi_3 - 2\varphi_4 + \varphi_5) \times \Delta t} \quad (\text{m}^2/\text{hr})$$

但し、 $\Delta X = 0.03 \text{ m}$  (測点間距離)

$\varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$ : 時間  $t$  における各測点の温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta \varphi_4$ :  $(t - \Delta t)$  から  $t$  までに变化した測点 4 の上昇温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta t = 0.2$  時間 (単位ステップ時間)。

図-2. 供試体寸法と熱電対位置

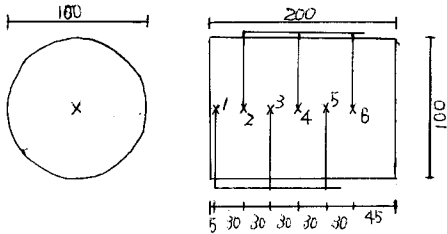


表-5. 熱照射経験回数ごとの各供試体温度伝導率

水準	No	方向	熱照射経験回数				
			0	1	2	3	4
1	1	-90°	11	16	13	10	8
	2	0°	13	15	17	20	14
	3	+90°	21	19	16	17	24
2	4	-90°	8	9	9	9	8
	5	0°	6	10	7	13	8
3	6	+90°	17	32	23	21	20
	7	-90°	23	32	38	26	32
	8	0°	21	37	30	27	32
4	9	+90°	23	36	47	47	56
	10	-90°	28	29	28	23	26
	11	0°	22	21	23	21	20
	12	+90°	42	31	35	35	31

\* 温度伝導率の単位は  $10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$

5. 実験結果

得られた測定結果を要因分析すると表 のようである。

熱照射経験回数 0回

材質及び方向とも有意水準を越え、材質においとはF検定で5%危険率で有意水準を越えた。

熱照射経験回数 1回

材質及び方向とも有意水準を越え、材質においとはF検定で5%危険率で有意水準を越えた。

熱照射経験回数 2回

材質及び方向とも有意水準を越え、両者ともF検定で1%危険率で有意水準を越えた。

熱照射経験回数 3回

材質及び方向とも有意水準を越え、材質においとはF検定で5%危険率で有意水準を越えた。

熱照射経験回数 4回

材質及び方向とも有意水準を越え、材質、方向ともF検定で1%危険率で有意水準を越えた。

熱照射経験回数 4回

因子	自乗和	自由度	平均自乗和	F値
材質	1427	3	476	20.7**
方向	542	2	271	11.8**
残差	136	6	23	
計	2105	11		

表-6. 要因分析表

熱照射経験回数 0回

因子	自乗和 ( $10^8$ )	自由度	平均自乗和	F値
材質	711	3	237	4.2*
方向	236	2	118	2.1
残差	336	6	56	
計	1283	11		

熱照射経験回数 1回

因子	自乗和 ( $10^8$ )	自由度	平均自乗和	F値
材質	698	3	234	6.13*
方向	188	2	94	2.47
残差	229	6	38	
計	1115	11		

熱照射経験回数 2回

因子	自乗和 ( $10^8$ )	自由度	平均自乗和	F値
材質	1270	3	423	26.4**
方向	282	2	141	8.8**
残差	96	6	16	
計	1648	11		

熱照射経験回数 3回

因子	自乗和 ( $10^8$ )	自由度	平均自乗和	F値
材質	758	3	253	5.16*
方向	247	2	124	2.53
残差	291	6	49	
計	1296	11		

図-3. 温度伝導率と材質の関係

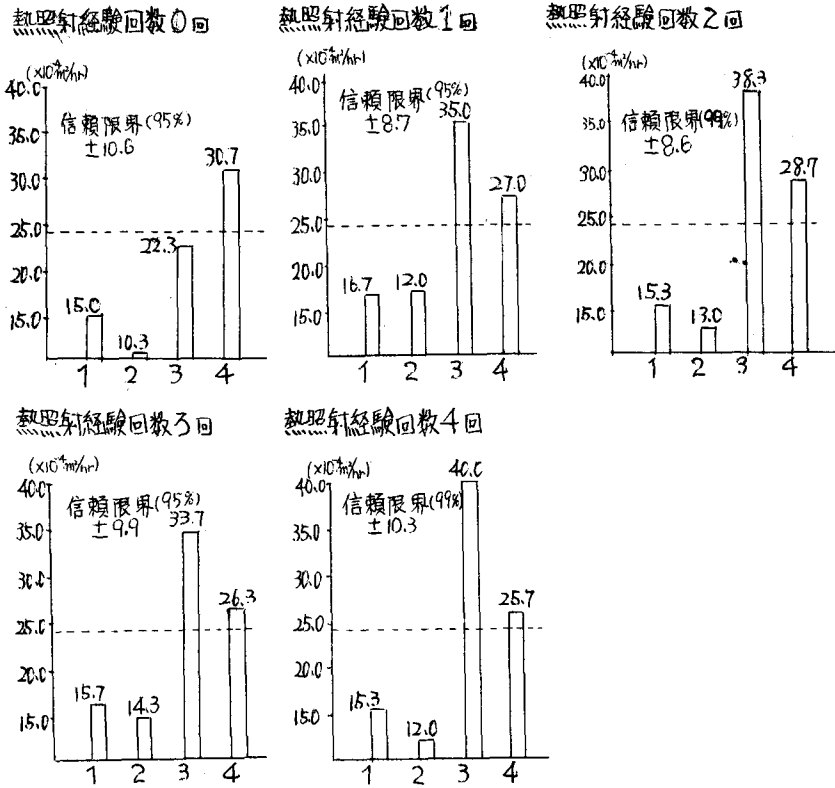
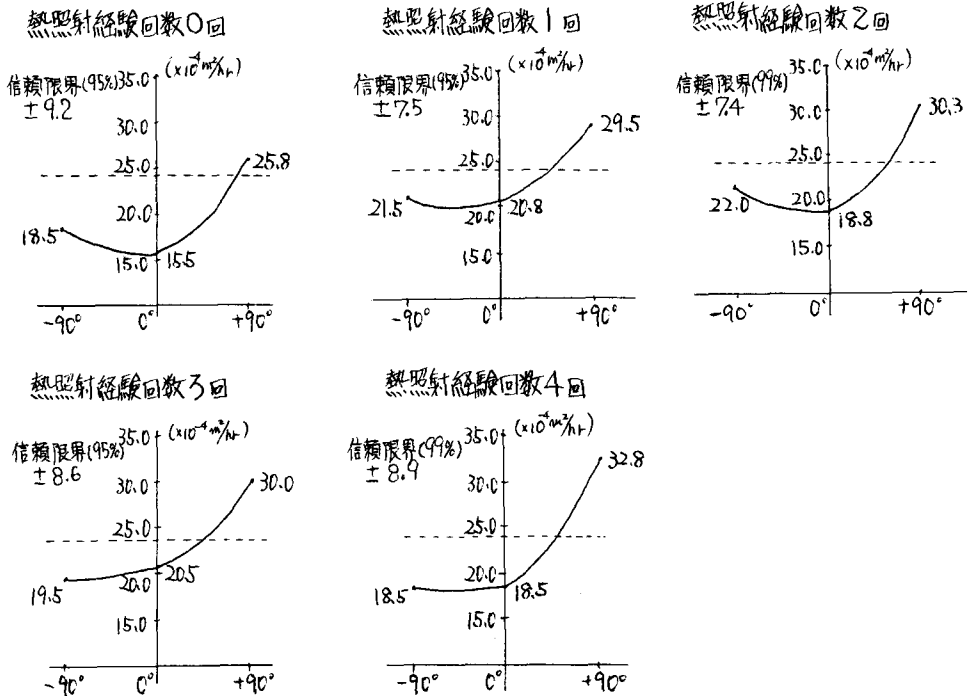


図-4. 温度伝導率と方向の関係



## 6. 考察

赤泥及び汚泥混入コンクリートと赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリートとの比較は、前者の方が後者の方より温度伝導率が高いようである。プレーンコンクリートと鋼繊維補強コンクリートとの比較において熱照射回数0回においては前者の方が温度伝導率が高い(図-3の熱照射経験回数0回参照)が、熱照射経験回数を、くり返した場合では後者の方が温度伝導率が高い。これは鋼繊維が温度伝導率に大きな影響を与えると考えられる。熱照射経験回数0回においては、水分等の影響によって鋼繊維による温度伝導率が妨げられたものと考えられる。また、プレーンコンクリートと鋼繊維補強コンクリートとは見られないが、赤泥及び汚泥混入コンクリートと赤泥及び汚泥と軽量骨材混入コンクリートの供試体には、熱照射経験回数を、くり返したところ表面及び上側面に収縮ひび割が生じた。これは、供試体内部の水分子の移動が激しいと考えると考えられ、温度伝導率と強度にも大きな影響を与えると思われる。熱照射方向 $\theta$ においては $\theta = +90^\circ$ での熱照射が他方向( $\theta = -90^\circ, 0^\circ$ )よりも温度伝導率が大きい、これは加熱により供試体内部の水分子の比重が下がり上方向へ移動するためと考えられる。熱照射経験回数による変化も考えた。熱照射により重量は減少するが、熱照射後3日間恒温室で養生した事により恒温室の水分を吸収してある程度の重量は増すが、熱照射前の重量ほどではない。2〜3回の熱照射を行うと、熱照射前と熱照射後の重量変化幅は、ほぼ一定となる。(平均0.5%の重量の増減をくり返す。)また温度伝導率においても2〜3回の熱照射でほぼ同程度の値となる。これらの事からも温度伝導率は水分によって影響されると思われる。