

V-7 鋼繊維補強コンクリートの温度伝導率について(1)

北海道工業大学 正員 犬塚 雅生

" 正員 堀口 敬

" 学生員 〇表部 敏

1 前書き

本報告は、鋼繊維補強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時、時間経過に応じて変化した上昇温度の分布を実験的に求め、温度分布変化から熱伝導方程式の差分形により非定常温度伝導率を算定し、これに与える諸因子の影響を検討した。これに加えて、熱照射後一定時間経過後の鋼繊維補強コンクリート供試体の熱応力による加熱収縮率についても、諸因子による有意性を検討した。

2 実験

2-1 実験計画及び配合設計

本実験は、実験計画法に基づき L_{27} 直交配列表を用い、7因子3水準を使用した。用いた L_{27} 直交配列表は、表-1に、因子及び水準については、表-2に示す。

本実験で用いた骨材は、最大粒径10mm、粗粒率5.79、比重2.57、表面乾燥飽水状態による吸水率3.36%の粗骨材と、粗粒率3.23比重2.48、表面乾燥飽水状態による吸水率1.63の細骨材を用いた。

配合設計は、 L_{27} 直交配列表に従って行ない、単位水量は、セメント量400kgの時の水セメント比を55%とし $W=0.55 \times 400 \text{ kg} = 220 \text{ kg}$ で一定とした。これは、施工性の向上とファイバーボール防止の爲である。混和剤は、AE剤をセメント量の0.04%、減水剤をセメント量の1.2%混入した。又、細骨材率は、60%で一定とした。

2-2 供試体作製

ミキサーは、強制練りミキサーを用い、粗骨材、細骨材、セメント、水(減水剤、AE剤入り)、鋼繊維の順で、鋼繊維の前までは各回1分間の撹拌を行ない、鋼繊維投入時は、2分間とした。

又、ファイバーボールができないように、15mmふるいを用いて均等になるように、ミキサーに投入した。

供試体寸法は、150×150×525mmを用いた。

熱電対は、④線と①線の先端を密着し、絶縁管で被覆したものを、表面から6.0cmの間隔で8本装填した。

締め固めは、突棒とコテを使い2層で行ない、最後にコテ仕上げを行なった。

方向性についての説明は、図-1に示す。

打込み後供試体は、材令1日で脱型し、冷凍庫養生においては、14日間を大気乾燥状態(20±2)で養生し、14日間を冷凍庫(12時間0℃、12時間-20℃で、1サイクル)で養生した。

表-1 L_{27} 直交表

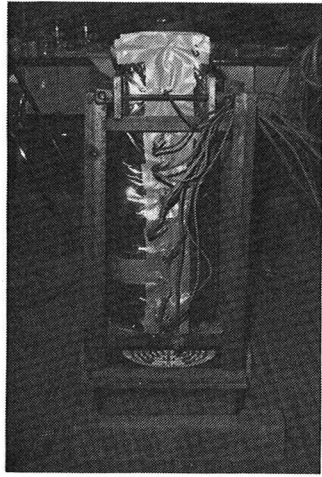
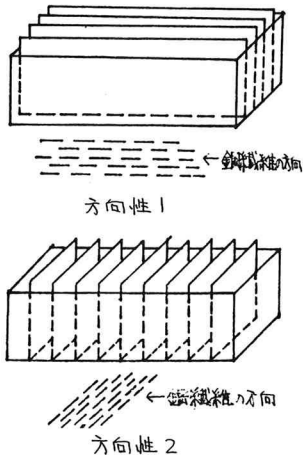
	SF	F	C	E	S	H	N
1			1	1	1	1	1
2	1		2	2	2	2	2
3		1	3	3	3	3	3
4			2	2	1	1	2
5	1	2	3	3	2	2	3
6			1	1	3	3	1
7		3	3	3	1	1	3
8	3		1	1	2	2	1
9			2	2	3	3	2
10			2	3	1	2	1
11	1		3	1	2	3	2
12			1	2	3	1	3
13		2	3	1	1	2	2
14			2	1	2	2	3
15			2	3	3	1	1
16		3	1	2	1	2	3
17			3	2	3	2	1
18			3	1	3	1	2
19			3	2	1	3	1
20	1		1	3	2	1	2
21			2	1	3	2	3
22		3	1	3	1	3	2
23			2	1	2	1	3
24			3	2	3	2	1
25			2	1	1	3	3
26	3		3	2	2	1	1
27			1	3	3	2	2

表-2 因子及び水準

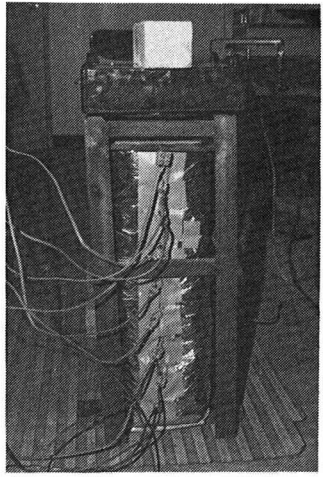
因子	水準
SF、 鋼繊維の種類	1. ショコファイバー 伸線軟鋼インデント4 2. " 著板軟鋼 3. ステバー
F、 鋼繊維の混入量	1. 体積比で 1.0 % 2. " 1.5 % 3. " 2.0 %
C、 普通ポルランドセメント量	1. 1m ³ 当り 350kg 2. " 400kg 3. " 450kg
E、 養生条件	1. 水中養生(恒温水槽 20±2) 2. 大気乾燥養生(乾燥室 20±2) 3. 冷凍庫養生(12時間0℃、12時間-20℃)
S、 鋼繊維の寸法	1. φ0.5×20mm 2. φ0.5×25mm 3. φ0.5×32mm
H、 鋼繊維の方向性	1. 方向性 1 2. 方向性 2 3. 方向性 3 ※詳しくは図-1
N、 熱照射角	1. +90° 2. ±0° 3. -90° ※詳しくは図-1

なお、水中養生、冷凍庫養生については、材令27日水中及び冷凍庫養生を行ない、引続いて乾燥室において養生した。

図-1 方向性についての説明



熱照射角 +90°



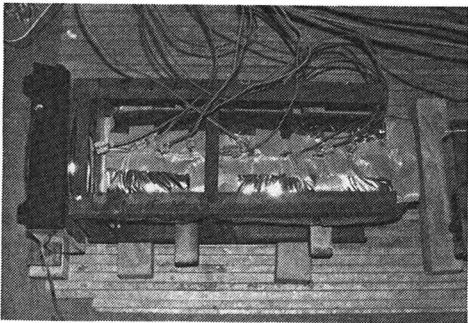
熱照射角 -90°

方向性1は、200×525mm、方向性2は、200×150mmの亜鉛鉄板を鉄筋繊維寸法より短かい間隔で配置し、その間にコンクリートを2層にして入れた。参考文献(4)

熱照射角についての説明

供試体内部の水分が熱照射角によって移動し、これが供試体内部の湿度分布に影響すると考えられたため、写真-1に示すように、角度を3水準とした。

供試体の熱照射表面と電熱器との間隔は、5.0cmとした。



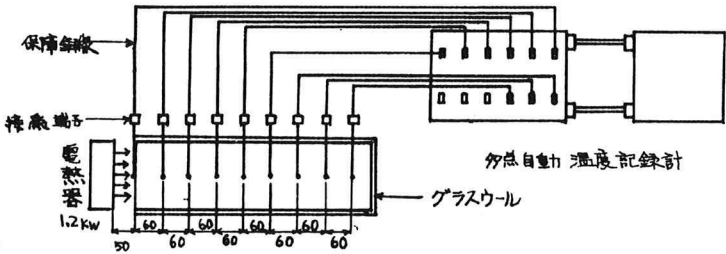
熱照射角 ±0°

写真-1

2-3 測定方法

温度伝導率の測定方法は、熱照射面を除くすべての面を両面アルミハフ付ガラスウールで断熱した。熱電対は、供試体の熱照射表面に1本と供試体内部の8本で合計9本とした。9本の熱電対を各々、接続端子と保障銅線で9点自動温度記録計に接続し、温度を記録した。電熱器は、1.2kWレンジを使用し、6時間熱照射した。詳細は、図-2に示す。

図-2 温度伝導率の測定方法



加熱収縮量の測定は、温度伝導率測定用供試体を使用し、熱照射前に表面から横方向に1.0 cmの所をノギスで測定し、熱照射停止後、内部の温度が十分に低下した状態で又1.0 cmの所をノギスで測定し、熱照射前後の差を%で表示した。

3 非定常温度伝導の算定式

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

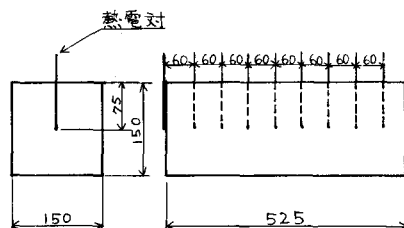
但し: $\Delta x = 0.12 \text{ m}$ (測定間距離)

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

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

Δt : 1.0 時間 (単位ステップ時間)

図-3 供試体寸法と熱電対位置



4 実験結果

表-3 温度伝導率計算結果

NO	温度伝導率(%)	NO	温度伝導率(%)	NO	温度伝導率(%)
1	53×10^{-4}	10	57×10^{-4}	19	49×10^{-4}
2	27×10^{-4}	11	24×10^{-4}	20	30×10^{-4}
3	23×10^{-4}	12	31×10^{-4}	21	20×10^{-4}
4	32×10^{-4}	13	32×10^{-4}	22	29×10^{-4}
5	24×10^{-4}	14	32×10^{-4}	23	26×10^{-4}
6	47×10^{-4}	15	30×10^{-4}	24	61×10^{-4}
7	28×10^{-4}	16	25×10^{-4}	25	28×10^{-4}
8	48×10^{-4}	17	73×10^{-4}	26	55×10^{-4}
9	30×10^{-4}	18	39×10^{-4}	27	27×10^{-4}

表-4 加熱収縮率測定結果

NO	加熱収縮率(%)	NO	加熱収縮率(%)	NO	加熱収縮率(%)
1	6.7×10^{-2}	10	10.0×10^{-2}	19	23.3×10^{-2}
2	26.7×10^{-2}	11	13.3×10^{-2}	20	23.3×10^{-2}
3	16.6×10^{-2}	12	13.3×10^{-2}	21	23.3×10^{-2}
4	13.3×10^{-2}	13	10.0×10^{-2}	22	13.3×10^{-2}
5	13.3×10^{-2}	14	13.3×10^{-2}	23	13.3×10^{-2}
6	13.3×10^{-2}	15	13.3×10^{-2}	24	13.3×10^{-2}
7	16.6×10^{-2}	16	13.3×10^{-2}	25	16.6×10^{-2}
8	6.7×10^{-2}	17	20.0×10^{-2}	26	13.3×10^{-2}
9	13.3×10^{-2}	18	10.0×10^{-2}	27	10.0×10^{-2}

温度伝導率に関する分散分析の結果、銅繊維混入量においては、F検定で5%危険率で有意となり、熱照射射角においては、F検定で1%危険率で有意となった。

図-4 温度伝導率と銅繊維混入量との関係

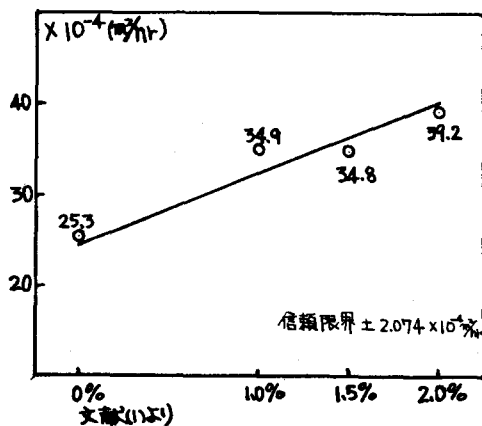
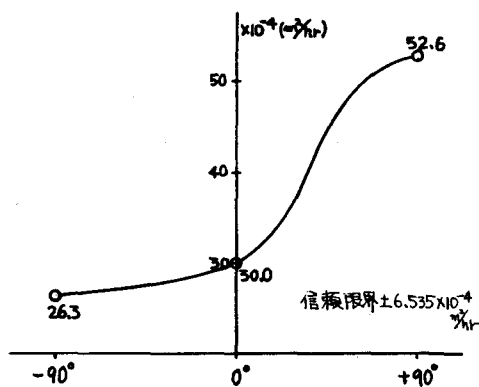
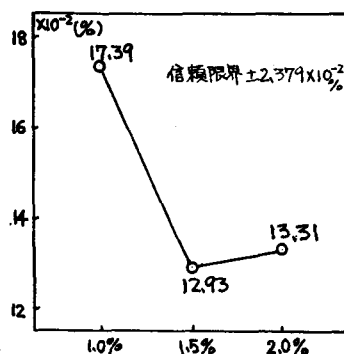


図-5 温度伝導率と熱照射射角との関係



加熱収縮に関する分散分析の結果、鋼繊維混入量においては、F検定で5%危険率で有意となった。

図-6 加熱収縮率と鋼繊維混入量との関係



5 考察

温度伝導率に関しては、鋼繊維混入量の因子は、5%危険率で有意となり、熱照射角の因子では、1%危険率で有意となった。

鋼繊維の入っていないコンクリートの温度伝導率を文献(1)より得て混入量0%~2.0%の間での「温度伝導率-鋼繊維混入量」との関係を実験式(1)で示めされる1次式を得た。

$$K = 7.85\alpha + 24.5 \quad (\text{m}^2/\text{hr}) \quad \text{----- (1) 式}$$

K: 温度伝導率 (m^2/hr)

α : 鋼繊維混入量 (%)

この実験式は、供試体熱照射表面の最高温度が0℃~400℃を限度として得られた式である。その為、この最高温度が400℃よりも上昇した場合は、鋼繊維の混入量による温度伝導率の関係は、複雑になることが予測される。

図-5に見るように、熱照射角の影響が大きく供試体内部の水分移動が原因と考えられる。⁽²⁾⁽³⁾ 本実験における鋼繊維混入量の水準範囲内では、熱伝導方向がほぼ決定的な因子となっている。

加熱収縮に関しては、鋼繊維混入量の因子が5%危険率で有意となり、図-6に見るような関係を得た。このグラフは、鋼繊維混入量の増加に応じて(特に1.5%を限度として)、コンクリートの加熱収縮が大幅に減少することを示めている。この理由は、混入された鋼繊維が、骨組となりコンクリート全体の収縮に抵抗していたためと考えられる。

参考文献

- 1) 古村 福次郎: コンクリートと熱(1), コンクリート工学 Vol. 17, NO. 8, Aug. 1979
- 2) 犬塚 雅生, 堀口 敬, 原田 勝男, 斎藤 祐司, 小館 紀彦: コンクリートの過渡的溫度分布に関する実験 土木学会北海道支部 論文報告集第33号, 昭和52年2月 P347~P350
- 3) 犬塚 雅生, 堀口 敬, 原田 勝男, 林 洋光, 渡辺 孝司: コンクリートの過渡的溫度分布について, 土木学会北海道支部 論文報告集第34号, 昭和53年2月 P415~P419
- 4) 犬塚 雅生, 堀口 敬, 原田 勝男, 五十嵐 潤, 片山 康弘: 鋼繊維補強コンクリートの基礎的性状, 土木学会北海道支部 論文報告集第33号, 昭和52年2月 P361~P366