

室内試験によるクーリングパイプ周辺の温度分布について

A study on the temperature fields around a cooling pipe in laboratory tests.

浅野 勇 , 向後 雄二 , 林田 洋一

Isamu ASANO , Yuji KOHGO and Yoichi HAYASHIDA

1.はじめに

コンクリートの発熱時におけるクーリングパイプ周辺の温度分布は、主として実構造物の現場計測結果から求められてきた。その結果として、パイプを中心に 20~30cm の範囲で温度勾配が大きいことが明らかにされた¹⁾。しかし、この温度勾配が大きな領域の詳細な温度分布についてはいまだ明らかにされていない。本研究では、パイプ周辺の発熱時の状態を模擬した室内パイプクーリング試験を行い、発熱時におけるクーリングパイプ周辺の空間的、時間的に変化する温度分布を計測し、それについて検討を行う。

2.室内クーリング試験装置

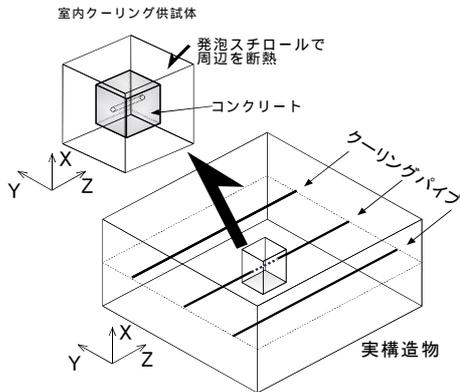


図-1 実構造物と室内クーリング試験の関係

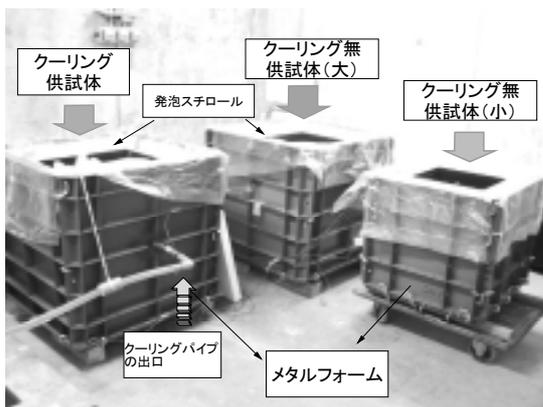


図-2 室内クーリング試験装置

打設初期にパイプクーリングが行われている構造物を考える(図-1)。1本のクーリングパイプの周辺に直方体要素を考え、この直方体要素の状態を室内で再現することを考える。そのためには、直方体の6面における境界条件を実際

のそれと同じ条件に設定する必要がある。実構造物中の直方体各面の境界条件を考えると、図の x, y 軸方向に垂直な面では、面に垂直な方向の温度勾配は、パイプから離れるほど小さくなる。面を貫く熱流束は、この温度勾配に比例するので、パイプから十分離れ、温度勾配が極めて小さい面は、ほぼ断熱状態にあると考えることができる。一方、パイプの長手方向(z軸方向)に垂直な面では、面に垂直方向の温度勾配は極めて小さく、面はほぼ断熱状態と考えられる。以上から、各面の温度勾配が極めて小さくなる寸法の直方体要素を選べば、その6面の境界条件はほぼ断熱と見なすことができ、室内でその断熱状態を確保することによりパイプ周辺の温度状態を再現することができる。このような条件の室内クーリング試験装置を作製した。室内クーリング試験装置の外形を図-2に示す。試験装置は、鋼製型枠を箱形に組み立て、その内側に厚さ10~15cm発泡スチロール板を設置し、断熱性を高めたものである。供試体は、幅及び高さが60cmの正方形断面で、奥行き50cmの直方体である。正方形断面の中心に内径24.5mmの薄肉電縫鋼管を1本奥行き方向に配置してある。なお、供試体の寸法は、パイプから30cm程度離れたと、温度勾配が小さくなるという現場計測結果¹⁾より決定した。

3.実験方法

表-1 実験ケース

試験シリーズ	配合	打設温度(°C)	クーリング水温(°C)	流量(L/分)
A(詳細温度計測)	C=268kg/m ³ , W/C=58%, 生コン使用	13.2	20	15
				5
B(流量変化試験)	C=282kg/m ³ , W/C=55.2%, 現場で練混ぜ	22.7	20	10
				15
C(水温変化試験)		20.8	10	15
			20	
			30	

実験ケースを表-1に示す。試験シリーズは、パイプ周辺の詳細温度計測を行うシリーズ A、クーリング流量を変化させるシリーズ B、クーリング水温を変化させるシリーズ Cとした。試験は、室温 20°C±2°Cの恒温室内で行った。コンクリートの打込みには約4時間を要した。打込み終了と同時にクーリングを開始した。また、この時間をもって実験開始とした。実験開始から2日後に、クーリングを停止した。また、実験開始から6日後にクーリングを再開し、その後約8日間クーリングを継続した。クーリングの条件シリーズによって異なるが、流量を5~15 l/分、水温を10~30°Cの範囲で変化させた。シリーズ A における熱電対の配置を図-3に示す。

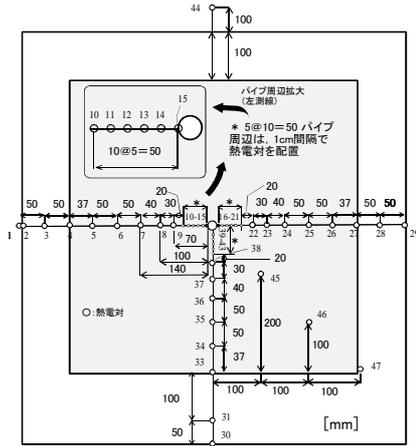


図-3 熱電対配置図

4. パイプ周辺の温度分布とその正規化

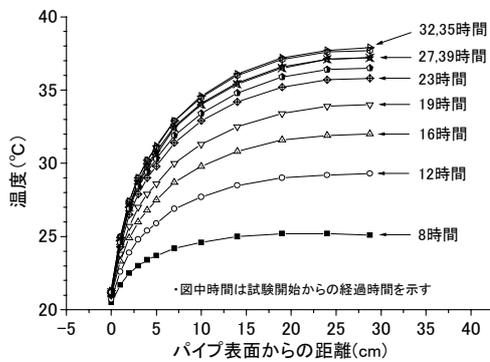


図-4 パイプ周辺の温度分布(シリーズ A)

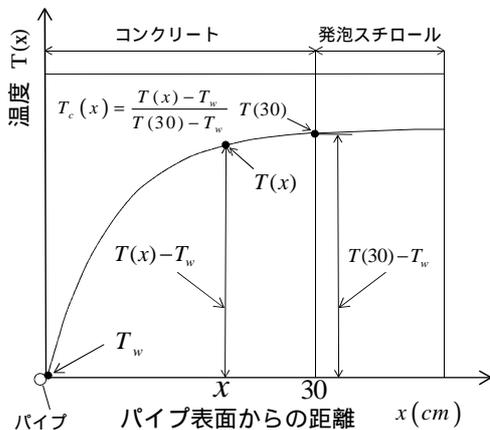


図-5 正規化の方法

図-4 にシリーズ A における発熱時(実験開始～2 日後)のパイプ周辺の温度分布時間変化を示す。パイプから 20cm 程度離れた位置までは、大きな温度勾配が発生していることがわかる。このパイプ周辺の温度分布の特徴を明らかにするために、実験で得られた温度分布 $T(x)$ をクーリング水温 T_w とパイプから約 30cm 離れた位置のコンクリート温度 $T(30)$ を用いて式(1)のように正規化(図-5)した。図-4 のデータを正規化した結果を図-6 に示す。試験開始後 8 時間の測定結果を除けば、正規化した温度 $T_c(x)$ と位置 x の関係は、

式(2)に示すようなパイプに向かって指数関数的に減少する 1 本の曲線で表すことが可能であることがわかる。

$$T_c(x) = \frac{T(x) - T_w}{T(30) - T_w} \quad (1)$$

$$\frac{T(x) - T_w}{T(30) - T_w} = 1 - Ae^{-ax} \quad (2)$$

ここで、 a, A はパラメータ。

クーリング流量を約 15 ℓ/分とし、クーリング水温をほぼ 10, 20, 30℃と変化させたシリーズ C に対して同様な正規化を行った結果を図-7 に示す。クーリング水温を変化させても同様の正規化が可能であることがわかる。

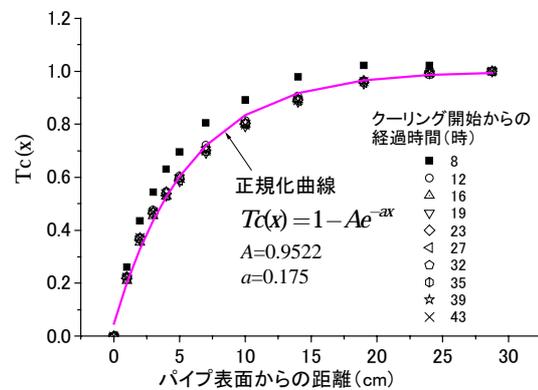


図-6 パイプ周辺の温度分布の正規化(シリーズ A)

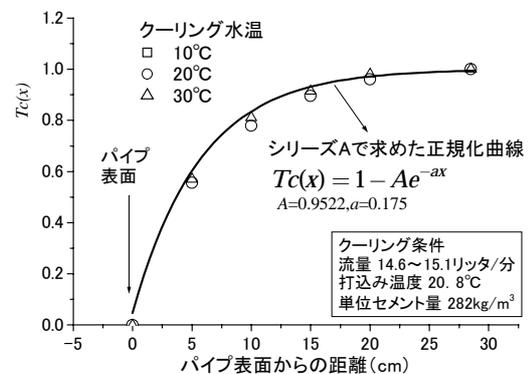


図-7 パイプ周辺の温度分布の正規化(シリーズ C)

5. まとめ

コンクリート発熱時におけるクーリングパイプ周辺の温度分布は、パイプから 30cm 程度離れたコンクリート温度、クーリング水温及びパイプからの距離により表すことが可能であることを明らかにした。今後は、この結果を基にクーリング時の温度解析手法の精度向上を目指す予定である。

参考文献

- 1) 浅野 勇, 向後雄二: フィルダム監査廊におけるクーリングパイプ周辺の温度分布について, 平成 12 年度農業土木学会大会要旨集, pp.604-605, 2000