

1. はじめに

断面寸法の大きいコンクリートでは、硬化時にセメントの水和熱によって放熱のできる外側と中心付近の温度に大きな差ができ、熱による膨張差で表面に引張応力が生じるためにひび割れが生じる¹⁾。温度差を減らすための手法にパイプクーリングがある。中でも、簡易パイプクーリングは通常のものよりも配置の手間がかからない²⁾。その一方で、条件の違いによる効果の差が検証されていない。

そこで本研究では、簡易パイプクーリングを使用するうえで条件の違いが温度低減にどのように違いを与えるのかを JMac3(以後、解析ソフト)を用いた解析によって検討する。

2. 研究の現状と問題点

水和熱による温度上昇の抑制方法には、使用するコンクリートの工夫があるが、強度やスランプなどの要求との兼ね合いで難しい。一方で、パイプクーリングがあるが、問題点としては、大きな設備が必要であったり、パイプの配置が面倒なことがある。それに対して、簡易パイプクーリングは、通常のものに比べ、配置の手間や通水システムなどを省いた手法である。

しかし、簡易パイプクーリングは温度上昇量の低減に効果があるとはあるものの、どのような条件が、どの程度作用するのかは明確に示されていないのが現状であり、現場施工で用いるためには条件が示されていないことが問題である³⁾。

3. 研究方法

3.1 解析ソフトの妥当性の検証

本研究で使用する解析ソフトの精度の妥当性を検証するために、ある二つの現場のデータを参考にし、条件を入力、解析し⁴⁾、現場の温度履歴と解析ソフトの温度履歴の両者を比較したものから判断することにした。

また、現場 1、現場 2 それぞれの解析に使用した条件を表-1、表-2 に示す。検証の結果は図-1、図-2 のとお

表-1:現場 1 の解析条件

項目	地盤	コンクリート
水セメント比%		61.00%
単位セメント量 kg/m^3		267
断熱温度上昇式		$Q(t)=Q_{\infty}(1-e^{-\lambda t})$
熱伝導率 $W/m^{\circ}C$	1.7	2.7
密度 kg/m^3	2100	2294
比熱 $kJ/kg^{\circ}C$	1.4	1.15
熱伝達率 $W/m^2^{\circ}C$	下表参照	
初期温度 $^{\circ}C$	24	21.4
外気温度 $^{\circ}C$	コンクリート打ち込み時の気温	

対象部位	表面の状況	熱伝達率 η $W/m^2^{\circ}C$
地盤	地盤露出面	14
コンクリート	上面 打設後 7 日間 : 灌水+マット 7 日目で降 : マット	打設~7 日目 : 8 7 日目で降 : 6.2
	側面 打設後 14 日間 : 木製型枠 1 4 日以降 : 露出	打設~14 日後 : 8 14 日目で降 : 14

表-2:現場 2 の解析条件

項目	地盤	コンクリート
水セメント比%		61.00%
単位セメント量 kg/m^3		254
断熱温度上昇式		$Q(t)=Q_{\infty}(1-e^{-\lambda t})$
熱伝導率 $W/m^{\circ}C$	1.7	2.7
密度 kg/m^3	2100	2294
比熱 $kJ/kg^{\circ}C$	1.4	1.15
熱伝達率 $W/m^2^{\circ}C$	下表参照	
初期温度 $^{\circ}C$	24	20
外気温度 $^{\circ}C$	コンクリート打ち込み時の気温	

対象部位	表面の状況	熱伝達率 η $W/m^2^{\circ}C$
地盤	地盤露出面	14
コンクリート	上面 打設後 7 日間 : 灌水 7 日目で降 : 木製型枠	打設~7 日目 : 8 7 日目で降 : 6.2
	側面 打設後 14 日間 : 木製型枠 1 4 日以降 : 露出	打設~14 日後 : 8 14 日目で降 : 14

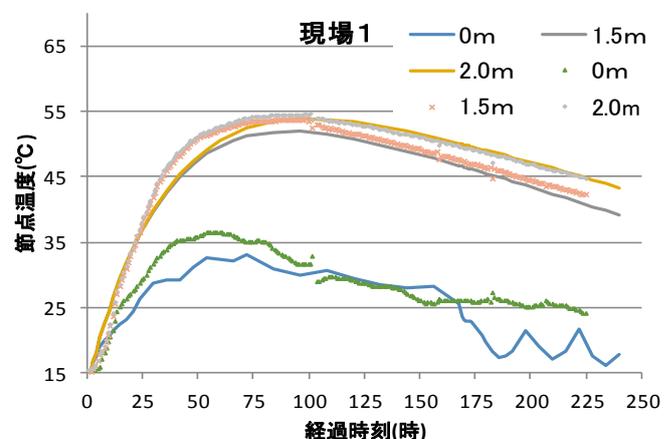


図-1:現場 1 と解析ソフトの温度履歴比較

りとなり、精度は十分であると判断した。

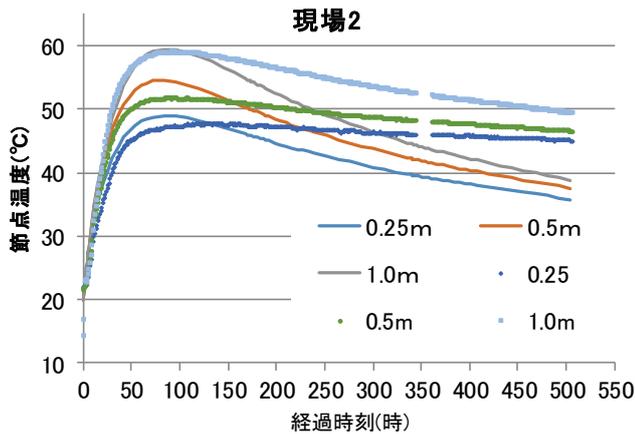


図-2:現場 2 と解析ソフトの温度履歴比較

3.2 解析ソフトを用いた解析

モデルとして現場 2 のモデルを用いて、クーリングパイプの中心間距離とパイプに流す流量を変更しつつ解析を行った。解析モデルは写真 1 のようになっており 1/4 モデルを使用した。

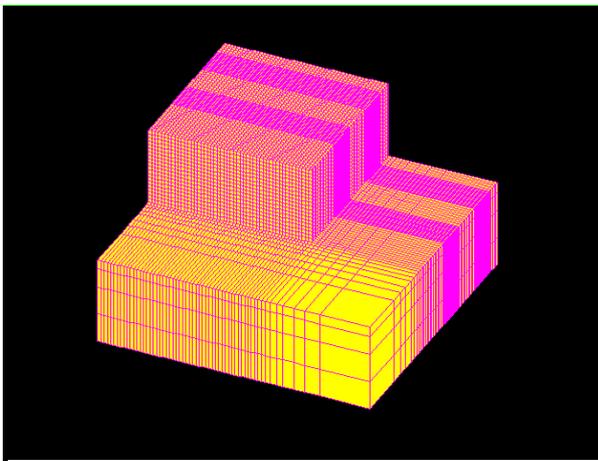


写真 1:モデルの写真

4. 解析結果

解析を繰り返し行うことにより、流量と低減温度の関係を示すために作成したものが図-3 である。曲線の種類 L は、パイプの中心間距離である。

V : パイプ内流量 [L/min]

$$\Delta T = T_0 - T_a$$

ΔT : 低減温度量 [°C]

L : パイプの中心間距離 [m]

T_0 : クーリングなしの時の上昇温度 [°C]

T_a : クーリング後の上昇温度 [°C]

5. 考察

図 3 の流量はパイプ一本ごとに流す水の量を表しており、0.5 [L/min] まで低減温度量が得られることが

わかった。また、線はパイプ中心間距離ごとに分かれ

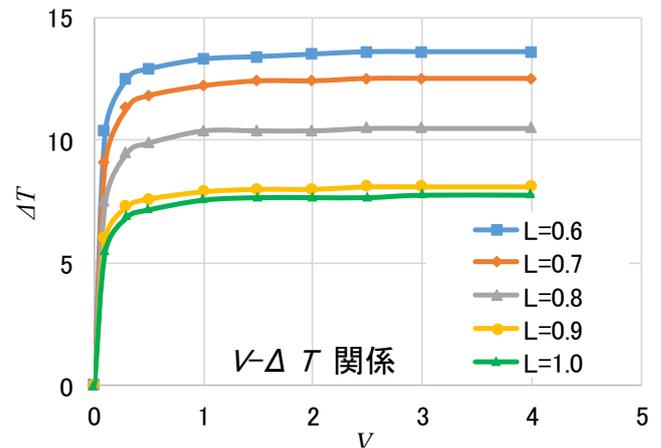


図-3: 流量-低減温度量関係

ており、パイプ中心間距離が短いほど、温度の低減量が大きくなることが確認できた。この研究により、簡易パイプクーリングという温度低減手法をとる際に、パイプの中心間距離と流量が、水和反応による温度上昇の低減に関係があることが分かった。

パイプ間距離が小さいほど温度の低減効果が増えるのは、温度がより大きく上昇する部分にクーリング効果が大きく働きかけることのできる位置に、パイプを配置することができるためと考えた。

また、流量が大きくなると低減効果に変化が見られなくなることに、コンクリートの発熱により発生した熱が、パイプ内に通水している水に十分量移る前に水が流れて行ってしまうためと考えた。

研究をしていくうえで、パイプ内に通水させる水温を変化させることで、温度低減量を増やすことができると考え、確かめる必要があると考える。

6. まとめ

- (1) 簡易パイプクーリングにおいて、パイプ内に通水させる水の量（流量）がある一定値までは、温度の低減量を大きくするのに効果がある。
- (2) パイプ間の距離が縮まるほど、温度低減量が増える。
- (3) 本研究で作成した図により低減温度を設定すると、そのための流量、パイプ間距離を設定できるようになった。

参考文献

- 1) CEM's October 2012 pp20-23
- 2) News&Information 平成 25 年 7 月 3 日
- 3) 北原正博・村上祐治:橋脚における温度ひび割れ制御のための鉛直パイプクーリング工法について

