

低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法の開発 その2

(株) 鴻池組 正会員 ○生駒 顕彦 為石 昌宏 福田 尚弘 北尾 朋大 金澤 優樹 林 逸貴

1. はじめに

マスコンクリートの温度ひび割れ対策として実施される鉛直パイプクーリング工法において、冷媒に水ではなく冷たい空気を使用する「低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法」を開発した¹⁾。小型試験体(240mm×450mm×245mm)による冷却試験を実施した結果、本工法によってコンクリートの水和発熱を抑制できる可能性があることを確認した。しかし、試験体が小型で発熱量も少ないため、大型のコンクリートの冷却が可能かどうか不明であった。また冷風温度の上昇を考慮できていないため、鉛直上方(シース管出口方向)でのクーリング効果を評価できていなかった。そこで新たに試験体をドラム缶サイズ(200L)に大きくしたコンクリートのクーリング効果を検証するための冷却試験を4ケースの冷却条件で実施し比較した。

本報告では、追加で実施した冷却試験の結果と、試験結果に基づく本工法の冷却効果について報告する。

2. 試験概要

図1に試験概要図を、表1に試験ケースを示す。

室内において、円の中心にクーリングパイプとしてシース管を建て込んだφ550mm×h860mmのドラム缶を型枠として、ドラム缶内にコンクリートを打設し試験体とした。使用したコンクリートの配合を表2に示す。打設後のコンクリートの温度はあらかじめ型枠内に設置した熱電対で計測した。計測位置は図2に示す位置で、15箇所/試験体とした。試験ケースは、打設したコンクリートを冷風発生装置によって発生させた低温空気によってクーリングした場合の2ケース、常温空気によってクーリングした場合、クーリングを実施しなかった場合、の計4ケースとした。低温空気によってクーリングをした場合については、性能の異なる2種類の冷風発生装置を用い、冷風の温度と風量が異なる試験を実施した(表3)。常温空気の場合の風量はCase2の小風量型と同風量とした。型枠外側には保温のためのエアバックシートを巻付け、冷却期間はCase2~4すべて約2日間とした。試験室内の温度は、夏季のコンクリート打設を想定して空調装置を暖房運転した結果25~39℃であった。試験の実施状況を写真1に示す。

3. 試験結果および考察

表4に各試験体コンクリート最高温度、図3~5に各試験の温度履歴および温度解析結果を示す。温度解析に用いた冷却管表面の熱伝達率hは土木学会コンクリート標準示方書に記載の内容を式①によってあらわし、風速から算出した。

$$h=12.0+3.45(u-2.0) \quad \cdots \text{式①}$$
 ここで、u: 風速 (m/sec)

各試験体のコンクリート最高温度は標準試験体(Case1)の場合54.2℃、常温空気(Case4)の場合54.8℃となり、常温空気によるエアパイプクーリングは風量が少ないこともあり本試験では冷却効果を確認できなかった。小風量型冷風発生装置(Case2)の場合の最高温度は51.5℃、大風量型(Case3)では46.4℃であった。本試験において、Case3での7.8℃の温度低下に比べ、Case2では2.7℃の温度低下と冷却効果が限定的であった。このような結果となった原因として、試験室内の温度が上がるにつれ冷風温度も上昇したことに加え小風量型の冷風発生装置であったことが冷却能力不足になったものと考えられる。また試験体上端(No.14 測点)でのコンクリート最高温度はCase1,2,4でほぼ同等であり、風量が少なく、出口付近の温度が上昇した冷風ではコンクリートを冷却することはできなかったと考えられる。Case3では試験体上端付近でも最高温度を4℃低下させており、大風量型の冷風発生装置であれば本試験体と同程度の1m弱の高さまでで

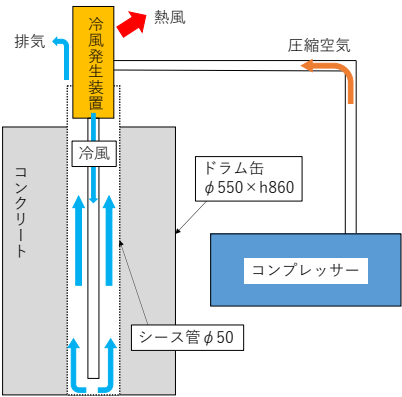


図1 試験概要図

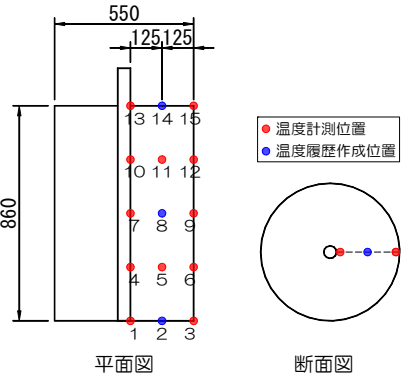


図2 温度計測位置図

表1 試験ケース一覧

項目		室温 ℃	室内	
			風量 ℓ/min	筒先温度 ℃
Case1	標準	25~39	—	—
Case2	小風量		119	2~15
Case3	大風量		555	-6~10
Case4	常温空気		119	25~43

表2 配合表

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)			
			W	C	S	G
27-12-20N	54	46.1	170	315	844	980

表3 冷風発生装置性能表

冷風率	入氣 (入氣溫度 16℃)		吐出冷氣		入氣・冷風	熱量
%	壓力 MPa	風量 ℓ/min	風量 ℓ/min	溫度 ℃	溫度差 ℃	Kcal/h
75	小風量型					
	0.7	158	119	-20	36	80
	大風量型					
	0.7	740	555	-24	40	413

キーワード 鉛直パイプクーリング, エアパイプクーリング, 冷却空気, マスコンクリート, ひび割れ対策, 冷却効果

連絡先 〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 3-6-1 (株) 鴻池組 土木事業総轄本部 技術本部 土木技術部 技術1課

あれば冷却可能であると考えられる。既往の試験¹⁾において冷却に伴う初期凍害の発生が考えられたが、本試験ではコンクリートの最低温度はシース管表面部で Case2,3 とともに 5℃を上回っており、初期凍害は発生していないものと考えられる。

実測のコンクリート温度と温度解析結果は No.2 測点では Case4 はよく一致していたが、Case2,3 では解析結果の温度履歴は実測値より高い温度となった。No.8 測点では Case2,4 でよく一致していたが、Case3 では解析結果の温度履歴は実測より高い温度となった。No.14 測点では Case2,3,4 と実測と解析結果がよく一致していた。このことから、現状の手法ではシース管下端付近の冷風温度が低い位置では温度解析の結果と実測温度が乖離するのに対し、シース管を介したコンクリートとの熱交換によって冷風温度が上昇した位置では温度解析の結果と実測温度が比較的良好に一致するものと考えられる。

これらの結果より、雰囲気温度等の環境条件によって使用する冷風発生装置の選定等に配慮すれば、比較的大きなコンクリートであっても本工法によってクーリングを実施することは可能であると考えられる。

また、本工法においては入気温度が高くなると発生する冷風温度も高くなるため、特に夏季において冷却効果が小さくなるという課題が確認された。本課題については、コンプレッサー周辺の雰囲気温度や冷風発生装置に送る空気温度を下げるなどによって解決可能であると考えている。

4. おわりに

ドラム缶試験体を用いた冷却試験を実施した結果、試験体サイズがある程度大きくなっても本工法によってクーリングが実施できることを確認した。また夏季施工時の冷却効果や試験体下端付近での解析精度等の課題も確認された。今後はこれらの課題を解決するための実験等を行い、本工法の実用化を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 金澤 他：低温空気による鉛直エアパイプクーリング工法の開発 その 1，土木学会第 78 回年次学術講演会（投稿中）。
- 2) 土木学会：2017 制定 コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕，p326

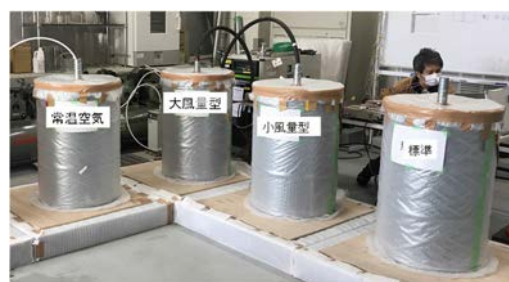


写真1 試験実施状況

表4 コンクリート最高温度

	Case1	Case2	Case3	Case4
No.2 実測（下端）	50.6	44.5	39.0	50.5
No.2 解析（下端）	50.1	47.6	44.6	49.4
No.8 実測（中央）	54.2	51.5	46.4	54.8
No.8 解析（中央）	54.4	51.9	48.6	53.7
No.14 実測（上端）	50.7	50.5	46.7	52.0
No.14 解析（上端）	50.1	48.9	46.9	49.8

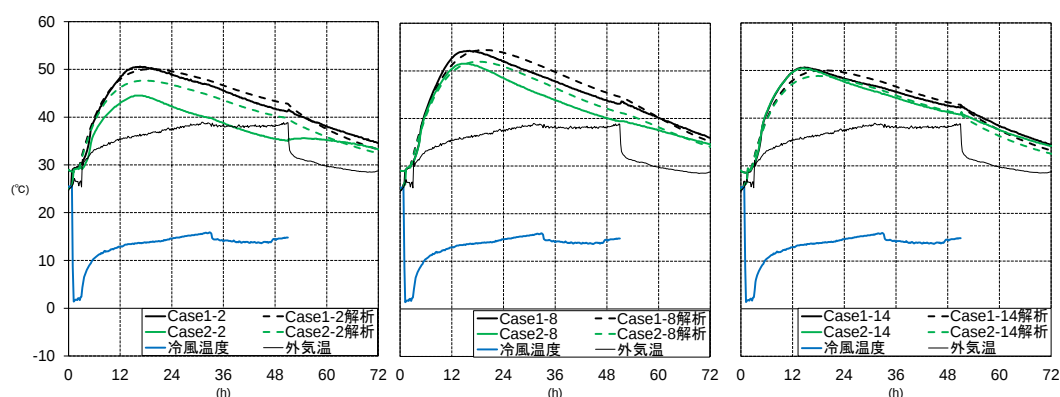


図3 温度履歴図 (Case1,2)

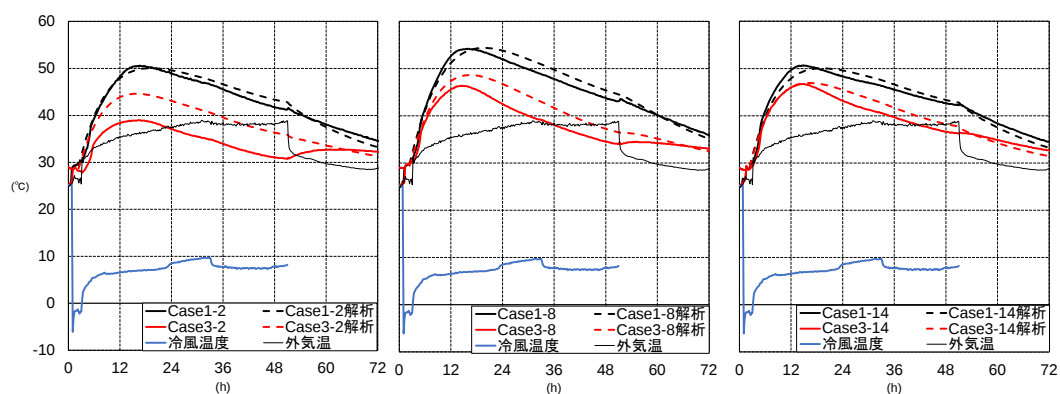


図4 温度履歴図 (Case1,3)

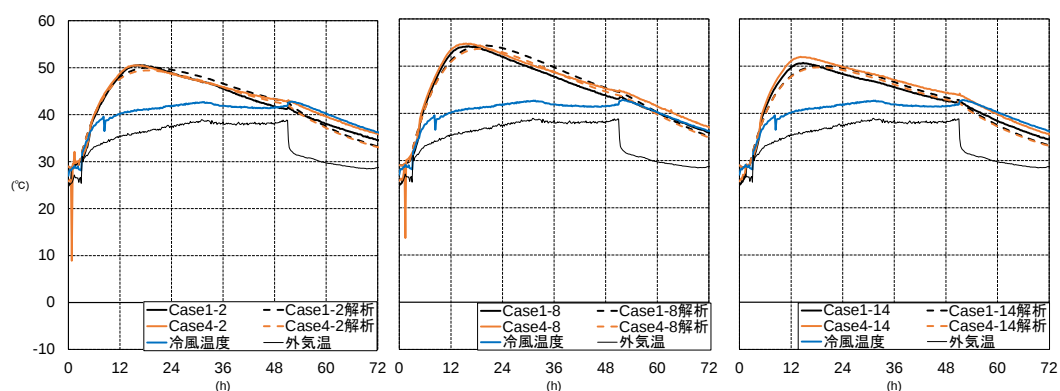


図5 温度履歴図 (Case1,4)