

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

(株)鴻池組 正会員 ○金澤優樹 為石昌宏 福田尚弘 北尾朋大 生駒顕彦 林逸貴

1. はじめに

マスコンクリートの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、従来冷媒に水を使用した工法が主流であり、施工時には漏水対策のため、十分な止水処理が必要であった。そのデメリットを低減させるため、冷媒に水ではなく低温空気を使用することに着目し、「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。本報告では、本工法の構成設備や冷風発生装置等の工法概要、各種設備を用いて実施した小型試験体による室内冷却試験の結果について報告する。

2. 工法の概要

2.1 工法概要

図1に開発した工法の構成を示す。設備については、①コンプレッサー、②圧力計、③エアホース、④レシーバータンク、⑤冷風発生装置からなる工法であり、特殊な機械や工法を使用することなく、コンプレッサーから圧縮空気を冷風発生装置に供給することで、低温空気を発生させることを特徴とする。発生した低温空気をエアホースにてクーリング対象のコンクリート下端付近へ供給し、打設後のコンクリートを冷却する。

空気を冷媒として用いる工法であり、水を冷媒として用いる工法より冷却効率は劣るものの、施工時の漏水対策や冷水を確保するための大型な設備が必要ない。また、常温空気では、夏季および現場状況により空気は冷媒としての機能が著しく低下する可能性があるが、本工法は冷却対象付近に冷風発生装置を設置するため、安定した低温空気を供給することができ、そのデメリットを低減することができる。その結果、コンクリートの水和発熱を抑制することができる工法である。

2.2 冷風発生装置概要

冷風発生装置概要図を図2に示す。冷風発生装置は、ボルトテックス・チューブ原理を用いたものを使用しており、特殊な冷媒や電気を必要とせず、入気風量および冷風発生装置の冷風率、供給する圧縮空気の圧力を定めるだけで表1に示すような低温空気を送風することが可能である。施工時の季節や施工環境に応じて吐出冷却温度に差はあるものの、吐出冷却温度を-12℃～-33℃（入気温度 16℃の場合）に変えることができる。圧縮空気を供給するだけで冷風が発生できるシンプルな構造のため、装置のメンテナンスがほぼ不要であるうえ閉塞等のトラブルが生じにくい。また、低圧で圧縮空気を供給するため比較的安全であり、安定した冷却が可能である。吐出冷風温度および冷風風量の調整は、冷風発生装置の熱風排出口付近にある調整ネジを回すだけで簡易に調整することができ、所定の吐出冷風温度および冷風風量を送風できる。

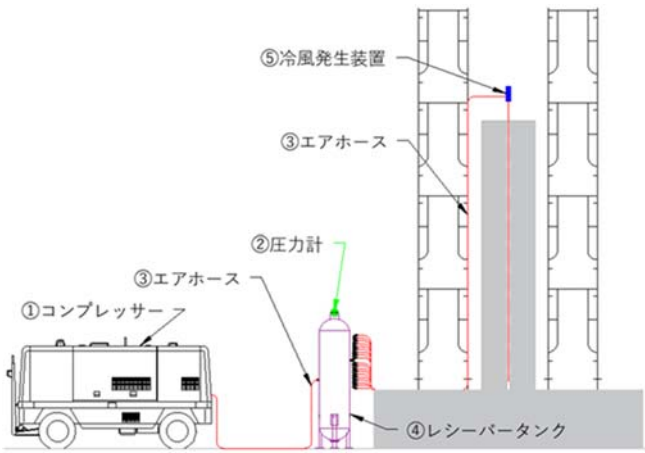


図1：構成設備図（イメージ）

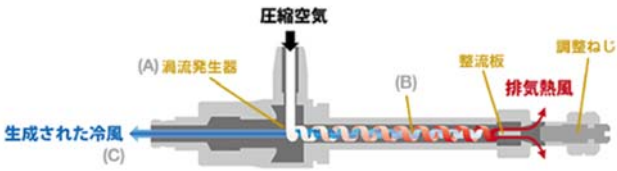


図2：冷風発生装置概要図

表1：冷風発生装置仕様表（一部抜粋）

冷風率 %	入気 (入気温度 16℃)		吐出 冷却空気		入気・ 冷風	熱量
	圧力 MPa	風量 ℓ/min	風量 ℓ/min	温度 ℃	温度差 ℃	Kcal/h
75	0.3	70	53	-12	28	28
	0.5	114	86	-16	32	51
	0.7	158	119	-20	36	80
50	0.3	74	37	-19	35	24
	0.5	120	60	-24	40	45
	0.7	167	84	-28	44	63
25	0.3	76	19	-20	36	13
	0.5	124	31	-27	43	25
	0.7	172	43	-33	50	40

※冷風率：コンプレッサーから供給される圧縮空気量（入気風量）と生成される冷風量との比率

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、水和熱

連絡先 〒559-0034 大阪市住之江区南港北 1-19-37 (株)鴻池組 大阪テクノセンター TEL 06-6245-6586

3. 室内試験内容

室内冷却試験は写真 1 に示す容器（内寸 240mm×450mm×245mm）を型枠とし、これに打設したコンクリート温度を計測することによって行った。図 3 に温度計測位置図を示す。供試体は冷風発生装置を用いて冷却を行う供試体I（CaseI）、III（CaseIII）と冷却を行わない供試体II（CaseII）、IV(CaseIV)の 4 種製作し比較をした。冷却方法は、コンクリート打設直後より供試体I、IIIに設置した管部材内底部に冷風発生装置で低温空気を供給した。冷却期間は、コンクリート打設後約 2 日間とした。試験に使用したコンクリート配合を表 2 に示す。その他、風量等のパラメーターを表 3 に示す。試験体I・II、III・IVは試験日が異なる。

4. 試験結果

4.1 室内試験結果

各種設備を用いて実施した小型試験体の室内冷却試験を行った結果を示す。図 4、図 5 にコンクリート温度履歴図を示す。各試験体のコンクリート最高温度は CaseI の場合 17.9℃、CaseII の場合 43.6℃、CaseIII の場合 25.3℃、CaseIV の場合 41.5℃であった。CaseI（筒先温度-20℃）では CaseII に比べ 25.7℃低減、CaseIII（筒先温度±0℃）では CaseIV に比べ 16.2℃低減と低温空気によりいずれの場合においても十分な冷却効果が確認できた。ここで、CaseI の管部材表面の温度履歴（図中 C-2）に着目すると、最低温度-4.5℃となっており初期凍害が生じる可能性があることが確認された。

初期凍害の影響については、施工時期および施工場所の雰囲気温度に配慮し吐出冷却空気温度を調整することで解決でき、コンクリートを十分冷却することが可能と考える。

4.2 FEM 温度解析による冷却効果確認結果

FEM 温度解析を実施し、低温空気によるエアパイプクーリングによる温度上昇抑制効果について検証を行った。解析には、3 次元 FEM 解析ソフトを使用した。また、管部材表面の熱伝達境界条件（熱伝達率 h）の設定は「土木学会：2017 制定 コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕」りから式①を用い、試験時の吐出風速 1.01（m/s）から 8.6（W/m²℃）を算出した。外気温は実験時の計測値を用いた。

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

式①より算出した熱伝達率 $h=8.6$ （W /m²℃）を用いた解析結果は図 4、5 中の破線で示す。冷却を実施した温度履歴において、解析結果と実測値は乖離しているが、安全側の評価である。乖離している原因としては、試験体が小型であり発熱量も少ないため外部要因による影響が大きいと考えられる。

5. まとめ

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、室内試験を実施した。その結果より、十分な温度上昇抑制効果を確認することができたが、初期凍害の可能性もあることも確認できた。解析結果からも分かるように事前解析による評価は現状難しいが、安全側に評価できる。今後は、マッシブなコンクリートに対しても同様のクーリング試験を行い、データ収集および評価する。また、初期凍害に関する影響評価や温度解析手法確立に向け各種データを蓄積する所存である。

参考文献 1) 土木学会：2017 制定 コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕

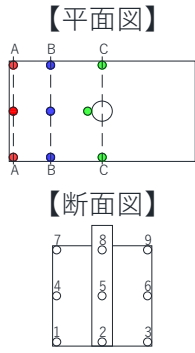
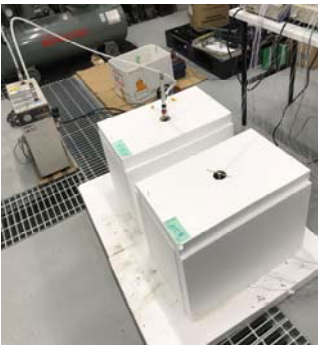


写真 1：試験体全景 図 3：温度計測位置図

表 2：コンクリート配合

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)				C ×(%)
			W	C	S	G	
27-12-20N	54	46.1	170	315	809	974	1.00

※SDC：高性能 AE 減水剤

表 3：試験パラメーター一覧

記号 (Case)	室温 °C	吐出空気		備考
		風量 ℓ/min	筒先温度 °C	
I (CaseI)	20	119	-20	試験日 R4.4.13
II (CaseII)		-	-	
III (CaseIII)	20	119	0	試験日 R4.4.20
IV (CaseIV)		-	-	

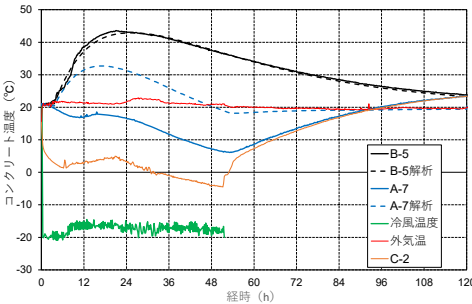


図 4：温度履歴図（供試体I, II）

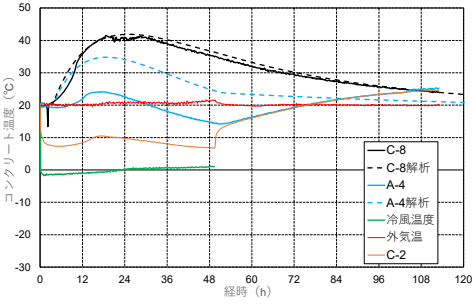


図 5：温度履歴図（供試体III, IV）