

冷風を用いた粗骨材の冷却実験による温度低下量の評価に関する基礎的検討

北電技術コンサルタント(株)(元富山県立大学) 正会員 ○吉田 萌佳 富山県立大学 正会員 伊藤 始

1. はじめに

コンクリートは、セメントの水和発熱および自己収縮に伴う体積変化の過程でひび割れが生じやすい。そのため、温度ひび割れに対する様々な抑制対策が取られてきた¹⁾。その対策の一つとして、コンクリートの練上がり温度を低減するプレクーリング工法が適用されている。冷却材料のうち、コンクリート材料に占める割合の大きい粗骨材の冷却が最も効果的である。その冷却工法としては、従来、冷水および氷の使用が一般的であったが、1960年代後半より液体窒素を用いた工法も行われている²⁾。しかし、これらの工法には、粗骨材の表面水率の管理が困難、材料単価が高いといった課題がある。

一方で冷風を粗骨材に吹き付けて冷却する工法があり、一部の大型ダムでは利用されてきたものの、実構造物に広く利用されていない。そこで実構造物に広く利用するためには、冷風による粗骨材の冷却効果を明らかにし、粗骨材の低下温度を定量評価する必要があると考えた。

本研究では、粗骨材の温度低下量を予測する算定式の検討を目的とし、冷風による粗骨材の冷却実験を行った。

2. 冷風による粗骨材の冷却実験

(1) 実験方法

図-1 に実験装置の概略図を示す。実験では、骨材貯蔵サイロを模して、高さ 1200mm、直径 300mm のボイド管を使用し、ボイド管内に粗骨材を投入した。外気温の影響を最小限にするため、ボイド管周囲を 450mm 四方の断熱材で覆った。送風口は金属円板に固定し、粗骨材上面から上方に 300mm を送風位置とした。送風は 24 時間行い、熱電対を用いて粗骨材の内部温度を測定した。

実験ケースを表-1 に示す。実験は、ボイド管底板の有無、粗骨材の投入位置、季節、風量を変化させた 9 ケースを行った。

(2) 実験結果

図-2 に温度履歴の一例として、送風から 18 時間後までにおける底板なしの AS-S-900 の温度履歴を示す。図より、粗骨材の温度は送風開始から急激に低下し、4 時間

で粗骨材上面から 50、450、850mm の粗骨材の温度が一致した。一方、底板ありでは 17 時間で温度が一致した。

図-3 に各ケースにおける温度低下速度を比較する。温度低下速度は粗骨材の温度がおおむね一定になるまでの低下温度をその要した時間で除した値である。図-3(a)の底板と投入位置の比較において、底板なしケースの温度低下速度は底板ありケースの温度低下速度より全体的に大きくなった。

図-3(b)の季節と風量の比較において、粗骨材上面から 50mm の測点を除いて、底板なしの全ケースで温度低下速度がほぼ同様の値を示した。

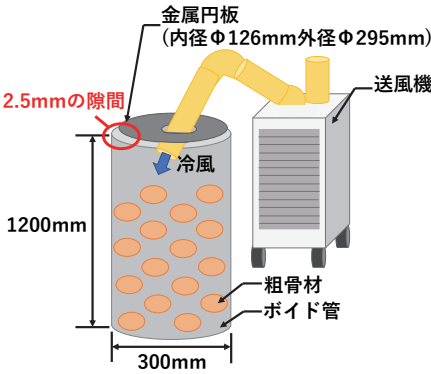


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験ケース

実験要因	ケース名	底板	季節	外気温 (°C)	風量 (m/s)	測定位置(mm)			深さ (mm)
						上部	中央部	下部	
底板の有無・粗骨材の投入位置	PS-S-300	あり (P)	夏 (S)	30	5.8 (S)	150	250	300	300
	PS-S-600					300	550	600	600
	PS-S-900					450	850	900	900
	AS-S-300	なし (A)	秋 (A)	20	5.0 (W)	150	250	300	300
	AS-S-600					300	550	600	600
	AS-S-900					450	850	900	900
季節	AA-S-900	なし (A)	秋 (A)	20	5.0 (W)	450	850	900	900
	AW-S-900		冬 (W)	10					
風量	AA-W-900	なし (A)	秋 (A)	20	5.0 (W)	450	850	900	900

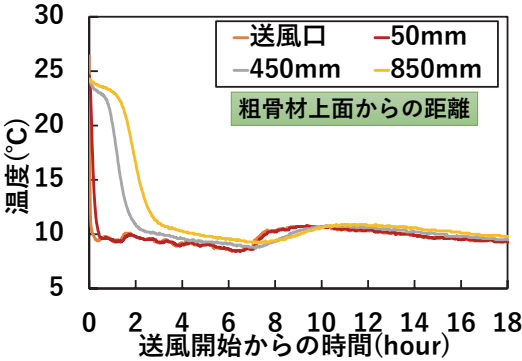


図-2 粗骨材の温度履歴 (AS-S-900 の場合)

キーワード 粗骨材, 冷風, 打込み温度, プレクーリング

連絡先 〒939-0398 富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 環境・社会基盤工学科 TEL 0766-56-7500

3. 温度低下速度と各種要因の関係性の検討

(1) 温度低下速度と各種要因の関係

風速との関係を明らかにするため、各ケースの測定位置における風速を測定した。測定には熱線式センサを用い、粗骨材の投入位置を変え、ボイド管底部から排出される風の速度を測定した。結果は、粗骨材上面からの距離が大きくなるにつれ、風速が減衰し、粗骨材上面から850mmでは、風量による風速の差が0.1m/sとほとんど変わらない値を示した。図-4に測定した風速と粗骨材の温度低下速度の関係を示す。図より、風速の上昇とともに温度低下速度が直線的に上昇していることが分かる。

(2) 温度低下速度と限界距離

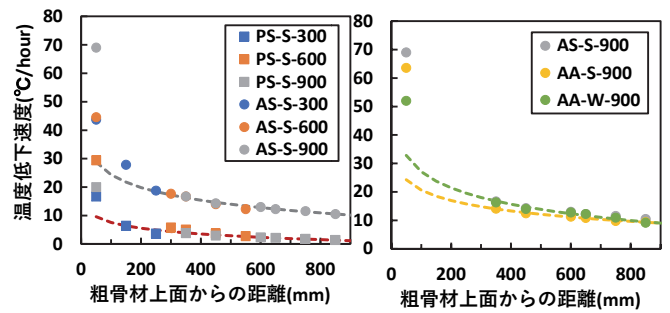
粗骨材の冷却可能な距離(限界距離)を求めるために、図-3をもとに温度低下速度の回帰式を算出した。回帰式は常用対数式³⁾を用い、粗骨材上面からの距離のみを変数とし、風速や初期温度といった変数は定数として回帰した。結果は、図-3中のようにになった。この回帰式から図-5のように、ケースごとの限界距離を算出した。結果は、底板ありのPS-S-900で1319mm、底板なしのAS-S-900で4428mmと約3100mmの差が生じ、また風速を大きくすることで限界距離が約1.8倍増大した。

(3) コンクリートの目標低減温度と限界距離の関係

図-6にコンクリートの目標低減温度と所要時間における限界距離を示す。図は打込み温度の低減が最も必要である夏ケース(AS-S-900)の値を示す。ここで、比熱の関係より標準的なコンクリートの温度を1℃低下させるために粗骨材の温度を約3℃低減させる必要がある。今回の実験より、粗骨材の温度が平均的に15℃低下したことから、目標低減温度を5℃前後に設定した。図より、所要時間の増加に伴い、目標低減温度ごとの限界距離の差が小さくなった。また目標低減温度と所要時間から冷風冷却工法が適用可能なサイロの深さを算出することができた。

4. まとめ

- (1) 底板なしの全ケースで温度低下速度は粗骨材上面から50mmの測点を除いて、ほとんど同じであった。
- (2) 温度低下速度を回帰した結果は、底板の有無が異なる各ケースの実験値とほぼ一致し、回帰式より粗骨材の冷却可能な限界距離を算出することができた。
- (3) コンクリートの目標低減温度と所要時間から、冷風冷却工法を適用することが可能なサイロの深さを求めることができた。



(a) 底板と投入位置の比較 (b) 季節と風量の比較

図-3 温度低下速度と粗骨材上面からの距離の関係

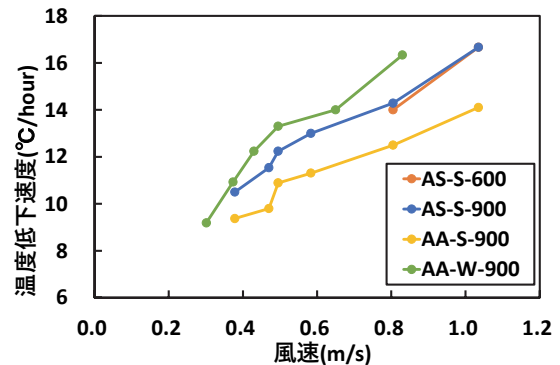


図-4 風速と温度低下速度の関係

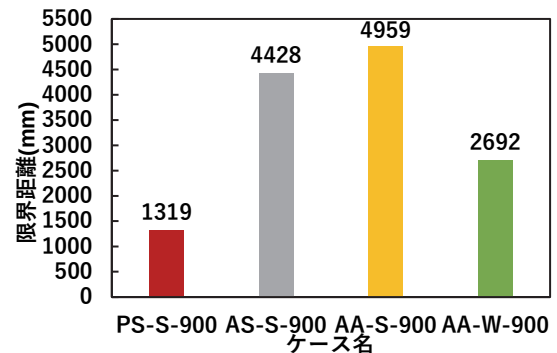


図-5 ケースごとの限界距離

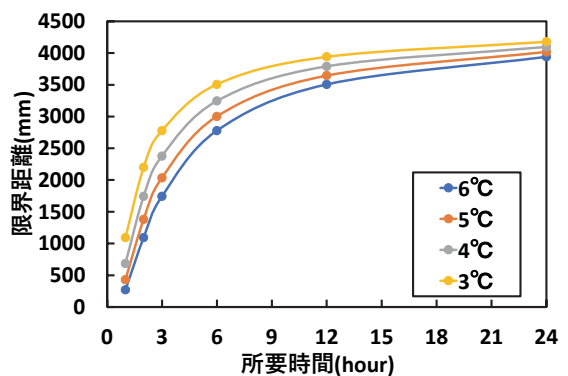


図-6 限界距離と所要時間(AS-S-900の場合)

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔施工編：施工標準〕，pp.322-324，2017
- 2) 長瀧，小野：コンクリートのプレケーリング工法の現状，コンクリート工学，Vol.29，No.12，p.5-19，1991
- 3) 溝渕，田邊：マスコンクリートのパイプケーリングによる熱除去効果範囲に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，vol.23，No.2，pp1123-1128，2001