

暑中コンクリートの運搬時における温度降下方法に関する研究

立命館大学 学生員 ○湊 翔太

立命館大学 学生員 増山 直樹

立命館大学 フェロー員 岡本 享久

近江アサノコンクリート 金子 寿男

1. はじめに

フレッシュコンクリートをトラックアジテータ車で運搬する際、運搬時間及び気象条件等の影響により、品質特性値（スランプ・コンクリート温度・空気量、単位水量）が経時的に変化する。特に夏季は、外気温度や太陽光の影響を受けドラム内が高温度になることによって、コンクリートも熱を吸収し高温度となり、スランプ、空気量などの経時変化が大きくなる。経時変化によって、打設後のコンクリートにひび割れの発生、長期強度低下などの悪影響を与えることが懸念される。よってコンクリート標準示方書では暑中コンクリート（日平均気温が 25 度を越える）は打込み時のコンクリートの温度は 35 度以下でなければならないと規定されている。そこで本研究では、コンクリートドラム内にミスト機器あるいは換気用ファンによりコンクリート温度を 35 度以下に抑える方法を見出すことを目標とした。

2. 実験方法

本研究では、「ドラム内空気をミスト噴霧送風したエアールで取り去り、エアールで抜けた分の湿度をミストで補う」という考えに基づき、ドラム内にミストを送風した。実験のモデル図を図 1 に示す。コンクリート温度、スランプ、空気量、単位水量の測定を、練り混ぜ直後 0 分、30 分後、60 分後、90 分後で行った。単位水量は電子レンジ法を用いて測定を行った。ミスト（水）を使用している点を考慮し、加水の有無を単位水量、および圧縮強度から判断した。ミスト噴霧機器は 2 種類使用し、機器の性能をそれぞれ表 1 と表 2 に示す。この SDM と AFA は水と風の噴霧量と水滴粒径が異なる。実験では実際のアジテータ車 10t（4-5m³）を使用し、SDM と AFA の機器のみならず換気用ファンのみの冷却効果を検証した。

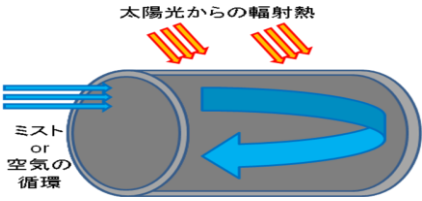


図 1 ミスト噴霧モデル図

表 1 SDM の性能

名称	スーパードライミスト(SDM150)
平均粒径	9μ m
噴霧量	85ml/min(5h/h)
吐出空気量	200L/h
吐出圧力	0.4MPa
加湿範囲	15m × 10m
冷却範囲	5m × 2m
到達距離	10m
騒音	85dB
外観寸法	170 × 215 × 150
電力	10W(50Hz)/ 12W(60Hz)
重量	5kg

表 2 AFA の性能

圧搾空気の圧力	液体(水)流量	平均粒径
0.3 Mpa	2.4L/h	5.88μ m
0.2 Mpa	2.4L/h	8.19μ m
0.1 Mpa	2.4L/h	12.98μ m

3. 実験結果

実験におけるコンクリート温度変化を図 2 に示す。この図より SDM と換気用ファンのケースが打込み時のコンクリート温度を 35 度以下に保つことが出来た。SDM と AFA を使用後のコンクリートの単位水量の変化を図 3 に示す。ミストによる単位水量の増加傾向はなかった。さらに表 3 の圧縮強度結果も、単位水量の増加による W/C の増加はないものと判定でき、ミストによる加水はなかったと推測出来た。よってドラム内空気を外に排出する換気用ファンによるコンクリートの乾燥の問題は見られなかった。

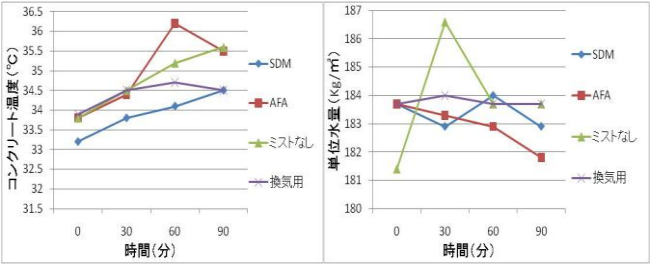


図 2 コンクリート温度

図 3 単位水量

キーワード 暑中コンクリート ミスト コンクリート温度 伝熱 加水

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 イーストウィング 2F 環境マテリアル研究室 TEL 077-561-2666

表 3 圧縮強度

区分	試料採取	圧 縮 強 度 (N/mm ²)			
	時間	①	②	③	平均
ドライミスト	練り直後	27.6	27.5	28	27.7
	90分後	27.1	26.6	27	26.9
エアフォグアトマイザ	練り直後	29.7	28.9	28.6	29.1
	90分後	29.4	30.9	29.2	29.8
ミスト無	練り直後	30.6	30.2	30.9	30.6
	90分後	29.5	29.5	30.4	29.8
換気扇用	練り直後	29.4	28.6	28.4	28.8
	90分後	30.2	31.3	30.6	30.7

4. アジテータ車における温度降下メカニズム

本研究で行った実験のコンクリート温度の結果を考察し、コンクリートに伝わる熱の移動解を解析した。従来の暑中コンクリートの運搬における温度上昇のメカニズムは、小山¹⁾によって、ドラム表面から直接コンクリートに熱が伝わりと考えられてきた。つまり、ドラム表面温度がコンクリート温度に最も関係するということである。

本研究では、温度の移動は熱伝導と熱伝達の理論を用いて解析を行った。今回はアジテータ車のドラムミキサを鉛直方向に切断し、1次元モデルにおいて考察を行う。図4に示す伝熱モデル1、すなわちドラム表面から、ドラム内空気、コンクリートという順路でコンクリートに熱が伝わりと仮説を立てた。

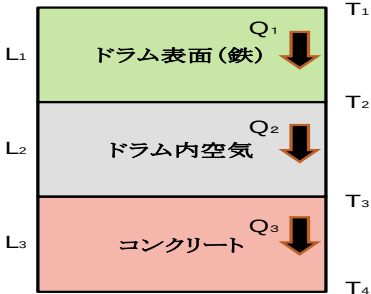


図 4 伝熱モデル 1

表4にSDM、AFA、換気用ファンの風速から求めたドラム空気の性質を表す特性値、さらにドラム内空気の熱伝達率 h を示す。対流とはドラム内空気の種類を示す項目であり、レイノルズ数 Re 値によって層流か乱流に分類される ($Re > 10^5$ で乱流)。層流より乱流のほうが、熱伝達率 h が大きくなる。熱伝達率 h は伝熱量を算出するために必要な係数であり、数値が大きいほど熱が伝達しやすくなる。

表 4 ドラム内空気の性質

	Re	Pr	Nu	h	流速(風速)	備考
SDM	202848	0.7	463	9.295	2.654	乱流
AFA	60854	0.7	73	1.460	0.796	層流
換気用ファン	144891	0.7	354	7.101	1.896	乱流

注) Pr : プラントル数 Nu : ヌセルト数

表5に伝熱量の算出結果を示す。30-90 分の間の熱移動について考察する。30-90 分の間では、熱流速の符号が一になっていることがわかる。これは温度の関係が、ドラム内空気温度 < コンクリート温度、の関係が成り立つことを示している。つまり、図5の伝熱モデル2のように、熱の移動は、コンクリートの熱がドラム内空気に奪われる。伝熱量は、温度差と熱伝達率の積で表せるため、ドラム内空気温度の低下、ドラム内空気の風速を上げ、熱伝達率を上昇させることにより、コンクリートの熱を逃がすことが出来ることが分かる。しかし、実際はSDM、換気用ファンでもコンクリート温度は上昇傾向にある。これは、本研究で計算式に含まれていないセメントの水和熱、直射日光によって鉄に吸収された輻射熱が影響していることが推測出来る。

表 5 伝熱量

	30分	60分	90分
SDM	-7.163	-9.103	-8.208
AFA	-1.122	-2.566	-1.203
換気用ファン	-2.133	-3.839	-3.555

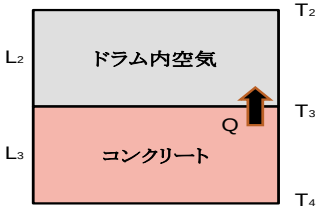


図 5 伝熱モデル 2

5. まとめ

本研究で、SDM および換気用ファンを使用することにより、ドラム内空気の温度が低下し、空気の動きが大きくなり、コンクリート温度の上昇を通常練りより抑えることが出来た。しかし、今回使用したミスト機器を実際のアジテータ車に取り付けることはコスト的に困難であることを考慮すると、換気用ファンが一番実用的であると言える。外気温度が高くなるにつれて換気用ファンの効力が弱くなることが推測されるので、外気温度が高い場合は、ミストの気化熱を利用しドラム内空気温度を下げる工夫が必要である。

<参考文献>

1) 小山智幸、暑中コンクリートと九州 コンクリート工学 48(1)、84-88、2010、01-01 日本コンクリート工学協会