

暑中コンクリートの運搬時と圧送時の生コンクリート温度変化に関する研究

その4 日射の影響を受けた運搬時と圧送時の水和発熱と相当外気温を考慮した熱拡散解析結果

213-091 中辻 菜央

1. はじめに

本研究その4は、日射の影響を受けた運搬時と圧送時の生コンクリート温度変化に対して、水和発熱と相当外気温を考慮した熱拡散解析を実施した。

熱拡散解析は、差分陰解法で、出荷から荷卸しまでの生コン車の運搬時が要素を考慮しない集中熱容量系を、荷卸し⇨圧送開始から圧送後までの圧送時が不等間隔コントロールボリューム法を適用した。

2. 練混ぜから運搬時や圧送時への水和発熱の対応

生コンクリートは、練混ぜ注水から生コン車の積み込みまで5分程度かかる。この練混ぜ時に、水と接触直後のセメントは、C₃A由来の急激で多大な第1ピーク速度の水和発熱が生じる。しかし、注水から10分程度にあたる第1ピーク速度のピーク後の降下半ば程度までに生じた発熱は、貯蔵ビン内のセメント温度が一般に約70℃ほどの高温にあり、高温・低温材料が混合しての練混ぜ時や積み込み時の熱分配に取り込まれ、その結果として、生コンクリートの練上り温度⇨出荷時温度になっていると考えられる。この場合、出荷時温度になっている生コンクリートの出荷後からの水和発熱量は、第1ピーク後の半ば程度から積算を始めた熱量に対応すると考えられる。

図1に解析に適用したセメント水和発熱速度と換算した断熱温度上昇量を示す。文献1)の環境温度35℃基準の普通ポルトランドセメント水和発熱速度[cal/(hr・セメント1g)]に単位換算「文献値35℃」を引用したが、生コンクリートの出荷から運搬時や圧送時の2時間程度の温度変化にて、解析開始生コンクリート温度を練上り温度⇨出荷時温度のとき、練混ぜ時の熱分配での水和発熱取り込まれを考慮し、第1ピーク速度が注水6分後「文献値-6分」と12分後「文献値-12分」の対応も検討した。

3. 差分陰解法による熱拡散解析の概要

本研究の差分陰解法による熱拡散解析は、コントロールボリュームの要素として、輻射熱境界条件、対流熱伝達境界条件、温度境界条件、内部発熱条件などの各種熱的境界条件を計算仕様にして開発している。

3.1 回転ドラム内に積載の生コンクリートに対する集中熱容量系の対応

図2に回転ドラム内に積載の生コンクリートに対する集中熱容量系の概要を示す。蓄積熱量 $Q_{a,k+1}$ は、流入熱量の輻射熱 $Q_{r,k+1}$ と相当外気温対流熱 $Q_{vs,k+1}$ と外気温対流熱 $Q_{vo,k+1}$ と空気層対流熱 $Q_{va,k+1}$ と発熱量 $Q_{g,k+1}$ との総和と釣り合い、この熱バラン

ス式を熱伝達率HTと受熱表面積で整理することで、時間 t_{k+1} での未知温度 θ_{k+1} が求められる。

3.2 輸送管内の生コンクリートに対する不等間隔コントロールボリューム法の対応

図3に輸送管内の生コンクリートに対する不等間隔コントロールボリューム法の概要を示す。輸送管鋼材とした左端部に日射の影響を考慮した相当外気温SATとニュートン冷却則の熱伝達境界条件を設定し、また、輸送管鋼材とした右端部に外気温とニュートン冷却則の熱伝達境界条件を設定し、さらに、生コンクリートの本体部に熱伝導と水和発熱を設定した。

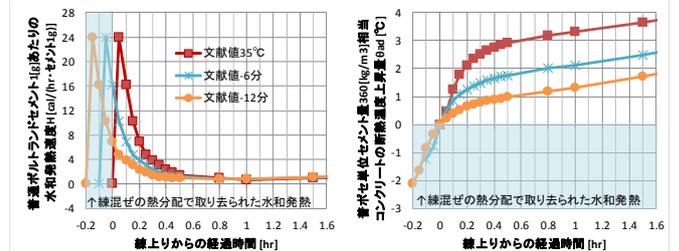


図1 適用したセメント水和発熱速度と断熱温度上昇量

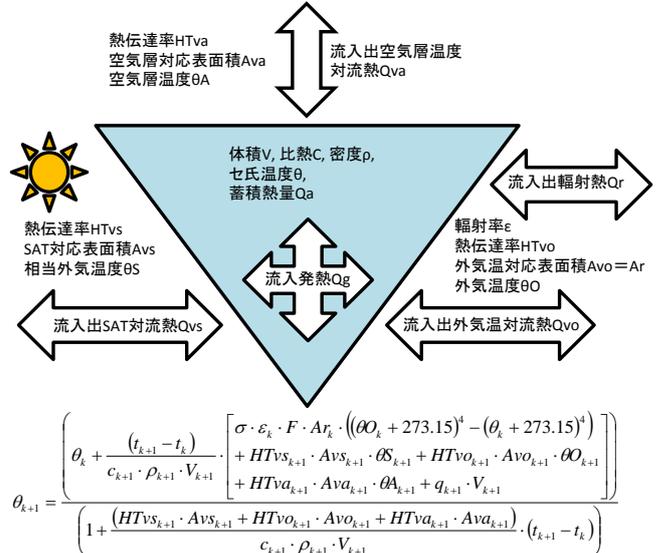


図2 回転ドラム内に積載の生コンクリートに対する集中熱容量系の概要

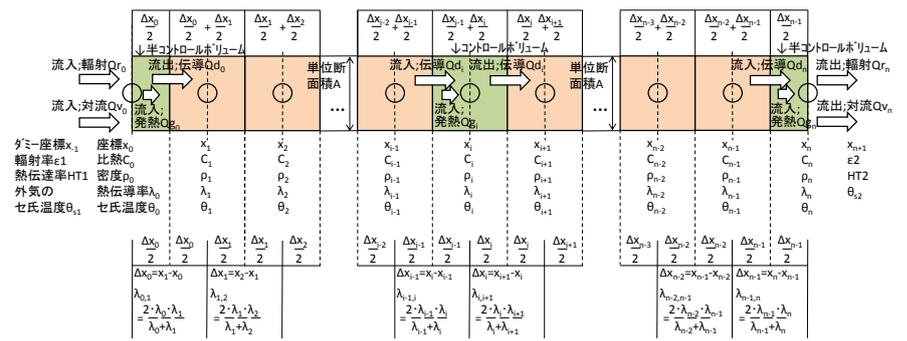


図3 輸送管内の生コンクリートに対する不等間隔コントロールボリューム法の概要

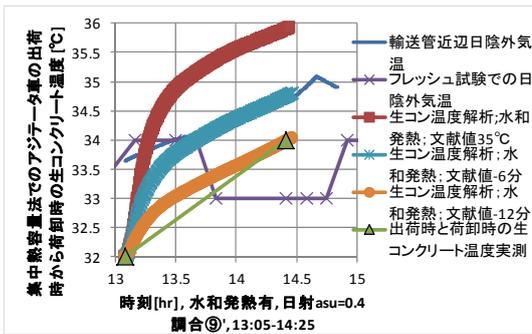


図4 調査⑨'の水和発熱速度の適用性の検討結果

4. 練上り温度⇔出荷時温度からの水和発熱の検討結果

適用した水和発熱速度条件に近い外気温 35°C近辺で、出荷時から荷卸時まで経時 80 分の長時間運搬となる調査⑨にて、練混ぜ時の熱分配での水和発熱取り込まれを考慮した水和発熱速度の適用性を検討した。なお、生コン車の回転ドラム表面は白灰色で、輸送管遮熱カバー有り結果を援用して日射吸収率 $a_{su}=0.4$ とした。

図4に検討結果を示す。解析温度は、「文献値 35°C」が高すぎで、「文献値-12分」が実測値と合致した。出荷から運搬時の水和発熱の対応にて、高温・低温材料の練混ぜを経て練上り温度に達したとき、第1ピーク速度の練混ぜ時への熱分配取り込まれの考慮が重要である。

5. 容積に対する受熱表面積の違いが及ぼす影響の検討

集中熱容量法により、「文献値-12分」適用の調査⑨にて、積載容量 4.5m³と 1.5m³での水和発熱有無と日射吸収率 $a_{su}=0.4$ を 0 にすることでの日射有無を検討した。

図5に解析結果を示す。回転ドラム内の生コンクリートは、容積が減ると受熱表面積も小さくなるが、日射や外気温が及ぼす影響は大きくなり、相当外気温が同一でも温度が高まる。一方、容積が変化しても水和発熱の影響による温度変化はないことがわかった。

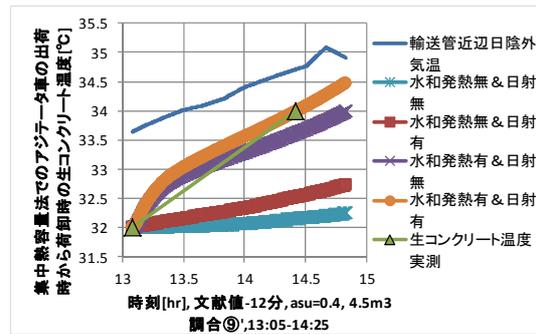
6. 運搬時及び圧送時の熱拡散解析結果

図6と図7に運搬時及び圧送時の熱拡散解析結果を示す。出荷時温度実測値を解析開始温度として、運搬時に対する集中熱容量法での荷卸時温度の解析結果を得て、次の圧送時に対するコントロールボリューム法での解析開始温度にして、圧送後温度の解析結果を得た。4.5m³運搬時は日射の影響よりも水和発熱の影響が大きく、逆に圧送時は輸送管断面にあたる容積が小さくなるため、水和発熱よりも日射の影響が大きい。おおむね解析結果は、生コンクリート温度実測結果と合致した。

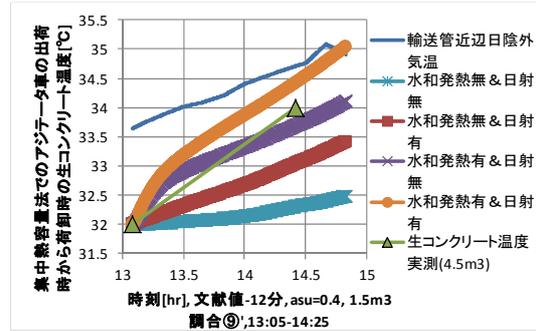
7. まとめ

本研究その4では、日射の影響を受けた運搬時と圧送時の生コンクリート温度に対して、水和発熱と相当外気温を考慮した熱拡散解析を実施し、提案モデルが温度実測結果とおおむね合致したことを示した。

参考文献1) 米谷裕希, 小山智幸 他: 暑中コンクリートの運搬中の温度上昇に関する研究その7, AIJ九州支部研究報告, No.52, pp.177-180, 2013.3

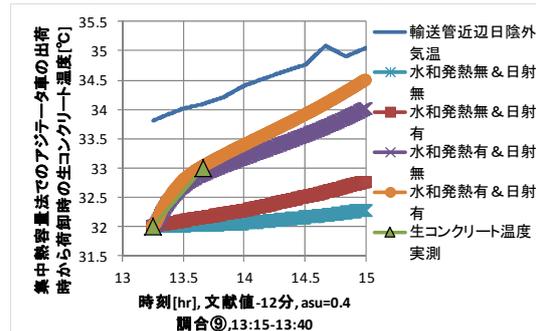


a) 積載した生コンクリート容積 4.5m³

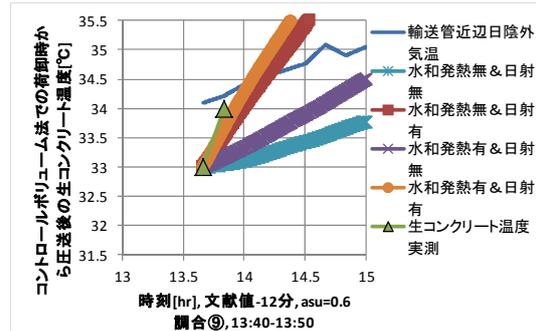


b) 積載した生コンクリート容積 1.5m³

図5 調査⑨'の運搬時の生コンクリート容積に対する受熱表面積の違いが及ぼす影響の検討結果



a) 運搬時の解析結果



b) 圧送時の解析結果

図6 調査⑨'の運搬時及び圧送時の熱拡散解析結果

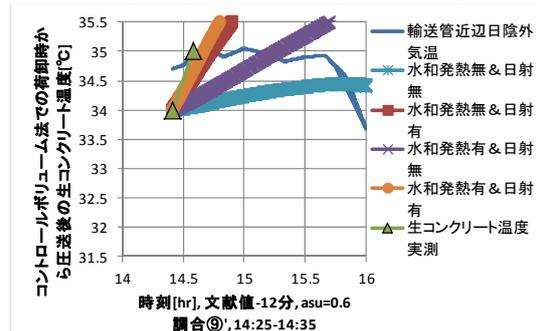


図7 調査⑨'の圧送時の熱拡散解析結果 (中村研究室)