

高温鋳物砂への散水における冷却挙動

大同大学 ●伊藤由華, 板倉雅敬, 前田安郭
新東工業(株) 牧野泰育

1. 緒言

最近の造型工程において、作業工程の高速化などにより戻り砂温度が高くなる傾向がある。適正な生砂型を造型するためには、生型砂の管理が重要であり、また回収砂の冷却プロセスも非常に重要な工程である。混練前に砂の温度と鋳物砂の水分量の適当な範囲内条件に合わせる必要がある。そこで本研究では、100℃以上の高温鋳物砂を対象として、鋳物砂に散水した後の冷却挙動を基本的な実験により調査する。さらに、水冷と空冷の理論的な解析を行い、砂冷却挙動のシミュレートを試みる。

散水後の冷却挙動は、この熱伝達により冷却式では推定出来なかったため、あらたに蒸発による冷却式を導出してシミュレートを試みた。その結果、パラメータの修正を行うことで冷却挙動を推定できると推測された。

2. 実験条件と測定方法

けい砂または人工セラミックス砂(セラビーズ)の新砂と、10%の Na 系ベントナイトを使用する。鋳物砂特性は CB 値で管理し、30, 35, 40%の 3 水準、鋳物砂の初期温度は 80, 100, 120℃とした。なお、比較検討のために空冷実験も並行して実施した。

図1に示すように所定の CB 値に混練された生型砂を炉によって初期温度まで加熱する。空冷実験の場合は、鋳物砂を炉から取出して大気中に放置することで自然冷却とした。水冷実験の場合は、炉から取出した直後に一定量の散水を行ってから大気中に放置した。両実験とも冷却中における鋳物砂温度と鋳物砂の水分量を一定間隔で測定した。

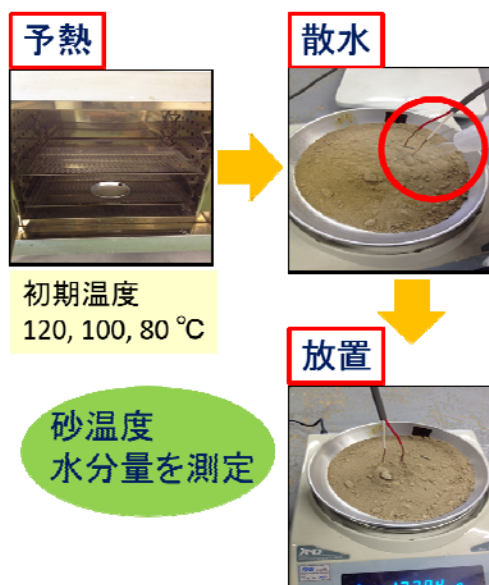


図1 水冷実験手順

3. 結果及び考察

3.1 実験結果

図2にセラミックス砂、初期温度 100℃の空冷と水冷の冷却挙動の比較を示す。水冷の場合、鋳物砂の温度は散水後急速に低下し、その後徐々に冷却される。冷却後半の温度低下の様子は水冷と空冷でほとんど等しくなっている。100℃以上の高温の鋳物砂の場合、主に水の散水によって蒸発による冷却が起こる。その時、温度は熱伝達の挙動に従って低下する。けい砂の場合も同様の傾向を示した。

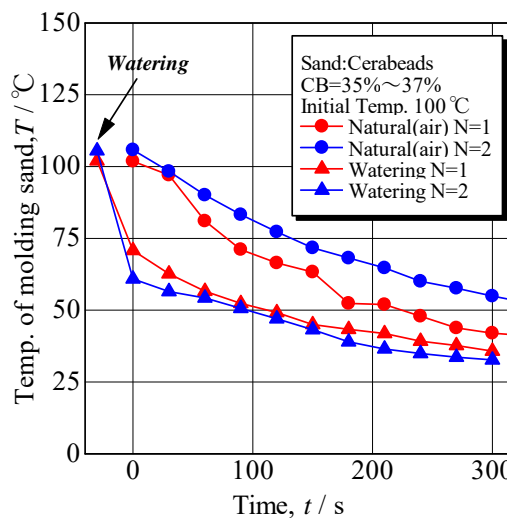


図2 初期温度 100℃のセラミックス砂における空冷・水冷実験時の冷却挙動

3.2 理論的な解析

散水による冷却挙動の理論的解析は熱伝達と蒸発の式を用いることにする。空冷の理論的解析は大中ら¹⁾の湿り砂と乾燥砂に対する熱伝達の方程式を参照した。湿り砂と乾燥砂それぞれに対する熱伝達の関係式を用いて、主に熱伝達によって冷却される鋳物砂の温度を求める式を誘導した。計算された値は実験値とほぼ同じ冷却挙動を示した。

4. 結言

高温の鋳物砂に散水した直後の冷却は蒸発冷却であるが後半の冷却は空冷と同じ熱伝達による冷却であることが考察された。

参考文献 1)大中ら, 鋳物, 43(1971), pp893-901

高温鋳物砂の冷却挙動に関する基礎調査

Basic Investigation of Water Cooling Behavior of High-Temperature Molding Sand

大同大学 ●伊藤由華 前田安郭 板倉雅敬
新東工業(株) 牧野泰育

緒言

鋳込み後の回収砂は

- ・生型砂の構成要素の変化
- ・作業工程の高速化

によって温度が100°C以上の高温になる傾向



生型砂の管理と回収砂の冷却プロセスが重要
→高温の鋳物砂に対する散水効果を把握する必要がある

目的

鋳込み後の100°C以上の高温の回収砂を想定

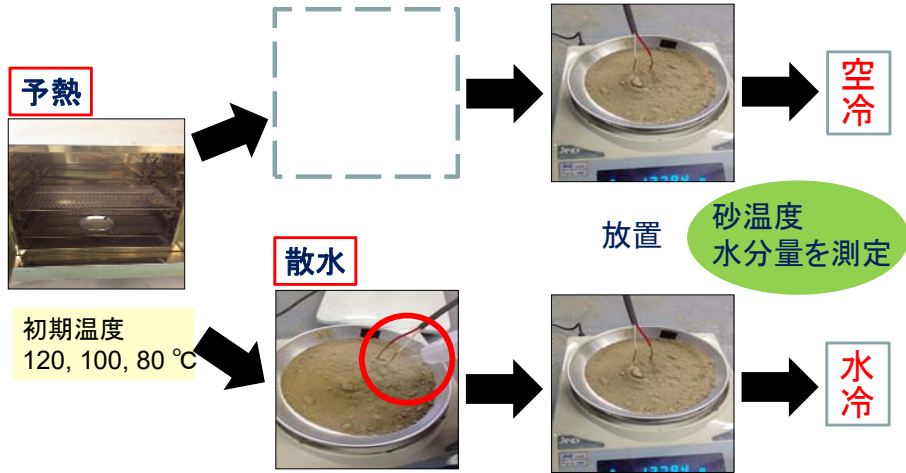
空冷と水冷実験で基礎的な冷却特性を調査



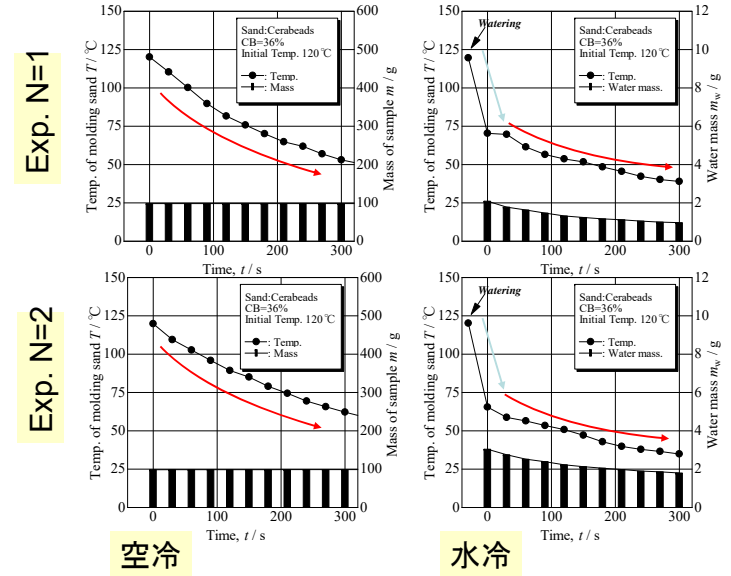
砂冷却の理論的なモデルの構築

実験条件

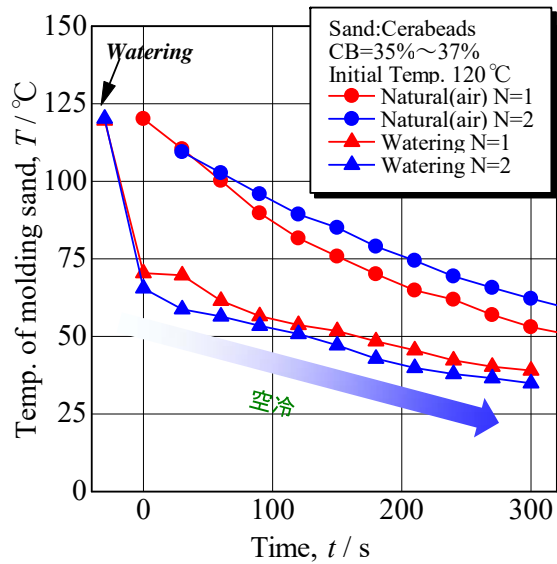
骨材 (90%)	人工セラミックス砂, けい砂
粘結剤 (10%)	Na系ベントナイト
注水量	全体量の約 2 %
CB値	30, 35, 40 %
砂の初期温度	120, 100, 80 °C
冷却方法	空冷 (自然冷却), 水冷 (散水と自然冷却)
測定間隔	30秒または60秒



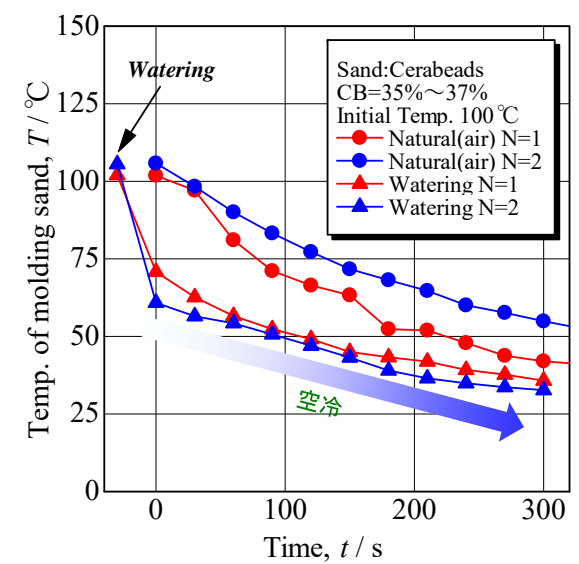
5



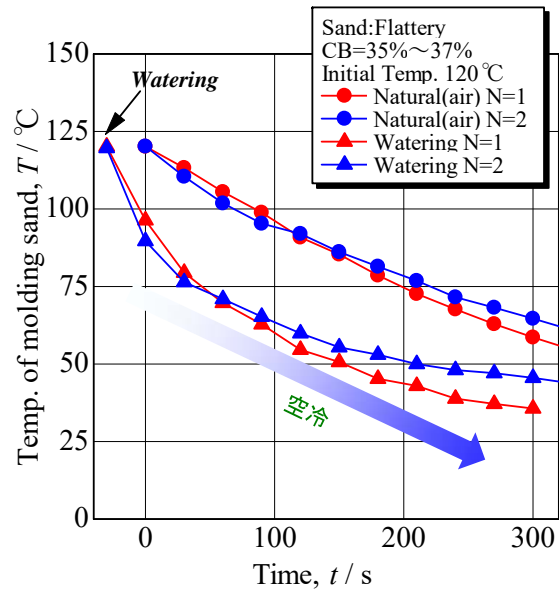
6



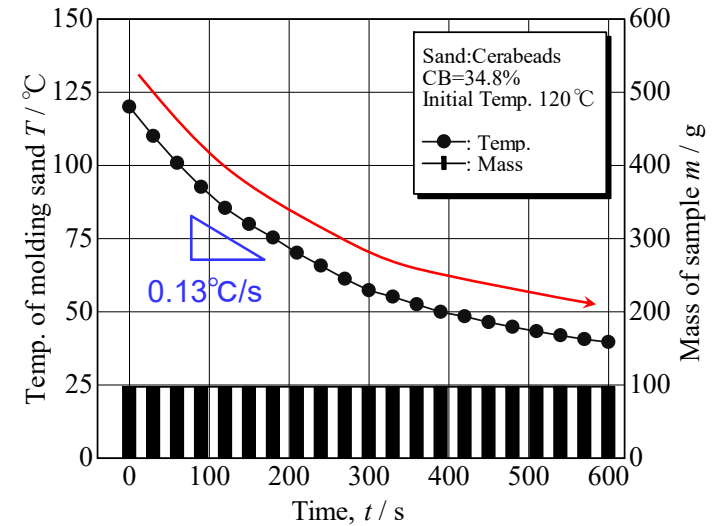
7



8

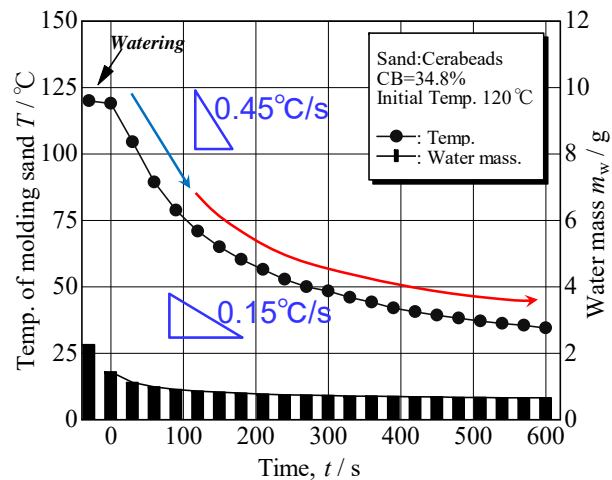


9



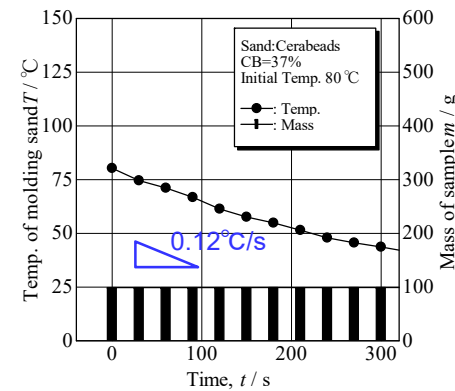
平均冷却速度 = 0.13°C/s (0 ≤ t < 600)

10

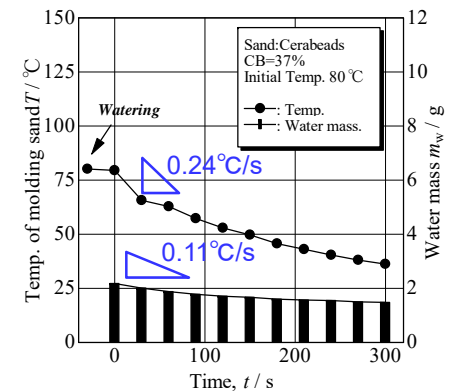


平均冷却速度 = 前半 0.45°C/s (0 ≤ t < 90)
= 後半 0.15°C/s (90 ≤ t ≤ 600)

11

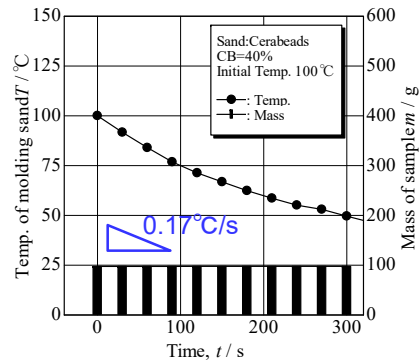


空冷

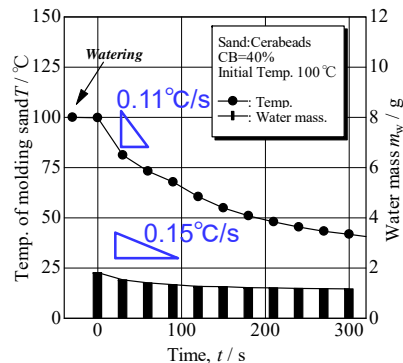


水冷

12



空冷



水冷

100°Cを超える鑄物砂を想定した場合

水冷実験の結果から

◆冷却の初期
蒸発による冷却は主に散水の直後で発生

◆冷却の後半
温度低下は熱伝達の挙動と一致

空冷の平均冷却速度 0.13°C/s \approx 水冷の後半の平均冷却速度 0.15°C/s

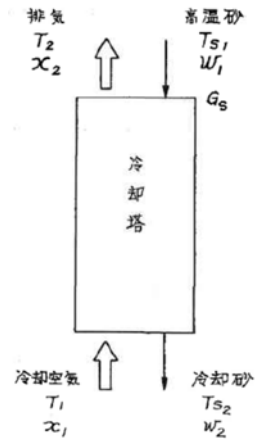
対向空気流による冷却モデル

水冷挙動の理論的な解析を熱伝達と水分蒸発の式を用いて推定しようと試みる



大中逸男, 上村正, 千々岩健児. 鑄物砂の対向空気流による冷却 (1971), Vol.43, No.10 pp.893-901.

- 空冷の理論的な解析
- 湿り砂と乾燥砂に対する熱伝達の関係式



対向空気流による冷却モデル

冷却モデル式の構築(1)-1

(1)水分蒸発後の冷却式

湿り砂に対する熱伝達の関係式

$$\frac{dT_{sw}}{dt} = \frac{L_s}{C_s + w} \cdot \frac{dw}{dt} - \alpha \frac{\beta A_s}{\beta G_s (C_s + w)} \times (T_{sw} - T) \quad (1a)$$

乾燥砂に対する熱伝達の関係式

$$\frac{dT_{sd}}{dt} = -\alpha \frac{(1-\beta) \cdot A_s}{(1-\beta) G_s \cdot C_s} \times (T_{sd} - T) \quad (2a)$$

T: 温度[°C] t: 時間[s] $L_s=595-0.55T_{sw}$: 蒸発潜熱[kcal/kg]
 C: 比熱[kcal/kg°C] w: 含水率[kg/dry·kg] α : 熱伝達率[kcal/m²s°C]
 β : 湿り砂の比率 A: 表面積[m²] G: 重量流量[kg/hr]
 添字
 a: 空気 s: 砂 sw: 湿り砂 sd: 乾燥砂

今回の実験では、重量流量 G が存在しないため、質量 m を用いると、湿り砂は下記となる

$$\frac{dT_{sw}}{dt} = \frac{L_s}{C_s + w} \cdot \frac{dw}{dt} - \alpha \frac{\beta A_s}{\beta m_s (C_s + w)} \times (T_{sw} - T) \quad (1b)$$

乾燥砂は下記となる

$$\frac{dT_{sd}}{dt} = -\alpha \frac{(1-\beta) \cdot A_s}{(1-\beta) m_s \cdot C_s} \times (T_{sd} - T) \quad (2b)$$

ここで、湿り砂式の右辺第1項は水分の蒸発、第2項は空気への熱伝達を表す

初期条件

$$T_s = T_{s1}, (t = 0) \quad \dots \text{初期温度}$$

$$T_s = T_{s2}, (t = t_0) \quad \dots \text{任意の時間の砂温度}$$

上の条件を(1b)と(2b)に代入し解くと

空冷の式(水冷の後半の式)

$$T_{s2} = T_{s1} - (T_{s1} - T_1) \frac{1 - e^{-H(1-\phi')t_0}}{1 - \phi' e^{-H(1-\phi')t_0}} \quad (12)$$

ただし、

$$\eta = \frac{T_{s1} - T_{s2}}{T_{s1} - T_1}, \quad H = \frac{6\alpha}{C_s \gamma_s d_s}$$

(2) 蒸発による冷却方程式

散水前から散水後までの抜熱量

$$\rho_s C_s \frac{dT}{dt}$$

水の蒸発熱量

$$\rho_s L_s \frac{dw}{dt}$$

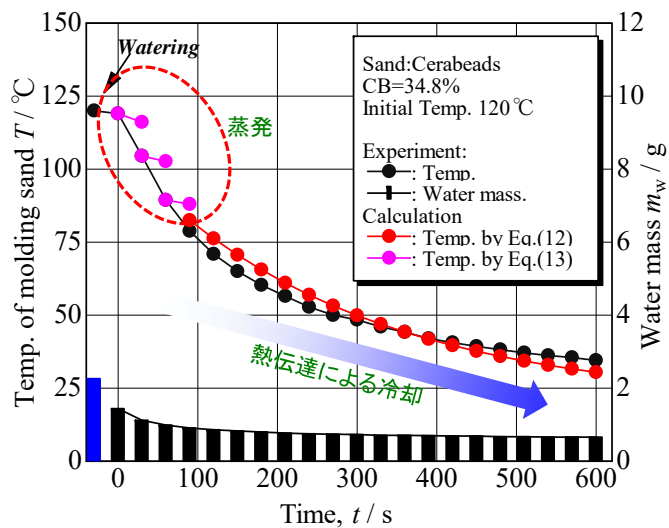
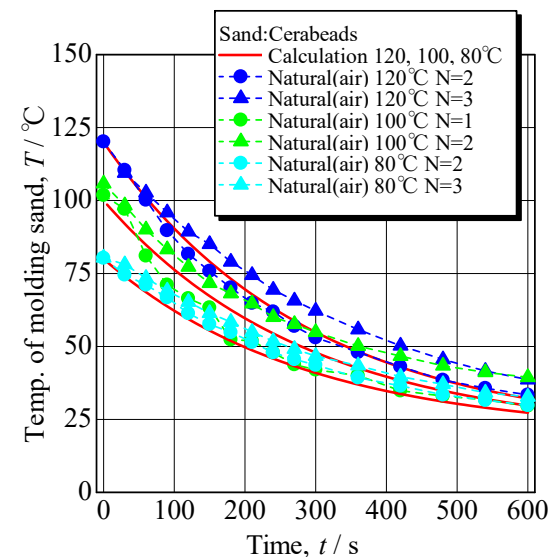
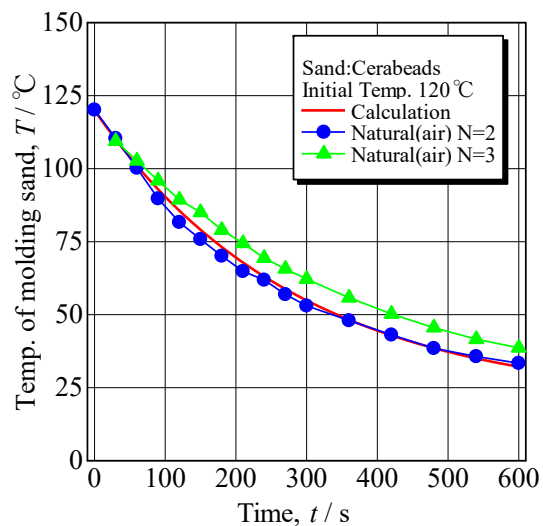
これらが等しいと仮定すると

$$\rho_s C_s \frac{dT}{dt} = \rho_s L_s \frac{dw}{dt}$$

この方程式を解くと、**水冷の式は**

$$T_{sw2} = T_{sw1} + \frac{L_s}{C_s} \Delta w \quad (13)$$

初期温度	80[°C]	100[°C]	120[°C]
T_1 : 室温	20 [°C]		
t_0 : 時間	0~600[s]		
α : 熱伝達率	6.40×10^{-7} [kcal/(m ² s°C)]		
C_s : 鑄物砂の比熱	0.44[kcal/(kg°C)]		
C_a : 空気の比熱	1005×10^3 [kcal/(kg°C)]		
γ_s : 比重	1.69×9.81 [kg/m ³]		
d_s : 砂の直径	150×10^{-6} [m]		
m_s : 砂の質量	0.1[kg]		
m_a : 空気の質量	1.195[kg]		



水冷の式

$$T_{sw2} = T_{sw1} + \frac{L_s}{C_s} \Delta w \quad (13)$$

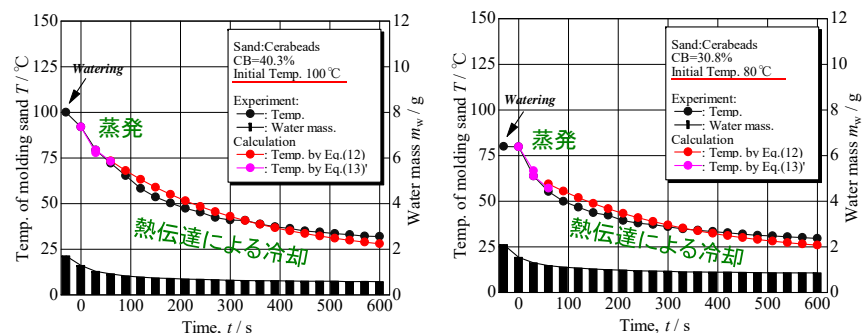
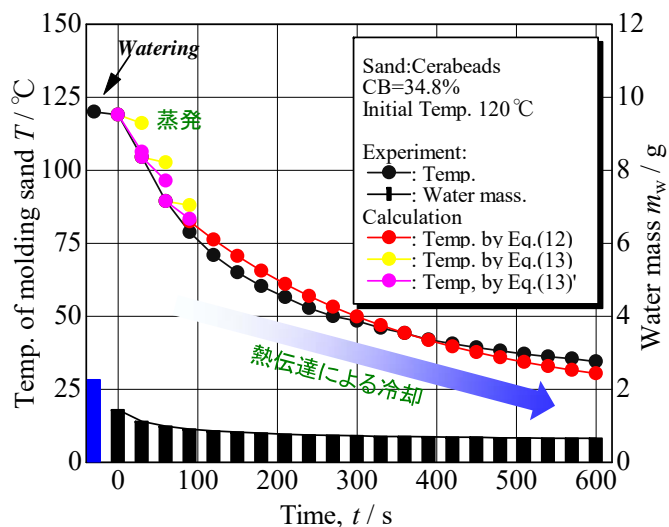


補正係数 β_S

- 鑄物砂の熱特性変更
- 効果的な散水の割合の設定

$$\text{水冷による水分蒸発式 } T_{sw2} = T_{sw1} + \frac{L_s}{\beta_S \times C_s} \Delta w \quad (13)'$$

実験より求められた比熱の補正係数 $\beta_S = 0.23$



結言

鋳物砂の水冷において

- 散水直後に蒸発冷却が発生
- 後半の温度低下は空冷の熱伝達による冷却と一致

これらの性質は

- ・熱伝達の式
- ・補正係数を導入した蒸発の式で推定できる

空冷による冷却式

$$T_{s2} = T_{s1} - (T_{s1} - T_1) \frac{1 - e^{-H(1-\phi')t_0}}{1 - \phi' e^{-H(1-\phi')t_0}}$$

水冷による水分蒸発式

$$T_{sw2} = T_{sw1} + \frac{L_s}{\beta_S \times C_s} \Delta w$$

ご清聴ありがとうございました