

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正会員 〇田中 邦男
 同 東京電気通信局 同 山川 喜弘
 同 建設技術開発室 同 大后 喜代一

1. まえがき.

エア・モルタルを幅の狭い矩形溝 (図-1) に注入する場合、良好な充てん状態を確保するために、モルタル液面の低下量が許容値を越えない限界距離を定める必要がある。このためには、エア・モルタルの流動方向における液面形状を把握することが必要となってくる。本報告は、このエア・モルタルの流動曲線の解明を主目的として、Binghamモデルを用いた一解析を行い、模型実験と比較検討した結果をまとめたものである。

2. エア・モルタルの流動解析.

2.1. 流動方程式の導入.

図-1のように、一端から注入されたエア・モルタルが、 x 軸方向に流動する例について、 x, y, z 座標を定め、流動方向の速度成分を u 、溝の幅方向座標上の距離を y 、エア・モルタルのせん断応力、一定せん断応力、粘性係数を τ, τ_0, μ として、式(1)のBinghamモデルを適用する。

$$\left. \begin{aligned} \tau &= \tau_0 + \mu \frac{du}{dy} \quad (\tau > \tau_0 \text{ のとき}) \\ \frac{du}{dy} &= 0 \quad (\tau < \tau_0 \text{ のとき}) \end{aligned} \right\} (1)$$

式(1)及びエア・モルタル流の低速な特質、並びに連続条件 (図-2) を用い、マクロ的な流動方程式を組み立てると、モルタル面形状を定める z 軸方向のモルタル高さ h と、時間 t 、流動方向の距離 x とを関係付ける基本式として、式(2),(2')の偏微分方程式が求められる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} &= \alpha \left[h \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 - \beta \frac{\partial h}{\partial x} \right] \\ \alpha &= \frac{\rho g^2}{48\mu}, \quad \beta = \frac{12\tau_0}{\rho g} \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} &= \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left[h \left(\frac{\partial h}{\partial x} - \beta \right) \right] \\ \frac{\partial h'}{\partial t} &= \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left[(h' + \beta x) \frac{\partial h'}{\partial x} \right], \quad h' = h - \beta x \end{aligned} \right\} (2')$$

ここで、 ρ は流体密度、 g は図-1に示す溝の幅を表す。

2.2. 式の吟味と近似解.

式(2),(2')は、係数が温度と場所の関数である熱伝導方程式と同様の形式で示されるため、熱伝導論などの近似解析例^{*}を種々応用することができる。いま、式(2),(2')を、諸条件に基づき仮定できる集約的パラメータ γ_1, γ_2 を用い、式(3)第一、二式に二分割し、吟味すると、図-3に示すごとく、

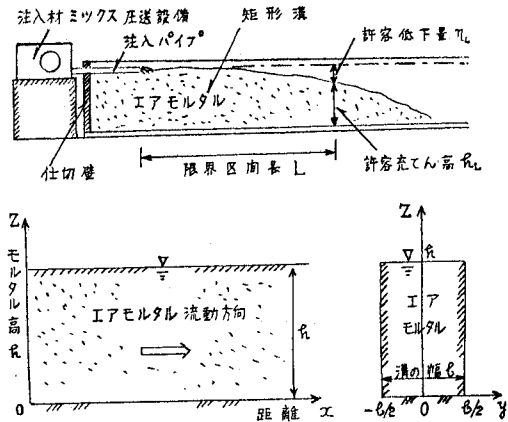


図-1. モデル化及び座標設定.

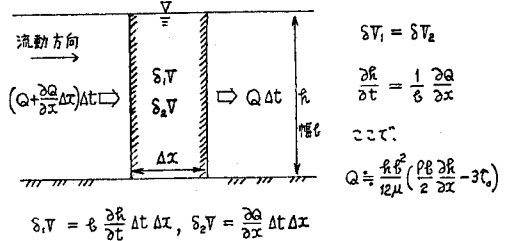


図-2. モデルでの連続条件.

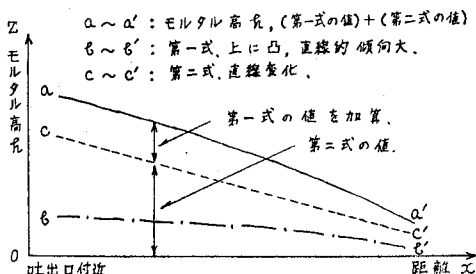


図-3. 第一、二式の $h \sim x$ 変化.

第一式は直線的傾向が強い、緩やかな上に凸の曲線で示され、また、第二式は明らかに直線式で示されることがわかる。これより、図-1の許容充てん高 h_m が確保できる限界区画(0, L)の液面形状をマクロ的に直線ととらえ、限界区画長 L を求めると、式(4)で表わす近似式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \text{第一式: } \frac{\partial h}{\partial t} &= \hat{\lambda}_1 \cdot \alpha \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial h}{\partial x} \right), \\ \text{第二式: } \frac{\partial h}{\partial t} &= \hat{\lambda}_2 \cdot \alpha \beta \frac{\partial h}{\partial x}, \quad \hat{\lambda}_1 + \hat{\lambda}_2 = 1 \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} L &= (h_0 + \hat{\omega}t - h_m) \cdot \Theta(\hat{\omega}) \\ \Theta(\hat{\omega}) &= \frac{h}{12\mu\hat{\omega}} (\sqrt{9\hat{\omega}^2 + 12\beta\mu\hat{\omega}} - 3\hat{\omega}) \end{aligned} \right\} (4)$$

ここで、 h_0 は、 $x=0, t=0$ におけるモルタル高、 $\hat{\omega}$ は直線近似可能な時間帯における平均モルタル上昇速度である。

3. エア・モルタルの流動実験、

図-1で表わす幅10 cm、高さ30 cm、長さ10 m、のアクリル製矩形溝に、表-1に示すエア・モルタルを一端から一定速度(7~8 l/min 及び 10~11 l/min)で注入して、モルタル液面形状を測定した。この結果の例を図-4及び図-5に示す。図-4, 5よりわかるように、エア・モルタルの液面形状は、いずれの場合でも、わずかに凸状で、ほぼ直線状に流動拡散の状況を示し、打設速度の差は、図の比較より明らかとなり、速度の大きい方が緩い線形となり、長く拡散している。これら図-4, 5の流動曲線について、特に重要な吐出口付近のモルタル高 h_m と吐出口から許容低下量 h_L (7 cmと仮定する)限界地点までの距離 L_m との関係を定めると、両図とも同程度の傾向を示し、式(5)の同一式で統一して表示できることがわかる。(図-6)

$$\left. \begin{aligned} L_m &= 0.24 h_m + 1.1 \\ L_m: \text{単位 m}, \quad h_m: \text{単位 cm} \end{aligned} \right\} (5)$$

以上の実験結果は、いずれも、2.の理論考察結果に一致し、上部に凸状の直線的傾向及び類似の直線近似式を示すこと、打設速度大、すなわち、モルタル高上昇速度 $\hat{\omega}$ 大となるに従い、限界区画長がより長くなること、などが言える。

4. あとがき、

本文は、エア・モルタル流動時の液面形状の変化を対象として、理論と実際との比較を行ったが、両者間の相似性は強く、Binghamモデルの仮定が適切であることがわかった。今後は、理論式の厳密解について検討を進める予定である。*、小平吉男：物理数学第二巻、付録 P.704 ~ P.827、岩波書店(現代工学社 53 年版)、押田・市川：熱伝導の方程式に於いて熱伝導率が温度の函数である場合の数値解法、名古屋大学研究報告第 2, 3 巻, 1950 年、ほか

表-1 エアモルタルの基本特性

項目	特性値		
配合 (1 m ³ 当たり)	セメント 300 kg	起泡剤 3.6 kg	水 200 kg
単位体積重量	0.5 kg/l		
エア量	70 %		
フロー値	23 ~ 24 cm		

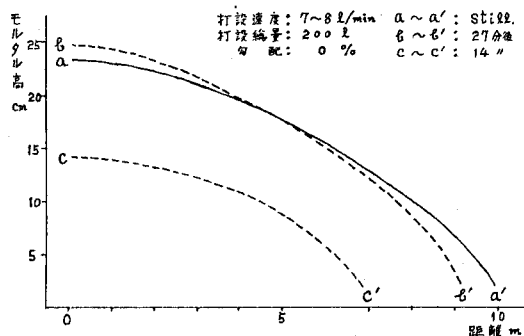


図-4. モルタル液面形状 I.

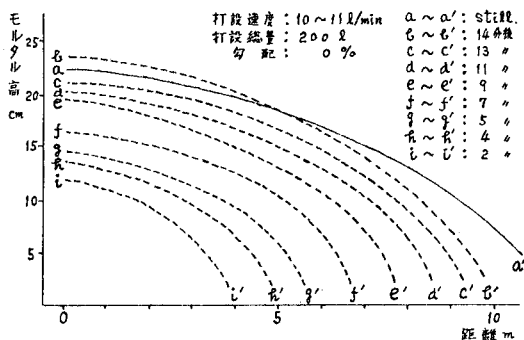


図-5. モルタル液面形状 II.

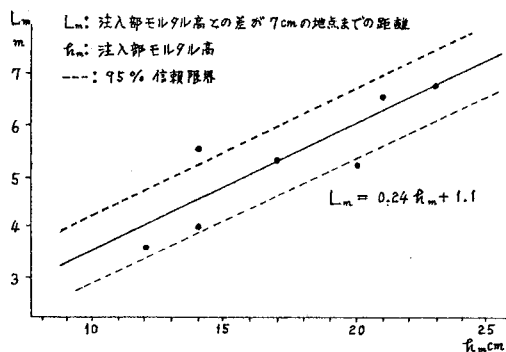


図-6. 充てん可能距離