

(V-43) ビンガム体と仮定したセメントペーストの流動解析

東海大学工学部 学生員 岡本 篤樹
東海大学工学部 正会員 笠井 哲郎
東海大学工学部 正会員 島崎 洋治

(1) 目的

コンクリートのポンプ圧送時における閉塞事故などをさけるために輸送管内におけるコンクリートの流動現象をシュミレートすることは工学的に重要な課題である⁽¹⁾。

本研究は、コンクリートの流動に大きな影響を与えるセメントペーストに着目して、有限要素法によりこの流動をシュミレートする。セメントペーストは均質な連続体として扱い、解析上ビンガム体と仮定しても非ビンガム流動を示すセメントペーストをシュミレートできることを示す。ここでは実験値と解析値を比較することにより、解析およびモデル定数決定法の有効性を検討する。

(2) 実験装置

図1はセメントペースト流動を測定する管式粘度計である。

①部分にセメントペーストを満たし④部分に流出する量を測定する。

(3) モデルの作成

ポアズイユの法則より流量 Q は式(1)のように表される。

$$Q = \frac{\pi \Delta P R^4}{8l\eta} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 R と l はそれぞれ図1の②部分の半径および長さで既知である。③部分での圧力 ΔP と流量 Q は測定できるので粘性係数 η は式(1)を変形した式(2)より求められる。

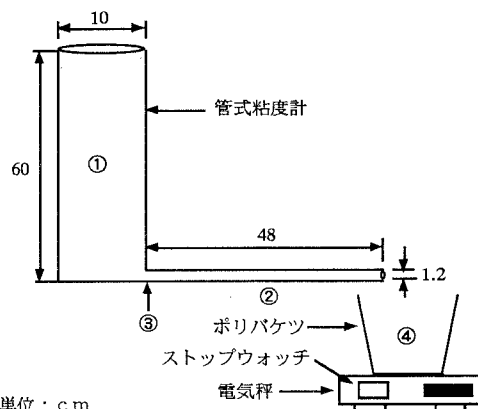
$$\eta = \frac{\Delta P R^4 \pi}{8lQ} \quad \dots \dots \dots (2)$$

次にモデルを作成するために、横軸を速度勾配 V 、縦軸をせん断応力 P として実験値をプロットすると図2のようになる、ここで

$$V = \frac{4Q}{R^3\pi}, \quad P = \frac{\Delta P R}{2l}$$

である。図2の直線①はビンガム流動をしていないときにプロットされた点から、直線②はビンガム流動としてプロットされた点から最小二乗法で求めた。2つの直線の傾きはそれぞれ異なる粘性係数になり、これらの交点の V 座標を $\dot{\gamma}_c$ とする。本研究においては、有限要素法で計算する場合、セメントペーストのモデルはビンガム体として表現し、 $\dot{\gamma}_c \geq V$ のときの粘性係数は η_r 、 $\dot{\gamma}_c \leq V$ のときの粘性係数は η_{pi} を用いる⁽²⁾。ここで、

Q : 流量 R : ②部分の半径 ΔP : ③部分での圧力
 l : ②部分の長さ τ_y : 降伏応力 $\dot{\gamma}_c$: 臨界速度勾配
 η_r : 降伏値内の粘性 η_{pi} : 可塑性粘性



単位: cm

図1 管式粘度計

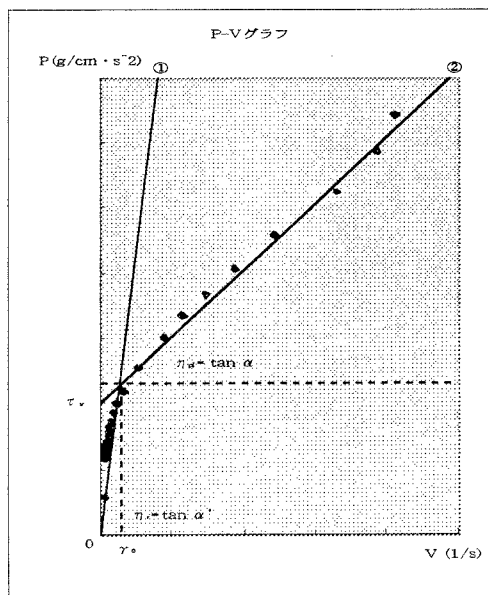


図2 セメントペーストのモデル

キーワード 有限要素法 ビンガム体 レオロジー

連絡先 (神奈川県平塚市北金目1117・電話 0463-58-1211・FAX 0463-50-2045)

(4) 有限要素法による数値計算

本研究において、有限要素法で計算する範囲を図1の②部分とする。実験より、図1の③部分の圧力が求まり、この圧力から③部分の速度分布が求まる。有限要素法における数値計算では、この速度分布を境界条件として計算する⁽³⁾。

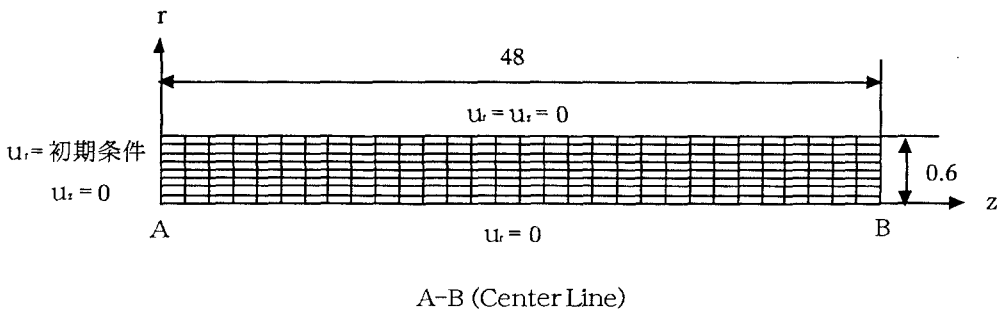


図3 有限要素法におけるメッシュ

(5) 実験結果と解析結果

表1が示すように、圧力において解析結果は実験結果に近い値が得られた。一方、流量では実験において図1の②部分におけるセメントペーストの壁面すべりが生じているため両者に誤差が生じたものと思われる。

表1 実験結果と解析結果

W/C	実験結果		解析結果		精度	
	ΔP	Q	ΔP	Q	ΔP	Q
60%	38038	37.2	37050	33.1	0.97	0.89
55%	58756	25.1	53770	20.3	0.92	0.81
50%	77889	15.9	78620	12.7	1.00	0.80
45%	97114	8.8	105600	6.8	1.08	0.77

(6) 結論

本研究では、非ビンガム流動を示すセメントペーストの広範囲なW/C（水セメント比）に適応できるレオロジー解析モデルとして、実験から得られたレオロジー定数を用いて作成されるモデルにおいて、有限要素法の計算上ビンガム体と仮定し、このモデルの流動をシュミレートした。本提案モデルでは、せん断応力が降伏値よりも小さい範囲の流動を取り扱うことができ、高流動コンクリート等の自己充填挙動の解析に有効であると思われる。また、ポンプ圧送時におけるテーパ部・バンド管部における圧力分布や速度分布なども計算することが可能になる。

<参考文献>

(1) 森永繁 (1971): "コンクリートポンプの管内圧送圧に関する研究", コンクリートジャーナル, Vol. 9, No. 7, July
(2) Bird, R.B, Armstrong, R.C. and Hassager, O. (1987): "Dynamics of polymeric liquids", Wiley-Interscience, 2nd edn.
(3) A. Okamoto, S. Hovanotayan, T. Kasai and Y. Shimazaki (1997): "The Analysis of Bingham Fluid Pressure in a Pipe", C.C.B.E, Vol. 3, pp 1537~ 1542.