

V-501

スランプフロー試験によるフレッシュ
コンクリートの降伏値評価法の提案

新日本製鐵(株) 正員 小門 武
京都大学工学部 正員 細田 尚

1. はじめに

コンクリート構造物の信頼性向上、施工の省力化・合理化などを目的として、水中不分離性コンクリートや高流動コンクリートなどの流動性に優れ、締固めが不要のコンクリートが開発され、実用化が進められている。これら高流動域で使用されるコンクリートの流動性を表わす指標として、スランプフロー値[1]が実験室、現場を問わず広く用いられている。

一方、コンクリートの流動挙動はビンガム流体、あるいは擬塑性流体としてのレオロジー特性を示すことが報告されている[2]。

本研究は、コンクリートの流動特性をビンガム流動、あるいは擬塑性流動として取り扱った場合の、スランプフロー値とレオロジー定数との関係について検討するものである。

2. 理論解析

ビンガム流体、および擬塑性流体の流動曲線は、それぞれ(1)式および(2)式で表わされる。

$$\text{ビンガム流体} \quad \tau = \tau_y + \eta_{pl} \cdot (\partial u / \partial y) \quad (1)$$

$$\text{擬塑性流体} \quad \tau = \tau_y + (\eta_{ppl} \cdot (\partial u / \partial y))^N \quad (2)$$

ここに、 τ_y ; 降伏値 ($\text{Pa} = \text{g/mm/s}^2$), η_{pl} ; 塑性粘度 ($\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{g/mm/s}$), η_{ppl} ; 擬塑性粘度 ($\text{g}^N/\text{mm}^N/\text{s}^{2N-1}$), N ; 擬塑性粘性指数 (無次元), y ; 底面からの高さ (mm), u ; 高さ y における流速 (mm/s), $\partial u / \partial y$; 速度勾配 ($1/\text{s}$)。

従って、コンクリートの流動挙動をビンガム流動、あるいは擬塑性流動と近似すれば、コンクリートの流れは、図-1が示すように、せん断応力 τ が降伏値 τ_y より大きくなる範囲 ($0 < y \leq H$) では流速 u で流動しており、 $H < y \leq h$ の範囲では、 $\partial u / \partial y = 0$ となり、一定速度 u_H で移動している (ここで、 h は流れの深さを、 H はせん断応力 τ が降伏値 τ_y と等しくなる底面からの高さを表わす)。

一方、流体の運動は一般に、連続の式、および運動方程式によって表わされる。これを、深さ方向に積分した形で円柱座標系で表わすと以下になる。但し、運動方程式(4)では粘性項を無視している。

連続の式 $\partial h / \partial t + (1/r) \cdot \partial (r u_r h) / \partial r = 0 \quad (3)$

$$\begin{aligned} \text{運動方程式} \quad & \partial (u_r h) / \partial t + (1/r) \cdot \partial (\beta u_r^2 h r) / \partial r \\ & = -g h \cdot \partial h / \partial r - \tau_{br} / \rho \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 h ; 流れの深さ (mm), t ; 時間 (s), r ; 半径方向の距離 (mm), u_r ; 深さ方向の平均流速 (mm/s), β ; 運動量係数 (無次元), ρ ; 流体の密度 (g/mm^3), g ; 重力加速度 (mm/s^2), τ_{br} ; 底面におけるせん断応力 ($\text{Pa} = \text{g/mm/s}^2$)。

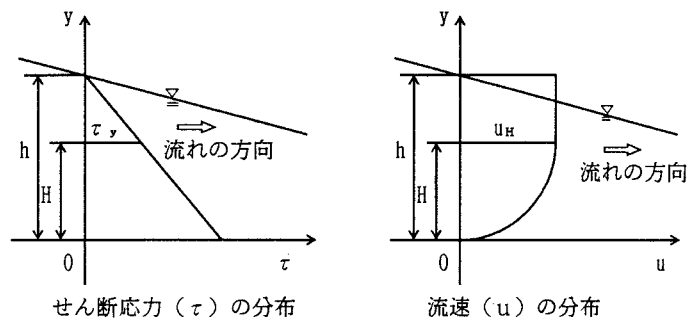


図-1 コンクリートの流れ (ビンガム流体と仮定した場合)

コンクリートが停止した状態に着目すると、コンクリートが流動後、停止した状態では $u_r = 0$, $\partial u_r / \partial t = 0$, $\partial u_r / \partial r = 0$ である。また、コンクリートが停止するのは、 $\tau_{br} = \tau_y$ となった状態である。従って、(4)式は、

$$-g h \cdot \partial h / \partial r - \tau_y / \rho = 0$$

両辺を r で積分し、 $r=L$ のとき $h=0$ (図-2参照) の条件を与えると、次の(5)式が導かれる。

$$h^2 / 2 = (\tau_y / \rho g) (L - r) \quad (5)$$

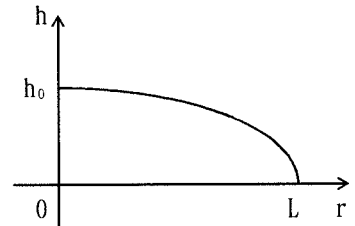


図-2 コンクリートの外形状

3. 考察

コンクリートの流れがビンガム流動、あるいは擬塑性流動として近似できるのであれば、(5)式より、スランプフロー試験によって広がったコンクリート(試験体と呼ぶ)の外形状は以下の特性・情報を与えることが示される。

- (1) 試験体の中央部から端部までの高さ分布は放物線を描く。
- (2) 試験体中央部の高さ h_0 と、中央部から端部までの距離 L を測定することにより、コンクリートの降伏値が求められる。

$$\tau_y = (\rho g / 2 L) h_0^2 \quad (6)$$

さらに、試験体の高さ分布は放物線を描くことから、 h_0 は試験体の容積 V と端部までの距離 L との関数として表わすことができる。

$$h_0 = 15 V / (8 \pi L^2) \quad (7)$$

従って、(6)式と(7)式より、コンクリートの

降伏値は、スランプフロー値 $Sf (=2L)$ と試験体の容積 V との関数によって表わすことができる。

$$\tau_y = 15^2 \rho g V^2 / (4 \pi^2 Sf^5) \quad (8)$$

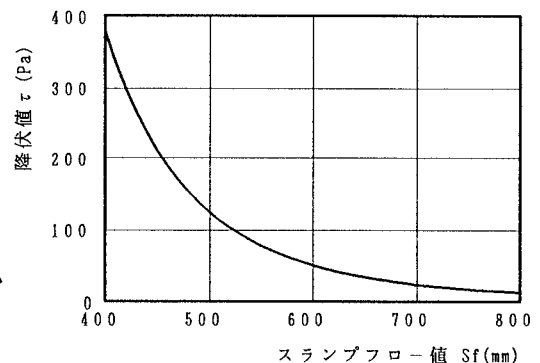


図-3 スランプフロー値と降伏値との関係

4. コンクリートのスランプフロー値と降伏値との関係

試験体の容積 V を JIS A 1101 に規定されるスランプコーンの容積 ($1.75 \pi \times 10^6 \text{ mm}^3$)、コンクリートの密度を $2.3 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ として(8)式に代入すると、コンクリートのスランプフロー値と降伏値との関係は図-3に示すようになる。

5. まとめ

コンクリートの流動挙動をビンガム流動、あるいは擬塑性流動として取り扱った場合の、スランプフロー値と降伏値との関係を理論解析により導いた。但し、(8)式は、コンクリートは流動途上で材料分離を起こすことなく一様に流動するとして導いていること、また、スランプコーンの形状、スランプ板の粗度とは関係なく求められることから、(8)式が適用可能なコンクリートの領域が存在するものと考えられる。今後、(8)式が適用可能なコンクリートの流動性や材料分離抵抗性の範囲を明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 土木学会：水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)、コンクリートライブラリー第67号、pp.72-73, 1991.5
- [2] 水口裕之：フレッシュコンクリートの流動特性に関する基礎的研究、京都大学博士論文、pp.38, pp107, 1984.2