

モルタルと粗骨材との相互作用レオロジーモデルのモルタル物性への適用性

高知工科大学 フェロー ○島 弘 学生会員 福岡紀枝

1. 目的

性能照査型設計においては、施工性予測のためにコンクリートの流動解析と共に材料分離解析が望まれる。そのためには、物理量で表した材料分離抵抗性と配合条件との関係を明らかにする必要がある。本研究は、降伏値や塑性粘度というモルタル自身の物性ではなく、モルタルと粗骨材の分離評価などに適用することを対象として、粗骨材とみなした球体とモルタルが相対移動する時のモルタルと球体間の相対変位と相互作用力との関係を表すレオロジーモデルを提案し、モデルと既往のモルタル自身のレオロジー特性との関係を考察する。

2. 現状と問題点

流体をビンガムモデルとした場合には、球に働く抵抗力 F は、式(1)で表わされる。

$$F = 12 \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \left(\alpha \tau_y + \frac{v}{D} \eta_{pl} \right) \quad (1)$$

ここで、 α は無次元の係数、 τ_y は降伏値、 η_{pl} は塑性粘度である。しかし、セメントペーストやモルタルは、チキソトロピー性によって、せん断ひずみ速度が連続的に変化する場合には、従来のビンガムモデルでは表わし得ないことが報告されている¹⁾。

せん断ひずみ速度を正負に連続的に変化させる試験としては、水口²⁾が二重円筒粘度計を用いた Raised Cosine Pluse 法によってフレッシュコンクリートの複素弾性率や動的粘性率を求めている。せん断ボックス試験においてもせん断ひずみが正負に繰り返されている³⁾が、いずれもモデル化はされていない。

3. 実験

実験は、図-1 に示すような装置を用いて、モルタル中で球の引上げ押込みを連続的に行い、球の変位に対する抵抗力を測定するものである。モルタルを直径 100mm で高さが 200mm の円筒容器に入れ、直径 3mm の鋼棒の先に付けた球に sin 波の強制変位を与えた。球は粗骨材を模擬したもので、表面は何の処理もしていない直径 20mm の鋼球を用いた。

4. 実験結果とモデル化

本研究では、応力を「相互作用力を球の投影面積で除したもの」、ひずみを「球から十分に離れた位置におけるモルタルと球との相対変位を球の直径で除したもの」と定義する。

振幅が 15mm における応力とひずみ速度の関係を図-2 に示す。この関係はビンガムモデルで表される完全塑性挙動ではなく、変位反転後は応力は降伏値に相当する値となるまでひずみに依存して徐々に大きくなっている。図-2 に示した周期における応力とひずみ速度との関係を図-3 に示す。履歴曲

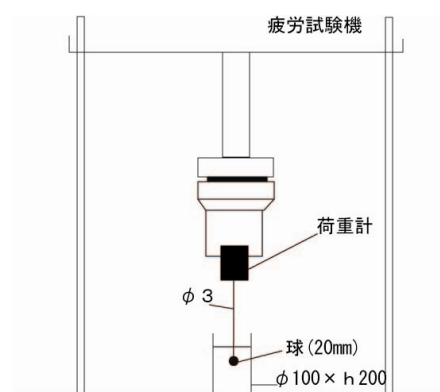


図-1 実験装置

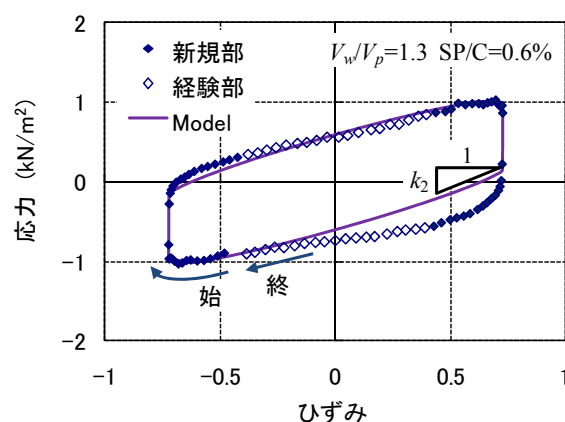


図-2 応力とひずみとの関係

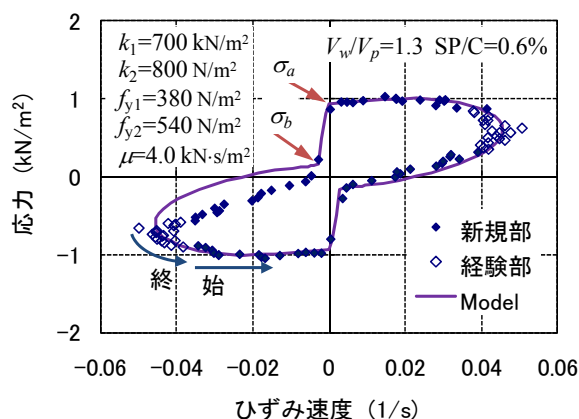


図-3 速度と応力との関係

線は繭形のようなループ形状となっている。

本研究では、応力-ひずみ曲線において、図-2に示すような変位反転後に応力がビンガムモデルの τ_y に相当する値となるまでの剛性低下を表すことのできるモデルを考えた。ビンガムモデルと本研究で用いたモデルを図-4に示す。本研究ではビンガムモデルのスライダーを二つに分けた。ひとつは強度 f_{y1} のスライダーである。二つ目は剛性 k_2 のバネを直列に繋いだ強度 f_{y2} のスライダーである。また、応力緩和や変位反転時に生じる瞬間的なひずみ回復を表すために、剛性が大きいバネ k_1 を直列に加えた。

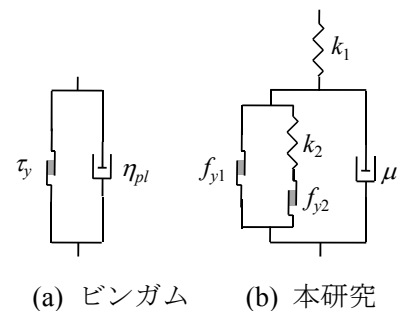


図-4 レオロジーモデル

5. モルタルのレオロジー特性との関係

本研究と同様なモルタルに正負の変位を与えるレオロジー試験をシミュレートしてみた。水口²⁾は、二重円筒粘度計を用いて、外円筒に $a(1-\cos\omega t)$ という強制変位与えた時の内円筒の応答を測定している。この場合、外円筒変位と内円筒の応答との関係は、図-5に示すように、応答は正負で非対称となる。本研究のモデルおよびビンガムモデルを正負に適用したものによる球の変位と応答の計算結果を図-6および図-7に示す。図-6は、球の変位としてひずみを縦軸に取り、応力は応答値を最大応答で除して無次元化したもので表わしている。図中にはビンガムモデルによる応答も示した。これらの図から、ビンガムモデルでは正負対称となって実際と異なるが、本研究のモデルを用いると実際に近い応答曲線を得ることができることが分かる。なお、変位終了後の応力緩和は、 k_1 を小さくすると実験結果の形に近づくようになる。すなわち、本研究で提案するレオロジーモデルの構成は、セメントペーストやモルタル自身のレオロジー評価に適用できるものと思われる。

6. 結論

- (1) モルタルと球との相互作用はビンガムモデルでは表せない。
- (2) モルタルと球との相互作用を表す非ビンガムの新しいレオロジーモデルの構成を提案した。
- (3) 本モデルの構成は、正負の連続ひずみを受けるモルタル自身の挙動にも適用できる。

参考文献

- 1) 三島直生, 大村修太郎, 畑中重光: 回転粘度計を用いたフレッシュモルタルのダイラタンシー特性の評価手法に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, Vol.74, No.640, pp.981-986, 2009.6
- 2) 水口裕之: フレッシュモルタル・コンクリートの性質の経時変化に関する一実験, 第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp.221-224, 1981
- 3) 寺田謙一, 谷川恭雄, 森 博嗣, 黒川善幸, 三島直生: フレッシュコンクリートのレオロジー性質に及ぼすせん断層厚さおよび粗骨材要因の影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.513, pp.15-22, 1998.11

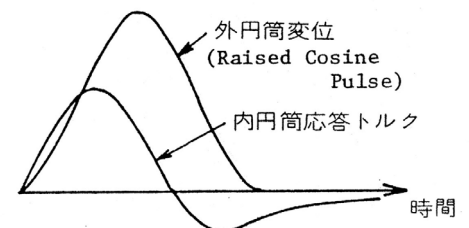


図-5 二重円筒粘度計における外円筒変位と内円筒応答トルクとの関係²⁾

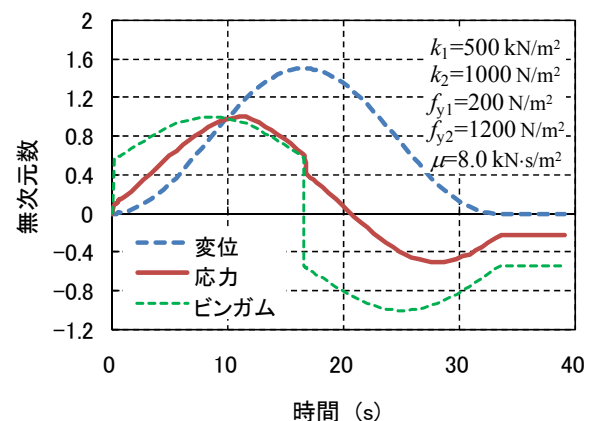


図-6 球の変位と応答応力の経時変化

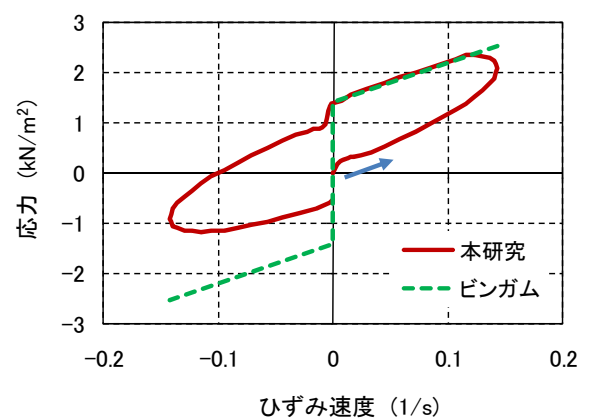


図-7 球のひずみ速度と応力の履歴曲線