$\frac{\pi}{6}$

流体のときには些細な変更がある。つまり，変位は速度に，せん断弾性率は粘性になる。とにかく，(6.21) は流体の粘性であろうと，弾性体のせん断弾性率であろうと $c_{\mathrm{MAX}} = \pi/16$ の状況で，用いることができる。Frankel と Acrivos[2.18] は違うセル配置を考えていることも紹介しておく。

(6.21) の利用方法については次の節で紹介しよう。

## 2.7　本章についての考察

前節までに球状介在物によって強化された複合材料の解析モデルについて説明した。見てきたように複合材球モデルだけがすべての体積含有率 $(0 \leq c \leq 1)$ に用いることのできるモデルである。ただし，異なるサイズの球状介在物が分布する場合にのみ用いることができる。他のケースはどうであろう。たとえば，すべてが単一寸法の球の場合などである。もちろん利用可能である体積含有率が極端に高くない限り，利用可能である。また，図 2.4 に示されるように，$c = 0.45$ や 0.50 といった体積含有率でも使用可能である。これはほんの少しだけ，最充填時から低いだけであることは大変興味深い。しかしながら，適用限界を明示することができないのが現状である。というのも，体積含有率だけでなく，それぞれの物性にも依存するからである。それにもかかわらず，複合材球モデルは実用的なのである。

必ずしもきれいな球形でなくてもよいことを言及しておきたい。ただし，変な形状でなければの前提付きではあるが。これは応力とひずみの平均値で議論しているので，形状よりも体積含有率に敏感であることによって生じている。もちろん，適用限界はあると思われる。

また，現状ではすべて網羅できる単一寸法の解は存在しない。前節では，等価せん断弾性率 (6.21) を求めた。(6.21) は弾性体にも流体にも適用できる。

Krieger[2.22] によって，剛体介在物の含む流体では厳格な検証が可能である。図 **2.7** に比較結果を載せた。(6.21) において $c_{\mathrm{MAX}} = \pi/6$ とした。非常によく合っている。ただし，この近似解 (6.21) は $c \to c_{\mathrm{MAX}}$ のときにだけ意味があることに注意が必要である。それ以外の領域では合わないかもしれない。

図 2.7 をすべての領域で予測可能なものはないのであろうか。経験則はありうるかもしれない。次のようなものを考えてみよう。

$$\frac{\mu}{\mu_m} = \frac{2+c}{2(1-2c)} \tag{7.1}$$

これは正方配列にて実際に現れる $c = 0.5$ にて粘性が無限大になる。また，体積含有率が低いときには Einstein の式になる。この式は予測には役に立つかもしれない。しかしながら，物理的な意味となる裏付けがないので，利用は慎重にすべきである。

最後に，粘性流体を考えるうえでの問題点について考えてみよう。ここまででは固体と流体の問題が同一の式で扱えることを前提として議論してきた。固体においては微小変形に基づく線形弾性論であることを前提に議論を進めてきたことに留意が必要である。同様の留意点が流体にもある。その他には，流体においては介在物の位置が一定ではないことがある。つまり，介在物が流れていることがある。このことを Batchelor と Green[2.23] は注意深く検討した。彼らはそ