

京都大学 正員 丹羽義次
正員 小林昭一
大成建設 正員 〇大本俊考

はじめに

金属・岩・コンクリートなどは、いわゆる複合材料 (composite material), あるいは、多相材料 (multi-phase material) と考えられる。これら多相材料の研究は他の力学分野に較べて非常に遅れている。連続体力学, 実験等による研究もまた成果を上げていない。これに対し, 最近盛んになつてきたものに, 統計的手法を用いた数値解析がある。しかしこれらも手法の提案程度に終っている。また非線形材料に対する研究は殆んど皆無である。筆者らは上述の手法を応用・拡張し, 多相モデルのうち最も単純かつ重要な 2 相モデルを対象に数値実験を行つた。

研究目的

- (1) インクルージョンの大きさが材料全体の大きさに対してどの程度であれば, 材料を均質とみることが出来るか。
- (2) 有効弾性係数は体積比率によってどのように表現されるか。
- (3) 非線形材料の一つの典型である完全弾塑性体をインクルージョンとして含む材料の構成関係はどのように表現されるか。

解析法

解析には有限要素法を用い, 乱数発生によって各要素に 2 種の材料特性を割り当てる。乱数発生初期値を変えることによっていくつもの Sample が得られる。モデルは正方形板で 400 要素に分割し, 荷重条件として端面に変位境界条件を与えた。ただし端面摩擦はないものとする。

研究目的 (1) のために数個の要素を 1 つの単位として同一のヤング率を与える。1 単位の大きさが全体の大きさに対して $1/400$ (Model 1), $1/100$ (Model 2, 3), $1/25$ (Model 3) の各場合について解析した。

研究目的 (2) には Model 1 を用い, インクルージョンの体積比率を $0 \sim 1$ まで変える比率で 20 の Sample をとった。

研究目的 (3) には Model 1 を用い, 降伏条件として Von Mises, Drucker-Prager を用いた。インクルージョンは完全弾塑性体ではあるが, 数値計算上塑性硬化率を $1/100 E$ とした。

解析結果および結論

結果の一例を示すと Fig. 1, Fig. 2 のようになる。Fig. 1 は有効弾性係数であり, Fig. 2 は目的 (3) の応力-歪関係を示している。

結果の考察から次のような結論が得られた。

- (1) インクルージョンの大きさが材料全体の大きさの $1/100$ 以下では、その材料と統計的に均質と考えてよい。
- (2) 二相モデルの有効弾性係数は体積比率だけで表わされる。Fig. 3 STEP 1 のようなモデル (Model II と呼ぶ) を導入すると有効弾性係数 E は次のように表わされる。

$$E = \alpha (E_1 v_1 + E_2 v_2) + (1 - \alpha) \frac{1}{\frac{v_1}{E_1} + \frac{v_2}{E_2}} \quad \dots (1)$$

ここで α は解析結果より $E_2/E_1 \leq 10$ では次のように与えられることが明らかにた。

$$\alpha = (0.655 - 0.418 \log m) + (0.035 + 0.820 \log m) v_2, \quad E_2/E_1 = m \quad \dots (2)$$

- (3) インクルージョンと完全弾塑性体を含む二相モデルに対して Model II による解析と拡張して構成関係を表現することが出来る。塑性過程を Fig. 3 のように3つの線形段階を表わすと系全体の応力-歪関係は次のようになる。

STEP 1 $\sigma = E' \varepsilon$, E' は式 (1), (2) で与えられる。... (3) | これによつて応力-歪

STEP 2 $d\sigma = E'' d\varepsilon$, $E'' = \alpha (E_1 v_1 + E_2 v_2)$... (4) | 関係は3つの直線部分

STEP 3 $d\sigma = E''' d\varepsilon$, $E''' = \alpha v_2 E_2$... (5) | から成る Tri-linear line

が表現される。これを Fig. 2 に破線を示した。この図から分かるように、インクルージョンと完全弾塑性体を含む二相材料の応力-歪関係は Tri-linear line で充分近似出来る。

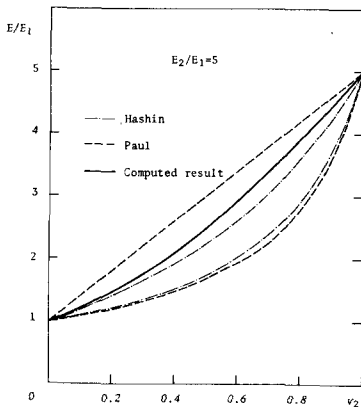


Fig. 1 Theoretical bounds and results of this investigation for Young's modulus of two-phase material, $m = 5$.

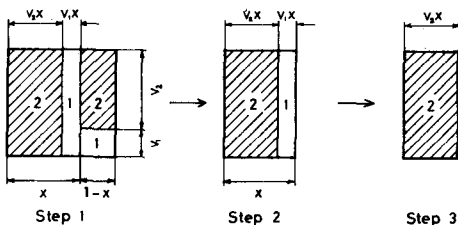


Fig. 3 Process of yielding.

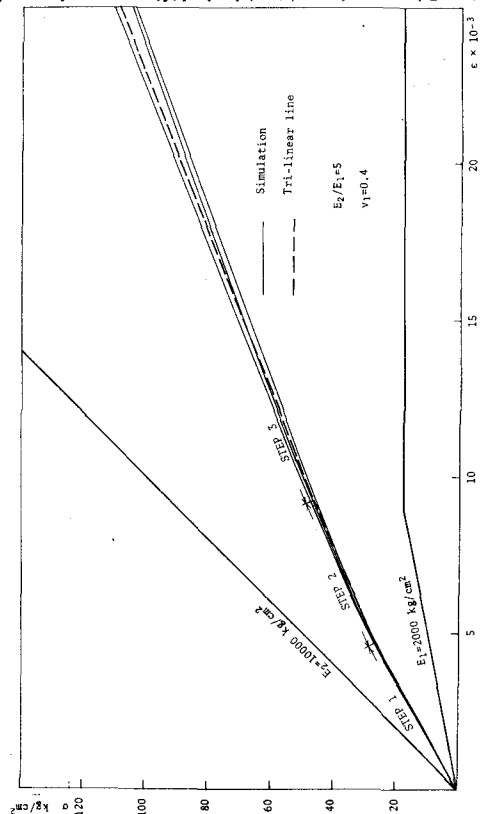


Fig. 2 Effective strain - stress relation, Model I, $v_1 = 0.4$.