

Ⅲ-42

各種材料の応力-ひずみ曲線の軟化シミュレーション

東北大学 ○学生会員 河又洋介

正会員 池田清宏

正会員 柳沢栄司

1. はじめに

土、コンクリート、鋼材等各種土木材料のせん断時変形挙動や耐荷性状は、要素試験により実験的に求められているが、得られた結果は定量的にのみ評価されがちである。一方、粒状体の滑り線形成に関する広範な研究より、破壊のメカニズムが分岐現象によって支配されていることが明らかになっている。池田ら(1,2)は初期不整が十分小さい場合、初期不整の影響は分岐方程式によって記述することが可能であるとし、実験や解析結果に基づいてパラメータを決めることにより、応力-ひずみ曲線を近似する漸近近似則を提案している。本研究は池田ら(2)の理論をモルタルを主とした各種土木材料のせん断試験に適用することにより、耐荷力が分岐現象によってどの程度支配されているかを調べることを目的としている。

2. 分岐理論

分岐現象が生じている応力-ひずみ曲線の一例を図.1に示す。実際の現象はなんらかの初期不整を含む不完全系となっており、完全系からのずれ量を初期不整変数 ε の関数を用いて表す。初期不整変数 ε は供試体形状の狂い、材料の不均質さ、境界面の不平等の種々の影響を考え合わせた一次元量である。分岐現象に支配されている釣り合い経路（応力-ひずみ曲線）は、分岐方程式によって表される(1)。分岐方程式を展開すると次の関係式(2.1)が求まる。

$$\delta u_{\delta P_c, \delta P_c=0} \propto \delta P_c \quad (2.1)$$

ここで、 δu は完全系の分岐点と実験曲線と直線の交点の変位

座標の差で、 δP_c は完全系の分岐荷重と実験曲線のピーク荷重の差である。この比例関係は、耐荷力が分岐によって支配されている傾向が強いほどよい相関が得られる。

(2.1)式を実験曲線に適用するためには、完全系の分岐荷重 P_c^0 を求める必要がある。池田ら(1)は、初期不整変数 ε の値が正規分布に従うと仮定した場合の耐荷力の確率密度関数を用いることにより、分岐荷重を推定する式、

$$E[P_c] = P_c^0 - 1.13C_0\sigma^{2/3}, Var[P_c] = (0.409C_0\sigma^{2/3})^2 \quad (2.2)$$

を提案している。ここで、 $E[P_c]$ は標本平均、 $Var[P_c]$ は標本分散である。

3. 解析結果と考察

3.1 モルタル

水セメント比のみを26%、35%、62%に変え、その他の配合が同一なものを対象にしている。最大耐荷力を示す点（以下ピーク点と呼ぶ）を図.2にプロットする。耐荷力が分岐によって支配されている場合、ピーク点は図.1で示したように分布する。図.2より水セメント比が26%のモルタルは、耐荷力が分岐によって支配されていないことがわかる。その他の2ケースもピーク点が左右に広がっており、図.1の様な明確な直線関係はない。そこでいくつかのグループに分け、(2.1)式の関係があるかどうかを調べたものを図.3に示す。このグループ分けはモードスイッチング(3)に相当するものと考えられている。初期不整感度則を適用して比較的よい相関が得られたグループに対し、漸近近似則を適用してシミュレーションした応力-ひずみ曲線を図.4に示す。以上のことからモルタルは、水セメント比が高いほど耐荷力が分岐によって支配され、同配合であっても複数のモードが検出されることが分かる。

3.2 砂及び鋼材

砂の三軸せん断試験、鋼材の引張試験の応力-ひずみ曲線を、漸近近似則によってシミュレーションしたものを図.5に示す。図より、砂や鋼材にも分岐理論によるシミュレーションが適用できることが分かる。

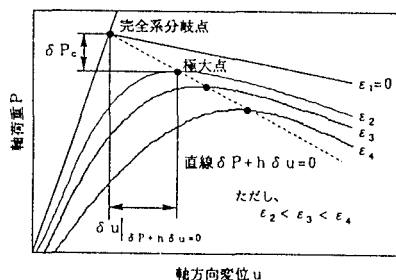
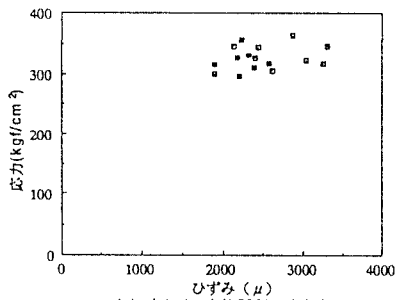
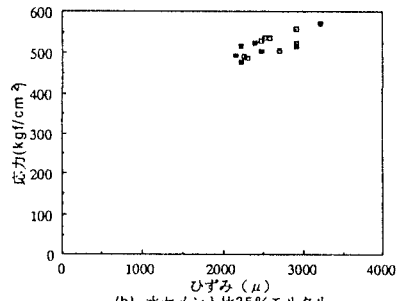


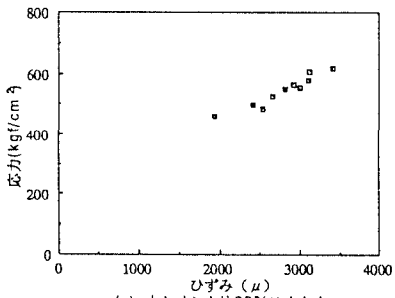
図.1 分岐現象の概略図



(a) 水セメント比62%モルタル

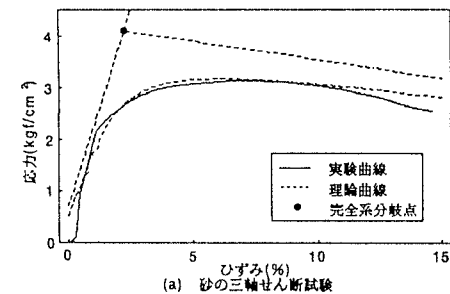


(b) 水セメント比35%モルタル

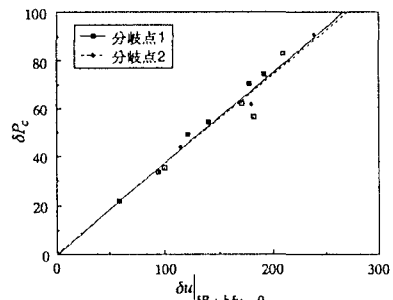


(c) 水セメント比26%モルタル

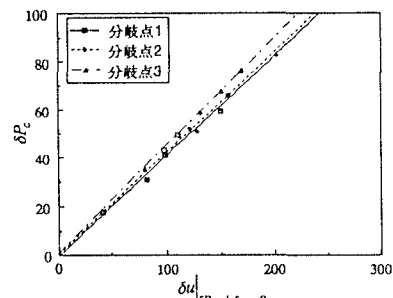
図2 ピーク点分布



(a) 砂の三軸せん断試験



(a) 水セメント比62%モルタル



(b) 水セメント比35%モルタル

図3 $\Delta P_c - \Delta u$ 関係

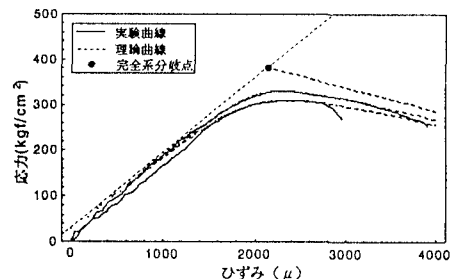
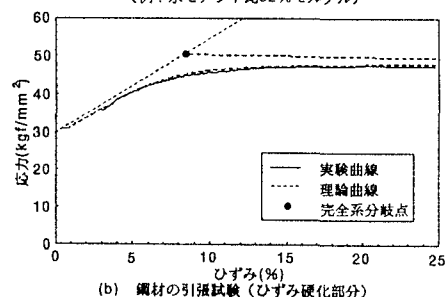


図4 応力-ひずみ曲線のシミュレーション
(例: 水セメント比62%モルタル)



(b) 鋼材の引張試験 (ひずみ硬化部分)

図5 砂及び鋼材の応力-ひずみ曲線のシミュレーション

【謝辞】

この研究を行うにあたり前田記念工学振興財団の、また長岡技術科学大学の長谷川正人氏には実験上の御協力をいただきましたことを心から感謝いたします。

【参考文献】

- (1)池田清宏、室田一雄、丸山久一、柳沢栄司：材料の強度変動の統計理論、構造工学論文集Vol.41A,1995
- (2)Ikeda K.,Chida T.,and Yanagisawa E.:Imperfection Sensitive Strength Variation of Soil Specimens,Preprint,1996
- (3)Ikeda K.,Murota K.,and Yanagisawa E.:Mode Switching in Sand Shearing Behavior,Preprint,1996