

粒子破碎がせん断強度に及ぼす影響の評価について

九州大学工学部 正 員 平田登基男

1. はじめに

最近粒子破碎に関連した研究が多く見られるようになった。以前は粒子破碎そのものに焦点を置いた研究が多かったが、最近では圧縮特性やせん断特性などの力学特性に及ぼす影響について論じられるようになり、その研究領域もかなりな広がりを見せている。また対象とする研究材料も砂、ロック材、まき土から、もうい材料としてしらす、スラグ、コークス、活性炭、火山灰土と多くの分野にわたっている。それらの研究によって、粒子破碎に関することからが少しずつ明らかにされてきている。ここではこれらの研究成果に基づいて比較検討を行ない問題点の整理を試みたのでここに報告する。

2. 粒子破碎を表わす指標について

粒子破碎を量的に表現しようという試みは多くの人々によってなされている。それらのどの研究も粒径過積曲線の変化に着目しているかあるいは関連性がある。福本はそれらを粒子破碎の程度を示す指標として整理している。その指標について要約すると次のようである。①粒径加積曲線上の点の移動に基づくもの、②粒径加積曲線間の面積に基づくもの、③均等係数 U に基づくもの、④残留率の差の絶対値の和に基づくもの、⑤粒子表面積 S に基づくもの、⑥粗粒率に基づくもの、⑦その他、いずれも個々の使用目的に応じて考え出されたものであり、それなりの長所を持っているが、破碎性材料一般に広く使用されるものはまだなく、今後関連機関での検討が進められ、普偏性の高い粒子破碎の指標の決定が望まれる。先の指標の中で、ロック材については④の方が、砂やまき土については⑤の方法がよく用いられているようである。⑦の中で、着色による、破碎後の粒子の動きを把握しようとした赤司らの研究は実際に破碎が生じている量は④で求めた値の約2倍であることをロック材料を用いて明らかにしたが、粒子破碎の程度を粒径過積曲線の変化に基づいて示している現在の多くの指標の問題点を指摘したものとして留意されるべきであろう。

3. 偏差応力～軸ひずみ曲線

粒子破碎が偏差応力～軸ひずみ曲線へ及ぼす影響については、粒子破碎によって偏差応力が小さくなることを、多くの研究者が指摘するところである。その時、ダイレイタンスもまた低く抑えられる。福本³⁾は粒子破碎によって破壊時の軸ひずみが増大する傾向を示すことを見出している。筆者は軸ひずみが大きい領域では粒子破碎により密度増加が生じ、逆に軸差応力は小さくなることを明らかにした。すなわち破碎性材料の偏差応力～軸ひずみ曲線は粒子破碎の影響により軸ひずみの小さいところでは粒子強度が小さく、粒子破碎の大きいものが偏差応力は小さいが、軸ひずみの大きいところでは粒子破碎による密度増加により、粒子破碎の大きいものが偏差応力は大きくなる。福本はTaylor-Bishopのエネルギー補正式を発展させて粒子破碎による、ダイレイタンスの影響を考慮した偏差応力の補正式(1)を提案した。

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 - \sigma_3)_r + \sigma_3 \frac{d(\frac{\sigma_1}{\sigma_3})_0}{d\varepsilon_1} - \sigma_3 \frac{d(\frac{\sigma_1}{\sigma_3})_c}{d\varepsilon_1} \quad (1)$$

ここに $\sigma_3 \frac{d(\frac{\sigma_1}{\sigma_3})_0}{d\varepsilon_1}$: 無破碎状態におけるエネルギー補正項

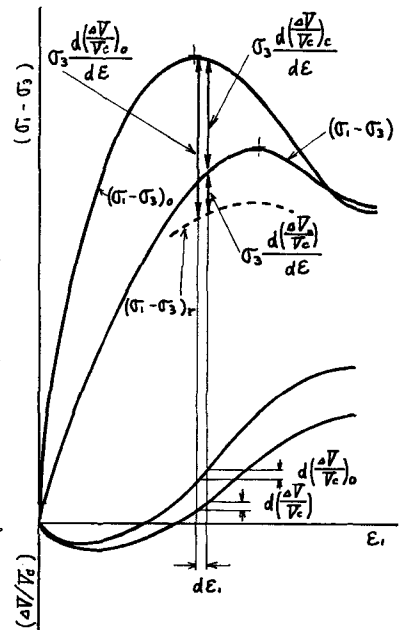


図-1 粒子破碎を考慮したダイレイタンス補正

$$\sigma_3 \frac{d(\frac{\Delta V}{V_0})}{d\epsilon} : \text{粒子破碎による体積減少分に相当するエネルギー補正項}$$

(図-1参照)

4. 降伏曲線および破壊規準について

粒子破碎がせん断強度に影響を及ぼすであろうことはかなり以前から指摘されていた。しかしその程度についてはまだ不明な点が多く、粒子破碎の影響がある時には過大にまたある時には過小に評価され、正しく評価されていなかった。最近の粒子破碎に関する研究によって粒子破碎の影響が正しく評価されてきつつある。図-2には σ - ϵ 座標上での密詰め、緩詰めの場合の破壊規準線の特徴を模式的に描いたもので、図-3には p - q 座標上に降伏曲線群を描いたものである。図-2の低い拘束圧域では密詰めが緩詰めよりも上方により凸な形を示し、高い拘束圧域では密詰め、緩詰めとも一つの破壊規準線で整理されるようである。三浦¹⁾は独自の手法で求めた降伏点を用い、降伏曲線が、圧縮、伸長の両方で $d\epsilon/dp = G(\eta)$ で示されることを明らかにした。神谷は拘束圧(σ_3)が大きくなるにしたがって $\eta (=p/q)$ が小さくなるがそれは粒子破碎によるものだとしている。その実験結果にもとづいて図-3に η の動きを示した。一つの降伏曲線上で拘束圧が大きくなると破壊時(降伏時)の η の値は小さくなることわかる。図-1, 2, 3, 4によると破砕性材料がいくつかの点で粘性土の力学特性と類似しており、そのことを指摘する研究者も多い。破砕性材料が粘性土の既知の諸特性と類似する点、また類似しない点を見極めていくことも非常に重要であると思われる。

5. $e \sim \log p$ 曲線

粘土が圧密試験によって圧密降伏応力が求められると同じく、破砕性材料も圧縮試験によって図-4に示されるような曲線形状が得られる。粘土の圧密降伏応力に対応する点として粒子破碎が急激に生じ始める第1の変曲点が現われる。同じような変曲点が高压の領域にも現われるが、この第2の変曲点は粒子破碎が生じても間隙比の変化があまり見られない、粒子破碎が生じにくくなった点としてとらえられるものである。第2の変曲点についてはもう少しデータの蓄積が必要と考えられる。

6. おまけ

せん断強度に粒子破碎が及ぼす影響については図-1, 2, 3, 4から検討していく必要があるが、詳細については当日報告する予定である。

<参考文献> (1) 三浦・山本, 第16回土質工学研究発表会, PP.513-516. (2) 安東, 第16回土質工学研究発表会 PP.529-532. (3) 福本, 第17回土質工学研究発表会 PP.469-472. (4) 福本, 土と基73号, Vol.29, No.12, PP.64-65.

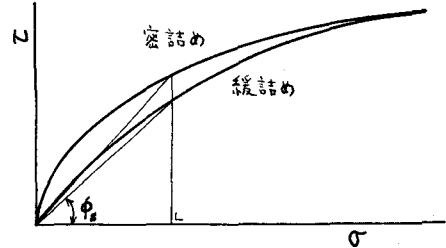


図-2 σ - ϵ 座標上の破壊規準線

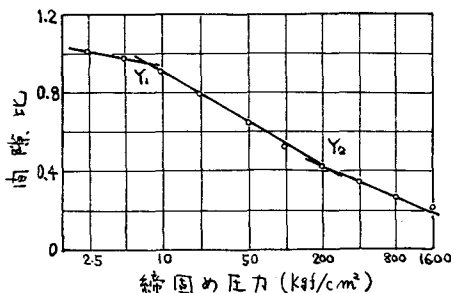


図-4 静的締固め圧力 $\sim$ 間隙比曲線(南5, 1980)

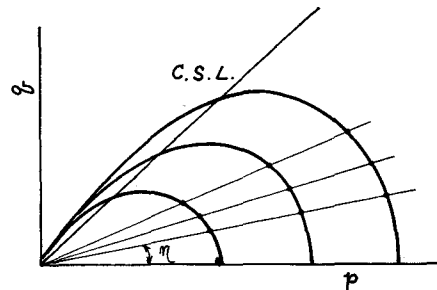


図-3 p - q 座標上の降伏曲線群