# III－3　土の強度におよぼす荷重速度の影響。

東大工学部　正員　石原研而。

或る種の土や,コンクリート,アスファルト等は,荷重を急速に加えた場合には,静荷重の場合より強度が増大すると,一般に云われている。又弾性常数も一般に急速載荷の場合には,大きくなることが知られている。Seed[1]は,しまった土では,急激に荷重を加えると,dilatancyで体積が膨脹するが,その際,排水が追いつかないのでNegative pore Pressureが生じ,それが側圧を増加させるような効果を発揮して,強度が増加する,と説明している。又Whitman[2]は,供試体の側面のふくらみを妨げるような慣性力が無視できず,それがあたかも側圧を加えたような効果をもつために,強度がふえると説明している。締固めた土などでは,チクソトロピーの作用で時間と共に材料そのものが固化して,静荷重の時の方が,強度が大きくなることもある。しかしこれらの諸効果を,できるだけ少なくしたテストを行っても,依然として,急速載荷の時には強度が増大することが認められている。これらの影響を全部除外した,荷重速度によってのみ生ずる,材料の変形および強度特性は,線型粘弾性論を用いて,その特徴を,うまく説明できるようである。以下,材料の変形特性は,図Iのような一般化されたVoigtモデルで表現できると仮定する。急速載荷を規定するものとしては,荷重速度を採用してもよいし,荷重を加えはじめてから,破かいに到るまでの載荷時間を考えてもよい。一定速度で荷重を加えた時の応力－歪－時間関係式は,図Iのモデルに対しては,

$$\epsilon = \left[ \frac{1}{2\mu_0} + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2\mu_i} \left\{ 1 - \frac{\tau_i}{t}\left(1 - e^{-t/\tau_i}\right) \right\} \right] \sigma \quad \cdots\cdots (1)$$

によって与えられる。こゝで,$\mu_0$は載荷時間$\tau_1$以下の時の弾性常数である。又$\mu_i$はshear modulus,$\tau_i$は$i$番目の要素のretardation timeである。(1)は一軸圧縮の場合に成立し,かつ,非圧縮的な変形であると仮定してある。こゝでM. Reiner[3]によって提案された,粘弾性体に対する破かい論を適用してみる。"固体変形は弾性変形と粘性流動を伴い,変形仕事はこの二種の変形に費される。弾性変形によるエネルギーは,ポテンシヤルとして系内にたくわえられ,粘性流動のエネルギーは,熱として消費されてしまう。そして弾性変形のエネルギーが,或る限界値Rに達した時に始めて破かいが生ずる。"というのがReinerの考えである。$i$－要素の歪みを$\epsilon_i$とすると,そのスプリングに伝えられる力は,

$$\sigma_i = 2\mu_i \epsilon_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

である。従ってこのスプリングにたくわえられるエネルギーは,

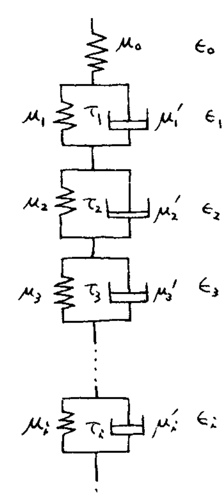
$$W_i = \epsilon_i \sigma_i / 2 = \mu_i \epsilon_i^2 \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

となる。故に,全体のスプリングにたくわえられるエネルギーは,

$$W = \sum_{i=1}^{n} \mu_i \epsilon_i^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

となる。(1)を(4)に用いると,

$$W = \frac{\sigma^2}{4}\left[ \frac{1}{\mu_0} + \frac{1}{\mu_1}\left\{1 - \frac{\tau_1}{t}\left(1 - e^{-t/\tau_1}\right)\right\}^2 + \frac{1}{\mu_2}\left\{1 - \frac{\tau_2}{t}\left(1 - e^{-t/\tau_2}\right)\right\}^2 + \cdots\cdots \right] \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$




図I　一般化されたVoigtモデル。

荷重速度を$\sigma_1$とすると，$\sigma=\sigma_1 t$ であるから，これを(5)に代入して，

$$t=\frac{2\sqrt{R}}{\sigma_1}\frac{1}{\sqrt{1/\mu_0+\frac{1}{\mu_1}\left\{1-\frac{\tau_1}{t}\left(1-e^{-t/\tau_1}\right)\right\}^2+\frac{1}{\mu_2}\left\{1-\frac{\tau_2}{t}\left(1-e^{-t/\tau_2}\right)\right\}^2+\cdots\cdots}} \quad \cdots\cdots (6).$$

破かい時の変形エネルギーRが求まれば，与えられた荷重速度$\sigma_1$に対して，(6)式より破かいに到る時間を求めることができる。(6)は$t$に関してexplicitな形でないからtrialで$t$を求めねばならない。又$\mu_0$, $\mu_i$, $\tau_i$ 等は変形特性を表わすクリープカーブから適当な値を前もって求めておかねばならない。$1/\mu_i\left\{1-\frac{\tau_i}{t}\left(1-e^{-t/\tau_i}\right)\right\}^2$なる値は，与えられた$\tau_i$に比べて$t$が大きいと$1/\mu_i$に等しく，$t$が小さいと0になるから，実際の計算では1項だけ生かしておけば充分な精度がえられる。とにかく(6)式によって$t$を求めれば，強度は

$$\sigma=\sigma_1 t \quad \cdots\cdots (7)$$

によって与えられることになる。

Casagrande & Shannon[4]および河上房義[5]氏は数多くのTransient Testを行ったが，それらのdataを用いて上式から破かい強度を計算してみることにする。Transient Testの中で最小の載荷時間でえられた破かい強度とその時の弾性常数$\mu_0$を用いて，まず$R$の値を求める。次に，2番目に小さい載荷時間でテストを行った応力ー歪曲線を解析して$\mu_1$, $\tau_1$の値を求める。次に，小さい方から3番目の載荷時間でえられた応力ー歪曲線を解析して$\mu_2$, $\tau_2$を求める。同様の手順を繰り返して$\mu_i$, $\tau_i$を次々に求めることができる。このようにして求めた$R$と$\mu_i$, $\tau_i$を用いて，与えられた$\sigma_1$の時の破かい強度を求めるのである。その結果が図2，　に示されている。載荷時間と共に破かい強度が減少する現象を，粘弾性論を用いて或る程度説明できることが，図から明らかになるであろう。計算値と実験値に多少くいちがいがあるのは，変形エネルギーを一定と仮定したことにもよるが，土の場合実験でどの応力を破かい強度とみなすか，という判定が仲々困難であることにもよる。

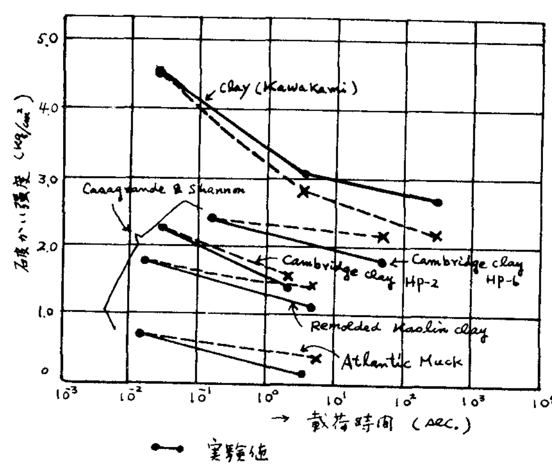



図2. 載荷時間と破かい強度の関係。

参考文献


(1) H.B. Seed & R. Lundgren ; Proc. A.S.T.M. Vol.54, (1954)

(2) R.V. Whitman & K.A. Healy ; Proc. A.S.C.E. SM2. (1962)

(3) M. Reiner ; J. Mech. Phys. Solids. Vol.8 No.4 (1960)

(4) Casagrande & Shannon ; Harvard Univ. Pub. from Graduate Sch. of Engrg. (1947~1948)

(5) F. Kawakami ; Soil and Foundation Vol.1 No.2 (1960)