

Ⅲ-38 振動圧を受けた砂の挙動について

京都大学防災研究所 正員 村山 朔郎
京都大学大学院 ○学生員 石崎 肇士

一般に土の力学性を解明するには平均主応力(σ_m)による影響と、主応力差($\sigma_1 - \sigma_3$)による影響を個別に取出して究明すること望ましい。振動時の砂の力学性を調べるに当たって、常にこの条件を満たすようにするため、ここでは新たな機構の振動≡軸圧縮試験機を試作⁽¹⁾。次の二種の実験をした。なお、実験中電氣的に記録された軸圧および側圧の圧力波型例を図-1に示す。実験に用いた試料は石英質細砂で、均等係数1.35、比重2.63であり、これを約3.5^{cm}径、初6.5^{cm}高に完全飽和でセットした。実験はすべて排水試験である。

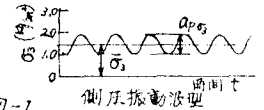
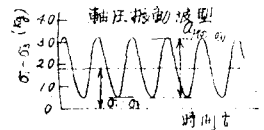
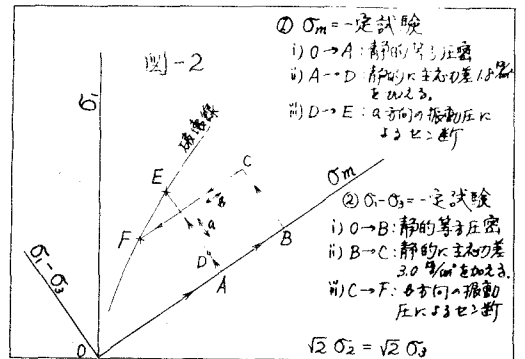


図-1 側圧振動波型
 σ_m 一定試験圧力波型例



① σ_m 一定試験
1) 0→A: 静的等圧圧密
2) A→D: $\Delta p(\sigma_1 - \sigma_3)$ に主応力差を加える。
3) D→E: a方向の振動圧によるセリ断
② $\sigma_1 - \sigma_3$ 一定試験
1) 0→B: 静的等圧圧密
2) B→C: 静的に主応力差3.0 kg/cm²を加える。
3) C→F: a方向の振動圧によるセリ断
 $\sqrt{2} \sigma_2 = \sqrt{2} \sigma_3$



(I) $\sigma_m = 2.0$ 一定で、 $\sigma_1 - \sigma_3$ を振動させながら増加し、破壊させる試験
図-2に示す Rendulic の応力図中の①の経路で破壊させるものと、(ii)振動数 f 一定で、圧力振中 $\Delta p(\sigma_1 - \sigma_3)$ を変化させたものと、(iii) $\Delta p(\sigma_1 - \sigma_3)$ 一定、 f 変化の実験を行なっている。図-1からも明らかなように、主応力差が振動しても σ_m はほぼ一定の時刻において変動していない。

(II) $\sigma_1 - \sigma_3 = 3.0$ 一定、 σ_m を振動させながら減少し、破壊させる試験：図-2における②の応力経路をたどる。(I)の場合と同じく、2種の試験を行なっている。初期間隔キ比は両実験とも 0.764~0.772 の間にある。

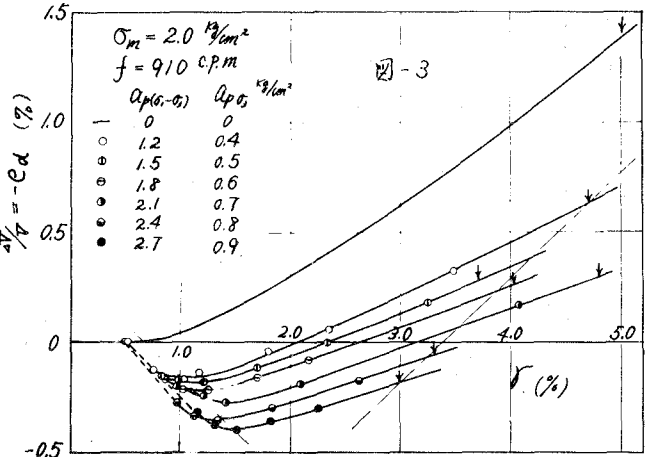
排水試験の場合には soil element の体積が変化するから、この時 soil element は外力に対して仕事をするか、または外力によって仕事をされる。したがって純粋に内部マサツに使われるせん断応力以外に試料の境界を変化するのに使われるせん断応力が存在する。そこで、せん断の瞬間における主応力差を、純粋な内部マサツによる抵抗と、ダイレイタンシーによる抵抗とに分離して考える必要がある。¹⁵⁾
そのために、次式を用いる。²⁾

$$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{friction}} + (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{dilatancy}}$$

$$= \frac{3}{2} \frac{dV}{dV} - \frac{3}{2} \sigma_m \frac{de}{df}$$

この $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{friction}}$ ：内部マサツによる主応力差、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{dilatancy}}$ ：ダイレイタンシーによる主応力差、 dV/dV ：内部マサツに打勝つために使われる仕事、 de ：せん断にズミ、 $ed = -\frac{1}{2} \frac{dV}{dV}$ ：ダイレイタンシーによる体積変化 (dV は膨脹を正とする。)

この式は Ladanyi より導かれた式



で、これを用いてダイレイタレンシーがせん断抵抗に及ぼす影響を知ることが出来る。実験(I)では試験中を通じて、 σ_m が一定であり $de = ded$ であるから、この式を適用出来る。また破壊の瞬間において σ_m 一定を満足すれば、破壊前にいて応力変化がどうであつても $de = ded$ であるから実験(II)の破壊時に適用出来るはずである。さて $ed \sim \gamma$ 関係の代表的なものを σ_m -一定試験の例で図示すると図-3 となる。 σ_m -一定の場合には静的な主応力差の増大とともにダイレイタレンシーが起るが、振動する主応力差に対しては、初期の間ゲキ比とその時与えた外力条件に適応した間ゲキ比に一致する。(この場合は体積圧縮が起る。)各曲線の実線の始点が平均値 $\sigma_1 - \sigma_3 = 1.8 \text{ kg/cm}^2$ で振動を開始した時に起る体積圧縮量とせん断ヒズミ量を表わしている。これらの点の間ゲキ比は $0.630 \sim 0.690$ の限定された範囲内にあり、これ以後の振動圧によるせん断過程には間ゲキ比の影響は微小と考えよう。 $D = ded_f$ は圧力振中の増大とともに直線的に減少し、破壊時のせん断ヒズミもほぼ直線的に減少する。(図-3中矢印の点) また図-3の曲線の極小点から最大圧縮ヒズミにおけるせん断ヒズミ ϕ_p とともに増大する。これは恐らく静止時と動態時で限界間ゲキ比が異なり、さらに ϕ_p の増大とともに減少するのだからであろうと考えられる。この図から上式を用いて $(\sigma_1 - \sigma_3)_{friction}$, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{dilatancy}$ を計算し、また $\sigma_1 - \sigma_3$ 一定の場合についても同様に行かうが、両者の比較のため、各主応力差から内部マサツ角 ϕ , 粒子間マサツ角 $\phi_{friction}$, ダイレイタレンシー角 θ を求めて表わしたものが図-4, 図-5 である。 $\phi_{friction}$ の求め方は Ladanyi の方法を用いた。静的試験に於いて、主応力差を一定にして σ_m を減少させると主応力が一定にもかかわらずダイレイタレンシーが起るが、 σ_m -一定の場合より、ダイレイタレンシーによる抵抗は小さいようである。しかし、振動圧によるマサツ角の減少は $\sigma_1 - \sigma_3$ 一定の場合の方が強く、(図-5は ϕ_p が異なる) 圧力振中の増大による $\phi_{friction}$ の減少は $\sigma_1 - \sigma_3$ 一定の方がほぼ直線的である。一方ダイレイタレンシーによる抵抗の減少は σ_m -一定の場合に敏感で、 $\sigma_1 - \sigma_3$ 一定の場合にほとんど変化しない。一般に両方の応力が振動する場合は、圧力振中の大なる方がより強くその特性を発揮するであろうと考えられる。振動数に關しては、2種の試験とも、自然振動数と考える附近で最小となり、これはダイレイタレンシーによる抵抗も例外でない。 $800 \sim 900 \text{ c.p.m.}$ の振動数が自然振動数に一致することからこの附近で材料上面のヒズミ振中が最大になることから確認される。

文献(1)石崎肇士：動的三軸圧縮試験機の試作について：昭和34年 国土院講演会。

- (2) Ladanyi, B: Etude des relations entre les contraintes et les deformations lors du cisaillement des sols pulvérulents : Bull. Ann. Trav. Publs. Belg. 1960.

