

飽和粘土内の応力波伝搬について

京都大学工学部 正 員 赤井浩一
 運輸省港湾局 正 員 徳田峯夫
 京都大学大学院 学生員 〇木内 勉

ま え が き 本研究は前回報告した飽和粘土内の応力波伝搬に関する実験的研究に引続いて、飽和粘土内に伝搬する応力波の特性を粘土の力学的性質と関連つけて考察し、地震波を受ける地盤の応答現象を解明しようとするものである。

実験方法 布製リボンで水平に支持した円柱粘土供試体の一端を重錘の振子運動により打撃し、発生するパルス応力を供試体の各点に埋め込んだ超小型圧力計でピックアップし、増幅器を通して電磁オシログラフに記録する。

実験結果と解析 実験結果の一例を距離と時間に対して模式的に表わすと図-1のようになる。これより距離に対するピーク応力の減衰、立ち上がり時間の増加の様子からわかる。また反力端付近では入射波と反射波を重ねて1つのピークを形成している。衝撃に対して応力波形は近似的に $p(t) = p_0 \exp(-\alpha t)$ で表わすことができる。(ここで p_0 はパルス応力のピーク値である。)

(1) ピーク応力の減衰 いま wave front 背面の粒子速度 $\dot{u}$ がどこでも等しいと仮定すると、運動方程式 $\rho x = \rho \dot{u} c$ と運動量保存則 $\int \rho \dot{u} dt = \int_0^t p(t) dt$ より各点のピーク応力 P_x の P_0 に対する比 P_x/P_0 は次式で与えられる。

$$P_x/P_0 = c/\alpha_0 \{1 - \exp(-\alpha x/c)\} \quad (1)$$

これよりピーク応力は距離とともに減衰し、 α の減衰状態は伝搬速度 c と α の関係で与えられたパルス応力の波形によることからわかる。図-2はピーク応力の減衰の実験値 P_x/P_0 を無次元距離 x/c_0 に対してプロットし、理論式(1)と比較したものである。

次に図-3に示す応力ひずみ曲線をもつ非線型媒質では、特性曲線法により各ピーク応力は次式で与えられる。

$$\sigma = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) - E/2c (\dot{u}_1 - \dot{u}_2) \quad (2)$$

右辺第2項を無視すれば、近似的に入力波の応力分布がわかると各ピーク応力は $p(0, t_i) = \frac{1}{2}(p_{i-1} + p_i)$ により逐次求めることができる。 $E_1/E_0 = 9.16$ の場合の曲線Eと同じく図-2に示す。

粘土供試体も Voigt Model の連続と考えると、これに周期载荷をおこなった場合、運動方程式と応力ひずみ関係より、波動方程式 $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \gamma \frac{\partial \eta}{\partial x \partial t}$ が導かれ、これより

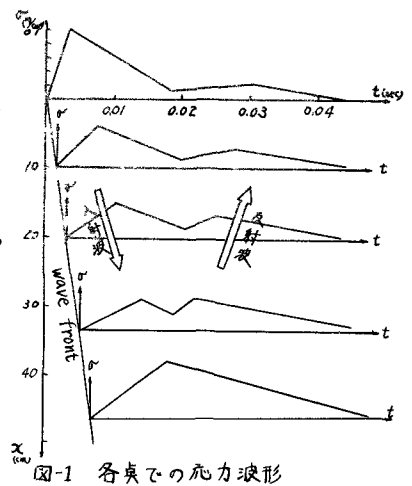


図-1 各点での応力波形

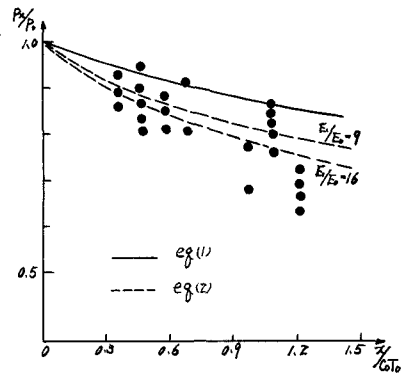
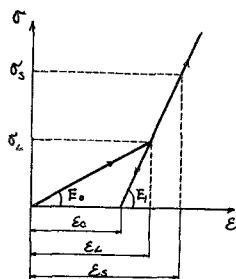


図-2 ピーク応力の減衰

$\sigma = A \exp(\alpha x) \cos(pt - fx)$ の解が得られる。ここに α は応力波の減衰定数で、物質の specific damping capacity $\Delta W/W$ を用いれば $\alpha = \frac{f}{2c} \times \Delta W/W$ で表わされる。 $\Delta W/W$ は物質に固有な定数で、対数減衰率 δ とは $\delta = \frac{1}{2} \Delta W/W$ の関係が知られている。上の関係より周期载荷における応力の減衰は振動数によって変化し、高振動数の場合は減衰が大きいことがわかる。図-4 は周期载荷実験の結果を示したものである。



境界層での反射および透過現象

2種の物質の境界面では、反射と透過の現象が生じる。供試体と反力端物質の振動インピーダンス比 $\alpha = \frac{E_1 C_1}{E_2 C_2}$ を用いると、振幅 A_1 の入射波に対して、反射波および透過波の振幅 A_2, A_3 はそれぞれ $\frac{1}{1+\alpha} A_1$, $\frac{2}{1+\alpha} A_1$ となる。したがって硬い物質から柔らかい物質へ応力波が伝わる時は透過波は増幅され、反射波は小さくなる。実験においては、図-5 のように反力端付近で入射波 A_1 と反射波 A_2 の合成波 B が得られる。この合成波を入射波と反射波に分離するため、ピーク応力の減衰を表わす式(1)を用いると次式が成り立つ。

$$A_1/P_1 = C_0 - \alpha C_0 \{1 - \exp(\alpha x/c)\}$$

これより A_1 は計算で、合成波 B と入射波 A_1 の比 B/A_1 が求まる。一斉理論値として $B/A_1 = A_1/A_1 = 1 + \frac{1}{1+\alpha} = \frac{2}{1+\alpha}$ を得る。6種の反力端物質(steel plate, cement mortar, dense sand, loose sand, soft clay, rubber foam) について A_1/A_1 を求め、これと実験値を比較すれば図-6 のようになる。剛性の大きい steel plate では入射波の2倍もの合成波が発生することがわかる。

透過波に対しては砂・土媒質として山土を用いた。その結果も図-6 に示されている。この場合山土の振動インピーダンスは粘土のそれより大きいため、透過波の振幅は小さくなっている。

あとかぎ 粘土内の応力波の伝搬状態が解析できると地震動動による粘性土地盤の応答解析にこの結果を適用することができ、耐震設計の合理化に貢献できると思う。

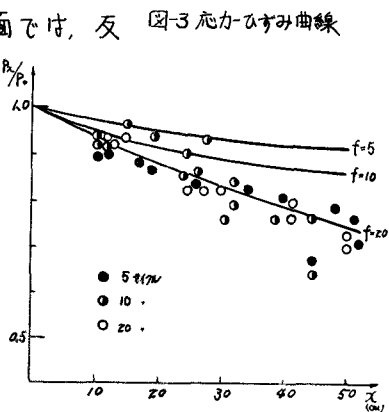


図-4 ピーク応力の減衰(周期载荷)

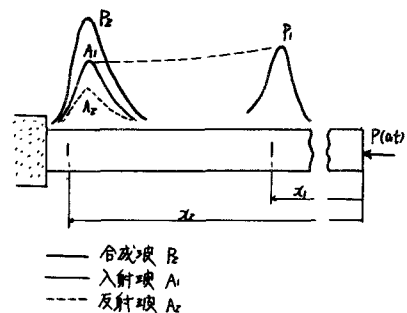


図-5 入射波と反射波の合成

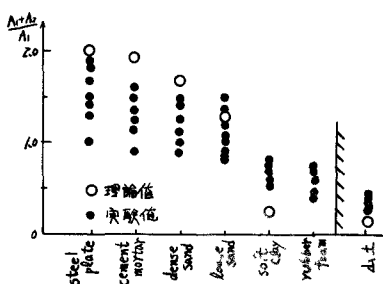


図-6 反力端での反射および透過

本研究には文部省科学研究費の交付を受けたことを付記する。