

38 振動中の土砂の塑性平衡時における土圧の性質

名古屋大学工学部 正員 市原松平
同 大学院の学生員 山田 功
同 大学院 学生員 飯田正幸

I. 概論

構造物の耐震設計に我が国で使用されている物部地震時土圧式は、フーロシ系の常時土圧式をその基礎としている。したが、物部式は、土の塑性平衡状態における土圧式である。このため、地震時土圧を算定するのに物部式を使用するためには、振動中において裏込め土砂が塑性平衡状態になることの確認が必要である。この要求に対して実験的研究がおこなわれ、その存在を確認した論文がすでに発表されている^{*)}。我々は、その塑性平衡状態において振動土圧はいかなる様相を示すか、またそれは常時土圧のそれとはどのような差異があるか、という点に注目して実験的研究を行なった。おめせて、実験値と物部式より計算された値との比較を行な、てみた。

II. 実験装置および実験方法

振動実験には大型の振動砂槽が使用された。この振動砂槽は、振動数 3.3 CPS で 0~600 gal までの水平加速度を正しい定常正弦波で充填された裏込め土砂に作用させることができる。

裏込め土砂に作用する振動土圧の合力は、3個の荷重計で計測される。計測の略図を図-1に示す。実験は、振動中に壁を変位させ裏込め土砂が塑性平衡状態になったときの各荷重計の値を計測する。得た計測値を式(1)により解析し、土圧3要素の相互関係および加速度の大きさと土圧3要素との関係を調らべる。ここにいう土圧3要素とは、土圧合力 $P \cos \delta$ 、相対着力度 η/H 、および壁摩擦係数 $\tan \delta$ のことである。

$$(1) \begin{cases} P \cos \delta = R + nR \\ \eta/H = \{ (P \eta_1 / (R + nR)) - 20^{cm} \} \times \frac{1}{H} \\ \tan \delta = R_3 / (R + nR) \end{cases}$$

ただし H : 裏込め砂の砂深 (cm)

η : てこ比 (=1.5)

なお本節の詳細はすでに発表されている^{*)}。

III. 実験結果およびその考察

振動中に壁を変位させるとその変位量にともなうて土圧3要素は逐次変化し、ついには塑性平衡状態になる。ここで振動時における塑性平衡状態

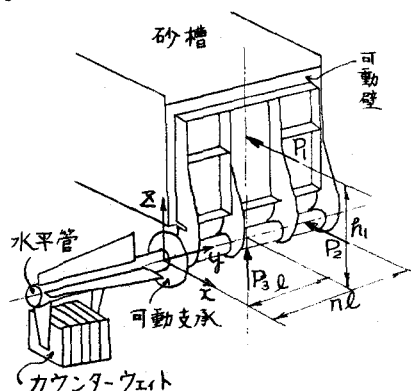


図-1

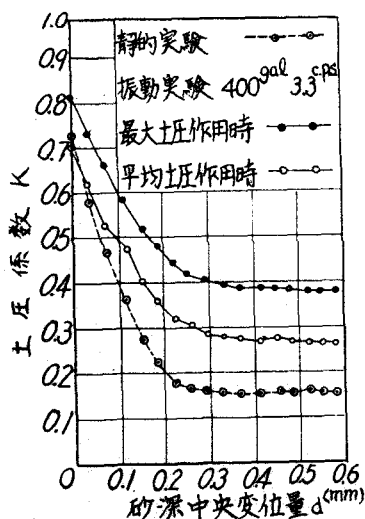


図-2

とは、裏込め土砂に作用する振動土圧のうちで、その平均土圧の相対着力点 h/H が2目目に0.33の値となるときである。

図-2, 3, 4 は壁の変位量と土圧3要素との関係を示す。これらの図には静的実験の結果もあわせて示してある。これらの図より、塑性平衡状態では壁の変位が増すにつれて土圧係数 K の値は減少し、逆に壁摩擦係数 $\tan \delta$ は増大する。塑性平衡時をすぎると K , $\tan \delta$ は変位量に関係なくほぼ一定となり、相対着力点 h/H も0.33をややこえたところで一定となる。同様なことは静的土圧の3要素についてもいえる。したがって静的土圧と振動土圧との差異は質的なものではなく、量的なものではないかと推察される。

我々が設計土圧として必要なものは最大土圧である。図-5は塑性平衡時における加速度と最大土圧係数との関係を、図-6は同じく平均土圧係数との関係を、図-7には塑性平衡時における最大土圧係数と平均土圧係数との差で求められる、土圧係数振中と加速度との関係を示している。この3つの図より、最大、平均両土圧係数は作用する加速度の増大にともなって増加し、土圧係数振中を同じような傾向で増加することがわかる。図-8は塑性平衡時における最大土圧の相対着力点 h/H と加速度との関係を示している。この図によれば、加速度が大きくなるにしたがって相対着力点を上昇し、加速度が500 gal 付近で加速度が作用しない

場合(静的時)にくらべて約10%上昇している。図-9 は、塑性平衡時における加速度の大きさと壁摩擦係数 $\tan \delta$ との関係を示してある。この図より、加速度が増大すると $\tan \delta$ の値は減少し、加速度が400 gal では、加速度が作用しない場合の約35%に減少していることがわかる。

Ⅱ. 物部式と実験結果との比較

物部地震時土圧式は先にのべたように塑性平衡状態で成立するものであるが、振動中において裏込め土砂が塑性平衡状態になることはすでに実験的に確かめられている。したがってここでは、物部式より計算された地震時土圧と振動砂槽から得られた実験値とを比較してみる。

物部式を計算するにあたり裏込め土砂の内部摩擦角 ϕ および壁摩擦角 δ を決定しなければならぬ。振動時における平面歪状態での内部摩擦角を計測することは今日ではまだ困難である。したがってこ

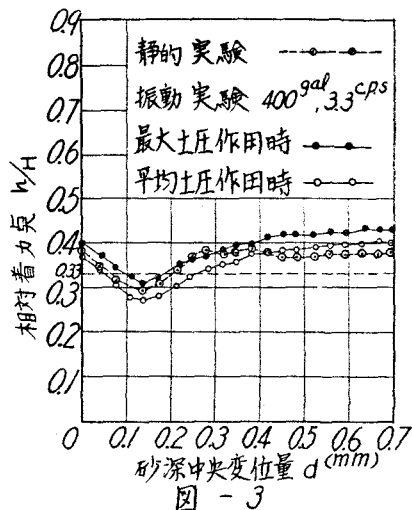


図-3

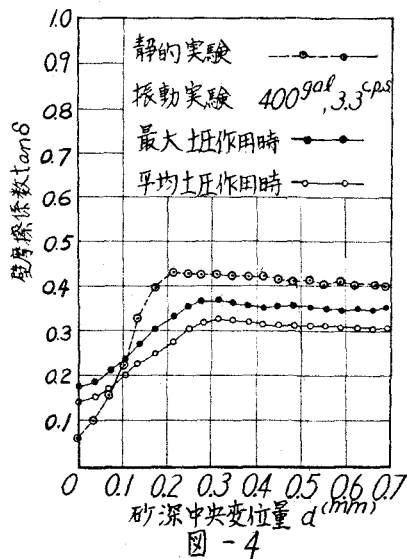


図-4

これらの決定方法はいろいろ問題になるが、ここでは本振動砂槽で加速度 $0gal$ (競争実験)で行なったときの土圧係数 K 、および壁摩擦係数 $\tan\delta$ の測定値を使用し、クーロンの常時土圧式から逆算して求めた内部摩擦角 $\varphi=38^\circ$ を使用することにした。壁摩擦係数は図-9よりわかるように、最大土圧作用時では $\tan\delta=0.37$ 程度であるので、ここでは壁摩擦角 $\delta=20^\circ$ を使用した。

物部式中の φ 、 δ に前記の値を代入し、 $0gal \sim 600gal$ の水平加速度に対応させて地震合成角 θ を変化させて計算した結果を、図-5、6に実線および破線で示してある。図-5に示されている最大土圧係数と加速度との関係では、実験値と計算値はかなりよく一致しているが、加速度が $200gal$ 以上では内部摩擦角 φ を $\varphi=35^\circ$ としたほうがよいように見える。

図-6、7に示されている平均土圧係数と加速度、および土圧係数振中と加速度との関係では、両者とも実測値と計算値とはあまり一致しておらず、平均土圧係数は計算値より実測値のほうが大きい。このため土圧係数振中は実測値のほうが小さくなっている。

これらの差異の原因としては、物部式では剛体としてとりあつかっている裏込め土砂のスベリ土楔は、実際は粒状体の集合であり、したがって振動加速度が作用することによりスベリ面と壁面との間にスベリ土楔の裏込め土砂が押し込められ平均土圧係数を増大させると同時に、押し込められた砂堤が変形を起して土圧係数振中を増大させないのではないかと思われる。

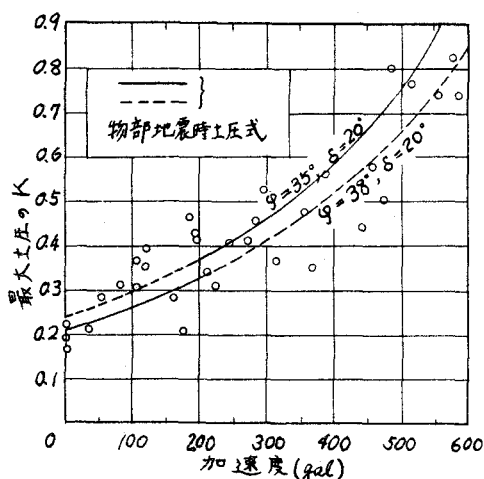


図-5

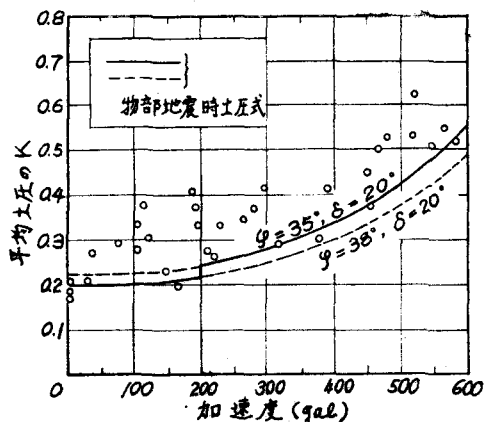


図-6

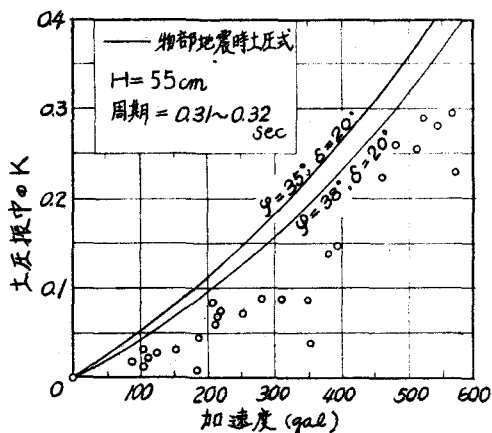


図-7

V. 結語

今回の実験結果をまとめればつぎのようなことがいえる。

- 1) 振動中に壁を変位させ、裏込め土砂が塑性平衡状態になったときの振動土圧の土圧3要素は、常時土圧と同じように、壁を変位させる前にくらべて土圧係数 K は減少し、壁摩擦係数 $\tan\delta$ は増加し、平均土圧の相対着力 γ/H は0.33となる。
- 2) 塑性平衡時に作用する最大土圧の相対着力 γ/H は0.33より高い位置にあり、したがってこのとき最大土圧は水圧分布をしていない。
- 3) 塑性平衡時において、最大土圧係数、平均土圧係数および土圧係数振巾は、作用する加速度の増大とともに増大する。
- 4) 物部地震時土圧式は、その最大土圧では実測値とよく一致するが、土圧振巾では実測値より過大な値を与える。

*: 市原松平; 「裏込め土砂の塑性平衡時における動的土圧について」
日本地震工学シンポジウム講演集,
昭和41年10月, PP/21~126

