

運輸省港湾技術研究所 ○善 功企

同 上 山崎 浩之

同 上(研修生) 渡辺 篤

1. まえがき

波浪の変動に伴う海底地盤中の間隙水圧の挙動に関しては、既に、大草、Yamamoto、名合、前野らによる研究など多くの研究がある。しかしながら、地盤中の間隙水圧の変動と地盤の挙動との相互作用について、土質力学的観点から調べた例は比較的少ない。本報告は、波浪による液状化現象を実験的に検証し、波浪の変動に伴う地盤と構造物の挙動について明らかにしたものである。

2. 変動水圧と地盤挙動

図-1(a)は、波浪による砂地盤中の間隙水圧分布の模式図で、実際にも海底地盤中の間隙水圧がこのような分布になることが明らかとなっている。この場合、地盤中には、みかけ上の過剰間隙水圧が発生していることになり、深さ z での有効鉛直応力 $\sigma'v$ は、 $\sigma'v = \gamma' \cdot z + (pb - pm)$ で表される¹⁾。ここに、 pb :海底地盤面の変動水圧、 po : pb の振幅、 pm :地盤中の変動水圧である。また、 $(pb - pm)$ の場所的な相違は、地盤内に浸透流を生じさせている²⁾。図-1(b)の①、②の実線は、図-1(a)の①、②に対応した $\sigma'v$ を求めたもので、①の実線の場合には、図-1(b)の斜線部で示す $\sigma'v \leq 0$ の領域が存在する。この場合、土粒子は浮遊した不安定な状態になり、一方、②の場合には、 $\sigma'v$ は、静水状態のとき($\sigma'vo = \gamma' \cdot z$)よりも増大し、地盤は締め固まる。

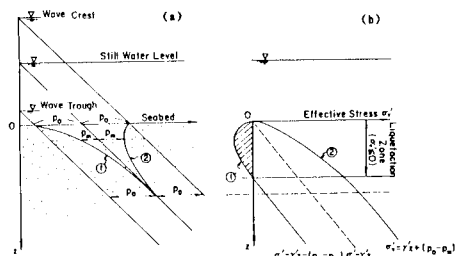


図-1 海底地盤の液状化概念図

3. 実験概要

試料は、豊浦標準砂(比重:2.647、最大・最小間隙比:0.988、0.615、均等係数 1.79)を用いた。実験装置は、図-2の装置を用いているが、今回のデータ処理はマイコンにより行っている。地盤は、図-2の亚克力円筒中に約 300 mm の厚さに砂を詰め(相対密度 50%)、下方からCO2を循環させたのち水を満たして静水圧 1.0 kgf/cm²を加えて一晩放置した。変動水圧:2 $\bar{po} = 0.53 \sim 0.69$ kgf/cm²を周期 2秒または 3秒の正弦波として加えた。

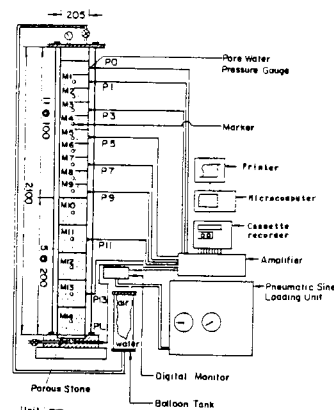


図-2 実験装置の模式図

4. 実験結果および考察

図-3は、2. で述べた理論的考察を検証するために $\sigma'v$ の変動 $\Delta\sigma'v (= \sigma'v - \sigma'vo)$ を、地盤表面の変動水圧 pb とともに示したものである。図-3によると、静水状態から+および-側に有効応力が変動していることがわかる。また、破線で示した $(pb - pm)$ は、理論上は $\Delta\sigma'v$ と等しくなるはずであり、位相および+側の値はこのことを満足している。図-4は、このときの

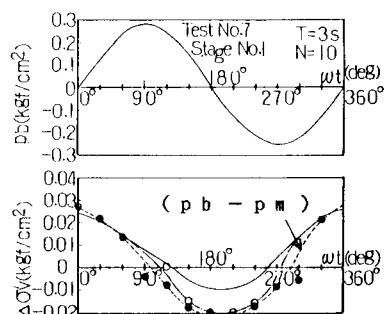


図-3 有効鉛直応力の変動

地盤中のみかけ上の過剰間隙水圧 ($p_b - p_m$) の深度分布の経時変化を示したものである。地盤中の有効応力 $\sigma'v = \sigma'vo + (p_b - p_m)$ で表されるから、図-4中に示した破線 $\sigma'vo$ より左側の実線部の $\sigma'v$ は負となり液状化が発生していることになる。図-4では、位相 $150^\circ \sim 240^\circ$ のときに表層部が液状化 ($\sigma'v \leq 0$) している。図-3に示した一側での $\Delta \sigma'v$ と ($p_b - p_m$) の差は、この液状化に起因していると考えられ、液状化部分を考慮して $\Delta \sigma'v$ を補正すると、図-3の一点鎖線となり、 $\sigma'v \approx (p_b - p_m)$ となる。次に、実際に液状化が発生しているならば、地震時と同様に、軽量構造物は浮き上がり、重量構造物は沈下するはずである。このことを検証するために、軽量構造物としてピンポン玉を深さ 2、4、6 cm に埋設したケースと、重量構造物として矩形アルミ塊 (高 190x 幅 69.4x 奥 69.4 mm、重量 2502 gf、接地圧 0.052 kgf/cm²) を地盤表面に設置したケースについて同様な実験を行った。図-5は、それぞれの構造物の変位を示したもので、ピンポン玉の変位は、上部に取り付けた細棒先端の変位である。アルミ塊の変位は、図-5中A、B、C点の値を示している。これらの変位は、ある波数Nごとの写真撮影により測定している。図-5において、深度 2 cm のピンポン玉は、49波と90波において地盤から浮き出しまわっている (図中の矢印)。アルミ塊の場合は、波数の増加とともに沈下が増加し傾斜が著しくなっており、最終的に円筒の壁面に接触してしまった。図-6は、上記2ケースの場合の ($p_b - p_m$) の深度分布であるが、図-6(a)によると、 $\sigma'v \leq 0$ となる部分がみられ、明らかに液状化が発生しているとみなされる。図-6(b)では、必ずしも $\sigma'v \leq 0$ には到っていないが、 $\sigma'v$ は、地盤表層部ではほぼ0に近くなっており、支持力低下による沈下が生じたと考えられる。

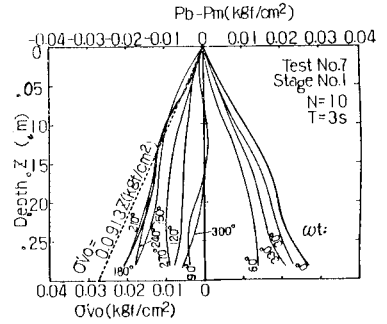
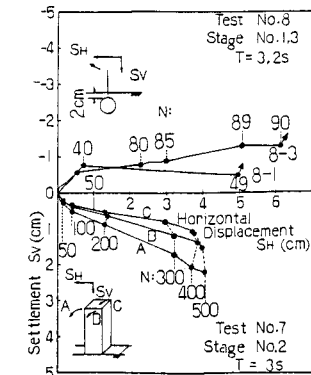
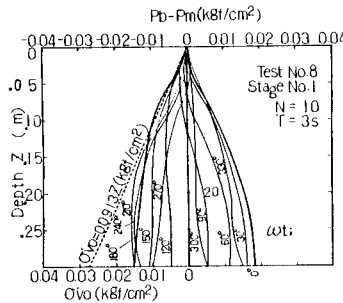
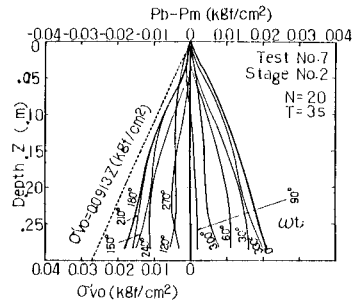

 図-4 ($p_b - p_m$) の分布


図-5 構造物の変位


 図-6(a) ($p_b - p_m$) の分布
(軽量構造物設置)

 図-6(b) ($p_b - p_m$) の分布
(重量構造物設置)

5. おわりに

筆者らは、波浪による液状化には2種類のメカニズムがあると考えている。一つは、波浪による外力が構造物を介して地盤に伝達される場合の液状化で、地震の場合と同じメカニズムで把握される。他の一つはここで示した液状化であり、地震時の液状化とは全くそのメカニズムが異なると考えている。

参考文献

- 1) 善：海洋開発における波と海底地盤の動的問題、昭和59年度港研講演会講演集、1984、pp.77-133。
- 2) 善、渡辺、山崎、梅原：波浪による海底地盤の液状化および変形機構、海洋構造物の基礎に関する論文論文集、土質工学会、1986、pp. 241-248。