

III-106

打撃によって液状化した砂層の深さ方向の密度分布について

新潟大学工学部 正員 大川秀雄
 新潟大学大学院 学生員 フヂィウハワ
 新潟大学大学院 ○学生員 松村俊幸

1. まえがき

飽和砂層に打撃を加えて瞬間的に液状化を起こし、それが終了するまでの間の過剰間隙水圧の挙動を調べた。¹⁾ それらの結果によれば、砂層を構成する砂粒子の水中での沈降現象として液状化を捉えることで、過剰間隙水圧の推移を説明することが可能であることが明らかになりつつある。そこで本研究は、打撃によって液状化を起こした砂層の深さによる密度分布が、液状化の前後でどのように異なるか、あるいは、液状化を繰り返すとそれがどのようなようになるかについて調べることを目的とした。

2. 砂の沈降モデル

ゆるぎめの飽和砂層に打撃等の外力を加えると砂粒子間の噛み合わせがはずれ、砂粒子は沈降を始める。この沈降中の、砂粒子に作用する水の抵抗力がその粒子より下では間隙水圧の上昇、すなわち、過剰間隙水圧となって現れる。この過剰間隙水圧 Δu は時間 t とともにおおむね指数関数的に減衰し、

$$\Delta u = a \cdot e^{-bt} \quad \text{ただし、} a, b \text{ は定数}$$

と表せる。

図1のように砂層の各深さごとの位置 a, b, c に間隙水圧計を配置すれば各位置での過剰間隙水圧の最大値は、

$$u_a = \gamma' H_a, \quad u_b = \gamma' H_b, \quad u_c = \gamma' H_c \quad \text{ただし、} \gamma' \text{ は水中単位重量}$$

と表せる。液状化後の、過剰間隙水圧 Δu の時間 t に対する減衰の様子を模式的に示せば図2のようになる。図2は砂粒子相互間の噛み合わせがはずれた直後に砂粒子の沈降が始まり、砂の堆積面が間隙水圧計の下方にある間はその点での過剰間隙水圧は、液状化発生時の値(初期有効応力の値)のままであり、堆積面が間隙水圧計の下から上につき抜けると過剰間隙水圧が減少し始めることを図2は示している。

3. 実験方法

砂槽として内径25cm高さ50cmの鉄製の円筒を用い、砂を水中で沈降堆積させることにより、円筒内に深さ40cmのゆるぎめの砂層を作成した。強制的に液状化を起こさせるために、円筒底面から20cmの高さの円筒壁面に一定の打撃力を加えた。それをそのまま凍結させ、その後砂層を円筒から取り出し、8cm間隔で5層に分割し、各層ごとに密度を測定した。砂層の液状化前後に余分な振動が加わって密度が変化することを防ぐため、砂層の作成、打撃による液状化の発生などの一連の作業はすべて低温室内で行った。なお、密度の測定も急激な融解を防ぐため低温室内で行った。打撃回数は、0回、10回、20回、40回とし、打撃後の砂層表面の沈下量も測定した。用いた砂は、新潟県中条町胎内川で採取したもので、 $G_s = 2.65$, $D_{50} = 0.39\text{mm}$, $U_c = 1.48$ であり、作成した砂層の初期値は、 $\gamma_{sat} = 1.87\text{gf/cm}^3$, $e = 0.89$ 程度であった。

4. 結果と考察

図3は打撃後の各層の密度を表したものである。上から、1, 2, ... 層と数えることにすれば第1層目($h = 0 \sim 8\text{cm}$)と第5層目($h = 32 \sim 40\text{cm}$)の部分では、打撃を加えた砂層の密度は打撃を加えないものの密度に比べて大きな値を示しており、第1層と第5層では打撃による液状化によって密になると思わ

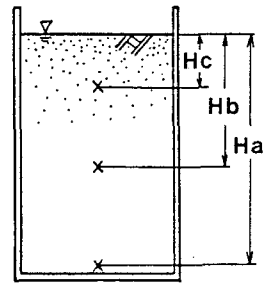


図1

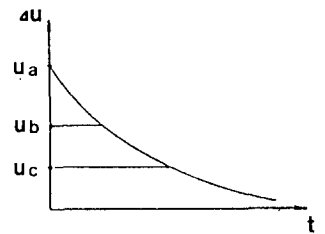


図2

れる。また、全体的にみて、第2, 3, 4層では密度の値にばらつきがあるものの砂層は打撃を加えないものの密度よりもわずかに大きな値を示しているが、右下がり、つまり、下層部の方が上層部に比べて密度は小さい値を示す傾向がある。

液状化を起こす砂の粒径加積曲線は図4の破線のようなものであるがそれを近似的に実線で示す直線と見なせば、砂層に含まれる直径 d の粒子数 n は

$$n \propto 1/d^4 \quad \dots \dots (1)$$

となる。また、砂の単一粒子の水中での沈降速度 v は、砂粒子を球形と仮定し、かつストークス近似すると

$$v \propto d^2 \quad \dots \dots (2)$$

となる。ゆるぎめの砂層といえども、流体力学的には砂粒子は大変密な状態にあり、(2)式がそのような状態でも成立するかどうか不明であるが、成立するものと仮定しよう。(1), (2)式から導けることは、底面の近傍では小粒径の粒子数が少なく、逆に表面の近傍では大粒子の粒子数が少なくなっていることである。このように砂粒子の構成が異なれば密度も違って来ると考えられる。しかしながら、打撃回数が40回の多数回にしても砂層表面の沈下量はただか 1.7 cm程度であったことより上記の粒子構成が初期条件と異なる部分の層厚はごく小さいと考えられ、サンプリングの層厚8 cmではとうていそれらの層の判別は困難であった。

ところで、初期層厚40 cmが打撃による液状化で、わずかではあるが最大で 1.7 cm縮んだことにより、全体としての密度は大きくなっているはずである。この場合、砂層の全ての深さで密度が大きくなるのか、あるいはどこかの部分のみで密度が大きくなるのかについては重要な意味をもつ。すなわち、再液状化の問題に関係するからである。

図5に、ポータブルコーンペネトロメーターを用いての貫入試験

結果を示す。(この時は砂層厚を45 cmとした) 折れ線の下から打撃回数0, 1, 2, 4, 8, 16回後の結果である。最初の1回の打撃による砂層表面の沈下量が最も大きい、この結果では0回と1回後では底部分でわずかに差が生ずるだけである。しかし、同じ1回の差であるにもかかわらず1回後と2回後では全体に差が認められる。貫入抵抗値の大小が密度の大小に比例的であると単純に考えれば、図5の各折れ線はほぼ原点を通る直線であることより、砂層の密度はほぼ深さの全体に渡って一定であると推定できる。しかし、詳細に図を検討すると深さ30 cm前後でわずかであるが値が小さい(試験は手動で行ったため瞬時にその部分を通過してしまい、数値にはあまり反影していないが、かなり抵抗値は小さい)。すなわち密度が小さい。また底の部分では値が大きくなっていて、図3の示す傾向とほぼ一致する。

5. あとがき

砂粒子の水中における沈降として液状化現象を捉えることで、液状化後の粒子構成や粒子の並び方、すなわち粒子構造及び密度等について、何らかの推定が可能であると考えている。今後さらに検討を進める予定である。

参考文献 1) 川田他(1988): 鉛直振動による砂層の間隙水圧変動について, 土木学会第43回年次学術講演会, III.

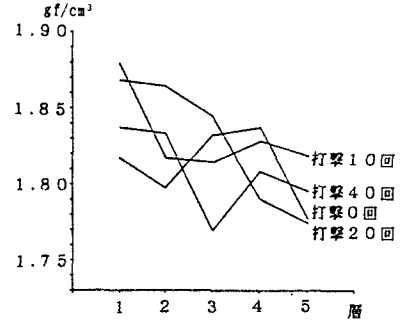


図 3

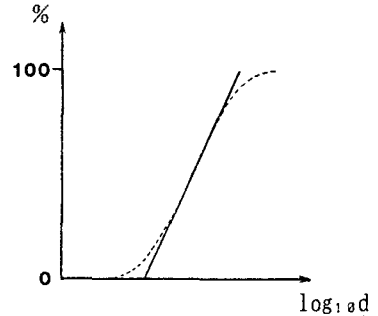


図 4

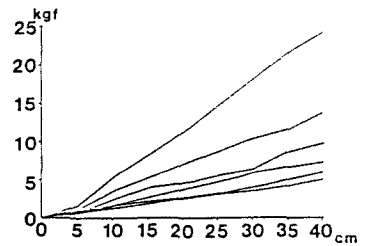


図 5