

水中から飽和土中に至る気泡形状の考察

岐阜大学工学部 正 員 宇野尚雄・神谷浩二
岐阜大学工学部 学生員 ○ 西尾俊彦

1. まえがき

飽和土中における圧入された空気は土中内を不規則に浸透し、連続した不飽和領域を形成するような挙動を示さないことが判っている。飽和土中の空気の侵入・挙動をどのように表現し、シミュレートする指針を得るために、本報告では、水中における気泡の形状の解析結果を述べるとともに、今後飽和土中における気泡の形状と挙動に設けるべき仮説に考察を加える予定である。

2. 水中における気泡の形状

水中において、気泡の内部圧力や水深の影響により気泡の形状がどのように変化していくのか調べる。境界面は質量をもたないため、曲面が平衡であるためには表面張力による圧力が境界面の両側の流体の圧力差とつり合っていないといけない。境界面で任意の点において平衡となる条件は、境界面が球面でない場合一般化され次のように表される¹⁾。

$$P - P' = T \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1)$$

$P - P'$: 境界面での流体の圧力差 R_1, R_2 : 曲面の主曲率半径
 T : 表面張力

図-1 に示す水中での気泡の微小部分で力の釣り合いを考えて、次に示す式(2), (3), (4), (5)を導く。

$$P_a - \gamma_w (H - z) = T \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

$$r_1 = (x - a)^2 + z^2 \quad (3)$$

$$r_2 = r_1 + a \sec \theta \quad (4)$$

$$x = r_1 \cos \theta + a = r_2 \cos \theta \quad (5)$$

r_1, r_2 : 曲面の主曲率半径 P_a : 空気圧 H : 水深

γ_w : 水の単位体積重量

上記の式(2), (3), (4), (5)により、 r_2, a, θ を消去して

$$P_a - \gamma_w (H - z) = T \left\{ \frac{1}{r_1} + \frac{1}{x} \sqrt{1 - \left(\frac{z}{r_1} \right)^2} \right\} \quad (6)$$

という関係が得られる。また、式(6)から x, z の関係として

$$x = \pm \frac{\sqrt{r_1^2 - z^2}}{\frac{r_1}{T} \{P_a - \gamma_w (H - z)\} - 1} \quad (7)$$

が得られ、この式(7)により水中における気泡の形状の解析を行う。この解析では、水中での気泡の運動を考慮に入れず、水深、気泡の内部圧力、曲面の主曲率半径(圧入時の気泡の大きさ)による気泡の形状を調べる。

3. 解析結果

図-2 に解析結果の一例を示す。主曲率半径 r_1 を一定にし気泡の形状を解析していくと、水中における気泡の形状は、圧入時の気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$

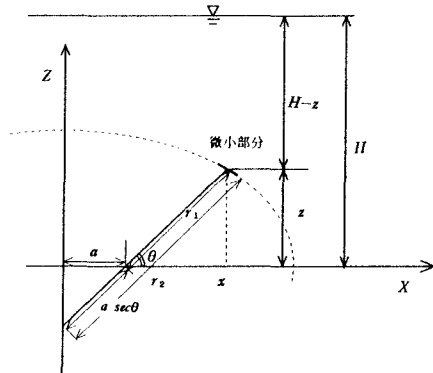


図-1 気泡と水の境界面

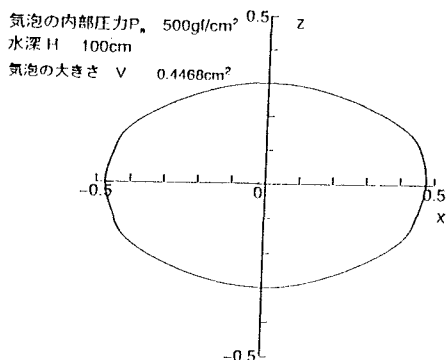


図-2 気泡の形状

に大きく影響され、差が小さくなるに伴い扁平な楕円の形状を示すことになる。気泡の形状の変異点として、気体の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ が $2T/r_1$ よりも大きいか、小さいかで球形から縦、横の楕円に変化する。

気泡の大きさについて、図-3, 4 は、気泡の内部圧力と水深の差 $P_a - \gamma_w H$ を一定にして気泡の主曲率半径 r_1 のみを変化させた場合、主曲率半径 r_1 を一定にして気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ を変化させた場合のものである。図-3 では、気泡の大きさは、気体の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ が小さいほど大きくなるといえる。また、各気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ における主曲率半径 $r_1 = 2T/(P_a - \gamma_w H)$ を境に大きく気泡の大きさが変化している。図-4 では、気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ のが大きくなるに従い気泡の大きさはあまり変化を示さなくなっている。また、気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ が小さくなるほど、主曲率半径 r_1 による気泡の大きさの変化が顕著になっている。つまり、気泡の内部圧力と水圧の差 $P_a - \gamma_w H$ が大きくなるに従い主曲率半径 r_1 が大きいほど気泡の大きさの変化が小さいことを示している。

ボイルの法則を用い水圧の減少により気泡の膨張を考慮し、水深の変化により任意の気泡の形状・大きさを解析したところ、図-5 に示すように気泡が水面に近い位置にあるほど、気泡は膨張し形状も扁平な楕円に変化していくことが示されている。

4. あとがき

現在、この水中での気泡の形状の変化を地盤内へどのように応用していくのか検討している。検討している点は、「土の間隙による気泡の形状の変形」及び、「間隙の大小による気泡の結合・分裂」に仮説を設けたシミュレーション手法である。

【参考文献】1) G. K. Batchelor 著、橋本 英典、松信 八十男ほか共訳：入門流体力学、東京電気大学出版局、1972

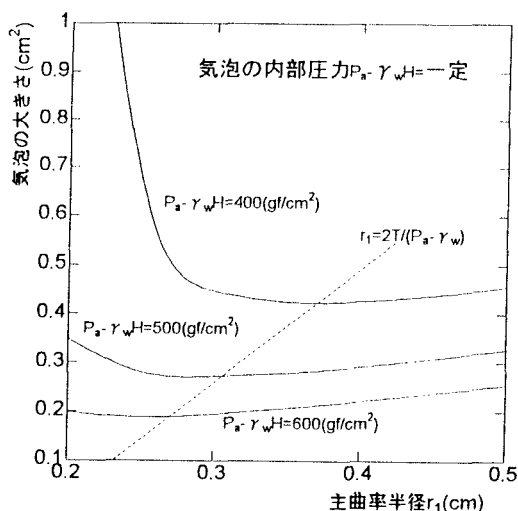


図-3 気泡の大きさと主曲率半径 r_1 の関係

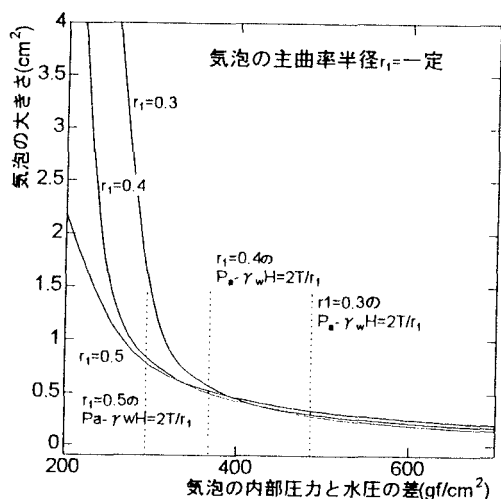


図-4 気泡の内部圧力と水圧の差と気泡の大きさの関係

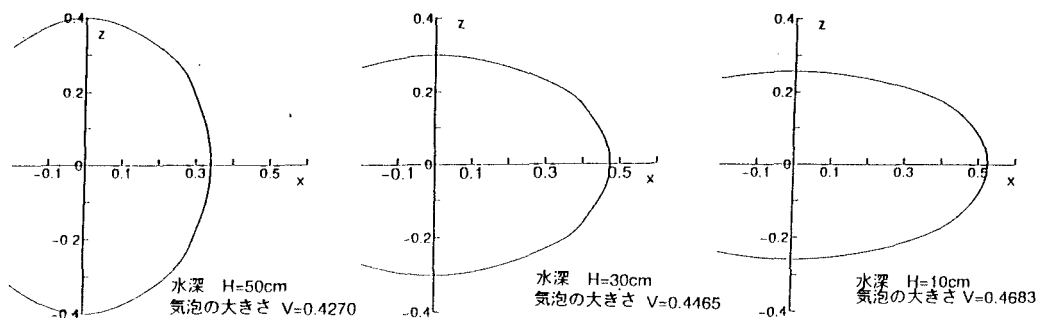


図-5 水深の違いによる気泡形状の変化