

# 波浪による準液状化状態の底質内部の応力変動についての実験的研究

徳島大学工学部 正会員 北野 利一  
 徳島大学工学部 正会員 中野 晋  
 西松建設(株) 正会員○大村 史朗  
 徳島大学大学院 学生員 溜本 弘樹

**研究目的：**海岸構造物に深刻な被害をもたらす液状化現象の発生機構の一端を明らかにしようというのが本研究の目的である。本研究では、上向き浸透流を発生させて水中重量を見かけ小さくすることで液状化発生を促進させ、液状化に至る過程での底質特性の変化を検討した。また、液状化現象の現地観測データを得ることが非常に困難なため、今回も実験により発生機構の解明を行ったが、そもそも現地と室内実験の両者の現象の相似性に疑問点がもたれる。そこで、現地と室内実験の両者の現象の相違について、波のスケールに対する地盤の透水性を表す無次元量に着目して検討を行った。

**研究内容：**1) 長さ27m、幅0.8mの両面ガラス張り二次元造波水槽の岸側に長さ3m、深さ0.29mの底質床(軽量骨材：表乾比重2.08,  $d_{50}=0.16\text{mm}$ , 透水係数 $4.5\sim 6.5\times 10^{-3}\text{cm/s}$ )を設置し、さらに、底質床の底部からステンレス網を通し均等に上向き浸透流を供給できるように工夫した実験装置を用いて、水面波高、浸透流量を段階的に変化させ、深さ0.05, 0.125, 0.20mでの間隙水压変動と土圧変動の計測を行うとともに、目視により液状化発生の有無を調べた。2) Yamamoto(1978)による海底地盤の波浪応答の理論において、波のスケールに対する地盤の透水性を表す無次元量に着目し、この無次元量のオーダーが非常に小さいという近似を行うと、Mei(1983)が別の方法で導いた近似解と同様の結果が得られる。しかし、この無次元量は現地量に対しては十分小さいものであるが、実験室レベルではそうではない。つまり、その無次元量が小さいという近似を行えない実験室レベルでの波浪応答の解のふるまいは、現地におけるものと異なるのではないかとの観点から、その無次元量のオーダー的变化による波浪応答特性の変化を検討した。

**主要な結論：**1) 液状化に至るまでの底質特性の変化：Meiの波浪応答理論によると、間隙水压変動は、深さ方向に位相遅れを伴いながら減衰の大きい境界層項と位相遅れを伴わず減衰の緩やかな外部項に分けられる。このとき、位相差を生じる深さとしての境界層厚と、それぞれの項の大きさの比が支配的なパラメータとなる。この2つのパラメータが液状化に至る過程でどのような変化をたどるのかを、間隙水压変動の位相差の鉛直分布について検討した。位相差が底面より再び零になる深さが境界層厚の目安であり、位相差のピーク値の大小が分担率の目安となる。浸透流量150(l/h)までは水面波高に対する変化はなく、浸透流の増加に対し境界層厚さが流量毎に薄くなる傾向にあった(図-1)。しかし、図-2に示すように浸透流量が180(l/h)になると、水面波高の変化に対し境界層厚は変化せず、境界層解の分担率が増加する結果を得た。特に、位相変化が最大となる最大波高時には、波浪による底質の大きな揺れが観測され、液状化状態になったと判断された。これらの結果をMeiの波浪応答の理論から考えると、液状化にいたる過程では境界厚が薄くなっていく傾向にある。つまり、透水性が悪くなる傾

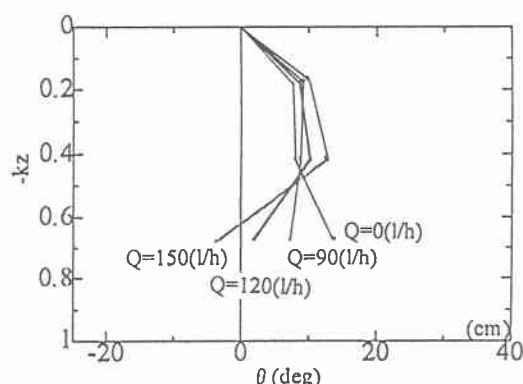


図-1 間隙水压位相差の鉛直分布 (90~150 l/h)

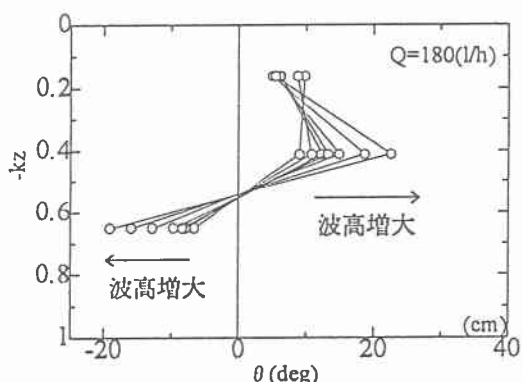


図-2 間隙水压位相差の鉛直分布 (180 l/h)

向にあり、この原因として、液状化にいたる過程で地盤骨格の変位が大きくなっていくことで、透水性が悪くなっているのではないかと考えられる。また、浸透流量が180(l/h)の場合のような液状化状態では、境界層項の分担率が増大していく傾向にある。これはMeiの理論では地盤と水の弾性率の比に関係するものであるが、地盤の弾性率にPoisson比が含まれる。したがって、液状化状態では底質のPoisson比がもはや液体の場合と同じ0.5に近づき、地盤と水の弾性率の比が同程度になっているのではないかと推測される。

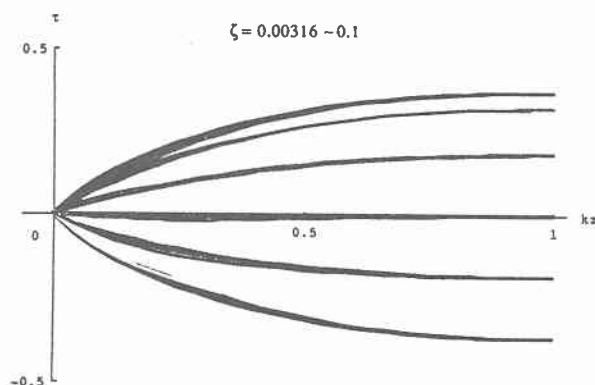
2) 波のスケールに対する地盤の透水性を表す無次元量：Yamamotoの用いた支配方程式を鉛直方向の連立常微分方程式に変形し、鉛直分布関数を決定するのに以下の特性方程式を得る。

$$\zeta d^6 - (3\zeta + i\xi)d^4 + (3\zeta + 2i\xi)d^2 - (\zeta + i\xi) = 0$$

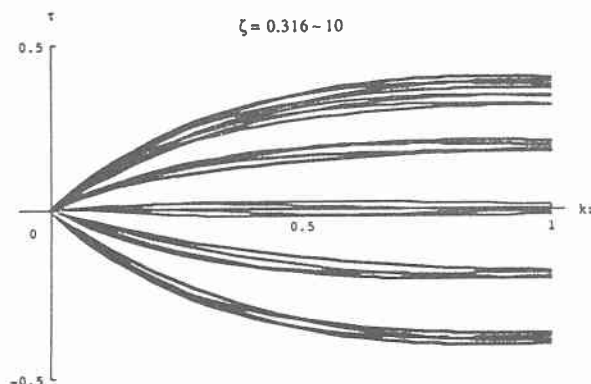
ただし、 $\xi = \frac{\mu}{k} \frac{G}{1-2\nu} + \frac{1}{2(1-\nu)}$ であり、そのオーダーは1である。また、 $\zeta = \omega^{-1} \frac{2(1-2\nu)}{1-\nu} G(k^*/\gamma)^{-1} k^2$ であり、この無次元量は波のスケールに対する地盤の透水性を意味し、現地ではそのオーダーが $10^{-3} \sim 10^{-1}$ 、実験室では1程度のオーダーである。 $\zeta$ のオーダーが十分小さい時、位相遅れを伴いながら減衰の大きい境界層項、鉛直全応力、せん断応力、水平変位などには含まれない。しかし、 $\zeta$ のオーダーが無視しえない大きになると、特性方程式の解の有効な3解のうち1解の大きさが大きく異なり、その結果として、鉛直全応力、せん断応力、水平変位に境界層項を含むようになる。図-3では、せん断応力 $\sigma_{zx}$ と土粒子骨格の水平方向の変位 $u$ についての位相毎の鉛直分布を $\zeta = 10^{-3/2} \sim 10^{-1}$ と $\zeta = 10^{-1/2} \sim 10^1$ の場合に分けて重ねて示す。図に示すとおり、 $\zeta$ のオーダー変化により、 $\zeta \equiv 0$ ではほぼ同じ鉛直分布を示すが、そうでない時では鉛直分布が異なり、地盤の波浪応答の現象が、現地と実験室で異なるのではないかと考えられる。

せん断応力 $\sigma_{zx}$

(現地スケール)

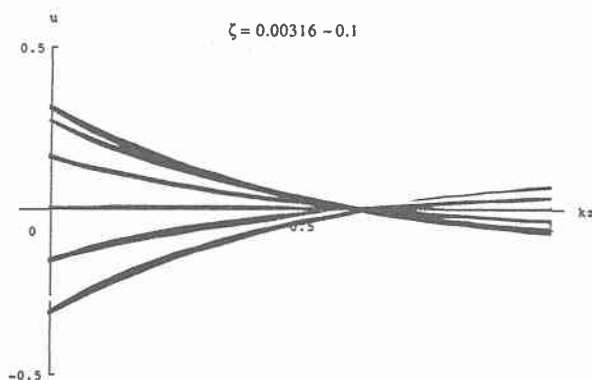


(実験室スケール)



土粒子骨格の水平変位 $u$

(現地スケール)



(実験室スケール)

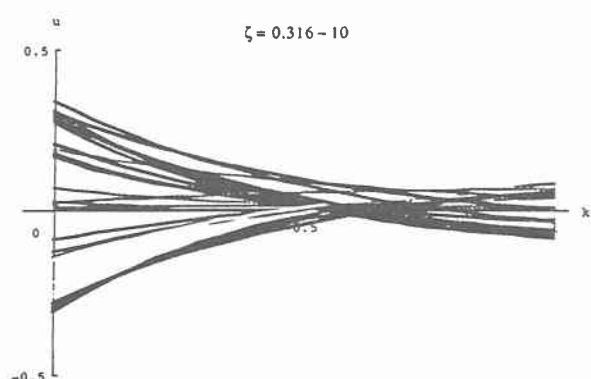


図-3 せん断応力 $\sigma_{zx}$ と土粒子骨格の水平変位 $u$ の鉛直分布

参考文献：Mei, C.C.(1983)：The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, A Wiley-Interscience Pub. 740.pp  
Yamamoto, T. et al.(1978)：On the Response of Poro-elastic Bed to Water Waves, J.Fluid Mech. 87:193-206