

# 液状化した砂地盤による湾水振動

名古屋工業大学	学生員	○猪垣智靖
名古屋工業大学	学生員	角野浩靖
名古屋工業大学	学生員	奥藤 耕
名古屋工業大学	正会員	喜岡 涉

## 1. まえがき

外洋に面した港や湾では、高波浪時に来襲波群に伴ってやってくる長周期波に起因する顕著な長周期水面振動が観測されることがあり、港内係留船舶の長周期動揺や係留索の切断、陸上施設の冠水などの被害例の報告もある。こうした港内長周期海面振動に対して決め手となる対応策は現在のところ見あたらない。従来の波浪制御構造物による制御法では、港内泊地の利用を著しく制限することになる港内突堤の建設か港内境界全域を消波ブロックで覆わない限り、長周期波水面変動に対しては有意に機能しない。その他の対策工法としては係留システムの改良が考えられるが、コストの問題もありなかなかその導入が難しい。そこで本研究では「砂地盤の液状化を利用した対策工法」を提案し、特に長周期波による港内副振動に対する制御効果を実験および理論の両面から調べることにした。

## 2. 実験装置および実験方法

本研究で提案している制御工法は、港内の砂地盤内に穴をあけたパイプを埋設しそこから上向きの浸透流を発生させボーリングにより砂地盤を液状化させて、港内長周期水面振動を抑制しようとするものである。埋設したパイプからの浸透流によるボーリングとボーリングによって液状化した砂地盤による消波効果についてはすでに高橋ら(1994)によって検討されており、ある程度の距離にわたって液状化を起こすことにより波浪減衰効果が期待できることを示しているが、港内においては液状化を発生させる地盤の面積は限られており、長周期波に対しては液状化による波高減衰効果をあまり期待できない。ここでは、液状化地盤による湾の固有振動周期の変化に着目し、副振動周期の変化特性を中心に検討することとした。

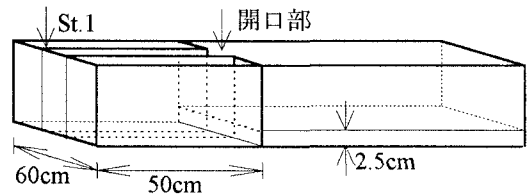


図-1 実験装置の略図

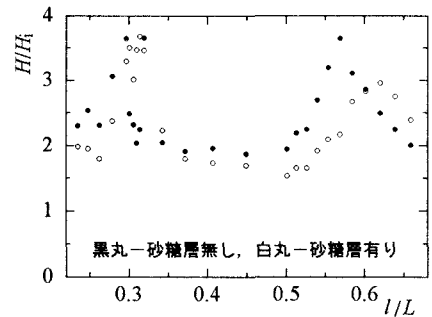


図-2 St.1における波高比の比較

港内の底質に液状化砂地盤を用いる実験は実験装置の都合上困難であるため、砂糖を敷いて水分により流動化させた”Sugar water”を用いた模型実験を実施した。本実験で用いた実験施設の概要を図-1に示す。図-1中の厚さ2.5cmの窪みに濃度約60%の”Sugar water”を満たし、25m離れた造波板より幅10cmの開口幅を設けて規則波を入射させた。なお、本実験で用いた”Sugar water”の密度 $\rho$ および水温を調べたところそれぞれ $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $11^\circ\text{C}$ であった。

## 3. 実験結果とその考察

図-2に湾奥隅のSt.1における波高比を示す。なお、図中の $l$ 、 $L$ 、 $H$ 、 $H_1$ は順に模型の水路延長方向の寸法、波長、湾奥の波高、入射波高を表す。入射波高は湾口の開口部を板でふさいで前面に形成される重複波の波高を測定することにより、その半波高として求めた。共振ピークは実験範囲内では3つ現れ、 $l/L =$

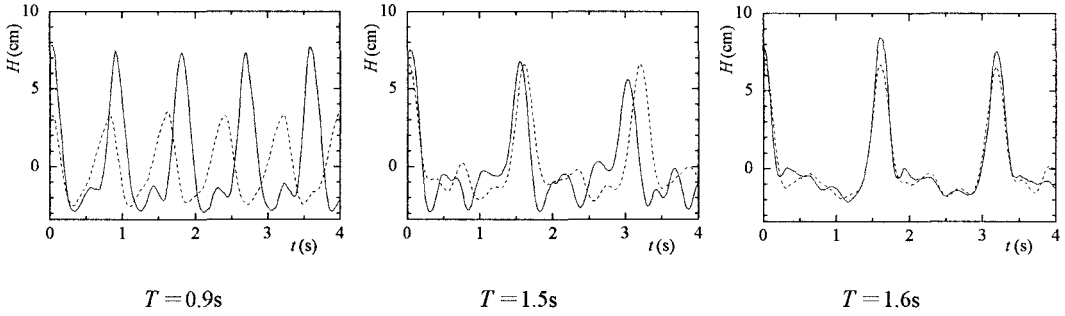


図-3 St.1における時間波形の比較 (実線：砂糖層なし, 破線：砂糖層あり)

0.3付近では2つのピークが近接している。この付近では”Sugar water”のケースでもほぼ同様な増幅率となっている。

図-3に、図-2中に見られた3つのピーク付近の時間波形を示す。周期が0.9sの時には図-2にもみられたように”Sugar water”のケースにおける波高は小さく抑えられており、かつ位相も速くなる傾向が見られる。また波形に2次波の影響も現れなくなっている。こうした傾向はT=1.6sの共振時には見られない。

4. 理論モデル

以上の実験結果を検討するために、液状化した砂地盤を密度の異なる流体とした2層流体モデルにより数値実験による検討を加えることとした。計算モデルは2層流体各層の連続式、運動量方程式および2層流体間の接続条件式を考えることにより、Boussinesq方程式の近似下では水の層および”Sugar water”の層に対する速度ポテンシャルをそれぞれ $\phi$ ,  $\varphi$ , 変位量をそれぞれ $\zeta$ ,  $\xi$ とすると次式を得る。

$$\nabla(\zeta + \nabla\phi_{alt}) + \varepsilon(\phi_{alx}\nabla\phi_{alx} + \phi_{aly}\nabla\phi_{aly}) + (\mu^2 z_{al}/2)\{(z_{al} + 2h)\nabla^3 \cdot \phi_{alt} + 2(1-h)\nabla^3 \cdot \phi_{amt}\} = O(\mu^4) \tag{1}$$

$$\nabla \cdot (\phi_{alt} - \gamma\varphi_{amt} + (1-\gamma)\xi) + \varepsilon(\phi_{alx}\nabla\phi_{alx} + \phi_{aly}\nabla\phi_{aly}) + (\mu^2/2)\nabla^3[(h+z_{al})^2\phi_{alt} + \{2(1-h)(h+z_{al} - \gamma z_{am}) - \gamma z_{am}^2\}\varphi_{amt}] + \varepsilon\{\phi_{alx}\nabla\phi_{alx} + \phi_{aly}\nabla\phi_{aly} - \gamma(\varphi_{amx}\nabla\varphi_{amx} + \varphi_{amy}\nabla\varphi_{amy})\} = O(\mu^4) \tag{2}$$

$$(\mu^2 h/2)\left[\{z_{al} + (1+1/\sqrt{3})h\}\{z_{al} + (1-1/\sqrt{3})h\}\phi_{al} + (1-h)(2z_{al} + h)\varphi_{am}\right] + (\zeta - \xi)_t + h\nabla^2\phi_{al} + \varepsilon\{(\zeta - \xi)\nabla^2\phi_{al} + (\zeta - \xi)_x\phi_{alx} + (\zeta - \xi)_y\phi_{aly}\} \times \nabla^2 \cdot \nabla^2 = O(\mu^4) \tag{3}$$

$$(\mu^2(1-h)/2)\{z_{am} + (1+1/\sqrt{3})(1-h)\}\{z_{am} + (1-1/\sqrt{3})(1-h)\}\nabla^2 \cdot \nabla^2\varphi_{am} + \xi_t + (1-h)\nabla^2 \cdot \varphi_{am} + \varepsilon(\xi_x\varphi_{amx} + \xi_y\varphi_{amy} + \xi\nabla^2 \cdot \varphi_{am}) = O(\mu^4) \tag{4}$$

ただし、 $\phi_a$ ,  $\varphi_a$ は任意水深 $z_a$ で定義された速度ポテンシャルで、分散特性が最も改善される代表水深 $z_a$ をとることにする。

5. 終わりに

液状化した砂地盤を”Sugar water”によりモデル化し、模型実験により湧水振動の抑制効果を調べた。その結果、2次共振ピーク付近では有意な波高低減効果が見られるものの、基本モード付近に対しての低減効果はほとんど期待できないことがわかった。ただし、こうした応答特性は”Sugar water”の層厚に依存すると考えられるので、層厚を変えた実験に加えて数値実験を実施し、引き続き検討を加えていきたい。

参考文献

高橋重雄・下迫建一郎・山本悟・三浦裕信 (1994) : 液状化した砂地盤の特性とそれによる消波に関する基礎実験, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.611-615.