

# 중복파에 의해 발생하는 해저지반 내부의 잔류과잉간극수압의 발생 특성

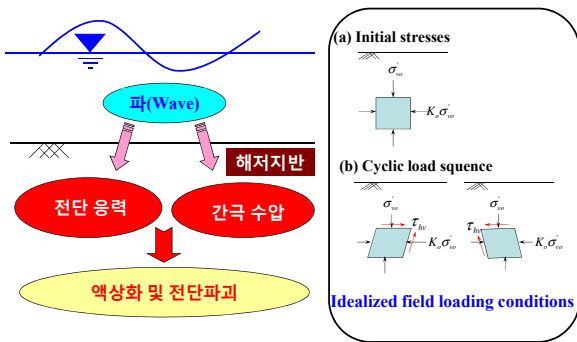
† 양 순보 · 김남형\*

† 제주대학교 해양과환경연구소 특별연구원, \*제주대학교 토목공학과 교수

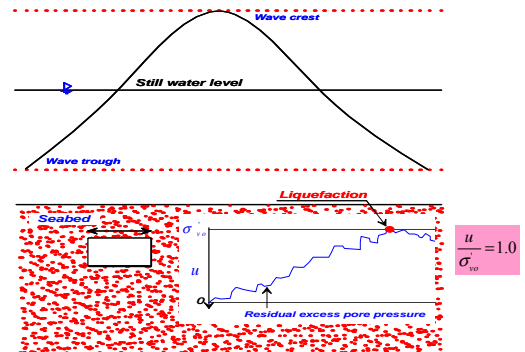
**요 약 :** 파, 해저지반 및 해안·해양구조물과의 관계는 해안공학뿐만 아니라 지반공학 분야에서도 중요한 이슈중의 하나이며, 파랑에 의한 해저지반 내부의 압력 및 응력의 파악은 다양한 해안·해양 구조물의 기초 설계 및 해저·연안 지반의 불안정성 검토에 있어서 중요한 과제이다. 해저 지반의 불안정에 대한 문제 중, 파랑에 의한 해저지반의 액상화는 기존의 연구를 통하여, 두개의 메커니즘이 존재한다는 것이 밝혀졌으며, 이는 각각 파랑에 의해 해저지반 내부에 발생하는 과잉간극수압의 변동 특성 및 잔류 특성에 따른 것이다. 이 연구에서는 중복파에 의해 해저지반 내부에 에 발생하는 과잉간극수압에 대하여 수치해석을 하였으며, 발생하는 과잉간극수압 중 잔류 과잉간극수압의 발생 특성과 실험 결과를 비교·분석하였다.

**핵심용어 :** 중복파, 해저지반의 액상화, 잔류과잉간극수압

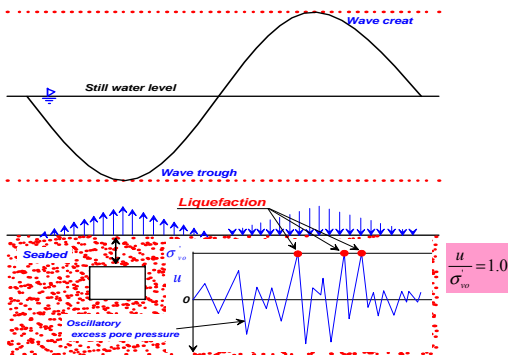
## Introduction



잔류과잉간극수압에 의한 해저지반의 액상화 메카니즘

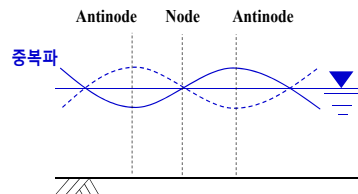


변동과잉간극수압에 의한 해저지반의 액상화 메카니즘



> 중복파(Standing wave)에 의해 해저지반 내부에 발생하는 Seepage force에 의한 잔류과잉간극수압(Ridual excess pore water pressure)

➡ 여러 지반 정수 중, 영향이 큰 지반 정수에 대한 해석 결과.

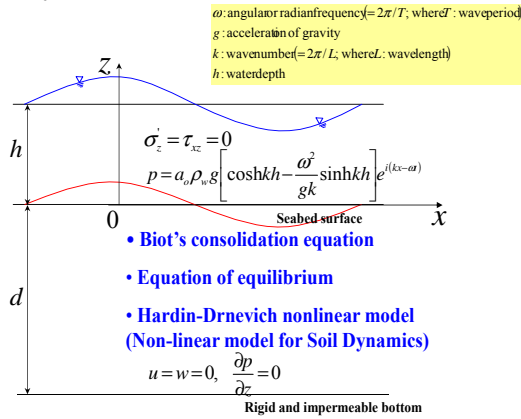


> 수리모형 실험을 통한, Seepage force에 의해 발생하는 잔류과잉간극수압에 대한 해석결과의 타당성에 대한 검증

† 교신저자 비회원) beeo17@hanmail.net

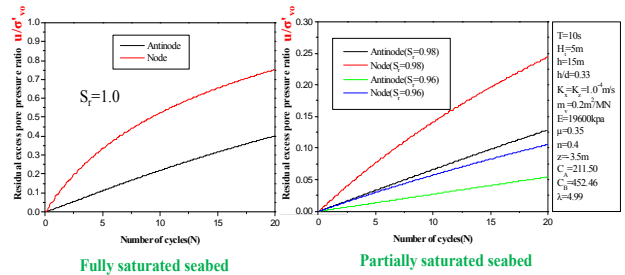
\* 중신회원 nhkim@jejunu.ac.kr

## Boundary conditions



## Effect of the degree of saturation

$u$ : 과잉간극수압  $\sigma'_{vo}$ : 유효상재하중



Residual excess pore pressure ratio on the effect of the degree of saturation for standing wave.

## Response of Residual Excess Pore Pressure to Soil Parameters

> Governing equation on residual pore pressure

$$\frac{K_x}{r_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{K_z}{r_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \left( 1 + n \frac{C_w}{m_v} \right) \frac{\partial u}{\partial t} - \psi$$

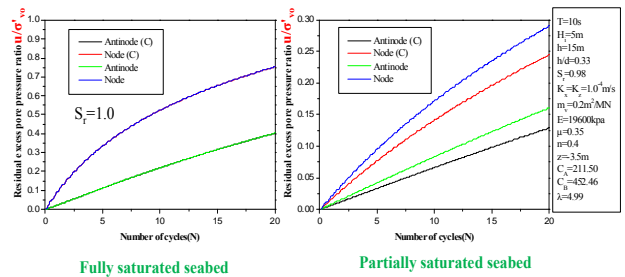
$u$ : residual excess pore water pressure  
 $K_x, K_z$ : soil permeability  
 $r_w$ : unit weight of pore fluid  
 $m_v$ : coefficient of volume compressibility  
 $n$ : porosity  
 $C_w$ : compressibility of pore fluid including  
 $C_p$ : compressibility of pore fluid ( $= 4.9 \times 10^{-10} m^2 / N$ )  
 $S_v$ : degree of saturation  
 $P_{at}$ : absolute static wave pressure  
 $\sigma'_{vo}$ : initial mean effective stress  
 $C_A, C_B, \lambda$ : experimental constants  
 $\gamma$ : shear strain amplitude  
 $N$ : number of cycles

$$C_w = S_v C_p + \frac{1 - S_v}{P_{at}}$$

$$\psi = \frac{\sigma'_{mo} (C_A / C_B) (2\gamma C_B e^{\lambda \gamma})}{1 + 2\gamma C_B N e^{\lambda \gamma}} \frac{\partial N}{\partial t}$$

## Effect of the compressibility of pore fluid

$u$ : 과잉간극수압  $\sigma'_{vo}$ : 유효상재하중

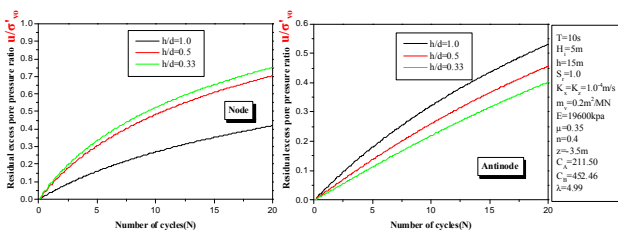


Residual excess pore pressure ratio on the effect of the compressibility of pore fluid for standing wave.

## Effect of permeable seabed thickness

Residual excess pore water pressure  $\propto$  Thickness of permeable layer

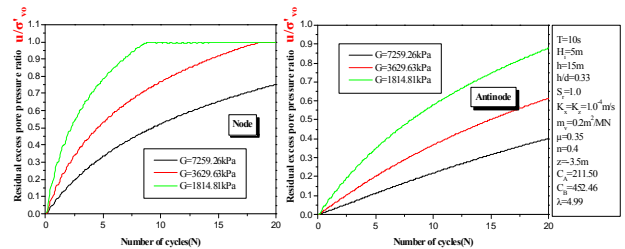
$u$ : 과잉간극수압  $\sigma'_{vo}$ : 유효상재하중



Residual excess pore pressure ratio on the effect of seabed thickness for standing wave.

## Effect of shear modulus

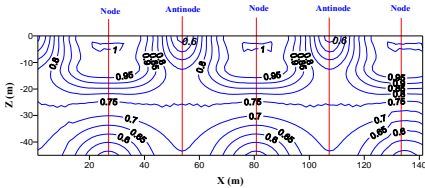
$u$ : 과잉간극수압  $\sigma'_{vo}$ : 유효상재하중



Residual excess pore pressure ratio on the effect of shear modulus for standing wave.

## Distribution of residual excess pore pressure

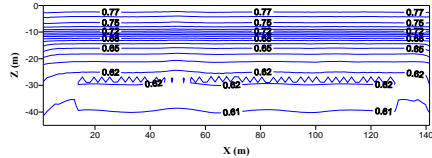
➤ In the case of **standing wave (N=20)**



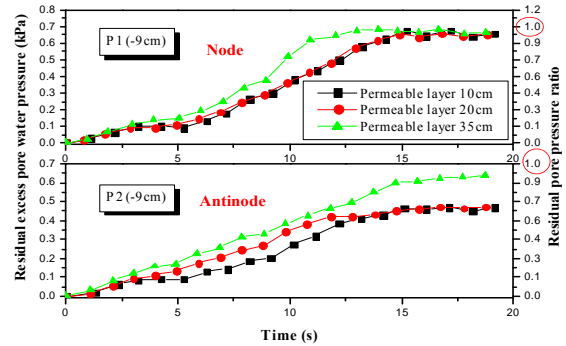
**Input parameters**

Soil characteristics	
$K_v=K_h$ (m/s)	$19 \cdot 10^{-4}$
$m_v$ (m <sup>2</sup> /MN)	0.2
$C_a$	111.5
$C_b$	452.46
$\lambda$	4.99
$G$ (kPa)	1814.81
$\mu$	0.35
$n$	0.4
$S_v$	1
Wave characteristics	
$H_i$ (m)	5
$T$ (s)	10
$h$ (m)	15

➤ In the case of **progressive wave (N=20)**

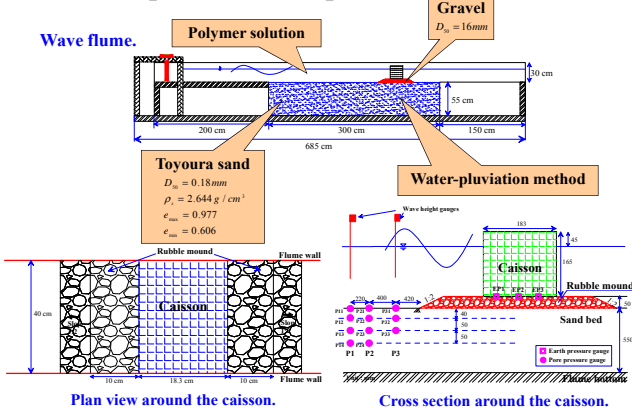


$T = 1.0s, H_i = 5.5cm$



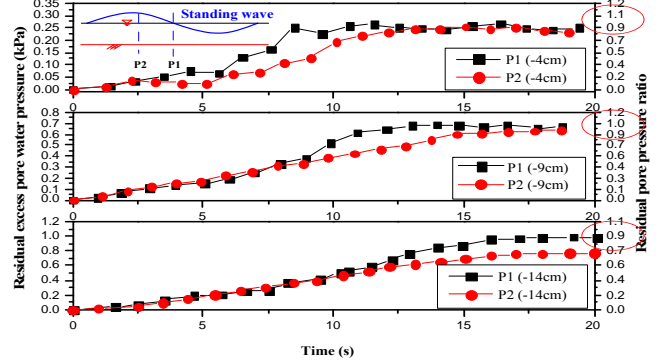
Increase of the residual excess pore water pressure against the thickness of permeable layer at the points P1 and P2.

## Model experiment set up



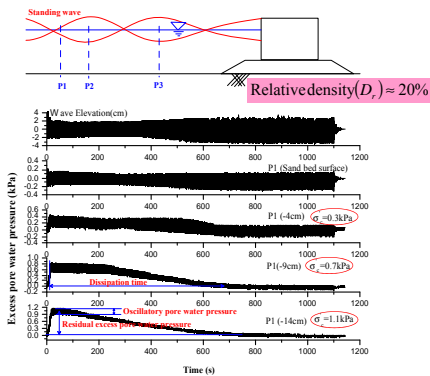
P1: Node

P2: Antinode



Increase of the residual excess pore water pressure at the points P1 and P2.  $T = 1.0s, H_i = 5.5cm$

## Liquefaction of sand bed



Wave elevation and excess pore water pressure observed at the point P1.

$T = 1.0s, H_i = 5.5cm$

## Conclusions

### • 중복파 조건하에서의 수치해석 결과

중복파의 Antinode 보다 Node 주위에서 과잉간극수압비가 빠르게 상승하는 것을 알 수 있으며, 그 결과, Node 주위에서 액상화가 먼저 발생하며, 전 지반으로 액상화가 확산된다는 결과를 얻을 수 있었다.

이를 통해, 해안 구조물 전면에 중복파가 발생할 경우, 해안 구조물의 전면에서 중복파의 반파장 지점에서 지반의 불안정이 발생할 가능성이 가장 크며, 이 불안정이 확산될 가능성이 있다. 따라서 설계파의 파장에 대해서 발생할 수 있는 중복파를 고려하여, 해안 구조물의 전면에서 중복파의 반파장의 거리까지 지반의 개량 및 파랑의 에너지를 줄일 수 있는 소파블록을 설치할 필요가 있다.

### • 중복파에 대한 수리모형 실험 결과

중복파의 Antinode 보다 Node 주위에서 액상화가 먼저 발생하며, 이 액상화가 전 지반으로 확산한다는 것을 실험을 통하여 밝혔으며, 이는 위의 수치해석 결과와 일치하였다.