

# 固定 浮遊 構造物에 의한 港灣靜穩度の 制御效果

金 漢 必\* · 李 重 雨\*\*

## The Effect of Wave Control in the Harbor by the Fixed Floating Structure

*H. P. Kim · J. W. Lee*

Key Word : 완경사방정식(mild slope equation), 고정부유구조물(fixed floating structure, FFS), 복합요소법(hybrid element method), 회절(diffraction), 굴절(refraction), 변분법(variational method), 방파제(breakwater)

### Abstract

This study deals with the case of a fixed floating structure(FFS) at the mouth of a rectangular harbor under the action of waves represented by the linear wave theory. Modified forms of the mild-slope equation is applied to the propagation of regular wave over constant water depth. The model is extended to include bottom friction and boundary absorption. A hybrid element approximation is used for calculation of linear wave oscillation in and near coastal harbor. Modification of the model was necessary for the FFS. For the conditions tested, the results of laboratory experiments by Ippen and Goda(1963), and Lee (1969) are compared with the calculated one from this model. The cases of flat cylindrical structures, both fixed and floating, were taken to be in an intermediate water depth.

### 1. 序 論

연안항만에서 공진으로 인한 부진동을 포함한 정온도의 문제는 많은 항만에서 발생하고 있으며 항만계획 및 운영에서 가능하면 피하거나 최소화 하는 것을 목표로 한다. 과거 우리나라의 항만은 이러한 부진동에 대한 문제를 심각하게 생각하지 않고 계획되어 왔으며 이로 인한 항만의 파손, 선박의 항행장애, 접안 및 하역작업의 중지 등,

최근 항만의 운영과 관리에 여러가지 문제점이 제기되고 있다.

파랑의 항내 침입을 제어하기 위한 방법으로는 기존항만의 평면배치 변형, 방파제의 건설, 항내 수심의 변형, 소파구조의 도입, 완충구간의 도입 등(Wiegel, 1964)을 들 수 있으나 장주기 파랑의 유입에 대한 제어방법은 여전히 연구 중에 있다.

항내정온도 향상을 위한 파랑제어 구조물로는 방파제를 들 수 있으며 이들중 부유방파제에 대

\* 정회원, 한국해양대학교 대학원 석사과정 항만운송공학과 해안항만공학 전공

\*\* 정회원, 한국해양대학교 항만운송공학과 교수

한 검토는 실험실을 통해서 자주 제시되어 왔다. 그러나 대부분의 연구는 물리적 실험장치에 의존하고 있으며 2차원적인 해석에 불과하였고 항만을 겸한 실험은 제시되지 않고 있다.

본 연구에서는 이(1990)의 모델에서 FFS구조를 도입할 수 있도록 지배방정식을 수정하였으며 이를 항만경계영역에 적용하여 보았다.

따라서 본 연구는 Fig.1에서와 같이 고정식 부유구조물(Fixed Floating Structure, FFS)을 단순화된 연안 항만역에 도입하여 그 효과를 조사하

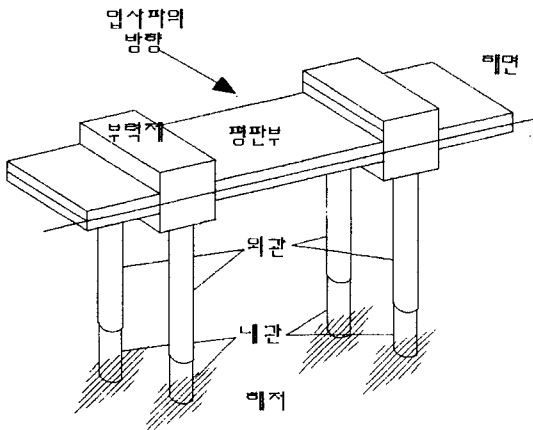
고 추후 실제 항만에 도입여부를 검토하기 위한 기초적인 시도에서 출발하였다.

파랑의 항내 침입, 변형을 해석하기 위한 노력은 해석적인 방법, 수리모델, 수치모델 등으로 많은 시도가 있었으며 이들 접근방법은 서로 장단점을 가지고 있으므로 여기서는 해석할 영역을 불규칙적인 요소로 분할하여 항만의 형태, 경계조건 등에 크게 제약을 받지 않는 유한요소적 수치해석법을 다루기로 한다.

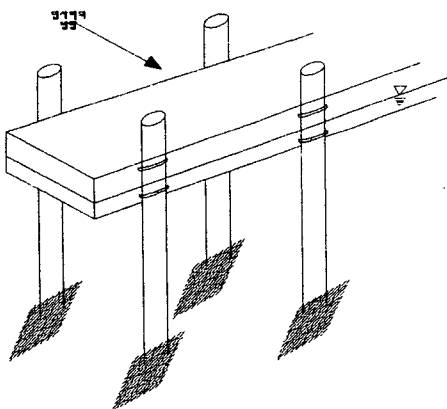
파랑의 분석을 위한 기본과 이론은 완경사방정식(Mild Slope Equation)을 많이 사용하고 있는데, 이는 Berkhoff(1972)에 의해 개발된 이후 Chen과 Mei(1974, 1975)에 의해 유한요소법(Finite Element Method)와 복합요소법(Hybrid Element Method)으로 방법이 제안되어 여러 학자들(Lee, 1989)에 의해서 개량되어 왔다. 이 방정식은 천수효과(Shoaling Effect), 회절(Diffraction) 및 굴절(Refraction)과 반사(Reflection) 등의 물리현상을 포함하므로 수치해석에 빈번히 사용되어 왔으나, 해저마찰, 경계면 흡수, 반사파의 방사(Scattering) 등은 최근에 와서야 가능하게 되었다. 이들 조건을 종합화한 시도는 Chen(1985, 1986)과 Lee(1987, 1989) 등이 있었다.

우리나라에서 본격적인 부진동의 문제에 대한 거론은 추(1974)의 관측에 의한 특정주기의 제시로 그 이후 몇몇 학자나 보고서를 통해 이들 현상이 소개된 이래 이를 해석하기 위한 시도(이, 1966; 박, 1986; 이, 1986; 건설부, 1987; 부산직할시, 1990)로 현상의 관측 및 실험분석이 이루어졌다. 그러나 이들 대부분의 연구가 해저마찰, 경계면에서의 에너지 흡수 등을 고려하지 않은 경우에 국한함으로써 이로부터 구해진 진동의 최고진폭치는 항상 지나치게 컸고 부적합하였다. 또한 기 설계된 항만은 여전히 부진동의 문제를 안고 있으며 저감방안이 특별한 효과를 가져오지 못했다.

위의 결점을 보완한 국내의 장주기파랑에 대한 항만반응의 체계적인 연구 분석은 이(1989, 1990)에 의하여 실행되었으며 이를 부산항 인공섬계획에서 부진동의 실험(부산직할시, 1991)에서 탁월



(a) Piston type supporter



(b) Fixed pile supporter

Fig.1 Schematic diagram of the Fixed Floating Structures(FFS)



$$\eta(x, y, t) = \frac{i\omega}{g} \phi e^{-i\omega t} \dots\dots\dots (4)$$

해안경계면  $\partial B$ 에서의 경계조건은 반사계수 (Reflection Coefficient,  $K_r$ )를 사용하였으며, 불완전반사 및 산란을 고려하여 경계면을 따라 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = ik \frac{1-K_r}{1+K_r} \phi \dots\dots\dots (5)$$

또한, A, C 두 영역의 경계면  $\partial A$ 와 고정부유구조물의 경계면  $\partial F$ 에서는 경계를 통과할 때 에너지 손실은 없는 것으로하여 직각방향의 질량 및 에너지 전달은 연속적인 것으로 하여 식 (6), (7)로 연결한다.

$$(\lambda C C_g \frac{\partial \phi_A}{\partial n}) = (\lambda C C_g \frac{\partial \phi_C}{\partial n}) \dots\dots\dots (6)$$

$$(\lambda C C_g \frac{\partial \phi_A}{\partial n}) = (\lambda C^* C_g^* \frac{\partial \phi_F}{\partial n}) \dots\dots\dots (7)$$

개방경계면의 도입시 내부유한구간 (A)와 외부무한구간 (C)의 두 부분으로 나누어 개방경계면에서는 Sommerfeld의 방사조건(Radiation Condition)을 적용하기로 한다.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left( \frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \phi^s = 0 \dots\dots\dots (8)$$

여기서 n은 경계면에서 외부로 수직방향,  $\phi^s$ 는 외부로 향하는 파(Scattered Wave)의 속도포텐셜이다.

3. 모델의 樹立

이와 같은 경계치 문제를 풀기 위해 수치기법으로 복합요소법을 사용(Lee, 1989)하기로 한다. 고정식 부유구조물을 포함한 대상해역의 파랑 지배방정식에 상기의 경계조건 식 (5)~(8)을 만족시키기 위하여 변분법(Variational Method)을 도입하였다. 이 때 범함수(Functional)  $F(\phi)$ 가 일정

하도록 경계조건식들을 범함수에 더해서 이를 최소로 하는 형태로 변환한다.

최종적으로 최소화할 범함수는 Green의 제 1 동일성의 원리 및 Gauss정리에 의해서 경계조건식을 포함시키면 적분방정식의 형태로 된다.

$$\begin{aligned}
 F(\phi) = & \iint_A \frac{1}{2} \left\{ \lambda C C_g (\nabla \phi)^2 - \frac{C_g}{C} \omega^2 \phi^2 \right\} dA \\
 & + \iint_F \frac{1}{2} \left\{ \lambda C^* C_g^* (\nabla \phi)^2 \right\} dA \quad I_1 \\
 & + \int_{\partial A} \frac{1}{2} \lambda C C_g (\phi_C - \phi^i) \frac{\partial (\phi_C - \phi^i)}{\partial n_A} ds \quad I_2 \\
 & - \int_{\partial B} \frac{1}{2} \lambda C C_g ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \phi^2 ds \quad I_3 \\
 & - \int_{\partial A} \lambda C C_g \phi_A \frac{\partial (\phi_C - \phi^i)}{\partial n_A} ds \quad I_4 \\
 & - \int_{\partial A} \lambda C C_g \phi_A \frac{\partial \phi^i}{\partial n_A} ds \quad I_5 \\
 & - \int_{\partial A} \lambda C C_g \phi^i \frac{\partial (\phi_C - \phi^i)}{\partial n_A} ds \quad I_6 \\
 & - \int_{\partial A} \lambda C C_g \phi^i \frac{\partial \phi^i}{\partial n_A} ds \quad I_7 \\
 & \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

여기서  $\phi^i$ 는 입사파의 복소속도 포텐셜이고,  $\phi_A$ ,  $\phi_C$ 는 각 A 및 C 구간에서의 복소속도 포텐셜을 나타낸다.

식(9)에 하이브리드 요소법(Hybrid Element Method)에 의한 변환과정을 거치면 일반적인 형태의 대수방정식(Algebraic Equation)으로 간략화하여 표현할 수 있다. 각 적분항은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 I_1 = & \iint_A \left\{ \frac{1}{2} (\lambda C C_g)^e \right. \\
 & \left. \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left( \nabla N_i \cdot \nabla N_j - \frac{\omega^2}{\lambda C^2} N_i N_j \right) \phi_i^e \phi_j^e dA \right\} \\
 & + \iint_F \left\{ \frac{1}{2} (\lambda C^* C_g^*)^e \right. \\
 & \left. \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 (\nabla N_i \cdot \nabla N_j) \phi_i^e \phi_j^e dA \right\} \dots\dots\dots (10) \\
 I_2 = & \frac{1}{2} k r_A \lambda C C_g \int_0^r \left\{ \alpha_0 \frac{H'_0(k r_A)}{H_0(k r_A)} \right.
 \end{aligned}$$

$$+ \sum_{n=1}^m \alpha_n \frac{H'_0(kr_A)}{H_0(kr_A)} \} \cos n\theta \Big] \\ \left[ \left\{ \alpha_0 + \sum_{n=1}^m \alpha_n \right\} \cos n\theta \right] d\theta \dots\dots\dots (11)$$

$$I_4 = -k\lambda CC_g \sum_{nR=1}^{R-1} \frac{1}{2} (\dot{\phi}_{nR} + \dot{\phi}_{nR-1}) \\ \left[ \alpha_0 \frac{H'_0}{H_0} + \sum_{n=1}^m \alpha_n \frac{H'_n}{H_n} \cos n\theta_{nR} \right] \dots\dots\dots (12)$$

$$I_5 = -\lambda CC_g \left( \frac{-iga_0}{\omega} \right) \sum_{nR=1}^{R-1} \frac{1}{2} (\dot{\phi}_{nR} + \dot{\phi}_{nR-1}) \\ (ik) \{ \cos(\theta_{nR} - \theta^l) e^{kr_A \cos(\theta_{nR} - \theta^l)} \\ + K_r \cos(\theta_{nR} + \theta^l) e^{kr_A \cos(\theta_{nR} + \theta^l)} \} \dots\dots\dots (13)$$

$$I_6 = kr_A \lambda CC_g \left( \frac{-iga_0}{\omega} \right) \int_0^\pi \left\{ (1 + K_r) \sum_{n=0}^m C_n(i)^n J_n \sin n\theta \sin n\theta^l \right. \\ \left. + (1 - K_r) \sum_{n=0}^m C_n(i)^n J_n \sin n\theta \sin n\theta^l \right\} \\ \left\{ \alpha_0 \frac{H'_0}{H_0} - \sum_{n=1}^m \frac{H'_n}{H_n} (\alpha_n \cos n\theta + \beta_n \sin n\theta^l) \right\} d\theta \\ = \pi kr_A \lambda CC_g \left( \frac{-iga_0}{\omega} \right) \left[ (1 + K_r) J_0 \alpha_0 \frac{H'_0}{H_0} \right. \\ \left. + \sum_{n=1}^m (i)^n J_n \frac{H'_n}{H_n} \alpha_n (1 + K_r) \cos n\theta^l \right. \\ \left. + \beta_n (1 - K_r) \sin n\theta^l \right] \dots\dots\dots (14)$$

한편, 적분식 I<sub>7</sub>은 일정하므로 미분시 사라진다. 따라서, 유도한 범함수 (9)에서 두개의 미지계수 φ와 μ를 분리한 매트릭스형으로 정리한 후, 이 두 미지수에 대한 미분을 구하여 이를 각각 0으로 두어 연립시키면 식(15)와 같다.

$$([K_1] - [K_4] [K_2]^{-1} [K_3]^T) \{ \phi \} \\ = \{ Q_1 \} - [K_4] [K_2]^{-1} \{ Q_2 \} \dots\dots\dots (15)$$

이때, [K<sub>1</sub>], [K<sub>2</sub>], [K<sub>4</sub>]는 범함수 식 (9)에서 각 적분항 (I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>4</sub>)에 대한 매트릭스를 나타내고, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>는 미분후의 Load Vector를 나타내는데

(Lee, 1989 참조) 이를 대수방정식 형태로 요약하면 식 (21)과 같이 된다.

$$[K] \{ \phi \} = \{ Q \} \dots\dots\dots (16)$$

### 4. 數值實驗 및 結果分析

본 모델은 과거의 연구(Lee, 1989, 1990)에서 고정식 부유구조물을 도입하여 이를 수정한 것이다. 모델을 통한 파랑반응 해석의 타당성 및 적용성은 Ippen & Goda(1963), Lee(1969) 등이 실험실에서 취한 표준항만(Fig.3 참조)에 대한 측정 자료로 부터 Fig.4와 같이 비교하여 검토가 되었으며 본 연구에서도 동일 구조에 대해 다루기로 한다.

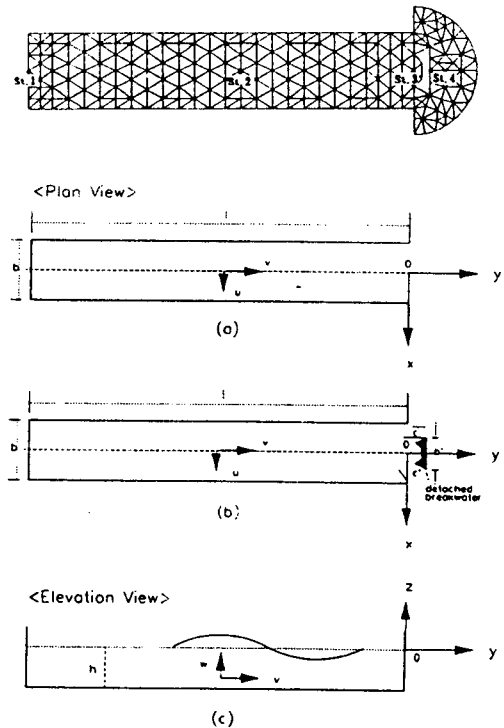


Fig.3 Element mesh and geometry for a rectangular harbor

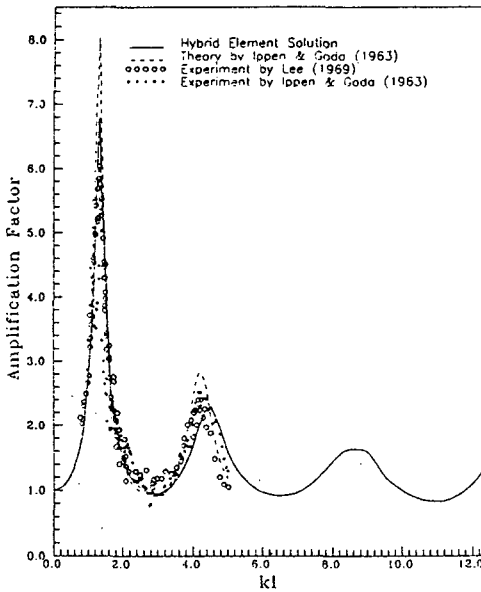


Fig.4 Comparison of response curves for a fully open rectangular harbor

이 항만의 제원은 길이( $l$ )가 31.11cm, 폭( $b$ )이 6.04cm, 수심( $h$ )이 25.72cm 이다. 직립방파제 및 고정 부유구조물이 위치하는 곳은 만의 입구 중앙이며 구조물의 길이( $b'$ )가 3.81cm, 폭이 0.64~1.28cm, 안벽과 구조물사이의 간격( $c, c'$ )은 1.12~1.57cm이다. 해석에 사용한 유한요소 격자망은 총 220개의 절점과 358개의 삼각요소로 구성되어 있다.

Fig.3에는 반응특성의 비교를 위해 선택한 4지점(St.1~4)를 나타내고 있으며, Fig.4에서 가로축은 입사파의 파수  $k$ 에 항의 길이  $l$ 을 곱하여 무차원화 하였다. 세로축은 증폭비로 항만의 최대 단축(St.1)에서 입사파에 반응을 파고비로 나타낸 것이다. 실험결과  $kl$ 이 1.4, 4.5, 8.7, 12.6 등에서 공진모드를 발견할 수 있었고 부진동의 모델실험치와 수리모형실험결과는 양호하게 일치하고 있음을 알았다.

모델실험에서는 수심을 정수면아래 일정한 것으로 하였으며, 입사파는 해안선에 대해 직각으로 향하고 입사파의 진폭은 수심에 비해 매우 작은  $a_0/h = 0.059$  정도를 취하였다. 본 실험분석에서는

해안선에서의 에너지 흡수 및 해저마찰이 없는 경우( $K_r=1, \beta=0$ )와 있는 경우( $K_r=0.9, \beta=0.05, \gamma=-\frac{\pi}{4}$ )로 나누고 그 결과를 Fig. 7~8에서 비교하였다.

Fig.5~6은 해안선에서 완전반사, 해저마찰이 없는 경우의 주기 0.2sec, 0.4sec에 대한 항만 및 수로에서의 반응특성을 대비한 것으로 구조물이 없는 경우(a,b), 방파제(c,d), 고정부유구조물(e,f)의 경우를 나타낸다. 각각은 항만의 길이방향으로 약 5과장 및 1.25과장이 위치함을 나타내고 있다. 이 그림으로 부터 비교적 단주기에서 파랑이 구조물에 의해 상당히 제어됨을 알 수 있다.

Fig. 7~8은 여러가지 주기에 대한 항만반응 특성을 각 지점별로 비교한 것으로 (\*)는 구조물이 없을 때(NS), (☆)는 방파제(B/W), (○)는 고정식 부유구조물(FFS)을 설치한 경우를 나타내며 FFS는 홀수가 7.62cm인 구조물로 다루었다.

(□), (△), (◇)는 해저마찰과 경계에서 에너지 흡수를 고려한 경우에 NS, B/W, FFS에 대한 결과이다.

Fig. 8은 항만의 내측단이 개방된 경우 개방수로효과를 도입하여 구조물의 직후에서 증폭비를 비교한 것이다.

여러가지 공진모드가 발견되었으며 고정식부유구조물의 경우 Wiegel(1964)이 정리한 바와 같이 전반적으로 표준화한 파수( $kl$ )가 2.0인 제1 공진모드 이하의 장주기에서는 구조물로 인한 파랑의 제어가 거의 일어나지 않았고, 단주기에서는 30% 이상으로 제어되는 것으로 나타났으나 이는 일정한 폭을 가진 구조에 국한됨을 알아야 한다. 공진주기에서는 직립방파제 및 고정부유구조물의 제어효과가 비교적 뚜렷하나 그 이외의 주기에는 미세한 변화만 확인되었다. 에너지의 경계면 흡수와 해저마찰을 고려하지 않을때 구조물이 존재하지 않는 경우에 대한 구조물 설치시의 증폭비(투과계수,  $K_t$ )는 Table 1에 정리한 바와 같다. 따라서, 여기서 정의한  $K_t$ 는 일반적인 투과계수와는 다르다. 각 Station의 좌측은 방파제의 경우이고 우측은 고정식 부유구조물의 경우를 나타낸다. Table 2는 경계면 흡수 및 해저마찰을 고려한 경

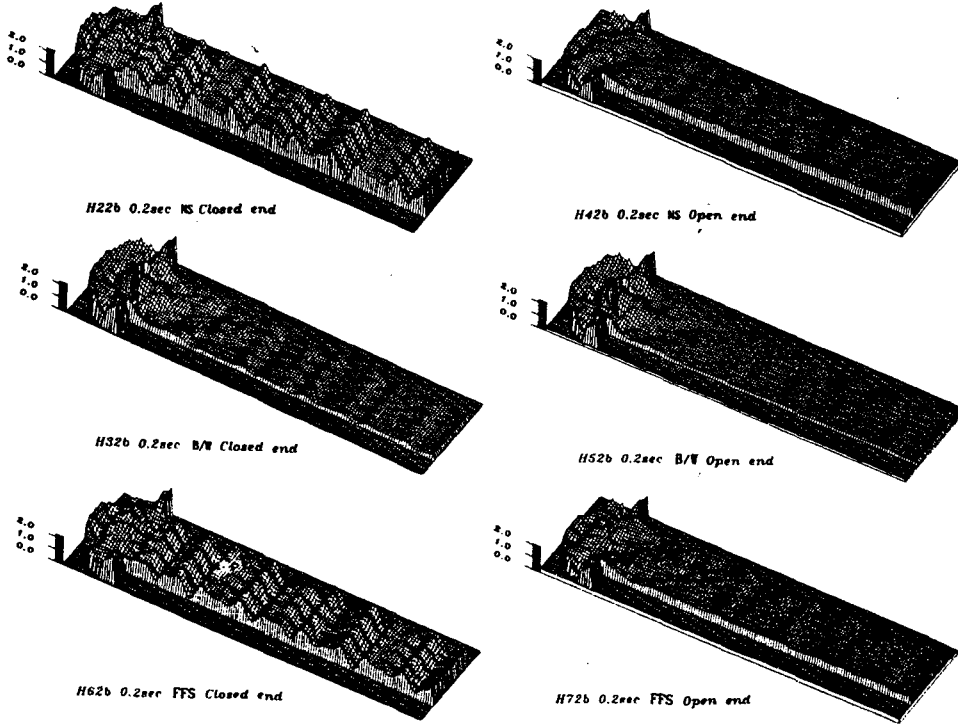


Fig.5 Surface patterns of a 0.2sec wave

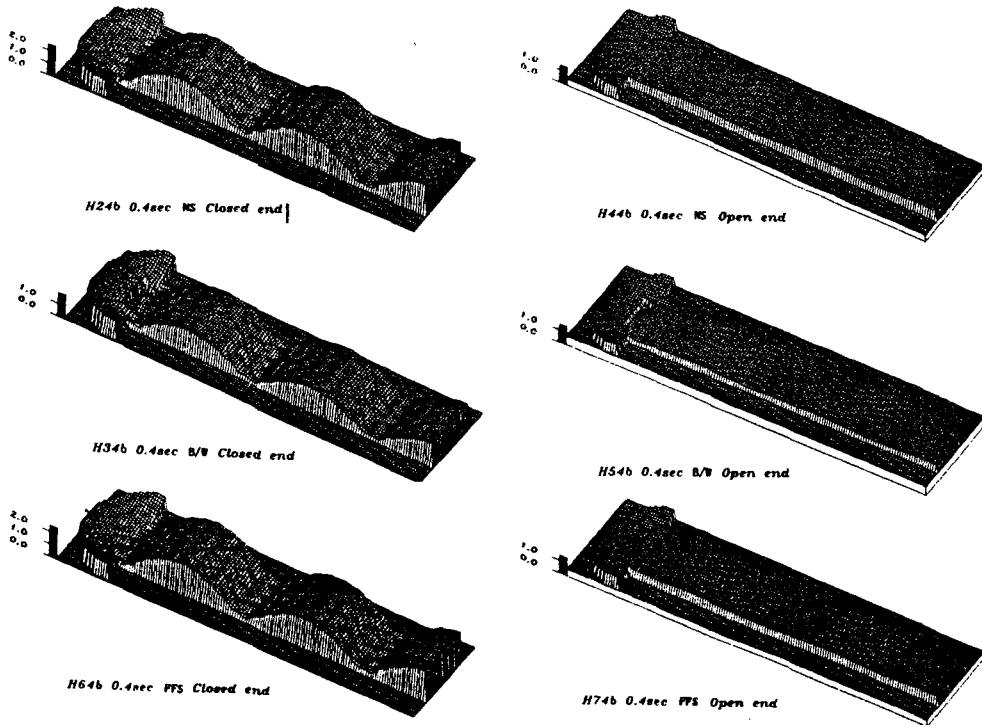


Fig.6 Surface patterns of a 0.4sec wave

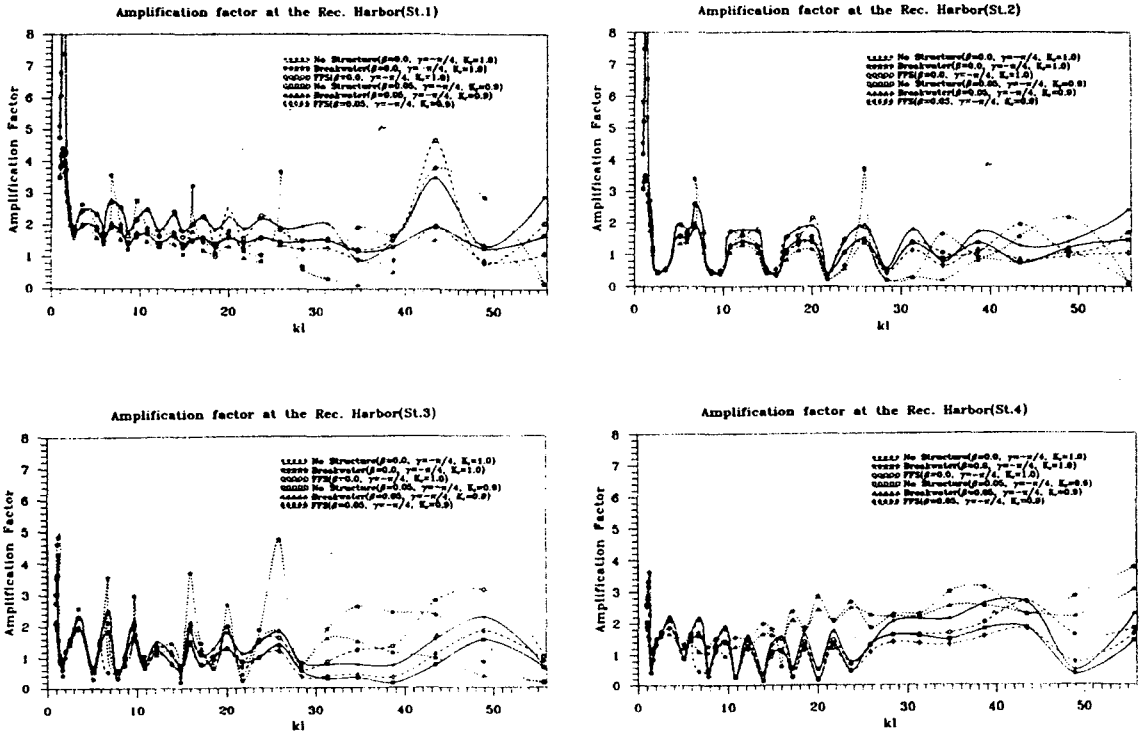


Fig.7 Comparison of response curves at St.1,2,3,4 (open harbor case)

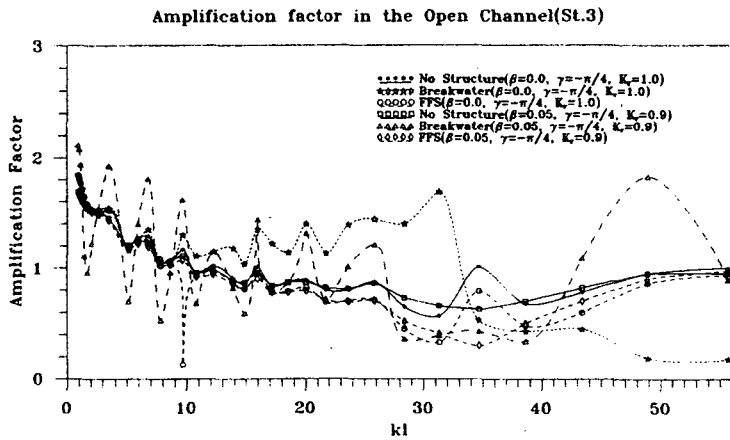


Fig.8 Comparison of response curves at St.3(open channel case)



Table 1 Comparison of amplification factor with respect to no structure case(without bottom friction and boundary absorption)

K $\ell$	K <sub>t</sub>									
	Closed Harbor								Open Channel	
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 3	
	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS
55.671	0.0586	0.7103	0.0290	0.7054	0.2000	1.4571	1.6348	0.8000	0.1800	0.9300
48.929	2.1333	0.6074	1.5282	0.7746	0.3789	1.3789	5.4808	3.1346	0.2000	0.9053
43.432	1.0920	1.3362	1.2326	1.5116	1.5064	1.7885	0.8598	1.0152	0.5769	0.7692
38.660	1.1200	1.0533	0.5434	0.6234	3.2400	1.8000	1.1947	0.7748	0.6324	0.7059
34.698	2.1209	1.3626	2.1688	1.3636	3.3462	1.5769	1.3991	0.7887	0.5248	0.7822
31.315	0.6118	0.7794	0.1611	0.5851	2.4177	1.1139	1.0748	0.7664	2.9649	1.9123
31.315	0.1618	0.7794	0.1611	0.5851	2.4177	1.1139	1.0748	0.7664	2.9649	1.9123
28.403	0.3641	0.7795	0.3621	0.7759	0.9529	0.7529	1.1068	0.7913	2.1538	0.6923
25.880	1.9219	0.9635	1.9175	0.9588	2.6044	0.8956	1.4308	1.0077	1.6552	0.8161
23.678	0.4818	1.0455	0.4755	1.0420	1.2789	1.0544	3.3924	0.9114	1.7375	0.8750
21.746	0.6310	0.8503	0.5789	0.8684	0.2124	0.7788	1.2000	0.8400	1.4125	0.8625
20.041	0.8214	1.1295	0.8325	1.1309	1.4807	1.1050	5.3774	1.0000	1.5730	0.9213
18.529	0.7500	0.8750	0.7473	0.8791	0.5234	0.8281	1.1273	0.8606	1.3103	0.9080
17.182	0.6547	1.0224	0.6688	1.0195	1.3519	1.0278	4.1034	0.9655	1.4524	0.9405
15.977	1.5805	0.9805	1.5833	0.9722	1.8317	0.9505	0.4025	0.9560	1.3366	0.9406
14.894	0.7056	0.9056	0.6984	0.8889	0.2658	0.8608	1.3382	0.8824	1.2093	0.9419
13.918	0.7574	1.0340	0.7529	1.0345	1.3273	1.0273	5.1282	0.9744	1.2967	0.9560
12.232	0.9000	0.9222	0.8989	0.9270	0.8431	0.8734	0.9444	0.9074	1.1275	0.9510
10.836	0.7683	1.0122	0.7674	1.0116	0.1013	1.0127	6.2400	1.0000	1.1563	0.9688
9.665	1.2579	0.9729	1.2619	0.9762	1.3653	0.9589	0.7396	0.9531	1.1111	0.9658
8.675	0.8295	0.9379	0.8302	0.9434	0.6930	0.9298	1.1159	0.9348	1.0094	0.9717
7.828	0.8186	0.9961	0.7836	0.9942	1.7188	1.0000	4.2333	0.9667	1.0381	0.9048
6.776	1.2971	0.9819	1.2966	0.9848	1.4167	0.9762	0.7844	0.9771	1.0465	0.9767
5.922	0.9330	0.9665	0.9270	0.9663	0.9018	0.9632	0.9882	0.9588	0.9843	0.9764
5.154	1.0683	0.9831	0.8223	0.9848	0.5085	0.9831	1.4835	0.9780	0.9667	0.9833
3.503	0.9476	0.9799	1.0755	0.9811	1.1064	0.9787	0.9330	0.9821	1.0000	0.9870
2.622	0.9144	0.9895	0.9545	1.0000	0.9264	0.9939	1.0294	0.9882	0.9673	0.9869
2.084	0.8721	0.9922	0.9120	0.9920	0.8525	0.9918	1.1176	0.9926	1.0065	1.0000
1.733	0.8148	0.9953	0.8728	0.9927	0.6719	0.9844	1.3953	1.0000	0.9748	0.9937
1.488	1.0460	0.9956	0.8246	0.9954	1.0698	1.0000	0.9333	0.9556	0.9880	0.9940
1.306	1.2095	1.0064	1.0463	1.0065	1.1459	1.0071	0.6329	0.9945	0.9942	0.9942
1.166	1.1240	1.0033	1.2088	1.0027	1.2790	1.0055	0.9520	0.9970	1.0000	0.9944
1.055	1.0823	1.0017	1.1252	1.0019	1.1650	1.0000	0.9615	0.9965	1.0000	0.9945
0.964	1.0823	1.0021	1.0837	1.0000	1.1136	1.0037	0.9656	0.9962	1.0054	1.0000

Table 2 Comparison of amplification factor with respect to no structure case(with bottom friction and boundary absorption)

K $\ell$	K <sub>t</sub>									
	Closed Harbor								Open Channel	
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 3	
	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS	B/W	FFS
55.671	0.1183	0.6509	0.1081	0.7162	0.3284	1.3284	2.1103	1.1517	0.9368	1.2011
48.929	1.1102	0.7008	0.8689	0.7787	0.2452	1.1806	5.6923	1.9744	1.9263	0.9474
43.432	0.7938	1.0103	1.0135	1.1486	1.2895	1.4342	1.2637	0.948	1.3293	0.8537
38.660	0.4046	0.6794	0.6043	0.8417	7.7333	2.2667	1.4011	0.8681	0.4857	0.7143
34.698	0.1206	0.7692	0.2299	0.7471	4.7188	1.3438	1.6980	0.8792	0.6825	0.4762
31.315	0.2157	0.8301	0.2190	0.8321	5.4000	1.3000	1.3875	0.8500	0.5909	0.6212
28.403	0.4094	0.6474	0.3922	0.8325	1.3929	0.6429	1.3704	0.8642	0.4932	0.7123
25.880	0.9257	0.9527	0.9193	0.9470	1.3286	0.8643	1.7068	0.8195	1.4070	0.8140
23.678	0.5500	1.0000	0.5421	1.0000	1.5437	0.9806	4.9800	1.0000	1.2469	0.8519
21.746	0.6690	0.8828	0.6579	0.8947	0.5000	0.7955	1.5036	0.8905	0.8537	0.8659
20.041	0.8323	1.0435	0.8357	1.0429	1.5581	1.0155	15.1875	1.3125	1.5057	0.9080
18.529	0.7832	0.9091	0.7778	0.9097	0.6634	0.8515	1.3984	0.9063	0.9885	0.8966
17.182	0.7500	1.0000	0.7522	1.0000	1.6076	0.9873	7.8148	1.0370	0.9286	0.9286
15.977	1.1830	0.9804	1.1944	0.9722	1.4079	0.9474	0.9828	0.9655	1.5000	0.9375
14.894	0.7606	0.9296	0.7593	0.9259	0.5821	0.8806	1.5472	0.9151	0.6782	0.9425
13.918	0.8434	1.0060	0.8480	1.0160	1.5000	1.0000	11.1333	1.0667	0.9213	0.9551
12.232	0.9091	0.9574	0.9091	0.9510	0.8800	0.9200	0.9845	0.9225	1.1616	0.9495
10.836	0.8555	1.0058	0.8480	1.0000	1.3768	0.9855	4.5357	1.0000	0.7083	0.9583
9.665	1.0788	0.9758	1.0732	0.9756	1.1786	0.9643	0.6621	0.9655	1.4595	0.9640
8.675	0.8483	0.9586	0.8571	0.9592	0.7525	0.9505	1.1282	0.9487	0.9057	0.9717
7.828	0.8478	0.9946	0.8492	0.9921	1.1852	0.9815	2.2292	0.9792	0.5000	0.9717
6.776	1.0670	0.9897	0.0642	0.9893	1.1630	0.2880	0.6875	0.2938	1.4836	0.9754
5.922	0.9150	0.9673	1.9150	0.9739	0.8966	0.9655	0.9667	1.0400	1.1200	1.0167
5.154	0.8564	0.9840	0.8500	0.9813	0.7465	0.9859	1.3444	0.9778	0.5785	0.9835
3.503	1.0000	0.9850	1.0000	0.9815	1.0257	0.9847	0.8883	1.1078	1.3310	0.9862
2.622	0.9415	0.9942	0.9362	0.9787	0.9161	0.9871	1.0124	0.9876	1.0132	0.9868
2.084	0.9174	0.9954	0.9091	0.9909	0.8618	0.9919	1.0977	0.9925	0.8079	0.9934
1.733	0.9079	0.9934	0.9077	0.9949	0.8454	0.9871	1.1574	0.9907	0.6234	0.9935
1.488	0.9221	0.9975	0.9910	0.9966	0.9369	1.0000	1.0180	0.9910	0.7070	0.9936
1.306	0.9592	0.9977	0.9598	0.9971	1.0000	1.0000	0.8750	0.9934	1.0000	1.0000
1.166	0.9929	0.9976	0.9915	0.9972	1.0258	1.0000	0.8913	0.9946	1.1829	0.9939
1.055	1.0078	0.9974	1.0091	1.0000	1.0337	1.0000	0.9196	1.0000	1.2455	0.9940
0.964	1.0134	1.0000	1.0130	1.0000	1.0377	1.0000	0.9366	0.9951	1.2544	1.0000

우이다. 정리된 표에서도 단주기에서 투과계수가 낮게 나타나므로 실제 적용을 위해서는 효과적인 규모를 검토하여야 할 것이다.

## 5. 結 論 및 討 論

완전 개방된 직사각형 모형항만에 대한 모델의 적용결과 고정식 부유구조물은 단주기파랑에 대해 효과적이며 장주기파에 대해 주어진 조건으로서는 뚜렷한 제어효과를 기대할 수 없음을 알았다. 이는 어떤 주어진 항만에서 고정부유식 쓰나미방파제와 같은 구조물은 효과가 없음을 시사해 준다.

본 실험에서는 해저에서의 마찰, 경계에서의 부분반사 등을 일률적으로 적용하였으므로 결과에는 차이가 있을 수 있으며, 특히 구조물 전후의 반응특성은 좁은 항만입구와 구조물의 상대적인 간격 및 반사파의 영향으로 실제보다 높게 나타난 것으로 사료된다. 물론 제어효과는 입사파의 파장에 대한 구조물의 폭이 밀접한 관계가 있으므로 장주기파에 대한 제어효과에 대해서는 추후 구조물 폭의 변형과 제외시킨 파라미터를 도입하여 실험하여야 할 것이다.

또한 항만의 폭, 만 입구와 구조물과의 거리 등, 파랑의 반사로 인한 결과의 변화도 고려하여야 할 것이다.

## 參 考 文 獻

- 1) 건설부(1987), 포항신항 파랑조사 및 모델 실험 용역보고서, 제 2권 파랑조사 및 모델 실험편.
- 2) 박한일(1986), 영일만과 포항신항의 해면부진동에 관한 수치실험연구, 서울대학 해양학과(석사).
- 3) 부산직할시(1990), 해상신도시건설 기본계획 연구용역 수치모형실험 보고서.
- 4) 부산직할시(1991), 수치모형(부진동 예측)실

험 연구용역보고서.

- 5) 이상룡(1986), 항만부진동 해석을 위한 기초 연구, 한국과학기술원 해양연구소 연구보고, BSPE00069-110-2.
- 6) 이석우(1966), 한국연안의 해면부진동, 수로연보, pp. 111-140.
- 7) 추교승(1974), 포항항의 해면부진동 현상, 수로연보, pp. 3-10.
- 8) Berkhoff, J. C. W. (1972), "Computation of combined Refraction-Diffraction", Proc. 13th. Coastal Engrg. Conf., Vancouver 1972, ASCE, Vol.1, pp. 471-490.
- 9) Chen, H.S.(1985), "Hybrid Element Modeling of Harbor Resonance", 4th International Conference on Applied Numerical Modeling, pp. 312-316.
- 10) Chen, H.S.(1986), "Effects of Bottom Friction and Boundary Absorption on Water Wave Scattering", Applied Ocean Research, Vol.8, No.2, pp. 99-104.
- 11) Chen, H.S. and Mei, C.C.(1974), "Oscillations and Wave Forces in a Man-made Harbor in the Open Sea", Proceeding of 10th Naval Hydrodynamics Symposium, pp. 573-596.
- 12) Lee, J. W. (1987), "A Finite Element Simulation of Waves approaching a Coastal Area", Dept. of Ocean Engrg., Univ. of Hawaii, HI, U.S.A.
- 13) Lee, J. W. (1989), "Hybrid Element Analysis of Water Waves for Harbor Design", Ph.D. Diss., Department of Ocean Engineering, Univ. of Hawaii, HI, U.S.A.
- 14) Lee, J. W.(1990), "Open Channel Effects in a Mathematical Model and Modification of Harbor, The Proceedings of the PACOMS" 90, Int. Soc. of Offs. and Polar Engineers, Vol II, pp. 61-70.
- 15) Wiegel(1964), Oceanographical Engineering, Prentice-Hall International, Inc., London, pp. 128-149.