

## 강성분포의 변화가 초대형 부유식 구조물의 유탄성응답에 미치는 영향 고찰

김병완<sup>†\*</sup>, 경조현\*, 홍사영\*, 조석규\*

한국해양연구원 해양시스템안전연구소\*

### Influences of Stiffness Distributions on Hydroelastic Responses of Very Large Floating Structures

Byoung-Wan Kim<sup>†\*</sup>, Jo-Hyun Kyoung\*, Sa-Young Hong\* and Seok-Kyu Cho\*

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering(KRISO), KORDI\*

#### Abstract

Influences of stiffness distributions on hydroelastic responses of very large floating structures (VLFS) are studied in this paper. Hydroelastic responses are calculated by direct method employing higher-order boundary element method (HOBEM) for fluid analysis and finite element method (FEM) for structure analysis. In structural analysis using FEM, Mindlin plate elements are used. An 1 km-long VLFS with uniform stiffness and modified VLFS with varying stiffness distributions are considered in numerical analysis. Responses of VLFS increase in flexible parts and decrease in stiff parts. Reduction degree of displacements of VLFS with stiffened center is larger than that of VLFS with stiffened sides.

※Keywords: VLFS(초대형 부유식 구조물), Hydroelastic Responses(유탄성응답), Direct Method(직접법), Stiffness Distribution(강성분포)

#### 1. 서론

해양공간의 효율적인 활용을 위한 구조물로서 최근 활발히 연구되고 있는 초대형 부유식 구조물(VLFS: Very Large Floating Structures)은 환경친

화적이고 설치지역의 시공조건에 영향을 덜 받으며 확장 및 제거가 용이하여 매립에 비해 여러모로 유리한 면이 많다. 일본의 메가플로트 프로젝트는 VLFS의 설계, 건조, 설치 및 실증실험 등으로부터 VLFS의 실용화 가능성을 검증하였으며 1 km 규모의 하네다 공항 확장 계획에 VLFS를 활용하는 방안을 검토하고 있는 중이다.

VLFS는 초대형 구조물이므로 강체보다는 유연성을 무시할 수 없는 탄성체에 가깝다. 따라서 해

접수일: 2004년 11월 8일, 승인일: 2005년 3월 4일

† 주저자, E-mail: kimbw@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7524

석 및 설계에 있어서 유체-구조 상호작용을 고려한 유탄성 해석이 요구된다. 유탄성응답 해석 방법에는 모드법(Maeda et al. 1995, Takaki and Gu 1996, Ohmatsu 1997, Nagata et al. 1997, Kashiwagi and Furukawa 1997, 홍사영 등 2000, 홍사영 등 2003), 직접법(Yago and Endo 1996, Yasuzawa et al. 1997, 심인환 등 1999) 및 고유함수전개법(Kim and Ertekin 1998, 홍사영 등 2003) 등이 있다.

본 연구의 목적은 다양한 강성분포를 갖는 VLFS 구조물들에 대한 유탄성응답을 수치적으로 해석함으로써 강성분포의 변화가 VLFS의 유탄성응답에 미치는 영향을 고찰하는 데 있다. 유탄성응답의 해석은 직접법을 도입하여 수행하였다. 유체유동 해석은 고차경계요소법(HOBEM: Higher-Order Boundary Element Method)을 적용하였으며 구조해석은 임의의 강성분포의 해석이 가능할 수 있도록 유한요소법(FEM: Finite Element Method)을 적용하였다. 고려된 VLFS는 길이에 비해 높이가 작은 폰툰형 구조물이므로 평판해석이 가능하다. 평판해석에 사용되는 유한요소에는 Mindlin 평판요소와 Kirchhoff 평판요소가 있는데 본 연구에서는 두께를 고려한 전단 거동을 비교적 잘 모사할 수 있는 Mindlin 평판요소를 도입하였다. Mindlin 평판요소는 Kirchhoff 평판요소가 고려할 수 없는 전단 거동을 해석에 포함할 수 있는 장점이 있는 반면 shear locking 내지 거짓제로에너지 모드 등의 수치적 불안정성을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 수치적 문제를 해결할 수 있는 대체변형률 기법(Donea and Lamain 1987)을 정식화 과정에 적용하였다. 직접법으로부터 유체역학적 강성행렬, 부가질량행렬 및 유체역학적 감쇠행렬을 구성하고 유체유동 방정식과 구조 운동방정식을 조합한 유체-구조 상호작용 방정식을 풀어냄으로써 VLFS의 유탄성응답을 계산하였다. 수치해석에 사용된 구조물은 길이가 1 km 이고 폭이 500 m인 부유식 컨테이너터미널이며 컨테이너터미널의 강성분포를 다양하게 변화시키면서 유탄성응답의 변동 특성을 고찰하였다.

## 2. 운동방정식

VLFS의 유탄성응답 해석을 위한 직접법의 운동방정식은 구조물의 운동방정식, 유체유동의 방정식 및 유체와 구조의 접합면에서의 경계조건 등을 조합하여 유도할 수 있으며 그 절차는 다음과 같다.

### 2.1 구조물의 운동방정식

구조물의 운동방정식은 Mindlin 평판요소를 도입한 유한요소법으로부터 수립된다. Mindlin 요소의 shear locking 현상과 거짓 제로에너지 모드 현상을 동시에 방지하기 위하여 대체변형률 기법을 적용하였으며 자세한 절차는 관련 참고문헌(Donea and Lamain 1987)에 제시되어 있다. 구조물의 운동방정식은 다음과 같다.

$$(-\omega^2 [M] + [K])\{w\} = \sum_e \int \{M\} p ds \quad (1)$$

$[M]$ 과  $[K]$ 는 각각 질량행렬 및 강성행렬을 나타내며  $\{w\}$ 는 수직변위와 회전변위가 포함된 변위 벡터를 나타낸다.  $\omega$ 는 응답의 진동수를 나타낸다.  $\{M\}$ 은 요소에서의 형상함수이며  $p$ 는 유체 압력이다. 첨자  $e$ 는 요소 수준에서의 계산을 의미한다.

### 2.2 유체유동의 방정식

유체유동은 속도포텐셜을 통해 모사할 수 있으며 속도포텐셜에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2)$$

속도포텐셜은 세 부분으로 구분할 수 있으며 수치적으로 격자점에서 계산되므로 다음과 같이 벡터 형태로 표현된다.

$$\{\phi\} = \{\phi_I\} + \{\phi_S\} + \{\phi_R\} \quad (3)$$

식 (3)에서  $\{\phi_I\}$ 는 입사포텐셜,  $\{\phi_S\}$ 는 산란포텐셜 그리고  $\{\phi_R\}$ 은 방사포텐셜을 각각 나타낸다. 입사포텐셜은 수학적으로 해를 구할 수 있다. 산란포텐셜과 방사포텐셜은 수치적인 방법으로 계산하며 본 연구에서는 수치해법으로서 고차경계요소법을 도입하였다. 유체와 구조물이 접하는 경계면에서 산란 및 방사 포텐셜은 다음과 같은 경계조건을 만족한다.

$$\frac{\partial\{\phi_S\}}{\partial z} = -\frac{\partial\{\phi_D\}}{\partial z} \quad (4)$$

$$\frac{\partial\{\phi_R\}}{\partial z} = -i\omega\{w_z\} \quad (5)$$

여기에서  $\{w_z\}$ 는 구조물의 수직변위벡터이다.

직접법에서는 방사포텐셜을 다음 식과 같이 구조물의 수직변위의 합으로 표현한다.

$$\{\phi_R\} = [\Phi_R]\{w_z\} \quad (6)$$

식 (6)을 식 (5)에 대입하면 식 (7)과 같이 수정된 경계조건을 얻는다.

$$\frac{\partial[\Phi_R]}{\partial z} = -i\omega[I] \quad (7)$$

식 (7)에서  $[I]$ 는 단위행렬이며 물리적으로는 각 절점에 재하된 단위진폭 변위를 의미한다. 따라서  $\Phi_{R,ij}$ 는  $i$ 번째 절점에 단위진폭 변위가 발생하였을 때  $j$ 번째 절점에서 발생하는 방사포텐셜의 값을 나타낸다.

2.3 유탄성응답 운동방정식

평판요소 내부에 작용하는 유체압력은 네 절점의 압력 값을 내삽함으로써 구현할 수 있다. 네 절점의 압력을  $\{p\}_e$ 라 하면 내부 압력은 다음과 같다.

$$p = \{N\}^T \{p\}_e \quad (8)$$

한편, 네 절점의 압력은 선형화된 베르누이 방정식으로부터 식 (9)와 같이 정리할 수 있다.

$$\{p\}_e = i\omega\rho(\{\phi_D\}_e + \{\phi_S\}_e + \{\phi_R\}_e) - \rho g\{w_z\}_e \quad (9)$$

여기에서  $\rho$ 는 유체의 밀도이다. 식 (1), (6), (8) 및 (9)를 조합하면 유체-구조 상호작용에 대한 최종 운동방정식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$(-\omega^2[M] - \omega^2[M_w] - i\omega[C_w] + [K] + [K_w])\{w\} = \{F\} \quad (10)$$

여기에서  $[M_w]$ ,  $[C_w]$ ,  $[K_w]$ ,  $\{F\}$ 는 각각 부가질량 행렬, 유체역학적 감쇠행렬, 유체역학적 강성행렬

및 파랑기진력벡터로서 식 (11) ~ (14)와 같이 정리된다.

$$[M_w] = -\sum_e \int \frac{\rho}{\omega} \{N\}\{N\}^T [\Phi_{R,imag}]_e ds \quad (11)$$

$$[C_w] = \sum_e \int \rho \{N\}\{N\}^T [\Phi_{R,real}]_e ds \quad (12)$$

$$[K_w] = \sum_e \int \rho g \{N\}\{N\}^T ds \quad (13)$$

$$\{F\} = \sum_e \int i\omega\rho \{N\}\{N\}^T ds (\{\phi_D\} + \{\phi_S\}) \quad (14)$$

고차경계요소법으로부터 속도포텐셜을 구하여 식 (11) ~ (14)에 대입하고 식 (10)의 운동방정식을 풀어냄으로써 유탄성응답을 산출한다.

한편, 구조물에 발생하는 수직응력, 비틀림응력 및 전단응력은 식 (10)의 해를 이용하여 다음과 같이 산출한다.

$$\{\sigma\}_e = [E][B]\{w\}_e \quad (15)$$

$\{\sigma\}_e$ 는 요소 내에서의 응력을 나타내는 응력벡터이고  $[E]$ 는 탄성계수 행렬,  $[B]$ 는 변형률과 변위의 관계를 나타내는 행렬이다.  $\{w\}_e$ 는 요소의 네 절점에서의 변위값을 나타내는 변위벡터로서 식 (10)의 해로부터 결정된다.

3. 수치해석

수치해석에 고려된 VLFS는 길이가 1 km이고 폭이 500 m인 부유식 컨테이너터미널로서 흘수는 2 m이고 바다의 수심은 30 m이다. 예제 VLFS의 형상이 Fig. 1에 제시되어 있다. 예제 VLFS의 각종 재원 및 재료적 특성을 Table 1에 정리하였다. 표에서  $I$ 는 단면 2차 모멘트,  $\lambda$ 는 입사파의 파장을 나타낸다. 제시한 VLFS는 단위폭 당 단면 2차 모멘트가 0.667로서 균일한 강성분포를 갖는 VLFS이다. 강성분포의 변화가 유탄성응답에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 원래 구조물과 강성분포가 다른 12개의 구조물들에 대해서도 해석을 수행하였다. 12개의 수정된 구조물들은 각각 다른 강성분포를 가지며 그 형상은 Fig. 2와 같다.

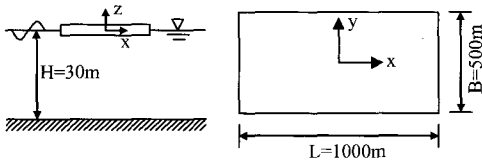


Fig. 1 Geometry of example VLFS

Table 1 Properties of example VLFS

Water depth(m)	30
Draft(m)	2
Length(m)	1000
Width(m)	500
Depth(m)	6
I/B(m <sup>3</sup> )	0.667
Young's modulus(Pa)	19.5 × 10 <sup>10</sup>
Poisson ratio	0.3
Effective thickness(m)	2
Water density(kg/m <sup>3</sup> )	1025
Heading angle(degree)	0
wave length ratio(λ/L)	0.2, 0.5, 0.8

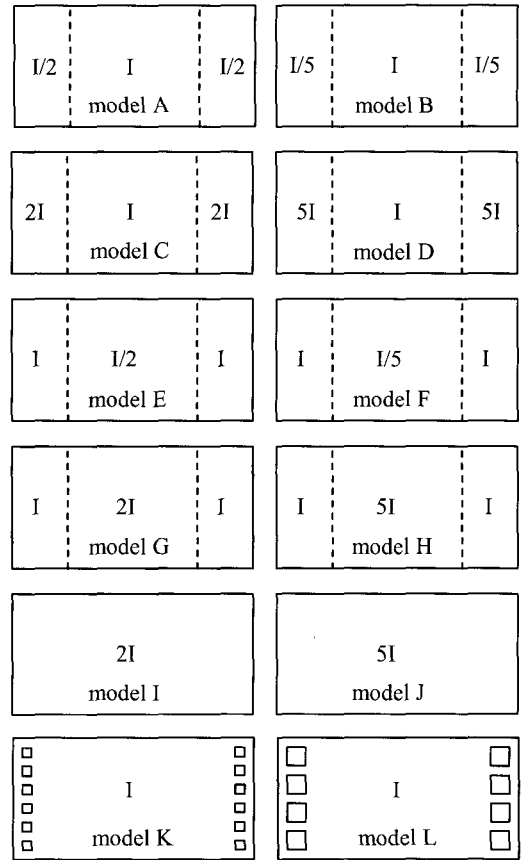


Fig. 2 VLFS with various stiffness distributions

구조물 A와 B는 원래 구조물보다 양단의 강성이 더 작으며 C와 D는 양단의 강성이 더 크다. 구조물 E와 F는 원래 구조물보다 중심부의 강성이 더 작으며 G와 H는 중심부의 강성이 더 크다. 구조물 I와 J는 전 영역에 걸쳐 강성이 원래 구조물보다 확대된 VLFS이다. 구조물 K와 L은 원래 구조물과 단면 2차 모멘트가 동일하나 단부에 정사각형 공동이 있어서 접수면적이 줄어든 형태이다.

직접법을 이용한 해석 결과가 Figs. 3 ~ 46에 제시되어 있다. 그림에서  $\sigma_x$ 는  $x$ 축 방향으로 작용하는 단면응력으로서 VLFS의 최상부 또는 최하부에서의 값이다. Fig. 3과 4는 파장비 0.2에 대한 균일강성 VLFS의 수직변위 형상과 응력 contour를 나타낸다.

Figs. 5 ~ 46은 Fig. 2에 제시한 수정된 VLFS

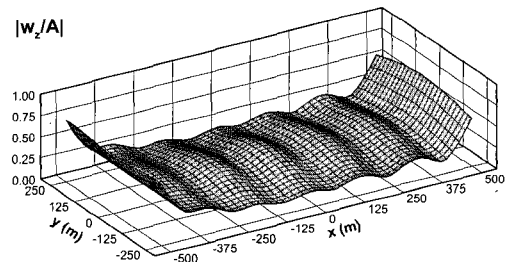


Fig. 3 Heave diagram of VLFS (λ/L=0.2)

의 중심선(y=0m)에서의 응답을 균일강성 VLFS의 응답과 비교한 그림이다.

Figs. 5 ~ 28은 구조물 A ~ H의 유탄성응답을 나타낸다. 구조물 A와 B의 양단 응답은 균일 강성을 갖는 원래 구조물의 양단 응답에 비해 증가하

는 반면, 구조물 C와 D의 양단 응답은 원래 구조물보다 감소함을 알 수 있다. 구조물 E와 F는 원래 구조물보다 중심부가 연약한 구조물로서 중심부에서 응답이 크게 증가한 반면, 중심부의 강성이 보다 큰 구조물 G와 H의 응답은 중심부에서 크게 감소함을 알 수 있다.

Figs. 29 ~ 34는 전 영역에 걸쳐 강성이 증가한 구조물 I와 J의 유탄성응답을 나타낸다. 전 영역에 걸쳐 강성이 증가한 구조물의 경우, 다른 구조물에 비해 응답이 크게 감소함을 알 수 있다.

Figs. 35 ~ 40은 단부에 정사각형 공동이 있는 구조물 K와 L의 응답분포를 나타낸다. 단부에 공동이 있는 경우, 공동 부근에서 응답에 다소 변동이 있는 것을 제외하고 전반적으로 응답이 크게 변동하지 않음을 알 수 있는데 그것은 단부의 공동이 점수면적을 감소시켜 하중을 줄일 수 있으나 공동 부근에서 강성이 손실되어 변위 내지 응력을

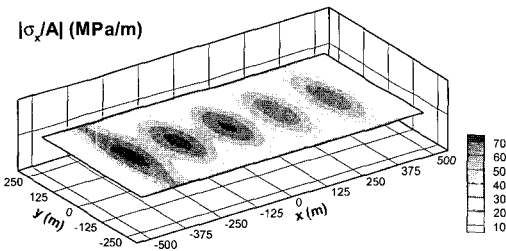


Fig. 4 Stress contour of VLFS ( $\lambda/L=0.2$ )

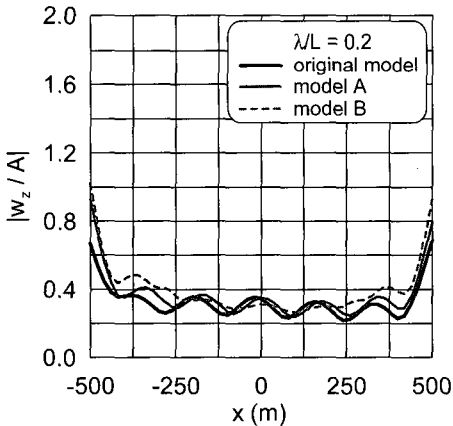


Fig. 5 Heave of structure A & B ( $\lambda/L=0.2$ )

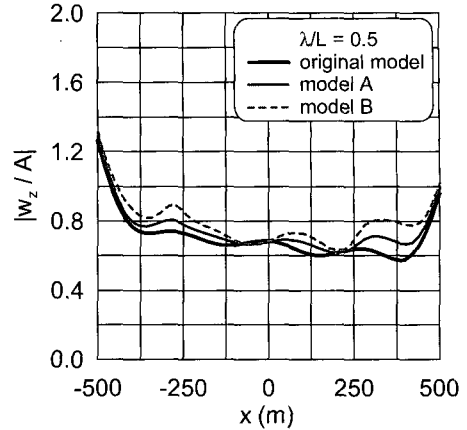


Fig. 6 Heave of structure A & B ( $\lambda/L=0.5$ )

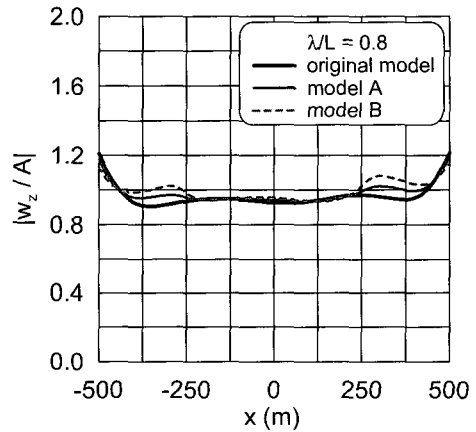


Fig. 7 Heave of structure A & B ( $\lambda/L=0.8$ )

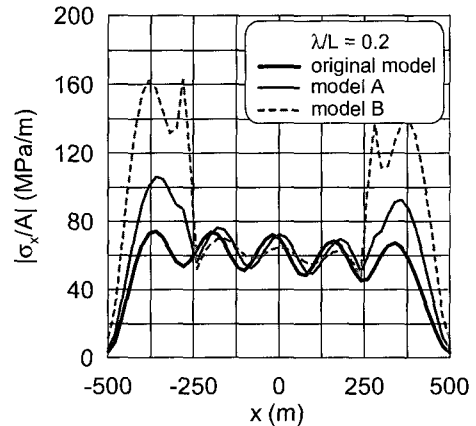


Fig. 8 Stress of structure A & B ( $\lambda/L=0.2$ )

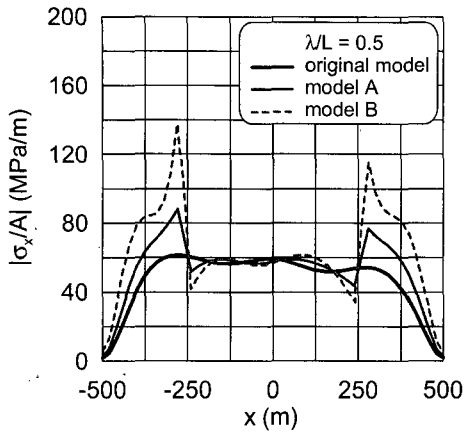


Fig. 9 Stress of structure A & B ( $\lambda/L=0.5$ )

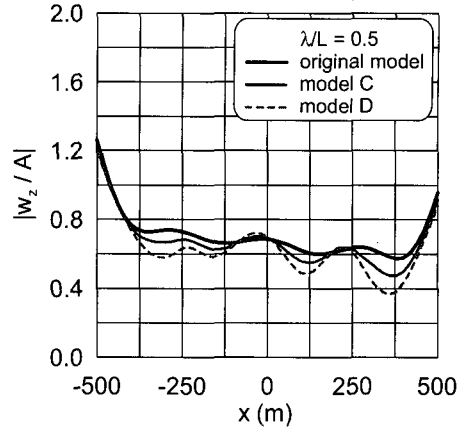


Fig. 12 Heave of structure C & D ( $\lambda/L=0.5$ )

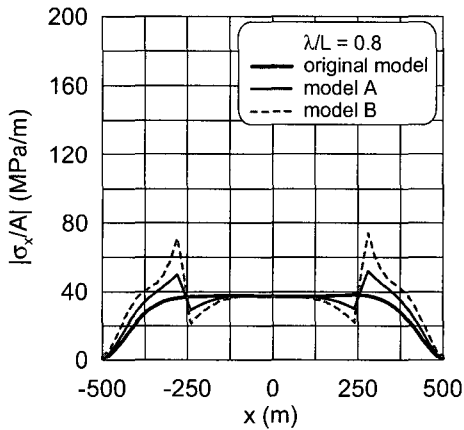


Fig. 10 Stress of structure A & B ( $\lambda/L=0.8$ )

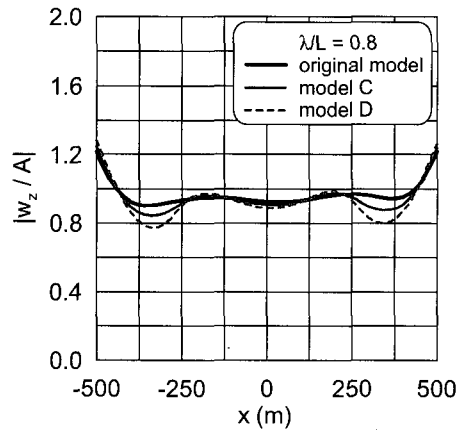


Fig. 13 Heave of structure C & D ( $\lambda/L=0.8$ )

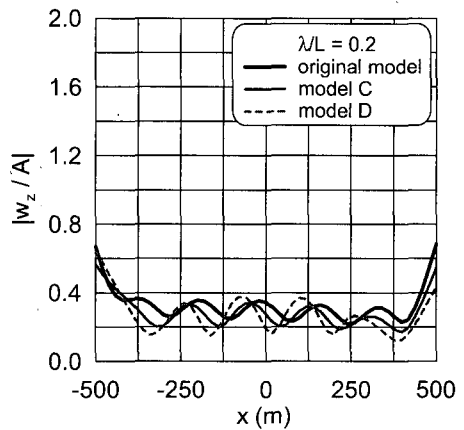


Fig. 11 Heave of structure C & D ( $\lambda/L=0.2$ )

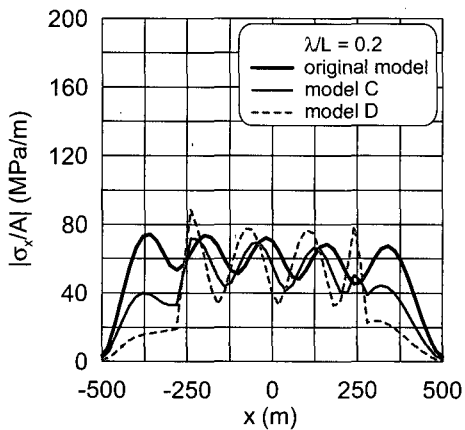


Fig. 14 Stress of structure C & D ( $\lambda/L=0.2$ )

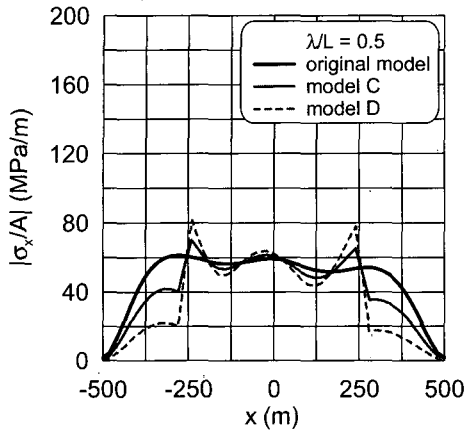


Fig. 15. Stress of structure C & D ( $\lambda/L=0.5$ )

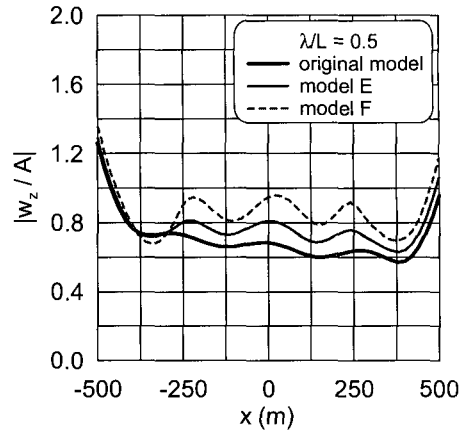


Fig. 18 Heave of structure E & F ( $\lambda/L=0.5$ )

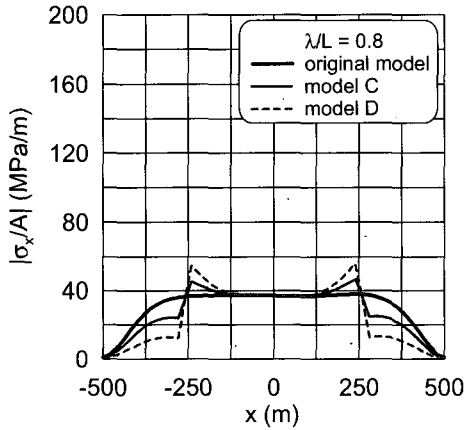


Fig. 16 Stress of structure C & D ( $\lambda/L=0.8$ )

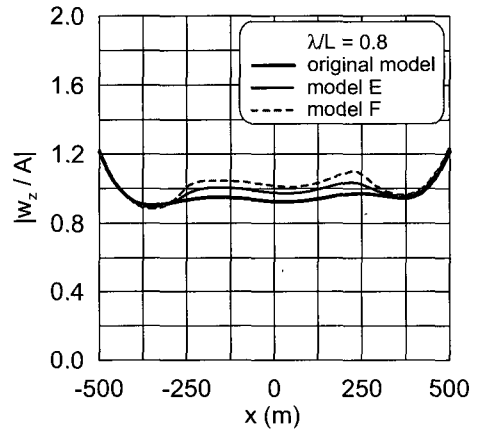


Fig. 19 Heave of structure E & F ( $\lambda/L=0.8$ )

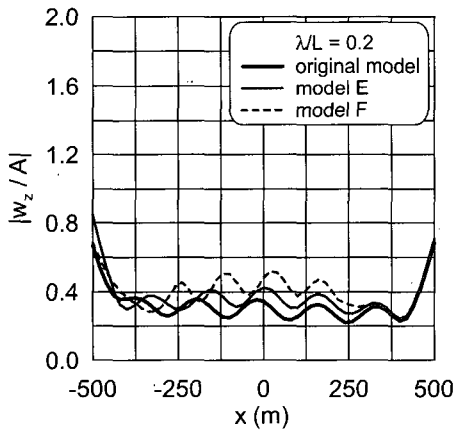


Fig. 17 Heave of structure E & F ( $\lambda/L=0.2$ )

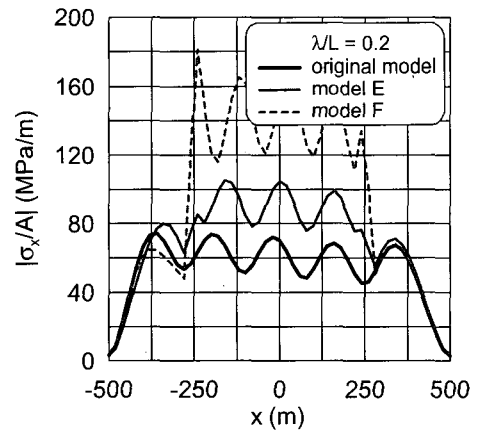


Fig. 20 Stress of structure E & F ( $\lambda/L=0.2$ )

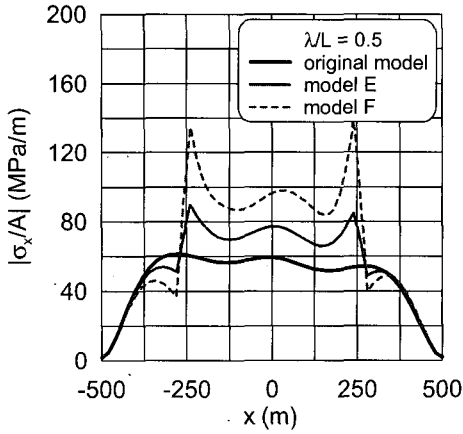


Fig. 21 Stress of structure E & F ( $\lambda/L=0.5$ )

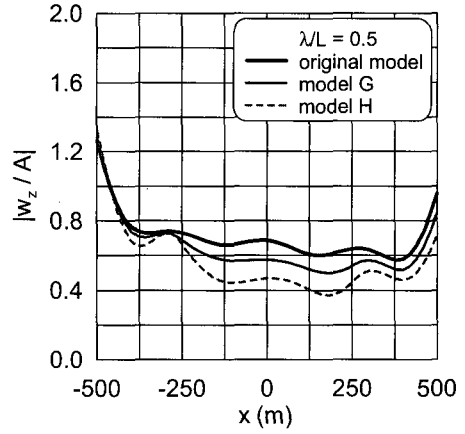


Fig. 24 Heave of structure G & H ( $\lambda/L=0.5$ )

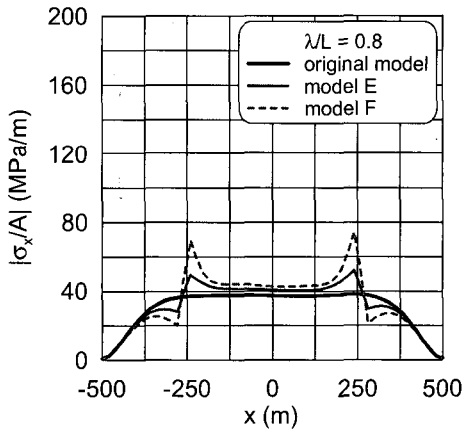


Fig. 22 Stress of structure E & F ( $\lambda/L=0.8$ )

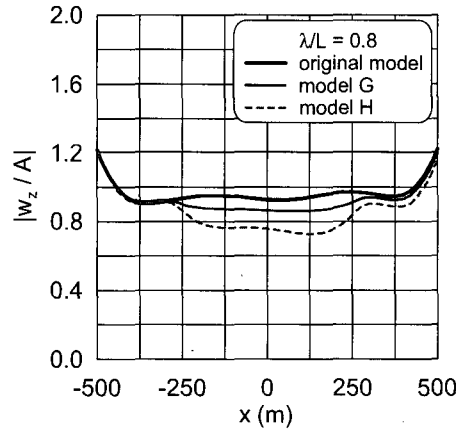


Fig. 25 Heave of structure G & H ( $\lambda/L=0.8$ )

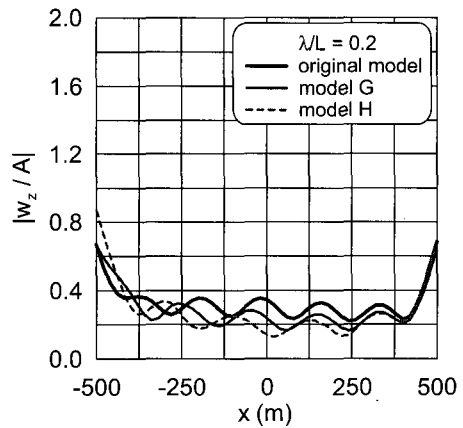


Fig. 23 Heave of structure G & H ( $\lambda/L=0.2$ )

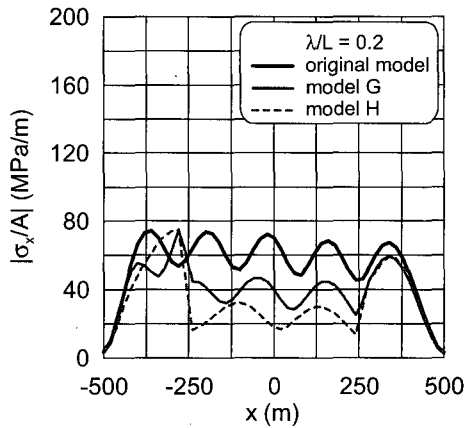


Fig. 26 Stress of structure G & H ( $\lambda/L=0.2$ )



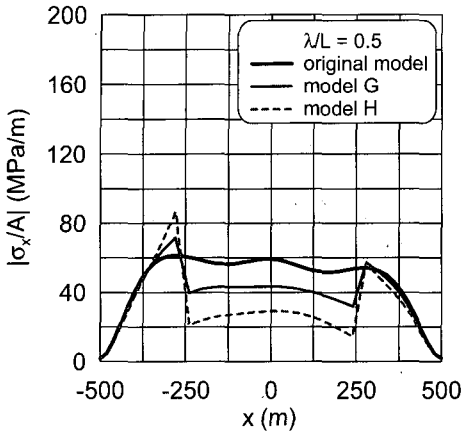


Fig. 27 Stress of structure G & H ( $\lambda/L=0.5$ )

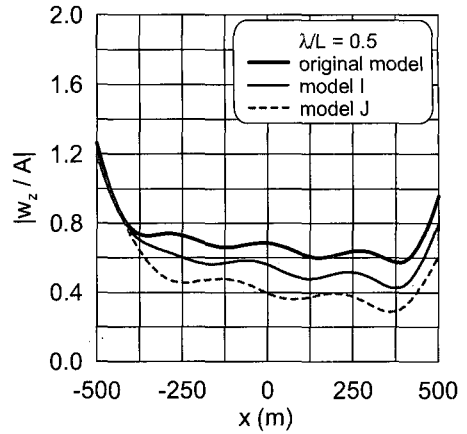


Fig. 30 Heave of structure I & J ( $\lambda/L=0.5$ )

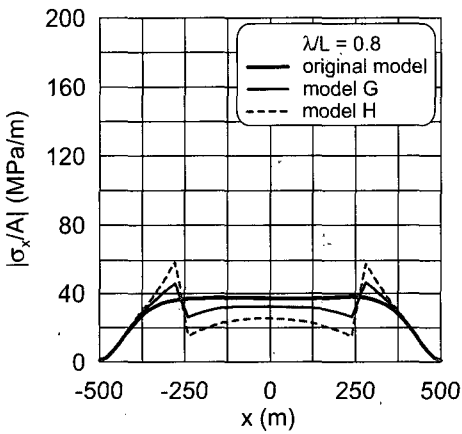


Fig. 28 Stress of structure G & H ( $\lambda/L=0.8$ )

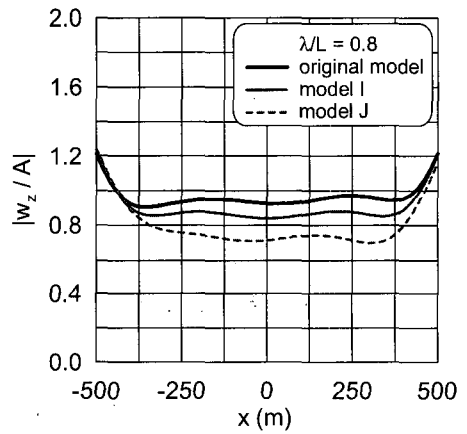


Fig. 31 Heave of structure I & J ( $\lambda/L=0.8$ )

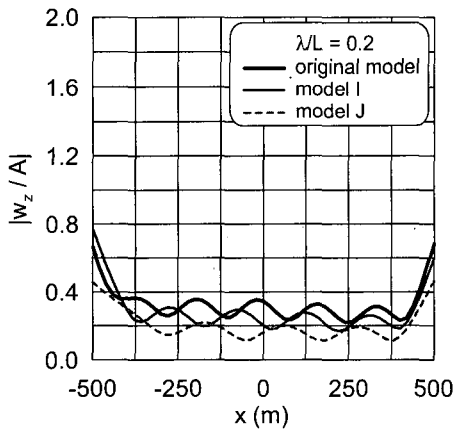


Fig. 29 Heave of structure I & J ( $\lambda/L=0.2$ )

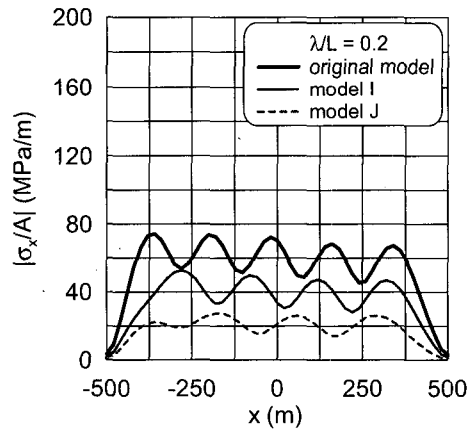


Fig. 32 Stress of structure I & J ( $\lambda/L=0.2$ )

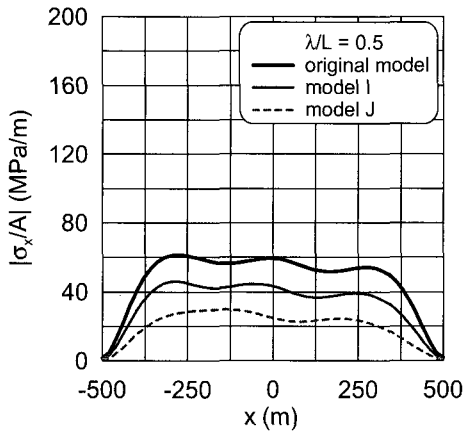


Fig. 33 Stress of structure I & J ( $\lambda/L=0.5$ )

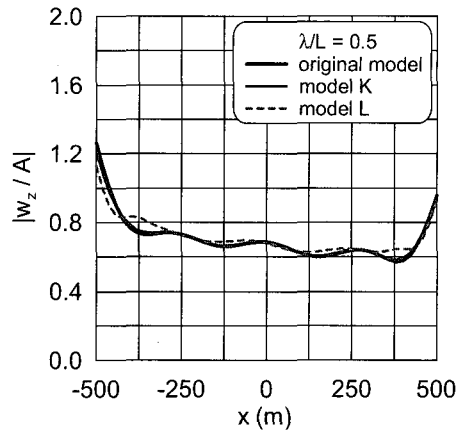


Fig. 36 Heave of structure K & L ( $\lambda/L=0.5$ )

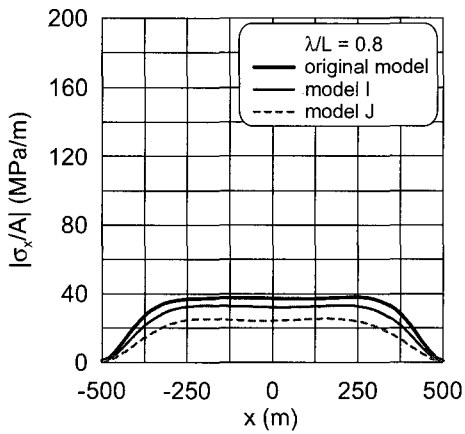


Fig. 34 Stress of structure I & J ( $\lambda/L=0.8$ )

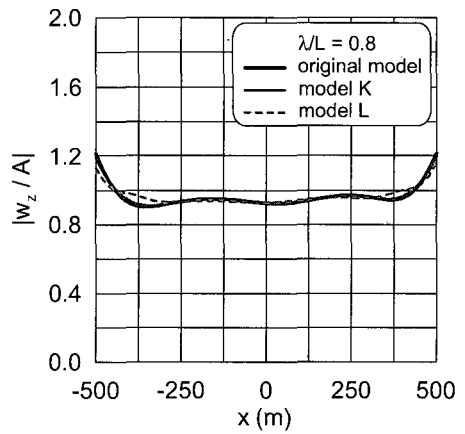


Fig. 37 Heave of structure K & L ( $\lambda/L=0.8$ )

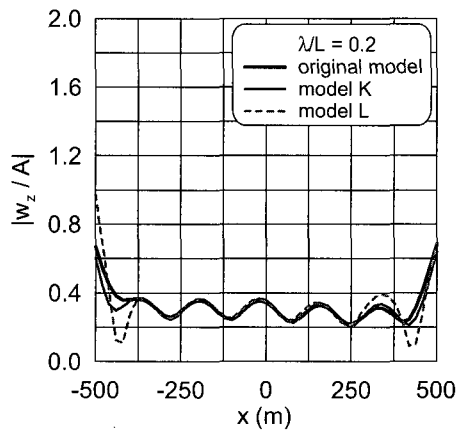


Fig. 35 Heave of structure K & L ( $\lambda/L=0.2$ )

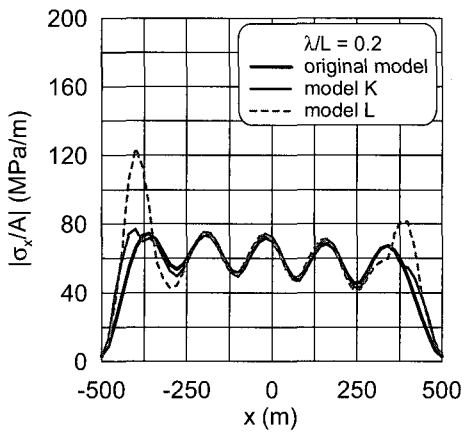


Fig. 38 Stress of structure K & L ( $\lambda/L=0.2$ )

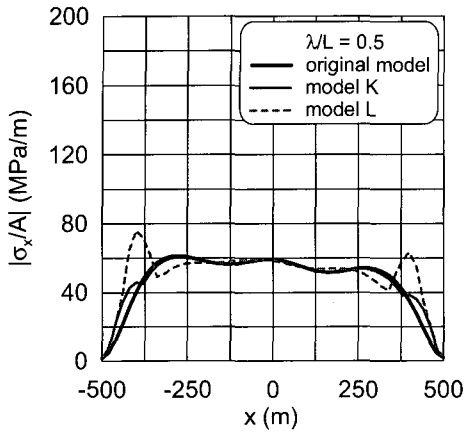


Fig. 39 Stress of structure K & L ( $\lambda/L=0.5$ )

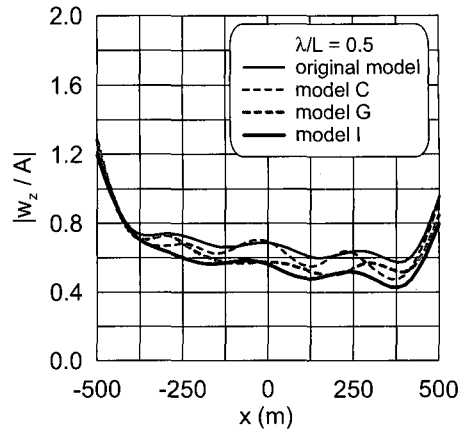


Fig. 42 Heave of structure C,G,I ( $\lambda/L=0.5$ )

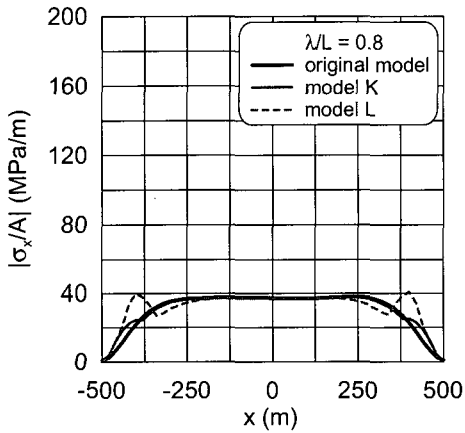


Fig. 40 Stress of structure K & L ( $\lambda/L=0.8$ )

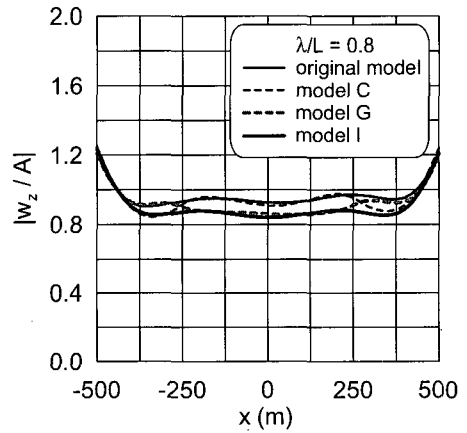


Fig. 43 Heave of structure C,G,I ( $\lambda/L=0.8$ )

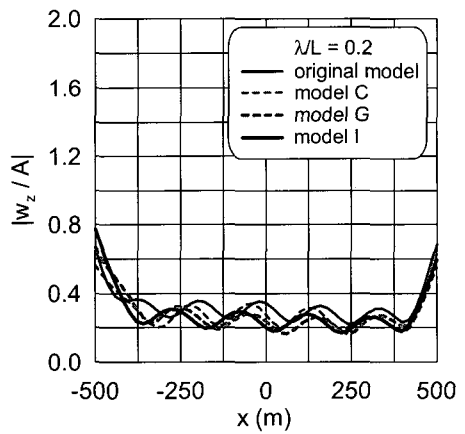


Fig. 41 Heave of structure C,G,I ( $\lambda/L=0.2$ )

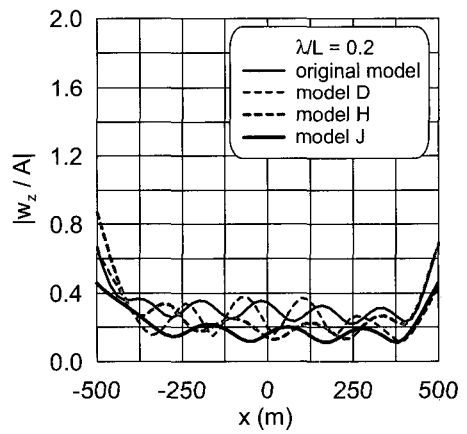


Fig. 44 Heave of structure D,H,J ( $\lambda/L=0.2$ )

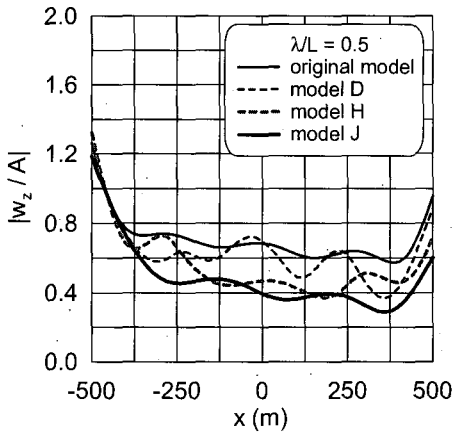


Fig. 45 Heave of structure D,H,J ( $\lambda/L=0.5$ )

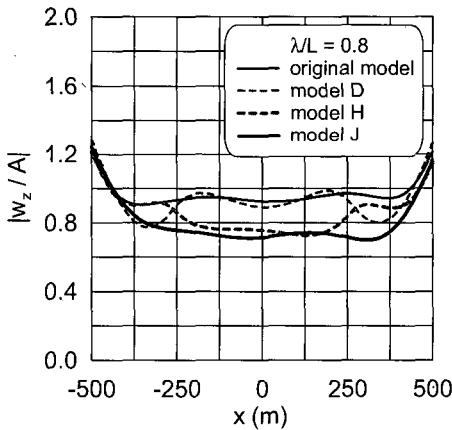


Fig. 46 Heave of structure D,H,J ( $\lambda/L=0.8$ )

크게 감소시키지는 못하기 때문이다.

Figs. 41 ~ 46은 강성이 증가된 구조물들의 수직변위를 비교한 그림이다. 그림으로부터 양단의 강성이 큰 구조물보다 중심부의 강성이 큰 구조물의 변위가 작아 전영역의 강성이 증가한 구조물의 변위와 더 유사함을 알 수 있다. 즉, 수직변위의 감소에 있어서 측면보다 중심부의 강성을 키우는 것이 더욱 유리함을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 다양한 강성분포를 갖는 VLFS의 유탄성응답을 해석함으로써 강성분포가 VLFS의

유탄성응답에 미치는 영향을 고찰하였다. 수치해석에 사용된 방법은 직접법으로서 구조물의 해석은 유한요소법을 적용하였고 유체유동은 고차경계요소법을 사용하여 해석하였다. 수치해석의 결과로부터 도출된 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. VLFS의 변위, 응력 등의 유탄성응답은 강성이 작은 부분에서 증가하고 강성이 큰 부분에서 감소한다.
2. 공동이 있는 VLFS의 경우, 점수면적의 감소로 하중이 감소하나 공동에 따른 강성의 손실 때문에 유탄성응답이 크게 감소하지는 않는다.
3. 중심부의 강성이 큰 구조물이 양단의 강성이 큰 구조물에 비해 수직변위 감소 정도가 더욱 크므로 수직변위의 감소에 있어서 양단보다 중심부의 강성을 증가시키는 것이 유리하다.

본 연구의 결론으로부터 비추어볼 때 VLFS의 유탄성응답을 줄이는 최선의 방안은 강성을 증가하는 것이다. 그러나, 강성의 증가는 추가적인 노력과 비용이 요구된다. 따라서 강성을 키우지 않으면서 응답을 줄일 수 있는 기법이 개발된다면 VLFS의 경제적인 설계 및 시공에 큰 도움을 줄 것이다. 이러한 관점에서 볼 때 강성의 증가 없이 응답을 줄일 수 있는 방안에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 판단한다.

후 기

본 논문은 해양수산부가 지원하는 해양수산 연구개발과제인 '초대형 부유식 해상구조물 기술개발'과 한국해양연구원에서 기본연구사업으로 수행 중인 '기상 재난파에 의한 해양구조물의 안전성 평가기술 개발' 사업의 일부로 수행되었음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- 심인환, 윤재돈, 최항순, 1999, "사파중에 놓인 거대한 부유체의 응답에 대한 유탄성 해석," 대한조선학회 논문집, 제 36권, 제 3호, pp.

83-92.

- 홍사영, 김장환, 최윤락, 2003, “고유함수 전개법을 이용한 방파제와 초대형 폰툰 구조물의 유탄성응답 해석,” 2003년도 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 243-250.
- 홍사영, 최윤락, 홍석원, 2000, “출수가 폰툰형 초대형 구조물의 유탄성 응답에 미치는 영향 해석,” 대한조선학회 논문집, 제 39권, 제 4호, pp. 32-41.
- 홍사영, 최윤락, 홍석원, 2003, “해수순환 방파제를 고려한 폰툰형 구조물의 유탄성응답 해석,” 대한조선학회 논문집, 제 40권, 제 5호, pp. 53-59.
- Donea, J. and Lamain, L.G., 1987, “A Modified Representation of Transverse Shear in  $C^0$  Quadrilateral Plate Elements,” Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 63, pp. 183-207.
- Kashiwagi, M. and Furukawa, C., 1997, “A Mode-Expansion Method for Predicting Hydroelastic Behavior of a Shallow-Draft VLFS,” Proceedings of 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 6, pp. 179-186.
- Kim, J.W. and Ertekin, R.C., 1998, “An Eigenfunction-Expansion Method for Predicting Hydroelastic Behavior of a Shallow-Draft VLFS,” Proceedings of the 2nd International Conference on Hydroelasticity in Marine Technology, pp. 47-59.
- Maeda, H., Masuda, K., Miyajima, S. and Ikoma, T., 1995, “Hydroelastic Responses of Pontoon Type Very Large Floating Offshore Structures,” Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 178, pp. 203-212.
- Nagata, S., Yoshida, H., Fujita, T. and Isshiki, H., 1997, “The Analysis of the Wave-Induced Responses of an Elastic

Floating Plate,” Proceedings of 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 6, pp. 163-169.

- Ohmatsu, S., 1997, “Numerical Calculation of Hydroelastic Responses of Pontoon Type VLFS,” Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 182, pp. 329-340.
- Takaki, M. and Gu, X., 1996, “Motions of a Floating Elastic Plate in Waves,” Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 180, pp. 331-339.
- Yago, K. and Endo, H., 1996, “On the Hydroelastic Response of Box-Shaped Floating Structure with Shallow Draft,” Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 180, pp. 341-352.
- Yasuzawa, Y., Kagawa, K., Kawano, D. and Kitabayashi, K., 1997, “Dynamic Response of a Large Flexible Floating Structure in Regular Waves,” Proceedings of 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol. 6, pp. 187-194.



< 김 병 완 >



< 경 조 현 >



< 홍 사 영 >



< 조 석 규 >