

초기결함을 갖는 철근 콘크리트 축대칭 셸의 동적 특성(II)

— 벽체 결함의 영향을 중심으로 —

Dynamic Characteristics of Reinforced Concrete Axisymmetric Shell with Initial Imperfection(II)

— effect of wall imperfection on the dynamic response —

조진구(전남대)
Cho, Jin Goo

Abstract

In this study, a computer program considering initial imperfection of axisymmetric reinforced concrete shell which show plastic deformation by large external loading was developed. Initial imperfection of wall was assumed as 'sine curve' which can be expressed as $W_1 = W_0 \sin(n\pi/l)y$. The developed model was applied to the analysis of dynamic response of axisymmetric reinforced concrete shell when it has initial imperfection. The initial imperfection of 0.0, -5.0, and 5cm and steel ratio 0, 3, and 5% were tested for numerical examples.

I. 서론

축대칭 셸 구조물은 평면곡선을 동일 평면내에 있는 회전축 주위로 회전시킴으로서 얻어지는 회전곡면을 중립면으로 하는 곡면판 구조체이다. 이러한 축대칭 셸 구조물의 설계는 많은 산업 분야에서 빈번히 발생되고 있다. 따라서 그러한 구조물의 해석에 대한 신뢰성 있고 정도가 좋은 해석 기법이 절실히 필요하게 되었다. 구조물의 동적응답에 대한 연구는 항공기 설계에서 널리 사용되어 왔으며, 최근에는 빈번한 지진의 발생으로 일반 구조물의 설계에서도 많은 관심을 받게 되었다. 그런데 철근 콘크리트 축대칭 셸 구조물은 여러 가지의 원인으로 초기결함을 갖는 경우가 많이 있고 이러한 초기 결함은 셸 구조물의 동적 거동에 큰 영향을 미치고 있으므로 정밀한 해석을 위해서는 반드시 고려되어야 한다. 여기서는 벽체의 초기 결함이 철근 콘크리트 축대칭 셸의 동적 응답에 어떠한 영향을 미치는가를 구명하고자 한다. 이를 위하여 해석방법으로는 유한요소법을 사용하였으며 유한요소 정식화에는 재료의 실제적인 거동과 잘

일치하는 탄·점소성 모델에 의해서 재료 비선형 효과를 고려하고 기하학적 비선형 효과는 변형전의 초기형상과 잘 일치하는 전체 라그랑지안 좌표계에 의해서 고려하였다. 또한 콘크리트의 거동은 Drucker-Prager 항복 기준에 의해 모델링 하였고 철근은 동가의 두께를 갖는 철근 층으로서 이산화시킨후 Von Mises 항복 기준에 따라 모델링 하였다.

II. 유한요소 해석

초기결함을 갖는 철근 콘크리트 축대칭 쉘의 동적 해석에 있어서 Fig. 1 과 같은 8-절점 등매개 변수 요소를 대칭되는 축에 대해서 회전시킨 링 요소를 채용하였다.

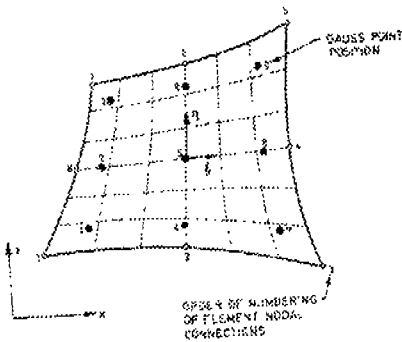


Fig. 1. Two dimensional parabolic isoparametric element

이러한 8-절점 등매개 변수 요소에 대한 형상함수는 다음과 같이 주어진다.

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (1 + \xi \xi_i)(1 + \eta \eta_i)(\xi \xi_i + \eta \eta_i - 1) \quad (i = 1, 3, 5, 7)$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{2} \xi_i^2 (1 + \xi \xi_i)(1 - \eta^2) + \frac{1}{2} \eta_i^2 (1 + \eta \eta_i)(1 - \xi^2) \quad (i = 2, 4, 6, 8)$$

III. 초기결함

본 연구에서 채용된 철근 콘크리트 축대칭 쉘의 벽체의 초기결함은 다음과 같은 정현곡선으로 가정한다.

$$W_i = W_0 \sin(n\pi/l)y$$

여기서 W_0 : 벽체의 초기 최대 결함

l : 벽체의 높이

y : 벽체 하단으로부터의 거리

n : 초기결함의 모드를 결정하는 상수로서 본 논문에서는 1로 하였다.

IV. 해석에 및 고찰

초기 결함을 갖는 축대칭 쉘의 동적거동 특성을 규명함에 있어서 모델 케이스로서 선정된 철근 콘크리트 축대칭 쉘의 기하학적 형상 및 요소의 분할은 Fig. 2와 같고 등분포 단계하중 (uniformly distributed step load)을 받는 경우로 하였다. 한편 사용된 재료의 성질은 Table 1 과 같다.

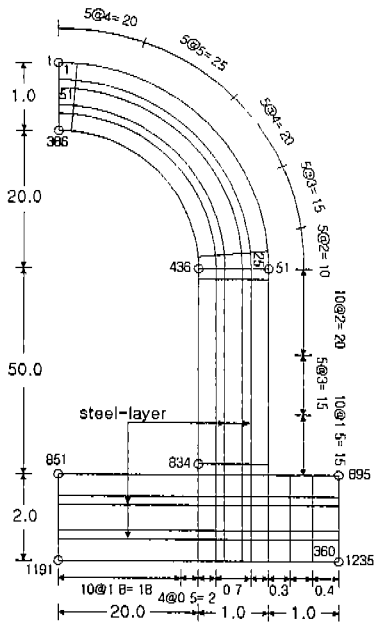


Table 1. Material properties

Items	concrete	steel
Strength	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	$\sigma_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$
Elastic modulus	$2.8 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$	$2.04 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$
Poisson's ratio	0.216	0.3
Self-weight	2.5 tf/m^3	7.85 tf/m^3
Yield criterion	Drucker-Prager	Von Mises

Fig. 2 Mesh generation for analysed structures

초기결함에 따른 철근 콘크리트 축대칭 셀의 동적 응답을 알아보기 위하여 초기결함의 값을 벽체 두께의 5%를 기준으로하여 0.0, -5.0cm(하중작용 방향과 반대:내향 초기결함) 및 5.0cm(하중작용 방향:외향 초기결함)로 하였다. 또한 동적 응답에 대한 철근의 영향을 알아보기 위하여 철근층의 두께는 철근비 0, 3, 및 5%를 기준으로하여 정하였다. 여기서 철근층비 0%는 철근층을 무시하고 균질의 콘크리트만으로 가정한 경우를 의미한다. 해석 결과의 세시는 최대 응답값이 예상되는 돔의 정부 및 벽체 중앙에서의 값을 중심으로 고찰하고자 한다.

돔의 정부에서의 연직 변위의 동적 응답은 Fig. 3과 같다.

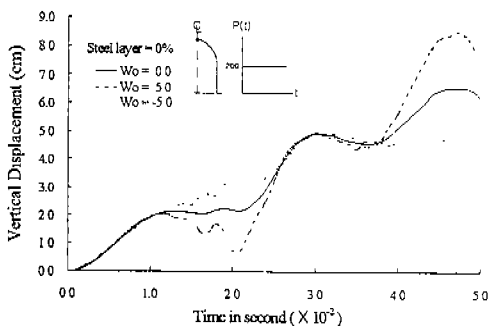


Fig. 3(a) Time response of vertical displacement at crown due to wall initial imperfections (without steel layer)

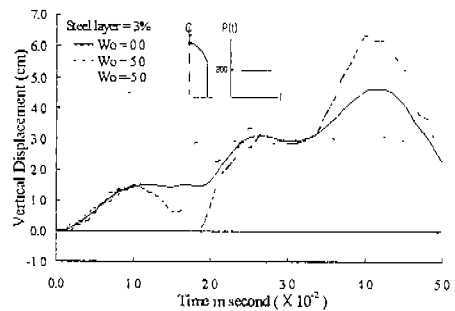


Fig. 3(b) Time response of vertical displacement at crown due to wall initial imperfections (steel layer = 3%)

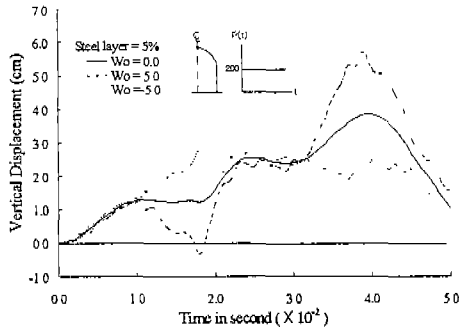


Fig. 3(c) Time response of vertical displacement at crown due to wall initial imperfections (steel layer = 5%)

철근이 없는 경우 진동 초기에는 초기결함에 관계없이 유사한 응답을 나타내다가 0.002초 후 초기결함에 따라 응답 값에 차이를 보이다가 다시 유사한 응답을 나타냈고 0.005초 부근에서 응답 값이 큰 차이를 나타냈다. 현저한 피크에서의 최대응답 값은 외향 초기결함을 갖는 경우가 가장 크게 그리고 내향 초기결함을 갖는 경우에 가장 작게 나타났다. 이러한 현상은 모든 철근 총비에서 유사하였지만 철근총비가 증가할수록 응답값에 큰 차이를 보이는 시간이 점점 단축되었다.

벽체 중앙에서의 반경방향 변위의 동적 응답은 Fig. 4와 같다.

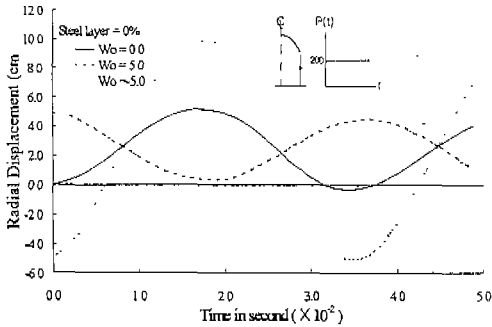


Fig. 4(a) Time response of radial displacement at mid-point of wall due to dome initial imperfections (steel layer = 0%)

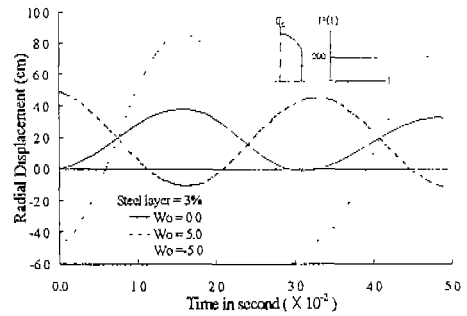


Fig. 4(b) Time response of radial displacement at mid-point of wall due to dome initial imperfections (steel layer = 3%)

벽체의 중앙에서의 반경방향 변위의 동적 응답은 내향 초기결함을 갖는 경우 진폭의 값이 현저히 크게 나타났으며 초기결함이 없는 경우와 외향 초기결함을 갖는 경우의 진폭의 값은 거의 유사하였다. 돔의 정부에서의 연직변위의 응답곡선과 벽체 중앙에서의 반경방향 변위의 응답곡선에서 초기결함에 따라 응답값이 큰 차이를 보이는 시간을 살펴보면 돔의 정부에서 현저한 응답 차이를 나타내는 시간은 벽체에서 현저한 응답 차이를 보이는 시간보다 약간 앞서서 발생되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 모든 철근총비에서 유사하였다.

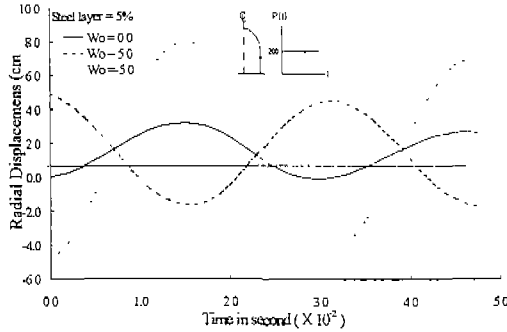


Fig. 4(c) Time response of radial displacement at mid-point of wall due to wall initial imperfections (steel layer = 5%)

V. 결 론

본 연구에서는 큰 외적 하중을 받아서 소성변형을 일으키는 철근 콘크리트 축대칭 셀의 벽체가 초기결함을 갖는 경우 이를 고려할 수 있는 프로그램이 개발되었다. 프로그램의 개발에 있어서 벽체의 초기결함은 $W_1 = W_0 \sin(n\pi/l)y$ 로 주어지는 정현곡선으로 가정하였다. 개발된 프로그램을 모델케이스로 선정된 철근 콘크리트 원자로 격납건물이 초기결함을 갖는 경우의 동적 응답 해석에 적용하였다. 수치예에서 벽체의 초기결함의 값을 벽체 두께의 5%를 기준으로 하여 0.0, -5.0cm(하중작용 방향과 반대:내향 초기결함) 및 5.0cm(하중작용 방향:외향 초기결함)의 3경우로 하였고 철근층의 두께는 철근비 0, 3, 및 5%를 기준으로 하여 정하였다.

이러한 수치예를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 돔 정부의 연직변위의 최대 응답값은 외향초기결함을 갖는 경우 가장 크게 그리고 내향초기결함을 갖는 경우 가장 작게 나타났다. 이러한 현상은 모든 철근층비에서 유사하였지만 철근층비가 증가할수록 응답값에 큰 차이를 보이는 시간이 점점 빨라졌다.
2. 초기결함에 따라 응답값이 현저한 차이를 보이는 시간은 돔에서의 경우가 벽체에서의 경우보다 빨리 나타났다. 이러한 현상은 모든 철근층비에서 유사하였다.
3. 내향초기결함을 갖는 경우에 가장 빨리 현저한 피크에 도달하였고 외향초기결함 및 초기결함이 없는 경우는 거의 유사하였다.
4. 변위의 응답이 현저한 피크에 도달하는 시간은 철근층비 3%인 경우 가장 짧았고 철근이 없는 경우 가장 늦게 도달하였다. 이러한 현상은 모든 초기결함에서 동일하였다.
5. 초기결함이 없는 경우 철근층비에 따른 응답특성은 최대응답값이 큰 차이를 보인 반면 최소응답값은 거의 유사하였다. 그러나 내향초기결함을 갖는 경우에는 철근층비에 따른 최대 및 최소응답값이 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉, 내향의 초기결함을 갖는 경우 철근의 영향은 가장 작게 나타났다.

References

1. C. Philip Johnson, 1967, 'The analysis of thin shell by a finite element procedure', Thesis for Ph.D. , University of California, Berkeley, sept.
2. D. R. J. Owen and E. Hinton, 1980, 'Finite elements in plasticity'.
3. Karan S. Surana, 1983, 'Geometrically nonlinear formulation for the axisymmetric transition finite elements', pergamon, computers & structures, vol.17 No. 2 , pp.243-255.
4. Kos Surana : 'Geometrically nonlinear formulation for the axisymmetric shell elements', to be published in Int. J. Nnm. Meth. Engng.
5. Robert Kao, 1978, 'Dynamic buckling of axisymmetric spherical caps with initial imperfections', pergamon, computers & structures, vol.9, pp.463-473.
6. Robert Kao, 1980, 'Nonlinear dynamics buckling of spherical caps with initial imperfections', pergamon, computers & structures, vol.12, pp.49-63.
7. 조진구, 1998, '초기처짐을 갖는 Spherical Sheel의 동적 특성에 관한 연구(I)', 한국농공학회지 제 40권 제 3호, pp.113-121.
8. 조진구, 1998, '초기처짐을 갖는 Spherical Sheel의 동적 특성에 관한 연구(II)', 한국농공학회지 제 40권 제 5호, pp.91-99.