

철근 콘크리트 구조물의 모델거동에 관한 연구

Model Analysis of Reinforced Concrete Structure

오 병 환*, 김 배 식**, 이 명 규***, 전 세 진***, 김 광 수***

Oh B. H., Kim B. S., Lee M. G., Jeon S. J., Kim K. S.

ABSTRACT

Computer-based methods have often been used in the structural analysis. But, regardless of the progress in the technique of structural analysis, there are inevitable limitations in consideration of the material and geometric nonlinearity and prediction of failure loads. Model analysis of concrete structure can supplement this kind of limitations to reasonably predict behavior of the structure. Similitude requirement in the reinforced concrete structure is often hard to be secured because of peculiar uncertainty of concrete.

In this study, small scale model of subway box structure was constructed using strength model and results of model test and computer-based analysis were compared.

1. 서론

축소모델에 의한 실험은 구조해석적으로 거동에측이 어려운 복잡한 구조물의 거동을 예측할 수 있도록 해 주며 축소모델의 실험결과를 실구조물에 적용하기 위해서는 상사성에 대한 신뢰도 확보가 무엇보다 중요하다. 축소모델실험의 계획단계에 있어서 다음과 같은 사항이 결정되어야 한다.

① 구조모델의 선정 : 탄성모델, 간접모델, 직접모델, 강도모델 등의 구조모델 중 실험목적에 적합한 모델을 선정한다.

② 상사비(scale factor)의 결정 : 크게 재료, 기하형상, 하중에 대한 상사비로 나눌 수 있으며 철근콘크리트와 같이 재료자체의 불확실성이 클 경우 특히 재료에 대한 상사비가 중요하다.

모델과 원형에 있어서의 콘크리트와 철근의 응력-변형도 곡선의 모양차이에 따라 진모델(true model), 실용적 진모델, 왜곡 모델(distorted model)로 나눌 수 있다.

본 실험은 지하철 박스구조물의 벽체의 절개후의 안전성검토를 위한 것이며 전체 지하박스구조물중 일부분을 1/5로 축소하였다. 원형구조물의 파괴시까지의 거동을 예측하기 위해 강도모델(strength model)을 선정하였으며 상사비에 있어서는 실용적 진모델(practical true model)에 맞추도록 하였으나 불가피한 왜곡성이 나타났다.

2. 차원해석(dimensional analysis)과 상사법칙(similitude requirements)

상사비는 일반적으로 구조물의 거동에 관련된 주요한 변수들을 무차원의 독립적인 항으로 조합하는 차원해석의 일종인 Buckingham's Pi Theorem으로 구하게 된다. 즉, 원형(prototype)과 모델(model)

* : 서울대학교 토목공학과 교수

** : 서울특별시 지하철 건설본부

*** : 서울대학교 토목공학과 대학원

에 있어서 각각의 무차원항을 대비시켜 같은 값을 갖도록 하는 것이다. 철근콘크리트 구조물의 경우 앞서 설명한 진모델, 실용적 진모델, 왜곡모델중 해당되는 것을 선택하고 상사법칙을 적용하면 모든 물리량에 대한 상사비가 결정되어 진다.

원형과 모델의 재료적 성질을 진모델(그림 1)에 맞출경우 왜곡모델에 비해 계산상의 편리함이 있으나 콘크리트에 있어 S_E 가 S_0 와 같아야 하고 무엇보다 철근의 S_E' 을 콘크리트의 S_E 에 맞추는데 어려움이 있으므로 일반적으로 $S_E=1$ 로 놓는 실용적 진모델을 사용하게 된다.

3. 모형의 제작

실구조물의 거동을 모사할 수 있는 적절한 상사비를 결정하는 단계에서는 모형 실험에 관한 문헌조사와 구입가능한 재료, 작업성 등을 고려하여 상사비를 결정하였다. 다음 단계에서는 원형구조물의 시공도면을 기준으로하여 상사비를 고려한 지하철 박스구조물을 제작하였다.

일반적으로 철근콘크리트 구조물의 제작은 거푸집제작, 철근조립, 콘크리트 타설의 단계를 거치게 된다. 모형구조물도 같은 절차를 거쳐서 제작되었다. 모형제작은 모래를 이용한 기초지반 형성 → 하부슬래브 거푸집제작 → 하부슬래브 철근조립 → 하부슬래브타설 → 양생 → 벽체 및 기둥 철근조립 → 벽체 절개부 철근제거 → 벽체, 기둥 및 중간슬래브 거푸집제작 → 중간슬래브 철근조립 → 벽체, 기둥 및 중간슬래브 타설 → 양생의 순서로 진행되었다. 각 철근조립 단계에서는 재하시 구조물의 거동을 측정할 철근게이지와 콘크리트 매설게이지를 설치하였다.

양생이 완료된 모형구조물은 재하시험에 앞서 균열 관찰이 용이하도록 흰색페인트로 도포되었고, 콘크리트 게이지를 표면에 부착하였으며 주요위치에 다이알 게이지가 설치되었다. 측정을 위해 설치된 계측센서는 140개 정도이며, 재하시험

은 실험에 앞서 수행된 실구조물의 해석 결과를 기준하여 실시되었다.

전산구조해석 결과와 실험결과를 비교하여 해석에 사용한 프로그램을 검증하여 상사비를 적용한 원형구조물의 거동과 전산구조해석을 수행하여 구한 거동의 비교 검토를 통하여 구조물의 거동을 파악하게 된다. 모형제작에 사용된 재료의 특성은 다음과 같다.

3.1 모델 콘크리트의 제작

체가름을 통해 모델모래는 No.30을 통과하고 No.50에 남는 것을 택했고, 모델 자갈은 No.4를 통과하고 No.8에 남는 것을 택하였다. 모델시멘트는 보통포틀랜드 시멘트보다 입자가 미세한 초조강시멘트를 사용하였다.

실용적 진모델을 선택했을 경우 원형과 모델 콘크리트는 압축강도, 극한 압축변형도, 인장강도, 탄성계수값이 비슷해야 한다. 이는 모델 콘크리트의 물-시멘트비, 잔골재율 등을 변화시켜가며 조절할 수 있다. 그림 2에 원형과 모델 콘크리트의 응력-변형도 곡선이 비교되어 있다.

3.2 모델 철근의 제작

실용적 진모델을 선택했을 경우 원형과 모델 철근은 항복강도, 항복변형도, 연성, 부착특성 등이 비슷해야 한다. 모델 철근은 보통 경강선을 사용하게 되는데 경강선은 명확한 항복수평선을 갖지 않으며 인장시의 연성도 제한적이므로 열처리를 통해 성질을 변화시켜야 한다. 본 실험에서는 4가지 종류의 모델 철근을 사용하였다. 6mm철근은 열연방법에 의해 특수주문제작하였으며, 5mm철근은 주문제작한 냉연한 철근을 400°C로 불림했고, 3mm 및 2mm철근은 경강선을 750°C로 불림한 강선을 사용하였다. 또한 원형과 유사한 부착특성을 확보하기 위하여 이형화기계(deformer)를 사용하여 모델 철근을 이형화시켰다. 그림 3에서 열처리 전후의 모

델 철근의 응력-변형도 곡선을 비교하였다.

4. 모델의 하중재하실험 결과 및 분석

하중재하는 원형구조물의 전체해석으로부터 모델의 경계에 작용하는 하중을 산정하였다. 재하장치를 이용하여 4개의 재하점에서 하중을 작용시켰으며 프레임 설비를 이용하여 적절히 하중을 분산시켰다.

모형구조물은 개구부 상단에서 균열이 먼저 발생하였고 하중이 증가함에 따라 현치부까지 균열이 진전되었으나 슬래브까지 진전되지는 않았다. 다음 균열위치는 중앙기둥하부의 하부슬래브였으며, 그 다음에는 기둥과 상부슬래브의 접합부에 균열이 발생하였다. 그림 4는 하중증가에 따른 개구부 상단 철근의 하중-변형도 곡선이다. 인장변형이 급격히 증가하는 부분을 균열이 발생하는 하중으로 볼 수 있으며 하중에 대한 상사비를 적용시켜 실구조물의 하중을 예측해 볼 수 있다.

5. 전산구조해석과의 비교

그림 5는 모형구조물의 입체요소 해석 모델로서 재하하중을 모델링하여 전산구조해석을 수행하여 실험결과와 비교분석을 수행하였다. 주요한 위치에서 실험치와 해석치의 변형도나 변위가 비교되었으며 그림 6에 그 한 예로서 기둥부에서의 변형도를 비교하였다. 해석을 통해 균열이 발생하는 요소를 검토해본 결과 위치나 하중값에 있어 실험치와 유사한 경향을 나타내었다.

6. 결론

지하철 박스구조물의 하중증가에 따른 거동을 파악하기 위하여 모형실험을 실시하였다. 실험수행내용중 중요한 사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 모델 콘크리트의 역학적 거동을 원형과 같게 하기 위하여 불연속입도 골재를

선정하여 모델 콘크리트를 제작하였다.

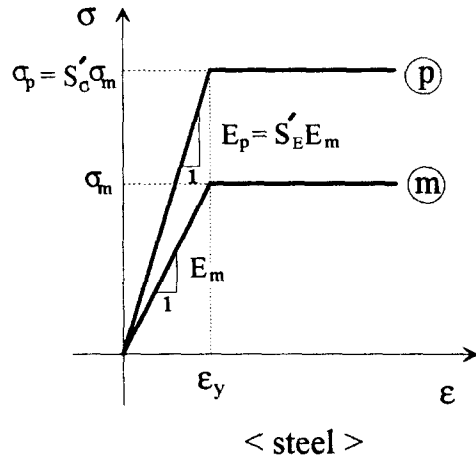
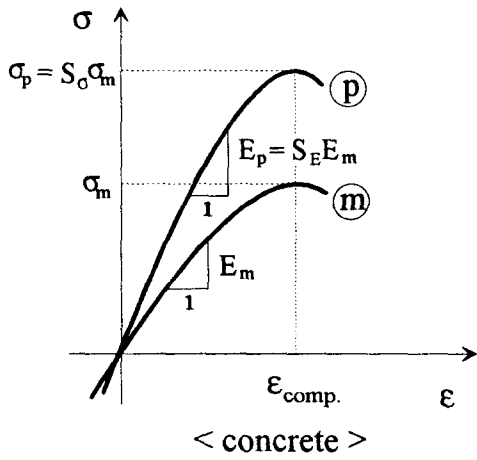
- 모델 철근의 재질 및 제작방법에 따라 다른 열처리온도를 선택하여 열처리하였다.

- 하중은 원형구조물 전체를 고려한 전산해석으로부터 모델링부분에 작용하는 하중을 산정하여 모형에 재하시켰다.

- 전산구조해석을 수행하여 실험치와 비교함으로써 철근콘크리트 구조물의 모형실험의 타당성과 유용성에 대해 고찰하였다.

참고문헌

1. Sabnis, G. M., Harris, H. G., "Structural Modeling and Experimental Techniques", Prentice-Hall, 1983
2. Noor, F. A., Boswell, L. F., "Small Scale Modeling of Concrete Structures", Elsevier Applied Science, 1992
3. 이한선, "구조물의 축소모델 재료에 관한 연구", 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터, 1995
4. Kim, W., White, R. N., "Small-Scale Modeling Techniques for Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Loads", National Center for Earthquake Engineering Research, 1988



(p) : prototype
 (m) : model

true model : $S_σ = S_E = S'_σ = S'_E$
 practical true model : $S_σ = S_E = S'_σ = S'_E = 1$

그림 1. 진모델(true model)

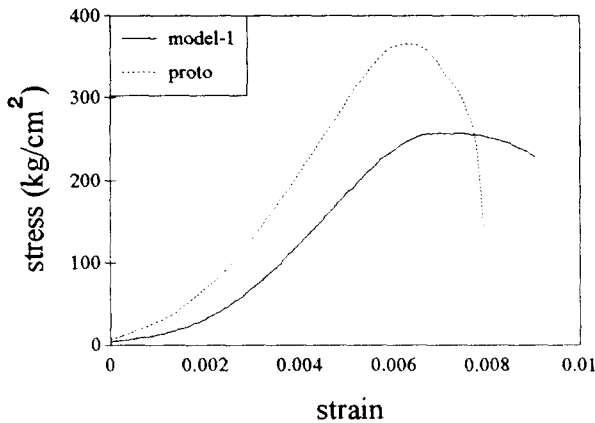


그림 2.
 콘크리트의 응력-변형도 곡선

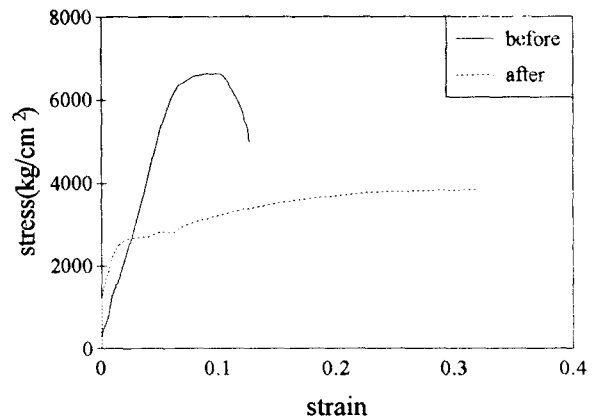


그림 3.
 열처리 전후의 철근의 응력-변형도 곡선

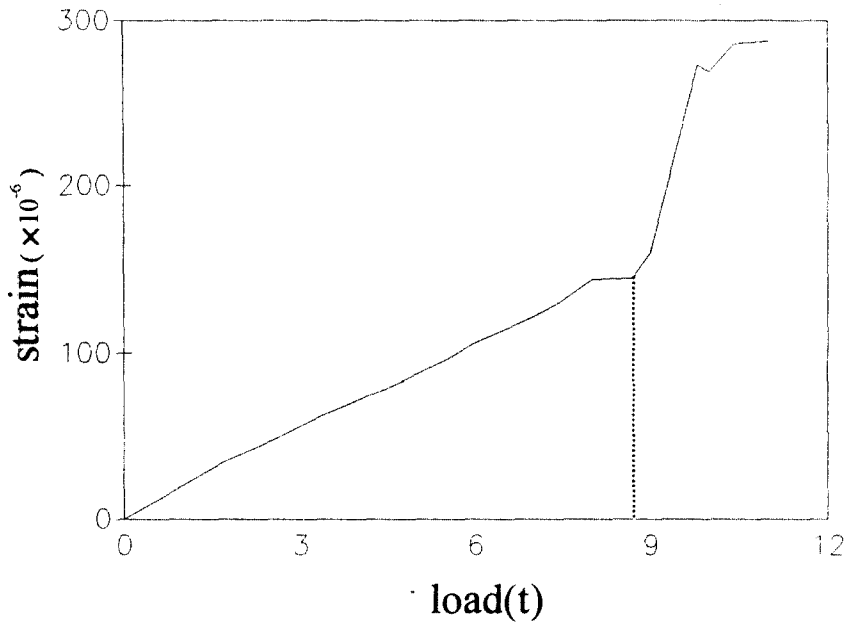


그림 4. 개구부 상단 철근의 하중-변형도 곡선

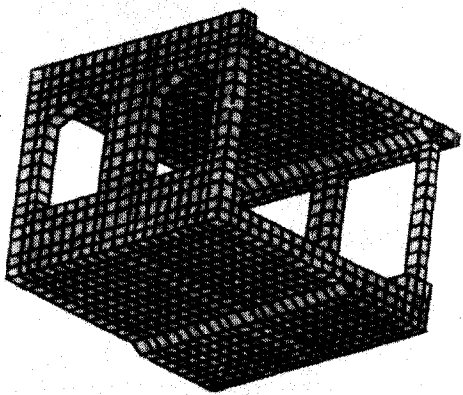


그림 5.
모형구조물의 해석모델

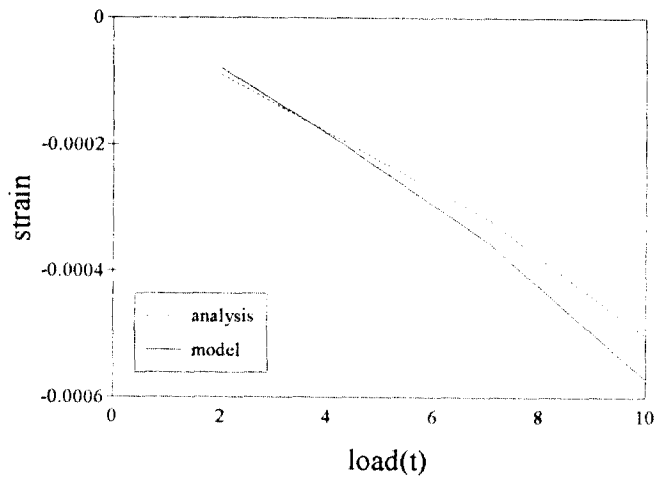


그림 6.
기동부에서의 해석치와 실험치의 변형도 비교