

複合構造系の耐震設計(上)

Seismic Design of Structural-Nonstructural System

金 錫 求*

Kim, Seok Koo

- I. 서 론
- II. 지진동의 특성
 - 2-1 지반가속도
 - 2-2 지반응답스펙트라
 - 2-3 강진기관
- III. 구조체의 동적거동
 - 3-1 지반상태와 구조체거동
 - 3-2 지반구조체 상호작용
 - 3-3 해석예와 결과분석

- IV. 비구조체의 지진응답거동
 - 4-1 복합구조체의 동적특성
 - 4-2 해석예의 결과분석
 - 4-2-1
 - 4-2-2
 - 4-2-3

V. 결 론

I. 서 론

현재의 우리나라 耐震設計規準은 일반적인 건축물을 대상으로 構造部材에 대하여 等價靜的 解析法을 규정하고 있으나, 건축물의 骨造에 정착되는 非構造部材 및 建築設備의 耐震조치에 대하여 “지진시에 이동·전도·국부파괴 등이 일어나지 아니하도록 건축물의 구조체에 안전하게 정착시켜야 한다.”고만 규정함으로써 해당분야의 전문가의 판단에 의해 안전성을 확보하도록 하고 있다.

그러나 건축물의 골조에 지지되는 비구조부재와 건축설비(이하 非構造體)에 작용하는 지진하중은 지진동의 불규칙성과 지반상태에 따른 지진동의 변화, 그들을 지지하는 構造體의 動的特性으로 말미암아 개개의 조건에 따라 작용地震力이 달라지게 되므로 해당분야의 전문가는 이들에 대한 전반적이고 깊은 통찰을 통하여 내진설계를 수행하여야 한다.

본 연구에서는 국내 내진설계용 지진동을 구조

적인 定量으로 정리하고 토질특성과 구조체 고유특성에 따른 상호작용과 구조체와 비구조체와의 動的인 상관관계를 究明하여 각개의 상황별로 構造體 非構造體(이하 複合構造)의 耐震設計 및 解析用 모델링 技法을 提示하는데 그 目的을 두었다.

II. 地震動의 特性

地震현상을 耐震設計에 적용하기 위해서는 構造的인 定量으로 규정할 필요가 있다. 현재 사용되는 방법으로는 地震動強度는 地盤의 最大加速度로, 地震動의 周波數成分은 應答스펙트라로서 표현하고 지진동의 持續時間을 규정하게 된다.

2-1 地盤加速度

우리나라의 지진위험구역도는 3개의 구역으로 나눌 수 있다. 지진구역 1은 광주직할시, 화천군을 제외한 강원도, 전라북도 고창군, 전라남도 중곡성군, 구례군, 광양군을 제외한 지역, 경상북도

*건축구조기술사 3D 구조연구소 소장

울진군 제주도로 최대지반 가속도는 0.08g이다. 지진구역2는 지진구역1을 제외한 지역으로 최대지반가속도는 0.16g이다. 그리고 조건부 규정으로 활성 단층지대나 약한 지층과 같이 지반조건이 불량하다고 판단되는 지역을 지진구역3으로 정하여 최대지반가속도를 0.25g 등으로 정할 수 있다.

우리나라 내진설계규준에서는 50년동안 발생할 가능성이 10%를 초과하는 지진을 중심으로 有效最大地盤加速度를 근거로 지진구역1은 0.08g, 지진구역2는 0.12g을 사용하도록 하고 있다.

2-2 地盤應答스펙트럼

구조물의 動的舉動 및 增幅現象을 규명하는데 사용되는 내진설계용 스펙트럼은 해당지역에서 예상되는 地震의 성질과 地盤조건에 따라 결정되어야 한다. 우리나라의 지진이 일반적으로 깊이가 얕은 곳에서 발생하고 지반이 견고하므로 地震波에 振動週期가 짧은 성분이 많이 발생하고 진동주기가 긴 성분은 상대적으로 적을 것이므로 진동주기가 0.3초 이상일 때에는 진동주기의 제곱근에 반비례하고 진동주기가 0.3초 이하인 경우에는 上限値로 1.5인 動的係數 C를 사용하고 동적계수(C)와 지반계수(S)의 곱인 설계용 스펙트럼의 상한치는 1.75를 적용하도록 하고 있다.

2-3 強震期間

最大地盤加速度和 함께 지진의 에너지를 결정하는 가장 중요한 요소로서 대개의 경우에는 지진의 규모가 클수록 強震期間이 길며 구조물의 피해와 직접적인 연관이 있다. 따라서 지진하중에 의한 非線型 破壞解析에 중요한 定量이다.

1978년 10월 7일 홍성지역에서 발생한 규모 5의 지진은 強震期間이 약 14초였다.

Ⅲ. 構造體의 動的舉動

3-1 地盤狀態와 構造體舉動

같은 크기의 지진이 발생해도 각 지역 지반조

건에 따라 그 운동이 서로 다르므로 지진으로 인한 피해도 크게 변할 수 있다. 지반의 고유진동수가 구조물의 진동수와 비슷하면 공진현상에 의해 피해가 증대되며, 연약지반에서는 낮은 주파수 성분이 지배적이어서 고층건물이, 암반에서는 높은 주파수 성분이 지배적이어서 강성이 큰 抵層建物이 더 크게 지진의 영향을 받는다.

내진안정성을 평가하기 위해서는 地震動의 特性과 地盤土質상태, 構造物의 固有週期등과의 相互關係를 파악하여야 한다. 지반상태에 따른 構造體와 舉動의 중요한 현상은 아래와 같다.

1. 土質의 自由領域 應答으로 인하여 構造體 抵部에서의 入力運動으로 사용되는 가속도 時計列은 설계용 운동의 時計列과 아주 다른 결과를 가지게 된다. 일반적으로 연약지반일 경우에 운동은 주로 擴張效果를 가져오며 이로 인하여 같은 지진하에서 암석위에 세워진 구조물에 비하여 깊은 연약지반 위에 세운 구조물이 훨씬 큰 피해를 입게 된다.

2. 일반적으로 구조물이 軟弱地盤위에 세워짐으로 인하여 기본진동수가 강성기초에 비하여 작아진다. 또한 기초에서의 로킹 운동으로 인하여 구조물, 특히 상부가 큰 영향을 받게 된다.

3. 半球體 無限球에서는 에너지 발산이 커서 發散感衰 效果가 크나, 지반이 얇은 경우에는 지진파가 발산되지 못하므로 材料感衰만 고려해도 된다.

3-2 地盤-構造體 相互作用

地震動에 대한 구조물의 해석시에는 지반-구조체 상호작용을 고려함으로써 구조체의 거동을 보다 정확히 파악할 수 있다. 해석방법은 구조물의 기초부분을 半無限의 地盤에 接觸된 無質量의 강제판으로 이상화하고 지반이 기초의 거동에 미치는 영향을 周波數 後續임피던스 함수로 나타내어 해석하는 副構造法과, 구조물과 지반부분을 有限要素法을 이용하여 하나의 構造係로서 모형화하고 경계면에는 점성경계, 중첩경계, 一致경계와 무한요소 등의 전달경계를 이용하여 해석하는 直接方法, 그리고 구조물과 구조물 주위의 半球

형태의 지반으로 구성된 내부영역과 半球바깥부분의 외부영역으로 나누어 해석하는 複合模型技法이 있다.

3-3 解析例와 結果分析

적용사례의 건물은 폭 28m×길이 51m×높이 15.4m의 콘크리트 구조로서 보통 콘크리트로 된 箱子型 骨造에 두께 70~120cm의 高密度 콘크리트로 된 奘셀이 一體로 설계되었다. 원통기초위에 5m 깊이의 지하실이 있고 지지기반에서의 동적역학성은 압축과속도 $v_p=3,170\text{m/sec}$ 전단과속도 $v_s=1,410\text{m/sec}$, 포아송비 $\nu=0.28$, 전단계수 $G_d=0.55 \times 10^5\text{kg/cm}^2$, 탄성계수 $E_d=1.4 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ 를 기준으로 약간의 풍화압과 완전 풍화압에 걸쳐있다.

지반-구조체 상호작용 해석용 모델(그림 3-1)은 흙에 묻힘 깊이와 암반위의 흙 길이, 흙

층의 변화 등이 포함되고 지반의 무한성은 傳達境界要素를, 건물 양단의 摩擦은 點性境界要素를 도입하여 고려되도록 하였다. 흙의 應力-變形率에 따라 감쇠비와 전단계수의 변화를 반영시켰다. 구조체는 보요소로서 모델화하고 천정 크레인과 機器가 놓이는 곳에는 集中質量으로 入力하였다.

예제의 건물은 콘크리트 스텔브와 콘크리트 벽 그리고 고밀도 콘크리트 奘셀로 이루어져 있으므로 해석용 모델(그림 3-2)에서는 4각형과 3각형의 평판요소 928개로서 표현하였다. 총 절점번호 1018개의 모델에 무거운 庶蔽窓과 機器, 조적간벽은 지지점에서 集重質量으로 해당 절점에 입력하였고 평판요소의 50% 미만, 개구부는 等價두께로 변환하여 나타내었다.

평판요소를 이용한 3차원 해석으로 얻은 구조체의 固有週期는 1차 모우드가 0.205초, 2차

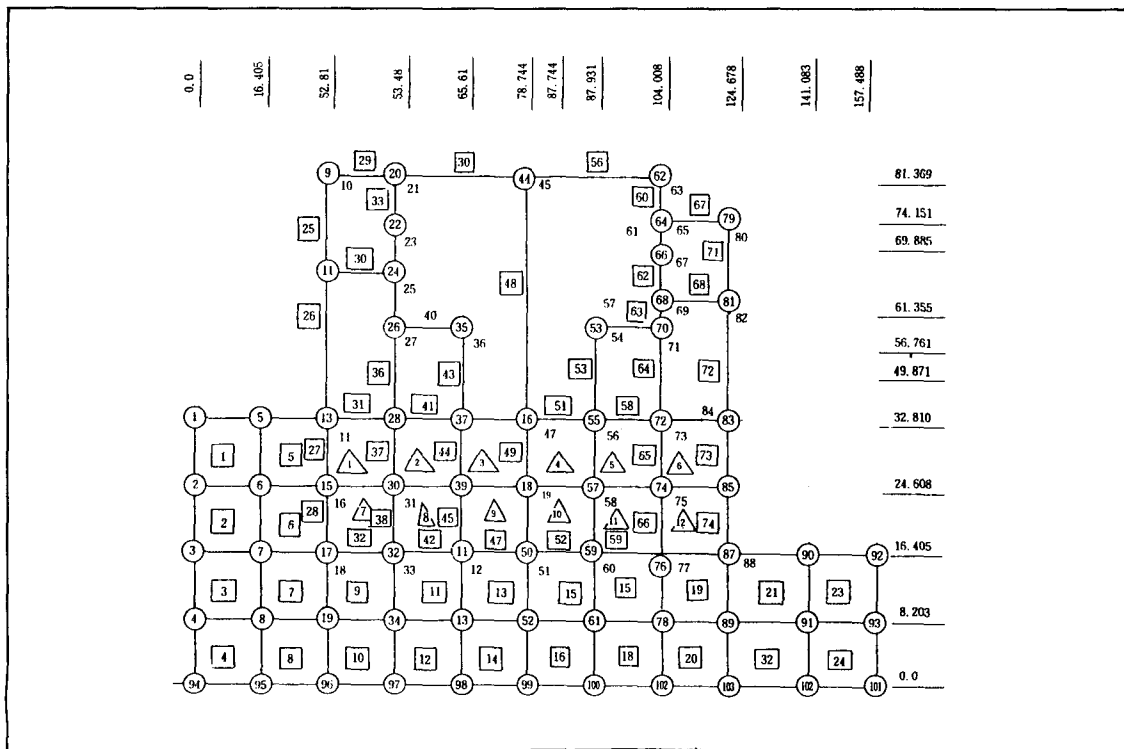


그림 3-1 지반-구조체 상호작용 해석용 모델

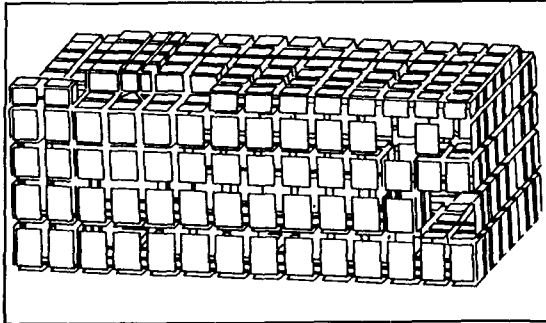


그림 3-2 경계요소 제외한 3 차원 모델

모우드가 0.198 초 이었고 구조체를 보요소로 하고 지반을 입체요소로 해석한 구조체의 1차固有週期는 0.25 초이었다. 우리나라 내진설계 규준에서 제시한 건축물 기본 진동주기 산정식에 의하면 $T_2 = 0.09 \text{ hn} / \sqrt{13} = 0.09 \times 14.8 / \sqrt{26} = 0.252$ 초로서 상기 값과 상호 20%까지의 편차가 있음을 보여준다.

천정크레인의 내진설계용 압력지진을 산정하기 위해 절점반토 66에서 감쇠율 7%의 층응답스펙트라를 전개하여 본 결과 수평방향은 구조체의 1차 고유진동수인 4cps에서 스펙트라 정점을 이루고 있으며 수직방향은 11.3cps에서 스펙트라

정점을 이루고 있다.

수평방향 층가속도는 0.6g으로서 지반가속도보다 3배 증폭되었으나 수직방향은 0.1g으로서 별 변화가 없음을 보여준다.

IV. 非構造體의 地震應答舉動

앞에서, 地震動이 地盤과 構造體를 통해 오면서 변화되는 과정을 살펴보고, 非構造體를 지지하는 構造體 해장층에서의 層應答舉動을 입력지진으로 하여 非構造體의 지진응답거동을 별도 해석하는 것으로 진행하였으나, 실제에 있어서는 구조체가 비구조체와 複合構造體를 형성하면 개개 구조체가 갖는 動的特質과는 다른 양상을 나타낸다.

즉 구조체의 어느 고유진동수와 비구조체의 진동수가 일치할 때 생기는 同調現象(tuning)과 구조체와 비구조체의 動的運動이 서로 영향을 주고 받는 相互作用現象(Interaction), 구조체와 비구조체의 減衰特性이 서로 다르므로서 발생하는 非典型減衰現象(nonclassical) 등이 있어 이러한 複合구조체의 새로운 동적 특질을 고려하여야 한다.(다음호에 계속)