

東京都 正 会員 若林 茂樹
 名古屋大学大学院 学生会員 伊澤 二郎
 名古屋大学工学部 正 会員 田辺 忠顕

1. はじめに

RC構造物の振動破壊性状には、曲げ破壊、せん断破壊、ねじり破壊等が考えられる。RC構造物が曲げ降伏する場合には、じん性がある程度期待できるのに対し、せん断破壊、ねじり破壊を生じる場合は比較的脆い破壊を生じる。従って、せん断破壊やねじり破壊が曲げ破壊に先行して起こらぬように設計を行うべきであるとされてきた。しかし実際は、せん断補強筋を部材の断面積に比してわずかし配置できない場合もあり、地震の被害はせん断破壊型、ねじり破壊型がほとんどであった。また構造物の地震応答は3次元的存在であるが、従来の耐震研究、設計は面内振動に重点を置き、3次元的な考慮は十分に払ってこなかったといえる。

本研究では、RC構造物に3次元的な振動を生じさせる動的実験を行い、破壊パターンならびに3次元応答の相関等に関して検討を行った。

2. 実験の概要

実験に使用した供試体は図1に示すとおり高さ110cm、幅80cmの正方形形の2層立体ラーメンである。柱は4本とも7×7cmの圓形、中層はりは、I型断面を有し、その詳細は図2に示すとおりである。

実験時は、供試体にねじり振動が加わるように天端スラブに片側950kg反対側550kgと偏心をかけたウエイトを載荷した。供試体を振動台上に固定し、入力地震波として使用した名古屋近辺の地盤を考慮した横揺地震波の最大加速度が100galから900galに至るまで100galずつの段階で入力し、それぞれ各段階ごとの供試体各部の応答加速度、及び加振前後の供試体の破壊状況、固有振動数を測定した。

3. 3次元振動解析

実験に対応した解析を行うため、供試体を図3に示す様にモデル化を行った。節点総数は12であり、1節点6自由度であるが、天端は剛なものと仮定し、その変位は水平面内のみと仮定する事で接合部自由度は、天端重心まわりの3自由度で表示される。柱部材下端は拘束であり、また柱部材、及び中層はり部材の質量は天端スラブの質量に比して非常に小さいので、(1)式で示すとおり振動方程式を導く事ができる。

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -M\ddot{Z} \quad (1)$$

$$K = S'(K_1 - K_2 K_{22}^{-1} K_2)S$$

ここにMは質量マトリックス、CはRayleigh型の減衰マトリックス、

Kは剛性マトリックス、Uは重心の変位ベクトル

Zは入力地震加速度ベクトル

質量は全質量が天端に集中しているものとして、偏心を考慮するたのに4点に集中質量を与え、また各部材端部にハンチを取り付けてあるため、この部分は剛であると考えて、剛域を取り入れる。

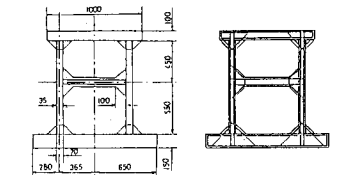


図1 供試体寸法図

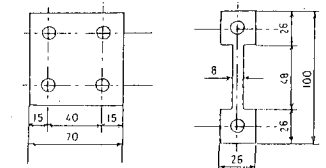


図2 柱、中層はりの断面図

The Number of Element 12
The Number of Node 12

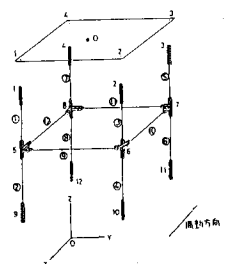


図3 供試体モデル

従来の弾塑性地震応答解析は各層ごとに復元力特性を総合化して D-Tri 型等に単純化したモデルを採用しているが、破壊過程が複雑な構造物では必ずしも合理的とはいえない場合もある。そこで本研究ではエネルギーに基づいて各部材ごとの復元力特性を求める。有限要素法により部材の自由度を両端 12 自由度とし、変位により部材に蓄積される内部エネルギーを(2)式で表わす。

$$U = U_x + U_y + U_z \quad (2)$$

ここに U_x 、 U_y 、 U_z は x 、 y 、 z 面内に生じる歪エネルギー

ここで部材全長にわたって剛性が一定であるとすると、各部材の変形状態は(3)式で表示できる。

$$\theta_x^* = \sqrt{\frac{U_x}{EI_x}} \cdot l, \quad \theta_y^* = \sqrt{\frac{U_y}{EI_y}} \cdot l, \quad \theta_z^* = \sqrt{\frac{U_z}{EI_z}} \cdot l \quad (3)$$

これらの $\{\theta_x^*, \theta_y^*, \theta_z^*\}$ は部材の変形状態を表わすもので単位は回転角と同じであり、(3)式を使うと各部材の変形を 3 成分で表わすことができる。 $\{\theta_x^*, \theta_y^*, \theta_z^*\}$ はエネルギーより求めた値であるため常に正の値であるから、正負の判定に部材の回転角を考慮し、更にこれを増分系で考えれば、M-θ 関係を描く事ができる。

本解析にはこの M-θ 関係に D-Tri 型のモデルを適用し、逐次積分法によって解析した。

4. 実験結果、解析結果とその考察

振動実験では 300 gal 加振時に振動方向の中層ばりがせん断破壊に達し 500 gal 加振時に振動直角方向の中層ばりにねじりによるクラック、柱部材にせん断によるクラックが生じた。600 gal 加振時に、偏心側の柱下端部にせん断圧縮破壊が起こった。図 4、図 5 に各加振段階における固有振動数の低下率、及び、(入力加速度のピーク値)-(応答加速度のピーク値)の関係図を示す。この図によると固有振動数の低下は 1、2、3 次とも同傾向を示し、これは 3 方向の固有振動数には相関関係があり、また 600 gal 加振時に柱下端部に大きなせん断破壊が生じた事からせん断クラックはねじり剛性をも低下させる事を示している。

図 6 に解析と実測の応答加速度の比較例として 500 gal での応答波形を示す。ここで解析の初期剛性は実測の固有振動数から求めている。この図を見ると天端中央振動方向、天端隅振動方向ともピーク値は解析の方が小さいが、周波数特性はよく一致している。いずれにしても、3 次元応答には各方向の破壊状況が互いに影響しあう事を適切にモデル化する事が今後の耐震研究の重要な課題と思われる。

5. まとめ

実験、解析の結果から、強度設計を行う場合には、偏心構造物の場合、剛心の移動という事を考え最も不利な地震力を算出する事が重要であり、各成分独立にその強度を算出する方法に修正を行う必要があり、変形設計では、構造物の保有じん性率の算出の際、3 次元的是相互作用を考慮すべきであると考えられる。

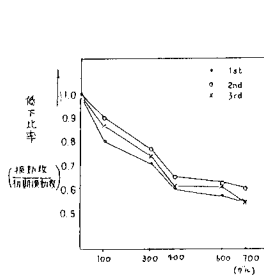


図 4 固有振動数の低下率

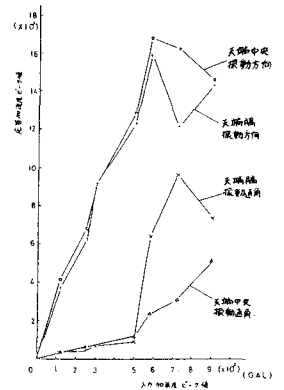


図 5 (入力ピーク値)-(応答ピーク値)の関係

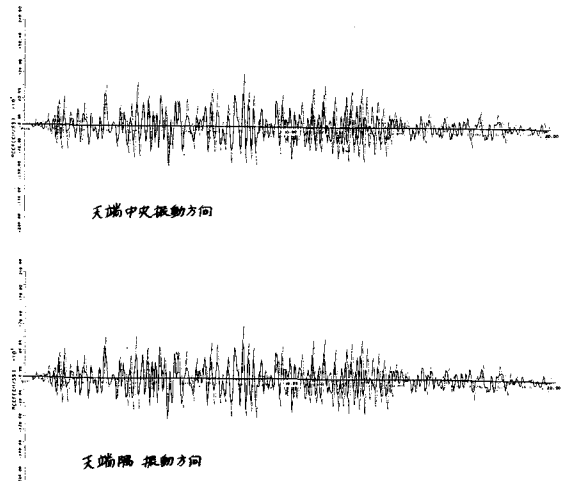


図 6 実測応答波形と解析応答波形 (500 gal)
(太線が解析 細線が実測)