

要旨

2001 芸予地震で倒壊した鉄筋コンクリート建物の動的応答解析

1045034 森脇 百合香

1. 研究目的

現在、動的解析手法は曲げ降伏型建物においては確立されているが、せん断破壊型建物においては確立されていない。そこで、本研究では、2001 芸予地震で倒壊した鉄筋コンクリート建物の震害解析を通じて、せん断破壊型建物における動的解析の可能性を検討をした



写真 1 倒壊した対象建物

2. 建物概要

対象建物は愛媛県今治市にあった昭和 45 年建設の地上 3 階建片廊下型アパートで、1 階がピロティ様式になっていた。2001 年 3 月の芸予地震により、1 階柱がせん断破壊し、層崩壊して倒壊した。1 階柱のせん断補強筋比は 0.1% で、コア抜き試験によるコンクリート強度の平均は 140kg/cm^2 であった。

3. 使用する動的解析プログラム

当初は、市販のプログラムを用いた動的解析の試みた。市販の解析プログラムは、設計用に作られており、曲げ降伏型のみに対応し、せん断破壊型の解析ができない。そこで、この問題点を克服するために、次の方法を考えた。せん断破壊型の耐力低下型復元力特性を曲げ降伏型に置換する この復元力特性において動的解析を行う その解析結果から、エネルギー一定則を用いて実際の最大応答を推定する。この方法により動的解析を行うことを考えた。しかし、この建物におけるエネルギー一定則成立の可能性を検討したところ、この建物の場合適合性が低いことが分かりこの方法を断念した。

そこで動的解析は、耐力低下型復元力特性を扱える芳村プログラムにより行った。この芳村プログラムは、東京都立大学芳村先生のご好意によりお貸しいただいた。復元力特性は、図 1 のように 4 つのパラメータにより指定してすることができる。

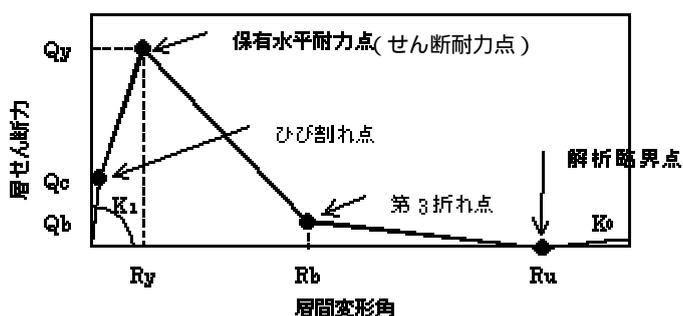


図 1 復元力特性の包絡線 (折れ点の定義)

4. 復元力特性のモデル化

復元力特性は、当初、精度が高い静的荷重増分解析による作成を試みた。しかし、この方法は、部材のせん断破壊を無視した解析を行う。そこで、部材のせん断耐力後のせん断

力の上昇を抑えるため、部材端の曲げ復元力特性を操作することで克服しようとしたが、問題があり断念した。

そこで、手計算によりモデル化した。復元力特性の正の勾配部分は柱上下端を固定と仮定し、曲げ系の計算式に準拠して求めた。負の勾配部分は、同一パラメータにおける資料がないため、比較的類似したパラメータの実験結果をもとに求めた。

5. 復元力特性の変動による最大応答の影響を考慮した解析

上章の方法によりモデル化した復元力特性は、いくつかの理由から、それ一つに断定することは不可能である。そこで、この復元力特性を基本にこれをパラメトリックに変化させた場合の動的解析を行った。

保有水平耐力後の負の勾配の変動による影響

1層のせん断耐力後の負の勾配に関してはまったく資料がなく、基本包絡線では比較的類似したパラメータの実験結果を参考にした。しかし、本研究の建物におけるせん断耐力後の勾配に関する評価の正当性は議論できないため、保有水平耐力後の負の勾配の変動による影響について調べた。具体的には、推算包絡線の R_u の値を下表のように変化させた。なお、 $R_b = R_u/2$ である。他の値は不変である。

解析臨界点 R_u (%)	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0
1層最大層間変形角 R_{max} (%)	2.00	1.35	1.13	1.06	1.02

結果、 $R_u=2.0\%$ では、応答が解析臨界点を越えた。 R_u の減少とともに、最大応答はやはり増加した。 R_u がどの場合でも、最大応答が1.02%以上で、倒壊の危険性は非常に高い。

せん断耐力 Q_y の変動の影響

一般的に使用されているせん断耐力式はど

せん断耐力 Q_y (tf)	249.5	332.7	415.9	499.0	582.3
基本包絡線の Q_y に対する倍率	0.6倍	0.8倍	1.0倍	1.2倍	1.4倍
1層最大層間変形角 R_{max} (%)	-1.37	1.39	1.04	0.50	0.38

れも設計のためのもので耐力の下限値を示す。そのため、基本包絡線を求める際は、下限値(計算値)を1.37倍して平均値に修正した。しかし、実験値の変動は大きく、これに伴いせん断耐力も大きく変動する。そこで基本包絡線のせん断耐力を0.6倍、0.8倍、1.2倍および1.4倍と変動させた場合の1層最大層間変形への影響を調べた(下表)。なお、 Q_y が低い場合は相対的に Q_c や Q_b も低いと考え、 Q_y と同じ割合で Q_c と Q_b も変化させた。結果、 Q_y が415.9tf以下では、最大応答が1%以上で倒壊の可能性は高いが、 Q_y が499.0tf以上では、最大応答が0.50%(1/200)以下となり、実験データ等から判断しても倒壊の可能性が低いのではないかと考えられる。

最大応答は $Q_y=332.7$ tf時の1.39t%を最大に、 Q_y が332.7tfから遠ざかるにつれ、減少していった。これは、一般的に Q_y の低下とともに最大応答は増大するが、332.7tf以下になると固有周期が影響して、共振現象から遠ざかり最大応答も減少したと考えられるが、今後の詳細な解析が必要である。

せん断耐力時層間変形角 R_y の変動による影響

1 層包絡線は曲げ降伏系の包絡線をもとに求めた。しかし、1 層はせん断破壊系であり、せん断破壊耐力

せん断耐力時層間変形角 R_y (%)	0.436	0.566	0.697
基本包絡線の R_y に対する倍率	1.0 倍	1.3 倍	1.6 倍
1 層最大層間変形角 R_{max} (%)	1.04	1.32	1.67

時の剛性は曲げ降伏系よりせん断ひび割れが増えて剛性低下すると考えられる。そこで、基本包絡線で求めたせん断耐力時変形角 R_y のみを 1.3 倍、1.6 倍した場合の地震応答解析を行った。結果、最大応答はすべて 1.04% (約 1/100) を超え、どの場合も倒壊の危険性は非常に高い。 R_y の増大とともに、最大応答も一様に増加。ひび割れ後の剛性低下が原因だと思われる。

～ に示したように、基本包絡線を考えられる範囲内で変動させて解析を行ったが、 Q_y が 499.0tf 以上の場合以外はすべて最大応答が 1.04%以上となり、この建物は、倒壊の可能性がもともと非常に高かったといえる。

5 . 結論

解析の結果、対象建物は倒壊の危険性が非常に高かったことが分かった。しかし、もし、各解析結果のほとんどが、倒壊の危険性を判断しにくいようなを示していたら、このような検証結果を出すことはできなかった。現在、建物の地震に対する安全性を検討する研究は進んでいるが、建物の倒壊するしないの境目をきちんと見極めるクライテリアの研究開発が遅れているのではないかと考えられた。また、保有水平知力の変動による最大応答への影響は本建物の解析結果を見る限りでもやはり大きく、このような解析を行う上では非常に重要である。また、せん断耐力後の負の勾配を実験データから同定することは現在のところ困難であり、この勾配を断定できることも今後の課題である。

Abstract

Dynamic Response Analysis of Reinforced Concrete Building Collapsed due to 2001 Geiyo Earthquake

Yurika Moriwaki

The elasto-plastic dynamic analysis was done for the reinforced concrete buildings that collapsed due to the 2001 Geiyo-Earthquake. Considering restoring force characteristics as horizontal deformation and the seismic load of the building, the analytical results were discussed in their case studies. In the dynamic elasto-plastic response analysis for reinforced concrete buildings, the definition of its restoring force characteristics is very important for the judgement of building safety against earthquake input.

Nowadays, there are available some conventional evaluation methods of restoring force characteristics for a flexural failure type model. However, mathematical modeling for a shear failure type has not been established as common use yet. Therefore, the determination of the skeleton curve for the shear failure type structure is very difficult to make. Further, fluctuations by the envelope curve of the load-deflection relationship in the case of the shear failure type have not yet been discussed.

In this study, the following were regarded as parameters; the shear strength of columns; the second and the third stiffness of the skeleton curves as the restoring force characteristics; and the level of earthquake motion input. Each parameter was independently varied, and numerical comparisons were discussed based on their dynamic response results. Through the numerical comparisons of maximum responses of each case, the risk of collapse was discussed.

However, existing test data can not cover such precise third stiffness. The effect of such restoring force characteristics should be further examined. Although research on the building safety against earthquake motions seems to have progressed, research on the criteria of judging between remaining severe damage (no human damage) and collapse has not been well developed.