

学 位 論 文 題 名

崩壊メカニズムが異なる建物の地震応答性状に関する研究

学位論文内容の要旨

1995 年兵庫県南部地震において非常に多くの構造物が被害を受け、崩壊に至った建築物も多数あった。その中で特徴的な被害として多層建物のある特定の層の崩壊が挙げられる。主に 1971 年以前に建築された建物において中間層で崩壊した建物が多く見られた。しかし、層崩壊で最も多いのは最下層の崩壊であり、特にピロティーを有する建物では、現行耐震規定により設計された建物でも被害を受けた建物は多かった。

大地震時に構造物の挙動を弾性範囲にとどめておくことは経済的にも現実的ではなく、構造物の靱性に期待し、それによって設計用地震力を低減するという耐震設計の基本的な考え方があり、設計の際には建物の崩壊メカニズムについて考える必要がある。建物全体の梁端部に降伏ヒンジが発生することによる全体崩壊型メカニズムとなる建物の耐震性能が優れているという考えから、日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」により、梁崩壊となるような手法も提案されている。

これらのことより、耐震上望ましいと考えられる全体崩壊型、地震被害で多く見られた層崩壊型のように崩壊メカニズムが異なる建物に対する地震作用の評価を行うことは重要なことであると考えられる。さらに最下層、中間層などある特定層への損傷集中について明らかにする必要がある。本論文は崩壊メカニズムの異なる建物モデルについて塑性変形を許容することにより設計用地震力をどの程度低減できるのかを示す構造特性係数の極値について明らかにすること、ある層に損傷が集中し崩壊に至る場合の崩壊層の位置（最上層、中間層、最下層など）に及ぼす建物の構造特性、入力地震動特性の影響について考察することを目的としている。

本論文は全 6 章、および付録から構成されている。

第 1 章は序論であり、本研究の目的とその背景について述べ、本論文の構成についてまとめた。

第 2 章では、解析モデルとして用いた全体崩壊型、最下層崩壊型、各層で崩壊の可能性がある層崩壊型のそれぞれの崩壊メカニズムとなる建物モデルの運動方程式の定式化を行った。本論文で解析を行ったのは $P-\Delta$ 効果によって完全に崩壊に至るまで解析が可能な有限回転角で表される建物モデルである。次に、解析に用いた入力地震動について述べた。解析に用いた入力地震動は、地震応答解析によく用いられる地震動記録や近年国内外で得られた強震動記録（水平成分 30 波）であり、最大水平速度が 100kine になるように基準化し解析に用いている。また、 $P-\Delta$ 効果についての概要を説明し、 $P-\Delta$ 効果を考慮したモデルと考慮しないモデルの解析結果の比較を行った。降伏ベースシア係数を徐々に減少させた時の地震応答の比較から $P-\Delta$ 効果を考慮したモデルではある程度のベースシア係数がない場合は崩壊に至ることを示した。

第 3 章では、構造特性係数の極値について考察を行うことを目的に、1 自由度系で表される全

体崩壊型モデルの解析結果を示した。建物モデルの各入力地震動に対する弾性ベースシア係数を求め、徐々に降伏ベースシア係数を減少させ、最初に建物モデルが完全に崩壊に至る（最大変形角が $\pi/2$ になる）ときのベースシア係数を求めた。このベースシア係数を弾性ベースシア係数で除した値は建物の塑性化を許容することで設計用地震力を低減する係数を表すことになる。本章で解析を行ったのは最も耐震性に優れていると考えられる全体崩壊型モデルであり、さらに解析モデルの変形能力を無限にあると仮定したため、本章で得られる構造特性係数は極値であると考えられる。各入力地震動について解析を行った結果、構造特性係数の極値は入力地震動によってその値は大きくばらつきがあるが、建物モデルの固有周期の関数となることを明らかにした。本章で得られた各入力地震動に対する構造特性係数の極値と日米の耐震規定での構造特性係数との比較を行い、日本の構造特性係数の最小値である $D_s=0.25$ では、 $T=0.1\sim 0.2(s)$ の短周期建物に対しては崩壊の危険性があることを示した。米国の規定の最小値 $R=8$ ($D_s=0.125$ に相当) では、余剰強度が無い場合には、短周期建物の崩壊の危険性は非常に高く、長周期建物に対しても崩壊の可能性があることを示した。

第 4 章では、層崩壊型モデルの構造特性係数の極値について考察した。兵庫県南部地震のみではなく国内外を問わず過去の地震による建物被害を見ると、被害が建物のある層に集中し、その被害がさらに進展し層崩壊に至っていることが多い。本章では、1 自由度系で表される最下層崩壊型モデルと多自由度系で表される層崩壊型モデルの解析を行った。多自由度系で表される層崩壊型モデルは剛性分布と強度分布によって 8 種のモデルについて解析を行った。各モデルの解析結果から、層崩壊型モデルの構造特性係数の極値は剛性分布、強度分布の違いによらず、1 自由度系である最下層崩壊型モデルの構造特性係数の極値で近似できることを示し、これらの値は固有周期が長くなるにしたがってほぼ直線的に大きくなることを示した。全体崩壊型モデルの解析結果との比較から、構造特性係数の極値は建物の崩壊メカニズムによって大きく異なるため、構造特性係数は崩壊メカニズムに応じて与える必要があることを示した。

第 5 章では、本章では層崩壊型モデルの解析から損傷が集中し崩壊に至る層の位置について考察を行った。入力波の周期、サイクル数の影響について考察するために、第 3、4 章で用いた入力地震動に加え、種々の周期とサイクル数のサイン波を入力に用いた。解析結果から、一般的には最下層または下から 2 層目で崩壊するケースが多いが、1 次固有周期よりもやや短い周期の入力波が数サイクル以上入力する場合には、建物モデルの上層部分の強度が十分に大きいと仮定するとその直下の層で崩壊する可能性があることを明らかにした。

第 6 章は、結論であり、本論文によって得られた研究成果をまとめ、今後の研究課題について述べた。

付録には、本研究で用いた入力地震動の時刻歴加速度、速度、変位と、応答スペクトルを示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 石 山 祐 二
副 査 教 授 城 攻
副 査 教 授 内 山 武 司
副 査 教 授 鏡 味 洋 史

学 位 論 文 題 名

崩壊メカニズムが異なる建物の地震応答性状に関する研究

大地震時に構造物の挙動を弾性範囲にとどめておくことは経済面からも現実的ではなく、建物の設計の際には崩壊メカニズムについて考える必要がある。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針」では、最も構造的に好ましい全体崩壊となるような設計手法が提案されている。しかし、1995年兵庫県南部地震においては、多層建物の最下層や中間層など特定の層の崩壊が多く見られた。これらのことより、崩壊メカニズムが異なる建物に対する地震作用の評価を行うことは重要なことであると考えられる。さらに特定層への損傷集中について、その原因を明らかにする必要がある。

本論文は、崩壊メカニズムが異なる建物の地震応答性状を明らかにすることを目的とし、モデル建物の地震応答解析により考察を行ったものである。塑性変形を許容することにより設計用地震力をどの程度低減できるのかを示す構造特性係数の極値について、また、ある層に損傷が集中し崩壊に至る場合の崩壊層の位置（最上層、中間層、最下層など）に及ぼす建物の構造特性、入力地震動特性の影響について論じている。まず、全体崩壊型モデル建物の構造特性係数の極値について考察を行い、構造特性係数の極値は入力地震動によって大きくばらつくが、モデル建物の固有周期の関数となることを示し、それらの値と日米の耐震規定中の構造特性係数の規定値との比較を行っている。次に、層崩壊型モデル建物の構造特性係数の極値を求め、この場合の構造特性係数の極値は固有周期が長くなるに従ってほぼ比例して大きくなることを示し、全体崩壊型モデルの構造特性係数の極値との比較を行っている。さらに、多自由度のモデル建物の解析から、特定の層に損傷が集中し、崩壊に至る層の位置について、建物の構造特性、地震波の入力特性の影響について明らかにしている。本論文の各章の概要は以下に示す通りである。

第1章は序論であり、目的とその背景について述べ、本論文の構成について述べている。

第2章では、解析モデルとして用いた、全体崩壊型、最下層崩壊型、各層で崩壊の可能性がある層崩壊型の崩壊メカニズムとなるモデル建物の運動方程式の定式化を行っている。また、解析に用いた入力地震動について述べている。さらに、 $P-\Delta$ 効果についての概要を説明し、 $P-$

△効果を考慮したモデルと考慮しないモデルの解析結果の比較を行っている。

第 3 章では、全体崩壊型モデルについての解析結果を示している。構造特性係数の極値は入力地震動によって大きくばらつくが、モデル建物の固有周期の関数となることを明らかにしている。構造特性係数の極値と日米の耐震規定による構造特性係数の比較を行い、日本の構造特性係数の最小値では短周期建物に対しては崩壊の危険性があること、米国の規定の最小値では、余剰強度が無い場合には、短周期建物の崩壊の危険性は非常に高く、長周期建物に対しても崩壊の可能性があることを示している。

第 4 章では、層崩壊型モデルの構造特性係数の極値について考察するために、1 自由度系で表される最下層崩壊型モデルと多自由度系で表される層崩壊型モデルの解析を行っている。各モデルの解析結果から、層崩壊型モデルの構造特性係数の極値は剛性分布、強度分布の違いによらず、1 自由度系である最下層崩壊型モデルの構造特性係数の極値で近似できることを示し、これらの値は固有周期が長くなるに従ってほぼ直線的に大きくなることを示している。全体崩壊型モデルの解析結果との比較から、構造特性係数の極値は建物の崩壊メカニズムによって大きく異なるため、構造特性係数は崩壊メカニズムに応じて与える必要があることを示している。

第 5 章では、層崩壊型モデルの解析から損傷が集中し崩壊に至る層の位置について考察を行っている。入力波の周期、サイクル数の影響について考察するために、第 3、4 章で用いた入力地震動に加え、周期とサイクル数を変化させたサイン波を入力に用いた。多くの場合、最下層または下から 2 層目で崩壊するが、1 次固有周期よりもやや短い周期の入力波が数サイクル入力する場合には、モデル建物の上層部分の強度が十分に大きいと仮定するとその直下の層で崩壊する可能性があることを明らかにしている。

第 6 章は、結論であり、本論文によって得られた研究成果をまとめ、今後の研究課題について述べている。

以上のように著者は、崩壊メカニズムが異なる建物の地震応答性状に関して有益な新知見を得ており、建築構造学、地震工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。