

鉄筋コンクリート造建物の耐震設計 および解析技術の動向

北山 和宏*¹・和泉 信之*²

1. はじめに

本節では兵庫県南部地震（1995）のもたらした教訓に基づいて鉄筋コンクリート（RC）造建物の耐震設計に対する考え方がどのように変容しつつあるのかについて概説する。また RC 造の部材や建物を対象とした解析の技術と設計との関係について俯瞰する。

2. 兵庫県南部地震以降の耐震設計の潮流

従来の仕様規定型の構造設計では、設計された建物の耐震性能を設計者も施主も精確には把握できない。また構造設計者や研究者は、地震時に RC 造建物がどのように挙動して地震力に抵抗するのかについて、建物の使用者に積極的に説明することはなかった。ところが 1995 年の兵庫県南部地震によって、構造躯体は大被害を免れて人命は保全されたものの、構造部材のひび割れや非構造部材の損傷によって居住できなくなった RC 造建物が多数発生した。これについてわれわれ専門家は、予想通りの崩壊形を実現できたとか、ひび割れ発生によってエネルギー吸収に寄与できたといった感想を抱き新耐震設計法はおおむね妥当であったと考えたが、一般の人たちからは「こんなに壊れるとは思わなかった」という大いなる異議申し立てが寄せられたのである。

このことが性能規定型の構造設計法の必要性を増大させた。すなわち、構造設計者は建物が発揮すべき耐震性能をあらかじめ設定して設計を行い、施主や使用者に対してその性能を保証するとともに、建物の保有する耐震性能について十分に説明して同意を得ることが必要不可欠と考えられるようになったのである。構造設計者は重大な責任を負わされることになる反面、このような要求性能を確保できるならばどのような設計法によってもよく、また構造形式や材料なども適切に選択できるという大幅な自由が与えられる。努力した者が報われるという競争社会では当たり前のことが、建築構造の分野でも大いに実践できる下地が出来上がったと考えてよいだろう。

建物の性能を規定するためには柱、梁、耐震壁といった部材の性能から建物全体の性能までを精度よく評価することが重要であり、同時に建物を襲うであろう地震動の特徴も把握されなければならない。また、建物が発揮すべき目標性能（すなわち使用性や安全性などの限界状態）を定量的に定義することが必要である。建築構造分野におけるこのような潮流のもとで 2000 年 6 月に建築基準法が改正されて、性能規定型の設計体系への一步を踏み出した。耐震構造に関しては「限界耐力計算法」がそれに当たり、加速度応答スペクトルのかたちで設計用地震動を規定して、一質点系に縮約したモデルによる等価線形化法によって応答値を評価するものである。ただし本論ではこれ以上は言及しない。改正建築基準法については本特集の 1.2 節を、「限界耐力計算法」については例えば文献¹⁾²⁾をそれぞれ参照されたい。また建物の性能設計についての総説として文献³⁾⁴⁾が参考になる。

3. 日本建築学会の耐震設計規準類

ここでは兵庫県南部地震以降に日本建築学会から新たに刊行、あるいは改定された規準・指針のなかで耐震設計に関するものの幾つかを簡単に紹介し、あわせて性能評価法についての動向にも触れる。

3.1 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説⁵⁾

終局強度型耐震設計指針（1990）⁶⁾の内容を性能評価型の設計法という観点から見直し、同時に最新の研究成果や知見を導入して靱性保証型耐震設計指針案が 1997 年 7 月に刊行され、1999 年に制定された。この指針では使用性、復旧可能性および安全性という三つの限界状態に対応する目標性能を主として変形によって規定する点が特色である。また、明快な全体降伏機構を形成するように設計された建物を対象として耐震安全性を確認するという性能評価の考え方が導入されて、設計の手法や解析方法は個々の設計者に委ねられた。部材の曲げ設計を合理的に行うために、潜在ヒンジ領域という考え方を採り入れた。曲げモーメントと変動軸力を受ける柱部材の限界変形を等価軸力比という概念を用いて求める方法を提案し、要求されるじん性能を確保するために必要な拘束

*1 きたやま・かずひろ／東京都立大学大学院 助教授 工学研究科 建築学専攻（正会員）

*2 いずみ・のぶゆき／東京都立大学 工学部 非常勤講師（正会員）

筋量を求められるようにした。柱、梁、耐震壁および柱・梁接合部の各種強度や変形性能をできるだけ陽なかたちで表現した。これらは部材の性能評価に直接用いることができる。例えば柱・梁接合部の設計では、十字形、ト形やし形といった形状の接合部のせん断強度、接合部内を通し配筋される主筋の付着強度、外柱・梁接合部に折り曲げ定着された主筋の定着強度、要求じん性を確保するために必要な横補強筋量、柱・梁接合部の復元力特性などを評価したり設定することが可能である。このように本指針は性能評価型の耐震設計法の先駆けをなすものであるが、信頼性理論などの確率を用いた表現はほとんどなされておらず、また設計用地震動についてもほとんど記述されていない。

3.2 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 (RC規準と略す)―許容応力度設計法― (1999)⁷⁾

従来の許容応力度設計法が果たした役割は大きく、近い将来に性能評価型設計法が広く普及するとしても、許容応力度設計は設計法のひとつとして使われ続けられる。そこで、多くの構造設計者に利用されてきたRC規準が許容応力度設計法の体系を維持しながら改定されたのは1999年である。普通コンクリートの設計基準強度の上限を60 N/mm²に引き上げたこと、靱性保証型耐震設計指針⁸⁾における柱・梁接合部の設計法をもとにして柱・梁接合部の短期せん断応力の検定を追加したこと、付着・定着に関して従来の曲げモーメントに対する付着応力度の検定に代わって、主筋に沿った付着割れひび割れや付着割れ破壊を防止するために新たに設定した許容付着応力度を利用して必要付着長さを確保する形式としたこと、などが特徴である。なお従来からの構造規定は改定版でも踏襲されており、それらがどのような性能を担保しているのかは明示されていない部分が多い。

3.3 建築物の限界状態設計指針⁹⁾

本指針ではRC構造、鋼構造、木質構造といった構造種別によらずに、使用性や安全性を同一の指標で評価するための確率統計手法による構造設計の枠組みを明示した点が大きな特徴である。使用性および安全性に関する限界状態を定義して、それぞれの限界状態を超過する確率で建物全体あるいは部材の性能を規定することを原則とする。性能のグレードは信頼性指標によって定量的に示される。

具体的な設計方法として煩雑な確率計算を行うことは実用的でないため、荷重・耐力係数による設計方式を採用した。この方法を用いれば構造設計者は限界状態の選定や性能水準の設定という設計行為を明確に意識できる。また学術・技術の成果に基づく客観的評価と社会性や経済性を考慮した工学的判断とを分離したかたちで、荷重や耐力の設計値を決定することが可能である。

RC構造に関しては強度型建物とじん性型建物とを本

指針の適用対象として設定しており、両者の混在するような建物は対象外である。柱、梁、耐震壁などの曲げ降伏強度、せん断ひび割れ強度、曲げ終局強度、せん断・付着終局強度について建築分野で一般的に使用されている強度評価式を例示して、これらによって得られる部材強度の統計値を算定例によって詳述しており、興味深い。

なお本指針では、終局時の限界変形の評価を直接的に設計法に組み込むまでには至っていない。RC造建物の終局限界変形については、降伏ヒンジに十分なじん性を確保することを条件として検討を省いている。

3.4 性能評価への試み

建物の耐震性能をさらに明快に評価する方法を提示するため日本建築学会では現在、壁谷澤寿海・東京大学教授を主査として「鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針・同解説(案)」を作成中である。建物の耐震設計はいかなる方法でなされてもよく、建物の性能を精度よく評価することに主眼をおいたため、題名からは「設計」の文字を省いた。2003年1月の段階で原案を査読中であるので、ここでは基本的な考え方を紹介するにとどめる。なお本指針案を作成するにあたっての中間報告が日本建築学会大会のパネル・ディスカッションにおいてなされている⁹⁾。

本指針案では設計された建物の耐震性能を指標によって表現して、従来のような基準レベルを上回っていることを確認するだけでなく、保有する耐震性能を確定値あるいは確率によって定量化することを試みる。限界状態として使用性、修復可能性および安全性に対応する三段階を設定し、供用期間中に発生する可能性のある地震動によって建物がそれぞれの限界状態を超過する確率を求める方法の一例を紹介している。建物が保有する耐震性能の指標は、限界地震動の強さに対する基準地震動の強さの比によって確定的に表現され、それぞれの地震動についての明確な定義がなされている。建物の応答評価は、一質点系に縮約したモデルによる等価線形化法から構成

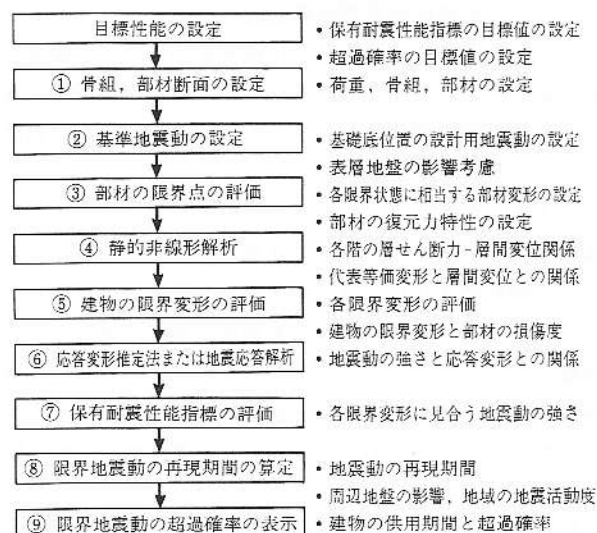


図-1 耐震性能評価の概略フロー

部材をモデル化した骨組による地震応答解析まで、どの方法を使用してもよい。建物全体の性能評価は柱、梁、耐震壁および柱・梁接合部といった各部材の耐震性能を評価してそれらを統合することによってはじめて可能になるので、種々の部材について限界状態に対応する変形角を評価する方法を明示した。特に残留ひび割れ幅と経年最大部材角との関係や部分架構の等価粘性減衰定数を定量化する方法を紹介した。靱性保証型耐震設計指針⁵⁾によって設計された耐震壁フレーム構造の12階建て建物を用いた性能評価例も詳述されている。

具体的な性能評価方法の流れを文献⁶⁾より抜粋して図-1に示す。本指針案とは若干の齟齬もあるがこのようなフローで建物の性能評価を行うことになる。

4. RC造建物の解析技術の概要

4.1 耐震設計における構造解析

RC造建物の耐震設計には、前述のように様々な設計法が提案されているが、実務設計では、通常2段階の大きさの設計用地震力に対して許容応力度設計および終局強度設計を行う。その際、構造解析を行い、設計用地震力による骨組の応力や変形、あるいは部材の保有する強度や限界変形を求めている。短期許容耐力や終局強度など部材強度の検証のほかに、兵庫県南部地震以降、地震時における建物や部材の損傷状況に注目して耐震性能の総合的な評価も行われている。

耐震設計における構造解析には、設計用荷重に応じた骨組の応力や変形を求める骨組解析のほかに、せん断強度などを求める部材解析、曲げ強度などを求める断面解析がある。骨組解析には、弾性解析、弾塑性解析、地震応答解析、有限要素解析などが用いられる。また、部材解析には、マクロモデルによる解析、有限要素解析などが、断面解析には、断面分割法による解析、有限要素解析などが用いられる。以下、耐震設計における骨組解析および部材解析について、解析目的などを述べる。

4.2 骨組解析

(1) 骨組の静的弾塑性解析

静的な骨組解析では、鉛直荷重に対して弾性解析、地震力に対して弾性解析、あるいは弾塑性解析を行い、骨組の応力や変形、保有水平耐力などを求めている。骨組の解析モデルには、平面フレームモデル、あるいは立体フレームモデルが用いられる。

弾塑性解析では、部材の弾塑性特性に立脚した荷重増分法による静的非線形解析を用いている。骨組の解析モデルは、平面フレーム、あるいは立体フレームである。兵庫県南部地震で被害が見られたピロティ構面を持つ建物、あるいは振れの影響や立体効果を考慮したい建物では、立体フレームモデルを用いている。柱および梁の部材モデルは、材端剛塑性ばねモデルを用いることが多い。柱梁接合部は、剛域、またはせん断パネルに置換してい

る。耐震壁には、壁エレメントモデル、あるいはブレース置換モデルを用いている。

(2) 骨組の弾塑性地震応答解析

超高層RC造では、レベル1の地震動およびレベル2の地震動に対して非線形地震応答解析を行い、地震時における骨組、特に、柱や梁などの部材の弾塑性応答性状を把握して、耐震安全性を確認している。

地震応答解析では、質点系弾塑性解析のほかに、平面フレーム、あるいは立体フレーム弾塑性解析が行われる。兵庫県南部地震で地盤・杭との相互作用が注目されたこともあり、軟弱な地盤では、地盤・杭と上部構造との連成弾塑性解析が行われる。

質点系弾塑性解析では、部材の弾塑性特性に立脚した静的非線形解析結果から各層ごとに等価せん断棒、あるいは曲げせん断棒に置換した質点系モデルを用いている。質点系モデルは、検討方向別に作成して、レベル1およびレベル2の地震動に対する骨組全体の応答性状について検討している。

フレーム弾塑性解析では、部材の弾塑性特性を考慮できる解析モデルを作成して、レベル2の地震動に対する部材の塑性化状況、柱の変動軸力や動的増幅効果などについて検討している。

地盤・杭・上部構造連成弾塑性解析では、杭基礎を等価曲げ棒、上部構造を等価曲げせん断棒などに置換した質点系モデルを作成して、杭の応力や上部構造の応答性状について検討している。

(3) 骨組の弾性有限要素解析

通常のRC造建物において、有限要素解析が骨組解析に用いられることは数少ない。壁構造、フラットスラブ構造などの壁やスラブなどの面材を主として構成される建物では、弾性有限要素解析を行うことがある。

4.3 部材解析

(1) 部材のマクロモデルによる強度算定

有限要素解析のモデルをミクロモデルと位置付け、これより巨視的なモデルをマクロモデルと呼ぶことが多い。マクロモデルは、特定の部材、特定の耐荷機構を対象とするシンプルな理論モデルと言える¹⁰⁾。マクロモデルによる柱、梁あるいは耐震壁のせん断終局強度の算定式は、前述した日本建築学会の終局強度指針⁶⁾、あるいは靱性保証指針⁵⁾に採用されている。これらのマクロモデルに基づく強度算定式は、例えば、高強度せん断補強筋を用いた柱および梁のせん断設計などに利用されている。

(2) 部材の弾塑性有限要素解析

RC造部材を対象とした非線形有限要素解析の進歩は著しく、現在では非線形挙動をかなり精度良く解析できるようになっている。そこで、部材の強度算定だけでなく、内部応力状態、破壊損傷進行度や破壊機構などを検討するために、部材の非線形有限要素解析を行うことがある。有限要素解析では、構造実験に比べてパラメー

タを変えた解析を数多く行うことができるので、耐荷機構の検討などに有効である。

5. RC造建物事例に見る弾塑性解析の現状

兵庫県南部地震以降、RC造建物の大地震時における安全性検証のため、弾塑性解析を用いることが多い。ここでは、解析事例から耐震設計における弾塑性解析技術を展望してみたい。なお、事例提示は、設計の現状を示すことが目的であり、最先端の研究解析技術を紹介するものではないことを了解されたい。

5.1 フレーム構造の弾塑性解析例¹²⁾

RC造骨組の弾塑性解析例として、実務設計における中高層住宅の静的非線形解析を取り上げる。解析は、14階建のフレーム構造の静的弾塑性解析例である。層せん断力-層間変位関係を図-2に示す。本解析により、骨組の保有水平耐力や終局強度設計用応力、設計用変形における部材の塑性化状況や変形を得ることができる。

5.2 壁式ラーメン構造の有限要素解析例¹³⁾

RC造骨組の有限要素解析例として、工法開発における壁式ラーメン構造の非線形解析を取り上げる。壁式ラーメン構造は、偏平な壁柱と梁から構成される。壁柱・梁接合部のせいが大きいので、梁主筋は、通し配筋形式のほかに、折曲げ定着形式を用いることができる。解析は、梁上端筋が通し配筋、梁下端筋が折曲げ定着形式の梁降伏型試験体の弾塑性有限要素解析である。試験体の解析モデルを図-3に示す。試験体の水平力-水平変位関係について、実験値と解析値の比較を図-4に示す。解析

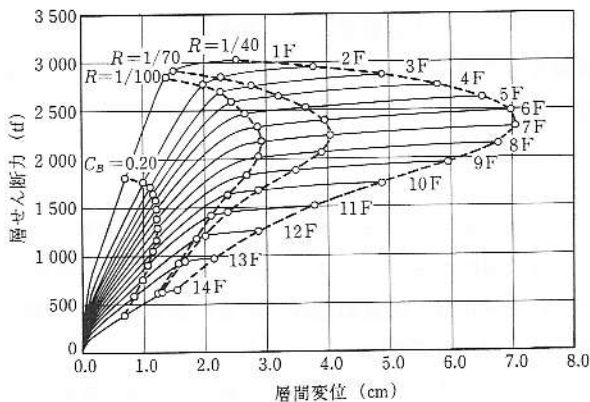


図-2 14階建の層せん断力-層間変位関係

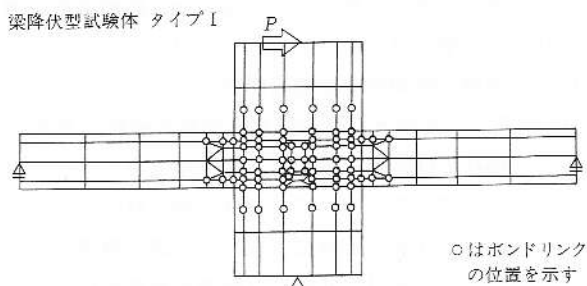


図-3 梁降伏型試験体の接合部モデル

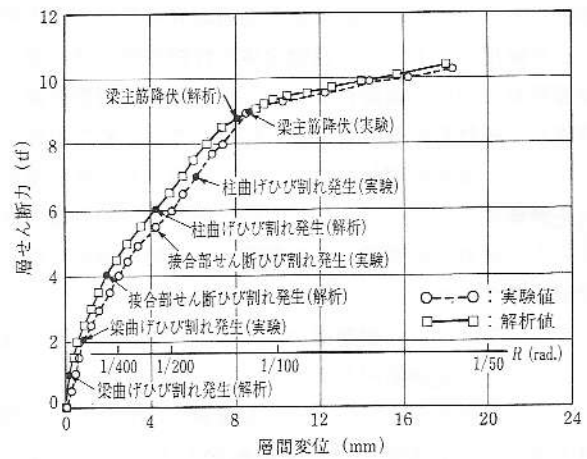


図-4 梁降伏型試験体の水平力-水平変位関係の比較

値は、実験値と比較的良好な対応を示している。本解析により、接合部の圧縮主応力度分布から梁主筋の定着形式によるストラット機構の違いを把握し、壁柱・梁接合部の主たるせん断抵抗機構が評価できる。

5.3 超高層RC造の地震応答解析例

RC造骨組の地震応答解析例として、実務設計における超高層住宅の地震応答解析を取り上げる。解析は、20~30階建のフレーム構造の弾塑性地震応答解析である。通常、複数の検討用地震動に対する基本振動系モデルには、解析時間が短い等価曲げせん断型モデルを用いている。各層のスケルトンカーブは、静的弾塑性解析結果から置換したトリリニア型としている。部材の塑性化状況など詳細な解析結果を得たい場合には、特定の地震動に対してフレームモデルを用いることが多い。両モデルによる層間変形角の比較例を図-5に示す。等価曲げせん断型モデルはフレームモデルに比べて、上階ではやや小さいが、比較的良好に対応している。本解析により、各層のせん断力や部材の塑性率など最大応答値を評価できる。

5.4 RC造柱の部材解析例¹⁴⁾

RC造の部材解析例として、解析研究における柱のせん断強度の解析例を取り上げる。解析は、有限要素解析

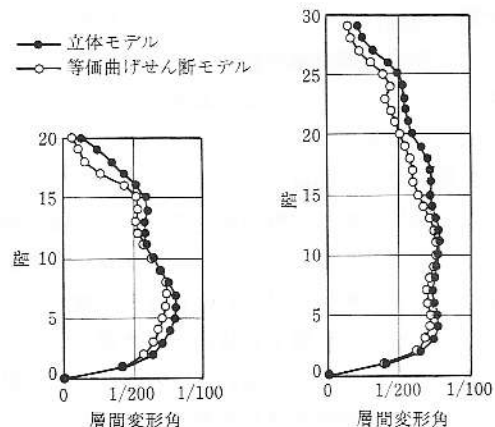


図-5 振動系モデルによる最大層間変形角の比較

および修正圧縮場理論を用いた部材解析（以下、MCFT解析と呼ぶ）である。柱のせん断強度が柱軸力によってどのように変化するかについて着目して、実験結果と比較検討する。

有限要素解析は2次元単調載荷解析とし、RC造柱要素分割を図-6に示す。柱の水平力—水平変位関係を図-7に示す。解析による最大耐力は実験値とほぼ一致しており、解析、実験ともコンクリートの圧壊と横補強筋の降伏により最大耐力に達する。

柱軸力を変化させた柱のせん断強度について、有限要素解析、MCFT解析の結果および実験結果の比較を図-8に示す。引張軸力下では、実験と両解析の結果がよく一致している。圧縮軸力下では、軸力比0.3までは、両解析結果はほぼ一致しているが、軸力比0.3以降は、解析結果に差が見られる。本解析により、引張軸力下における柱のせん断強度を評価することができる。

5.5 制振デバイスを用いたRC造骨組の解析例³⁾

RC造骨組の弾塑性解析例として、兵庫県南部地震以

後、RC造への実用化が進んでいる制振デバイスを用いた骨組の弾塑性解析を取り上げる。

解析は、制振デバイス付き骨組の模型試験体の弾塑性解析である。試験体の概要および制振デバイス付き間柱の解析モデルを図-9に示す。制振デバイスには、低降伏点鋼パネルを用いる。低降伏点鋼パネル付き間柱の部材モデルは、低降伏点鋼パネルの変形をせん断ばねに、柱頭部および柱脚部の変形を曲げばねに置換した曲げせん断ばねモデルである。骨組の水平力—水平変位関係の比較を図-10に示す。解析結果は、フレームモデルに適

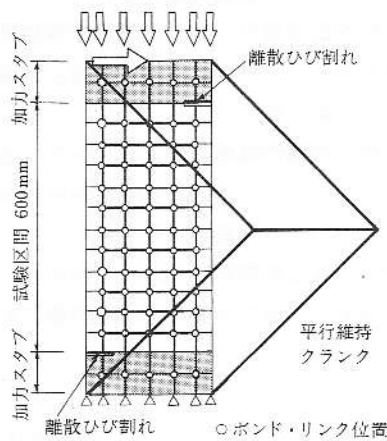


図-6 RC造柱の要素分割図

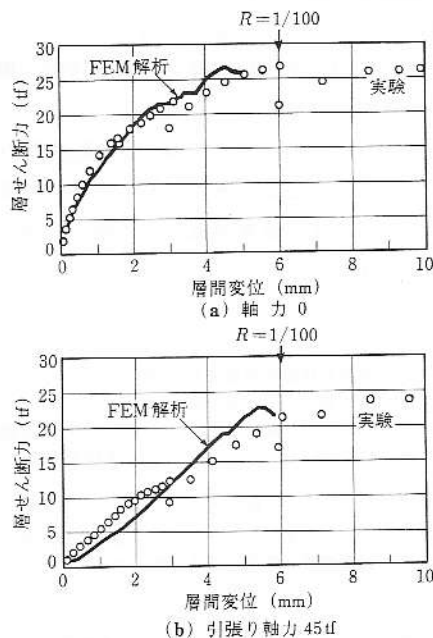


図-7 柱の水平力—水平変位関係の比較

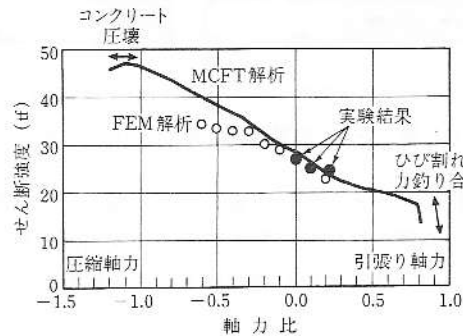


図-8 有限要素解析、MCFT解析および実験結果の比較

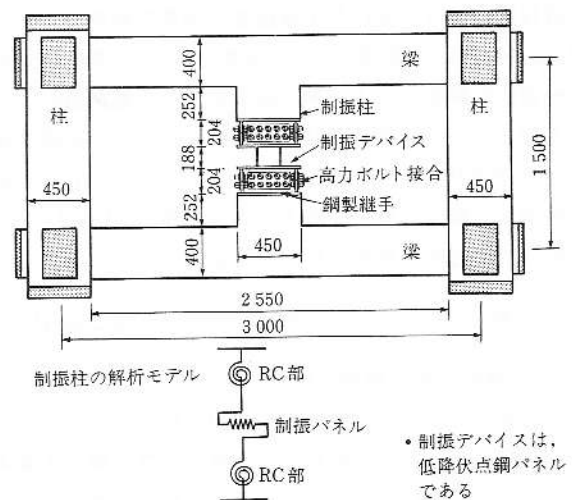


図-9 制振デバイス付きRC造骨組試験体

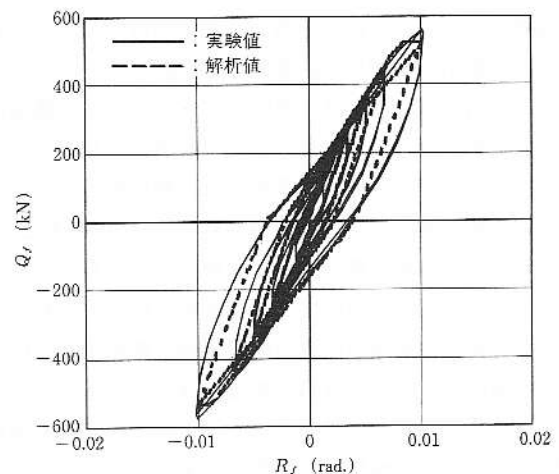


図-10 骨組試験体の水平力—水平変位関係の比較

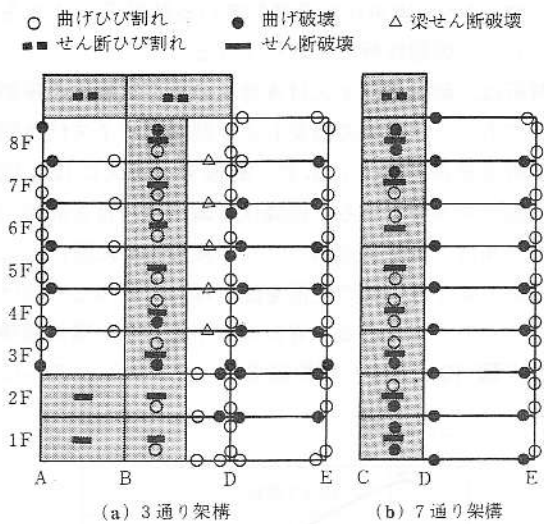


図-11 壁フレームの塑性化状況 (KOBE NS 波)

用する解析モデルとしては実験結果を比較的良く表現できている。本解析により、解析モデルの妥当性が検証でき、制振デバイスを用いた超高層 RC 造の解析モデルを構築できる。

5.6 兵庫県南部地震被害建物の解析例¹⁶⁾

地震被害建物の解析例として、兵庫県南部地震により中破程度の被害を受けた中層建物の弾塑性解析を取り上げる。解析は、8階建のSRC造壁フレーム構造の弾塑性地震応答解析である。神戸海洋気象台の観測波形に対する壁フレームの塑性化状況を図-11に示す。損傷状況は被害調査結果¹⁶⁾と比較的よく対応している。応答変形は被害から推定される変形より大きい傾向が見られるが、本解析は地震時の塑性化状況の推定に有効である。

6. 耐震設計における解析技術の課題と展望

6.1 解析技術の利用と課題

静的弾塑性解析は、保有水平耐力計算、あるいは限界耐力計算などのように終局時の耐震安全性を検証するようになるのに伴い、構造設計における利用が進展している。パソコンの処理能力の向上もあり、兵庫県南部地震以後、弾塑性解析の利用事例が一段と増加している。

地震応答解析は、研究分野での利用のほかに、超高層 RC 造の構造設計や中高層建物の構造検討に用いられてきた。中高層 RC 造では、静的弾塑性解析による終局強度設計を用いた設計判断について、地震応答解析による検証を行ってきた。地震応答解析は、静的解析では得られない各階の最大応答変形分布や動的増幅が得られるが、その値は特定の地震動波形による値である。複数の地震動波形を用いても、現状では静的解析の検証的な利用である。今後、中高層 RC 造の検討事例が増加するには、解析評価に関する技術資料の整備が課題である。

部材の弾塑性特性に基づくフレームモデルの静的弾塑性解析、あるいは地震応答解析は、多くの研究成果により、構造設計において利用されてきた。しかし、弾塑性

解析方法には、課題が無いわけではなく、部材の解析モデル、曲げ・軸力・せん断の相互作用などについて、解析モデルの仮定と適用限界を理解する必要がある。この点に関しては、日本建築学会「多次元入力地震動と構造物」3.5 鉄筋コンクリート構造の諸課題¹⁷⁾に述べられているので、参照されたい。

一方、弾塑性有限要素解析は、研究分野での利用が主で、現状では構造設計にはあまり利用されていない。その理由として、解の信頼性、データ作成時間や解析時間の長さ、解析プログラムの運用などが指摘されている。非線形有限要素解析では、使いやすい解析プログラムの普及が課題である。

6.2 性能設計における解析技術の展望

RC 造建物の性能設計では、部材の損傷状況の評価が重要である。現状では、部材の損傷度は既往の研究成果から設定された応力、あるいは変形の大きさなどから評価している。部材について詳細な解析結果が得られる弾塑性解析は損傷評価に有用と考えられるので、今後、性能設計での利用とその進展を期待したい。

弾塑性解析を耐震設計において利用するには、解析技術の信頼性を高めるとともに、解析環境の整備が重要である。詳細な非線形解析を行うと、解析処理量が大幅に増大する。解析時間の短縮はコンピュータの処理能力の向上により可能であるが、設計者が信頼性の高い解析プログラムを利用できる環境が必要である。また、設計者は解析モデルの仮定を理解し、適切な解析モデルを構築して、解析結果を評価できる技術力が必要である。

7. おわりに

RC 造建物の耐震設計および解析技術の現状と展望について概説した。耐震設計では、兵庫県南部地震以降において性能設計に向けて提案されている設計法の概要とその特長について述べた。また、構造解析では、骨組解析や部材解析について解析事例を取り上げて、現状を紹介し、その課題と展望について述べた。

今後、性能設計が進展するには、RC 造建物の耐震性能評価方法の確立が必要であり、そのためには弾塑性解析に関するモデル化、結果評価などに関する総合的な技術力が重要となる。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課ほか：2001年版 限界耐力計算法の計算例とその解説，工学図書，2001年3月
- 2) 倉本 洋：限界耐力計算法の概要と応答値評価の方法概要，建築雑誌，Vol.117，No.1488，pp.54～55，日本建築学会，2002年5月
- 3) 岡田恒男：建築における性能設計，コンクリート工学，Vol.35，No.11，pp.4～5，日本コンクリート工学協会，1997年11月
- 4) 和田 章：建築構造の性能と構造設計，コンクリート工学，Vol.35，No.11，pp.10～13，日本コンクリート工学協会，1997年11月
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999年8月

- 6) 日本建築学会：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，1990年11月
- 7) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説〔許容応力度設計法〕，1999年11月
- 8) 日本建築学会：建築物の限界状態設計指針，2002年11月
- 9) 日本建築学会構造委員会：鉄筋コンクリート構造の性能設計と各種限界状態，日本建築学会大会（中国）RC部門パネルディスカッション資料，1999年9月
- 10) 和泉信之：鉄筋コンクリート構造の実験と設計を結ぶ解析技術（5）鉄筋コンクリート造建物の構造設計における解析技術の現状，日本建築学会 PD 資料，pp.31～34，2002年
- 11) 鈴木紀雄：鉄筋コンクリート構造の実験と設計を結ぶ解析技術（2）マクロモデルに何が出来るか，日本建築学会 PD 資料，pp.9～15，2002年
- 12) 和泉信之ほか：RC造建物の地震時損傷評価に関する検討（その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.63～64，2000年
- 13) 和泉信之ほか：はり主筋が折曲げ定着された RC 壁柱・はり接合部に関する解析的研究，日本建築学会構造系論文報告集，No.448，pp.111～120，1993年
- 14) 北山和宏：鉄筋コンクリート構造の実験と設計を結ぶ解析技術（4）解析はどこまで信頼できるか，日本建築学会 PD 資料，pp.26～30，2002年
- 15) 和泉信之ほか：制振デバイス付き RC 造骨組の耐震性能に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.2，pp.1057～1062，2002年
- 16) 和泉信之ほか：1995年兵庫県南部地震により被災した SRC 造建物の解析（その1～2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.449～452，1995年
- 17) 日本建築学会：多次元入力地震動と構造物の応答，1998年