

委員会報告 塑性域の繰り返し耐力劣化と耐震性能研究委員会の活動

野口 博^{*1}・前川宏一^{*2}・白井伸明^{*3}・北山和宏^{*4}・土屋智史^{*5}・斉藤成彦^{*6}

要旨： 地震動を受けて塑性化したコンクリート構造物では、繰り返し载荷による耐力劣化機構や塑性変形能力は未だ十分には把握されていない。コンクリート構造物の性能設計を有効かつ的確に実行し、社会的に信頼できるものとするためには、構造物の塑性域での力学性状を明らかにして、それを活用できる手法を確立することが不可欠である。そこで本委員会では、耐力の劣化過程や変形性能を実験および解析によって解明するとともに、地震応答解析に使用できる有用な解析モデルを提案し、設計での塑性域の利用方法を考察した。各委員は興味ある研究テーマに従って個別に研究を進め、研究の内容や進め方について委員会全体で議論し、複数の視点から見直すことによって研究の一層の発展をはかった。委員相互で切磋琢磨して研究を進めることによって視野の広い、深化した研究が可能となった。本委員会での活動の成果は、安全で快適な構造物の構築に対して大いに貢献できる。

キーワード： 耐震性能、塑性、繰り返し载荷、耐力劣化、変形性能、三次元、損傷評価

1. はじめに

本委員会は「JCI-TC965 過大繰り返し地震力を受けるコンクリート部材の塑性域劣化性状研究委員会」および「JCI-TC9906 コンクリート構造物の靱性設計手法に関する研究委員会」を引き継いだ形のものである。塑性域における繰り返し荷重による耐力劣化、したがって塑性変形能力の性状、特に塑性域での多方向入力による耐力劣化の加速などは、部材の解析研究、架構の弾塑性応答解析、変形能力の設計法では、十分には把握されていない。性能設計を有効、的確に実行し、コンクリート構造物を社会的に信頼できるものとするためには、構造物の塑性域の性状を明らかにし、それを有効に活用できる手法を確立しておくことが不可欠である。

そこで本委員会では、激震時にコンクリート部材が塑性域での繰り返し荷重を受ける時の耐力の劣化過程、劣化機構や変形性能評価について解析的な解明を行うとともに、実際の地震波入力に対応する実用性の高い解析モデルの提案と、耐力の劣化性状や変形性能の評価、設計での塑性域の利用法を考えていくことを目的とした。

2. 委員会の組織と活動

本委員会の構成を表1に示す。本委員会には、

若手研究者だからこそ可能な困難な研究テーマに立ち向かい、今後のJCIのリーダーシップを育んでもらうためにも、若手委員に出来る限りの参加をお願いした。平成になって学部を卒業した委員は約38歳以下であり、23名中10名と若手が半数近い委員構成であった。将来有望なコンクリート工学研究者・技術者を育むことを念頭に、主に若手研究者の研究状況を把握、議論を行い、研究内容の分類・整理を行ってきた。現状の研究成果を単にとりまとめるのではなく、5~10年後を見通した研究を行うことを主眼とした。

各委員の研究紹介や今後のテーマに関する議論を集約し、三つの軸となるテーマを設定した。

- ・第一のテーマは「繰り返し载荷時の耐力の劣化過程、劣化機構および変形性能評価」、
- ・第二のテーマは「三次元問題」、
- ・第三のテーマは「損傷評価」である。

以上の三つの大テーマと本委員会で設定したキーワードとをツリー状に表現したものを図1に示す。この三つのテーマを「構造性能評価」に役立てる意味で、「構造性能評価」を各テーマを束ねる横糸として位置づけた。委員会では各委員の研究活動に基づき、三つのテーマにそれぞれ対応するWGを設置して議論を深めてきた。本委員会活動は2004年3月に終了したが、2004年9月に

*1 千葉大学教授 工学部デザイン工学科建築系 工博（正会員）

*2 東京大学教授 工学系研究科土木工学専攻 工博（正会員）

*3 日本大学教授 理工学部建築学科 工博（正会員）

*4 東京都立大学助教授 工学研究科建築学専攻 工博（正会員）

*5 コムスエンジニアリング 博（工）（正会員）

*6 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科 博（工）（正会員）

表1 委員構成

委員長	野口 博 (千葉大学)		
副委員長	前川宏一 (東京大学)		
幹事	北山和宏 (東京都立大学)	白井伸明 (日本大学)	土屋智史 (コムスエンジニアリング)
委員	井上 晋 (大阪工業大学)	梅村 恒 (名古屋工業大学)	衣笠秀行 (東京理科大学)
	河野 進 (京都大学)	小林 薫 (東日本旅客鉄道)	小林勝巳 (フジタ)
	斉藤成彦 (山梨大学)	佐藤靖彦 (北海道大学)	佐藤裕一 (京都大学)
	庄司 学 (筑波大学)	鈴木計夫 (福井工業大学)	寺井雅和 (福山大学)
	中村孝也 (東京都立大学)	中村 光 (名古屋大学)	牧 剛史 (埼玉大学)
	三木朋広 (東京工業大学)	米澤健次 (大林組)	杉浦邦征 (京都大学)
事務局	松田 隆		



各委員の研究紹介や今後のテーマに関する議論を集約し、3つの軸となるテーマを提案した。

- ①繰り返し载荷時の耐力の劣化過程、劣化機構および変形性能評価
- ②3次元問題
- ③損傷評価

図1 研究の核となる三つの大テーマとキーワードとをあらわすツリー

シンポジウムを開催すべく委員会報告をまとめており、シンポジウムは三つのテーマに関する「基調報告」および「研究成果」とする。

3. 各WGの活動の成果

3.1 「繰り返し載荷時の耐力の劣化過程、劣化機構および変形性能評価」に関する研究

過去の大地震において激甚な被害を受けた鉄筋コンクリート構造物の多くでは、部材に繰り返し過大な変形が生じ、塑性化後の耐力劣化領域に入ったと考えられる。一方、近年の鉄筋コンクリート造建物の設計では、大地震時にはある程度の塑性変形を許容して塑性域でのエネルギー吸収に期待する方法（靱性依存型設計法）が主流になっている。しかし、塑性域において繰り返し載荷を受ける部材が耐力劣化するときのメカニズムや部材の塑性変形能力については、十分に把握できていないのが現状である。コンクリート構造物の性能設計を社会的に信頼できるものとし、より有効なものとするためには、構造物の塑性域での力学性状を明らかにした上で、部材の変形性能を的確に考慮した設計手法の確立が必要不可欠である。

WG1では実験および解析によって部材や構造物の耐力の劣化過程を解明し、変形性能の定量的評価を試みるとともに、地震応答解析に使用できる有能な解析モデルを提案して設計での塑性域の利用法を考える。このような目的のもとで、各委員が個別に進めている研究の核となるキーワードとして以下を取り上げた。

1. 変形性能
2. 繰り返し載荷
3. 耐力劣化
4. 限界状態
5. 時間効果
6. 耐震補強
7. 新素材・新技術

上記のキーワードのうち1から5までは部材や構造物全体の物理的な状態や現象を表す本質的な事項、あるいはそれらの性能に影響を与える事項であるが、後者の6および7は様々な技術や工法を駆使した応用に関する事項である。このように性格の異なる二つの範疇に属するキーワードを列記したのは、本委員会での議論のなかで「耐震補強」や「新素材・新技術」（この中には高性能コンクリートも含まれる）と言ったアプリケーションに関わる問題にも大いに注目したことによる。

前者の1から5までのキーワードを相互の関連を含めて模式的に図解すると図2のようになる。以下に各キーワードを簡単に説明する。

(1) 変形性能

鉄筋コンクリート部材の変形性能は、鉄およびコンクリートの材料特性、配筋、部材形状、載荷履歴などによって決定される構造特性であり、部材の力学性能を表す物理量の一つとして耐力とともに用いられる。そして変形性能とは、設定した耐力を保持できる変形の最大範囲を指すことが多い。すなわち「変形性能」という用語は力と変形との関係を想起しながら使用される。大きな変形まで耐力を維持できることは「変形性能に富む」として耐震設計上好ましいとされるが、地震動に対する応答を考えると瞬間剛性および履歴ループによるエネルギー吸収量も重要な要因である。また「脆性的」あるいは「靱性のある」という用語は変形性能を大きく区分するために用いられるが、それらの変形性能は部材の破壊形式（せん断破壊や曲げ破壊など）と密接に関係する。

多数の部材からなる構造物全体を対象とするとその変形性能は、個々の部材の変形性能を重み付け平均して決定してよい場合と、少数の重要な部材の破壊や耐力低下によって決定される場合とがある。前者は各部材が比較的同質の力学特性を示す構造物に適用できる。後者では、ある部材が破壊してもその部材が負担した軸力を他の鉛直部材に再配分可能な場合には、その部材の破壊は建物全体の变形性能を規定しない、と判断する。これとは反対に軸力を保持できず人命の確保を保証できない場合には、たとえ部分的な崩壊であってもその時点を建物全体の限界変形と認定する。

(2) 繰り返し載荷

実地震動は一般にランダムな周期と振幅との組み合わせによる非定常振動である。これに対して構造物やその構成部材を対象として実施される静的載荷実験においては通常、定常振動を想定した繰り返し載荷実験が行われ、同一の変位振幅を数回繰り返した後、さらに大きな振幅による載荷に移行することが多い。そこで定常的な繰り返し載荷履歴を変数とした構造実験を行った場合には、載荷履歴を決定する際に含まれる恣意性とそれが構造性能に与えた影響について注意することが必要である。繰り返し載荷が部材を構成する鉄筋やコンクリートの損傷（あるいは吸収エネルギー）の蓄積に多大な影響を与えることは、既往の実験

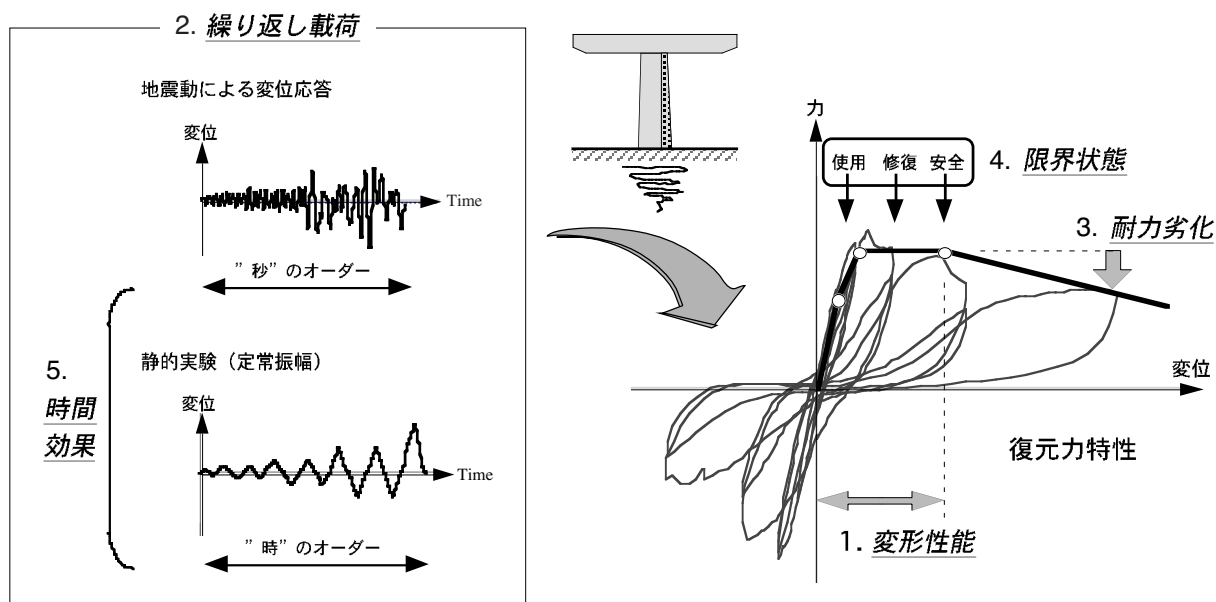


図2 五つのキーワードの関連

や解析によって指摘されている。繰返し载荷の回数やその変位振幅の大きさと材料に累積される損傷との関係を定量的に論じることが重要である。そのためには、材料の構成則に基づくミクロな検討が益々求められることになる。同時に、複雑な繰返し履歴に対する構成則のモデル化の問題点を明確にするため、また繰返し载荷の影響を設計に反映させるための簡便かつ高精度なマクロ・モデルの構築を進めることも重要である。

(3) 耐力劣化

水平力保持能力と軸力保持能力との二つに分けて耐力劣化を論じる。軸力が小さいRC柱では水平耐力の劣化を生じた後も軸力を保持できる場合があるが、軸力が大きい場合やせん断補強量が少ないRC柱では脆性的なせん断破壊のように両者の劣化は同時に生じることが多い。構造物全体で見ると不静定次数の高いRC建物の場合には数本の柱が水平耐力を喪失しても、自分で軸力を保持できるあるいは周辺の柱に軸力を再配分できる範囲では耐震安全性を保有していると判断できる。

水平力に関する耐力劣化の要因は、大きく曲げ破壊とせん断破壊に分類される。せん断破壊のメカニズムはさらにせん断圧縮破壊、せん断引張破壊、帯筋がはらみだしてコンクリートが3次元的に変形する破壊など、多様である。破壊メカニズムの違いによって部材の変形能力が大きく異なるので、部材の性能を定量的に評価するためにはメカニズムごとの検討が必要がある。部材設計では曲げ降伏を先行させてせん断破壊を防止することが望ましく、曲げ降伏後の耐力低下の定量的評価

は重要な課題である。特に、曲げ降伏後のせん断破壊のメカニズムは複雑で未解明な点が多く、さらなる実験的・解析的検討が求められる。

(4) 限界状態

部材や構造物において、その状態を超えると要求される性能を満足することができない、という状態を限界状態と呼ぶ。使用性、修復性および安全性などの限界状態が設定される。これらの限界状態は、物理現象（鉄筋の降伏や座屈、コンクリートの圧壊など）や特性値（ひずみ、ひび割れ幅、残留変形、たわみなど）によって規定されることが多く、これらは要求性能と密接に関連している。性能評価型設計法の実現のためには、それぞれの限界状態を担保する要求性能を的確に設定するとともに、要求性能を定量的に評価する手法が確立されなければならない。なお、本委員会の対象である塑性域の繰返し耐力劣化は安全限界以降の状態にほぼ対応する。

(5) 時間効果

鉄およびコンクリートの構成則はひずみ速度によって変化するので、実際の地震動を受けるRC部材の曲げ強度、せん断強度および付着割裂強度もこの時間効果を考慮して評価することが本来は必要である。これらに対してはいくつかの実験的研究がなされている。RC部材の復元力特性に対しても時間依存性に関する研究が報告されており、耐震設計で目標とする性能レベルの範囲では、実験室内レベルでの静的実験の挙動をもって地震時の挙動と仮定することができる。ただし、繰返し载荷を受ける部材の最大耐力以降の軟化

領域や崩壊過程に注目すると、地震時の実時間と実験室での静的載荷実験の所用時間との違いが破壊過程に与える影響は不明な点も多い。崩壊過程では一般に時間効果は相対的に大きくなるが、定量化に関しては緒についたところである。

被災後に補修された部材の力学特性に与えるひずみ時効 (Strain aging) も重要である。主筋が降伏し曲げ破壊を生じた部材にエポキシ樹脂を注入するなどの補修を行って数週間放置したのち再度載荷すると、曲げ強度が上昇する。これは鋼材のひずみ時効によって主筋の降伏強度が見かけ上、増大することに起因する。当初は曲げ破壊が先行した部材でも補修後にせん断破壊が生じることがあるので、補修して継続使用する被災建造物の耐震性能を把握する場合には注意が必要である。

最近、大型橋梁橋脚の張出部で、アルカリ骨材反応による膨張が引き金となって鉄筋折り曲げ部が破断する事例が報告されている。破断は折り曲げ部の内側から発生しており、厳しい塑性加工を受けた部位から破壊が始まっている。この原因については調査中であり、材料物性科学の観点から複数の可能性が調査検討されており、ひずみ時効も検討対象の一つとなっている。

(6) 耐震補強

耐震性能の劣る既存建造物を補強して安全に使用し続けることが現代社会からの要請である。多種多様な耐震補強の方法が、対象とする部材や建造物ごとに開発されている。それらの補強効果は実験および解析によって確認されるが、限定された範囲と条件での結果であることに注意すべきである。また既存建造物の保有する耐震性能の特徴 (例えば強度抵抗型か変形依存型か、など) をよく把握した上で補強方法を適切に選定し、補強デバイスの設置位置を決定することが重要である。このように補強した建造物全体の挙動を実験あるいは解析によって詳細に調査することを通して、補強建造物の耐震性能を精度よく評価する方法を提示することの意義は大きい。建築物では耐震診断によってその補強効果を大略確認することが行われるが、その精度をさらに高めるためには今後の研究が必要である。

(7) 新素材・新技術

良質な骨材の枯渇や自然破壊を含めた地球規模の環境問題が叫ばれてはいるものの、コンクリートはこれまで鋼材とともに主要な建設材料であり、今後も建設材料の主体として使われ続けると

考えられる。しかしながらコンクリート建造物には、経済性、供用性、耐久性および景観性さらにそれに加えて環境負担軽減性などが要求されている。このような要求を満たすために近年、新素材の開発をはじめ新しい工法や新しい耐震設計法の研究が盛んに行われ、その実用化が進んでいる。

例えば、耐食性や耐久性から「炭素繊維」「アラミド繊維」「ステンレス鋼」などが鉄筋コンクリートの補強筋として鋼にとって代り、施工実績を増やし始めている。また「繊維補強コンクリート」は従来のコンクリートもしくは鉄筋コンクリートの概念を超える高性能な建設材料として期待されている。さらに新しい原料と製造技術によって実現可能となった高強度で耐久性に富む「軽量コンクリート」、環境変化に知的に応答して機能を発現する能力を有する新物質・新材料として「高知能コンクリート (スマート・コンクリート)」の研究も活発である。

構造・構法では、「免震構造」や「制振構造」など地震による建物への入力エネルギーを特定の部材 (装置) に集中させて耐震性能を確保することにより、主要構造である梁・柱の損傷を防止する設計法がある。そのためのエネルギー吸収装置として低降伏点鋼を用いてエネルギーを吸収し耐震性能を向上させる耐震構造の研究もある。

各種技術基準の性能規定型への移行によって新しい材料・工法・設計技術を採用する自由度が拡大していくのに伴い、これまでにないコンクリート建造物の出現に備え、検討すべき技術の開発は今後ますます必要になると考えられる。

3.2 「三次元問題」に関する研究

3.2.1 研究軸を選定した主旨とその目的

3次元非線形解析によるRC構造の性能評価技術は、各種構成モデルに関する研究の進展やコンピュータの高性能化と相まって、今後より一層発展していくものと考えられる。そこで本委員会ではRC構造の3次元非線形解析に関する各種問題を

「3次元問題」としてとりあげ、改めてその定義と意義について議論し、整理することを試みた。

コンクリート構造に関する3次元問題は対象を取り巻く条件や着目する情報によって、表2に示すように整理することができる。例えば対象構造が1次元もしくは2次元構造であっても、3次元的な加力が作用するような場合 (載荷条件の3次元) や、逆に加力方向は1次元であるが対象構造の形状が3次元的である場合 (幾何学的3次元)

など、境界条件によって3次元問題として扱われるものがある。また、たとえ構造の形状が対称であり同時に加力が1方向であったとしても、材料の非線形性の進行とともに変形や破壊が3次的に生じる問題もある（応答の3次元）。表2に示される情報の中には相互に関連するものもあり、単純に整理できるものではないかもしれないが、問題に対してどの点に着目しているのかを意識することは大変有意義なものであると思われる。

3.2.2 本WGの成果と残された課題

本WGの成果の一部について表2の要因と関連付けながら紹介する。

(1) 加力の3次元

RC柱部材の加力方向の3次元を取り扱う研究として「3次元格子モデルによるRC柱部材の非線形解析」がある。格子モデルではRC部材のモデル化において、せん断耐荷機構をトラス機構とアーチ機構に分けて考え、それぞれに対して適切な材料モデルを組み込むことにより、比較的簡易なモデル化でもRC部材のせん断挙動を妥当な精度で評価できることを示した。図3に示されるように3次元格子モデルによって2方向地震力を受けるRC柱部材の変形挙動の予測が可能であることも確認されており、今後材料モデルの改善により、その予測精度が向上するものと考えられる。

(2) 応答の3次元

「せん断中心の移動によるねじりモーメントの発生とその影響に関する研究」では、外力としてねじりが作用せずとも材料の非線形性により断面内のせん断中心が移動し、その結果ねじれが生じる可能性を指摘した（図4）。ここで用いた解析手法は3次元であるが、ファイバーモデルなど簡略化された解析ツールを用いることにより、破壊のメカニズムを1次元もしくは2次元の挙動に分離して取り扱うことができる。また「RBSMによるRC部材の3次元解析」では、3次元解析によって2次元的な加力（変形）が作用するRC部材の3次元的なひび割れ状況を再現することに成功した（図5）。今後、これらの現象が工学的に有する意味を検討することにより、現象の解明や耐力算定における精度向上に貢献できると考える。

(3) 形状の3次元

「3次元非線形有限要素解析によるT型RCはりのせん断耐荷力の予測」では、今まで十分な精度で行えなかったT型RCはりのせん断耐力の予測、さらに3次元解析の結果に基づいたせん断耐荷機

表2 三次元問題の整理

要因	項目	具体例
境界条件	荷重・拘束条件	二方向・円弧状加力
	幾何学的形状	T型断面、H型断面
構成	構造的	配筋
	材料的	異方性
応答	変形、応力状態	ねじり、平面・3次元応力
	破壊、ひび割れ	局所破壊、ひび割れ進展
スケール	構成則レベル	一軸モデル、多軸モデル
	部材レベル	3次元的な断面形状
	構造系レベル	3次元構造

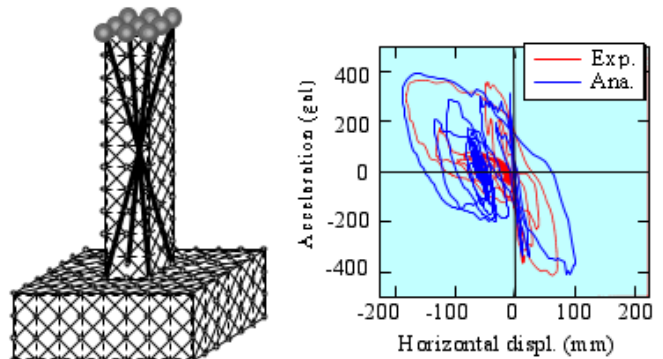


図3 三次元格子モデルによる二方向加力を受ける柱の解析

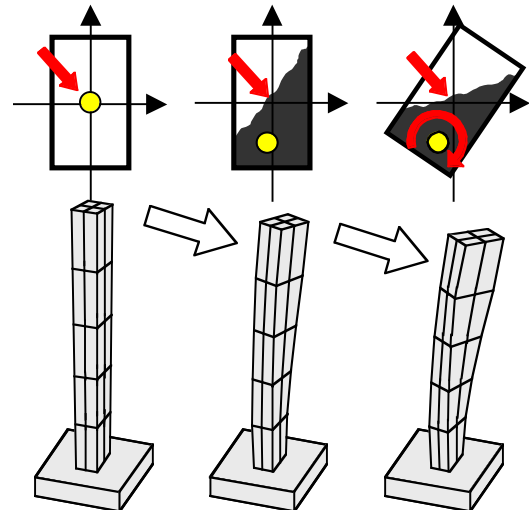


図4 せん断中心の移動によるねじりの変形の解析

構の把握を目的とした（図6）。3次元解析を通してT型RCはりのせん断挙動を概ね評価できることから、今後は破壊位置、ひび割れの角度、補強筋のひずみなど各種パラメータに関する詳細な検討を行い、せん断耐力評価方法の改善を試みる。

「正負繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部

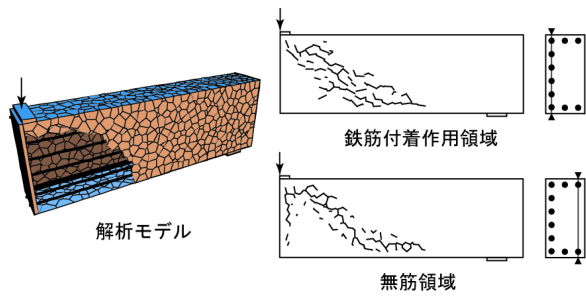


図5 三次元的なひび割れ性状の評価

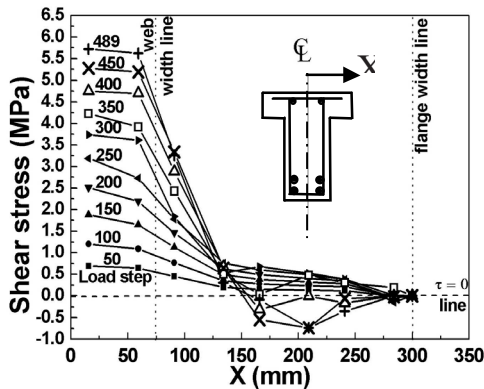


図6 T型RCはりのせん断応力分布

材の3次元非線形FEM解析」では、対象RC部材の耐荷力や破壊挙動の把握を試みた。はりが偏心している柱はり接合部や配筋が複雑な開口部を有する構造など、図7に示されるような3次元的な構造に対しては当然3次元モデルが必要となる。3次元解析は今後より一般的になると思われるが、3次元的なひび割れの分布や応力状態など解析結果を表現する方法、また、それらの出力結果を構造物の性能照査で活用する方法など、3次元解析によって得られる膨大な出力情報をどのようにして活用するかなどについても議論が必要である。

3.3 「損傷評価」に関する研究

これまでの耐震設計では、規・基準で示される仕様書に従って、大地震時における安全性を確保することが設計の主要な目的であった。すなわち、設計者自らが設計しようとする構造物の安全性や使用性能を意識しなくても、提供されている設計法や手順に従って意思決定をしていけば、結果として要求性能を満足すると思われる構造物が設計できるようになっていた。付与すべき安全性並びに使用性や耐久性能は、設計法を作成した技術者には明確に認識されているが、提供された設計法や手順に則って設計する技術者には、どのような性能が発揮されるかは分からなくても済む体系が構築されていたためである。短期間に大量の構造物を整備するのに適しており、敗戦後の

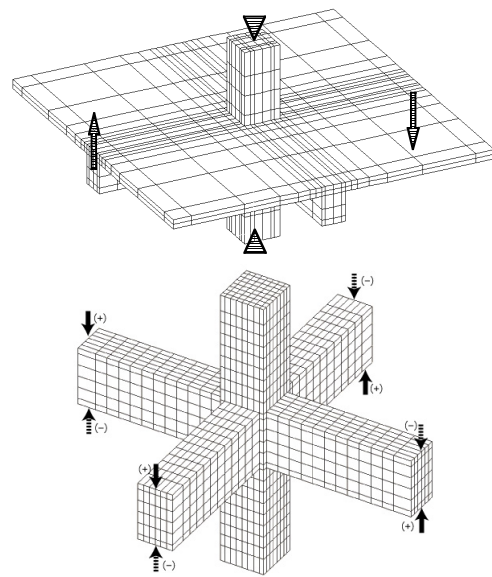


図7 RC部材の3次元非線形FEM解析

復興期から高度経済成長期に至る社会要請に極めて合致した設計法でもあった。

兵庫県南部地震による大被害を受けて、大地震に対しては降伏以降のエネルギー吸収を事前に考慮した靱性設計が陽な形で取り入れられるようになるとともに、国際的な標準化の流れも受け、性能評価型（照査型）設計への移行も併せて実施されようとしている。性能評価型設計においては、日常の使用に関わる使用性のほかに、地震などに対して財産の保全を図る修復性等も基本性能として加わった。設計時に「使用性」「修復性」「安全性」という要求性能を明確に定義し、それに対応した「使用限界状態」「修復限界状態」「安全限界状態」等の各種限界状態を目標の水準に設定し、想定外乱に対し構造物の応答が設定した性能を満たすことを確認する必要がある。

構造物が地震、爆発、衝突などの外乱により受ける被害程度を「損傷」としてとらえることは、構造物の設計法が性能設計法へ向かう過程で、各種限界状態の設定とともに議論されてきた。従来においても、構造物の損傷の程度と各種限界状態を定量的に関連させることが試みられてきているが、理論的関連付けはほとんどなされていない場合が多く、工学的判断や確率統計的处理を用いるのが実情である。現状では「損傷」の定義すら明確ではなく、損傷を単に材料レベルで捉えることもあるし、断面・部材・層あるいは構造物全体として捉えることもある。また、材料レベルから構造物全体までのそれぞれの損傷度の相互関係を定量的に評価することはほとんど行われていない。

そこで、想定外乱に対する構造物の損傷の程度と各種限界状態（使用限界，修復限界，安全限界など）を工学量としてより明確に関連付ける損傷評価法を確立することが重要となる。損傷評価を具体的な工学量として定量化すれば，従来型の設計法は正確な損傷予測に基づいて合理化される。また，様々なコンクリート系構造物の損傷と残存性能を正確に予想することで，ライフサイクルコストの算定も可能となり，社会基盤である構造物が与える経済への長期的な影響までもが明らかとなる。これに基づいて，技術者側からのクライアントや市民・国民に対する，現有の技術レベルに応じた情報開示が可能となり，直接的な双方向の交流を保有することに繋がるものと考えられる。ここで，構造物が塑性域での繰り返し応答を受けるような大地震時に着目すると，1995年の震災を教訓に，何よりもまず大地震に対する安全性を確保することが改めて図られる必要がある（大前提）。それに留まらず，損傷部位や損傷状況を制御すること，および，地震後の修復・復旧の時系列でのストーリーを想定しておくことにより，危急の際に備えておくことが可能となる。さらに，これに関連して，ライフサイクルアセスメントや時間軸を考慮した性能評価，補修・補強後の性能評価にまで展開することができる。

今後，以下に示す3つの項目として示した課題を統合し，合理的な損傷評価を可能とする設計法の提案を行い，その応用として構造物のライフサイクルコスト算定が可能な基礎資料を提供していく必要がある。

1. 損傷評価法の確立…(a) 材料・部材・層・構造物全体での損傷の種類とその力学的損傷度合いの評価（地盤や杭・基礎との連成問題を含む），(b) 損傷予測法の提案と各種外乱に対する適応性とその精度評価，(c) ひび割れ幅や残留変形などによる部材から骨組の塑性率などによる構造物全体での評価を含めた損傷評価手法の開発
 2. 品質の経時変化および複合作用の考慮…構造物が供用開始以後に受ける複数の劣化作用およびそれらの複合効果の評価
 3. 損傷の経済的評価法の開発…損傷の種類と度合いに応じた補修方法とその費用評価に基づく建物のライフサイクルコストを考慮した社会的・経済的効果の評価
- これを踏まえ，本WGでは以下のテーマに沿っ

て委員会活動を進め，議論を重ねてきた。なお，参加委員数や時間的な制約のもと，テーマが限定的となっていることを御容赦頂きたい。

- 1 損傷度としてのコンクリートひび割れ幅の計測とその予測
- 2 分散ひび割れFEMにおけるひび割れ再描画手法
- 3 PRC曲げ部材の内部ひび割れ状況
- 4 RC杭-地盤系の相互作用に関する3次元有限要素解析
- 5 RC造柱および骨組の損傷指標の提案
- 6 RC構造物／部材の数値性能評価
- 7 RC造梁の繰返し劣化と補修後の回復性状
- 8 RC造柱の復旧性に関する研究

4. あとがき

本研究委員会は平成13年4月に発足し，約2年半の研究活動を経て，平成16年3月をもって終了した。本委員会の目標は2つあり，1つは10年先を見据えた大きな研究テーマを取りあげ，関連分野の研究の現状や課題を調査するだけでなく，将来の研究シーズや方向を提示すること，そしてもう1つは委員会委員の大半を若手で構成し，この分野の将来を担う研究者を育成することであった。これらの目標はおおむね達成されたものと思われる。また，委員会の成果は2つあり，1つは本稿でその概要を紹介した委員会報告書である。もう1つは，本研究委員会委員長（千葉大学教授野口博）が日本側代表者として，平成15年11月にハワイで開催された「コンクリート構造システムの崩壊機構の解明と崩壊防止に関する日米欧セミナー」[1]に参加して，10名の本委員会委員が関連の研究成果を報告し，現状・課題および将来展望について議論したことである。最後に，委員会報告書は平成16年9月29日（水）日本コンクリート工学協会内の会場で開催予定のシンポジウムで公表されることになっており，多くの方々が参加していただけることを期待している。

参考文献

- [1] 三木朋広，寺井雅和，斉藤成彦，河野進：コンクリート構造システムの崩壊機構の解明と崩壊防止に関する日米欧セミナー，コンクリート工学，Vo.42, No.3, pp.71-74.