

鉄筋コンクリートのメカニクスに関する IABSE コロキウムの概要

前川 宏一*1・二羽 淳一郎*2

“鉄筋コンクリートのメカニクス”(Advanced Mechanics of Reinforced Concrete) と題する IABSE 主催のコロキウムが、1981年6月2日から4日にかけてオランダ・デルフト工科大学で開催された。これは、1979年のコロキウム“鉄筋コンクリートにおける塑性理論”(Plasticity in Reinforced Concrete)の内容をさらに発展させたもので、そのテーマは、有限要素法を用いたRC構造物の解析やモデル化にかかわる種々の問題が中心となった。80編あまりの一般投稿のうち40編の研究が採用され、さらに、そのうちの22編について口頭発表が要請された。このうち5編は日本からのもので、全体として高率であったことは高い評価を得た証左と考えられる。発表件数をかなりしぼったのは、1発表にできるだけ時間をかけ、質疑応答を十分行おうとする主旨からで、1論文当たり約30分の割当てで、実際に活発な意見交換がなされた。以下、各セッションごとに、筆者らの感想をふまえて概括してみたい。

セッション1: 材料挙動のモデル化 (Modelling of Material Behaviour)

このセッションはコンクリートの非線形構成方程式を対象としており、2編のintroductory reportが発表された。

Prof. Bazant は、彼の従来までの研究成果を中心に、コンクリート構成方程式、ひびわれ伝搬の問題、せん断伝達の問題といった広範な領域にわたる概説を行った。とくに、ひびわれ進展を破壊力学的アプローチより忠実に再現し、構造解析に結びつける必要性を強調したことは、今後のひびわれ解析に大きな成果が期待される。

Prof. Gerstle は、FEM解析で使用する種々の材料モデルのうち、対象とするRC構造物によってどれが一番重要な要素であるかがあいまいである現状を指摘した。総花的に、いろいろなモデルを組み合わせた研究に

対するこの批判は、今後のRC構造物のメカニクスの解明にとって非常に示唆に富むものであった。

一般研究発表は全部で8編であった。

Prof. Collins は、ひびわれを含む高圧縮応力下のコンクリートの特性を、全ひびみ理論を用いて表現した。これは、従来までの smeared crack モデルでありあまり考慮されていなかった内容にふれるもので、たいへん意義深いものである。

日本大学の白井氏は、耐震壁の解析に必要な材料モデル化について発表を行った。

一方、ひびわれ面でのせん断伝達のメカニクスに関して、2編の材料モデルが発表された。これら Dr. Walraven, Dr. Ganvarova のアプローチは、せん断伝達機構を骨材形状のオーダーまでさかのぼり、より基本的なレベルから解き明かそうとするもので、せん断伝達問題の解明の新しい流れとなるように思われる。

上記のひびわれを含むコンクリートの研究に関連して、Prof. Sui からたいへんおもしろい意見が出された。図-1に示すように、材料モデル化とは、しよせんは実験(定数)により最後はパラメータを決めるものである。したがって、解析対象により近いモデルほど精度は高い。しかし、現象の数量化が物理的に、より基本的なレベルにあるものは、適用範囲が広く本質的であるという内容であった。有限要素法解析は、いわゆるミクロ

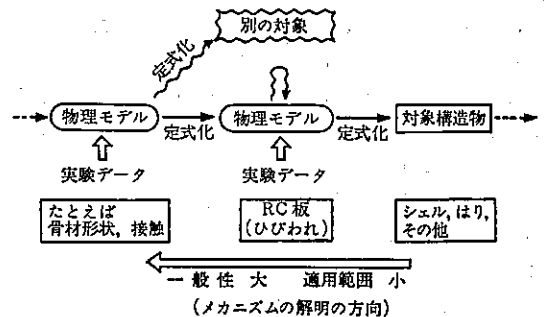


図-1 コンクリート解析のモデル化の流れ

*1 正会員 長岡技術科学大学助手 建設系

*2 正会員 東京大学大学院博士課程

な現象を用いて、よりマクロなレベルを演繹する一つの有力な手段である。この指摘は、コンクリート工学を研究しているわれわれが普段なんとなく感じていることを明確に示しており、たいへん印象深かった。

ひびわれ以前の構成則として2編の発表が行われ、静水圧軸に降伏関数をもつ弾塑性破壊モデルが Prof. Nilsson により紹介され、Dr. Roelstra は、骨材レベルまでさかのぼって構成方程式を論じた。

セッション 2: 数値解析のための構造モデル (Structural Modelling for Numerical Analysis)

このセッションでは、鉄筋コンクリート構造物を形成する個々の材料モデルを数値解析にのせ、構造体を解くうえでの諸問題を取り扱った。前半はセッション1で議論した材料特性をいかに数値化し、FEM 解析に応用するかがサブテーマであり、Prof. Mayer によって動的問題を中心に総括報告がなされた。後半は、主に非線形解析(求解)法について計算プログラムベースにまでわたる議論がなされ、Dr. William が代表的数値解析法を重点的に述べた。

一般研究発表は全部で9編であった。

まず、引張剛性を中心とした研究発表が行われた。とくに密に配筋されたRC板の解析精度を高めようとするこの数値処理法は、会場ではかなり議論が集まった。ひびわれにはさまれた鉄筋とコンクリートの付着に起因する要因を、よりマクロなレベルに反映させようとする試みがさかんなのは、多方向配筋されたRC板の挙動解析が全体としてかなり高いレベルにあることを物語るように感じられた。

鹿島建設の井上氏は、3次元拘束下のコンクリートに着目した柱の弾塑性解析について、数値解析モデルと実際の現象の関連性を明示し、高い評価を得た。

Dr. Rossi は、はりの動的繰返し載荷時の挙動について種々の数値計算手法を試み、収束性について論じた。ひびわれの数値計算上の表現方法として、Dr. Saouma, Dr. Blaauwendraad によって discrete crack シミュレーション解析が示された。要素幾何形状を変化させ、実際のひびわれをより忠実に把握しようとするもので、前者は自動再メッシュ、自動節点振付けによって、後者は修正ハイブリッド要素によってアプローチしている。破壊力学的考慮を取り入れ、ひびわれの進展を議論できるこの手法は、今後、ひびわれ解析に大きな力を発揮するものと期待される。

そのほか、各種 FEM 非線形求解法についての比較が、収束性を中心に議論された。もっとも良い数値手法についての共通認識は、結局得られなかった。解析対象や使用材料モデルによって、それぞれに適した安定求解法や数値計算テクニックというものがある。たとえ全体

の解析フレームが同じであっても、一概に収束性、CPU 時間を比較できないといった解析者依存の要因が存在し、なおこの分野のコンセンサスは時間がかかるというのが筆者らの卒直な意見である。

セッション 3: 数値解析の適用および実験的検証 (Application and Experimental Verification)

本セッションは、セッション 1, 2 で数値化され定式化されたアプローチをもって実構造物を解析し、実際の挙動と対比することにより全体の評価を加えることをテーマとしている。

Prof. White は introductory report で、現在問題となっている種々の対象を取り上げ、解析モデルと計算結果について最近のトピックを紹介した。対象とする構造物の解析で支配的な要素を個々明示している態度は重要なことであると思う。

一般研究発表は全部で6件であった。

Dr. Monnier は、さきの不連続ひびわれモデルをさらに適用し、少数のひびわれが支配的な場合は有用なアプローチであることを示した。この方法は、破壊力学の考察をもってひびわれの不安定状態をチェックすることができ、脆性的なせん断破壊の解析に有力な手段となり得る点で注目に値する。

白井氏は、前セッションの内容にもとづいて耐震壁の挙動を解析し、種々の材料モデルについての検討を総合的に行い、多くの支持を受けた。

筆者らは、2次元部材の挙動解析に支配的な圧縮引張応力下の構成モデルを提案し、RCディープビームを対象として、中間挙動ならびに終局時の耐力、変形および破壊モードについての決定方法と結果の検討を行った。

一方、RCばり、PCげた、RCT形ばりをそれぞれ対象とし、設計を念頭においた FEM 解析が発表され、実験との対比から実用性について議論が行われたのである。構造物としての最終耐力やそのモードについての検討は、2, 3の例を除いて、全体として十分な検討がなされたとはいえない状況であった。材料モデルを常に硬化させた解析では、およそ共通した認識もたれているが、局部的材料不安定を許すモデル(ひずみ軟化)を使用する際の FEM 解析については、まだ残されている問題が多いというのが実感であった。なお、本セッションで、千葉大学の野口氏の発表が予定されていたが、健康上の理由から出席されなかったのは、氏のアクティビティを考えると、惜しまれるところであった。会議全般としては、比較的参加者をしぼりこじんまりしたものであり、かえって活発な意見交換が可能となったように思う。まったく同じテーマでもう一度このようなコロキウムを開けば、さらにまとまった成果が得られるのではないかと思う次第である。