

まえがき

文部省科学研究費補助金の特定研究『複合材料』が恩師国分正胤先生を研究代表者として1974年から開始され3年間続いた。その一つの大きな課題として、複合材料の力学的挙動を統一的に記述できる解析プログラムの開発が、山田嘉昭先生指導の下で行われ、その成果は有限要素解析プログラム『COMPOSITE』として結実した。『COMPOSITE』は、各材料の構成則を与えれば、それらを組み合わせて用いた構造物の挙動を解析できるプログラムであって、材料の構成則の開発が各研究者の役割であった。幹事として、その開発作業に参加したのがこの本を書く端緒となった研究の始まりである。私自身は、鉄筋コンクリートの力学的挙動を統一的に記述できる解析プログラムの開発を目指したのである。

最初は、『COMPOSITE』に、コンクリートと鋼の構成則を与え、鉄筋表面の凹凸とコンクリートの微小ひびわれの発生を考慮に入れて、異形鉄筋とコンクリートとの付着応力分布を求めようとした。この研究は、梅原秀哲氏（名古屋工業大学）の卒業論文として行われたが、はかばかしい成果を得られなかった（1977年）。現時点においても、難しい問題である。

次に、せん断補強鉄筋をもたない鉄筋コンクリートばりのせん断問題に『COMPOSITE』を適用することを試みた。この研究は、山崎淳氏（当時東京大学助教授）の指導の下に、野村卓史氏（東京大学）の修士論文として行われ、その成果は、当時修士2年の野村氏によって、コペンハーゲンで行われたIABSEコロキウムで発表された（1979年）。この研究を通じて、多くのことを学ぶことができたが、この問題は、ひびわれの発生・進展および鉄筋とコンクリートとの付着特性が重要な問題であって、有限要素解析にとって最も不得意な分野であることを痛感したのである。

この問題の延長として、ディープビームの耐荷力算定を試みた。この研究は、二羽淳一郎氏（名古屋大学）の修士論文として行われたが、その一部すなわち、圧縮—引張の二軸応力下におけるコンクリート構成則の改良は前川宏一氏が卒業論文として行ったものである。この成果は、2人によって、デルフトで行われたIABSEコロキウムで発表され、好評を博した（1981年）。なお、この解析は、非線形解析プログラム研究会（国分正胤会長、山田代表幹事）が開発した『FEMN』を用いて、卒論生の石川浩（建設省）、井上晋一（東日本旅客鉄道）両氏により行われた。この研究を通じて、離散化ひびわれの進展の問題、多軸応力下におけるコンクリートの構成則、コンクリートの圧縮軟化域における解析上の問題など多くの問題点が明らかになると共に、コンクリート構造の挙動を解明するために必要な研究課題が明確になったのである。このことが、鉄筋コンクリートの有限要素解析を試みた最大の収穫であった。

ディープビームの耐荷力については、二羽淳一郎氏の学位論文として、有限要素解析による応力の流れに基づく精度の良い算定式が導かれたのである（1983年）。この論文は、有限要素解析とマクロな設計用の算定式とを、結びつけるアプローチを示す好例であって、設計に使いやすい形にして、土木学会の示方書に採用されたのである。

この解析には、『FEMN』を基礎として、本書の共著者である前川氏が開発した鉄筋コンクリート構造用有限要素解析プログラム『COMM 2』を用いている。なお、このプログラムを用いて、鉄筋コンクリートパネルに関する国際コンペ（1982年）に応募したのである。このプログラムに用いた2次元下のコンクリート構成則は、前川氏が新たに開発した『弾塑性破壊モデル』（1983年）であって、本書4章はこのモデルについて書かれたものである。このモデルには、コンクリートの一軸圧縮強度とシリンダー強度との関係として、上迫田和人氏（鹿島建設）の卒業論文（1982年）の結果を用いている。また、ひびわれ平行方向のコンクリート圧縮強度を一律に80%とし、ひびわれ発生後のコンクリートの引張剛性は考慮していない。ひびわれにおけるせん断剛性として、山田・青柳のモデルを用いている。

この研究を契機として、ひびわれ発生後のコンクリート構成則の研究を本格的に開始した。ひびわれ直交方向の鉄筋コンクリートの剛性を、鉄筋およびコンクリートそれぞれの平均応力—平均ひずみの関係を重ね合わせることによって、鉄筋の降伏後まで、また、除荷・再載荷を含む正負交番載荷に適用可能な形で、定式化したので

ある。この研究は、玉井真一氏（東急建設）の修士論文（1987年）、島弘氏（徳島大学）の博士論文（1987年）および出雲淳一氏（関東学院大学）の博士論文の一部をなしている。ひびわれと平行方向のコンクリート構成則については、川上泰司氏（運輸省）の卒業論文（1986年）および宮原長久氏（首都高速道路公団）の修士論文（1987年）によって、前川氏の弾塑性破壊モデルにおける破壊パラメータの修正という形で定式化された。一方、ひびわれ面でのせん断伝達は、李宝祿氏（清華大学）の博士論文（1988年）で、『接触密度関数に基づくせん断伝達モデル』として定式化された。本書5章はこのモデルについて書かれたものである。

我々が開発したこれら構成則を組み込んで、正負交番の面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデルが開発され、検証されたのである。この研究は、出雲淳一氏（関東学院大学）によって、前記の研究と並行して行われ、その博士論文としてまとめられている（1988年）。本書2章はこのモデルについて書かれたものである。

一方、鉄筋とコンクリートとの付着に関する構成則は、周礼良氏（台北地下鉄、1984年）と山尾秀芳氏（荒井建設 1985年）の博士論文にまとめられた研究成果を発展させて、島弘氏（徳島大学）がいかなる境界条件においても、また鉄筋降伏後においても、適用可能な『付着一すべり一ひずみモデル』として、きれいな形に定式化したのである。本書6章はこのモデルについて書かれたものである。

このモデルとせん断伝達モデルおよびコンクリートの圧縮剛性モデルを組み合わせ、部材接合部の局所変形を表現するための接合要素を、申鉉穆氏（成均館大学）が開発した。本書3章はこのモデルについて書かれたものである。

また、氏はこの接合要素と鉄筋コンクリート板要素とを組み合わせ、正負交番荷重を受ける鉄筋コンクリート壁の挙動を解析するプログラム『WCOMR』を作成したのである。このプログラムは『COMM2』を発展させたものである。この研究は、氏の博士論文（1988年）として、各構成則の開発と並行して行われたが、これによって有限要素解析に必要な各種構成則の開発が有効に行われたのである。本書1章はこのプログラムについて書かれたものである。

本書は、我々が十数年にわたって研究してきた成果に基づいて、鉄筋コンクリート構造の非線形解析とそれに必要な構成則について、分かりやすく書いたつもりのものである。鉄筋コンクリートの挙動は、それを構成しているコンクリートと鉄筋の特性から決定するのであるが、鉄筋とコンクリートとが組み合わさっている効果を認識することが極めて重要であることを、強調しておきたい。なお、本プログラムは、正負交番荷重を受ける鉄筋コンクリート構造のなかで、壁のように、鉄筋が2方向に多数配置されており、分散ひびわれモデルが適用できる場合には、極めて精度の良い結果を与えるものである。それ以外の場合にも、本書の内容を理解して上手く工夫を凝らせば、かなり良い結果を得ることも可能である。

現在も、繰り返しによる局所破壊の進展および荷重時間による塑性変形の影響を考慮に入れた各種構成則の開発ならびに、これら構成則を採り入れた動的解析プログラムの開発、およびはりや柱などの棒部材への適用などについて研究を進めている。これらの成果は、数年以内にまとまるものと期待している。本書の後編として、前川氏にまとめてもらいたいと考えている。

本書の図面の整理、タイプその他本書を作成する上で必要な作業について、小沢一雅氏、斉藤洋子嬢および田畑和泉嬢に全面的に御世話になった。また、技報堂出版株式会社は出版に際し、我々の面倒な要求を心良く受け入れてくれた。これらの方々感謝したい。

最後に、本書執筆中多大な不便をかけたにもかかわらず、常に笑顔で励ましてくれた妻由子に心からの感謝の意を捧げたい。