

DIANA に触れてみませんか？

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 小林寛明

1. はじめに

有限要素法では、構造物のかたち・寸法、材料特性、などの構造物の特性と、支持条件、および荷重（境界条件）を設定することで、構造物の変形と各部の応力を得ることができ、今日では、構造工学の分野をはじめとする多くの工学分野において生ずる種々の問題に対する数値解析の手法として、不動の地位を築き、世の中でオーソライズされた汎用有限要素解析プログラムが数多く登場している。汎用有限要素解析プログラムの特徴は、解析能力だけではなく、入力データ作成の省力化、定期的な保守・改良等に多大の労力がかかれており、利用の便をはかるべくドキュメンテーションが豊富なことである。

ここで紹介する DIANA も、汎用有限要素解析プログラムの一つであり、1990 年に、オランダ応用科学研究機関において開発されたものである。DIANA の最大の特徴は、従来の金属材料を主体とした汎用有限要素解析プログラムとは異なり、コンクリート構造物を主な解析対象としている点にあり、図 - 1 に示されるようなコンクリート構造の解析上の種々の問題点を考慮することが可能である。

2. DIANA の概要

2.1 DIANA と FEMGV

FEMGV は、DIANA と完全な互換性を持つプリ・ポストプロセッサである。その構成は機能毎に 3 つのモードに分かれている。

INDEXNeutral モード、解析実行、バッチファイルの処理

FEMGEN.....Pre モード、構造データの作成

FEMVIEW.....Post モード、解析結果の処理

DIANA と FEMGV の関係を図 - 2 に示し、各段階で使用するファイル形式とその内容を表 - 1 にまとめた。また、FEMGV の起動画面を図 - 3 に示す。DIANA の解析では、節点、要素種別、材料特性や荷重条件などを指定する構造データファイル (***.dat) と、解析モジュールの指定、結果出力、作図内容の指定を行うファイル (***.com) が必

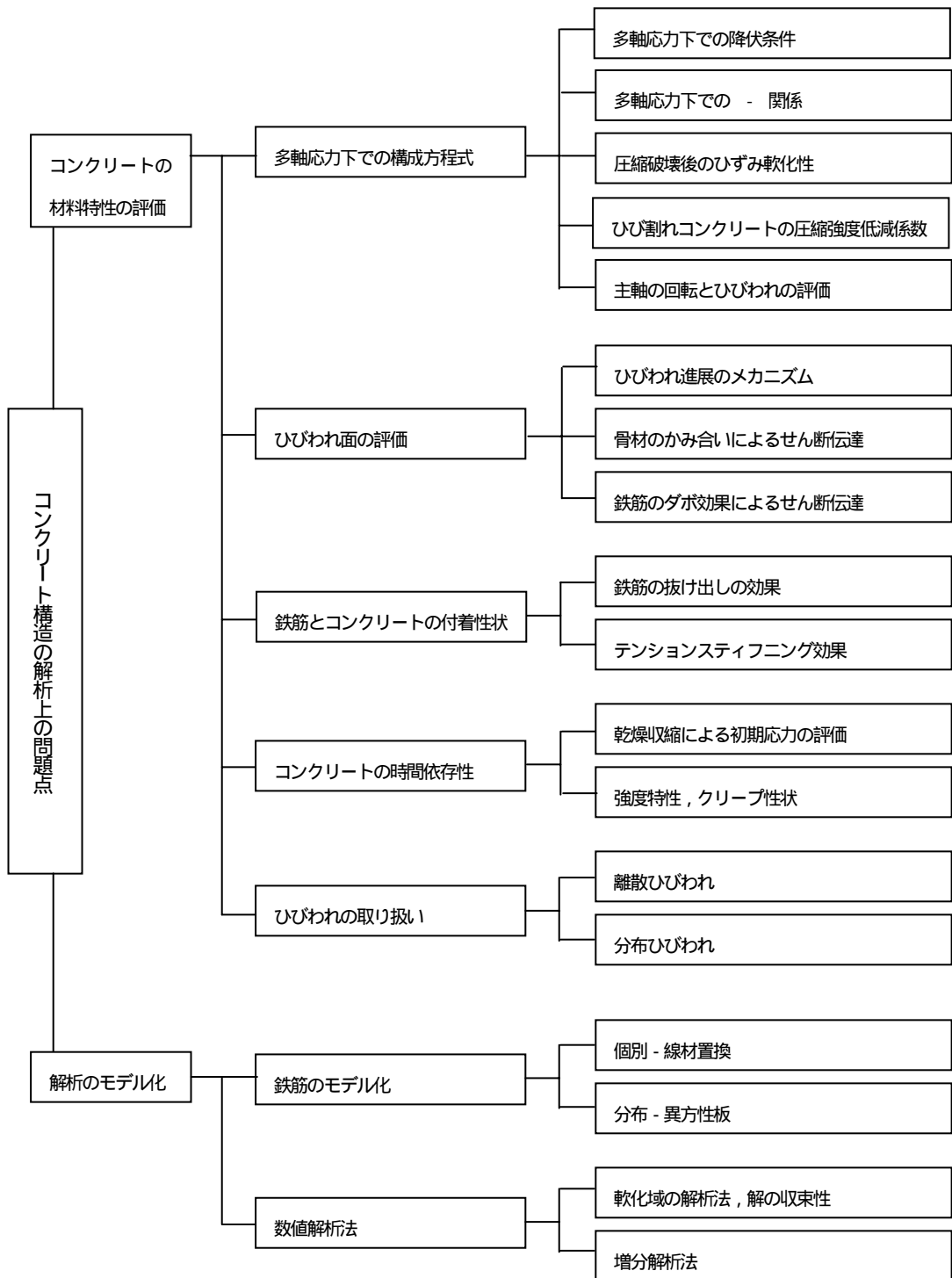


図 - 1 コンクリート構造の解析上の問題点

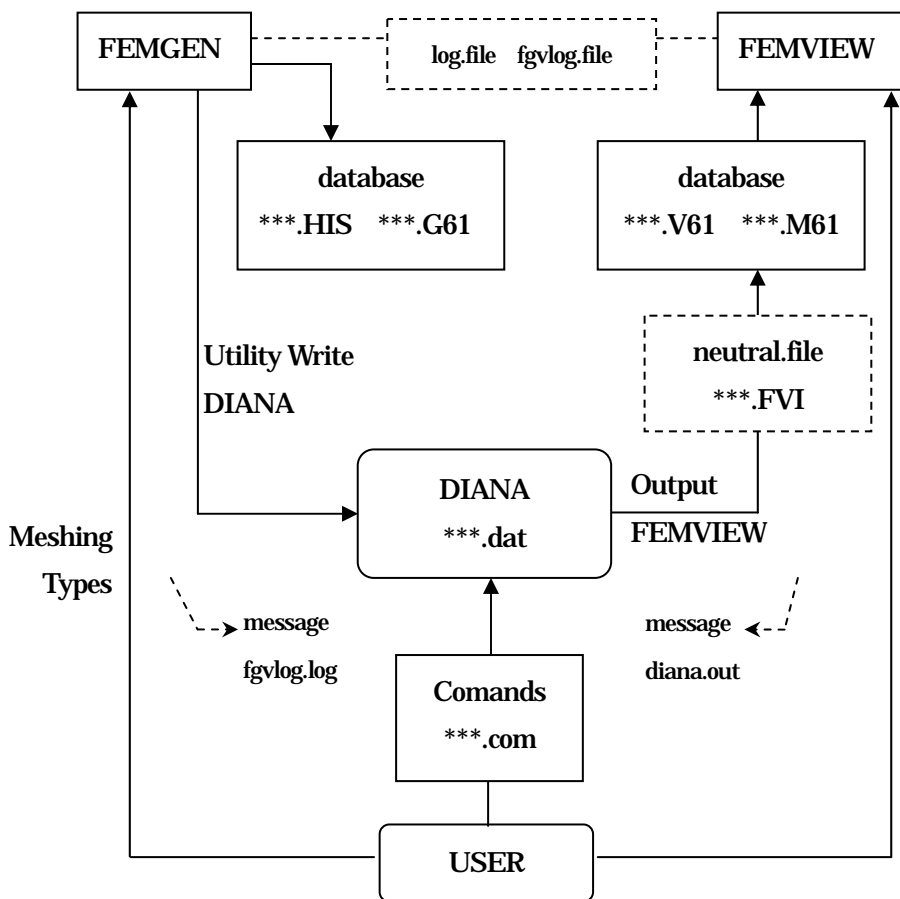


図 - 2 DIANA と FEMGV

表 - 1 デフォルトで設定されているファイル

| ファイル形式 | 形式 | 内 容 |
|------------|----|--|
| fgvlog.log | A | FEMGV 起動中のすべてのコマンドとメッセージの履歴が残る。起動する度に上書き，保存される。 |
| ***.HIS | A | モデル作成時の履歴。追加・更新される。 |
| ***.G61 | B | ***.HIS を FEMGV 用のファイルに置き換えたもの。 |
| ***.FVI | A | DIANA で解析した結果を FEMGV に渡すためのファイル |
| ***.V61 | B | DIANA で解析した結果を FEMGV に渡すためのファイル |
| ***.M61 | B | ***.FVI を FEMGV 用のファイルに置き換えたもの。 |
| femdia.log | A | FEMGEN で DIANA の構造データを出力した際，問題・不足データ等があればエラーメッセージが出力される。 |

A・・・ASCII B・・・BINARY

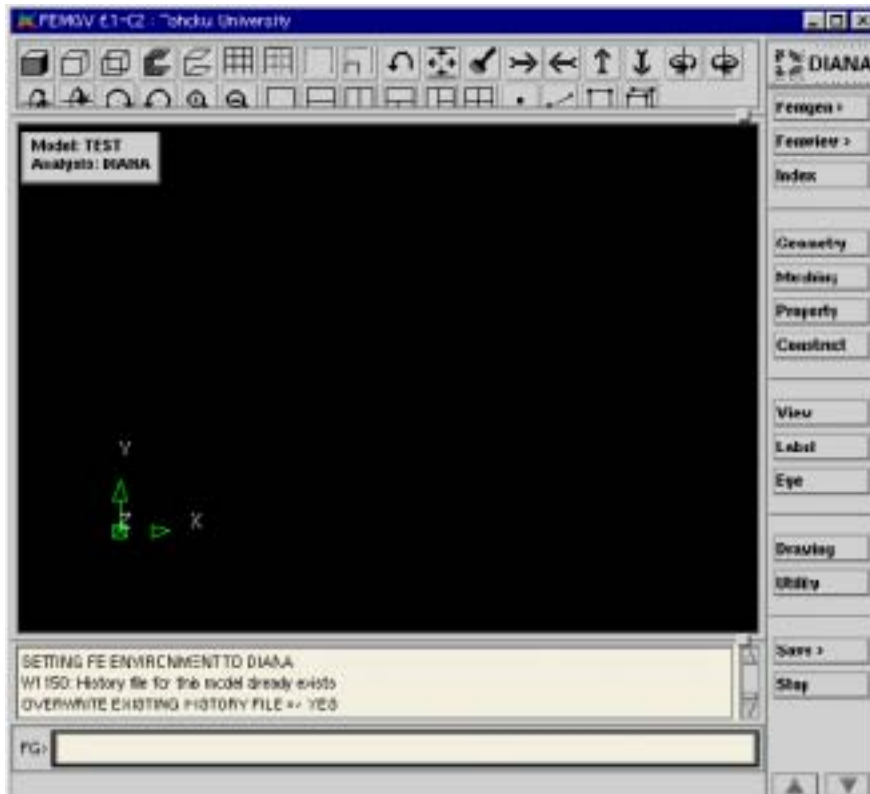


図 - 3 FEMGVの起動画面

要である（詳細は、後述する解析例を参照されたい）。構造データファイルは、主に、FEMGEN で作成され、ユーザの指定するコマンドファイルにより解析を実行し、その結果を FEMVIEW によって確認する。

2.2 要素

DIANA で扱うことのできる主な要素を以下に列挙する。

| | | | | |
|-----------|-------------|--------|------|-----|
| 2次元・3次元梁 | 平面・曲面シェル | 板 | ソリッド | 軸対象 |
| 平面ひずみ | 平面応力 | 板曲げ | トラス | ばね |
| 2次元・3次元質点 | 2次元・3次元接触要素 | 埋め込み鉄筋 | | |

2.3 コンクリートに与える材料特性の一例

圧縮応力 - ひずみ関係 多直線近似

降伏条件 Drucker-Prager 型

降伏後の判定 適合流れ則

圧壊後のひずみ軟化性 軟化性を考慮

ひび割れモデル 分布, 離散, 回転

骨材のかみ合いの評価による等価せん断剛性 定数および主ひずみの関数で低減

第2 ひび割れの方向 角度指定

付着応力 - すべりの関係 tension stiffening を考慮

2.4 出力形式

FEMVIEW では、以下に示す出力（作図）が可能である。

| | | | | |
|-------|------|---------|---------|-------|
| 変形図 | 分布図 | 数値図 | ベクトル図 | クラック図 |
| コンター図 | 等高線図 | X-Y グラフ | 最大・最小表示 | |

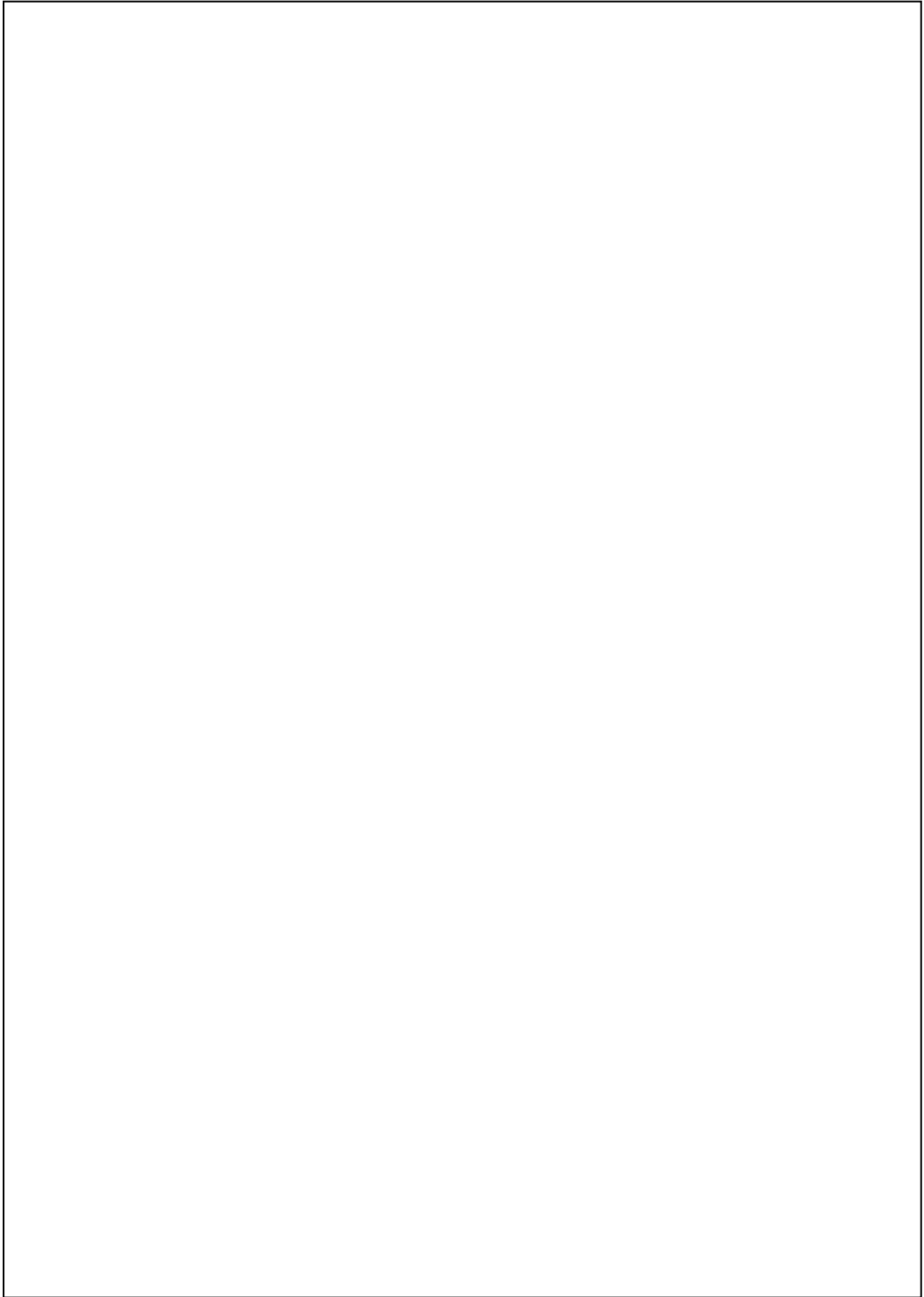
3. 解析例

3.1 概要

解析対象例として取り上げる構造物は、水道用プレストレストコンクリートタンク（以下、PC タンク）である。なお、解析モデルは、対称性を考慮して、全体の 1/2 をモデル化した。PC タンクは円筒形の構造物で、側壁の円周方向と鉛直方向に鉄筋と PC 鋼材が配置されており、プレストレスが導入されている。ここでは、側壁の材料非線形性を考慮し、常時荷重を作用させた後、地震時荷重を漸増させる静的非線形解析を行った例について簡単に紹介する。

3.2 解析の準備

まず、構造データファイル（図 - 4）と、コマンドファイル（図 - 5）が必要である。以下に、本稿における解析例に用いたファイルを示す。当然、解析によって構造データファイルと、コマンドファイルは千差万別であるが、おおまかな構成は同様である。



```

'GEOMETRY'                                     : 材料特性データテーブル
    1 THICK      2.500000E-01
      .
      .
'SUPPORTS'                                     : 境界条件テーブル
/ 1-25 276-299 1012-1035 1276-1299 /  TR      1
      .
      .
'LOADS'                                       : 荷重テーブル
CASE 1
ELEMEN
  24
    FACE
    FORCE      -84022.77
    DIRELM    Z
      .
      .
CASE 2
      .
      .
'DIRECTIONS'                                 : 全体座標系のベクトルテーブル
  1  1.000000E+00  .000000E+00  .000000E+00
  2  .000000E+00  1.000000E+00  .000000E+00
  3  .000000E+00  .000000E+00  1.000000E+00
'END'                                         : 構造データ終了

```

図 - 4 構造データファイル

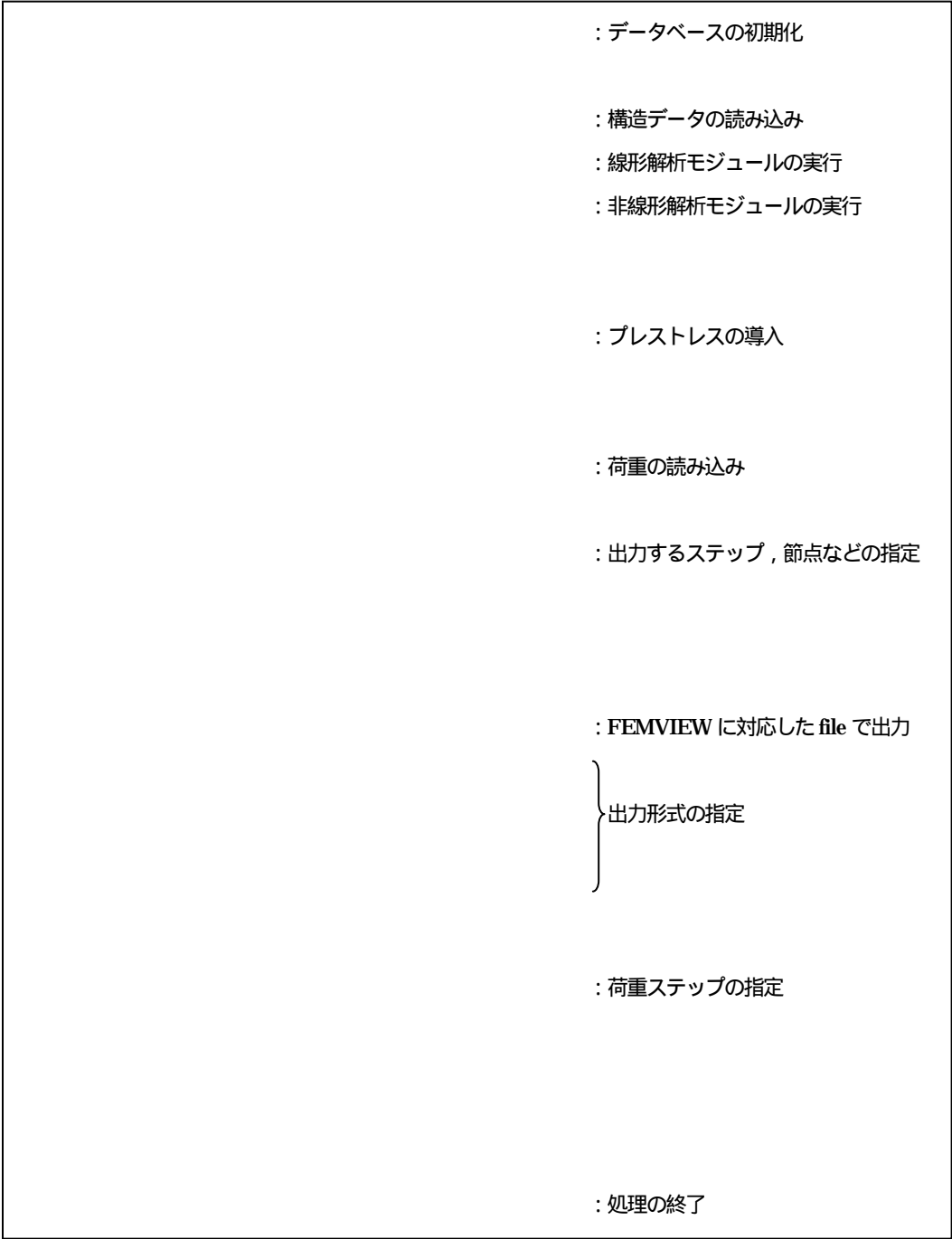


図 - 5 コマンドファイル

3.3 解析の実行

ユーザ n12345 が gen3 にログインして , DIANA を実行する手順について説明する .
(図 - 6 参照)

- (a) DIANA と FEMGVX を使用できる環境を設定する .
- (b) 解析に必要な構造データファイル (ex.dat) とコマンドファイル (nonlin.com) が保存してあるディレクトリ (n12345/koba/ex) で解析を実行する .

```
HP-UX gen3 B.10.20 C 9000/889 (tty7)
login: n12345
Password:*****
201 gen3% source /usr/ap/diana72/.dialogin.csh      : DIANA を gen3 上で使用できる環境にする
+-----+
| Welcome at DIANA/hp9000 |
| Release 7.2             |
+-----+
202 gen3% setenv DISPLAY 130.34.83.65:0.0         : FEMGV を左の IP の PC に表示
                                                させる
203 gen3% setenv LANG C                           : FEMGV でマウスを使えるよう
                                                に設定する
204 gen3% cd koba/ex
205 gen3% diana ex.dat nonlin.com m              : m は画面に実行中のモジュールを表示させるため
                                                のオプション . m を&にするとバックグラウンドで解
                                                析を行う
diana: working directory is /fshome/home09/n12345/koba/ex : ディレクトリ名
diana: input file is ex.dat                       : 構造データファイル名
diana: command file is nonlin.com                 : コマンドファイル名
diana: output file is diana26372.out             : アウトプットファイル名
diana: filofs file is diana.ff                   : データベースファイル名
DIANA JOB 26384 finished                          : 解析終了の合図
```

図 - 6 解析の実行例

3.4 結果の出力

結果出力の例として、PC タンクの変形図（図 - 7）とコンター図を同時に出力した例（図 - 8）を示す。なお、実際には2.4 で示したような各形式において出力が可能である。

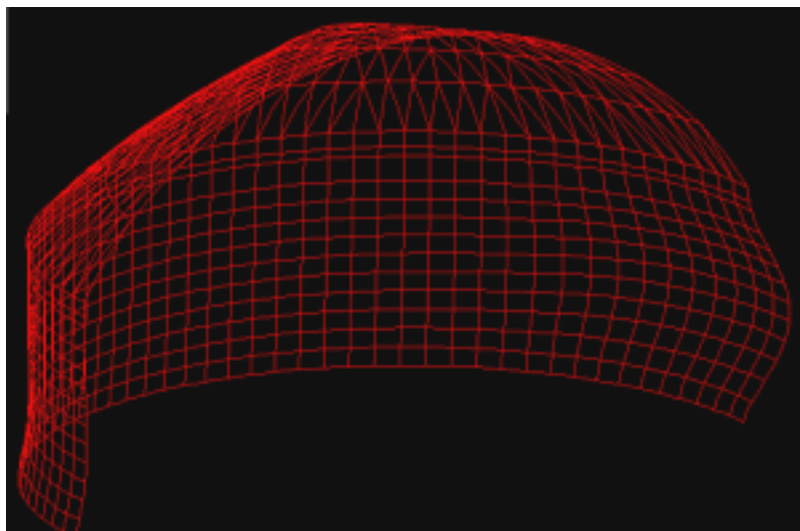


図 - 7 解析結果の例（変形図）

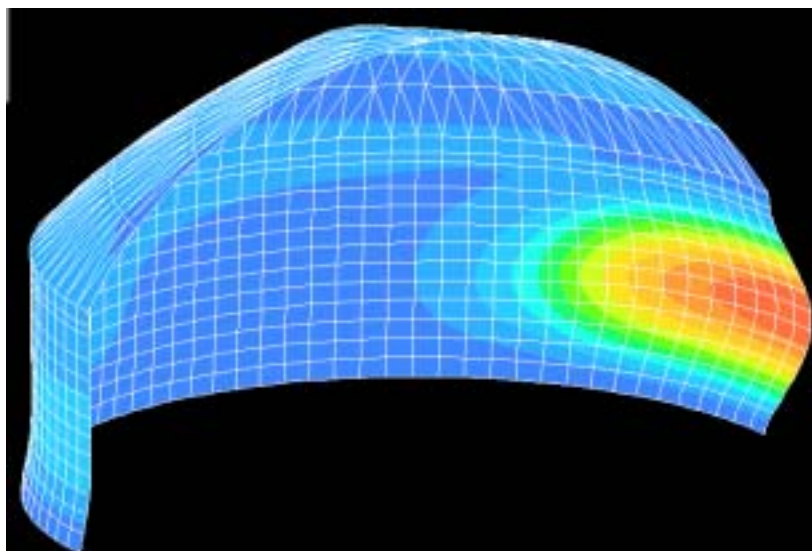


図 - 8 解析結果の例（変形図とコンター図）

4. おわりに

鉄筋コンクリート構造の非線形挙動を解析するためには、ひび割れや付着すべりなど、その特有の現象をモデル化する必要が生じる。DIANA は、従来の汎用有限要素解析プログラム(例えば MARC や ABAQUS など)に比べ容易にそれらのモデル化を可能にする。

ここでは、このような汎用有限要素解析プログラム DIANA とプリ・ポストプロセッサの FEMGV の簡単な紹介と実行方法について説明した。各自、DIANA と FEMGV を実行し、評価して頂きたいと思う。