

4.14 部材の弾塑性  
チェック

本節では、前節に続いて、部材モデルの階層最上位の仕組みを持つサブルーチン `Check_stress()` について説明する。このサブルーチンは、部材断面の弾塑性解析を行う。まず、このサブルーチンをコールするコードを以下に示す。多くの部材モデルを含むためサブルーチンの引数が多いことが特徴である。Maxwell モデルの塑性チェックは、次のサブルーチン `Check_Maxwell_stress()` で行う。

```

C
C
C      部材の弾塑性状態をチェック
C
C
C
C
C
C      部材塑性をチェック
C      部材両端の節点力計算 (ok)
C      ファイバー応力セット
C
C      call Check_stress(Control,Control.type_analysis,
*      ak_nonlinear,Member,n_member,Model_type,
*      Element,past_disp_point,est_ddisp_point,rot_memb,
*      E_model6_real,E_model7_real,E_model_fiber,M_model_fiber,
*      E_model11, M_model11,
*      E_model12, M_model12,
*      E_model13, M_model13,
*      E_model15, M_model15,
*      E_model21, M_model21,
*      E_model22, M_model22,
*      E_model31, M_model31,
*      E_model32, M_model32,
*      E_model33, M_model33,
*      MSS_work,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,RO_work,
*      work1_element,work2_element, work1_member, work2_member)
C
C      Maxwell 型モデルの非線形性チェック (ok)
C
C      call Check_Maxwell_stress(Member,n_member,
*      Element,E_model6_real,Newmark_P)

```

上記2つのプログラムコードを以下に示す。

```

C
C      SUBROUTINE /Check_stress
C
C      部材の塑性状態をチェックする(ok)
C
C
C      subroutine Check_stress(Control,N_analysis,
*      ak_nonlinear,Member,n_member,
*      Model_type,Element,past_disp_point,disp_point,rot_memb,
*      E_model6_real,E_model7_real,E_model_fiber,M_model_fiber,
*      E_model11, M_model11,
*      E_model12, M_model12,
*      E_model13, M_model13,

```

```

*      E_model15, M_model15,
*      E_model21, M_model21,
*      E_model22, M_model22,
*      E_model31, M_model31,
*      E_model32, M_model32,
*      E_model33, M_model33,
*      MSS_work,
*      Bilinear_work, Trilinear_work, Concrete_work, RO_work,
*      work1_element, work2_element, work1_member, work2_member )
implicit real*8(A-H,O-Z)
include "submain.h"
include "submainx.h"
record /control_s      / Control
record / member_s      / Member
record / element_s     / Element
record / n_model_s     / Model_type
record / Bilinear_work_s / Bilinear_work
record / Trilinear_work_s / Trilinear_work
record / Concrete_work_s / Concrete_work

c
c
c
c      record /element2_s / Element
c      record / RO_work_s      / RO_work
c
c
c      record /element3_s / Element
c      record /member3_s / Member
c      record / N_Buckling_s      / N_Buckling
c
c
c      record /element4_s / Element
c      record /member4_s / Member
c
c
c      record /element5_s / Element
c      record /member5_s / Member
c      record / MSS_work_s      / MSS_work
c
c
c      record /element6_s      / Element
c      record / E_model6_real_s / E_model6_real
c
c
c      record /element7_s / Element
c      record /member7_s / Member
c      record / E_model7_real_s / E_model7_real
c
c
c      record / E_model11_s      / E_model11
c      record / M_model11_s      / M_model11
c
c
c      record / E_model12_s      / E_model12
c      record / M_model12_s      / M_model12
c
c
c      record / E_model13_s      / E_model13
c      record / M_model13_s      / M_model13
c
c
c      record / E_model15_s      / E_model15
c      record / M_model15_s      / M_model15

```

Model\_No.1 通常の有限要素弾塑性モデル

Model\_No.2 3次元せん断弾塑性モデル

Model\_No.3 3次元軸力弾塑性モデル

Model\_No.4 3次元ケーブル弾塑性モデル

Model\_No.5 3次元免振モデル

Model\_No.6 3次元制震 Maxwell モデル

Model\_No.7 3次元バネモデル

Model\_No.11 両端ファイバーモデル

Model\_No.12 両端、中央ファイバーモデル

Model\_No.13 両端ピン、中央ファイバーモデル

Model\_No.15 両端ファイバー-FEM モデル

```

c
    record / E_model21_s / E_model21
    record / M_model21_s / M_model21
c
    record / E_model22_s / E_model22
    record / M_model22_s / M_model22
c
    record / E_model31_s / E_model31
    record / M_model31_s / M_model31
c
    record / E_model32_s / E_model32
    record / M_model32_s / M_model32
c
    record / E_model33_s / E_model33
    record / M_model33_s / M_model33
c
c
    record / E_model51_s / E_model51
    record / M_model51_s / M_model51
c
c
    record / E_model_fiber_s / E_model_fiber
    record / M_model_fiber_s / M_model_fiber
c
    dimension E_model_fiber(*),M_model_fiber(*)
    dimension Member(*),Element(*),E_model6_real(*)
    dimension MSS_work(*),RO_work(*)
    dimension E_model11(*),M_model11(*)
    dimension E_model12(*),M_model12(*)
    dimension E_model13(*),M_model13(*)
    dimension E_model15(*),M_model15(*)
    dimension E_model21(*),M_model21(*)
    dimension E_model22(*),M_model22(*)
    dimension E_model31(*),M_model31(*)
    dimension E_model32(*),M_model32(*)
    dimension E_model33(*),M_model33(*)
    dimension ak_nonlinear(12,12,*),rot_memb(3,3,2,*)
    dimension work1_element(*),work2_element(*),
*      work1_member(*), work2_member(*)
    dimension past_disp_point(*),disp_point(*)
    dimension vv(12),vp(12),vpp(12),v(12),ak(12,12)
    dimension f(12),ff(12)
c
    do i=1,n_member
c
        do j=1,12
            ires=Member(i).irest(j)
            if(ires.gt.0) then
                v(j)=disp_point(ires)
                vp(j)=past_disp_point(ires)
            else
                v(j)=0.
                vp(j)=0.
            endif
        enddo
c

```

Model\_No.21 両端 MS モデル

Model\_No.22 両端、中央 MS モデル

Model\_No.31 両端アナロジーモデル

Model\_No.32 両端、中央アナロジーモデル

Model\_No.33 両端、中央アナロジーモデル

Model\_No.51 3次元プレテンション動作モデル

ファイバーモデル用エリア

部材両端の変位取得

部材両端の節点力のゼロセット

```

do j=1,12
f(j)=0.
enddo
! 2

c
! 変位を釣合系から部材座標系に変換
call RotateL_v(1,v,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),vv)
! 3
call RotateL_v(1,vp,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),vpp)
! 4

c
! 要素及びモデルのセット
mem = i
iet = Member(i).element_type
iet = (iet-1)/10
ie = Member(i).nm_element
im = Element(ie).n_element
! 5
ien = Member(i).n_model_type
if(Member(i).nm_dll_element.ne. 0) goto 9999 ! DLL 要素
if(iett.eq.0)then
goto(11,12,13,14,15,16,17,18,19,20),iet
11 continue

c
! Model_No.1 通常の有限要素弾塑性モデル
do j=1,6
f(j)=-Member(i).stress(j)
enddo
do j=7,12
f(j)=Member(i).stress(j)
enddo
call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
do j=1,12
Member(i).force(j)=ff(j)
enddo
goto 100
12 continue

c
! Model_No.2 3次元せん断弾塑性モデル
if(N_analysis.ge.9) then
! 7
call Cal_check_stiff_M2(Member(i),Element(ie),R0_work,
* vv,vpp )
endif
do j=1,3
! 8
f(j)=-Member(i).stress(j)
f(j+6)=-f(j)
enddo
call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
! 9
do j=1,12
! 10
Member(i).force(j)=ff(j)
enddo
goto 100
13 continue

c
! Model_No.3 3次元軸力弾塑性モデル
! 11
iee = Member(i).n_model_type
call Cal_check_stiff_M3(Member(i),Element(ie),
* vv,vpp,N_analysis)
do j=1,12
f(j)=0.
enddo
do j=1,3
f(j)=-Member(i).stress(j)

```

```

        f(j+6)=Member(i).stress(j+3)
        enddo
        call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
        do j=1,12
            Member(i).force(j)=ff(j)
        enddo
        goto 100
14 continue

c
Model_No.4 3次元ケーブル弾塑性モデル
        call Cal_check_stiff_M4(Member(i),Element(ie),
*          vv,vpp,N_analysis)
        f(1)=-Member(i).stress(1)
        f(7)=-f(1)
        call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
        do j=1,12
            Member(i).force(j)=ff(j)
        enddo
        goto 100
15 continue

c
Model_No.5 3次元免振モデル
        if(N_analysis.ge.9) then
            iee=Member(i).n_model_type
            call Cal_check_stiff_M5(Member(i),Element(ie),MSS_work(iee),
*          vv,vpp,Model_type.n_spring,Model_type.cosin(1,1) )
        endif
        do j=1,3
            f(j)= -Member(i).stress(j)
            f(j+6)=-f(j)
        enddo
        call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
        do j=1,12
            Member(i).force(j)=ff(j)
        enddo
        goto 100
16 continue

c
Model_No.6 3次元制震 Maxwell モデル(ok)
c        call Check_maxwelldamp(E_model6_real(ien),Element(ie))
        goto 100
17 continue

c
Model_No.7 3次元プレテンション動作モデル
        goto 100
18 continue

c
Model_No.8
        goto 100
19 continue

c
Model_No.9
        goto 100
20 continue

c
Model_No.10
        goto 100
        elseif(iett.eq.1)then
            goto(111,112,113,114,115,116,117,118,119,120), iet-10
111 continue

c
Model_No.11 両端ファイバーモデル

```

```

      call Cal_check_stiff_M11(Control,N_analysis,                                ! 12
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model11, E_model_fiber,
*      M_model11, M_model_fiber,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,vv,vpp,f)
c      部材の両端節点力を釣合系に変換
      call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)                ! 13
      do j=1,12
        Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
      enddo
      goto 100
112 continue

c      Model_No.12 両端、中央ファイバーモデル
      call Cal_check_stiff_M12(Control,N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model12, E_model_fiber,
*      M_model12, M_model_fiber,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,vv,vpp,f)
      call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
      do j=1,12
        Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
      enddo
      goto 100
113 continue

c      Model_No.13 両端 MS モデル
      call Cal_check_stiff_M21(N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model21, E_model_fiber,
*      M_model21, M_model_fiber,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,vv,vpp,f)
c      部材の両端節点力を釣合系に変換
      call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
      do j=1,12
        Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
      enddo
      goto 100
114 continue

c      Model_No.14 両端、中央 MS モデル
      call Cal_check_stiff_M22(N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model22, E_model_fiber,
*      M_model22, M_model_fiber,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,vv,vpp,f)
c      部材の両端節点力を釣合系に変換
      call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
      do j=1,12
        Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
      enddo
      goto 100
115 continue

c      Model_No.15 幾何学非線形+弾塑性型有限要素モデル
      call Cal_check_stiff_M15(Control,N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model15, E_model_fiber,

```

```

*      M_model15, M_model_fiber,
*      Bilinear_work, Trilinear_work, Concrete_work, vv, vpp, f)
c                                          部材の両端節点力を釣合系に変換
    do j=1,6
      f(j)=-Member(i).stress(j)
    enddo
    do j=7,12
      f(j)=Member(i).stress(j)
    enddo
    call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
    do j=1,12
      Member(i).force(j)= ff(j)
    enddo
    goto 100
116 continue

c                                          Model_No.16 両端アナロジーモデル
    call Cal_check_stiff_M31(N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model31, E_model_fiber,
*      M_model31, M_model_fiber,
*      vv,vpp,f)
c                                          部材の両端節点力を釣合系に変換
    call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
    do j=1,12
      Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
    enddo
    goto 100
117 continue

c                                          Model_No.17 両端、中央アナロジーモデル
    call Cal_check_stiff_M32(N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model32, E_model_fiber,
*      M_model32, M_model_fiber,
*      vv,vpp,f)
c                                          部材の両端節点力を釣合系に変換
    call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
    do j=1,12
      Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
    Enddo
    goto 100
118 continue

c                                          Model_No.18
    call Cal_check_stiff_M13(Control,N_analysis,
*      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
*      E_model13, E_model_fiber,
*      M_model13, M_model_fiber,
*      Bilinear_work,Trilinear_work,Concrete_work,vv,vpp,f)
    call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
    do j=1,12
      Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
    enddo
    goto 100
119 continue

c                                          Model_No.19 両端、中央アナロジーモデル

```

```

c      call Cal_check_stiff_M33(N_analysis,
c      *      mem,Model_type,Member(i),Element(ie),
c      *      E_model33, E_model_fiber,
c      *      M_model33, M_model_fiber,
c      *      vv,vpp,f,me_x)
c
c      部材の両端節点力を釣合系に変換
c      call RotateL_v(2,f,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),ff)
c      do j=1,12
c      Member(i).force(j)=Member(i).force(j)+ff(j)
c      enddo
c      goto 100
120 continue
c
c      Model_No.20
c      goto 100
c      endif
c      goto 100
9999 continue
c
c      Model_No.DLL
c      call Cal_check_stiff_dll(mem,Member(i),Element(ie),
c      *      work1_element,work2_element,work1_member,work2_member,
c      *      vv,ak)
c
c      部材の接線剛性を釣合系に変換
100 continue
c      end do
c      return
c      end
C
C      SUBROUTINE /Check_Maxwell_stress
C
C      Maxwell model の応力計算
C
c      subroutine Check_Maxwell_stress(Member,n_member,
c      *      Element,E_model6_real,Newmark_P)
c      implicit real*8(A-H,O-Z)
c      include "submain.h"
c      record / member_s      / Member
c      record / element_s     / Element
c      record / E_model6_real_s / E_model6_real
c      record / newmark_s     / Newmark_P
c      dimension Member(*),Element(*),E_model6_real(*)
c
c      do i=1,n_member
c
c      要素及びモデルのセット
c
c      iet = Member(i).element_type
c      ie  = Member(i).nm_element
c      ien = Member(i).n_model_type
c      if(iet.eq.6)then
c
c      ! 14
c      Model_No.6 3次元制震 Maxwell モデル(ok)
c      call Check_maxwelldamp(E_model6_real(ien),Element(ie),Newmark_P)
c      endif
c      end do
c      return
c      end

```



上記のサブルーチンの構造は、手続き上多少長くなっているが、前節で説明したプログラムの構造とほとんど同じとなっている。従って、全体の流れを理解することは容易である。前節のサブルーチンと異なっている部分を中心に、このサブルーチンの説明を行う。

1. 最初に、各部材両端の変位を取り出す。部材の拘束条件 `Member(i).irest(j)` をチェックし、部材両端の増分前の変位と増分後の変位をセットする。
2. 部材両端の材端力 `f` をゼロクリアする。
3. 増分後の変位 `v` を釣合座標系から部材座標系 `vv` に変換する。
4. 増分前の変位 `vp` を釣合座標系から部材座標系 `vpp` に変換する。
5. 要素番号を構造体の成分 `Element(ie).n_element` から取得する。他のパラメータは、第4.12節を参照されたい。
6. 部材モデル番号にしたがって処理を分類し、ここでは、有限要素弾性モデルの処理が行われる。ただし、弾性モデルであるので、チェックを行う処理はなく、両端の応力 `Member(i).stress(j)` から材端節点力 `f` にデータをコピーする。さらに、この材端節点力をサブルーチン `Rotatel_y()` を用いて、釣合座標系に変換する。最後に、この材端力を構造体の成分 `Member(i).force(j)` にセットする。この構造体を用いて、式(3.54)の中の  $Q(y_n)$  が求められる。
7. ここでは、せん断型弾塑性モデルの履歴をチェックする。まず、解析種別番号が9以上の場合に、サブルーチン `Cal_check_M2()` がコールされ、処理が実行される。解析種別が弾性解析もしくは幾何学的非線形解析の場合はこの処理は行われない。
8. 次に、材端応力を材端力にコピーする。
9. 材端力を部材座標系から釣合座標系に変換する。
10. 変換した材端力を構造体成分 `Member(i).force(j)` にセットする。
11. ここでは、座屈を考慮した3次元軸力モデルの履歴をチェックする。後の処理は前モデルと同一である。以後は、同様な処理が続く。
12. ここでは、両端ファイバーモデルの履歴をチェックする。この内容については、次章の部材モデルで詳細に解説する。増分の材端力をこのサブルーチンから得る。
13. 増分の材端力 `f` を部材座標系から釣合座標系に変換し、構造体に足しこむ。以下、他の部材モデルに対して同様な処理が続く。
14. ここでは、部材モデル番号が6であるMaxwellモデルについてのみ、履歴チェックを行う。

解析種別番号 9、10  
は、  
9：弾塑性解析  
10：幾何学的非線形  
+ 弾塑性解析  
である。

部材モデルの第2層に関する例として、せん断弾塑性モデルについて説明する。このサブルーチン Cal\_check\_stiff\_M2()は、せん断型弾塑性モデルの履歴特性を管理するシステムであり、最上位層と同様の構造を有している。また、部材モデルとして、さらに深い階層構造を有する静的縮合モデルについては、次章で詳細に述べるつもりである。

サブルーチン Cal\_check\_stiff\_M2()のプログラムコードを、まず見てみよう。

```

C
C      SUBROUTINE /Cal_check_stiff_M2
C
C      Model_No.2 3次元せん断弾塑性モデル
C
      subroutine Cal_check_stiff_M2(Member,Element,RO_work,vv,vpp)
      implicit real*8(A-H,O-Z)
      include "submain.h"
      include "submainx.h"
      record / member_s2      / Member
      record / element_s2     / Element
      record / RO_work_s      / RO_work
      dimension vv(12),vpp(12),RO_work(*)
C
C      3次元せん断弾塑性モデル（モデルNo.2）
C
c      要素数（モデルNo.2 3次元せん断弾塑性モデル：トリリニア型）
c      element_s 構造体と同一
c
c      structure / element_s2/
c      integer element_type ! 要素タイプ(6)
c      integer n_element   ! 非線形要素番号
c      real*8 AK_1          ! 第一剛性
c      real*8 AK_2          ! 第二剛性
c      real*8 AK_3          ! 第三剛性
c      real*8 Q_1           ! 第一折れ点のせん断力
c      real*8 Q_2           ! 第二折れ点のせん断力
c      real*8 AKu           ! 軸方向バネ
c      real*8 dm1           ! ダミー
c      real*8 dm2           ! ダミー
c      real*8 dm3           ! ダミー
c      real*8 dm4           ! ダミー
c      integer nm_damp      ! 部材減衰の有無(1)
c      integer nm_type      ! 履歴モデルのタイプ
c      real*8 ANP           ! 軸方向耐力
c      real*8 AQPv          ! y方向耐力
c      real*8 AQPw          ! z方向耐力
c      real*8 dmm(3)        ! ダミー
c      end structure
c      record /element_s2/ Element
c      ALLOCATABLE ::Element(:)
c      ALLOCATE (Element(n_element))

```

```

C
C      3次元せん断弾塑性モデル用 (モデル No.2) member_s 構造体
C
C      部材
C      structure / member_s2/
C      integer nm_element      ! 要素番号
C      integer element_type    ! 要素タイプ
C      integer n_element_type  ! 要素タイプ別番号
C      integer nm_so           ! 部材の層番号
C      integer nm_dll_element  ! DLL を用いた要素か ( 0 ; システム内要素、 1 : DLL 要素 )
C      integer nm_point(2)    ! 節点番号
C      integer irest(12)      ! 部材両端の自由度番号表
C      integer istat_v         ! y 方向:履歴特性の状態(*)
C      integer istat_w         ! z 方向:履歴特性の状態(*)
C      integer nm_analysis    ! 部材解析種別
C      integer nm_group       ! 部材グループ
C      integer nm_local_coord(2) ! 局所座標系の有無とその回転行列の番号
C      integer nm_damp        ! 部材減衰の有無とその減衰行列の番号
C      real*8 alength         ! 長さ
C      real*8 rot_x           ! 部材主軸の回転角度 ( 度 )
C      real*8 force(12)       ! 部材両端の部材端力 ( 釣合座標系 )
C      real*8 stress(6)       ! 部材中央の応力 ( 部材座標系 )
C      real*8 AKv_tan         ! 接線剛性(*)
C      real*8 AKw_tan         ! 接線剛性(*)
C      real*8 dmw(5)          ! y 方向耐力:履歴特性で使用(*)
C      real*8 dmw(5)          ! z 方向耐力:履歴特性で使用(*)
C      end structure
C
C      ALLOCATABLE :: Member (:)
C      ALLOCATE (Member (n_member))
C      Element      structure
C      Member       structure
C      ak_linear    real*8   線形剛性行列
C
C      No_rireki=Element.nm_type                      ! 1
C      if(No_rireki/10.eq.0) then                      ! 2
C      goto(5,10,20,30,40,50,60),No_rireki+1        ! 3
5  continue
C
C      規定モデル：武田モデル
C      call Takeda_TriLiner(Member,Element,vv,vpp)    ! 4
C      goto 999
10 continue
C
C      トリリニア：Nomal
C      call Mesing_TriLiner(Member,Element,vv,vpp)    ! 5
C      goto 999
20 continue
C
C      トリリニア：最大点指向型
C      call DirecMax_TriLiner(Member,Element,vv,vpp) ! 6
C      goto 999
30 continue
C
C      トリリニア：武田モデル
C      call Takeda_TriLiner(Member,Element,vv,vpp)    ! 7
C      goto 999

```

```

40 continue
c                                     バイリニア : Normal
    if(Member.istat_v.eq.0.and.Member.istat_w.eq.0) then                ! 8
      Element.AK_2=Element.AK_1
      Element.Q_2 =Element.Q_1
    endif
    call Mesing_TriLiner(Member,Element,vv,vpp)
    goto 999
50 continue
c                                     欠番
    goto 999                                                            ! 9
60 continue
c                                     欠番
    goto 999
    elseif(No_rireki/10.eq.1) then
      goto(101,102),No_rireki - 10
101 continue
c                                     修正バイリニアモデル
    mro=Element.n_section(1)                                           ! 10
    write(222,'(A20,I5)') 'Modify Bi-Liner', mro
    call Modify_Bi_Liner1(Member,Element,RO_work(mro),vv,vpp)
    goto 999
102 continue
c                                     修正 R0 モデル
    mro=Element.n_section(1)                                           ! 11
    write(222,'(A20,I5)') 'Modify R-0', mro
    call Modify_R01(Member,Element,RO_work(mro),vv,vpp)
    goto 999
    endif
999 continue
    return
end

```

プログラムで分かるように、せん断型モデルの履歴特性が階層として並んでいる。この部材モデル第2層の構造を確認しながら、プログラムコードの内容を見られたい。なお、タイプ別の履歴モデル番号は以下の用である。

**タイプ別の履歴モデル番号**  
 規定値 0 は、武田モデルとする。

- 1 : トリリニア
- 2 : 最大点指向型
- 3 : 武田モデル
- 4 : バイリニア
- 11 : 修正バイリニア
- 12 : 修正 R-0

1. 当該部材の要素構造体成分 Element.nm\_typ より、履歴番号を取得する。

2. 履歴番号 No\_rirekki が 10 以内であるかどうかチェックし、以内であれば次の処理を行う。
3. 履歴番号 No\_rirekki にしたがって処理を分類する。
4. 履歴番号にしたがって処理を分類し、ここでは規定値:0 である武田モデルの履歴を処理するサブルーチン Takeda\_TriLiner() がコールされる。
5. ここでは履歴番号:1 であるトリリニアモデルの履歴を処理するサブルーチン Mesing\_TriLiner() がコールされる。
6. ここでは履歴番号:2 である最大点指向型モデルの履歴を処理するサブルーチン DirecMax\_TriLiner() がコールされる。
7. ここでは履歴番号:3 である武田モデルの履歴を処理するサブルーチン Takeda\_TriLiner() がコールされる。
8. ここでは履歴番号:4 であるバイリニアモデルの履歴を処理する場所であるが、第 3 剛性と第 2 折れ点のデータを変更して、サブルーチン Mesing\_TriLiner() がコールされる。
9. これ以降のシングル番号は、現在欠番になっており、ダミー処理を行っている。
10. ここでは履歴番号:11 である修正バイリニアモデルの履歴を処理するサブルーチン Modify\_Bi\_Liner1() がコールされる。
11. ここでは履歴番号:12 である修正 R0 モデルの履歴を処理するサブルーチン Modify\_R01 () がコールされる。

せん断弾塑性モデルの履歴階層は、非常に単純な構造なので直ぐに理解できよう。せん断弾塑性モデルに新たな履歴特性を加えるには、この階層に仕様を考慮してサブルーチンを付け加えることになる。これについては、第 9 章で詳細に解説する。

#### 4.15 接線剛性

本節では、最後の部材モデルの階層構造を有するサブルーチンとして、非線形剛性を作成するサブルーチンについて説明する。このサブルーチン Get\_nonlinear\_stiff() も部材モデルの第 1 階層を有している。まず、このサブルーチンをコールするコードを示す。

```

c                                     接線剛性の計算(ok)
call Get_nonlinear_stiff(Control.type_analysis,
*   ak_nonlinear,Member,n_member,
*   Model_type,Element,past_disp_point,disp_point,rot_memb,
*   E_model6_real,E_model7_real,E_model_fiber,M_model_fiber,
```

```

*      E_model11, M_model11,
*      E_model12, M_model12,
*      E_model13, M_model13,
*      E_model15, M_model15,
*      E_model21, M_model21,
*      E_model22, M_model22,
*      E_model31, M_model31,
*      E_model32, M_model32,
*      E_model33, M_model33,
*      MSS_work,
*      work1_element,work2_element, work1_member, work2_member )

```

このサブルーチンコールも多数の引数を有しており、今後も部材モデルが増加することに増加する。次に、このサブルーチンの内容を以下に示す。

```

C
C      SUBROUTINE /Get_nonlinear_stiff
C
C      接線剛性行列の計算(ok)
C
      subroutine Get_nonlinear_stiff(N_analysis,
*      ak_nonlinear,Member,n_member,
*      Model_type,Element,past_disp_point,disp_point,rot_memb,
*      E_model6_real,E_model7_real,E_model_fiber,M_model_fiber,
*      E_model11, M_model11,
*      E_model12, M_model12,
*      E_model13, M_model13,
*      E_model15, M_model15,
*      E_model21, M_model21,
*      E_model22, M_model22,
*      E_model31, M_model31,
*      E_model32, M_model32,
*      E_model33, M_model33,
*      MSS_work,
*      work1_element,work2_element, work1_member, work2_member)
C
      implicit real*8(A-H,O-Z)
      include "submain.h"
      include "submainx.h"
      record / member_s      / Member
      record / element_s     / Element
      record / n_model_s     / Model_type
C
C      Model_No.1 通常の有限要素弾塑性モデル
C
C
C      Model_No.2 3次元せん断弾塑性モデル
C
      record /element2_s / Element
      record /member2_s / Member
C
C      Model_No.3 3次元軸力弾塑性モデル
C
      record / N_Buckling_s      /      N_Buckling
C
C      Model_No.4 3次元ケーブル弾塑性モデル
C
      record /element4_s / Element
      record /member4_s / Member

```

```

c
c      record /element5_s / Element
c      record /member5_s / Member
c      record / MSS_work_s / MSS_work
c
c      Model_No.5 3次元免振モデル
c
c      record /element6_s / Element
c      record / E_model6_real_s / E_model6_real
c
c      Model_No.6 3次元制震 Maxwell モデル
c
c      record /element7_s / Element
c      record /member7_s / Member
c      record / E_model7_real_s / E_model7_real
c
c      Model_No.7 3次元バネモデル
c
c      record / E_model11_s / E_model11
c      record / M_model11_s / M_model11
c
c      Model_No.11 両端ファイバーモデル
c
c      record / E_model12_s / E_model12
c      record / M_model12_s / M_model12
c
c      Model_No.12 両端、中央ファイバーモデル
c
c      record / E_model13_s / E_model13
c      record / M_model13_s / M_model13
c
c      Model_No.13 両端ピン、中央ファイバーモデル
c
c      record / E_model15_s / E_model15
c      record / M_model15_s / M_model15
c
c      Model_No.15 両端ファイバーFEM モデル
c
c      record / E_model21_s / E_model21
c      record / M_model21_s / M_model21
c
c      Model_No.21 両端 MS モデル
c
c      record / E_model22_s / E_model22
c      record / M_model22_s / M_model22
c
c      Model_No.22 両端、中央 MS モデル
c
c      record / E_model31_s / E_model31
c      record / M_model31_s / M_model31
c
c      Model_No.31 両端アナロジーモデル
c
c      record / E_model32_s / E_model32
c      record / M_model32_s / M_model32
c
c      Model_No.32 両端、中央アナロジーモデル
c
c      record / E_model33_s / E_model33
c      record / M_model33_s / M_model33
c
c      Model_No.33 両端、中央アナロジーモデル
c
c      record / E_model51_s / E_model51
c      record / M_model51_s / M_model51
c
c      Model_No.51 3次元プレテンション動作モデル
c
c      ファイバーモデル用エリア
c
c      record / E_model_fiber_s / E_model_fiber
c      record / M_model_fiber_s / M_model_fiber
c
c
c      dimension Member(*),Element(*),MSS_work(*)
c      dimension ak_nonlinear(12,12,*),rot_memb(3,3,2,*)
c      dimension work1_element(*),work2_element(*),
c      *      work1_member(*), work2_member(*)
c      dimension past_disp_point(*),disp_point(*),v(12),ak(12,12)
c      dimension vv(12)
c
c
c      if(N_analysis.eq.7) return ! 線形解析;7
c      do 9999 i=1,n_member

```

1

```

      if(Member(i).nm_analysis .eq. -1) goto 9999 ! 各部材の解析種別のチェック(-1:線形解析) 2
c                                          部材両端の変位取得
      do j=1,12                                          ! 3
      ires=Member(i).irest(j)
      if(ires.gt.0) then
      v(j)=past_disp_point(ires)
      else
      v(j)=0.
      endif
      enddo
c                                          変位を釣合系から部材座標系に変換
      call RotateL_v(1,v,rot_memb(1,1,1,i),rot_memb(1,1,2,i),vv) ! 4
c                                          要素及びモデルのセット
      mem = i
      iet = Member(i).element_type
      iett=(iet-1)/10
      ie = Member(i).nm_element
      im = Element(ie).n_element
      imm = Member(i).n_element_type
      ien= Member(i).n_model_type
      if(Member(i).nm_dll_element .ne. 0) goto 9998 ! DLL 要素
      if(iett.eq.0)then
      goto(11,12,13,14,15,16,17,18,19,20),iet          ! 5
11 continue
c                                          Model_No.1 通常の有限要素弾塑性モデル
      if(N_analysis.eq.9) goto 9999 ! 弾塑性解析はなし
      Member(i).an_vv(1)=vv(8)-vv(2) ! 非線形剛性計算のための変位セット
      Member(i).an_wv(1)=vv(9)-vv(3)
      call Cal_nonlin_stiff_M1(Member(i),Element(ie),          ! 6
*                               Member(i).stress(7),ak )
      if(Member(i).i_rigid_length.ne.0..or.
*                               Member(i).j_rigid_length.ne.0.)
*                               call Deal_Rigid_element(ak,
*                               Member(i).i_rigid_length,Member(i).j_rigid_length) ! 7
      goto 100
12 continue
c                                          Model_No.2 3次元せん断弾塑性モデル
      if(N_analysis.eq.8) goto 9999 ! 幾何学的非線型解析はなし ! 8
      call Cal_nonlin_stiff_M2(Member(i),Element(ie),          ! 9
*                               ak )
      goto 100
13 continue
c                                          Model_No.3 3次元軸力弾塑性モデル
      if(N_analysis.eq.9)then                                     ! 弾塑性解析
      call Cal_nonlin_stiff_M3(Member(i),Element(ie),ak)        ! 10
      endif
      if(N_analysis.eq.8.or.N_analysis.eq.10)then               ! 幾何学的非線形解析
      call Cal_geomet_stiff_Nx(Member(i).stress(1),vv,
*                               Member(i),Element(ie),ak)
      endif
      goto 100
14 continue
c                                          Model_No.4 3次元ケーブル弾塑性モデル
      if(N_analysis.eq.8) goto 9999 ! 幾何学的非線型解析はなし

```



```

      call Cal_nonlin_stiff_M4(Member(i),Element(ie),
*      ak )
      goto 100
15 continue

c
                                     Model_No.5 3次元免振モデル
      if(N_analysis.eq.8) goto 9999  ! 幾何学的非線型解析はなし
      iee=Member(i).n_model_type
      call Cal_nonlin_stiff_M5(Member(i),Element(ie),
*      Model_type.n_spring,Model_type.cosin(1,1),
*      MSS_work(iee),ak )
      goto 100
16 continue

c
                                     Model_No.6 3次元制震 Maxwell モデル(ok)
      if(N_analysis.eq.8) goto 9999  ! 幾何学的非線型解析はなし
      goto 9999
17 continue

c
                                     Model_No.7 3次元プレテンション動作モデル
      if(N_analysis.eq.8) goto 9999  ! 幾何学的非線型解析はなし
      goto 100
18 continue

c
                                     Model_No.8
      goto 100
19 continue

c
                                     Model_No.9
      goto 100
20 continue

c
                                     Model_No.10
      goto 100
      elseif(iett.eq.1)then
      goto(111,112,113,114,115,116,117,118,119,120), iet-10
111 continue

c
                                     Model_No.11 両端ファイバーモデル
                                     ! 11
      call Cal_nonlin_stiff_M11(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model11, E_model_fiber,
*      M_model11 , M_model_fiber)
      goto 100
112 continue

c
                                     Model_No.12 両端、中央ファイバーモデル
      call Cal_nonlin_stiff_M12(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model12, E_model_fiber,
*      M_model12 , M_model_fiber)
      goto 100
113 continue

c
                                     Model_No.13 両端 MS モデル
      call Cal_nonlin_stiff_M21(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model21, E_model_fiber,
*      M_model21 , M_model_fiber)
      goto 100
114 continue

c
                                     Model_No.14 両端、中央 MS モデル
      call Cal_nonlin_stiff_M22(N_analysis,

```

```

*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model22, E_model_fiber,
*      M_model22, M_model_fiber)
      goto 100
115 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_M15(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model15, E_model_fiber,
*      M_model15 , M_model_fiber)
      goto 100
116 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_M31(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model31, E_model_fiber,
*      M_model31 , M_model_fiber)
      goto 100
117 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_M32(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak ,ier,E_model32, E_model_fiber,
*      M_model32, M_model_fiber)
      goto 100
118 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_M13(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak,ier,E_model13, E_model_fiber,
*      M_model13,M_model_fiber)
      goto 100
119 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_M33(N_analysis,
*      Model_type,Member(i),Element(ie),
*      ak,ier,E_model33, E_model_fiber,
*      M_model33,M_model_fiber)
      goto 100
120 continue
c
      goto 100
      endif
      goto 100
9998 continue
c
      call Cal_nonlin_stiff_dll(mem,Member(i),Element(ie),
c      * work1_element,work2_element,work1_member,work2_member,
c      * vv,ak)
100 continue
c
      call Rotate_K(ak,rot_memb(1,1,1,i),
*      rot_memb(1,1,2,i),ak_nonlinear(1,1,i))
9999 continue

```

Model\_No.15 幾何学非線形+弾塑性型有限要素モデル

Model\_No.16 両端、中央アナロジーモデル

Model\_No.17 両端、中央アナロジーモデル

Model\_No.18 両端ピン、中央ファイバーモデル

Model\_No.19

Model\_No.20

Model\_No.DLL

部材の接線剛性を釣合系に変換 ! 12

```
return  
end
```

上記のサブルーチンの構造は、手続き上多少長くなっているが、前節で説明したプログラムの構造とほとんど同じとなっている。前節のサブルーチンと異なっている部分を中心に、このサブルーチンの説明を行う。

1. 解析種別で線形解析の場合は、このサブルーチンをスキップする。
2. 当該の部材が線形解析を指定されている場合は、この部材の非線形剛性の再計算を取りやめる。
3. 各部材両端の変位を取り出す。部材の拘束条件 `Member(i).irest(j)` をチェックし、部材両端の増分後の変位をセットする。
4. 両端節点の変位を釣合座標系から部材座標系に変換する。
5. 部材モデル番号で処理が分類され、ここでは、幾何学的非線形解析を行う場合の処理が行われる。まず、非線形剛性を計算するために、面外方向の変位をセットする。
6. 非線形剛性  $ak$  をサブルーチン `Cal_lonlin_stiff_M1()` で求める。
7. 部材両端及びどちらか一方に剛域がある場合は、非線形剛性  $ak$  を、サブルーチン `Deal_Rigid_element()` を用いて変換する。
8. ここでは、せん断型弾塑性モデルについて非線形剛性  $ak$  を求める。ただし、このモデルは幾何学的非線形性は考慮しないため、解析種別が幾何学的非線形解析の場合はここでの処理をスキップする。
9. サブルーチン `Cal_lonlin_stiff_M2()` を用いて非線形剛性  $ak$  を求める。
10. ここでは、座屈を考慮した3次元軸力弾塑性モデルの非線形剛性  $ak$  を求める。弾塑性解析では、サブルーチン `Cal_nonlin_stiff_M3()` を用いて、さらに幾何学的非線形性を考慮する場合は、サブルーチン `Cal_geomet_stiff_Nx()` を用いて、非線形剛性  $ak$  に剛性を足しこむ。これ以降の部材モデルは同様の処理を行う。
11. ここでは、両端ファイバーモデルの非線形剛性  $ak$  を、サブルーチン `Cal_nonlin_stiff_M11()` より求める。静的縮合モデルであるこれ以降の部材モデルに対しては、次章で詳しく解説する。
12. 部材モデル番号で処理を分担して求めた非線形剛性  $ak$  を、サブルーチン `Rotate_K()` を用いて、部材座標系から釣合座標系に変換する。また、その剛性を配列 `ak_nonlinear` に保存する。