หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. Timoshienko, S.P., and Krieger, S.W., Theory of Plates and Shells, Mcgraw-Hill, 1959.

2. Przemieniecki, J.S., Theory of Matrix Structural Analysis, Mcgraw Hill, 1968.

3. Turner, M.J., Clough, R.W., Martin, H.C., and Topp, L.J.," Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures," Journal Aeron Sci., Vol. 23, No. 9, 1956.

4. Zienkiewicz, O.C., The Finite Element Method, Mcgraw Hill, 1977

5. "Finite Element Analysis of Arbitrary This Shell" By Ray. W. Clough and C.PHILIP JOHNSON.

6. O.C. Zienkiewicz, C.J. PAREKH, and I.P. King, Archdams analysed by a linear finite element shell solution program, Proc. Symp. Arch Dams, Inst. Civ. Eng., London, 1968.

7. Clough, R,W., and Tocher, J.L., "Finite Element Stiffness Matrices for the Analysis of Plate Bending," Proceedings, Conference on Matrix Methods in Structural Mechanics, Air Force Institute of technology, Wright - Patterson Air Force Base, Ohio, 1965.

8. Doherty, W.P., Wilson, ElL., and Taylor, R.L., "Stress Analysis of Axisymmetric Solids Utilizing Higher - order Quadrilaterol Finite Elements, " SESM Regort, No. 69-3, University of California, Berkeley, 1966.

9. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., and Too, J.M., "Reduced Integration

Technigue in General Analysis of Plates and Shells,"International Journal for Numerical Methods in Engineering, Vol.3, No.2, 1971.

10. Adini, A., and Clough, R.W., "Analysis of Plate Bending by the Finite Element Method," Report Submitted to the National Science Foundation, Grant G7337, 1960.

11. Fred W. Beaufait, William H. Rowan. Jr, Peter G.Hoadley and Robert M. Hackett., "Computer Methods of Structural Analysis"

12. "Static and Buckling Analysis of Highway Bridges by Finite Element Procedures" By C. Philip Johnson, Thaksin Thepchatri, and Kenneth M. Will.

13. G.S. RAMA SWAMY. "Design and Construction of Concrete Shell-Roofs. Mcgraw - Hill, 1960.

ภาคผนวก ก

LIST OF THE PROGRAM COMPUTER

```
V 360N-FD-479 3-8          MAINPGM          DATE   29/01/80      TIME

C       PROGRAM SHELL (INPUT,OUTPUT)
        DIMENSION      AN1(32),AN2(14)
        DIMENSION IBD(40,7),BVAL(40,6),R(6),IJ(24),S(24,24),XM(4,100)
        DIMENSION YM(4,100),KQ(4,100),TH(100),X(4,100),Y(4,100),Z(4,100),
       .XQ(100),YQ(100),ZQ(100),P(600),ST(600,70),
       .SS(24,24),SM(10,10),SB(12,12),T(24,24),
       .                TT(24,24),TS(24,24),LOCM(8),LOCB(12),LOCR(4)
        DIMENSION NU(4),P5(24,1),P55(24,1),PEB(12,1),PEM(8,1)
        DIMENSION STXM(4),STYM(4),FM(12,1),STB(12)
C       N1=MAX TOTAL NUM OF ELEMENTS
C       L1=MAX TOTAL NUM OF DEGREES OF FREEDOM OF THE SYSTEM
C       L2=MAX HALF BAND WIDTH OF THE SYSTEM
C       L3=MAX TOTAL ELEMENT DEGREES OF FREEDOM
C       NDFRE= NUM OF DEG OF FREEDOM AT EACH NODAL POINT
C       NODES= NUM OF EXTERNAL NODES OF EACH ELEMENT
        DATA    LOCM/1,2,7,8,13,14,19,20/
        DATA    LOCB/3,4,5,9,10,11,15,16,17,21,22,23/
        DATA    LOCR/6,12,18,24/
        DATA    T/576*0.0/,TT/576*0.0/,S/576*0.0/
        N1=80
        L1=600
        L2=70
        L3=24
        NDFRE=6
        NODES=4
    1 FORMAT(1H1)
   12 FORMAT(16A4)
   13 FORMAT(5X,16A4)
   14 FORMAT(I5,5X,14A4)
   15 FORMAT(///,5X,'PROBLEM',I5,5X,14A4,///)
   20 FORMAT(3I5)
   21 FORMAT(//5X,'NUM OF ELEMENTS_____________',I5/
     .          5X,'NUM OF POINTS_____________',I5/
     .          5X,'NUM OF BOUNDARY POINTS_____',I5///
     .          5X,'NUM OF ELEM DEG OF FREEDOM___',I5/
     .          5X,'NUM OF ELEM NODES___________',I5///)
   22 FORMAT(2E10.3)
   23 FORMAT(5X,'MOD OF ELASTICITY_____________',E10.3/
     .        5X,'POISSONS RATIO_________________',E10.3//)
   24 FORMAT(3E10.3)
   25 FORMAT(5X,I3,3E15.3)
   26 FORMAT(5X,'POINT',10X,'X',14X,'Y',14X,'Z')
   27 FORMAT(/5X,'ELEMNUM',5X,'ELEMNODES(I,J,K,L)',2X,'THICKNESS')
   28 FORMAT(4I5,E10.4)
   29 FORMAT(5X,I5,6X,4I5,E13.4)
   30 FORMAT(I4,6I1,5X,6E10.3)
   31 FORMAT(4X,I4,3X,3I1,2X,3I1,1X,6E10.3)
```

```
   32 FORMAT(///5X,'BOUNDARY CONDITION'/
     .10X,'TRAN',2X,'ROTA',5X,'BOUNDARY VALUES(TRAN)',8X,
     .'BOUNDARY VALUES (ROTA)'/
     .5X,'NODE',2X,'XYZ   XYZ',7X,'X',9X,'Y',9X,'Z',
     .9X,'X',9X,'Y',9X,'Z')
   35 FORMAT(I5)
   36 FORMAT (//5X,'NUM OF LOADED POINTS_____',I5)
   39 FORMAT(//5X,'APPLIED LOADS'/
     .15X,'FORCES IN DIRECTION',
     .10X,'MOMENTS ABOUT DIRECTION'/
     .5X,'NODE',6X,'X',9X,'Y',9X,'Z',9X,'X',9X,'Y',9X,'Z')
   40 FORMAT(I5,5X,6E10.4)
   41 FORMAT(3X,I5,2X,6E10.4)
   50 FORMAT(20X,'COMPUTED NODAL POINT DISPLACEMENT'//
     .10X,'DISPLACEMENTS IN DIRECTIONS',15X,
     .'ROTATIONS ABOUT AXES'/
     .5X,'NODE',6X,'X',9X,'Y',9X,'Z',9X,'X',9X,'Y',9X,'Z'/)
   51 FORMAT (3X,I5,2X,6E10.3)
  261 FORMAT (/5X,'NODAL POINTS COORDINATES'/)
  271 FORMAT (///5X,'NODAL POINTS NUMBER AND THICKNESS OF EACH ELEMENT'
C     PROGRAM AND PROBLEM IDENTIFICATION
      READ (1,12)   (AN1(I),I=1,32)
 1010 READ (1,14)   NPROB,(AN2(I),I=1,14)
      IF(NPROB.EQ.0)STOP
      WRITE (3,1)
      WRITE (3,13)   (AN1(I),I=1,32)
      WRITE (3,15)   NPROB,(AN2(I),I=1,14)
C     INPUT NUM OF ELEMENTS,NUM OF TOTAL NODAL POINTS, NUM OF
C     BOUNDARY POINTS,NUM OF ELEMENT DEGREE OF FREEDOM ,NUM OF ELEMENT
C     NODES
      READ (1,20)    NUMEL,NUPTS,NUBPTS
      WRITE (3,21)    NUMEL,NUPTS,NUBPTS,NDFRE,NCDES
      NN=NDFRE*NCDES
      NTPTS=NUPTS*NDFRE
      NFP1=NDFRE+1
C     INPUT ELASTIC CONSTANTS
      READ (1,22)    EM,PR
      WRITE (3,23)    EM,PR
C     INPUT NODAL POINT COORDINATES
      WRITE (3,261)
      WRITE (3,26)
      DO 200 I=1,NUPTS
      READ (1,24) XQ(I),YQ(I),ZQ(I)
      WRITE  (3,25)     I,XQ(I),YQ(I),ZQ(I)
  200 CONTINUE
C     INPUT NODAL POINT NUMBERS OF EACH ELEMENTS AND ELEM THICKNESS
      WRITE (3,271)
      WRITE (3,27)
      DO 220 M=1,NUMEL
      READ (1,28) (KQ(I,M),I=1,NODES),TH(M)
      WRITE (3,29)    M,(KQ(I,M),I=1,NODES),TH(M)
```

```
      DO 215 J=1,NODES
      K=KQ(J,M)
      X(J,M)=XQ(K)
      Y(J,M)=YQ(K)
      Z(J,M)=ZQ(K)
  215 CONTINUE
  220 CONTINUE
      DO 240 I=1,L2
      DO 240 J=1,L1
        ST(J,I)=0.0
  240 CONTINUE
C     CALCULATE DIMENSION OF ELEMENT IN LOCAL COORDINATE
      DO 250 L=1,NUMEL
      XL1=X(2,L)-X(1,L)
      XL2=Y(2,L)-Y(1,L)
      XL3=Z(2,L)-Z(1,L)
      DL=SQRT(XL1**2+XL2**2+ XL3**2)
      XM(1,L)=0.0
      XM(4,L)=0.0
      XM(2,L)=DL
      XM(3,L)=DL
      YL1=X(4,L)-X(1,L)
      YL2=Y(4,L)-Y(1,L)
      YL3=Z(4,L)-Z(1,L)
      YL=SQRT(YL1**2+YL2**2+YL3**2)
      YM(1,L)=0.0
      YM(2,L)=0.0
      YM(3,L)=YL
      YM(4,L)=YL
      CALL QM5STF (L,XM(1,L),XM(2,L),XM(3,L),XM(4,L),YM(1,L),YM(2,L)
     .YM(3,L),YM(4,L),TH(L),SM,EM,PR)
      DO 252 I=1,8
      II=LOCM(I)
      DO 252 J=1,8
      JJ=LOCM(J)
      S(II,JJ)=SM(I,J)
  252 CONTINUE
      CALL RSTFCB (DL,YL,EM,TH(L),PR,SB)
      DO 253 I=1,12
      II=LOCB(I)
      DO 253 J=1,12
      JJ=LOCB(J)
      S(II,JJ)=SB(I,J)
  253 CONTINUE
C     CALCULATE A FICTITICUS ROTATIONAL STIFFNESS
      FACT=0.001*EM*TH(L)*DL*YL
      DO 251 I=1,4
      II=LOCR(I)
      DO 251 J=1,4
      JJ=LOCR(J)
      IF(II.EQ.JJ) GO TO 258
```

```
      S(II,JJ)=-0.5*FACT
      GO TO 251
  258 S(II,JJ)=1.5*FACT
  251 CONTINUE
C     CALCULATE TRANSFORMATION MATRIX
      DA1=X(2,L)-X(1,L)
      DA2=Y(2,L)-Y(1,L)
      DA3=Z(2,L)-Z(1,L)
      DA4=SQRT(DA1**2+DA2**2+DA3**2)
      CX=DA1/DA4
      CY=DA2/DA4
      CZ=DA3/DA4
      SINY=CZ/SQRT(CX**2+CZ**2)
      COSY=CX/SQRT(CX**2+CZ**2)
      SINZ=CY
      COSZ=SQRT(CX**2+CZ**2)
      DA5=X(4,L)-X(1,L)
      DA6=Y(4,L)-Y(1,L)
      DA7=Z(4,L)-Z(1,L)
      RXZ=SQRT(CX**2+CZ**2)
      DA8=-(CX*CY/RXZ)*DA5+RXZ*DA6-(CY*CZ/RXZ)*DA7
      DA9=-(CZ/RXZ)*DA5+(CX/RXZ)*DA7
      SINX=DA9/SQRT(DA8**2+DA9**2)
      COSX=DA8/SQRT(DA8**2+DA9**2)
      DO 254 M=1,NN,3
      T(M,M)=CX
      T(M,M+1)=CY
      T(M,M+2)= CZ
      T(M+1,M)=(-CX*CY*COSX-CZ*SINX)/RXZ
      T(M+1,M+1)=RXZ*COSX
      T(M+1,M+2)=(-CY*CZ*COSX+CX*SINX)/RXZ
      T(M+2,M)=(CX*CY*SINX-CZ*COSX)/RXZ
      T(M+2,M+1)=-RXZ*SINX
      T(M+2,M+2)=( CY*CZ*SINX+CX*COSX)/RXZ
      TT(M,M)=T(M,M)
      TT(M,M+1)=T(M+1,M)
      TT(M,M+2)=T(M+2,M)
      TT(M+1,M)=T(M,M+1)
      TT(M+1,M+1)=T(M+1,M+1)
      TT(M+1,M+2)=T(M+2,M+1)
      TT(M+2,M)=T(M,M+2)
      TT(M+2,M+1)=T(M+1,M+2)
      TT(M+2,M+2)=T(M+2,M+2)
  254 CONTINUE
      CALL MULMAT (TT,S,TS,NN,NN,NN)
      CALL MULMAT (TS,T,SS,NN,NN,NN)
      K=0
      DO 245 I=1,NODES
      DO 245 J=1,NDFRE
      K=K+1
      IJ(K)=NDFRE*(KQ(I,L)-1)+J
  245 CONTINUE
```

```
      CALL ADSTIF (SS,ST,NBAND,IJ,NN,L1,L2,L3)
  250 CONTINUE
C     INPUT SPECIFIED BOUNDARY DISPLACEMENTS
      WRITE (3,32)
      DO 260 N=1,NUBPTS
      READ  (1,30)   (IBD(N,K),K=1,NFP1),(BVAL(N,K),K=1,NDFRE)
      WRITE (3,31)   (IBD(N,K),K=1,NFP1),(BVAL(N,K),K=1,NDFRE)
  260 CONTINUE
      DO 310 I=1,NTPTS
      P(I)=0.0
  310 CONTINUE
C     INPUT NUM OF LOADED POINTS AND NODAL POINT LOADS
      READ  (1,35)   NLPTS
      WRITE (3,36)   NLPTS
      WRITE (3,39)
      DO 350  J=1,NLPTS
      READ  (1,40)   M,(R(K),K=1,NDFRE)
      WRITE (3,41)   M,(R(K),K=1,NDFRE)
      DO 350  K=1,NDFRE
      I=NDFRE*(M-1)+K
      P(I)=P(I)+R(K)
  350 CONTINUE
      DO 370  N=1,NUBPTS
      DO 360  K=2,NFP1
      IF(IBD(N,K).EQ.0)  GO TO 360
      NEQ=NDFRE*(IBD(N,1)-1)+K-1
      VALUE=BVAL(N,K-1)
      CALL BC (ST,P,NEQ,VALUE,NBAND,L1,L2)
  360 CONTINUE
  370 CONTINUE
      CALL BANEL (ST,NTPTS,NBAND,L1,L2)
      CALL BANSOL (ST,P,P,NTPTS,NBAND,L1,L2)
C     OUTPUT COMPUTED DISPLACEMENTS
      WRITE (3,1)
      WRITE (3,50)
      DO 400 I=1,NUPTS
      II=NDFRE*I-NDFRE+1
      JJ=NDFRE*I
      WRITE (3,51)   I,(P(K),K=II,JJ)
  400 CONTINUE
      DO 500 M5=1,NUMEL
      XL1=X(2,M5)-X(1,M5)
      XL2=Y(2,M5)-Y(1,M5)
      XL3=Z(2,M5)-Z(1,M5)
      DL=SQRT(XL1**2+XL2**2+ XL3**2)
      YL1=X(4,M5)-X(1,M5)
      YL2=Y(4,M5)-Y(1,M5)
      YL3=Z(4,M5)-Z(1,M5)
      YL=SQRT(YL1**2+YL2**2+YL3**2)
      CX=XL1/DL
      CY=XL2/DL
      CZ=XL3/DL
```

```
      SINY=CZ/SQRT(CX**2+CZ**2)
      COSY=CX/SQRT(CX**2+CZ**2)
      SINZ=CY
      COSZ=SQRT(CX**2+CZ**2)
      RXZ=SQRT(CX**2+CZ**2)
      DA8=-(CX*CY/RXZ)*YL1+RXZ*YL2-(CY*CZ/RXZ)*YL3
      DA9=-(CZ/RXZ)*YL1+(CX/RXZ)*YL3
      SINX=DA9/SQRT(DA8**2+DA9**2)
      COSX=DA8/SQRT(DA8**2+DA9**2)
      DO 507 M=1,NN,3
      T(M,M)=CX
      T(M,M+1)=CY
      T(M,M+2)= CZ
      T(M+1,M)=(-CX*CY*COSX-CZ*SINX)/RXZ
      T(M+1,M+1)=RXZ*COSX
      T(M+1,M+2)=(-CY*CZ*COSX+CX*SINX)/RXZ
      T(M+2,M)= (CX*CY*SINX-CZ*COSX)/RXZ
      T(M+2,M+1)=-RXZ*SINX
      T(M+2,M+2)=( CY*CZ*SINX+CX*COSX)/RXZ
  507 CONTINUE
      N5=0
      DO 501 I5=1,NODES
      NU(I5)=KQ(I5,M5)
      II5=NDFRE*NU(I5)-NDFRE+1
      JJ5=NDFRE*NU(I5)
      DO 502 N55=II5,JJ5
      N5=N5+1
      P5(N5,1)=P(N55)
  502 CONTINUE
  501 CONTINUE
      DO 503 L5=1,24
  503 P55(L5,1)=0.
      DO 504 I5=1,24
      DO 504 J5=1,1
      DO 504 K5=1,24
  504 P55(I5,J5)=P55(I5,J5)+T(I5,K5)*P5(K5,J5)
      N5=0
      N6=0
      DO 505 I5=1,NODES
      II5=NDFRE*I5-NDFRE+3
      JJ5=NDFRE*I5-1
      DO 506 N55=II5,JJ5
      N5=N5+1
      PEB(N5,1)=P55(N55,1)
  506 CONTINUE
      II6=NDFRE*I5-NDFRE+1
      JJ6=NDFRE*I5-4
      DO 5066 N66=II6,JJ6
      N6=N6+1
      PEM(N6,1)=P55(N66,1)
 5066 CONTINUE
  505 CONTINUE
```

```
      CALL MEMS (M5,XM(1,M5),XM(2,M5),XM(3,M5),XM(4,M5),YM(1,M5),
     .YM(2,M5),YM(3,M5),YM(4,M5),EM,PR,TH(M5),PEM,STXM,STYM,STXYM)
      CALL BENS (DL,YL,EM,TH(M5),PR,PEB,FM)
      WRITE(3,555)
555   FORMAT (10X,'ELE.NO.',5X,'NODES',10X,'F-X',10X,'F-Y',10X,'F-XY
     .',10X,'M-X',10X,'M-Y',10X,'M-XY')
      WRITE(3,556) M5,NU(1),STXM(1),STYM(1),STXYM,FM(1,1),FM(2,1),
     .  FM(3,1),     M5,NU(2),STXM(2),STYM(2),STXYM,FM(4,1),FM(5,1),
     .  FM(6,1),     M5,NU(3),STXM(3),STYM(3),STXYM,FM(7,1),FM(8,1),
     .  FM(9,1),     M5,NU(4),STXM(4),STYM(4),STXYM,FM(10,1),FM(11,1),
     .  FM(12,1)
556   FORMAT(11X,I4,7X,I3,6X,6E14.4)
500   CONTINUE
      GO TO 1010
      END
```

```
      SUBROUTINE QM5STF (L,XX1,XX2,XX3,XX4,YY1,YY2,YY3,YY4,TH,GG,E,PR
C     Q45 MEMBRANE STIFFNESS  MATRIX FOR A GENERAL QUAD
      DIMENSION QQ(10,10),QC(3,10),DD(3,3),SS(4),TT(4)
      DATA SS/-1.,1.,1.,-1./, TT/-1.,-1.,1.,1./
      DO 6 I=1,10
      DO 6 J=1,10
    6 QQ(I,J)=0.0
      FAC=E*TH/(1.-PR*PR)
      DD(1,1)=FAC
      DD(1,2)=FAC*PR
      DD(1,3)=0.
      DD(2,1)=DD(1,2)
      DD(2,2)=FAC
      DD(2,3)=0.
      DD(3,1)=0.
      DD(3,2)=0.
      DD(3,3)=(1.-PR)*FAC*.5
      R12=XX1-XX2
      R13=XX1-XX3
      R14=XX1-XX4
      R23=XX2-XX3
      R24=XX2-XX4
      R34=XX3-XX4
      Z12=YY1-YY2
      Z13=YY1-YY3
      Z14=YY1-YY4
      Z23=YY2-YY3
      Z24=YY2-YY4
      Z34=YY3-YY4
      VOL=R13*Z24-R24*Z13
      CALL QM5C2 (R13,R24,Z13,Z24,VOL,X5,X6,X7,X8,Y5,Y6,Y7,Y8)
      DO 30 II=1,4
      S=SS(II)*0.577350269
      T=TT(II)*0.577350269
      CALL QM5C1 (S,T,R12,R13,R14,R23,R24,R34,Z12,Z13,Z14,Z23,Z24,Z34,
     .VOL,X1,X2,X3,X4,XC,Y1,Y2,Y3,Y4,YC,XJAC,XX1,XX2,XX3,XX4,
     .YY1,YY2,YY3,YY4)
C     FORM STIFFNESS GQ
      DO 10 I=1,3
      D1=DD(I,1)*XJAC
      D2=DD(I,2)*XJAC
      D4=DD(I,3)*XJAC
      QC(I,1)=D1*Y1+D4*X5
      QC(I,3)=D1*Y2+D4*X6
      QC(I,5)=D1*Y3+D4*X7
      QC(I,7)=D1*Y4+D4*X8
      QC(I,9)=D1*YC
      QC(I,2)=D2*X1+D4*Y5
      QC(I,4)=D2*X2+D4*Y6
      QC(I,6)=D2*X3+D4*Y7
```

```
      QC(I,8)=D2*X4+D4*Y8
      QC(I,10)=D2*XC
   10 CONTINUE
      DO 20 I=1,10
      D1=QC(1,I)
      D2=QC(2,I)
      D4=QC(3,I)
      QQ(1,I)=QC(1,I)+D1*Y1+D4*X5
      QQ(3,I)=QC(3,I)+D1*Y2+D4*X6
      QQ(5,I)=QC(5,I)+D1*Y3+D4*X7
      QQ(7,I)=QC(7,I)+D1*Y4+D4*X8
      QQ(9,I)=QC(9,I)+D1*YC
      QQ(2,I)=QC(2,I)+D2*X1+D4*Y5
      QQ(4,I)=QQ(4,I)+D2*X2+D4*Y6
      QQ(6,I)=QC(6,I)+D2*X3+D4*Y7
      QQ(8,I)=QC(8,I)+D2*X4+D4*Y8
      QQ(10,I)=QQ(10,I)+D2*XC
   20 CONTINUE
   30 CONTINUE
C     ELIMINATE CENTER NODE
      DO 50 N=1,2
      LL=10-N
      M=LL+1
      DO 50 I=1,LL
      C=QQ(I,M)/QQ(M,M)
      DO 50 J=1,LL
      QQ(I,J)=QC(I,J)-C*QC(M,J)
   50 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE QM5C1(S,T,R12,R13,R14,R23,R24,R34,Z12,Z13,Z14,Z23,
     .               Z24,Z34,VCL,X1,X2,X3,X4,XC,Y1,Y2,Y3,Y4,YC,XJAC,R1,R2
     .                R3,R4,Z1,Z2,Z3,Z4)
C     THIS ROUTINE IS CALLED BY QM5STIFFNESS AND STRESS ROUTINES
      XJ=VCL+S*(R34*Z12-R12*Z34)+T*(R23*Z14-R14*Z23)
      XJAC=XJ/8.0
      SM=1.0-S
      SP=1.0+S
      TM=1.0-T
      TP=1.0+T
      X1=(-R24+R34*S+R23*T)/XJ
      X2=(R13-R34*S-R14*T)/XJ
      X3=(R24-R12*S+R14*T)/XJ
      X4=(-R13+R12*S-R23*T)/XJ
      Y1=(Z24-Z34*S-Z23*T)/XJ
      Y2=(-Z13+Z34*S+Z14*T)/XJ
      Y3=(-Z24+Z12*S-Z14*T)/XJ
      Y4=(Z13-Z12*S+Z23*T)/XJ
      RS=0.25*(-TM*R1+TM*R2+TP*R3-TP*R4)
      ZS=0.25*(-TM*Z1+TM*Z2+TP*Z3-TP*Z4)
      RT=0.25*(-SM*R1-SP*R2+SP*R3+SM*R4)
      ZT=0.25*(-SM*Z1-SP*Z2+SP*Z3+SM*Z4)
      XC=-2.0*(T*SM*SP*RS-S*TM*TP*RT)/XJAC
      YC=2.0*(T*SM*SP*ZS-S*TM*TP*ZT)/XJAC
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE QM5C2 (R13,R24,Z13,Z24,VOL,X5,X6,X7,X8,Y5,Y6,Y7,Y8)
C     THIS ROUTINE IS CALLED BY QM5 STIFFNESS AND STRESS ROUTINES
      Y5=Z24/VOL
      X6=R13/VOL
      X7=R24/VOL
      Y8=Z13/VOL
      X5=-X7
      Y6=-Y8
      Y7=-Y5
      X8=-X6
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE RSTFCB (A,B,E,TH,V,S)
      DIMENSION  S(12,12)
      DIMENSION C(12,12), D(12,12), G(12,12)
C     LET A=DIMENSION IN X DIRECTION
C     LET B=DIMENSION IN Y DIRECTION
C     LET E=YOUNGS MODULUS
C     LET V=POISSONS RATIO
C     LET TH=THICKNESS OF ELEMENT
C     LET S(12,12)=CT(12,12)*D(12,12)*C(12,12)
C     ESTABLISH CONSTANTS
      T1=TH
      T2=TH
      T4=TH
      A2=A**2
      A3=A**3
      A4=A**4
      A5=A**5
      A6=A**6
      A7=A**7
      A8=A**8
      B2=B**2
      B3=B**3
      B4=B**4
      B5=B**5
      B6=B**6
      B7=B**7
      B8=B**8
      DD=E/((1.-V**2)*12.)
      F=2.*(1.-V)
      D=T1**3
      P=3.*T1**2*(T2-T1)/A
      Q=3.*T1**2*(T4-T1)/B
      R=3.*T1*((T2-T1)/A)**2
      T=6.*T1*(T2-T1)*(T4-T1)/(A*B)
      U=3.*T1*((T4-T1)/B)**2
      W=((T2-T1)/A)**3
      X=3.*((T2-T1)/A)**2*(T4-T1)/B
      Y=3.*((T2-T1)/A)*((T4-T1)/B)**2
      Z=((T4-T1)/B)**3
C     INITIALIZE C,D,E,S
      DO 1  I=1,12
      DO 1  J=1,12
      C(I,J)=0.
      D(I,J)=C.
      G(I,J)=C.
    1 S(I,J)=C.
C     FORM C(12,12)
      C(1,1)=1.
      C(4,1)=-3./A2
      C(5,1)=-1./(A*B)
      C(6,1)=-3./B2
      C(7,1)=2./A3
      C(8,1)=3./(A2*B)
      C(9,1)=3./(A*B2)
```

```
      C(10,1)=2./B3
      C(11,1)=-2./(A3*B)
      C(12,1)=-2./(A*B3)
      C(3,2)=1.
      C(5,2)=-1./A
      C(6,2)=-2./B
      C(9,2)=2./(A*B)
      C(10,2)=1./B2
      C(12,2)=-1./(A*B2)
      C(2,3)=-1.
      C(4,3)=2./A
      C(5,3)=1./B
      C(7,3)=-1./A2
      C(8,3)=-2./(A*B)
      C(11,3)=1./(A2*B)
      C(4,4)=3./A2
      C(5,4)=1./(A*B)
      C(7,4)=-2./A3
      C(8,4)=-3./(A2*B)
      C(9,4)=-3./(A*B2)
      C(11,4)=2./(A3*B)
      C(12,4)=2./(A*B3)
      C(5,5)=1./A
      C(9,5)=-2./(A*B)
      C(12,5)=1./(A*B2)
      C(4,6)=1./A
      C(7,6)=-1./A2
      C(8,6)=-1./(A*B)
      C(11,6)=1./(A2*B)
      C(5,7)=-1./(A*B)
      C(8,7)=3./(A2*B)
      C(9,7)=3./(A*B2)
      C(11,7)=-2./(A3*B)
      C(12,7)=-2./(A*B3)
      C(9,8)=-1./(A*B)
      C(12,8)=1./(A*B2)
      C(8,9)=1./(A*B)
      C(11,9)=-1./(A2*B)
      C(5,10)=1./(A*B)
      C(6,10)=3./B2
      C(8,10)=-3./(A2*B)
      C(9,10)=-3./(A*B2)
      C(10,10)=-2./B3
      C(11,10)=2./(A3*B)
      C(12,10)=2./(A*B3)
      C(6,11)=-1./B
      C(9,11)=1./(A*B)
      C(10,11)=1./B2
      C(12,11)=-1./(A*B2)
      C(5,12)=-1./B
      C(8,12)=2./(A*B)
      C(11,12)=-1./(A2*B)
C     FORM D(12,12)
      D(4,4)=C*4.*A*B+P*2.*A2*B+Q*2.*A*B2+R*4.*A3*B/3.+T*A2*B2+
```

```
     . J*4.*A*B3/3.+W*A4*B+X*2.*A3*B2/3.+Y*2.*A2*B3/3.+Z*A*B4
      D(7,4)=C*6.*A2*B+P*4.*A3*B+Q*3.*A2*B2+R*3.*A4*B+T*2.*A3*B2+
     . J*2.*A2*B3+W*12.*A5*B/5.+X*3.*A4*B2/2.+Y*4.*A3*B3/3.+Z*3.*A2*B4/2
      D(8,4)=C*2.*A*B2+P*A2*B2+Q*4.*A*B3/3.+R*2.*A3*B2/3.+T*2.*A2*B3/3.
     . +U*A*B4+W*A4*B2/2.+X*4.*A3*B3/9.+Y*A2*B4/2.+Z*4.*A*B5/5.
      D(11,4)=O*3.*A2*B2+Q*2.*A2*B3+R*3.*A4*B2/2.+T*4.*A3*B3/3.+U*3.*
     . A2*B4/2.+W*6.*A5*B2/5.+X*A4*B3+Y*A3*B4+Z*6.*A2*B5/5.+P*2.*A3*B2
      D(7,7)=C*12.*A3*B+P*9.*A4*B+Q*6.*A3*B2+R*36.*A5*B/5.+T*9.*A4*B2/2.
     . +U*4.*A3*B3+W*6.*A6*B+X*18.*A5*B2/5.+Y*3.*A4*B3+Z*3.*A3*B4
      D(11,7)=O*6.*A3*B2+P*9.*A4*B2/2.+Q*4.*A3*B3+R*18.*A5*B2/5.
     . +T*3.*A4*B3+U*3.*A3*B4+W*3.*A6*B2+X*12.*A5*B3/5.+Y*9.*A4*B4/4.
     . +Z*12.*A3*B5/5.
      D(10,10)=O*12.*A*B3+P*6.*A2*B3+Q*9.*A*B4+R*4.*A3*B3+T*9.*A2*
     . B4/2.+U*36.*A*B5/5.+W*3.*A4*B3+X*3.*A3*B4+Y*18.*A2*B5/5.
     . +Z*6.*A*B6
      D(12,10)=C*6.*A2*B3+P*4.*A3*B3+Q*9.*A2*B4/2.+R*3.*A4*B3+T*3.*A3*B4
     . +U*18.*A2*B5/5.+W*12.*A5*B3/5.+X*9.*A4*B4/4.+Y*12.*A3*B5/5.
     . +Z*3.*A2*B6
      D(12,11)=2.*(1.+V)*(O*A3*B3+P*3.*A4*B3/4.+Q*3.*A3*B4/4.+R*3.*
     . A5*B3/5.+T*9.*A4*B4/16.+U*3.*A3*B5/5.+W*A6*B3/2.+X*9.*A5*B4/20.
     . +Y*9.*A4*B5/20.+Z*A3*B6/2.)
      D(11,11)=2.*D(12,11)/(1.+V)+F*(O*9.*A5*B/5.+P*3.*A6*B/2.
     . +Q*9.*A5*B2/10.+R*9.*A7*B/7.+T*3.*A6*B2/4.+U*3.*A5*B3/5.
     . +W*9.*A8*B/8.+X*9.*A7*B2/14.+Y*A6*B3/2.+Z*9.*A5*B4/20.)
      D(12,12)=2.*D(12,11)/(1.+V)+F*(O*9.*A*B5/5.+P*9.*A2*B5/10.
     . +Q*3.*A*B6/2.+R*3.*A3*B5/5.+T*3.*A2*B6/4.+U*9.*A*B7/7.
     . +W*9.*A4*B5/20.+X*A3*B6/2.+Y*9.*A2*B7/14.+Z*9.*A*B8/8.)
      D(12,9)=D(11,7)/3.+F*(O*3.*A*B4/2.+P*3.*A2*B4/4.+Q*6.*A*B5/5.
     .+R*A3*B4/2.+T*3.*A2*B5/5.+U*A*B6+W*3.*A4*B4/8.
     .+X*2.*A3*B5/5.+Y*A2*B6/2.+Z*6.*A*B7/7.)
      D(11,8)=D(12,10)/3.+F*(O*3.*A4*B/2.+P*6.*A5*B/5.+Q*3.*A4*B2/4.
     .+R*A6*B+T*3.*A5*B2/5.+U*A4*B3/2.+W*6.*A7*B/7.+X*A6*B2/2.
     .+Y*2.*A5*B3/5.+Z*3.*A4*B4/8.)
      D(6,4)=V*D(4,4)
      D(9,4)=V*D(7,4)/3.
      D(10,4)=V*D(8,4)*3.
      D(12,4)=V*D(11,4)
      D(5,5)=F*D(4,4)/4.
      D(8,5)=F*D(7,4)/6.
      D(9,5)=F*D(8,4)/2.
      D(8,8)=(D(10,10)+F*D(7,7))/9.
      D(12,5)=F*D(10,10)/12.
      D(6,6)=D(4,4)
      D(7,6)=V*D(7,4)
      D(8,6)=V*D(8,4)
      D(9,6)=D(7,4)/3.
      D(10,6)=D(8,4)*3.
      D(11,6)=V*D(11,4)
      D(12,6)=D(11,4)
      D(11,5)=F*D(7,7)/12.
      D(8,7)=D(11,4)
      D(9,7)=V*D(7,7)/3.
      D(10,7)=V*D(11,4)*3.
      D(12,7)=V*D(11,7)
```

```
      D(9,8)=D(11,4)*(2.-V)/3.
      D(10,8)=V*D(10,10)/3.
      D(12,8)=D(12,10)/3.
      D(9,9)=(D(7,7)+F*D(10,10))/9.
      D(10,9)=D(11,4)
      D(11,9)=D(11,7)/3.
      D(11,10)=V*D(12,10)
      DO 2  I=1,12
      DO 2  J=1,I
    2 D(J,I)=D(I,J)
      DO 3  I=1,12
      DO 3  J=1,12
      DO 3  K=1,12
    3 G(I,J)=G(I,J)+D(I,K)*C(K,J)
      DO 4  I=1,12
      DO 4  J=1,12
      DO 4  K=1,12
    4 S(I,J)=S(I,J)+C(K,I)*G(K,J)
      DO 5  I=1,12
      DO 5  J=1,12
    5 S(I,J)=S(I,J)*DD
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE MULMAT (X,Y,Z,M,N,L)
      DIMENSION X(24,24),Y(24,24),Z(24,24)
      DO 10  I=1,M
      DO 10  J=1,N
      Z(I,J)=0.
      DO 10  K=1,L
   10 Z(I,J)=Z(I,J)+X(I,K)*Y(K,J)
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE ADSTIF (S,ST,NBAND,IJ,NN,L1,L2,L3)
      DIMENSION ST(L1,L2),S(L3,L3),IJ(L3)
C     THIS SUBROUTINE ADDS THE ELEMENT STIFFNESS MATRIX S TO THE
C     PROPER LOCATIONS OF THE TOTAL BANDED STIFFNESS MATRIX ST
   10 FORMAT(//5X,'DIMENSIONS OF STIFFNESS MATRIX EXCEEDED'/
     .        5X,'DEGREE OF FREEDOM NUMBER_____________________',I3/
     .        5X,'BAND WIDTH___________________________________',I3//)
      NBAND=0
      DO 300  I=1,NN
      I1=IJ(I)
      IF(I1.GT.L1) GO TO 350
      DO 250  J=1,NN
      J1=IJ(J)-I1+1
      NBAND=MAXO(NBAND,J1)
      IF(J1.LT.1) GO TO 250
      IF(J1.GT.L2) GO TO 350
      ST(I1,J1)=ST(I1,J1)+S(I,J)
  250 CONTINUE
  300 CONTINUE
      RETURN
  350 WRITE(3,10)      I1,J1
      END
```

```
      SUBROUTINE BANEL (A,N,IB,L1,L2)
      DOUBLE PRECISION SUM
      DIMENSION A (L1,L2)
C     THIS SUBROUTINE TRIANGULARIZES A BANDED AND SYMMETRIC
C     COEFFICIENT MATRIX
C     ONLY THE UPPER HALF BAND PORTION OF THE COEFFICIENT MATRIX
C     IS STORED AS A RECTANGULAR ARRAY
      DO 120  I=2,N
      M1=MINO(IB-1,N-I+1)
      DO 110  J=1,M1
      SUM=0.0
      K1=MINO(I-1,IB-J)
      DO 100  K=1,K1
      SUM=SUM+A(I-K,K+1)*A(I-K,J+K)/A(I-K,1)
  100 CONTINUE
      A(I,J)=A(I,J)-SUM
  110 CONTINUE
  120 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE BC (ST,P,NEQ,VALUE,NBAND,L1,L2)
      DIMENSION ST (L1,L2),P(1)
C     THIS SUBROUTINE MODIFIED THE STIFFNESS MATRIX ST AND THE
C     LOAD VECTOR P FOR THE SPECIFIED DISPLACEMENTS
      ST (NEQ,1)=1.0
      P(NEQ)=VALUE
      DO 200 N=2,NBAND
      IF(NEQ-N+1.LT.1) GO TO 150
      P(NEQ-N+1)=P(NEQ-N+1)-ST(NEQ-N+1,N)*VALUE
      ST(NEQ- N+1,N)=0.0
  150 IF(NEQ+N-1.GT.L1) GO TO 200
      P(NEQ+N-1)=P(NEQ+N-1)-ST(NEQ,N)*VALUE
      ST(NEQ,N)=0.0
  200 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE BANSOL (A,X,B,N,IB,L1,L2)
      DOUBLE PRECISION SUM
      DIMENSION A(L1,L2),X(1),B(1)
C     THIS SUBROUTINE MULTIPLIES THE INVERSE OF LEFT TRIANGULAR
C     FORM WITH THE RIGHT HAND SIDE VECTOR,AND THEN SOLVES FOR THE
C     UNKNOWNS BY BACK SUBSTITUTION PROCESS
C     ONLY THE UPPER HALF BAND PORTION OF THE COEFFICIENT MATRIX
C     IS STORED AS A RECTANGULAR ARRAY
      NP1=N+1
      DO 110  I=2,N
      SUM=0.0
      K1=MINO(IB-1,I-1)
      DO 100  K=1,K1
      SUM=SUM+A(I-K,K+1)/A(I-K,1)*B(I-K)
  100 CONTINUE
      B(I)=B(I)-SUM
  110 CONTINUE
C     BEGIN BACK SUBSTITUTION
      X(N)=B(N)/A(N,1)
      DO 130  K=2,N
      I=NP1-K
      J1=I+1
      J2=MINO(N,I+IB-1)
      SUM=0.0
      DO 120  J=J1,J2
      MM=J-J1+2
      SUM=SUM+X(J)*A(I,MM)
  120 CONTINUE
      X(I)=(B(I)-SUM)/A(I,1)
  130 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBRCUTINE MEMS (M5,XM1,XM2,XM3,XM4,YM1,YM2,YM3,YM4,EM,PR,TH,
     .PEM,STXM,STYM,STXYM)
      DIMENSION PEM(8,1),EPSX(4),EPSY(4)
      DIMENSION STXM(4),STYM(4),SS(4),TT(4)
      DATA SS/-1.,1.,1.,-1./,TT/-1.,-1.,1.,1./
      R12=XM1-XM2
      R13=XM1-XM3
      R14=XM1-XM4
      R23=XM2-XM3
      R24=XM2-XM4
      R34=XM3-XM4
      Z12=YM1-YM2
      Z13=YM1-YM3
      Z14=YM1-YM4
      Z23=YM2-YM3
      Z24=YM2-YM4
      Z34=YM3-YM4
      VOL=R13*Z24-R24*Z13
      CALL QM5C2 (R13,R24,Z13,Z24,VOL,X5,X6,X7,X8,Y5,Y6,Y7,Y8)
      EPSXY=X5*PEM(1,1)+Y5*PEM(2,1)+X6*PEM(3,1)+Y6*PEM(4,1)+
     .X7*PEM(5,1)+Y7*PEM(6,1)+X8*PEM(7,1)+Y8*PEM(8,1)
      STXYM=(EM/(1-PR*PR))*(((1-PR)/2.)*EPSXY)*TH
      DO200I=1,4
      CALL QM5C1 (SS(I),TT(I),R12,R13,R14,R23,R24,R34,Z12,Z13,Z14,
     .Z23,Z24,Z34,VOL,X1,X2,X3,X4,XC,Y1,Y2,Y3,Y4,YC,XJAC,XM1,
     .XM2,XM3,XM4,YM1,YM2,YM3,YM4)
      EPSX(I)=Y1*PEM(1,1)+Y2*PEM(3,1)+Y3*PEM(5,1)+Y4*PEM(7,1)
      EPSY(I)=X1*PEM(2,1)+ X2*PEM(4,1)+ X3*PEM(6,1)+X4*PEM(8,1)
      STXM(I)=(EM/(1-PR*PR))*(EPSX(I)+PR*EPSY(I))*TH
      STYM(I)=(EM/(1-PR*PR))*(PR*EPSX(I)+EPSY(I))*TH
  200 CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE BENS (A,B,EM,TH,PR,PEB,FM)
      DIMENSION PEB(12,1)
      DIMENSION QB(12,12),C(12,12),BE(12,12),D(12,12),E(12,12),FM(12,
      A2=A**2
      A3=A**3
      B2=B**2
      B3=B**3
      DO 507 I5=1,12
      DO 507 J5=1,12
      QB(I5,J5)=0.
      C(I5,J5)=0.
      BE(I5,J5)=0.
      D(I5,J5)=0.
  507 E(I5,J5)=0.
      DO 5077 I5=1,12
      DO 5077 J5=1,1
 5077 FM(I5,J5)=0.
C     FORM C(12,12)
      C(1,1)=1.
      C(4,1)=-3./A2
      C(5,1)=-1./(A*B)
      C(6,1)=-3./B2
      C(7,1)=2./A3
      C(8,1)=3./(A2*B)
      C(9,1)=3./(A*B2)
      C(10,1)=2./B3
      C(11,1)=-2./(A3*B)
      C(12,1)=-2./(A*B3)
      C(3,2)=1.
      C(5,2)=-1./A
      C(6,2)=-2./B
      C(9,2)=2./(A*B)
      C(10,2)=1./B2
      C(12,2)=-1./(A*B2)
      C(2,3)=-1.
      C(4,3)=2./A
      C(5,3)=1./B
      C(7,3)=-1./A2
      C(8,3)=-2./(A*B)
      C(11,3)=1./(A2*B)
      C(4,4)=3./A2
      C(5,4)=1./(A*B)
      C(7,4)=-2./A3
      C(8,4)=-3./(A2*B)
      C(9,4)=-3./(A*B2)
      C(11,4)=2./(A3*B)
      C(12,4)=2./(A*B3)
      C(5,5)=1./A
      C(9,5)=-2./(A*B)
      C(12,5)=1./(A*B2)
      C(4,6)=1./A
      C(7,6)=-1./A2
      C(8,6)=-1./(A*B)
      C(11,6)=1./(A2*B)
```

```
      C(5,7)=-1./(A*B)
      C(3,7)=3./(A2*B)
      C(9,7)=3./(A*B2)
      C(11,7)=-2./(A3*B)
      C(12,7)=-2./(A*B3)
      C(9,8)=-1./(A*B)
      C(12,8)=1./(A*B2)
      C(3,9)=1./(A*B)
      C(11,9)=-1./(A2*B)
      C(5,10)=1./(A*B)
      C(6,10)=3./B2
      C(8,10)=-3./(A2*B)
      C(9,10)=-3./(A*B2)
      C(10,10)=-2./B3
      C(11,10)=2./(A3*B)
      C(12,10)=2./(A*B3)
      C(6,11)=-1./B
      C(9,11)=1./(A*B)
      C(10,11)=1./B2
      C(12,11)=-1./(A*B2)
      C(5,12)=-1./B
      C(8,12)=2./(A*B)
      C(11,12)=-1./(A2*B)
C     FORM D(12,12)
      DDD=EM*TH**3/(12.*(1-PR*PR))
      DO 508 M=1,12,3
      D(M,M)=DDD
      D(M,M+1)=DDD*PR
      D(M+1,M)=D(M,M+1)
      D(M+1,M+1)=D(M,M)
      D(M+2,M+2)=DDD*(1-PR)*.5
  503 CONTINUE
C     FORM QB(12,12)
      QB(1,4)=-2.
      QB(2,6)=-2.
      QB(3,5)=-2.
      QB(4,4)=-2.
      QB(4,7)=-6.*A
      QB(5,6)=-2.
      QB(5,9)=-2.*A
      QB(6,5)=-2.
      QB(6,8)=-4.*A
      QB(6,11)=-6.*A2
      QB(7,4)=-2.
      QB(7,7)=-6.*A
      QB(7,8)=-2.*B
      QB(7,11)=-6.*A*B
      QB(8,6)=-2.
      QB(8,9)=-2.*A
      QB(8,10)=-6.*B
      QB(8,12)=-6.*A*B
      QB(9,5)=-2.
      QB(9,8)=-4.*A
      QB(9,9)=-4.*B
```

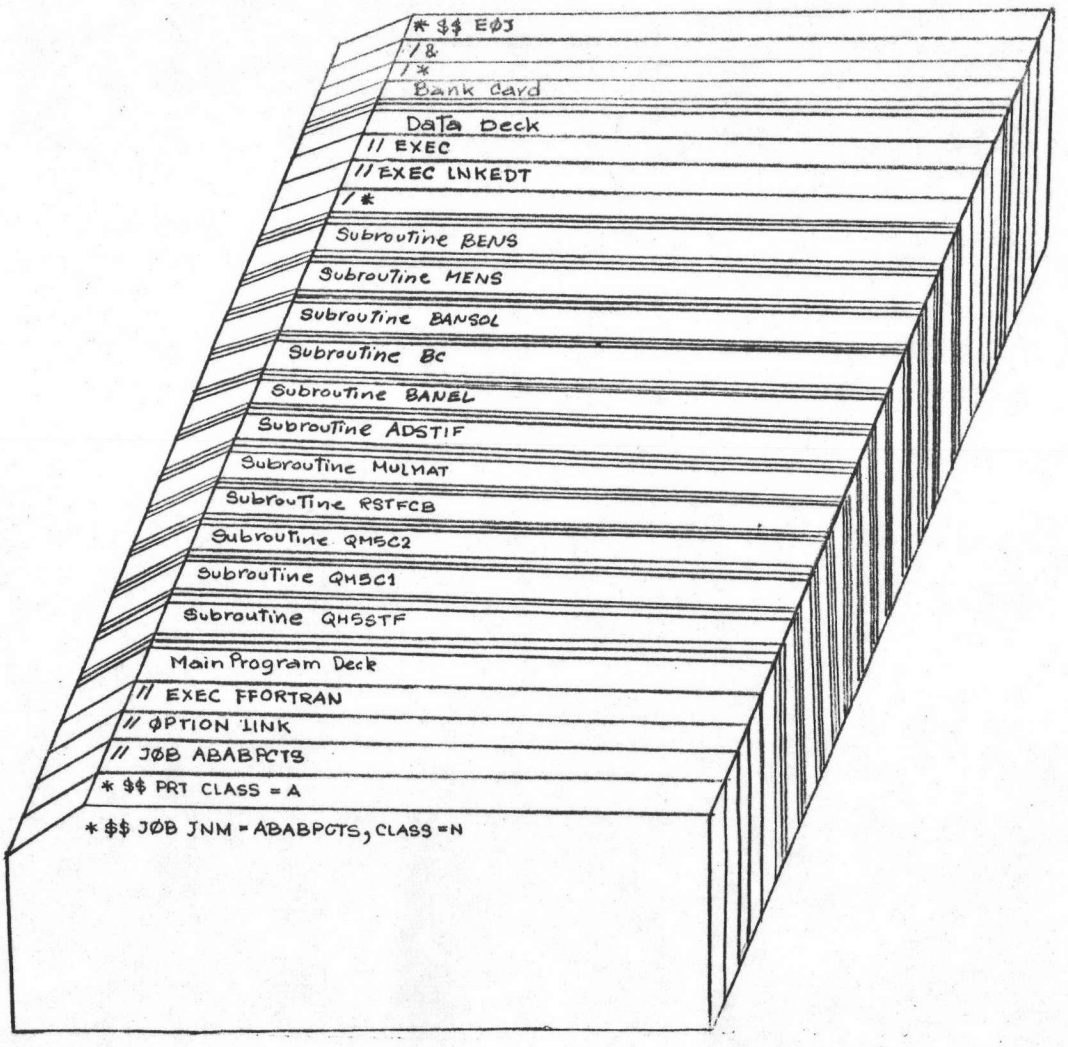
```
      QB(9,11)=-6.*A2
      QB(9,12)=-6.*B2
      QB(10,4)=-2.
      QB(10,8)=-2.*B
      QB(11,6)=-2.
      QB(11,10)=-6.*B
      QB(12,5)=-2.
      QB(12,9)=-4.*B
      QB(12,12)=-6.*B2
      DO 510 I5=1,12
      DO 510 J5=1,12
      DO 510 K5=1,12
  510 BE(I5,J5)=BE(I5,J5)+QB(I5,K5)*C(K5,J5)
      DO 511 I5=1,12
      DO 511 J5=1,12
      DO 511 K5=1,12
  511 E(I5,J5)=E(I5,J5)+D(I5,K5)*BE(K5,J5)
      DO 512 I5=1,12
      DO 512 J5=1,1
      DO 512 K5=1,12
  512 FM(I5,J5)=FM(I5,J5)+E(I5,K5)*PEB(K5,J5)
      RETURN
      END
```

ภาคผนวก ข.

วิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1. บัตรควบคุม (Control Card)

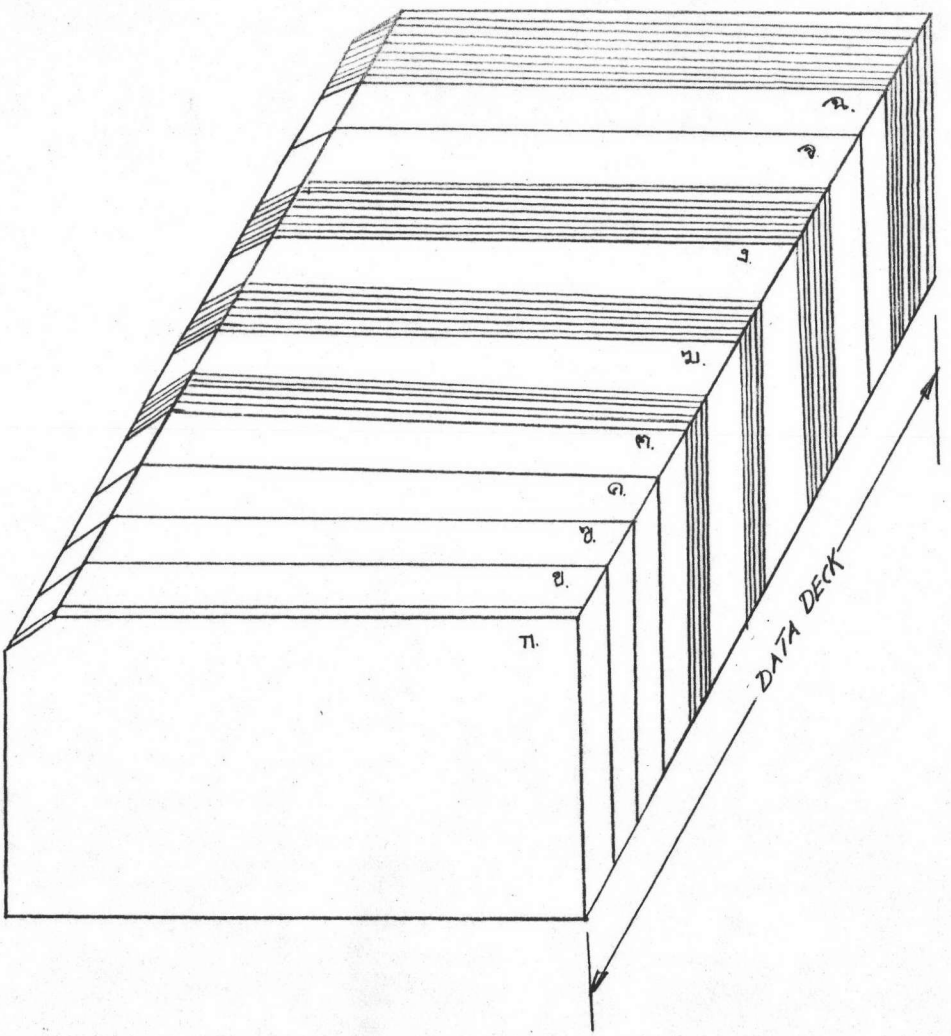
บัตรควบคุมสำหรับโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยได้แสดงไว้ในรูป ก. และใช้เฉพาะกับเครื่องคอมพิวเตอร์ IBM 370/138-I00เท่านั้น ในกรณีที่ใช้คอมพิวเตอร์ระบบอื่น ๆ บัตรควบคุมจะแตกต่างออกไป ,



รูป ก. แสดงการเรียงบัตรควบคุมตามตำแหน่งต่างในโปรแกรม

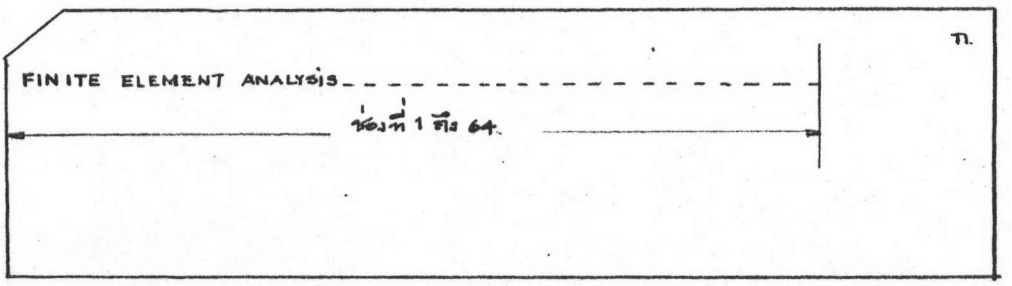
2. <u>บัตรข้อมูล</u> (Data Card)

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำนวนบัตรข้อมูลทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ได้ 9 กลุ่ม ดังแสดงไว้ในรูป ข.

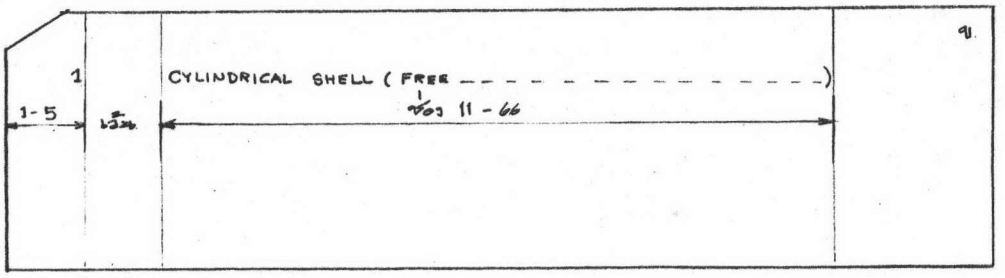


รูป ข. แสดงการเรียบบัตรข้อมูลตามลำดับกลุ่ม

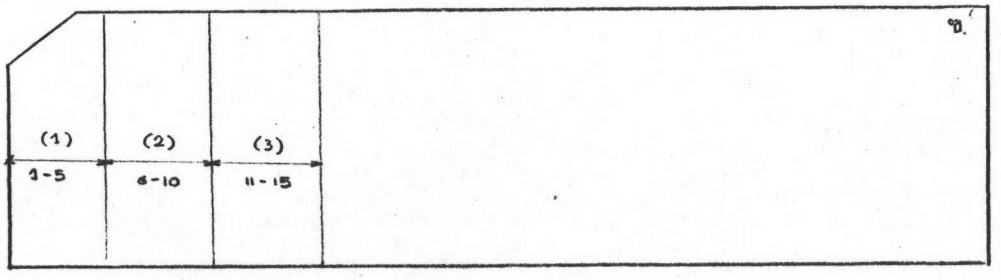
รายละเอียดของแต่ละกลุ่มมีดังต่อไปนี้



กลุ่ม ก. รายละเอียดของโปรแกรม FORMAT (16A4) จำนวนบัตร 2 ใบ



กลุ่ม ข. หมายเลขรายละเอียดของปัญหา FORMAT (I5,5X,14A4) จำนวนบัตร 1 ใบ

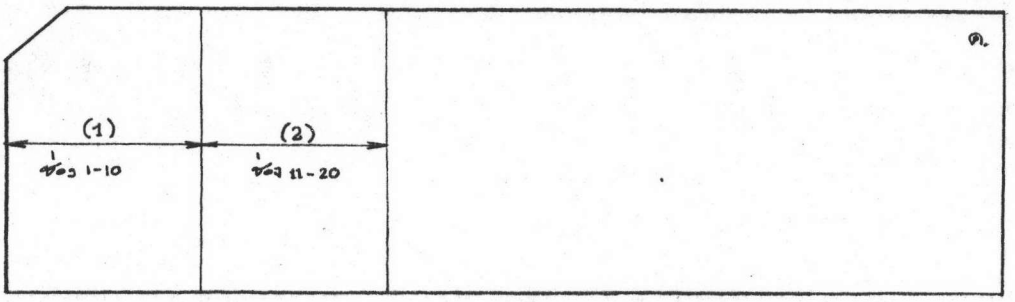


กลุ่ม ข. 1. NUMEL = จำนวนชิ้นส่วนย่อยทั้งหมด FORMAT (I5)

2. NUPTS = จำนวนขั้วทั้งหมด FORMAT (I5)

3. NUBPTS = จำนวนขั้วที่ต้องกำหนดภาวะเงื่อนไข FORMAT (I5)

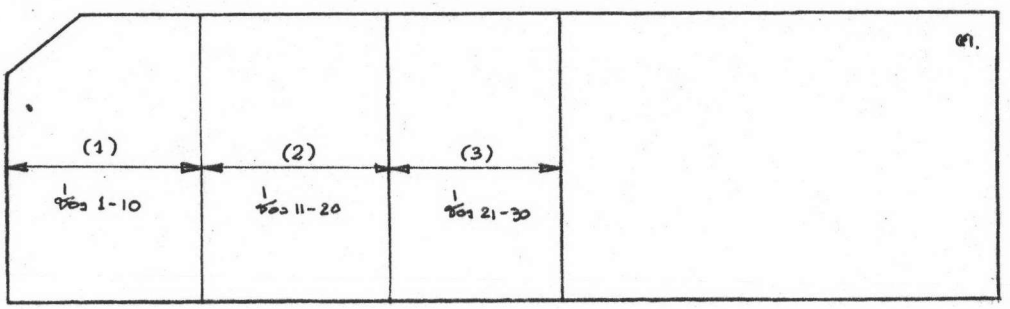
จำนวนบัตรที่ใช้ 1 ใบ



กลุ่ม ค. 1 EM = โมดูลัสยืดหยุ่น FORMAT (E10.3)

2 PR = อัตราส่วนยืดหด FORMAT (E10.3)

จำนวนบัตรที่ใช้ 1 ใบ



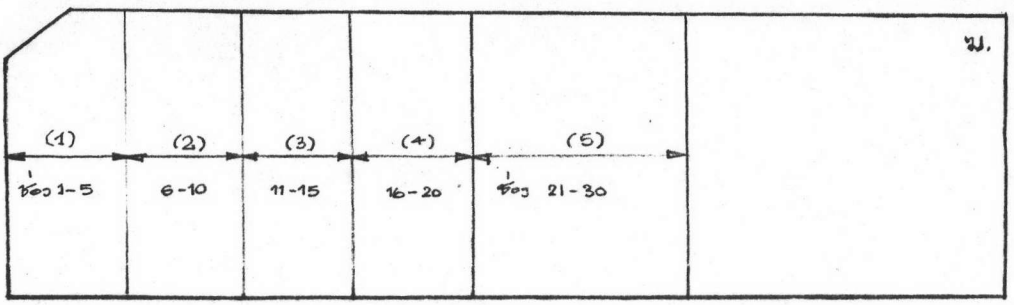
กลุ่ม ง. พิกัดต่าง ๆ ของขั้ว (Nodal Point Coordinate)

1 XQ (I) = X - Coordinate ของขั้ว I FORMAT (E10.4)

2 YQ (I) = Y - Coordinate ของขั้ว I FORMAT (E10.4)

3 ZQ (I) = Z - Coordinate ของขั้ว I FORMAT (E10.4)

จำนวนบัตรที่ใช้ทั้งหมด = จำนวนขั้วทั้งหมด



กลุ่ม ฆ. หมายเลขขั้วของแต่ละชิ้นส่วนย่อยและความหนาของชิ้นส่วนย่อย

1 KQ (1,M) = หมายเลขประจำขั้ว i ของชิ้นส่วนย่อย M FORMAT (I5)

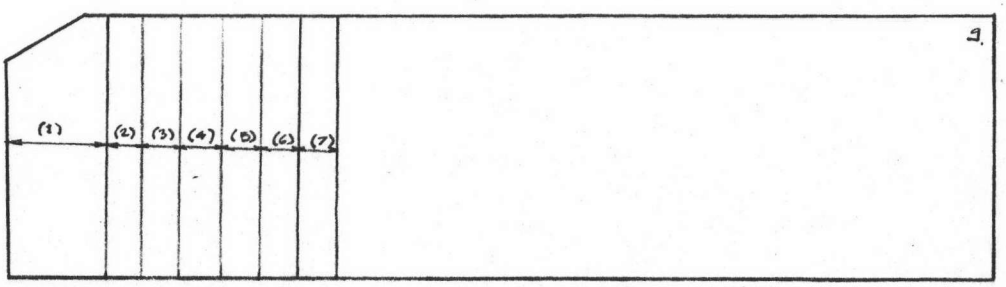
2 KQ (2,M) = หมายเลขประจำขั้ว j ของชิ้นส่วนย่อย M FORMAT (I5)

3 KQ (3,M) = หมายเลขประจำขั้ว k ของชิ้นส่วนย่อย M FORMAT (I5)

4 KQ (4,M) = หมายเลขประจำขั้ว l ของชิ้นส่วนย่อย M FORMAT (I5)

5 TH (M) = ความหนาของชิ้นส่วนย่อย M FORMAT (E10.4)

จำนวนบัตรที่ใช้ทั้งหมด = จำนวนชิ้นส่วนย่อย



กลุ่ม ง. การกำหนดภาวะเงื่อนไข

1 IBD (N,1) = หมายเลขชั้น N ที่ต้องกำหนดภาวะเงื่อนไข FORMAT (I4)

2 IBD (N,2) = 0 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน X เป็นอิสระ
= 1 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน X ถูกจำกัด
3 IBD (N,3) = 0 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน Y เป็นอิสระ
= 1 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน Y ถูกจำกัด

} FORMAT (I1)

4 IBD (N,4) = 0 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน Z เป็นอิสระ

= 1 การเคลื่อนที่ในทิศทางตามแกน Z ถูกจำกัด

5 IBD (N,5) = 0 การหมุนรอบแกน X เป็นอิสระ

= 1 การหมุนรอบแกน X ถูกจำกัด

6 IBD (N,6) = 0 การหมุนรอบแกน Y เป็นอิสระ

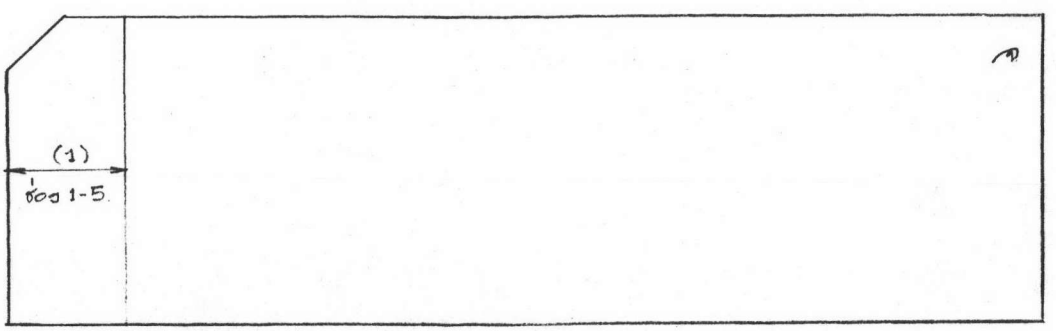
= 1 การหมุนรอบแกน Y ถูกจำกัด

7 IBD (N,7) = 0 การหมุนรอบแกน Z เป็นอิสระ

= 1 การหมุนรอบแกน Z ถูกจำกัด

FORMAT (I1)

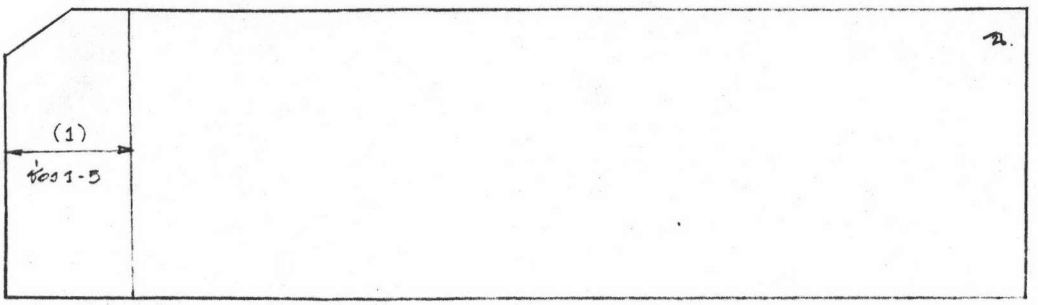
จำนวนบัตรที่ใช้ทั้งหมด = จำนวนขั้วทั้งหมดที่ถูกกำหนดภาวะเงื่อนไข



กลุ่ม จ. จำนวนขั้วทั้งหมดที่มีแรงกระทำ

1. NLPTS = จำนวนขั้วทั้งหมดที่มีแรงกระทำ FORMAT (I5)

จำนวนบัตรที่ใช้ 1 ใบ



กลุ่ม ฉ. แรงกระทำที่ขั้ว

1 M = หมายเลขขั้วที่มีแรงกระทำ FORMAT (I5)

2 R(1) = ค่าของแรงกระทำในทิศทางตามแกน X ที่ขั้ว M
3 R(2) = ค่าของแรงกระทำในทิศทางตามแกน Y ที่ขั้ว M
4 R(3) = ค่าของแรงกระทำในทิศทางตามแกน Z ที่ขั้ว M
5 R(4) = ค่าของแรงดัดที่กระทำรอบแกน X ที่ขั้ว M
6 R(5) = ค่าของแรงดัดที่กระทำรอบแกน Y ที่ขั้ว M
7 R(6) = ค่าของแรงดัดที่กระทำรอบแกน Z ที่ขั้ว M

} FORMAT (E10.4)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างของข้อมูล

```
FINITE ELEMENT ANALYSIS OF SHELL_TYPE STRUCTURE  BY P. SIRISRIRO
EXAMPLE  PROBLEM  ( USE  OUT_OF_PLANE  ROTATIONAL  STIFFNESS ).
PROBLEM    1      CYLINDRICAL SHELL(FREE EDGES UNDER ITS OWN WEIGHT,LB_F
NUM OF ELEMENTS_____________        20
NUM OF POINTS_______________        30
NUM OF BOUNDARY POINTS______        18
NUM OF ELEM DEG OF FREEDOM___        6
NUM OF ELEM NODES___________        4
MOD OF ELASTICITY___________ 0.432E 09
POISSONS RATIO______________ 0.300E 00

NODAL POINTS COORDINATES

POINT          X              Y              Z
  1        0.0            0.0            0.587E 01
  2        0.434E 01      0.0            0.547E 01
  3        0.855E 01      0.0            0.432E 01
  4        0.125E 02      0.0            0.248E 01
  5        0.161E 02      0.0            0.0
  6        0.0            0.500E 01      0.587E 01
  7        0.434E 01      0.500E 01      0.547E 01
  8        0.855E 01      0.500E 01      0.432E 01
  9        0.125E 02      0.500E 01      0.248E 01
 10        0.161E 02      0.500E 01      0.0
 11        0.0            0.100E 02      0.587E 01
 12        0.434E 01      0.100E 02      0.547E 01
 13        0.855E 01      0.100E 02      0.432E 01
 14        0.125E 02      0.100E 02      0.248E 01
 15        0.161E 02      0.100E 02      0.0
 16        0.0            0.150E 02      0.587E 01
 17        0.434E 01      0.150E 02      0.547E 01
 18        0.855E 01      0.150E 02      0.432E 01
 19        0.125E 02      0.150E 02      0.248E 01
 20        0.161E 02      0.150E 02      0.0
 21        0.0            0.200E 02      0.587E 01
 22        0.434E 01      0.200E 02      0.547E 01
 23        0.855E 01      0.200E 02      0.432E 01
 24        0.125E 02      0.200E 02      0.248E 01
 25        0.161E 02      0.200E 02      0.0
 26        0.0            0.250E 02      0.587E 01
 27        0.434E 01      0.250E 02      0.547E 01
 28        0.855E 01      0.250E 02      0.432E 01
 29        0.125E 02      0.250E 02      0.248E 01
 30        0.161E 02      0.250E 02      0.0
```

NODAL POINTS NUMBER AND THICKNESS OF EACH ELEMENT

ELEMNUM	ELEMNODES(I,J,K,L)				THICKNESS
1	1	2	7	6	0.250E 00
2	2	3	8	7	0.250E 00
3	3	4	9	8	0.250E 00
4	4	5	10	9	0.250E 00
5	6	7	12	11	0.250E 00
6	7	8	13	12	0.250E 00
7	8	9	14	13	0.250E 00
8	9	10	15	14	0.250E 00
9	11	12	17	16	0.250E 00
10	12	13	18	17	0.250E 00
11	13	14	19	18	0.250E 00
12	14	15	20	19	0.250E 00
13	16	17	22	21	0.250E 00
14	17	18	23	22	0.250E 00
15	18	19	24	23	0.250E 00
16	19	20	25	24	0.250E 00
17	21	22	27	26	0.250E 00
18	22	23	28	27	0.250E 00
19	23	24	29	28	0.250E 00
20	24	25	30	29	0.250E 00

BOUNDARY CONDITIONS

	TRAN	ROTA		BOUNDARY VALUES(TRAN)			BOUNDARY VALUES (ROTA)		
NODE	XYZ	XYZ		X	Y	Z	X	Y	
1	110	111	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	010	101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	010	101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	010	101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	010	101	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	100	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	000	001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	100	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	000	001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	100	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	000	001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	100	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25	000	001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
26	101	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
27	101	010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28	101	010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	101	010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	101	011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NUM OF LOADED POINTS_____ 30

APPLIED LOADS

NODE	FORCES IN DIRECTION X	Y	Z	MOMENTS ABOUT DIRECTION X	Y	Z
1	0.0	0.0	-0.204E 03	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	-0.204E 03	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
21	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
23	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
24	0.0	0.0	-0.815E 03	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
26	0.0	0.0	-0.204E 03	0.0	0.0	0.0
27	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
28	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
29	0.0	0.0	-0.408E 03	0.0	0.0	0.0
30	0.0	0.0	-0.204E 03	0.0	0.0	0.0

ภาคผนวก ก

Static Condensation

Static Condensation เป็นขบวนการที่ใช้ในการขจัดตัวไม่ทราบค่าที่ไม่ต้องการออกไปจากชุดของสมการสมดุลย์ Static Condensation ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับการคำนวณโดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะใช้วิธี Gaussian Elimination ซึ่งมีวิธีการดังนี้

กำหนดให้ r = จำนวนดีกรีของความอิสระของขั้วภายนอกทั้งหมด

s = จำนวนดีกรีของความอิสระทั้งหมดของชิ้นส่วนย่อย

p = $s, s-1, s-2, \ldots\ldots\ldots, (r+1)$

สมการ Condensation คือ

$$(K_{ij})_{new} = (K_{ij})_{old} - K_{pj}\frac{K_{ip}}{K_{pp}}$$

โดยที่ i, j = $1,2,3\ldots\ldots, (p-1)$

ประวัติ

นาย ปรีดา ศิริศรีโร เกิดเมื่อวันที่ ๒๕ กรกฎาคม พ.ศ.๒๔๙๖ ที่ กรุงเทพ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย(ม.ศ.๕)จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา ในเดือนมีนาคม พ.ศ.๒๕๑๓ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในเดือนมีนาคม พ.ศ.๒๕๑๙ ทำงานครั้งแรกทางด้านการทางกับ ห.จ.ก.พิฆเนศการช่าง ต่อมาเป็นอาจารย์ประจำที่วิทยาลัยเทคโนโลยี วิทยาเขตอุเทนถวาย