ϵ 法を用いたコンピュータによる構造解析* (第 3 報, 基礎ばりを有し, 剛域を考慮した部材から成る場合)

高 野 英 資*¹, 矢 沢 明*²

A Study of the Structural Analysis of Rigid Frame by the ϵ -Method Using a Digital Computer (3rd Report, Cases Where Rigid Zone and Footing Beams Are Considered in the Rigid Frame)

Eisuke TAKANO and Akira YAZAWA

In the present report, the principle of structural analysis by the ϵ -method was treated theoretically for two-dimensional multi-storied and multi-span rectangular rigid frames loaded vertically or horizontally, in cases where each member of the rigid frames had rigid zone at both ends and the bases of columns were connected by footing beams. A digital computing program for the structural analysis of the rigid frames was constructed on the basis of the ϵ -method and various quantities were computed by this program. The ϵ -method, named by the authors, is one of the slope-deflection method and is of practical use in the structural analysis of rigid frame. Finally the results calculated by the digital computing program are shown in several figures in the present paper.

Key Words: Structural Analysis, Rectangular Rigid Frame, Multi-Storied and Multi-Span Frame, Slope-Deflection Method, Digital Computing Program

1. 緒 言

節点変位と節点回転角および部材の剛性をマトリックスによってきれいな形に整理し, 節点の釣合い方程式から変形と断面力を逆マトリックスを用いて解く剛性マトリックス法は二次元, 三次元など多くの不静定構造物の解析に欠かせぬものとなってきた。しかし解析の特性を生かすためには大容量のコンピュータを使用するのが妥当であり, これに対し巽⁽¹⁾の創出になる著者らが開発した ϵ 法を用いたコンピュータによる構造解析法⁽²⁾⁽³⁾は図上計算が可能な方法であるだけに, コンピュータも比較的小容量のもので手軽に解析できる特徴を有し, モーメント分配法⁽⁴⁾やカニ法⁽⁵⁾とならんで有力な試索法の一つであろう。前 2 報では高層多スパン一般く形ラーメンを例にとり, ϵ 法を用いて柱脚固定の場合⁽²⁾および柱脚滑節の場合⁽³⁾について構造解析の方法を示した。本報では, これらに続き, 水平力および垂直力が同時に, あるいはそれぞれ単独に働く場合, たわみ角とう度法の一つである ϵ 法を用いて, 基礎ばりを有し, 剛域を考慮した部材から成る

高層多スパン一般く形ラーメンについて, 電子計算機を用いて構造解析する場合の解析の原理と手順について検討したので報告する。

2. ラーメン各部材の節点

図 1 は本報で扱う n_c 層 m_s スパン一般く形ラーメンで, 縦が n_c+1 個, 横が m_s+2 個の破線で描かれた長方形マス目に太い実線で書かれている。しかし実際の骨組では柱・はり幅をもっていたり, ハンチがあったりするから, 一様な線材で置きかえることは難しく, 図 2 のように剛域やハンチをもった部材から成

図 1 高層多スパンラーメン

* 昭和 62 年 11 月 3 日 北陸信越支部北陸地方学術講演会において講演, 原稿受付 昭和 62 年 12 月 1 日。

*¹ 正員, 新潟大学工学部 (〒950-21 新潟市五十嵐 2 の町 8050)。

*² 学生員, 新潟大学大学院。

るものとするのが妥当であろう。本報ではこのように構成部材が剛域をもち、または剛域に置きかえ可能なハンチのある部材から形成されている場合を考える。前報同様に仮想節点をふくめ、各節点に番号をつけると左から m 番め、上から n 番めの節点の節点番号では次式で与えられる。

$$i=(n-1)(m_s+3)+m \cdots \cdots (1)$$

ここで実節点に対して m, n は 2 からそれぞれ m_s+2, n_c+2 までの値をとることは言うまでもない。

3. ε法によるラーメンの理論解析

次に基礎ばりを有し、剛域を考慮したラーメン解析の電子計算機によるプログラミングに便利するように必要な諸式を誘導しよう。初めに任意の節点 i に連なる周囲の各部材について考えてみよう。左、右、上、下の各節点の番号を図3のように l, r, u, d とする。これらは i とのあいだに次の関係がある。

$$\left. \begin{aligned} l &= i-1, r = i+1, u = i-(m_s+3) \\ d &= i+(m_s+3) \end{aligned} \right\} \cdots \cdots (2)$$

いま n_c 層 m_s スパン一般形ラーメンにおいて、任意の節点 i に隣接する各部材の材端 i における曲げモーメントを $M_{ij}(i=l, r, u, d)$ とするとき、これらはたわみ角とう度法の基本公式から次式のように求めることができる。式中の E は縦弾性係数、 K_{bi}, K_{ci} などは剛度 (断面二次モーメントを部材長で除したもの) 、

図2 EI の変化する部材

図3 任意の節点 i に隣接する節点の番号

θ_i, θ_j は節点回転角、 R_{n-1}, R_n は上から第 $n-1$ 層および第 n 層の各柱の上下端節点の部材回転角である。また $\alpha_j, \alpha_r, \beta_j$ および $a_j, a_r, b_j, c_j, c_r (j=i, l, u)$ はそれぞれはりおよび柱の剛域形状により定まる定数で C_{ii}, C_{ir} は固定端モーメントである。すなわち $2 \leq m \leq m_s+2$ のとき、はりについては $2 \leq n \leq n_c+2$ の節点に対し

$$M_{ii} = 2EK_{bi}(\alpha_i\theta_i + \beta_i\theta_i) + C_{ii} \cdots \cdots (3)$$

$$M_{ir} = 2EK_{bi}(\alpha_i\theta_i + \beta_i\theta_r) - C_{ir} \cdots \cdots (4)$$

であり、柱については $2 \leq n \leq n_c+1$ の節点に対し各層ごとに水平方向の節点の移動が同じであるとして

$$M_{iu} = 2EK_{ci}(\alpha_u\theta_i + b_u\theta_u - 3c_uR_{n-1}) \cdots \cdots (5)$$

$$M_{id} = 2EK_{ci}(\alpha_i\theta_i + b_i\theta_d - 3c_iR_n) \cdots \cdots (6)$$

である。 $n=n_c+2$ の柱脚では水平方向の移動はなく、 M_{iu} は式(5)で与えられるが、 M_{id} については

$$M_{id} = 0 \cdots \cdots (7)$$

として取扱えばよい。両端に長さ d_1, d_2 の剛域をもつはりや柱 (図2(a)) の前述の定数は、剛域部分の曲げ剛性 EI を無限大と考え、モールの定理に代入してえられる次式から求めることができる⁽⁶⁾。

$$a = 2l\{(l-d_2)^3 - d_1^3\}/l_0^4 \cdots \cdots (8)$$

$$a' = 2l\{(l-d_1)^3 - d_2^3\}/l_0^4 \cdots \cdots (9)$$

$$b = 6l^2[(l-d_2)^2/2 - \{(l-d_2)^3 - d_1^3\}/3l]/l_0^4 \cdots \cdots (10)$$

$$c = l^2\{(l-d_2)^2 - d_1^2\}/l_0^4 = (a+b)/3 \cdots \cdots (11)$$

$$c' = l^2\{(l-d_1)^2 - d_2^2\}/l_0^4 = (a'+b)/3 \cdots \cdots (12)$$

式(8)~(10)において、 l, d_1, d_2 を l_{bj}, d_{b1j}, d_{b2j} とおけば a, a', b はそれぞれ a_j, a'_j, β_j を、また式(8)~(12)において l_{cj}, d_{c1j}, d_{c2j} とおけば a, a', b, c, c' はそれぞれ a_j, a_r, b_j, c_j, c_r を与える。固定端モーメントについては、頻出する荷重状態に対して公式があるが、剛域を考慮したものについても、公式化しておく

図4 剛域を考慮した固定端モーメント

ほうが便利で、図4には等分布荷重 w や集中荷重 P が働く場合の例が示されている。一方ハンチを有する部材については、奥田らが実験により、図5に示すような関係を用い、剛域寸法におきかえてよいことを報告している⁽⁷⁾。

さて、言うまでもなく剛節構造物が釣合い状態にあるためには次に示す平衡方程式を満たさなければならない。すなわち任意の節点 i に関する節点方程式

$$M_{il} + M_{ir} + M_{iu} + M_{id} = 0 \quad (13)$$

ならびに各層ごとに成立する層方程式(14)、(15)を満足する必要がある。

$$\sum_{m=2}^{m_s+2} (M_{iu} + M_{ui}) + M_{n-1} = 0 \quad (14)$$

$$\sum_{m=2}^{m_s+2} (M_{id} + M_{di}) + M_n = 0 \quad (15)$$

これらの層方程式は第2層から最下層までの各層で成り立つもので、式(14)、(15)はそれぞれ上から第 $n-1$ 層、第 n 層の層方程式を示す。また式中の M_{n-1} 、 M_n は第 $n-1$ 層および第 n 層の層モーメントである。これらの平衡方程式に式(3)～(6)などで示される各材端曲げモーメントを代入し、

$$\left. \begin{aligned} 2E\theta_i &= \varphi_i, 2E\theta_j = \varphi_j \\ 6ER_{n-1} &= \psi_{n-1}, 6ER_n = \psi_n \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

を用いて整理すると次の諸式(17)～(19)が得られる。

$$\begin{aligned} & (K_{bi}a_i' + K_{bi}a_i + K_{cu}a_u' + K_{ci}a_i)\varphi_i \\ &= -(K_{bi}\beta_i\varphi_l + K_{bi}\beta_i\varphi_r + K_{cu}b_u\varphi_u \\ &+ K_{ci}b_i\varphi_d) + K_{cu}c_u'\psi_{n-1} + K_{ci}c_i\psi_n \\ &+ C_{ir} - C_{il} \quad (17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_{n-1} &= \frac{1}{\sum_{m=2}^{m_s+2} K_{cu}(c_u' + c_u)} \left[\sum_{m=2}^{m_s+2} \{ K_{cu}(a_u'\varphi_i \right. \\ &+ b_u\varphi_u + a_u\varphi_u + b_u\varphi_i) \} + M_{n-1} \end{aligned} \quad (18)$$

表1 対応記号

$K_{bi}\alpha_i'$	$K_{bi}\alpha_i'$	$K_{cu}a_u'$	$K_{cu}a_u'$
$K_{bi}\beta_i$	$K_{bi}\beta_i$	$K_{cu}b_u$	$K_{cu}b_u$
$K_{ci}\alpha_i$	$K_{ci}\alpha_i$	$K_{ci}a_i$	$K_{ci}a_i$
$K_{ci}\beta_i$	$K_{ci}\beta_i$	$K_{ci}b_i$	$K_{ci}b_i$

	α	x/D	α	x/D
(a)	30°	1.57~1.86	45°	1.45~1.50
(b)	45°	0.32~0.39	60°	0.17~0.20

図5 変断面材の等価剛域寸法

$$\begin{aligned} \psi_n &= \frac{1}{\sum_{m=2}^{m_s+2} K_{ci}(c_i + c_i')} \left[\sum_{m=2}^{m_s+2} \{ K_{ci}(a_i\varphi_i \right. \\ &+ b_i\varphi_d + a_i'\varphi_d + b_i'\varphi_i) \} + M_n \end{aligned} \quad (19)$$

次に式(20)、(21)のとう度係数 K_n 、分配率 δ_i などを用い、剛度 K_{bi} 、 K_{ci} と係数 α_i 、 β_i 、 a_i 、 b_i などとの積を表1に示した対応する記号で置きかえ、さらに式(22)～(25)の関係を用いて式(17)～(19)の変換を行う。すなわち

$$\left. \begin{aligned} K_{n-1} &= \psi_{n-1} \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{cu}(c_u' + c_u) \\ K_n &= \psi_n \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{ci}(c_i + c_i') \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_u &= K_{cu}c_u / \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{cu}(c_u' + c_u) \\ \delta_{u'} &= K_{cu}c_{u'} / \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{cu}(c_u' + c_u) \\ \delta_i &= K_{ci}c_i / \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{ci}(c_i + c_i') \\ \delta_{i'} &= K_{ci}c_{i'} / \sum_{m=2}^{m_s+2} K_{ci}(c_i + c_i') \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

および表1の記号を用いて定義した次式

$$\left. \begin{aligned} \rho_{ia} &= K_{bia'} + K_{bib} + K_{cua'} + K_{cia} \\ \rho_{ib} &= K_{bib} + K_{bib} + K_{cub} + K_{cib} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{ila} &= K_{bia'}/\rho_{ia}, \gamma_{ira} = K_{bia}/\rho_{ia} \\ \gamma_{iua} &= K_{cua'}/\rho_{ia}, \gamma_{ida} = K_{cia}/\rho_{ia} \\ \gamma_{ilb} &= K_{bib}/\rho_{ib}, \gamma_{irb} = K_{bib}/\rho_{ib} \\ \gamma_{iub} &= K_{cub}/\rho_{ib}, \gamma_{idb} = K_{cib}/\rho_{ib} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

を用い、次に示す関係式(24)と新たな変数(25)

$$\gamma_{ija}\rho_{ia} = \gamma_{jia}\rho_{ja}, \gamma_{jib}\rho_{ib} = \gamma_{jib}\rho_{jb} \quad (24)$$

$$\varepsilon_{ia} = \rho_{ia}\varphi_i, \varepsilon_{ib} = \rho_{ib}\varphi_i \quad (25)$$

を用いると節点方程式、層方程式は結局次式のように

図6 ε法による計算の流れ図

$$\epsilon_{ib} = (\rho_{ib}/\rho_{ia})\epsilon_{ia} \dots\dots\dots (27)$$

$$R_{n-1} = \sum_{m=2}^{m_s+2} (\gamma_{iua} \epsilon_{ia} + \gamma_{uib} \epsilon_{ub} + \gamma_{uia} \epsilon_{ua} + \gamma_{iub} \epsilon_{ib}) + M_{n-1} \dots \dots \dots (28)$$

```

1750 LPRINT "      O      L      I      ENA(I)      ENB(I)      N
      R(N)      DEL(I)*R(N)      DELD(I)*R(N)"
1760 LPRINT "      AMLA(I)      AMLB(I)      AMRA(I)      AMRB(I)
      ANUA(I)      AMUB(I)      AMDA(I)      AMDB(I)"
1770 GOSUB *DIRN
1780 *A107 :L=L+1

1790 FOR N=2 TO NN
1800 FOR M=2 TO MM1
1810 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I : K=NN+N : IPNM=I+MM : INNM=I-
      NN : JNNM=J-MM
1820 ENA(J)=-(AMLRB(J-1)+AMLRB(I+1)+AMUDB(JNNM)+AMUDB(IPNM)
      +SMRN(K)*DLDR(J)+SMRN(K-1)*DLDRD(INNM)+CLCR(J)-CLCR(I)
1830 ENB(J)=ROUB(I)*ENA(J)/ROUA(I)
1840 AMLA(I)=ENA(J)*TLRA(I) : AMLA(J)=ENA(J)*TLRA(J)
1850 AMUDA(I)=ENA(J)*TUDA(I) : AMUDA(J)=ENA(J)*TUDA(J)
1860 AMLRB(I)=ENB(J)*TLRB(I) : AMLRB(J)=ENB(J)*TLRB(J)
1870 AMUDB(I)=ENB(J)*TUDB(I) : AMUDB(J)=ENB(J)*TUDB(J)
1880 NEXT M
1890 NEXT N
1900 GOSUB *DIJ
1910 GOSUB *DIRN
1920 ABEN=ABS(ENA(ICP)-ENA(JCP))-1/(10*L) :PRINT "ABEN=";AB
      EN
1930 IF ABEN<=0 GOTO *A154
1940 IF I-LLL>0 GOTO *A154
1950 FOR N=2 TO NN
1960 FOR M=2 TO MM1
1970 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I
1980 ENA(I)=ENA(J) : ENB(I)=ENB(J)
1990 NEXT M
2000 NEXT N
2010 GOTO *A107
2020 *A154 : IF JJJ=1 GOTO *A166
2030 IF JJJ=2 GOTO *A155
2040 *A155 :FOR N=2 TO NN1
2050 FOR M=2 TO MM1
2060 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I : K=NN+N
2070 DLDR(J)=DLDR(I)*SMRN(K) : DLDRD(J)=DLDRD(I)*SMRN(K)
2080 LPRINT L,I,ENA(J),ENB(J),N,SMRN(K),DLDR(J),DLDRD(J)
2090 LPRINT AMLRA(I),AMLRB(I),AMLA(J),AMLRB(J),AMUDA(I),AMU
      DB(I),AMUDA(J),AMUDB(J)
2100 NEXT M
2110 NEXT N
2120 *A166:LPRINT :LPRINT "      O      I      ENAO(I)      ENB
      O(I)      L      ENA(I)      ENB(I)      ENA      Mir
      Nil      Mid      TOT(I)"
2130 FOR N=2 TO NN
2140 BNNM=0 : BNNP=0
2150 FOR M=2 TO MM1
2160 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I : K=NN+N : IPNM=I+MM : INNM=I-
      NN : JNNM=J-MM
2170 *A186: ANNI(I)=AMLA(I)+AMLRB(J-1)+CLCR(I)
2180 AMPI(I)=AMLA(J)+AMLRB(I+1)-CLCR(J)
2190 ANNN(I)=AMUDA(I)+AMUDB(JNNM)-SMRN(K-1)*DLDRD(INNM)
2200 AMPN(I)=AMUDA(J)+AMUDB(IPNM)-SMRN(K)*DLDR(I)
2210 *A190:TOT=ANNI(I)+AMPI(I)+ANNN(I)+AMPN(I)
2220 BNNM=BNNM+ANNI(I) : BNNP=BNNP+AMPN(I)
2230 LPRINT I,ENA(I),ENI(I),L,ENA(J),ENB(J),ANNI(I),AMPI(I),
      ANNN(I),AMPN(I),TOT
2240 NEXT M
2250 BNNP(N)=BNNM : BNNP(K)=BNNP
2260 NEXT N
2270 LPRINT "      O      N      SM(N)      BNNP(N)      BNNN(N+1)
      SUM(N)"
2280 FOR N=2 TO NN
2290 K=NN+N
2300 SUM(N)=SMRN(N)+BNNP(K)+BNNP(N+1)
2310 NI=N+1
2320 LPRINT N,SMRN(N),BNNP(K),BNNP(NI)SUM(N)
2330 NEXT N
2340 END
2370 *DIJ
2380 FOR N=2 TO NN1
2390 K=NN+N
2400 SMRN(K)=SMRN(N)
2410 *A80:FOR M=2 TO MM1
2420 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I : IPNM=I+MM
2430 SMRN(K)=SMRN(K)+AMUDA(J)+AMUDB(IPNM)+AMUDA(IPNM)+AMUDB(
      J)
2440 NEXT M
2450 NEXT N
2460 RETURN
2470 *DIRN
2480 FOR N=2 TO NN
2490 FOR M=2 TO MM1
2500 I=(N-1)*MM+N : J=NN*MM+I : K=NN+N
2510 DLDR(J)=SMRN(K)*DLDR(I)
2520 DLDRD(J)=SMRN(K)*DLDRD(I)
2530 IF JJJ=1 GOTO *A103
2540 IF JJJ=2 GOTO *A105
2550 *A103:LPRINT L,I,ENA(J),ENB(J),N,SMRN(K),DLDR(J),DLDRD(
      J)
2560 LPRINT AMLRA(I),AMLRB(I),AMLA(J),AMLRB(J),AMUDA(I),AMU
      DB(I),AMUDA(J),AMUDB(J)
2570 *A105: NEXT M
2580 NEXT N
2590 RETURN

```

NII-Electronic Library Service

$$R_n = \sum_{m=2}^{m_s+2} (\gamma_{ida}\epsilon_{ia} + \gamma_{dib}\epsilon_{db} + \gamma_{dia}\epsilon_{da} + \gamma_{idb}\epsilon_{ib}) + M_n \quad (29)$$

式(26)～(29)はラーメン各節点のたわみ角係数 ϵ_{ia} の初期値が与えられると、逐次近似法により高い精度のたわみ角係数 ϵ_{ia} 、とう度係数 R_n の値を順次求めることができることを示している。 ϵ_{ia} の初期値の決定は次のように行うことができる。先に述べた式(17)で示される節点方程式および式(18)、(19)で示される各層方程式中の右辺の φ の値をすべて φ_i に等しいとき、層方程式を節点方程式に代入、整理することによって得られる ϵ_{ia} を ϵ_{aia} とおくと、これは ϵ_{ia} の初期値すなわち第1近似解 $\epsilon_{ia}^{(1)}$ を与える。

$$\epsilon_{aia} = (\delta_{iu}M_{n-1} + \delta_i M_n + C_{ir} - C_{il}) / \left\{ 1 + \frac{\rho_{ib}}{\rho_{ia}} - 3 \left(\frac{C_{iu}}{a_{iu}} \gamma_{iua} + \frac{C_i}{a_i} \gamma_{ida} \right) \right\} \quad (30)$$

$$\epsilon_{aib} = (\rho_{ib}/\rho_{ia}) \epsilon_{aia} \quad (31)$$

で与えられる ϵ_{aia} , ϵ_{aib} を式(26)～(29)に適用すれば順次より精度の高い ϵ_{ia} , R_n が得られることになる。したがって、希望する精度に達した ϵ_{ia} , ϵ_{ib} , R_{n-1} , R_n を用いれば、たわみ角とう度法の基本公式から任意の節点 i まわりの材端曲げモーメント $M_{ij}(j=l, r, u, d)$ が次式のように定まることになる。はりについて

$$M_{il} = \epsilon_{ia}\gamma_{ila} + \epsilon_{ib}\gamma_{lib} + C_{il} \quad (32)$$

$$M_{ir} = \epsilon_{ia}\gamma_{ira} + \epsilon_{ib}\gamma_{rib} - C_{ir} \quad (33)$$

柱については

$$M_{iu} = \epsilon_{ia}\gamma_{iua} + \epsilon_{ub}\gamma_{uib} - R_{n-1}\delta_{iu} \quad (34)$$

$$M_{id} = \epsilon_{ia}\gamma_{ida} + \epsilon_{db}\gamma_{dib} - R_n\delta_i \quad (35)$$

4. 計算の流れ図と計算プログラム

以上の計算の流れをフローチャートに示すと図6のようになる。電子計算機による計算を始めるに当たり、

図1のように高層多スパンく形ラーメンの図を描き、各節点番号を確認するとともに、各部材の剛度 K_{bi} , K_{ci} を求め、各はりに働く垂直力から固定端モーメント C_{il} , C_{ir} を、また各柱に働く水平力から層モーメント M_n を求めておくことは言うまでもない。以下実節点に関するこれらの値および部材長ならびに剛域寸法(図3)を入力データとして与えると、電子計算機は図6の流れ図に従い演算を実行する。 ϵ_{ia} が要求する精度の値を示すまで計算が継続、終了($m=m_s+2$, $n=n_c+2$ の節点のたわみ角係数 ϵ_{iacp} の値で判定)すると、本計算プログラムの中では引続き式(32)～(35)により各部材の材端曲げモーメントが計算される。そしてこれらの値が各節点および各層の平衡方程式、すなわち節点方程式、層方程式を満たすことをチェックして一連の計算結果の出力後、計算を終了する。図7は本計算プログラムを簡略化して示したものであり、計算可能な層数 n_c に対するスパン数 m_s は前報の表2より拡大されている。

5. 計算例と計算結果

図8は計算例に使用する4層多スパンく形ラーメンである。節点 i に連なる各部材は表2の寸法をもち、各はりとも等分布荷重 w と各層に図示のような水平荷重 P_n を受けている。図中、括弧のついた数字はラーメン各部材の剛度の値を示す。前報および図4を参照すれば本例題の層モーメント、固定端モーメントは

$$M_2 = 5 \text{ t} \times 4 \text{ m} = 20 \text{ tm}$$

$$M_3 = (5 \text{ t} + 7 \text{ t}) \times 4 \text{ m} = 48 \text{ tm}$$

$$M_4 = 84 \text{ tm}, M_5 = 155 \text{ tm}$$

$$C_{76} = 0, C_{78} = 4.8 \times 0.3^2/2 + 4.8 \times 7.4^2/12$$

$$+ 4.8 \times 7.4 \times 0.3/2 = 27.45 \text{ tm}$$

$$C_{87} = 27.45 \text{ tm}, C_{89} = 7.57 \text{ tm}$$

表2 図8のラーメン部材の各部寸法

unit (m)						
i	l_{bi}	d_{b1i}	d_{b2i}	l_{ci}	d_{c1i}	d_{c2i}
7	8	0.30	0.30	4	0.35	0.35
8	4	0.30	0.22	4	0.35	0.35
9	0	0.00	0.00	4	0.25	0.35
12	8	0.30	0.30	4	0.35	0.37
13	4	0.30	0.22	4	0.35	0.37
14	0	0.00	0.00	4	0.25	0.37
17	8	0.30	0.30	4	0.37	0.40
18	4	0.30	0.22	4	0.37	0.40
19	0	0.00	0.00	4	0.25	0.40
22	8	0.32	0.32	5	0.40	0.60
23	4	0.32	0.25	5	0.40	0.60
24	0	0.00	0.00	5	0.30	0.60
27	8	0.32	0.32	0	0.00	0.00
28	4	0.32	0.25	0	0.00	0.00
29	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00

図8 4層2スパンく形ラーメン

$$C_{98}=6.80 \text{ tm}, C_{9,10}=0, \dots$$

などとして得られ、以下他層の各節点についても同様に算出される ($1 \text{ tm}=9.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$)。図9は本例題の演算から得た材端曲げモーメントの値をラーメン図に付記したものであり、ラーメン各部材が受ける曲げモーメント図を描くと図10のようになる。

本方法では各層ごとに水平方向および垂直方向の節点の移動がそれぞれ同じであることが保証される場合には、く形ラーメンの一部のはり、柱が存在しない場合でも本方法によるラーメン解析が可能である。図11は図8の節点7と節点12に隣接する部材がすべて欠落している構造であり、この場合には仮想節点に連なる部材の剛度をすべて零と置いて計算を進めているように、欠落している部材の剛度、すなわち K_{b7} , K_{c7} , K_{b12} , K_{c12} の値はすべて零であるく形ラーメンとして計算を実行すればよい。図12はこのようにして、水

平・垂直両荷重を同時に受ける図11の場合についてε法を用い、材端曲げモーメントを求めた場合の例である。また図13は同じ図11のラーメンを、各節点の

図11 一部の部材を欠くく形ラーメン

図9 材端曲げモーメント (単位 $\text{t}\cdot\text{m}$)

図10 各部材の曲げモーメント

図12 ε法による計算結果

図13 剛性マトリックス法による計算結果

微小量の垂直変位を拘束し、水平方向のみの並進を仮定して剛性マトリックス法⁽⁸⁾により解析した結果であり、図12の結果に極めて近い値を与えていることがわかる。

6. 結 言

以上、たわみ角とう度法の一つである ϵ 法により基礎ばりを有し、剛域を考慮した部材から成る高層多スパン一般く形ラーメンを電子計算機を用いて構造解析する場合の解析法と演算プログラムならびに計算結果例について示した。構造解析に携わる技術者が比較的小容量のパーソナルコンピュータを用いて手軽に演算

結果を得ることに役立てて下されば幸いである。

文 献

- (1) 巽, 最も実用的なラーメンの解法, (昭16), 252, パワー社.
- (2) 高野・ほか2名, 機論, 51-472, A (昭60), 2838.
- (3) 高野・ほか2名, 機論, 53-494, A (昭62), 1953.
- (4) 塚本, モーメント分配法, (昭42), 213, 理工図書.
- (5) 榎谷・天野, たわみ角法とカニ法, (昭54), 278, 槇書店.
- (6) 日本鋼構造協会編, 骨組構造解析, (昭46), 304, 培風館.
- (7) 日本建築学会編, 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, (昭60), 685, 丸善.
- (8) 魚木・柴田, BASICによる骨組応用解析応用編, (昭60), 215, 学芸出版社.