

琉球大学学術リポジトリ

モーメント分配法・Kani法・たわみ角法について

| | |
|-------|--|
| メタデータ | 言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2012-03-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 具志, 幸昌, Gusi, Yukimasa メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/20.500.12000/23967 |

モーメント分配法・Kani 法・たわみ角法について†

具 志 幸 昌*

On Moment Distribution Method, Kani Method
and Slope-Deflection Method

Yukimasa GUSHI

Synopsis

This paper clarified the followings.

1. So called "Kani method" is a kind of slope-deflection methods, i.e; every process of Kani Method can be explained by the slope-deflection method which is solved by Iteration. In the Iteration process of the slope-deflection method, calculating a joint rotation angle moment φ_i is none the less computing the fixed moment of joint i in the Kani method except some multiplier, and in the same process, computing a deflection angle moment ψ is not more than calculating the corresponding storey moment of Kani method except some multiplier. Mathematically, Kani method and the slope-deflection method solved by Iteration are identical.

2. Ordinary Cross method is also a kind of slope-deflection methods, which solved by Iteration. In the latter process we construct the equations like followings (c.f. Fig. 2)

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B &= \frac{-1}{2(k_1+k_2)} [k_2\varphi_C + k\psi + C_{BA} + C_{BC}] \\ \varphi_C &= \frac{-1}{2(k_2+\frac{3}{4}k_3)} [k_2\varphi_B + \frac{k_3}{2}\psi + C_{BC} + H_{CD}] \end{aligned} \right\} (1)$$

Desolving the above equations (1) into two parts,

$$\varphi_B = \varphi_B^1 + \varphi_B^2, \quad \varphi = \varphi^1 + \varphi^2 \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^1 &= \frac{-1}{2(k_1+k_2)} [k_2\varphi_C^1 + C_{BA} + C_{BC}] \\ \varphi_C^1 &= \frac{-1}{2(k_2+(\frac{3}{4})k_3)} [k_2\varphi_B^1 + C_{CB} + H_{CD}] \end{aligned} \right\} (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^2 &= \frac{-1}{2(k_1+k_2)} [k_2\varphi_C^2 + k_1\psi] \\ \varphi_C^2 &= \frac{-1}{2(k_2+(\frac{3}{4})k_3)} [k_2\varphi_B^2 + \frac{k_3}{2}\psi] \end{aligned} \right\} (4)$$

† 受付：1969年10月31日

* 琉球大学理工学部土木工学科

Instead of the equations (1), solving two systems of equations (3) and (4) separately by Iteration, then this process is identical with the ordinary moment distribution method. Solving equation (3) by Iteration corresponds to solving the problem by the ordinary moment distribution method in which the given loads act and no joint movement occurs. Solving equations (4) by Iteration is the same process in the ordinary moment distribution method where some horizontal forces act and some joint movements occur and no given load acts.

3. Explaining the both of Kani method and ordinary moment distribution method by the slope-deflection method, as above, it is easy to understand the differences between Kani method and the ordinary moment distribution method. For example, speed of convergence of ordinary moment distribution method is clearly more rapid than that of Kani method, because of the small number of arguments. In the former case, however, the processes of moment distribution and balancing must be repeated some definite number of times and then balancing the horizontal forces are necessary. So, problem of "Which method is superior one" is not determined.

1.はじめに

モーメント分配法と Kani 法との優劣については種々論議されている^{*1) 2)}が、筆者は両者についてそれ程の優劣はないと考えており、問題に応じて解法が最も簡単になる様に方法をえらばよいと考えている。非矩形ラーメンの場合、通常のモーメント分配法^{** 3) 4)}によつてとくと、抑制力や変位力の計算がやや厄介になるが、たわみ角法の剪力方程式を使う松本氏の方法⁵⁾によれば、それ程面倒ではない。またモーメント分配法と云われる方法には色々の方法があり、*** 種々の改良がほどこされており、なかんずく二見教授の著書の方法⁶⁾ (以下二見法と呼ぶ)は Kani 法と用語を異にするが、全く同一のプロセスをふむものである。**** 筆者は非矩形ラーメンのモーメント分配法による解法を獨立部材角の考えを基にして、二見法の拡張と云う形で提案してある⁷⁾ (F-G法と呼ぶ)。

その後の考察によって、筆者はモーメント分配法や Kani 法 (二見法も) はたわみ角法によつてその原理やプロセスが説明できることしかもたわみ角法の方が手間がかからないことをみいだした。すなわち、たわみ角法の方程式をイタラチオンでとくことは、Kani 法と全く同じプロセスをふむことであり、またイタラチオンでとく時、少し工夫をこらすとモーメント分配法のプロセスにも一致することを発見した。以下それについてのべることにする。

*収束のはやさとか、計算手間とか、節点移動を生ずるときの処理のしかたとかについての優劣についてである。

**通常のモーメント分配法と云う言葉は誤解をまねき易いが、節点移動が生ずるとき、過度的に抑制力、変位力を考えるやり方をさす。

***モーメント分配法は固定法ともよばれ、種々の重要な或は派生的な改良がなされており、二見法もその中の重要な一つであると考えている。いちいちあげることはしないが内外の色々な公刊書にみる通りである。特に文献1)に要領よくのせられている。

**** Kani 法が外国でいつはじめて公刊されたのか筆者はよく判らぬが、日本での文献としては二見教授の著者が Kani 法よりずっと以前に公刊されている。

2. Kani 法 (二見法) とたわみ角法

例を矩形ラーメンにとって説明していくが非矩形ラーメンも全く同様に説明できるので一般性を失なうものではない。Fig. 1 のラーメンをたわみ角法でとくことを考える。たわみ角法の基本式は下記の型のものを使うことにする。

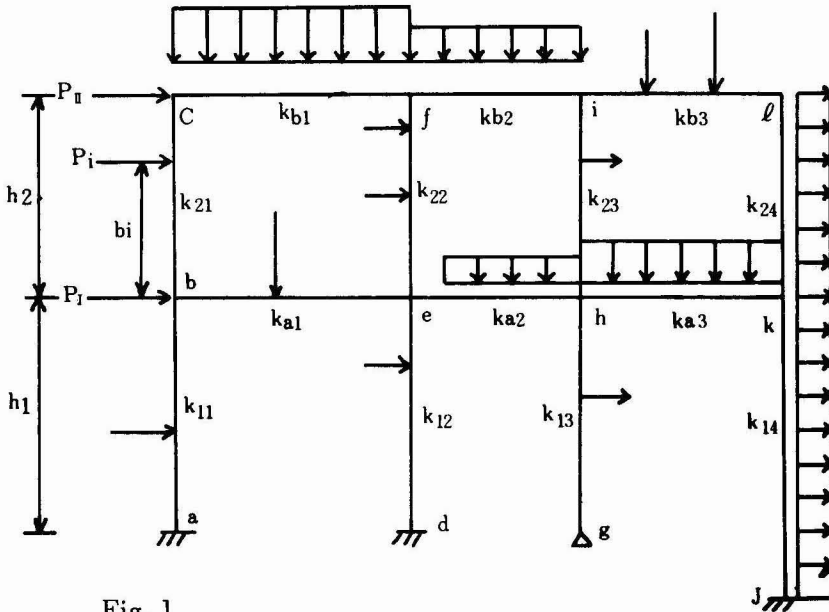


Fig. 1

$$M_{be} = k_{a1} (2\varphi_b + \varphi_e) + C_{be}$$

$$M_{bc} = k_{21} (2\varphi_b + \varphi_c + \psi_2) + C_{bc}$$

まず節点方程式の例として e 節点について考えてみる。

$$M_{eb} + M_{ef} + M_{eh} + M_{ed} = 0$$

上式に基本式を代入し、イタラチオンでとくときの様に φ_e について整理すると次の様になる。

$$\varphi_e = \frac{(-1)}{2(k_{a1} + k_{21} + k_{a2} + k_{12})} \left[(k_{a1}\varphi_b + k_{21}\varphi_f + k_{a2}\varphi_h + k_{21}\psi_2 + k_{12}\psi_1) + (C_{eb} + C_{ef} + C_{eh} + C_{ed}) \right]$$

$$= \frac{(-1)}{2} \frac{[(e \text{ 節点へ集まる部材の剛比の和})]}{[(e \text{ 節点への回転成分および変位成分の和或は}$$

$$e \text{ 節点への到達モーメント・分担モーメントの和}) + (e \text{ 節点の荷重項の和})]$$

$$= \frac{(-1)}{2} \frac{[(e \text{ 節点の節点固定モーメントの和})]}{[(e \text{ 節点へ集まる部材の剛比の和})]}$$

上式の [] の中は Kani 法および二見法で云う節点固定モーメントそのものであり、両法の計算途中で何回か求めるものである。また上式の [] の係数

$$\frac{1}{j} = \frac{1}{2 \text{ (e 節点に集まる部材の剛比の和)}}$$

に部材剛比を乗ずれば、モーメント分配法、二見法で言う到達係数となり、2倍すれば分配率となる。或は $1/j$ に剛比に -1 を乗じたものをかけると Kani 法で言う回転係数と云うことになる。従って上の φ_e に部材剛比を乗ずれば Kani 法の回転成分、二見法の到達モーメントが求まることになる。

以上の説明から判る様にたわみ角法をイタラチオンでとくときに第 n 回目のたわみ角モーメント φ_e の近似値を求めることは、二見法で第 n 回目の節点 e の固定モーメントを求めることになり、Kani 法では第 n 回目の節点 e での回転係数に乗すべきモーメント和を求めることになる(常数係数を乗ずることを除いて)。逆に云うと、Kani 法で第 n 回目の回転成分を求めることおよび二見法で第 n 回目の到達モーメントを計算することは、たわみ角法をイタラチオンで解いていくときのたわみ角モーメント φ の第 n 回目の近似値を求めることに一致する(常数係数を乗ずることを除いて)のである。またこのときたわみ角法の節点方程式は近似的に満足されることになる。

次に層方程式または剪力方程式を考えることにしよう。Fig. 1 の第 2 層について考えてみることにする。層方程式がある獨立部材角が 1 なる仮想回転変位したときのラーメンの荷重一端モーメント系の仮想仕事式である⁸⁾ことを考えれば非矩形ラーメンでも以下の論議が有効である筈である。

$$(M_{cb} + M_{bc} + M_{ef} + M_{fe} + M_{ih} + M_{hi} + M_{lk} + M_{kl})$$

$$\times 1 + P_{II} \cdot (h_2 \cdot 1) + \sum \{P_i (b_i \cdot 1)\} = 0$$

上式にたわみ角法の基本式を代入し、イタラチオンでとくときの様に ψ_2 について整理すると次のようになる。*

$$\psi_2 = \frac{(-1)}{2 (k_{21} + k_{22} + k_{23} + k_{24})} \left[3 (k_{21} \varphi_b + k_{21} \varphi_c + k_{22} \varphi_e + k_{22} \varphi_f + k_{23} \varphi_i + k_{23} \varphi_h + k_{24} \varphi_k) + (C_{cb} + C_{bc} + C_{fe} + C_{ef} + C_{ih} + C_{hi} + C_{kl} + C_{lk}) + P_{II} h_2 + \sum P_i b_i \right]$$

上式の右辺の係数に柱の剛比を乗ずれば二見法で云う分担係数であり、Kani 法では柱の剛比の 3 倍を乗じて変位係数としている。上式の〔 〕の中第 1 項は二見法で云う柱の上下端の到達モーメントの和であり、Kani 法では回転成分の和である。この第 1 項と第 3 項の $P_{II} h_2$ との和は二見法では分担モーメントを求める際に分担係数に乗すべきモーメント和、いわゆる全層モーメントであり、Kani 法ではその $1/3$ を変位成分を求めるために計算し求めている。第 2 項および第 4 項は柱の中途に横荷重が作用しているときに出てくる量で二見法でも Kani 法でもそう云う時は計算に考慮すべき量である。結局上の〔 〕の中の量は二見法で言う全層モーメント、Kani 法で言う変位成分を求めるために必要な変位係数に乗すべきモーメント和である。両法ともこの〔 〕の中の量はプロセスの途中で何回か計算するものである。以上の事から、たわみ角法をイタラチオンでといていく時第 n 回目の部材角モーメント φ の近似値を求めるこ

*非矩形ラーメンでは〔 〕の中に別の獨立部材角が入ってくるのが普通であると云う点がちがっているが、これ以下の取扱いを変更するほどのことは生じない。

とは、二見法で第 n 回目の全層モーメントを計算することだし、Kani 法では第 n 回目の変位係数に乘ずべきモーメント和を計算することとなる（いずれも常数倍することを除いて）。換言すれば、二見法で第 n 回目の分担モーメントを算出することは、また、Kani 法で第 n 回目の変位成分を求めることは、たわみ角法の方程式をイタラチオンでといていくときの第 n 回目の部材角モーメントの近似値を算出することと数学的に全く一致している（常数倍することを除いて）。述べるまでもないが上の ψ に柱の剛比を乗ずれば、分担モーメント或は変位成分が求まる。

以上の考察により、たわみ角法でイタラチオンを使って構造物をとく時の諸操作は、二見法或はKani 法でとく時の各プロセスと全く対応しており、しかも途中の各段階の数値は常数倍することを除いて完全に一致する（例題参照）。つまりたわみ角法をイタラチオンでとく方法と二見法・Kani 法とは全く同一の方法であると結論できる。

次はどちらが簡単かと言う問題だが、たわみ角法では二見法・Kani 法での節点固定モーメント或は層モーメントのみを計算し、回転成分（到達モーメント）、変位成分（分担モーメント）等は記入しないですむ（表面上は計算もしないのだが実際はしていることになる）、従って記入まちがいも少なくなるし、途中での手間が少ない。スペースも少なくすむと言う利点をもつ。また節点の一部がヒンジである時の取扱いも容易である。特に非矩形ラーメンでは層モーメントの計算が厄介でまちがい易いのだが、たわみ角法では ψ の計算式にあてはめていくので間違いが生じにくい。結局たわみ角法をイタラチオンでといていく方が Kani 法や二見法よりもよいと考えている*。

3.モーメント分配法とたわみ角法

部材角が生じる場合つまり節点に変位する場合を例にとる。Fig. 2 のラーメンをとくことを考える。

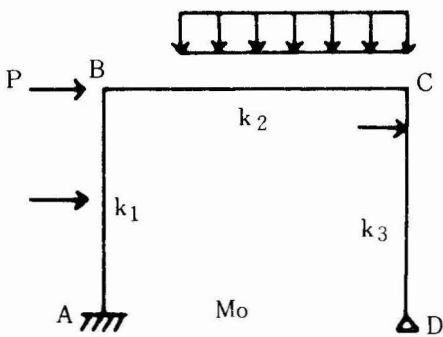


Fig. 2

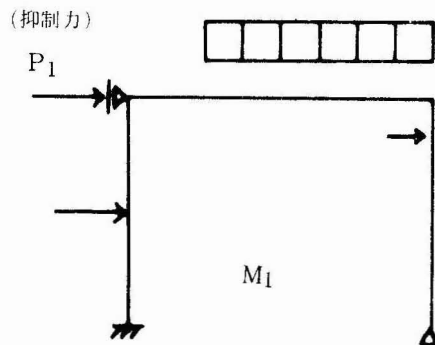
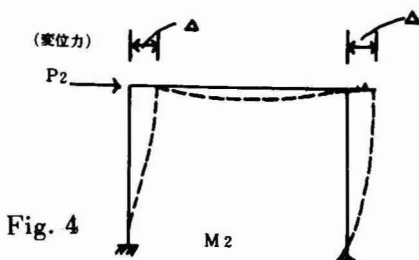


Fig. 3

*ただし非矩形ラーメン（ \square 型のラーメンを含む）の解法に於てF-G法では層モーメントを決定する特殊の操作（文献7の39頁）が可能なので収束を早くできることがある。



通常のモーメント分配法でとく方法をFig. 2、3、4に示す。まず節点変位が生じない様に拘束して与荷重（部材中間荷重のみ）を作用させ（Fig. 3）、モーメントの到達分配が終了した後、曲げモーメント分布 M_1 を求め、力の釣合から抑制力 P_1 を求める。次に節点の回転を止めたまま、任意量の水平力を作用させ、節点に水平変位を生ぜしめ、次に節点変位がそれ以上生じない様に拘束したまま、節点の回転固定をとり、モーメントを分配、到達せしめ、曲げモーメント分布 M_2 を求めた後、力の釣合から、変位力 P_2 を計算する（Fig. 4）。次に重ね合わせの原理と水平方向の力の釣合条件（実はたわみ角法の層方程式）

$$P_1 + \alpha P_2 = P \quad (1)$$

から、 α を算出する。任意点の曲げモーメントは

$$M = M_1 + \alpha M$$

から求まる。

次にたわみ角法でといてみよう。この場合節点方程式だけを考え、イタラチオンでとく時便利な様に φ について整理する。途中の計算は省略して次の様になる。

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B &= \frac{(-1)}{2(k_1 + k_2)} [k_2 \varphi_C + k_1 \psi + C_{BA} + C_{BC}] \\ \varphi_C &= \frac{(-1)}{2(k_2 + k_3)} [k_2 \varphi_B + \frac{k_3}{2} \psi + C_{CB} + H_{CD}] \end{aligned} \right\} (2)$$

次に

$$\varphi_B = \varphi_B^1 + \varphi_B^2, \quad \varphi_C = \varphi_C^1 + \varphi_C^2 \quad (3)$$

とおき(2)式を次の様に分解する。

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^1 &= \frac{(-1)}{2(k_1 + k_2)} [k_2 \varphi_C^1 + C_{BA} + C_{BC}] \\ \varphi_C^1 &= \frac{(-1)}{2(k_2 + \frac{3}{4}k)} [k_2 \varphi_B^1 + C_{CB} + H_{CD}] \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^2 &= \frac{(-1)}{2(k_1 + k_2)} [k_2 \varphi_C^2 + k_1 \psi] \\ \varphi_C^2 &= \frac{(-1)}{2(k + \frac{3}{4}k_3)} [k_2 \varphi_B^2 + \frac{k_3}{2} \psi] \end{aligned} \right\} (5)$$

(2)式の系をとく代りに(4)、(5)式の2組の系をとき(3)式によって重ね合わせと言う形にするのである。イタラチオンを使って(4)式の系をといていくことは、モーメント分配法でFig. 3の

場合を解くことに相当している。その説明は前節のKani法とたわみ角法との関係の説明と殆んど同じなので省略する。次に(5)式の系で φ に適当量を与え(Fig. 4でモーメント分配法の時に適当量の水平変位量を最初に与えたが、それに対応する量を与えればよい)、(5)式をイタラチオンでといていくことは、モーメント分配法でのFig. 4の操作を行う事に相当する。Kani法の時と全く同じ様に(4)、(5)式の系をイタラチオンを使ってとくことは通常のモーメント分配法でのFig. 3、4の操作と完全に一致し、途中での数値は常数倍することを除いては全く同じである。ただいわゆる通常のモーメント分配法では節点固定モーメントは段々小さくなり、零に近づくことになり、到達モーメントも同じことになるが、たわみ角法では一定値に収束させる様になっている(この様なモーメント分配法もある)。通常のモーメント分配法での第 n 回目の節点固定モーメントは、たわみ角法をイタラチオンでとく時の、 φ の第 n 次近似値と第 $(n-1)$ 次近似値との差にある常数をかけたものに等しい(例題参照)。結局通常のモーメント分配法は、たわみ角法をイタラチオンでといていく時、節点方程式だけを考え、(4)式(5)式のように分解してといていき、曲げモーメント分布を求めて後、力の釣合から変位力、抑制力を計算し、水平方向の力の釣合条件(2)式から(これを使わず、また変位力、抑制力の計算もせずに、(4)、(5)の場合の曲げモーメント分布に、剪力方程式を適用してもよい或はこんな事をせずに求めた $\varphi^1 + \alpha \varphi^2 = \varphi$ の値を直接剪力方程式に代入して α を算してもよい。この方が簡単である。)、 α を算出し次いで反力や曲げモーメントを求める事と全く同じである。たわみ角法とモーメント分配法どちらがよいかと言う事になるが、たわみ角法の方が前節と同じ理由でよいのではないかと考えている。

4. Kani法とモーメント分配法

Kani法とモーメント分配法を上記の様にたわみ角法で説明したので、これを使って色々な事が比較できる。その中収束の早さであるが、モーメント分配法の方が未知量の数が少ないので収束が早いことは確かである(モーメント分配法は未知量は節点回転角だけ)。非矩形ラーメンでは特にそえ言う傾向が強くなることが多い。しかしながら、モーメント分配法は与荷重が作用して節点変位しない時と、独立部材角の数との和(つまり独立部材角数プラス1)だけ、くり返し、適用しなくてはならないし、抑制力、変位力の計算が必要である。従ってどちらが手間や時間がかかるかは一概には言えない。Kani法では計算途中での数値の丸めの影響が最終結果に影響しないとか、誤差の累積が生じないとか言う利点があるが、モーメント分配法でも二見法をはじめそう言う欠点を除去したやり方が既にあるので、この面での優劣はつけられない。ただ通常のモーメント分配法での、節点固定モーメントや、到達モーメントを段々小さくしていく方法は誤差の累積と云う点と、収束を早くするための操作(固定モーメントを適當の方法で推測すること)等が適用できないので、一定値に収束する方法に改めた方がよいと思っている。

5. 例題

Fig. 5のラーメンをモーメント分配法、Kani法、たわみ角法でといてみて、各段階での数値の対応を示し、上記の考えの実証としたい。

荷重項

$$-C_{BC} = C_{CB} = \frac{q\ell^2}{12} = 16 \text{ t}\cdot\text{m}$$

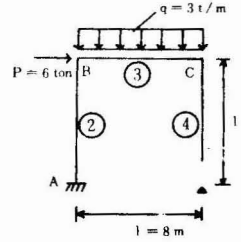


Fig. 5

(1) モーメント分配法

分配率・到達率

| | | | | |
|------|-------|------|------|------|
| B 節点 | 梁B 端へ | 0.6 | C 端へ | 0.30 |
| | 柱B 端へ | 0.40 | A 端へ | 0.20 |
| C 節点 | 梁C 端へ | 0.50 | B 端へ | 0.25 |
| | 柱C 端へ | 0.50 | D 端へ | 零 |

節点変位を拘束して与荷重が作用したとき Table 1 の通り。

Table 1.

| | | | | | |
|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| | | - 0.008 | | + 0.002 | |
| | | - 0.113 | | + 0.034 | |
| | | - 1.50 | | + 0.45 | |
| | | - 4.0 | | + 6.00 | |
| | | - 20.00 | | + 16.00 | |
| | | - 16.00 | | | |
| | MAB | MBA | MBC | MCB | MCD |
| D.F. | (---) | (0.400) | (0.600) | (0.500) | (0.500) |
| C.O.F. | (0.200) | (---) | (0.250) | (0.300) | (---) |
| F.E.M. | --- | --- | - 16.000 | + 16.000 | --- |
| | | | - 4.00 | + 6.00 | |
| | | | - 1.50 | + 0.45 | |
| | | | - 0.113 | + 0.034 | |
| | | | - 0.008 | + 0.002 | |
| C.O.M. | + 4.324 | --- | - 5.621 | + 6.486 | --- |
| D.M. | --- | + 8.648 | + 12.973 | - 11.242 | - 11.243 |
| | + 4.324 | + 8.648 | - 8.648 | + 11.244 | - 11.243 |

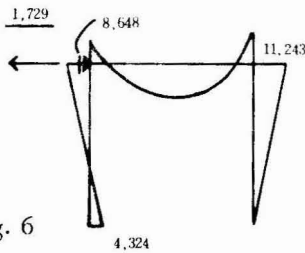


Fig. 6

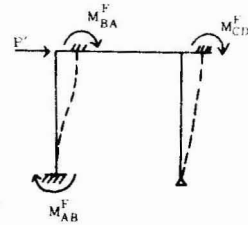


Fig. 7

抑制力の計算

Fig. 6 の通り。

節点変位を生ぜしめた時、

節点の回転を拘束してある量の水平変位を生ぜしめた時の節点回転固定モーメントは Fig. 7 を参照しながら、次の様に計算できる。

$$M_{BA}^F = 2 (2 \varphi_B + \psi) = 2 \psi = -2000 = M_{AB}^F$$

$$M_{CD}^F = \frac{4}{2} (3 \varphi_C + \psi) = 2 \psi = -2000$$

但し $\psi = -1000$ とにおいてある。以下の計算はTable 2に示す。

Table 2.

| | | | | | | |
|-------|---------|---------|---|--|----------------------------------|-------------|
| | | | - 0.1 | | | + 0.2 |
| | | | - 0.6 | | | + 2.5 |
| | | | - 8.4 | | | + 33.8 |
| | | | - 112.5 | | | + 450 |
| | | +500 | -1500 | | | -2000 |
| | | | -2000 | | | |
| | MAB | MBA | MBC | | MCB | MCD |
| D.F. | (—) | (0.400) | (0.600) | | (0.500) | (0.500) |
| C.O.F | (0.200) | (—) | (0.250) | | (0.300) | (—) |
| F.E.M | -2000 | -2000 | | | | -2000 |
| | | | +500 +112.5 - 8.4 - 0.6 - 0 | | +450 + 33.8 + 2.5 + 0.2 | |
| C.O.M | | | | | +486.5 | |
| D.M | | | | | +756.8 | +756.7 |
| | -1675.7 | -1351.4 | +1351.4 | | +1243.3 | (-)1243.3 |

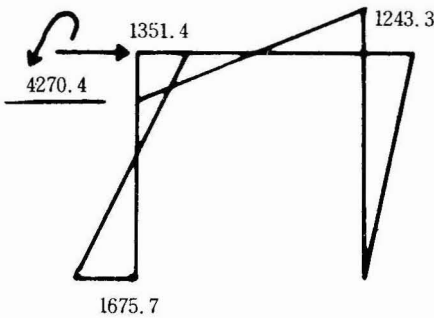


Fig. 8

変位力の計算

力の釣合から、Fig. 8の通りとなる。

α の算出

$$-\frac{1,729}{\ell} + \alpha \cdot \frac{4270.4}{\ell} = P$$

$$\alpha = 0,011,645, \dots$$

端モーメントの計算

Table 3の通り。

Table 3.

| | MAB | MBA | MBC | MCB | MCD |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| M 1 | +4,324 | +8,648 | -8,648 | +11,244 | -11,244 |
| α M 2 | -19,514 | -15,737 | +15,737 | +14,478 | -14,478 |
| M 0 | -15,190 | -7,089 | +7,089 | +25,722 | -25,722 |

(2) たわみ角法 I

基本式は省略する。節点方程式だけ考える。

$$M_{BA} + M_{BC} = 0$$

$$2(2\varphi_B + \psi) + 3(2\varphi_B + \varphi_C) - 16 = 0$$

$$\varphi_B = \frac{(-1)}{10}(3\varphi_C + 2\psi - 16)$$

$$M_{CB} + M_{CD} = 0$$

$$3(2\varphi_C + \varphi_B) + 16 + (4/2)(3\varphi_B + \psi) = 0$$

$$\varphi_C = \frac{-1}{12}(3\varphi_B + 2\psi + 16)$$

φ_B , φ_C を 2 つにわけて、

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^1 &= \frac{(-1)}{10}(3\varphi_C^1 - 16) \\ \varphi_C^1 &= \frac{(-1)}{12}(3\varphi_B^1 + 16) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_B^{2'} &= \frac{(-1)}{10}(3\varphi_C^{2'} - 2000) \\ \varphi_C^{2'} &= \frac{(-1)}{12}(3\varphi_B^{2'} - 2000) \end{aligned} \right\} (2)$$

Table 4.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| φ_C^1 | 1,333 [+16.00] (+16.00) | -1,833 [+22.00] (+6.00) | -1,871 [+22.45] (+0.45) | -1,874 [+22,484] (+0.034) | -1,874 [+22,486] (+0.002) |
| φ_B^1 | +2.00 [-20.00] (-20.00) | +2.15 [-21.5] (-1.50) | +2,161 [-21.613] (-0.113) | +2,162 [-21,622] (-0.009) | +2,162 [-21,622] (0) |

上式で $\psi = -1000$ とおいてある。

(1) 式イタラチオンでとく。Table 4 参照。表 4 ではモーメント分配法との数値の対応を示すために不必要なことも記入してある。〔 〕の中の数値は一定値に収束させるモーメント分配法での各段階での節点固定モーメント、つまり上の(1)式の各段階での () の数値を示してある。また Table 4 の () の中の数値は n 回目と $(n - 1)$ 回目の上記〔 〕内の数値の差であり、前例のモーメント分配法での各段階の節点固定モーメントに完全に一致している。Table 4 の場合の端モーメントは次の通りとなる。

$$\left. \begin{aligned} M_{AB}^I &= 2 (2.162) = 4,324 \\ M_{BA} &= 2 (2 \times 2.162) = 8,648 \\ M_{BC}^I &= 3 (2 \times 2.162 - 1,874) - 16 = -8,650 \\ M_{CB}^I &= 3 (-1,862 \times 2 + 1 \cdot 2.162) + 16 = +11,242 \\ M_{CD}^I &= (4 / 2) (-3 \times 1,874) = -11,244 \end{aligned} \right\} (3)$$

(2) 式をイタラチオンでとく。Table 5 の通りであり、モーメント分配法との対応も Table 4

Table 5.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| $\varphi_C^{2'}$ | +166.7 〔-2000〕 (-2000) | +129.1 〔-1550〕 (+ 450) | + 126.3 〔-1516.1〕 (+ 33.9) | + 126.1 〔-1513.7〕 (+ 2.4) | +126.1 〔-1513.5〕 |
| $\varphi_B^{2'}$ | +150.0 〔-1500〕 〔-1500〕 | +161.3 〔-1612.7〕 (- 112.7) | +162.1 〔-1621.1〕 (- 8.4) | +162.2 〔-1621.6〕 (- 0.5) | |

に同じ。これより端モーメントを算出すると次の通り。

$$\left. \begin{aligned} M_{BA}^II &= 2 \cdot 162.2 \times 2 - 2000 = -1351.2 \\ M_{AB} &= 2 (162.2) - 2000 = -1675.6 \\ M_{BC}^II &= 3 (2 \times 162.2 + 126.1) = 1351.5 \\ M_{CB}^II &= 3 (162.2 + 2 \times 126.1) = 1243.3 \\ M_{CD}^II &= (4 / 2) (3 \times 126.1) - 2000 = -1243.4 \end{aligned} \right\} (4)$$

上記(3)、(4)の値が Table 1、2 の値と一致しているのは当然である。以下はモーメント分配法の場合と同じ様にすればよいので省略する。しかしながら、3節の終りで述べた様に、この場合は(3)、(4)式の様には端モーメントを求める操作は必要がなく、次の様にしてよい。即ち $\varphi = \varphi^I + \alpha \varphi^2$, $\psi = \alpha (-1000)$ をたわみ角法の剪力方程式、

$$M_{AB} + M_{BA} + M_{CD} + Ph = 0 \quad \text{つまり}$$

$$6\varphi_B + 6\varphi_C + 6\psi + 4800 = 0$$

に代入すると、

$$6 (2,162 + 162.2\alpha) + 6 (-1874 + 126.1\alpha) - 6\alpha \cdot 1000 + 4800 = 0$$

となり、これから、 α を算出する式

$$4801,728 - 4270.2\alpha = 0$$

を得る。これは前出の α の算定式に一致している。以下は省略する。

(4) たわみ角法Ⅱ

基本式、節点方程式、層方程式の求め方は省略し、いきなりイタラチオン方式でとくのに便利な式から始める。

$$\varphi_B = \frac{(-1)}{10} (3\varphi_C + 2\psi - 1600)$$

$$\varphi_C = \frac{(-1)}{12} (3\varphi_B + 2\psi + 1600)$$

$$\psi = \frac{(-6)}{6} (6\varphi_B + 6\varphi_C + 4800)$$

上式ではモーメントの値は Kani 法の時と同じく百倍してある。Kani 法と途中の数値を一致させるために ψ 、 φ_B 、 φ_C の順に求めていってある。計算は Table 7 の通りである。

Table 7.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------|------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| ψ | -800 | -1040 | -1134 | -1158.8 | -1163.9 | -1164.5 | -1164.6 |
| φ_B | +320 | +392 | +404.2 | +404.5 | +405.2 | +405.1 | +405.1 |
| φ_C | -80 | -58 | -45.4 | -41.5 | -40.7 | -40.5 | -40.5 |

Table 7 の各段階での近似値に於て、 ψ を 2 倍すれば Kani 法の各段階での変位成分に一致し、 φ_B を 2 倍および 3 倍すれば B 節点での回転成分となっている。また φ_C を 3 倍すれば C 点での回転成分と一致する。以下の計算は省略する。

謝辞：常に御指導御助言をたまわっております東京工大教授藤本盛久先生に深く感謝致します。

引用文献

- 1) 吉村虎蔵：Kani 法と Cross 法、土木学会誌、49 卷 9 号、P P 21~26、1964 年 9 月
- 2) 山崎徳也、太田俊明：Kani 拡張法による骨組構造物の解法土木学会論文集 148 号 P.1、1967 年 12 月
- 3) 村上正、吉村虎蔵：構造力学、コロナ社、P P. 266~296、1958 年
- 4) 吉田俊弥：構造力学、朝倉書店、P P. 239~255、1967 年
- 5) 松本崇：異形ラーメンと固定モーメント法、理工図書、1967 年
- 6) 二兄秀雄：構造力学、実教出版、P P. 239~271、1950 年
- 7) 具志幸昌：非矩形ラーメンのモーメント分配法による解法、琉球大学理工学部紀要工学篇、第 2 号、1969 年 4 月
- 8) 小野薫：撓角法、紀元社、P P. 83~88、1957 年