KANI 法による多層ラーメンの構造解析

長崎大学大学院　学生員　○　中村太一
長崎大学工学部　正会員　　松田浩, 崎山毅, 森田千尋

1　はじめに

不静定ラーメンの構造解析を行う場合, コンピュータの使用を前提としない時代には, たわみ角法やモーメント分配法が用いられており, 今日でも構造力学の教科書に掲載され講義で教えられている. 一方, 研究や実務における構造解析ではコンピュータの使用を前提とした有限要素法によるものが主流となっており, 計算機や計算技術の著しい発達とともにますますその重要性が認識されつつある. 矢川ら[1)]は相互結合型ニューロを取り上げ, そのネットワークのエネルギー最小化と有限要素法における汎関数の最小化の類似性に注目し, 有限要素法に適したネットワークモデルを構築し定式化を行っている. 本研究は, 矢川らの研究, およびモーメント分配法や KANI 法がネットワーク型の解析手法であることに注目し, まずその第一歩として軸力の影響を考慮した収束計算式を用いて KANI 法をプログラム化し数値解析を行ったものである.

2　KANI 法の概要

KANI 法はたわみ角法を基礎とし, M 分配法と類似した収束計算法である. 特徴としては, ①連立方程式を解く必要がなく四則演算のみで解くことができる, ②部材角を考慮した収束計算ができることなどが挙げられる. ①については M 分配法にも同じことが言えるが, ②は M 分配法の場合, 別に方程式を立てて計算する必要があり, この点において KANI 法が M 分配法よりも優れた解法であると言える.

KANI 法の収束計算式は, たわみ角法の節点方程式, 層方程式から以下の手順より誘導される[2)].

Step 1　たわみ角法の基本式 (図 1)

$$M_{ik} = \frac{2EI}{\ell}(2\theta_i + \theta_k - 3R) + C_{ik} \quad (1)$$

$$= 2M'_{ik} + M'_{ki} + M''_{ik} + C_{ik} \quad (2)$$

ここに,　$M'_{ik} = 2EK_{ik}\theta_i$,　$M'_{ki} = 2EK_{ik}\theta_k$

$M''_{ik} = -6EK_{ik}R$,　$K_{ik} = I/\ell$,　C_{ik} : 荷重項

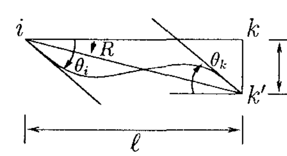

図 1:

Step 2　節点方程式 (図 2), 層方程式 (図 3)

$$M'_{ik} = -\frac{K_{ik}}{2\sum_{k=1}^{n} K_{ik}}\left(\sum_{k=1}^{n} C_{ik} + M_i + \sum_{k=1}^{n} M'_{ki} + \sum_{(r)} M''_{ik}\right) \quad (3)$$

$$M''_{ik} = -\frac{3}{2}\frac{K_{(ik)_r}}{\sum_{r=1}^{m} K_{(ik)_r}}\left(M'_{(ik)_r} + M'_{(ki)_r}\right) \quad (4)$$

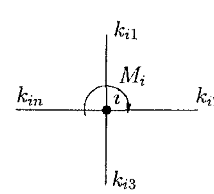

図 2:

式 (4) を式 (3) に代入すると収束計算式 (5) が得られる.

$$M'_{ik} = \mu_{ik}\left[\bar{M}_i + \sum_{k=1}^{n} M'_{ki} + \sum_{(r)} \nu_{ik}\left(M'_{(ik)_r} + M'_{(ki)_r}\right)\right] \quad (5)$$

ここで, μ_{ik}, ν_{ik}, $\bar{M}_i$ はそれぞれ回転係数, 変位係数, 固定モーメントと呼ばれ, 次式で表わされる.

$$\mu_{ik} = -\frac{K_{ik}}{2\sum_{k=1}^{n} K_{ik}}, \quad \nu_{ik} = -\frac{3}{2}\frac{K_{(ik)_r}}{\sum_{r=1}^{m} K_{(ik)_r}}, \quad \bar{M}_i = \sum_{k=1}^{n} C_{ik} + M_i$$

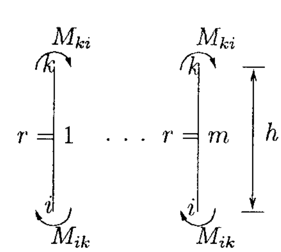

図 3:

3 軸力の影響を考慮した収束計算式

実際の構造物の柱にはかなりの軸力 $(\bar{N})$ が作用するため, 軸力を考慮に入れた解析が必要になる. 軸力を考慮したたわみ角法の基本式[3] を用いると収束計算式は次式のように表わせる.

$$M'_{ik} = \mu_{ik}\left[\bar{M}_i + \sum_{k=1}^{n}\left(\frac{C_{ik}}{2}M'_{ki}\right) + \sum_{(r)}\left\{\frac{C_{ik}+S_{ik}}{6}\nu_{ik}\sum_{r=1}^{m}\left(\left(\frac{C_{ik}+S_{ik}}{2}\right)\left(M'_{(ik)_r}+M'_{(ki)_r}\right)\right)\right\}\right] \qquad (6)$$

ここに,

$$\mu_{ik} = -\frac{K_{ik}}{\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{C_{ik}}{2}K_{ik}\right)}、\nu_{ik} = -\frac{K_{(ik)_r}}{\sum_{r=1}^{m}\left(\frac{C_{ik}+S_{ik}}{3}K_{(ik)_r}\right)}、C_{ik} = -\frac{12\Psi}{\Phi^2-4\Psi^2}、S_{ik} = \frac{6\Phi}{\Phi^2-4\Psi^2}$$

$$\Psi = \frac{3}{k\ell}\left(\frac{\cos k\ell}{\sin k\ell} - \frac{1}{k\ell}\right)、\Phi = \frac{6}{k\ell}\left(\frac{1}{\sin k\ell} - \frac{1}{k\ell}\right)、k\ell = \sqrt{\frac{\bar{N}\ell^2}{EI}}、\bar{M}_i = \sum_{k=1}^{n}C_{ik} + M_i$$

4 解析手順及び解析結果

解析はまず, 柱, 梁に作用する軸力を求めるため, 式 (5) によって端モーメントを求めた. 次に得られた端モーメントを用いて軸力を計算し, 式 (6) によって再度収束計算を行なった. なお, 今回, 収束計算を終了させるための収束判定は $\sum M_{ik} < 10^{-6}(tfm)$ とした.

解析対象ラーメンを図 4 に, 解析結果を表 1 に示す. 表 1 から分かるように, 軸力を考慮しないものと比べ値が少し違っており, 軸力による影響を無視することができないことが分かる. 今回, 収束判定条件を満たすために必要な収束計算数は 13 回で, 軸力を考慮したたわみ角法の解とほぼ一致し, KANI 法の収束計算式が妥当であることが言える. なお, 計算は瞬時に終了する.

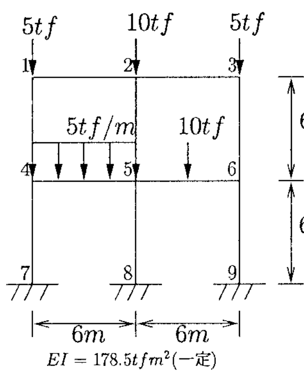

図 4:

表 1 解析結果 (第 1 層の柱) (tfm)

M_{ik}	KANI 法		たわみ角法	
	軸力無	軸力考慮	軸力無	軸力考慮
M_{4-7}	5.45572	5.02535	5.45574	5.02538
M_{7-4}	2.52113	2.95539	2.52114	2.95541
M_{5-8}	-2.67190	-2.36032	-2.67186	-2.36038
M_{8-5}	-1.54268	-1.85114	-1.54266	-1.85120
M_{6-9}	-2.37036	-2.29405	-2.37036	-2.29406
M_{9-6}	-1.39191	-1.47524	-1.39191	-1.47524

5 おわりに

部材角だけでなく軸力を考慮に入れた収束計算式を用いて, KANI 法をプログラム化して数値解析を行った結果, たわみ角法と同じ結果が得られた. KANI 法の有用性を言及するためには, FEM との比較が重要となる. KANI 法のネットワークモデルとニューロを用いて, 汎関数を直接最小化することによりエネルギー最小化を行えば有限要素法と同じ結果が得られるものと考えられる. これに関しては今後の検討課題としたい. 最後に, KANI 法について貴重なご助言を戴きました新日本技研 (株) 佐々木道夫会長に謝意を表します.

【参考文献】

1) 矢川元基他：ニューラルネットワークによる直接有限要素法について, 構造工学における数値解析法シンポジウム論文集, 第 17 巻, pp.71-74, 1993

2) ガスパール・カーニ：多層ラーメンの数値計算法 pp.1-63

3) 構造力学公式集 (土木学会)pp.95-96