

30. RC 建物の構造設計に用いる骨組解析法に関する研究

0710920081 二宮暢彦  
指導教員 藤井大地 教授

構造設計 有限要素法 固定法 D 値法 剛域

1. はじめに

近年、建物の耐震強度構造計算書偽装問題が発覚以降、建築基準法が見直され改正された。その影響で建物の耐震強度構造計算書の審査が厳しくなり、建築設計者は、ますます審査を通す確認の作業に時間がかかるようになった。そのため構造設計者は、時間の短縮と正確な計算を要求されるようになった。

一般に、構造設計は、手計算や一貫構造計算ソフトを用いて行われている。手計算による応力解析法（固定法や D 値法）を用いると、節点数の少ないものは、容易である。が、節点数の多い構造物は、計算が大変になってしまう。また、一貫構造計算ソフトは、有限要素法を用いているが、立体骨組のすべてのデータを入力する必要がある、設計プロセスの途中段階で用いるには不向きである。

本研究では、手計算に用いられる固定法、D 値法の代替手法として有限要素法を用いることを提案する。また、一貫構造計算ソフトで用いるのに不向きな途中段階の結果を出すことができ、有限要素法のメリットを活かして、剛域の考慮や短柱、耐震壁も考慮できる手法を開発した。そして、開発したソフトと剛域やせん断変形を考慮しない一般の骨組有限要素法の結果を比較し検討を行った。

2. 固定法・D 値法と有限要素法の概要

まず、固定法は、たわみ角法の原理を用いた方法である。しかし、連立方程式を直接解くのではなく、節点を固定した解を初期解として、連立方程式の右辺と左辺の誤差を繰り返し計算で収束させていく近似解法である。

D 値法は、地震力等の水平力が作用するラーメン構造の問題で、各層の柱、梁の剛性を D 値として、その比率でせん断力を分配し、反曲点高比を近似的に決めることで曲げモーメントを求める近似解法である。

次に、有限要素法は、対象とする物体を要素と呼ばれる小領域に分解する。そして、部分積分によって微分の階数を下げた弱形式の積分方程式を基礎式とし、連続関数である要素内の変位を各要素の節点変位を未知数とする近似関数で近似することによって離散化する。離散化して得られた要素の剛性方程式を節点変位の連続性と節点力の釣合を考慮して重ね合わせ、節点変位を未知数とする構造全体の剛性方程式をつくり、この連立方程式を

解くことにより解を得る方法である。

建築分野で用いられる骨組有限要素法は、たわみ角法を軸力およびせん断力にも対応できるように拡張した方法に相当し、固定法、D 値法はさらにその近似解法と言える。

3. せん断変形と剛域の影響

部材のせん断変形と部材端の剛域の影響を考慮する構造解析は、マトリクス変位法の通常の手順にごく僅かの変更をするだけで行えるものであって、特別に複雑な計算を必要とするものではない。しかし実際問題としては、どのような場合にもこれらを考慮するのではなく、必要に応じて解析に取り入れて行く必要がある。変位法でせん断変形や剛域の影響を検討するには、少しずつ寸法の違ういくつかの骨組みを解析して、結果をグラフにプロットする必要がある。構造物の性質を理解するにも必要である。一方、古典的な構造力学では、せん断変形や剛域などの影響を「公式」によって表しているもので、直接影響の大小を検討することが可能である。曲げ・せん断・剛域を考慮するラーメン理論としては、武藤清博士のものが有名である。

曲げ・せん断・剛域を考慮するたわみ角法によれば、図 1 の材端回転角の関係は次のように表される。

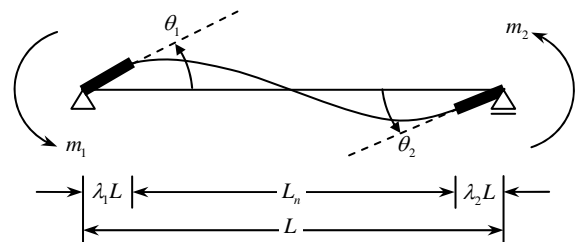


図 1. 曲げ・せん断・剛域考慮の部材

$$\begin{aligned} m_1 &= (2EI/L)(a\theta_1 + b\theta_2) \\ m_2 &= (2EI/L)(b\theta_1 + a\theta_2) \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{cases} \theta_1 = (L/6EI) \{ (\alpha'_1 + \gamma') m_1 + (-\alpha'_{12} + \gamma') m_2 \} \\ \theta_2 = (L/6EI) \{ (\alpha'_{12} + \gamma') m_1 + (-\alpha'_2 + \gamma') m_2 \} \end{cases} \tag{2}$$

図 1 の単純ばりに m1=1, m2=0 の材端モーメントを与えたときの 1 端, 2 端の回転角（曲げおよびせん断による

もの) の  $6EI/L$  倍が,それぞれ  $(\alpha_i+\gamma),(-\alpha_i+\gamma), m_1=0, m_2=1$  に対するものがそれぞれ  $(-\alpha_i+\gamma),(\alpha_i+\gamma)$  になっている。(1)式の係数  $a, a', b$  は等断面直線材でせん断変形なしのときには,  $a=2, a'=2, b=1$  になる.その傾向は,ともに剛域が長くなるほど増分し,せん断変形の影響が大きくなるほど減少する.これらのことから剛域を考慮するとせん断変形に影響が出てくるといえる.

#### 4. 固定法・D 値法と有限要素法の算定

本研究では,開発したソフトと一般の有限要素法との比較を行う.RC 建物の構造計算で求めることは,小梁と大梁,柱の算定である.小梁は断面  $0.3m \times 0.5m$  長さ  $6m$  で,図 2 のように等分布荷重と台形分布荷重のかかったものを用いた.

表 1 は,計算結果を示している.表より,開発したソフトと一般の有限要素法の結果に大きな誤差はみられない.求めた応力を使って断面と鉄筋数を算定すると表 2 となる.

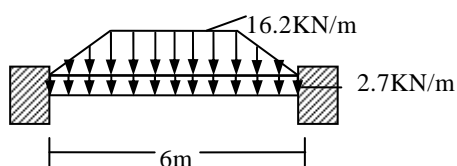


図 2. 小梁例題

表 1. 小梁の例題 1 の応力

	本ソフト	有限要素法	比率
$C_A$ (KNm)	64.14	64.14	1.000
$C_B$ (KNm)	60.5	60.50	1.000
$M_0$ (KNm)	35.41	35.40	1.000
$Q_A$ (KN)	53.3	53.91	1.011
$Q_B$ (KN)	50.8	50.19	0.988

表 2. 小梁の断面結果

断面積	$300 \times 500$ (mm)	上端筋本数	2 本
鉄筋径	D25	下端筋本数	2 本

大梁・柱の例題は X,Y 軸断面の X 軸断面である.図 3 は X 軸断面を示している.図 3 は三角分布荷重と等分布荷重,集中荷重が加わっている.

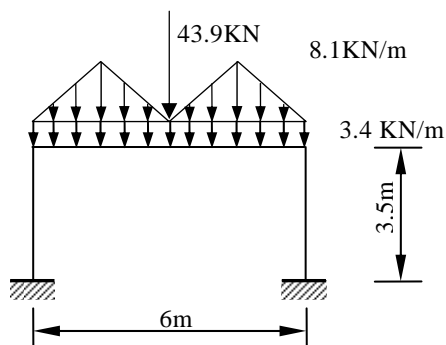


図 3.大梁・柱の例題

図 3 の応力の比較を表 3 に示す.表より,小梁の結果に比較して少し誤差はあるが計算結果に大きな違いはみられない. $A_i$  分布の地震力を加えた図 3 の短期応力度を求めると表 4 のようになる.

表 5 は,表 3 と表 4 で求めたものに RC 断面算定プログラムを用いて断面算定した結果である.

表 3. 大梁の鉛直荷重による応力

要素 2	本ソフト	有限要素法	比率
$C$ (KNm)	-32.5149	-32.0425	0.985472
$M_0$ (KNm)	67.83512	67.1074997	0.989274
$Q$ (KN)	44.625	44.15	0.989356

表 4.  $A_i$  分布による応力

要素 2	D 値法
$M_0$ (KNm)	33.80884
$Q$ (KN)	-11.269612

表 5. 要素 2 の断面設計

断面積	$300 \times 600$ (mm)	上端筋本数	2 本
鉄筋径	D25	下端筋本数	2 本

#### 5.剛域を用いた計算の算定

開発したソフトは,剛域を考慮することができるようになっている.表 6 は,図 3 の大梁と柱の設計で剛域を考慮した場合と考慮しない場合を比較したものである.表より,剛域を考慮した場合と考慮しない場合では,少しの違いしかない.

表 6. 剛域の考慮

要素 2	剛域あり	剛域なし	比率
$C$ (KNm)	-32.356747	-32.5149	0.995137
$M_0$ (KNm)	67.9932525	67.83512	1.002331
$Q$ (KN)	44.625	44.625	1

#### 6. 結論

本研究は,一貫構造計算ソフトで不向きとされていた途中段階での計算を固定法と D 値法の代替手法として有限要素法を用いることを提案し,ソフトを開発した.また,開発したソフトの有効性を一般の有限要素法と比較することで検証した.

#### 参考文献

- 1) 松井源吾 西谷章「鉄筋コンクリート構造入門」鹿島出版
- 2) 青山博之 上村智彦「マトリックス法による構造解析」培風館
- 3) 藤井大地 「Excel で解く構造力学」丸善
- 4) はじめての建築構造設計構造計算の進め方 学芸出版