接線係数を用いた鋼骨組の全体強度設計法

熊本大学　正　員　崎元　達郎　　学生員　嶋田　智郎

1．まえがき：　ラーメン構造物に対する現行設計法の不備を改良するために、本四公団の吊橋主塔設計要領では、着目部材の塑性化後の剛性変化を有効接線係数E_fにより考慮して、固有値解析により有効長さを決定する方法が提案され、また最近では、有効長さを関係式から消去して、設計応力に対して直接各部材の剛性低下率ξを求めて固有値解析を行う方法等が提案されている。しかしながら、これらは断面の塑性化による剛性低下を近似的に考慮して固有値解析を行う方法であり、有限変位弾塑性を考慮した構造物の真の耐荷力との関係が必ずしも明確でない。ところで、骨組構造物の終局強度を求める有限変位弾塑性解析法として、塑性ヒンジ法と塑性領域法があるが、前者は軸力が支配的な構造物への適用に難点があり、後者は現時点で最も精確な方法[1]ではあるが、計算労力が大きく、簡単な構造物の実設計計算には未だ受け入れられにくい。そこで本文では比較的簡便な断面の塑性化の取扱いと有限変位解析により構造物の耐荷力を求める方法を提案し、鋼骨組の全体強度を考慮して部材断面を設計する方法の可能性について検討する。

2．解析法の要旨：　本法の考え方は以下のようである。

1）　残留応力を考慮した単位長の部材を断面分割法により弾塑性解析し[1]、一定モーメント下で軸力Nを漸増して得られるNと平均軸ひずみεの関係、N－ε（M）曲線と、一定軸力下で曲げモーメントMを漸増して得られるMと曲率ϕの関係、M－ϕ（N）曲線を求める。無次元化表示のこれらの曲線が断面寸法によって変動せず一般化できることが本法の前提である。

2）　次に、N－ε（M）曲線とM－ϕ（N）曲線をできるだけ精確かつ簡便な陽な関数で近似する。一度近似関数が求まれば、実設計計算ではこの近似関数を用い、上記1）の解析は行わない。

3）　近似した関数について微分をとり、それぞれの曲線の勾配より接線軸剛性$\overline{E_N A}$と接線曲げ剛性$\overline{E_M I}$を求める。

4）　設計する骨組を有限変位解析して求めた節点の断面力（M，N）より部材端断面の接線剛性が上記の方法で評価できるので両端断面の剛性の平均を部材の剛性として次のステップの接線剛性マトリクスを作ることができる。

5）　全体解析には荷重増分法を用い、ニュートンラプソン法により収束計算を行い骨組の終局強度を求めることができる。

6）　断面設計を行う場合は、荷重係数または安全率倍した荷重に対して上記の計算を行い、得られた断面力に対して部材の強度照査式により部材断面を決定する。

3．$\overline{N}-\overline{\varepsilon}$（$\overline{M}$）曲線；$\overline{M}-\overline{\phi}$（$\overline{N}$）曲線とそれらの近似式：

N，εを降伏軸力N_yと降伏軸ひずみε_yで無次元化したものを$\overline{N}$（$=N/N_y$），$\overline{\varepsilon}$（$=\varepsilon/\varepsilon_y$）とし、M，$\phi$を塑性モーメント$M_p$と降伏時曲率$\phi_y$で無次元化したものを$\overline{M}$（$=M/M_p$），$\overline{\phi}$（$=\phi/\phi_y$）とすると、$\overline{M}-\overline{\phi}$（$\overline{N}$）曲線の近似関数は次の様に与えられる。

$0\leqq\overline{\phi}\leqq1.175-\gamma$　の時　$\overline{M}=-0.208(\overline{\phi}-2.15)^2+0.96$

$1.175-\gamma\leqq\overline{\phi}\leqq\alpha-1.07$　の時　$\overline{M}=0.405(\overline{\phi}-\alpha)+0.347$

$\alpha-1.07\leqq\overline{\phi}\leqq\alpha$　の時　$\overline{M}=-0.075(x-\alpha)^2+\beta$

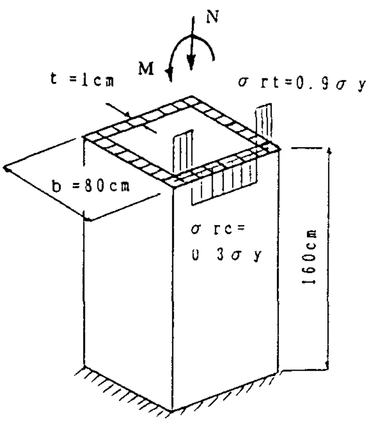
ここに、$\alpha=2.986(1-\overline{N})+0.35$

$\beta=0.99-0.45\overline{N}$　$(0.0\leqq\overline{N}\leqq0.1)$

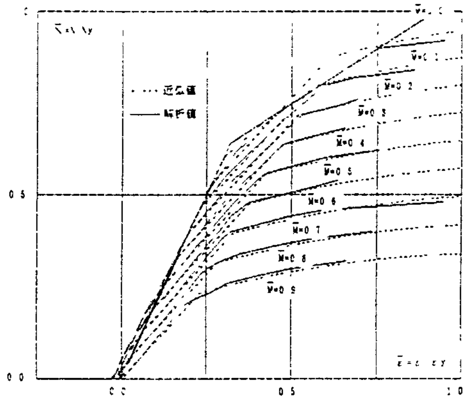
$\;\;=1.11-1.05\overline{N}$　$(0.1\leqq\overline{N}\leqq0.9)$

$\;\;=1.65(1-\overline{N})$　$(0.9\leqq\overline{N}\leqq1.0)$

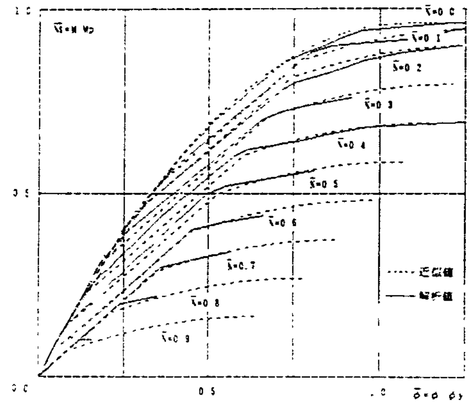
$\gamma=\sqrt{3.467+4.815(\beta-0.405\alpha)}$



図－1　断面剛性を求めるための数値計算モデル



図－2　M－ϕ（N）曲線の解析値と近似値



図－3　N－ε（M）曲線の解析値と近似値

$\overline{N}-\overline{\varepsilon}$（$\overline{M}$）曲線の近似式も同様に与えられるが記述を省略する。図－1に解析例として用いた溶接集成の正方形箱形断面を示す。図－2に、$\overline{N}-\overline{\varepsilon}$（$\overline{M}$）曲線の解析結果と近似曲線を、図－3に$\overline{M}-\overline{\phi}$（$\overline{N}$）曲線の解析結果と近似曲線を示している。いずれも上記関数により良い精度で近似することが出来る。従って、設計対象の骨組の構造解析より求められるN、Mを与えればこれらの近似曲線の勾配（微分値）として軸剛性$\overline{E_N A}$と曲げ剛性$\overline{E_M I}$が計算できる。

4．鋼骨組構造の強度解析：

増分つり合い方程式は次式で与えられる[1]。

$$(\mathbb{K}ep + \mathbb{K}g)\cdot\mathbb{U} = \mathbb{P} - (\mathbb{T}\cdot\overline{\mathbb{f}} - \overline{\mathbb{P}})$$

ここに、$\mathbb{K}ep$：塑性の影響を考慮した微小変位の接線剛性マトリックス

$\mathbb{K}g$：断面力を要素として含む初期応力マトリックス

$\mathbb{U}$：節点変位増分ベクトル

$\mathbb{P}$：節点外力増分ベクトル

$\mathbb{T}$：座標変換マトリックス

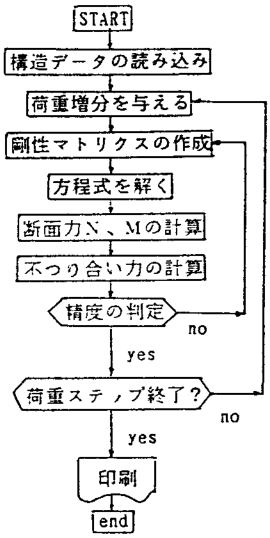
$\overline{\mathbb{f}}$：部材座標による全断面力ベクトル

$\overline{\mathbb{P}}$：全外力ベクトル

$\mathbb{T}\cdot\overline{\mathbb{f}}-\overline{\mathbb{P}}$：荷重又は変位の増分途中で生じる不つり合い力

くり返し計算により、これが0になった時点がつり合い状態となる

図-4に全体構造解析のフローチャートを示す。解析例については講演当日発表の予定である。



図－4　全体構造解析のフローチャート

－参考文献－

1）小松・﨑元：「Nonlinear Analysis of Spatial Frames･･･」土木学会論文集、No. 252, 1976. 8, pp. 143-157