



第10章 塑性変形率と累積塑性変形

10.1 はじめに

SPACE (Ver.3.00) では、立体骨組みの静的解析や動的解析を行っている。その際、妥当な耐震性能評価が重要となる。そこで、3次元構造物の静的解析と地震応答解析を行い、各部材の塑性変形倍率及び累積塑性変形倍率、すなわち部材に吸収された塑性ひずみエネルギーを評価する。本章で、SPACE で実行している部材レベルの塑性変形倍率及び累積変形倍率の計算手法を定義する。

10.2 塑性変形率

断面内の微小部分における塑性変形率は、1軸応力状態で評価すると、

$$\mu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \quad \dots\dots\dots(10.1)$$

で表される。ここで、 ε_x は軸方向ひずみであり、 ε_y は降伏点ひずみを表す。しかし、断面全体で塑性変形倍率を評価することは、かなり難しい。まず、単純曲げの状態について考えよう。この場合、次式のように塑性ヒンジが生じたときの曲率 ϕ_p を用いて評価する。

$$\mu = \frac{\phi}{\phi_p} \quad \dots\dots\dots(10.2)$$

線形部分における曲げモーメントと曲率の関係は、図 10-1 に示されるように、

$$M = EI\phi$$

で表される。したがって、曲率 ϕ_p は次式で与えられる。

$$\phi_p = \frac{M_p}{EI} \quad \dots\dots\dots(10.3)$$

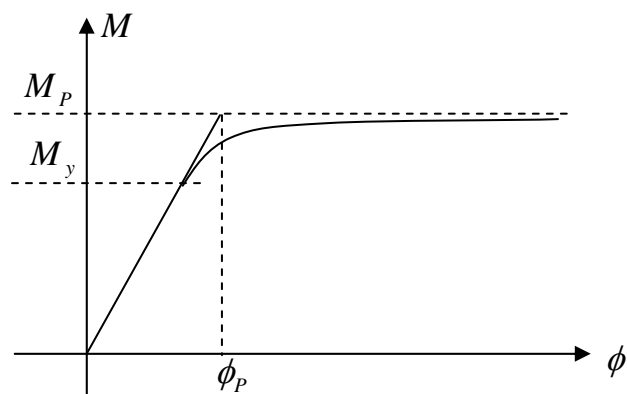


図 10-1 曲げモーメントと曲率の関係

次に、軸力が存在する場合で、しかも 2 軸の曲げモーメントが発生している場合の塑性変形率を検討しよう。SPACE では、塑性論アナロジーモデルの塑性関数として、次の 3 つの関数が用いられている。

$$\left. \begin{aligned}
 f &= \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 + \sqrt{\left(\frac{M_y}{M_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{zp}} \right)^2} - 1 \\
 f &= \left(\frac{N}{N_p} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{zp}} \right)^2 - 1 \\
 f &= \left| \frac{N}{N_p} \right| + \sqrt{\left(\frac{M_y}{M_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{zp}} \right)^2} - 1
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10.4)$$

上記の 3 つの関数を応用して、塑性変形率 μ を評価する関数を次のように定義する。

$$\left. \begin{aligned}
 \mu &= \left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \right)^2 + \sqrt{\left(\frac{\phi_y}{\phi_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_z}{\phi_{zp}} \right)^2} \\
 \mu &= \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \right)^2 + \left(\frac{\phi_y}{\phi_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_z}{\phi_{zp}} \right)^2} \\
 \mu &= \left| \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y} \right| + \sqrt{\left(\frac{\phi_y}{\phi_{yp}} \right)^2 + \left(\frac{\phi_z}{\phi_{zp}} \right)^2}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10.5)$$

ここで、 ϕ_{yp} と ϕ_{zp} は、塑性ヒンジが生じたときの各々 y 軸と z 軸に関する曲率を表す。

塑性関数が任意断面について、精度良く塑性状態を表すことが可能であると、式(10.5)で塑性変形倍率を精度良く表すことができる。なお、 ϕ_{yp} と ϕ_{zp} は、次式で求める。

$$\phi_{yp} = \frac{M_{yp}}{EI_y}; \quad \phi_{zp} = \frac{M_{zp}}{EI_z} \quad \dots\dots\dots (10.6)$$

10.3 累積塑性変形倍率

累積塑性変形倍率は、塑性変形倍率を利用して、以下のように定義する。

$$\eta = \sum (\mu_{\max} - 1) \quad \dots\dots\dots (10.7)$$

ここで、 η は累積塑性変形率であり、 μ_{\max} は各振動振幅時における最大塑性変形率を表す。ただし、値が 1 以下の場合、つまり、弾性状態の場合は参入しない。また、累積塑性回数は、式(10.7)で、曲率 ϕ_p を数えた回数とする。