

RCラーメン構造物の非線形解析

東北大学 学生員 ○工屋 一郎
 東北大学 正会員 尾坂 芳夫
 東北大学 学生員 原 隆一

1. まえがき

従来の弾性理論に基づく許容応力度設計法では、理論的な根拠に乏しく経験的に定められた安全率を用いて、構造物の安全性を確保しようとしている。これに対して最近になって、部分安全係数、荷重・材料強度の特性値を考慮することによって、確率論的な概念が各国の規準に導入されつつある。安全性を評価するためには、安全性を何によって定義し、その規準をどのようにするかをあらかじめ明確に定義しておかなければならないが、ここでは安全性の尺度を破壊確率 ($PCRS$)、 R : 耐力、 S : 荷重作用によって表わしている。一般に、荷重作用は荷重によって表わされるので、荷重を荷重作用に変換して耐力と荷重作用を同次元量として、安全性を評価しなければならない。通常この変換は非線形となり破壊確率を計算することは困難であるが、この変換は適当な点において線形化する必要がある。本研究では、RCラーメン構造物の非線形解析を行ない、得られた非線形変換と線形化された変換との破壊確率の違いから線形化の可能性を検討しようとするものである。

2. 構造解析

RC構造物として図-1に示される端部固定門型ラーメンを考える。荷重は水平荷重を最終荷重の $1/200$ 程度の荷重増分法によって加える。図の斜線部分は剛域と考えている。図-2に構造解析のフローチャートを示す。

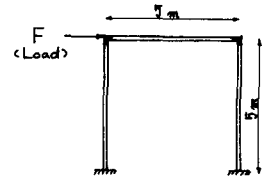


図-1 端部固定門型ラーメン

(1) 材料の性質

鉄筋とコンクリートの性質は一般的にはランダム性を有するものであるが、ここでは図-3、図-4に示される確定量として表わす。コンクリートの応力-歪曲線では、OBを放物線、BCをスターラップに関して決まる直線、CDを歪軸に平行な直線とし、OAによって引張応力も考慮している。鉄筋の応力-歪曲線は鉄筋の降伏の前後をそれぞれ直線で表わしている。

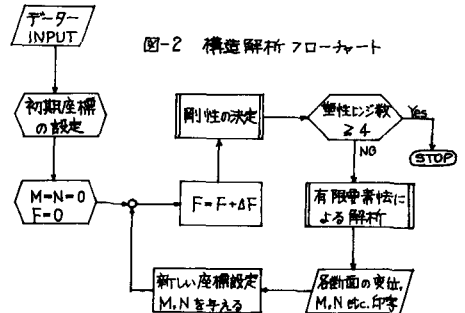


図-2 構造解析フローチャート

(2) M-φ図 (モーメント-曲率)

M-φ図は、鉄筋とコンクリートを複合体と考えそれぞれの性質を単一な力学特性を持つものとして解析に利用される。断面は図-5に示されるように10分割 ($n=100$) され、ベルタイの平面保持の仮定に基づく歪分布を考え、上記の応力-歪曲線によって鉄筋とコンクリートの応力を算定し、釣合方程式から軸力 (N)、曲げモーメント (M)、曲率 (ϕ) の関係が得られる。このようにして、仕様の軸力が作用している時のM-φ図が得られ、図-6に軸力 $N=0$ のM-φ図を例示した。

$\epsilon_c=3.5\%$ 、 $\epsilon_s=100\%$ の曲線は、コンクリート及び鉄筋の破壊点を示し、 $\epsilon_s=1.67\%$ は鉄筋の降伏点を示しているが、この図から、終局状態と破壊状態と予想することが可能である。

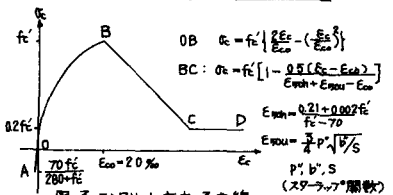


図-3 コンクリート応力-歪曲線

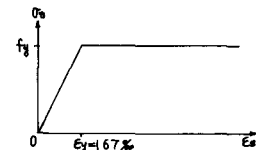


図-4 鉄筋の応力-歪曲線

(3) 構造解析の結果

図-7に荷重-曲げモーメントの関係を示す。この結果、この変換はひび割れ以後上下に変動するが一貫して弾性計算値を中心としているので、近似的に弾性計算値が表わされると予想される。しかし破壊に対してはモーメントの再分配に因るモーメントの上昇起こることが表わされている。図-8に荷重-変位の関係が示されている。この変換は、非線形を表わされ変位の増加はひび割れ以後著しい。

3. 線形化への可能性

一般に、荷重-荷重作用の変換は非線形となり破壊確率を容易に計算するために線形化が検討される。そのために、線形化点及び破壊確率の計算誤差が問題となる。

破壊確率は式で示される。

$$P_r = P(R \leq S) = \int F_R(x) f_S(x) dx$$

$F_R(x)$: 耐力の分布関数
 $f_S(x)$: 荷重作用の密度関数

$$q(x) = F_R(x) f_S(x)$$

線形化点は、被積分関数 $q(x)$ が最大となる点において線形化することによって破壊確率の非線形変換との誤差を小さくできると考えられる。しかし、関数 $q(x)$ の最大値を与える点が簡単に得られない場合も多いので、耐力及び荷重作用の平均値における線形化、原点における線形化などの方法が検討する必要がある。

図-9に $q(x)$ の最大値を与える点 O' における線形化の問題の検討が示されている。

4. あとがき

このようにして求められた破壊確率は各要素の破壊確率であり、構造物全体の破壊確率ではない。したがって、すべての要素の破壊確率を求めた上で、それをどのようにして構造物の破壊確率に結びつけるか、各要素の相関関係をいかにして確率論的に取扱うかの研究を進めていかなければならない。



図-5 歪分布と能力分布

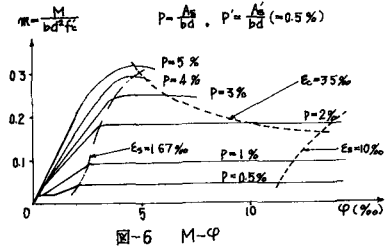


図-6 M-φ

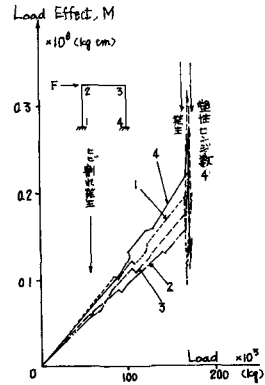


図-7 荷重-曲げモーメント

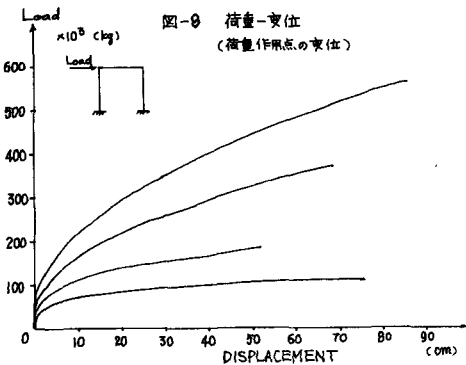


図-8 荷重-変位
(荷重作用点の変位)

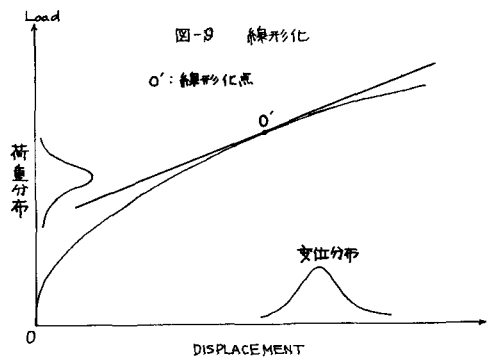


図-9 線形化

O' : 線形化点

変位分布