コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.2，1994

論　文

# [2058]　鉄筋コンクリートはりの構造不安定と局所不安定に関する解析的研究

河村幸典*1・中村光*2・檜貝勇*3

## 1．はじめに

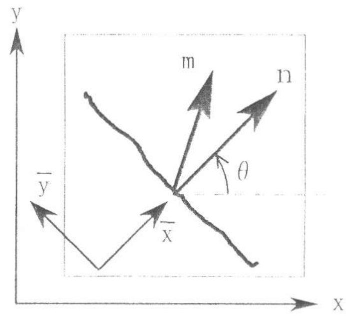
コンクリート構造物の、破壊点および各種の限界点を見いだし、破壊時の挙動を理解することは、安全性を十分に考慮した合理的な設計を行うために大変有用である。ＲＣ構造物の破壊時の挙動を解析的に評価する試みとして、著者ら[1]は、ＲＣ構造物の破壊点をBifurcation Point により定義すれば、破壊点および破壊時の挙動が、統一的に取り扱える可能性を示している。

しかし、Bifurcation Point は、構造物全体の不安定挙動を評価する点であり、構造物の内部の局所的な不安定挙動に対する情報を与えるものではなく、またBifurcation Point がいかなる要因により発生するかについても現在まで明らかにされていない。

そこで本研究は鉄筋コンクリート要素に対し、局所挙動を検討するためのパラメータを導入し、要素内における不連続面の発生や破壊形式と構造物全体で捉えた破壊との関係を調べることにより、構造物内部の局所不安定が構造物全体の構造不安定に及ぼす影響について、解析的に検討した。

## 2．局所不安定に関する理論的考察

局所的な不安定性を評価するために、この章では要素内での不連続面の発生条件、Snap Back の条件、および不連続面発生後の局所化領域の挙動について検討することができるパラメータの理論的考察を行う。

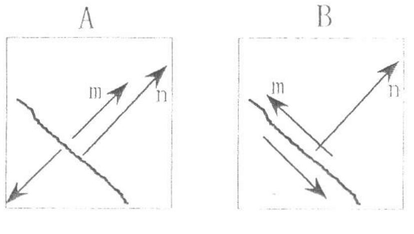



図－１　不連続面と法線

### 2．1　局所不安定に関する基礎方程式

図－１ に示すように、x軸に対し角度$\theta$をなす$n$を法線ベクトルとする不連続面が生じている状態を考える。この時、Ortizら[2] によれば、不連続面におけるひずみの jump 量は、次式で表すことができる。

$$\left[\left[\varepsilon_{ij}\right]\right]=\frac{1}{2}\alpha\left(m_i n_j+m_j n_i\right) \qquad (1)$$




図－２　局所化領域の挙動

ここで、$\alpha$はスカラーであり、不連続面と直交方向の$n$は単位ベクトル、$m$は不連続面の挙動を表す単位ベクトルである。また、$n$と$m$の方向を検討することで、不連続面の挙動を定

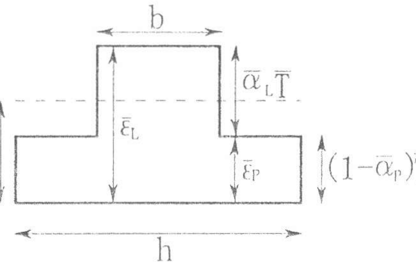
*1山梨大学大学院　土木環境工学専攻　（正会員）
*2山梨大学講師　土木環境工学科　工博　（正会員）
*3山梨大学教授　土木環境工学科　工博　（正会員）

義することも可能になる。一例として、図－２に不連続面の法線ベクトル$n$と、不連続面の挙動を表すベクトル$m$のなす角度を２つの場合について示した。$n$と$m$が垂直になる場合は不連続面方向に滑りを生じて、不連続面は純せん断状態を示すことになる(Shear Mode)。また、$n$と$m$が平行になるときは生じた不連続面の挙動は法線方向に依存する形態を示す(Splitting Mode)。このような端的な角度をなさない場合、破壊形態は Shear Mode と Splitting Mode が混合されたものになる。

今、図－１で、不連続方向と一致するように、$\bar{x}-\bar{y}$座標系を仮定し、この座標系に対する不連続面挙動を考える[3]。この時、$\bar{x}-\bar{y}$座標系に対するひずみの jump 量は次式によって示される。

$$\begin{Bmatrix} \bar{\varepsilon}_x \\ \bar{\varepsilon}_y \\ \bar{\gamma}_{xy} \end{Bmatrix} = \alpha \begin{Bmatrix} \overline{m_1} \\ 0 \\ \overline{m_2} \end{Bmatrix} \qquad (2)$$

ここで、記号￣は、$\bar{x}-\bar{y}$座標系における、ひずみおよび、ベクトル量と定義する。不連続面直交方向のひずみ分布の概念を図－３ に示す。図中のｈは要素の幅、ｂが局所化する領域の幅である。$\bar{\varepsilon}_L$ は局所化領域のひずみ、$\bar{\varepsilon}_P$ は非局所化領域のひずみを表し、$\bar{\varepsilon}_0$ は要素内の平均化したひずみである。またそれぞれの領域のひずみの強度を$\bar{\alpha}_P, \bar{\alpha}_L$としている。図－３に従えば、局所化領域のひずみおよび、非局所化領域のひずみは次式のように表される。



図－３　不連続面直交方向における局所化領域の定義

$$\begin{cases} \bar{\varepsilon}_L = \bar{\varepsilon}_0 - \bar{\alpha}_P \cdot \bar{T} + \bar{\alpha}_L \cdot \bar{T} \\ \bar{\varepsilon}_P = \bar{\varepsilon}_0 - \bar{\alpha}_P \cdot \bar{T} \end{cases} \qquad (3)$$

ここで、$\bar{T} = \begin{bmatrix} \overline{m_1} & 0 & \overline{m_2} \end{bmatrix}^T$ と置いて単位ベクトルとする。平均化したひずみは、Ｂを形状マトリクス、$\Delta d$を節点変位ベクトル、$[T_\varepsilon]$をひずみの座標変換マトリクスとすれば、$\bar{\varepsilon}_0 = [T_\varepsilon]^{-1} B \Delta d$ となる。さらに、 $\bar{\alpha}_L = c\bar{\alpha}_P$ となる $c$ を仮定し、局所化領域での応力－ひずみマトリクスを$[\overline{D_L}]$、非局所化領域での応力－ひずみマトリクスを $[\overline{D_P}]$ と定義して、$\bar{x}-\bar{y}$ 方向の力の釣合いを考えれば、最終的に以下の式が導かれる。

$$\left\{[\overline{D_L}]-[\overline{D_P}]\right\}[T_\varepsilon]^{-1} B \Delta d + \left\{(c-1)[\overline{D_L}]+[\overline{D_P}]\right\}\alpha_P(\{\bar{T}\}^T [T_\varepsilon]^{-1} B \Delta d)\{\bar{T}\} = [\bar{\sigma}] \qquad (4)$$

左辺は不連続面での応力の差であり、不連続面直交方向の直応力とせん断応力は釣り合っているので、$[\bar{\sigma}] = \{0 \quad \bar{\sigma}_y \quad 0\}^T$である。さらに、（５）式のように、