

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之 立命館大学理工学部 正会員 高木宣章
立命館大学大学院 学生員 松尾真紀 日本コンクリート工業(株) 正会員○山岸健治

1. はじめに

本研究では、ねじりを受けるコンクリート部材の解析法を確立することを目的として、コンクリートに発生するひび割れを面要素で表現するためのアイソパラメトリックひび割れ要素を提案し、ねじりを受けるコンクリートはりの3次元有限要素解析を試みた。

2. 解析概要

ひび割れ要素を図-1(a)に示すようなx-y-z座標系内の2枚の重なった面で表される2次のアイソパラメトリック面要素とする。2枚の面はそれぞれコンクリート要素の1面であり、s-t-n局所座標系をとる。また、図-1(b)は正規化された局所座標系である。

ひび割れを挟んだ2面間の応力の伝達には、図-2に示すようにs,t方向のせん断応力を τ_s, τ_t 、面法線方向の応力を σ_n 、それぞれの方向のズレを $\delta_s, \delta_t, \delta_n$ とすると、次式のような関係がある。

$$\begin{Bmatrix} \tau_s \\ \tau_t \\ \sigma_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ss} & 0 & C_{sn} \\ 0 & C_{tt} & C_{tn} \\ C_{ns} & C_{nt} & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_s \\ \delta_t \\ \delta_n \end{Bmatrix} = [C] \{\delta\} \quad (1)$$

ただし、本解析では、[C]マトリックスの係数を $C_{ss}=C_{tt}=C_{nn}=1.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ 、その他を 0 kgf/cm^2 とし、定数として扱った。

また、ひび割れ要素の剛性マトリックス[Kc]は次のように表せる。

$$[K_c] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [C] [B] \left(\frac{ds}{d\xi} \right) \left(\frac{dt}{d\eta} \right) d\xi d\eta \quad (2)$$

ここに、 $\left(\frac{ds}{d\xi} \right) = \sqrt{\left(\frac{dx}{d\xi} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\xi} \right)^2 + \left(\frac{dz}{d\xi} \right)^2}$

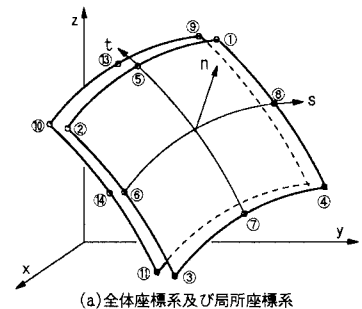
$$\left(\frac{dt}{d\eta} \right) = \sqrt{\left(\frac{dx}{d\eta} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\eta} \right)^2 + \left(\frac{dz}{d\eta} \right)^2}$$

[B]は、形状関数からなるマトリックスである。式(2)は、s-t-n座標系に関するものであるから、x-y-z座標系に変換する。

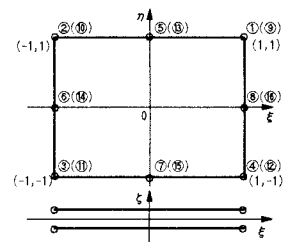
また、コンクリート要素は2次のアイソパラメトリック立体要素とし、鉄筋要素は1次の線要素とした。

境界条件を図-3に示す。部材の横断面の中心点をねじり回転軸にとり、固定条件を一方の部材端面に与え、固定面内の全ての節点をy,z固定とし、ねじり回転軸上の節点のみx方向も固定した。ねじり力として部材のもう一方の端面の全ての節点に面が回転するような強制変位をy,z方向の変位の組み合わせとして与えた。

尚、本解析では、無筋コンクリートおよび鉄筋コンクリートはりに、既にひび割れが入ったものと仮定して解析を行った。



(a) 全体座標系及び局所座標系



(b) 正規化された局所座標系

図-1 ひび割れ要素

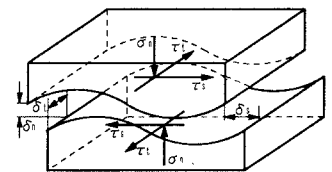


図-2 ひび割れ面での応力伝達機構

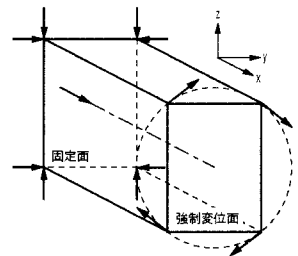


図-3 境界条件

3. 解析結果および考察

無筋コンクリートはりの部材中央に部材軸に対して 90° のひび割れが入った時の変形状況図を図-4に示す。アイソパラメトリックひび割れ要素の導入により、ひび割れ部分のコンクリートにもいくらかの応力が伝達されて部材全体が変形し、ひび割れ要素にズレが生じている。

同じく無筋コンクリートはりに対して、部材軸に対して 45° のひび割れが入った時の変形状況図を図-5に示す。同じねじり回転角を与えた時のねじりモーメントは、ひび割れが2本入った時(図-5(a))は1本の時(図-5(b))に比較して低下しており、ひび割れにより剛性が低下する様子が見られた。今回の解析では、[C]マトリックスの係数を一定とした弾性解析であるため、ひび割れ要素の面直角方向の変位が負となる部分が生じ、実際の現象とは異なるが、詳細な解析を行う場合には、ひび割れ要素で伝達される応力によって[C]マトリックスの係数を変化させる必要がある。

次に、図-5の無筋コンクリートはりに鉄筋要素を加えた時の変形状況図を図-6に示す。軸方向鉄筋を部材の四隅に、スターラップをひび割れをまたぐ位置に配置させてある。無筋コンクリートはりに比較して、同じ回転角を与えた時のねじりモーメントは増加し、剛性が増す様子が見られた。また、逆に同じモーメントを与えた時は、鉄筋コンクリートはりは無筋コンクリートはりに比較して、ひび割れ面の変位が減少することからも、剛性が増していると言える。スターラップおよび軸方向鉄筋の応力は、ひび割れをまたいでいる箇所での応力が際だって大きくなっており、実験での現象とよく対応している。尚、鉄筋コンクリートはりのひび割れは、らせん状に生じ、今回の解析のひび割れ形状とは異なるため、要素分割を工夫する必要がある。

4. まとめ

- (1)アイソパラメトリックひび割れ要素を導入することにより、ねじりを受けるコンクリートはりにおいても、ひび割れ以降の応力・変形解析が可能である。
- (2)今回の解析は[C]マトリックスの係数を一定とした線形解析であるが、ひび割れ幅やひび割れ間の伝達応力により、[C]マトリックスの係数を変化させることにより、より精度の良い解析ができるものと考えられる。
- (3)RC部材でのねじりひび割れは、らせん状に生じ、今回のような形状ではない。要素分割を工夫すればこれらのモデル化も可能であるが、実験結果との比較により、ひび割れ要素特性の検討を行う必要がある。

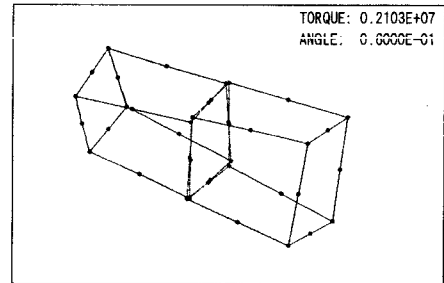


図-4 無筋コンクリートの変形状況図
(ひび割れ角 90°)

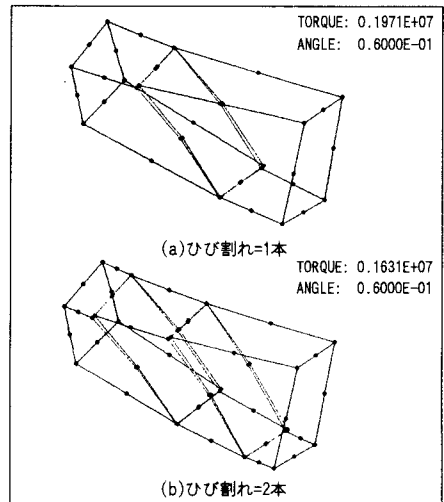


図-5 無筋コンクリートの変形状況図
(ひび割れ角 45°)

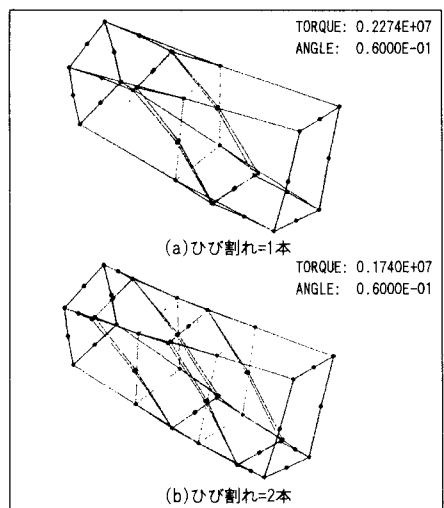


図-6 鉄筋コンクリートの変形状況図
(ひび割れ角 45°)