

島根県企業局 正員 田部健一郎

立命館大学理工学部 正員 高木宣章 正員 児島孝之

1. はじめに

本研究は、純ねじりを受ける鉄筋コンクリート部材の変形性状および耐力について、3次元有限要素法によって解析的検討を行ったものである。解析には、非線形構造解析用FEMプログラム「MARC K-5」¹⁾を使用した。また、実験結果との比較検討も行った。

2. 構成材料に関する入力データ

コンクリートは20節点立体アイソパラメトリック要素としてモデル化した。解析に使用したコンクリートの応力-ひずみ関係を図1に示す。

コンクリートの物性値を表1に示す。初期接線ヤング係数、圧縮強度、引張強度、ポアソン比、終局圧縮ひずみ、せん断力保持率、引張軟化係数は、MARCへの入力データとした項目である。初期接線ヤング係数・圧縮強度・引張強度には実験値を用い、ポアソン比・終局圧縮ひずみには、一般的な値を用いた。せん断力保持率には設計せん断伝達力を求める際に用いる摩擦係数²⁾を採用した。ここで、せん断力保持率は、ひびわれ面での摩擦係数である。引張軟化係数には参考文献3)から引用した値を用いた。ここで、引張軟化係数は、引張応力-ひずみ関係における最大引張応力後の傾きを表す係数である。引張軟化係数は、非線形に表すべきであるが、本研究では線形にモデル化した。

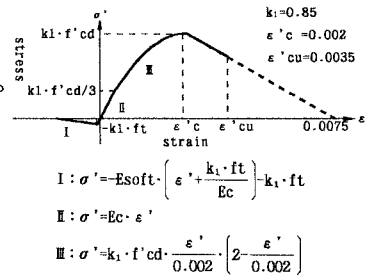


図1 コンクリートの応力-ひずみ曲線

表1 コンクリートの物性値

初期接線ヤング係数 $E_c(\text{kgf/cm}^2)$	圧縮強度 $f'_c(\text{kgf/cm}^2)$	引張強度 $f_t(\text{kgf/cm}^2)$	ポアソン比 ν	終局圧縮ひずみ ϵ'_{cu}	せん断力保持率	引張軟化係数 $E_{soft}(\text{kgf/cm}^2)$
338000	410	26.6	0.2	0.0035	0.15	24000

鉄筋は3節点トラス要素としてモデル化した。

応力-ひずみ関係は、コンクリート標準示方書に従った。鉄筋の物性値を表2に示す。等方性材料として材料特性を定義し、初期接線ヤング係数、降伏強度、ポアソン比を入力データとした。初期接線ヤング係数・ポアソン比には、一般的な値を用い、降伏強度には、実験値を用いた。

表2 鉄筋の物性値

記号	呼び名	初期接線ヤング係数 $E_s(\text{kgf/cm}^2)$	降伏強度 $f_y(\text{kgf/cm}^2)$	ポアソン比
SD35	D10	2100000	3780	0.3
	D16		3720	

3. 解析方法

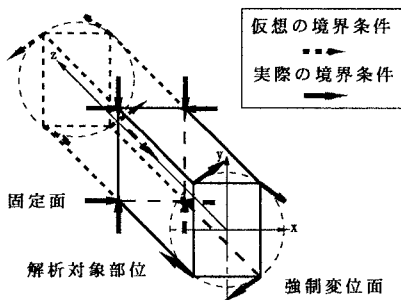


図2 解析方法

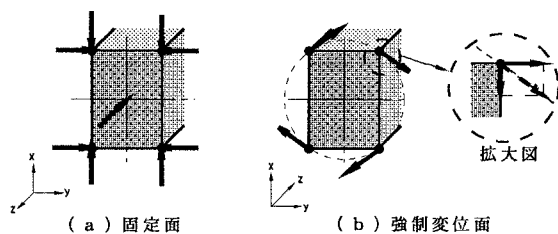


図3 境界条件の概念図

z軸をねじり回転軸にとって解析を行った。対称性を考慮できるような固定条件をスパン中央に与え、実供体の1/2を解析の対象とした（図2）。図3に境界条件の概念図を示す。固定面内のすべての点をx,y方向とも固定した。固定面内にあり、かつねじり回転軸上の点はz方向も固定した。ねじり力としては端面に強制変位を与えた。変位を与える面を直接強制変位させることは不可能であるので、変位を与える面内のすべての点に、面が回転するような強制変位をx,y方向の変位の組合せとして与えた。

ねじり力（ねじりモーメント）の検出は、固定点、強制変位点におけるx,y方向の反力を検出し、ねじりモーメントに換算した。

4. 解析供試体

解析の対象とした供試体の概要を表3に、配筋図および断面図を図4に示す。軸方向鋼材にD16を4本配置し、横方向鋼材にD10を10cm間隔に配置した。解析の対象とした供試体は、供試体長さ2m、試験スパン1.6mのものである。解析では要素数、節点数を出来るだけ少なくするために、供試体中央部分の80cmを解析の対象とし、さらにその半分の40cmの長さについて解析を行った。

5. 解析結果

表4にねじりひびわれ発生モーメントと最大ねじりモーメントの解析値と実験値を、図5にねじりモーメント-ねじり回転角の関係を示す。本研究では、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係を、最大圧縮応力の後、ひずみが7500 μ で応力が0になるように線形に応力が低下するものと仮定した。最大ねじりモーメントは、実験値より解析結果の方がやや下回る結果となったが、ひびわれ発生ねじりモーメント、変形状ともに、解析値と実験値は良く一致する結果となった。

解析は、最大ねじりモーメント発生付近までしか行えなかった。最大ねじりモーメント発生後は、強制変位増分をどのように変化させても、計算エラーとなった。部材はここで破壊したということ解析は示しており、実験結果とは異なるものとなった。

6. まとめ

最大ねじりモーメント発生付近までは、3次元有限要素法解析によって評価できることが分かった。しかし、コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係における最大圧縮応力後の軟化性状の傾きは試行錯誤で求めたものであり、現状では、すべてのねじり問題に適用できるとはいえない。本研究では、プログラムの制約から、二軸応力状態を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係を採用できなかった。純ねじりを受ける部材中のコンクリートは二軸応力状態になっている。このことは、コンクリート部材のねじり問題を考える場合には、重要な点であるので、二軸応力状態を考慮したコンクリートの応力-ひずみ関係など、ねじりを受ける部材中のコンクリートの性状を精度良く表した応力-ひずみ関係を用いれば、さらに良い解析結果が得られるものと考えられる。

【参考文献】1)「MARC K-5」vol.A User Information、2)岡村 甫、前田 詔一：鉄筋コンクリート工学、pp.76、廣済堂、3)「MARC K-4」vol.E Demonstration Problems,ex7.3,ex7.11

表3 供試体の概要

軸方向鋼材	横方向鋼材	鋼材比 (%)		
		pl	pw	pl/pw
4D16	D10@100	0.91	0.95	0.96

$$pl = \sum At_l / (b \cdot d), pw = At_w \cdot 2 \cdot (bo + do) / (b \cdot d \cdot s)$$

At_l, At_w: 軸方向筋およびスターラップの断面積(cm²)

s: スターラップの軸方向間隔(cm)、b, d: 25cm, 35cm

bo, do: スターラップの短辺長さおよび長辺長さ

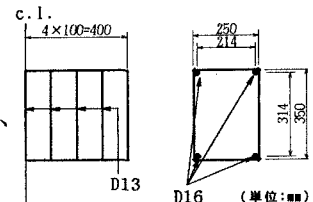


図4 配筋図および断面図

表4 解析値および実験値

	M _{tr}	M _{tmax}
解析値	212.9	342.4
実験値	212.5	350
実験値/解析値	1.00	1.02

M_{tr}: ひびわれ発生ねじりモーメント

M_{tmax}: 最大ねじりモーメント

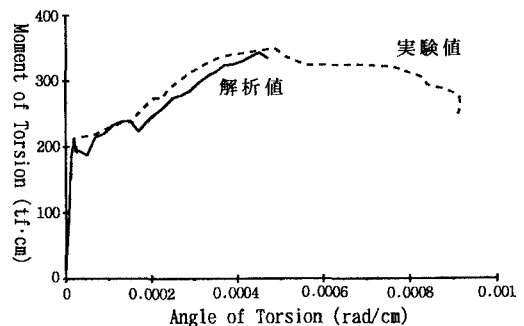


図5 ねじりモーメント-ねじり回転角の関係