

断面靱性率を用いた RC 柱部材の靱性評価

構造材料工学研究室 天沼 友成
指導教員 吉川 弘道

1.はじめに

RC 構造物の耐震設計においては、脆性破壊を回避し適度な靱性を確保することが重要である。これまで RC 構造物の靱性評価には各研究機関によって様々な評価式が提案されてきた。RC 部材の靱性に及ぼす要因としては、耐力比、材料強度、主鉄筋比、せん断補強鉄筋比等があり、また個々の要因以外にも、各要因間の相互作用の影響が存在し RC 部材の靱性を評価するのは困難である。そこで本研究では、RC 単柱を対象とした曲げ解析および各種提案式による靱性評価と実験値との比較を実施した。

2.靱性率の定義

$$\text{部材靱性率(変位靱性率)} \mu_{\delta} = \frac{\delta_u}{\delta_y}, \text{曲率靱性率} \mu_{\phi} = \frac{\phi_u}{\phi_y}$$

- u : 終局時の変位
- y : 降伏時の変位
- u : 終局時の曲率
- y : 降伏時の曲率

本論では、構造形式や支持条件が異なる RC 部材でも靱性評価するために、断面レベルで RC 部材の挙動把握が行える曲率靱性率を用いた。

3.既往の曲率靱性率算定式

軸力を考慮しない算定式として式 2、式 3 を用いる。
両式とも圧縮鉄筋が降伏していないと仮定している。

- n : 弾性係数比
- p1 : 引張鉄筋比
- p2 : 圧縮鉄筋比
- d1 : 引張鉄筋までの距離
- d2 : 圧縮鉄筋までの距離(mm)

Penelis & Kappos

$$\xi_y = \left[n^2 (p_1 + p_2)^2 + 2n \left(p_1 + \frac{p_2 d_2}{d_1} \right) \right]^{1/2} - n(p_1 + p_2) \quad (1)$$

$$m_f = 0.8 E_s e_{cu} (1 - x_y) \left\{ f_y \left\{ \left[\left(\frac{p_2 e_{cu} E_s - p_1 f_y}{1.7 f'_c} \right)^2 + \frac{d_2 p_2 e_{cu} E_s}{d_1 1.06 f'_c} \right]^{1/2} - \left(\frac{p_2 e_{cu} E_s - p_1 f_y}{1.7 f'_c} \right) \right\} \right\}^{-1} \quad (2)$$

- cu : コンクリートの終局ひずみ
- γ : 係数(=0.85)
- f'c : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)
- fy : 鉄筋の降伏強度(N/mm²)
- Es : 鉄筋の弾性係数(N/mm²)
- Ec : コンクリートの弾性係数(N/mm²)

Park Paulay

$$m_f = \frac{f_u}{f_y} = \frac{b_1 E_s e_c}{f_y} \frac{1 + (p_1 + p_2)n - \left[(p_1 + p_2)^2 n^2 + 2 \left(p_1 + \frac{p_2 d_2}{d} \right) n \right]^{1/2}}{\left[\left(\frac{p_2 e_c E_s - p_1 f_y}{1.7 f'_c} \right)^2 + \frac{p_2 e_c E_s b_a d_2}{0.85 f'_c d_1} \right]^{1/2} - \frac{p_1 e_c E_s - p_1 f_y}{1.7 f'_c}} \quad (3)$$

- b : 断面の幅(mm)
- h : 断面の高さ(mm)
- N : 軸力(N)
- 軸力比
- 圧縮応力係数

Tassios

Tassios の算定式は軸力を考慮するために軸力比をパラメータに取り入れている。

$$v = \frac{N}{f_c b h} \quad (4)$$

$$\mu_{\phi} = 1.2 \frac{E_s}{f_y} \left[\frac{0.6}{v + (p_1 - \lambda p_2) f_y / f'_c} - 1 \right] e_{cu} \quad (5)$$

本論では、式 2 を Penelis & Kappos 式、式 3 を Park Paulay 式、式 5 を Tassios 式とする。

4.曲率靱性率に関するパラメータ特性

上記の式 2、3、5 の算定式を用いて数値シミュレーションを実施した。このときの条件を表 1 に示す。

表 1 断面諸元と材料条件

断面(mm)	かぶり(mm)	コンクリート		主鉄筋		引張鉄筋比	圧縮鉄筋比
		Ec(kN/mm ²)	f'c(N/mm ²)	cu	Es(kN/mm ²)		
320 x 320	24	22	28.3	0.004	200	356	1.83 / 0.8

表 2 解析に用いた断面諸元と材料特性

断面(mm)	かぶり厚(mm)	作用軸力(N/mm ²)	主鉄筋比	コンクリート		主鉄筋		せん断補強鉄筋		構成則		
				f'c(N/mm ²)	Ec(kN/mm ²)	Es(kN/mm ²)	降伏強度(N/mm ²)	異形鉄筋 本数	異形鉄筋 fy(N/mm ²)	コンクリート	鉄筋	
800 x 800	60	0	3.475	24	25	200	295	D32	28	D10	295	平成 8 年道路橋 トリリア

5. 曲率靱性率算定式のパラメータ特性

軸力の影響を考慮した算定式の Tassios 式は, 軸力が高くなるほど靱性率が低くなる関係となっている. 本論では Tassios 式のパラメータに, $E_s=200\text{kN/mm}^2$, $0.002 \leq \epsilon_{cu} \leq 0.004$, $250\text{N/mm}^2 < f_y < 400\text{N/mm}^2$ の間で3つのパターン

における曲率靱性率を比較した(図 1). 主鉄筋が高強度またはコンクリートの終局ひずみが小さいほど靱性率が低くなる関係となっている. Penelis & Kappos 式と Park Paulay 式は軸力を考慮できない式であるが, Tassios 式と同様に主鉄筋が高強度または主鉄筋比 P_s が高くなるほど靱性率が低くなっている(図 2). 実験値と算定値の比較をした(図 3). ここでの実験値と算定値の比較において, 軸力を加えた試験体では Tassios 式, 軸力を加えていない試験体は Penelis & Kappos 式と Park Paulay 式を用いた. 実験値と算定値を比較すると, 実験値の曲率靱性率の方が大きい傾向を示した.

6. ファイバ - モデルによる曲率靱性率の算定

次に, ファイバ - モデルによる曲率靱性率の算定および破壊形式の比較を行った. 解析に用いた諸元は表 2 に示す. 破壊形式に一番影響を及ぼすパラメータは, せん断補強鉄筋比である. 主鉄筋降伏強度や主鉄筋比の増大にともなって, 靱性率は低くなりせん断破壊しやすい. $P_s \cdot f_y$ のパラメータを増加させることによって, 曲げ耐力が増加し, 曲げせん断耐力比が減少するため靱性率が低下する(図 4). ファイバ - モデルの算定した靱性率に対するの軸力の影響は, 破壊形式によって異なった. 曲げせん断破壊しやすい断面では, 軸力が靱性率に影響をほとんど与えず, 曲げ破壊する断面では軸力の増加にともなって靱性率は減少する結果となった.

7. まとめ

各種算定式を用いて曲率靱性率を算定し実験値と比較したところ, 軸力のない試験体においては実験値と算定値が比較的近い値となったが, 軸力のある試験体では精度よく曲率靱性率を算定できなかった. RC 部材の靱性率にはせん断補強鉄筋が大きく影響するが, 算定式ではそのパラメータを取り入れていないため, 算定式を用いるためには適応範囲があると考えられる.

【参考文献】

- 1) George G. Penelis and Andreas J. Kappos "Earthquake-resistant Concrete Structures"
- 2) R. PARK and T. PAULAY "Reinforced Concrete Structures" Department of Civil Engineering
- 3) 武蔵工業大学 コンクリート研究室: 平成9年度 小型試験体による RC 単柱の実験報告書
- 4) 吉川弘道 「鉄筋コンクリートの設計」 限界状態設計法と許容応力度設計法(丸善)

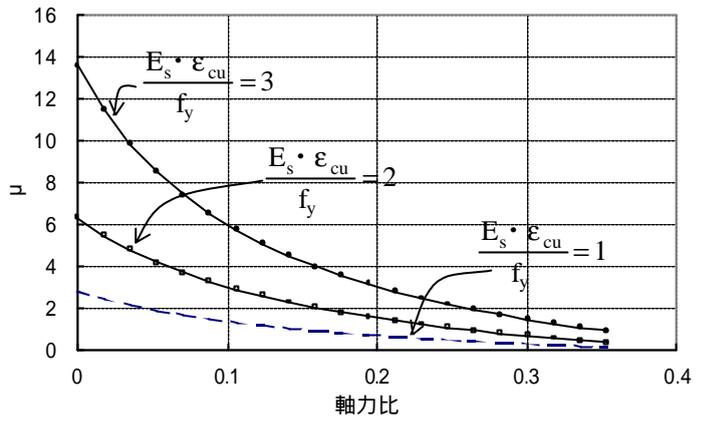


図 1 Tassios 式における曲率靱性率 μ と軸力比

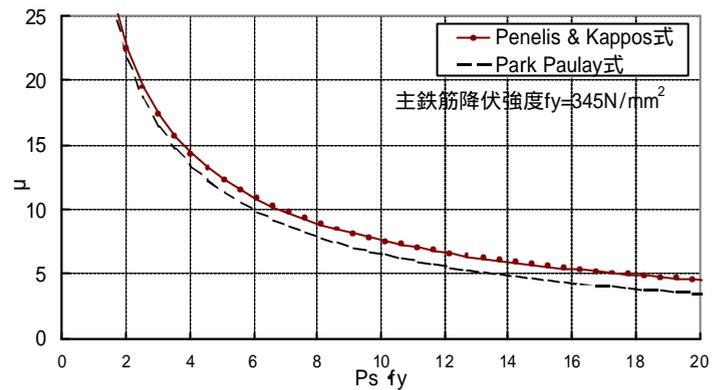


図 2 軸力を考慮しない算定式による曲率靱性率 μ と $P_s \cdot f_y$

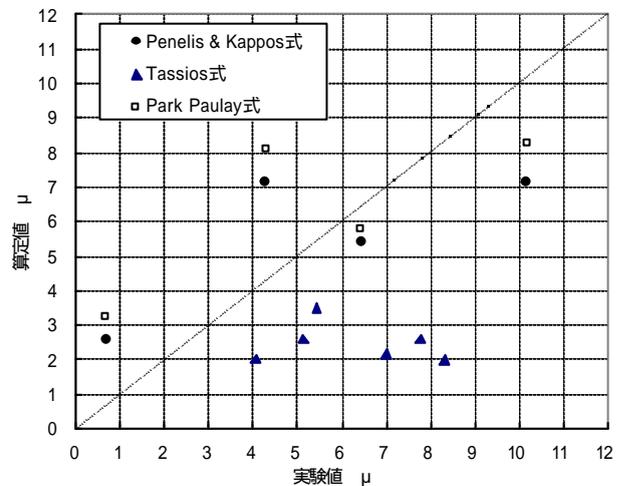


図 3 曲率靱性率 μ の実験値と算定値の比較

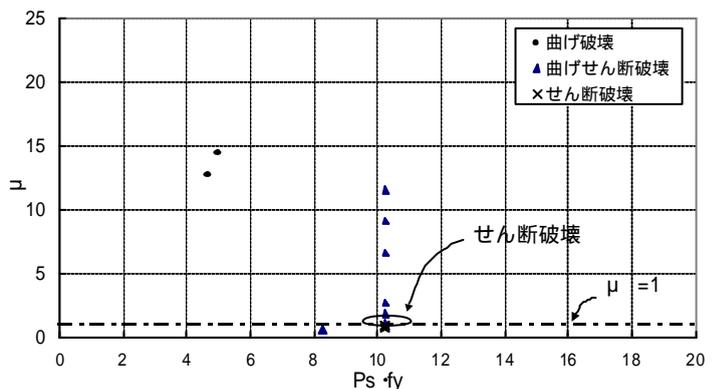


図 4 ファイバ - モデルによる曲率靱性率 μ と $P_s \cdot f_y$