

軸力、曲げおよびねじりを同時に受ける RC 部材の剛性低下率と等価減衰定数の定式化

九州大学工学部 学生会員○宇山 友理

九州大学工学部 学生会員 秦 逸平

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲

1. はじめに

コンクリート構造物においてねじりの影響は二次的なものとしてあまり重要視されていない。例えば、橋梁に対し動的解析を行う場合、一般的にねじり剛性を初期剛性の 1/10～1/20 程度に設定して解析する。しかし、RC 部材のねじり剛性低下を適切に考慮することで、より厳密な耐震設計を行うことが必要である。そこで、軸力、曲げおよびねじりの複合荷重を受ける RC 部材の実験結果¹⁾に基づき、剛性低下率および等価減衰定数を軸力とコンクリート圧縮強度の比、帯鉄筋比、曲げとねじりの载荷比率をパラメータとして定式化し、橋の非線形動的解析の基礎資料を提供するものである。

2. 実験概要

2.1 供試体概要

実験に用いた供試体の外形寸法を図-1に示す。断面は 400×400mm の正方形断面とし、局部破壊を避けるために両端はフーチングとした。コンクリートは設計基準強度 40N/mm²で配合し、鉄筋は SD295 を使用した。

2.2 検討ケース

検討ケースとしては、軸力、帯鉄筋間隔、曲げとねじりの载荷比率の影響に着目した。表-1に各供試体の特性、载荷条件を示す。初期軸応力欄の「%」は、供試体の配合強度 (40N/mm²) に対する载荷軸応力の百分率である。帯鉄筋間隔は、帯鉄筋が十分に配置されている場合と不足している場合を想定し、それぞれ 30mm と 60mm とした。载荷パターンは、純曲げ、純ねじりおよびねじりと曲げを任意の比率で载荷した計 5 ケースとした。ここで、検討ケースの No.1～15, 21～30 は既往の実験結果¹⁾であり、本研究において新たに No.16～20 の追加実験を行った。

3. 定式化におけるパラメータ

定式化する際に用いる各パラメータ値を、材料試験結果および実験結果をもとに供試体毎に算出した結果を表-2に示す。各パラメータの算出方法は以下の通りである。

軸力に関するパラメータは、以下の式に示すコンクリートの圧縮強度と供試体に作用する軸力の比率とする。

$$N_0 = \frac{\left(\frac{N}{ab}\right)}{f'_c} \quad N_0: \text{軸応力比} \quad N: \text{初期軸力 (N)} \quad a, b: \text{断面の辺長 (a=b=400mm)} \quad f'_c: \text{コンクリート圧縮強度 (N/mm}^2\text{)}$$

帯鉄筋間隔は、道路橋示方書²⁾に記載される横拘束筋の体積比 ρ_s をパラメータとして用いる。

曲げとねじりの载荷比率は、角度 (rad) で表したものをパラメータとして用いる。図-2に算出概念図を示すが、複合载荷時の降伏耐力を純荷重時の降伏耐力で除した値より、次式より定義する。なお、降伏の定義として、ねじり降伏は荷重-変位曲線において剛性が大きく低下した点として、曲げ降伏は主鉄筋が降伏した点として、それぞれ実験結果より求めた。

表-1 検討ケース

図-1 供試体概要 (単位:mm)

No.	初期軸応力		帯鉄筋間隔	載荷パターン	No.	初期軸応力		帯鉄筋間隔	載荷パターン		
	(N/mm ²)	(%)				(N/mm ²)	(%)				
1	0.0	0	30	純ねじり	16	0.0	0	60	純ねじり		
2				ねじり卓越	17				ねじり卓越		
3				中間型	18				中間型		
4				曲げ卓越	19				曲げ卓越		
5				純曲げ	20				純曲げ		
6	2.0	5		純ねじり	21	2.0	5		純ねじり		
7				ねじり卓越	22				ねじり卓越		
8				中間型	23				中間型		
9				曲げ卓越	24				曲げ卓越		
10				純曲げ	25				純曲げ		
11	4.0	10		純ねじり	26	4.0	10		純ねじり		
12				ねじり卓越	27				ねじり卓越		
13				中間型	28				中間型		
14				曲げ卓越	29				曲げ卓越		
15				純曲げ	30				純曲げ		

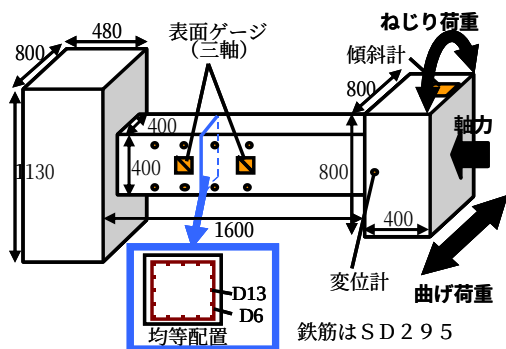


図-1 供試体概要 (単位: mm)

表-2 各パラメータ値

No.	軸力			帯鉄筋		載荷比率			No.	軸力			帯鉄筋		載荷比率		
	初期軸応力 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	軸力比	間隔 (mm)	ρs	降伏耐力(kNm) ねじり 曲げ	φ rad	初期軸応力 (N/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)	軸力比	間隔 (mm)	ρs	降伏耐力(kNm) ねじり 曲げ	φ rad		
1	0.0	33.4	0	30	0.012	63.6	0.0	1.57	16	0.0	34.1	0	60	0.006	62.8	0.0	1.57
2		47.6	0			77.3	7.3	1.44	17		53.3	0			68.7	18.6	1.44
3		51.1	0			57.5	19.4	1.12	18		57.8	0			66.7	37.7	1.29
4		43.2	0			25.1	39.9	0.41	19		56.6	0			42.9	86.2	0.78
5		32.8	0			0.0	43.9	0.00	20		52.6	0			0.0	124.2	0.00
6	2.0	31.9	0.063			85.6	0.0	1.57	21	2.0	34.8	0.057			81.0	0.0	1.57
7		50.6	0.040			77.5	18.4	1.26	22		48.0	0.042			76.3	18.1	1.28
8		45.4	0.044			69.9	21.2	1.18	23		47.9	0.042			71.8	21.8	1.20
9		54.0	0.037			48.8	53.3	0.59	24		41.5	0.048			61.3	52.8	0.74
10		51.6	0.039			0.0	62.9	0.00	25		46.5	0.043			0.0	64.0	0.00
11	4.0	35.3	0.113			98.5	0.0	1.57	26	4.0	45.7	0.088			103.8	0.0	1.57
12		49.3	0.081			113.0	15.9	1.38	27		60.4	0.066			103.6	20.7	1.30
13		50.4	0.079			90.2	32.9	1.11	28		35.2	0.114			91.0	29.8	1.14
14		47.5	0.084			62.7	70.7	0.58	29		51.6	0.078			58.0	69.9	0.54
15		40.6	0.099			0.0	72.0	0.00	30		41.1	0.097			0.0	74.3	0.00

$$\phi = \tan^{-1} \left\{ \frac{\left(\frac{M_{ty}}{M_{ty0}} \right)}{\left(\frac{M_{by}}{M_{by0}} \right)} \right\}$$

ϕ : 載荷比率 (rad)

M_{ty0} : 純ねじり時の降伏耐力 (kNm)

M_{by0} : 純曲げ時の降伏耐力 (kNm)

M_{ty} : 複合載荷時の降伏ねじり耐力 (kNm)

M_{by} : 複合載荷時の降伏曲げ耐力 (kNm)

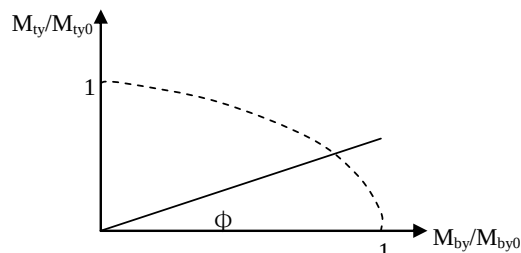


図-2 載荷比率概念図

4. 剛性低下率および等価減衰定数の定式化

ねじりの剛性低下率および等価減衰定数の実験結果と定式化したものの比較の一例を図-3, 4に示す。定式化するにあたり、実験結果の傾向を鑑み、それぞれ以下の近似式で表現することとした。

(剛性低下率)

$$\frac{GK}{GK_0} = \alpha \left(\frac{\theta}{\theta_y} \right)^\beta$$

$$\begin{cases} \alpha = \{(3000Pt + 50) \times N_0^2 + 1\} \times (0.14\phi^3 + 0.3\phi) \\ \beta = 35\rho_s - 1.4 \end{cases}$$

(等価減衰定数)

$$h_T = \min \left\{ \begin{aligned} &E \times \left\{ A \left(\frac{\theta}{\theta_y} \right) + B \right\} \\ &E \times C \times \exp \left\{ -D \left(\frac{\theta}{\theta_y} \right) \right\} \end{aligned} \right\}$$

$$\begin{cases} A = (3.45\rho_t - 0.1)\phi + (-5.17\rho_t + 0.2) \\ B = (-5.17\rho_t + 0.11)\phi + (6.9\rho_t - 0.07) \\ C = (-5.17\rho_t + 0.09)\phi + (1.72\rho_t + 0.1) \\ D = (-5.17\rho_t + 0.11)\phi + (12.07\rho_t - 0.17) \\ E = 0.7N_0 + 0.97 \end{cases}$$

各係数は実験定数であり、実験結果より
 N_0 : 軸力比 ϕ : 載荷比率 (rad) ρ_s : 帯鉄筋の体積比 で表現した。

提案式は、実験結果で見られる軸力、帯鉄筋間隔、載荷比率による傾向を表現することができ、ねじりの剛性低下率および等価減衰定数を表現することが可能である。

5. まとめ

RC 橋脚における剛性低下率および等価減衰定数の定式化を行い、実験結果を表現することができた。今後、今回提案した式を橋梁の動的解析に適用していく。

参考文献

1) 浦川, 大塚, 竹下: 軸力, 曲げおよびねじりを同

時にうける RC 部材の非線形挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.51A, pp.885~892, 2005.3.

2) (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 2002.3.

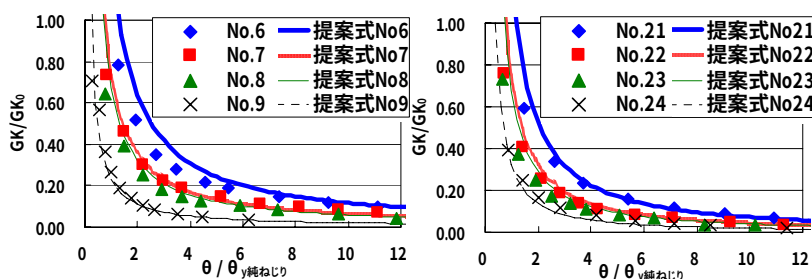


図-3 剛性低下率

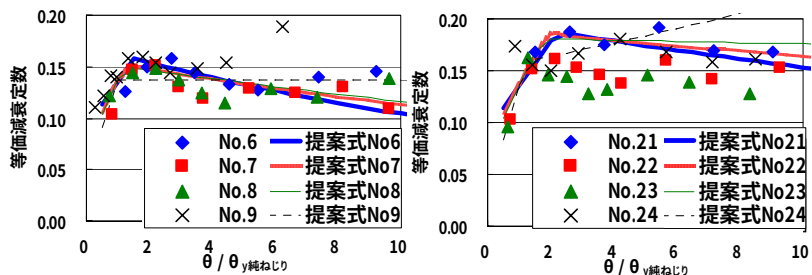


図-4 等価減衰定数