

V-51

曲げを受ける超高強度コンクリートはり部材の力学的特性に関する研究

東北大学 正 員 鈴木基行
 東北大学 学生員 堀内 信
 東北大学 学生員 ○佐藤卓三

1. まえがき

現在、圧縮強度が1000kgf/cm²を超える超高強度コンクリートの必要性が高まっているにもかかわらず、高強度コンクリートを用いた構造物を設計する際の設計規定が示されていないのが現状である。そこで、本研究は超高強度コンクリートはり部材について、曲げ耐力と靱性率に対する評価を行うことを目的とする。

2. 実験概要

本実験では圧縮強度 $f'_c=368, 695, 1174, 1047$ kgf/cm²の4種類のコンクリートを用いた。また、本実験で使用する引張鉄筋（SD35, SD50, SD60）の引張試験結果を表1に、供試体の諸元を表2に、載荷方法を図1に示す。

表-1 鉄筋引張試験結果

種類		降伏強度 f_y (kgf/cm ²)	降伏歪 ϵ_y (μ)	ヤング係数 E_s (kgf/cm ²)	歪硬化開始歪 ϵ_{sh} (μ)
SD35	D16	3867	2067	1.86×10^6	22900
	D22	4017	2233	1.86×10^6	21683
	D25	3763	2113	1.83×10^6	14467
SD50	D16	5000	2750	1.89×10^6	25450
	D19	5700	3050	1.87×10^6	22667
	D22	5333	2800	1.90×10^6	21975
SD60	D25	5317	2850	1.90×10^6	22800
	D16	8225	4775	1.85×10^6	6975
	D22	7300	3867	1.91×10^6	14875
	D25	6800	3717	1.91×10^6	19900

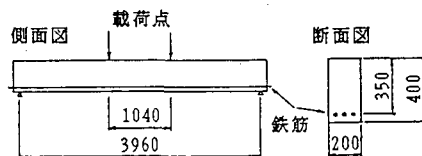


図-1 載荷方法

表-2 供試体諸元および実験結果一覧表

供試体 番号	コンクリート 圧縮強度 f'_c (kgf/cm ²)	引張主鉄筋		実験結果						
		使 用 鉄 筋	鉄筋比 ρ_t (%)	降伏時		終局時			$\frac{\rho_t}{\rho_b}$ (%)	靱性率 μ
				M_y (tf·m)	ϕ_{ky} (1/m)	M_u (tf·m)	ϕ_{ku} (1/m)	ϵ_{cu} (μ)		
L-1	368	SD35, 3D16	0.85	7.17	8.6×10^{-3}	8.19	7.61×10^{-2}	3312	17.5	8.87
L-2	368	SD50, 3D16	0.85	9.47	11.3×10^{-3}	10.34	3.89×10^{-2}	2798	25.4	3.44
L-3	368	SD60, 3D16	0.85	14.42	19.8×10^{-3}	15.99	3.99×10^{-2}	3618	55.5	2.02
L-4	368	SD35, 3D25	2.17	16.23	10.2×10^{-3}	17.47	3.52×10^{-2}	3303	43.8	3.45
M-1	695	SD35, 3D22	1.66	14.02	8.8×10^{-3}	16.45	7.17×10^{-2}	3506	23.1	8.15
M-2	695	SD50, 3D22	1.66	19.48	13.4×10^{-3}	21.96	6.30×10^{-2}	4420	33.7	4.70
M-3	695	SD60, 3D22	1.66	25.35	16.1×10^{-3}	26.65	4.80×10^{-2}	3811	53.8	2.98
M-4	695	SD35, 3D25	2.17	17.66	10.0×10^{-3}	19.91	6.23×10^{-2}	4250	27.8	6.23
H-1	1174	SD35, 3D25	2.17	17.29	9.2×10^{-3}	20.64	8.89×10^{-2}	3893	17.8	9.71
H-2	1174	SD50, 3D25	2.17	24.29	12.4×10^{-3}	27.46	7.63×10^{-2}	3948	28.3	6.15
H-3	1174	SD60, 3D25	2.17	30.67	16.0×10^{-3}	34.13	5.18×10^{-2}	3619	40.8	3.24
H-1D	1047	SD50, 3D16	0.85	9.07	11.3×10^{-3}	10.63	12.45×10^{-2}	3553	11.4	11.0
H-2D	1047	SD50, 3D19	1.23	15.44	14.5×10^{-3}	18.35	9.43×10^{-2}	3960	19.6	6.49
H-3D	1047	SD50, 3D22	1.66	19.22	12.5×10^{-3}	21.95	9.39×10^{-2}	3851	23.8	7.49
H-4D	1047	SD50, 3D25	2.17	24.10	13.8×10^{-3}	27.41	6.21×10^{-2}	4167	31.3	4.50
H-5D	1047	SD60, 3D25	2.17	30.12	16.2×10^{-3}	34.08	5.41×10^{-2}	3707	40.8	3.36

* M : 曲げモーメント、 ϕ_k : 曲部局率、 ϵ_{cu} : 終局時コンクリート圧縮ひずみ、 ρ_t : 引張主鉄筋比
 ρ_b : 釣合鉄筋比、靱性率: 終局時曲率/降伏時曲率

3. 実験結果及び考察

実験結果一覧を表2に示す。

3.1 はり部材のコンクリート圧縮ひずみ

曲げ区間における終局時の圧縮縁ひずみ ϵ_{cu} とコンクリート強度 f'_c の関係を図2に示す。この図から、終局時の圧縮縁ひずみは3000~4000 μ 前後であり、また、コンクリート強度が大きくなるにつれて圧縮縁コンクリートひずみが大きくなることが分かる。実験値の回帰式として(1)式を得た。

$$\epsilon_{cu} = 0.615f'_c + 3207 \quad (\mu) \quad (1)$$

3.2 終局曲げモーメント

(1) Hognestadの理論

この理論では、①平面保持の仮定②コンクリートの引張抵抗は無視③応力分布を長方形分布とする、という仮定に基づいて次のような終局曲げモーメント式を算定している。

$$M_u = f'_c b d^2 q (1 - k_2 q / k_1 k_3) \quad \text{ただし、} q = \rho f_y / f'_c \quad k_1, k_2, k_3: \text{応力分布係数}$$

(2) 土木学会の式

平成3年コンクリート標準示方書によると、コンクリートの圧縮応力分布を等価応力ブロックと仮定して、以下の式で終局時の曲げモーメントを算定するのが一般的な方法としている。

$$M_u = 0.68 f'_c x_c b (d - 0.4 x_c) \quad (2)$$

$$x_c = A_s f_{sy} / k_1 k_3 f'_c b$$

(3) 実験値との比較

実験値とHognestadの式、及び土木学会の式で算定された終局曲げモーメントの値を表3に示す。この結果から、両式共に実験値とほぼ一致しているといえる。

3.3 靱性率 μ ・ ρ_t/ρ_b 関係

本実験では降伏時の曲部局率 ϕ_{kv} と終局時の曲部局率 ϕ_{ku} に注目して靱性率 μ を次式で表す。

$$\mu = \phi_{ku} / \phi_{kv}$$

また、図3に靱性率 μ ・ ρ_t/ρ_b 関係を示す。図3より局部曲率により表現される靱性率 μ は ρ_t/ρ_b のみに支配され、靱性率は ρ_t/ρ_b が小さくなるにつれて加速度的に増加することがわかる。靱性率 μ と ρ_t/ρ_b の関係を回帰式で表現すると、以下に示す反比例式で精度良く実験値と一致した結果が得られた。(Zは定数)

$$\mu = Z / (\rho_t / \rho_b) - (Z / 100 - 1) \quad (3)$$

ここで、本実験では(4)式が得られた。

$$\mu = 161 / (\rho_t / \rho_b) - 0.61 \quad (4)$$

4. 結論

(1) コンクリート強度が増加するにともない塑性域が小さくなるが、曲げ部材の終局時における圧縮縁コンクリートひずみは大きくなることが確認された。

(2) Hognestad理論による曲げ耐力算定方法、土木学会の設計式でも十分に超高強度コンクリート部材の曲げ耐力の実測値と適合していた。

(3) ρ_t/ρ_b により靱性率を決定できることが確認された。

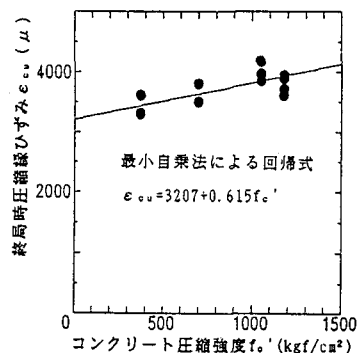


図-2 $\epsilon_{cu} - f'_c$ 関係

表-3 Hognestadの式および土木学会の式による計算値と実験結果の比較

供試体 番号	Hognestad				土木学会		実験値		M_{uT} M_{uH}	M_{uJ} M_{uS}
	$k_1 k_3$	k_2	ϵ_{cu} (μ)	M_{uH} ($tf \cdot m$)	M_{uS} ($tf \cdot m$)	ϵ_{cu} (μ)	M_{uT} ($tf \cdot m$)			
L-1	0.75	0.43	3422	7.65	7.64	3312	8.19	1.07	1.07	
L-2	0.75	0.43	3422	9.73	9.72	2798	10.34	1.06	1.06	
L-3	0.75	0.43	3422	15.28	15.23	5618	15.99	1.05	1.05	
L-4	0.75	0.43	3422	17.47	17.41	3303	17.47	1.00	1.00	
M-1	0.70	0.41	4006	15.41	15.41	3506	16.45	1.07	1.07	
M-2	0.70	0.41	4006	20.06	20.05	4420	21.96	1.09	1.10	
M-3	0.70	0.41	4006	26.63	26.63	3811	26.65	1.00	1.00	
M-4	0.70	0.41	4006	18.64	18.64	4250	19.91	1.07	1.07	
H-1	0.64	0.39	3972	19.17	19.20	3893	20.64	1.08	1.08	
H-2	0.64	0.39	3972	26.58	26.65	3948	27.46	1.03	1.03	
H-3	0.64	0.39	3972	33.39	33.50	3619	34.13	1.02	1.02	
H-1D	0.64	0.39	3972	9.99	10.00	3553	10.63	1.06	1.06	
H-2D	0.64	0.39	3972	16.20	16.23	3960	18.35	1.13	1.13	
H-3D	0.64	0.39	3972	20.24	20.29	3851	21.95	1.08	1.08	
H-4D	0.64	0.39	3972	25.97	25.89	4167	27.41	1.06	1.06	
H-5D	0.64	0.39	3972	33.08	32.87	3707	34.08	1.03	1.04	

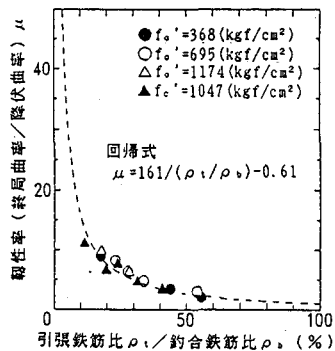


図-3 $\mu - \rho_b/\rho_t$ 関係