

東北大学 学生員 ○久保雅宏
東北大学 学生員 ・今福健一郎
東北大学 正 員 鈴木基行

1. まえがき

現在、圧縮強度が1000kgf/cm²を越える超高強度コンクリートの製造が容易になってきているが、このようなコンクリートを用いた部材の設計規定が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及び超高強度鉄筋（SD590, SD785）を用い、せん断補強筋のないRCはり部材について、せん断耐力に対する評価を行うことを目的とする。

2. 実験概要

本実験で使用したコンクリートの示方配合表を表-1に、また、載荷方法を図-1に示す。

表-1 コンクリートの示方配合表

シリーズ	粗骨材の最大粒径(mm)	水灰比 W/C	細骨材の割合 a/a	単位量(kgf/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G 5~20mm	混和材	
L	15	44	48	155	352	884	977	My150 1.408	AP03 0.121
M	15	28	40	154	500	712	1089	My150 5.50	Σ1000 50
H	15	30	45	123	450	822	1012	My150 20.3	Si 80

* My150: Myty 150, Σ1000: DENKA Σ1000, Si: Silica Fume

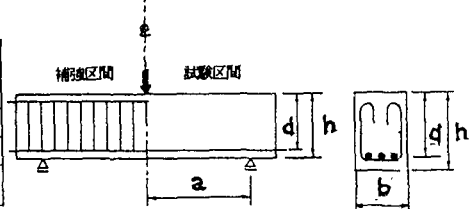


図-1 載荷方法

表-2 実験結果一覧表

供試体		実験因子					実験結果														
シリーズ	No.	コンクリート圧縮強度 f_{ck} (kgf/cm ²)	せん断スパン比 a/d	有効高さ d (cm)	せん断スパン比 a/d	引張鉄筋			曲げひびわれ			せん断ひびわれ			降伏時	終局時					
						f_y (kgf/cm ²)	ρ (%)	ρ_s (%)	初期ひびわれ $V_{0.05}$ (tf)	中央変位 $\delta_{0.05}$ (mm)	斜めひびわれ $V_{0.05}$ (tf)	中央変位 $\delta_{0.05}$ (mm)	種類	V_y (tf)	V_u (tf)	中央変位 δ_u (mm)	破壊形態				
L	1	389	70	35	2	6397	1.23	65.6	7.3	1.0	10.9	10.9	2.0	B.S.C	—	17.2	4.6	S.T.F			
	2		87.5		2.5				4.7	0.8	7.7	7.7	1.8	B.S.C	—	14.4	7.5	S.T.F			
	3		105		3				4.1	0.8	9.2	9.2	3.5	B.S.C	—	9.5	3.6	S.T.F			
	4		140		4				3.3	1.6	8.2	9.3	8.1	B.S.C	—	10.1	9.6	S.T.F ⁺			
M	5	721	70	35	2	6397	1.23	30.3	7.6	0.8	10.3	12.7	2.0	B.S.C	27.7	30.7	22.3	B.S.T.F			
	6		87.5		2.5				5.7	1.3	11.5	11.5	3.2	B.S.C	—	12.9	4.0	S.T.F ⁺			
	7		105		3				5.7	1.0	8.5	9.0	2.6	B.S.C	—	13.6	7.7	S.T.F			
	8		140		4				3.6	1.3	8.1	9.0	6.7	B.S.C	—	10.2	8.2	S.T.F ⁺			
H1	9	1174	70	35	2	4276	1.27	19.7	7.8	0.7	10.9	13.1	1.8	B.S.C	28.1	32.4	31.8	B.S.T.F			
	10		87.5		2.5				5.3	0.7	9.8	11.5	2.8	B.S.C	22.7	23.7	23.9	B.S.T.F			
	11		105		3				6.0	1.2	8.2	9.9	3.2	B.S.C	18.8	21.1	45.5	B.S.T.F			
	12		140		4				4.2	1.1	8.7	8.7	6.1	B.S.C	—	9.4	6.8	S.T.F ⁺			
H2	13	1199	70	35	2	4276	1.27	20.3	7.7	1.6	—	11.7	4.9	D.T.C	—	15.3	9.2	S.T.F			
	14		87.5		2.5				30.2	5.5	0.7	7.0	9.7	1.8	B.S.C	28.3	30.7	29.3	B.S.T.F		
	15		37.5		3				5.2	0.8	8.8	9.8	3.0	B.S.C	12.0	13.0	10.0	B.S.T.F			
	16		45		3				4.6	0.4	7.8	7.8	2.3	B.S.C	10.5	11.4	16.9	B.S.T.F			
H3	17	1114	137.5	55	2.5	7188	1.38	22.1	10.3	1.2	15.7	15.7	3.5	B.S.C	42.4	44.7	19.5	B.S.T.F			
	18		165		3				8.3	1.3	14.2	14.2	4.6	B.S.C	—	27.2	14.9	S.T.F			
	19		1199		87.5				35	7148	0.54	8.7	5.6	1.3	10.0	10.0	3.9	B.S.C	10.0	3.9	D.T.F
	20		1199		87.5				35	7075	0.85	13.6	6.1	0.8	8.1	11.2	3.1	B.S.C	17.4	20.9	74.8

$V_{0.05}$: 最初の曲げひびわれ発生時のせん断耐力 $V_{u0.05}$: 部材の破壊を引き起こすひびわれに発達した曲げひびわれ発生時のせん断耐力
B.S.C: 曲げせん断ひびわれ D.T.C: 斜め引張ひびわれ
S.T.F: せん断引張破壊 B.S.T.F: 曲げ降伏後のせん断引張破壊 D.T.F: 斜め引張破壊 *1: 定着部の破壊

3. 実験結果及び考察

実験結果一覧を表-2に示す。

3.1 平均せん断応力 τ - ρ , f_y 関係 (図-2)

τ_{sc} (斜めひびわれ発生時せん断応力) および τ_u (終局せん断応力) に対する ρ , f_y の関係を図-2に示す。図-2から ρ , f_y が τ_{sc} に及ぼす影響は無いが、 τ_u は ρ , f_y が増加すると直線的に大きくなることから、これは、引張鉄筋量および引張鉄筋降伏強度が増大すればアーチ作用による抵抗力を増大させるため、およびダウエル作用が大きくなりせん断耐力が増加するためであると考えられる。 τ_{sc} は平均15.40 (kgf/cm²) であり、 τ_u に回帰計算の結果次のような一次式を得た。

$$\tau_u = -5.33 + 0.53 \rho_t f_y \quad (1)$$

以上の結果から超高強度コンクリートを用いたせん断補強筋の無いはり部材では、 $\rho_t f_y \leq 39.1$ (kgf/cm²)ではせん断ひびわれが発生すると同時に破壊する。また、 $\rho_t f_y$ が39.1から55付近では、せん断ひびわれ発生後にせん断破壊し、 $\rho_t f_y$ が55程度よりも大きいときにはせん断ひびわれ発生後曲げ降伏を起こした後にせん断破壊する。またせん断ひびわれ荷重は $\rho_t f_y \geq 39.1$ では一定であるが、破壊荷重は $\rho_t f_y$ によって決まると考えられる。

3.2 せん断耐力式と実験値との比較

表-3に大野・荒川の式、土木学会の式による計算値と実験値の比較を行った結果を示す。表より大野・荒川式は超高強度コンクリートを用いたせん断補強筋の無いはり部材にも適用できるものと思われる。

3.3 終局せん断耐力-有効高さ関係 (図-3)

図-3は超高強度コンクリートを用いた場合の終局せん断耐力と有効高さの関係を示している。実験値は有効高さdの増加に対して減少傾向がみられるが、岡村・檜貝式ではa/dに関わらず $d^{-1/4}$ に比例して減少しているのに対して、実験値は直線的に減少しており、その減少の割合はa/d=3の方がa/d=2.5よりも大きい。a/dごとに下のような直線で近似した回帰式を求めた。

$$\tau_u = 44.8 - 0.06d \quad (a/d=2.5) \quad (2)$$

$$\tau_u = 42.4 - 0.38d \quad (a/d=3) \quad (3)$$

3.4 終局せん断耐力-a/d関係

図-4はa/d、 f'_c の τ_u に対する影響を示している。a/d=4ではコンクリート強度に関わらずほぼ同一の値を示しているが、a/dが小さくなるにつれて τ_u は大きくなり、特にコンクリート強度が大きい程その増加率は大きい。ここに $\tau_u = A e^{B a/d}$ でコンクリート強度ごとの回帰計算を行った結果、次式を得た。

$$L: \tau_u = 39.1 e^{-0.278 a/d} \quad (4)$$

$$M: \tau_u = 83.0 e^{-0.464 a/d} \quad (5)$$

$$H1: \tau_u = 161.1 e^{-0.606 a/d} \quad (6)$$

4. まとめ

本実験の範囲内で次のようなことが分かった。

(1) せん断ひびわれ発生時のせん断耐力 τ_{sc} は $\rho_t f_y$ に関わらず一定であるが、終局せん断耐力 τ_u は $\rho_t f_y$ の増加にともなって直線的に大きくなること、 $\rho_t f_y$ によって破壊モードが変化することが分かった。

(2) せん断補強筋のない超高強度コンクリートはり部材のせん断耐力は大野・荒川式でよく評価できる。

(3) せん断補強筋のない超高強度コンクリートはり部材のせん断耐力は有効高さの増加と共に直線的に減少するが、その減少する割合はa/dにより異なることが分かった。

(4) 終局せん断耐力 τ_u は、a/dが小さくなるにつれて大きくなり、コンクリート強度が大きい程その増加率は大きい。

表-3 各せん断耐力式と実験値の比較

No	大野荒川	土木学会	実験値	実験値 大野荒川	実験値 土木学会
1	19.19	9.14	24.50	1.28	2.68
2	15.53	9.14	20.50	1.32	2.24
3	13.04	9.14	13.50	1.04	1.48
4	10.44	9.14	14.43	1.38	1.58
5	30.39	11.24	43.79	1.44	3.90
6	24.59	11.24	18.43	0.75	1.64
7	20.65	11.24	19.38	0.94	1.72
8	18.53	11.24	14.57	0.88	1.30
9	45.67	13.22	48.21	1.01	3.50
10	38.36	13.22	33.79	0.91	2.58
11	31.63	13.22	30.14	0.97	2.28
12	24.84	13.22	13.43	0.54	1.02
13	37.64	13.31	21.79	0.58	1.64
14	37.64	13.31	43.79	1.16	3.29
15	48.51	15.13	43.17	0.89	2.83
16	40.73	15.13	37.83	0.93	2.50
17	35.82	12.06	40.59	1.13	3.37
18	30.08	12.06	24.73	0.82	2.05
19	31.50	10.14	14.29	0.45	1.41
20	34.28	11.78	29.88	0.87	2.53
平均値				0.96	2.28
変動係数				28.0%	35.7%

(注) 単位は、kgf/cm²

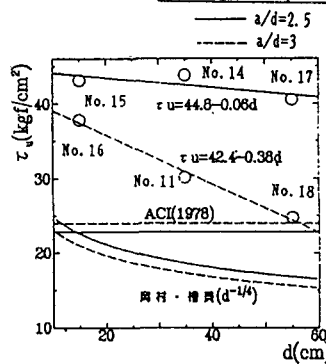


図-3 τ_u とdの関係

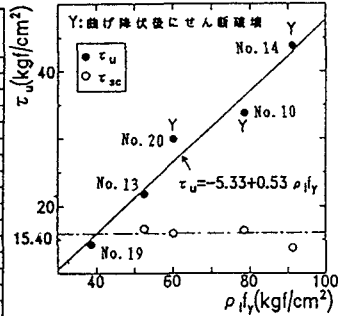


図-2 τ_u と $\rho_t f_y$ の関係

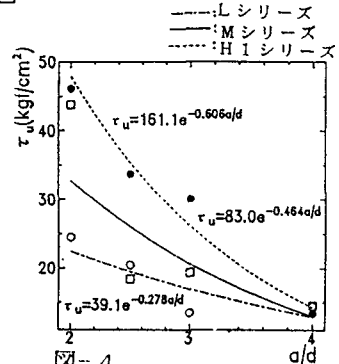


図-4 τ_u および τ_u とa/dとの関係