

鉄筋コンクリートディープビームの終局強さに関する考察

加賀美 一二三*

A Study on Ultimate Strength of Reinforced Concrete Deep Beams

Hifumi KAGAMI

Abstract

V. Ramakishnan and Y. Ananthanarayana reported an investigation of the behavior and ultimate shear strength of 26 single span simply supported reinforced concrete deep beams having different shear-span ratios in No.2 Proceedings Vol.65 ACI 1968.

It is a report that the author describes the proofs can be able well to explain a dynamical properties of reinforced concrete beams in accordance with adaptation and study of his theory of them for the results of their experiments.

1. 緒 言

最近ディープビームの力学的性質に関する研究が関心をもたれるにいたっているが、本邦においてはこれが報告はほとんどない。ACI, No. 2 Vol. 65, 1968 に V. Ramakishnan と Y. Ananthanarayana が Ultimate Strength of Deep Beams in Shear なる題目で実験ならびに理論的考察を発表している。短スパンにてはり高さが大であるので、一般には主にせん断破壊が誘起すると考えられていたが、実験にては1点, 2点および等分布荷重のいかんをとわず鉄筋比が割合に小なる場合、コンクリート強度の小さい場合はもちろん、相当に大であつても曲げ破壊が起こり、鉄筋比が中程度でコンクリート強度の小なる場合は曲げせん断かせん断曲げ破壊が起り、鉄筋比大でコンクリート強度大きな場合はもちろん、小さな場合もせん断破壊が起こっていることが報告されており、両氏はコンクリート圧縮試験の Splitting force の作用を是認し、1, 2点荷重および等分布荷重状態に応じ解析し実験に適用してその破壊強度を考察している。すなわち、 $a/d > 2$ の範囲の Shallow beam のせん断破壊様相に近いといひ、ディープビームの終局せん断強度は斜引張破壊様相により判定することが安全であると結んでいる。

著者はすでに一般鉄筋コンクリートばりの曲げ破壊機構ならびにせん断破壊機構について考究してきてお

り、その結論に達しているのであるが、この理論関係を両氏の実験に適用してみたところよく一致するので、ディープビームの力学関係を実験を通して述べるものである。

2. 両氏の実験に使用した供試体

供試体は Fig. の通りである。

両氏の実験は供試体造形に当つて非対称の配筋位置とか負荷に対し十分なる正確さが期しがたいものがあり、それらが実験上2, 3の供試体に複雑な結果を示したことが推測される。

3. 著者の方法によるディープビーム供試体の破壊様相ならびに破壊荷重の検討

(1) a/d による破壊様相の検討

ディープビームについての研究結果¹⁾つぎのように指摘されているが、解析計算では立証されていない。

The modes of shear failure in deep beams are nearly the same as those in shallow beams under shear span/depth ratios ($a/d < 2$)

著者はすでに鉄筋コンクリートばりの破壊曲げモーメントおよび a/d によるせん断破壊に関し報告^{2), 3)}しているもので、その理論にもとづいて立証計算してみると Table 1 のごとくである。

Table 1 のように供試体ばりの幅、高さを種々に変

* 土木工学教室

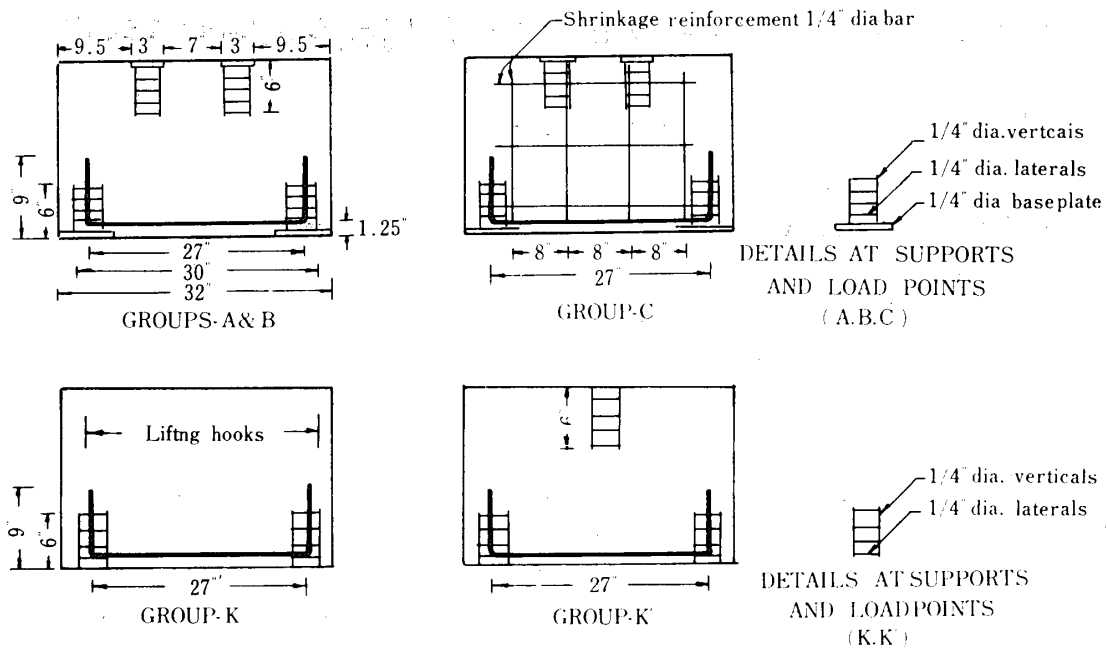


Fig. Experimental specimens by V. Ramakishnan and Y. Ananthanarayana

化し、鉄筋比が多種にわたる供試体に1点、2点、等分布荷重を負荷した場合につき a/d による鉄筋コンクリートディープビームの破壊様相の考察の計算をしたところ、1点ならびに等分布荷重の場合と、その例が判定のつけにくいものもあるが、他はほとんど一致する結果を示した。

(2) 破壊せん断力および破壊曲げモーメントによる破壊荷重にもとづく検討

鉄筋コンクリートばりのせん断破壊は曲げ破壊に先行する場合であり、破壊せん断力は次式³⁾で示される。

$$V = \tau_{cy} b(d - \nu x), \quad \nu = n / (2n + 1)$$

すなわち、この場合は $n \approx 1.3$ 程度と考えられるので $\nu = 0.361$ となる。式中の τ_{cy} はコンクリートの応力段階で異なるものであるが、 σ_{cy} が $120 \sim 200 \text{ kg/cm}^2$ 程度にとは $\tau_{cy} / \sigma_{cy} \approx 0.15$, $200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 程度にとは 0.10 程度と考えてよい。ゆえに、破壊せん断力 V は

$$V = (0.10 \text{ or } 0.15) \sigma_{cy} b d (1 - 0.361k)$$

式中、 $k = pr_y / \mu$ (本実験の URC の場合)

$$\mu = n / (n + 1), \quad n = 5, \quad r_y = \sigma_{sy} / \sigma_{cy}$$

1点、2点荷重の場合は $V = P/2$ であり、等分布荷重の場合は $V = wl/2$ であるので、各荷重状態いずれも $2V$ として破壊せん断力が求められる。この計算結果は Table 2 のごとくである。

さらに、鉄筋コンクリートばりの破壊曲げモーメントより破壊荷重を計算し、その破壊性状を考察するこ

とにする。

破壊曲げモーメントの式³⁾は

$$M_u = \mu \sigma_{cy} k (1 - \nu k) b d^2$$

$$\mu = n / (n + 1), \quad \nu = n / (2n + 1), \quad n = 5$$

この場合の破壊荷重は1点、2点荷重の場合は $2 M_u / a$, 等分布荷重の場合は $8 M_u / l$ にて求められる。この場合の計算した結果は Table 3 のごとくであり、Table 3 中に実験上よりの破壊荷重と破壊せん断力とを並記した。

Table 3 中の計算による破壊荷重と実験による破壊荷重とを比較すると、等分布荷重の場合を除いてはその破壊様相がほとんど一致し、全供試体に対し a/d による判定の場合と同様良結果を示した。

4. 結 言

ディープビームの研究資料¹⁾に対して、鉄筋コンクリートばりの破壊様相の判定および破壊荷重を計算する著者の理論式を適用して考察したところ、つぎのことながら結言できる。

- (1) a/d によるディープビームの破壊様相の判定は実験とよく一致する。
- (2) 破壊せん断荷重と破壊曲げモーメント荷重とを計算し、実験よりの破壊荷重と比較して破壊様相を吟味したところよく一致する結果を示した。
- (3) V. Ramakishnan, Y. Aranthanarayana はディープビームの破壊せん断荷重はコンクリート

の Splitting strength の使用により説明できると結言しているが、(1), (2)の立証のごとく著者の理論式によつても良結果がえられる。

原文において原著者は荷重—たわみの実験結果を示しているが、A—Series, K and K'—Series のと、二供試体は曲げ破壊であり、他の供試体はせん断破壊であることが判断でき、また本実験は荷重点、支点位置の配筋に注意して、Coker and Filon, F. Leonhardt の Principal stress trajectories の仮定が成立せず、

はりの負荷が理論的であるように配慮されていることを附言する。

参 考 文 献

- 1) V. Ramakishnan and Y. Ananthanarayana : ACI, 2, 65 (1968)
- 2) 加賀美一二三：土木学会論文集, 19 (1954)
- 3) 加賀美一二三：土木学会論文集, 92 (1963)

(昭和43年 6月14日受理)

Table 1 Judgement of mode of failure in reinf. conc. deep beams by a/d

Specimen	b cm	H cm	d cm	a cm	a/d	A_s cm ²	bd cm ²	p	σ_{cy} kg/cm ²	σ_{sy} kg/cm ²	γ_v	p_0	URC or ORC	prv	k	$a/d=10\mu k$	Judg. by theory	Judg. by exper.	Note	
A ₁	7.62	38.1	34.9	19.1	0.547	0.712	266	0.00268	247	3200	12.90	0.0349	URC	0.0346	0.0415	0.846	~0.234	FF	FF	Two pt. loading
A ₂	7.62	50.8	47.6	19.1	0.400	0.712	362	0.00197	208	"	15.40	0.0292	"	0.0303	0.0364	0.303	~0.206	FF	FF	"
A ₃	7.87	57.2	54.0	19.1	0.353	0.712	425	0.00167	238	"	13.40	0.0336	"	0.0224	0.0269	0.224	~0.152	FF	FF	"
A ₄	7.62	76.2	73.0	19.1	0.261	0.712	581	0.00122	278	"	11.50	0.0391	"	0.0141	0.0168	0.141	~0.095	FF	FF	"
A ₄ (R)	7.92	76.2	73.0	19.1	0.261	0.712	705	0.00101	125	"	25.60	0.0176	"	0.0259	0.0310	0.259	~0.175	FF	SF	"
B ₁	7.62	38.1	34.9	19.1	0.547	1.98	266	0.00743	208	"	15.40	0.0292	"	0.114	0.137	1.14	~0.774	S-FF	S-FF	"
B ₂	7.62	50.8	47.6	19.1	0.400	1.98	362	0.00547	217	"	14.70	0.0306	"	0.0804	0.0965	0.804	~0.545	SF	SF	"
B ₃	7.87	57.2	54.0	19.1	0.353	1.98	425	0.00465	253	"	12.10	0.0357	"	0.0586	0.0703	0.586	~0.397	SF	SF	"
B ₄	7.87	76.2	73.0	19.1	0.261	1.98	575	0.00344	289	"	11.10	0.0406	"	0.0382	0.0458	0.382	~0.259	SF	SF	"
C ₁	7.62	38.1	34.9	19.1	0.547	1.98	265	0.00743	220	"	14.50	0.0311	"	0.108	0.129	1.08	~0.736	SF	SF	"
C ₂	7.87	50.8	47.6	19.1	0.400	1.98	374	0.00528	249	"	12.80	0.0352	"	0.0676	0.0812	0.676	~0.319	S-FF	SF	"
C ₃	7.62	57.2	54.0	19.1	0.353	1.98	411	0.00481	200	"	16.00	0.0281	"	0.0770	0.0923	0.770	~0.521	SF	SF	"
C ₄	7.87	76.2	73.0	19.1	0.261	1.98	575	0.00344	167	"	19.20	0.0234	"	0.0661	0.0792	0.661	~0.447	SF	SF	"
K' ₁	7.85	33.1	34.9	34.3	0.983	0.712	274	0.00260	155	"	20.60	0.0219	"	0.0535	0.0642	0.535	~0.363	FF	S-FF	On pt. loading
K' ₁ (R)	7.87	38.1	34.9	34.3	0.983	0.712	275	0.00259	139	"	23.10	0.0195	"	0.0598	0.0717	0.598	~0.405	FF	F-SF	"
K' ₂	7.98	50.8	47.6	34.3	0.720	0.712	380	0.00187	143	"	22.40	0.0201	"	0.0419	0.0502	0.419	~0.284	FF	F-SF	"
K' ₂ (R)	7.87	50.8	47.6	34.3	0.720	0.712	375	0.00189	146	"	21.90	0.0205	"	0.0414	0.0497	0.414	~0.281	FF	FF	"
K' ₃	7.87	57.2	54.0	34.3	0.635	0.712	425	0.00167	151	"	21.20	0.0212	"	0.0354	0.0425	0.354	~0.240	FF	F-SF	"
K' ₄	8.00	76.2	73.0	34.3	0.470	0.712	583	0.00122	141	"	22.70	0.0198	"	0.0277	0.0333	0.277	~0.157	FF	FF	"
K' ₄ (R)	7.87	76.2	73.0	34.3	0.470	0.712	575	0.00122	108	"	29.70	0.0153	"	0.0368	0.0442	0.368	~0.25	FF	FF	"
K ₁	8.13	38.1	34.9	17.2	0.493	0.712	280	0.00254	136	"	23.50	0.0191	"	0.0597	0.0717	0.597	~0.405	F-SF	F-SF	Uniform loading
K ₁ (R)	7.87	38.1	34.9	17.2	0.493	0.712	275	0.00254	114	"	28.10	0.0160	"	0.0728	0.0873	0.728	~0.493	S-FF	S-FF	"
K ₂	8.13	50.8	47.6	17.2	0.361	0.712	382	0.00186	142	"	22.50	0.0200	"	0.0418	0.0502	0.418	~0.284	S-FF	S-FF	"
K ₂ (R)	7.87	50.8	47.6	17.2	0.361	0.712	375	0.00189	126	"	25.40	0.0177	"	0.0480	0.0576	0.480	~0.325	S-FF	SF	"
K ₃	8.13	57.2	54.0	17.2	0.319	0.712	433	0.00164	151	"	21.20	0.0212	"	0.0348	0.0417	0.348	~0.236	F-SF	SF	"
K ₄	8.03	76.2	73.0	17.2	0.236	0.712	587	0.00121	150	"	21.30	0.0211	"	0.0258	0.0309	0.258	~0.175	F-SF	SF	"

(R)~Repeating test

FF~Flexure failure

S-FF~Shear-Flexure failure

F-SF~Flexure-Shear failure

SF~Shear failure

Table 2 Calculation of ultimate shearing load

Specimen	k	$l-vk$	bd cm ²	σ_{cy} kg/cm ²	$bd\sigma_{cy}$	Coef.	V kg	P t	Exper. p,t
A_1	0.0415	0.985	266	247	65700	0.10	6480	13.0	11.4
A_2	0.0364	0.987	363	208	75500	0.10	7450	14.9	16.2
A_3	0.0269	0.990	424	233	101000	0.10	10000	20.0	21.4
A_4	0.0168	0.994	556	278	154000	0.10	15300	30.6	32.6
$A_4(R)$	0.0310	0.989	580	125	725000	0.15	10800	21.6	21.8
B_1	0.137	0.951	266	208	55200	0.10	5260	10.5	13.6
B_2	0.0965	0.965	363	217	78700	0.10	7600	15.2	18.1
B_3	0.0703	0.975	424	253	107000	0.10	10500	21.0	24.8
B_4	0.0458	0.984	575	289	166000	0.10	16300	32.6	38.0
C_1	0.129	0.953	266	220	58500	0.10	5580	11.2	18.1
C_2	0.0812	0.971	374	249	93100	0.10	9060	18.1	28.2
C_3	0.0923	0.967	411	200	82200	0.10	7950	15.9	23.8
C_4	0.0792	0.971	575	167	96000	0.15	14000	28.0	27.8
K'_1	0.0642	0.977	274	155	42400	0.15	6210	12.4	11.2
$K'_1(R)$	0.0717	0.974	275	139	38200	0.15	5570	11.1	7.9
K'_2	0.0502	0.982	379	143	54300	0.15	8010	16.0	12.4
$K'_2(R)$	0.0497	0.982	375	146	54700	0.15	8070	16.2	10.4
K'_3	0.0425	0.985	425	151	64200	0.15	9480	19.0	12.1
K'_4	0.0333	0.988	584	141	82400	0.15	8130	16.3	15.2
$K'_4(R)$	0.0442	0.984	575	108	62100	0.15	6110	16.2	13.3
K_1	0.0717	0.974	284	136	38600	0.15	5640	11.3	21.2
$K_1(R)$	0.0873	0.969	253	114	32300	0.15	4690	9.4	21.2
K_2	0.0502	0.982	387	112	54900	0.15	8080	16.2	19.8
$K_2(R)$	0.0576	0.979	374	126	47200	0.15	6930	13.9	18.5
K_3	0.0417	0.985	449	151	66300	0.15	9750	19.5	23.0
K_4	0.0309	0.989	586	150	87900	0.15	13000	26.0	22.6

Table 3 Judgement of mode of failure in reinf. conc. deep beams by ultimate bending moment

Specimen	$l \cdot \nu k$	$k(l \cdot \gamma k)$	bd^2 cm ³	σ_{cy} kg/cm ²	M_u kg/cm	Ultimate bending load t	Exper. load t	Ultimate shearing load t	Mode of failure by calc.	Mode of failure by exper.
A_1	0.981	0.0407	9290	247	77800	8.17	<11.4	<13.0	F F	F F
A_2	0.984	0.0358	17300	208	79200	8.32	<16.2	>14.9	F F	F F
A_3	0.988	0.0268	22900	238	122000	13.1	<21.4	>20.0	F F	F F
A_4	0.992	0.0167	40600	278	157000	17.1	<32.6	>30.6	F F	F F
$A_4(R)$	0.986	0.0306	42300	125	135000	14.7	<21.8	\approx 21.5	F S F	S F
B_1	0.937	0.128	9290	208	20600	21.4	>13.6	>10.5	S F	S - F F
B_2	0.956	0.0923	17300	217	288000	31.2	>18.1	>15.2	S F	S F
B_3	0.968	0.0680	22900	253	328000	35.5	>24.8	>21.0	S F	S F
B_4	0.976	0.0443	42000	289	463000	50.2	>38.0	>32.6	S F	S F
C_1	0.941	0.121	9280	220	20600	22.3	>18.1	>11.2	S F	S F
C_2	0.963	0.0781	17800	249	298000	32.4	>28.2	>18.1	S F	S F
C_3	0.958	0.0884	22200	200	327000	35.3	>23.8	>15.9	S F	S F
C_4	0.964	0.0763	42000	167	446000	48.3	>27.8	<28.0	S F	S F
K'_1	0.971	0.0624	9560	155	77000	448	<11.2	<12.4	F F	S - F F
$K'_1(R)$	0.967	0.0694	9600	139	77100	4.49	<7.9	<11.1	F F	F - S F
K'_2	0.977	0.0491	18000	143	105000	6.14	<12.4	<16.0	F F	F - S F
$K'_2(R)$	0.978	0.0486	17800	146	105000	6.14	<10.4	<16.2	F F	F F
K'_3	0.981	0.0417	23000	151	120000	7.03	<12.1	<19.0	F F	F - S F
K'_4	0.985	0.0328	42700	141	165000	9.59	<15.2	<16.3	F F	F F
$K'_4(R)$	0.980	0.0433	41900	108	163000	9.53	<13.3	<16.2	F F	F F
K_1	0.968	0.0694	9910	136	77900	9.07	<21.2	>11.3	F - S F	F - S F
$K_1(R)$	0.960	0.0838	9880	114	78600	9.17	<21.2	>9.4	F - S F	S - F F
K_2	0.977	0.0491	18400	142	107000	12.5	<19.8	>16.2	F - S F	S - F F
$K_2(R)$	0.974	0.0561	17800	126	105000	15.3	<18.5	>13.9	S - F F	S F
K_3	0.981	0.0410	24200	151	125000	18.2	<23.0	>19.5	F - S F	S F
K_4	0.986	0.0305	42800	150	163000	23.8	>22.5	<26.1	F - S F	S F