

コンクリートの曲げ試験に関する考察

加賀美一二三*・長谷川 博*・関 一**

On Study refer to Bending Test of Concrete

Hifumi KAGAMI, Hiroshi HASEGAWA and Hajime SEKI

Abstract

It has yet some doubts on study of testing method that bending test, viz. JIS A 1106 being tendency of small specimen researched, and study of loading processes of test and its dynamical relations is normalized at present. And also JCI reported the investigative results as Special Field Meeting of Committee F-24 are III of studied problems;~preciously researched datas and its results of 9 Laboratories.

Authors may be recognized the small specimens ; $10 \times 10 \times 40$ cm are case of concrete proportions : ~max. coarse aggregate 20 mm in Table 6 of JCI Committee at p. 43 in regard to truthfull meanings against similar ratio consisted as for using age of crushed stone coarse aggregate.

So, they moulded plain concrete specimens for one week and four weeks are same fully with W/C ratio ; 45, 55% in reports of Table 7 in JCI Committee at p. 44, and acted the bending test with curing specimens are experimented due to three equal points loading for similar specimens ~D, E, I and Y of laboratory studied.

And it is a report that their experiments obtained coincidently good results comparing with theoretical value deduced as plastic formula to straight line stress one, and then they want to indicate the doubted problem in dynamical mechanics of present calculation method refer to JIS A 1106, 1964 of bending test.

緒 言

コンクリートの曲げ試験方法は規定されているが、供試体寸法の小型化、載荷方法とその力学的関連などについて、種々の見解があり、未だ合理的試験として認めがたいものがある。セメント協会も1971年度の研究課題としてのIIIとして供試体寸法と載荷方法をあげ、9試験所の貴重な研究資料と成果をSept. 1972専門委員会、F-24¹⁾として報告されている。

著者等は砕石粗骨材の使用の時代として委員会報告¹⁾p. 43, 表-6中の粗骨材最大寸法20mmのコンクリート配合の場合を、小型供試体 $10 \times 10 \times 40$ cmには妥当の相似率のものとして、委員会報告、p. 44, 表-7のD, E, I試験所のW/C ; 45, 55%の配合設計値をそのまま引用、供試体を造型し材令7日、28日のはり

供試体に対し、3等分点載荷による曲げ試験を実施した。

そして現行の直線応力分布式と別に誘導した塑性式とにより、照査計算したところ、後者によるならば理論値と実験値がほぼ一致する良結果を得たことの報告であり、現行曲げ試験法の計算法には力学的に考慮の余地のあることを述べようとするものである。

2. 塑性式の誘導

脆性材料であるコンクリートのはり部材の応力分布は、曲げを受ける場合 Fig. 1 に示すように逐次低次曲線より高次曲線に移行するものであると考えられる。

この場合の応力分布は中立軸に対してほとんど相似的であり、引張縁応力はコンクリートの引張強度に達

* 工業短期大学土木工学科

** 日東建設株式会社

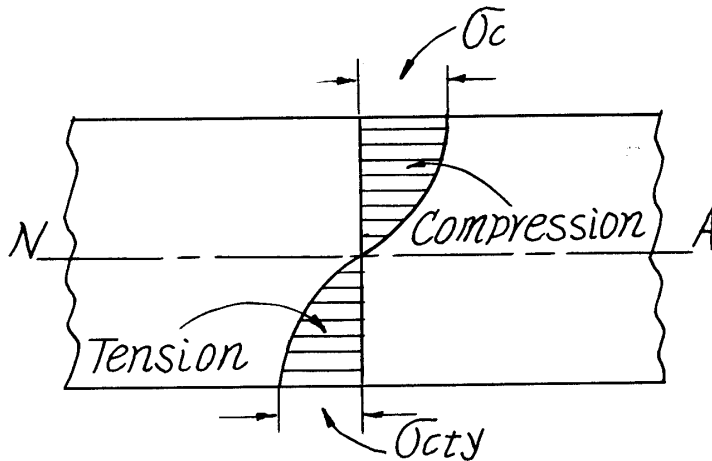


Fig. 1 Stress distribution of plain concrete

するが、圧縮縁応力は使用コンクリートの引張強度にほぼ等しい圧縮応力に達するのみで、設計基準強度 σ_{ck} に到達しないが、引張応力によるひびわれは鉄筋コンクリートよりも異なり瞬間的に上昇して圧縮縁も引張ひびわれにより破断するものと考えられる。

以上の観点により中立軸以下の応力分布形の諸元とその応力関係についてのべることにする。

コンクリートの応力分布曲線は、著者の土木学会論文集²⁾、第19号、P. 35、1954に示すごとく、Fig. 2のN-Aよりv位置のコンクリートの応力、 σ_{cv} は

$$\sigma_{cv} = (\xi v)^{1/n} \quad (1)$$

応力の放物線面積をF、中立軸より応力分布面積の図心までの距離を $\bar{x} (= \bar{v})$ とすると

$$\bar{x}F = \int_0^x (\xi v)^{1/n} v dv = \sigma_{cv} \frac{n}{2n+1} x^2 \quad (2)$$

式中、 $F = \mu v \sigma_{cv}$ 、 $\bar{x} = \nu x$

$\mu =$ 応力面積係数 $= n/(n+1)$

$\nu =$ 図心係数 $= (n+1)/(2n+1)$

はりの一定曲げモーメント部のx断面の抵抗モーメントを M_x とすると

$$M_x = 2 F b \bar{v} = 2 \mu \nu \sigma_{cv} b \nu v \quad (3)$$

$$\therefore \sigma_{cv} = M_x / 2 \mu \nu b v^2 \quad (4)$$

参考に、一般直線応力分布式を示すと

$$\sigma_{cv} = M/I \cdot v = 1.5M/bv^2 \quad (5)$$

いま、はり破壊の場合を Fig. 3 の6つの場合と仮定すると

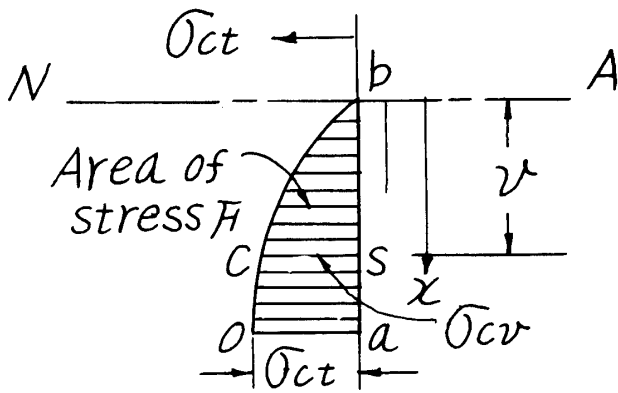


Fig. 2 Relation of each element in stress distributed figure

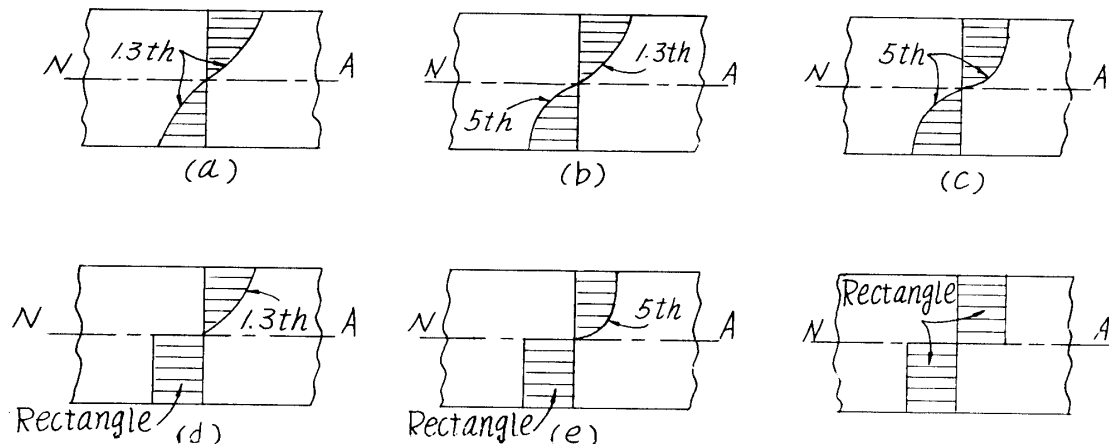


Fig. 3 Assumption of stress distribution for case of ultimate strength

n次放物線次数に対する μ , ν 値は Table 1 の値となる。

Table 1 Values of μ , ν against n orders of parabolic equation

n	1.3	5.0	Rectangular
μ	0.565	0.834	1.00
ν	0.639	0.546	0.50

Fig. 3 の場合のはりの抵抗モーメント M_{ux} は

$$(a) \sim M_{ux} = 2(0.565\nu\sigma_{cv}b + 0.639\nu) = 0.723\sigma_{cv}b\nu^2 \quad (6)$$

$$(b) \sim M_{ux} = 0.565\nu\sigma_{cv}b \times 0.639\nu + 0.834\nu\sigma_{cv}b \times 0.546\nu = 0.816\sigma_{cv}b\nu^2 \quad (7)$$

$$(c) \sim M_{ux} = 2(0.834\nu\sigma_{cv}b \times 0.546\nu) = 0.910\sigma_{cv}b\nu^2 \quad (8)$$

$$(d) \sim M_{ux} = 0.565\nu\sigma_{cv}b \times 0.639\nu + \sigma_{cv}b\nu \times 0.5\nu = 0.861\sigma_{cv}b\nu^2 \quad (9)$$

$$(e) \sim M_{ux} = 0.834\nu\sigma_{cv}b \times 0.546\nu + \sigma_{cv}b\nu \times 0.5\nu = 0.955\sigma_{cv}b\nu^2 \quad (10)$$

$$(f) \sim M_{ux} = 2(\sigma_{cv}b\nu \times 0.50\nu) = \sigma_{cv}b\nu^2 \quad (11)$$

3等分点載荷の場合は一般に曲げモーメント一定部

、とくに、たわみ最大部にて破断することが当然であり、立証実験につおても大部分の供試体がこの様相を示した。

いま、はりスパン l 、載荷重 P とすると、曲げモーメント一定部の $M = P/2 \times l/3$ であり、(4)式中の M_x に $Pl/6$ 、 $\nu = h/2$ を代入し、はり破壊の場合の載荷重を P_u とすると

$$P_u = \alpha \cdot \sigma_{cv}bh^2/l \quad (12)$$

(12)式の α 値は Table 2 となる。

Fig. 2 α on case of beam failure in Fig. 3

Case of Fig. 3	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Value of α	1.08	1.22	1.37	1.29	1.43	1.50

参考に、一般直線応力分布式を示すと

$$P_u = \sigma_{cv}bh^2/l \quad (13)$$

以上、(4)、(12)式は塑性時、(5)、(13)式は現行式の破壊曲げ線応力および破壊荷重である。

3. 実験とその成果

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材、碎石粗骨材の諸性質は Table 3 に示すものである。

Table 3 Properties of aggregate

Each terms of experiment	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Fineness modulus	Organic impurities
Aggregates					
Fine aggregate	2.59	1.89	1596	2.80	Good
Coarse aggregate	2.69	1.08	1545	6.45	—

Table 4 Design of concrete prportion

Kinds of concrete	Max. size of coarse aggregate (mm)	Exper. slump (cm)		W/C (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
		I	II			W	C	S	G
D	20	2.0	2.5	45	40	165	367	758	1169
E	20	1.5	1.5	45	38	152	338	734	1183
I	20	2.4	3.0	45	45	171	380	813	1047
D	20	1.0	2.0	55	41.5	163	296	805	1161
E	20	1.5	2.0	55	40	152	276	795	1174
I	20	1.5	2.5	55	45	169	307	842	1083
Y	20	2.5	2.0	65	45	177	272	847	1075

供試体の配合設計は日本セメント協会専門委員会報告、F-24, Sept. 1972, P. 44, 7表中の碎石粗骨材最大寸法20mmの場合を採用した。Table 4の配合設

計にて、スランプ値は本実験におけ測定値である。

供試体造型は JIS A 1132により、はり破壊値照査計算のためのコンクリートの引張強さを求めるため

Table 5 Moulded conditions of specimen

Experiment	Exper. I	Exper. II
Conditions		
Temperature in exper. chamber	30°C	5°C
Treatment after moulding	Static set ; 24 hrs in exper. chamber	Static set ; 24hrs in constant temp. chamber : 18°C after 24 hrs
Out of mould	After 24 hrs	After 24 hrs
Mean temp. in curing water pool	21°C	17°C
Moulded season	Augst	January

φ10 cm, $l=20$ cm の円筒供試体を同条件で造型養生し、圧裂実験を実施したもので供試体造型時の条件は Table 5 のとおりである。

配合設計において、F-24はスランプ値を 2.5cm としているが、本実験結は Table 4 のように夏期は小値を示し、冬期が配合条件に近い値を示した。

はり供試体寸法は F-24と同様10×10×40cmにて、曲げモーメント一定部分内の破壊を求めるためスパン

30cmにて3等分点載荷としたが、実験I, IIとも不良のものもあった。以下の Table 6, 10中△印のものは曲げモーメント一定部外における破壊の供試体である。

実験 I

コンクリーリばりの曲げ試験の結果は Table 6 の通りである。

Table 6 Ultimate load, t of bending test

Kinds of concrete	Exper. I ; 7 days				Exper. I ; 28 days			
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean values	No. 1	No. 2	No. 3	Mean values
D	1.36	1.39	1.27	1.34	1.70	1.80	1.75	1.75
E	1.32	1.30	1.27	1.30	1.48	1.45	1.49△	1.47
I	1.31	1.28	1.35	1.31	1.42	1.66	1.47	1.52
D	1.25	—	1.15	1.20	1.40	1.31	1.34	1.35
E	1.15	1.03	1.03	1.07	1.32	1.30	1.38	1.33
I	1.16	1.20	1.25	1.20	1.39	1.25	—	1.32
Y	0.94	1.19△	1.05	1.00	0.96	1.05	1.34	1.12

はり破壊様相の一例を Photo. 1 に示す。

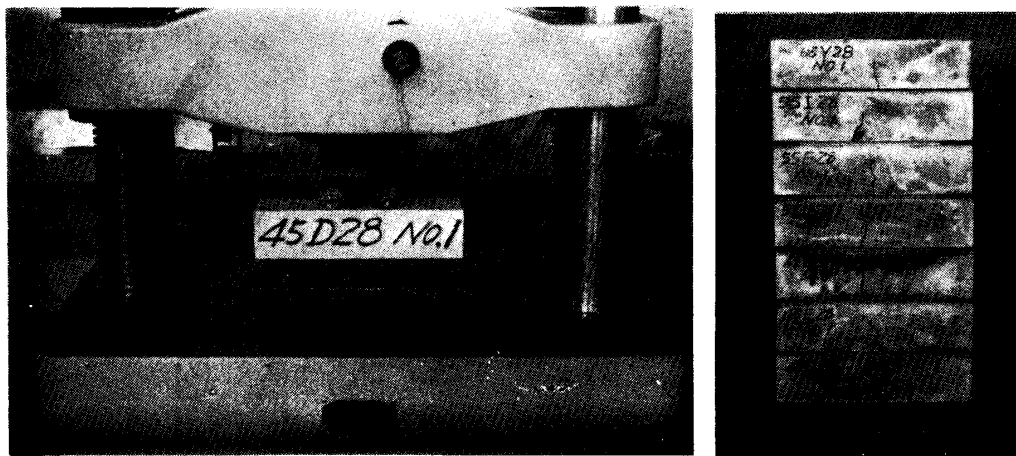


Photo. 1 One example of beam failure

圧裂試験の結果は Table 7のごとくである。

Table 7 Tensile strength, kg/cm² of specimen concrete

Kinds of concrete	Exper. I 7 days	Exper. I 28 days
D	24.9	27.4
E	24.5	27.2
I	23.2	26.4
D	23.2	27.7
E	23.3	27.6
I	22.7	27.5
Y	17.0	18.4

実験値 P_e と塑性式による計算荷重 P_u は Table 8 である。

Table 8 , a Exper. values and calc. values due to plastic formula

Kinds of concrete	Exper. I ; 7 days								
	Exper. values		Calculated values, P_u , t						General form.
	P_e t	σ_{cty} kg/cm ²	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
D	1.34	24.9	0.896	1.01	1.14	1.07	1.19	1.24	0.829
E	1.30	24.5	0.881	0.995	1.12	1.05	1.17	1.22	0.816
I	1.31	23.2	0.834	0.943	1.06	0.997	1.11	1.16	0.773
D	1.20	23.2	0.834	0.943	1.06	0.997	1.11	1.16	0.773
E	1.07	23.3	0.838	0.947	1.06	1.00	1.11	1.16	0.776
I	1.20	22.4	0.816	0.922	1.01	0.975	1.08	1.13	0.756
Y	1.00	17.0	0.611	0.690	0.775	0.730	0.81	0.849	0.566

Table 8 , b Exper. values and calc. values due to plastic formula

Kinds of concrete	Exper. I ; 28days								
	Exper. values		Calculated values, P_u , t						General form.
	P_e t	σ_{cty} kg/cm ²	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
D	1.75	27.4	0.985	1.11	1.25	1.18	1.31	1.37	0.921
E	1.47	27.2	0.978	1.11	1.24	1.17	1.30	1.36	0.906
I	1.52	26.4	0.949	1.07	1.20	1.13	1.26	1.32	0.879
D	1.53	27.7	0.996	1.13	1.26	1.19	1.32	1.38	0.922
E	1.33	27.6	0.992	1.12	1.26	1.19	1.31	1.38	0.919
I	1.32	27.5	0.989	1.12	1.25	1.18	1.31	1.37	0.916
Y	1.12	18.4	0.661	0.747	0.839	0.790	0.876	0.919	0.613

実験値 P_e と塑性式値 P_u との比は Table 9 である。

Table 9 Ratios of P_u and P_e in bending test

Kinds of concrete	Exper. I, P_u/P_e , % ; 7 days							Exper. I, P_u/P_e , % ; 28days						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	General form.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	General form.
D	66.9	75.5	84.8	79.9	88.4	92.8	61.1	56.3	63.6	71.4	67.3	74.5	78.2	52.1
E	67.8	76.5	86.0	80.9	89.8	94.2	62.8	66.5	75.1	84.4	79.4	88.0	92.3	61.6
I	63.7	72.0	80.8	76.1	84.4	88.5	59.0	62.4	70.5	79.2	74.6	82.6	86.7	57.8
D	69.5	78.6	88.2	83.1	92.1	96.6	64.4	73.7	83.3	93.5	88.0	97.7	102	6.28
E	78.3	88.5	99.3	93.6	10.4	109	72.5	74.5	84.2	94.6	89.1	98.7	104	69.0
I	68.0	76.8	84.4	81.3	90.1	94.5	63.0	74.9	84.6	95.0	89.4	99.2	104	69.3
Y	61.1	69.0	77.5	73.0	80.9	84.9	56.6	59.0	66.6	74.9	70.5	78.2	82.0	54.7

実験II；～

コンクリートばりの曲げ試験の結果は Table 10のとおりである。

Table 10 Ultimate Load, t , of bending test

Kinds of concrete	Exper. II ; 7 days				Exper. II ; 28 days			
	No. 1	No. 2	No. 3	Mean values	No. 1	No. 2	No. 3	Mean values
D	1.35	1.38	1.46	1.39	1.83	1.78	1.75	1.79
E	1.30	1.53	1.35	1.39	1.72	1.80	1.88	1.80
I	1.23	1.22	1.23	1.23	1.77	1.68	1.62	1.69
D	1.22△	1.10	1.11	1.11	1.68	1.47	1.58	1.58
E	1.06	1.21	1.12	1.13	1.50	1.93△	1.56	1.53
I	1.00	0.94	1.00	0.98	1.48	1.72	1.54	1.51
Y	0.93	0.91	0.92	0.92	1.29	1.39	1.34	1.34

Note ~ △ in Table 10 ; Failure at out part of constant BM

圧破壊試験の結果は Table 11のごとくである。

Table 11 Tensile strength, kg/cm^2 of specimen concrete

Kinds of concrete	Exper. II	
	7 days	28 days
D	25.3	32.3
E	23.7	30.0
I	20.7	29.1
D	20.5	28.1
E	22.6	27.4
I	20.1	24.4
Y	14.1	23.5

実験値 p_e と塑性式による計算荷重 P_u は Table 12である。

Table 12,a Exper. values and calc. values due to plastic formula

Kinds of concrete	Exper. II ; 7 days								
	Exper. values		Calculated values, P_u , t						General form.
	P_e , t	σ_{e1y} , kg/cm ²	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
D	1.39	25.3	0.909	1.03	1.15	1.09	1.21	1.26	0.842
E	1.39	23.7	0.852	0.963	1.08	1.02	1.13	1.18	0.789
I	1.23	20.7	0.744	0.840	0.944	0.889	0.986	1.03	0.689
D	1.11	20.5	0.737	0.833	0.935	0.881	0.976	1.02	0.682
E	1.13	22.6	0.812	0.918	1.02	0.970	1.08	1.13	0.752
I	0.98	20.1	0.722	0.816	0.916	0.863	0.957	1.00	0.669
Y	0.92	14.1	0.507	0.572	0.643	0.605	0.672	0.704	0.469

Table 12, b Exper. values and calc. values due to plastic formula

Kinds of concrete	Exper. II ; 28 days								
	Exper. values		Calculated values, P_u , t						General from.
	P_e , t	σ_{e1y} , kg/cm ²	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	
D	1.79	32.3	1.16	1.31	1.47	1.39	1.54	1.61	1.08
E	1.80	30.3	1.09	1.23	1.38	1.30	1.44	1.51	1.01
I	1.69	29.1	1.05	1.18	1.33	1.25	1.39	1.45	0.969
D	1.58	28.1	1.01	1.14	1.28	1.21	1.34	1.40	0.935
E	1.53	27.4	0.985	1.11	1.25	1.18	1.30	1.37	0.912
I	1.51	24.4	0.877	0.991	1.11	1.05	1.16	1.22	0.812
Y	1.34	23.5	0.845	0.954	1.07	1.01	1.12	1.17	0.782

実験値 P_e と塑性式値 P_u との比は Table 13である。

Table 13 Ratios of P_u and P_e in bending test

Kinds of concrete	Expe. II, P_u/P_e , % ; 7 days							Exper. II, P_u/P_e , % ; 28 days						
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	General form.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	General form.
D	65.3	73.9	83.0	78.3	86.6	90.9	60.6	64.8	73.7	82.2	77.4	85.9	90.1	60.0
E	61.2	69.2	77.7	73.2	81.2	85.1	56.7	60.3	68.3	76.7	72.2	80.1	84.0	56.0
I	60.4	68.0	76.7	72.2	80.0	83.9	56.0	61.8	69.9	78.5	73.9	81.9	85.9	57.3
D	66.3	75.0	84.2	79.3	87.9	92.1	61.4	63.9	72.2	81.1	76.3	84.6	88.7	59.1
E	71.8	81.2	90.4	85.8	95.2	99.9	66.5	64.3	72.7	81.6	76.9	85.2	89.4	59.6
I	73.6	83.2	93.4	88.0	97.6	102	68.2	58.0	65.6	73.7	69.4	76.8	80.6	53.7
Y	55.1	62.1	69.8	65.7	73.0	76.5	50.4	63.0	71.1	80.0	75.2	83.5	87.5	58.3

4. 結 言

実験の結果により塑性式と一般直線応力分布式とを照査したところ、Table 9, 13の7日, 28日試験結果のように塑性式 (f) は約10%の不都合であるが、一般直線応力分布式は約40%程度の不都合となった。ゆえに、コンクリートの曲げ試験は(4)式の塑性式 { (f) の場合 } によることが望ましいことを提言するものである。

文 献

- 1) 日本セメント協会：コンクリート専門委員会報告，F-24 (Sept 1972)
- 2) 加賀美一二三：鉄筋コンクリート梁の破壊強度並びに許容設計に関する研究，土木学会論文集，，19 (1954)

(昭和50年9月15日受種)