

V-72 コンクリート平板の開口部補強に関する実験検討

電力中央研究所 正員 ○青 柳 征 夫

" 大 沼 博 志

" 川 崎 道 夫

1. まえがき

無筋コンクリート平板中に設けられた開口部周辺の応力集中の問題については、前年度の学術講演会においてすでに報じた⁽¹⁾。本報告は、コンクリート製発電用容器構造物の開口部補強の方法について検討することを目的として、円孔周辺に円環状の鉄筋を配置した平板供試体ならびに円孔縁を鋼ライナーで内張りした供試体の引張試験を行ない、鉄筋ならびにライナーの補強効果について検討した結果を述べたものである。

2. 供試体と試験方法

実験に用いたコンクリートの骨材の最大寸法は20mmで、材令28日での圧縮強度は約480 kg/cm²である。

補強鉄筋の配置方法は図-1に示すとおりであって、円孔の周囲に補強鉄筋を同心円状に配置した。

ライナーにはφ13mm鉄筋を短かく切ったスタッドを5cmピッチで溶接し、ライナーをコンクリートに定着した。

供試体の載荷試験方法は、図-2に示すとおりであって、厚さ40mmの鋼製端板にとりつけられた10数本の異形鉄筋を介してセンターホールジャッキ2台によってコンクリート平板に引張荷重を与えた。なお、引張載荷方向と同じ方向にφ12mm異形鋼棒2本によって圧縮プレストレスを与えた供試体についても試験を行なった。

本実験に用いた供試体の諸元ならびにひびわれ荷重と破壊荷重の結果を表-1に示す。

3. ライナーと鉄筋による開口部補強効果の比較

応力集中の最も大きい開口縁に鋼ライナーなどの剛性が大きく、コンクリートに比べはるかに強度の大きい材料を配置することは、開口周辺のコンクリートの応力集中を軽減する有力な手段となることは、当然予想されることである。

図-3は、ライナーと鉄筋の補強効果を比較するために行なった実験の結果であって、横軸に引張荷重値を、縦軸にライナーまたは鉄筋の荷重分担率（実験によって求められたライナーまたは鉄筋が負担する荷重の全荷重に対する比率）を示している。この場合、ライナーと鉄筋の断面積（約4.5 cm²）はほぼ同じである。鉄筋補強の場合には約8tでひび

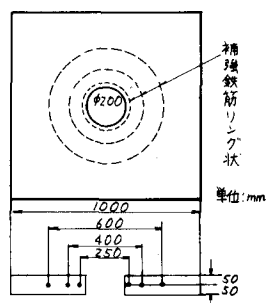


図-1 配筋方法

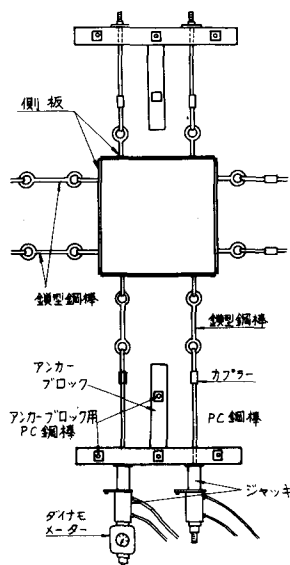


図-2 引張載荷試験方法

表-1 ひびわれおよび破壊荷重(引張載荷のみ)

供試体の種別					ひびわれ荷重			破壊荷重		
供試体 番号	孔 径 cm	鉄筋 or ライナー	プレストレ スの有無	載 荷 方 法	ひびわれ 荷 重 Per. (t)	1) onet.cr. (Kg/cm ²)	無筋供試体 1としたと きの 比	破 壊 荷 重 Pu(t)	2) onet.u (Kg/cm ²)	無筋供試体 を2とした ときの 比
底 5	20	無	無	1軸	8.71	10.89	1.00	11.99	14.99	1.00
底 8	"	鉄筋	無	1軸	9.59	11.99	1.10	12.77	15.96	1.06
底 10	"	鉄筋	無	2軸	10.76	13.45	1.24	12.82	16.03	1.07
底 12	"	鉄筋 ³⁾	無	1軸	12.75	15.93	1.46	18.31	22.88	1.53
底 16	"	無	有 ⁴⁾	1軸	30.41	38.40	3.49	32.37	40.46	2.97
底 24	"	無	有 ⁴⁾	1軸	22.67	28.33	2.60	23.95	29.94	2.00
底 18	"	ライナー	有	1軸	26.40	32.75	3.00	27.41	34.26	2.28
底 4	30	無	無	1軸	7.13	10.19	1.00	9.77	13.67	1.00
底 9	"	鉄筋	無	1軸	7.94	11.34	1.11	13.39	17.14	1.25
底 11	"	鉄筋	無	2軸	8.93	12.76	1.26	12.11	17.29	1.26
底 15	"	ライナー	無	1軸	16.45	23.50	2.31	16.73	23.90	1.75
底 17	"	無	有 ⁴⁾	1軸	28.62	40.88	4.01	31.33	44.74	3.27
底 25	"	無	有 ⁴⁾	1軸	18.32	26.17	2.57	21.87	31.24	2.28
底 19	"	ライナー	有	1軸	25.57	36.52	3.58	27.95	39.93	2.92
底 13	40	無	無	1軸	5.43	9.05		8.21	13.68	

注) 1) ひびわれ荷重 Per を孔を控除した断面で除した平均応力

2) 破壊荷重 Pu を孔を控除した断面で除した平均応力

3) この供試体のみ鉄筋断面積 10.2 cm², 他は 7.6 cm²

4) 試験時に定着板を外し, 鋼棒の付着だけとした。

われが入るとともに鉄筋の荷重分担率が急激に増大するが, ライナー補強の場合には約 16 t でひびわれが入ると同時に破壊するまで荷重分担率の大きな増加はみられない。破壊荷重も鉄筋補強の場合, 13.5 t であるのに対し, ライナー補強では 16.8 t となっている。

上に述べたことから, 補強鋼材量が同じ場合, ひびわれの発生ならびに破壊の観点から, ライナー補強の方が有利であるといえる。表-1 に示したひびわれ荷重および破壊荷重の結果からもライナー補強の有利であることが認められる。

4. コンクリートに生ずる応力集中のライナーによる軽減効果

ライナーの補剛効果によってコンクリートに生ずる応力集中の軽減について検討を行なうため, 有限要素法(三角形要素数約 400, 節点数約 250)によって, 応力集中が最大となる断面における応力集中係数(考えている応力集中箇所での応力度を孔を控除した断面での平均応力度で除した値)の分布を求めた。

図-4 は, ライナー厚さを種々に変えた場合について, 応力集中が最大となる断面での応力集中係

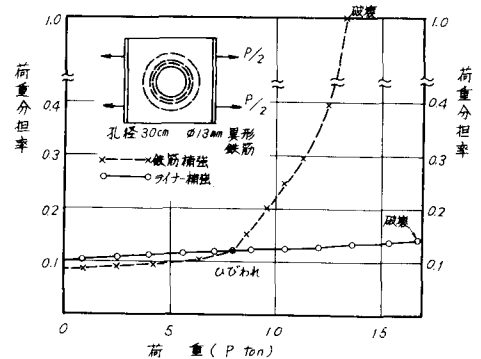


図-3 鉄筋とライナーの荷重分担率の比較

数の分布を計算した結果を示したものである。

この図から明らかなように、円孔縁からほぼ円孔の直径に等しい距離以上離れれば、ライナーの応力集中に及ぼす影響が無視できるが円孔付近ではライナーの厚さの増大とともにコンクリートに生ずる応力集中が著しく軽減されていることがわかる。

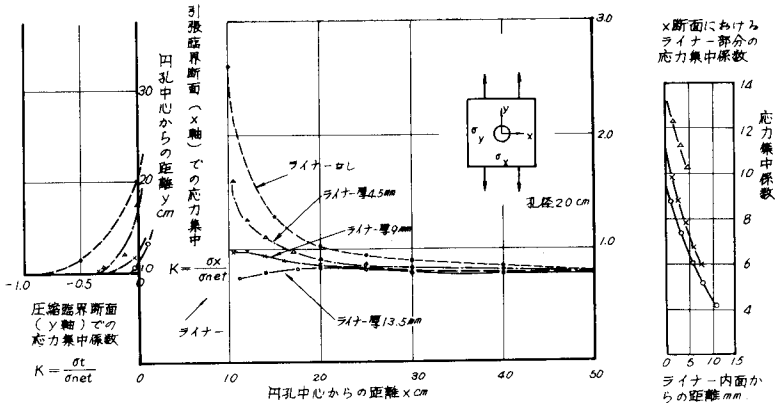


図-4 有限要素法による臨界断面での応力集中係数(孔径20 cm)

実験の結果からも上記のことが確かめられた。すなわち、図-5は、鉄筋補強とライナー補強の場合の応力集中係数の荷重段階による変化を示した一例であるが、弾性範囲における応力集中係数の値は、鉄筋補強の場合で2.4～2.6およびライナ補強の場合でほぼ一定の1.6となっている。また、ひびわれ直前においても前者が2.2、後者が1.3程度であって、ライナーによる応力集中緩和の効果が顕著であることがわかる。

なお、計算ならびに実験の結果、ライナー厚さを孔径の4%以上とすれば、コンクリートに及ぼす応力集中の影響をなくせることが認められた。ただしこの場合、相互に滑りを生じないように、ライナーをコンクリートに定着しておかなければならない。

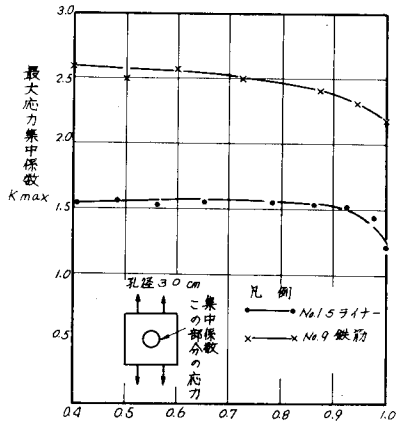


図-5 荷重と最大応力集中係数の関係 (孔径30 cm)

5. 開口周辺に配置する補強鉄筋量の算定について

実験の結果によれば、円孔縁にひびわれが入った後、ひびわれは荷重の増大にほぼ比例して伸長し、ひびわれが孔径の約1/3の長さ到達すると急激な破壊の起ることが認められた。図-6は、破壊荷重に対する比であらわした荷重とひびわれ長さの関係を示した一例である。

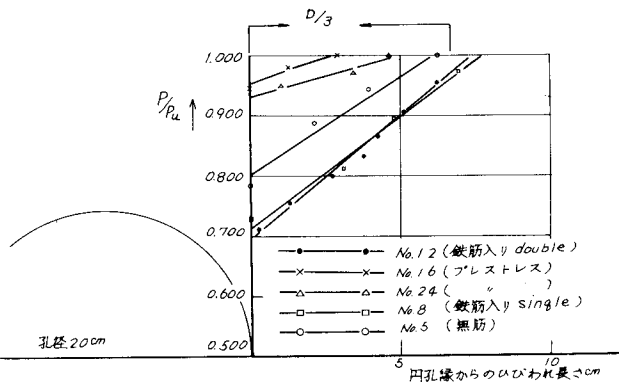


図-6 荷重とひびわれ長さの関係(孔径20 cm)

上記の実験結果に基づけば、補強鉄筋がひびわれを横切ることによって有効になるという観点から、円孔縁から孔径の $\frac{1}{3}$ までの距離のところに配置された鉄筋を有効と考えることができる。補強鉄筋量の算定は、以下の方法によるのが合理的であり、実用的であると思われる。

すなわち、パーシャルプレストレスはりの引張鉄筋量を算定する方法と同様、円孔縁での弾性理論によって求めた最大引張応力度がコンクリートの許容引張応力度（ひびわれ発生近くでの応力の再分布を考え、引張強度の $\frac{1}{3}$ 程度とすることができるものと思われる）を越えるとき、応力集中係数の分布曲線によって求めた円孔縁から $\frac{1}{3}D$ までの範囲の引張合力に対し配筋を行なう（図-7 参照）

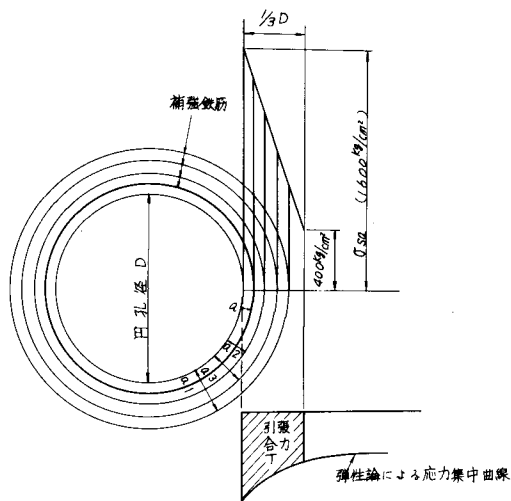


図-7 補強鉄筋の算定方法の概念

円孔縁から $D/3$ のところでのコンクリートのひずみが 200×10^{-6} になると仮定し、鉄筋の弾性係数を $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とすれば、この位置での鉄筋の応力度は 400 kg/cm^2 となる。また、円孔縁で鉄筋の許容応力度（例えば 1600 kg/cm^2 ）が完全に許容されるものとし、円孔縁から $D/3$ までの距離に配置された鉄筋は、二つの応力値の間を直線で内挿した値になるものとする。

以上の仮定に基づき、鉄筋の合力 S が全断面有効として求めた $\frac{1}{3}D$ までに作用する仮定の引張合力 T より大きくなるように鉄筋を配置する。

円孔縁から $a_1, a_2, \dots, a_n$ (cm) の距離に配置された鉄筋の断面積をそれぞれ $A_{s1}, A_{s2}, \dots, A_{sn} (\text{cm}^2)$ とすれば、鉄筋の許容引張応力度を $\sigma_{sa} (\text{kg/cm}^2)$ とするとき、鉄筋の許容抵抗合力 S を次式によって求めることができる。

$$S = \sigma_{sa} (A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}) - \frac{3(\sigma_{sa} - 400)}{D} (a_1 A_{s1} + a_2 A_{s2} + \dots + a_n A_{sn})$$

$$= \sigma_{sa} \Sigma A_s - \frac{3(\sigma_{sa} - 400)}{D} \Sigma a A_s$$

コンクリートに作用する引張合力 T は応力集中係数の曲線から求めることができる。

6. まとめ

以上の結果を要約すれば、実験の範囲内で次のことがいえる。

- (1) ひびわれならびに破壊の観点からライナー補強の方が鉄筋補強に比べ有利である。
- (2) 補強鉄筋は円孔縁から円孔径 $\frac{1}{3}$ までの距離に配置することが必要である。
- (3) ライナーの厚さを孔径の $\frac{1}{3}$ 以上とすれば、コンクリートに及ぼす応力集中の影響をなくすることができる。

参考文献

- (1) “開工部を有するコンクリート平板の軸引張試験”、青柳、大沼、川崎、土木学会第26回、講演集
- (2) “コンクリート平板の円形開口部における応力集中に関する実験的研究”、電力中研、報告、1971