

大阪大学工学部 正員 松井繁之
大阪大学工学部 正員 前田幸雄

1. さえがき 部分集中荷重をうけるRC床版の静的耐荷力は、一般に押し抜きせん断破壊によって決まる。この耐荷力に関する影響パラメーターは、床版厚・有効高さ・コンクリート強度・鉄筋量・鉄筋降伏応力・載荷板の大きさ・載荷板の辺長比・載荷位置・床版の支持条件などが考えられる。古来から、Elsker-Hognes¹⁾、McCree²⁾、Hoe³⁾、Yiglakci⁴⁾等によって押し抜きせん断耐力の評価式が提案されているが、信頼性の高いものは少ない。そこで、角田⁵⁾は自ら行った多数の実験の結果を詳しく評価し、統計処理によって信頼性の高い耐力推定式を提案した。筆者らは旧神戸橋の床版実験を行う機会を得、本床版の押し抜きせん断破壊荷重の評価とこの角田式で行ったところ、表2のNo.1, No.2の結果となり、実験値と角田式の両方により一致が見えるであった。よって、今回、床版破壊の現象をモデル化し、2,3の仮説を立てて耐荷力式を誘導した。この提案式の妥当性について角田の実験結果等^{5,6)}を用いて検証した。これらの結果について報告する。

2. 押し抜きせん断破壊時の強度モデルと耐荷力式 角田式が実験値と適合しないのは特に、床版が1方向版で長方形載荷板を使用したときである。筆者らは過去の実験経験から、押し抜きせん断破壊の破壊状況を図1のように仮定した。すなわち、中立軸より上側のコンクリートにおける純せん断破壊と鉄筋のダウエル効果による下側がぶりのはくり破壊が同時に起ると考えた。中立軸と鉄筋の間のコンクリートはすでに斜めの引張ひびわれを発生しており、せん断に対して全く寄与しないであろう。さて、破壊状況の耐荷力を算定するが、問題点は、①中立軸の高さ、②がぶりのはくり開始点、③はくりの範囲、④崩壊時のせん断強度とがはくり強度の決定である。種々検討の結果、図2に示すような応力分布の仮定が実験値との対応がよいとわかった。すなわち、(1)中立軸より上側の純せん断破壊の限界周は載荷板端より中立軸の距離だけ離れた所とする。(2)がぶりのはくり開始点は載荷板端からの45°方向線と鉄筋中心位置との交点とし、はくり長さはがぶりの2倍とする。この結果、床版下面の破壊領域は通常の実験結果とほぼ一致する。(ここで、がぶり長は鉄筋中心からコンクリート表面までの距離とする) ③純せん断応力 τ_{smax} は鉛直上向きで一様分布する。(4)はくり部の応力は直線分布し、その最大値はコンクリートの最大引張強度 σ_{tmax} とする。(5)ただし、床版内の主鉄筋は外側に、配力鉄筋は内側に配置されるので直角2方向の中立軸およびがぶり量は異なり、平面的に図3のような破壊領域を考える。主鉄筋方向に m 、配力鉄筋方向に d の表示をつけた。

以上の内部応力の合計が外力 P と釣り合うことから、押し抜きせん断破壊荷重 P は次式のようになる。

$$P = \tau_{smax} \{ 2(a + 2x_m)xd + 2(b + 2xd)x_m \} + \sigma_{tmax} \{ (b + 2dd + 4cd) \cdot 2cm + (a + 2dm) \cdot 2d \} \quad (1)$$

ここで問題となるのが、 τ_{smax} , σ_{tmax} と x_m , xd を求めるための Ec をどのように与えるかである。

τ_{smax} に関しては伊東⁷⁾の提案式を採用した。

$$\tau_{smax} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (2)$$

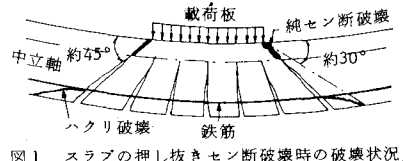
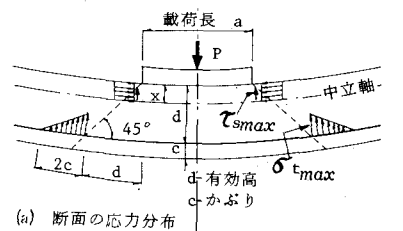
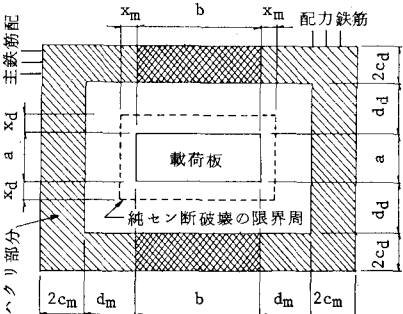


図1 スラブの押し抜きせん断破壊時の破壊状況



(a) 断面の応力分布



(b) 平面での応力分布

図2 破壊時の応力分布

$\sigma_{c, max}$ に関しては岡村⁸⁾の実験結果が有効であろう。

$$\sigma_{c, max} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (3)$$

E_c に関しては種々の提案があり、その平均的なものとして次式を提案した。

$$E_c = 210000 + 900 (\sigma_{ck} - 300) \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (4)$$

そして、中立軸 x_m , x_d はこの E_c を用いた引張側コンクリート無視の弾性時の値とする。ただし、鉄筋のヤング係数は 2.1×10^6 (kg/cm²) とする。上記式(1)によると、床版厚、有効高、鉄筋量、コンクリート強度、載荷板の大きさ等は考慮したことになる。

3. 計算結果と考察

提案式(1)を用いて角田³⁾が行った実験床版46体の破壊荷重を計算した。その結果を角田式の結果と共に表1に詳述した。計算値はほぼ妥当な値となった。この全結果について、実験値に対する計算値の比について度数分布を求めたのが図3であり、角田式による平均値 $\bar{x} = 1.037$, 標準偏差 $s_x = 0.0862$ に対して、本提案式のものは $\bar{x} = 0.9841$, $s_x = 0.0780$ となり妥当性が認められるであろう。

次に、この式を長方形版(1方向版)あるいは長方形載荷板を用いた計6体の実験床版に適用した。結果は表2の提案式(1)の欄に記した通りで、角田式と比較して一致度が大きく向上した。ただし、*印をつけた場合である。*印のないものは一致度が低下している。これは実験床版が1方向版でかつ、長方形載荷板の場合に顕著である。この原因として、実験用載荷板の剛性が大きいため、その変形が床版の変形に追従せず、はくり破壊が全周で起らず、一対辺のみ先行したと考えるのが妥当である。そこで、図2(b)の2重ハッチングの部分のはくり破壊が起らないと考えた結果、提案式2の欄のようになり、実験値との対応が向上した。実験床版では $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ の荷載面からなる2つのタイプによって載荷されるため、 $20\text{cm} \times 50\text{cm}$ の面積上での理想的な等分布荷重となり、実交通荷重下の押し抜きせん断破壊荷重の推定は提案式(1)で行えばよいであろう。

最後に、多数の供試体の実験と行われた角田・井藤・藤田の先生方に敬意を表する次第である。

表1 角田らの実験床版の破壊荷重に関する計算結果

No.	厚さ h (cm)	有効高 d (cm)	スパン l (cm)	載荷長さ r (cm)	鉄筋径-間隔 (cm)	コンクリート 強度 (kg/cm ²)	破壊荷重		
							実験値 (t)	角田式 (t)	提案式 (t)
1	10	7.5	100×100	5	D10-8.0	365	14.02	13.99	13.77
2	10	7.5	100×100	5	D10-8.0	398	13.02	14.28	14.01
3	10	7.5	100×100	10	D10-8.0	341	20.03	16.83	18.07
4	10	7.5	100×100	10	D10-8.0	373	16.03	17.17	18.43
5	10	7.5	100×100	10	D10-8.0	390	17.03	18.06	18.61
22	10	7.5	150×150	10	D10-8.0	324	18.94	16.64	17.83
23	10	7.5	150×150	10	D10-8.0	326	19.24	16.66	17.85
24	10	7.5	200×200	10	D10-8.0	385	16.04	17.30	18.55
25	10	7.5	200×200	10	D10-8.0	353	15.04	16.96	18.19
47	10	8.0	100×100	10	D10-8.0	297	17.4	16.35	16.40
48	10	8.0	100×100	10	D10-8.0	283	16.5	16.18	16.28
20	10	7.5	65×65	10	D10-4.0	322	23.83	19.47	21.80
21	10	7.5	65×65	10	D10-4.0	344	21.23	20.13	22.11
14	10	7.5	100×100	10	D10-5.0	347	22.28	20.22	20.74
15	10	7.5	100×100	10	D10-5.0	348	22.03	20.24	20.75
12	10	7.5	100×100	10	D10-6.0	357	21.03	20.10	19.79
13	10	7.5	100×100	10	D10-6.0	344	20.03	19.96	19.61
18	10	7.5	100×100	10	D10-8.15	311	16.88	14.50	16.25
19	10	7.5	100×100	10	D10-8.15	319	16.03	14.58	16.35
16	10	7.2	100×100	10	D13-15.0	362	17.08	15.36	18.79
17	10	7.2	100×100	10	D13-15.0	346	19.03	15.20	18.58
6	10	7.5	100×100	15	D10-8.0	338	20.04	19.83	22.58
7	10	7.5	100×100	15	D10-8.0	360	22.04	20.11	22.83
8	10	7.5	100×100	20	D10-8.0	344	24.04	22.96	27.13
9	10	7.5	100×100	20	D10-8.0	320	23.54	22.58	26.66
26	15	12.0	100×100	10	D10-5.0	322	30.06	31.60	31.80
27	15	12.0	100×100	10	D10-5.0	346	29.16	32.10	32.16
44	15	12.0	150×150	10	D10-6.0	248	24.0	25.65	28.43
45	15	12.0	150×150	10	D10-6.0	505	31.2	30.87	31.94
46	15	12.0	150×150	10	D10-6.0	492	34.1	30.63	31.91
37	15	12.0	150×150	20	D16-5.0	485	66.0	57.32	64.43
39	15	12.0	150×150	30	D16-8.0	465	71.0	67.75	71.70
40	15	12.0	150×150	30	D16-15.0	479	60.0	57.82	59.60
41	15	12.0	150×150	30	D16-15.0	530	60.0	59.15	59.63
28	20	17.0	100×100	10	D10-3.5	334	50.03	51.27	48.35
29	20	17.0	100×100	10	D10-3.5	326	52.03	50.99	48.27
34	20	17.0	150×150	20	D22-20.0	460	63.5	63.77	65.38
35	20	17.0	150×150	20	D22-20.0	524	60.0	65.90	64.47
33	20	17.0	150×150	20	D16-10.0	460	75.0	74.72	65.96
30	20	17.0	150×150	30	D10-5.0	464	66.0	61.39	75.05
31	20	17.0	150×150	30	D10-5.0	492	66.0	62.49	74.95
50	10	8.0	100×50	10	D10-8.0	299	16.2	16.38	16.43
51	10	8.0	100×50	10	D10-8.0	295	16.0	16.34	16.40
52	10	8.0	100×75	10	D10-8.0	337	17.0	16.86	16.80
53	10	8.0	100×75	10	D10-8.0	248	15.8	16.19	16.32

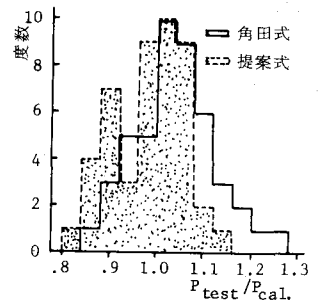


図3 角田らの実験床版における P_{test}/P_{cal} の度数分布

表2 長方形版で長方形載荷板を用いたスラブの破壊荷重

厚さ (cm)	スパン (cm)	載荷板 (cm)	主鉄筋断面		配力鉄筋断面		コンクリート 強度 (kg/cm ²)	鉄筋降伏力 (kg/cm ²)	破壊荷重				
			有効高 鉄筋径-間隔 (cm)	(cm)	有効高 鉄筋径-間隔 (cm)	(cm)			実験値 (t)	角田式(実/計) (t)	提案式1(実/計) (t)	提案式2(実/計) (t)	
1 (18.5)	150×1120	20.0×50.0	14.5	φ12-10.0	13.45	φ9-10.0	375	2660	77.5	41.58(1.68)	*70.891(1.093)	57.095(1.375)	文獻 2
2 (18.5)	150×300	20.0×25.0	14.5	φ12-10.0	13.45	φ9-10.0	375	2660	62.5	33.96(1.83)	*54.557(1.136)	47.659(1.301)	
3 4	150×300	15.0×37.5	9.5	D10-7.5	8.6	D6-8.35	302	3480	29.0	27.62(1.05)	*38.631(0.751)	*31.756(0.913)	文獻 3
5	235×360	30.0×60.0	15.0	φ16-10.0	13.4	φ16-20.0	303	2755	31.0	27.62(1.12)	76.303(0.802)	*31.754(0.976)	
6	430×600	20.0×50.0	15.0	D16-10.0	13.4	D16-20.0	316	3595	63.8	49.45(1.29)	38.635(0.836)	*63.389(1.006)	文獻 4
7	150×300	20.0×20.0	13.0	D13-12.5	11.7	D13-20.0	320	3583	56.1	43.95(1.28)	70.492(0.796)	*58.059(0.966)	
8									40.0	31.84(1.26)	*42.455(0.942)	*37.765(1.059)	文獻 5

【参考文献】 1) 角田・井藤・藤田: 鉄筋コンクリートスラブの押し抜きせん断耐力に関する実験的研究, 工学会論文誌 No. 229, 1974-9. 2) 大阪工科大学: 旧制角田に関する実験的研究, 大阪府工務局報告書 1980年6月定. 3) 前田 叔平: 道路橋RC床版の疲損破壊特性について, 工学会関西支部年報, 4-6, 1976. 4) 土木学会関西支部: 鉄筋コンクリート床版疲損設計委員会報告: 鉄筋コンクリート床版の損傷と疲損設計へのアプローチ, 昭和52年7月, PP.75~93. 5) 前田・松貝・木本: 鉄筋コンクリート床版の疲損試験, 日本道路公団試験所報告, 昭和52年12月, PP.132~142. 6) 松貝: 鉄筋コンクリート床版の耐力に関する試験研究, 日本道路公団試験所報告, 昭和50年12月, PP.140~149. 7) 伊藤茂富: コンクリート工学, P75, 森北工科大学全書, 森北出版, 1972年11月. 8) 岡村南: コンクリート構造の限界状態設計法, PP.18~19, コンクリート・セミナー4, 共出版, 昭和53年11月.