土木学会論文集 No. 676／V-51, 51-63, 2001. 5

実験結果に基づくＲＣ床版の押抜きせん断強度算定式の安全係数

浜田純夫[1]・松尾栄治[2]・藤岡　靖[3]

[1]正会員　Ph.D. 山口大学教授　工学部社会建設工学科（〒755-8611 宇部市常盤台二丁目16-1）
[2]正会員　工博　山口大学助手　工学部社会建設工学科（〒755-8611 宇部市常盤台二丁目16-1）
[3]正会員　株式会社ピー・エス　工務部設計課（〒730-0035 広島市中区本通7-19）

現在，RC床版の押抜きせん断強度算定式において用いられている各安全係数は経験に基づき決定されたものであり，理論的な根拠に乏しい．本研究はこれまでに提案された算定式の精度やばらつきを比較検討し，さらに適切な破壊確率を算出するために種々の破壊確率密度関数を求め，その結果に基づいて安全係数を算出する方法について提案するものである．

Key Words : *RC Slab, failure probability, safety factor, punching shear strength*

1．まえがき

限界状態設計法においては，材料強度，部材強度の不確実性，構造解析の不確実性等にそれぞれの安全係数が適用されている．材料強度に関する安全係数には，材料固有の強度のばらつきの他に，施工で生ずるばらつきも含まれると考えることができる．また部材に対する安全係数は，その照査式に由来するものと，材料の性能に由来していると解釈できよう．コンクリート標準示方書[1]の棒部材のせん断強度照査式のように，せん断補強部材を有しない設計せん断耐力に対する部材係数は1.3である．この照査式中のコンクリート強度に対しても材料係数を設けている．この式において材料係数と部材係数の双方で部材の安全性をはかっていると考えられている．

面部材の設計押抜きせん断強度の設計式に対しても材料係数と部材係数を用いて安全性の確認をしている．この材料係数と部材係数はともに1.3が用いられている．本来，これらの係数は何らかの論理があって採用されるべきもので，「一般に1.3をとるものとする」の「一般」あるいは「一般でない場合」はどのような場合かは規定されていない．

一方において，我が国では性能照査設計法が取り入れられようとしている．この設計法においては，設計方法にも自由度があり，照査方法としてより良い算定式で，あるいはそれぞれの構造形式に適した式が用いられる可能性もある．このような場合，どのような安全係数を用いるかを検討するのは当然のことであろう．海外工事などでACI式や他の式を用いて設計する必要性も当然生じてくる．そのとき同じ安全係数を用いるのが妥当とは考えられない．

本研究においては部材係数の根拠を求めるため，他の安全係数は現在用いられている値を前提として，コンクリート標準示方書および多くの提案式の設計押抜きせん断耐力式について従来の実験と対比し，部材係数の算出を試みるものである．なお，部材係数は実験値のばらつきが関係しており，設計算定式が異なれば必然的に部材係数は異なるものである．つまり，実験値に対して極めて良い算定式であれば安全係数はそれだけ低い値をとることができる．極力簡単な式で示すように求められた式ではばらつき（変動係数）は大きくなり，それだけ大きい部材係数が必要となる懸念がある．

小柳[2]によると，床版の押抜きせん断強度に関する研究は，20世紀初頭のTalbotの報告が最初であり，実験報告や，影響因子および破壊メカニズム等について数多くの研究[3)~9)]がなされている．床版の破壊は曲げとせん断に大別されるがコンクリート床版の場合はせん断破壊がほとんどである．曲げ破壊の強度は降伏線理論によって推定される．しかしながらこの理論をせん断破壊に当てはめることは理論的にも精度的にも適当でない．最近ではGardnerによる提案式[10]など多くの評価式も提案されている．我が国においても，角田らの研究をはじめとして少な

表-1　実験供試体の詳細一覧

供試体 NO.	実験者	辺長 (cm)	床版厚 (cm)	スパン (cm)	有効厚 (cm)	圧縮強度 (N/mm²)	辺長(cm) a	辺長(cm) b	載荷周長 u (cm)	鉄筋比 p(%)	実験値 (kN)
1	浜田	100×100	13.0	80×80	10.5	31	10	10	40	0.54	194.0
2	浜田	100×100	13.0	80×80	10.5	29.4	10	10	40	0.61	220.5
3	浜田	100×100	13.0	80×80	10.5	33.3	10	10	40	0.68	240.1
4	浜田	100×100	10.0	80×80	7.5	33.2	10	10	40	0.76	144.1
5	浜田	100×100	10.0	80×80	7.5	32.5	10	10	40	0.86	156.8
6	浜田	100×100	10.0	80×80	7.5	32.7	10	10	40	0.95	154.8
7	浜田	100×100	10.0	80×80	7.5	36.6	10	10	40	1.35	171.5
8	浜田	100×100	10.0	80×80	7.5	35.5	10	10	40	1.69	200.9
9	浜田	100×100	13.5	80×80	9.9	38.5	10	10	40	1.01	240.1
10	浜田	140×140	13.0	120×120	10.5	50.7	10	10	40	0.44	148.0
11	浜田	140×140	13.0	120×120	10.5	50.7	10	10	40	0.44	151.9
12	浜田	140×140	13.0	120×120	10.5	50.7	10	10	40	0.68	222.5
13	浜田	140×140	13.0	120×120	10.5	50.7	10	10	40	0.68	224.4
14	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	58	20	20	80	3.37	669.3
15	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	59.9	20	20	80	3.37	625.2
16	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	49.4	30	30	120	2.11	656.6
17	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	47.3	30	30	120	2.11	699.7
18	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	20.4	10	10	40	0.99	235.2
19	浜田	160×160	15.0	150×150	12.0	20.4	10	10	40	0.99	241.1
20	浜田	120×140	10.0	100×100	7.5	21.7	10	10	40	0.88	160.7
21	浜田	120×140	10.0	100×100	7.5	34.6	10	10	40	0.88	163.7
22	角田ら	65×65	10.0	50×50	7.2	15.1	5	5	20	0.466	115.4
～		～	～	～	～	～	～	～	～	～	～
68		220×220	20.0	200×200	17.0	51.9	30	30	120	3.372	735.0
69	松井ら	80×310	7.1		5.8	23.8	15	4.5	39	0.628	100.0
～		～	～		～	～	～	～	～	～	～
86		235×660	22.0		18.1	46.8	60	30	180	1.116	989.8

からず研究報告[11),12)]が行われているが，はりに関するせん断破壊メカニズムと比較した場合，その解明度合いは低いと認識されている．これは床版が面部材であるため，高次の不静定部材となり，影響因子が極めて大きくなることが原因とされる．

実構造物を考慮した場合，定点載荷による強度の評価が，実際の交通荷重を表現するのに適当であるかどうかは議論の余地がある．しかしながら，移動荷重や疲労荷重を考慮する以前に，静的荷重に対する破壊機構を明らかにすることは極めて重要であると思われる．

本研究はどの程度の部材係数が必要であるかを論じたものである．コンクリート標準示方書の設計押抜きせん断強度式に限らず，ACI式[13)]，角田らの提案式[14)]，松井らの提案式[15)]，および著者らの松井の提案する式の修正式に対しそれぞれ部材係数を求めようとしたものである．すなわち，各算定式により得られた計算値に対する実験値の比を確率変数とし，この値が各確率密度分布関数に従うと仮定して求めた破壊確率から部材安全係数を算出し，その妥当性について論じた．

2．耐力算定式

(1) 土木学会

床版の押抜きせん断強度には多くの評価式が提案されている．我が国では角田らの研究，松井らの研究が著名で，土木学会コンクリート標準示方書は角田らの研究成果に基づいて評価式が与えられている．

従来からのコンクリート標準示方書による押抜きせん断耐力算定式を示す．

$$V_{pcd} = \beta_d \beta_p \beta_r f_{pcd} u_p d / \gamma_b \qquad (1)$$

ここで，V_{pcd}：押抜きせん断耐力 (N)

$f_{pcd} = 0.20\sqrt{f'_{cd}}$ (N/mm²)

ただし，f_{pcd} ≦1.2 (N/mm²)

$\beta_d = \sqrt[4]{1/d}$

ただしβ_d＞1.5となる場合は1.5とする．

$\beta_p = \sqrt[3]{100p}$

ただし，β_p＞1.5となる場合は1.5とする．

$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d)$

f'_{cd}：コンクリートの設計圧縮強度(N/mm²)

u：載荷面の周長(cm)

u_p：設計断面の周長で，載荷面から$d/2$離れた位置で算定するものとする．(cm)

表-2　各実験者の結果を各算定式へ照合した結果（その１）

実験者	No.	実験値	JSCE式		ACI式		式(5)		式(6)		式(7)	
			計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計
Kakuta	1	137.4	98.7	1.39	74.0	1.86	137.0	1.00	134.2	1.02	110.3	1.25
	2	127.6	99.0	1.29	77.2	1.65	139.8	0.91	136.9	0.93	113.9	1.12
	3	196.3	124.3	1.58	100.1	1.96	164.7	1.19	176.1	1.11	150.9	1.30
	4	157.1	128.9	1.22	104.7	1.50	168.1	0.93	179.7	0.87	155.4	1.01
	5	166.9	128.3	1.30	107.0	1.56	176.8	0.94	180.8	0.92	157.3	1.06
	6	196.4	151.8	1.29	128.1	1.53	194.1	1.01	219.7	0.89	193.6	1.01
	7	216.0	156.7	1.38	132.2	1.63	196.9	1.10	222.8	0.97	197.4	1.09
	8	235.6	181.2	1.30	158.0	1.49	224.7	1.05	264.7	0.89	237.9	0.99
	9	230.7	174.7	1.32	152.4	1.51	221.1	1.04	260.2	0.89	232.9	0.99
	10	115.4	89.1	1.30	97.4	1.19	108.1	1.07	137.6	0.84	121.6	0.95
	11	129.2	92.5	1.40	101.1	1.28	110.8	1.17	141.0	0.92	125.2	1.03
	12	206.1	139.9	1.47	102.4	2.01	196.7	1.05	192.9	1.07	163.9	1.26
	13	196.3	137.4	1.43	100.5	1.95	195.4	1.00	191.4	1.03	162.0	1.21
	14	218.3	146.6	1.49	101.0	2.16	197.9	1.10	202.2	1.08	169.8	1.29
	15	215.9	146.8	1.47	101.1	2.14	198.2	1.09	202.4	1.07	170.0	1.27
	16	167.4	120.7	1.39	97.3	1.72	158.9	1.05	184.6	0.91	159.3	1.05
	17	186.5	118.0	1.58	95.1	1.96	157.3	1.19	182.4	1.02	156.8	1.19
	18	165.4	109.5	1.51	95.6	1.73	141.9	1.17	161.0	1.03	138.5	1.19
	19	157.1	110.9	1.42	96.8	1.62	142.8	1.10	162.1	0.97	139.7	1.12
	20	233.5	152.1	1.54	97.3	2.40	190.6	1.22	213.0	1.10	175.7	1.33
	21	208.1	157.2	1.32	100.5	2.07	197.0	1.06	215.8	0.96	179.1	1.16
	22	185.6	121.1	1.53	97.6	1.90	162.9	1.14	173.9	1.07	148.5	1.25
	23	188.6	121.5	1.55	97.9	1.93	163.1	1.16	174.2	1.08	148.7	1.27
	24	157.2	128.9	1.22	106.3	1.48	169.3	0.93	180.9	0.87	157.1	1.00
	25	147.4	126.4	1.17	101.8	1.45	166.0	0.89	177.5	0.83	152.6	0.97
	26	294.6	255.5	1.15	195.6	1.51	309.3	0.95	309.6	0.95	253.6	1.16
	27	285.8	264.9	1.08	202.8	1.41	314.3	0.91	313.4	0.91	258.6	1.10
	28	490.3	468.5	1.05	346.4	1.42	501.8	0.98	470.0	1.04	369.7	1.33
	29	509.9	462.9	1.10	342.2	1.49	499.1	1.02	469.1	1.09	367.8	1.39
	30	646.8	667.2	0.97	710.7	0.91	601.0	1.08	721.3	0.90	672.1	0.96
	31	646.8	667.2	0.97	731.8	0.88	611.9	1.06	720.7	0.90	683.0	0.95
	32	735.0	765.2	0.96	662.4	1.11	830.0	0.89	824.8	0.89	732.7	1.00
	33	735.0	630.9	1.16	557.1	1.32	731.5	1.00	651.1	1.13	578.5	1.27
	34	622.3	612.9	1.02	557.1	1.12	624.3	1.00	632.2	0.98	564.0	1.10
	35	588.0	612.9	0.96	594.6	0.99	645.3	0.91	627.0	0.94	584.2	1.01
	36	392.0	523.8	0.75	331.1	1.18	532.2	0.74	638.1	0.61	550.5	0.71
	37	646.8	523.8	1.23	349.2	1.85	561.3	1.15	635.5	1.02	566.3	1.14
	38	529.2	561.1	0.94	445.9	1.19	659.1	0.80	706.9	0.75	651.3	0.81
	39	695.8	561.1	1.24	448.8	1.55	663.4	1.05	706.8	0.98	653.6	1.06
	40	588.0	455.0	1.29	455.5	1.29	566.0	1.04	587.4	1.00	556.6	1.06
	41	588.0	455.0	1.29	479.1	1.23	579.1	1.02	587.2	1.00	574.1	1.02
	42	186.2	167.5	1.11	135.3	1.38	225.8	0.82	254.7	0.73	211.7	0.88
	43	186.2	189.9	0.98	153.4	1.21	238.4	0.78	266.4	0.70	218.0	0.85
	44	235.2	212.5	1.11	171.7	1.37	251.1	0.94	278.8	0.84	227.6	1.03
	45	305.8	258.6	1.18	245.0	1.25	302.1	1.01	313.6	0.98	280.9	1.09
	46	334.2	258.6	1.29	241.8	1.38	299.9	1.11	312.9	1.07	278.3	1.20
	47	170.5	126.3	1.35	102.5	1.66	160.2	1.06	161.3	1.06	136.1	1.25
Matsui	1	568.4	505.9	1.12	420.6	1.35	461.6	1.23	550.1	1.03	483.2	1.18
	2	625.2	544.4	1.15	529.7	1.18	521.8	1.20	743.9	0.84	684.2	0.91
	3	549.8	559.5	0.98	467.5	1.18	505.0	1.09	692.1	0.79	623.8	0.88
	4	989.8	729.8	1.36	558.1	1.77	699.0	1.42	976.8	1.01	851.5	1.16
	5	895.7	662.3	1.35	523.5	1.71	622.3	1.44	886.9	1.01	783.1	1.14
	6	392.0	315.1	1.24	322.5	1.22	299.2	1.31	437.1	0.90	392.2	1.00
	7	519.4	315.6	1.65	323.0	1.61	299.5	1.73	437.5	1.19	392.6	1.32
	8	392.0	306.4	1.28	331.9	1.18	287.2	1.36	414.5	0.95	376.5	1.04
	9	284.2	223.5	1.27	209.0	1.36	236.2	1.20	327.2	0.87	298.4	0.95
	10	303.8	223.5	1.36	209.0	1.45	236.2	1.29	327.2	0.93	298.4	1.02
	11	499.8	423.5	1.18	446.0	1.12	378.3	1.32	537.2	0.93	496.2	1.01
	12	661.5	571.1	1.16	444.8	1.49	585.5	1.13	805.3	0.82	713.7	0.93
	13	686.0	571.1	1.20	444.8	1.54	585.5	1.17	805.3	0.85	713.7	0.96
	14	686.0	571.1	1.20	444.8	1.54	585.5	1.17	805.3	0.85	713.7	0.96
	15	104.9	84.5	1.24	65.5	1.60	114.1	0.92	101.8	1.03	94.4	1.11
	16	100.0	78.7	1.27	65.5	1.53	103.9	0.96	91.4	1.09	85.2	1.17
	17	100.9	86.4	1.17	65.5	1.54	117.7	0.86	103.2	0.98	95.5	1.06
	18	648.8	507.8	1.28	388.3	1.67	505.7	1.28	698.5	0.93	617.3	1.05

d：有効高さ（cm）

p：鉄筋比（$=A_s/(b_w \cdot d)$）

d および p は，二方向に対する平均値とする．

A_s：引張側鉄筋の断面積（cm^2）

b_w：腹部の幅（cm）

γ_b：部材係数

(2) ACI

最も簡単に表しているACI式を示す．

$$V_{cal} = 0.083\left(2+\frac{4}{\beta_c}\right)\sqrt{f_c'}\cdot b_0 d \tag{2}$$

$$V_{cal} = 0.083\left(\frac{\alpha_s d}{b_0}+2\right)\sqrt{f_c'}\cdot b_0 d \tag{3}$$

$$V_{cal} = 0.33\sqrt{f_c'}\cdot b_0 d \tag{4}$$

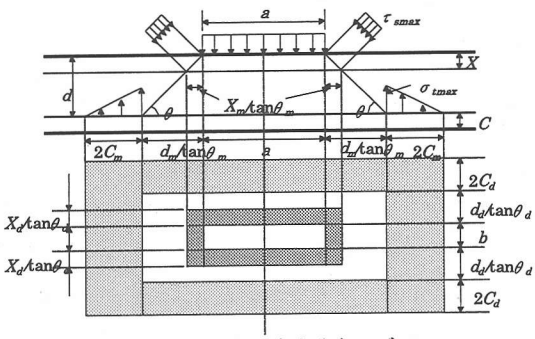

図-1 松井らの応力分布モデル

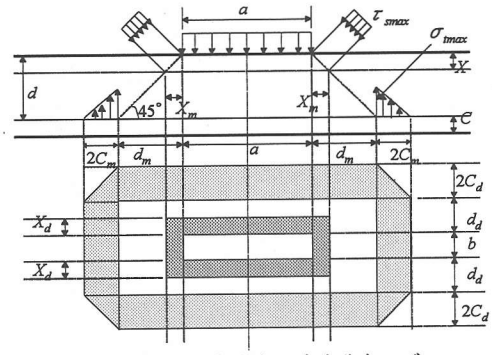

図-2 修正した松井らの応力分布モデル

上式(2)～(4)の中から最小となる値を用いる．

ただし，

V_{cal} ：押抜きせん断耐力（N）

β_c ：載荷板の長辺と短辺の比（長辺／短辺）

f_c ：コンクリートの圧縮強度（MPa）

b_0 ：載荷板周長＋4d （mm）

d ：有効高さ(mm)

α_s ：係数（＝30）

(3) 角田らの提案式

角田らは，床版耐力とそれに及ぼす各種要因との相関関係を解析し，床版の耐力はコンクリート圧縮強度の平方根とほぼ直線関係にあること，また鉄筋比とも直線関係にあるが，$p\sigma_{sy}$ との相関の方が高いこと，さらにその直線関係は $p\sigma_{sy}$ の増加に伴い頭打ちになることなどを前提に次式を提案している．

$$V_{cal} = 0.674(b_0 + 3\pi d)d\sqrt{\sigma_{ck}}\left(1 + 0.5p\sigma_{sy}/\sqrt{\sigma_{ck}}\right)/(1 + d/20) \tag{5}$$

ただし，$p\sigma_{sy}/\sqrt{\sigma_{ck}}$ ＞3.33のときは3.33とする．

V_{cal} ：押抜きせん断耐力（kgf）

b_0 ：載荷板の周長(cm)

d ：有効高さ(cm)

σ_{ck} ：コンクリートの圧縮強度(kgf/cm^2)

p ：鉄筋比

σ_{sy} ：鉄筋の降伏強度(kgf/cm^2)

(4) 松井らの提案式

従来から多くの研究者によって提案されたものにはコンクリート強度を主要因とするものや，曲げの影響を主要因とするものに大別されるが，松井らの

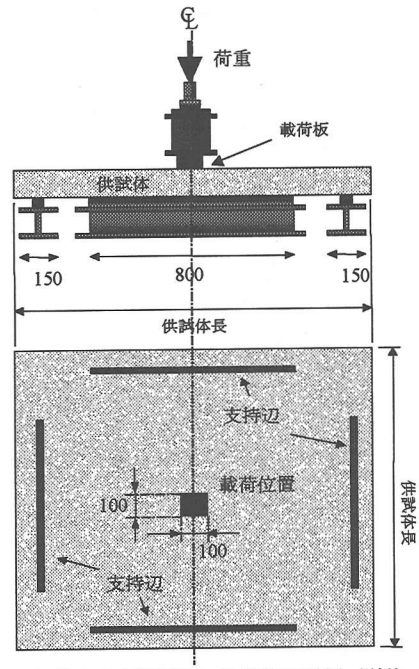

図-3 押抜きせん断試験の供試体設置例（単位：mm）

提案式はこれらとは異なった形になっている．すなわち，破壊状況の観察より押抜き部分の角度を決定し，それに応じた破壊直前の応力分布を仮定して評価式を次のように提案している．

$$P = \tau_{s\cdot\max}\{2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m\} + \sigma_{t\cdot\max}\{2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d\} \tag{6}$$

ただし，

P ：押抜きせん断耐力（kgf）

a ：載荷板の主鉄筋方向の辺長（cm）

b ：載荷板の配力筋方向の辺長（cm）

表-3　各実験者の結果を各算定式へ照合した結果（その２）

実験者	No.	実験値	JSCE式		ACI式		式(5)		式(6)		式(7)	
			計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計
Hamada	1	194.0	169.8	1.14	158.0	1.23	172.0	1.13	192.0	1.01	165.5	1.17
	2	220.5	172.3	1.28	154.0	1.43	176.9	1.25	196.6	1.12	167.9	1.31
	3	240.1	190.2	1.26	163.9	1.46	191.7	1.25	208.9	1.15	179.0	1.34
	4	144.1	107.4	1.34	99.8	1.44	126.4	1.14	156.9	0.92	136.8	1.05
	5	156.8	110.8	1.42	98.8	1.59	132.6	1.18	161.1	0.97	139.6	1.12
	6	154.8	114.9	1.35	99.1	1.56	139.1	1.11	165.7	0.93	143.0	1.08
	7	171.5	135.4	1.27	104.7	1.64	171.2	1.00	187.0	0.92	160.7	1.07
	8	200.9	144.9	1.39	103.1	1.95	193.8	1.04	198.1	1.01	167.9	1.20
	9	240.1	190.2	1.26	160.1	1.50	217.1	1.11	285.7	0.84	245.2	0.98
	10	148.0	171.0	0.87	202.1	0.73	192.3	0.77	204.0	0.73	189.9	0.78
	11	151.9	171.0	0.89	202.1	0.75	192.3	0.79	204.0	0.74	189.9	0.80
	12	222.5	197.7	1.13	202.1	1.10	218.8	1.02	224.4	0.99	206.9	1.08
	13	224.4	197.7	1.14	202.1	1.11	218.8	1.03	224.4	1.00	206.9	1.08
	14	669.3	523.8	1.28	385.7	1.74	619.9	1.08	613.2	1.09	598.6	1.12
	15	625.2	523.8	1.19	392.1	1.59	630.2	0.99	606.8	1.03	604.3	1.03
	16	656.6	561.1	1.17	467.1	1.41	690.4	0.95	704.3	0.93	668.1	0.98
	17	699.7	561.1	1.25	457.1	1.53	675.7	1.04	706.1	0.99	660.2	1.06
	18	235.2	194.9	1.21	157.5	1.49	241.2	0.97	269.1	0.87	219.9	1.07
	19	241.1	194.8	1.24	157.3	1.53	241.2	1.00	269.1	0.90	219.8	1.10
	20	160.7	91.0	1.77	80.6	1.99	120.5	1.33	144.7	1.11	124.3	1.29
	21	163.7	115.0	1.42	101.9	1.61	136.1	1.20	164.6	0.99	143.2	1.14

表-4　各提案式による平均値とばらつき

JSCE式		ACI式		式(5)		式(6)		式(7)	
計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計	計算値	実/計
平均値	1.25	平均値	1.50	平均値	1.07	平均値	0.95	平均値	1.09
標準偏差	0.18	標準偏差	0.32	標準偏差	0.16	標準偏差	0.11	標準偏差	0.14
変動係数	0.15	変動係数	0.21	変動係数	0.15	変動係数	0.11	変動係数	0.13

χ_m，χ_d：主鉄筋および配力筋に直角な断面の引張側コンクリートを無視した断面の中立軸深さ（cm）

d_m，d_d：主鉄筋，配力筋の有効高さ（cm）

$\tau_{s\cdot\max}$，$\sigma_{t\cdot\max}$：コンクリートの最大せん断応力度，最大引張応力度(kgf/cm^2)で，コンクリートの圧縮強度から算定．

式(5)と式(6)は全く関連性がない訳ではない．少なくとも式(6)のxはdに比例している．また式(5)は鉄筋量と鉄筋の降伏強度に関与しているのに対し，式(6)はかぶりに関与させている．

(5)松井らの修正式

あとに示すように，実験値と松井の式の比は1.0以下になっている．このことは今後，性能照査設計法のように適用の式がフレキシブルになると，誤って使用される恐れがある．つまり，角田の式を用いるのも松井の式を用いるのも同等と考えられる可能性がある．例えば実験結果などの比較に対し，いずれかの評価式を超えればよいと考える設計技術者が出現する可能性がある．本修正式はこのような観点から検討したものである．

すなわち，本研究では松井らの提案式に修正を行ったものを新たに提案した．これは松井らの式において定義されている上向きの引張応力と最大せん断応力分布範囲の形状を実験の観察結果に合わせて修正したものである．

すなわち，引張鉄筋のダウエル効果が押抜き部分の四隅全てには発生していないと考えられるので，四隅の上向きの引張力分布を三角形状にし，最大せん断応力分布における四隅の重複部分を削除した．以下に修正式を示す．

$$P=\tau_{cu}\{2ax_d+2(b+2x_d)x_m\}$$
$$+\sigma_{t\cdot cu}\{2(2C_d+2d_d+b)C_m+2(a+2d_m)C_d\} \quad (7)$$

ただし，

P：押抜きせん断耐力（N）

$\tau_{cu}=0.784\sigma_{ck}{}^{0.553}$　(N/mm^2)

$\sigma_{t\cdot cu}=0.269\sigma_{ck}{}^{2/3}$　(N/mm^2)

なお，a，b，x_m，x_d，d_m，d_dの単位はいずれもmmとなる．

3．床版の静的押抜き強度に関する実験

(1)実験目的

評価式が適切に与えられているかどうかの検討は，実験データが多いほどよく判定ができる．床版の押抜き強度を求める実験については，角田ら，松井らにより数多くのデータが提供されている．角田らは正方形床版を中心に，長方形の床版に対して支持条件，有効厚，コンクリート強度，スパン長，鉄筋径および鉄筋比，載荷面積および載荷位置等を変化さ

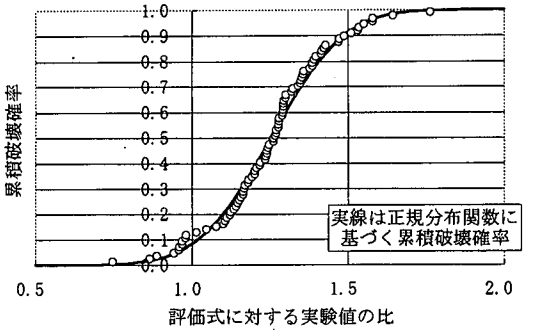

図-4 示方書式による計算結果

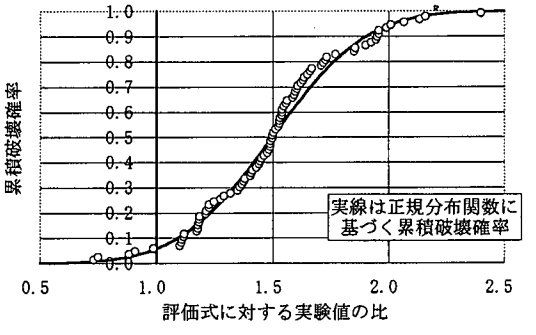

図-5 ACI 式による計算結果

せた60体の供試体の静的押抜き強度を求めている．本研究ではそのうちの正方形床版についてのデータ47体を対象に検討することとしたが，うち２体はほぼ同等の供試体でありながら，それらの実験値が大きく異なるため，それぞれ同条件の供試体を作製し，改めて実験を行った．また松井らの実験では，過去の各研究者が行ったデータに加えて，大型の供試体で長方形床版の押抜きせん断強度を求めている．

(2) 供試体

松井らは２辺単純支持で実験を行っているが，本研究では角田らと同様の浮き上がり防止を設けない４辺単純支持条件で静的試験を行った．

使用材料は，細骨材が北九州市若松産の海砂（表乾比重2.58），粗骨材が山口県宮野産の砕石（表乾比重2.70），普通ポルトランドセメント（比重3.15）である．作製したRC床版の押抜きせん断試験は，材齢28日以降で，スパン80×80cm，100×100cm，120×120cm，および150×150cmとし，支持辺の長さは30cmあるいは80cmとした．

載荷は**図-3**に示すように，供試体の中央に10×10cmの硬質ゴム板（厚さ２cm）と鋼板（厚さ２cm）を介して集中荷重を載荷した．載荷装置にはカンチレバーを設け，破壊時に載荷装置が障害とならないよう変位制御を行った．

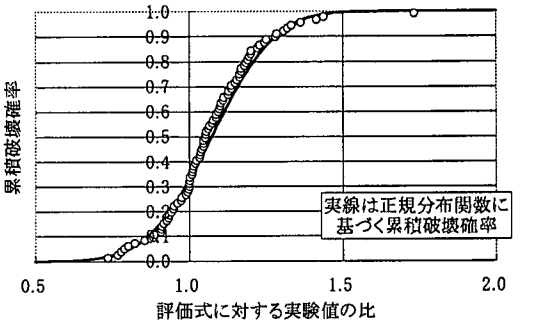

図-6 式(5)による計算結果

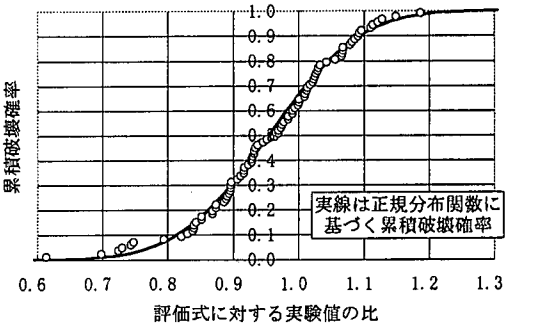

図-7 式(6)による計算結果

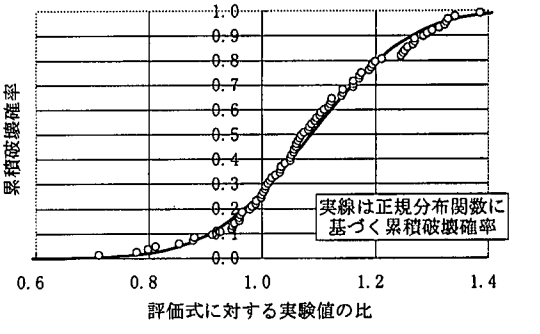

図-8 式(7)による計算結果

(3) 実験結果

表-1に本研究の実験結果も含めた供試体のデータと試験結果の一覧を示す．**表-2, 3**は**表-1**の全データを対象に実験値と計算値を対比したものである．表中では各提案式による計算値とそれに対する実験値の比を示しており，それぞれの耐力算定式に対してばらついていることがわかる．

4．各算定式に対する評価

(1) 破壊確率に対する分布関数の適用

構造物をより合理的に製作するためには破壊確率

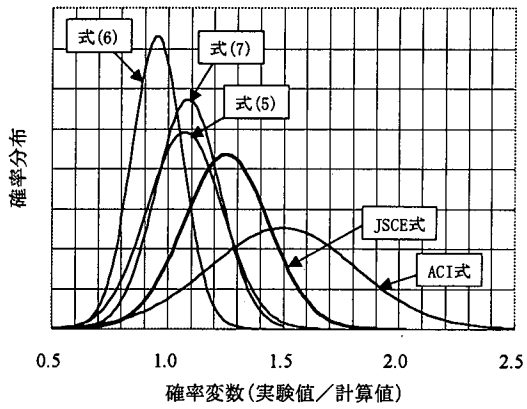

図-9 各算定式による計算結果の正規分布

を的確に把握し，その確率関数に基づいて安全係数を求めるべきである．すなわち，破壊確率を適切に求めることが重要となる．本研究においては実験値と推定値の比が，確率関数に従うものとして破壊確率を求めようとするものである．確率関数は誤差が偶然に生ずるものとして求められたガウスの誤差関数が代表的である．またガウスの誤差関数が極値に対して必ずしも妥当なものではないとの考え方からWeibullは２重指数分布を基にして独自の考え方を示し，Weibull関数と呼ばれているものを提案した．

なお，本来の破壊に対する安全係数はいわゆるS-R Modelで求められるものである．荷重に対する分布は破壊確率に対する分布とは独立しており，荷重に対する分布を論じていない．S-R Modelにおいても破壊の分布を論じる必要がある．ここにおける安全係数はコンクリート標準示方書でいう部材係数を意味しているもので，設計上の破壊確率を論じたものではない．

a) 正規分布関数への適用

確率変数x（＝実験値/計算値；期待値はμ）が正規分布に従うとすると，破壊確率$F(t_i)$は次式で表される．

$$F(t_i)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\int_{-\infty}^{t_i}\exp\left\{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}dx \qquad (8)$$

この式はμとσで求めるものである．その結果を**表-4**に示す．ガウス関数への適合性は変動係数が一つの指標となる．

松井の提案式は最もよい適合を示しているものの，平均値が1.0以下になり，設計者が提案式の本質を理解していないと，危険側設計を容認するような誤解を招く恐れがある．そこで，本研究では松井の提案式を改良した修正式を提案した．その結果，角田の提案式とほぼ同じ平均値となった．しかし，多少変動係数が大きくなった．

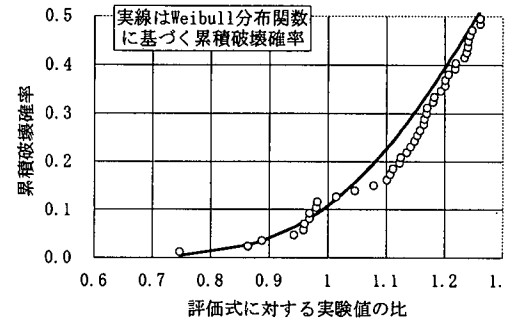

図-10 示方書式による計算結果

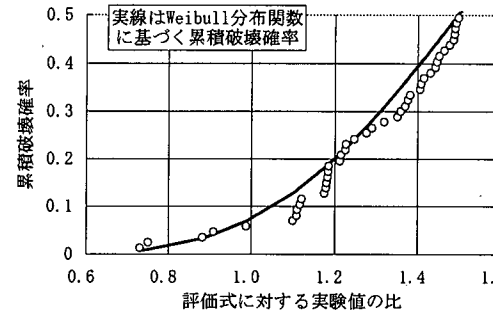

図-11 ACI式による計算結果

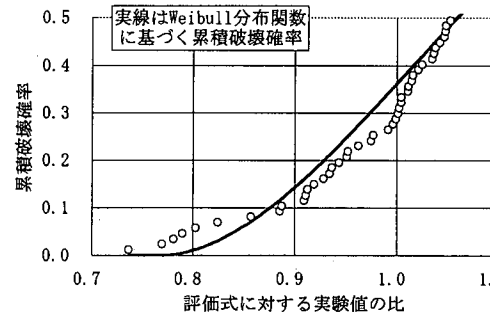

図-12 式(5)による計算結果

示方書の算定式は角田の式を簡易化したもので，簡易化した分ばらつきは大きくなる．しかしながら，コンクリートの強度そのものが，15%程度の変動を示すことを考えれば，変動係数が18%であることは，ばらつきは小さいと判断できる．もっとも，押抜きせん断強度算定式はコンクリート強度の平方根に比例しているので，コンクリート強度の変動係数が15%であっても，強度の変動係数は7.2%程度の影響となる．また平均値は1.24と大きめになる．

ACIの算定式は極めて簡単であり，平均値は1.5と大きいにもかかわらず，その変動係数は21%にとどまっている．

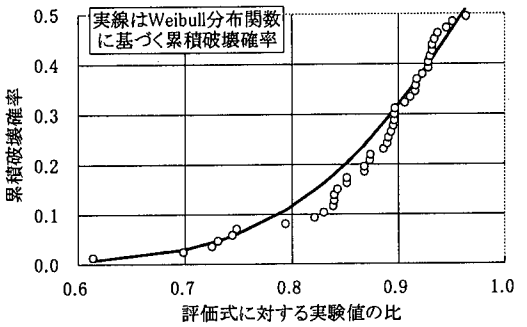

図-13 式(6)による計算結果

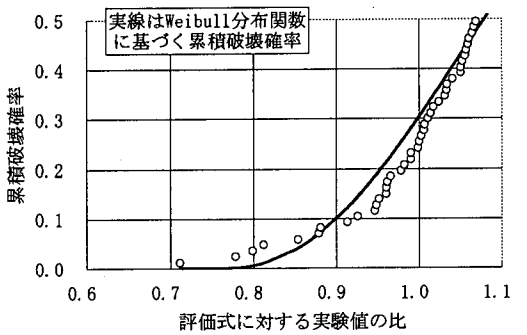

図-14 式(7)による計算結果

実験値と算定式の比を確率変数として，これらが正規分布に従うと仮定して，上式を用いて破壊確率を算出した結果を**図-4～8**に示す．また**図-9**には破壊確率の正規分布状況を算定式ごとに比較して示す．これらによれば松井らの提案式は最も標準偏差が小さく，実験値に近いことがわかる．また，ACI式が最も安全側の値を示す結果となっている．

コンクリート標準示方書において規定されている部材係数1.3という値を破壊確率に相当させると，当然のことながら算定式によって異なり0.4%（示方書式）から4.5%（松井式）の範囲になる．正規分布関数により破壊確率を求める場合には，平均値と標準偏差の両値を用いて標準化作業を行うため，精度とばらつきを総括して評価できる．

現行では，ＲＣはり部材のように延性のあるものに対しても部材安全係数を1.3としている．また，脆性的な破壊を示す床版の押抜きせん断強度の部材安全係数にも同じように1.3を用いている．コンクリート強度は曲げ強度に強い影響を与えないが，押抜きせん断強度には比較的大きい影響を与えている．床版の押抜きせん断強度の算定式におけるコンクリート強度は設計強度が用いられている．設計強度は呼び強度（コンクリート圧縮強度の特性値）を材料係数（一般には1.3が用いられる）で除した値が適用されている．また，呼び強度は割増し係数が適用

表-5 各算定式における Weibull 関数の係数

	μ	α	β
JSCE 式	0.5780	0.2614	0.7458
ACI 式	0.4850	0.3065	1.1325
式(5)	0.7680	0.5272	0.3543
式(6)	0.3245	0.1673	0.6759
式(7)	0.7653	0.4469	0.3695

されているために，床版の押抜きせん断強度に用いる設計用値は相当大きい安全係数が適用されている．この点も含めて考えると，現行のように部材係数を1.3にとることは十分安全に照査していると考えることができる．

b)Weibull分布関数への適用

Weibull 分布の破壊確率は次のように与えられている．これは二重指数関数よりもさらに平均値から外れた範囲での精度がよいとされている関数である．

$$F_i = 1 - L(x_i) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{x_i - \mu}{\beta}\right)^{\frac{1}{\alpha}}\right\} \quad (9)$$

ここで，μ，β および α は実験データから得られる係数である．これらの係数を最小２乗法で求めることは極めて煩雑であるため，分割和法 [16] で求めることにする．分割和法では未知数が３個であれば，３分割し，その代表点を求め，式(9)の μ，β および α を決定しようとするものである．

式(9)を変形すると次のようになる．

$$\alpha K_i = \ln(x_i - \mu) - B \quad (10)$$

ただし，$K_i = \ln\{-\ln(1 - F_i)\}$，$B = \ln\beta$

ここで，３つの係数を求めるため，３点（x_1，F_1），（x_2，F_2）および（x_3，F_3）を代表点とし，３つの連立方程式で，α，μ および B を求める．B と α を消去すると次式が得られる．

$$\frac{K_1 - K_2}{K_3 - K_2} = \frac{\ln(x_1 - \mu) - \ln(x_2 - \mu)}{\ln(x_3 - \mu) - \ln(x_2 - \mu)}$$

$$= \frac{\ln(x_1 - \mu)/(x_2 - \mu)}{\ln(x_3 - \mu)/(x_2 - \mu)} \quad (11)$$

この式から μ を求めることになる．μ が求まれば，α は式(10)から求めることができる．

３つの代表点をどのようにして与えるかについては議論の余地があるところであるが，基本的には破

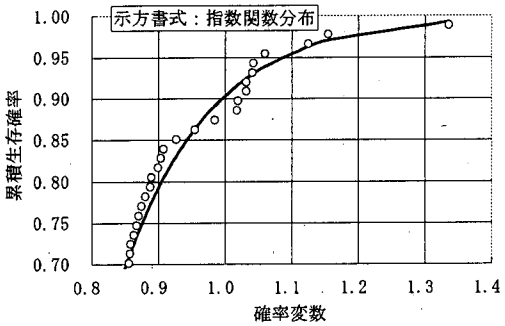

図-15 示方書式による計算結果

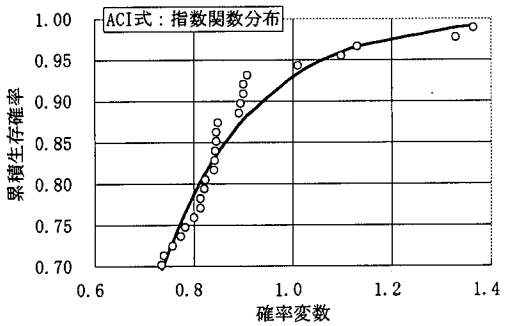

図-16 ACI 式による計算結果

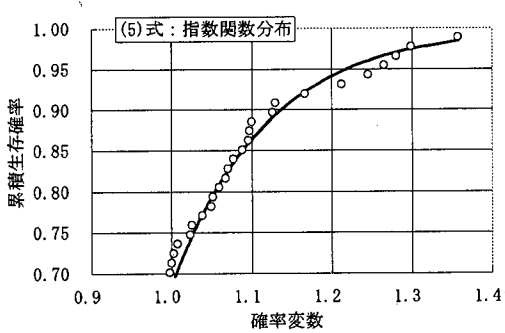

図-17 式(5)による計算結果

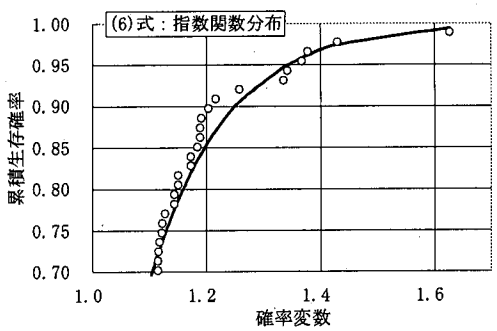

図-18 式(6)による計算結果

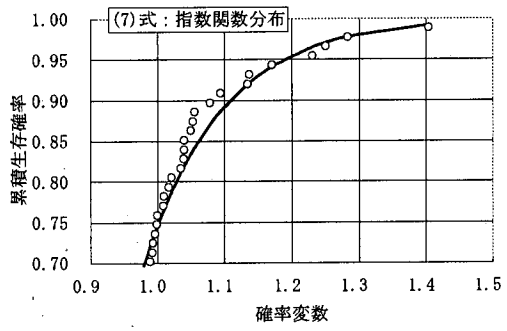

図-19 式(7)による計算結果

壊確率が小さい範囲から抽出することと，信頼できるデータ数の平均値をあたえることである．本研究では，まず一般的な手法として，全データ数 86 個を３分割して代表点とした．すなわち確率変数の小さい方から 28 個，30 個，28 個のデータの平均値とした．その結果を**図-10～14** に示す．

c) 指数分布関数への適用

平均値に対し対称に分布しているデータを指数分布関数に適応するときは指数分布関数の特徴から累積確率が１に近い位置で適合性がよい．そこで，実験値を基準に算定値を評価することとした．すなわち，これまで適応したデータの逆数を新しいデータとして確率分布関数に適応することとした．

累積指数関数は１に漸近し分布関数は単調減少関数である特徴から全データを対象とすることは不適切である．このため本研究においては，危険側半数のデータのみに適応して関数中の係数を求めることとした．

累積指数分布関数は式(12)で表される．ここで，μ は限界値を示すもので，この値より小さいデータが存在しないことになる．例えば，電話の待ち時間等を確率変数にした場合は，負の値が存在せず μ は０となる．

以上より累積生存確率が指数分布関数に従うと仮定すれば，その関数は次式で表される．

$$L = 1 - \exp\{-\lambda(x-\mu)\} \tag{12}$$

ここで，μ および λ は定数であるが，μ は平均値，λ は標準偏差の逆数に相当するので，

$$L = 1 - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \tag{13}$$

で示される．式(13)を変形すると

$$\ln(1-L) = -\frac{x-\mu}{\sigma} \tag{14}$$

あるいは

表-6　各算定式における破壊確率と各関数に従って求めた部材係数γ_bの関係

破壊確率	JSCE			ACI			式(5)			式(6)			式(7)		
	正規分布	Weibull分布	指数分布	正規分布	Weibull分布	指数分布	正規分布	Weibull分布	指数分布	正規分布	Weibull分布	指数分布	正規分布	Weibull分布	指数分布
50%	0.798	0.796	0.779	0.668	0.668	0.636	0.931	0.943	0.942	1.048	1.042	1.022	0.920	0.927	0.912
5%	1.052	1.086	1.088	1.026	1.063	1.066	1.240	1.188	1.220	1.292	1.359	1.347	1.166	1.158	1.192
1%	1.209	1.247	1.304	1.317	1.313	1.366	1.436	1.251	1.414	1.429	1.569	1.575	1.310	1.231	1.389
0.1%	1.454	1.427	1.612	1.929	1.609	1.795	1.744	1.287	1.692	1.620	1.861	1.900	1.521	1.279	1.669

$$\sigma \ln \frac{1}{1-L} = x - \mu \tag{15}$$

ここで，$K = \ln \frac{1}{1-L}$とおくと

$$\sigma K = x - \mu \tag{16}$$

あるいは

$$x = \sigma K + \mu \tag{17}$$

となり，μとσを最小２乗法で求めることができる．μとσを最小２乗法で求める時，次のような方法がある．

$$M = \sum_i (x_i - K_i\sigma - \mu)^2 \tag{18}$$

$$\left[K_i = \ln \frac{1}{1-L_i} = \ln \frac{1}{1-\frac{i}{n+1}} = \ln \frac{n+1}{n+1-i} \right]$$

とおいて，$\frac{\partial M}{\partial \sigma} = 0$および，$\frac{\partial M}{\partial \mu} = 0$から

$$\sum x_i K_i - \sigma \sum K_i^2 - \mu \sum K_i = 0 \tag{19}$$

および

$$\sum x_i - \sigma \sum K_i - n\mu = 0 \tag{20}$$

が得られる．ここで，μとσを求めると，

$$\mu = \frac{\sum K_i^2 \sum x_i - \sum K_i \sum x_i K_i}{A} \tag{21}$$

$$\sigma = \frac{n\sum x_i K_i - \sum K_i \sum x_i}{A} \tag{22}$$

ここで$A = n\sum K_i^2 - \left(\sum K_i\right)^2$である．

いま，$B_1 = \sum K_i$，$B_2 = \sum K_i^2$とおくと，

$$\mu = \sum \left(\frac{B_2 - B_1 K_i}{A} \right) x_i \tag{23}$$

$$\sigma = \sum \left(\frac{nK_i - B_1}{A} \right) x_i \tag{24}$$

で与えられる．汎用性の高い表計算ソフトを使用する場合には，この推計法が適していると思われる．

表-6に各算定式から得られた破壊確率に対する部材係数を示す．部材係数は，部材耐力の計算上の不確実性，部材寸法のばらつきの影響，部材の重要度などによって定められ，ここでは各関数において確率変数が１.0以下になる確率すなわち１.0以下になる部分が破壊確率となるように，算定式に安全係数として除する値と定義できる．すなわち正規分布およびWeibull分布関数においては，求めた確率変数の逆数となる．指数分布関数においては，実験値に対する算定式の比を確率変数としているため，確率変数そのものが部材係数となる．

(2) 確率関数に対する評価

確率関数にはそれぞれの特徴がある．一方，実験データにも本質的なばらつきの他，人為的なばらつきもあり，一概に適用した確率関数の良否を判断することは困難である．

しかしながら，正規分布や他の分布がそれぞれ特徴のある中で，関数値と実験データとの差を検討するにはそれなりの意義がある．そこで，関数値と実験データとの差を知るために次の式で評価した．

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\sum \varepsilon_i^2 / n} \tag{25}$$

表-7　理論値と実測値の誤差の平均二乗和

	データ	JSCE式 $\times 10^{-2}$	ACI式 $\times 10^{-2}$	式(5) $\times 10^{-2}$	式(6) $\times 10^{-2}$	式(7) $\times 10^{-2}$
正規分布	全数	2.826	3.308	3.099	2.348	2.346
	半数	3.041	2.514	2.314	2.053	2.041
Weibull分布	全数	3.883	4.210	3.704	2.604	3.139
	半数	3.829	3.511	3.981	3.179	3.921
指数分布	半数	1.764	2.098	1.253	2.689	2.265

ここで，ε_i は関数値と実験値の差である．$\bar{\varepsilon}$ は全データで求めるのが適当であるが，本研究のように破壊確率１％あるいは５％を論議するために，破壊確率の小さい方から50％のデータをとり，$\bar{\varepsilon}$ を求めた．この結果を**表-7**に示す．**表-7**によれば，正規分布は極値分布のWeibull分布に差がなく（逆にここでは小さい），正規分布で十分評価できることが判明した．もっともWeibull分布の係数を簡易的に求めたところにも若干の問題はある．いずれにしても正規分布は他の分布と比較し，$\bar{\varepsilon}$ は小さい．

(3) 床版の押抜きせん断強度算定式に対する部材係数の提案

表-6によれば，いずれの分布関数も破壊確率50％の安全係数はほとんど同じ値を示している．しかしながら，確率が小さいところでは関数の間に差が出てくる式もある．このようなことになると，議論が続けにくいところもあり，前述のように正規分布関数を仮定して得られた結果に基づいて論議する．

土木学会コンクリート標準示方書およびACIのコンクリート示方書はいずれも安全側をみて評価式を定めている．土木学会コンクリート標準示方書の式はACIのコンクリート示方書の式より，**表-4**からわかるようにばらつきが小さい分，土木学会の算定式は，ACIの算定式より実験値に近い．一方，破壊確率が１％程度になると両者はほとんど同じ程度の安全係数を用いる必要があることを示している．

脆性破壊を示すコンクリート床版においては１％程度の破壊確率で論ずる必要があると思われる．一方において，土木学会の示方書式はコンクリート設計強度を規格値に示し，1.3の安全係数を用いている．コンクリート強度の平方根を算定式に用いるために，この安全係数は $\sqrt{1.3}$ （＝1.1402）となる．この安全係数も含めれば，現行で用いられている安全係数はほぼ妥当なものであろう．

角田ら，松井ら，著者らはあくまで，実験値と算定式の平均値を一致させ，ばらつきを最小にするように試みたものである．したがってこれらの式を用いて照査する際の安全係数は**表-6**に示されている数値となる．その結果，角田らの式，松井らの式で約1.4，著者らの式で1.3程度の安全係数で照査できることになる．

5．今後の展開

2000年6月，スウェーデンのストックホルムにて開催されたInternational Workshop for Punching Shear Capacity of RC Slabsにおいて，50編を超える論文が発表されたことを追記して紹介する．発表内容は，補強および補修方法[17]，実例報告[18]，設計方法の提案[19]，破壊機構の解明[20]，解析手法に関するもの[21]に大別され，多くの貴重な実験データが提供されている．またPC床版に関する内容[22]も１割程度含まれていた．

また，RC床版の強度推定式[23]についても数件発表がなされた．例えば，ユーロコード2における押抜き強度式の改訂報告[19),24]，ACIの式やBSの式などを実構造物の破壊事故へ検証した結果報告[25]，高強度コンクリート実寸供試体試験結果をCEB-FIP MC 90およびユーロコード2へ適用した場合の比較[26]，新しい概念からの推定式の提案[23]などである．しかしながら，本研究で用いた角田ら，松井らの提案式およびその修正式の計算精度は，それらと比較しても極めて良好なものであることを報告する次第である．

6．結語

限界状態設計法にせよ，性能照査設計法にせよ安全係数の設定は避けて通れない面がある．また，性能照査設計法に移行した場合，一般の設計技術者はどのような評価式に対しても同じ安全係数を用いる可能性がある．すなわち，まず評価式によって安全係数が異なることをあらためて認識する必要がある．

本研究において角田ら，松井らの実験結果の他に著者らの実験結果を用いて，示方書の算定式，角田ら，松井らの提案式および著者らによる松井らの修正式に対し，安全係数を求めることを試みた．

また，どの破壊確率を適用するかは極めて困難な面がある．床版の押抜きせん断破壊のように直接に全体破壊につながらない場合には破壊確率は比較的高くてもよいという考え方もある．さらにコンクリート標準示方書のマスコンクリートにおけるひび割れ確率と同様に破壊確率を物差しにするのも一つの方法である．しかしながら，現行示方書をみるともう少し断定的な決定法が望まれているようである．このことを勘案すれば安全係数という指標を用いざるを得ない．以下に本研究で得られた結論を示す．

(1) どのような算定式であれ，その式に対する安全係数を見出す必要があり，それぞれの論理性に基づいている限り，その式が実験値と合う，合わないは大きい問題ではない．
(2) 安全係数という指標を導入するならば，また破壊確率を１％程度に考えるならば，土木学会のコンクリート標準示方書に対する安全係数は1.3と考えてよい．
(3) 確率関数として，正規確率分布関数は比較的小さい値に対してもデータとよく一致しており，１％程度の問題の場合はこの関数を用いても差し支えないと判断できる．

謝辞：本研究を行う際に，北海道大学教授の角田与史雄先生および大阪大学教授の松井繁之先生が実施され発表された実験データを引用させていただきました．ここに多大なる感謝の意を表します．

参考文献

1) 平成８年度版コンクリート標準示方書設計編，p.100，土木学会，1996.
2) 小柳　洽：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断とその設計上の取扱い，コンクリート工学，Vol.19，No.8，1981.
3) Report of ACI-ASCE Committee 326 : Shear and Diagonal Tension, Part 3 - Slabs and Footings, *Journal of ACI*, Vol.59, No.3, pp.353-396, 1962.3.
4) Joint ASCE-ACI Task Committee 426 : The Shear Strength of Reinforced Concrete Members － Slabs, *Proceedings of ASCE*, Vol.100, No. ST8, pp.1543-1591, 1974.8.
5) Criswell, M.E. and Hawkins, N.M. : Shear Strength of Slabs ; Basic Principle and Their Relation to Current Methods of Analysis, Shear in Reinforced Concerete, *ACI SP-42*, Vol.2, pp.641-676, 1974.
6) Zdenek P. Bazant and Zhiping Cao : in Punching Shear Failure of Slabs, *ACI Structural Journal*, pp.44-53, 1987.
7) Judithe J. Stalnaker and Ernest C. Harris : Behavior of a Thick Circular Reinforced Concrete Slab under Two-Way Bending, *ACI Structural Journal*, pp.113-118, 1987.
8) Regan, P.E. and Rezai-Jorabi, H. : Shear Resistance of One-Way Slabs under Concentrated Loads, *ACI Structural Journal*, pp.150-157, 1988.
9) Fernando Gonzalez-Vidosa, Michael D. Kotsovos and Milija N. Pavlovic : Symmetrical Punching of Reinforced Concrete Slabs: An Analytical Investigation Based on Nonlinear Finite Element Modeling, *ACI Structural Journal*, pp.241-250, 1988.
10) Gardner, N.J. and Shao, X. : Punching Shear of Continuous Flat Reinforced Concrete Slabs, *ACI Structural Journal / March-April*, pp.218-228, 1996.
11) 赤塚雄三，関　博：周辺補剛ばりを有する鉄筋コンクリートスラブの終局耐力について，コンクリートジャーナル，Vol.7，No.10，pp.1-7，1969.10.
12) 徳光善治，石川達夫，松下博通，太田正彦：周辺補剛ばりを有する鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断破壊に関する実験，セメント技術年報，24巻，pp.196-501，1970.
13) ACI Committee 318 : Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83), ACI, 1983.
14) 角田与史雄，井藤昭夫，藤田嘉夫：鉄筋コンクリートスラブの押抜きせん断耐力に関する実験的研究，土木学会論文報告集，第229号，pp.105-115，1974.9.
15) 前田幸雄，松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第348号/V-1，pp.133-141，1984.8.
16) 沼倉三郎：測定値計算法，森北出版，1956.1.
17) 例えば，Ramos,A., Lucio,V. and Regan,P. : Repair and strengthening methods of flat slabs for punching, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.125-133, 2000.
18) 例えば，Reineck, K-H., Beutel, R. and Staller, M. : Design models and test data bank for punching of structural concrete slabs: the fib Bulletin on "Punching of structural concrete slabs" dedicated to Prof.S.Kinnunen, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.261-275, 2000.
19) 例えば，Walraven, J.C. : Design of structures for punching: present status of revision of Eurocode 2, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.211-224, 2000.
20) 例えば，Ozawa, M., Uchida, Y. and Koyanagi, W. : Study on the process on punching shear failure of RC slabs, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.277-284, 2000.
21) 例えば，An,X., Maekawa,K., Tanabe,S. and Saito,S. : 3D FEM analysis of pulling out shear fracture behaviour for RC footing supported by piles, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.57-64, 2000.
22) 例えば，Gardner,N.J. and Sharifi,H. : Punching strength of edge column slab connections of unbonded post-tensioned flat plates, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*,

pp.431-439, 2000.

23) 例えば, Dechka, D.C., Loov, R.E. and Dilger, W. : Prediction of punching shear capacity by shear friction, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.285-292, 2000.

24) Braestrup, M.W. : Eurocode 2 approach to punching shear design, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.245-252, 2000.

25) Gardner, N.J., Jungsuck, H. and Chung, L. : What can we learn from the Sampoong department store collapse, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.225-233, 2000.

26) Sherif, A.G. and Dilger, W.H. : Punching failure of a full scale high strength concrete flat slab, *International Workshop on Punching Shear Capacity of RC Slabs – Proceedings*, pp.235-243, 2000.

(2000. 7. 3 受付)

ON THE MEMBER SAFETY FACTOR BASED ON FAILURE PROBABILITY OF PUNCHING SHEAR OF RC SLABS

Sumio HAMADA, Eiji MATSUO and Yasushi FUJIOKA

Present member safety factors for punching shear strength of RC slabs in the specification of Japan Society of Civil Engineers have been determined on the engineering experiences and it is lacking in a theoretical basis.

In this study, the accuracy and dispersion of the various calculation formulas proposed before were examined. In order to calculate more appropriate failure probability, several probability distribution functions were applied to each calculation results, considering the ratio of calculation to the experimant as a variable. Calculating method of safety factor for the RC slab member was proposed.