



鉛直荷重を受ける4本くい支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-03-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 大築, 和夫, 土屋, 勉 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/1098

鉛直荷重を受ける4本くい支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

その他（別言語等） のタイトル	Experimental Study on Shearing Strength of Four Pile Caps
著者	大築 和夫, 土屋 勉
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	35
ページ	25-42
発行年	1985-11-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/1098

鉛直荷重を受ける4本くい支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

大 築 和 夫・土 屋 勉

Experimental Study on Shearing Strength of Four Pile Caps

Kazuo Ohtsuki and Tsutomu Tsuchiya

Abstract

In this paper ninety-eight reinforced concrete pile caps, each with four piles, were tested under vertical load. The variables involved were spacing of piles, arrangement of reinforcement, side length of column, side length of pile cap and depth of pile cap. For all pile caps final failure was in shear. In the shear failure three typical forms were recorded. The first was the punching failure by the column punching through the pile cap. The second was the one similar to that in a wide beam, with the pile cap splitting into halves which were displaced vertically relative to one another. The third was the shearing failure in which the corners of pile cap were broken off.

In regard to the ultimate shearing strength the results of the test were compared with the values calculated according to the provision for the shear in A. I. J. Building Code Requirements for Reinforced Concrete(1982), to that in A. C. I. Building Code Requirements for Reinforced Concrete(ACI 318-83), to the equations proposed by others and to that by authors.

To conclude the discussions the calculated values according to the author's equations and to the provision for the punching shear in A. I. J. Building Code agreed well with the experimental results.

1. 緒 言

フーチングに関する既往の研究の多くは地盤支持フーチングを対象としたものであり、くい支持独立フーチングを対象としたものは、国の内外を問わず著者らの知る限りでは極めて少ない^{1~5)}。そのため、くい支持フーチングの設計は地盤支持フーチングのそれに準じて行われており、その妥当性については未だ十分な検討がなされていないように思われる。また、我国では基礎形式をくい支持フーチングとした建物が多く、更に、保有耐力を明らかにすることが要求される現在、当然くい支持フーチング基礎についても終局耐力を明らかにしておく必要があると考える。

くい支持フーチングに関する既往の研究概要については文献6)で述べたが、くい支持フーチングのせん断耐力を十分に検討しているものは見当たらない。また、地盤支持フーチングを含むス

ラブのせん断耐力に関する既往の研究概要については文献9)に報告されているが、それらの研究はいずれも押抜きせん断(パンチング)に関するものであり、くい支持独立フーチングの実験で見られる多様なせん断破壊形式については何ら言及していない。

以上の観点から、著者らはこれまでくい支持独立フーチングについて、実験および理論解析の両面から一連の研究を行い、それらを建築学会論文報告集^{6~8)}に発表してきた。本報はそれらの実験結果、およびその後建築学会大会学術講演梗概集ならびに同北海道支部研究報告集に発表してきた実験結果^{10~18)}の中から、せん断破壊により終局に達した98体の試験体を取上げ、その破壊形式を分類し、それらの耐力性状について検討を加え、4本くい支持独立フーチングのせん断耐力について取りまとめたものである。

2. 実験の概要

2.1 試験体

実験を行った試験体は表-1に示す98体の4本くい支持独立フーチング模型からなり、いづれも実物の1/2~1/3程度の大きさである。

試験体はⅦシリーズに分けられる。

シリーズⅠの試験体(番号1~2)は他の目的をも含めて予備実験として行ったものの中の2体であるため、それらのプロポーシオンおよび鉄筋量は普通考えられるものとは若干異っている。

シリーズⅡの試験体(番号3~8)は耐力性状に及ぼす柱断面寸法の影響を検討することを目的としたものであって、鉄筋比およびくい支点間隔を同一として柱面に接する断面からくい支点中心までの最短水平距離を d 、 $0.5d$ 、 $0.25d$ (d は板の有効せい)となるように柱断面寸法を変えた。

シリーズⅢの試験体(番号9~20)は配筋法およびくい型の有無の影響を明らかにすることを目的としたものであって、試験体のプロポーシオンおよび鉄筋量はほぼ同一である。番号9、10は板平面全体に均等配筋したものの、番号11、12は上記と同様に配筋し、くい支点位置に径15cm長さ15cmのコンクリート円柱を一体打ちしたものの、番号13、14は建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準'75年版に記されているように有効幅内と幅外の鉄筋比の割合を2:1としたものの、番号15、16および17、18は、それぞれ、くい上に井形およびX形に集中配筋したものの、番号19、20は均等配筋とし、鉄筋端部を板上部まで曲げ上げたものである。

以上の3シリーズは主としてパンチング破壊により終局に達することを期待して設計された。

シリーズのⅣの試験体(番号21~44)のうち番号21~26のものはパンチング耐力に及ぼす板厚の影響を検討することを目的として、板厚のみを変化させた。その他のものはくい支点とフーチング周辺間距離、くい間隔および板厚の一方(全板幅)せん断耐力に及ぼす影響を検討するために設計された。

鉛直荷重を受ける4本くい支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

表-1(1) 試験体の諸元

番号	試験体 記号	板辺長 lx × ly (cm)	柱辺長 Cx × Cy (cm)	杭間隔 lx × Ly (cm)	板厚 (有効厚) (cm)	配筋		Fc* (kg/cm ²)
						x 方向	y 方向	
1	SD-1	90 × 90	18 × 18	60 × 60	15 (12)	15-D13@60	15-D13@60	210
2	2	90 × 90	18 × 18	60 × 60	15 (12)	15-D13@60	15-D13@60	220
3	3	80 × 80	14 × 14	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	268
4	4	80 × 80	14 × 14	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	241
5	5	80 × 80	29 × 29	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	223
6	6	80 × 80	29 × 29	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	245
7	7	80 × 80	36.5x 36.5	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	259
8	8	80 × 80	36.5x 36.5	44 × 44	20 (15)	12-D10@60	12-D10@60	259
9	9	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	211
10	10	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	224
11	11	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	194
12	12	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	188
13	13	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@72.5	10-D13@72.5	208
14	14	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@72.5	10-D13@72.5	214
15	15	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@30	10-D13@30	188
16	16	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@30	10-D13@30	202
17	17	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	7-D13@30	7-D13@30	190
18	18	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	7-D13@30	7-D13@30	175
19	19	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	213
20	20	90 × 90	20 × 20	50 × 50	25 (20)	10-D13@80	10-D13@80	199
21	SD25-1	90 × 90	24 × 24	54 × 54	25 (20)	8-D13@105	8-D13@105	244
22	2	90 × 90	24 × 24	54 × 54	25 (20)	8-D13@105	8-D13@105	269
23	SD30-1	90 × 90	24 × 24	54 × 54	30 (25)	10-D13@80	10-D13@80	221
24	2	90 × 90	24 × 24	54 × 54	30 (25)	10-D13@80	10-D13@80	234
25	SD35-1	90 × 90	24 × 24	54 × 54	35 (30)	12-D13@65	12-D13@65	224
26	2	90 × 90	24 × 24	54 × 54	35 (30)	12-D13@65	12-D13@65	246
27	SDW20-3	80 × 80	30 × 30	50 × 50	20 (15)	8-D13@90	8-D13@90	246
28	4	80 × 80	30 × 30	50 × 50	20 (15)	8-D13@90	8-D13@90	228
29	5	90 × 90	30 × 30	50 × 50	20 (15)	9-D13@90	9-D13@90	243
30	6	90 × 90	30 × 30	50 × 50	20 (15)	9-D13@90	9-D13@90	239
31	SDW25-1	70 × 70	30 × 30	50 × 50	25 (20)	7-D13@90	7-D13@90	263
32	2	70 × 70	30 × 30	50 × 50	25 (20)	7-D13@90	7-D13@90	248
33	3	80 × 80	30 × 30	50 × 50	25 (20)	8-D13@90	8-D13@90	227
34	4	80 × 80	30 × 30	50 × 50	25 (20)	8-D13@90	8-D13@90	269
35	5	90 × 90	30 × 30	50 × 50	25 (20)	9-D13@90	9-D13@90	225
36	6	90 × 90	30 × 30	50 × 50	25 (20)	9-D13@90	9-D13@90	226
37	SDW30-3	80 × 80	30 × 30	50 × 50	30 (25)	8-D13@90	8-D13@90	234
38	4	80 × 80	30 × 30	50 × 50	30 (25)	8-D13@90	8-D13@90	246
39	5	90 × 90	30 × 30	50 × 50	30 (25)	9-D13@90	9-D13@90	225
40	6	90 × 90	30 × 30	50 × 50	30 (25)	9-D13@90	9-D13@90	228
41	SDWs25-1	70 × 70	30 × 30	42 × 42	25 (20)	7-D13@90	7-D13@90	248
42	2	70 × 70	30 × 30	42 × 42	25 (20)	7-D13@90	7-D13@90	262
43	3	80 × 80	30 × 30	42 × 42	25 (20)	8-D13@90	8-D13@90	260
44	4	80 × 80	30 × 30	42 × 42	25 (20)	8-D13@90	8-D13@90	270
45	DRC1-1	90 × 90	24 × 24	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	256
46	2	90 × 90	24 × 24	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	275
47	DRC1.5-1	90 × 90	19.6x 29.4	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	269
48	2	90 × 90	19.6x 29.4	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	274
49	DRC2-1	90 × 90	17 × 34	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	263
50	2	90 × 90	17 × 34	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	258
51	3	90 × 90	16 × 32	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	255
52	4	90 × 90	16 × 32	50 × 50	30 (25)	11-D13@75	11-D13@75	260
53	DRF1.25-1	102.5x 90	30 × 24	62.5x 50	30 (25)	11-D13@75	13-D13@75	253
54	2	102.5x 90	30 × 24	62.5x 50	30 (25)	11-D13@75	13-D13@75	251
55	DRF1.5-1	115 × 90	36 × 24	75 × 50	30 (25)	11-D13@75	14-D13@75	272
56	2	115 × 90	36 × 24	75 × 50	30 (25)	11-D13@75	14-D13@75	260

表-1(2) 試験体の諸元

番号	試験体 記号	板辺長 $l_x \times l_y$ (cm)	柱辺長 $C_x \times C_y$ (cm)	杭間隔 $L_x \times L_y$ (cm)	板厚 (有効厚) (cm)	配筋		F_c^* (kg/cm ²)
						x 方向	y 方向	
57	SDC20-1	90 x 90	24 x 24	45 x 26	20 (15)	8-D13@105	8-D13@105	271
58	2	90 x 90	24 x 24	45 x 26	20 (15)	8-D13@105	8-D13@105	271
59	3	90 x 90	16 x 16	45 x 26	20 (15)	8-D13@105	8-D13@105	258
60	4	90 x 90	16 x 16	45 x 26	20 (15)	8-D13@105	8-D13@105	258
61	SDC30-1	90 x 90	24 x 24	45 x 26	30 (25)	13-D13@60	13-D13@60	269
62	2	90 x 90	24 x 24	45 x 26	30 (25)	13-D13@60	13-D13@60	268
63	DRW1-1	120 x 80	30 x 30	45 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	275
64	2	120 x 80	30 x 30	45 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	275
65	2-1	120 x 80	30 x 30	55 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	265
66	2	120 x 80	30 x 30	55 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	270
67	3-1	120 x 80	30 x 30	65 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	278
68	2	120 x 80	30 x 30	65 x 45	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	272
69	4-1	120 x 80	30 x 30	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	273
70	2	120 x 80	30 x 30	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	269
71	5-1	120 x 80	30 x 30	55 x 35	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	264
72	2	120 x 80	30 x 30	55 x 35	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	267
73	6-1	120 x 80	30 x 40	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	269
74	2	120 x 80	30 x 40	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	266
75	7-1	120 x 80	40 x 30	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	263
76	2	120 x 80	40 x 30	55 x 55	25 (20)	12-D13@60	18-D13@60	269
77	DEL12.5-1	120 x 70	30 x 30	50 x 45	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	224
78	2	120 x 70	30 x 30	50 x 55	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	222
79	DEL16-1	120 x 77	30 x 30	50 x 45	25 (20)	11-D13@65	17-D13@65	222
80	2	120 x 77	30 x 30	50 x 45	25 (20)	11-D13@65	17-D13@65	212
81	DEL19.5-1	120 x 84	30 x 30	50 x 45	25 (20)	12-D13@65	17-D13@65	222
82	2	120 x 84	30 x 30	50 x 45	25 (20)	12-D13@65	17-D13@65	227
83	DEL23-1	120 x 91	30 x 30	50 x 45	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	226
84	2	120 x 91	30 x 30	50 x 45	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	212
85	DPL31-1	120 x 70	30 x 30	50 x 31	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	221
86	2	120 x 70	30 x 30	50 x 31	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	225
87	DPL38-1	120 x 77	30 x 30	50 x 38	25 (20)	11-D13@65	17-D13@65	227
88	2	120 x 77	30 x 30	50 x 38	25 (20)	11-D13@65	17-D13@65	226
89	DPL52-1	120 x 91	30 x 30	50 x 52	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	218
90	2	120 x 91	30 x 30	50 x 52	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	233
91	DPLs31-1	120 x 63	30 x 30	50 x 31	25 (20)	9-D13@65	17-D13@65	224
92	2	120 x 63	30 x 30	50 x 31	25 (20)	9-D13@65	17-D13@65	233
93	DPLs38-1	120 x 70	30 x 30	50 x 38	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	228
94	2	120 x 70	30 x 30	50 x 38	25 (20)	10-D13@65	17-D13@65	220
95	DPLs52-1	120 x 84	30 x 30	50 x 52	25 (20)	12-D13@65	17-D13@65	220
96	2	120 x 84	30 x 30	50 x 52	25 (20)	12-D13@65	17-D13@65	220
97	DPLs59-1	120 x 91	30 x 30	50 x 59	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	227
98	2	120 x 91	30 x 30	50 x 59	25 (20)	13-D13@65	17-D13@65	219

* F_c : 試験時コンクリート圧縮強度

シリーズVの試験体(番号45~56)のうち番号45~52は柱断面形状のみを変化させたもの、番号53~56は柱断面形状とくい間を結ぶ形が相似となるようにしたものであり、本シリーズはそれらの形状の違いの破壊性状に及ぼす影響を見るために計画されたものである。

シリーズVIの試験体(番号57~76)のうち番号57~62は本来初ひびわれ荷重を検討するために実験されたものであるが、柱断面と板厚を変え、パンチング破壊により終局に達することを期待

して設計された。番号63～76は一方向せん断破壊することを期待して設計されたものであり、せん断破壊の生ずる方向を限定するために板平面を長方形とした。これらの試験体ではくい間隔および柱断面を変化させ、一方向せん断破壊に及ぼすそれらの影響を検討することを目的とした。

シリーズⅦの試験体(番号77～98)はシリーズⅥの試験体と同様に一方向せん断破壊により終局に達することを期待して設計されたものであって、くい心と板縁間距離およびくい間隔を変化させ、一方向せん断破壊に及ぼすそれらの影響を明らかにすることを目的とした。

なお、以上の試験体はいずれも柱型の高さを20cmとした。

コンクリートに使用した粗骨材は鶴川産、細骨材は富岸産、セメントは普通ポルトランドセメントである。骨材の粗粒率ならびにコンクリートの調合を表-2に示す。

表-2 骨材の粗粒率およびコンクリートの調合

実 験 シリーズ	番 号	骨 材				コ ン ク リ ー ト の 調 合						
		砂 (mm)	砂 利 (fm)	砂 利 (mm)	砂 利 (fm)	調合強度 (kg/cm ²)	S ϕ (cm)	W/C (%)	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	砂 (kg/m ³)	砂 利 (kg/m ³)
I	1～2	≤5	3.20	≤20	6.20	240	18	62	174*	280	899	964
II	3～8	≤5	3.00	≤25	6.90	300	18	58	161	278	970	1034
III	9～20	≤5	3.26	≤20	6.75	240	18	67	153	229	982	1055
IV	21～44	≤5	2.99	≤25	6.91	240	18	63	179	284	893	1030
V	45～56	≤5	2.80	≤25	6.90	240	18	63	167	265	963	1014
VI	57～76	≤5	2.80	≤25	6.90	240	18	63	167	265	963	1014
VII	77～98	≤5	2.70	≤20	6.77	240	18	63	168	267	970	1014

砂：富岸産，砂利：鶴川産

* ビンゾール 122(cc/m³)

鉄筋はいずれも熱間圧延異形棒鋼を用い、各シリーズごとにランダムに抽出した10本以上の試験片による引張試験結果は表-3のようであった。なお、シリーズⅠの試験体を除き、鉄筋端にはフックを設けた。

試験体の成形にはメタルフォームを用い、コンクリートの打設は先ずフーチングの板部分について行い、シリーズⅠでは翌日、その他のシリーズでは5～6時間後に柱型について行った。その後、柱型頂部のキャッピング(シリーズⅠで材令3日、その他では材令1日)および型枠取りはずし(シリーズⅠでは材令6日、その他では材令3日)に要した短時間を除き、シリーズⅠでは材令28日まで、シリーズⅡ～Ⅳでは材令2週まで、その他では190～200kg/cm²の強度発現を見るまで、全面をビニールシートで覆い、以降、シートを除いて試験時まで実験室内で気中養生した。また、試験体製作時に各試験体毎に15cm ϕ ×30cmの円柱供試体を数本製作し、試験体と同じ条件で養生し、そのうち3本を試験時に圧縮試験し、その他を割裂試験および強度発現を見るために使用した。圧縮試験結果の3本の平均値は表-1の右欄に示した通りである。

2.2 実験方法

載荷はシリーズ I
 ～IVではアムスラー
 型圧縮試験機（最大
 容量 200 ton）の
 テーブル上に十字型
 の載荷台、球座受、
 球座、試験体の中心
 と支点を結ぶ方向に
 移動するローラー、

表-3 鉄筋の引張試験結果

実験 シリーズ	番 号	鉄筋	断面積 (公称) (cm^2)	降伏点応力度 (kg/cm^2)	引張強さ (kg/cm^2)	破断伸び (%)
I	1～2	D13	1.267	3660	5260	27.8
II	3～8	D10	0.713	3890	5440	27.8
III	9～20	D13	1.267	4000	5800	27.5
IV	21～44	D13	1.267	3980	5750	24.8
V	45～56	D13	1.267	4000	5790	23.8
VI	57～76	D13	1.267	3770	5420	26.0
VII	77～98	D13	1.267	3790	5410	26.6

長方形載荷板を重ね、更に厚さ 3 cm、直径15cmの鋼板製円形載荷板を介して試験体を置き、擬静的に行われた。シリーズ V～VIIでは、フーチング平面ならびにくい配置が必ずしも正方形ではないので、上記の載荷装置のうち十字型載荷台を 2 本の梁に、試験体の中心と支点を結ぶ方向に移動するローラーを厚さ 4 cmの鋼板を介して互いに直交する 2 段重ねのローラーに取替え、支点部分が任意方向に移動できるようにした。

なお、各支点の反力を検出するために検長 5 mmのワイヤーストレンゲージを球座受けに貼付して、予め荷重-ひずみ関係を計測しておき、ロードセルとして用いた。ロードセルの検出精度は 80kgである。実験結果によれば、アムスラー試験機の指示荷重に対する反力の和の比は 1.0 ± 0.02 の範囲にあった。また、最大荷重直前までの全荷重段階について各支点の反力と全荷重の比の値との比を求めた結果、比の値が1.0からかけ離れたものも見られたが、それらの多くは低荷重時に多く、大多数のものは 1.0 ± 0.15 の範囲内において、荷重が大きくなるにつれて1.0に収束する傾向が見られた。このように、試験体によっては各支点に必ずしも均等な反力を生じなかったが、実験結果にはこの反力の不均衡によると思われる特別な現象は見られなかった。

試験時に板底面各点の垂直変位を最小目盛1/100mmのダイヤルゲージを用いて計測した。くい支点の両側に配したダイヤルゲージによる計測値を直線補間して支点中心の変位を推定し、この変位に対する板底面中央点の変位を求めたわみとした。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊形式

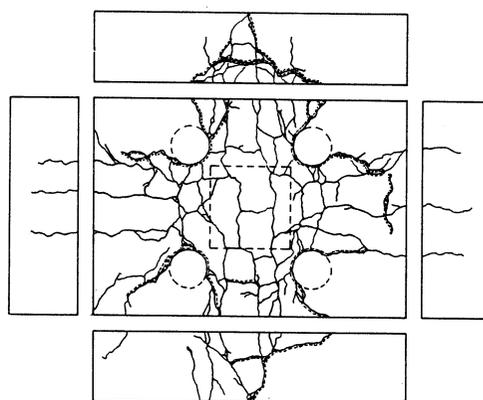
実験で見られた破壊状況のうち、ここでは本論に直接関係する終局耐力（最大荷重）時の破壊形式のみについて述べる。

本報で取上げた98体の試験体では最大荷重を示した後、急激に載荷能力が低下し、荷重-たわみ関係はいずれも典型的なせん断破壊を示すものであった。

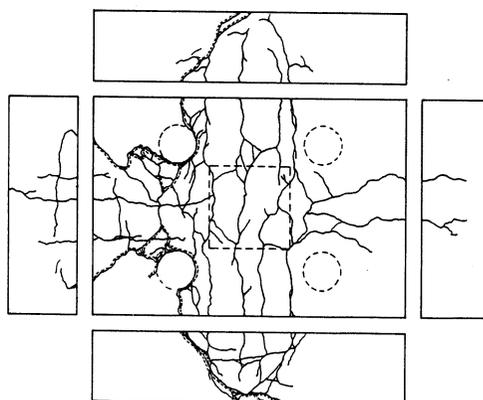
破壊形式として実験計画段階では鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁹⁾の分け方と同様にパンチングと一方向せん断破壊を想定していたが、実験結果を整理した結果、破壊形式は大別して3つのタイプに分けることが出来る。それらの代表的な例として、板底面および板側面のひびわれパターンを図-1に示す。図中破線で示した○印は支点、同じく□印は柱断面、点線は最大荷重以降に大きく開口したひびわれを示す。

図(a)はパンチング破壊の例である。この破壊は、最大荷重時に支点周囲が板内にめり込み、同時に柱脚が全周に渡って板内に貫入し、隣接する支点間を結ぶ線に沿って生じたひびわれが顕著に開口して急激に荷重が低下するものである。この場合、支点と板周辺間距離の短いものでは荷重が最大荷重の50%程度まで低下し、変形が増大した段階で、図にも見られるように板側面に、板底面と平行あるいはゆるやかな凸形に進展するひびわれを生ずるものもある。

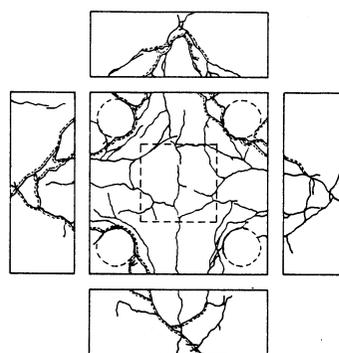
図(b)は一方向せん断破壊の例である。この破壊は、最大荷重時に相対する板側面に、それまでに生じていた曲げひびわれから派生した斜めひびわれ、あるいはそれまでに生じていたひびわれとは無関係に新たな斜めひびわれが突如として発生し、同時に板底面では隣接する2ヶ所の支点の周囲が板内にめり込み、両支点を結ぶ線に沿ったひびわれが顕著になり、柱脚部の約半周が板内に貫入する形となって急激に荷重が低下し、全板幅に渡ってせん断破壊を起すものである。



(a) DRW 1-1



(b) DRW 2-2



(c) SDW-25-2

図-1 破壊状況

図(c)は本報で著者らが新しく定義する破壊形式で、隅角せん断破壊と呼ぶことにする。この破壊は、最大荷重時に隣接する板の2側面、あるいはそれ以上の側面に上記と同様の斜めひびわれを生じ、板底面では支点の周囲が板内にめり込み、柱脚部のほぼ全周が板内に貫入し、各支点を中心に隅角部が欠け落ちる形となるものである。

以上の定義に従って各試験体の破壊形式を分類し、表-4の破壊形式の欄に記号で示した。表中、Pはパンチング破壊、Dは一方向せん断破壊、Sは隅角せん断破壊を表わし、D・Pは隅角せん断破壊とパンチング破壊が同時に起きたと見られるものである

3.2 既往のせん断終局耐力式との比較

表-4(1)～(3)にせん断耐力設計式およびせん断終局耐力に関する諸家の式によって求めた値 P_{cal} を最大荷重実験値 P_u と共に示した。表中()内は計算値 P_{cal} に対する最大荷重実験値 P_u の比(P_u/P_{cal})を、★印は実験で見られた破壊形式と計算式のそれとが一致するものを示す。

また、表-4(3)の最下欄には比の平均、標準偏差および変動率を掲げた。

RC規準'82方式の値はコンクリートのせん断強度を $F_c/10$ として、鉄筋コンクリート構造計算規準¹⁹⁾のフーチングの設計に関する条項に則って求めたものである。これらの値のうち、先ず、実験の破壊形式と計算式のそれとが一致するもの(★印を付したもの)について比較すると(表-4(3)の(1)の欄)、一方向せん断破壊したものでは比の平均が1.96、標準偏差が0.537となり、実験値は計算値の2倍近くバラツキも非常に大きい。これに対してパンチング破壊したものでは比の平均が0.93、標準偏差が0.148となり、実験値と計算値は概ね対応していると言える。

次に、計算式の破壊形式と実験のそれとが異なるものについて比較すると(表中(2)の欄)、パンチングおよび隅角破壊した試験体では、一方向せん断耐力計算値に対する比の平均が1.48となり、計算値は大多数のものが実験値を下回っている。従って、これらの試験体は計算上一方向せん断破壊することになるが、実験ではそのような破壊は見られず計算値と実験の破壊形式との間に矛盾が見られる。これに対して一方向および隅角せん断破壊した試験体では、パンチング耐力計算値に対する実験値の比の平均が0.74となり、番号28～30の試験体では、計算値は実験値を幾分下回っているが、その他の試験体では、計算値は実験値を上回り、実験でパンチング破壊しなかったことと対応していると言える。

一方向およびパンチング耐力計算値のいずれか小さい方の値と実験値を比較すると(表中(3)の欄)、比の平均は1.65、標準偏差は0.482となり、計算値は実験値と大きくかけ離れている。

表-4(1) セン断終局耐力計算値

番号	破壊形式**	最大荷重 実験値 Pu	R C 規 準 '82 方式		C I Code		Hognestad	Elstner- Hognestad	Whitney	Moe	角田・井藤・藤田	
			一 方 向	パンチング	一 方 向	パンチング	Pcal ($\frac{R_u}{P_{cal}}$)	Pcal ($\frac{R_u}{P_{cal}}$)	Pcal ($\frac{P_u}{P_{cal}}$)			
			Pcal ($\frac{R_u}{P_{cal}}$)	Pcal ($\frac{P_u}{P_{cal}}$)								
1	P	31.5	39.7 (0.88)	36.3*(0.97)	30.8 (1.14)	20.2*(1.74)	34.3*(1.02)	32.6*(1.08)	53.3*(0.66)	35.1*(1.00)	36.1*(0.97)	
2	P	34.0	41.6 (0.82)	38.0*(0.89)	31.2 (1.09)	20.7*(1.64)	35.2*(0.97)	33.2*(1.02)	53.7*(0.63)	35.8*(0.95)	37.0*(0.92)	
3	P	42.8	56.3 (0.76)	54.4*(0.79)	58.1 (0.74)	26.9*(1.59)	37.1*(1.15)	33.9*(1.26)	46.3*(0.92)	39.0*(1.10)	34.5*(1.24)	
4	P	44.4	50.6 (0.88)	48.9*(0.91)	55.8 (0.80)	25.5*(1.74)	35.1*(1.26)	32.7*(1.36)	45.9*(0.97)	37.4*(1.19)	33.5*(1.33)	
5	P	87.5	46.8 (1.87)	101.3*(0.86)	76.0 (1.15)	54.8*(1.60)	68.9*(1.27)	64.4*(1.36)	90.6*(0.97)	67.7*(1.29)	42.8*(2.04)	
6	P	100.0	51.5 (1.94)	111.3*(0.90)	79.7 (1.25)	57.5*(1.74)	72.4*(1.38)	66.4*(1.51)	91.1*(1.10)	70.3*(1.42)	43.9*(2.28)	
7	S	132.0	72.5 (1.82)	278.2 (0.47)	98.4 (1.34)	139.9 (0.94)	112.7 (1.17)	98.0 (1.35)	142.2 (0.93)	94.4 (1.40)	49.7 (2.66)	
8	S	146.0	72.5 (2.01)	278.2 (0.52)	98.4 (1.48)	139.9 (1.04)	112.7 (1.30)	98.0 (1.49)	142.2 (1.03)	94.4 (1.55)	49.7 (2.94)	
9	P	78.4	66.5 (1.18)	79.1*(0.99)	83.2 (0.94)	44.0*(1.78)	63.9*(1.23)	60.6*(1.29)	94.4*(0.83)	67.9*(1.15)	51.8*(1.51)	
10	P	84.0	70.6 (1.19)	84.0*(1.00)	85.7 (0.98)	45.4*(1.85)	65.9*(1.27)	61.8*(1.36)	94.8*(0.89)	69.6*(1.21)	52.6*(1.60)	
11	P	83.0	61.1 (1.36)	72.7*(1.14)	79.8 (1.04)	42.2*(1.97)	61.2*(1.36)	58.9*(1.41)	93.9*(0.88)	65.6*(1.27)	50.7*(1.64)	
12	P	83.5	59.2 (1.41)	70.5*(1.18)	78.5 (1.06)	41.6*(2.01)	60.2*(1.39)	58.3*(1.43)	93.7*(0.89)	64.7*(1.29)	50.3*(1.66)	
13	P	82.0	65.5 (1.25)	78.0*(1.05)	82.6 (0.99)	43.7*(1.88)	63.5*(1.29)	60.3*(1.36)	94.3*(0.87)	67.5*(1.21)	51.6*(1.59)	
14	P	84.0	67.4 (1.25)	80.2*(1.05)	83.8 (1.00)	44.3*(1.90)	64.4*(1.30)	60.9*(1.38)	94.5*(0.89)	68.3*(1.23)	52.0*(1.62)	
15	P	80.0	59.2 (1.35)	70.5*(1.13)	78.5 (1.02)	41.6*(1.92)	60.2*(1.33)	58.3*(1.37)	93.7*(0.85)	64.7*(1.24)	50.3*(1.59)	
16	P	82.0	63.6 (1.29)	75.7*(1.08)	81.4 (1.01)	43.1*(1.90)	62.5*(1.31)	59.7*(1.37)	94.1*(0.87)	66.7*(1.23)	51.2*(1.60)	
17	P	80.0	59.9 (1.34)	71.2*(1.12)	78.9 (1.01)	41.8*(1.91)	60.4*(1.32)	58.4*(1.37)	93.1*(0.86)	64.9*(1.23)	50.2*(1.59)	
18	P	78.0	55.1 (1.42)	65.6*(1.19)	75.8 (1.03)	40.1*(1.95)	57.9*(1.35)	56.8*(1.37)	92.5*(0.84)	62.7*(1.24)	49.2*(1.59)	
19	P	84.0	67.1 (1.25)	79.9*(1.05)	83.6 (1.00)	44.2*(1.90)	64.2*(1.31)	60.8*(1.38)	94.5*(0.89)	68.1*(1.23)	51.9*(1.62)	
20	P	84.0	62.7 (1.34)	74.6*(1.13)	80.8 (1.04)	42.8*(1.96)	62.0*(1.35)	59.4*(1.41)	94.0*(0.89)	66.3*(1.27)	51.0*(1.65)	
21	P	90.5	76.9 (1.18)	101.7*(0.89)	89.5 (1.01)	52.6*(1.72)	71.2*(1.27)	67.4*(1.34)	89.4*(1.01)	76.7*(1.18)	51.4*(1.76)	
22	P	94.0	84.7 (1.11)	112.2*(0.84)	93.9 (1.00)	55.3*(1.70)	74.8*(1.26)	69.4*(1.35)	89.7*(1.05)	79.4*(1.18)	52.9*(1.78)	
23	P	122.0	87.0 (1.40)	126.6*(0.96)	106.4 (1.15)	68.8*(1.77)	91.9*(1.33)	87.4*(1.40)	134.4*(0.91)	100.1*(1.22)	64.7*(1.89)	
24	P	118.0	92.1 (1.28)	134.0*(0.88)	109.5 (1.08)	70.8*(1.67)	94.6*(1.25)	88.9*(1.33)	134.8*(0.88)	102.2*(1.15)	65.8*(1.79)	
25	P	114.0	105.8 (1.08)	183.5*(0.62)	128.6 (0.89)	99.1*(1.15)	119.1*(0.96)	111.3*(1.02)	190.5*(0.60)	127.2*(0.90)	80.2*(1.42)	
26	P	140.5	116.2 (1.21)	201.6*(0.70)	134.8 (1.04)	103.9*(1.35)	125.0*(1.12)	114.9*(1.22)	191.3*(0.73)	132.1*(1.06)	82.4*(1.71)	
27	P	81.0	51.7 (1.57)	85.8*(0.94)	71.9 (1.13)	44.3*(1.83)	71.0*(1.14)	65.7*(1.23)	95.7*(0.85)	69.8*(1.16)	49.1*(1.65)	
28	S	86.0	47.9 (1.80)	79.6 (1.08)	69.2 (1.24)	42.6 (2.02)	68.3 (1.26)	64.1 (1.34)	95.2 (0.90)	67.7 (1.27)	48.2 (1.78)	
29	S	96.0	57.4 (1.67)	84.8 (1.13)	80.4 (1.19)	44.0 (2.18)	73.8 (1.30)	68.2 (1.41)	95.6 (1.00)	71.8 (1.34)	48.9 (1.96)	
30	S	100.0	56.5 (1.77)	83.4 (1.20)	79.7 (1.25)	43.6 (2.29)	73.2 (1.37)	67.8 (1.47)	95.5 (1.05)	71.4 (1.40)	48.7 (2.05)	
31	S	84.0	64.4 (1.30)	162.6 (0.52)	86.7 (0.97)	81.1 (1.04)	93.9 (0.89)	85.8 (0.98)	129.1 (0.65)	95.6 (0.88)	60.0 (1.40)	
32	S	81.0	60.8 (1.33)	153.4 (0.53)	84.2 (0.96)	78.7 (1.03)	91.1 (0.89)	84.2 (0.96)	128.8 (0.63)	93.6 (0.87)	59.0 (1.37)	
33	S	92.0	63.6 (1.45)	140.4 (0.66)	92.1 (1.00)	75.3 (1.22)	91.5 (1.01)	85.9 (1.07)	128.2 (0.72)	94.6 (0.97)	57.6 (1.60)	
34	S	104.0	75.3 (1.38)	166.3 (0.63)	100.2 (1.04)	82.0 (1.27)	99.9 (1.04)	90.8 (1.15)	129.3 (0.80)	101.0 (1.03)	60.3 (1.72)	
35	S	115.0	70.9 (1.62)	139.1 (0.83)	103.1 (1.12)	75.0 (1.53)	95.3 (1.21)	89.2 (1.29)	128.1 (0.90)	97.4 (1.18)	57.4 (2.00)	
36	S	117.0	71.2 (1.64)	139.7 (0.84)	103.3 (1.13)	75.2 (1.56)	95.5 (1.23)	89.3 (1.31)	128.1 (0.91)	97.6 (1.20)	57.5 (2.03)	
37	S	118.0	81.9 (1.44)	250.1 (0.47)	116.8 (1.01)	132.2 (0.89)	116.7 (1.01)	108.8 (1.08)	163.6 (0.72)	123.1 (0.96)	67.6 (1.75)	
38	S	131.0	86.1 (1.52)	262.9 (0.50)	119.8 (1.09)	135.5 (0.97)	119.7 (1.09)	110.5 (1.19)	163.9 (0.80)	125.4 (1.04)	68.6 (1.91)	

鉛直荷重を受ける4本い支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

表-4(2) せん断終局耐力計算値

(ton)

番号	破壊形式**	最大荷重 実験値 Pu	R C 規 準 '82 方式		A C I Code		Hognestad	Elstner-Hognestad	Whitney	Moe	角田・井藤・藤田		
			一 方 向	パンチング	一 方 向	パンチング	Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)						
			Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)										
39	P	148.0	88.6 (1.67)	240.5*(0.62)	128.9 (1.15)	129.6*(1.14)	119.6*(1.24)	111.9*(1.32)	163.3*(0.91)	125.2*(1.18)	66.8*(2.22)		
40	S	147.0	89.8 (1.64)	243.7 (0.60)	129.7 (1.13)	130.5 (1.13)	120.4 (1.22)	112.4 (1.31)	163.4 (0.90)	125.9 (1.17)	67.1 (2.19)		
41	S	141.0	67.5 (2.09)	298.3 (0.47)	100.2 (1.41)	153.1 (0.92)	110.9 (1.27)	98.9 (1.43)	158.1 (0.89)	106.3 (1.33)	59.0 (2.39)		
42	S	142.0	71.3 (1.99)	315.0 (0.45)	103.0 (1.38)	157.4 (0.90)	114.1 (1.24)	100.9 (1.41)	158.5 (0.90)	108.7 (1.31)	59.9 (2.37)		
43	S	142.0	80.9 (1.76)	312.7 (0.45)	117.3 (1.21)	156.8*(0.91)	119.9 (1.18)	106.3 (1.34)	158.4 (0.90)	111.8 (1.27)	59.8 (2.37)		
44	S	154.0	84.0 (1.83)	324.8 (0.47)	119.5 (1.29)	159.8 (0.96)	122.3 (1.26)	107.8 (1.43)	158.7 (0.97)	113.6 (1.36)	60.4 (2.55)		
45	P	130.5	100.8 (1.29)	146.3*(0.89)	122.7 (1.06)	83.1*(1.57)	108.7*(1.20)	98.9*(1.32)	153.5*(0.85)	111.8*(1.17)	70.5*(1.85)		
46	P	131.5	108.2 (1.22)	176.5*(0.75)	127.2 (1.03)	86.0*(1.53)	112.8*(1.17)	101.4*(1.30)	154.0*(0.85)	115.1*(1.14)	71.9*(1.83)		
47	P	130.0	106.0 (1.23)	174.9*(0.74)	117.5 (1.11)	86.2*(1.51)	106.2*(1.22)	97.7*(1.33)	146.3*(0.89)	112.3*(1.16)	71.9*(1.81)		
48	P	138.0	107.8 (1.28)	178.2*(0.77)	118.5 (1.16)	87.0*(1.59)	107.3*(1.29)	98.3*(1.40)	146.4*(0.94)	113.1*(1.22)	72.3*(1.91)		
49	P	131.0	103.5 (1.27)	175.2*(0.75)	116.1 (1.13)	87.2*(1.50)	104.4*(1.25)	97.0*(1.35)	144.5*(0.91)	112.0*(1.17)	72.3*(1.81)		
50	D	133.5	101.7*(1.31)	171.9 (0.78)	115.0*(1.16)	86.4 (1.55)	103.3 (1.29)	96.4 (1.38)	144.4 (0.92)	111.2 (1.20)	71.9 (1.86)		
51	D	128.0	100.4*(1.27)	153.9 (0.83)	114.2*(1.12)	77.9 (1.64)	97.8 (1.31)	91.3 (1.40)	138.5 (0.92)	105.5 (1.21)	70.4 (1.82)		
52	D	126.0	102.4*(1.23)	156.9 (0.80)	115.4*(1.09)	78.7 (1.60)	98.7 (1.28)	91.9 (1.37)	138.6 (0.91)	106.3 (1.19)	70.8 (1.78)		
53	D	116.0	99.6*(1.16)	154.8 (0.75)	113.9*(1.02)	78.7 (1.47)	106.6 (1.09)	100.1 (1.16)	149.4 (0.78)	115.0 (1.01)	72.8 (1.59)		
54	D	124.0	98.9*(1.25)	153.7 (0.81)	113.5*(1.09)	78.4 (1.58)	106.1 (1.17)	99.9 (1.24)	149.4 (0.83)	114.6 (1.08)	72.6 (1.71)		
55	D	122.0	107.2*(1.14)	177.2 (0.69)	118.1*(1.03)	86.9 (1.40)	110.6 (1.10)	104.4 (1.17)	148.1 (0.82)	119.1 (1.02)	76.9 (1.59)		
56	D	110.0	102.5*(1.07)	169.4 (0.65)	115.4*(0.95)	84.9 (1.30)	108.1 (1.02)	103.0 (1.07)	147.8 (0.74)	117.3 (0.94)	75.9 (1.45)		
57	P	78.0	64.0 (1.22)	76.4*(1.02)	82.8 (0.94)	37.5*(2.08)	62.8*(1.24)	57.0*(1.37)	71.9*(1.08)	62.4*(1.25)	42.0*(1.86)		
58	P	80.0	64.0 (1.25)	76.4*(1.05)	82.8 (0.97)	37.5*(2.13)	62.8*(1.27)	57.0*(1.40)	71.9*(1.11)	62.4*(1.28)	42.0*(1.90)		
59	P	55.0	61.0 (0.90)	56.4*(0.98)	67.4 (0.82)	28.4*(1.94)	42.0*(1.31)	38.6*(1.42)	50.5*(1.09)	43.7*(1.26)	35.9*(1.53)		
60	P	59.0	61.0 (0.97)	56.4*(1.05)	67.4 (0.88)	28.4*(2.08)	42.0*(1.40)	38.6*(1.53)	50.5*(1.17)	43.7*(1.35)	35.9*(1.64)		
61	P	160.0	105.9 (1.51)	230.3*(0.69)	137.4 (1.16)	113.5*(1.41)	126.6*(1.26)	111.9*(1.43)	180.6*(0.89)	120.9*(1.32)	75.0*(2.13)		
62	P	166.5	105.5 (1.58)	229.5*(0.73)	137.2 (1.21)	113.3*(1.47)	126.3*(1.32)	111.8*(1.49)	180.6*(0.92)	120.7*(1.38)	74.9*(2.22)		
63	P	176.0	77.1 (2.28)	244.2*(0.72)	112.6 (1.56)	119.0*(1.48)	129.0*(1.36)	115.1*(1.53)	190.1*(0.93)	117.8*(1.49)	71.7*(2.45)		
64	P	169.5	77.0 (2.20)	224.2*(0.76)	112.6 (1.51)	119.0*(1.42)	129.0*(1.31)	115.1*(1.47)	190.1*(0.89)	117.8*(1.44)	71.7*(2.36)		
65	D	142.0	74.2*(1.91)	158.0 (0.90)	90.4*(1.57)	78.4 (1.81)	103.2 (1.38)	95.2 (1.49)	153.2 (0.93)	104.7 (1.36)	71.1 (2.00)		
66	D	132.0	75.7*(1.74)	160.9 (0.82)	91.3*(1.45)	79.2 (1.67)	104.2 (1.27)	95.8 (1.38)	153.4 (0.86)	105.5 (1.25)	71.4 (1.85)		
67	D	104.0	77.8*(1.34)	133.4 (0.78)	85.9*(1.21)	64.7 (1.61)	93.3 (1.11)	87.0 (1.20)	134.3 (0.77)	97.2 (1.07)	71.9 (1.45)		
68	D	114.0	76.2*(1.50)	130.5 (0.87)	84.0*(1.36)	64.0 (1.78)	92.3 (1.24)	86.4 (1.32)	134.1 (0.85)	96.4 (1.18)	71.5 (1.59)		
69	D	124.0	76.5*(1.62)	131.0 (0.95)	91.8*(1.35)	64.1 (1.93)	104.9 (1.18)	96.2 (1.29)	153.5 (0.81)	106.0 (1.17)	71.6 (1.73)		
70	D	118.0	75.2*(1.57)	129.1 (0.91)	91.0*(1.30)	63.6 (1.86)	104.1 (1.13)	95.7 (1.23)	153.4 (0.77)	105.3 (1.12)	71.3 (1.65)		
71	D	146.0	73.9*(1.98)	185.5 (0.79)	90.2*(1.62)	92.3 (1.58)	103.0 (1.42)	95.0 (1.54)	153.2 (0.95)	104.6 (1.40)	71.0 (2.06)		
72	D	153.0	74.8*(2.05)	187.6 (0.82)	90.8*(1.69)	92.8 (1.65)	103.7 (1.48)	95.4 (1.60)	153.3 (1.00)	105.0 (1.46)	71.2 (2.15)		
73	D	132.0	75.3*(1.75)	177.9 (0.74)	91.1*(1.45)	87.7 (1.51)	114.5 (1.15)	106.2 (1.24)	168.7 (0.78)	115.6 (1.14)	76.0 (1.74)		
74	D	142.0	74.5*(1.91)	175.9 (0.81)	90.6*(1.57)	87.2 (1.63)	113.8 (1.25)	105.8 (1.34)	168.6 (0.84)	115.1 (1.23)	75.8 (1.87)		
75	D	146.0	73.6*(1.98)	173.9 (0.84)	110.1*(1.33)	86.7 (1.68)	138.0 (1.06)	124.9 (1.17)	168.5 (0.87)	128.5 (1.14)	75.6 (1.93)		
76	D	145.0	75.3*(1.93)	177.9 (0.82)	107.1*(1.35)	87.7 (1.65)	139.7 (1.04)	126.0 (1.15)	168.7 (0.86)	129.7 (1.12)	76.0 (1.91)		

大築和夫・土屋 勉

表-4(3) セン断終局耐力計算値

(ton)

番号	破壊形式**	最大荷重 Pu	R C 規 準 '82 方式		A C I Code		Hognestad	Elstner-Hognestad	Whitney	Moe	角田・井藤・藤田	
			一 方 向 Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	パンチング Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	一 方 向 Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	パンチング Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)					
77	D	126.0	55.0*(2.29)	161.3 (0.78)	80.1*(1.57)	87.2 (1.44)	96.3 (1.31)	91.2 (1.38)	160.5 (0.79)	99.0 (1.27)	66.8 (1.89)	
78	D	126.0	54.3*(2.32)	159.8 (0.79)	79.6*(1.58)	86.6 (1.45)	95.8 (1.32)	91.0 (1.38)	160.4 (0.79)	98.6 (1.28)	66.6 (1.89)	
79	D	136.5	59.9*(2.28)	159.8 (0.85)	87.7*(1.56)	86.8 (1.57)	99.5 (1.37)	93.8 (1.46)	160.4 (0.85)	100.7 (1.36)	66.6 (2.05)	
80	D	128.0	57.2*(2.24)	152.6 (0.84)	85.6*(1.50)	84.8 (1.51)	97.1 (1.32)	92.3 (1.39)	159.8 (0.80)	98.7 (1.30)	65.9 (1.94)	
81	D・P	142.0	65.2*(2.18)	159.8*(0.89)	95.5*(1.49)	86.7*(1.64)	103.0*(1.38)	96.5*(1.47)	160.4*(0.89)	102.4*(1.39)	66.6*(2.13)	
82	D・P	144.0	66.8*(2.16)	163.4*(0.88)	96.7*(1.49)	87.7*(1.64)	104.2*(1.38)	97.2*(1.48)	160.7*(0.90)	103.4*(1.39)	67.0*(2.15)	
83	D・P	153.0	72.0*(2.13)	162.7*(0.94)	104.5*(1.46)	87.5*(1.75)	107.3*(1.43)	99.7*(1.53)	160.7*(0.95)	104.7*(1.46)	66.9*(2.29)	
84	P	154.0	67.5 (2.28)	152.6*(1.01)	101.3 (1.52)	84.8*(1.82)	103.7*(1.49)	97.4*(1.58)	159.8*(0.96)	101.8*(1.51)	65.9*(2.34)	
85	D	150.0	54.2*(2.77)	211.8 (0.71)	79.5*(1.89)	115.2 (1.30)	95.7 (1.57)	90.8 (1.65)	160.4 (0.94)	98.5 (1.52)	66.6 (2.25)	
86	D	152.0	55.1*(2.76)	217.5 (0.70)	80.2*(1.90)	116.2 (1.31)	96.6 (1.57)	91.4 (1.66)	160.6 (0.95)	99.2 (1.53)	66.8 (2.28)	
87	D	147.0	61.2*(2.40)	197.6 (0.74)	88.6*(1.66)	106.0 (1.39)	100.7 (1.46)	94.5 (1.56)	160.7 (0.91)	101.6 (1.45)	67.0 (2.19)	
88	D	150.0	60.9*(2.46)	196.7 (0.76)	88.4*(1.70)	105.7 (1.42)	100.4 (1.49)	94.3 (1.59)	160.7 (0.93)	101.4 (1.48)	66.9 (2.24)	
89	P	134.0	69.5 (1.93)	126.9*(1.06)	102.6 (1.31)	69.5*(1.93)	105.3*(1.27)	98.4*(1.36)	154.0*(0.87)	103.1*(1.30)	66.4*(2.02)	
90	P	130.0	74.2 (1.75)	135.6*(0.96)	106.1 (1.23)	71.8*(1.81)	109.0*(1.19)	100.8*(1.29)	154.9*(0.84)	106.1*(1.23)	67.4*(1.93)	
91	D	146.0	49.4*(2.96)	214.7 (0.68)	72.0*(2.03)	116.0 (1.26)	92.5 (1.58)	88.3 (1.65)	160.5 (0.91)	96.6 (1.51)	66.8 (2.19)	
92	D	142.0	51.4*(2.76)	223.3 (0.64)	73.5*(1.93)	118.3 (1.20)	94.5 (1.50)	89.5 (1.59)	161.0 (0.88)	98.2 (1.45)	67.4 (2.11)	
93	D	144.0	55.8*(2.58)	198.5 (0.73)	80.7*(1.78)	106.2 (1.36)	97.2 (1.48)	91.8 (1.57)	160.8 (0.90)	99.7 (1.44)	67.1 (2.15)	
94	D	144.0	53.9*(2.67)	191.5 (0.75)	79.3*(1.82)	104.3 (1.38)	95.4 (1.51)	90.7 (1.59)	160.3 (0.90)	98.3 (1.46)	66.5 (2.17)	
95	P	132.0	64.8 (2.04)	128.1*(1.03)	95.2 (1.39)	69.9*(1.89)	102.5*(1.29)	96.1*(1.37)	154.1*(0.86)	102.0*(1.29)	66.5*(1.98)	
96	P	134.0	64.8 (2.07)	128.1*(1.05)	95.2 (1.41)	69.9*(1.92)	102.5*(1.31)	96.1*(1.39)	154.1*(0.87)	102.0*(1.32)	66.5*(2.02)	
97	P	112.0	72.3 (1.55)	108.9*(1.03)	104.7 (1.07)	58.4*(1.92)	107.5*(1.04)	99.9*(1.12)	138.2*(0.81)	104.9*(1.07)	67.0*(1.67)	
98	P	112.5	69.9 (1.61)	105.1*(1.07)	102.9 (1.09)	57.4*(1.96)	105.5*(1.07)	98.6*(1.14)	137.8*(0.82)	103.3*(1.09)	66.4*(1.69)	
比の平均			*1.96	*0.93	*1.46	*1.74	*1.26	*1.35	*0.90	*1.23	*1.79	
(1)標準偏差			0.537	0.148	0.279	0.226	0.112	0.121	0.108	0.127	0.326	
変動率(%)			27.4	15.9	19.1	13.0	8.9	9.0	12.0	10.3	18.2	
比の平均			1.48	0.74	1.12	1.43	1.25	1.35	0.86	1.24	1.96	
(2)標準偏差			0.361	0.170	0.174	0.331	0.172	0.177	0.089	0.180	0.324	
変動率(%)			24.4	23.0	15.5	23.1	13.8	13.1	10.3	14.5	16.5	
比の平均				1.65		1.66		1.26		1.24		1.88
(3)標準偏差				0.482		0.271		0.145		0.100		0.336
変動率(%)				29.2		16.3		11.5		11.4		17.9

* : 実験の破壊形式と計算式のそれとが一致するもの。 破壊形式** : P : パンチング破壊。 S : 隅角破壊。 D : 一方向破壊。
D・P : D と P が競合。 (1) : 実験の破壊形式と計算式のそれとが一致するものの比の平均等。 (2) : (1) 以外のものの計算値と実験値の比の平均等。
(3) : R C '82方式および A C I Codeについては、パンチングと一方向の計算値のうちいずれか小さい方の値と実験値との比の平均等、その他のものについては計算値と実験値との比の全平均等。

鉛直荷重を受ける4本柱のせん断耐力に関する実験的研究

以上のことから、RC 規準 '82式によってパンチング破壊するものの耐力は概ね推定し得るが、他の破壊形式をとるものの耐力は十分な精度では推定し得ないと考えられる。

ACI Code²⁰⁾ による一方向せん断耐力は、せいの高い梁のせん断についての耐力式で求めたものであるが、これによると破壊形式の一致するものでは、計算値は1体を除きいずれも実験値を上回り、安全側にあるが、比の値は0.95~2.03となりバラツキが大きいと言える。また、パンチング耐力についても計算値は実験値を上回り、比の値は1.15~2.13の間にあってバラツキが大きい。

一方向およびパンチング耐力計算値のいずれか小さい方の値と実験値の比の平均は1.66標準偏差は0.271となり、ACI Code による値は全体として1.5程度の安全率を含んでいると言える。また、計算値上の破壊形式と実験のそれとが一致しないものも一部に見られるが、RC 規準 '82方式による場合に比べて破壊形式上の矛盾は少ない。

Hognestad²¹⁾、Elstner-Hognestad²²⁾ および Moe²³⁾ の式による値は相互に近似していて、破壊形式の一致するものの比の平均は1.23~1.35、標準偏差は0.112~0.127となり、これらの式による値は実験値に比較的近似している。しかし、破壊形式の一致しないものの比の平均は1.24~1.35となり、先の破壊形式の一致するものと大差ないが、標準偏差は0.172~0.180となってバラツキが大きいと言える。

Whitney²⁴⁾ の式による値は、破壊形式の一致するもの、一致しないものも含めて表のパンチング式の中では最も実験値に近いが、実験値よりも大きく危険側にある。

角田、井藤、藤田²⁵⁾ の式による値は、破壊形式の何如を問わず実験値と大きくかけ離れている。これは先の4式がフーチングまたはフーチングを含むスラブのパンチング耐力式として提案されたものであるのに対して、角田等の式はスラブが比較的薄く、支持点が加力域から離れた位置にある場合を対象としたものであり、板厚および支点位置の違いが破壊に大きく影響するためと考えられる。

以上、既往の設計式ならびに諸家の終局耐力式と実験値の比較を行ったが、必ずしも十分な精度で4本くい支持独立フーチングのせん断耐力を推定し得る式は見当たらない。

4. せん断耐力推定式の検討

4.1 破壊形式と耐力推定式

先に、実験で見られた破壊形式を3つに大別した。それらの破壊形式を図-2に模式的に示す。図(a)はパンチング破壊で、板底面の破壊線は各支点到内接する円形状となり板上面のそれは柱脚周囲を取巻く形となる。そして板内の破壊面は板上面と板底面の破壊線を連ねた円錐形となる。図(b)は一方向せん断破壊で、板底面の破壊線は隣接する2支点間ではパンチング破壊と同様となり、支点外では支点からいくぶん横方向に直線的に板周辺に伸びる。板上面の破壊

線は柱脚周囲を半周し、相対する柱面の中央付近から板周辺に伸びる。そして板内の破壊面は板底面と上面の破壊線を連ねた面となり、板側面の破壊線は梁に見られるそれと同様

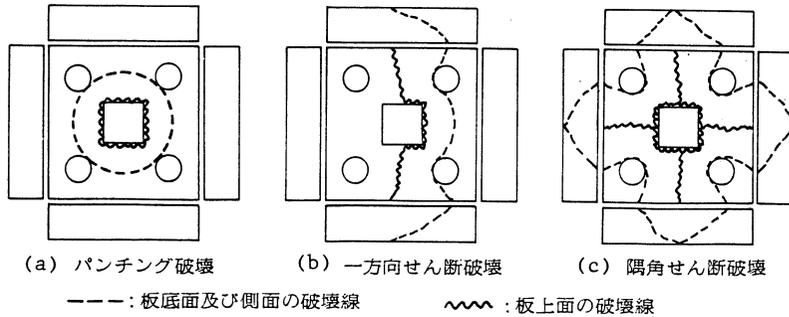
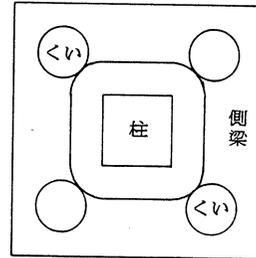


図-2 破壊形式と破壊線

のものとなる。従ってこの破壊は板を2分する形となる。図(c)は隅角せん断破壊で、板底面の破壊線は各支点を取巻く形で板周辺に伸び、板上面の破壊線は柱脚を一周し、更に各柱面中央付近から板周辺に伸びる。そして板内の破壊面は板底面と板上面の破壊線を連ねた面となり、板側面の破壊線は山形となる。この破壊は一方せん断破壊において隣接する支点間の破壊が起らず、支点から外側の破壊のみが2方向に起きたものと近似し、隅角部が欠け落ちる形となる。



以上のように3つの破壊形式は相互に共通点を有していることを踏まえ、耐力推定式を考える際に応力伝達機構を Leonhardt²⁸⁾と同様に図-3のように考える。即ち、フーチングを柱脚周辺と各支点到内接する円周上を連ねた面によって形づくられるピラミッドとそれ以外の側梁の部分に分ける。そして柱軸力はピラミッドの面を介して側梁に伝達され、更にくいに伝達されるものとする。

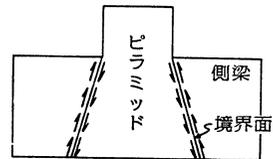


図-3 応力伝達機構

このピラミッドと側梁の境界面(以下、境界面と言う)が耐力に達したときにパンチング破壊が、境界面の一部とそれに連続した相対する両側梁が耐力に達したときに一方せん断破壊が、そして境界面の一部とそれに連続して隣接する両側梁が耐力に達したときに隅角破壊が起るものとする。

以上の考えに基づき、境界面(=危険断面)ならびに側梁および危険断面を図-4のように仮定し、次式によりせん断耐力を算定する。なお、パンチング耐力式は先に著者らが提案⁷⁾したものである。また、一方向および隅角せん断耐力を考える場合計算を簡単にするために境界面のコーナー部を直線とし、危険断面を破線のようにした。

パンチング

$$P_{cal} = \tau_p \cdot b_p \cdot j$$

一方向

$$P_{cal} = 2(\tau_p \cdot b_p + \tau_i \cdot b_i)j \quad (i=x \text{ または } y)$$

隅角

$$P_{cal} = 4(\tau_p \cdot b_p + \tau_x \cdot b_y + \tau_y \cdot b_x)j$$

ここに τ_p , τ_x , τ_y は順に境界面, 側梁 B_x , 側梁 B_y のせん断強度, せん断強度は梁に関する大野・荒川式によって求める。同式中の M/Q の値は τ_p , τ_x , τ_y に対して, 夫々 l_s , $l_x/2$, $l_y/2$ を用いる。 b_p は算定しようとする耐力式の境界面の長さ。 b_x , b_y は側梁の危険断面の幅。 $j=7d/8$, d は有効せい, その他は図参照

4.2 せん断耐力推定式と実験値の比較

前節の式によって求めたせん断耐力計算値, 計算値に対する実験値の比, ならびに比の平均, 標準偏差, 変動率を実験値と共に表-5に示す。表中★印は計算式の破壊形式と実験のそれとが一致するものを示す。表-5

(2) の最下欄の (1) 欄はそれらの比の平均等を, (2) 欄は3式による計算値の最小値と実験値との比について耐力式毎に平均値等を, そして (3) 欄は (2) 欄と同様のものについて全体の平均等を示したものである。

まず, (1) 欄について見ると, 一方向せん断耐力, パンチング耐力とも計算値は実験値に良く一致していると言える。また, 隅角せん断耐力計算値は他の2式と比べて若干精度は劣るが, 梁に見られるせん断耐力のバラツキから考えると実用的には十分な精度と言えよう。

次に (2), (3) 欄の値について見ると, (1) 欄の場合と同様, 計算値と実験値は良く対応していると言える。表中には計算値から予想される破壊形式と実験のそれとが一致しない試験体も見られるが, それらのものでは3式による計算値間の差は小さく, せん断破壊における実験値のバラツキから考えると, これらの3式は十分な精度を有していると言える。なお, 一方向および隅角せん断耐力式については他研究者の適当なデータが見当たらないため, 本実験以外のデータを用いて, その適合性を検証することは出来なかったが, パンチング耐力式については, 先に Talbot²⁶⁾ と Richart²⁷⁾ の実験結果と対比した結果⁷⁾, それらの実験結果と十分対応することが確

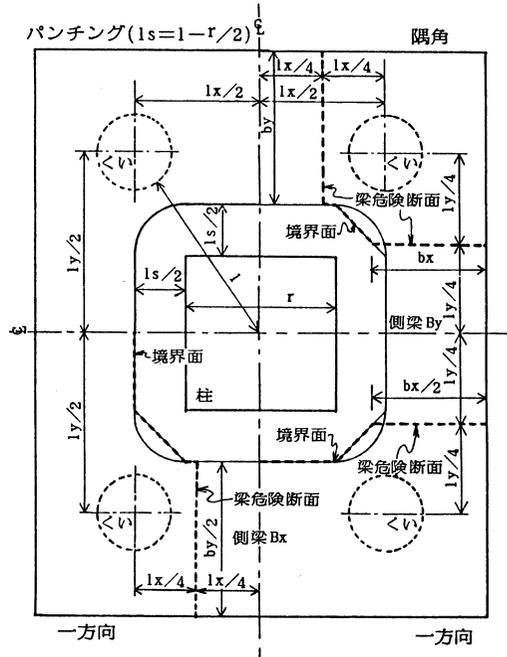


図-4 危険断面の仮定

鉛直荷重を受ける4本くい支持独立フーチングのせん断耐力に関する実験的研究

表-5(1) 提案式によるせん断耐力推定値と実験値の比較

番号	最大荷重 実験値 Pu	(ton)		
		一方向 Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	パンチング Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)	隅角 Pcal ($\frac{Pu}{Pcal}$)
1	35.1	35.5 (0.99)	30.9*(1.14)	41.8 (0.84)
2	34.0	36.4 (0.93)	31.7*(1.07)	42.9 (0.79)
3	42.8	61.6 (0.70)	47.5*(0.90)	78.2 (0.55)
4	44.4	57.8 (0.77)	44.6*(1.00)	73.5 (0.60)
5	87.5	90.1 (0.97)	96.4*(0.91)	86.4 (1.01)
6	100	95.1 (1.05)	101.6*(0.98)	91.2 (1.10)
7	132	153.9 (0.86)	179.0 (0.74)	130.8*(1.01)
8	146	153.9 (0.95)	179.0 (0.82)	130.8*(1.12)
9	78.4	91.8 (0.85)	78.3*(1.00)	109.1 (0.72)
10	84	94.8 (0.89)	80.9*(1.04)	112.7 (0.75)
11	83	87.8 (0.95)	74.9*(1.11)	104.4 (0.80)
12	83.5	86.4 (0.97)	73.8*(1.13)	102.7 (0.81)
13	82	91.1 (0.90)	77.7*(1.06)	108.3 (0.76)
14	84	92.5 (0.91)	78.9*(1.06)	109.9 (0.76)
15	80	86.4 (0.93)	73.7*(1.09)	102.7 (0.78)
16	82	89.7 (0.91)	76.5*(1.07)	106.6 (0.77)
17	80	86.6 (0.92)	73.9*(1.08)	103.0 (0.78)
18	78	83.1 (0.94)	70.9*(1.10)	98.8 (0.79)
19	84	92.3 (0.91)	78.7*(1.07)	109.7 (0.77)
20	84	89.0 (0.94)	75.9*(1.11)	105.8 (0.79)
21	90.5	92.9 (0.97)	87.7*(1.03)	101.8 (0.89)
22	94	98.4 (0.96)	92.8*(1.01)	107.8 (0.87)
23	122	122.4 (1.00)	114.7*(1.06)	134.5 (0.91)
24	118	126.4 (0.93)	118.4*(1.00)	138.9 (0.85)
25	144	158.1 (0.91)	146.1*(0.99)	174.2 (0.83)
26	140.5	166.7 (0.84)	154.0*(0.91)	183.6 (0.77)
27	81	79.7 (1.02)	86.9*(0.93)	74.6 (1.09)
28	86	76.3 (1.13)	83.3 (1.03)	71.4*(1.20)
29	96	85.0 (1.13)	86.3 (1.11)	85.8*(1.12)
30	100	84.2 (1.19)	85.5 (1.17)	85.0*(1.18)
31	84	114.4 (0.73)	134.9 (0.62)	97.9*(0.86)
32	81	110.6 (0.73)	130.0 (0.62)	94.6*(0.86)
33	92	113.7 (0.81)	123.9 (0.74)	107.1*(0.86)
34	104	125.4 (0.83)	136.7 (0.76)	118.1*(0.88)
35	115	121.7 (0.95)	123.3 (0.93)	123.6*(0.93)
36	117	122.0 (0.96)	123.6 (0.95)	123.9*(0.94)
37	118	151.7 (0.78)	163.9 (0.72)	143.6*(0.82)
38	131	156.1 (0.84)	168.7 (0.78)	147.8*(0.89)
39	148	159.7 (0.93)	160.4*(0.92)	163.1 (0.91)
40	147	160.9 (0.91)	161.6 (0.91)	164.3*(0.89)
41	141	161.2 (0.87)	184.1 (0.77)	141.8*(0.99)
42	142	166.4 (0.85)	190.2 (0.75)	146.4*(0.97)
43	142	176.5 (0.80)	189.3 (0.76)	167.4*(0.85)
44	154	180.5 (0.85)	193.6 (0.80)	171.2*(0.90)
45	130.5	150.6 (0.87)	135.5*(0.96)	167.7 (0.78)
46	131.5	157.2 (0.84)	141.5*(0.93)	175.0 (0.75)
47	130	145.7 (0.89)	142.8*(0.91)	173.4 (0.75)
48	138	147.3 (0.94)	144.3*(0.96)	175.3 (0.79)
49	131	139.2 (0.94)	147.1*(0.89)	173.0 (0.76)
50	133.5	137.7*(0.97)	145.5 (0.92)	171.1 (0.78)
51	128	133.9*(0.96)	135.2 (0.95)	167.3 (0.77)
52	126	135.5*(0.93)	136.8 (0.92)	169.3 (0.74)
53	116	132.9*(0.87)	132.7 (0.87)	159.2 (0.73)
54	124	132.3*(0.94)	132.2 (0.94)	158.4 (0.78)
55	122	125.2*(0.97)	135.9 (0.90)	161.8 (0.75)
56	110	121.9*(0.90)	132.2 (0.83)	157.5 (0.70)

表-5(2) 提案式によるせん断耐力推定値と実験値の比較

(ton)

番 号	最大荷重 実験値 P _u	一 方 向		パンチング		隅 角	
		P _{cal}	$\left(\frac{P_u}{P_{cal}}\right)$	P _{cal}	$\left(\frac{P_u}{P_{cal}}\right)$	P _{cal}	$\left(\frac{P_u}{P_{cal}}\right)$
57	78	85.0	(0.92)	78.1*	(1.00)	94.9	(0.82)
58	80	85.0	(0.94)	78.1*	(1.02)	94.9	(0.84)
59	55	67.7	(0.81)	50.8*	(1.08)	87.3	(0.63)
60	59	67.7	(0.87)	50.8*	(1.16)	87.3	(0.68)
61	160	185.8	(0.86)	165.2*	(0.97)	209.8	(0.76)
62	166.5	185.4	(0.90)	164.9*	(1.01)	209.3	(0.80)
63	176	171.7	(1.02)	183.7*	(0.96)	209.8	(0.84)
64	169.5	171.7	(0.99)	183.6*	(0.92)	209.8	(0.81)
65	142	127.9*	(1.11)	147.0	(0.97)	173.9	(0.82)
66	132	129.3*	(1.02)	148.8	(0.89)	175.9	(0.75)
67	104	105.0*	(0.99)	129.6	(0.80)	156.4	(0.67)
68	114	103.6*	(1.10)	127.9	(0.89)	154.3	(0.74)
69	124	117.3*	(1.06)	130.1	(0.95)	145.9	(0.85)
70	118	116.2*	(1.02)	129.5	(0.91)	144.6	(0.82)
71	146	142.8*	(1.02)	170.5	(0.86)	216.4	(0.67)
72	153	143.8*	(1.06)	171.7	(0.89)	217.8	(0.70)
73	132	121.9*	(1.08)	160.1	(0.82)	156.6	(0.84)
74	142	121.1*	(1.17)	159.0	(0.89)	155.6	(0.91)
75	146	155.5*	(0.94)	157.9	(0.92)	154.5	(0.94)
76	145	157.6*	(0.92)	160.1	(0.91)	156.6	(0.93)
77	126	121.6*	(1.04)	145.0	(0.87)	159.7	(0.79)
78	126	120.8*	(1.04)	144.0	(0.87)	158.7	(0.79)
79	136.5	127.5*	(1.07)	144.3	(0.95)	165.4	(0.83)
80	128	124.2*	(1.03)	140.6	(0.91)	161.2	(0.79)
81	142	133.7*	(1.06)	144.1*	(0.99)	171.6	(0.83)
82	144	135.5*	(1.06)	146.0*	(0.99)	173.9	(0.85)
83	153	141.5*	(1.08)	145.5*	(1.05)	179.7	(0.85)
84	154	136.9	(1.13)	140.7*	(1.09)	173.9	(0.89)
85	150	151.1*	(0.99)	191.1	(0.78)	225.9	(0.66)
86	152	152.6*	(1.00)	193.0	(0.79)	228.1	(0.67)
87	147	142.8*	(1.03)	166.9	(0.88)	196.6	(0.75)
88	150	142.4*	(1.05)	166.4	(0.90)	196.0	(0.77)
89	134	127.8	(1.05)	127.0*	(1.06)	154.3	(0.87)
90	130	132.6	(0.98)	131.7*	(0.99)	160.1	(0.81)
91	146	145.8*	(1.00)	192.6	(0.76)	221.1	(0.66)
92	142	149.0*	(0.95)	196.8	(0.72)	226.1	(0.63)
93	144	136.5*	(1.05)	167.2	(0.86)	190.4	(0.76)
94	144	133.9*	(1.08)	164.0	(0.88)	186.7	(0.77)
95	132	122.1	(1.08)	127.7*	(1.03)	148.7	(0.89)
96	134	122.1	(1.10)	127.7*	(1.05)	148.8	(0.90)
97	112	121.1	(0.92)	117.2*	(0.96)	139.6	(0.80)
98	112.5	118.9	(0.95)	115.1*	(0.98)	137.1	(0.82)
(試験体数)	比の平均	(34)	*1.02	(49)	*1.01	(18)	*0.96
(1)	標準偏差		0.065		0.069		0.116
	変動率(%)		6.4		6.8		12.1
(試験体数)	比の平均	(42)	1.03	(38)	1.02	(18)	0.96
(2)	標準偏差		0.068		0.071		0.106
	変動率(%)		6.6		6.9		11.1
(試験体数)	比の平均			(98)	1.01		
(3)	標準偏差				0.081		
	変動率(%)				8.0		

*：実験の破壊形式と計算式のそれとが一致するもの。(1)：実験の破壊形式と計算式のそれとが一致するものの比の平均等。(2)：3式による計算値の最小値と実験値との比の耐力式別平均等。(3)：(2)について全体の平均値等。

められている。

5. 結 語

以上、4本くい支持独立フーチングのせん断耐力について実験結果をもとに検討したが、その結果を要約すると次のようになる。

(1) 実験で見られた破壊形式は、大別してパンチング破壊、一方向せん断破壊および隅角せん断破壊に分けられる。

(2) 建築学会・鉄筋コンクリート構造計算規準のフーチングに関する条項に準じて求められるせん断耐力のうち、パンチング破壊するものに対しては計算値と実験値が概ね対応する。しかし、その他の破壊形式を取るものについては両者が対応するとは言えない。また、計算値上の破壊形式と実験のそれとが対応しないものが多く見られる。

(3) ACI Codeによる計算値は概ね1.5程度の安全率が見込まれており、破壊形式の点でも計算結果と実験結果に大きな矛盾はない。

(4) フーチングあるいはフーチングを含めたスラブを対象とした既往の諸家のパンチング終局耐力式による値は、パンチング破壊するものについては実験値と比較的近似する。しかし、パンチング以外の破壊形式をとるものについてはバラツキが大きく、適合しない。

(5) 著者らの提案したパンチング、一方向および隅角せん断耐力式による値は、破壊形式をも含めて実験結果と良く一致した。

終りに、本研究を進める過程で種々ご助言下さった北海道大学教授・小幡守先生に厚くお礼申し上げます。

また、本実験は、大学院生 小川繁紀、細矢博、吉田繁の諸氏をはじめとし、多くの学部学生の協力のもとに行われたものである。ここに、記して厚く感謝致します。

(昭和60年5月21日 受理)

参 考 文 献

- 1) H. T. Yan: "Bloom-Base Allowance in The Design of Pile Caps", Civil Engineering and Public Works Review, Vol. 49, No. 575, May, 1954, No. 576, June, 1954
- 2) J. Blévoit and R. Frémy: "Semelles sur pieux", Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, Vol. 20, No. 230, Feb., 1967
- 3) N. B. Hobbs and P. Stein: "An investigation into the stress distribution in pile caps with some notes on design", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 7, July, 1957
- 4) J. L. Clarke: "Behaviour and Design of Pile Caps with Four Piles", Cement and Concrete Association, London, Report No. 42, 489, Nov., 1973
- 5) G. M. Sabnis and A. B. Gogate: "Investigation of Thick Slab (Pile Cap) Behavior," ACI Journ., Jan.-Feb., 1984
- 6) 小幡, 大築: "鉛直荷重を受ける杭支持独立フーチングの終局耐力に関する研究-I 4本杭支持独

- 立フーチングの実験結果について”, 日本建築学会論文報告集第289号, 昭和55年3月
- 7) 小幡, 大築: “鉛直荷重を受ける杭支持独立フーチングの終局耐力に関する研究-Ⅱ”, 日本建築学会論文報告集299号, 昭和56年1月
 - 8) 小幡, 大築: “鉛直荷重を受けるくい支持独立フーチングの初ひびわれ荷重に関する研究”, 日本建築学会論文報告集324号, 昭和58年2月
 - 9) 小柳: “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, Aug., 1981
 - 10) 細矢, 大築, 他3名: “鉛直荷重を受ける4本杭支持正方形独立フーチングのせん断破壊性状について”, 建築学会北海道支部研究報告集No. 54, 昭和56年3月
 - 11) 細矢, 大築, 小幡: “杭支持独立フーチングの鉛直荷重時応力についてⅨ, X”, 建築学会大会学術講演梗概集, 昭和56年9月
 - 12) 大築, 他5名: “鉛直荷重を受ける4本杭支持独立フーチングの破壊実験”, 建築学会北海道支部研究報告集No. 55, 昭和57年3月
 - 13) 大築, 他5名: “鉛直荷重を受ける4本杭支持長方形独立フーチングの破壊実験”, 建築学会北海道支部研究報告集No. 55, 昭和57年3月
 - 14) 古田, 大築, 小幡: “鉛直荷重を受ける4本杭支持長方形独立フーチングの一方せん断破壊実験”, 建築学会大会学術講演梗概集, 昭和57年10月
 - 15) 大築, 他3名: “鉛直荷重を受ける4本杭支持長方形独立フーチングの破壊実験(その2)”, 建築学会北海道支部研究報告集No. 56, 昭和58年3月
 - 16) 大築, 他2名: “鉛直荷重を受ける4本杭支持長方形独立フーチングのせん断耐力についての検討”, 建築学会北海道支部研究報告集No. 56, 昭和58年3月
 - 17) 吉田, 大築, 土屋, 西, 小幡: “鉛直荷重を受ける4本杭支持長方形独立フーチングの実験”, 建築学会大会学術講演梗概集, 昭和58年9月
 - 18) 大築, 吉田, 土屋, 小幡: “鉛直荷重を受ける4本杭支持独立フーチングのせん断耐力について”, 建築学会大会学術講演梗概集, 昭和58年9月
 - 19) 日本建築学会: “鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”, 1982年
 - 20) ACI Standard Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)
 - 21) E. Hognestad: “Shearing Strength of Reinforced Concrete Column Footings”, Journ. of ACI, Nov., 1953
 - 22) R. C. Elstner and E. Hognestad: “Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs”, Journ. of ACI, July, 1956
 - 23) J. Moe: “Shearing Strength of Reinforced Concrete Slabs and Footings under Concentrated Loads”, Bulletin D 47, Research and Development Laboratories, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, May, 1961
 - 24) C. S. Whitney: “Ultimate Shear Strength of Reinforced Concrete Flat Slabs, Footings, Beams, and Frame Members Without Shear Reinforcement”, Journ. of ACI, Oct., 1957
 - 25) 角田, 井藤, 藤田: “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, 1974年9月
 - 26) N. Talbot: “Reinforced Concrete Wall Footings and Column Footings”, Univ. Illinois Engineering Experiment Station, Mar., 1913
 - 27) F. E. Richart: “Reinforced Concrete Wall and Column Footings Part I, Part II,” Journ. of ACI, Oct., 1948, Nov., 1984
 - 28) F. Leonhardt: “Vorlesungen über Massivbau”, 1977