

## 配筋詳細に着目した RC 造せん断破壊柱の軸力保持性能に関する実験

軸加力実験と曲げせん断加力実験の関係

TESTS ON AXIAL LOAD CAPACITY OF SHEAR FAILING R/C COLUMNS  
CONSIDERING REINFORCING DETAILS

Relationship between axial loading test and lateral loading test

加藤 大介\*, 李 柱 振\*\*, 中村 友紀子\*\*\*, 本多 良政\*\*

Daisuke KATO, Zhuzhen LI, Yukiko NAKAMURA

and Yoshimasa HONDA

Objectives of this study were to examine axial load carrying capacities of R/C columns after shear failure. For this purpose static loading tests of R/C columns were conducted. Confinement of hoop reinforcement to core concrete was one of the most important effects to be discussed so different hoop reinforcement details were studied, i.e. welded hoop for good confinement type, hoop with 135 deg hook for normal confinement type and hoop with 90 deg hook for poor confinement. Using these specimens central axial loading test to examine the basic confining effects and lateral loading test under constant axial load to examine the axial load carrying capacity were conducted.

**Keywords :** reinforced concrete columns, shear failure, axial load capacity, reinforcing detail, axial load-axial deformation relationship

鉄筋コンクリート柱, せん断破壊, 軸力負担能力, 配筋詳細, 軸力-軸変形関係

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造柱のせん断破壊後の軸力負担能力の研究は最近盛んに行われている<sup>1)~4)</sup>。筆者らも RC 造柱部材のせん断破壊により軸力負担能力を失うメカニズムを実験的に解明し, 軸力負担能力喪失変形の評価式を提案することを目的に, 静加力実験を行ってきた<sup>5)~9)</sup>。特に, 単純軸圧縮実験結果(軸力-軸変形関係)と曲げせん断加力実験結果(軸力負担能力喪失部材角)との関連を検討することを第一の目的とし, 軸加力実験と曲げせん断実験を同じ諸元を持つ試験体を用いて行っている。一方, 同一配筋量でも配筋の詳細が異なるとその挙動は大きく異なる。そこで, これらの実験ではその挙動(例えば軸力-軸変形関係)を大きく変える手段として配筋詳細を主要なパラメータとしている。本報告は, 文献 5)~9)で報告された試験体の内, 一般的な曲げせん断加力を行った試験体およびそれに対応する軸圧縮試験体の実験結果を横断的にまとめ, 単純軸圧縮実験で得られた軸力と軸変形関係と曲げせん断加力実験で得られた軸力負担能力喪失部材角との関連を検討したものである。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験体のパラメータ

文献 5)~9)では配筋などの諸元を変えていくつかの実験シリーズを行っているが, 各シリーズで必ず 1 体の軸加力実験を行っている。これらの軸圧縮試験体の諸元を表 1 に示す。表 2 には本報告で対象とした曲げせん断試験体の諸元を示した。表 2 には対応する軸

圧縮試験体名が示されているが, これらは寸法, 配筋, 材料強度とも同一の諸元を持つ試験体である。これらの試験体の実験パラメータは作用軸力の大きさである。なお, 作用軸力は一定軸力としており, せん断破壊が曲げ破壊に先行するように設定した。図 1 に試験体の形状と配筋図の例を, 図 2 には配筋詳細の例を示しておく。なお, 実験に供した柱の断面せいは 180mm と比較的小さいが, かぶり厚さが最大耐力後の性状に及ぼす影響を実大柱の場合と同程度にすることを意図し, 帯筋外面までのかぶり厚さを 10mm とした。

ここでは表 1 をみながら各シリーズの概要を示す。H シリーズ(そのシリーズの軸圧縮試験体名が表 1 の H-0 という意味, 以下同じ)と P シリーズは基本的な配筋詳細の影響を検討する目的で行った実験<sup>5)</sup>で, H シリーズは一般的な配筋詳細の例として 135 度フック(余長 6d)を有するシリーズ(図 2 (b)), P シリーズは悪い配筋詳細の例として 90 度フック(余長 8d)を有するシリーズである。これらのフックの位置は現実的な配筋として試験体の軸方向にローテーションして配置し, 同じ側にフックが連続しないようにした。なお, P シリーズの配筋法は日本建築学会の配筋指針に従っていない。一方, 結果はこれらの配筋詳細の影響は明瞭には観察されなかった<sup>5)</sup>。そこで, 配筋詳細の影響を極端にして W シリーズと S シリーズの実験を行った<sup>6)</sup>。W シリーズは良好な配筋詳細の例として溶接帯筋を有するシリーズ(図 2 (a)), S シリーズは非常に悪い配筋詳細の例として 90 度フック(余長 4d)とし(図 2 (c)), さらに, フックの位置をローテーションせず同じ側にフックが連続するようにした。

\* 新潟大学工学部建設学科 教授・工博

\*\* 新潟大学大学院自然科学研究科 博士後期課程

\*\*\* 新潟大学工学部建設学科 講師・博士(工学)

Prof., Department of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University, Dr. Eng.  
Graduated Student, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University  
Lecturer, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Niigata University, Dr. Eng.

表1 軸圧縮試験体の諸元と実験結果

試験体名	試験体諸元						実験結果							
	主筋	主筋の降伏応力度 $\sigma_y(N/mm^2)$	帯筋	帯筋間隔 S(mm)	帯筋の降伏応力度 $\sigma_{wy}(N/mm^2)$	コンクリート強度 $\sigma_B(N/mm^2)$	最大強度時		滑り開始時		初期摩擦軸力計算値 $P_{fr0}(kN)$	$\frac{P_{fr}}{P_{fr0}}$	$\frac{P_{fr}}{P_{fr0}} \frac{S}{D}$	配筋詳細に関する係数 $R_d$
							軸強度 (kN)	軸変形 (mm)	摩擦軸力 $P_{fr}(kN)$	軸変形 (mm)				
H-0	4-D10	383	D6(135度フック(6d))	70	316	35.2	1092	1.11	226	9.32	327	0.69	0.86	-0.9
P-0			D6(90度フック(8d))				1098	0.91	250	6.14	327	0.76	0.95	-0.9
W-0		377	D6(溶接)		343	23.4	805	1.2	290	11.6	344	0.84	1.05	-1
S-0			D6(90度フック(4d))				911	1.56	225	7.69	344	0.65	0.81	-0.8
W52-0	4-D10	382	D6(溶接)	52	337	28.2	916	1.37	400	12.5	422	0.95	1.11	-1
W90-0							90	834	0.94	237	10	290	0.82	1.09
D13S-0	4-D13	335	D6(90度フック(4d))	70	335	26.7	893	0.66	215	7.09	402	0.53	0.66	-0.8
D13W-0			D6(溶接)				920	1.14	322	14	402	0.80	0.99	-1
$\phi 4W-0$	4- $\phi 4$	502			D6(溶接)	316	19.1	764	1.08	170	11.3	257	0.66	0.82
D10WH-0			4-D10					371	D6(90度フック(4d))	1002	0.15	286	2.3	324
D10SH-0	1018	0.22		216	1.74	324	0.67			0.83	-0.8			
D10WL-0	607	0.19		268	2.7	324	0.83			1.03	-1			
D10SL-0	618	0.24		255	1.68	324	0.79			0.98	-0.8			

表2 曲げせん断試験体の諸元と実験結果

試験体名	試験体諸元		実験結果				
	対応する軸加力試験体名	作用一定軸力 (kN)	最大水平強度 (kN)	せん断強度計算値 (kN)	軸力保持能力喪失までの最大値	軸力保持能力喪失までの最大値	
						水平変形(mm) (部材角 (rad))	軸変形 (mm)
H-3	H-0	400	137	98	115	6.3 (0.018)	0.93
H-4		200	110	98	46	7.3 (0.020)	11.90
P-3	P-0	400	149	98	71	7.2 (0.020)	1.65
P-4		300	134	98	45	9 (0.025)	5.50
W-3	W-0	300	111	79	62	9 (0.025)	1.08
W-4		500	114	79	91	5.4 (0.015)	1.08
S-3	S-0	300	117	79	43	9 (0.025)	1.86
W52-1	W52-0	500	155	99	77	6.3 (0.018)	2.20
W52-2		350	137	99	45	9 (0.025)	6.50
W90-1	W90-0	350	120	79	106	4.5 (0.013)	0.44
W90-2		200	109	79	103	6.3 (0.018)	0.46
D13S-1	D13S-0	300	110	85	13	7.2 (0.020)	2.62
D13S-2		500	126	85	101	4.6 (0.013)	0.75
D13W-1	D13W-0	300	122	85	27	10.8 (0.030)	7.20
D13W-2		500	130	85	94	5.4 (0.015)	1.20
D13W-3		500	116	85	50	5.4 (0.015)	3.41
$\phi 4W-1$	$\phi 4W-0$	300	111	85	53	10.8 (0.030)	3.42
$\phi 4W-2$		500	108	85	98	3.6 (0.010)	0.84
D10WH-1	D10WH-0	300	120	94	107	7.2 (0.020)	0.07
D10WH-2		500	134	94	116	5.4 (0.015)	0.09
D10SH-1	D10SH-0	300	127	94	103	7.2 (0.020)	0.12
D10SH-2		500	139	94	130	5.4 (0.015)	0.10
D10WL-1	D10WL-0	150	85	68	21	14.4 (0.040)	1.67
D10WL-2		300	87	68	9	7.2 (0.020)	0.70
D10SL-1	D10SL-0	150	83	68	22	9 (0.025)	0.59
D10SL-2		300	87	68	27	7.2 (0.020)	0.77

以上は帯筋量 (D6@70) および主筋量 (4-D10) が同一であるが、以降のシリーズではこれらをパラメータとした。W52, W90 シリーズはいずれも D6 の溶接帯筋を有するシリーズであるが、帯筋間隔を 52mm と 90mm に変化させた<sup>7)</sup>。次の 3 シリーズ<sup>8)</sup>は主筋量の影響をみるシリーズで、D13S シリーズと D13W シリーズは主筋を 4-D13 としたもので、他の諸元はそれぞれ S シリーズと W シリーズと同じ

のである。さらに主筋の無いシリーズ (実際には施工用として 4- $\phi 4$  を配筋) として  $\phi 4W$  シリーズを計画した。

最後にコンクリート強度を変化させたシリーズを行った<sup>9)</sup>。すなわち、高いコンクリート強度を用いシリーズ W と同じ配筋諸元を有する D10WH シリーズと S シリーズと同じ配筋を有する D10SH シリーズ、さらに、低いコンクリート強度を用い W シリーズと同じ配筋諸元を有する D10WL シリーズと S シリーズと同じ配筋を有する D10SL シリーズである。

### 2.2 加力方法

試験体は 180×180×1200mm の長方形で、基礎治具で挟み込まれている端部を基礎部分と考えるため、実際の試験範囲は 360mm である。また、軸変形は試験体中央部 310mm の区間を試験体の両面で 2 箇所づつ、計 4 箇所測定した (図 1)。

図 3 に加力装置を示す。試験体は上下の端部を基礎治具で挟み込んだ。軸加力実験では左右の鉛直ジャッキにより試験体の上部の加力治具を水平に保った。また、曲げせん断加力実験では、左右の鉛直ジャッキにより試験体の上下で逆対称変形になるようにした。曲げせん断加力実験で与える水平変形は、1/100, 1.5/100, 2/100, 2.5/100rad, …… をそれぞれ 2 回づつを基本とし、所定の軸力を負担できなくなるまで加力を行った。

### 3. 実験結果

#### 3.1 軸圧縮実験結果とそのモデル化

図 4 に軸圧縮試験体の実験結果の例として試験体 W-0 の軸力と軸変形の関係を示す。ここで軸変形とは、試験区間の中心をはさんだ 310mm での軸方向の変形とした。図中には最大耐力点以降の挙動のモデル化の考え方も示してある。筆者らは文献 10) で帯筋の拘束効果を考慮した軸応力度-軸ひずみ度の評価法を提案しているが、その中で最大耐力以降の安定した領域の軸力の評価法も提案している。図 5 (a) は曲げとせん断力を受ける RC 柱が角度  $\theta$  の滑り面で摩擦力により抵抗しているモデルを表している。ここで、 $N$  が軸力、 $Q$  がせん断力、 $\sigma_l (= p_w \cdot \sigma_w)$  が帯筋による拘束応力度を表す。このとき

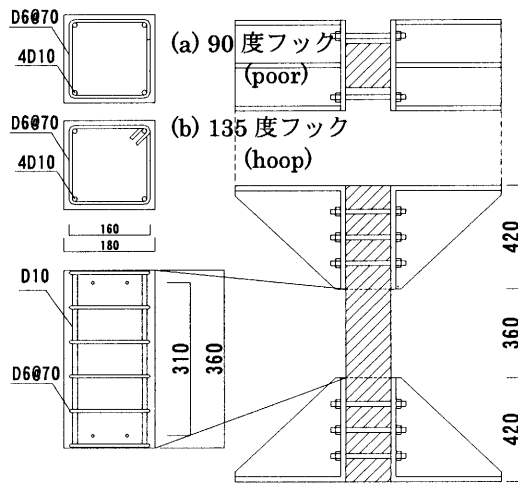


図1 試験体形状及び配筋図

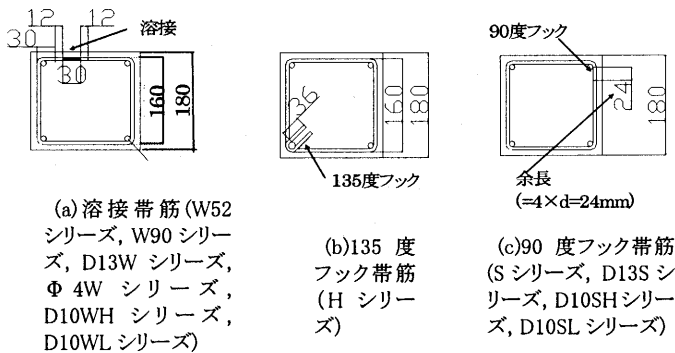


図2 配筋詳細図

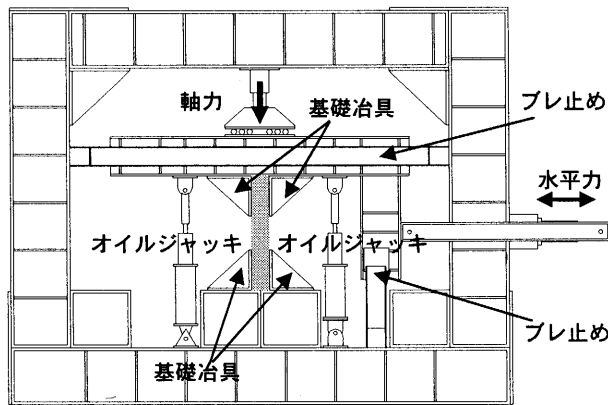


図3 加力装置

滑り面での摩擦係数を $\mu$ 、断面の幅とせいを $b$ 、 $D$ とすると、力の釣り合い式より式(1)を得る。

$$N + Q \frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta - 2\mu \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cdot \cos^2 \theta} = b \cdot D \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \frac{\sin \theta \cdot \cos \theta + \mu \cdot \sin^2 \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cdot \cos^2 \theta} \quad (1)$$

このモデルは軸圧縮実験では最大耐力以降の安定した軸力を保持している状態と考えられ、文献10)では $Q=0$ とし、実験結果を表現する安定軸方向応力度( $\sigma_{up}$ )を提案している。しかしながらこの $\sigma_{up}$ は一定値のため、安定軸力が配筋詳細に依存する帯筋効果の劣

化程度により徐々に低下していく現実的な状態を表現できない。そこで、本報告では、軸変形が0の時には帯筋効果は劣化しておらず最大限の拘束効果を発揮するが、軸変形が進むに従って劣化していく挙動を実験的に定めた。具体例を図4に示した。すなわち、劣化のない初期状態での摩擦による軸抵抗力 $P_{fro}$ を(1)式において $Q=0$ の時の $N$ として以下の(2)式で求める。

$$P_{fro} = b \cdot D \cdot p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot \frac{\sin \theta \cdot \cos \theta + \mu \cdot \sin^2 \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cdot \cos^2 \theta} + A_s \cdot \sigma_y \quad (2)$$

ここで、 $A_s$ 、 $\sigma_y$ は主筋の全断面積と降伏応力度である。以後 $P_{fro}$ を初期摩擦軸力計算値と呼ぶが、試験体としての軸力なので、主筋の負担分を加えている。また、摩擦係数 $\mu$ は文献5)に合わせ0.77とし、滑り角度 $\theta$ は実験値の平均的な値である60度とした。なお、文献5)ではMohr-Coulombの破壊基準を用いて軸力保持性能を検討しているが、このときRichartらによる静水圧下の拘束効果評価式に合致させた摩擦係数 $\mu$ が0.77となっている。これらの決め方には課題が多いが、図5(b)にその影響を示しておく。同図によると、滑り角度が60度付近では、 $P_{fro}$ に対する影響は少ないが、 $P_{fro}$ は摩擦係数には比例的に影響する。以上の方法により評価した $P_{fro}$ を図4にC点として示した。次に軸耐力がある程度下がった点として軸力が $P_{fro}$ の半分になった点(点D)で代表させ、直線CDを試験体の最大耐力以降の安定した領域でのモデルとした。

次に最大耐力直後の急激に軸力が低下する領域であるが、この領域は寸法効果の影響が顕著に表れる領域なので、評価は難しい。本報告では軸力が $P_{fro}$ になった点(図4の点B)と最大軸力点(点A)を結ぶ直線として評価した。従って、直線CDと直線ABの交点をEとすると、線分AEおよび線分EDを試験体の最大耐力以降のモデル化された実験値とした。交点Eはコンクリートの粘着力が消失し、この点から滑り面に沿って滑りが開始するという点であり、配筋詳細の影響を強く受ける点である。本報告では点Eの軸力を滑り開始時摩擦軸力実験値( $P_{fr}$ )と呼びこの軸力に着目する。

図6(a)~(l)に試験体W-0以外の軸加力試験体の結果をそのモデル化とともに示す。いずれも口の点が滑り開始時摩擦軸力実験値の点を表す。いずれの試験体でも最大軸力以降の挙動をよく評価していることが分かる。なお、表1の後半には実験結果として最大強度時、滑り開始時の実験値および初期摩擦軸力計算値の値を示した。今後これらのモデルの定式化が重要なテーマであるが、それについては別な機会に検討したい。

### 3.2 曲げせん断実験結果

図7(a)~(x)に曲げせん断試験体の水平力—水平変形関係を示す。紙面の都合で試験体S-3と試験体D13W-3は省略している。なお、図中の○は最初に設定した一定軸力が負担できなくなった加力ステップであり、曲げせん断加力終了点を示している。今後この点を軸力保持能力喪失ステップ(必ずステップという言葉が入る)と呼ぶ。この軸力保持能力喪失ステップの変形がそれまでの試験体の最大変形であることもあるが、そうでない場合も多い。本報告ではそれまでに経験した最大部材角を軸力保持能力喪失までの最大部材角(あるいは略して軸力保持能力喪失部材角、この場合はステップという言葉は入らない)と呼び、この部材角の評価法を検討する。

表2の後半には曲げせん断加力実験の実験結果として最大水平

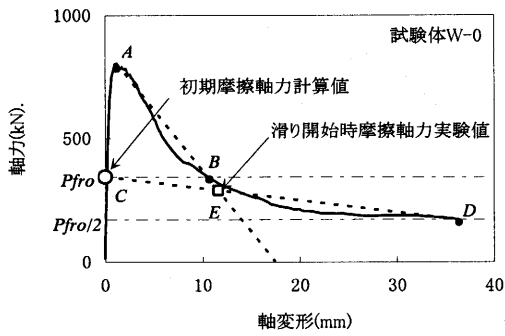
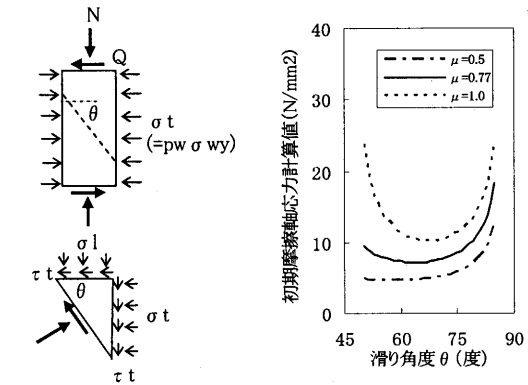


図4 試験体W-0の軸力—軸変形関係(滑り開始時摩擦軸力実験値  $P_{f0}$ (E点の軸力)の決め方)



(a)摩擦軸力の概念 (b)滑り角度と摩擦係数の影響(W-0)  
図5 摩擦軸力の概念と滑り角度と摩擦係数の影響

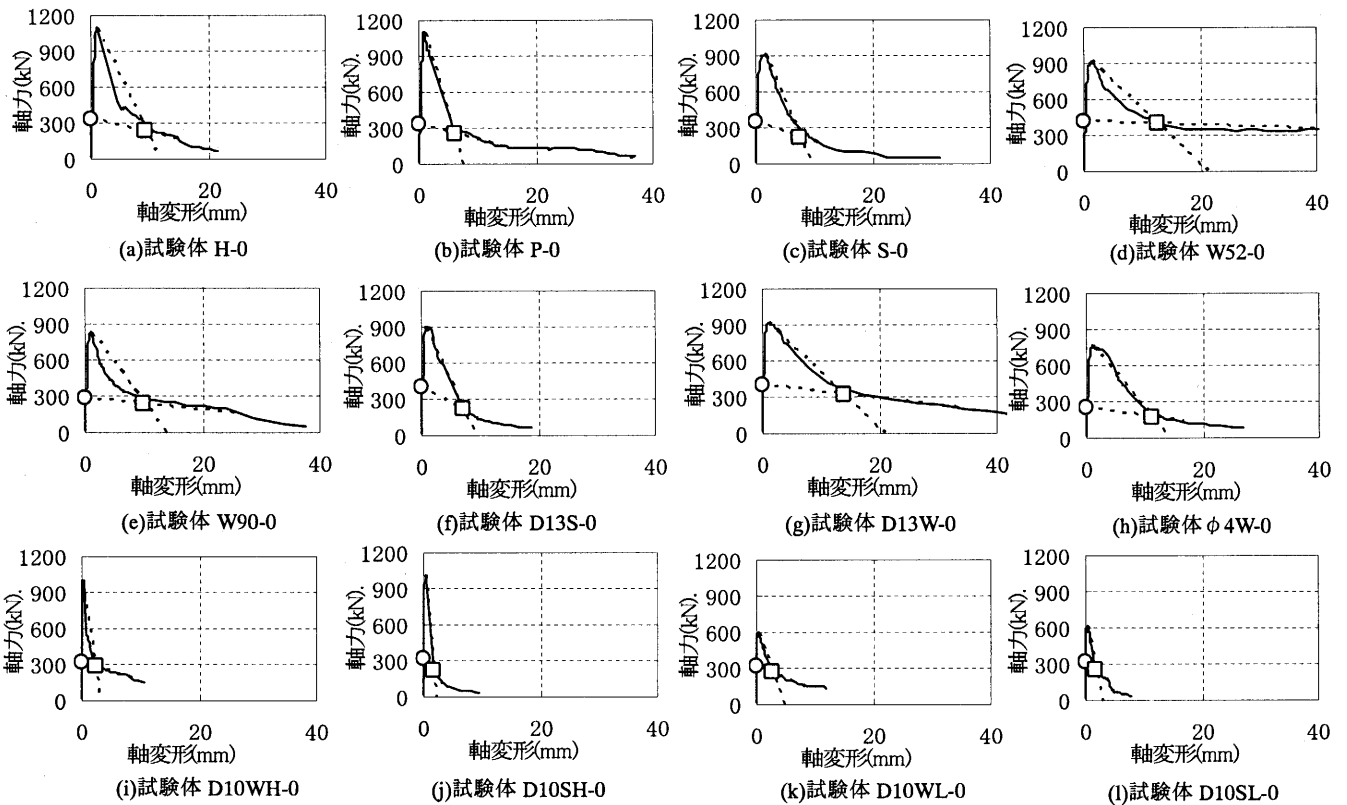


図6 軸加力試験体の軸力—軸変形関係(試験体W-0以外)  
(○):初期摩擦軸力計算値 (□):滑り開始時摩擦軸力実験値

強度、せん断強度計算値、軸力保持能力喪失ステップの水平力、軸力保持能力喪失までの最大変形(部材角)および最大軸変形を示す。

前述したが、最初に行ったシリーズHとシリーズPでは配筋詳細の影響は明瞭には観察されなかった<sup>5)</sup>。しかしながらその後のシリーズでは配筋詳細と軸力保持能力との関係で有意な知見が多く得られている。それらは文献(6)~(9)に報告してあるが、主要な点は以下の通りになる。図7を見ながら説明する。

- 1) 帯筋の拘束が高い方が軸力伝達能力喪失変形が大きく(W52-2 図(h)とW90-1 図(i)), また、軸力が低い方が喪失変形が大きい(W52-2 図(h)とW52-1 図(g))。
- 2) 低強度コンクリートでは、低軸力では配筋詳細影響がみられない(D10WL-1 図(u)とD10SL-1 図(w)), 高軸力ではみられない(D10WL-2 図(v)とD10SL-2 図(x))。

3) 高コンクリート強度では低軸力でも高軸力でも配筋詳細の影響はみられない(D10WH-1 図(q)とD10SH-1 図(s), D10WH-2 図(r)とD10SH-2 図(t))。

以上の知見は個々の試験体を比較したときに成り立たないこともある。そこで、4章では全試験体を横断的に比較し定量的な検討を試みる。

#### 4. 軸力保持能力喪失までの最大部材角の評価法

##### 4.1 摩擦軸力と等価軸力の導入

文献(6)~(9)での検討では試験体としての最大軸力を用いた軸力比は軸力保持能力喪失部材角を評価する指標にはなっていない。そこで本報告では2章で検討した摩擦による軸力を用いた軸力比がその指標に成り得るかを検討する。その際に、曲げせん断試験体は軸

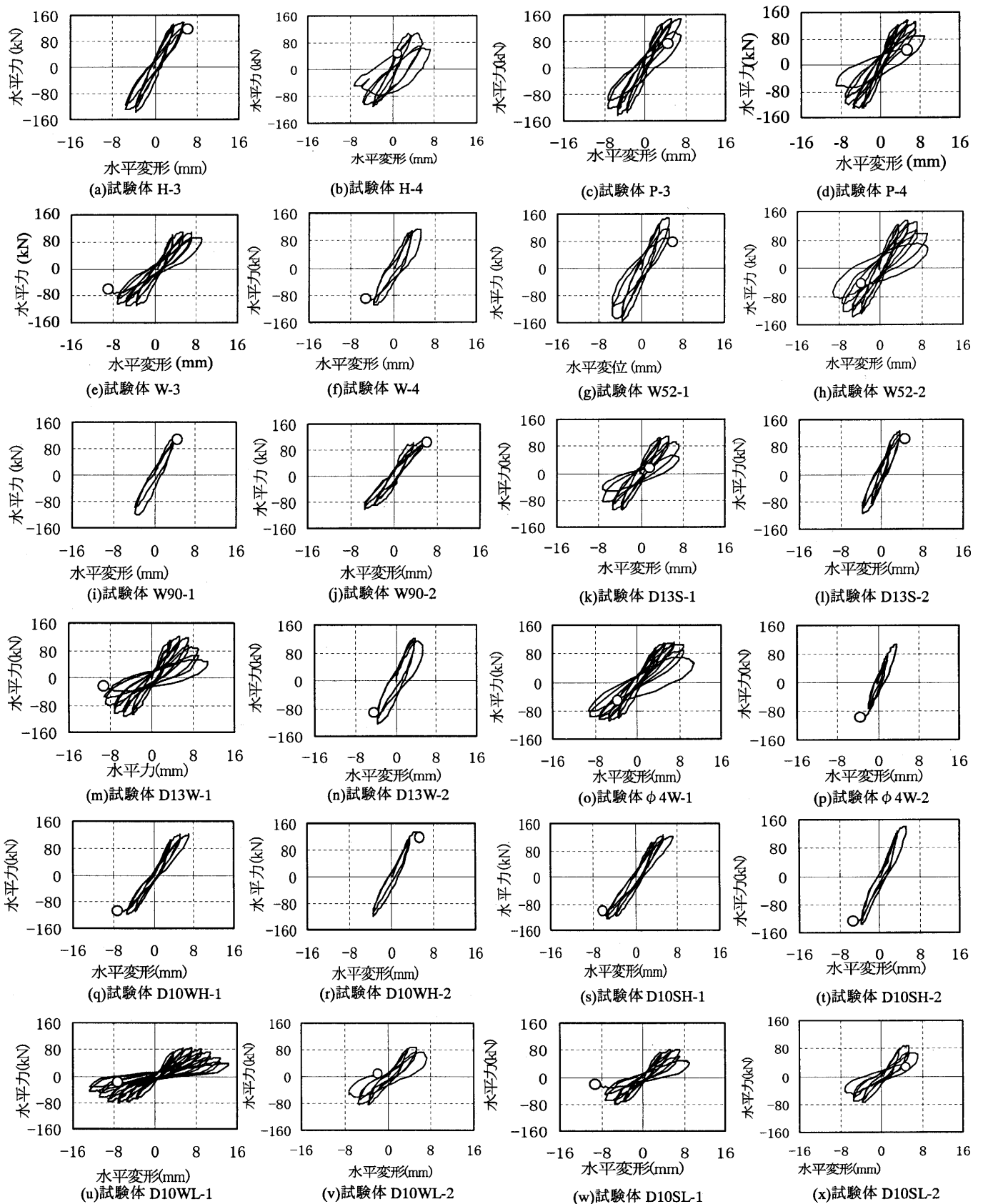


図7 曲げせん断加力試験体の水平力—水平変形関係

(○:軸力保持能力を失った加力ステップ)

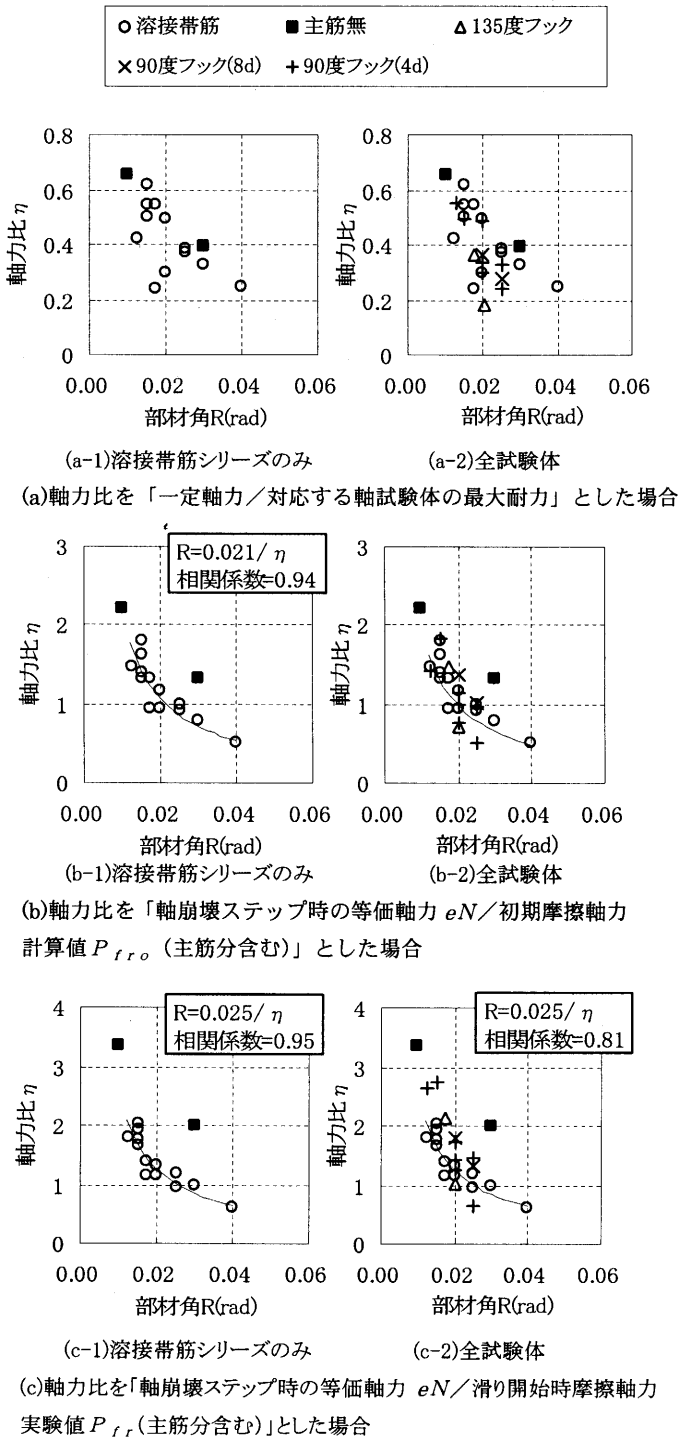


図8 各種軸力比と軸力負担能力喪失までの最大部材角の関係

力負担能力喪失時にせん断力が作用している点、すなわち、図5(a)の応力状態になっており、通常はせん断力は滑る方向に作用すること(図の符号ではQが負)に着目した。このときの力の釣り合い式は式(1)で表されるが、式(1)の左辺が滑り面に沿って滑ろうとする力の鉛直成分、右辺がそれに抵抗する摩擦抵抗力の鉛直成分を表す。そこで、等価軸力  $eN$  として式(1)の左辺である(3)式を採用した。

$$eN = N + Q \frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta - 2\mu \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{\sin \theta \cdot \cos \theta - \mu \cdot \cos^2 \theta} \quad (3)$$

4.2 各軸力比と軸力負担能力喪失部材角との関係

図8は各軸力比と軸力負担能力喪失までの最大部材角との関係を示したものである。図8(a)は作用させた定軸力を対応する軸加力試験体の最大耐力で除したものを軸力比とした場合である。帯筋に溶接帯筋を用いた試験体のみの場合と全試験体を対象にしたものを示した。いずれの図もばらつきが大きく軸力保持能力喪失部材角を評価する指標にはなっていないことが分かる。

一方、図8(b)は式(3)の等価軸力を式(2)の初期摩擦軸力計算値 ( $P_{fr0}$ ) で除したものを軸力比とした場合である。なお、せん断力  $Q$  は軸力負担能力喪失ステップの実験値(表2参照)を用いた。この場合、ばらつきは大きく改善されることがわかる。図中には近似曲線の相関係数も示してある。ただし、図中の■で示した主筋の無い試験体は傾向が異なるので、相関係数の計算からはずしている(以下同様)。図8(b)の精度はよいが、問題としては初期摩擦軸力を使っているの、帯筋量だけで軸力比が決まり、フックや溶接などの配筋詳細の影響が入らないことである。3.2節で述べたようにこれらの影響は高軸力では少なく、低軸力で顕著になっている。このことは図8(b-2)をみてもわかり、軸力比1以上では配筋の影響は無いが、1以下では明らかに配筋詳細の悪いものが下に位置している。

そこで、図8(c)は式(3)の等価軸力を滑り開始時摩擦軸力実験値 ( $P_{fr}$ ) で除したものを軸力比とした場合である。この場合は、実験値なので配筋詳細の影響が入っている。図をみると溶接帯筋だけのものは精度が上昇したが、全体ではばらつきが増してしまった。ただし、これは軸力比が1以上でばらついた影響が大きく、軸力比1以下では配筋詳細の良いものと悪いものが平均的には同じ位置にきている。

4.3 等価軸力の取り方の影響

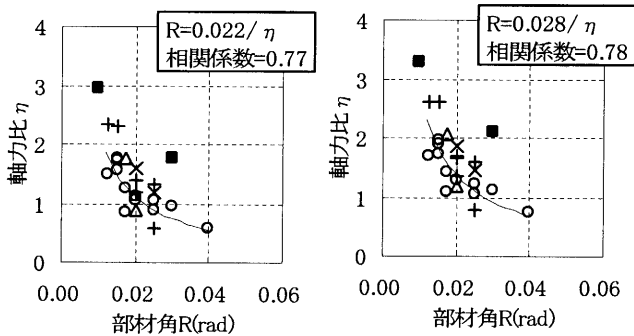
図8(b)(c)では等価軸力の  $Q$  に実験値を用いているが、ここでは等価軸力の取り方の影響を検討する。図9(a)は図8(c-2)と同じ関係であるが、軸力比に式(3)で示した等価軸力の代わりに一定軸力を用いた場合(すなわち  $Q=0$ ) であり、図9(b)は式(3)の  $Q$  にせん断強度計算値を用いた場合である。いずれも  $Q$  に実験値を用いた場合に比べ若干精度は落ちるがあまり差はない。

4.4 軸力保持能力喪失部材角の評価式

図8, 9では軸力比に滑り開始時摩擦軸力実験値 ( $P_{fr}$ ) を用いており、軸圧縮実験結果が必要である。そこで、本節では  $P_{fr}$  に代わるものの可能性を探る。図10は縦軸に  $P_{fr}/P_{fr0}$  を、横軸に  $1 \cdot S/D$  をとって示したものである( $S$ : 帯筋間隔,  $D$ : 柱せい)。溶接帯筋の試験体に限ると図中の破線はその傾向をよく表している。しかしながら配筋詳細の悪いものは破線のかなり下に位置している。すなわち、軸加力実験において軸力が急激に低下していることを意味している。その低下の度合い、すなわち、破線に対する低下率 ( $(P_{fr}/P_{fr0}) / (1 \cdot 0.5S/D)$ ) を表1の右から2つめの覧に示した。溶接帯筋の場合は当然1付近となるが、他の試験体の値はかなりばらついている。しかしながら、平均は135度フックと90度フック(余長8d)では0.9、90度フック(余長4d)では0.8だったので、この平均値を配筋詳細に関する係数  $R_d$  とした(表1の右の覧)。

以上の検討より、滑り開始時摩擦軸力実験値 ( $P_{fr}$ ) に代わる計算値として以下の式(4)が得られた。

$$P_{fr,cal} = P_{fr0} \cdot (1 - 0.5 \cdot \frac{S}{D}) \cdot R_d \quad (4)$$



(a)軸力を「一定軸力」とした場合 (b)軸力を「せん断強度計算値を用いた等価軸力」とした場合

図9 軸力の取り方の影響(いずれも分母は「滑り開始時摩擦軸力実験値  $P_{fr}$ 」)

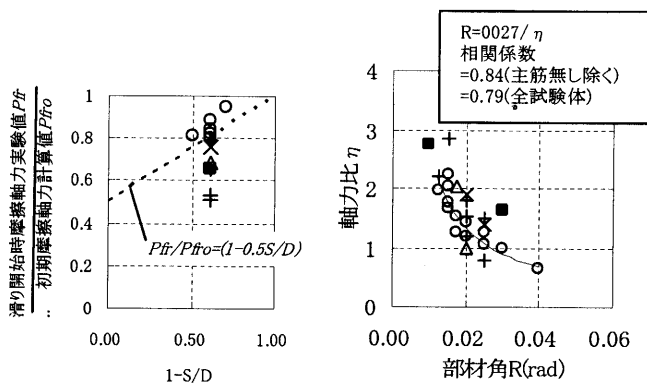


図10 軸加力試験体における「滑り開始時摩擦軸力実験値/初期摩擦軸力計算値」と S/D との関係 (b)軸力比を「軸崩壊ステップ時の等価軸力/初期摩擦軸力計算値  $P_{fr,0} \times (1-0.5S/D)Rd$ 」とした場合の軸力比と軸力負担能力喪失部材角の関係

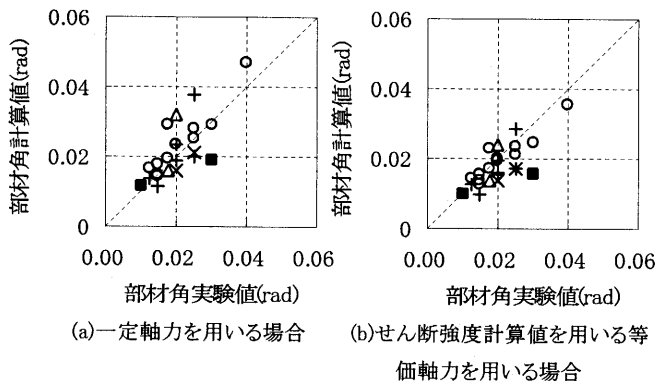


図12 軸力負担能力喪失までの最大部材角の評価式(5)式の精度

ここで、 $R_d$ は溶接帯筋で1、135度フックと90度フック(余長8d)では0.9、90度フック(余長4d)では0.8としておく。図11は式(3)の等価軸力を式(4)の滑り開始時摩擦軸力計算値( $P_{fr,cal}$ )で除したものを軸力比とした場合である。図8(c-2)に比べむしろ精度は上がっている。このときの軸力保持能力喪失部材角Rの評価式を式(5)に示しておく。

$$R = \frac{0.027}{\eta} \quad (\eta = \frac{eN}{P_{fr,cal}}) \quad (5)$$

ただし、軸力比は式(3)(4)を用いて評価する。図11は式(3)の等価軸力に実験値を用いているので、実際の設計等での利用を考え、式(3)に $Q=0$ とした場合と $Q$ にせん断強度計算値を用いた場合の評価式(5)と実験値の比較を図12(a)(b)に示す。式の性格上 $Q=0$ とすれば若干危険側に、 $Q$ にせん断強度計算値を用いれば若干安全側の評価となる。なお、主筋なしの試験体は検討から除いていたが、ほぼ安全側にはなっている。

### 5. まとめ

- (1)軸圧縮試験体の最大耐力以降の負勾配の実験値をモデル化し、配筋詳細の影響を受ける量として滑り開始時摩擦軸力実験値を定義した。さらに、軸崩壊時の滑ろうとする軸方向成分を等価軸力として定義した。
- (2)等価軸力と滑り開始時摩擦軸力実験値を用いた軸力比は軸力負担能力喪失部材角を精度よく評価した。
- (3)滑り開始時摩擦軸力実験値の代わりに配筋詳細を考慮した滑り開始時摩擦軸力計算値を提案した。
- (4)問題点として、滑り開始時摩擦軸力実験値の定義、配筋詳細に関する係数の決め方、主筋のない試験体は除かれていること、があり、今後の検討が必要である。

**謝辞** 本研究は平成14~16年度科学研究費補助金基盤研究(C)「せん断挙動が卓越するRC造柱の配筋詳細を考慮した軸力保持性能の評価法」(代表加藤大介)および平成17年度科学研究費補助金基盤研究(B)「単純軸圧縮挙動に基づいたRC系柱の軸力負担能力の評価手法の開発」(代表加藤大介)によった。

### 参考文献

- 1) Santiago Pujol, Mete Sozen, Julio Ramirez, Transverse reinforcement for columns of RC frames to resist earthquakes, Journal of Structural Engineering, pp.461-466, 2000.4
- 2) J. P. Moehle, K. J. Elwood, H. Sezen, Shear failure and axial load collapse of existing reinforced concrete columns, The first U.S.-Japan Workshop on performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, pp.233-247, 1999
- 3) 黒木光博, 田才晃, 他:耐震診断基準における残存耐力の検証(その1~3):日本建築学会大会学術講演梗概集C-2構造IV, pp.127-134, 2005
- 4) 中村孝也, 芳村学, 大和征良:せん断破壊型鉄筋コンクリート短柱の軸力保持限界に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第561号, pp.193-199, 2002
- 5) 加藤大介, 李柱振, 菅勝博, 中村友紀子:異なる配筋詳細を有するRC造柱のせん断破壊後の軸力負担能力の評価実験, 第26回コンクリート工学年次論文報告集26-2, pp.199-204, 2004
- 6) 李柱振, 加藤大介:異なる配筋詳細を有するRC造柱のせん断破壊後の軸力負担能力の評価実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2構造IV, 139-140, 2005
- 7) 李柱振, 加藤大介, 菅勝博, 中村友紀子:せん断破壊するRC造柱の軸力負担能力に及ぼす載荷方法の影響, 第27回コンクリート工学年次論文報告集27-2, pp.217-222, 2005
- 8) 八塚卓哉, 加藤大介:RC造柱の軸力保持性能に及ぼす主筋の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2構造IV, pp.141-142, 2005
- 9) 李柱振, 八塚卓哉, 加藤大介:RC柱の軸力保持性能に及ぼすコンクリート強度の影響, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp.53-56, 2006
- 10) 加藤大介:角形補強筋で拘束されたコンクリート柱の軸応力度一歪度関係に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第422号, pp.65-74, 1991.4
- 11) 平成4年度 New RC 研究開発概要報告書 C-7)コンファインドコンクリートの力学特性に関する資料のとりまとめ, 国土開発技術センター, 1993
- 12) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999

(2006年7月7日原稿受理, 2006年9月12日採用決定)