

## 第 8 章

### 杭頭接合面を模擬した支圧試験

## 8.1 はじめに

プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説<sup>[8-1]</sup>によれば支圧機構による圧縮強度上昇は面積比のルート則になるとされている。支圧試験として坂田らの研究<sup>[8-2]</sup>が挙げられるが試験条件として試験体の寸法・形状（円型・角型）、支圧部・支承部の強度差、中心部載荷・偏心載荷を設定して試験をしているが、いずれの試験においても支圧部の断面は中実断面としており、中空断面での試験はされていない。

坂田らの研究では支圧部・支承部ともに角形としているが、本研究では、既製杭とパイルキャップの実情に合わせて支圧部（既製杭）を中空円形、支承部（パイルキャップ）を角形に変更して支圧試験を実施した。また、中空断面のコンクリートの圧縮合力の範囲の広がりを確認することを目的にモールドゲージを設置した。さらに、へり空きおよび中子筋の影響についても検討を行う。

シリーズ1では既製杭の実情を模擬して支圧部を中空円形、支承部を角形で固定し、支圧部・支承部の面積比、コンクリート強度、支圧盤形状（中実）、有効面積帯筋比、試験体寸法を試験変数とし、既往の研究との適用性を確認した。

シリーズ2では、シリーズ1で中子筋を配筋した試験体の支圧強度増加が認められたため、シリーズ2では中子筋の効果を確認するため中子筋の配筋仕様（配筋量、鉄筋配置）、強度、支圧部・支承部の面積比を試験変数として試験を行った。

## 8.2 既往の研究

### 8.2.1 支圧強度について

プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針（案）・同解説<sup>[8-1]</sup>では、コンクリートの支圧強度  $F_n$  は PC 基準において圧縮強度が  $20\text{N/mm}^2$  から  $40\text{N/mm}^2$  程度の範囲の既往に実験結果を基に（式 8.2.1）が与えられている。

$$F_n = \sigma_B \cdot \sqrt{A_c/A_1} \quad (\text{式 8.2.1})$$

ただし、

$F_n$  : コンクリートの支圧強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$\sigma_B$  : コンクリート強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$A_c$  : コンクリートの支承面積 ( $\text{mm}^2$ )

$A_1$  : コンクリートの支圧面積 ( $\text{mm}^2$ )

同報告のなかでは、 $40\text{N/mm}^2$  を超える高強度までのコンクリートの支圧強度評価式としてコンクリートの引張強度  $\sigma_t$  を指標にした（式 8.2.2）が提案されており、同式により実験結果を良好に評価できることを示している。図 8.2.1 に支圧面積比と支圧強度比との比較を示す。

しかし、近年実施された圧縮強度が  $9\text{N/mm}^2$  から  $100\text{N/mm}^2$  程度の範囲の無筋コンクリート試験体を用いた支圧強度試験 ( $1.5 \leq \sqrt{A_c/A_1} \leq 3.0$ ) によると（式 8.2.1）はコンクリートの圧縮強度が  $40\text{N/mm}^2$  を超える範囲では、支圧強度を過大に評価する傾向が指摘されている。図 8.2.2 に支圧面積比と支圧強度比との比較を示す。

$$F_n = 10 \cdot \sigma_t \cdot \sqrt{A_c/A_1} = 1.8 \cdot \sigma_B^{(0.8-\sigma_B/2000)} \cdot \sqrt{A_c/A_1} \quad (\text{式 8.2.2})$$

ただし、 $\sqrt{A_c/A_1} \leq 2$

$A_c$  : コンクリートの支承面積 (mm<sup>2</sup>)

$A_1$  : コンクリートの支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

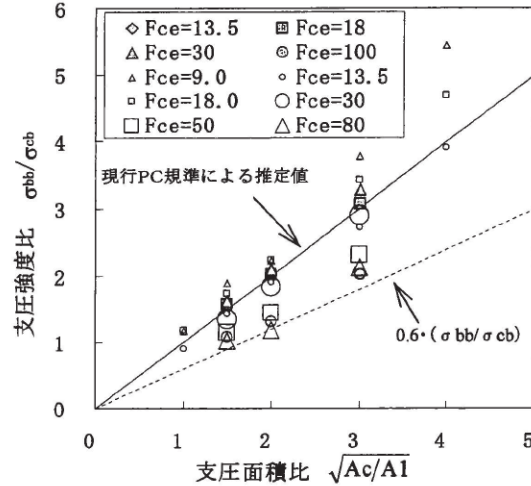


図 8.2.1 支圧面積比と支圧強度比との比較

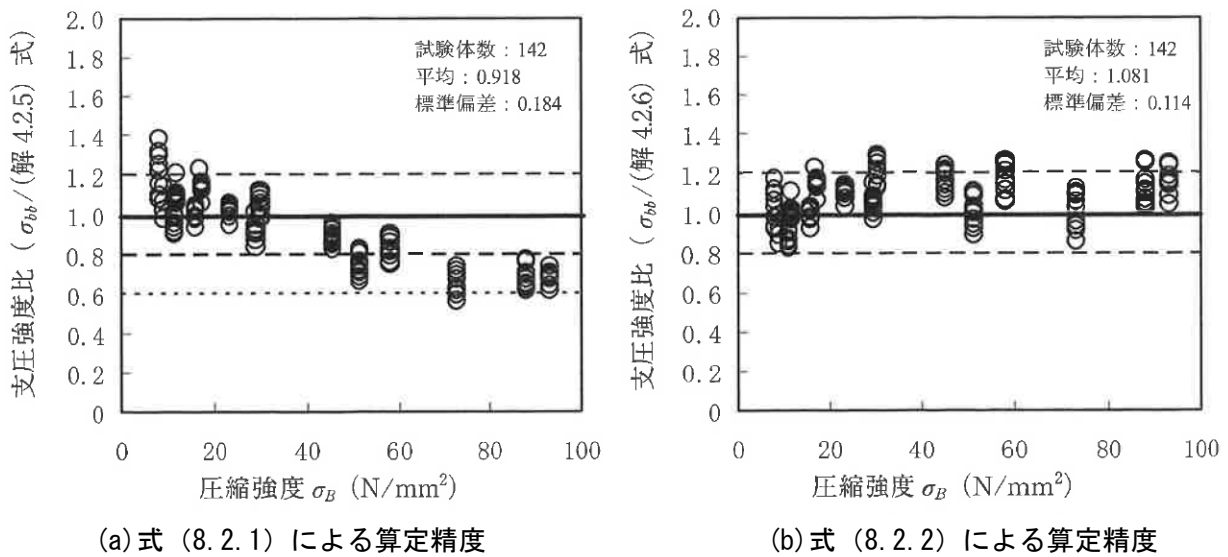


図 8.2.2 コンクリートの圧縮強度と支圧強度比との関係

鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針 (案)・同解説<sup>[8-3]</sup>では、PHC 杭の杭頭接合法は、図 8.2.3 に示す様な 2 種類である。ここで、接合法 A は、杭頭の端部に溶接あるいはねじなどで接合された定着筋をパイルキャップ内に定着する方式である。接合法 B は、杭頭部をパイルキャップ内に 1D 程度 (D は杭外径) 埋め込む方式である。

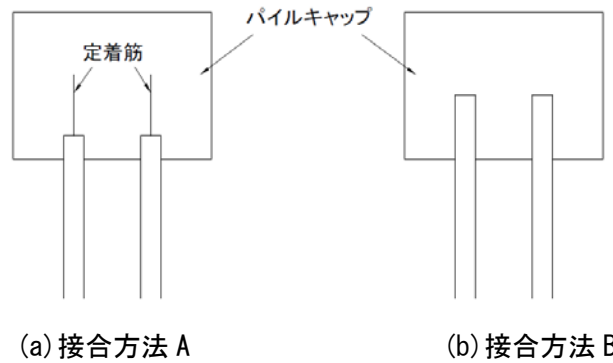


図 8.2.3 PHC 杭の杭頭接合部

接合法 A の杭頭接合部の損傷限界曲げモーメントおよび曲げ強度は、図 8.2.4 に示すように、杭頭部がパイロキャップに接する杭先端位置で、杭と同じ中空円形断面で算定する。このとき杭の肉厚に対して十分な縁空きを有する場合には、パイロキャップ側コンクリートに作用する圧縮力の作用面積が局部的になり、支圧効果によって大きな圧縮力に耐えることができるためこの支圧効果を考慮して、コンクリートの応力度～ひずみ関係を補正し断面の曲げ解析を行う。安全限界設計時における接合法 A の杭頭接合部の曲げ強度は、パイロキャップが杭頭と接する中空円形断面において、コンクリートと鉄筋の応力分布を仮定して、力の釣合い条件によって算定する。コンクリートの安全限界支圧強度は (式 8.2.3) 次式による。

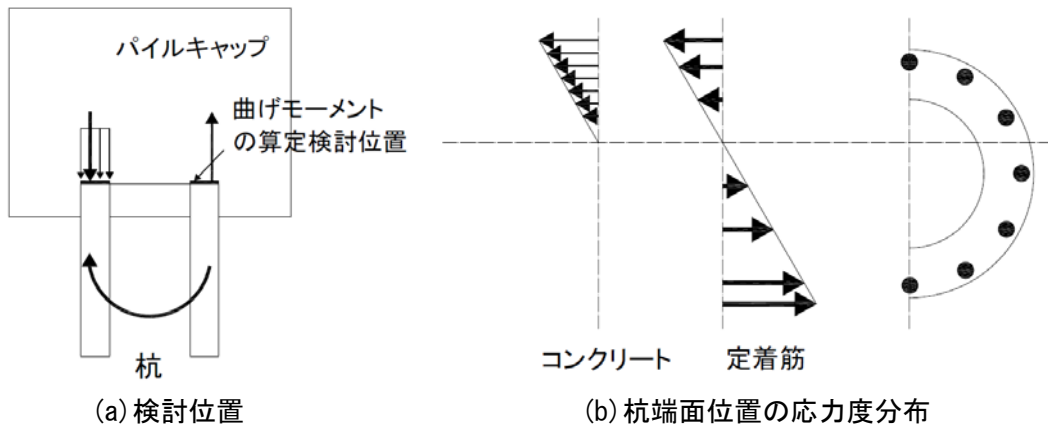


図 8.2.4 接合法 A の杭頭接合部の損傷限界曲げモーメントの算定および応力分布

$$f_{cu} = \phi_c \cdot F_c \tag{式 8.2.3}$$

ただし、

$f_{cu}$ : 支圧部のコンクリートの安全限界支圧強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\phi_c$ : 支圧による圧縮強度増大係数で、2.0 以下とする。

$F_c$ : パイロキャップのコンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

文献[8-4]によれば、既製コンクリート杭のような比較的パイロキャップが大きい場合には  $\phi_c$  が 3.0 以上になる可能性があるとされている (図 8.2.5 参照)。すなわちパイロキャップの大きさと支圧効果による強度増加係数には密接な関係があると考えられるが、定性的な評価は今後の課題である。

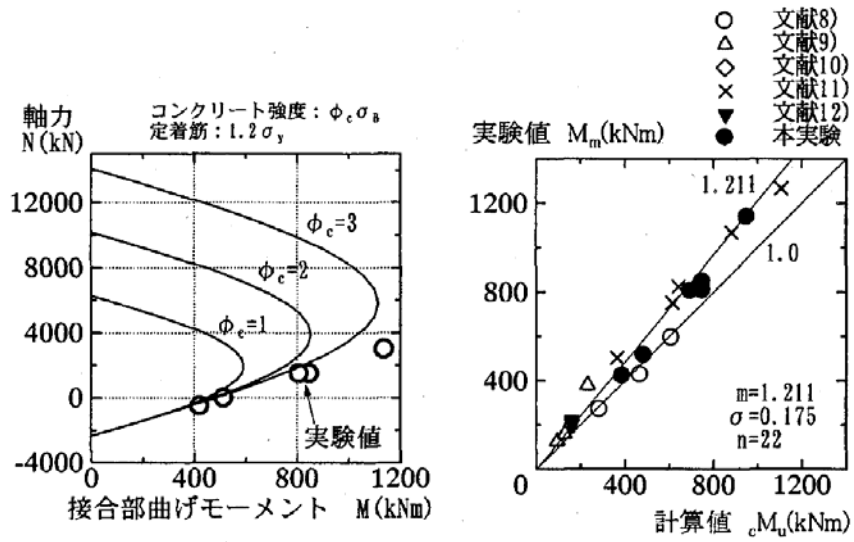


図 8.2.5 接合方法 A の曲げ強度と  $\phi_c=3$  とした場合の計算値との比較

### 8.2.2 標準パイルキャップ寸法

建築基礎構造設計指針<sup>[8-5]</sup>では、へりあきは、基礎スラブ周辺から杭中心までの最短距離は、杭径・杭耐力・杭頭拘束度合などに応じて、ひび割れなど支障のない寸法とし、打ち込み杭で杭頭径の1.25倍、埋め込み杭で杭頭径の1.0倍以上を目安とすると記載されている。

表 8.2.1 に肉厚/杭径 (T/D) および杭径毎の標準パイルキャップ寸法を示す。標準的なへりあき (Dh+(D/2)) は杭径の1.0~1.25倍であるため、へりあき1.0Dと1.25Dの面積比 ( $\sqrt{Ac/A}$ ) を求めた。標準パイルキャップ寸法において面積比 ( $\sqrt{Ac/A}$ ) はへりあき1.0Dの場合:2.82~3.41, へりあき1.25Dの場合:3.53~4.26 となることが分かった。

表 8.2.1 肉厚/杭径 (T/D) および杭径毎の標準パイルキャップ寸法

杭径 D (mm)	肉厚 T (mm)	T/D	支圧 断面積 A1 ( $\times 10^3\text{mm}^2$ )	へりあき $((Dh + (D/2))/D) = 1.0D$				へりあき $((Dh + (D/2))/D) = 1.25D$			
				パイルキャップ 寸法 L1 (mm)	有効 へりあき Dh1 (mm)	支承断面積 Ac1 ( $\times 10^3\text{mm}^2$ )	面積比 $\sqrt{Ac1/A1}$	パイルキャップ 寸法 L2 (mm)	有効 へりあき Dh2 (mm)	支承断面積 Ac2 ( $\times 10^3\text{mm}^2$ )	面積比 $\sqrt{Ac2/A1}$
300	60	0.20	45	600	150	360	2.82	750	225	563	3.53
350	60	0.17	55	700	175	490	2.99	875	263	766	3.74
400	65	0.16	68	800	200	640	3.06	1000	300	1000	3.82
450	70	0.16	84	900	225	810	3.11	1125	338	1266	3.89
500	80	0.16	106	1000	250	1000	3.08	1250	375	1563	3.85
600	90	0.15	144	1200	300	1440	3.16	1500	450	2250	3.95
700	100	0.14	188	1400	350	1960	3.22	1750	525	3063	4.03
800	110	0.14	238	1600	400	2560	3.28	2000	600	4000	4.10
900	120	0.13	294	1800	450	3240	3.32	2250	675	5063	4.15
1000	130	0.13	355	2000	500	4000	3.36	2500	750	6250	4.19
1100	140	0.13	422	2200	550	4840	3.39	2750	825	7563	4.23
1200	150	0.13	495	2400	600	5760	3.41	3000	900	9000	4.26

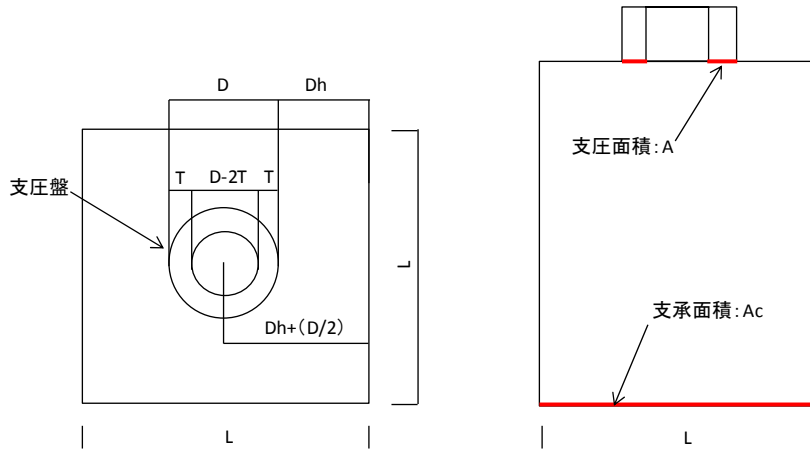


図 8.2.6 パイルキャップの記号

### 8.2.3 パイルキャップの配筋

図 8.2.7 に鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説<sup>[8-6]</sup>に記載されている杭基礎の配筋例を示す。一般的にパイルキャップには、基礎筋（ベース筋）とはかま筋が配置されている。

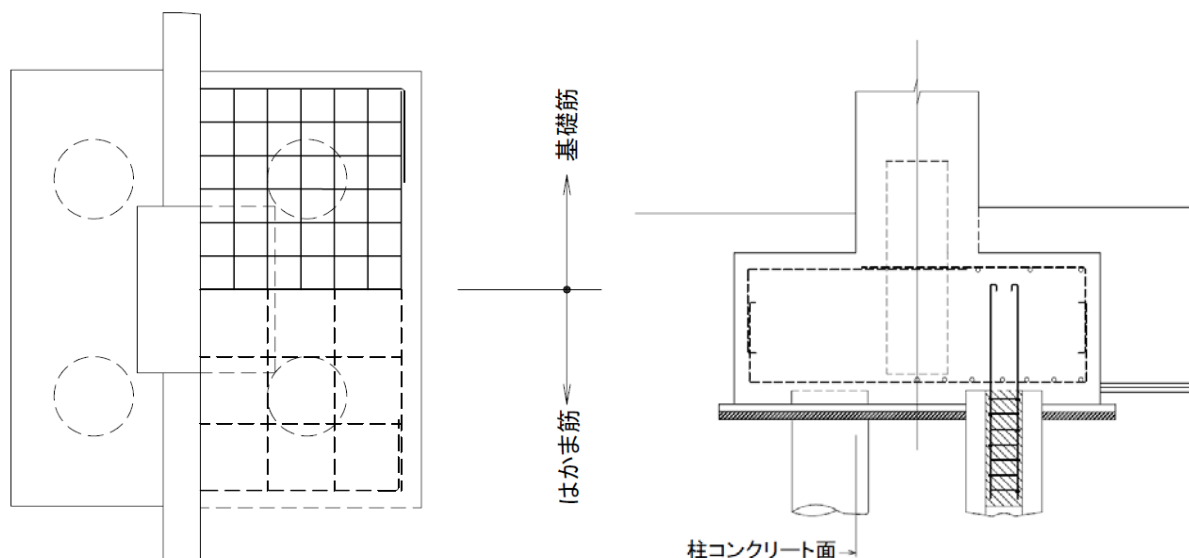


図 8.2.7 杭基礎の配筋例

## 8.3 実験概要

### 8.3.1 試験体仕様

#### (1) 試験体寸法

既製 SC 杭を用いた実大杭基礎部分架構実験（以下 SC  $\phi 400$  ト型試験）<sup>[8-7]</sup>の杭径は  $\phi 400\text{mm}$ ，肉厚は  $65\text{mm}$ ，パイルキャップ寸法は  $900\text{mm} \times 900\text{mm}$ ，支圧面積比 ( $\sqrt{Ac/A1}$ ) は  $3.44$  である。

試験体概要を表 8.3.1 に、パイルキャップの記号を図 8.3.1，試験要因の相関図を図 8.3.2 に示す。

No.0 シリーズおよび No.1 シリーズの支圧盤径は  $100\text{mm}$  ( $\phi 400$  ト型試験体の  $1/4$  サイズ) を標準とし，No.1-2 および 1-3 の支圧盤径は支圧面積比に応じて設定した。No.1-9 の支圧盤径は  $200\text{mm}$  (SC  $\phi 400$  ト型試験体の  $1/2$  サイズ) とした。肉厚/支圧盤径は， $\phi 400\text{SC}$  杭の肉厚/杭径比と同じ， $0.16$  とした。

No.0 シリーズおよび No.1 シリーズの試験体寸法は， $250\text{mm} \times 250\text{mm}$  ( $\phi 400$  ト型試験体の  $1/3.6$ ) とし，No.1-9 シリーズの試験体寸法は， $500\text{mm} \times 500\text{mm}$  (SC  $\phi 400$  ト型試験体の  $1/2.25$ ) とした。尚，試験体は各 1 体とする。

#### 1) 帯筋の有無の影響について (No.0-1, 0-2)

No.1-1~6 の試験を実施するにあたり，面積比 ( $\sqrt{Ac/A1}$ ) が標準的な  $3.85$  の試験体を用いてせん断補強筋の有無を実験要因とした。

#### 2) 面積比の影響について (No.1-1~3)

標準的なパイルキャップの支圧面積比 ( $\sqrt{Ac/A1}$ ) (表 8.2.1 参照) は  $2.82 \sim 4.26$  である。

パイルキャップ寸法は一定とし，支圧盤径，肉厚を変化させ，支圧面積比 ( $\sqrt{Ac/A1}$ ) を，No.1-1 の場合  $3.85$ ，No.1-2 の場合  $4.47$ ，No.1-3 の場合  $2.56$  とした。

#### 3) コンクリート圧縮強度の影響について (No.1-1, 1-4, 1-5)

No.1-4, 1-5 は，パイルキャップ部の圧縮強度を実験要因とし，コンクリート目標圧縮強度 ( $\sigma$ )

を No.1-1 の場合 23.6~26.6N/mm<sup>2</sup>, No.1-4 の場合 54.5N/mm<sup>2</sup> 及び, No.1-5 の場合 74.6N/mm<sup>2</sup> とした。

4) 支圧盤の中空断面と中実断面の影響について (No.1-1, No.1-6)

支圧盤の載荷面の形状の影響を確認するために, 中空断面 (No.1-1) と中実断面 (No.1-6) の支圧盤を用いた試験を行った。

5) セン断補強筋量の影響について (No.1-1, No.1-7, No.1-8)

φ400 ト型試験体セン断補強筋比 (有効面積鉄筋比 pts=0.2%) と同程度になるように, 試験体のセン断補強筋比を 0.25% と設定した。

No.1-7 の有効面積鉄筋比 (pts) は補強筋の断面数を 3 倍に増加し, 0.77% とした。また,

No.1-8 の有効面積鉄筋比 (pts) は一断面あたりの補強筋量を増加 (中子筋方式) し, 1.27% とした。

6) 試験体寸法の影響について (No.1-1, No.1-9)

No.1-1 の試験体寸法は, 250mm×250mm (SC φ400 ト型試験の 1/3.) で, No.1-9 の試験体寸法は, 500mm×500mm (SC φ400 ト型試験の 1/2.25) とした。

尚, No.1-1 の支圧盤径は φ100mm, No.1-9 は φ200mm とした。

表 8.3.1 試験体概要

No.	杭径 D (mm)	肉厚 T (mm)	高さ h1 (mm)	T/D	支圧 断面積 A1 (mm <sup>2</sup> )	パイルキャ ップ幅 L (mm)	パイルキャ ップ高さ h2 (mm)	支承 断面積 Ac (mm <sup>2</sup> )	面積比 <sup>※1</sup> (Ac/A1)	有効 へりあき Dh (mm)	へりあき (Dh+ (D/2))/D	コンクリ ート 縮強度 σ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧盤 形状	有効体積 鉄筋比 ρs (%)	有効面積 鉄筋比 pts (%)	帯筋 呼び名
-	400	65	-	0.16	68,408	900	2350	810,000	3.44	250	1.13	-	-	0.27	0.20	-
0-1	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	23.6	中空	0.43	0.25	D6
0-2	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	23.6	中空	0.00	0.00	-
1-1	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	25.5	中空	0.43	0.25	D6
1-2	85	14	100	0.16	3,123	250	310	62,500	4.47	82.5	1.47	25.5	中空	0.43	0.25	D6
1-3	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	25.4	中空	0.43	0.25	D6
1-4	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	54.5	中空	0.43	0.25	D6
1-5	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	74.6	中空	0.43	0.25	D6
1-6	100	50	100	0.50	7,854	250	310	62,500	2.82	75	1.25	25.4	中実	0.43	0.25	D6
1-7	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	26.2	中空	1.29 <sup>※2</sup>	0.77 <sup>※2</sup>	D6 (ピッチ狭)
1-8	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	26.6	中空	1.62	1.27	D6 (中子筋3段)
1-9	200	32	100	0.16	16,889	500	625	250,000	3.85	150	1.25	26.6	中空	0.47	0.29	D10

※1 面積比は一般的な値であるへりあき1.0Dの場合: 2.82~3.41、1.25Dの場合: 3.53~4.26を参考に設定した。

※2 ピッチを100/3=33mmとした。

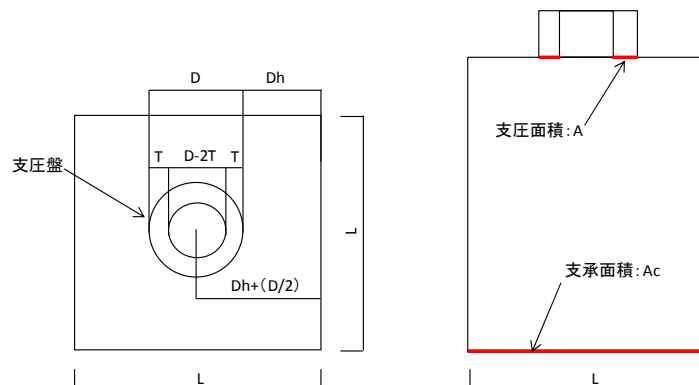


図 8.3.1 パイルキャップの記号



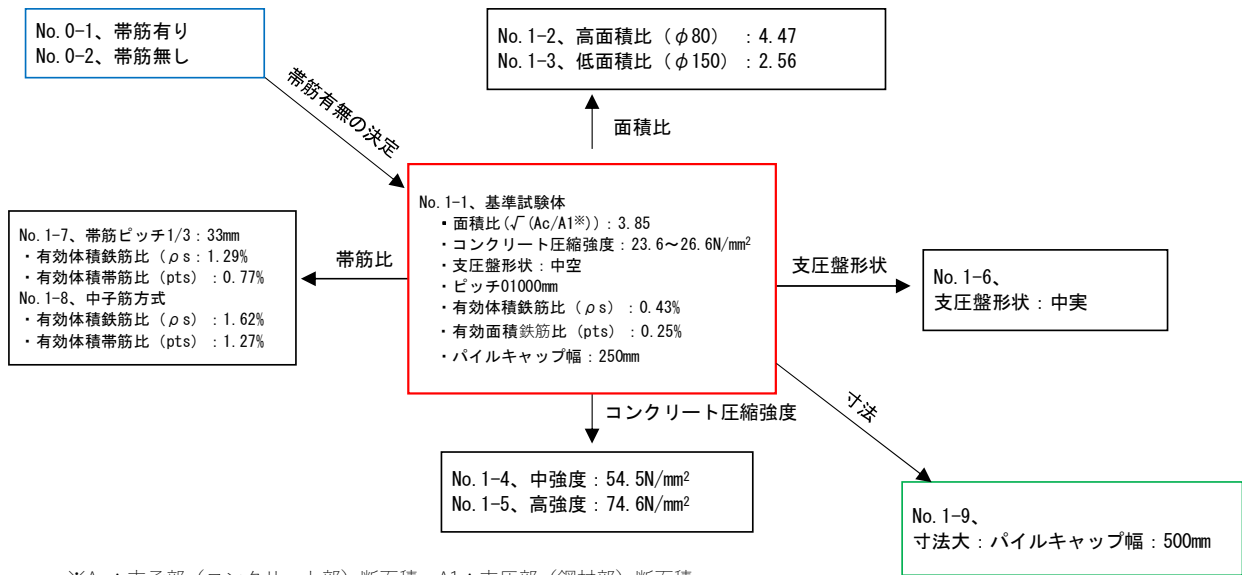


図 8.3.2 試験要因の相関図

(2) 有効体積鉄筋比, 有効面積鉄筋比の計算

有効体積鉄筋比は、帯筋間に設置された帯筋と中子筋の鉄筋体積をコンクリート体積 ( $b \times d \times s$ ) で除した値とした。No. 1-8 の有効体積鉄筋比に関する記号を図 8.3.3 に、有効体積鉄筋比を表 8.3.2 に示す。

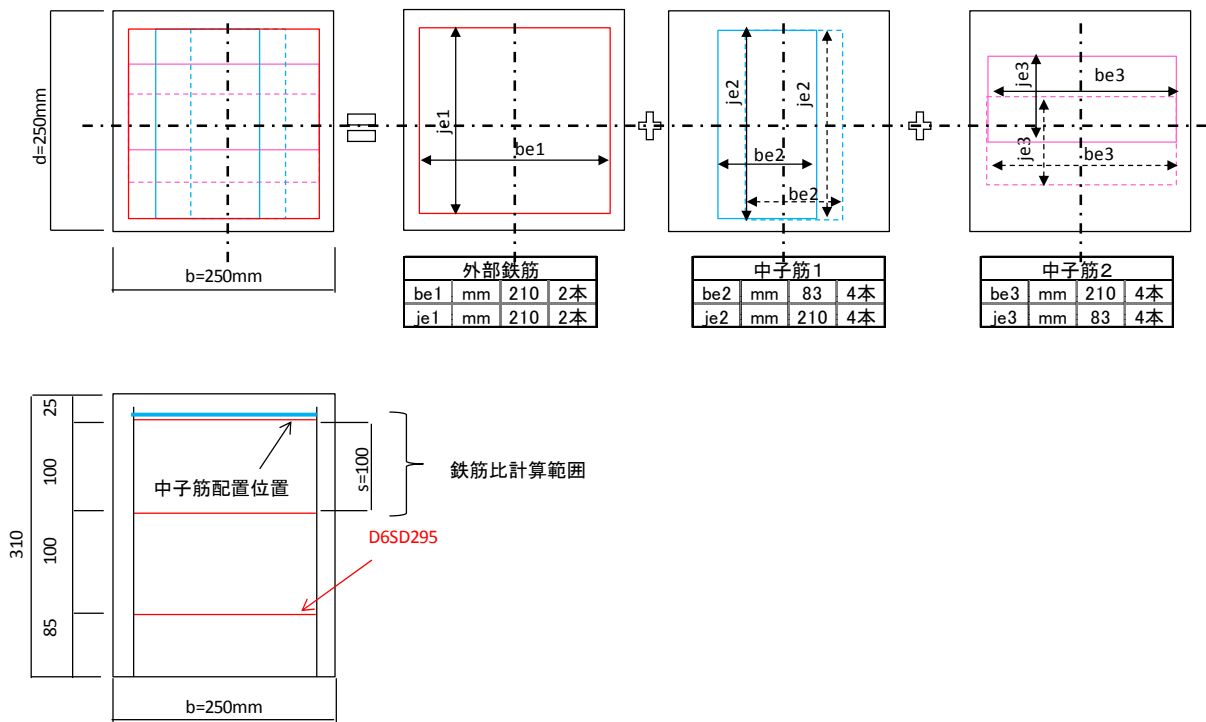


図 8.3.3 有効体積鉄筋比に関する記号 (No. 1-8)

表 8.3.2 有効体積鉄筋比

No.		0-1~1-6	1-7	1-8	1-9		
外部帯筋	仕様		D6	D6	D6	D10	
	断面積	as	mm <sup>2</sup>	31.67	31.67	31.67	71.33
	幅	be1	mm	210	210	210	456
	本数	nb1	本	2	2	2	2
	長さ	je1	mm	210	210	210	456
	本数	nj1	本	2	2	2	2
	体積	V1	mm <sup>3</sup>	26603	26603	26603	130106
中子筋1	仕様		-	-	D6	-	
	断面積	as	mm <sup>2</sup>	-	-	31.97	-
	幅	be2	mm	-	-	83	-
	本数	nb2	本	-	-	4	-
	長さ	je2	mm	-	-	210	-
	本数	nj2	本	-	-	4	-
	体積	V2	mm <sup>3</sup>	-	-	37469	-
中子筋2	仕様		-	-	D6	-	
	断面積	as	mm <sup>2</sup>	-	-	31.97	-
	幅	be3	mm	-	-	83	-
	本数	nb3	本	-	-	4	-
	長さ	je3	mm	-	-	210	-
	本数	nj3	本	-	-	4	-
	体積	V3	mm <sup>3</sup>	-	-	37469	-
合計体積		V4=V1+V2+V3	mm <sup>3</sup>	26603	26603	101540	130106
幅		b	mm	250	250	250	500
長さ		d	mm	250	250	250	500
鉄筋間隔		s	mm	100	33	100	110
体積		V5=b×d×s	mm <sup>3</sup>	6250000	2062500	6250000	27500000
有効体積鉄筋比		$\rho_s=V4/V5$	%	0.43	1.29	1.62	0.47

「注」 V1=(be1×nb1+je1×nj1)×as  
 V2=(be2×nb2+je2×nj2)×as  
 V3=(be3×nb3+je3×nj3)×as  
 V4=V1+V2+V3  
 V5=b×d×s

有効面積鉄筋比は、X方向とY方向毎に求めた。各方向面に設置された帯筋と中子筋の鉄筋面積をコンクリート面積 (b×s) で除した値とした。No. 1-8 の有効面積鉄筋比に関する記号を図 8.3.4 に、有効面積鉄筋比を表 8.3.3 に示す。

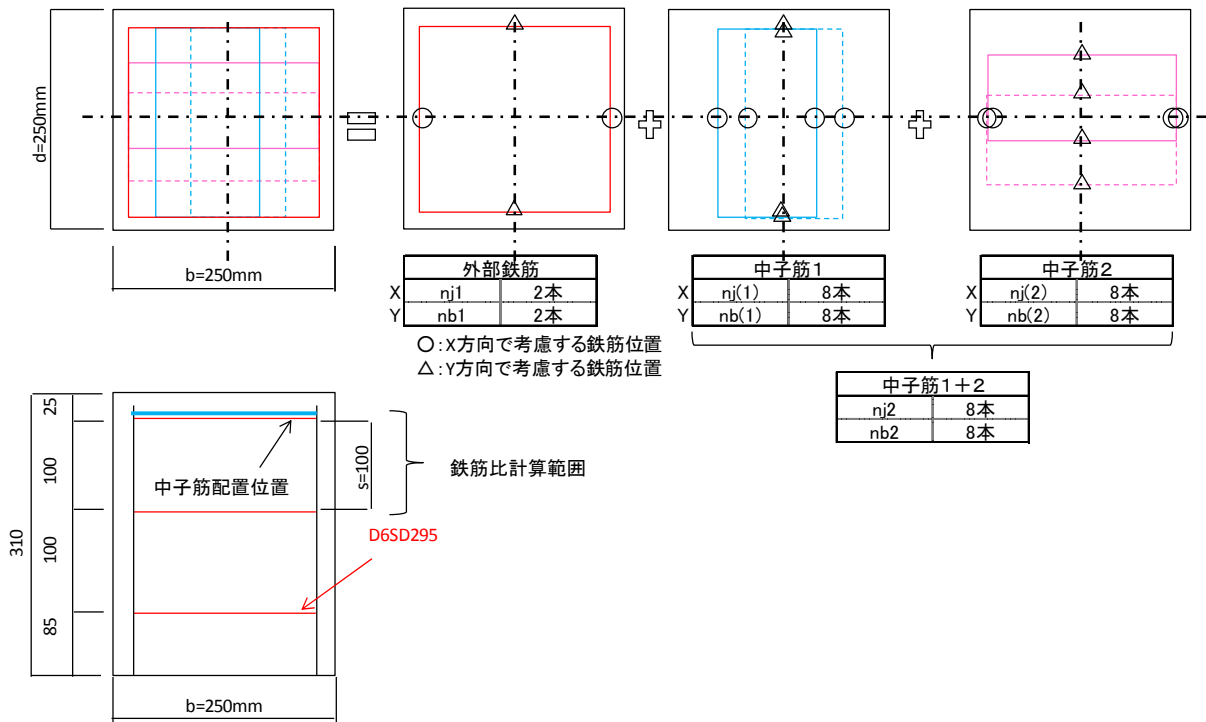


図 8.3.4 有効面積鉄筋比に関する記号 (No. 1-8)

表 8.3.3 有効面積鉄筋比

方向	No.		0-1~1-6	1-7	1-8	1-9	
X	仕様		D6	D6	D6	D10	
	断面積	as	mm2	31.67	31.67	31.67	71.33
	外部帯筋	本数 nj1	本	2	2	2	2
	中子筋 1+2	本数 nj2	本	0	0	8	0
	断面積	A1	mm2	63	63	317	143
	幅	d	mm	250	250	250	500
	鉄筋間隔	s	mm	100	33	100	100
	断面積	A2=b × s	mm3	25000	8250	25000	50000
	有効面積鉄筋比	pts=A1/A2	%	0.25	0.77	1.27	0.29
Y	仕様		D6	D6	D6	D10	
	断面積	as	mm2	31.67	31.67	31.67	71.33
	外部帯筋	本数 nb1	本	2	2	2	2
	中子筋 1+2	本数 nb2	本	0	0	8	0
	断面積	A3	mm2	63.34	63.34	316.7	142.66
	幅	b	mm	250	250	250	500
	鉄筋間隔	s	mm	100	33	100	100
	面積	A4=b × s	mm3	25000	8250	25000	50000
	有効体積鉄筋比	pts=A3/A4	%	0.25	0.77	1.27	0.29
平均有効体積鉄筋比			0.25	0.77	1.27	0.29	

「注」 A1=(nj1+nj2) × as  
 A2=b × s  
 A3=(nb1+nb2) × as  
 A4=b × s

(3) 材料特性

鉄筋の材料試験値およびコンクリートの平均圧縮強度を表 8.3.4~5 に示す。降伏ひずみは、降伏応力をヤング係数で除した値とした。

表 8.3.4 鉄筋の材料試験値

仕様	種類	降伏応力 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (×10 <sup>-6</sup> )
D6	295	392	185,900	527	2109
D10	295	361	191,600	495	1884

表 8.3.5 コンクリートの材料試験値

No.	目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )	セメント種類 による記号	スラブ又は スラップフロー (cm)	骨材の 最大寸法 (mm)	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
						材齢3日	材齢7日	試験日(材齢)		
0-1, 2	24	18	N	20.5	13	-	-	23.6 (材齢34日)	24.8	1.84
1-1, 1-2	24	18	H	18.5	13	10.7	18.3	25.5 (材齢19日)	22.3	1.93
1-3, 1-6								25.4 (材齢20日)	22.8	1.83
1-7, 1-8								26.2 (材齢21日)	22.8	1.92
1-9								26.6 (材齢23日)	22.9	2.14
1-4	48	36	H	18.5	13	39.0	48.2	54.5 (材齢16日)	33.3	2.90
1-5	60	50	H	45	13	56.4	68.6	74.6 (材齢16日)	30.0	2.40

配筋図を図 8.3.5~7 に示す。

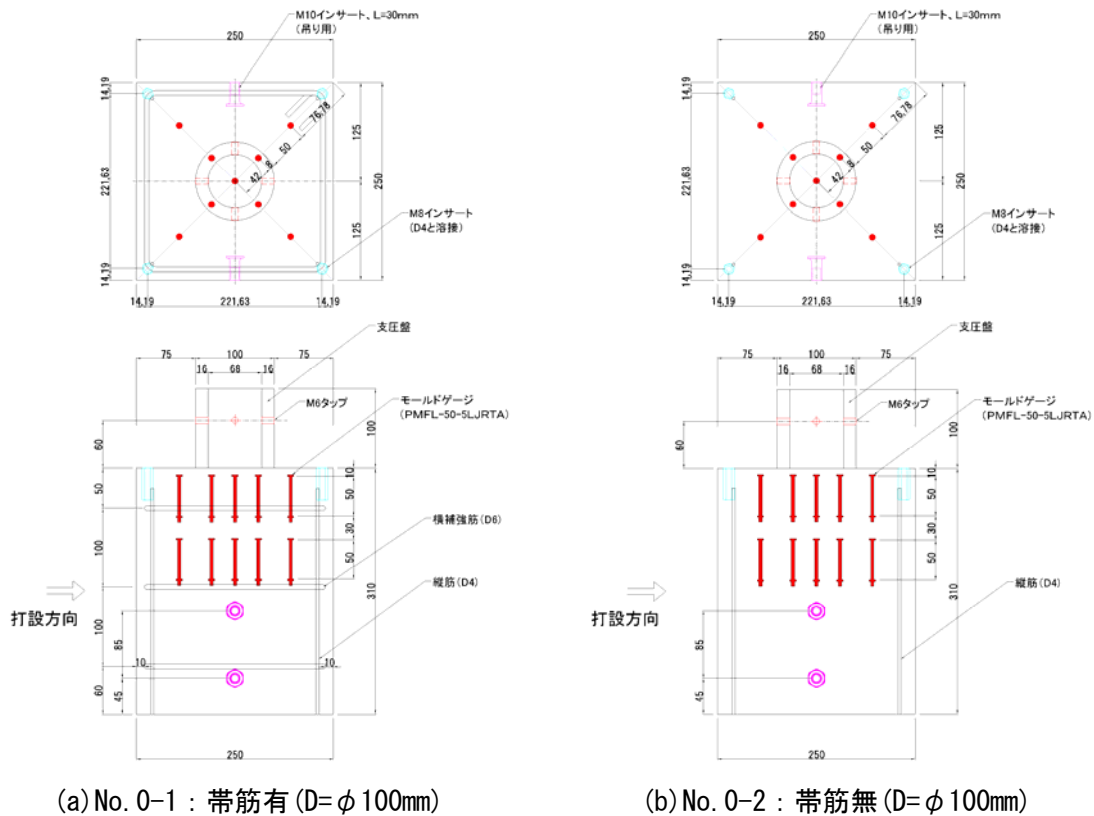


図 8.3.5 配筋図

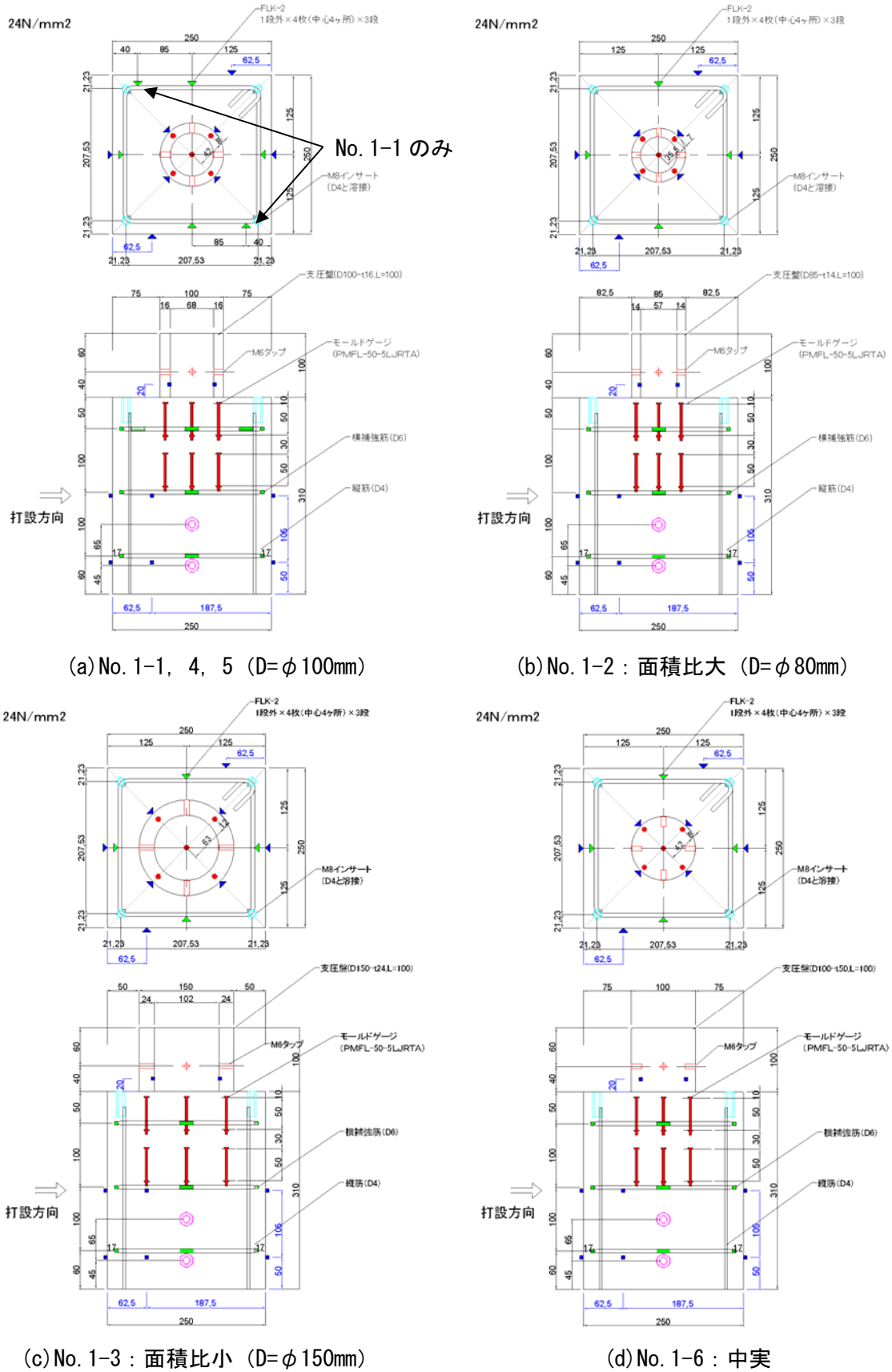


図 8.3.6 配筋図

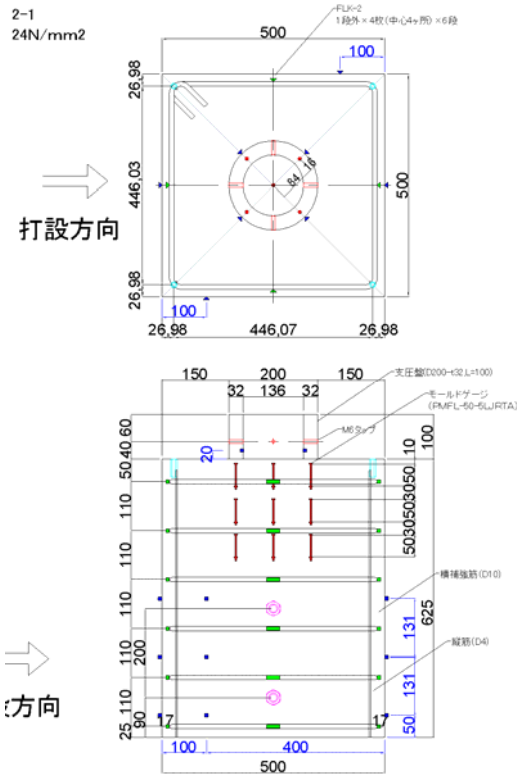
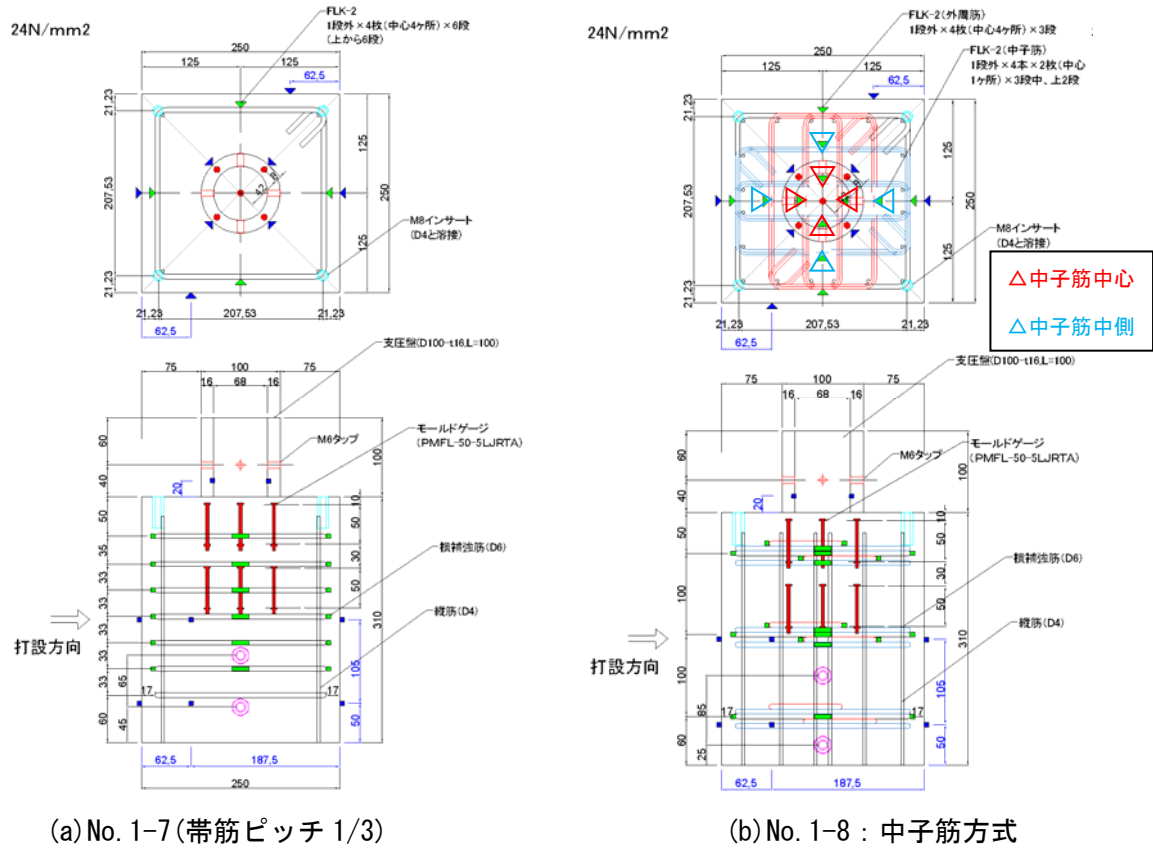


図 8.3.7 配筋図

### 8.3.2 試験体製作

試験写真を写真 8.3.1～2 に示す。

コンクリートの打設方向は支圧盤の設置面の平滑性を確保するために側面から横打ちした。



(a) No. 0-1① : 帯筋有 (D=100mm)



(b) No. 0-1②



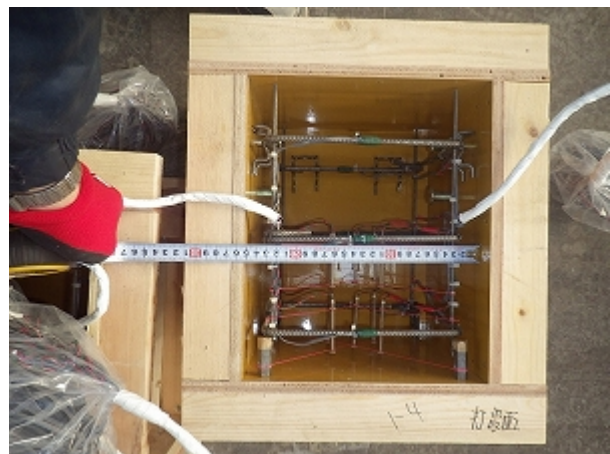
(c) No. 1-1 : 基準試験体 (D=φ 100mm)



(d) No. 1-2 : 面積比大 (D=φ 80mm)

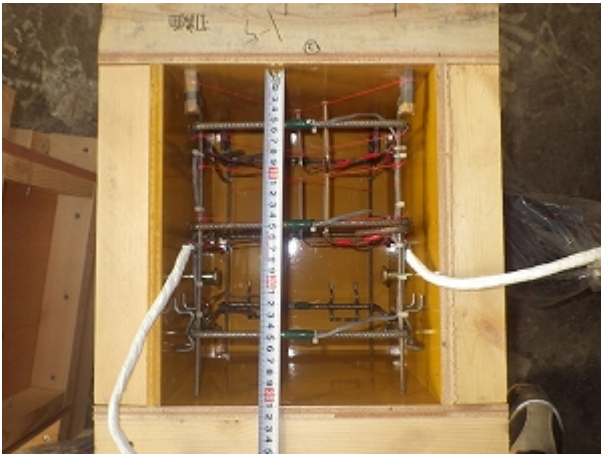


(e) No. 1-3 : 面積比小 (D=φ 150mm)

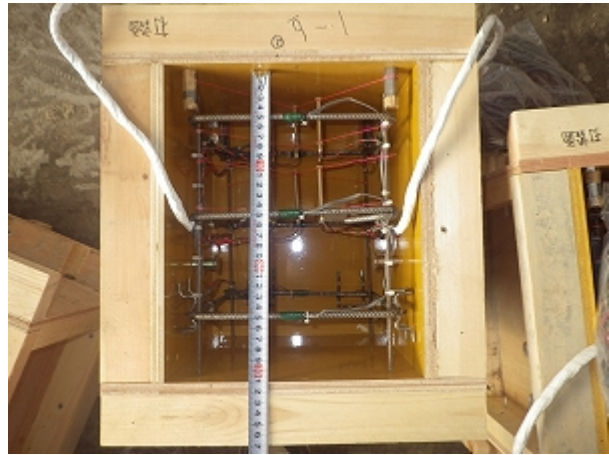


(f) No. 1-4 : 中強度 (σB=54.5N/mm<sup>2</sup>)

写真 8.3.1 供試体製作状況 (No. 1-1～6)



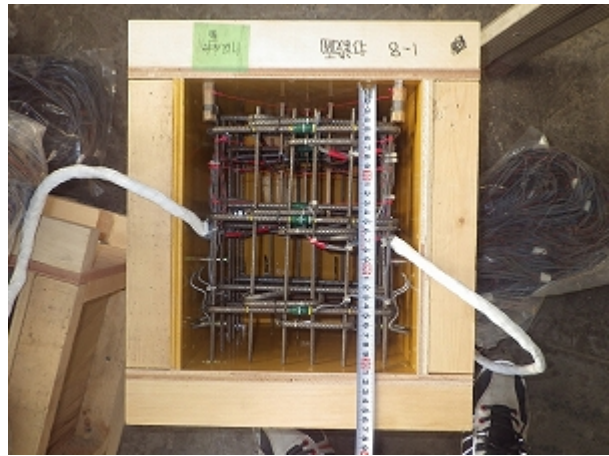
(a) No. 1-5 : 高強度 ( $\sigma_B=74.6\text{N/mm}^2$ )



(b) No. 1-6 : 中実 ( $D=\phi 100\text{mm}$ )



(c) No. 1-7 : 帯筋ピッチ 1/3



(d) No. 1-8 : 中子筋方式



(e) No. 1-9 : 寸法大 (□500 mm)

写真 8.3.2 供試体製作状況 (No. 1-7~9)





(a) 打設状況



(b) 養生状況

写真 8.3.3 コンクリート打設状況

### 8.3.3 載荷方法

実験は、システム計測(株)機材センター（住所：茨城県猿島郡境町大字大歩字宮内4-4）で実施した。

載荷装置図を図 8.3.8 に示し、載荷方式は単調載荷とした。

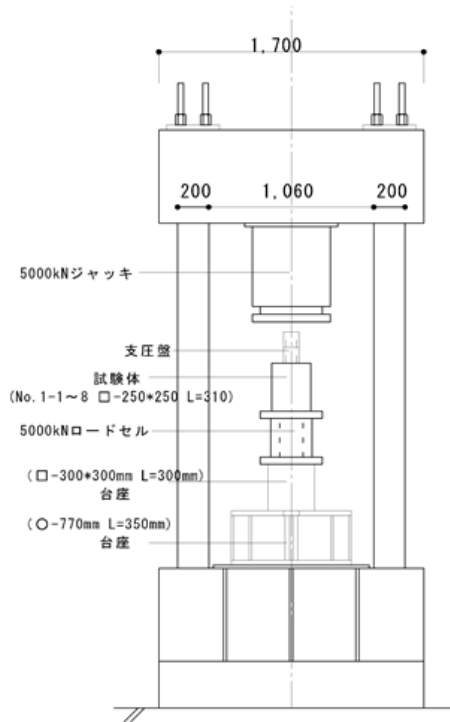


図 8.3.8 載荷装置図



写真 8.3.4 載荷装置

### 8.3.4 計測方法

#### (1) 変位計測

変位計測位置図を図 8.3.9 に示す。支圧盤には変位計のターゲットとなる部材をあらかじめ取付ける。また、コンクリート表面の変位も計測する。コンクリート上端端部の計測板は、コンクリートにあらかじめ埋め込んだインサートに固定する。

なお、めり込み変位量は、コンクリート表面変位と支圧盤の変位差とした。

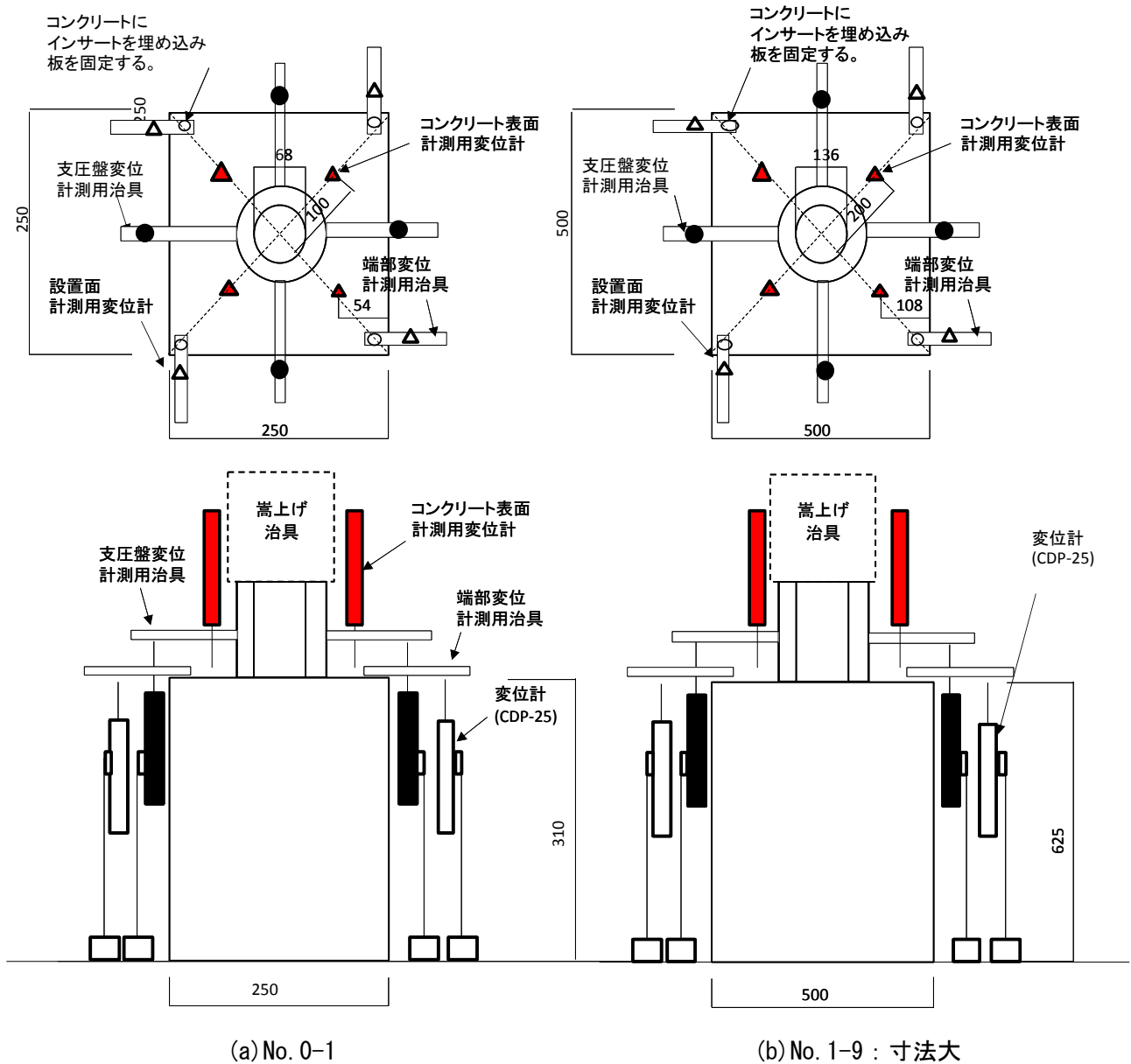


図 8.3.9 計測位置図

#### (2) ひずみ計測

ひずみを計測するために①コンクリート内部にモールドゲージ(PMFL-50, 赤色), ②支圧盤外側に鋼材用ひずみゲージ(緑色)及び③試験体外側にコンクリート用ゲージ(青色)を設置する。No.1-1 及び No.1-9 の設置位置図を図 8.3.10 に示す。

モールドゲージの設置断面数は No.1 シリーズは 2 段, No.1-9 は 3 段とする。

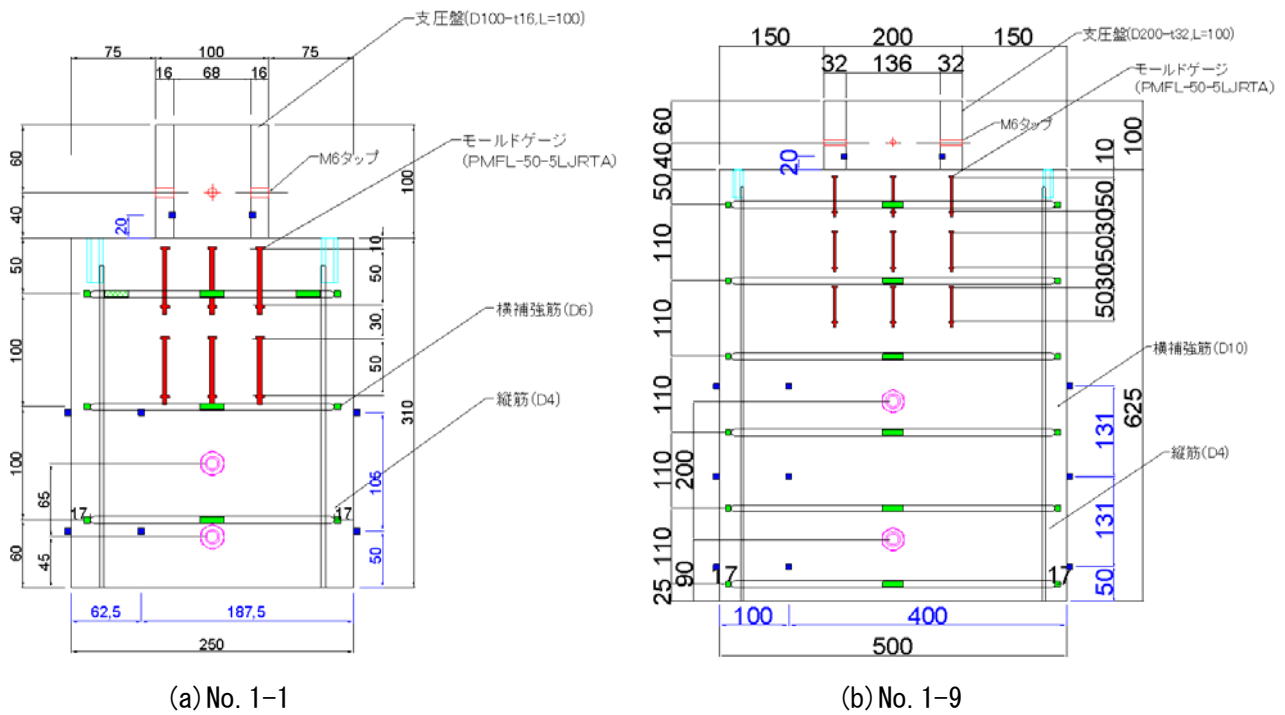


図 8.3.10 モールドゲージ設置位置図

(3) 計測項目

変位およびひずみ計測概要を表 8.3.6 に示す。

表 8.3.6 変位およびひずみ計測概要

測定項目	計測位置	計測点数	機器明細	備考
荷重	-	1	KCM-5MNA	-
変位	支圧盤中央	4	CDP-25 (変位計)	4方向
	コンクリート端部	4	CDP-25 (変位計)	4方向
	コンクリート表面	4	CDP-25 (変位計)	4方向
ひずみ	コンクリート内部	18	PMFL-50 (モールドゲージ)	No. 0シリーズ : 9点×2段 No. 1シリーズ : 5点×2段 No. 2シリーズ : 5点×3段
	帯筋 中子筋	12 ~ 28	FLA-5-11-LT (ひずみゲージ)	No. 1-1, 帯筋 : 4点×3段、2点
				No. 1-2, 帯筋 : 4点×3段、
				No. 1-3, 帯筋 : 4点×3段、
				No. 1-4, 帯筋 : 4点×3段、
				No. 1-5, 帯筋 : 4点×3段、
				No. 1-6, 帯筋 : 4点×3段、
No. 1-7, 帯筋 : 4点×8段、				
No. 1-8, 帯筋 : 4点×3段、中子筋 : 8点×2段				
No. 1-9, 帯筋 : 4点×11段				
支圧盤外側	4	FLA-5-11-LT (ひずみゲージ)	4方向	
コンクリート 外側下端	4	PFL-60-11 (ひずみゲージ)	下端から50mmに貼付け	
コンクリート 外側中央	4	PFL-60-11 (ひずみゲージ)	下端から155mm (試験体中央) に貼付け	

## 8.4 実験結果

### 8.4.1 支圧強度比～支圧面積比関係

ひび割れ荷重および最大荷重を表 8.4.1 に示す。

表 8.4.1 ひび割れ荷重および最大荷重

No.	杭径 D (mm)	支圧 断面積 A1 (mm <sup>2</sup> )	ハ ル キ ャ ッ 幅 L (mm)	支承 断面積 Ac (mm <sup>2</sup> )	面積比 $\sqrt{Ac/A1}$	コンクリート 圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧盤 形状	有効 体積 帯筋比 $\rho_s$ (%)	有効 面積 帯筋比 $\rho_{ps}$ (%)	帯筋 呼び名	ひびわれ 荷重 Pcr (kN)	最大荷重 Pmax (kN)	Pmax /Pcr	支圧強度 $\sigma_{bb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧 強度比 $\sigma_{bb}/\sigma_B$	基準試 験体 との 比較 <sup>※1</sup>	試験変数概要
0-1	100	4,222	250	62,500	3.85	23.6	中空	0.43	0.25	D6	378	386	1.02	91.4	3.87	1.00	帯筋有り
0-2	100	4,222	250	62,500	3.85	23.6	中空	0.00	0.00	-	366	366	1.00	86.7	3.67	0.95	帯筋無し
1-1	100	4,222	250	62,500	3.85	25.5	中空	0.43	0.25	D6	372	374	1.01	88.6	3.47	1.00	基準試験体
1-2	85	3,123	250	62,500	4.47	25.5	中空	0.43	0.25	D6	320	320	1.00	102.5	4.02	0.86	面積比大
1-3	150	9,500	250	62,500	2.56	25.4	中空	0.43	0.25	D6	349	557	1.60	58.6	2.31	1.49	面積比小
1-4	100	4,222	250	62,500	3.85	54.5	中空	0.43	0.25	D6	601	721	1.20	170.8	3.13	1.93	中強度
1-5	100	4,222	250	62,500	3.85	74.6	中空	0.43	0.25	D6	706	853	1.21	202.0	2.71	2.28	高強度
1-6	100	7,854	250	62,500	2.82	25.4	中実	0.43	0.25	D6	346	354	1.02	45.1	1.77	0.95	中実
1-7	100	4,222	250	62,500	3.85	26.2	中空	1.29	0.77	D6	369	409	1.11	96.9	3.70	1.09	帯筋ピッチ1/3
1-8	100	4,222	250	62,500	3.85	26.2	中空	1.62	1.27	D6 (中子筋)	338	580	1.72	137.4	5.24	1.55	中子筋
1-9	200	16,889	500	250,000	3.85	26.6	中空	0.47	0.29	D10	1338	1338	1.00	79.2	2.98	3.58	寸法大

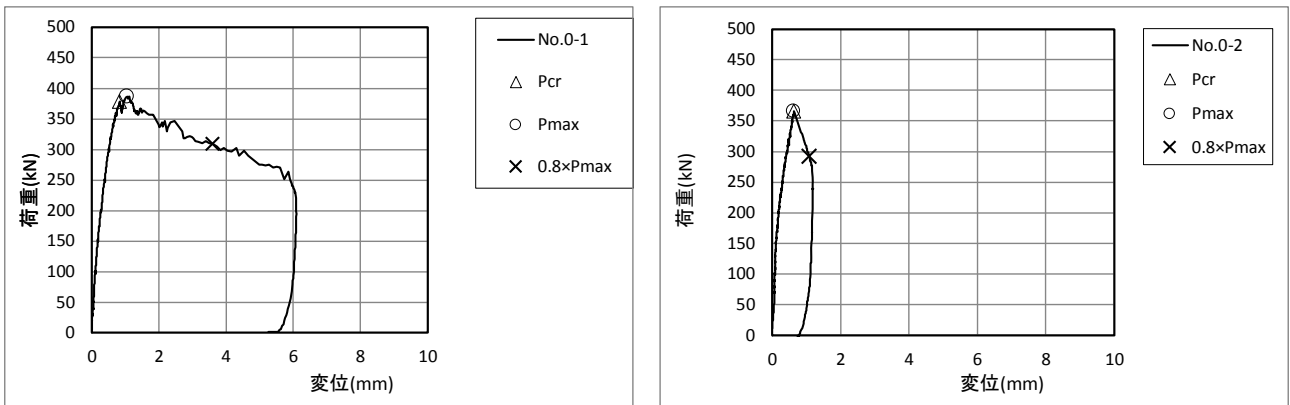
※1 No. 0-2はNo. 0-1との最大荷重の比率, それ以外の試験体はNo. 1-1との最大荷重との比率により算出した。

### 8.4.2 荷重～めり込み変位関係

荷重～めり込み変位関係を図 8.4.1～3, ひび割れ発生時, 最大荷重時および 0.8×最大荷重時の荷重およびめり込み変位並びに 0.8×最大荷重時変位と最大荷重時の比率を表 8.4.2 に示す。なお, めり込み変位量は, コンクリート表面変位と支圧盤の変位差とした。図中には, ひび割れ荷重 (Pcr), 最大荷重 (Pmax) 及び 0.8×最大荷重 (0.8×Pmax), 帯筋および中子筋の降伏荷重を示す。凡例の各荷重は変位の小さい順に記載した。

全体の傾向として①めり込み変形が 1mm 前後で最大荷重に達する, ②コンクリート圧縮強度が 24N/mm<sup>2</sup> 程度かつ帯筋を有効面積鉄筋比 0.25%以上配筋の場合, ひび割れ発生以後の最大荷重までの荷重の伸びが少なく, なおかつ脆性的な破壊はしないことが確認された。

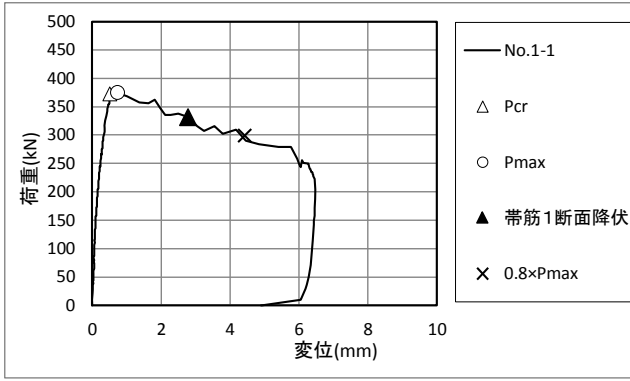
ただし, 有効面積鉄筋比を 1.27% (中子筋方式) とした No.1-8 の最大荷重時変位は 4.6mm, 0.8×Pmax 時の変位は, その他の試験体より大きかった。



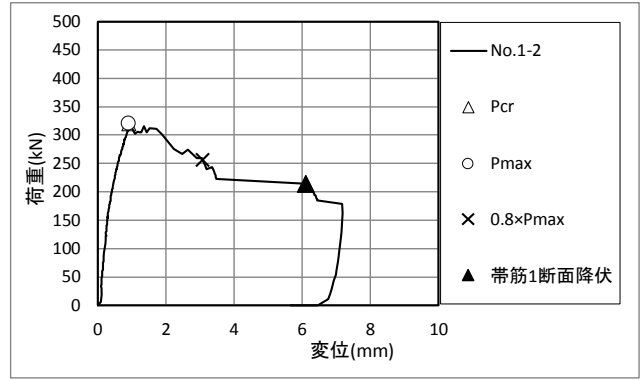
(a) No. 0-1 : 帯筋有り

(b) No. 0-2 : 帯筋無し

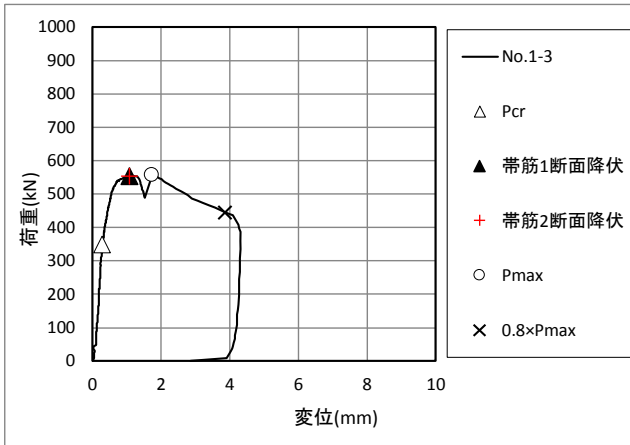
図 8.4.1 荷重～めり込み変位関係



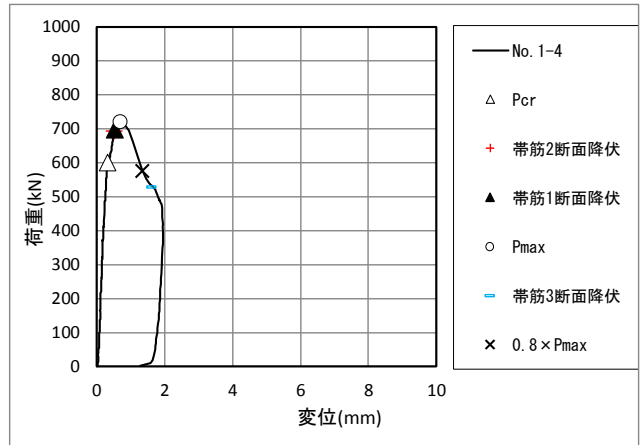
(a) No. 1-1 : 基準試験体



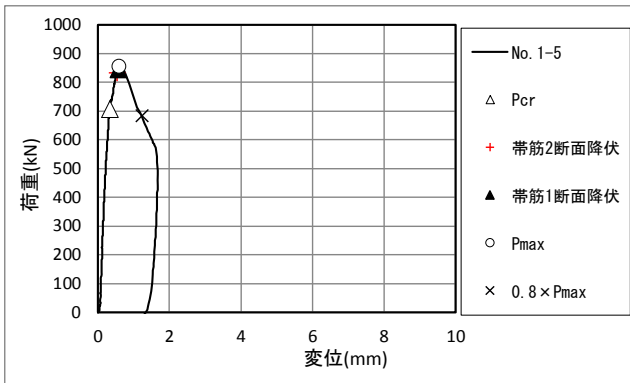
(b) No. 1-2 : 面積比大



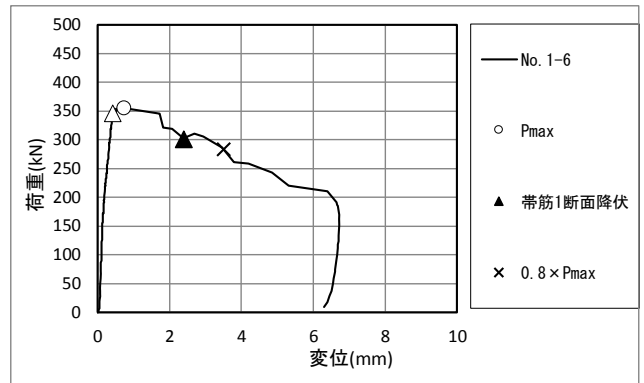
(c) No. 1-3 : 面積比小



(d) No. 1-4 : 中強度

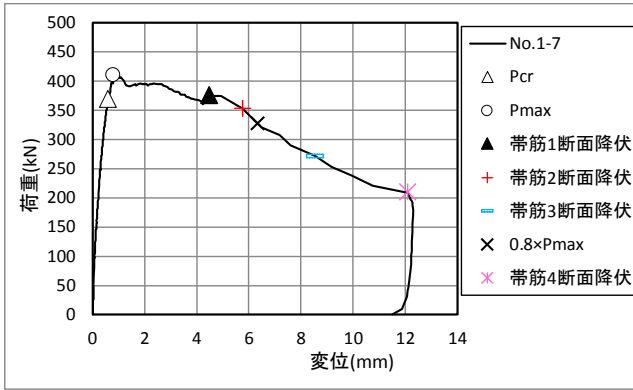


(e) No. 1-5 : 高強度

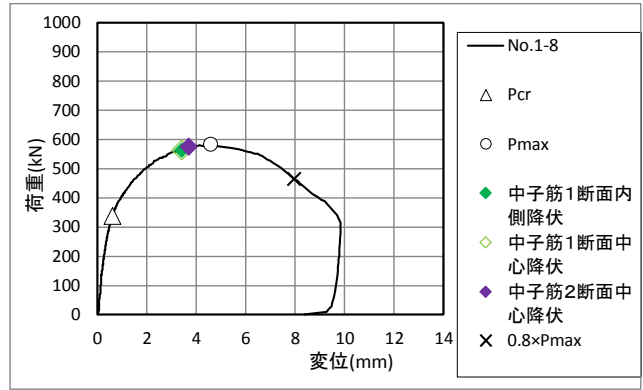


(f) No. 1-6 : 中実

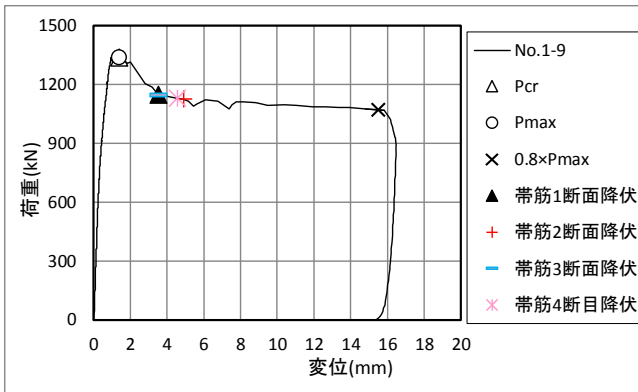
図 8.4.2 荷重～めり込み変位関係



(a) No. 1-7 : 帯筋ピッチ 1/3



(b) No. 1-8 : 中子筋仕様



(c) No. 1-9 : 寸法大

図 8. 4. 3 荷重～めり込み変位関係

表 8. 4. 2 荷重および変位

No.	ひび割れ発生時		最大荷重時		0.8×最大荷重時		比率 (変位)
	荷重 Pcr (kN)	変位 $\delta_{Pcr}$ (mm)	荷重 Pmax (kN)	変位 $\delta_{Pmax}$ (mm)	荷重 0.8×Pmax (kN)	変位 $\delta_{0.8 \times Pmax}$ (mm)	
0-1	378	0.83	386	1.06	309	3.61	3.42
0-2	366	0.64	366	0.64	292	1.09	1.70
1-1	372	0.53	374	0.76	299	4.43	5.84
1-2	320	0.93	320	0.93	256	3.09	3.33
1-3	349	0.30	557	1.75	446	3.86	2.21
1-4	601	0.32	721	0.71	577	1.36	1.91
1-5	706	0.32	853	0.61	682	1.23	2.02
1-6	346	0.43	354	0.75	283	3.51	4.70
1-7	369	0.59	409	0.82	327	6.35	7.77
1-8	338	0.63	580	4.63	464	7.99	1.72
1-9	1338	1.39	1338	1.39	1070	15.49	11.14

※比率は「0.8×最大荷重時変位」と「最大荷重時変位」の比率を示す。

### 8.4.3 埋込みゲージ分布

埋込みゲージ設置位置図を図8.4.4、最大荷重時ひずみ分布を図8.4.5~6、荷重~埋込みゲージひずみ関係を図8.4.7~10に示す。No.0-1 および No.0-2 の試験結果から両端の埋込みゲージ（図8.4.4の①および⑤）のひずみが小さいため No.1-1 以降の試験体からは設置しないこととした。

1断面のひずみは支圧盤肉厚の中心直下（図8.4.4の②および④）のひずみは、 $4,000 \times 10^{-6}$ を超え、かつ最大値を示し、試験体中心部に配置した埋込みゲージ（図8.4.4の③）が最小値を示した。

支圧盤形状を中実にした No.1-6 の1段目のひずみは中央部が  $7,000 \times 10^{-6}$ 程度、支圧盤肉厚の中心直下（平均値）が  $7,000 \times 10^{-6}$ 程度でほぼ同等の値となった。また、No.1-6 と No.1-1 の2断面のひずみはほぼ同等の傾向を示した。

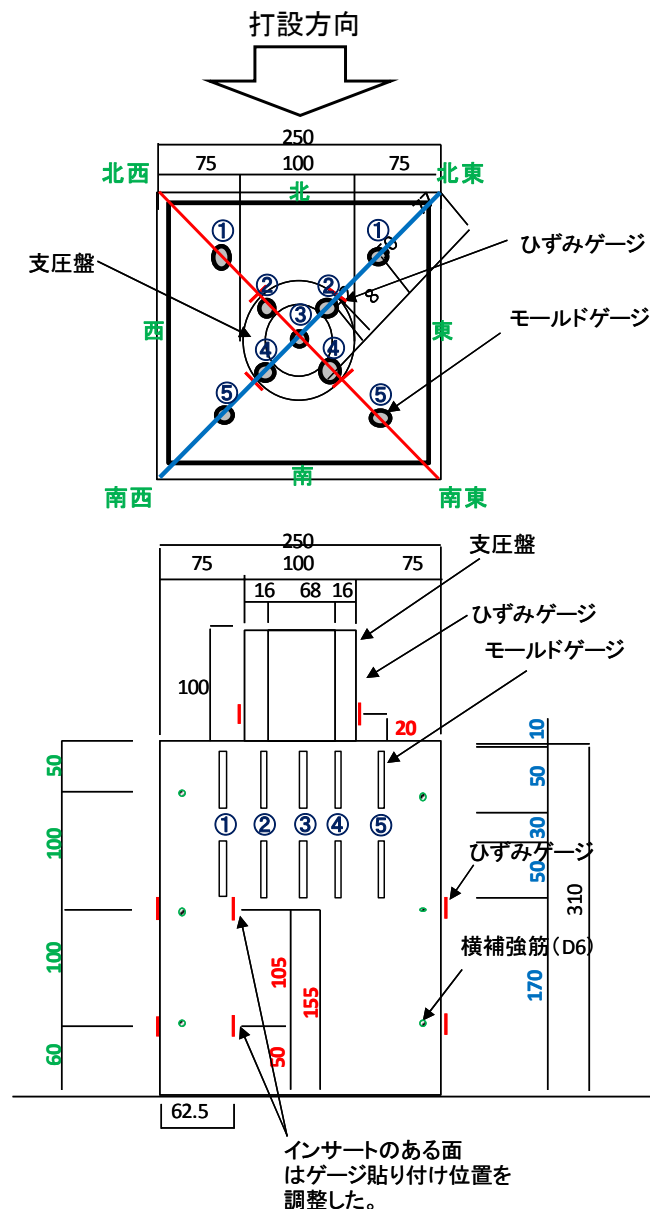
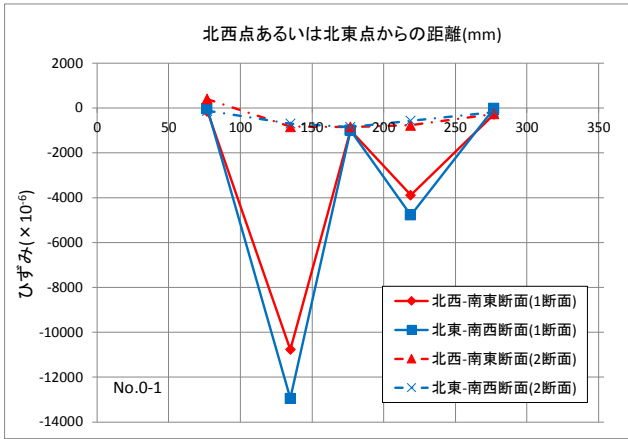
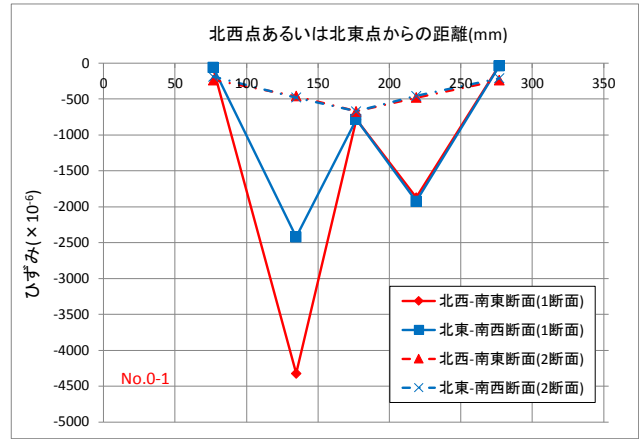


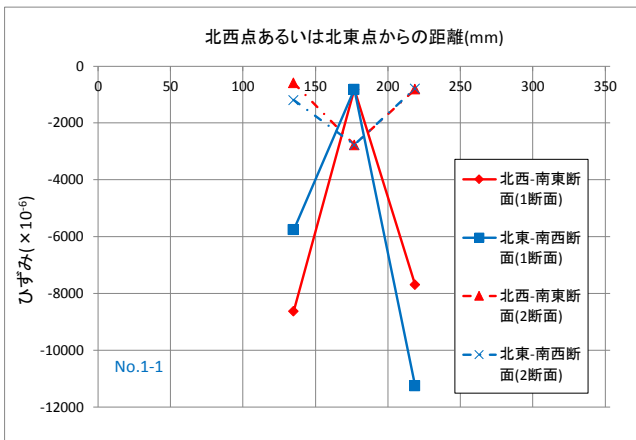
図 8.4.4 埋込みゲージ設置位置図



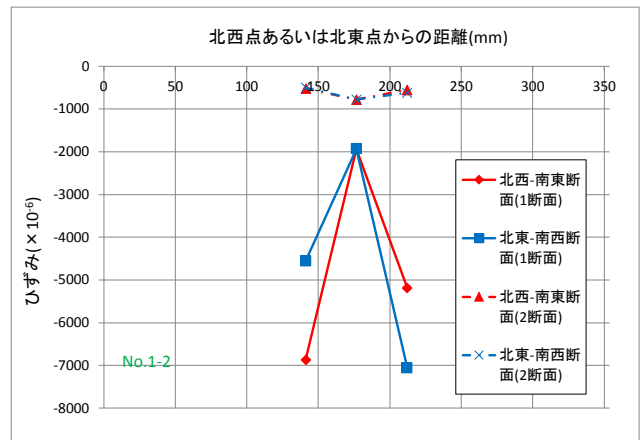
(a) No. 0-1 : 帯筋有り



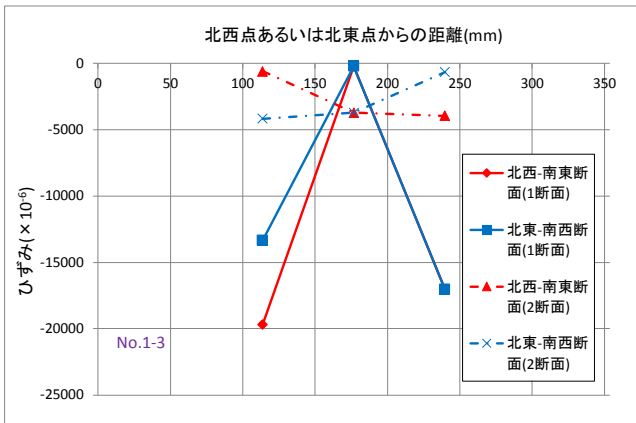
(b) No. 0-2 : 帯筋無し



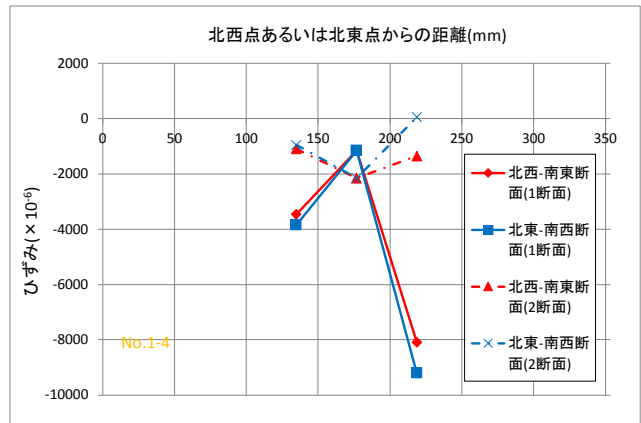
(c) No. 1-1 : 基準試験体



(d) No. 1-2 : 面積比大



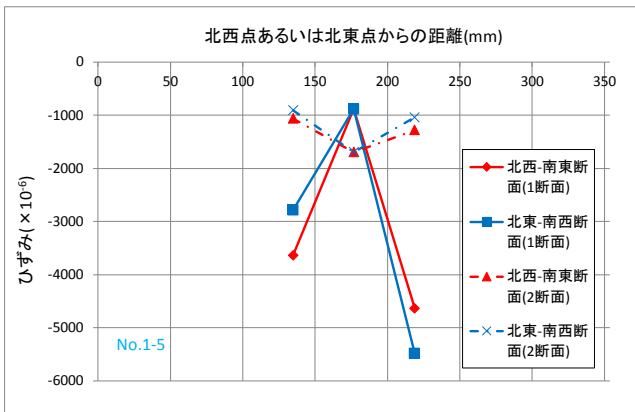
(e) No. 1-3 : 面積比小



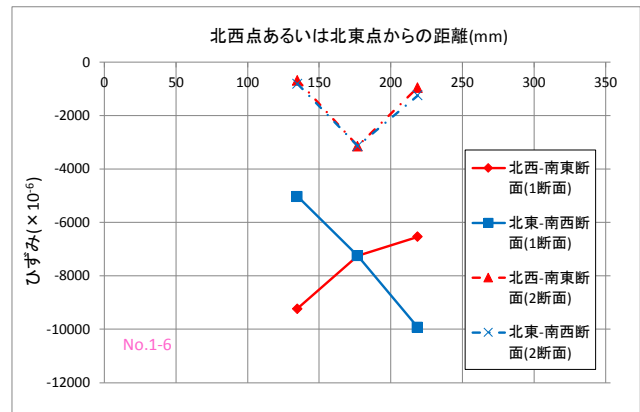
(f) No. 1-4 : 中強度

図 8.4.5 最大荷重時ひずみ分布 (No. 0-1~1-4)

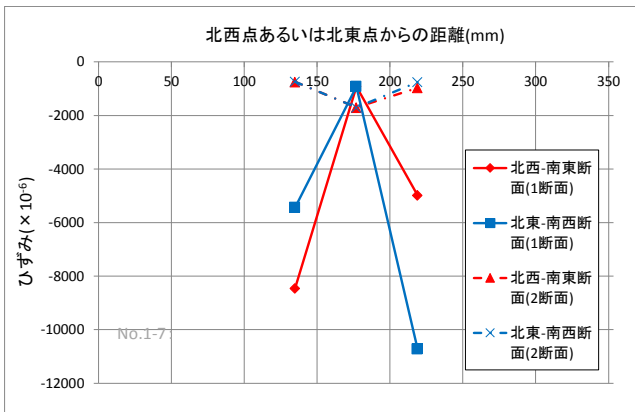




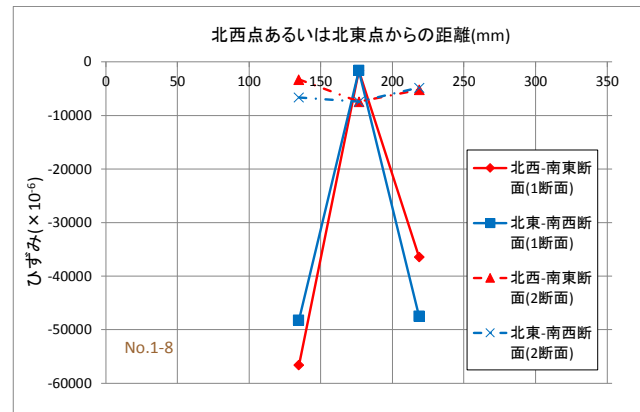
(a) No. 1-5 : 高強度



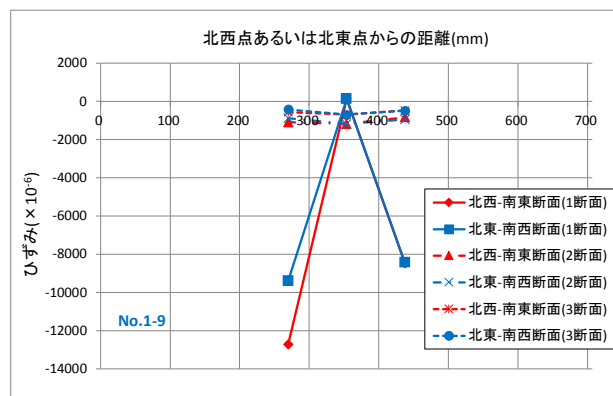
(b) No. 1-6 : 中実



(c) No. 1-7 : 帯筋ピッチ 1/3

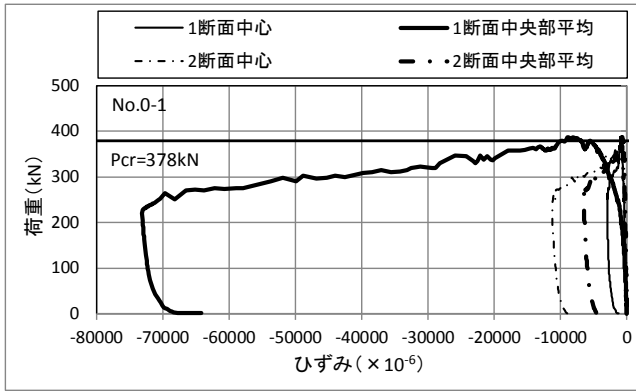


(d) No. 1-8 : 中子筋方式

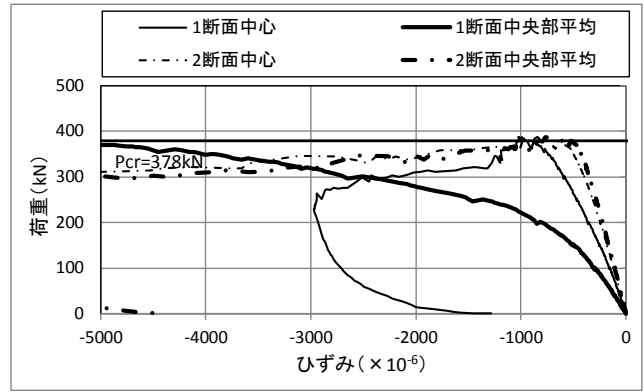


(e) No. 1-9 : 寸法大

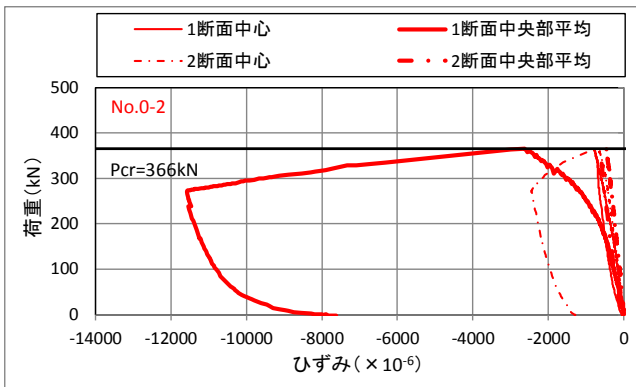
図 8. 4. 6 最大荷重時ひずみ分布 (No. 1-5~9)



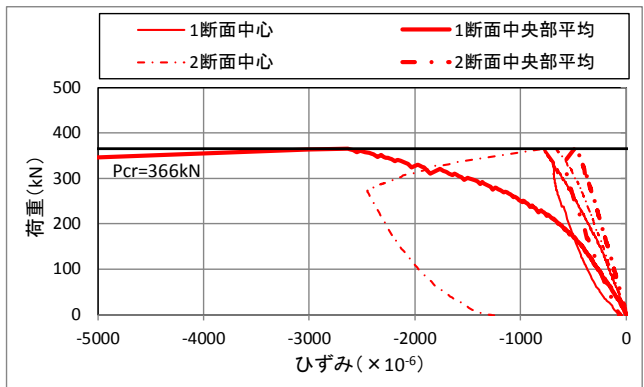
(a) No. 0-1 : 補強筋有り (全体)



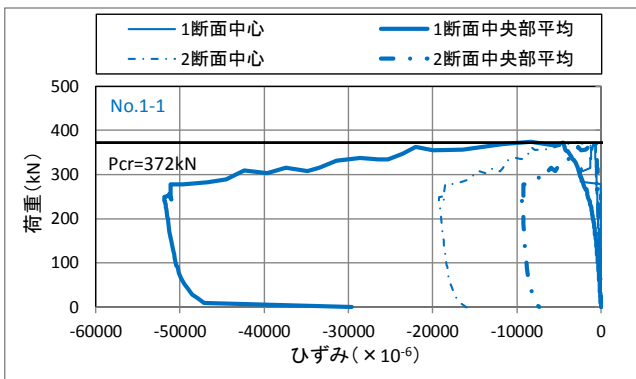
(b) No. 0-1 : 補強筋有り (拡大)



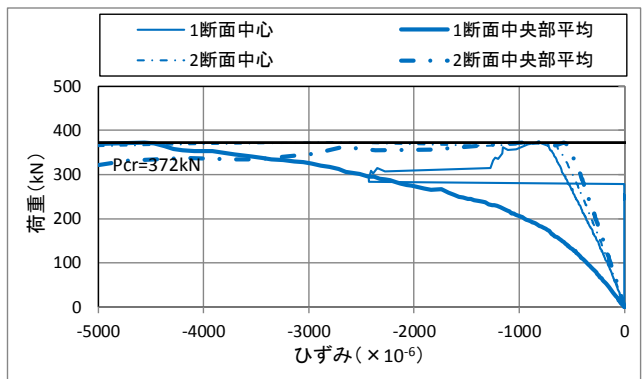
(c) No. 0-2 : 補強筋無し (全体)



(c) No. 0-2 : 補強筋無し (拡大)

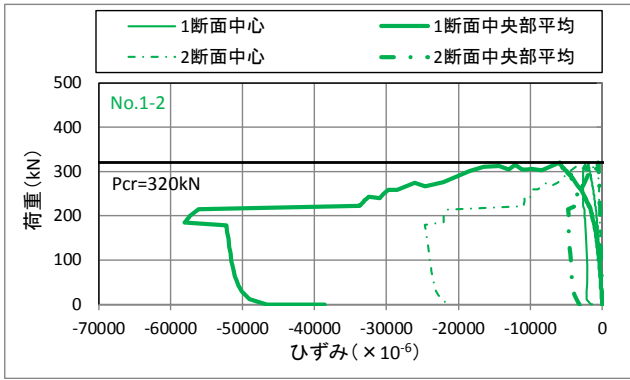


(d) No. 1-1 : 基準試験体 (全体)

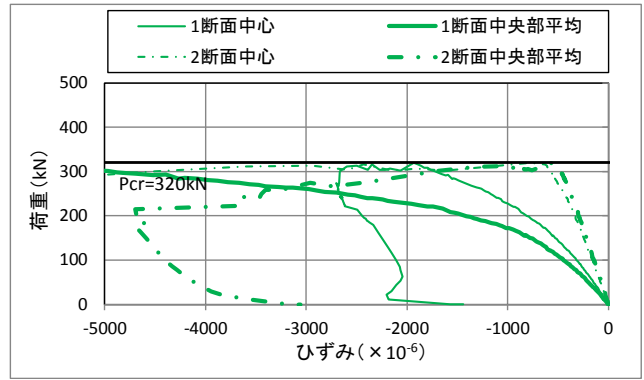


(e) No. 1-1 : 基準試験体 (拡大)

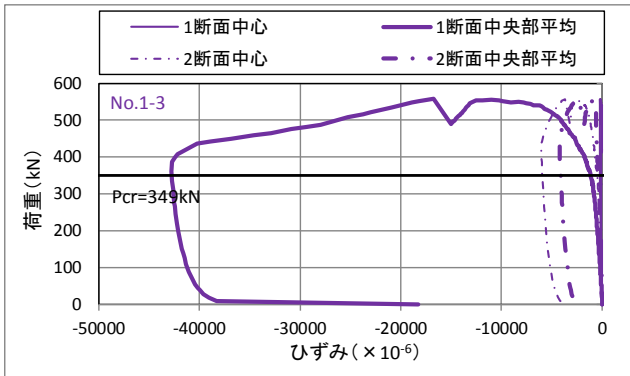
図 8.4.7 荷重～埋め込みゲージひずみ関係 (No. 0-1～1-1)



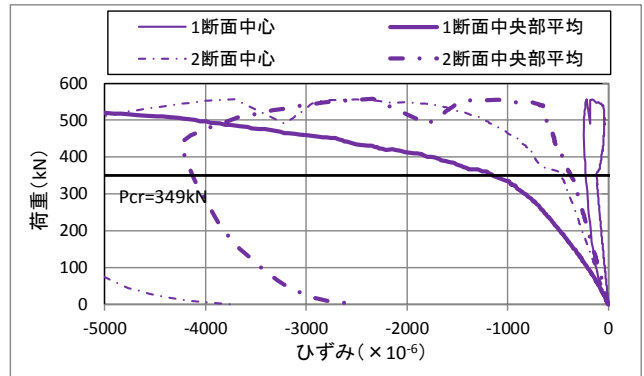
(a) No. 1-2 : 面積比大 (全体)



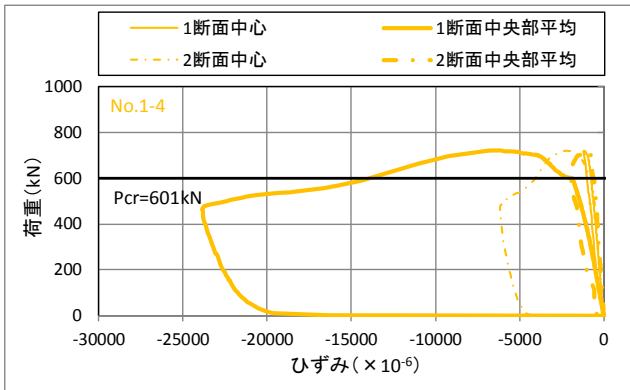
(b) No. 1-2 : 面積比大 (拡大)



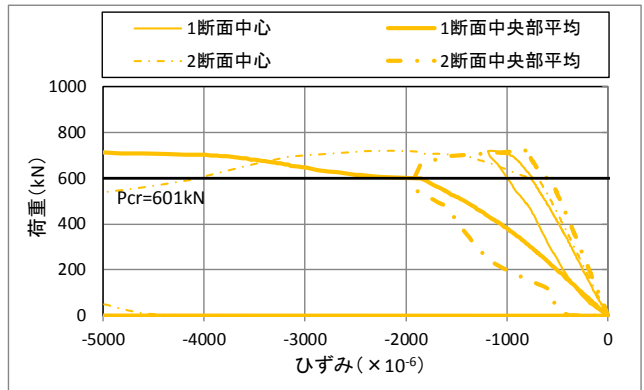
(c) No. 1-3 : 面積比小 (全体)



(d) No. 1-3 : 面積比小 (拡大)

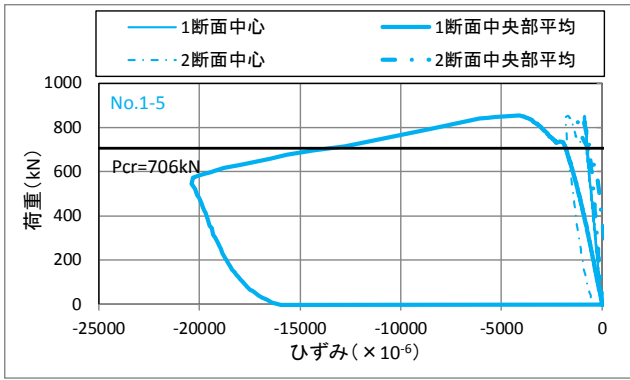


(e) No. 1-4 : 中強度 (全体)

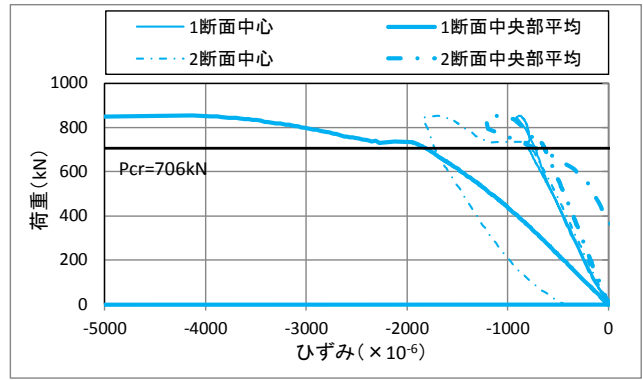


(f) No. 1-4 : 中強度 (拡大)

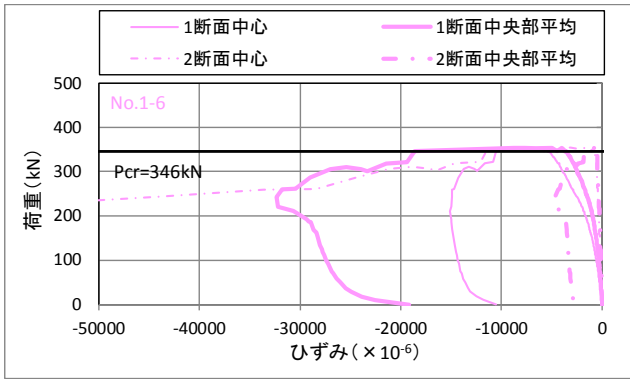
図 8.4.8 荷重～埋め込みゲージひずみ関係 (No. 1-2～4)



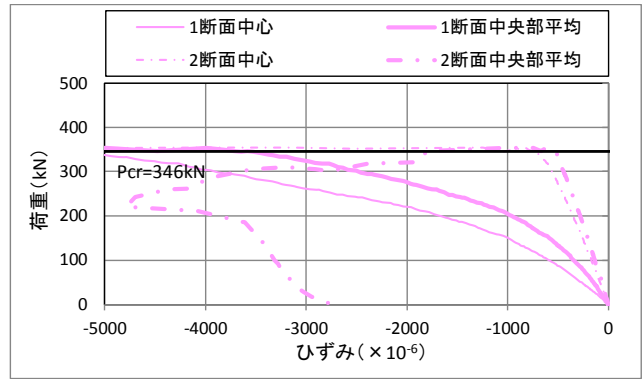
(a) No. 1-5 : 高強度 (全体)



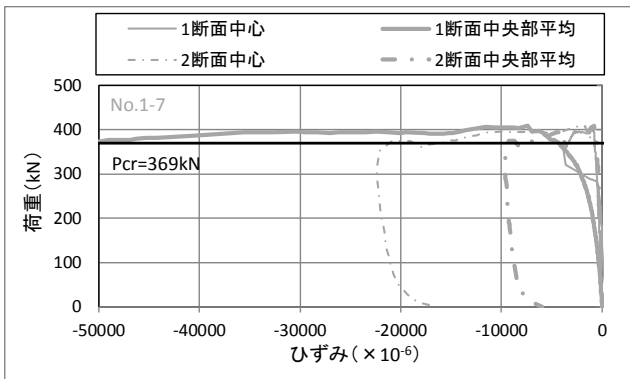
(b) No. 1-5 : 高強度 (拡大)



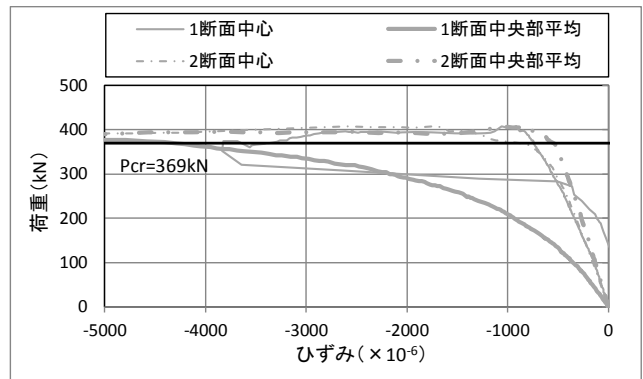
(c) No. 1-6 : 中実 (全体)



(d) No. 1-6 : 中実 (拡大)

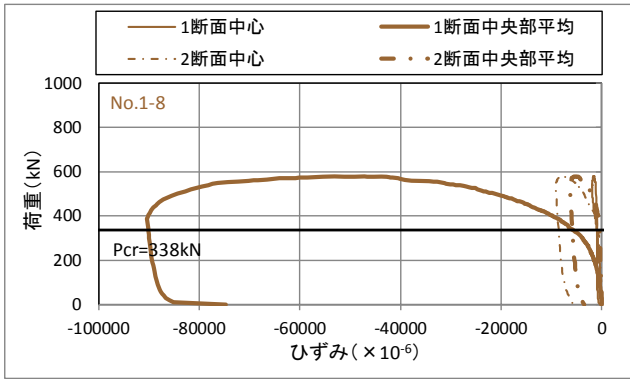


(e) No. 1-7 : 帯筋ピッチ 1/3 (全体)

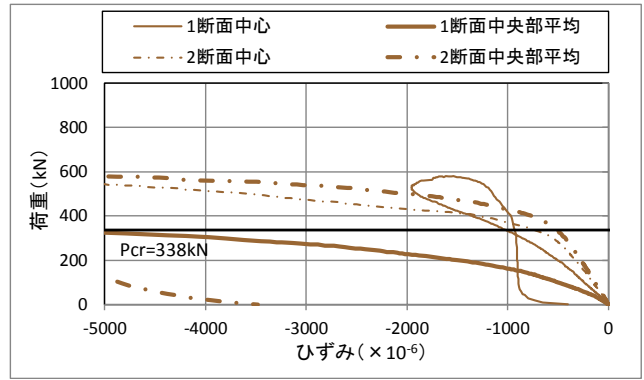


(f) No. 1-7 : ピッチ 33mm ((拡大)

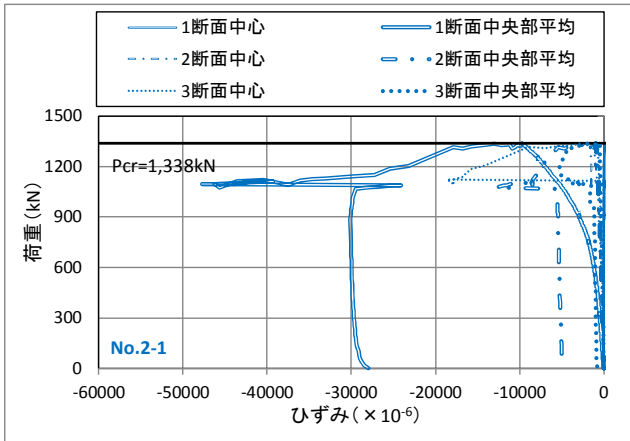
図 8.4.9 荷重～埋め込みゲージひずみ関係 (No. 1-5～7)



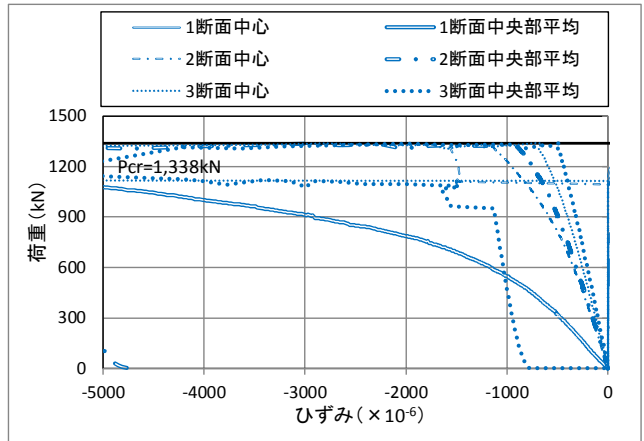
(a) No. 1-8 : 中子筋方式 (全体)



(b) No. 1-8 : 中子筋方式 (拡大)



(c) No. 1-9 : 寸法大 (全体)



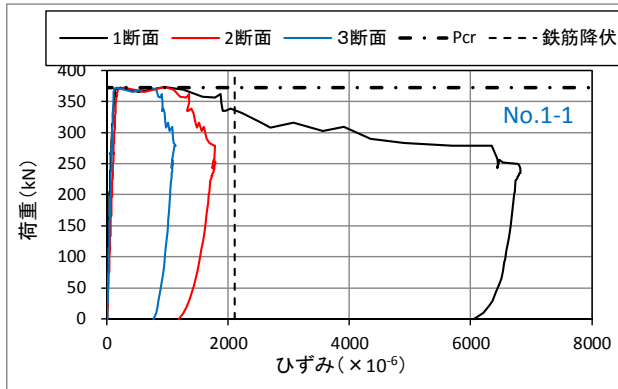
(d) No. 1-9 : 寸法大 (拡大)

図 8.4.10 荷重～埋め込みゲージひずみ関係 (No. 1-8～9)

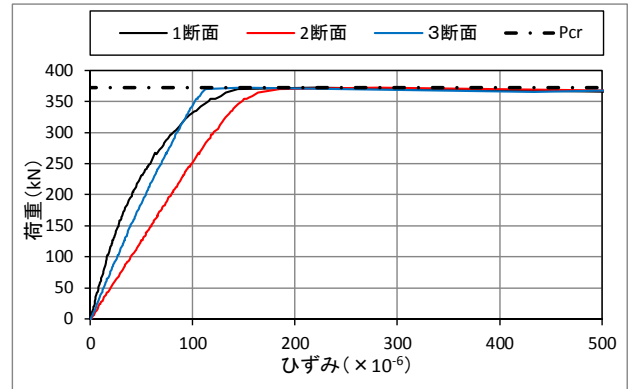
### 8.4.4 荷重～帯筋・中子筋ひずみ関係

荷重～帯筋・中子筋ひずみ関係を図 8.4.11～13 に示す。帯筋のひずみは支圧盤に近いほど（1 段目が最大）大きな数値となる傾向を示した。全体の傾向としてひび割れの発生に伴い、帯筋のひずみが急激に増大した。最大荷重以後に 1 段目が降伏した。

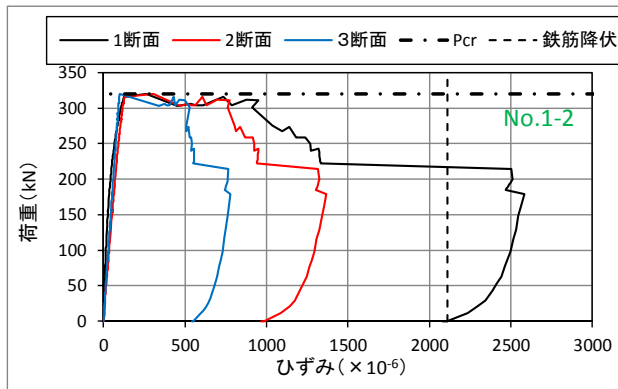
No.1-3：面積比小および No.1-8：中子筋方式のひずみはひび割れ発生以後、荷重増加に伴い徐々に増大していった。これは No.1-3 は支圧盤と帯筋位置が近く応力伝達の仕方が他の試験体と異なることが考えられ、No.1-8 は中子筋による鉄筋補強の影響があると考えられる。



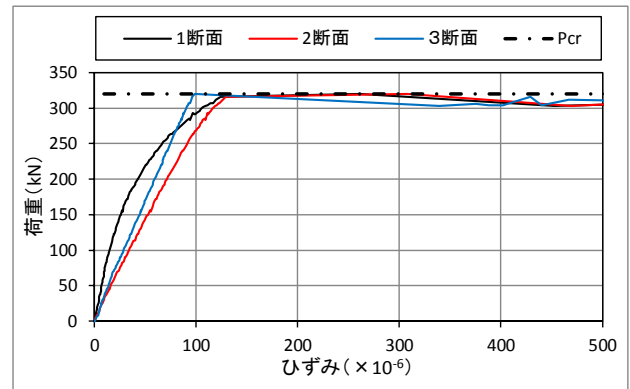
(a) No. 1-1：全体図



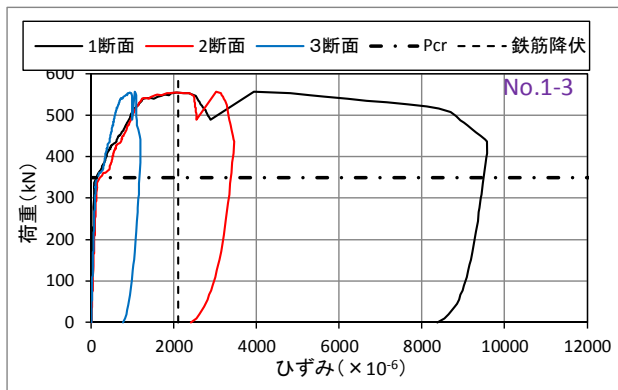
(b) No. 1-1：拡大



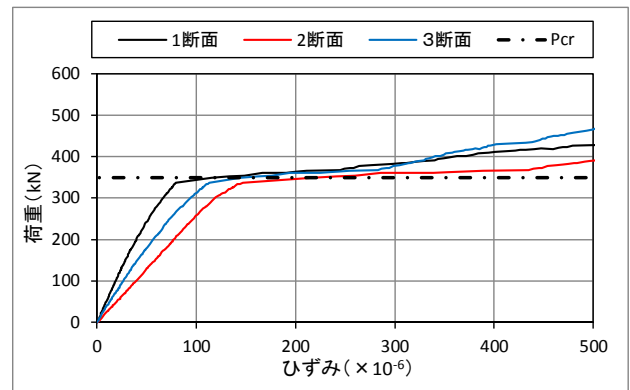
(c) No. 1-2：全体図



(d) No. 1-2：拡大

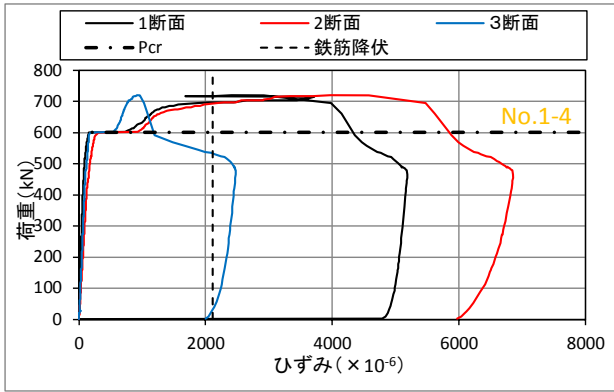


(e) No. 1-3：全体図

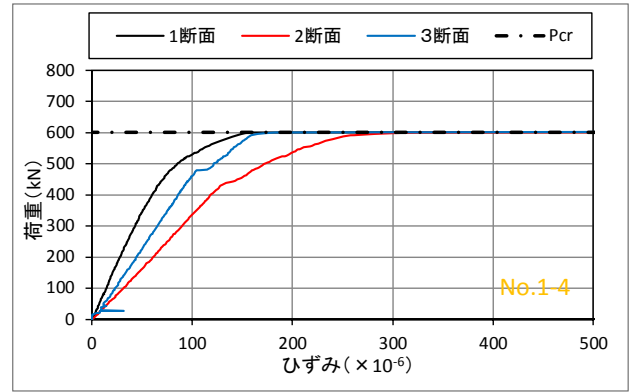


(f) No. 1-3：拡大

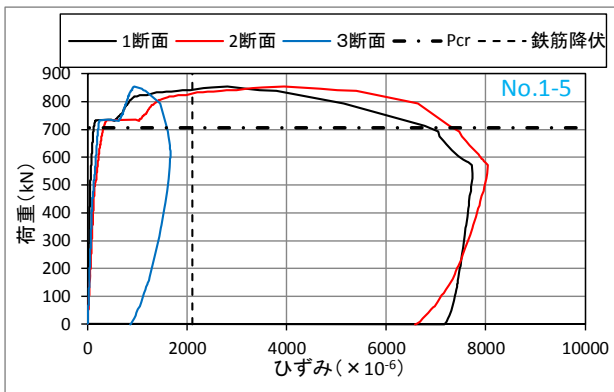
図 8.4.11 荷重～帯筋ひずみ関係 (No. 1-1～3)



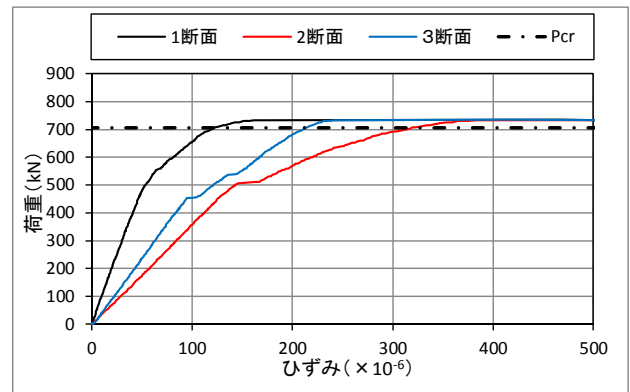
(a) No. 1-4 : 全体図



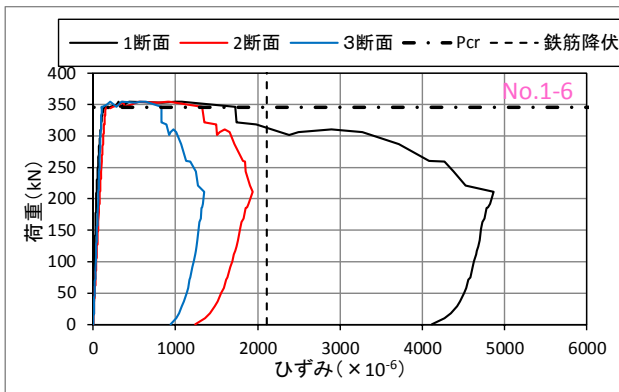
(b) No. 1-4 : 拡大



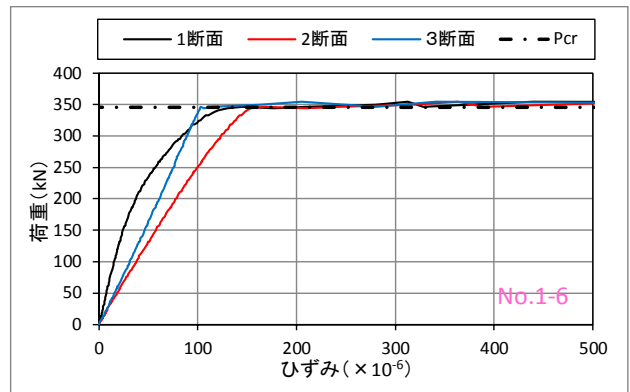
(c) No. 1-5 : 全体図



(d) No. 1-5 : 拡大

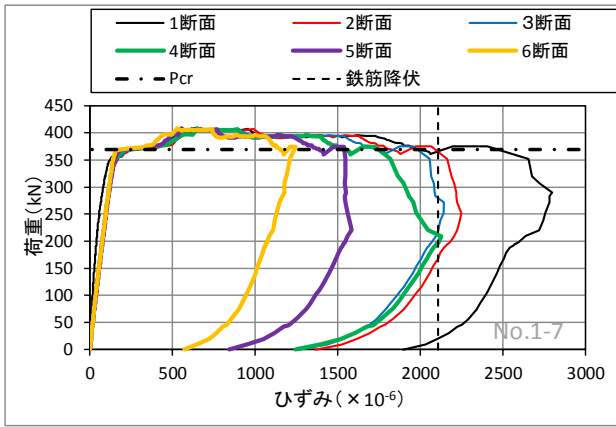


(e) No. 1-6 : 全体図

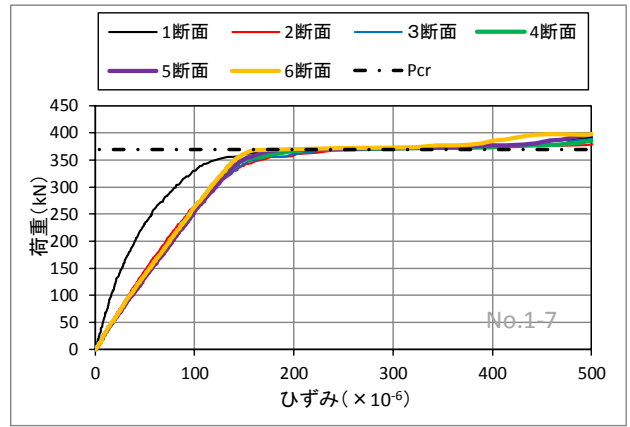


(f) No. 1-6 : 拡大

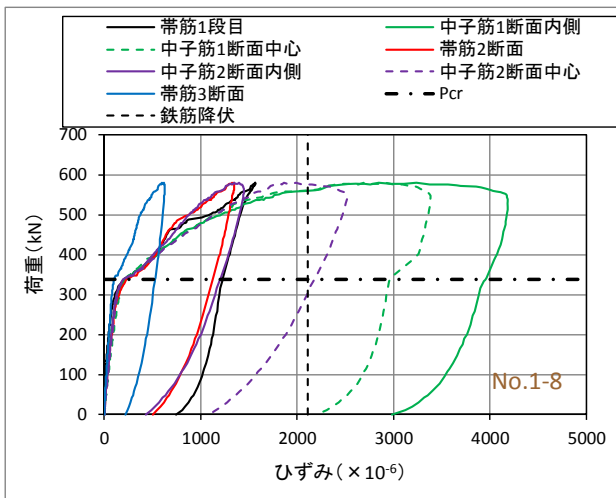
図 8.4.12 荷重～帯筋ひずみ関係 (No. 1-4～6)



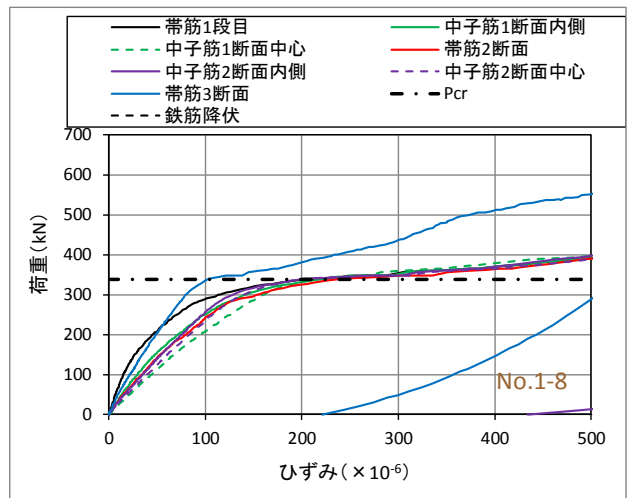
(a) No. 1-7 : 全体図



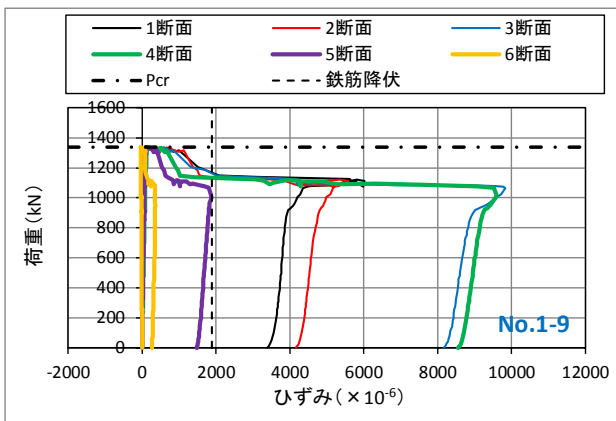
(b) No. 1-7 : 拡大



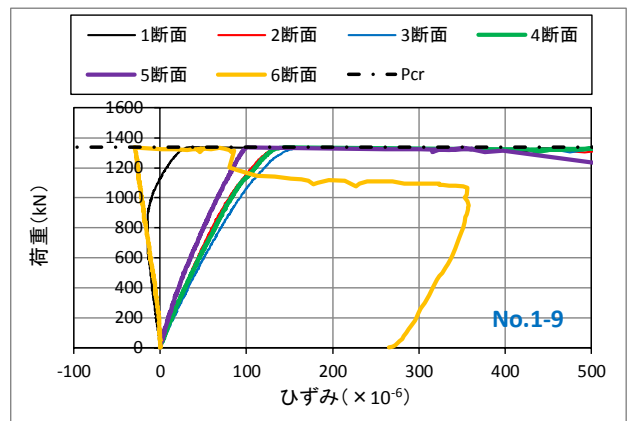
(c) No. 1-8 : 全体図



(d) No. 1-8 : 拡大



(e) No. 1-9 : 全体図



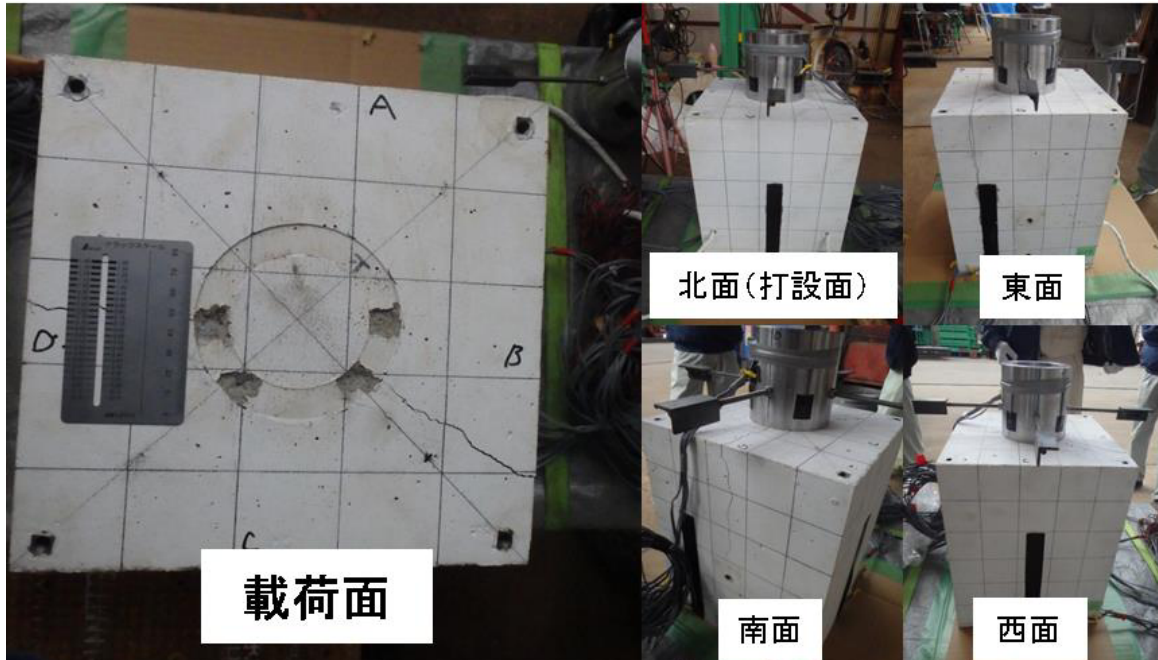
(f) No. 1-9 : 拡大

図 8.4.13 荷重～帯筋・中子筋ひずみ関係 (No. 1-7～9)

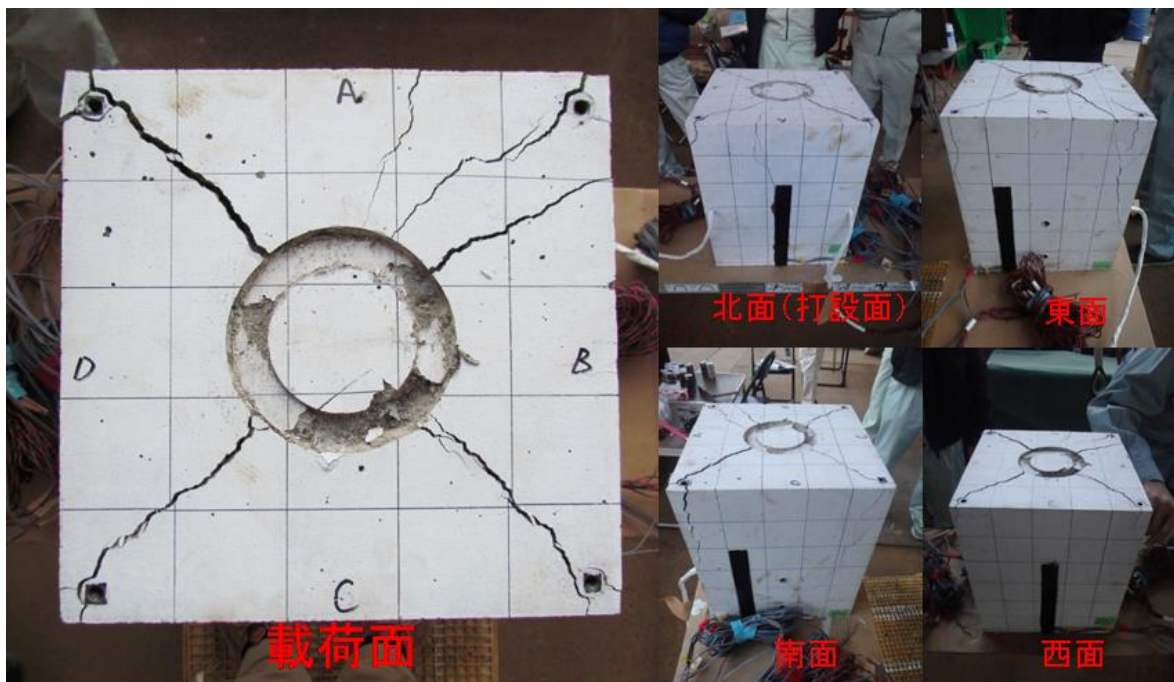


### 8.4.5 破壊状況

試験体の破壊状況を写真 8.4.1~4 に示す。破壊に至る過程として No. 0-1 および No. 0-2 では支圧盤設置面において角部に向かってひび割れが進展していき、それに伴い側面のひび割れが発生した後に破壊に至った。それ以外の試験体では側面のひび割れが発生し、その後支圧盤設置面においてひび割れが発生した後に破壊に至った。



(a) No. 0-1 : 補強筋有り

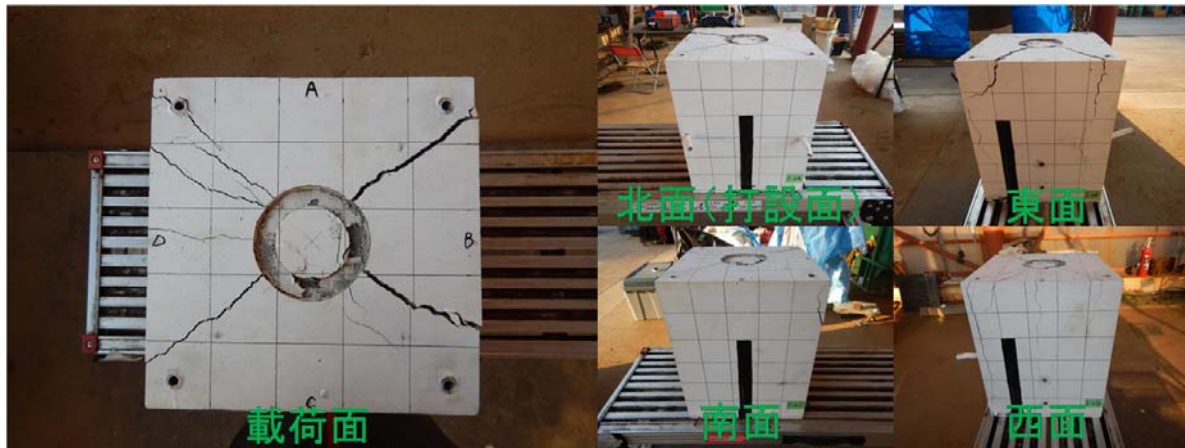


(a) No. 0-2 : 補強筋無し

写真 8.4.1 試験体の破壊状況 (No. 0-1~2)



(a) No. 1-1 : 基準試験体

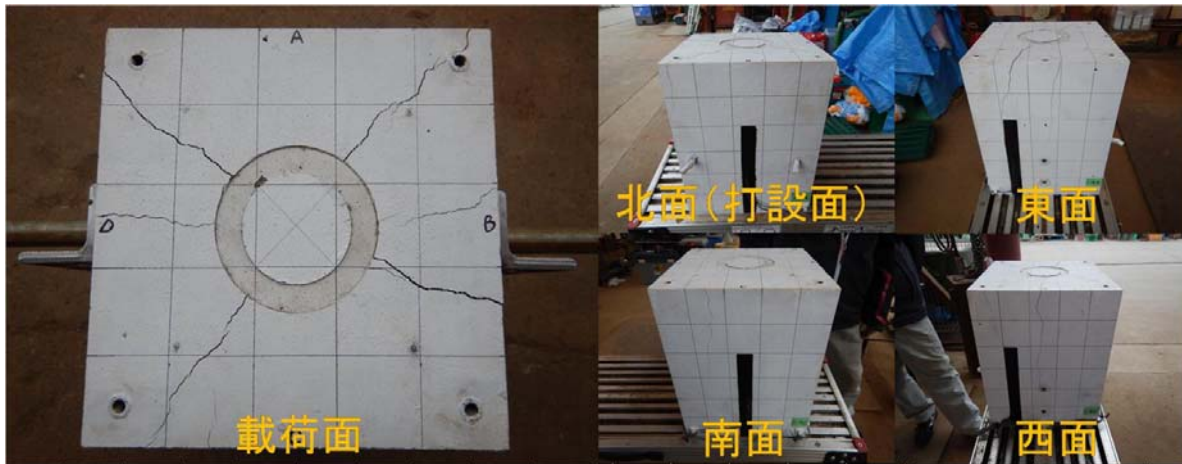


(b) No. 1-2 : 面積比大

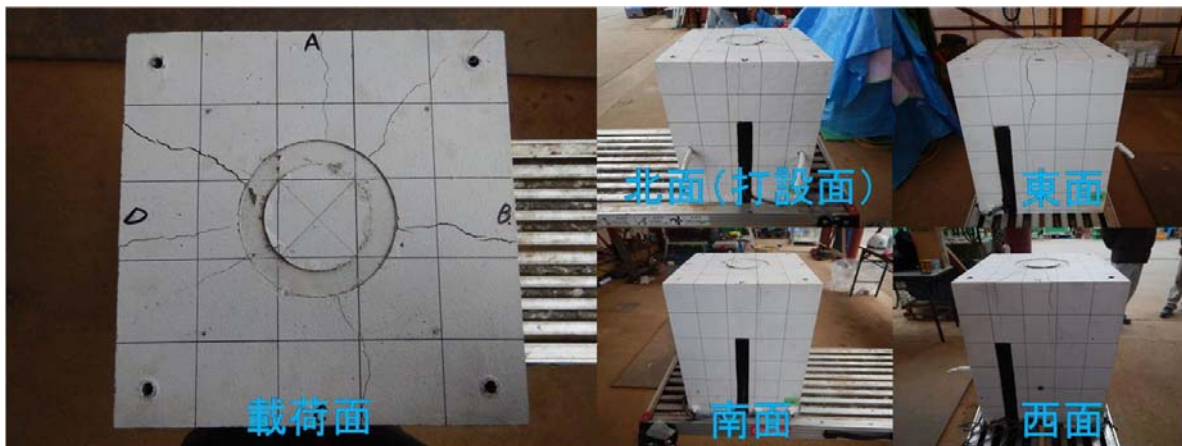


(c) No. 1-3 : 面積比小

写真 8.4.2 破壊状況 (No. 1-1~3)



(a) No. 1-4 : 中強度

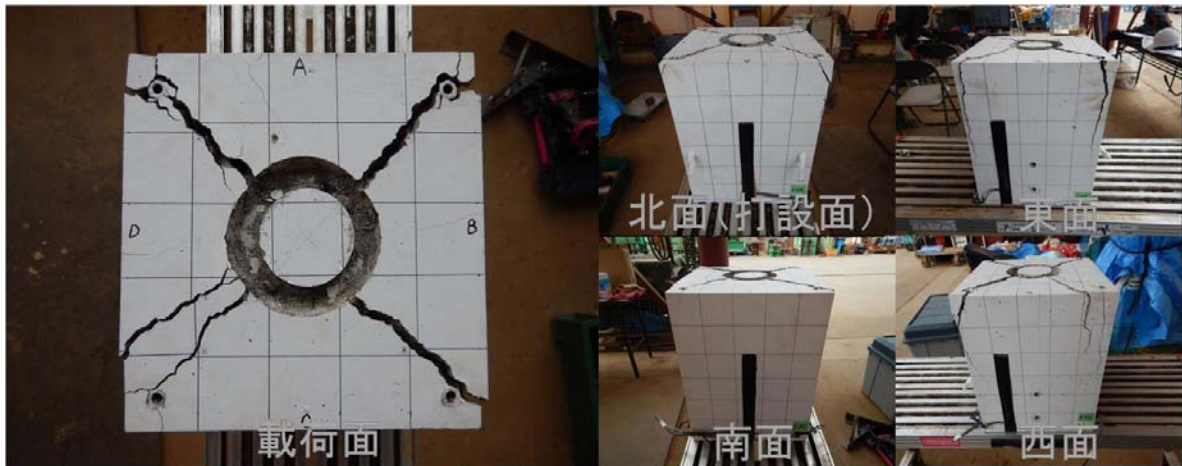


(b) No. 1-5 : 高強度



(c) No. 1-6 : 中実

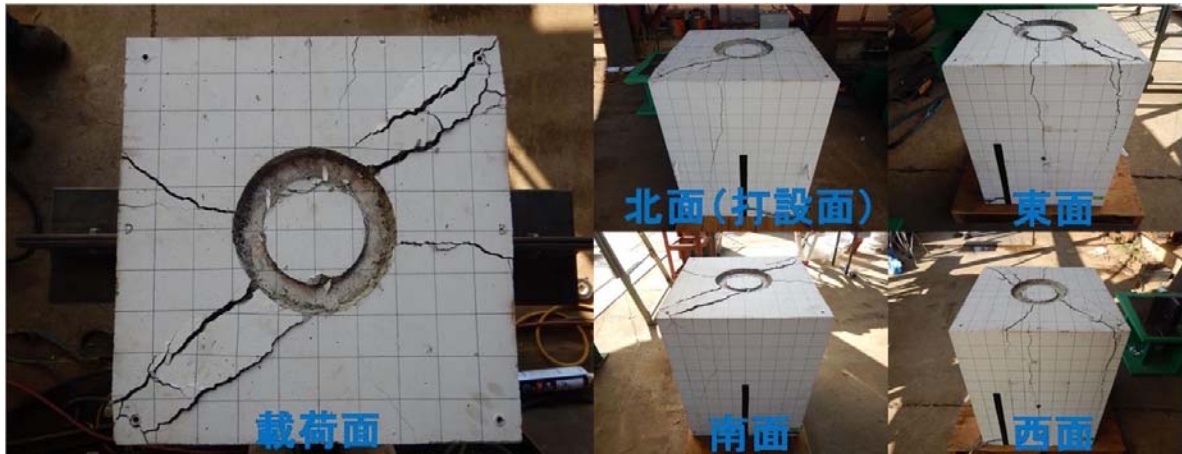
写真 8.4.3 破壊状況 (No. 1-4~6)



(a) No. 1-7 : 帯筋ピッチ 1/3



(b) No. 1-8 : 中子筋方式



(c) No. 1-9 : 寸法大

写真 8.4.4 破壊状況 (No. 1-7~9)

### 8.5 実験結果の検討

#### 8.5.1 支圧強度の算定式と試験結果との比較

試験結果および(式 8.5.1) [8-1], (式 8.5.2) との比較を表 8.5.1, 支圧強度比～支圧面積比関係を図 8.5.1 に, 算定式との比率～コンクリート強度関係を図 8.5.2 に示す。

式 8.5.2 はコンクリートの引張強度を考慮した式である。

$$P1 = \sigma_B \times \sqrt{(A_c/A1)} \times A1 \tag{式 8.5.1}$$

$$P2 = 10 \times \sigma_t \times \sqrt{(A_c/A1)} = 1.8 \times \sigma_B^{(0.8 - \sigma_B/2000)} \times \sqrt{(A_c/A1)} \times A1 \tag{式 8.5.2}$$

ただし, P1, P2 : 荷重 (N)

$\sigma_B$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$  : コンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_c$  : 支承面積 (mm<sup>2</sup>)

$A1$  : 支圧面積 (支圧盤断面積) (mm<sup>2</sup>)

式 8.5.1 と試験結果の比率は 0.90, 式 8.5.2 と試験結果の比率は 1.04 となり, 式 8.5.2 の方が適合性は比較的高いことが分かった。

中子筋方式の試験体 (No.1-8) の比率はいずれの算定式よりも大きくなった。PC 指針[8-1]の算定式の適用範囲として「有効な鉄筋補強を行わないコンクリートの支圧強度の算定式」と記載があり, 中子筋方式の試験体は適用範囲外であったと推察される。

中実試験体 (No.1-6) は算定式が過大評価する結果となった。これは算定式を構成している載荷方法が支圧部：中実角型, 支承部：中実角型であり, 今回の実験では支圧部：中空円形 (1 体は中実円形), 支承部：中実角型と試験体形状が異なっていることが影響していると考えられる。PC 指針[8-1]でも載荷方法 (帯状の支圧盤を用いると支圧強度が 1 割程度低下) が, 支圧強度に影響を与えると指摘されている。

寸法の大きな試験体 (No.1-9) は算定式が過大評価する結果となった。これは寸法効果の影響を受けたためと考えられる。

表 8.5.1 試験結果および算定式との比較

No.	杭径 D (mm)	支圧 断面積 A1 (mm <sup>2</sup> )	ハイルキップ 幅 L (mm)	支承 断面積 Ac (mm <sup>2</sup> )	面積比 $\sqrt{(Ac/A1)}$	コンクリート 圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	支圧盤 形状	帯筋比 (%)	帯筋 呼び名	ひびわれ 荷重 Pcr (kN)	最大荷重 Pmax (kN)	基準試験体 との比較※1	支圧強度比 $\sigma_{bb}/\sigma_{cb}$	荷重 P1※2: 式8.5.1 (kN)	荷重 P2※3: 式8.5.2 (kN)	Pmax/P1 式8.5.1と 比較	Pmax/P2 式8.5.2と 比較	比率※4 (変位)
0-1	100	4,222	250	62,500	3.85	23.6	中空	0.25	D6	378	386	1.00	3.87	383	353	1.01	1.09	3.42
0-2	100	4,222	250	62,500	3.85	23.6	中空	0.00	-	366	366	0.95	3.67	383	353	0.95	1.04	1.70
1-1	100	4,222	250	62,500	3.85	25.5	中空	0.25	D6	372	374	1.00	3.47	414	374	0.90	1.00	5.84
1-2	85	3,123	250	62,500	4.47	25.5	中空	0.25	D6	320	320	0.86	4.02	356	322	0.90	0.99	3.33
1-3	150	9,500	250	62,500	2.56	25.4	中空	0.25	D6	349	557	1.49	2.31	619	560	0.90	0.99	2.21
1-4	100	4,222	250	62,500	3.85	54.5	中空	0.25	D6	601	721	1.93	3.13	885	642	0.81	1.12	1.91
1-5	100	4,222	250	62,500	3.85	74.6	中空	0.25	D6	706	853	2.28	2.71	1212	784	0.70	1.09	2.02
1-6	100	7,854	250	62,500	2.82	25.4	中実	0.25	D6	346	354	0.95	1.77	563	509	0.63	0.70	4.70
1-7	100	4,222	250	62,500	3.85	26.2	中空	0.75	D6	369	409	1.09	3.70	426	382	0.96	1.07	7.77
1-8	100	4,222	250	62,500	3.85	26.2	中空	0.75	D6 (中子筋)	338	580	1.55	5.24	426	382	1.36	1.52	1.72
1-9	200	16,889	500	250,000	3.85	26.6	中空	0.25	D10	1338	1338	3.58	2.98	1728	1545	0.77	0.87	11.14

※1 No. 0-2はNo. 0-1との最大荷重の比率, それ以外の試験体はNo. 1-1との最大荷重との比率により算出した。

※2 P1= $\sigma_B \times \sqrt{(Ac/A1)} \times A1$ により算出した。

※3 P2= $1.8 \times \sigma_B^{(0.8 - \sigma_B/2000)} \times \sqrt{(Ac/A1)} \times A1$ により算出した。

※4 比率は「0.8×最大荷重時変位」と「最大荷重時変位」の比率を示す。

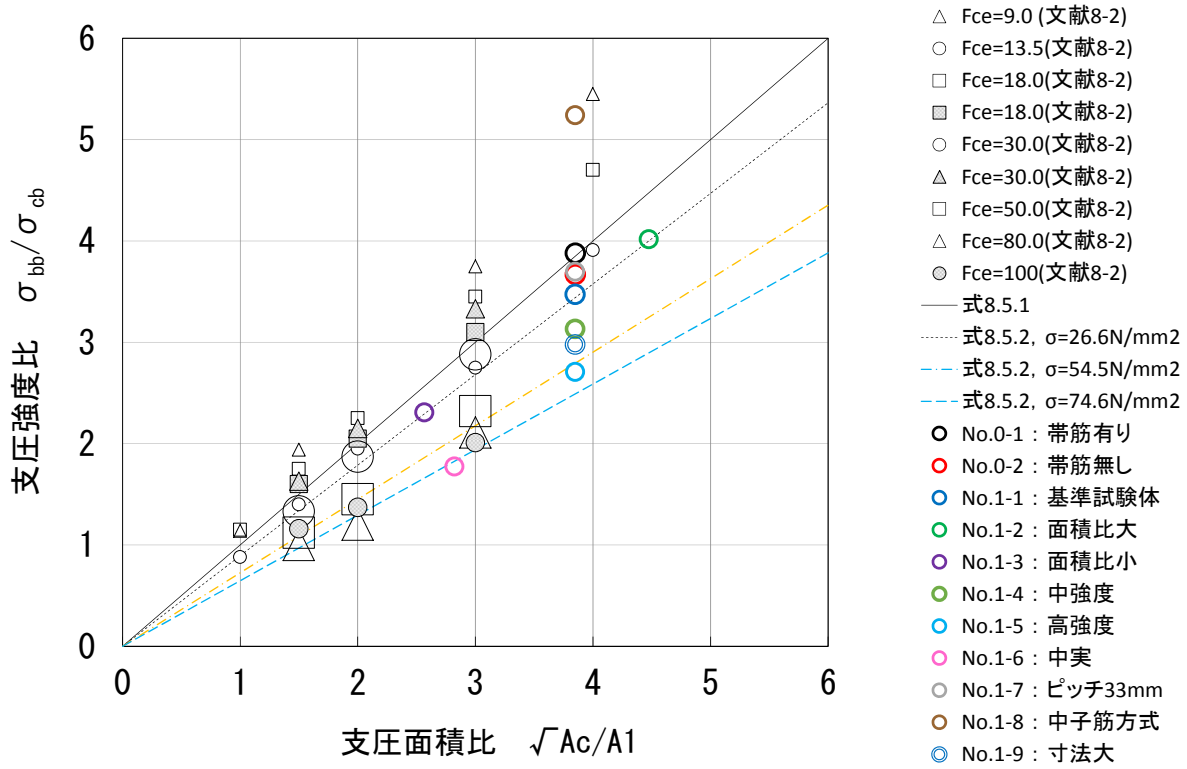
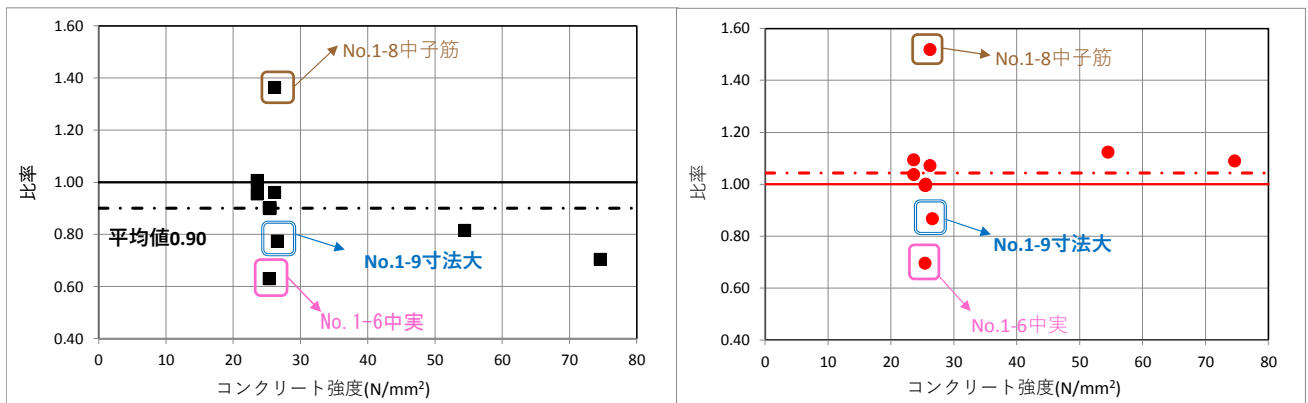


図 8.5.1 支圧面積比～支圧強度比



(a) 式 8.5.1 との比較

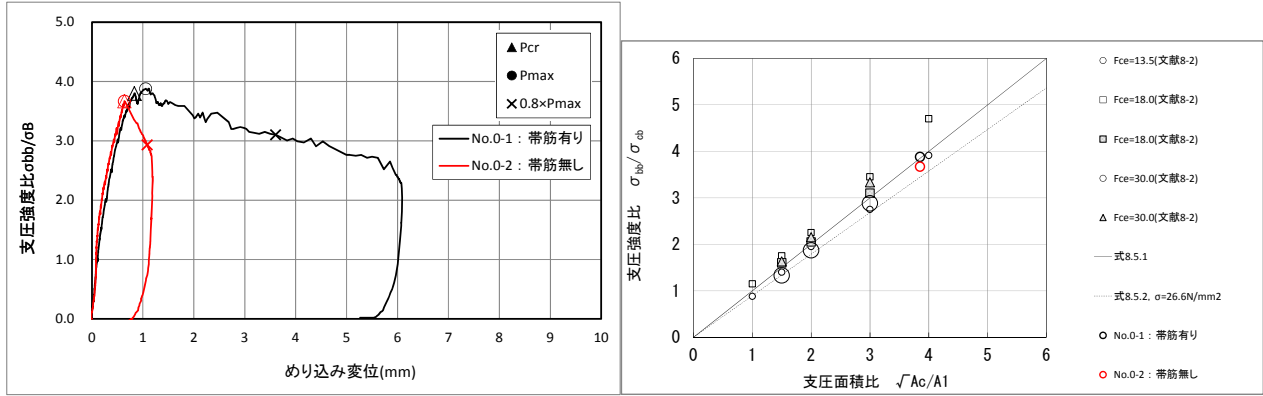
(b) 式 8.5.2 との比較

図 8.5.2 算定式との比率～コンクリート圧縮関係

8.5.2 荷重～めり込み変位関係

(1) 帯筋の有無の影響について (No. 0-1 および No. 0-2 の比較)

帯筋の有無の影響を図 8.5.3 に示す。支圧強度比は帯筋有り (No.0-1) の場合 3.88, 帯筋無し (No.0-2) の場合 3.67 となった。0.8×最大荷重時の変位と最大荷重時の変位の比率 ( $\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$ ) は, 帯筋有りの場合 3.42, 帯筋無しの場合 1.70 となった。帯筋有り (No.0-1) の方が支圧強度および  $\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$  とともに大きい結果となった。



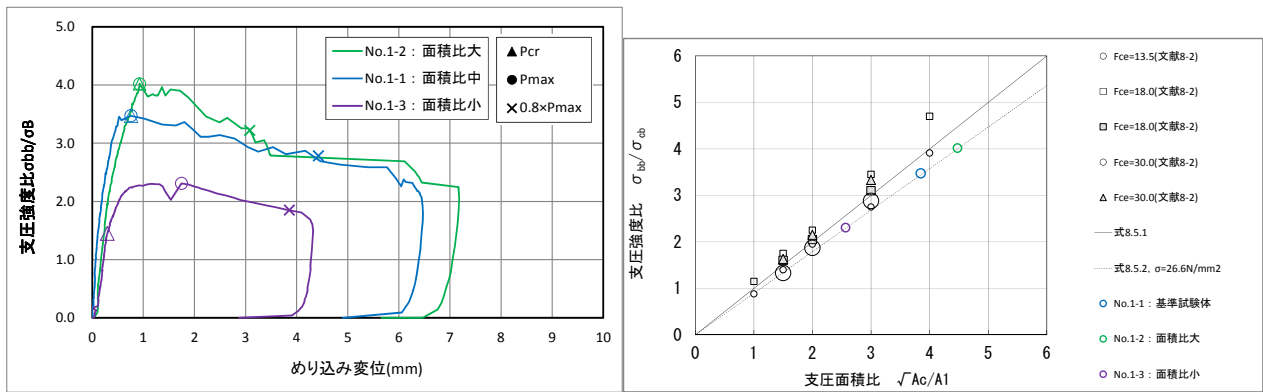
(a) 支圧強度比～めり込み変位関係

(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

図 8.5.3 帯筋の有無の影響

(2) 面積比の影響について (No. 1-1, No. 1-2 および No. 1-3 の比較)

面積比の影響を図 8.5.4 に示す。支圧強度比は面積比大 (No.1-2) の場合 4.02, 面積比中 (No.1-1) の場合 3.47 および面積比小 (No.1-3) の場合 2.31 となった。 $\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$  は, 面積比大の場合 3.33, 面積比小の場合 5.84 および面積比小の場合 2.21 となった。面積比が大きくなるに従って支圧強度比が増大し, コンクリート引張強度を考慮した算定式 8.5.2 との適合性が高いことが分かった。



(a) 支圧強度比～めり込み変位関係

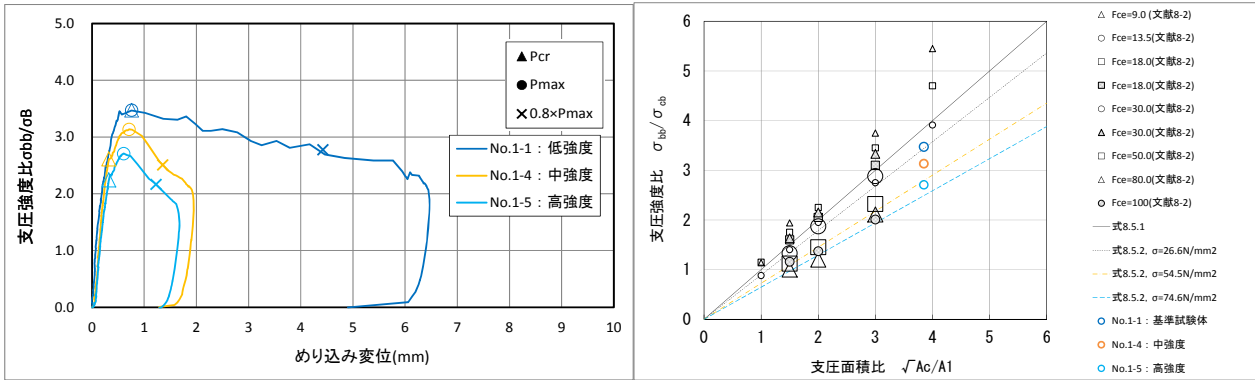
(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

図 8.5.4 面積比の影響

(3) コンクリート圧縮強度の影響について (No. 1-1, No. 1-4 および No. 1-5 の比較)

コンクリート圧縮強度の影響を図 8.5.5 に示す。支圧強度比は低強度 (No.1-1) の場合 3.47, 中強度 (No.1-4) の場合 3.13 および高強度 (No.1-5) の場合 2.71 となった。 $\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$  は、低強度の場合 5.84, 中強度の場合 1.91 および高強度の場合 2.02 となり、中強度および高強度の場合、比率が 2 程度で脆性的な破壊となることが分かった。

コンクリート圧縮強度の増加に応じて支圧強度比が減少し、コンクリート引張強度を考慮した式 8.5.2 との適合性が高いことが分かった。



(a) 支圧強度比～めり込み変位関係

(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

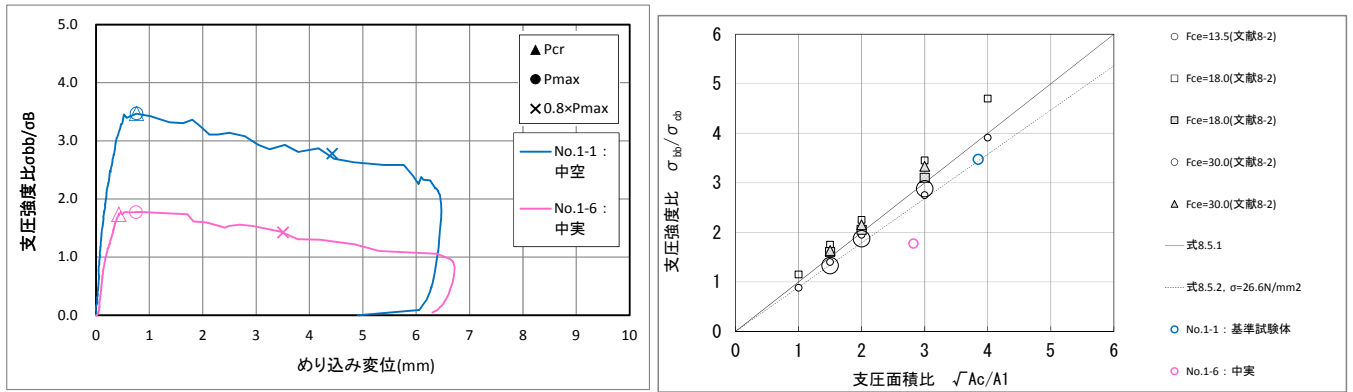
図 8.5.5 コンクリート強度の影響

(4) 支圧盤の中実断面と中空断面の影響について (No. 1-1 および No. 1-6 の比較)

支圧盤の中実断面と中空断面の影響を図 8.5.6, 荷重～埋込みゲージのひずみ関係を図 8.5.7 に示す。支圧強度比は中空 (No.1-1) の場合 3.47, 中実 (No.1-6) の場合 1.77 となった。 $\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$  は中空の場合 5.84, 中実の場合 4.70 となった。

支圧強度比は中空に比べ、中実の方が小さくなる傾向を示した。載荷荷重は、中空 (No.1-1) と中実 (No.1-6) とほぼ等しくなったために、中実 (No.1-6) の支圧強度比は、中空 (No.1-1) の強度比より小さくなった。また、最大荷重時の 2 段目の埋込みゲージのひずみはほぼ等しい値であった。本試験では支圧部が円形、支承部が角形であるが算定式 8.5.1 および算定式 8.5.2 では支圧部、支承部が共に角形の実験結果に基づいている。載荷形状の違いが影響した可能性があると考えられる。





(a) 支圧強度比～めり込み変位関係

(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

図 8.5.6 コンクリート強度の影響

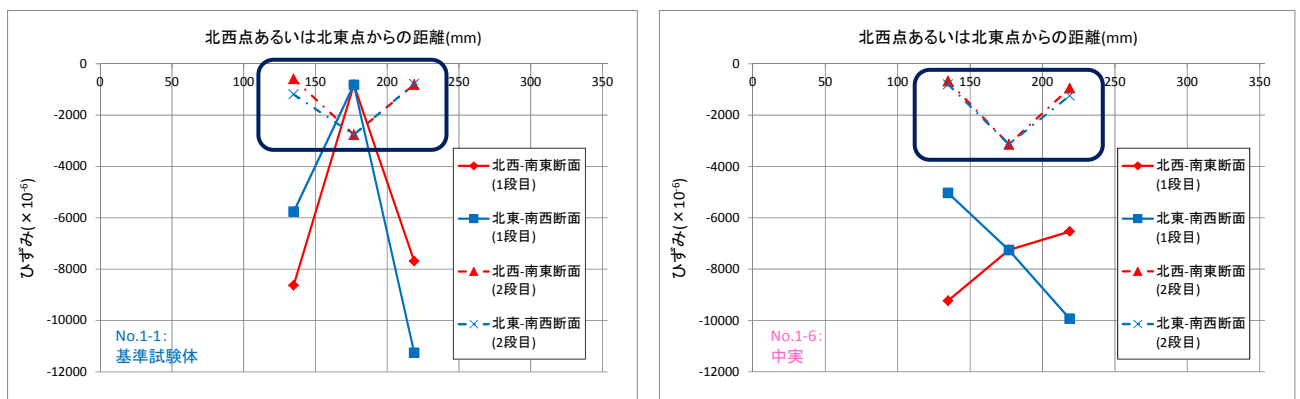


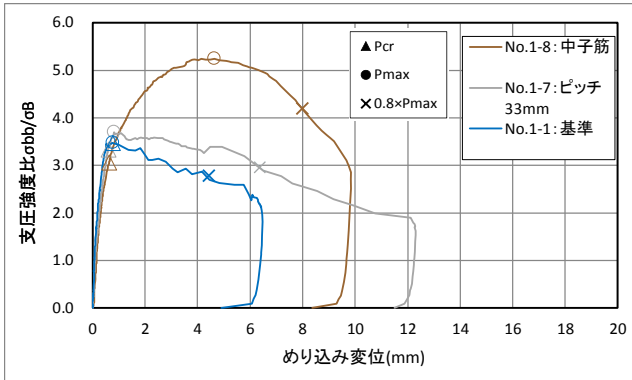
図 8.5.7 荷重～埋込みゲージのひずみ関係

(5) 帯筋量の影響について (No. 1-1, No. 1-7 および No. 1-8 の比較)

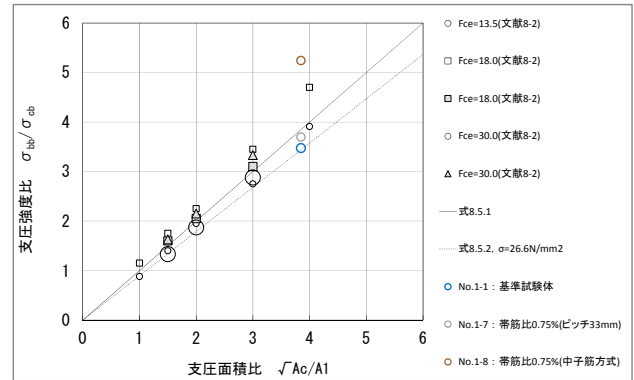
帯筋量の影響を図 8.5.8 に示す。支圧強度比は有効面積鉄筋比 0.25% (No.1-1) の場合 3.47, 有効面積鉄筋比 0.77% (ピッチ 33mm, No.1-7) の場合 3.70, 有効面積鉄筋比 1.27% (中子筋方式) (No.1-8) の場合 5.24 となった。

$\delta_{0.8 \times P_{max}} / \delta_{P_{max}}$  は, 有効面積鉄筋比 0.25% (No.1-1) の場合 5.84, 有効面積鉄筋比 0.77% (ピッチ 33mm, No.1-7) の場合 7.77, 有効面積鉄筋比 1.27% (中子筋方式, No.1-8) の場合 1.72, となった。

支圧強度比は, 有効面積鉄筋比 0.77%(ピッチ 33mm, No.1-7) では 1.09 倍, 有効面積鉄筋比 1.27%(中子筋方式, No.1-8) では 1.55 倍であり有効面積鉄筋比の増加に伴い支圧強度比が増加した。No.1-8 は他試験体とは異なりひび割れ以後に大きく強度上昇し, 異なる支圧強度比～めり込み変形関係を示した。



(a) 支圧強度比～めり込み変位関係

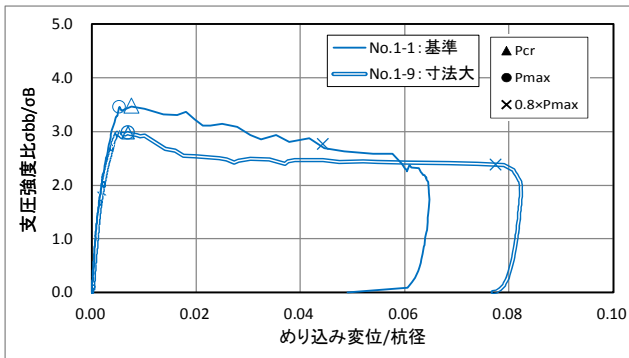


(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

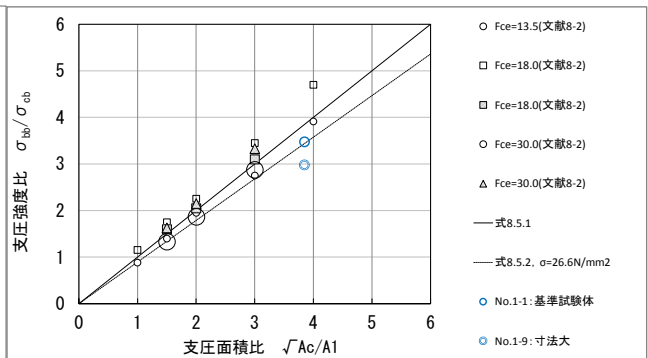
図 8.5.8 鉄筋比の影響

(6) 試験体寸法の影響について (No. 1-1 および No. 1-9 の比較)

試験体寸法の影響を図 8.5.9 に示す。横軸をめり込み変位を杭径で除して無次元化した。支圧強度比は基準試験体 (□250mm, No.1-1) の場合 3.47, 寸法大 (□500mm, No.1-9) の場合 2.98 で, 寸法大 (No.1-9) の支圧強度度は寸法効果の影響のため 1 割程度低下した。



(a) 支圧強度比～めり込み変位/杭径関係



(b) 支圧強度比～支圧面積比関係

図 8.5.9 試験体寸法の影響

## 8.6 実験概要 (シリーズ2)

### 8.6.1 試験体仕様

#### (1) 試験体寸法

試験体概要を表 8.6.1 に、パイルキャップの記号を図 8.6.1、配筋概要図を図 8.6.2、試験要因の相関図を図 8.6.3 に示す。

No.2 シリーズの支圧盤径(D)は 150mm を標準とし、No.2-6 の支圧盤径は 100mm と設定した。

No.2-1, 2-2, 2-4, 2-5, 2-5 は中子筋有 (1段), No.2-3 は中子筋無しとした。

#### 1)有効体積鉄筋比の比較

No.2-1, 2-2, 2-3 を対象に有効体積鉄筋比の比較を行う。なお、No.2-3 は中子筋無しとする。

#### 2)鉄筋強度の比較

No.2-4 の配筋は No.2-1 と同一配筋であるが、鉄筋強度を  $785\text{N/mm}^2$  とする。その他試験体の鉄筋強度は  $295\text{N/mm}^2$  である。

#### 3)中子鉄筋の配置の比較

No. 2-5 の中子筋を支圧盤直下に配置し、No. 2-1 と配筋を比較する。

#### 4)支圧面積比の比較

No.2-1 の支圧盤径は  $\phi 150\text{mm}$ 、へりあきは  $50\text{mm}$  である。一方、No.2-6 の支圧盤径は  $\phi 100\text{mm}$ 、へりあきは  $75\text{mm}$  である。支圧面積比の比較を行う。

表 8.6.1 試験体概要

No.	杭径 D (mm)	肉厚 T (mm)	高さ h1 (mm)	T/D	支圧 断面積 A1 ( $\text{mm}^2$ )	パイルキャップ 幅 L (mm)	パイルキャップ 高さ h2 (mm)	支承 断面積 Ac ( $\text{mm}^2$ )	面積比*1 $\sqrt{Ac/A1}$	有効 へりあき Dh (mm)	へりあき (Dh+ (D/2))/D	コンクリート目標 圧縮強度 $\sigma$ ( $\text{N/mm}^2$ )	支圧盤 形状	有効体積 鉄筋比 $\rho_s$ (%)	有効面積 鉄筋比 pts (%)	帯筋 呼び名
2-1	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.75	1.15	D6 (中子筋)
2-2	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.09	0.77	D6 (中子筋)
2-3	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	0.43	0.26	D6 (中子無)
2-4	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.75	1.15	S6-785 (中子筋)
2-5	150	24	100	0.16	9,500	250	310	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.98	1.28	D6 (中子筋)
2-6	100	16	100	0.16	4,222	250	310	62,500	3.85	75	1.25	30	中空	1.75	1.15	D6 (中子筋)

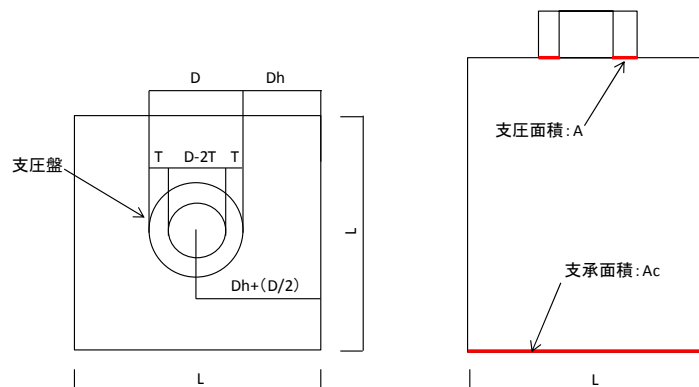
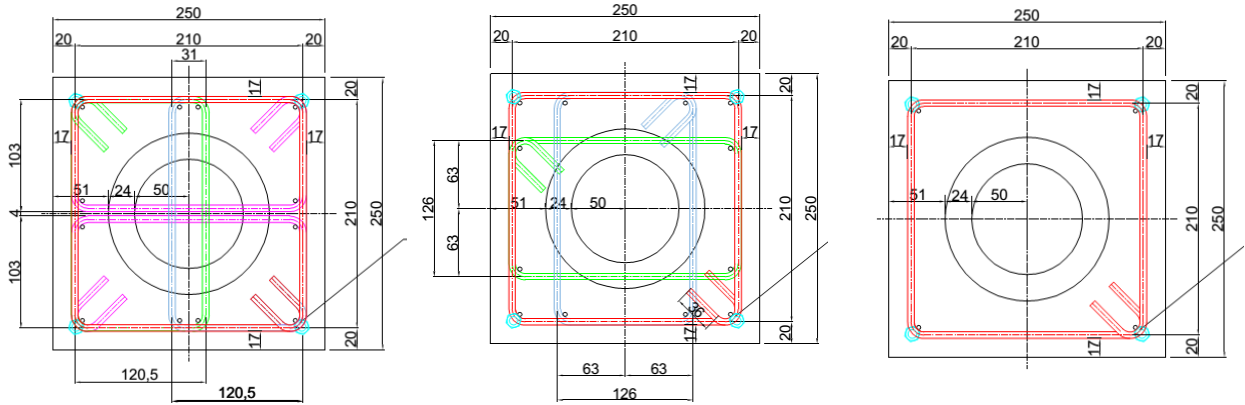
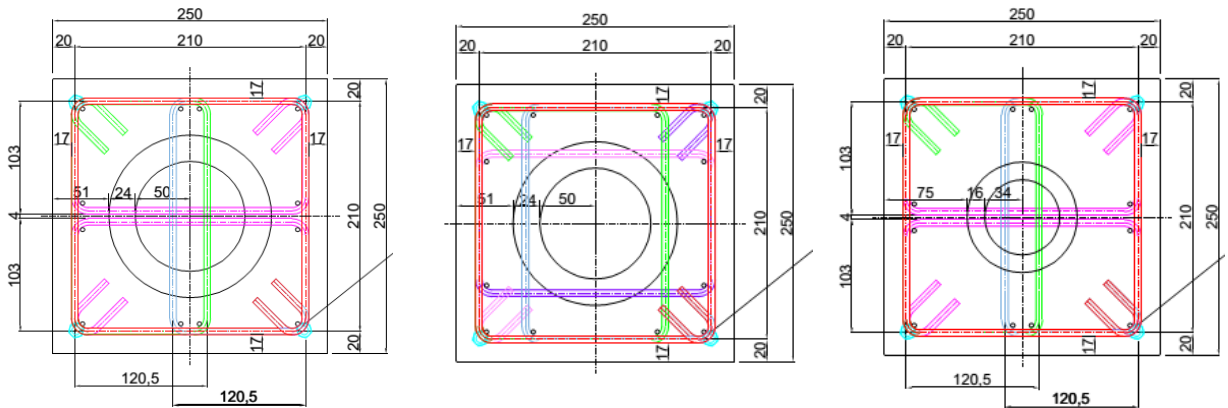


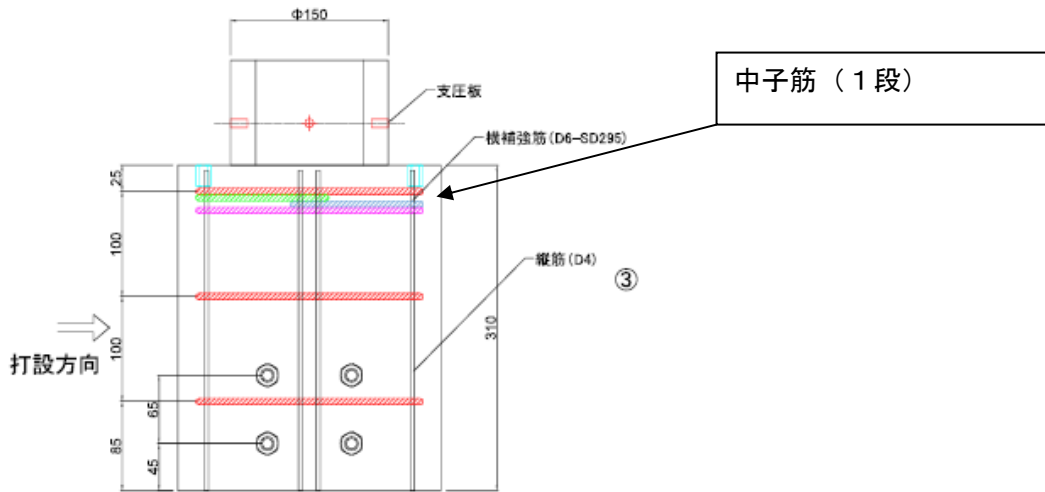
図 8.6.1 パイルキャップの記号



(a) No. 2-1 : 基準仕様 ( $D = \phi 150\text{mm}$ ,  $295\text{N/mm}^2$ ) (b) No. 2-2 : 鉄筋比小 (c) No. 2-3 : 中子筋無



(d) No. 2-4 : 鉄筋强度高 ( $785\text{ N/mm}^2$ ) (e) No. 2-5 : 配筋比較 (f) No. 2-6 : 支圧面積比較 ( $D = \phi 100\text{mm}$ )



(g) No. 2-1 : 基準仕様 ( $D = \phi 150\text{mm}$ ,  $295\text{N/mm}^2$ )

図 8.6.2 配筋概要図

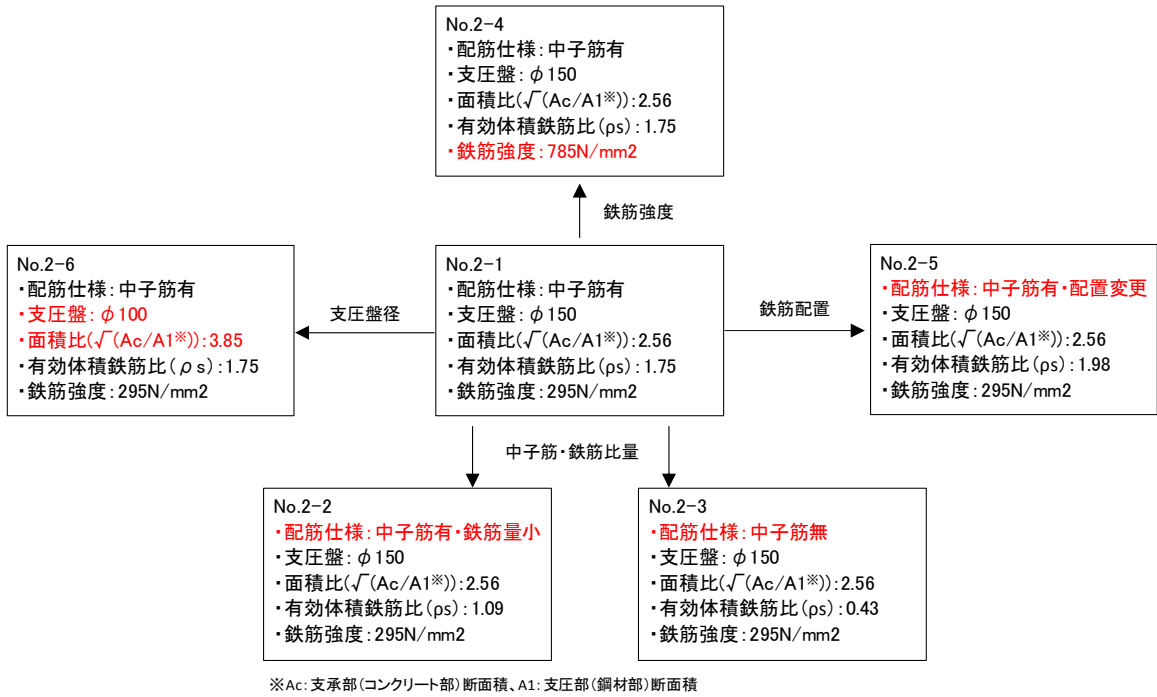


図 8. 6. 3 試験要因の相関図

(2) 有効体積鉄筋比, 有効面積鉄筋比の計算

有効体積鉄筋比は、帯筋間に設置された帯筋と中子筋の鉄筋体積をコンクリート体積 ( $b \times d \times s$ ) で除した値とした。No. 2-1 の有効体積鉄筋比に関する記号を図 8. 6. 4 に示す。

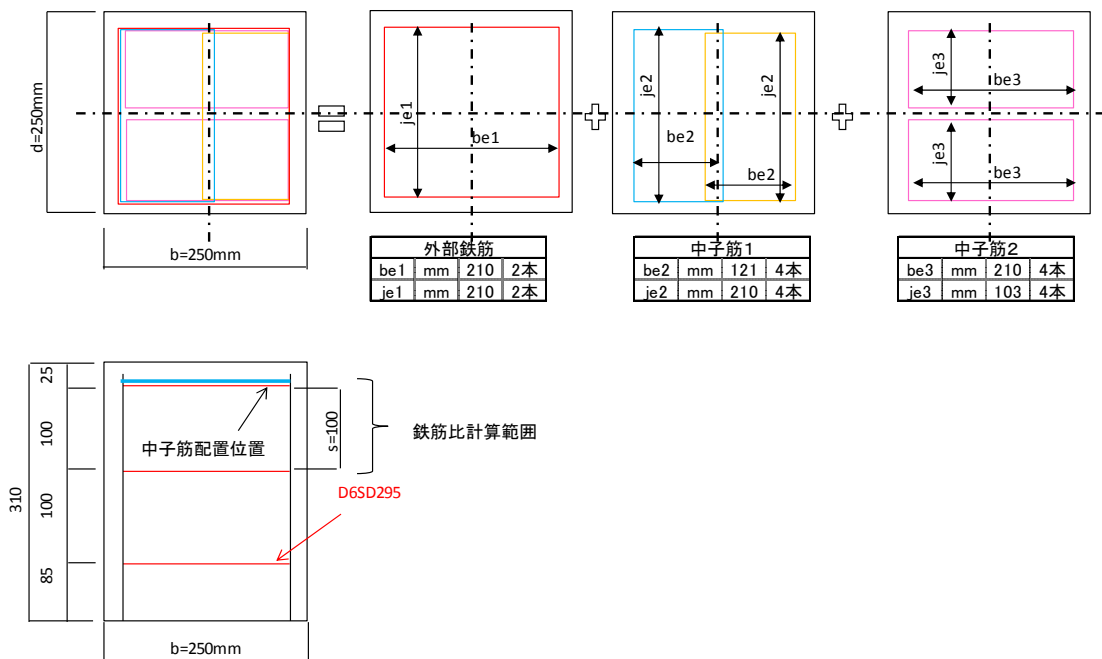


図 8. 6. 4 有効体積鉄筋比に関する記号 (No. 2-1)

表 8.6.2 有効体積鉄筋比

No.			2-1.6.4	2-2	2-3	2-5
外部帯筋	仕様		D6	D6	D6	D6
	断面積	as	mm2 31.97	31.97	31.97	31.97
	幅	be1	mm 210	210	210	210
	本数	nb1	本 2	2	2	2
	長さ	je1	mm 210	210	210	210
	本数	nj1	本 2	2	2	2
	体積	V1	mm3 26855	26855	26855	26855
中子筋1	仕様		D6	D6	-	D6
	断面積	as	mm2 31.97	31.97	-	31.97
	幅	be2	mm 120.5	126	-	168
	本数	nb2	本 4	2	-	4
	長さ	je2	mm 210	210	-	210
	本数	nj2	本 4	2	-	4
	体積	V2	mm3 42264	21484	-	48339
中子筋2	仕様		D6	D6	-	D6
	断面積	as	mm2 31.97	31.97	-	31.97
	幅	be3	mm 210	210	-	210
	本数	nb3	本 4	2	-	4
	長さ	je3	mm 103	103	-	168
	本数	nj3	本 4	2	-	4
	体積	V3	mm3 40026	20013	-	48339
合計体積		V4=V1+V2+V3	mm3 109146	68352	26855	123532
	幅	b	mm 250	250	250	250
	長さ	d	mm 250	250	250	250
	鉄筋間隔	s	mm 100	100	100	100
	体積	V5=b × d × s	mm3 6250000	6250000	6250000	6250000
有効体積鉄筋比		$\rho_s = V4/V5$	% 1.75	1.09	0.43	1.98

「注」 V1=(be1 × nb1 + je1 × nj1) × as  
 V2=(be2 × nb2 + je2 × nj2) × as  
 V3=(be3 × nb3 + je3 × nj3) × as  
 V4=V1+V2+V3  
 V5=b × d × s

有効面積鉄筋比は、X 方向と Y 方向毎に求めた。各方向面に設置された帯筋と中子筋の鉄筋面積をコンクリート面積 (b × s) で除した値とした。No. 2-1 の有効体積鉄筋比に関する記号を図 8.6.5 に示す。

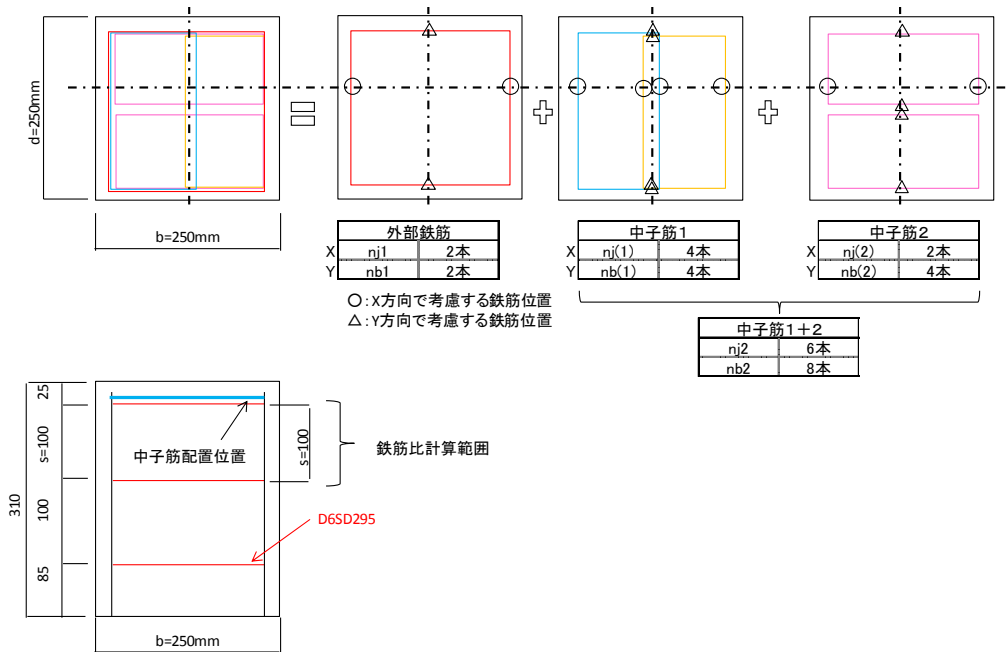


図 8.6.5 有効面積鉄筋比に関する記号 (No. 2-1)

表 8.6.3 有効面積鉄筋比

方向	No.		.2-1.6.4	2-2	2-3	2-5	
X	仕様		D6	D6	D6	D6	
	断面積		as	mm2	31.97	31.97	31.97
	外部帯筋	本数	nj1	本	2	2	2
	中子筋1+2	本数	nj2	本	6	4	0
	断面積		A1	mm2	255.76	191.82	63.94
	幅		d	mm	250	250	250
	鉄筋間隔		s	mm	100	100	100
	断面積		A2=b×s	mm3	25000	25000	25000
	有効面積鉄筋比		pts=A1/A2	%	1.02	0.77	0.26
	Y	仕様		D6	D6	D6	D6
断面積		as	mm2	31.97	31.97	31.97	
外部帯筋		本数	nb1	本	2	2	2
中子筋1+2		本数	nb2	本	8	4	0
断面積		A3	mm2	319.7	191.82	63.94	
幅		b	mm	250	250	250	
鉄筋間隔		s	mm	100	100	100	
面積		A4=b×s	mm3	25000	25000	25000	
有効体積鉄筋比		pts=A3/A4	%	1.28	0.77	0.26	

「注」 A1=(nj1+nj2) × as  
 A2=b × s  
 A3=(nb1+nb2) × as  
 A4=b × s

(3) 材料特性

鉄筋の材料試験値およびコンクリートの平均圧縮強度を表 8.6.4 および 8.6.5 に示す。

表 8.6.4 鉄筋の材料試験値

呼び強度	コンクリートの種類 による記号	スラブ° (cm)	骨材の最大寸 法 (mm)	圧縮強度		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
				材齢28日 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢35日 (N/mm <sup>2</sup> )		
30	N	18	13	29.9	30.7	24.8	2.16

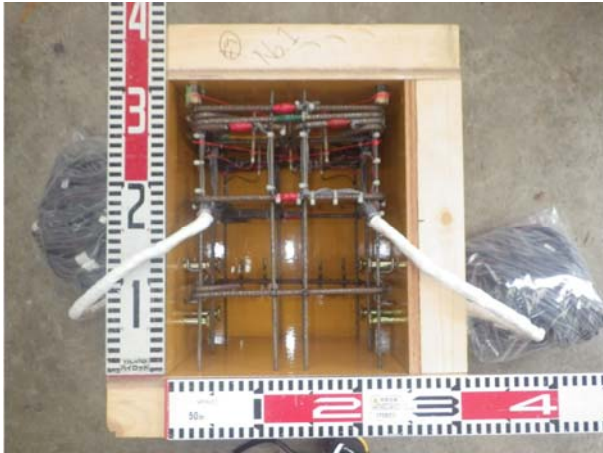
表 8.6.5 コンクリートの材料試験値

呼び強度	コンクリートの種類 による記号	スラブ° (cm)	骨材の最大 寸法 (mm)	圧縮強度		割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
				材齢28日 (N/mm <sup>2</sup> )	材齢35日 (N/mm <sup>2</sup> )	
30	N	18	13	29.9	30.7	2.16

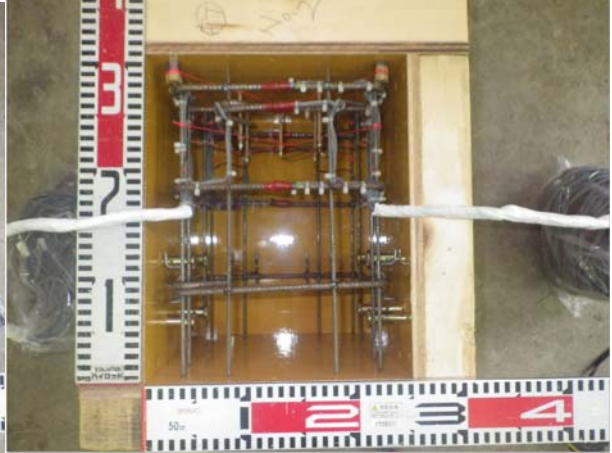
8.6.2 試験体製作

試験写真を写真 8.6.1～2 に示す。

コンクリートの打設方向は支圧盤の設置面の平滑性を確保するために側面から横打ちした。



No. 2-1 : 基準仕様 (D=φ150mm, 295N/mm<sup>2</sup>)



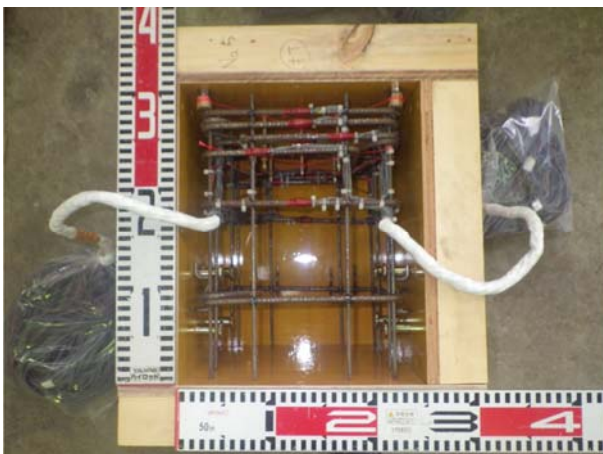
(b) No. 2-2 鉄筋比小



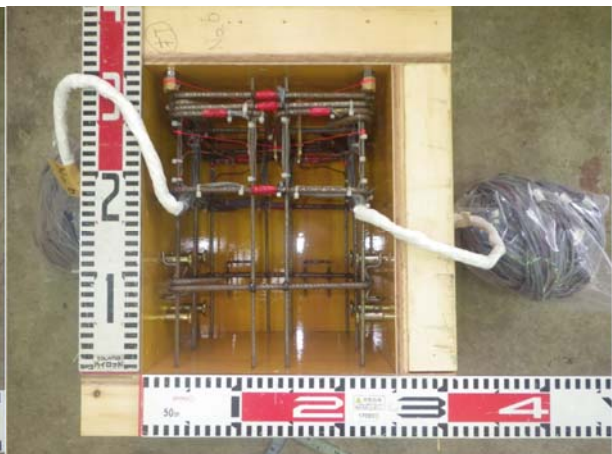
(c) No. 2-3 : 中子筋無



(d) No. 2-4 : 鉄筋強度高 (785N/mm<sup>2</sup>)



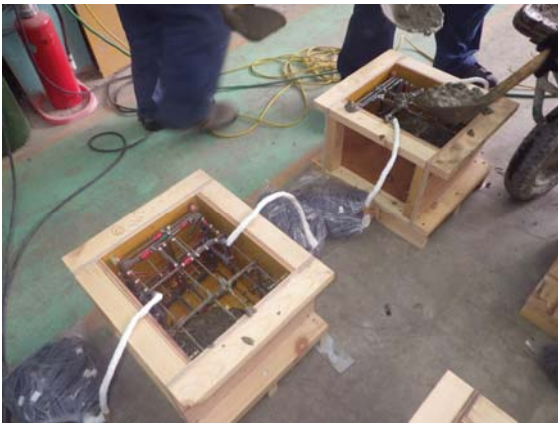
(e) No. 2-5 : 配筋比較



(f) No. 2-6 : 支圧面積比較 (D=φ100mm)

写真 8.6.1 供試体製作状況 (No. 2-1～6)





(a) 打設状況



(b) 打設完了

写真 8.6.2 コンクリート打設状況

### 8.6.3 載荷方法

載荷場所は芝浦工業大学で、試験機は2000kNの圧縮試験機を用いた。載荷装置概要図を図8.6.6に、試験状況を写真8.6.3示す。

載荷方式は単調載荷とした。

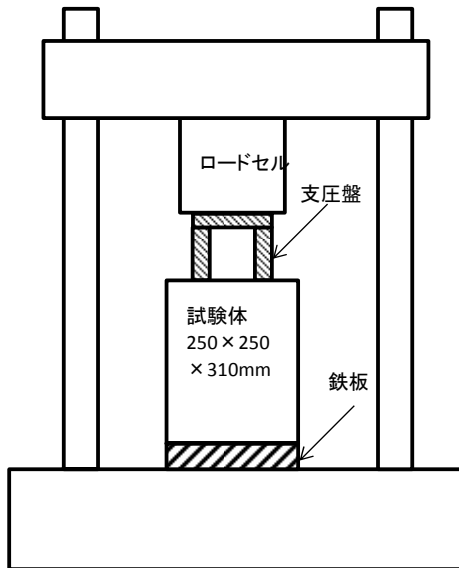


図 8.6.6 載荷装置概要図

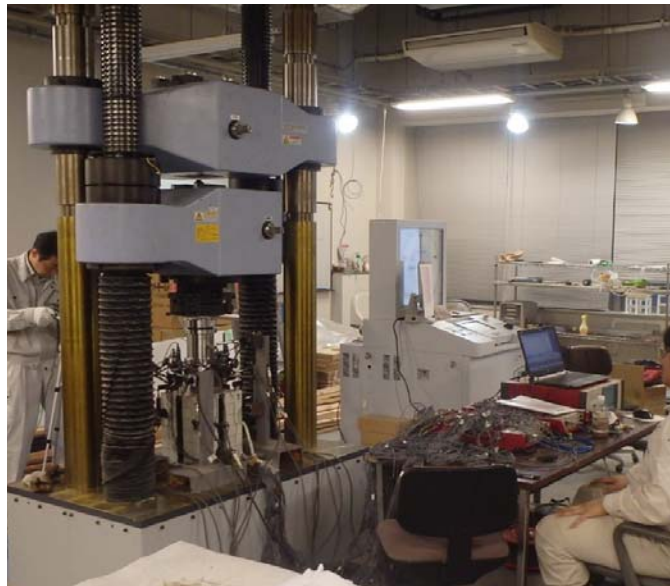


写真 8.6.3 載荷装置

### 8.6.4 計測方法

#### (1) 計測項目

変位およびひずみ計測概要を表8.6.6に示す。

表 8.6.6 変位およびひずみ計測概要

測定項目	測定位置	測定点数	仕様	備考
荷重	-	1	CLH-NA	ロードセル
変位	支圧盤中央	4	CDP-25	4方向
	コンクリート端部	4	CDP-25	4方向
	コンクリート表面	4	CDP-25	4方向
ひずみ	コンクリート内部	5	PMFL-50 モールドゲージ	中心:1点 載荷盤下:4点
	帯筋 中子筋	16~32	FLA-5-11-LT	No.2-1、帯筋:8点×2段=16点、中子筋:16点
				No.2-2、帯筋:8点×2段=16点、中子筋:8点
				No.2-3、帯筋:8点×2段=16点
				No.2-4、帯筋:8点×2段=16点、中子筋:16点
				No.2-5、帯筋:8点×2段=16点、中子筋:16点
				No.2-6、帯筋:8点×2段=16点、中子筋:16点
	支圧盤外側	4	FLA-5-11-LT	4方向
コンクリート側面 下端	4	PL -60 -11	4方向 下端から50mm	
コンクリート側面 中央	4	PL -60 -11	4方向 下端から155mm	
コンクリート側面 上端	4	PL -60 -11	4方向 下端から275mm	
合計		50~66	-	-

(2) 変位計測

変位計測位置図を図8.6.7に示す。支圧盤の変位は、ターゲットとなる部材をあらかじめ取付け計測する。コンクリート表面の変位およびコンクリート上端の計測を計測する。上端変位用計測治具は、コンクリートにあらかじめ埋め込んだインサートに固定する。

めり込み変位量は、コンクリート表面変位量と支圧盤の変位量の差とした。

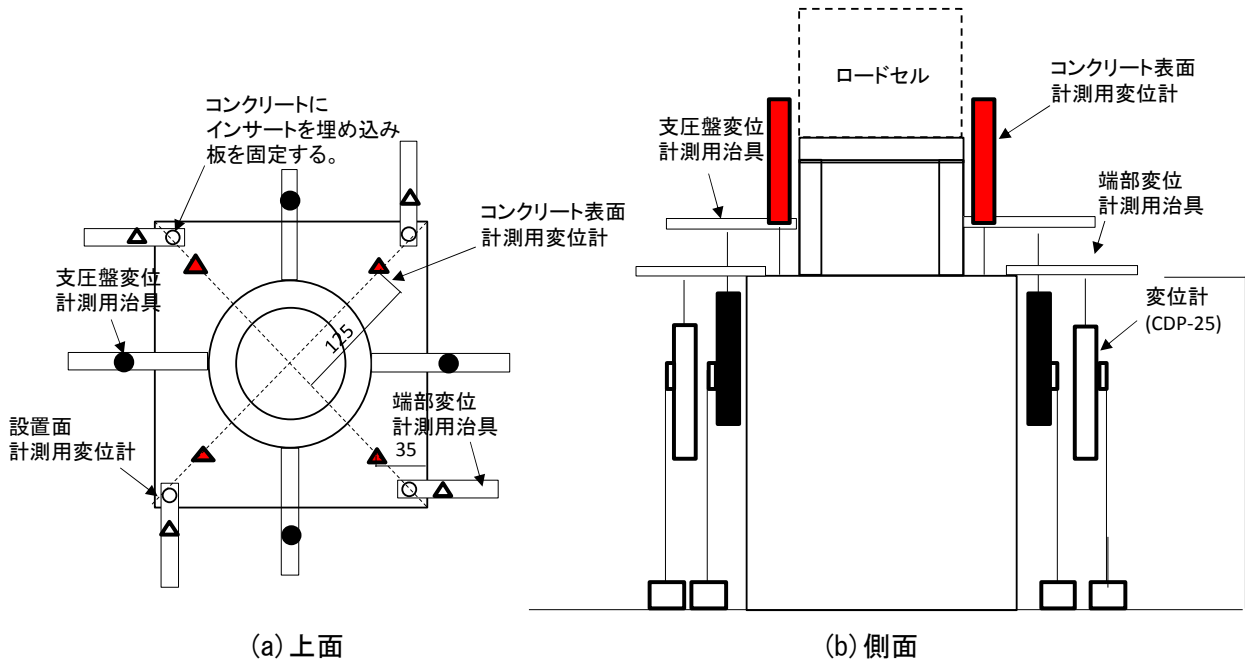


図 8.6.7 計測位置図

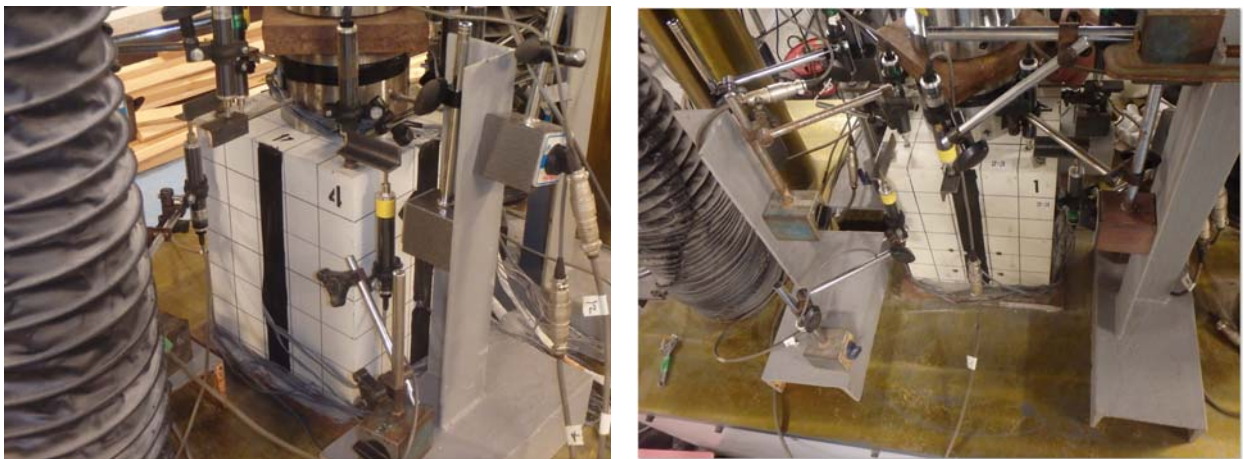


写真 8.6.4 変位計設置状況

(3) ひずみ計測

帯筋、中子筋のひずみを計測するためにひずみゲージ（FLA-5-11-LT）を取り付けた。  
 帯筋ゲージは2段、中子筋ゲージは試験体の内側（赤△）および帯筋位置の外側にとりつけた。  
 モールドゲージ(PMFL-50)は、支圧盤中心位置に1個、載荷盤直下に4個に設置した。  
 支圧盤外側に鋼材用ひずみゲージを取り付けた。  
 コンクリート側面の3断面（上、中、下）の鉛直方向にゲージ（PL-60-11）を取り付けた。  
 ひずみゲージおよびモールドゲージ位置図を図8.6.8～9に示す。

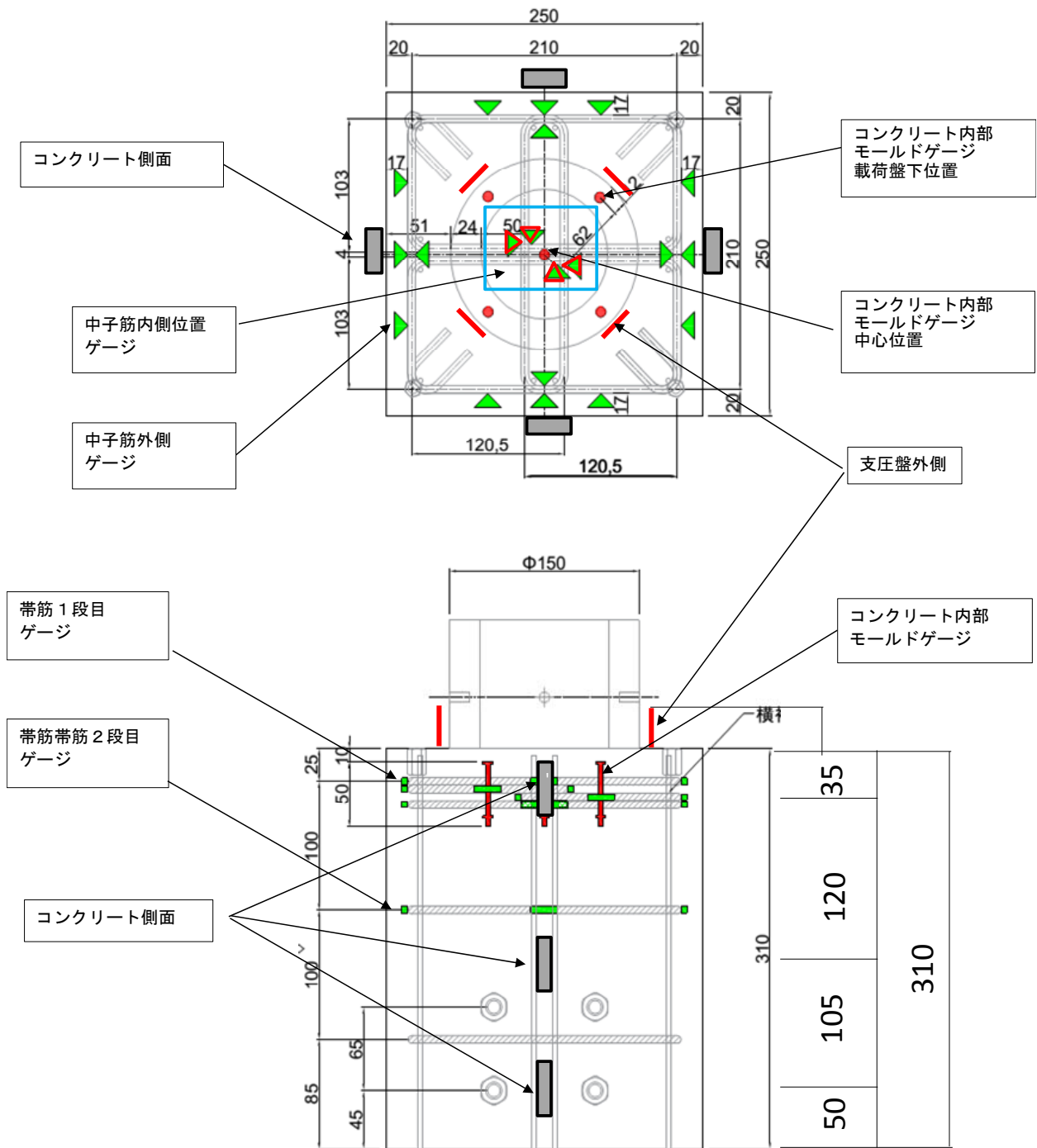
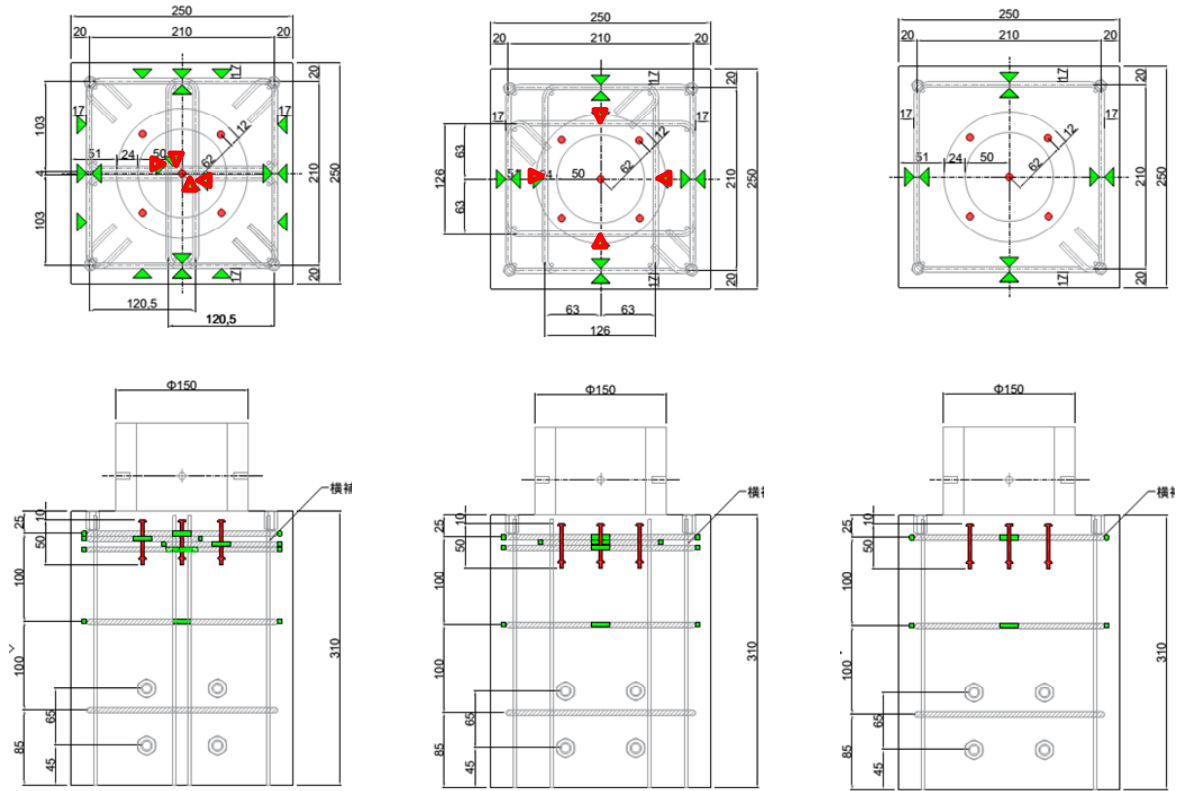
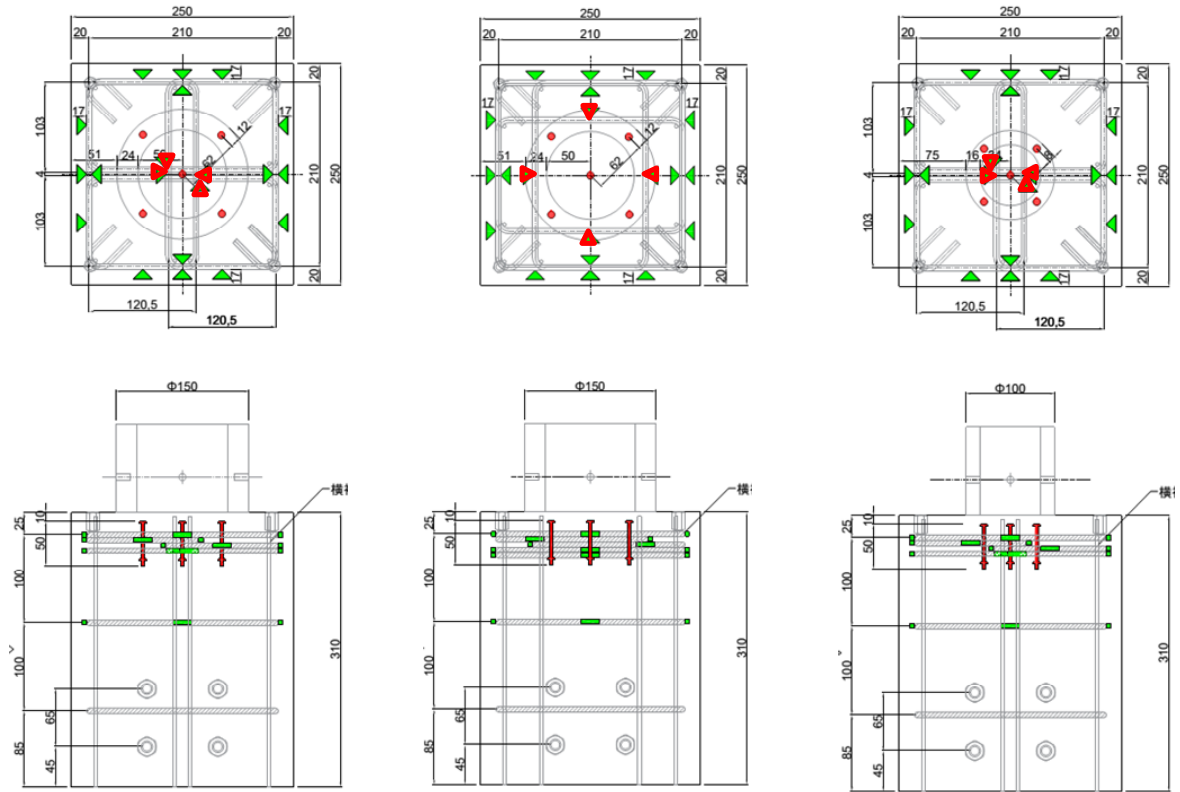


図 8.6.8 ひずみゲージ取り付け位置図 (No. 2-1)



(a) No. 2-1 : 基準仕様 ( $D = \phi 150\text{mm}$ ,  $295\text{N}/\text{mm}^2$ ) (b) No. 2-2 : 鉄筋比小

(c) No. 2-3 : 中子筋無



(d) No. 2-4 : 鉄筋强度高 ( $785\text{N}/\text{mm}^2$ )

(e) No. 2-5 : 配筋比較

(f) No. 2-6 : 支圧面積比較 ( $D = \phi 100\text{mm}$ )

図 8.6.9 ゲージ位置図

### 8.7 実験結果（シリーズ2）

#### 8.7.1 支圧強度比～支圧面積比関係

最大荷重および支圧強度比を表 8.7.1 に示す。

表 8.7.1 最大荷重

No.	杭径 D (mm)	肉厚 T (mm)	高さ h1 (mm)	T/D	支圧 断面積 A1 (mm <sup>2</sup> )	ハイルキヤ ブ幅 L (mm)	支承 断面積 Ac (mm <sup>2</sup> )	面積比 <sup>※1</sup> √ (Ac/A1)	有効 へりあ き Dh (mm)	へりあき (Dh+ (D/2))/D	コンクリート 圧縮 強度 σB (N/mm <sup>2</sup> )	支圧盤 形状	有効体 積鉄筋 帯筋比 ρs (%)	有効面 積鉄筋 比 pts (%)	最大荷重 Pmax (kN)	σbb (N/mm <sup>2</sup> )	支圧強度比 σbb/σB	概要
2-1	150	24	100	0.16	9,500	250	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.74	1.14	869	91.5	3.05	基準試験体
2-2	150	24	100	0.16	9,500	250	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.11	0.76	777	81.8	2.73	有効体積鉄筋比小
2-3	150	24	100	0.16	9,500	250	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	0.43	0.25	703	74.0	2.47	有効体積鉄筋比小 (中子筋無)
2-4	150	24	100	0.16	9,500	250	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.74	1.14	885	93.2	3.11	鉄筋強度 (S6-785)
2-5	150	24	100	0.16	9,500	250	62,500	2.56	50	0.83	30	中空	1.97	1.27	837	88.1	2.94	配筋比較
2-6	100	16	100	0.16	4,222	250	62,500	3.85	75	1.25	30	中空	1.74	1.14	608	144.0	4.80	支圧面積比

#### 8.7.2 荷重～めり込み変位関係

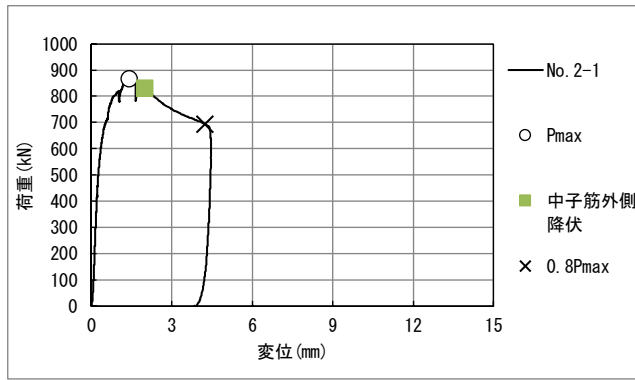
最大荷重時および 0.8×最大荷重時の荷重および変位を表 8.7.2 に示す。荷重～めり込み変位関係を図 8.7.1 に示す。

変位量は、コンクリート表面変位と支圧盤の変位差とした。図中には、最大荷重 (Pmax), 0.8×最大荷重 (0.8×Pmax), 帯筋および中子筋の降伏荷重を示す。凡例の各荷重は変位の小さい順に記載した。

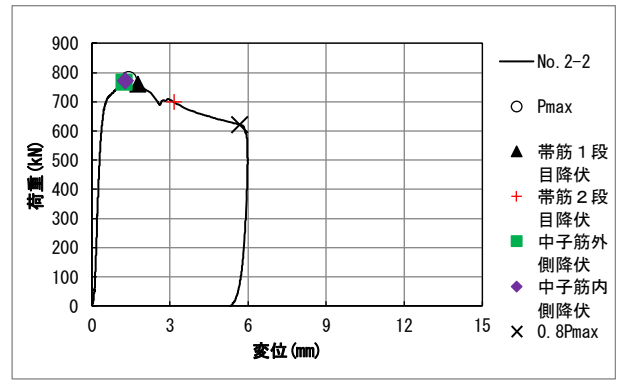
表 8.7.2 荷重および変位

No.	最大荷重時		0.8×最大荷重時		比率※ (変位)
	荷重 Pmax (kN)	変位 δ <sub>Pmax</sub> (mm)	荷重 0.8×Pmax (kN)	変位 δ <sub>0.8×Pmax</sub> (mm)	
2-1	869	1.39	695	4.23	3.04
2-2	777	1.41	622	5.67	4.02
2-3	703	0.61	562	1.88	3.08
2-4	885	2.26	708	6.60	2.92
2-5	837	2.39	670	10.77	4.51
2-6	608	2.79	486	12.73	4.56

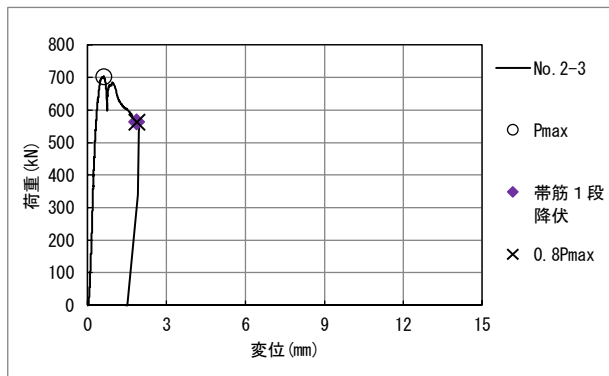
※比率は「0.8×最大荷重時変位」と「最大荷重時変位」の比率を示す



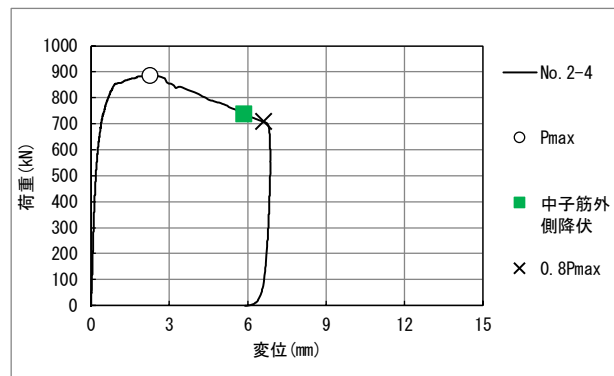
(a) No. 2-1 : 基準仕様・中子筋有



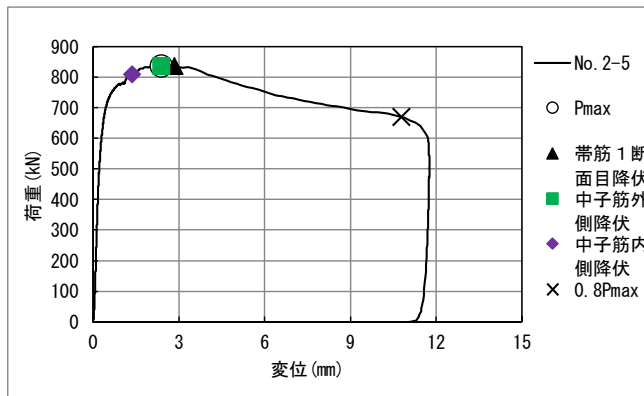
(b) No. 2-2 : 鉄筋比小・中子筋有



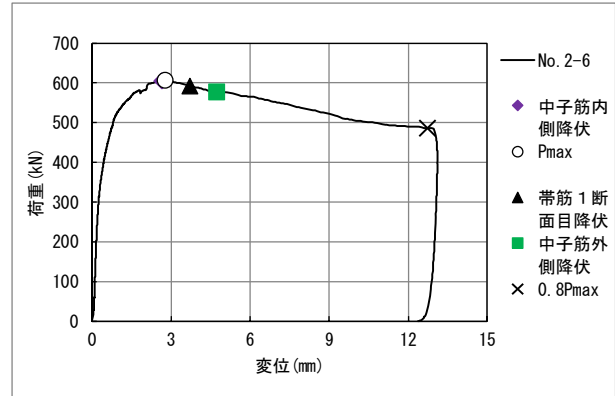
(a) No. 2-3 : 中子筋無



(b) No. 2-4 : 鉄筋强度高・中子筋有



(c) No. 2-5 : 配筋比較・中子筋有



(d) No. 2-6 : 支圧面積比較・中子筋有

図 8.7.1 荷重～めり込み変位関係

### 8.7.3 埋込みゲージ分布

埋込みゲージ設置位置図を図 8.7.2, 最大荷重時ひずみを図 8.7.3, 荷重～ひずみ関係を図 8.7.4～5 に示す。

中心位置のひずみ値が小さく, 支圧盤直下のひずみ値が大きい傾向であった。また, 支圧盤径が  $\phi 100\text{mm}$  (No.2-6) の中心ひずみは, 支圧盤径が  $\phi 150\text{mm}$  の中心ひずみより大きい。これは, 支圧盤径が  $\phi 100\text{mm}$  (No.2-6) の支圧盤肉厚中心と中空部中心の距離が  $42\text{mm}$ , 支圧盤径が  $\phi 150\text{mm}$  の距離は  $63\text{mm}$  であったためと考えられる。

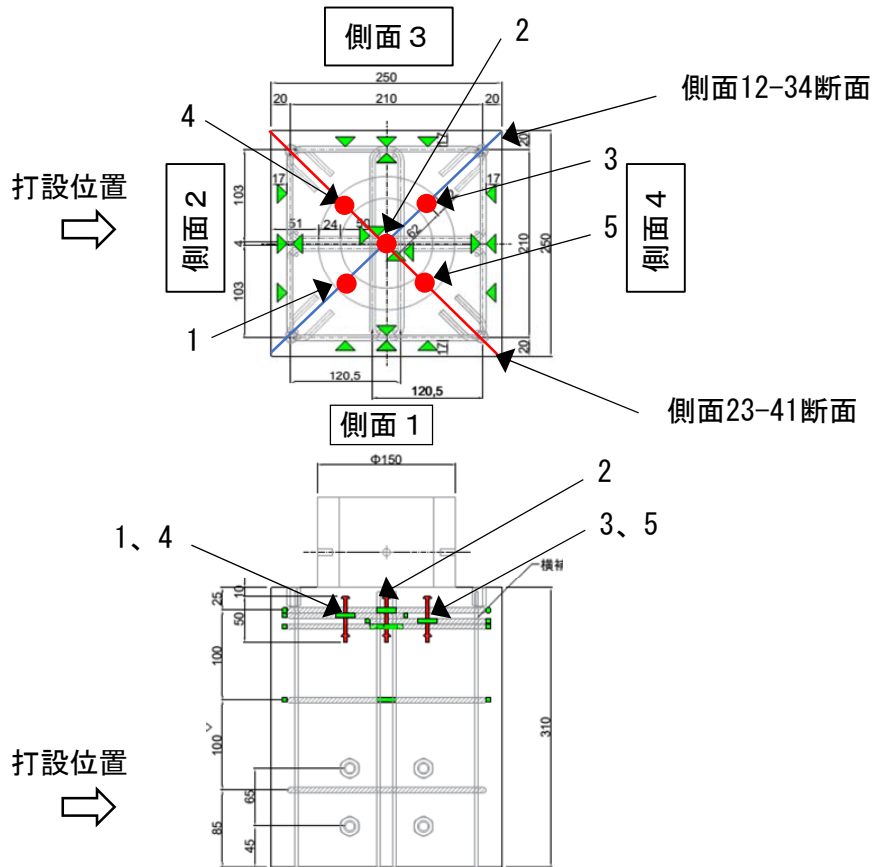
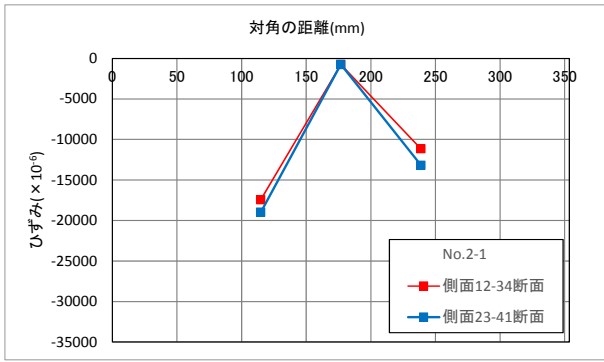
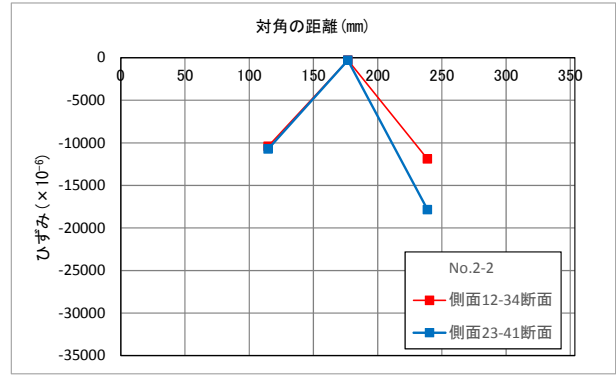


図 8.7.2 埋込みゲージ設置位置図

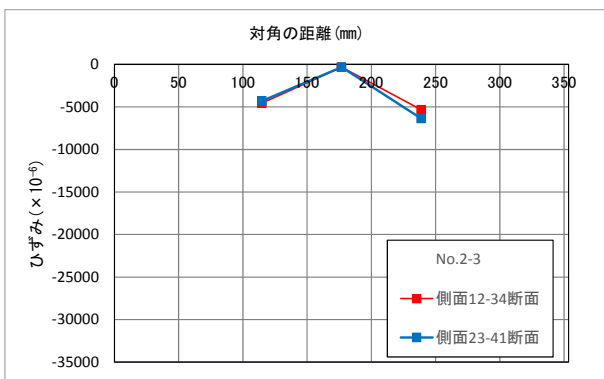




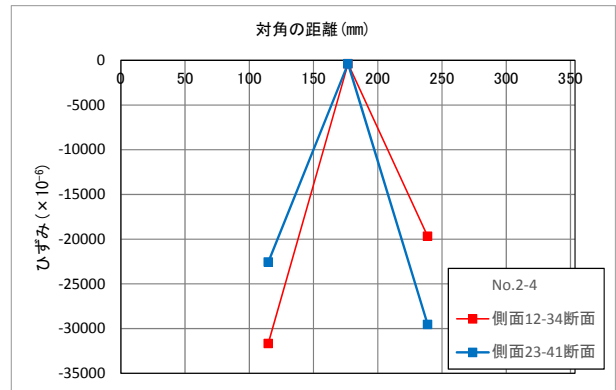
(a) No. 2-1 : 基準仕様



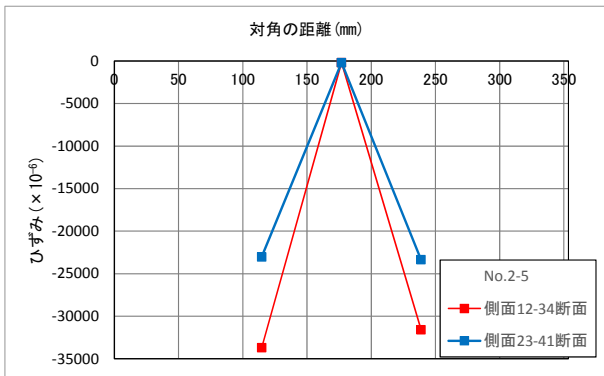
(b) No. 2-2 : 鉄筋比小



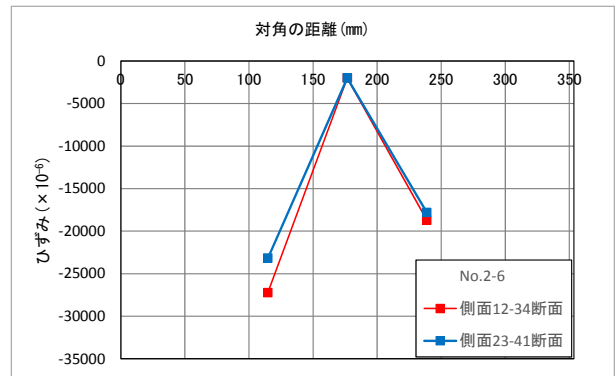
(c) No. 2-3 : 中子筋無



(d) No. 2-4 : 鉄筋强度高

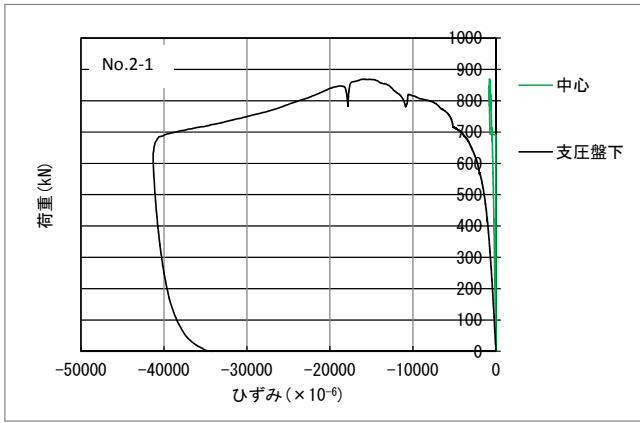


(e) No. 2-5 : 配筋比較

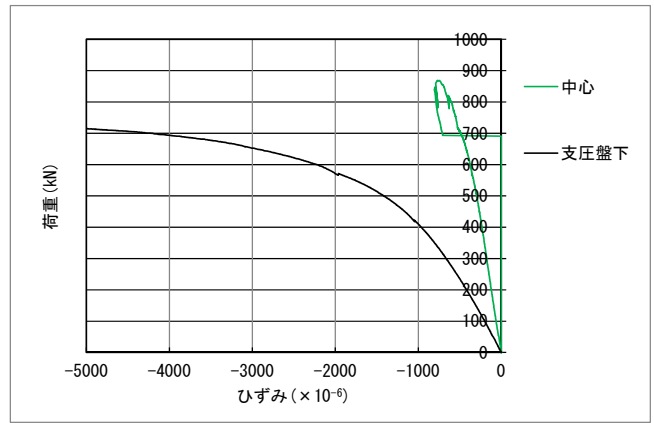


(f) No. 2-6 : 支圧面積比較

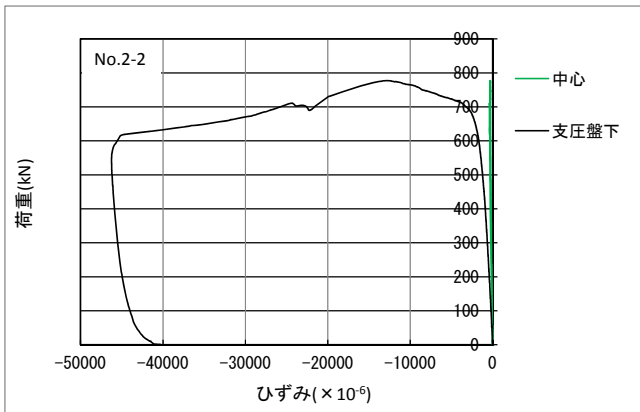
図 8.7.3 最大荷重時ひずみ分布 (No. 2-1~6)



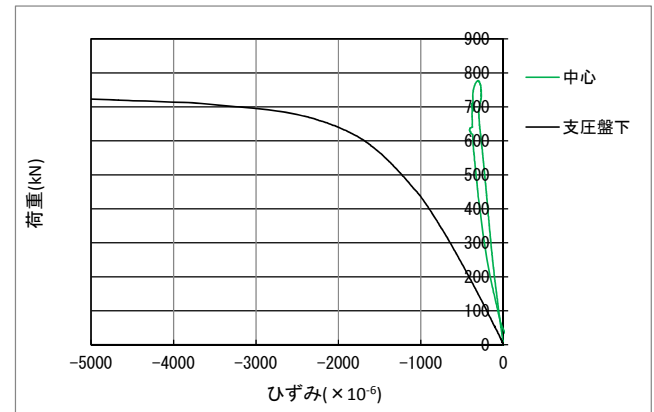
(a) No. 2-1 : 基準仕様・全体



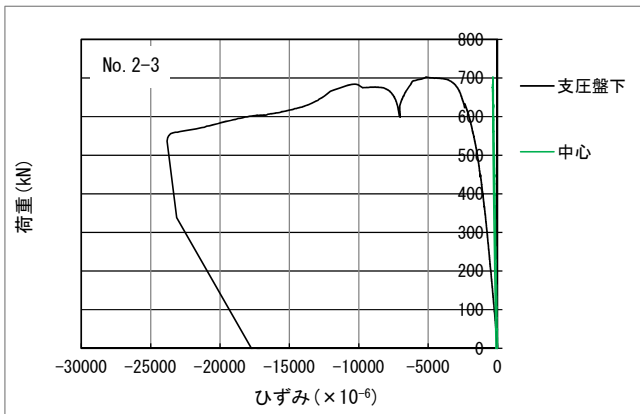
(b) No. 2-1 : 基準仕様・拡大



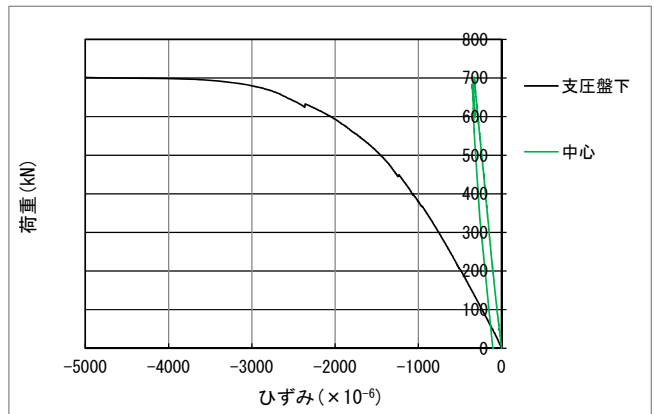
(c) No. 2-2 : 鉄筋比小・全体



(d) No. 2-2 : 鉄筋比小・拡大

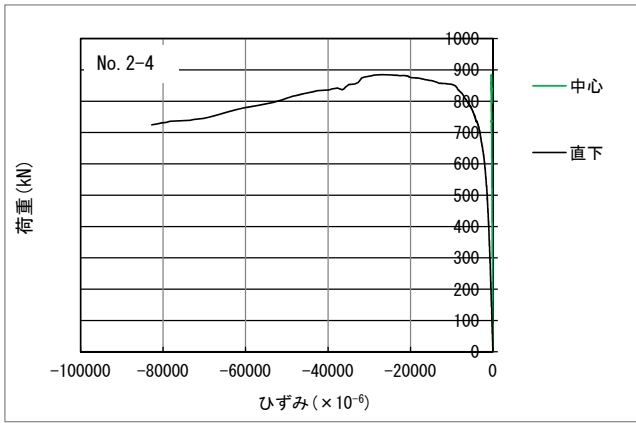


(e) No. 2-3 : 中子筋無・全体

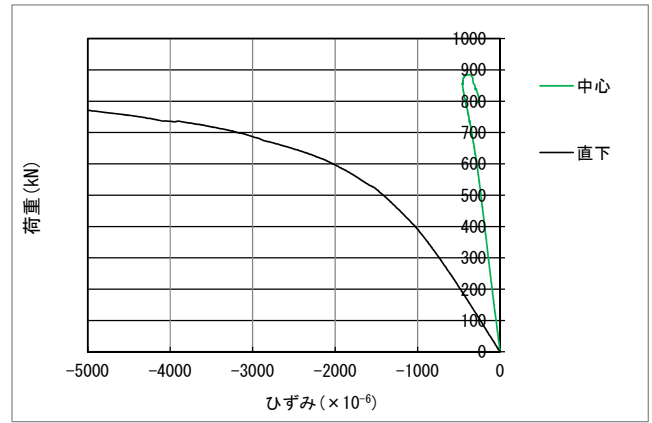


(f) No. 2-3 : 中子筋無・拡大

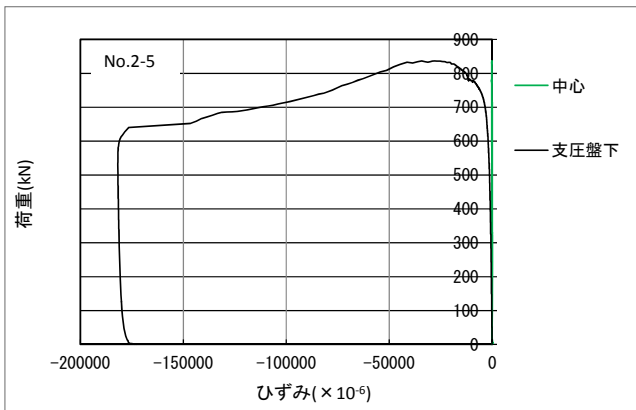
図 8.7.4 荷重～ひずみ関係 (No. 2-1～3)



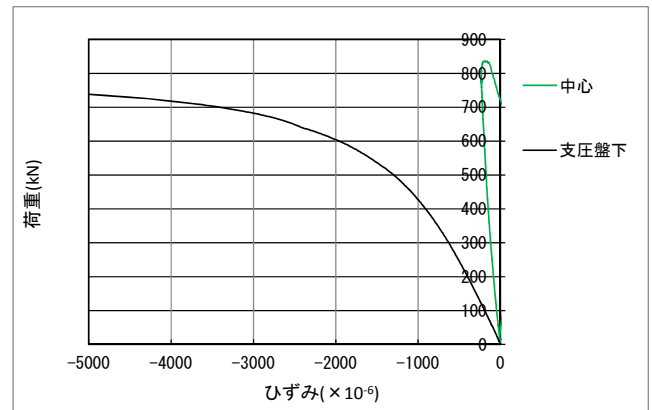
(a) No. 2-4 : 鉄筋強度高・全体



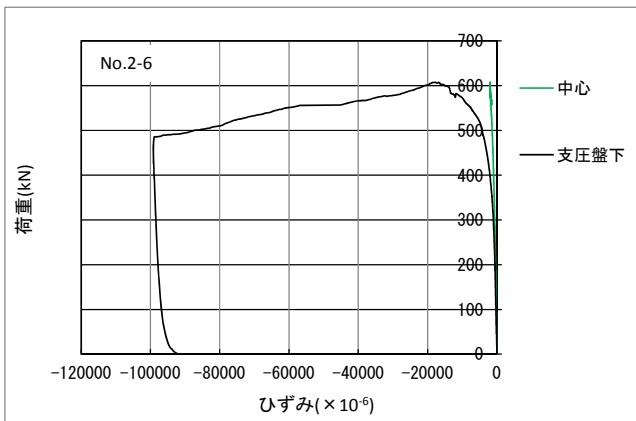
(b) No. 2-4 : 鉄筋強度高・拡大



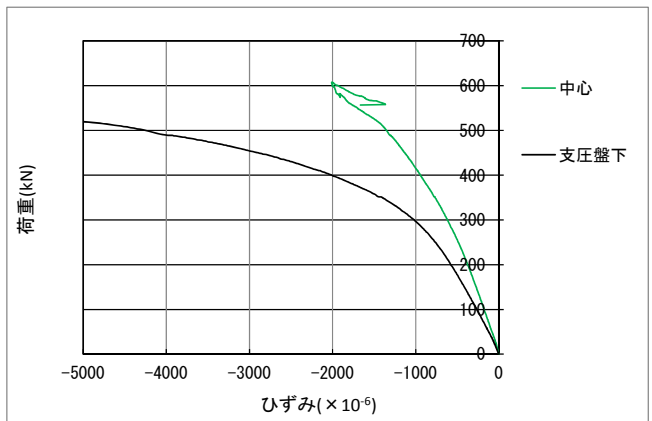
(c) No. 2-5 : 配筋比較・全体



(d) No. 2-5 : 配筋比較・拡大



(d) No. 2-6 : 支圧面積比較・全体



(e) No. 2-6 : 支圧面積比較・拡大

図 8.7.5 荷重～ひずみ関係 (No. 2-4～6)

8.7.4 荷重～帯筋・中子筋のひずみ関係

荷重～帯筋・中子筋のひずみ関係を図 8.7.6～7 に示す。帯筋1断面は、帯筋1断面に張り付けたひずみの平均値、帯筋2断面は帯筋1断面に張り付けたひずみの平均値である。図中の破線は、中子筋の降伏ひずみ (No.2-4 の  $\epsilon_y = \sigma_y / E_s = 4,633 \times 10^{-6} = 845 / 182,400$ , その他の  $\epsilon_y$  は  $2,060 \times 10^{-6} = 373 / 181,100$ ) を示す。おおむね、最大荷重を超えると帯筋1断面のひずみが、帯筋2断面のひずみより大きくなる。また、No.2-2, 2-5 は支圧盤直下に中子筋を配置しているため、中子筋内側のひずみは中子筋外側のひずみよりかなり大きい。No.2-6 の中子筋内側のひずみが大きいのは、支圧盤径が  $\phi 100\text{mm}$  であるため、支圧盤肉厚部が中子筋の中央部と距離が近かったためと考えられる。

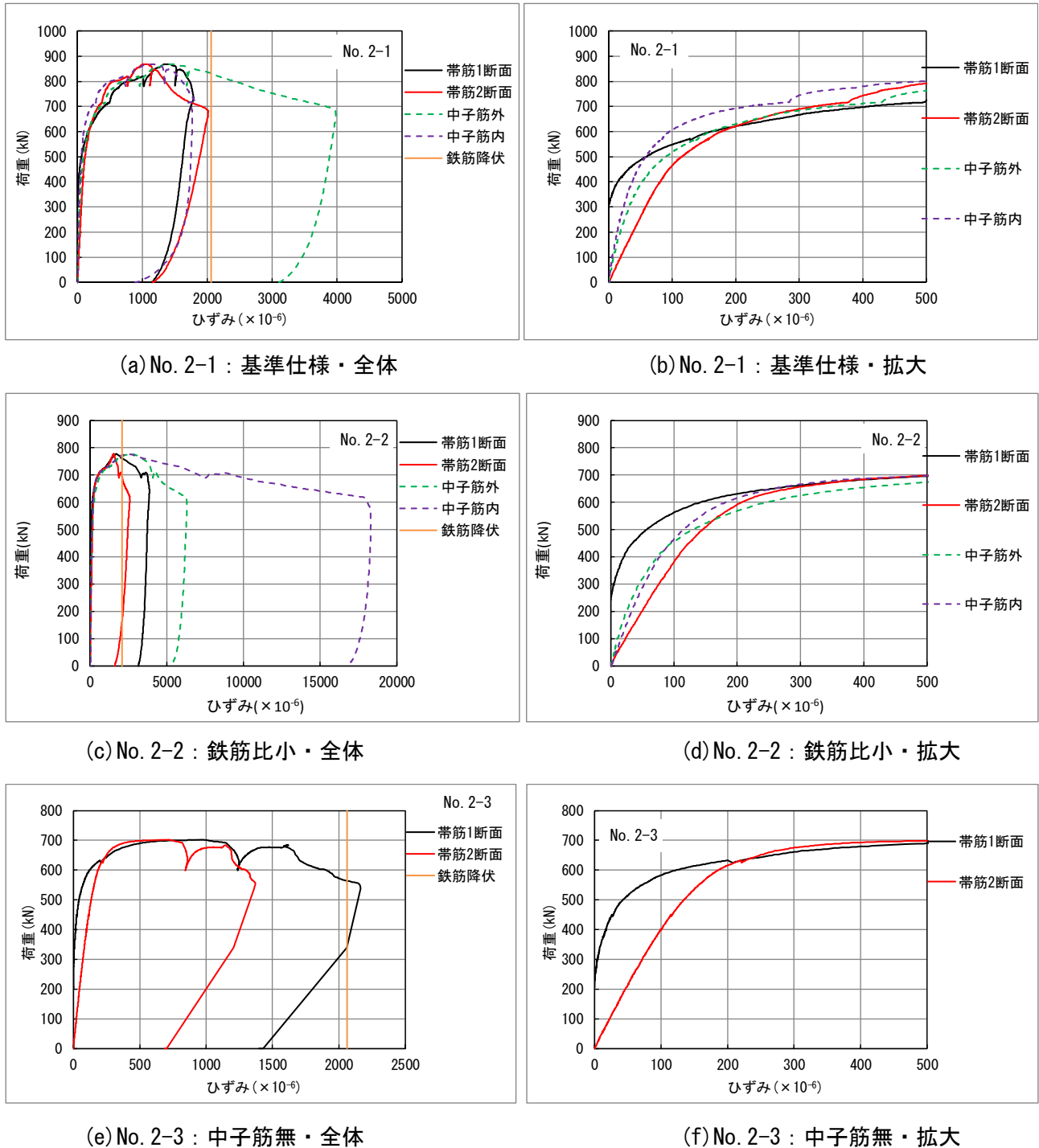
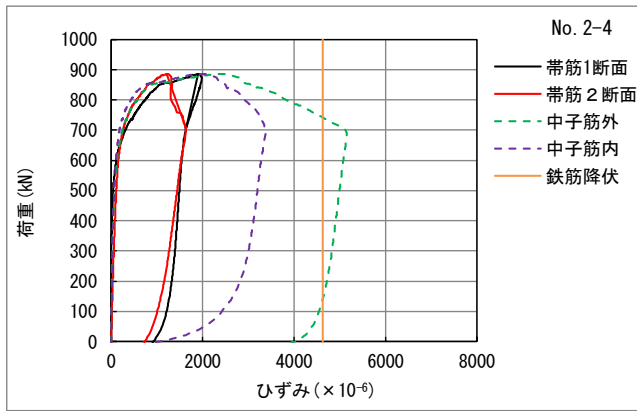
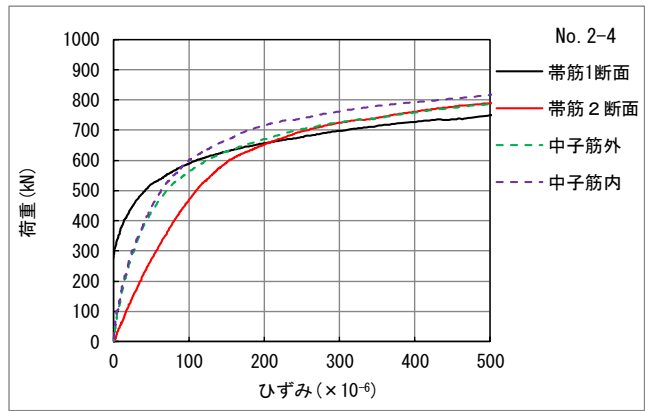


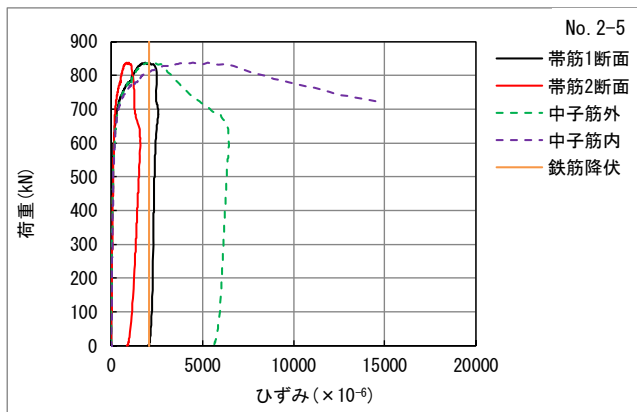
図 8.7.6 荷重～帯筋・中子筋のひずみ関係 (No. 2-1～3)



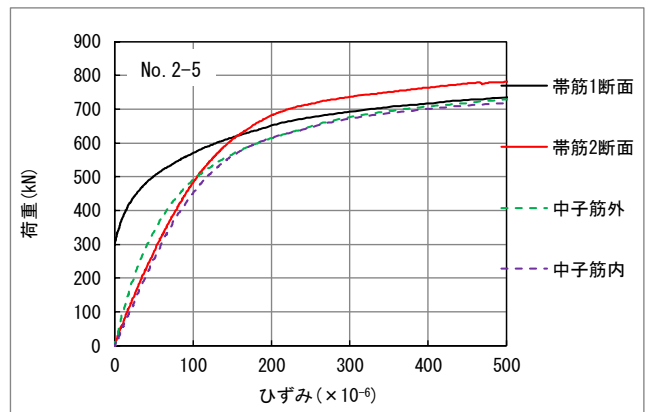
(a) No. 2-4 : 鉄筋强度高・全体



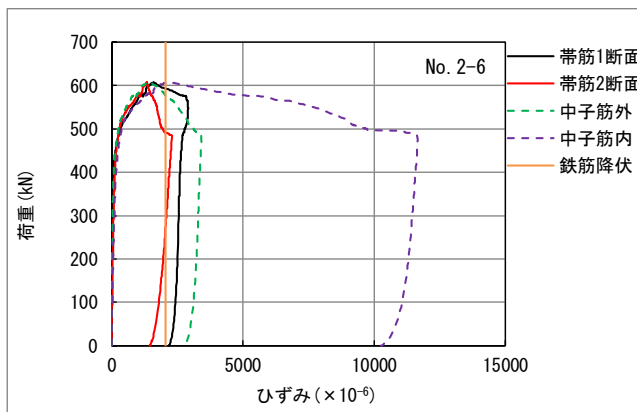
(b) No. 2-4 : 鉄筋强度高・拡大



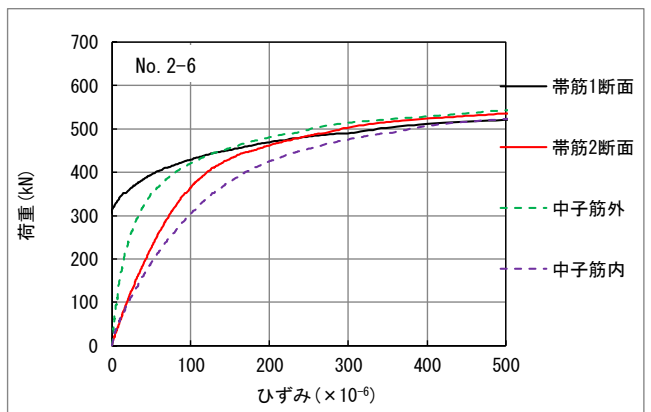
(c) No. 2-5 : 配筋比較・全体



(d) No. 2-5 : 配筋比較・拡大



(e) No. 2-6 : 支圧面積比較・全体



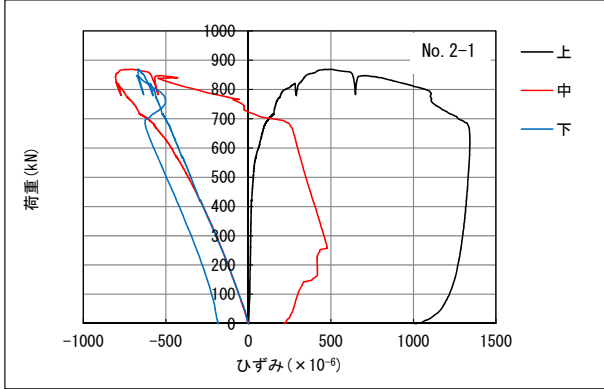
(f) No. 2-6 : 支圧面積比較・拡大

図 8.7.7 荷重～帯筋・中子筋のひずみ関係 (No. 2-4～6)

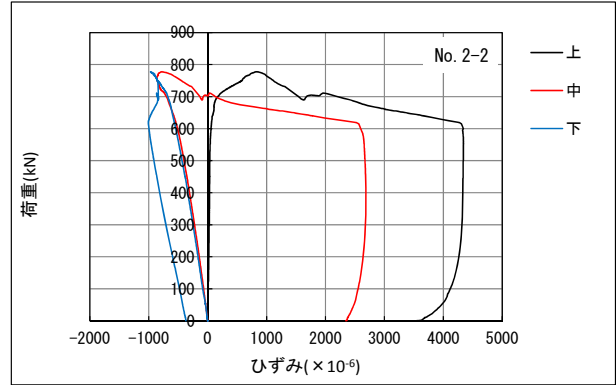
8.7.5 荷重～コンクリート側面ひずみ関係

荷重～コンクリート側面のひずみ関係を図8.7.8に示す。側面ゲージは、上段（下端235mm）、中段（下端155mm）、下段（下端50mm）の3断面に張り付けた。

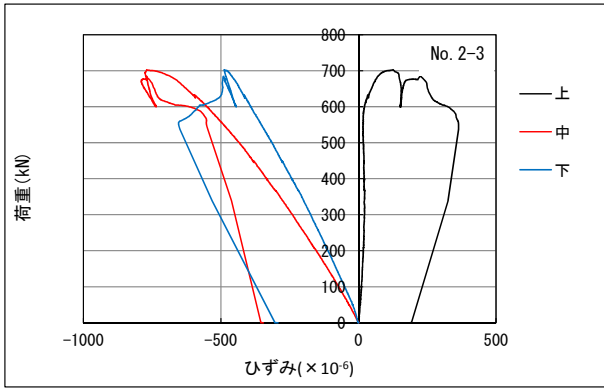
上段は引張値であったが、中段および下段は圧縮であった。



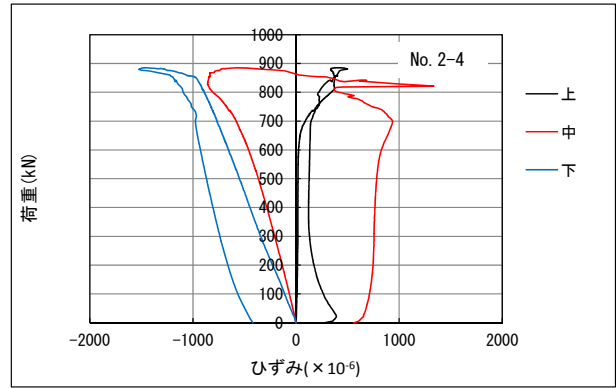
(a) No. 2-1 : 基準仕様



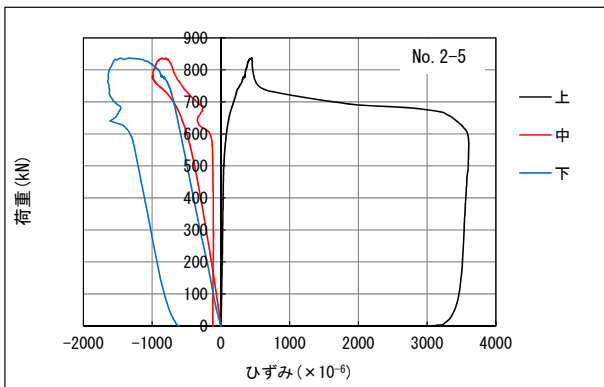
(b) No. 2-2 : 鉄筋比小



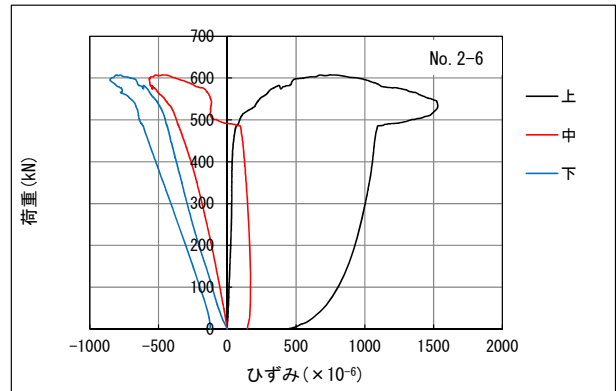
(c) No. 2-2 : 中子筋無



(d) No. 2-3 : 鉄筋强度高



(e) No. 2-5 : 配筋比較

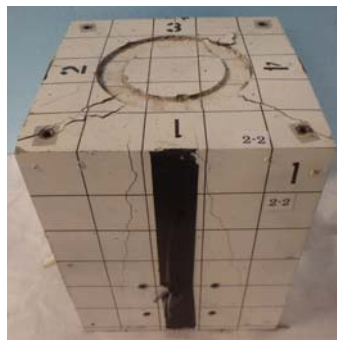
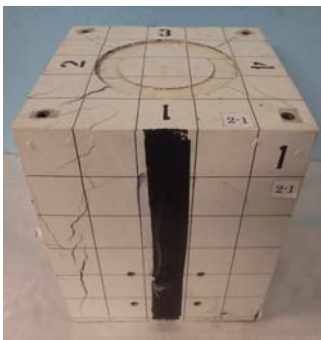
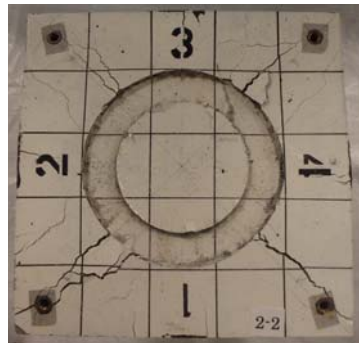
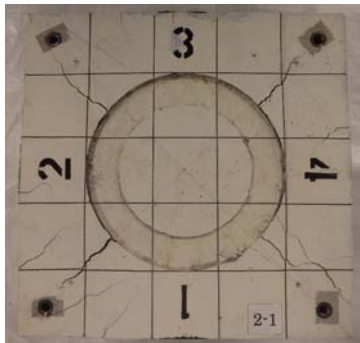


(f) No. 2-6 : 支圧面積比較,

図8.7.8 荷重～コンクリート側面ひずみ関係 (No. 2-1～6)

8.7.6 破壊状況

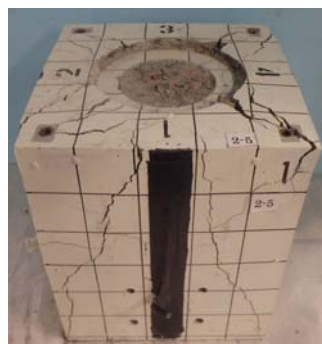
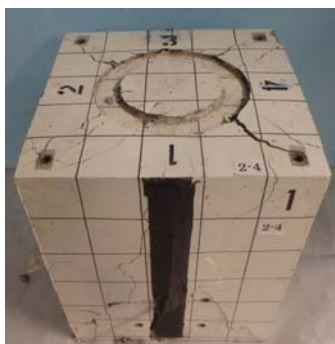
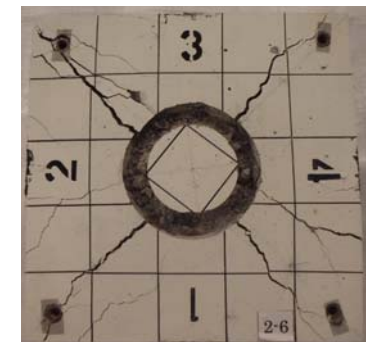
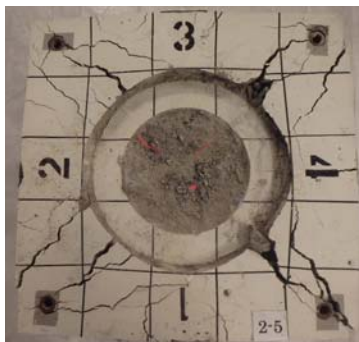
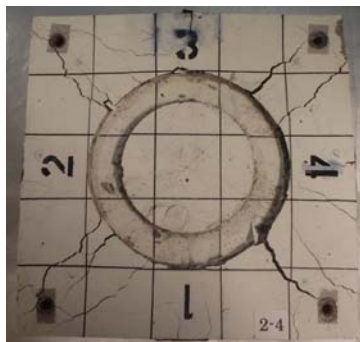
試験体の破壊状況を写真8.7.1に示す。支圧盤設置面において角部に向かってひび割れが進展していき、それに伴い側面のひび割れが発生し、破壊に至った。



(a) No. 2-1 : 基準仕様

(b) No. 2-2 : 鉄筋比小

(c) No. 2-3 : 中子筋無



(d) No. 2-4 : 鉄筋強度高

(e) No. 2-5 : 配筋比較

(f) No. 2-6 : 支圧面積比較

写真8.7.1 破壊状況 (No. 2-1~6)

### 8.8 実験結果の検討（シリーズ2）

#### 8.8.1 支圧強度の算定式と試験結果との比較

試験結果および(式 8.5.1), (式 8.5.2)<sup>[8-1]</sup>との比較を表 8.8.1 に、支圧強度比～鉄筋比関係を図 8.8.1～2 に示す。尚、No.2-6, No.1-1, No.1-8 の面積比の平方根は 3.85 で、その他の試験体の面積比の平方根は 2.56 である。帯筋・中子筋無の支圧強度比は、3.47 ( $\sqrt{Ac/A1}=3.85$ ), 2.31～2.47 ( $\sqrt{Ac/A1}=2.56$ ) であるが、鉄筋比が大きくなると支圧強度が大きくなった。支圧強度比は $\sqrt{Ac/A1}=3.85$ の場合：3.47～5.24,  $\sqrt{Ac/A1}=2.56$  の場合：2.31～3.11 であった。また、No.1-8(中子筋・3段配筋)の支圧強度比は、No.2-6(支圧盤直下に1段配筋)の支圧強度比の 1.09 (5.24/3.47) 程度であり、中子筋の配置段数が支圧強度比に与える影響はあまり大きくないことがわかった。

$$P1 = \sigma_B \times \sqrt{Ac/A1} \times A1 \quad \text{(式 8.5.1)}$$

$$P2 = 10 \times \sigma_t \times \sqrt{Ac/A1} = 1.8 \times \sigma_B^{(0.8 - \sigma_B/2000)} \times \sqrt{Ac/A1} \times A1 \quad \text{(式 8.5.2)}$$

ただし、P1, P2：荷重 (N)

$\sigma_B$ ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_t$ ：コンクリートの引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

Ac：支承面積 (mm<sup>2</sup>)

A1：支圧面積 (支圧盤断面積) (mm<sup>2</sup>)

表 8.8.1-1 試験結果および式 8.5.1, 式 8.5.2 との比較

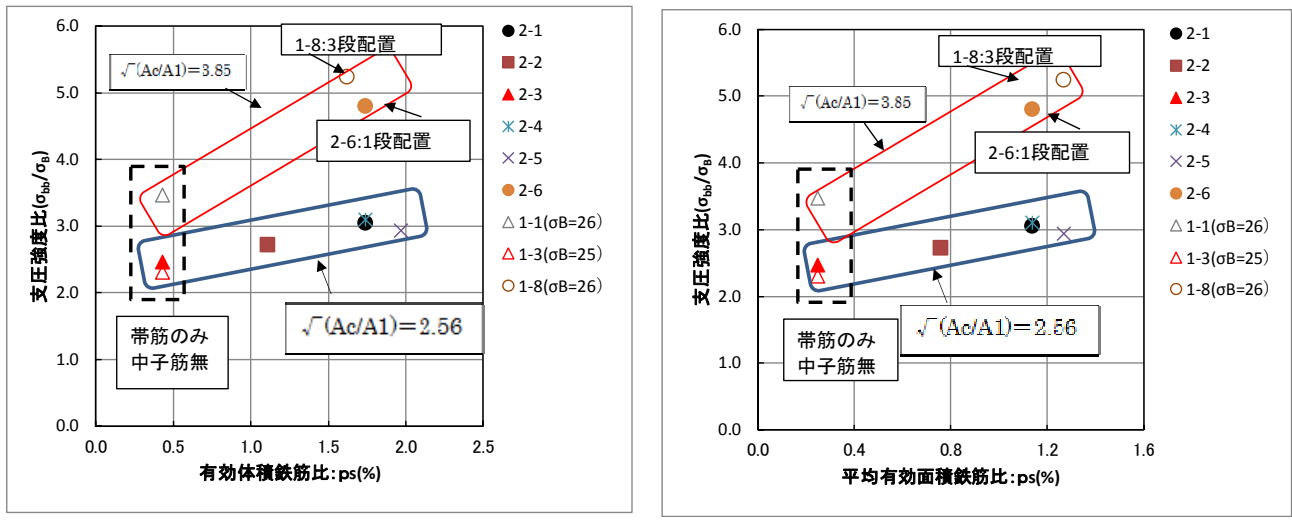
No.	杭径 D (mm)	パイ ル キャ ップ 幅 L (mm)	中子筋	仕様、配筋方法	有効体積 鉄筋比 $\rho_s$ (%)	有効面積鉄筋比 (X方向) ptsx (%)	有効面積鉄筋比 (Y方向) ptsy (%)	平均 有効面積鉄筋比 pts (%)	面積比 $\sqrt{Ac/A1}$
2-1	φ150	□250	有	基準試験体	1.74	1.01	1.27	1.14	2.56
2-2	φ150	□250	有	有効体積鉄筋比小	1.11	0.76	0.76	0.76	2.56
2-3	φ150	□250	無	有効体積鉄筋比小 (中子筋無)	0.43	0.25	0.25	0.25	2.56
2-4	φ150	□250	有	鉄筋强度高 (S6-K785)	1.74	1.01	1.27	1.14	2.56
2-5	φ150	□250	有	配筋比較	1.97	1.27	1.27	1.27	2.56
2-6	φ100	□250	有	支圧面積比	1.74	1.01	1.27	1.14	3.85
1-1 (σB=26)	φ100	□250	無	支圧面積比	0.43	0.25	0.25	0.25	3.85
1-3 (σB=25)	φ150	□250	無	基準試験体	0.43	0.25	0.25	0.25	2.56
1-8 (σB=26)	φ100	□250	有 (3段)	支圧面積比	1.62	1.27	1.27	1.27	3.85

「注」1) 網掛けは中子筋が無い仕様を示す。  
2) 赤字は面積比の平方根が3.85を示す。

表 8.8.1-2 試験結果および式 8.5.1, 式 8.5.2 との比較

No.	杭径 D (mm)	肉厚 T (mm)	支圧 断面 積 A1 (mm <sup>2</sup> )	パイ ル キャ ップ 幅 L (mm)	支 承 断 面 積 Ac (mm <sup>2</sup> )	面積比 $\sqrt{Ac/A1}$	コン クリ ー ト 圧 縮 強 度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	最大荷重 Pmax (kN)	P1 (kN)	P2 (kN)	Pmax / P1	Pmax / P2	$\sigma_{bb}$ Pmax/A1 (N/mm <sup>2</sup> )	支 圧 強 度 比 $\sigma_{bb}/\sigma_B$
2-1 (σB=30)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	30.0	869	731	633	1.19	1.37	91.5	3.05
2-2 (σB=30)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	30.0	777	731	633	1.06	1.23	81.8	2.73
2-3 (σB=30)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	30.0	703	731	633	0.96	1.11	74.0	2.47
2-4 (σB=30)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	30.0	885	731	633	1.21	1.40	93.2	3.11
2-5 (σB=30)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	30.0	837	731	633	1.14	1.32	88.1	2.94
2-6 (σB=30)	100	16	4,222	250	62,500	3.85	30.0	608	487	422	1.25	1.44	144.0	4.80
1-1 (σB=26)	100	16	4,222	250	62,500	3.85	25.5	374	414	374	0.90	1.00	88.6	3.47
1-3 (σB=25)	150	24	9,500	250	62,500	2.56	25.4	557	619	560	0.90	0.99	58.6	2.31
1-8 (σB=26)	100	16	4,222	250	62,500	3.85	26.2	580	426	382	1.36	1.52	137.4	5.24





(a) 支圧強度比-平均有効体積鉄筋比 (b) 支圧強度比-平均有効面積鉄筋比  
 図 8.8.1 支圧強度比～鉄筋比関係

支圧強度比～支圧面積比関係を図 8.8.2～3 に、算定式との比率～圧縮強度関係を図 8.8.4 に示す。中子筋が無い No.2-3, No.1-1, No.1-3 の場合、式 8.5.2 の方の適合性が比較的高いことが分かった。中子筋方式の試験体の比率はいずれの算定式よりも大きくなった。PC 指針<sup>[8-1]</sup>の算定式の適用範囲として「有効な鉄筋補強を行わないコンクリートの支圧強度の算定式」と記載があり、中子筋方式の試験体は適用範囲外であったと推察される。

有効体積鉄筋比および平均有効面積鉄筋比が大きくなるに従って、支圧強度比が大きくなる。

有効体積鉄筋比が 1.0%、平均有効面積鉄筋比が 0.8%以上であれば、支圧面積比を考慮した算定式 8.5.1 が適用できると考えられる。

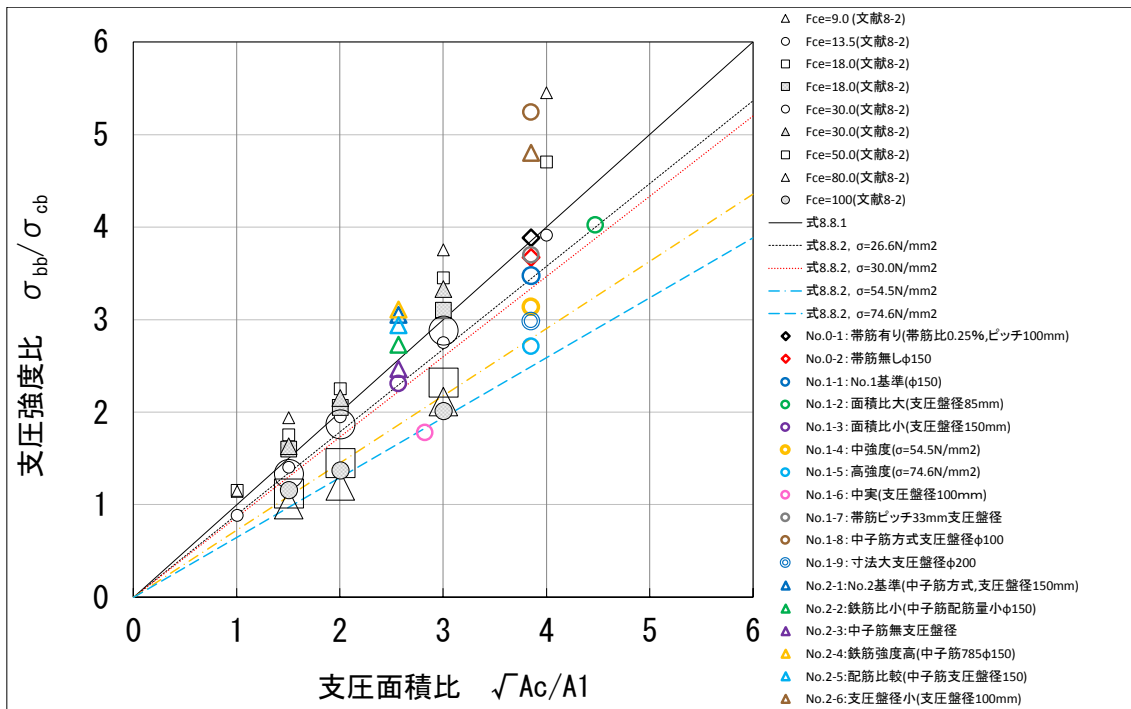


図 8.8.2 支圧強度比～支圧面積比関係

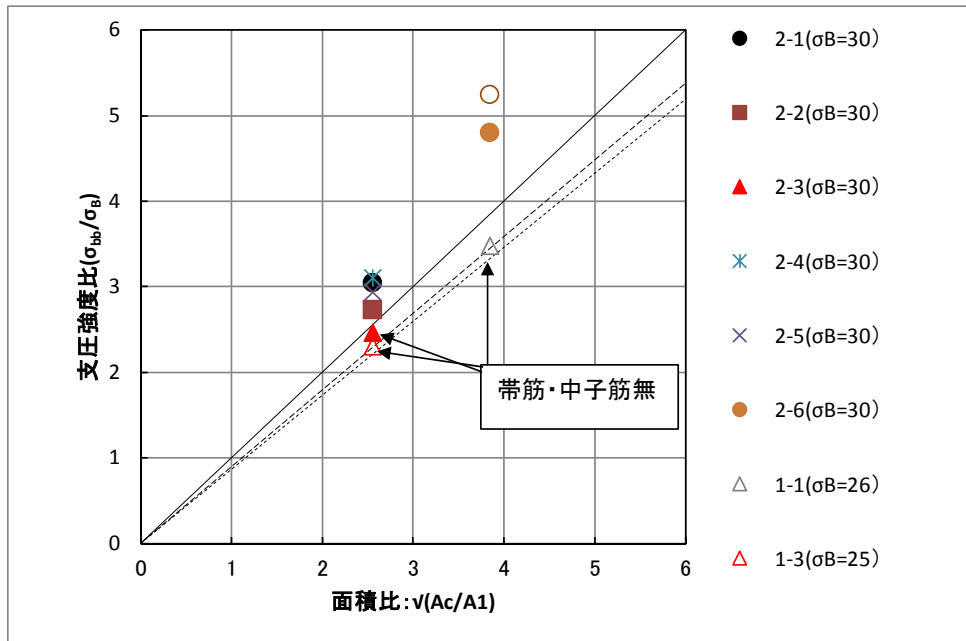
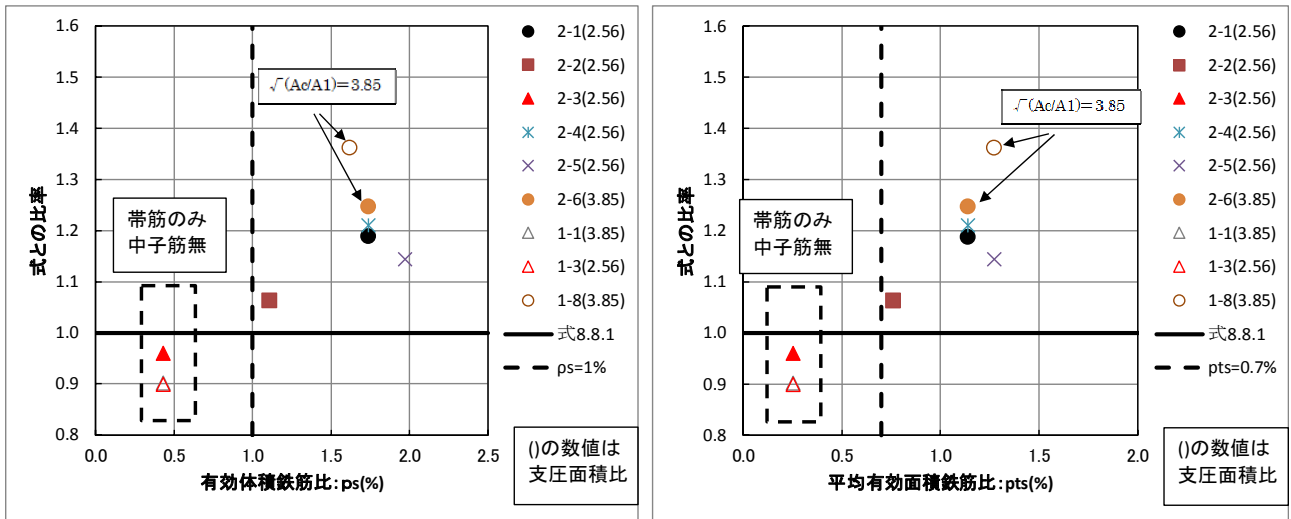
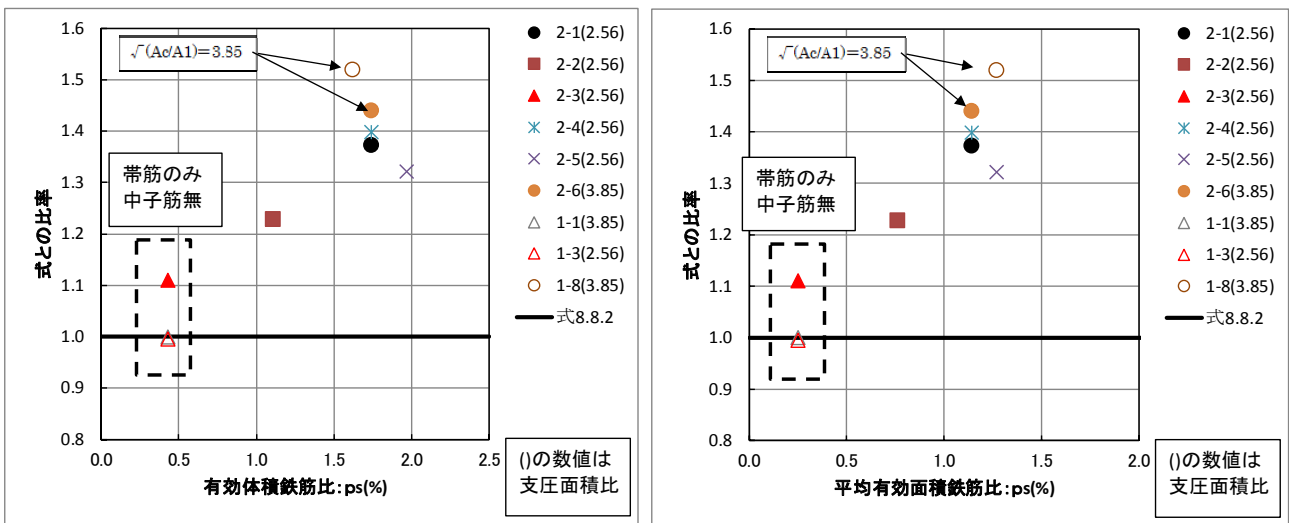


図 8.8.3 支圧強度比～支圧面積比関係



(a) 式 8.5.1 との比較



(b) 式 8.5.2 との比較

図 8.8.4 算定式との比率～圧縮強度関係

8.8.2 荷重～めり込み変位関係

(1) 有効体積鉄筋比の比較 (No. 2-1, No. 2-2, No. 2-3 の比較)

支圧強度比～変位関係を図 8.8.5 に示す。中子筋の有効体積鉄筋比 ( $\rho_s$ ) が大きくなると支圧強度比が高くなり、おおむね最大荷重以降の変位量も多くなる。ただし、No.2-1 ( $\rho_s=1.75\%$ ) と No.2-2 ( $\rho_s=1.11\%$ ) の 0.8Max 時の変位量を比較すると、有効体積鉄筋比 ( $\rho_s$ ) が少ない No.2-2, No.2-1 の 0.8Max 時の変位量より大きい。これは、杭肉厚直下に中子筋を配筋したためとかんがえられる。

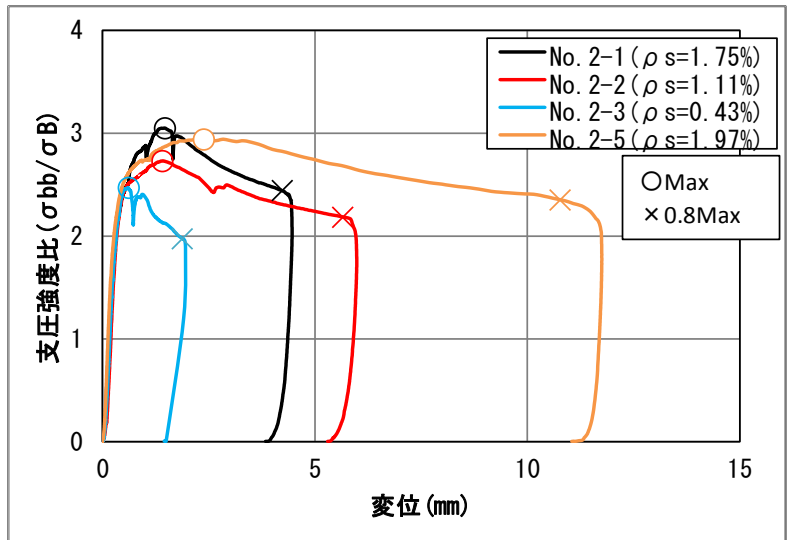


図 8.8.5 支圧強度比～変位関係

(2) 鉄筋強度の比較 (No. 2-1, No. 2-4)

荷重～変位関係を図 8.8.6 に、荷重～中子筋ひずみ関係を図 8.8.7 に、荷重～帯筋ひずみ関係を図 8.8.8 に示す。

No. 2-1 ( $295\text{N/mm}^2$ ) の支圧強度比は 3.05, No. 2-4 ( $785\text{N/mm}^2$ ) の支圧強度比は 3.11 で、鉄筋強度による支圧強度比による差はあまり見られないが、No. 2-4 ( $785\text{N/mm}^2$ ) の最大荷重以降の変形が大きい。No.2-1 ( $295\text{N/mm}^2$ ) の中子筋・外側は最大荷重をこえるとすぐに降伏するのに対し、No. 2-4 ( $785\text{N/mm}^2$ ) の中子筋・外側は、最大荷重時の約 3 倍の変位 (0.8Max 付近) で降伏した。しかし、帯筋のひずみの挙動は鉄筋の強度に関わらずほぼ同じ挙動であった。

これらのことから、中子筋の鉄筋強度を高くすることによって変形性能が向上したと考えられる。

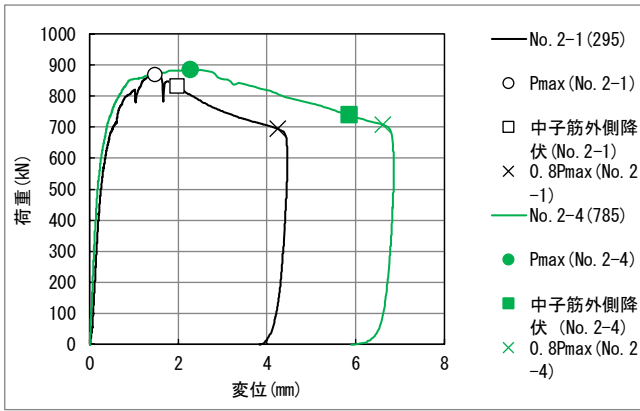


図 8.8.6 荷重～変位関係

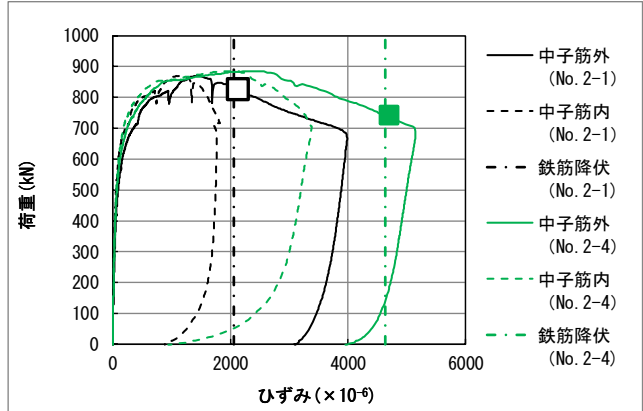


図 8.8.7 荷重～中子筋ひずみ関係

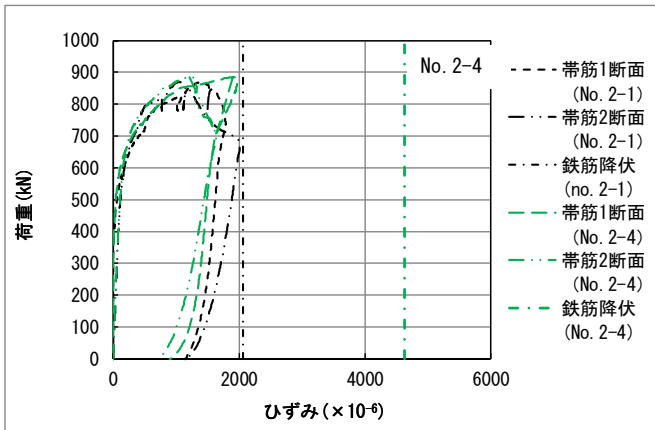


図 8.8.8 荷重～帯筋ひずみ関係

(3) 中子筋の配置の比較 (No. 2-1, No. 2-5 の比較)

No. 2-1 および No. 2-5 の支圧強度比～変位関係を図 8.8.9 に、荷重～中子筋ひずみ関係を図 8.8.10 に示す。No. 2-1 の有効体積鉄筋比 ( $\rho_s$ ) は 1.75%、No. 2-5 の有効体積鉄筋比 ( $\rho_s$ ) は 1.98% でほぼ等しい。しかし、No. 2-1 の中子筋は支圧盤のほぼ中央に設置されているが、No. 2-5 の中子筋は支圧盤肉厚の直下に配置されている。中子筋を杭肉厚直下に配置した試験体 No. 2-5 は、最大荷重以降の変形が向上する。中子筋を杭肉厚直下に配置した試験体 No. 2-5 の中子筋のひずみが No. 2-1 と比較して大きな値を示していることから、杭直下の中子筋が変形性能の向上に寄与することが分かった。

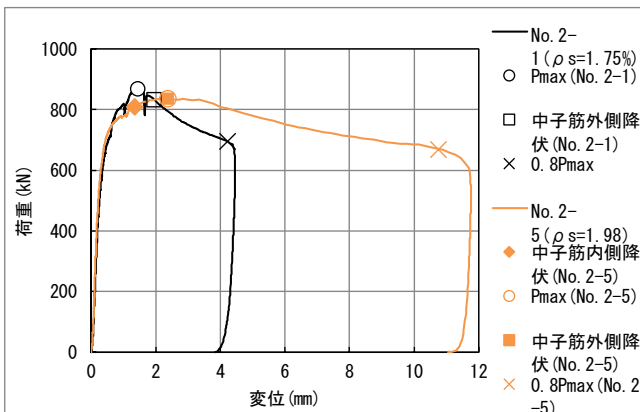


図 8.8.9 荷重～変位関係

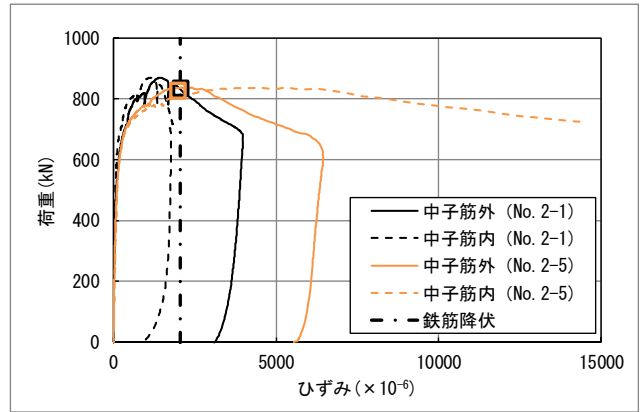


図 8.8.10 荷重～中子筋ひずみ関係

(4) 支圧面積比の比較 (No. 2-1, No. 2-6 の比較)

No. 2-1 および No. 2-6 の支圧強度比～変位関係を図 8.8.11 に、支圧強度比～中子筋・ひずみ関係を図 8.8.12 に示す。No. 2-1 と No. 2-6 の配筋は同じで、有効体積鉄筋比 ( $\rho_s$ ) は、1.75%であるが、No. 2-1 の支圧盤径は  $\phi 150\text{mm}$ 、支圧面積比 ( $\sqrt{A_c/A_1}$ ) は 2.56、No. 2-6 の支圧盤径は  $\phi 100\text{mm}$ 、支圧面積比 ( $\sqrt{A_c/A_1}$ ) は 3.58 である。

支圧面積比大きくなるに従い支圧強度比も大きくなり、また、最大荷重以降の変形も大きくなった。

No. 2-1 と No. 2-6 の中子筋配筋・ゲージ位置 (図 8.6.9(a), (f)) は同じであるが、No. 2-6 の中子筋外側の鉄筋ひずみがかなり大きい。これは、No. 2-6 の支圧盤は  $\phi 100\text{mm}$  であるため、中子筋の内側に荷重が集中し、中子筋が有効に抵抗したためと考えられる。

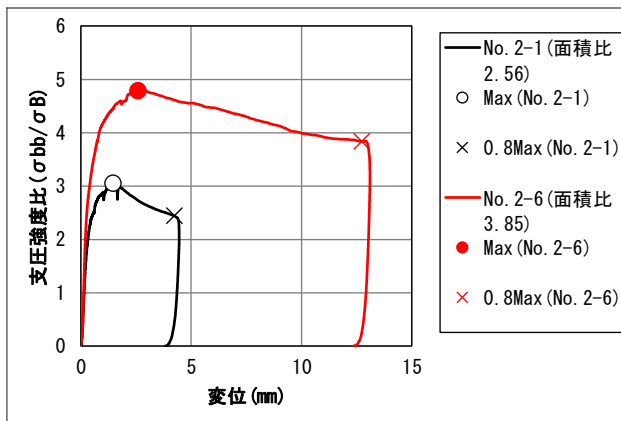


図 8.8.11 支圧強度比～変位関係

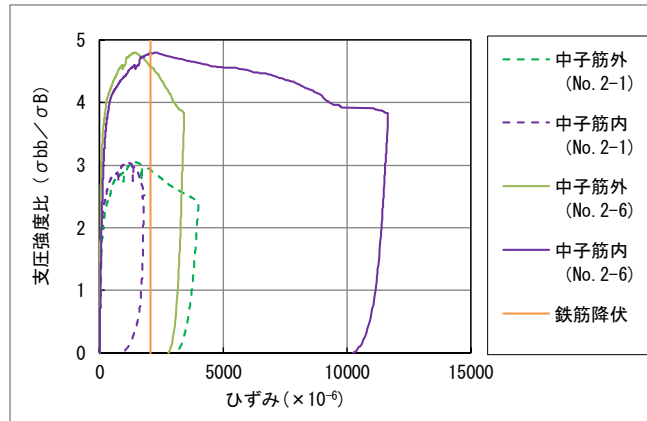


図 8.8.12 支圧強度比～中子筋・ひずみ関係

## 8.9 結論

### 8.9.1 まとめ

本研究では杭頭接合面を模擬した支圧試験を実施し、支圧面積および中子筋等が支圧強度に与える影響について考察した。結論を以下に示す。

#### 1) シリーズ1

①支圧部が中空の円形、支承部が角形でコンクリート強度が  $23.6\text{N/mm}^2 \sim 74.6\text{N/mm}^2$ 、面積比が  $2.56 \sim 4.47$ 、有効体積鉄筋比  $\rho_s(\%)$  が  $0.00\% \sim 0.43\%$ 、有効面積鉄筋比  $\text{pts}(\%)$  が  $0.00\% \sim 0.25\%$  の場合には、コンクリート引張強度を考慮した支圧強度式 (式 8.5.2) が、支圧面積比を考慮した支圧強度式 (式 8.5.1) よりも、適用性が高いことが分かった。

支圧部が中実の円形の場合はコンクリート引張強度を考慮した支圧強度式 (式 8.5.2) の適用性が高く、危険側の評価となった。有効面積鉄筋比  $\text{pts}(\%)$  が  $0.75\%$  の場合は支圧面積比を考慮した支圧強度式 (式 8.5.1) の適用性が高く、安全側の評価となった。

③中子筋方式 ( $\rho_s = 1.62\%$ ,  $\text{pts}(\%) = 1.3\%$ , 3段配筋, No.1-8) は、十分な鉄筋補強を行ったため、支圧強度および変位量が増加した。

④支圧盤が中実の実験値 (No.1-6) は、支圧強度式による値を下回った。本試験では支圧部が円形、支承部が角形であるが、この支圧強度式は支圧部・支承部が共に角形の実験に基づいている。載荷形状の違いが影響した可能性も考えられる。

⑤パイルキャップ寸法を  $\square 250$  から  $\square 500$  (No.1-9) とした場合、寸法効果の影響のため 1 割程度支圧強度が低下した。

#### 2) シリーズ2

①へりあきが  $0.83D$  で中子筋 (1段配筋) の鉄筋比が増加すると支圧強度比が高くなる。

②中子筋の配筋位置によって最大荷重以降の変位が異なり、中子筋を杭肉厚直下 (No. 2-5) に配置した方がより変形性能が向上する。

③中子筋を 3 段配筋 (No. 1-8) した支圧強度は、中子筋を 1 段配筋 (No. 2-6) した支圧強度の 109% 程度であり、支圧強度向上に 1 段目の中子筋が大きく寄与していると考えられる。

### 8.9.2 今後の研究課題

- (1) 支圧面積比や引張強度を考慮した支圧強度式が提案されている。支圧強度の上限値を把握した上で、中子筋の鉄筋比による支圧強度上昇を考慮した支圧強度式の提案が望まれる。
- (2) パイルキャップにおける帯筋および中子筋の効果的な配筋方法について、検討する必要がある。

## 参考文献

- [8-1] 日本建築学会, プレストレストコンクリート造建築物の性能評価型設計施工指針 (案)・同解説, 2015
- [8-2] 坂田博史, 森田真由美, 中塚侑: コンクリートの支圧応力-めり込み変形特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.56B, pp. 81-86, 2010.3
- [8-3] 日本建築学会, 鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針 (案)・同解説, pp. 216, 2017
- [8-4] 佐々木聡, 小林勝巳, 山本秀明, 小林恒一, 松山俊樹, 内海祥人: アンボンドアンカーを用いた既製コンクリート杭の杭頭半剛接合部の力学挙動に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 620 号, pp. 81-86, 2007.10

- [8-5] 日本建築学会, 建築基礎構造設計指針, 1988
- [8-6] 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説, pp. 171, 2016
- [8-7] 千濱彬比古, 向井智久, 平出 務, 小林勝巳, 堀川 剛, 平尾一樹, 福田健, 小原 拓, 岸田慎司, 奥村貴史: 大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究, 大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究その 22 SC 杭を用いたト形部分架構を有するパイルキャップに関する構造実験の概要) pp. 589, 2018