

論文 引張軸力を受けるプレキャスト柱の接合面におけるせん断伝達機構

伊藤一男*1・吉崎征二*2・北山和宏*3・高橋裕幸*4

要旨：引張軸力を受けるプレキャスト柱の接合面におけるせん断伝達機構を解明するため、実験を行った。実験はせん断力レベル、シアスパン比、接合面の状態とその位置をパラメータとした。結果、柱接合面のすべりに差異はあまりみられなかったが、シアスパン比の大きい試験体において、せん断力レベルの高い試験体ほど、鉄筋が降伏する付近からすべりが顕著になった。またすべりの増加とともにダボ作用も徐々に増加し、柱主筋の降伏以降はほぼ一定であった。さらに接合面のコンクリートの摩擦係数は0.4~0.6の範囲の値を得た。

キーワード：プレキャスト柱、接合面、引張軸力、せん断伝達、ダボ効果、摩擦係数

1. はじめに

柱にプレキャスト(PCa)部材が使われる場合に、柱接合面のせん断力伝達の研究には圧縮軸力をかけた場合[1]がほとんどで、引張軸力の場合でも圧縮から引張への変動軸力を対象としていた[2]。ここではせん断力と同時に引張軸力だけをかけた場合を対象に実験を行った。

2. 試験体と使用材料

2.1 試験体の概要

試験体は実物の約1/3のスケールをもつ柱部材10体で、表-2.1に試験体の一覧を示す。柱の配筋は主筋、帯筋ともすべて同じで、せん断力レベル、シアスパン比、接合面の状態とその位置をパラメータとし、接合面は表中の「接合部粗さ」に示す。配筋詳細図を図-2.1に示す。

表-2.1 試験体一覧表

シアスパン比	0.8				1.6					
接合部位置	柱端部接合		柱中央部接合		柱端部接合		接合無	柱端部接合		
接合部粗さ	アクリル	綿鋼板	アクリル	綿鋼板	アクリル	アクリル	綿鋼板	一体打	アクリル	綿鋼板
せん断力レベル(bDfc)	0.04				0.02	0.03		0.04		
設定水平荷重	19.0 tonf				9.5 tonf	14.2 tonf		19.0 tonf		
荷重方向	←	→	→	→	→	→	→	→	→	→
試験体名	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10
試験体形状										

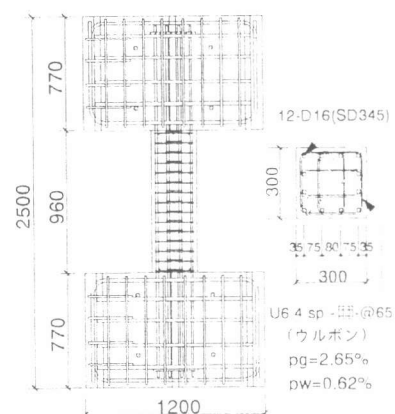


図-2.1 配筋詳細図

*1 大成建設(株)住宅事業本部開発部主席技師、工修(正会員)

*2 大成建設(株)技術研究所研究推進部長、工博(正会員)

*3 東京都立大学助教授 工学部建築学科、工博(正会員)

*4 東京都立大学大学院 工学研究科建築学専攻

2. 2 使用材料

試験体のコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を表-2.2、表-2.3に示す。

表-2.2 コンクリート材料試験結果

試験体 No.	試験部						スタブ		
	4 試塊数	圧縮強度 (kg/cm ²) 試験開始前	試験終了後	ヤング係数 [×10 ⁴] (kg/cm ²)	ポアソン比	素型強度 (kg/cm ²)	4 試塊数	圧縮強度 (kg/cm ²) 試験開始前	試験終了後
B-1	604	527	576	2.45	0.19	39	551	495	495
B-2		576	586						
B-3	551 604	503 586	607	2.90	0.20	33 39	551 604	503 586	607
B-4		607							
B-5	604	574	612	4.62	0.25	42	545	552	552
B-6		612	600						
B-7		597	574	4.86	0.25	37	604	574	574
B-8		574	597						
B-9		596	597	4.86	0.25	37	546	517	517
B-10		604	596						

注) B-3, 4 試験体では、上段に試験体上半分の値を、下段に下半分の値を示した。
試験を行っていないものには「-」を示した。

表-2.3 鉄筋材料試験結果

鉄筋種別	使用部位	降伏点 (kgf/cm ²)	ヤング係数 [×10 ⁴] (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	伸び (%)
D16 (SD345)	試験部 主筋	3900	1.92	5900	18.2
U6.4 sp. ウルボン	試験部 帯筋	13800	2.03	15200	7.1
D22 (SD295)	スタブ 主筋	3700	-	5400	26.6
D13 (SD295)	スタブ 補強筋	3300	-	5100	26.6

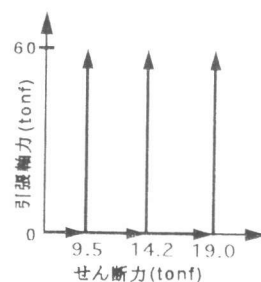


図-3.1 加力順序

3. 加力方法と測定方法

3. 1 加力方法

試験体の加力装置は建研タイプで、試験体の上スタブは加力時も水平を保つ機能を有するL形ばりに固定され、下スタブは床にPC鋼棒で緊結されている。加力方法は軸力とせん断力がともに変動することをさけるため、逆対称曲げせん断加力、一方向単調加力とし、水平方向のアクチュエータにてせん断力を加え、設定したせん断力に到達後、せん断力を保持した状態で、部材角が1/400、1/200、1/100、1/50となるまで引張軸力を増加させ、加力機の最大能力に達した時点で引張軸力を止めた。加力機の最大能力に達する引張軸力は柱主筋の応力度で0.56～0.60 σ_y (σ_y : 柱主筋の降伏強度)であった。図-3.1に加力順序を示す。

3. 2 測定方法

変位の測定は変位計で上・下スタブ間の相対水平変位の他に、柱中央接合の試験体は中央接合面の上部と下部について、柱端部接合および一体打ちの試験体はスタブと端部接合面について上部・下部とも、相対すべり変位を計測した。図-3.2に接合部測定位置を示す。

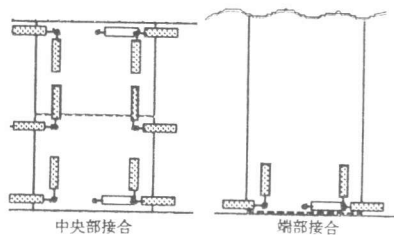
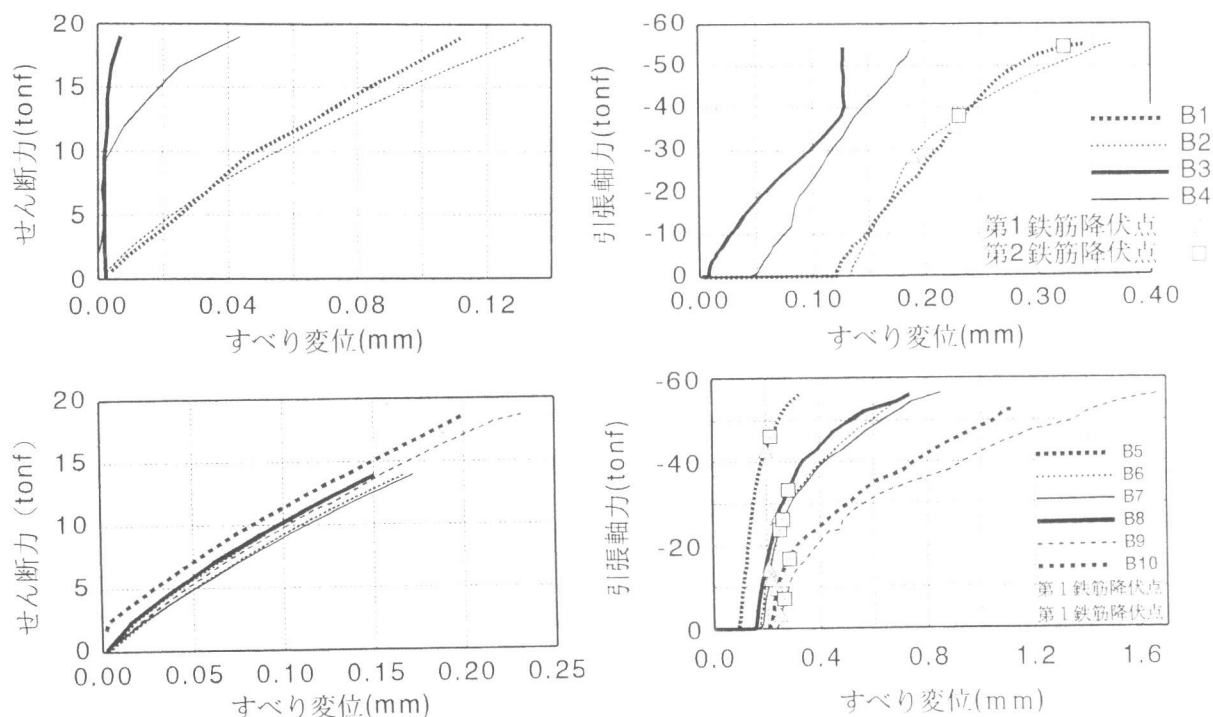


図-3.2 接合部測定位置

4. 実験結果

せん断力または引張軸力とすべり変位の関係について図-4.1に示す。ここでせん断力は引張軸力によるP- δ 効果を補正して求めた。

この図で一体打ち試験体は接合面を有しないが、上スタブと柱頭部間の相対水平変位をすべり変位とみなした。中央部接合の試験体B 3、B 4は、せん断力を増加させても中央接合面のすべり変位はほとんど生じなかったが、引張軸力を加えるとこの接合面のすべり変位が進んだ。端部接合および一体打ちの試験体では引張軸力を加えると、引張側第一列の鉄筋が降伏しても上スタブと柱頭部間のすべり変位はさほど変化しないが、第二列の鉄筋が降伏すると増大し、せん断力レベルの高い試験体B 9、B 10ほど急激に増大した。



図－4.1 せん断力、軸力－すべり変位関係

5. 実験結果の検討

5. 1 鉄筋のダボ作用

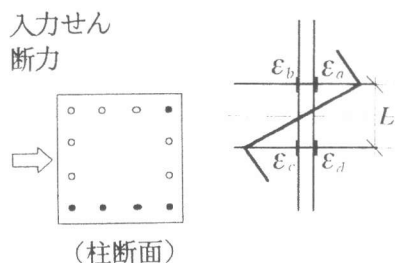
柱接合面のせん断伝達には鉄筋のダボ作用とコンクリートの摩擦抵抗が考えられ、本研究では柱接合面のダボ作用は鉄筋のひずみゲージをもとに算出した。柱主筋には接合面をまたいで上側と下側、水平加力方向に対して表側と裏側の計4点にゲージを貼り付け、柱断面において図－5.1の位置に配筋した柱主筋5本から計測された値をもとに、全主筋12本分に換算している。柱接合面の鉄筋のダボ作用による伝達せん断力は図－5.1の柱主筋のひずみと曲げの関係から式(5.1)にて求めた。

$$Q_d = (Z_b \cdot E_s \cdot \sum (\varepsilon_a - \varepsilon_b + \varepsilon_c - \varepsilon_d)) / (2L) \quad (5.1)$$

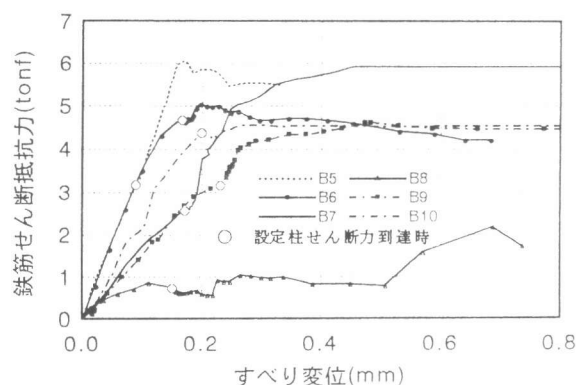
ここに、 Q_d ： 鉄筋のダボ作用による伝達せん断力 (tonf) Z_b ： 鉄筋1本の断面係数
(0.4021 cm^3) E_s ： 鉄筋のヤング係数 (tonf/cm²) ε_x ： 鉄筋表面のひずみ (図
－5.1 参照) L ： ひずみ測定位置間の距離 (5cm)

ただし、4ヶ所のひずみゲージの一部でも降伏点を超えると鉄筋のダボ力を過大に評価するため、降伏点に達した時点をダボ力の最大値とし以降は一定と仮定した。この結果求めた柱主筋

のダボ作用による鉄筋のせん断抵抗力と、せん断力または引張軸力の関係を図－5.2に示す。ここで、シアスパン比0.8の試験体B1～B4は、主筋ひずみに大きなばらつきがあり解明が困難で検討の対象から外した。図－5.2はすべり変位の増加とともにダボ作用も徐々に増加していき、設定したせん断力に到達した後、引張軸力を加えても、柱主筋の第一列鉄筋が降伏するまで上昇し、以降ほぼ一定であった。



図－5.1 柱のひずみ計測と
ひずみと曲げの関係



図－5.2 柱主筋のせん断抵抗力とすべり変位

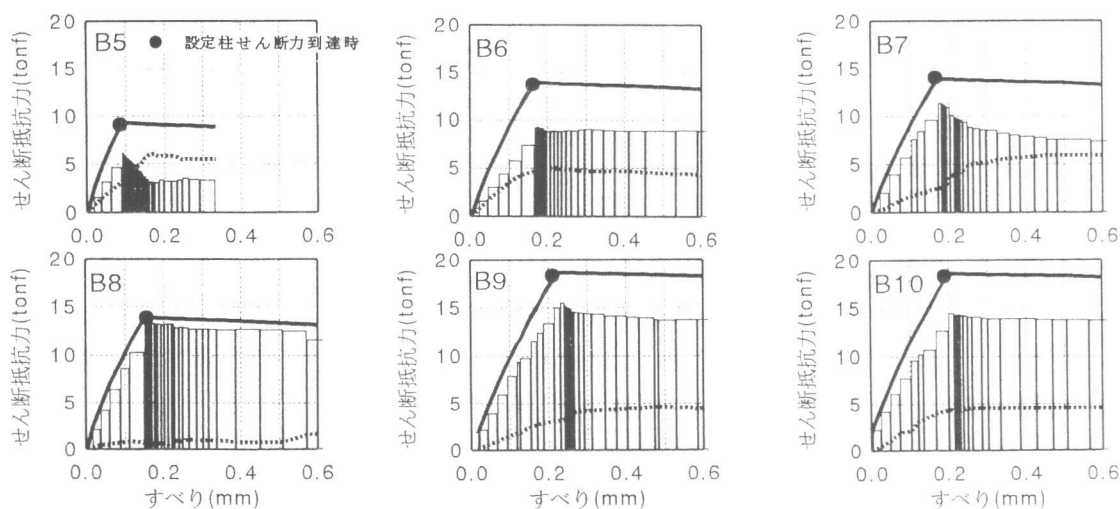
5. 2 コンクリートの摩擦せん断抵抗力

外力としてのせん断力は、柱主筋のダボ作用によるせん断力と曲げによる圧縮側コンクリートの摩擦抵抗によるせん断力の和に等しい。従って、コンクリートの摩擦抵抗による伝達せん断力は式(5.2)より求まる。

$$Q_c = Q - Q_d \quad (5.2)$$

ここに、 Q_c ：コンクリートの摩擦抵抗による伝達せん断力(tonf) Q ：柱接合面に作用するせん断力(tonf) Q_d ：柱主筋のダボ作用による伝達せん断力(tonf)

式(5.2)より求めた圧縮側コンクリートの摩擦抵抗による伝達せん断力とすべり変位の関係を図－5.3に示す。この図より設定柱せん断力到達時で、コンクリートの摩擦抵抗によるせん断力の伝達の負担が最大に達し、以降はほぼ一定だった。



図－5.3 せん断抵抗力－コンクリートの摩擦せん断抵抗力

5.3 コンクリートの圧縮力と摩擦係数

曲げによる圧縮力と引張力は等しく、曲げによる引張力は主筋のひずみから求めた全引張力と引張軸力の差であることから、図-5.4を参照に、コンクリートの圧縮力は式(5.3)より求めることができる。ただし、 ϵ_x はひずみゲージの降伏点を最大とした。

$$C_b = A_s \cdot E_s \cdot \Sigma \epsilon_x - T_N \quad (5.3)$$

ここに、 C_b ：曲げによるコンクリートの圧縮力 (tonf)

T_N ：引張軸力 (tonf)

A_s ：鉄筋1本の断面積 (0.1987cm²)

ϵ_x ：鉄筋1本の接合面を挟む4ヶ所のひずみ

平均値 (図-5.1 参照)

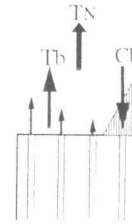


図-5.4 接合面での力の状態

式(5.3)より求めた柱接合面のコンクリートの圧縮力と、すべり変位の関係を表したのが図-5.5である。設定したせん断力に達した時点での曲げによるコンクリートの圧縮力は、引張軸力を加えた後、段階的に僅かに減少しているが、これは引張軸力によるP- δ 効果によりせん断力が減少しているためである。

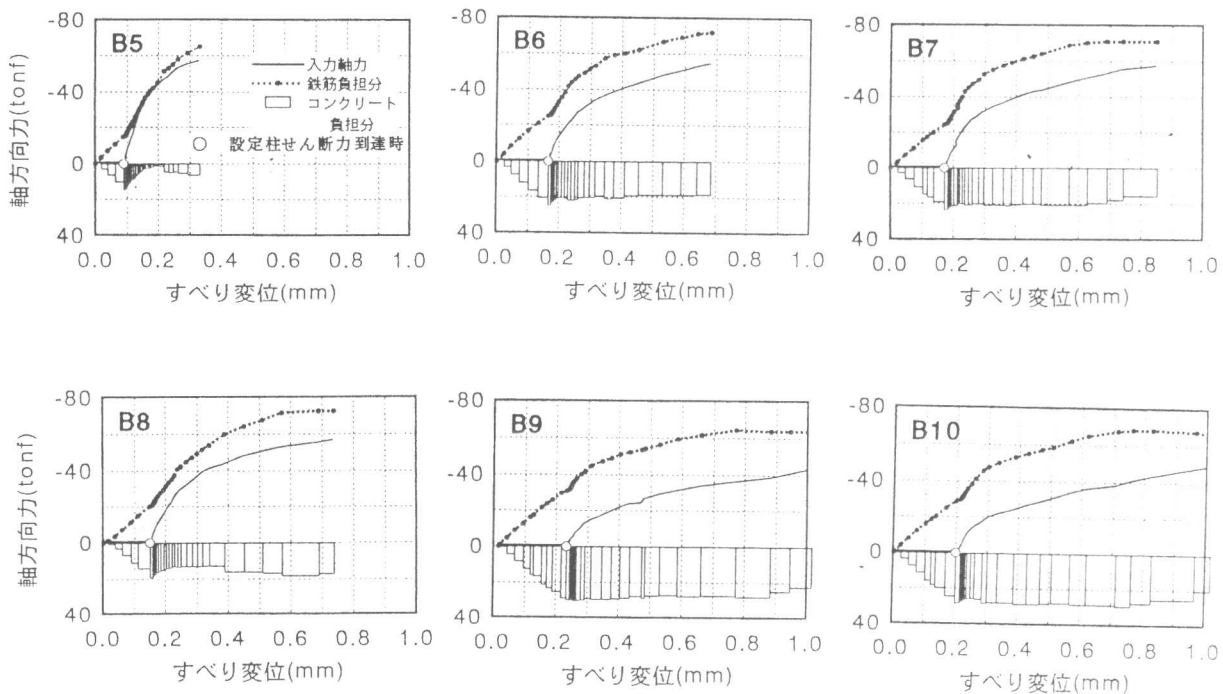


図-5.5 コンクリートの圧縮力-すべり変位の関係

柱接合面のコンクリートの摩擦係数は、コンクリートのせん断抵抗力和コンクリート面に作用する圧縮力の関係から式(5.4)より求めることができる。

$$\mu = Q_c / C_b \quad (5.4)$$

ここに、 μ ：コンクリート接合面の摩擦係数

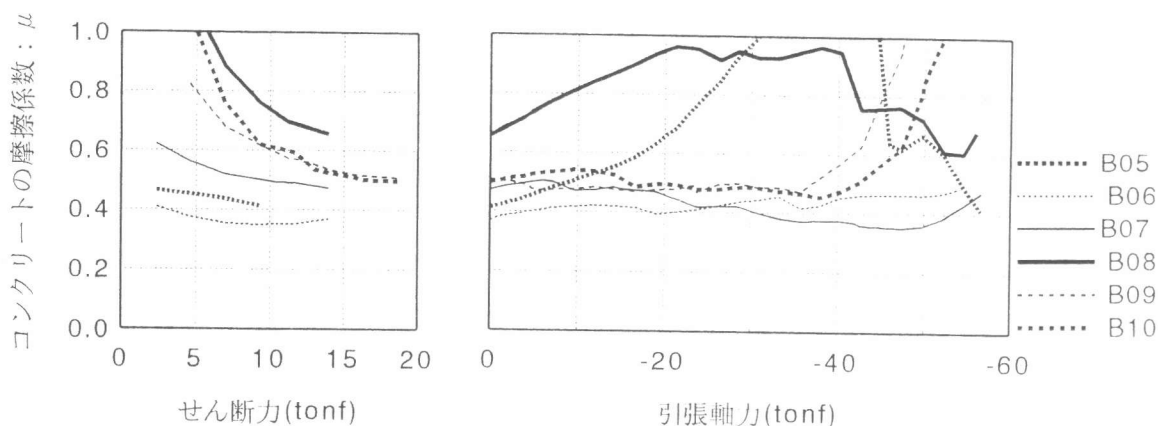


図-5.6 セン断力、引張軸力-コンクリート面の摩擦係数 μ の関係

式(5.4)より、コンクリート面の摩擦係数 μ とせん断力、引張軸力との関係を表したのが図-5.6である。全体として、摩擦係数 μ はせん断力レベルが高いと始めは大きい値であるが、だいたい μ の範囲は0.4~0.6となった。引張軸力が増加してもせん断力レベルが高い試験体は、せん断力レベルが低い試験体と同様に μ の減少は緩やかであった。

6. まとめ

引張軸力を受けるP C a柱において、引張軸力が低い範囲では層間水平変位あるいは接合面のすべり変位にあまり違いはなかった。しかし引張側第二列の鉄筋が降伏すると、せん断力レベルが高い柱では、接合面のすべりが急激に大きくなるため、柱のせん断力を低く抑えた方がよい。また一体打ちは直接高いせん断力レベルの実験はしていないものの、図-4.1よりP C a柱と一体打ちですべりに差がないため、同様にせん断力を低く抑えた方がよいと推定される。

柱接合面のせん断力伝達は、設定したせん断力に到達した時点で、最大の圧縮側コンクリートの摩擦抵抗によるせん断力を伝達し、以降主筋のダボ作用はほぼ一定だった。

また摩擦係数については既往の研究[2]では言及していないが、本実験の場合、引張軸力が支配的になると、縞鋼板の凹凸程度では効果はなく、摩擦係数はいずれの接合面の状態でも0.4~0.6の範囲にあった。引張軸力が増加してもせん断力レベルが高い試験体は、低い試験体と同様に μ の減少は緩やかであった。最後に今回の実験ではシアスパン比0.8の短柱について、ダボ作用や摩擦によるせん断伝達について不明な点が多く、さらに検討を要す。

【謝辞】

本実験は東京都立大学で行いました。また研究を実施するにあたり、貴重なご指導を賜わりました東京都立大学西川孝夫教授、また実験に協力を得ました大学院生の吉田格英君に深謝いたします。

【参考文献】[1] 美原義徳ほか:プレキャスト鉄筋コンクリート造柱部材に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、vol.15.No.2、pp.653~658、1993

[2] 下垣内哲ほか:引張軸力を受けるプレキャストRC柱・基礎接合部の強度と変形性能に関する研究(その1 実験概要、その2 結果考察)、建築学会大会学術講演梗概集、pp.693~696、1993.9