

論文 [2102] インサート・ボルトを用いたプレキャスト部材のせん断接合

福田英二*1・島 弘*2・則武邦具*3・佐々木和道*4

1. まえがき

プレキャストブロック工法は、工期の短縮、施工の省力化、品質向上、労働環境の改善等が期待できる工法として著しい進歩を遂げている。プレキャスト工法の課題として、①部材の軽量化、②接合方法等があり、①は高強度コンクリートを有効に用いることにより軽減は可能となるが、その時には継目部に高応力が作用するため、十分な考慮が必要となる。また、②の接合方法については、プレキャストブロック同士の一体化に労を要しており、この工法の普及のためには鋼構造に近い信頼性を持ち、施工性に優れている接合方法が求められる[1]。

ブロック継目部のせん断接合方法として、PC鋼棒によりそれぞれのプレキャストブロックを一体化させるもの、またプレキャスト部から鉄筋が張り出した継手構造および鉄筋をループ状に張り出して重ね合わせるものなどがある[2]。本研究においては、型枠等の施工が極めて容易なインサートとボルトを継手に用いることを提案し、その接合方法の種類を変えてせん断耐力の調査・検討を行い、合わせてせん断耐力式の提案を試みた。

2. 実験概要

2.1 実験条件

継目部のせん断伝達耐力に影響を及ぼすパラメータとして、①ボルト頭部の座金の有無（かさ面積）、②打継面コンクリートの処理（凹凸の有無）③ボルト直角方向の補強鉄筋の量、④載荷軸方向と打継面の角度（垂直応力）を考えた。それらを組み合わせた実験条件を表-1に示す。

表-1 実験条件

供試体	ボルト径	ボルト本数 N (本)	ボルト面積比 q (%)	かさ面積 A _{bc} (cm ²)	打継面の状態	継目部の鉄筋比 p (%)	打継面角度 θ
T-0	M 12	8	2.4	0	直 面	0	0
T-1				2.19			
T-2				10.39			
T-3					0		
T-4					凹 凸	4.3	
T-5						0	
T-6						22.5	
T-7				45			

備考) q : せん断面に対するボルト面積比($q=N \times A_b / A_c$)、 A_c : コンクリートのせん断面積(cm²)
 A_{bc} : ボルト断面積 A_b 以外のボルトの頭部、又は座金によるかさ面積(cm²)

2.2 供試体

供試体(T-1)の形状および寸法を図-1に示す。ずれ止めとして実験に使用したボルト径はいずれもφ12(M12)とし、インサートとボルトの形状・寸法を図-2に、また、台形の凹凸を設けた打継面の形状を図-3に示す。インサートとボルトをL型ブロックにそれぞれ8本、千鳥格子状に配置した。

- *1 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)
- *2 徳島大学助教授 工学部建設工学科, 工博 (正会員)
- *3 住友建設(株)土木本部土木設計部 (正会員)
- *4 住友建設(株)土木部土木開発課 (正会員)

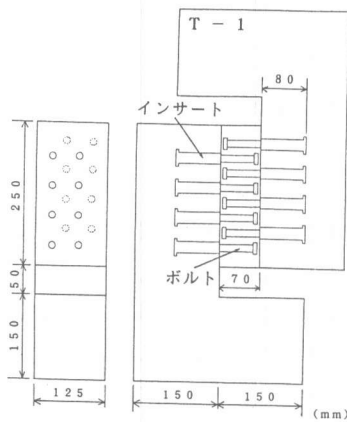


図-1 供試体の形状 (T-1)

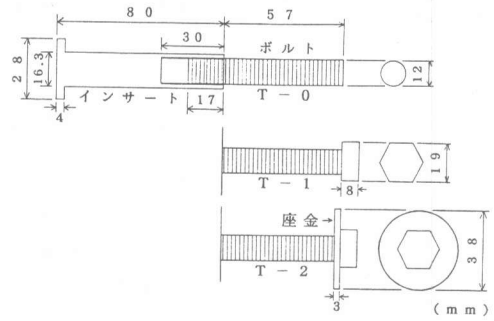


図-2 インサートとボルトの形状および寸法

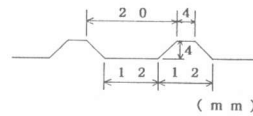


図-3 凹凸面の形状および寸法

コンクリートには、設計圧縮強度80MPaのモルタル（単位水量 $W=210\text{kg/m}^3$ ，水セメント比 $W/C=28\%$ ，砂セメント比 $S/C=1.5$ で高性能減水剤を用いたフロー値が29cmの高流動モルタル）を使用した。

2.3 実験方法

型枠にインサートおよび補強用の鉄筋を配置して、モルタルを打ち込んだ。各ブロックは打設翌日に脱型し、インサートにボルトをねじ込んだ後、ブロックを向かい合わせて継目部にブロックと同じモルタルを充填した。この接合は型枠等の施工が極めて容易な方法である。

載荷試験は図-4に示すような静的一軸せん断載荷法で行った。その際、継目部における軸方向の相対せん断ずれおよび軸に対して直角方向の開きの変位を、供試体の表裏計4ヶ所に設置した変位計（測定範囲30mm，感度1/1000mm）により測定した。

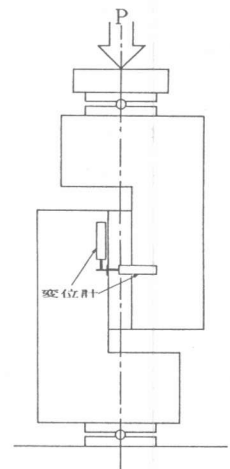


図-4 載荷試験方法

3. 結果および考察

3.1 実験結果

実験結果の概要を表-2に示し、図-5にせん断荷重とせん断ずれの関係、図-6にせん断荷重と開きの関係を示す。

表-2 実験結果

供試体	モルタル強度 (MPa)		最大せん断荷重 V (kN)	せん断応力 τ (MPa)			垂直応力 σ'_n (MPa)		
	圧縮強度	引張強度		初期ひびわれ応力	斜めひびわれ応力	最大応力 f_v	初期ひびわれ応力	斜めひびわれ応力	最大応力
T-0	83.1	5.7	90.2	0.94	2.41	2.89	0	0	0
T-1	74.0	4.6	98.0	1.35	2.57	3.14			
T-2	80.3	4.9	152.9	2.43	3.75	4.89			
T-3			209.7	2.29	4.08	6.71			
T-4			198.0	2.82	3.70	6.33			
T-5	75.3	3.9	250.9	2.98	3.17	8.03			
T-6	83.1	5.7	306.0	4.87	4.93	9.79			
T-7			625.7	-	7.98	20.02	-	7.98	20.02

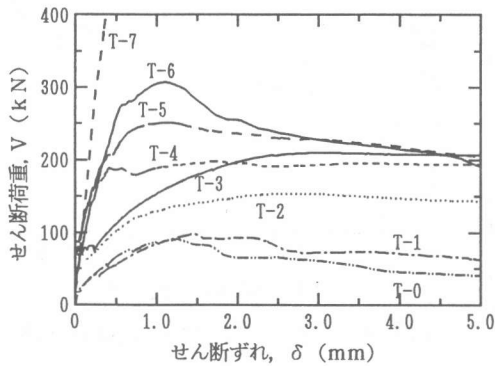


図-5 せん断荷重とせん断ずれの関係

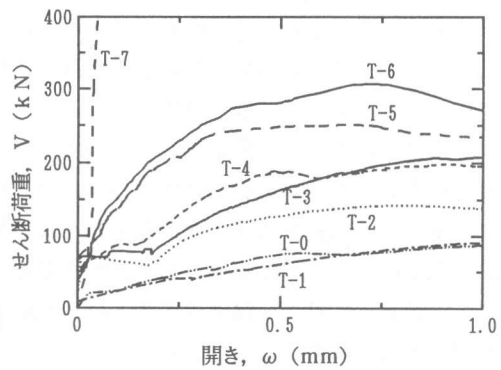


図-6 せん断荷重と開きの関係

(1) 供試体 T-0

T-0の供試体はボルトの頭（かさ面積）が無いタイプで、打継面に沿ったひびわれ発生と同時に、ブロックと継目部のせん断面に早い時期から開きが生じた。最大荷重を過ぎてから耐力は急低下し、継目部に大きな斜めひびわれが現れ始めると開きは急激に進行した。この供試体のせん断抵抗機構は、ボルトのダウエル効果のみと考えられる。

(2) 供試体 T-1

T-1の供試体においては、T-0に比べると最大荷重を過ぎてから全体的にゆっくりした耐力低下を示した。このとき、ボルトはゆっくり引き抜けた様子で終局に至った。ここで、せん断力の伝達機構を図-7に示す。継目部がせん断力を受けると斜め引張力によって継目部に斜めひびわれが生じ、それによってブロックは離れようとし、このとき図におけるボルトの引張力によりボルト間に圧縮ストラットが形成される。この圧縮ストラットが斜め引張力に抵抗し、せん断力が伝達される。そこでA→B→Cのように圧縮ストラットを大きくすることで、せん断耐力は増加させることができると考えられる。

(3) 供試体 T-2

それらのことを考慮し、ボルト頭部に座金を設置してモルタルに作用するかさ面積を大きくした供試体（T-2）を図-8に示す。このT-2の破壊性状はせん断面のひびわれ発生後、ボルトに荷重が作用し始め、ボルトはゆっくり変形しながらせん断ずれが進行し、大きな斜めひびわれが多数現れた後、ボルト間のモルタルはせん断破壊によって終局に至った。T-2はT-0, 1に比して最大荷重を過ぎてからの荷重低下が少なく、一定荷重を長く保持しながらせん断ずれが進行し、開

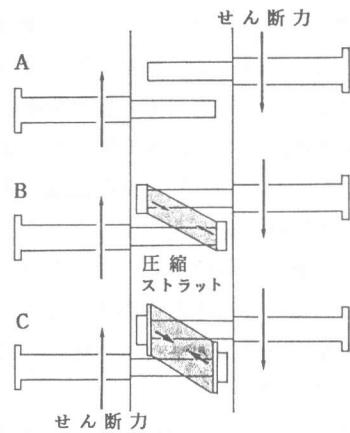


図-7 せん断力の伝達機構

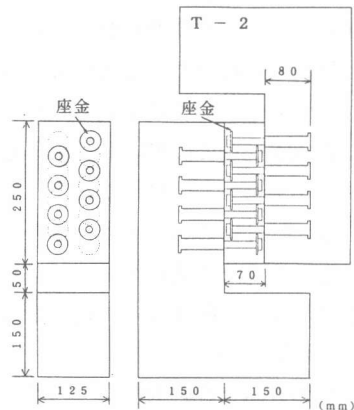


図-8 供試体の形状 (T-2)

きは一度大きく開いた後も変位は進行しながら荷重は増加した。このように座金を設置してかき面積を大きくすることにより、耐力増加とともに靱性を有することがいえる。また、せん断強度とボルトのかき面積の関係を図-9に示す。これらの供試体は全て打継面に付着がなく、T-0はダウエル効果のみに支配されているのに対し、T-1, 2はスタッドのせん断抵抗機構と類似してダウエル効果にボルトのかき面積効果が累加されたと考えられる。このようにせん断強度はボルトのかき面積に比例して増加することがわかる。

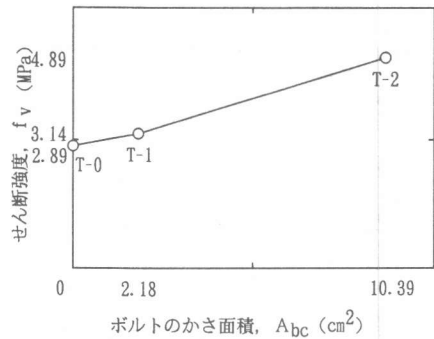


図-9 せん断強度とかき面積の関係

(4) 供試体 T-4

初期ひびわれの発生荷重を上げることと、ブロックと継目部の一体化を目的として、打継面を凹凸面にした供試体 (T-4) を図-10に示す。凹凸の効果は、T-2に比べて初期ひびわれの発生荷重、最大荷重の増加で確認された。また荷重せん断ずれ曲線の傾きは大きくなり、剛性が大きいことを示している。この理由は開き状況からも判断できるように打継面を凹凸にすることにより、プレキャストブロックと継目部の噛み合いによるせん断摩擦抵抗の増加が有効に働き付着強度が増加するために、ブロックと継目部のせん断ずれは抑制され、一体化していると考えられる。

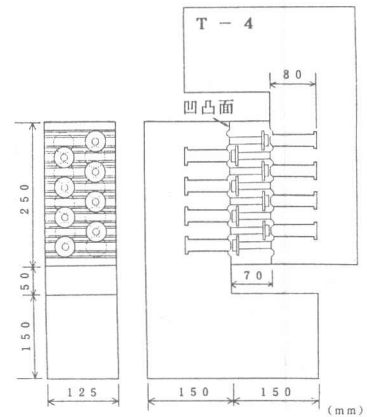


図-10 供試体の形状 (T-4)

(5) 供試体 T-3, T-5

継目部のせん断補強として、ボルトに対して直角方向 (载荷軸方向) に補強鉄筋を設置した供試体 (T-5) を図-11に示す。T-5の破壊性状は、ブロック内のインサート近傍の圧壊により破壊した状態となった。これは、ボルトに補強鉄筋が巻かれたことによりボルト間つまり継目部全体が一体化し、それによる応力がインサート近傍に集中して最大荷重を境に破壊に至ったと考えられる。このとき補強鉄筋が降伏していないことはひずみゲージにより確認した。また打継面の状態と補強鉄筋による影響を表したせん断強度と鉄筋比の関係を図-12に示す。これより補強鉄筋比の増加はせん断強度の増加につながると考えられる。

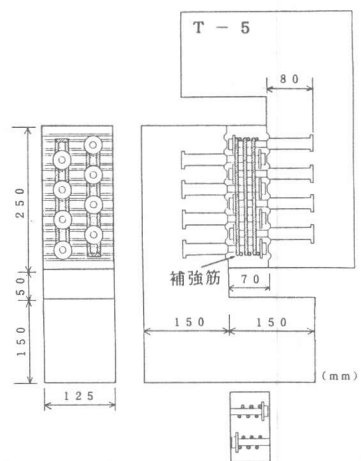


図-11 供試体の形状 (T-5)

(6) 供試体 T-6, T-7

载荷軸方向と打継面のなす角度を変えることにより、せん断面に圧縮応力が作用する。したがって、せん断摩擦力が増加しせん断耐力の向上になる。図-13に载荷軸と打継面角度が 22.5° と 45° の供試体 (T-6, T-7) を示し、図-14にはせん断強度と打継面角度の関係を示す。この図からせん断強度 f_v は垂直応力に比例して増加することがわかる。

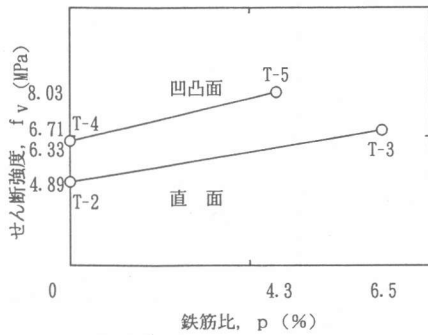


図-12 せん断強度と補強鉄筋比の関係

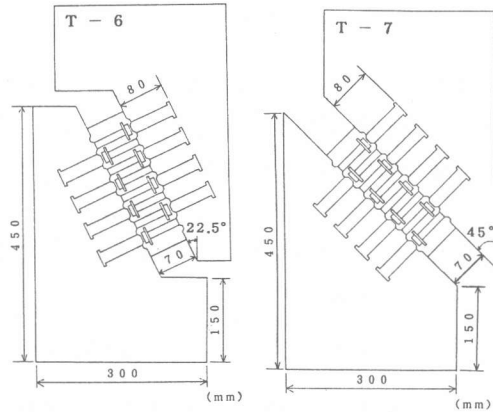


図-13 供試体の形状 (T-6) (T-7)

3.2 せん断耐力式の提案

せん断耐力 V_u は、ボルトにより受け持たれるもの V_s とコンクリートのひびわれ面でのせん断伝達力 V_c および補強筋によるものの累加で表すこととする。 V_s はさらにスタッド(ダウエル)的な抵抗力と V_{s1} とボルト間の圧縮ストラットの効果 V_{s2} とからなる。

ダウエル効果による耐力をスタッド式(Fisherら[3])の $V_s = 0.5A_b \sqrt{f'_c} \sqrt{E_c}$ を参考に、

$$V_{s1} = aN A_b \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

とすると、 V_c が0である打継面が無処理の直

面の場合においてダウエル力のみが作用する供試体T-0の結果から、未知数 $a=1.3$ が得られる。ここに、 f'_c はコンクリートの圧縮強度(MPa)、 N は各ブロックのボルト本数(本)、 A_b はボルトの断面積(cm^2)である。また、 V_{s2} はボルト間のストラット断面積に関係すると仮定して、ストラットの本数はボルトの本数より1本少なくなるため

$$V_{s2} = b(N-1)A_{bc} f'_c \quad (2)$$

とする。ここで、 A_{bc} はボルト頭部または座金によるボルト断面積以外のかさ面積(cm^2)であり、未知数 b および c は、 a と同様に、 V_c が0でありかさ面積が異なる供試体T-1, 2の実験値より b, c を求めると $b=0.098, c=0.5$ となる。したがって、ボルトによるせん断耐力は次式で表される。

$$V_s = 1.3N A_b \sqrt{f'_c} + 0.098(N-1)A_{bc} \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

次に、打継面に凹凸がある場合、凹凸の噛み合いによってコンクリートにせん断伝達に有効なひびわれが生じる。また、載荷軸方向と打継面に角度がある場合では、載荷力によりせん断面に垂直圧縮応力 σ'_n が作用する。ここでは、土木学会RC示方書のせん断伝達耐力式[4]を参考にし、せん断摩擦効果、拘束効果を考慮すると

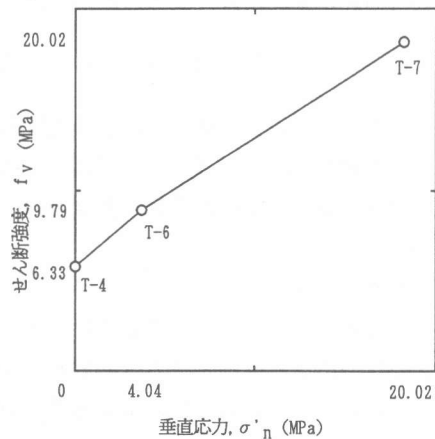


図-14 せん断強度と垂直応力の関係

$$V_c = \mu(nq + \sigma'_n)A_c \quad (4)$$

で表すこととする。ここで、 $\mu = m\sqrt{f'_c}$ 、 q はせん断面に対するボルト面積比($q = N \times A_b / A_c$)、 A_c はコンクリートのせん断面の面積(cm^2)、 m 、 n が未知数である。 $V_c = V_u - V_s$

であるから、供試体T-4, 6, 7の実験結果から V_c を求めた結果、係数は $m = 0.0085$ 、 $n = 91$ と決定することができた。結局、 V_c は次式で表される。

$$V_c = \mu(91q + \sigma'_n)A_c \quad (\mu = 0.0085\sqrt{f'_c}) \quad (5)$$

また、継目部の補強鉄筋(せん断補強鉄筋比 p)の影響も考慮すると、補強鉄筋による効果は $1053p$ で表され、(1)式と(2)式の累加により全せん断耐力は次式で与えられる。

$$V_u = 1.3NA_b\sqrt{f'_c} + 0.098(N-1)A_{bc}\sqrt{f'_c} + \mu(91q + \sigma'_n)A_c + 1053p \quad (6)$$

以上、本実験による実験値とこのせん断耐力式による計算値の比は、図-15に示すように、0.84~1.16の範囲に満足している。なお、本研究は特定の供試体によるものであるため、モデル的に検証するには、さらに同系統の実験を行うことが必要であると考えられる。

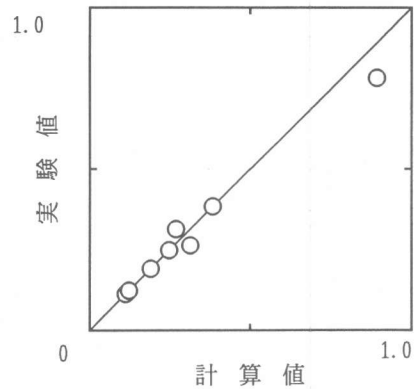


図-15 実験値と計算値の比較

4. まとめ

本研究において、プレキャストブロックの継目部にインサート・ボルトを用いた供試体の接合タイプの違いによるせん断耐力への影響を実験的に調べた結果、せん断耐力は継目部ボルト間のモルタルに作用するかさ面積、垂直応力、補強鉄筋に比例して増加する。

一例を挙げると、本実験によるT-5のせん断応力は6.33MPaである。これをSD35の鉄筋を用いた面部材に置き換えるとすると、鉄筋比1.8%程度も要したことになり、RCとすれば十分な耐力がある。このように、インサートとボルトを用いる接合方法は施工の容易さに加え、十分なせん断耐力があると考えられる。

参考文献

- 1) 伊藤亜政：土木構造におけるプレキャストコンクリートの最近の動向，コンクリート工学，Vol.30, No.5, pp79-82, 1992.5
- 2) 浜田純夫ほか：プレキャスト床版の種々の継手の強度に関する研究，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第5部，pp.830-831, 1992.4
- 3) Fisherら：Shear strength of stud connectors in lightweight and normal-weight concrete, AISC Engineering Journal, pp.55-64, April 1971.
- 4) 土木学会編：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.67-68, 1992.