

# 論文 円柱ジベルによるコンクリートの接合に関する研究

浅井 洋<sup>\*1</sup>・有川 直貴<sup>\*2</sup>・篠崎 裕生<sup>\*2</sup>・三加 崇<sup>\*3</sup>

**要旨:** プレキャストコンクリート部材と場所打ちコンクリートとの接合などにおいて、接合面にせん断キーを設ける代わりに円柱形状のコンクリートジベルを接合面に埋め込む方法を提案している。鋼板とコンクリートとの接合において提案したジベルの耐力算定手法がコンクリート接合においても適用できることを検証した。また、鉄筋をジベルとして用いた場合に比べて、鋼管充填モルタルジベルはずれ変位が増加し難いずれ止めであることを示した。また、超高強度繊維補強モルタルジベルは最大耐力までずれ変位を小さく抑えることができることを示した。

**キーワード:** 円柱ジベル, 二面せん断試験, 超高強度繊維補強モルタルジベル, 鋼管充填モルタルジベル

## 1. はじめに

鋼とコンクリートとの複合構造において様々な接合方法がとられている。近年、波形鋼板ウェブを用いたプレストレストコンクリート橋が採用され、ウェブと上下床版の接合に孔あき鋼板ジベルが用いられている。また、鋼桁と PC 桁の接合ではずれ止めを数多く配置する必要があり、コンクリートの充填性や貫通鉄筋の施工性等が課題であると考えられた<sup>1)</sup>。そこで、著者らはこれらの課題を改善する目的で円柱型の超高強度繊維補強モルタルジベルや鋼管充填モルタルジベル(以下、円柱ジベル)について検討を行ってきた<sup>2),3),4)</sup>。本稿では、円柱ジベルをプレキャスト部材と場所打ちコンクリートとの接合、あるいはコンクリート打継部に適用することを目的に検討を行った。

## 2. 円柱ジベルの概要

著者らは、鋼板とコンクリートとのずれせん断力に対して抵抗する円柱ジベルを提案している。このジベルは、超高強度繊維補強モルタルや鋼管充填モルタルで直径約 50mm, 長さ 200mm の円柱体である。鋼板に円柱ジベルの直径より 1mm 程度大きな孔を設け、ここにジベルを差し込み固定する。固定方法は鋼板とジベルの間にエポキシ樹脂を充填する方法で、周囲にコンクリートを打ち込み鋼板とコンクリート部材とを一体化する接合方法である。ジベルの概要を図-1に示す。鉄筋や頭付きスタッドジベルはせん断力に対して最初はスタッドの剛性で抵抗し、せん断力の増加とともにジベル周囲のコンクリートが支圧で局部的に破壊し、ジベルに曲げが作用して次第に引張力が卓越して接合面のずれをとめないながらせん断力に抵抗する。孔あき鋼板ジベルはコンクリート打設と同時に鋼板孔にコンクリートを充填し、コンク

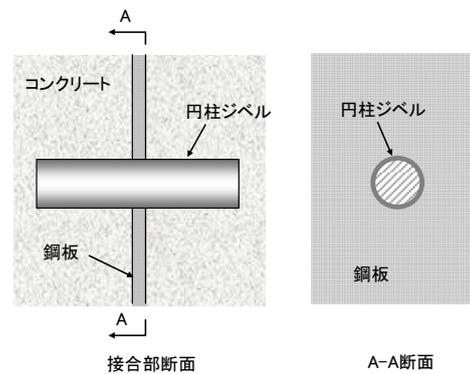


図-1 円柱ジベルの概要

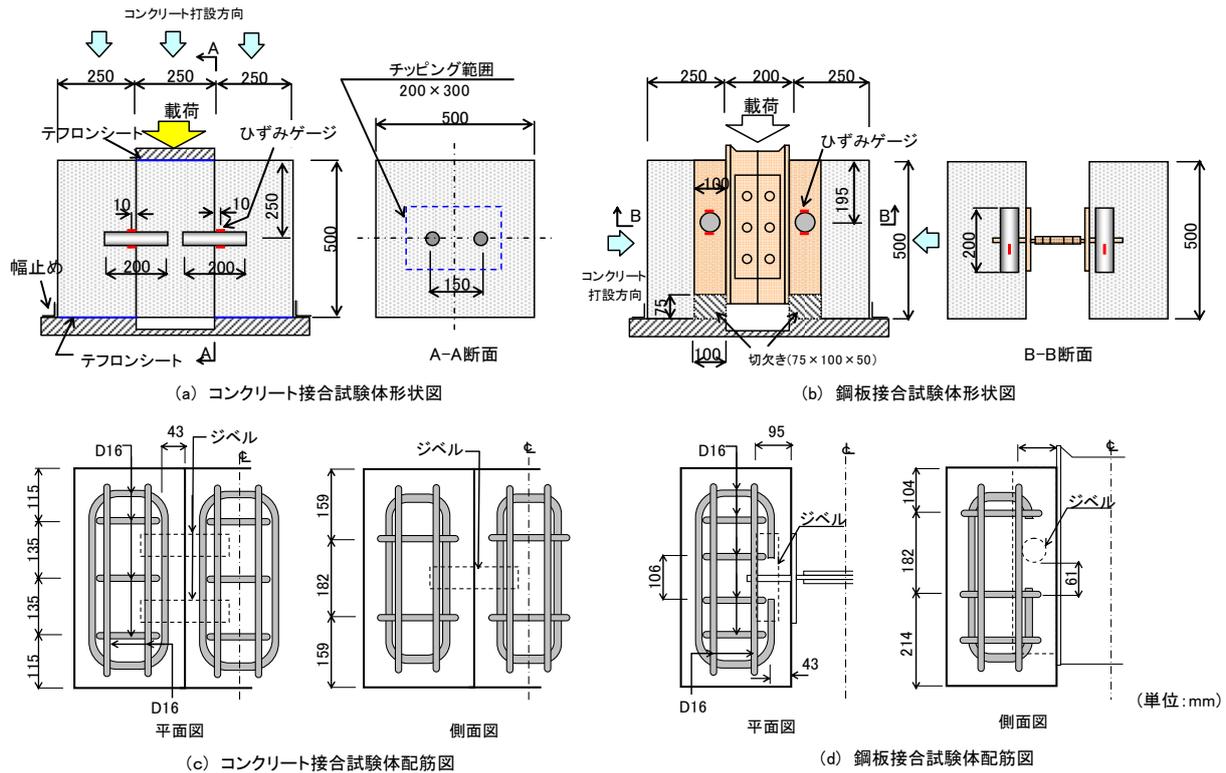
リートジベルを形成したもので、孔内部に鉄筋を貫通して配置することでコンクリートを拘束し、堅固で変形性に富んだコンクリートジベルを実現している。これに対して、本ジベルは、あらかじめ製作した鋼管充填モルタルなどの円柱形状のジベルを鋼板またはコンクリート接合面に設置する方法である。ジベルの周囲にはコンクリートと付着するための凹凸を設けないため、面外への変形に対して抵抗する補強材を併用する必要がある。大きなせん断力が作用し、多くの補強筋やジベルを配置しなければならない部位でコンクリートの充填が懸念される場合などに有効である。

鋼板との接合では、円柱ジベルの耐力は式(1)で算出できることを示している<sup>4)</sup>。式(2)は、棒部材のせん断耐力式<sup>5)</sup>を参考にしてコンクリートの圧縮強度の 1/3 乗とジベル断面積との積に比例するものとして実験結果を満足する係数を算出した結果である。式(3)は、鋼管のせん断引張強さと引張強度との割合がせん断降伏強さと引張降伏強さとの割合と同等と仮定した。鋼管内部のモルタルは拘束され鋼管がせん断破壊するまでモルタルの最大耐

\*1 三井住友建設(株) 技術開発センター土木 PC グループ長 (正会員)

\*2 三井住友建設(株) 技術開発センター土木 PC グループ (正会員)

\*3 三井住友建設(株) 技術開発センター土木 PC グループ 修士 (正会員)



図－2 試験体形状および配筋図

力を維持するものと仮定している。

$$V_u = (V_{cu} + V_{su}) \times 2 + V_{fr} \quad (1)$$

$$V_{cu} = 9.0A_c \cdot \sqrt[3]{f_c} \quad (2)$$

$$V_{su} = \frac{A_{st} \cdot f_{stu}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

ここに、 $V_u$ ：ジベルのせん断耐力(N)、 $V_{cu}$ ：ジベルのせん断耐力(N)、 $V_{su}$ ：ジベルのせん断耐力(N)、 $V_{fr}$ ：鋼板とコンクリートとの摩擦力、 $A_c$ ：モルタルジベルの断面積(mm<sup>2</sup>)、 $f_c$ ：ジベルのモルタル強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $A_{st}$ ：鋼管断面積、 $f_{stu}$ ：鋼管引張強度

### 3. 実験概要

試験体の形状と配筋図を図－2に示す。図－2(a)はコンクリートの接合面にジベルを配置した試験体であり、図－2(b)は鋼板とコンクリートとの接合面に配置した試験体である。コンクリート接合面に配置したジベルは接合面に2本配置しているが、中央部コンクリート内では連続していない。これは、鋼板接合とは異なり、コンクリート打継面でジベルを貫通して配置できることはまれであると考えられたためである。コンクリート接合試験体は、中央部のコンクリートを先行して製作した。打継面は樹脂塗装合板を使用した平滑面であり、表面にグリースを塗布した後、両端のコンクリートを打設した。コンクリートの打ち込み方向を図中に示す。鋼板接合試

験体は、厚さ 16mm の鋼板に φ62mm の孔を設け、鋼管充填モルタルジベルを左右 1 箇所ずつ配置している。製作時は中央部で鋼板を左右分離し、ジベル設置側を底版側にして打設した。コンクリート接合試験体の中央部コンクリート強度は 63.0N/mm<sup>2</sup> であり、外側コンクリートおよび鋼板接合試験体コンクリートの強度は 48.4N/mm<sup>2</sup> である。外側コンクリートと底版とは石膏でなじみを取り、間にテフロンシートを挟んだ。载荷中の水平方向の移動に対して幅止めを設けている。幅止めは試験体にあらかじめ拘束力を与えないよう試験体との間に若干の遊間を設けておき、試験体セット後に遊間を石膏で充填した。また、鋼板接合では鋼板を押し下げるため、鋼板下側に切欠きを設けている。载荷は 2MN 载荷装置を用いて中央部のコンクリートまたは鋼材に鉛直荷重を载荷した。载荷板には球座が取り付けられており鋼製フレームとの間に荷重計を設置している。鉛直方向のずれ変位は試験体側面のジベル高さ位置で外側と中央部のコンクリートの相対変位を 4 箇所測定した平均値とした。また、ジベルの挙動を把握するため、ジベルの上下面の軸方向ひずみを接合面の外側コンクリート内で測定した。

試験体の種類を表－1にジベルの形状を図－3に示す。S22は、長さ 200mm の D22 鉄筋 (SD345, 引張強度 552N/mm<sup>2</sup>) をジベルとして配置した試験体である。UFC は φ51.8mm, 長さ 200mm の超高強度繊維補強モルタルを用いた試験体である。UFC の圧縮強度は 177N/mm<sup>2</sup> で

あり、鋼繊維(アスペクト比 75 と 110 の混合)を 1.75Vol% 混入し、ジベルの脆性的な破壊を緩和することを目的としている。CFT49 は外径 48.6mm、管厚 2.3mm の STK400 (引張強度 462N/mm<sup>2</sup>) 鋼管内部に無収縮モルタルを充填したものである。試験時のモルタル強度は 71.0N/mm<sup>2</sup> である。CFT49+C は、CFT49 の鋼管充填モルタルジベルに加えて接合面にチップングを施した試験体である。チップングの範囲は、ジベルが配置された接合面の 200×300mm の範囲で、タガネによって粗骨材の頂部が露出する程度に処理した。CFT61 は CFT49 の径が大きい試験体で、CFT61(S)は鋼板とコンクリートとを接合した試験体である。CFT61 は中央部コンクリート内で分離しているのに対して CFT61(S)は鋼板を貫通してジベルを配置している。

載荷方法<sup>9)</sup>は、ずれ変位量が 2.0mm までは 0.2mm 増加するごとに載荷と除荷を繰り返した。2.0mm から 4.0mm までは 0.5mm 増加するごとに載荷と除荷を繰り返す、4.0mm 以降は破壊するまで単調載荷した。

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 最大耐力の比較

試験結果を表-2 に示す。最大耐力は載荷荷重の最大値の 1/2 の値である。これは、鋼板接合ではジベル 1 本が抵抗した値である。コンクリート接合では中央で分断されたジベル 1 対が抵抗した値で、ジベルのせん断面が 2 断面で抵抗する耐力である。計算耐力は、式(1)で算出した耐力である。S22 については鋼管を充実断面として算出している。接合部の摩擦力は、既往の研究<sup>2)</sup>で実施した鋼板にジベルを設けていない試験体で測定した 30kN を用いた。この値は鋼板とコンクリートとの付着が切れた 0.4mm 以降の抵抗力がほぼ同じ値であったことからこのときの値を用いている。CFT61(S)の鋼板表面積は、既往の実験の 1.45 倍であるため計算値には 44kN を用いた。また、本試験では鋼板接合とコンクリート接合で最大耐力時の摩擦力は同程度であること、および UFC の摩擦力は他の試験体と異なることを次節以降で述べる。降伏荷重は、鋼管表面に取り付けたひずみゲージが、材料試験で得られた鉄筋の降伏ひずみまたは鋼管の 0.2% 耐力時のひずみに達したときの荷重である。0.1mm 除荷前荷重は、荷重を除荷したときに 0.1mm の残留変位が生じるときの除荷する前の荷重である。

最大耐力は、S22 と UFC、CFT49 で同等の耐力を示しているが、最大耐力時のずれ変位は UFC が極めて小さい。CFT49 と CFT49+C とを比較すると打継面の処理はせん断耐力向上に寄与することが明らかである。CFT61 と CFT61(S)の比較では、接合方法の違いによるジベルの耐力に大差がない。最大耐力と計算耐力との比は 1.13～

表-1 試験体の種類

記号	ジベル			接合面処理	接合試験体
	種類	径と管厚	鋼材面積 (mm <sup>2</sup> )		
S22	鉄筋	D22	387.1	型枠面+グリース	コンクリート接合試験体
UFC	超高強度繊維補強モルタル	φ51.8	0.0		
CFT49	鋼管充填モルタル	φ48.6 t=2.3mm	334.5		
CFT49+C	鋼管充填モルタル	φ48.6 t=2.3mm	334.5	チップング	
CFT61	鋼管充填モルタル	φ60.5 t=3.2mm	576.0	型枠面+グリース	鋼板接合試験体
CFT61(S)	鋼管充填モルタル	φ60.5 t=3.2mm	576.0	鋼板面グリース	

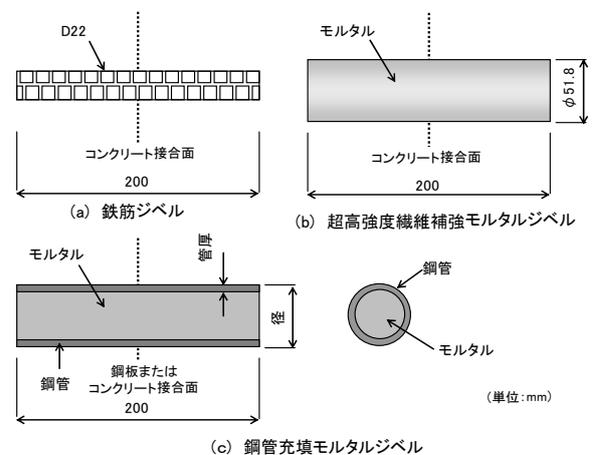


図-3 ジベルの形状

表-2 試験結果

記号	最大耐力 (kN)	最大耐力時のずれ変位 (mm)	計算耐力 (kN)	最大耐力 / 計算耐力	降伏荷重 (kN)	0.1mm 除荷前荷重 (kN)
S22	397.2	16.0	290.7	1.37	215.9	179.2
UFC	397.2	1.6	304.0	1.31	—	177.0
CFT49	380.4	5.7	335.5	1.13	285.8	222.3
CFT49+C	528.8	7.9	335.5	1.58	426.0	403.8
CFT61	630.3	8.7	522.1	1.21	462.6	245.0
CFT61(S)	615.4	9.9	522.1	1.18	367.5	215.1

1.37 であり、全ての試験体で 1.0 を超えている。図-4 に最大耐力と計算耐力との関係を既往のデータ<sup>4)</sup>とともに示す。CFT49+C は打継処理の影響があるため除外している。sample1 で示したデータは、CFT61(S)と同形状のジベルであるが、鋼板を埋め込んだコンクリート寸法が 400×400×200mm と本試験体より小さく、コンクリートの破壊が先行した可能性があった。本試験の結果から、鋼管充填モルタルジベルの最大耐力はコンクリート接合においても式(1)で評価できると言える。

##### 4.2 鋼板接合とコンクリート接合の比較

同形状の鋼管充填モルタルジベルを鋼板接合に配置し

た試験体 CFT61(S)とコンクリート接合に配置した試験体 CFT61 の荷重とずれ変位の関係を図-5に示す。CFT61(S)に対して、CFT61は、ずれ変位が2mm程度まで荷重が大きい。この荷重増加は、コンクリート打継面の付着および摩擦抵抗と考えられる。コンクリート打継面にはグリースを塗布してコンクリートを打ち継いでいるが、コンクリート表面は鉄板表面ほど平滑でないため滑動の初期に抵抗が大きかったものと考えられる。接合面のずれが進行すると両試験体の荷重に差がなくなり、鋼板接合同様の関係が得られたことが確認できる。すなわち、本試験ではずれ変位が2mm以上において鋼板接合とコンクリート接合で摩擦力は同等と考えられる。

#### 4.3 荷重とずれ変位の関係

最大荷重が同程度であった S22, CFT49 および UFC の荷重とずれ変位の関係を図-6に示す。S22は183kNを超えるとずれ変位の増加が著しくなり、最大荷重は16mmで示す。これに対してCFT49は、5.7mmで最大荷重を示している。UFCは顕著なずれ変位の増加を示さず、1.56mmで最大荷重に達しているが、これを超えても一気に破壊には至らず、ずれ変位が2.0mmに至るまで徐々に荷重が低下し、その後、ジベルが接合面に沿って破断した。最大荷重からずれ変位2.0mmまでは、ジベル内に混入した鋼繊維の補強効果によるものと考えられる。また、最大耐力時のずれ変位が2.0mmを超えていないことから、図-5に示したように鋼板接合とは異なった摩擦力を示す領域である。したがって、計算値に用いた摩擦力  $V_f$  にはCFT61とCFT61(S)のずれ変位1.56mmにおける荷重差(47kN)を鋼板接合に対するコンクリート接合の増加分として加算して91kNを使用した。

#### 4.4 コンクリート打継処理の効果

CFT49+Cのコンクリート接合面の打継処理では、極狭い範囲に打継処理を行うためチップ処理を選択した。チップ処理と鋼管充填モルタルジベルを併用したCFT49+CとジベルのみのCFT49との比較を図-7に示す。CFT49+Cは約400kNまでほとんどずれ変位を示していない。ずれ変位が増加してもCFT49より約100kN高い値を推移しており、打継処理界面の凹凸がせん断力を伝達していると推察される。

#### 4.5 ジベルのひずみ

S22, CFT49 および UFC の荷重とジベルひずみの関係を図-8に示す。ひずみは各々のジベルで測定した値の平均値である。コンクリート接合面に配置したジベルは、上面が引張りひずみ、下面が圧縮ひずみを示している。S22の上面ひずみは216kNで降伏ひずみ(1890 $\mu$ )に達している。これに対して、CFT49が同ひずみに達するのはS22の1.3倍の荷重(282kN)である。表-1に示すように、CFT49の鋼材断面積はS22の0.86倍であり鋼材量の少な

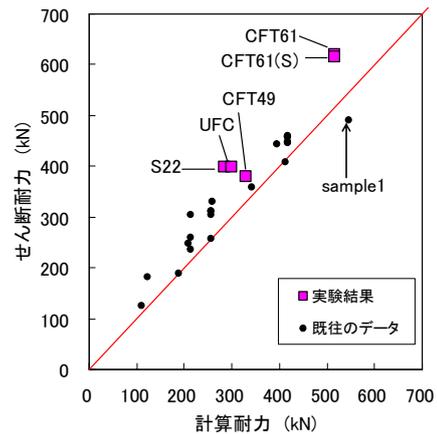


図-4 最大耐力の計算値との比較

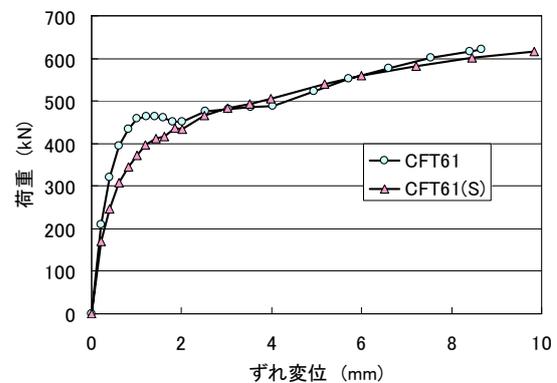


図-5 鋼板接合とコンクリート接合の比較

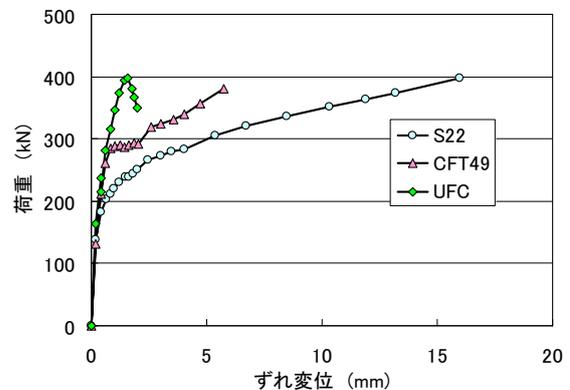


図-6 荷重とずれ変位の関係

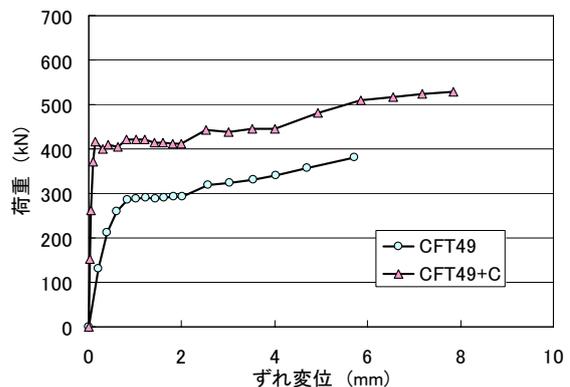


図-7 打継処理の効果

いCFT49で大きな荷重が得られている。この効果は、ジベル径を増加し、圧縮に強い鋼材をジベル周囲に配置して内部のモルタルを拘束する鋼管充填構造とした効果と考えられる。CFT49+Cは、打継処理面で抵抗し、400kN程度までジベルにほとんど荷重が作用していない。打継面のずれが増加するに従い荷重を維持しながらジベルのひずみが徐々に増加しており、すみやかに荷重の移行が行われたと推察される。

CFT61とCFT61(S)のひずみを比較して図-9に示す。コンクリート接合であるCFT61は、ジベル上下面のひずみがほぼ対象に増加していることから、ひずみ測定位置では曲げが支配的であり、軸力はほとんど生じていないことがわかる。一方、CFT61(S)では、上下面ともに引張ひずみが生じており、軸引張力が作用している。約250kNを超えると上下面のひずみに差が生じ、ジベルに曲げが生じ始めた。下面が先行して引張降伏すると、上面は圧縮に転じて降伏ひずみに達している。ひずみゲージ取り付け位置およびジベルの破壊後の形状から勘案するとジベルには図-10の様な変形が生じていると推察される。

#### 4.6 残留変位

CFT49の履歴載荷曲線を図-11に示す。載荷と除荷を繰り返し、除荷する前の最大荷重を除荷前荷重とする。載荷荷重およびずれ変位の増加にともなって残留変位も増加することがわかる。各々の履歴の残留変位と除荷前荷重の関係を図-12に示す。頭付きスタッドジベルでは、残留ずれ変位が急激に大きくなり、小さく抑えるための残留ずれ変位は0.1mm程度とされている<sup>7)</sup>。本試験では、S22は除荷前荷重183kN、残留変位0.11mm程度から残留変位が著しく大きくなるのに対して、CFT49では285kN、0.24mmである。本実験の結果と比較しても残留変位が0.1mmを超えなければ著しい残留変位の増加は示さないと判断できる。図-13にCFT61とCFT61(S)との比較を示す。CFT61(S)は208kN、0.08mmからCFT61に比べて残留変位が大きくなり482kNでほぼ同じ残留ずれ変位を示す。これは、図-4に示したように初期にコンクリート打継面の付着力および摩擦力が大きいことが影響している。各試験体の残留変位と除荷前荷重の関係から残留変位が0.1mmに達する除荷前荷重を0.1mm除荷前荷重として表-2に示す。CFT49はS22の1.24倍であり、CFT61(S)と同程度である。

0.1mm除荷前荷重と1/3計算耐力との関係を図-14に示す。1/3計算耐力( $V_a$ )は、接合面の摩擦力を考慮して式(4)で算出した。

$$V_a = (V_{cu} + V_{su}) \times \frac{2}{3} + V_{fr} \quad (4)$$

0.1mm除荷前荷重をジベルの使用限界と考えれば、ジベル耐力の1/3を設定することでジベルに著しい残留変

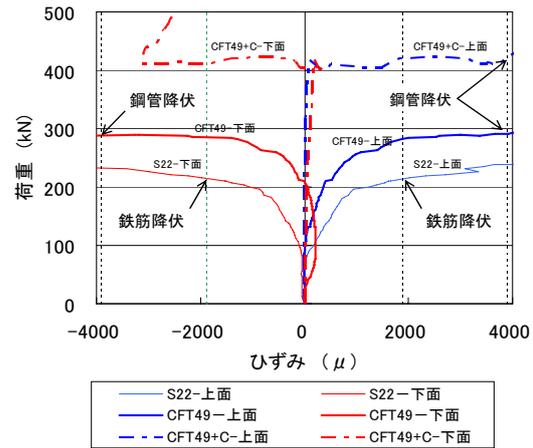


図-8 ジベルひずみの比較

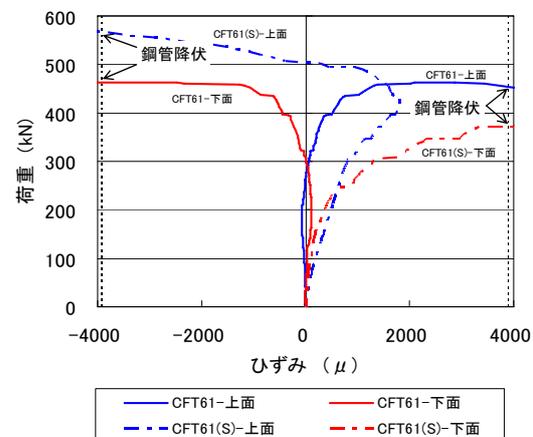


図-9 コンクリート接合と鋼板接合の比較

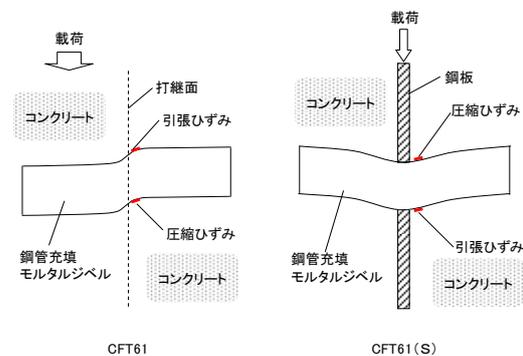


図-10 ジベルの変形

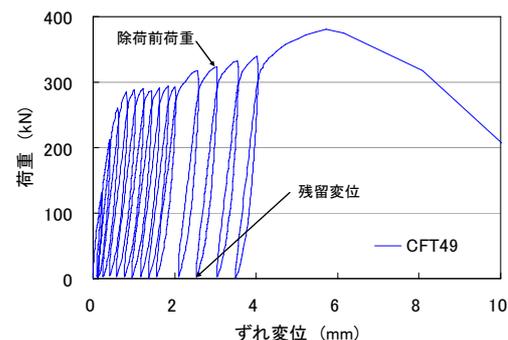


図-11 履歴載荷曲線

位の増加は生じないと考えられる。sample1 は先に述べた様にコンクリートの破壊が影響していると考えられる。このように、本稿ではジベル本体の耐力や変形に着目して検討を行ったが、ジベルが定着されるコンクリートの破壊が先行する場合には別途検討する必要がある。

## 5. まとめ

コンクリート打継ぎ接合面に円柱ジベルを用いた二面せん断実験の結果、次の結論が得られた。

- (1) コンクリート接合面に用いた円柱ジベルの耐力は、周囲のコンクリートの破壊が先行しない範囲でジベルのせん断耐力を發揮する。せん断耐力は、鋼板とコンクリートとの接合で提案した耐力式を用いることで評価できることが明らかになった。
- (2) 鉄筋ジベルと鋼管充填モルタルジベルを比較すると、鋼材断面積が同じで鋼材に生じるひずみも同じ場合、鋼管充填モルタルジベルのせん断抵抗力の方が大きい。
- (3) コンクリート打継ぎ処理は初期のずれ変位量を大幅に小さくすることができる。打継ぎ界面が滑動し始めるまでジベルにはほとんどせん断力は作用せず、滑動した後は、ジベルのせん断抵抗と界面の摩擦抵抗によってせん断力に抵抗する。
- (4) 超高強度繊維補強モルタルジベルは、鋼管充填モルタルジベルや鉄筋ジベルに比べて初期のずれ変位を小さく抑えることができる。一方、破壊時のずれ変位も小さい。
- (5) 円柱ジベルの使用限界を提案耐力式で算出したジベル耐力の 1/3 に設定することで残留変位を 0.1mm 以下に抑えることができる。

## 参考文献

- 1) 篠崎裕生, 浅井洋, 西村一博, 春日昭夫: 鋼部材埋込み方式による合成桁-PC 桁接合構造に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.1207-1212, 2011
- 2) 浅井洋, 篠崎裕生, 竹之井勇, 三加崇: 高強度コンクリートジベルを用いた鋼・コンクリート接合方法に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1237-1242, 2010
- 3) 竹之井勇, 篠崎裕生, 三加崇, 浅井洋: 高強度コンクリートジベルを用いた鋼・コンクリートの接合方法に関する基礎的研究, 第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.49-54, 2010
- 4) 浅井洋, 篠崎裕生, 三加崇, 竹之井勇: 鋼管充填モルタルジベルのせん断耐力に関する実験的研究, 第

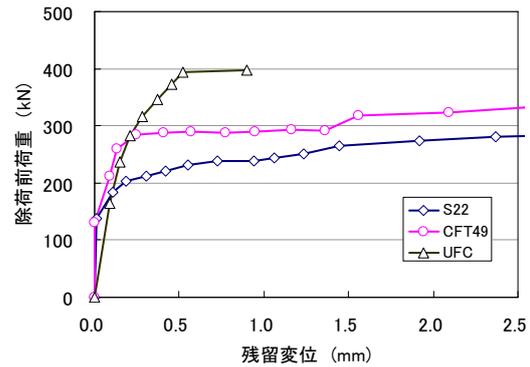


図-1 2 ジベルの種類による残留変位の比較

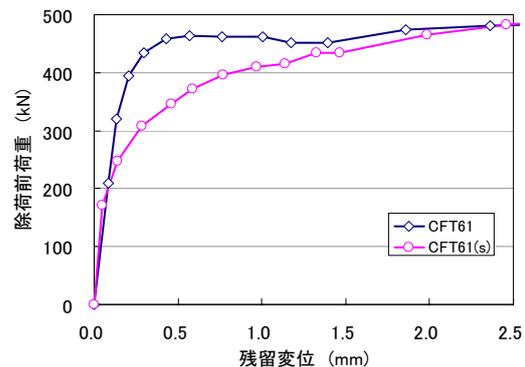


図-1 3 接合方法による残留変位の比較

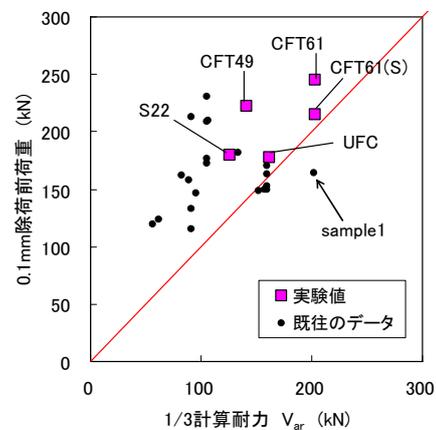


図-1 4 1/3 最大耐力と 0.1mm 除荷前荷重

20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp.351-356, 2011

- 5) 土木学会: 2007 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], pp.132-140, 2008
- 6) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法 (案) とスタッドに関する研究の現状, JSSC テクニカルレポート No.35, pp.1-8, 1996
- 7) 土木学会: 2009 年制定複合構造標準示方書, pp.59-67, 2009