

円柱ジベルによるコンクリートの接合に関する研究

Resistance Mechanism of Concrete Joints with Cylindrical Connectors

有川 直貴 NAOKI ARIKAWA
 篠崎 裕生 HIROO SHINOZAKI
 三加 崇 TAKASHI SANGA
 浅井 洋 HIROSHI ASAI

複合構造において、鋼とコンクリートとの接合に円柱ジベルを提案し、その耐荷力等について検討を行ってきた。円柱ジベルは、コンクリートや鋼管にモルタルを充填した円柱状のジベルである。本ジベルはコンクリート接合においても適用できると考えられるが、コンクリート接合面におけるせん断耐力算定手法については検証されていない。本稿では鋼とコンクリートとの耐力算定手法がコンクリート接合にも適用できることを検証した。さらに、鋼管充填モルタルジベルや超高強度繊維補強モルタルジベルは鉄筋接合に比べて高い荷重までずれ変位が小さいことを示した。

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

Cylindrical connectors made of mortar or mortar filled steel tube have been developed for steel-concrete joints. This paper describes the resistance mechanism of these connectors for concrete joints. The followings were obtained; 1) The strength evaluation for the steel-concrete joints is applicable to the concrete joints, 2) These connectors can be expect smaller displacement than reinforcing bars at peak shear loads.

Key Words: Cylindrical Connector, Double Shear Test, Mortar Filled Steel Tube Connector, Ultra-high-strength Fiber-reinforced Mortar Connector

1. はじめに

近年、鋼とコンクリートとの複合構造物が多く見られる。鋼とコンクリートとの接合においては様々な接合方法がとられており、その中でもスタッドジベルや孔あき鋼板ジベルと言った機械的なずれ止めが一般的に用いられている。これらのずれ止めを用いる際には数多く配置される場合があり、スタッドジベルは設置する施工性、孔あき鋼板ジベルは孔内へのコンクリートの充填性や貫通鉄筋の過密配置が課題であると考えられた¹⁾。そこで、著者らはこれらの課題を改善する目的で円柱状の鋼管充填モルタルジベルや超高強度繊維補強モルタルジベル（以下、円柱ジベル）を用いた鋼とコンクリートとの接合について検討を行ってきた^{2),3),4)}。本稿では、これまで鋼とコンクリートとの接合で検証した円柱ジベルの耐力やずれ変位特性をコンクリートとコンクリートとの打継部に適用することを目的に検討を行った。

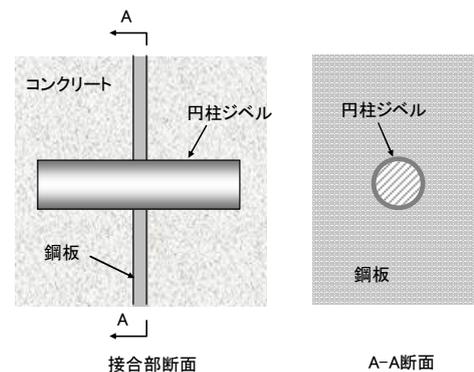


図-1 円柱ジベルの概要

2. 円柱ジベル概要

提案しているジベルは、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。鋼板とジベルの間にエポキシ樹脂を充填して固定し，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

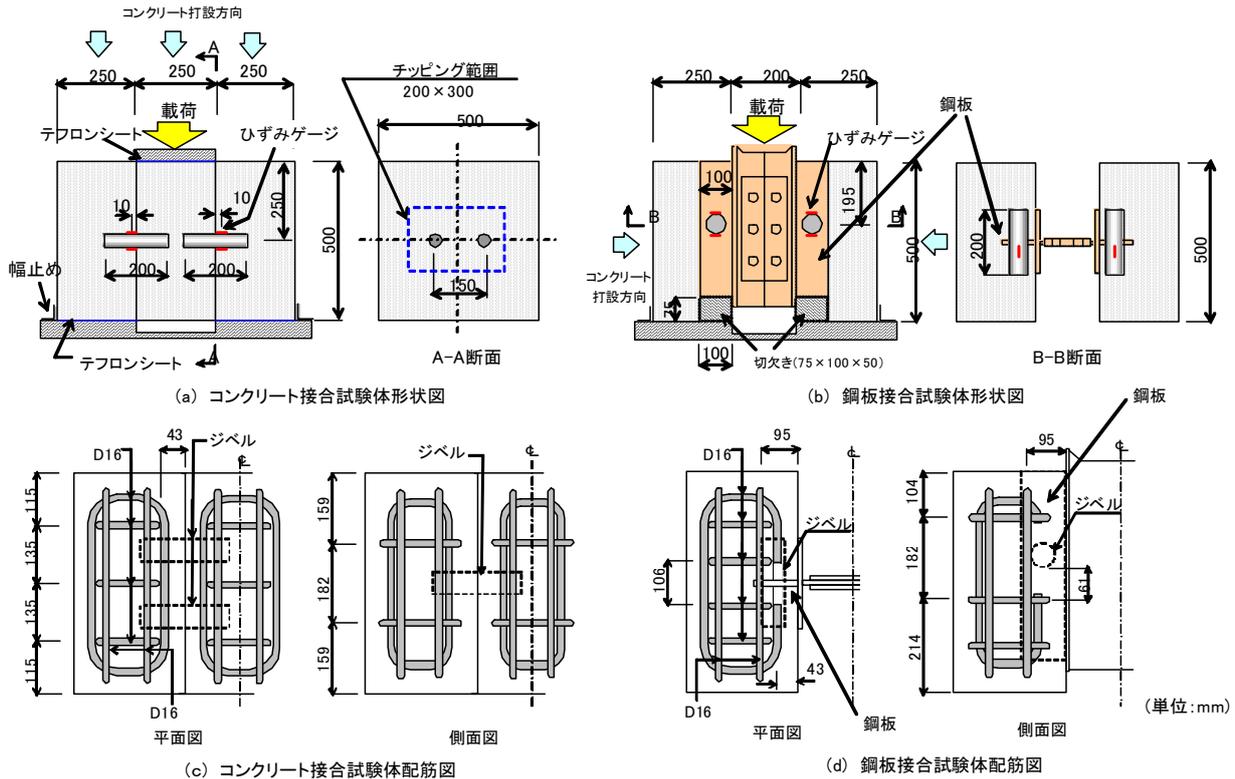


図-2 試験体形状および配筋図

を一体化して接合方法とする。円柱ジベルの概要を図-1に示す。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して使用する。円柱ジベルは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。また、鉄筋や頭付きスタッドジベルとは異なり、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。

3. 実験概要

試験体の形状と配筋図を図-2に示す。図-2(a)はコンクリートコンクリートとの接合を模擬した試験体であり、図-2(b)はコンクリートと鋼板との接合を模擬した試験体である。どちらの試験体も接合面を2面設けた二面せん断試験となる。コンクリート接合試験体はジベルを埋め込んだ中央ブロックを製作し、その後中央ブロックの両端にコンクリートを打設し製作した。ジベルは接合面1面に対し水平方向に2本配置した。コンクリートとコンクリートの接合においては橋梁の床版とウェブとの水平せん断抵抗を想定しておりウェブ部材の上下部にジベルを配置する場合ジベルを貫通配置することは困難

であると考えられたため、中央ブロック内でジベルは連続していない。接合面は樹脂塗装合板を使用した平滑面であり、両端のコンクリート打設前にグリースを塗布している。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。鋼板接合では載荷時、鋼板を押し下げるため、鋼板下側に切欠きを設けている。コンクリート接合試験体の中央部のコンクリート強度は63.0N/mm²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/mm²である。載荷は2MN載荷装置を用いて中央部のコンクリートと鋼材にそれぞれ鉛直荷重を載荷した。試験体のセットは外側ブロックと底版との間にテフロンシートを挟み、シートの下に石膏を敷きなじみをとった。載荷時、外側ブロックは水平方向に移動すると考えられたため、ブロックの外側に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。載荷板には球座が取り付けられており載荷装置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

表-1 試験体の種類

記号	ジベル				せん断面積 (mm ²)	接合面 処理	接合試験体
	種類	径と管厚	鋼材面積 (mm ²)	長さ			
S22	鉄筋	D22	387.1	200mm	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		547.4		
CFT49	鋼管充填 モルタル	φ48.6 t=2.3mm	334.5		519.1		
CFT61	鋼管充填 モルタル	φ60.5 t=3.2mm	576.0		855.1		
CFT61(S)	鋼管充填 モルタル	φ60.5 t=3.2mm	576.0		855.1	鋼板面 グリース	鋼板接合 試験体

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外側コンクリート内で測定した。

荷重方法⁵⁾は、ずれ変位量が2.0mmまでは0.2mm増加するごとに荷重と除荷を繰り返した。2.0mmから4.0mmまでは0.5mm増加ごとに荷重と除荷を繰り返す、4.0mm以降は破壊するまで単調荷重した。

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/mm²）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。圧縮強度は177N/mm²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の鋼管（STK400，引張強度462N/mm²）内部に無収縮モルタルを充填したものである。モルタル強度は71.0N/mm²である。CFT61は径と管厚以外はCFT49と同じ試験体で，CFT61(S)は鋼板とコンクリートとを接合した試験体である。

4. 実験結果および考察

(1) ジベル耐力式

鋼板との接合で著者ら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⁴⁾。式(3)は，棒部材のせん断耐力式⁶⁾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(4)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力を維持するものと仮定している。

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

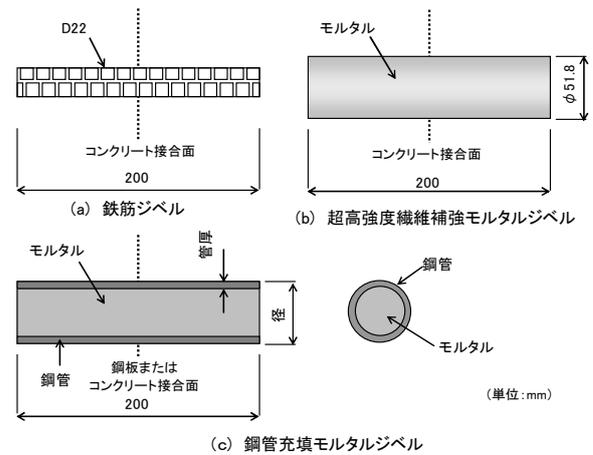


図-3 ジベルの形状

$$V_c = V_{cu} + V_{su} \quad (2)$$

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

$$V_{su} = \frac{A_{st} \cdot f_{stu}}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

ここに、 V_u ：接合面のせん断耐力(N)， V_c ：ジベルのせん断耐力(N)， V_{cu} ：モルタルのせん断耐力(N)， V_{su} ：鋼管のせん断耐力(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(mm²)， f_c ：ジベルのモルタル強度(N/mm²)， A_{st} ：鋼管断面積， f_{stu} ：鋼管引張強度

(2) 最大耐力の比較

試験結果を表-2に示す。最大耐力は荷重荷重の最大値の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離されたジベル1対が抵抗した値で，ジベルのせん断面積が2断面で抵抗する耐力である。計算耐力は式(1)で算出した値である。S22は充実断面として算出し，UFCは鋼管断面積を0として算出している。接合部の摩擦力は，既往の研究⁴⁾で実施した鋼板(90mm×325mm)にジベルを

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) 式(1)	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
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

設けていない試験体で測定した 30kN を用いた。

CFT61(S)は鋼板 (100mm × 425mm) 面積が既往の研究より 1.45 倍大きいため 44kN を用いた。また、コンクリート接合は鋼板接合と最大耐力時での摩擦力が同程度であること、UFCは他の試験体と摩擦力が異なることを次項以降で述べる。降伏荷重は、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% 耐力時ひずみに試験体のジベルひずみが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残留変位が 0.1mm 生じるときの除荷する前の荷重である。

最大耐力は、S22、UFC、CFT49 いずれも同程度である。最大耐力時のずれ変位はUFC、CFT49、S22の順に小さくUFCは1.6mmと極めて小さいずれ変位で最大耐力に達していることがわかる。CFT61とCFT61(S)ではコンクリート接合と鋼板接合との比較となるが、どちらも最大耐力に大きな差はなく同等といえる。最大耐力と計算耐力の比は1.13～1.37であり、すべての試験体において 1.0 を満たしている。図-4に最大耐力と計算耐力との関係を既往のデータ⁴⁾とともに示す。本試験の結果から、円柱ジベルの耐力算定手法はコンクリート接合においても評価できるといえる。

(3) 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はずれ変位2.0mmまでCFT61(S)より荷重が大きい。この荷重増加は、接合面の付着および摩擦抵抗によるものと推測される。コンクリート接合は、両端ブロックを打継ぐ際に打継面にグリースを塗布して付着しないようにしているがグリースはコンクリート面に浸透してしまうため鋼板接合ほどの付着力低減がなされなかったと推測される。また、コンクリート表面は鋼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2.0mmで両試験体の荷重差がなくなり、鋼板接合同様な関係が得られることが確認できる。本試験では、コンクリート接合はずれ2.0mm以上において鋼板接合と摩擦力は同等と考えられる。

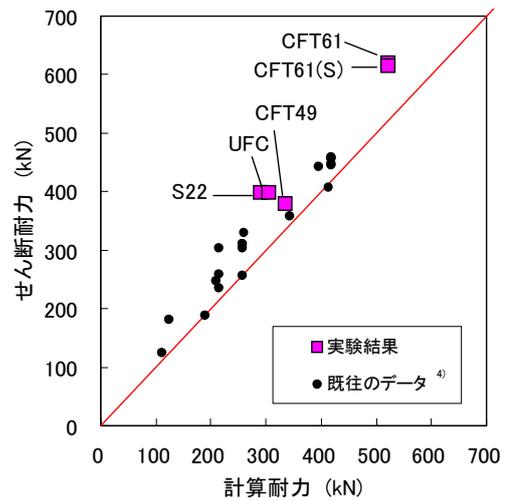


図-4 最大耐力の計算値との比較

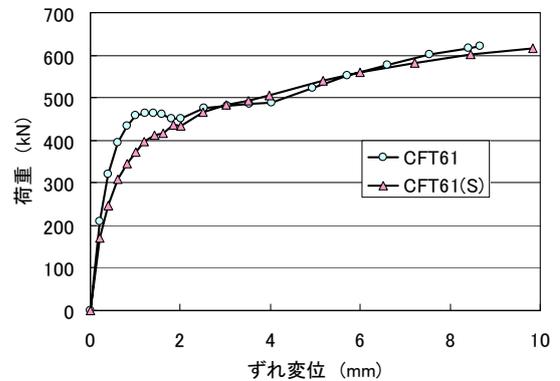


図-5 鋼板接合とコンクリート接合の比較

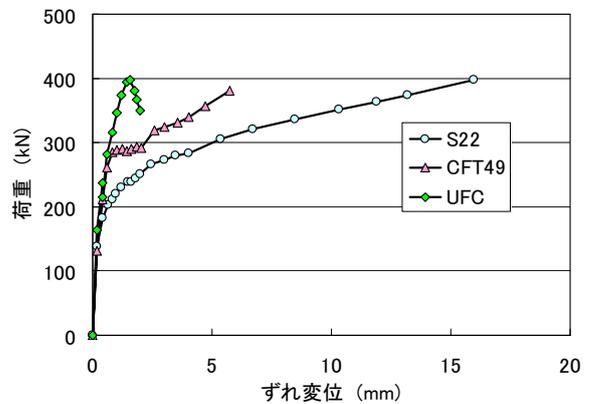


図-6 荷重とずれ変位の関係

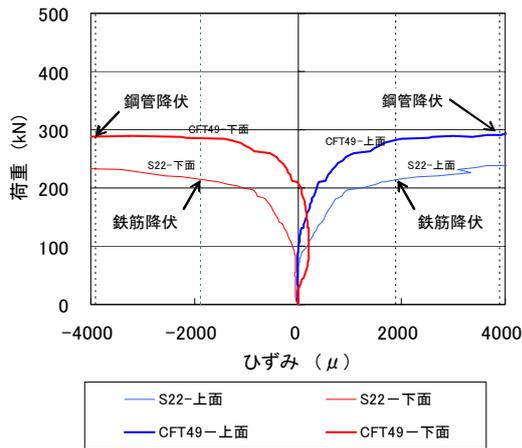


図-7 ジベルひずみの比較

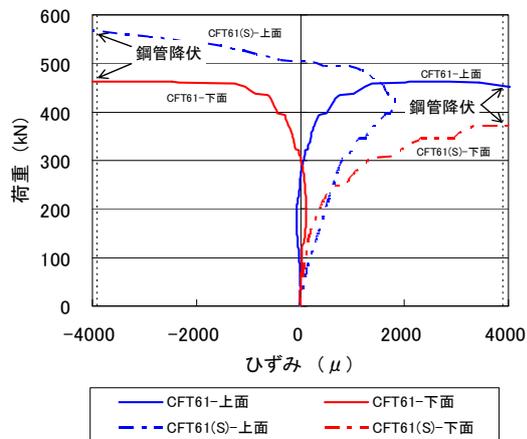


図-8 コンクリート接合と鋼板接合の比較

(4) 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 からずれ変位の増加が大きくなり最大荷重時ではずれ変位は 16mm を示している。CFT49 はずれ変位 5.7mm で最大荷重に達している。UFC は大きなずれ変位の増加がみられず、ずれ変位が 1.56mm で最大荷重に達している。UFC の最大荷重時のずれ変位は (3) で示したコンクリート接合と鋼板接合の付着による荷重差がなくなるずれ変位 2.0mm 以下となるため、耐力算定式では CFT61 と CFT61(S) のずれ変位 1.56mm での荷重差 (47kN) が付着による影響と推測し、摩擦力に 47kN を加算した 91kN を使用した。

(5) ジベルのひずみ

S22, CFT49 の荷重とジベルひずみの関係を図-7 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、上面が引張ひずみ、下面が圧縮ひずみを示している。S22 の上面

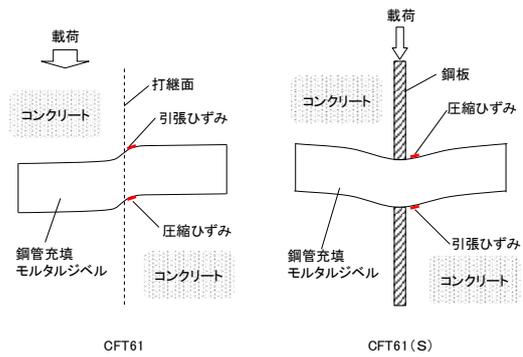


図-9 ジベルの変形

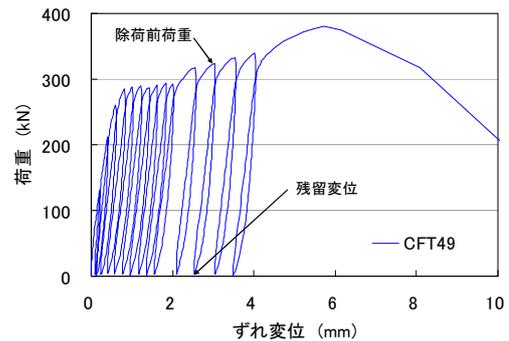


図-10 履歴載荷曲線

ひずみは 216kN で降伏ひずみ (1890 μ) に達している。これに対して、CFT49 が同じ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。

CFT61 と CFT61(S) のひずみを比較して図-8 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称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。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ジベルには図-9 のような変形が生じていると推察される。

(6) 残留変位

CFT49 の履歴載荷曲線を図-10 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-11に示す。頭付きスタッドジベルでは、ずれ変位を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⁷⁾。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では除荷前荷重285kN、残留変位0.14mmである。本実験の結果からも、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。

各試験体の0.1mm除荷前荷重を表-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-12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。

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

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位の増加は生じないと考えられる。

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鋼板とコンクリートとの接合で提案した耐力式(1)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ほうが大きい。
- ③ 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と破壊時のずれ変位を小さく抑えることができる。
- ④ 円柱ジベルの使用限界を提案耐力式のジベル耐力を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,

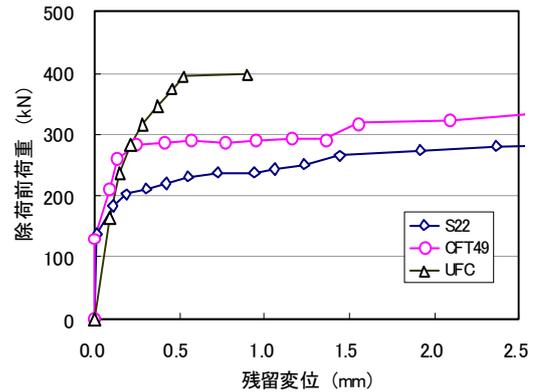


図-11 ジベルの種類による残留変位の比較

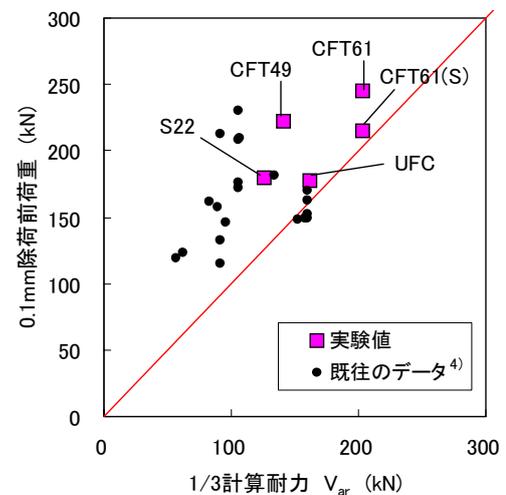


図-12 1/3最大耐力と0.1mm除荷前荷重

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) 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
- 6) 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
- 7) 土木学会: 2009年制定複合構造標準示方書, pp.59-67, 2009