

持続荷重を受ける直列配置された各種ずれ止めのせん断力負担分布について

三井住友建設(株)	正会員	○有川	直貴
三井住友建設(株)	正会員	篠崎	裕生
三井住友建設(株)	正会員	工修	三加 崇
三井住友建設(株)	正会員	博士(工学)	浅井 洋

Abstract : Authors have been studied on shear capacity of new type connectors using mortar filled steel tube or reinforcing bar (Re-bar connector) which were inserted in perforated steel plate. In order to discuss about shear force distribution of each connectors arranged in series under continuous load, we conducted push-out test of these connector arranged 12 to each specimen in series. In results shear force distribution which were unbalanced initially were equalized with progress of time, and increase of slip displacement after period of time passed of Re-bar connector were larger than PBL.

Key words : mortar filled steel tube , Re-bar connector , force distribution

1. はじめに

著者らは、モルタルを充填した鋼管を鋼板孔に設置する鋼管充填モルタルジベルや、孔径が貫通鉄筋とほぼ同径の孔あき鋼板ジベル（鉄筋ジベルと呼ぶ）のせん断耐力について検討を行ってきた¹⁾。鋼とコンクリートの複合構造では PC 桁と合成桁との接合などでずれ止めを荷重方向に直列配置する場合があります、鋼管充填モルタルジベルや鉄筋ジベルが直列配置することでどのような挙動を示すか明らかにする必要があります。そこで著者らは荷重方向にずれ止めを 12 箇所直列配置した鋼板の押し抜き試験を実施した。実験は比較として PBL と鋼管充填モルタルジベルの鋼管径の大きいものも含めた 4 体を実施し、せん断力の負担分布や経時変化を確認した。

2. 鋼管充填モルタルジベルと鉄筋ジベルの概要

鋼管充填モルタルジベルや鉄筋ジベルは孔あき鋼板の孔径と同等径のモルタル充填鋼管や鉄筋を孔あき鋼板孔部のずれ方向後方内面に接するように設置する。

孔あき鋼板ジベルは孔内へのコンクリート充填性を確保するため鋼板孔径と鉄筋径の関係が規定されているが、耐力を大きく必要とする場合、これらの制限を受ける場合がある。鋼管充填モルタルジベルは鋼管厚を大きくすることで比較的大きな耐力を得ることができる。さらに、鉄筋ジベルは孔径が小さくなり配置箇所数を増やすことができるなどの利点がある。

同程度の鋼材断面積を有する鋼管充填モルタルジベルと鉄筋ジベルの二面せん断実験による荷重とずれ変位の関係を図-1 に示す。図中の太線は複合構造標準示方書²⁾に示される貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断力-ずれ変位関係の計算値である。計算値に使用した孔径は 62mm、貫通鉄筋は鋼管充填モルタルジベルや鉄筋ジベルと同程

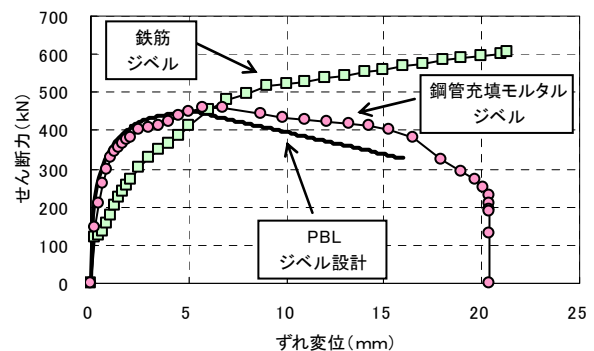


図-1 各種ずれ止めのせん断力とずれ変位関係

度の鋼材断面積である D25, コンクリートの圧縮強度は 40N/mm^2 である。鋼管充填モルタルジベルは孔あき鋼板ジベルと同様な挙動を示し, 鉄筋ジベルは最大耐力は大きいが載荷初期の段階からずれ変位の増加が発生する特徴がある。

3. 実験概要

試験体の形状を図-2 に示す。ずれ止め鋼板は長さ 2650mm, 高さ 500mm, 厚さ 19mm とし, ジベル設置孔を 150mm 間隔で 12 箇所設けた。ずれ止め鋼板にジベルを設置した後, ずれ止め鋼板両側に長さ 2150mm, 高さ 500mm, 厚さ 250mm のコンクリートを打ち込み一体化した。コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリート打設後 7 日間散水により養生を行った。実験時でのコンクリートの材齢は 30 日, 強度は 56.9N/mm^2 である。載荷時コンクリートの開きを防止する目的で $\phi 16\text{mm}$ の PC 鋼棒を 300mm 間隔で上下に配置した。PC 鋼棒の配置孔は $\phi 30\text{mm}$ となっており, PC 鋼棒を配置孔のずれ方向後方側に寄せて配置することでずれ方向に 14mm 程度の隙間を設けせん断力に抵抗しない構造とした。PC 鋼棒の軸力によって鋼板とコンクリートとの摩擦力が発生しせん断耐力に影響をおよぼすことが考えられるため, 摩擦力を極力低減するよう PC 鋼棒張力を 1kN に設定した。

本実験で使用したずれ止め種類を表-2 に示す。

CFT49 は外径 48.6mm, 管厚 3.5mm の STK400 鋼管に普通モルタルを充填した鋼管充填モルタルジベルを孔径 50mm の鋼板孔に設置した。CFT60 は外径 60.5mm, 管厚 3.2mm の STK400 鋼管に普通モルタルを充填した鋼管充填モルタルジベルを孔径 62mm の鋼板孔に設置した。充填したモルタル強度は 76.3N/mm^2 である。S25 は鉄筋径 25mm, SD345 の異径鉄筋を孔径 30mm の鋼板孔に設置した。PBL は孔径 62mm の孔あき鋼板ジベルで貫通鉄筋は鉄

表-1 コンクリート配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad
40.4	44.5	162	401	787	1000	2.61

表-2 試験体種類一覧

記号	種類	径と管厚	材質	ジベル	
				鋼材断面積 (mm ²)	長さ
S25	鉄筋	D25	SD345	506.7	200mm
CFT49	鋼管充填モルタル	$\phi 48.6$ t=3.5mm	STK400	495.9	
CFT60	鋼管充填モルタル	$\phi 60.5$ t=3.2mm	STK400	576.0	
PBL	孔あき鋼板	D25	SD345	506.7	400mm

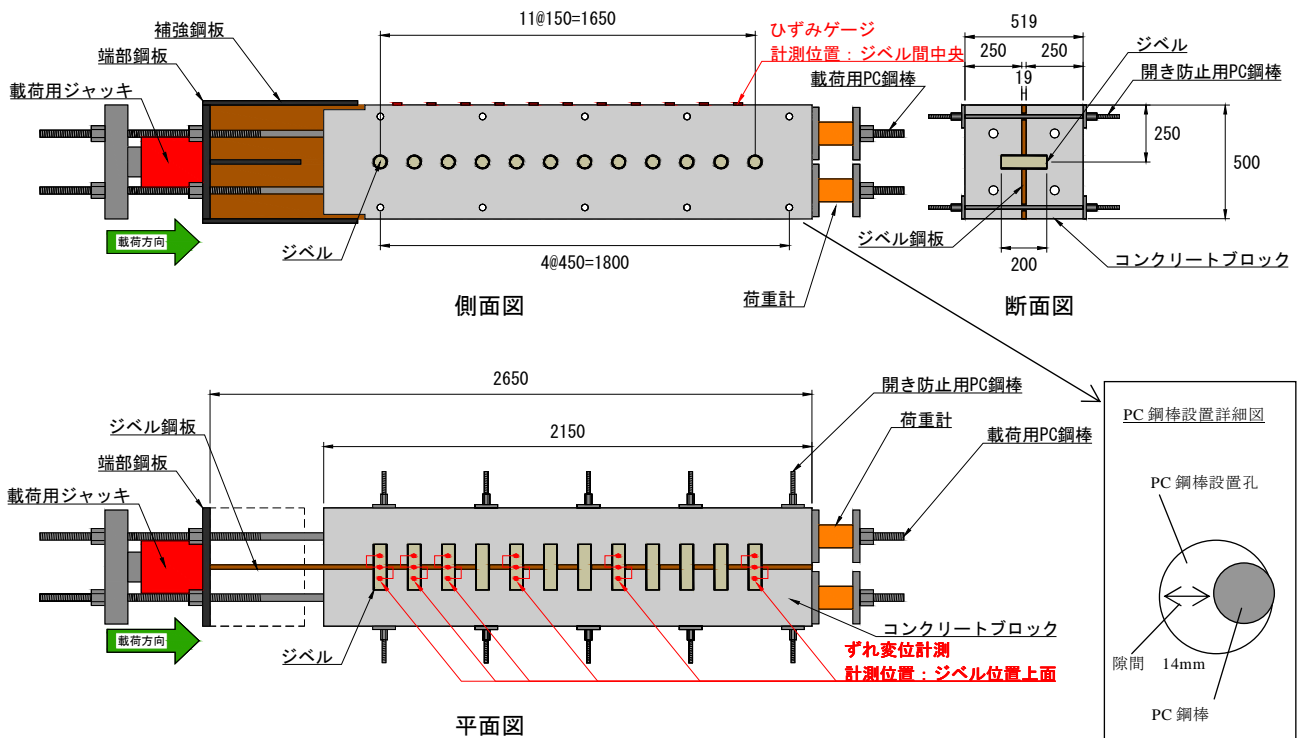


図-2 試験体形状

筋径 25mm, SD345 の異径鉄筋を使用した。ジベルの標準長さは 200mm で孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋は 400mm である。CFT60 を除く 3 種類のずれ止めは鋼材断面積が同等である。CFT49, CFT60, S25 のジベルの設置は図-3 に示すように、 載荷側の鋼板孔内面にジベルが接触するように配置し、ジベルを固定するためにジベルと鋼板との隙間にエポキシ樹脂を充填した。載荷方向に鋼板を押し込むとジベルを介して鋼板外部のコンクリートによってジベルを支えせん断力に抵抗するためエポキシ樹脂充填部にはずれせん断による荷重はかからないと考える。PBL の貫通鉄筋は鋼板孔の中央に配置した。載荷は PC 鋼棒をコンクリート端部から端部鋼板へと通し端部鋼板を反力とし 4 本の PC 鋼棒を緊張することでずれ止め鋼板を押し込むように載荷した。コンクリートから露出するずれ止め鋼版部は座屈を防止するために補強鋼板を溶接した。コンクリート端部側にセンターホール荷重計を設置し載荷荷重を計測した。試験体上面のずれ止め設置位置に高感度変位計を設置し鋼板とコンクリートのずれ変位を計測した。ずれ止めのせん断力負担分布を確認するために鋼板上面のずれ止め間の中間点位置にひずみゲージを設置し鋼板のひずみを計測した。載荷荷重は複合構造標準示方書²⁾ で計算した PBL 試験体の耐力にジベル設置数 (12 箇所) を乗じた荷重の 1/12・1/6・1/3 (450kN・950kN・1850kN) とした。各荷重載荷後、PC 鋼棒を定着させて荷重を保持した。各荷重での保持した期間を表-3 に示す。

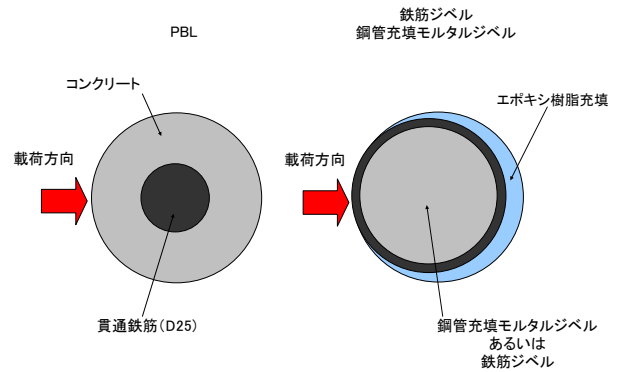


図-3 ジベル設置概要

表-3 持続荷重保持期間

持続荷重 (kN)	保持期間 (日)
450	130
950	30
1850	30

コンクリートから露出するずれ止め鋼版部は座屈を防止するために補強鋼板を溶接した。コンクリート端部側にセンターホール荷重計を設置し載荷荷重を計測した。試験体上面のずれ止め設置位置に高感度変位計を設置し鋼板とコンクリートのずれ変位を計測した。ずれ止めのせん断力負担分布を確認するために鋼板上面のずれ止め間の中間点位置にひずみゲージを設置し鋼板のひずみを計測した。載荷荷重は複合構造標準示方書²⁾ で計算した PBL 試験体の耐力にジベル設置数 (12 箇所) を乗じた荷重の 1/12・1/6・1/3 (450kN・950kN・1850kN) とした。各荷重載荷後、PC 鋼棒を定着させて荷重を保持した。各荷重での保持した期間を表-3 に示す。

4. 実験結果および考察

4.1 荷重載荷による荷重分担

各試験体の鋼板のひずみ分布を図-4 に示す。実線は荷重載荷直後、点線は保持後のひずみである。

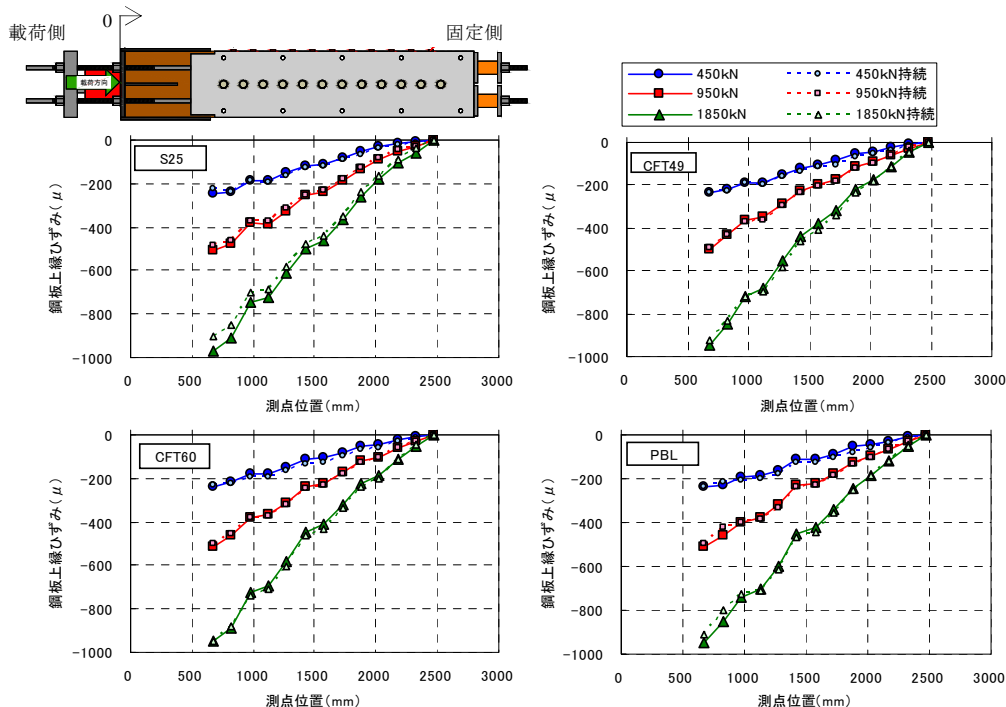


図-4 各試験体の鋼板ひずみ分布

鋼板ひずみは載荷側から固定側にかけて減少する傾向にあり、各ずれ止めに荷重分担がなされていることが考えられる。そこで、図-5 に 1850kN での各ずれ止めのせん断力負担荷重を示す。各ずれ止めのせん断力負担荷重は鋼板ひずみから式(1)で算出した。

$$\Delta P = A_s \times E \times (\varepsilon_x - \varepsilon_{x+1}) \quad (1)$$

ここに、 ΔP ：ずれ止めせん断負担荷重 (N)， A_s ：鋼板断面積 (mm^2)， E ：鋼板の弾性係数 (N/mm^2)， ε_x ：ずれ止め載荷側ひずみ (μ)， ε_{x+1} ：ずれ止め固定側ひずみ (μ)

荷重分担は載荷側での負担が大きく、固定側に向かって小さくなる傾向が全ての試験体でみられる。PBL よりもずれ変形が小さい鋼管充填モルタルジベルは荷重負担が載荷側に偏りやすく、ずれ変形の大きい鉄筋ジベルは全てのジベルで平均的に荷重負担すると想定された。図-5 より CFT49・CFT60・S25 は PBL に対し最も負担している荷重や分布傾向も大きな違いがみられない。したがって、鋼管充填モルタルジベル・鉄筋ジベルの載荷荷重による荷重分担は PBL と同程度であると考えられる。

4.2 持続荷重が荷重分担に与える影響

図-5 に 1850kN 載荷直後と持続後の各ずれ止めの負担荷重を示した。持続後の負担荷重は載荷直後で大きかった載荷側では減少し、小さかった固定側では増加する傾向にあり、持続荷重によってせん断力負担は平均化する傾向がみられた。図-6 に負担荷重の減少が大きい箇所の負担荷重と時間の関係を片対数グラフで示す。負担荷重の減少は荷重保持直後に大きく減少し約 10 日程度で傾きが緩やかになり収束する傾向が全ての試験体で認められる。この結果から、持続荷重が荷重分担に与える影響は鋼管充填モルタルジベル・鉄筋ジベルともに PBL と同程度と考えられる。

4.3 荷重載荷によるずれ変位

各荷重でのずれ変位分布を図-7 に示す。測定位置はずれ止めが配置されている上部で鋼板とコンクリートブロックのずれ変位を測定している。全試験体でずれ変位の分布傾向は同様な挙動を示しており、載荷側のずれ変位が大きく、固定側に向かってずれ

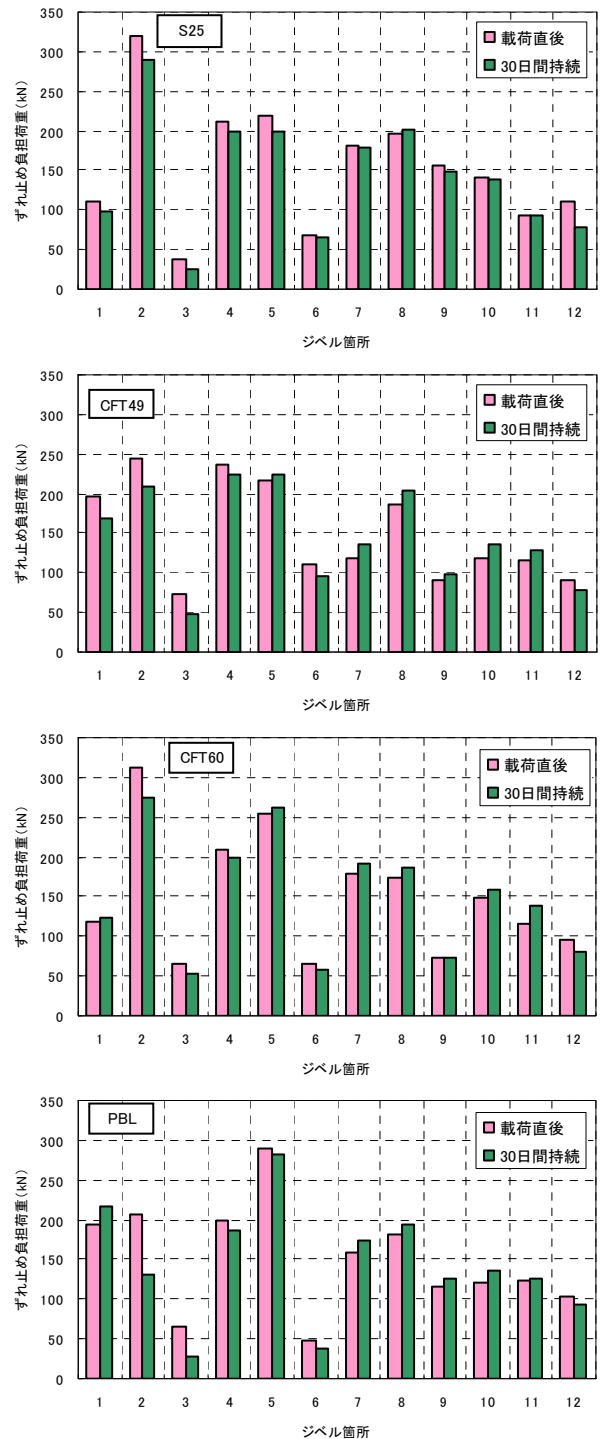


図-5 1850 kN 時せん断力負担荷重

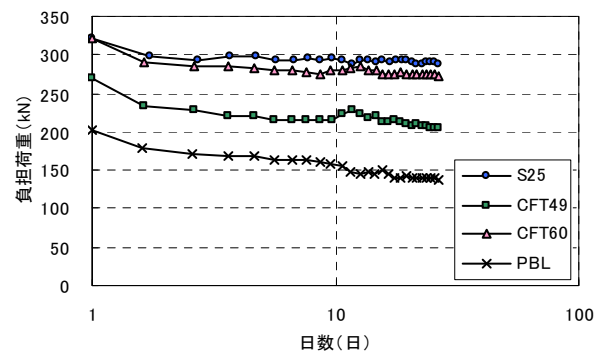


図-6 負担荷重経時変化

変位が小さくなっている。これは、せん断力負担が载荷側で大きく固定側で小さいことを示している。CFT49, CFT60, PBL は各荷重でのずれ変位が同程度であったが D25 は他のずれ止めよりもずれ変位が大きい。図-2 に示すように、鉄筋ジベルは CFT や PBL と比較すると载荷初期の段階から変形を伴って抵抗するため変形が大きくなったと考えられる。

4.4 持続荷重によるずれ変位への影響

図-8 に各試験体の载荷直後と持続後とのずれ変位の分布を示す。実線は载荷直後、点線は持続後のずれ変位である。持続後ではずれ変位が増加している。持続後のずれ変位の増加傾向は全試験体で固

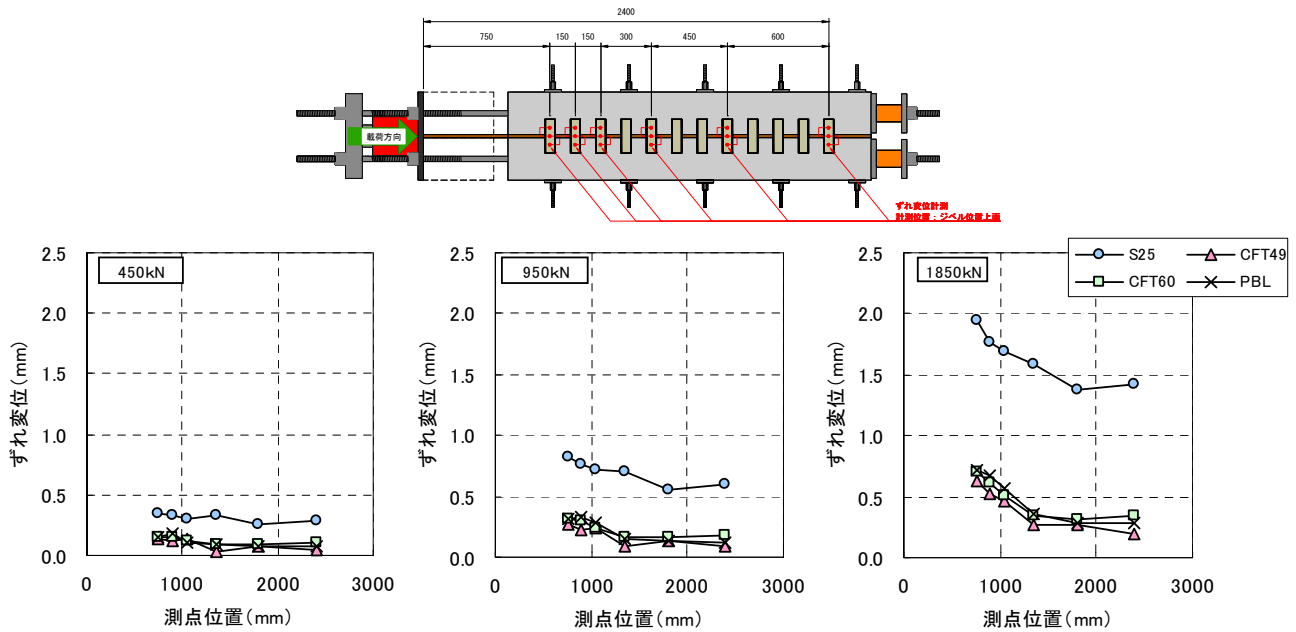


図-7 各荷重でのずれ変位分布

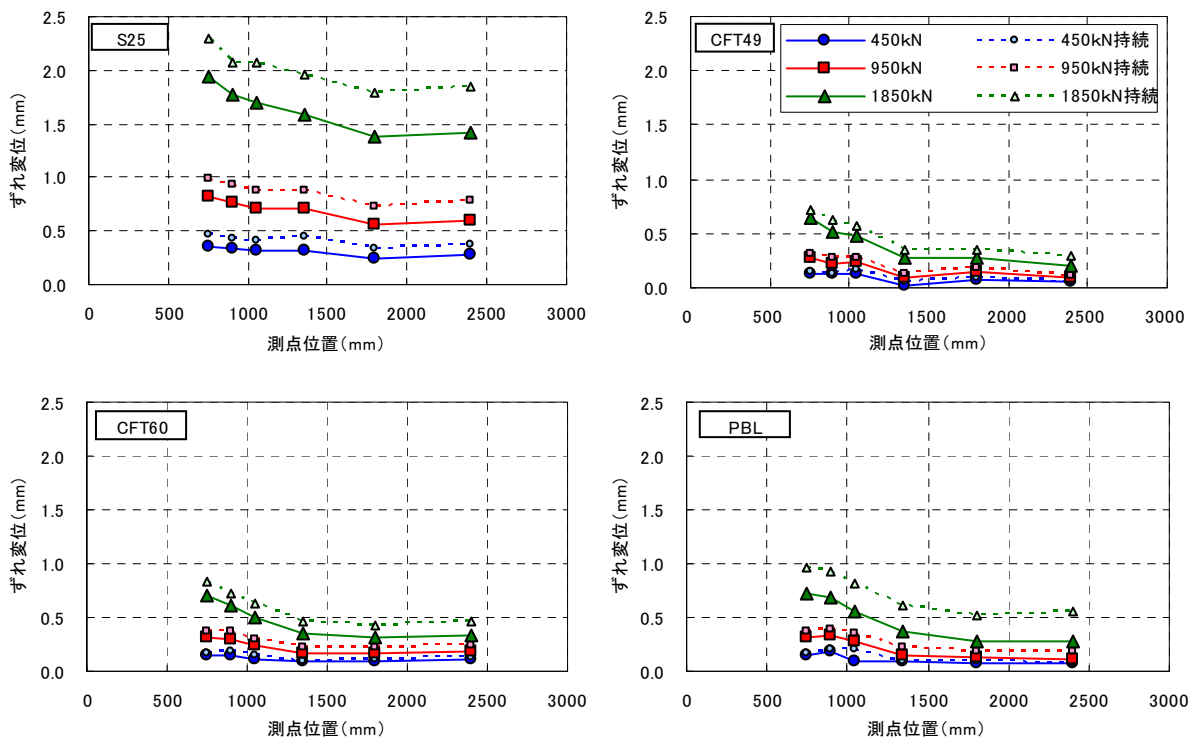


図-8 各試験体の载荷直後・持続後ずれ変位分布

定側の方が大きい。図-5 のせん断力負担が載荷側では減少して固定側では増加する傾向と一致している。図-9 に各試験体の持続荷重後のずれ変位増加量平均と持続荷重との関係を示す。どの試験体も持続荷重の増加に伴ってずれ変位の増加量も大きくなっている。S25 はどの荷重段階においても増加量が大きい。これは、鉄筋ジベルはずれ止めとしての径が小さく、ジベルを支えるコンクリートの支圧面積が小さくなってしまいうためコンクリートの損傷が大きくなると考えられる。PBL は 950 kN までは CFT49, CFT60 と同程度の増加量となっているが、1850 kN で増加量が大きくなっている。この原因としては、PBL は鋼板と鋼版孔に充填されたコンクリートとがせん断力に抵抗する。コンクリートが抵抗しているのは鋼板厚の範囲となるため面積が小さくコンクリートの損傷が 950 kN 以降に発生したと考えられる。これらより、鋼管充填モルタルジベルはずれ変位を小さく抑えられることが考えられる。

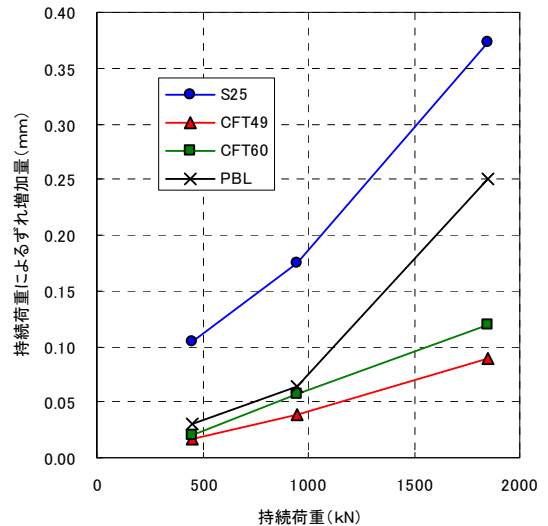


図-9 ずれ増加量-持続荷重関係

5. 結論

鋼材断面積が同等の孔あき鋼板ジベル、鉄筋ジベル、鋼管充填モルタルジベルを直列配置した場合のせん断力負担分布やずれ変位の特性について次の結論が得られた。

- (1) せん断力負担分布は鋼管充填モルタルジベル・鉄筋ジベルともにPBLと同程度であることが明らかとなった。
- (2) 荷重載荷時のずれ変位はPBLと鋼管充填モルタルジベルは同程度のずれ変位であるが鉄筋ジベルは大きなずれ変位を示した。
- (3) 鋼管充填モルタルジベルは持続荷重によるずれ変位の増加をPBLよりも小さく抑えられることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 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
- 2) 土木学会: 2009年制定複合構造標準示方書, pp. 64-67, 2009