

# 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

## Shear force distribution of connectors arranged in series under sustained load

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

著者らは、モルタルを充填した鋼管を鋼板孔に設置するずれ止め（鋼管充填モルタルジベルと呼ぶ）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）について、これまで主に2面せん断試験による検討を行ってきた。ここでは、直列に複数配置されたずれ止めに、片側から持続荷重を一定時間作用させた場合の挙動について検討した。力の作用方向に12個のずれ止めを配置した実験結果より、一般的な孔あき鋼板ジベル（PBLと呼ぶ）と比較すると鉄筋ジベルのせん断負担の経時変化が大きいことが分かった。また、いずれのずれ止めも、加力直後は引張端のせん断負担が大きいものの、時間の経過とともに荷重分担が均等化する傾向が認められた。

**キーワード：**鋼管充填モルタルジベル，鉄筋ジベル，せん断力負担分布

The authors have been studying on the shear capacity of developing new type connectors using mortar filled steel tube or reinforcing bar (Re-bar connector) which were inserted in perforated steel structure. In order to discuss about the distribution of shear load of each connectors arranged in series under sustained loading, push-out tests of these connectors arranged 12 to each specimen in series were connectors. It was observed that the change of shear force which time of the Re-bar connector was larger than that of PBL. In addition, the shear force near the loading side was observed to be high just after loading, but the distribution of the shear force tended to equalized with time in both connectors.

**Key Words:** Mortar filled steel tube , Re-bar connector , Shear force distribution

### 1. はじめに

著者らは、鋼管充填モルタルジベルや、鉄筋ジベルのせん断耐力について検討を行ってきた<sup>1)</sup>。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、直列配置した鋼管充填モルタルジベルや鉄筋ジベルがどのような挙動を示すかを明らかにする必要があります。そこで鋼板とコンクリートの接合部にずれ止めを12箇所直列配置し、配列方向に荷重を与えて一定期間放置する実験を実施した。実験は鋼材断面積が同等程度の鋼管充填モルタルジベル、鉄筋ジベルおよびPBLと孔径をPBLと同等程度とした鋼管充填モルタルジベルの4体を用いて実施し、せん断力の負担分布や経時変化について検討した。

### 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ずれ方向に対して孔あき鋼板孔部の内面に接するように設置する。

PBLは大きなせん断耐力を必要とし、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。鋼板孔径や鉄筋径を大きくする場合、これらの制限を受ける可能性がある。これに対し、鋼管充填モルタルジベルは鋼管厚を厚くすることで比較的大きなせん断耐力を得ることができる。鉄筋ジベルは鋼板孔径がPBLより小さく、配置箇所数を増やすことができる利点がある。

同程度の鋼材断面積を有する鋼管充填モルタルジベル

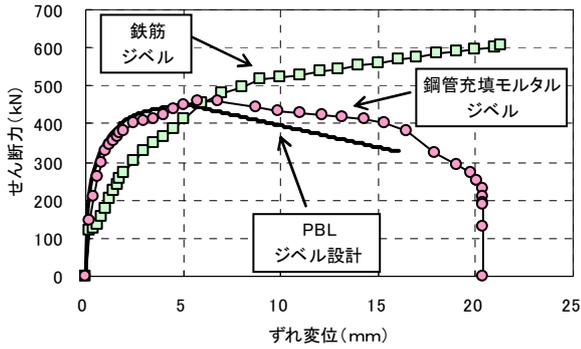


図-1 各種ずれ止めのせん断力とずれ変位関係

表-1 試験体種類一覧

記号	ジベル					
	種類	径と管厚	材質	鋼材断面積 (mm <sup>2</sup> )	長さ	鋼板孔径
S25	鉄筋	D25	SD345	506.7	200mm	30mm
CFT49	鋼管充填モルタル	φ 48.6 t=3.5mm	STK400	495.9		50mm
CFT60	鋼管充填モルタル	φ 60.5 t=3.2mm	STK400	576.0		62mm
PBL	孔あき鋼板	D25	SD345	506.7	400mm	62mm

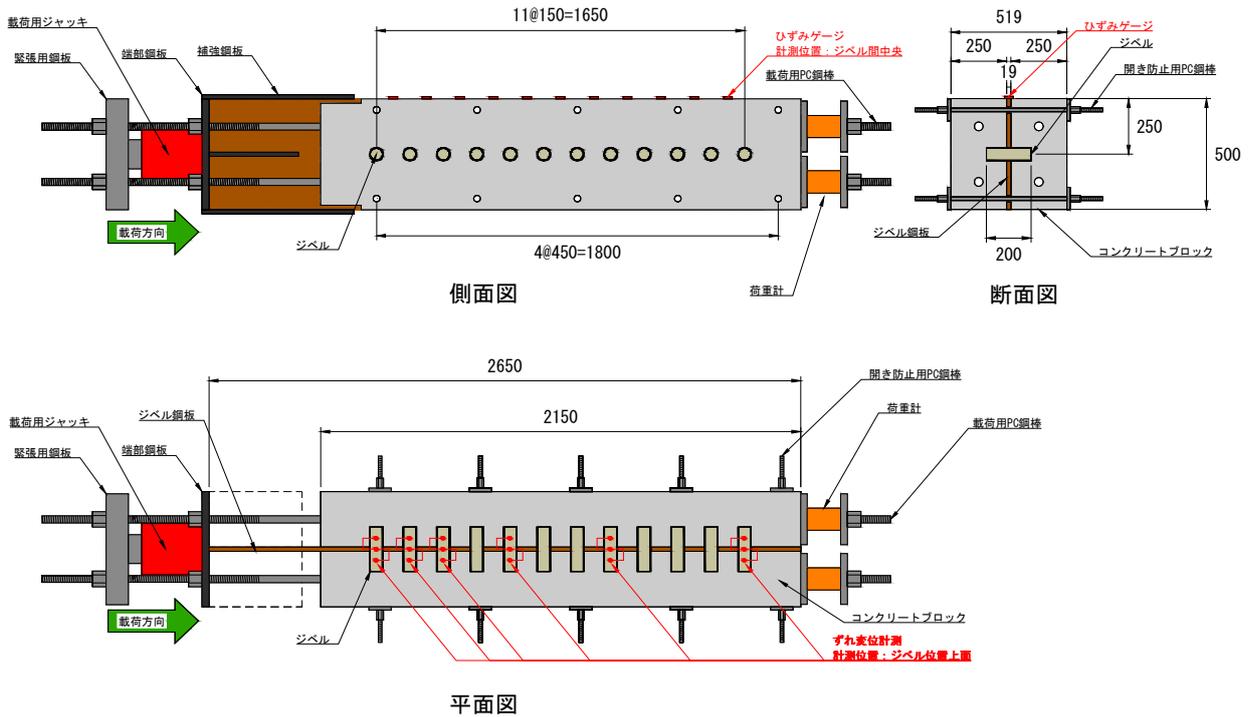


図-2 試験体形状

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<sup>1)</sup>。図の太線は複合構造標準示方書<sup>2)</sup>に示される貫通鉄筋を有するPBL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<sup>2</sup>である。鋼管充填モルタルジベルはPBLと同様な挙動を示し, 鉄筋ジベルは最大耐力が大きいが荷重初期の段階からずれ変位が増加する特徴がある。

### 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コンクリートを打ち込み一体化した。コンクリートブロックは長さ2150mm, 高さ500mm, 厚さ250mmである。コンクリートの圧縮強度は56.9N/mm<sup>2</sup>である。コンクリート内部にはコンクリートの破壊が先行しないようD16の帯筋を150mm間隔で配置した。荷重時コンクリートの開きを防止するためφ16mmのPC鋼棒を300mm間隔で上下に配置した。PC鋼棒がせん断力に抵抗しないよう配置孔のずれ方向に対して後方側に配置し, PC鋼棒張力はコンクリートと鋼板の摩擦力の増加を極力発生させないように1kNに設定した。実験で使用したずれ止めの種類を表-1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

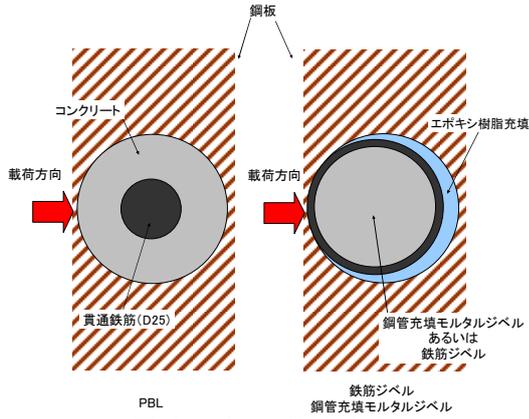


図-3 ジベル設置概要

表-2 持続荷重保持期間

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

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  $76.3\text{N/mm}^2$  である。S25 は D25 鉄筋 (SD345) 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には D25 鉄筋 (SD345) を使用した。CFT49, CFT60, S25 のジベル長さは 200mm で PBL 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を同程度に設定した。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、隙間をエポキシ樹脂で充填した。PBL の貫通鉄筋は鋼板孔の中央に配置した。載荷用にコンクリートには 4ヶ所シースを配置し、PC 鋼棒をアンボンドで配置している。PC 鋼棒の緊張端は緊張用鋼板に定着しており、固定端は鋼板および荷重計を介して定着している。コンクリートから露出した鋼板部は座屈を防止するために補強鋼板を溶接し、ジベル鋼板端部には PC 鋼棒定着用の端部鋼板を溶接した。緊張は緊張用鋼板と端部鋼板の間に油圧ジャッキを設置して緊張し、所定の荷重で端部鋼板にナット定着した。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相対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<sup>2)</sup>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, および 1/3 (450kN, 950kN, および 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、設定期間経過後に次の荷重を載荷した。各荷重での保持した期間を表-2 に示す。

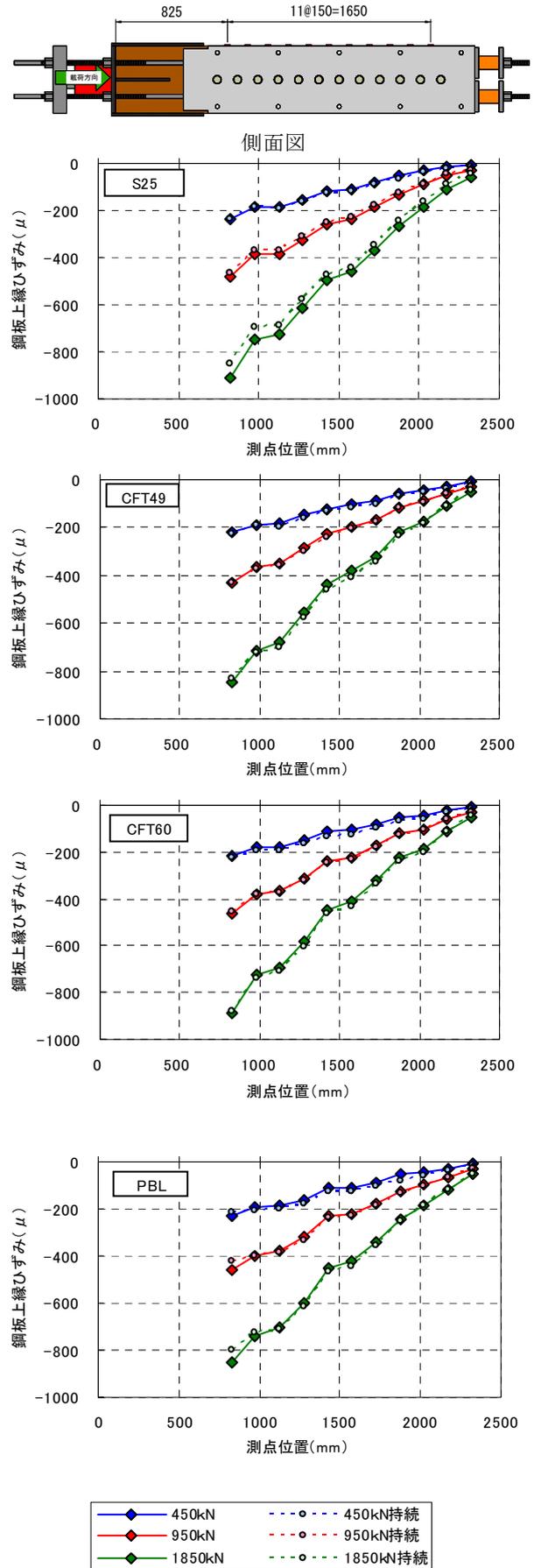
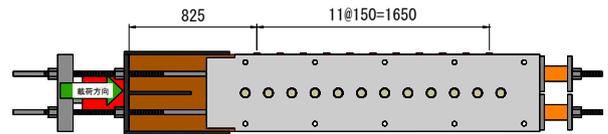


図-4 各試験体の鋼板ひずみ分布

表-3 鋼板ひずみから算出したジベルの負担割合

試験体種類	載荷荷重 (kN)	①1箇所あたり最大鋼板ひずみ差	②1箇所あたり計算値鋼板ひずみ差	計算値に対する最大ひずみ差の割合 ①/② (%)
		( $\mu$ )	( $\mu$ )	
S25	450	52	20	264
	950	97	42	232
	1850	169	81	208
CFT49	450	37	20	187
	950	69	42	166
	1850	129	81	159
CFT60	450	36	20	182
	950	82	42	196
	1850	164	81	202
PBL	450	48	20	245
	950	84	42	202
	1850	153	81	188



側面図

#### 4. 実験結果および考察

##### (1) 鋼板ひずみ

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のひずみ、点線は荷重保持後のひずみである。鋼板ひずみは緊張側から固定側にかけて減少する傾向にある。

表-3に示す1箇所当たりの鋼板ひずみ差は、1個のずれ止めをまたぐ鋼板ひずみ測定値の差である。表には測定範囲の中で最大の鋼板ひずみ差（最大鋼板ひずみ差）と計算値を併せて示した。鋼板ひずみ差の計算値は式(1)から算出した。

$$\varepsilon = \frac{P}{A_s \times E \times 12} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon$  : 鋼板ひずみ差 ( $\mu$ )、 $P$  : 載荷荷重 (N)、 $A_s$  : 鋼板断面積 ( $\text{mm}^2$ )、 $E$  : 弾性係数 ( $\text{N/mm}^2$ )

各試験体において最もせん断力を負担しているずれ止めは、計算値の159%～264%を負担していることが確認できる。

##### (2) 持続荷重が荷重分担に与える影響

荷重保持後の鋼板のひずみ分布を図-4に点線で示した。荷重保持後のひずみは各荷重の載荷直後と比較してほとんど変化していない。図-5に1850kN載荷直後と荷重保持後のずれ止め位置前後の鋼板ひずみ差を示す。荷重保持前後のひずみ差を比較すると負担が大きかった緊張側では若干減少し、載荷直後の負担が小さかった固定側では若干増加する傾向が認められる。以上から、本試験の荷重保持期間の範囲で、ずれ止めが負担するせん断力はわずかであるが平均化する傾向が認められた。

##### (3) ずれ変位

各荷重でのずれ変位分布を図-6に示す。ずれ変位はず

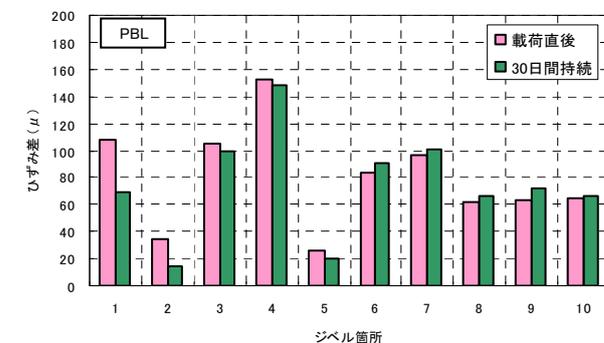
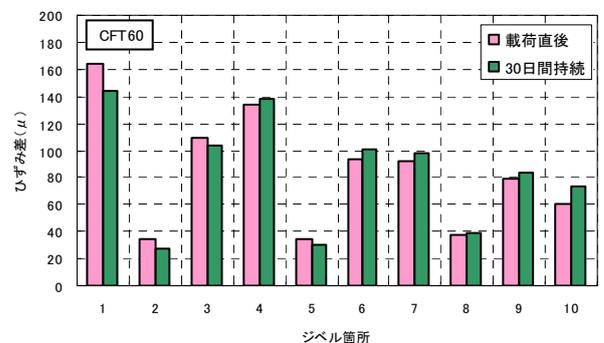
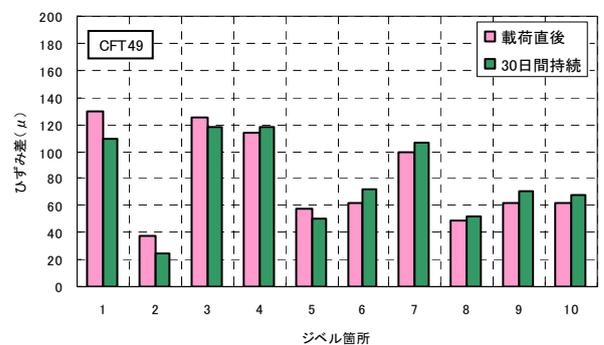
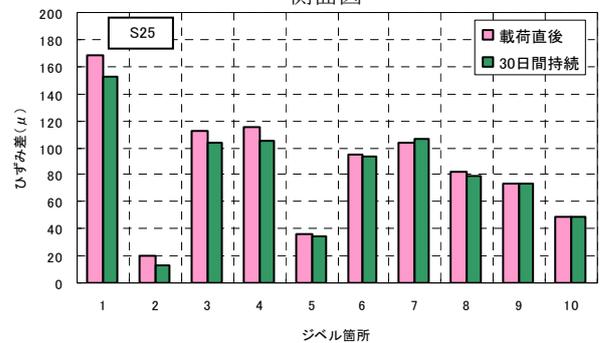
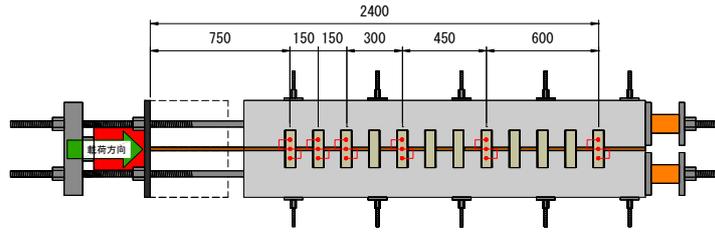


図-5 各試験体 1850kN 時鋼板ひずみ差

れ止めが配置されている試験体上部の鋼板とコンクリートブロックの相対ずれ変位である。図より、全試験体で緊張側のずれ変位が大きい傾向にあることがわかる。こ



平面図

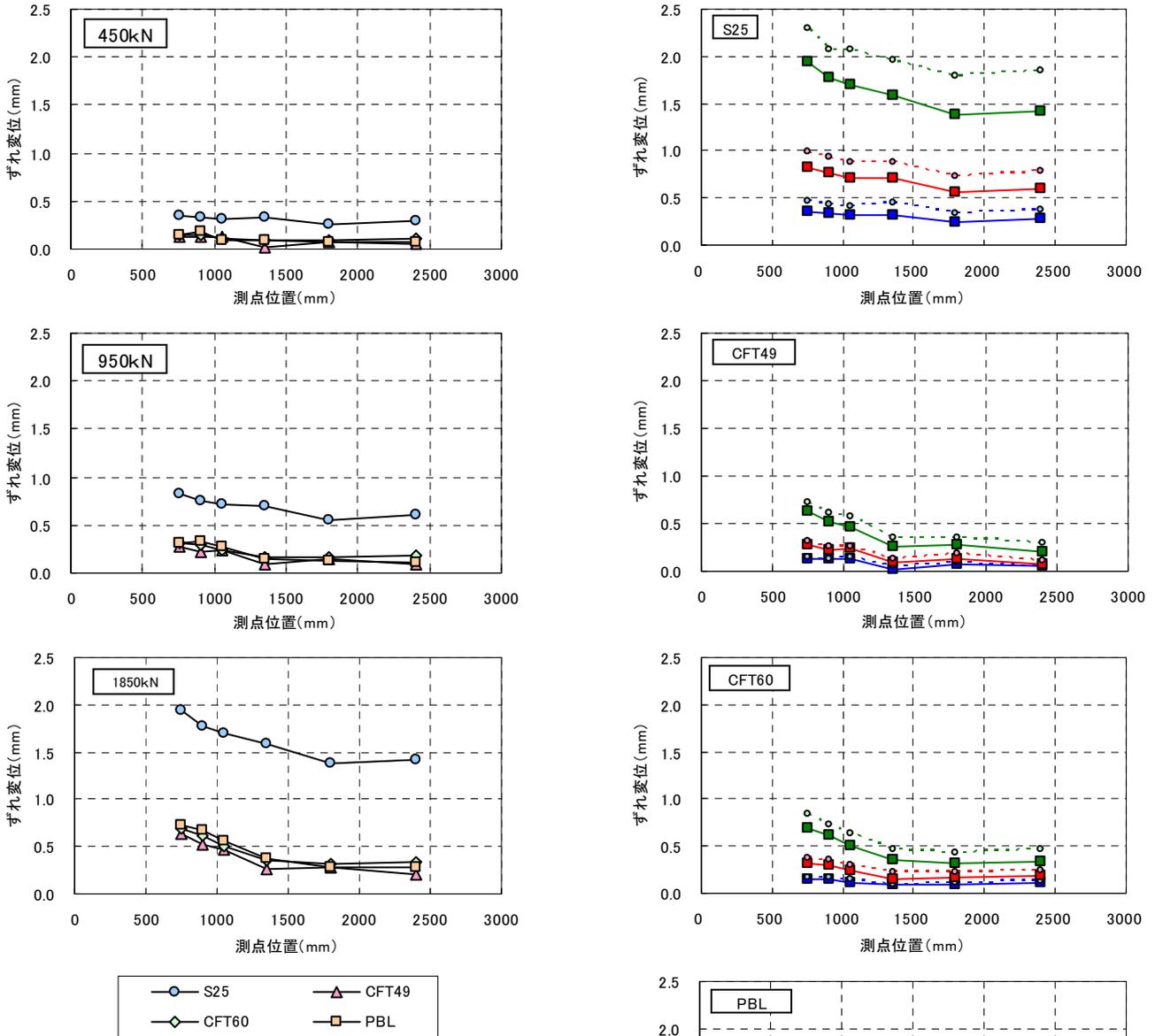


図-6 各荷重でのずれ変位分布

これは、せん断力の負担が緊張側で大きいことを示している。CFT49, CFT60, PBLのずれ変位は各荷重で同程度である。S25は他のずれ止めよりもずれ変位が大きい。

図-1に示すように、鉄筋ジベルはCFTやPBLに比べて載荷初期からずれ変位が大きいと考えられる。

(4) 持続荷重によるずれ変位への影響

図-7に各試験体の載荷直後と荷重持続後におけるずれ

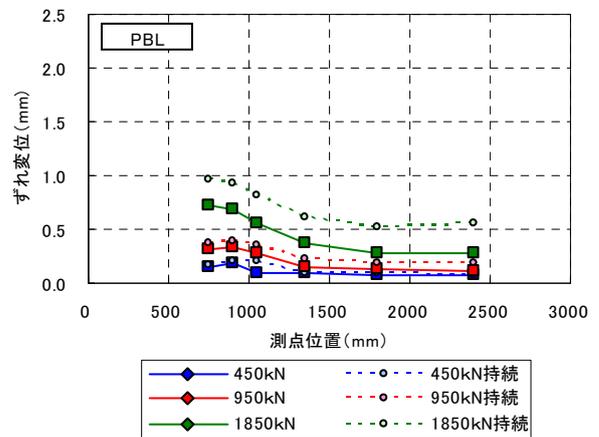


図-7 載荷直後・持続後におけるずれ変位分布

変位分布を示す。実線は載荷直後、点線は荷重保持後のずれ変位である。持続荷重によりずれ変位は増加しており、保持後のずれ変位の増加傾向はすべての試験体で固定側の方が大きい。図-8に各試験体の持続荷重作用中のずれ変位増加量の平均値と持続荷重との関係を示す。いずれの試験体も持続荷重の増加に伴ってずれ変位の増加量は大きくなっている。S25は他のジベルに比べ、いずれの荷重段階においても増加量が大きい。PBLは950kNまでCFT49、CFT60と同程度の増加量であったが、1850kNで増加量が急増している。この原因として鋼管充填モルタルジベルは鋼板と鋼管との支圧によって抵抗するのに対して、PBLは鋼板と鋼版孔に充填されたコンクリートとが鋼板厚の範囲でせん断力に抵抗するため、コンクリートの損傷が950kN以降に発生したと考えられる。

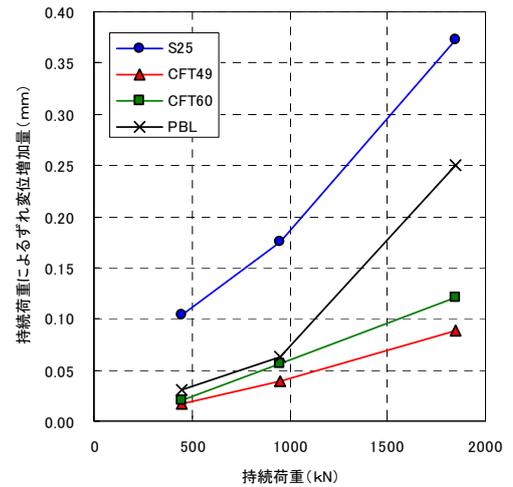


図-8 ずれ変位増加量 - 持続荷重関係

図-9にS25のずれ変位の増加量と時間の関係を片対数グラフに示す。ずれ変位の増加量は最も負担が大きい緊張側の値である。ずれ変位増加量は荷重保持の初期に大きく増加し、その後、時間(対数)に対して直線関係を示す。載荷荷重が大きいほど傾きも大きい。約20日を超えると傾きは若干緩やかになり収束する傾向が認められる。この結果より、鉄筋ジベルは他のジベルに比べて初期のずれ変位は大きい。最大耐力の1/3以下の荷重範囲であれば、ずれ変位が急増することなく接合性能を損なう可能性はないものと推測される。

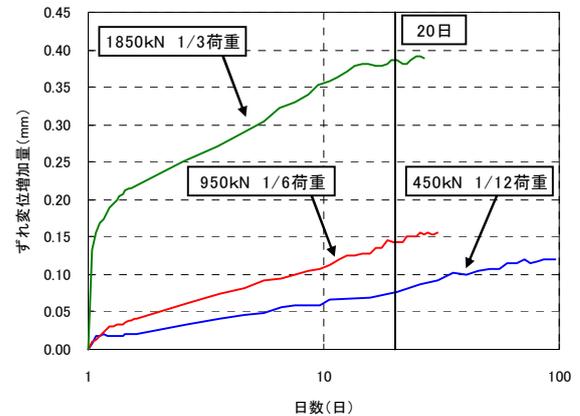


図-9 S25 ずれ変位増加量と時間の関係

## 5. 結論

鋼材断面積が同等のPBL、鉄筋ジベル、鋼管充填モルタルジベルを直列配置した時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 鋼板ひずみによる荷重載荷時のせん断力負担分布は、どのずれ止めも同様な挙動を示し、緊張側のずれ止めのせん断力負担が大きい。ずれ止め1箇所が負担する最大のせん断力は、全ずれ止めが均等に負担した場合よりも1.6～2.6倍程度大きい。
- ② 持続荷重による荷重分担への影響は、鋼板ひずみおよびずれ変位から、載荷時に負担が大きい緊張側では減少し、負担が小さい固定側では増加する傾向があり、せん断力負担が平均化する傾向を示す。
- ③ 荷重載荷時のずれ変位は、PBLと鋼管充填モルタルジベルで同程度であるが鉄筋ジベルは若干大きなずれ変位を示し、持続荷重によるずれ変位の増加も若干大きい。
- ④ 鉄筋ジベルのずれ変位の増加量は初期に大きく、おおむね20日程度で収束する傾向を示す。

## 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