

報告 ショートジベルのせん断伝達機構

長澤 保紀*¹・平田 義弘*²・福田 英二*³

要旨：鉄筋コンクリート壁間に設けるショートジベルのせん断伝達について、壁間の隙間と埋め込み長さを変化させて実験を行った。破壊状況はぜい性的ではなく、十分にじん性に富んだものであり、せん断伝達力も設計的に十分期待し得ることを確認した。せん断伝達機構について棒部材モデルでの説明を試み、適用が可能であることを得た。

キーワード：ジベル、曲げ、せん断、定着

1. はじめに

大規模な地下構造物において地下水による構造物全体の浮き上がりを防止する方法として、その周囲に仮設山留壁として用いる地中連続壁（以下、連壁と称す）の重量を利用する場合がある。この場合、内部掘削の後、連壁内部に構築される構造物側壁を結合鉄筋などで連壁と剛結合するのが一般的である。しかし、構造物側壁コンクリート打設後の水和熱や、供用時に構造物と連壁との間に温度差が大きい場合には、水平方向に収縮差が生じ、これを連壁が拘束するために側壁コンクリートに水平方向の引張力を生じさせることになる。そこで、側壁の水平方向の収縮変位を拘束しないように他方をスリップバーとし、さらに、かぶりの中で収まるように埋め込み長さを短くして施工性の向上を図ったジベル筋（以下ショートジベルと称す）が検討された。[1] そこでは高強度コンクリートを使用した場合にジベル筋を後施工アンカーとして検討していたのに対して、本検討では、連壁側に前施工アンカーとして配置する場合で、かつ、側壁コンクリートを普通強度に変えた場合に着目し、すきまを有するショートジベルのせん断耐力とその耐荷機構および破壊モードについて実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

対象とする連壁部に埋設するさや管長さを 90 mm ならびにジベル筋長さを 210 mm 一定とし、連壁と側壁の間のすきまを 3 水準に変化させ、かつ、さや管に代わるスパイラルシース管も 1 水準に加えて、表-1 に示す要因と水準を設定した。

2.2 試験体

表-1 試験体の要因と水準

試験体 名称	すきま d (mm)			ジベル 直径 φ (mm)	固定部さや 管理込長 (mm)	スリップ側 埋込長 (mm)	ジベル 全長 (mm)	ジベル孔
	5	15	25					
S1	○			38	90	115	210	さや管
S2		○				105		
S3			○			95		
S4		○				105		スパイラルシース

*1 清水建設（株）技術研究所 構造技術研究部 主席研究員（正会員）
 *2 清水建設（株）土木東京支店 土木第2部 工事長
 *3 清水建設（株）土木本部 設計第2部（正会員）

試験体の形状および配筋状況を図-1に示す。試験体を3つのコンクリートブロックで構成し、各々のブロック間にショートジベルを2本ずつ、計4本配置した。実構造物との対比でみるならば、中央ブロックが連壁を、左右の側部ブロックが側壁を

模擬したものである。ショートジベルを配置する部分は鉄筋が配置されていない120 mmのかぶりとした。中央ブロックのさや管は、図-2に示されるように、取付用鋼板に固定してコンクリート打設中でも所定の位置に保持されるように型枠に取付けた。また、実際の連壁建造時のスライムや泥膜の付着を想定して、管の外周にグリースを塗布し、その後

に中央ブロックのコンクリートを打設した。材齢4日で脱型し、さや管内を清掃して、エポキシ樹脂を充填し、ジベルを90 mm挿入して固定した。スパイラルシース管の場合にはスパイラルシース管を引き抜いた後、孔内を清掃して、エポキシ樹脂を充填しジベルを挿入固定した。エポキシ樹脂硬化後（ジベル挿入1日後）、ジベルの露出部分にはコンクリートとの付着を防止するためにテープを巻きつけた。材齢7日経過後、中央ブロックと側部ブロックとのすきまの確保は所定の厚さの発泡スチロール板を中央ブロックに貼付けることを行い、これを側部ブロックの型枠代わりに利用してコンクリートを打設した。試験体は若材齢期間中はコンクリート打設上面に散水湿布養生を行い、その後3ヶ月間屋外に放置した後、実験に供し

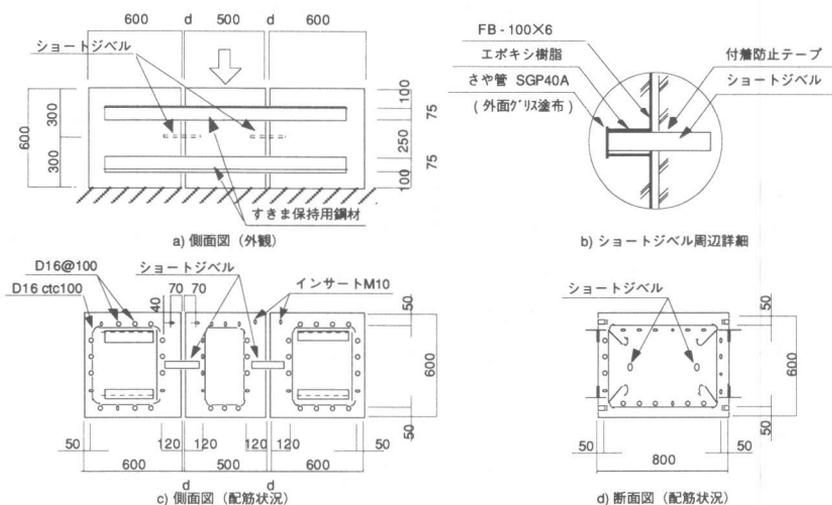


図-1 試験体の形状および配筋状況

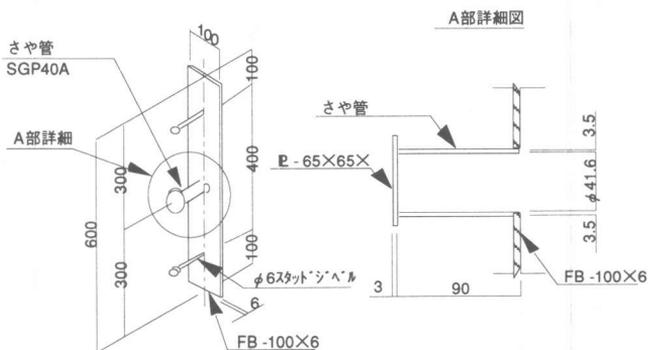


図-2 ジベルを挿入するさや管の形状

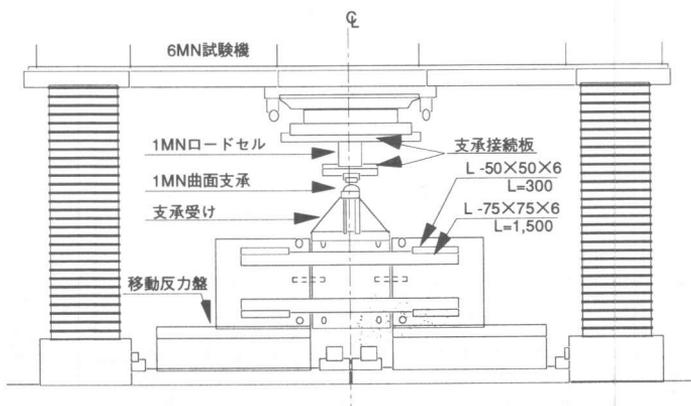


図-3 試験体載荷状況

た。側部ブロックの両側面には、図-1に示すようにすきま保持用と実験時の発生偶力抵抗用を兼ねたアングルを上下に2本設置した。

2.3 荷重方法および計測項目

荷重方法としては、図-3に示すように、6MNアムスラー型試験機を用いて中央ブロックを鉛直に押し下げる方法で単調荷重にて実施した。左右の側部ブロックは支承反力台上に据え付け、中央ブロック下に100mm程度まで鉛直変位が可能な空間を設けた。

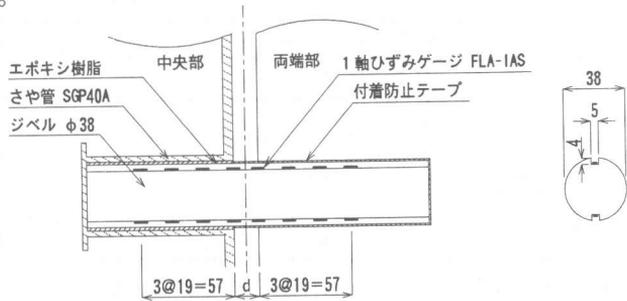


図-4 ジベルひずみ計測位置

計測項目としては、1) 鉛直方向荷

荷荷重、2) すきまを挟むブロック上下位置での水平変位、3) すきまを挟むブロック上側での鉛直変位、4) ジベルの上下位置での軸方向ひずみ(図-4参照)、5) コンクリート表面ひびわれとした。

2.4 使用材料

実験で使用した主な材料の力学的特性を以下に示す。

ジベル筋：丸鋼φ38mm(SS400相当)、 $f_{sy} = 285 \text{ N/mm}^2$ 、 $f_{su} = 440 \text{ N/mm}^2$

さや管：内径φ41.6mm(SGP40A)管厚3.5mm

コンクリート：中央ブロックで $f_{ck} = 68.3 \text{ N/mm}^2$ 、側部ブロックで $f_{ck} = 37.2 \text{ N/mm}^2$

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

図-5にジベル設置面のコンクリート破壊状況ならびにひびわれ状況を示す。S1~S2試験体においては、中央ブロックのさや管周辺に損傷がみられず、中央ブロックが鉛直下方向に変形することによって、左右の側部ブロックのジベル下側コンクリートを圧壊・剥離させ、かつ、左右の

側部ブロックのジベル孔を中心に放射状に顕著なひびわれが発生することで終局に至っていた。S3試験体においては、S1~S2試験体における側部ブロックコンクリートのジベル孔まわりの放射状のひびわれが発生していない点異なるが、同様な終局状態を示していた。S4試験体においては、中央ブロックの片面のジベル孔上側にも圧壊・剥離が生じており、左右の側部ブロックのジベル下側コンクリートを圧壊・剥離させることで終局に至っていた。S1~S2試

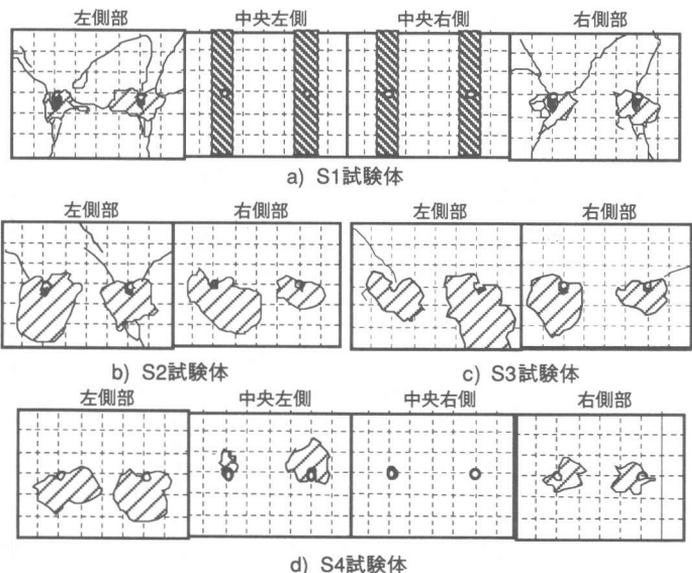


図-5 ジベル孔周辺破壊状況

表一 2 実験結果一覧表

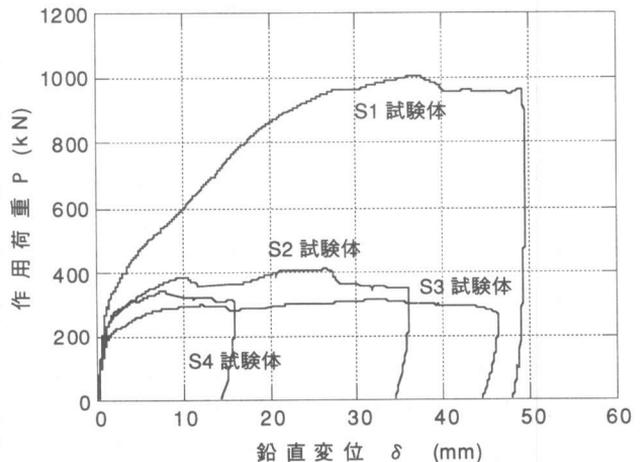
	S1	S2	S3	S4
ジベル降伏平均荷重 (kN)	235	180	154	181
コンクリート圧壊荷重 (kN)	483	262	233	284
最大荷重 (kN)	1007	411	315	345
ジベル平均降伏時変位 (mm)	0.80	0.76	0.81	0.80
コンクリート圧壊時変位 (mm)	5.44	1.87	3.11	2.29
最大荷重時変位 (mm)	36.74	26.47	33.06	7.70

験体において中央ブロックの圧壊・剥離が生じなかったのはさや管固定用取付鋼板が中央ブロックに十分に定着されていたためと考えられ、取付鋼板がないS4試験体の中央ブロックではジベル孔上側にも圧壊・剥離が生じたものと考えられる。また、S4試験体の中央ブロックの剥離領域は側部ブロックの領域よりも小さかったが、これは、中央ブロックのコンクリート強度が側部ブロックに比して大きいためと考えられる。ジベル孔を中心とする放射状のひびわれの発生については、S3試験体ではすきまが25mmと広いために、S4試験体では中央ブロックと側部ブロックの両方で圧壊・剥離が生じたために、ジベルの抜け出しが発生して耐力が低減しジベル孔周辺の応力集中を緩和したためと考えられる。ジベルの残留変形から判断すると、ジベルは両端固定のはりとしての挙動ではなく、側部コンクリート側のジベルに荷重が作用した片持ちばり的な変形状態となっていた。

3.2 変形性状

図一6に各試験体における作用荷重Pと鉛直変位 δ の関係を示す。鉛直変位 δ は、各計測点で得た鉛直変位から、中央ブロックと側部ブロックの相対鉛直変位を平均した値である。また、表一2には各試験体において4本のジベルが降伏した荷重平均値、コンクリートの圧壊が始まった荷重値、最大荷重値、ならびに、それぞれの荷重値における鉛直変位を示す。これらの結果から、S1~S3試験体においては、ジベルの降伏(約0.8mm)まではほぼ直線的な弾性挙動を示し、その後、非線形な挙動を示して終局に至っており、少なくとも30mm以上、すなわち降伏時の変形の40倍以上の変形能力を有していた。荷重値としては、すきまが大きくなるにしたがって、ジベルの降伏・コンクリートの圧壊・最大荷重ともに小さくなる傾向を示した。さや管の代わりにス

パイラルシースを用いてジベル孔を作製したS4試験体においては、すきまが同じS2試験体よりも最大荷重において20%程度低い値を示した。この理由としてはS4試験体の中央部にFB-100×6を配置していないために中央部ジベル孔周辺が損傷したことがあげられる。S4試験体の鉛直変位が15mmに留まった理由については、ジベル周辺の損傷によって中央ブロックの回転が大きく生じたため、中央ブロックと側部ブロックが接触すると判断し、載荷を中止したため



図一6 各試験体における荷重と鉛直変位の関係

であり、この結果からでは変形能力の評価は困難といえる。

3.3 ひずみ性状

S1 試験体のジベル No1 において降伏荷重までに得られたひずみ分布を図-7 に示す。同図から軸力成分よりも曲げ成分が卓越していることが明らかであり、4本のジベルでの曲げモーメント分布を求め、ジベル1本当たりの曲げモーメント分布を各試験体ごとに求めて整理した。さらに、ジベル1本あたりに作用するせん断力 ($P/4$) で曲げモーメント

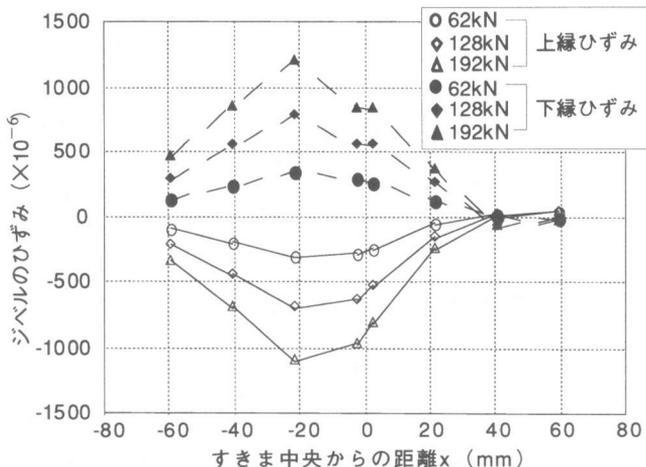


図-7 ジベルのひずみ分布 (S1 試験体 No.1 ジベル)

を除した結果、すなわち、モーメントアーム長に換算した結果を図-8 に示す。同図から、モーメントアーム長分布は、作用荷重によってわずかに変化するが、ほぼ一定の分布を示し、モーメントアーム長が最大となる位置は中央ブロックの界面から内部へ15 mm 前後入った位置であり、各試験体でのモーメントアーム長の最大値は、順に、約27 mm、約33 mm、約37 mm、約33 mm と推定され、すきまが大きいとモーメントアーム長も大きくなる傾向を示した。

3.4 せん断伝達機構

既報によれば、ショートジベル降伏時のモーメントアーム長は $(d + 0.5 \phi)$ で表現できるとしており、今回の実験結果 $(d + 0.6 \sim 0.3 \phi)$ はほぼ同様な結果を示しているといえる。しかし、限られた狭い水準での実験的結論であって設定条件の変化に応じた検討は困難と考えられることから、より広範囲な検討が可能なショートジベルの伝達機構として図-9 のようなモデルを想定し

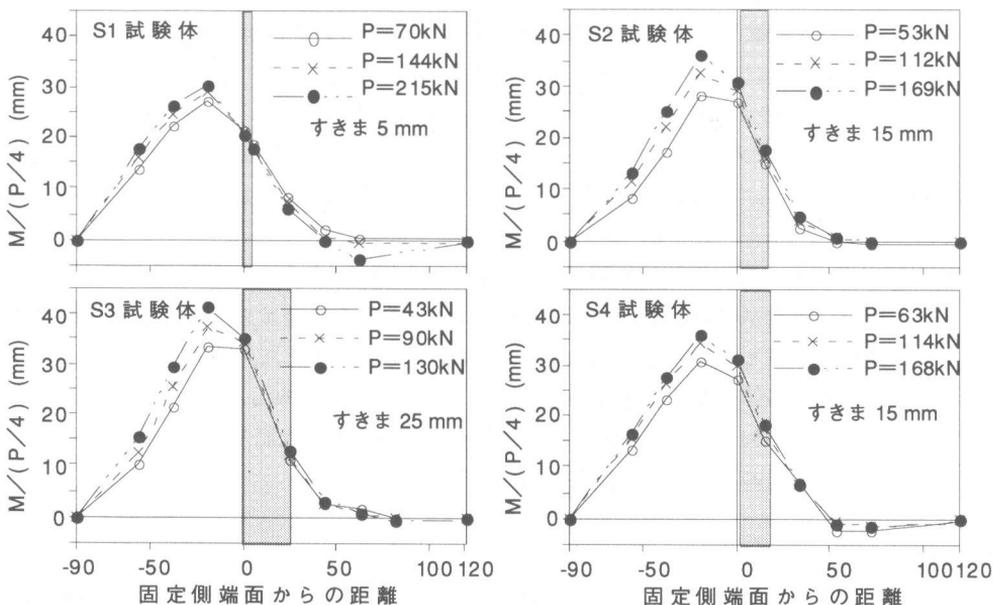


図-8 各試験体における曲げモーメントアーム長の分布

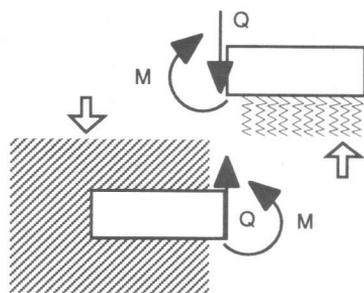


図-9 せん断伝達モデル

た。すなわち、弾性体の中に片端が埋め込まれ、他方に曲げモーメントとせん断力が作用する棒部材モデルを考え、これに、弾性支承上にあつて片端に曲げモーメントとせん断力が作用する棒部材モデルを複合させたものである。このモデルを使って実験結果にシミュレートさせたところ、図-10に示すように、すきまの中央においてモーメントアーム長 20 mm のモーメントとせん断力を作用させた場合がよく一致する結果を得た。

4. まとめ

実験結果および今回の検討から以下のような事項が明らかとなった。

- (1) ショートジベルの破壊状況はぜい性的ではなく、ジベルの降伏に対して十分じん性的であり、配置されたジベルはすべて一体として耐荷能力を発揮できる。
- (2) ショートジベルの降伏荷重・コンクリート圧壊荷重・最大耐力は、すきまが小さいと大きくなる傾向を示す。その値は、ショートジベル 1 本当たりに換算すると、すきまの幅が 25 mm ~ 5 mm の変化に対して、降伏荷重 39 ~ 59 kN、圧壊荷重 58 ~ 121 kN、最大荷重 79 ~ 252 kN であった。
- (3) ショートジベルのせん断伝達機構は、単なる片持ちはりとしての耐荷機構ではなく、コンクリート中に片端が埋め込まれ、あるモーメントアーム長を有するせん断力が他端に作用する棒部材モデルと、弾性支承上にあつて片端にその反力としての曲げモーメントとせん断力を受け持つ棒部材モデルを複合することで説明が可能であることが判った。

今後、既往のデータ [1] ならびに新たな実験データをもとに、上記モデルの適用性について詳細に検討し、より合理的な設計式の提案を行いたい。

参考文献

- [1] 妹島淳生ほか：埋込長の短いスリップバー方式ジベルのせん断耐力に関する実験的研究、土木学会第 49 回年次学術講演概要集 V-5、pp1098-1099、1994 年 9 月

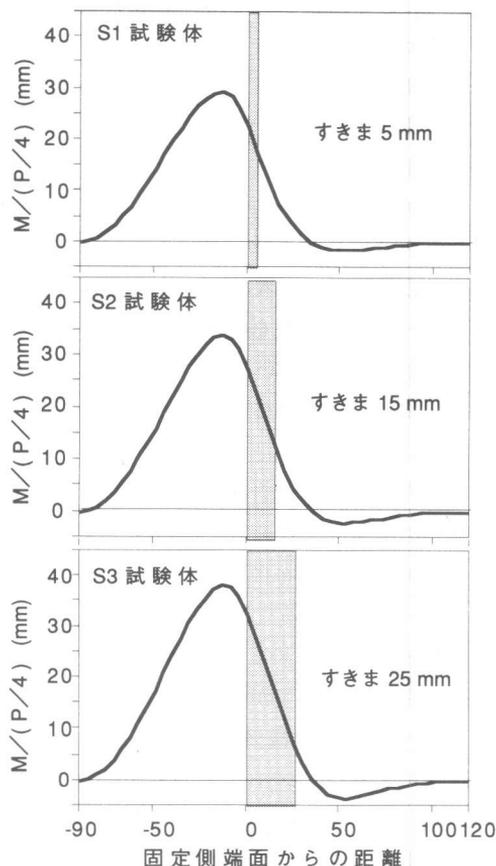


図-10 曲げモーメントアーム長の計算値