

直列に配置したジベルの引抜き挙動に関する実験的研究

三井住友建設(株)	技術開発センター	正会員	○篠崎	裕生
三井住友建設(株)	技術開発センター	正会員	浅井	洋
三井住友建設(株)	技術開発センター	正会員	三加	崇
三井住友建設(株)	技術開発センター	正会員	三上	浩

1. はじめに

スタッドジベルや孔あき鋼板ジベルは、簡易に比較的大きなせん断抵抗力が得られるため、合成桁橋や波形鋼板ウェブ橋などで接合部のずれ止めとして多く用いられている。一般的にこれらの橋梁におけるジベルの設計では、接合面に作用するせん断力の変化が比較的緩やかなため、ジベルを一定数毎にグループ分けして1本あたりの平均せん断力を算出することが行われる。一方、例えば合成桁とPC桁など異種桁同士を直接接合する部位においては、多数のジベルを配置した鋼殻構造やPC桁内にジベルを配置した鋼桁を直接埋め込み接合する方法¹⁾などが採用されるが、この場合には短い区間で接合するためジベルが負担するせん断力の変化が比較的大きく、その分布に留意する必要があるとされている²⁾。そして、具体的な検討方法として、ジベルをバネとしてモデル化したFEM解析などが提案されている。

著者らは、穴あき鋼板ジベルを用いて、せん断力分布が大きく変化する状況を再現した実験を実施してその挙動の分析を行ってきた^{3), 4)}。再現方法は、穴あき鋼板ジベルを深さ方向に直列に配置した鋼材をコンクリート部材から引き抜くことにより行った。これまでに、浅い位置に配置されたジベルはコンクリート破壊の影響を受けてせん断伝達耐力が小さくなることや、これらの影響を考慮した非線形バネモデルを用いて比較的精度良く引き抜き挙動を評価できることなどを示した。

ここでは、新たに実施したスタッドジベルの引き抜き試験と穴あき鋼板ジベルの配置方法を変えた引き抜き試験、さらに、これらを非線形バネモデルにより解析した結果を報告する。

2. 実験の概要

引き抜き試験の模式図を図-1に示す。1000×1000×600mmの大きさのコンクリートブロックにジベルを配置した鋼板を埋め込み、2箇所配置した油圧ジャッキにより上方の溝形鋼を持ち上げて引抜き力を与える。2つのジャッキは1つの油圧ポンプに並列に接続し、2箇所で同じ荷重が作用するようにしている。コンクリートブロック内には、図-2に示すようにD19の鉄筋を配置した。

試験体の種類および形状寸法を図-3に示す。

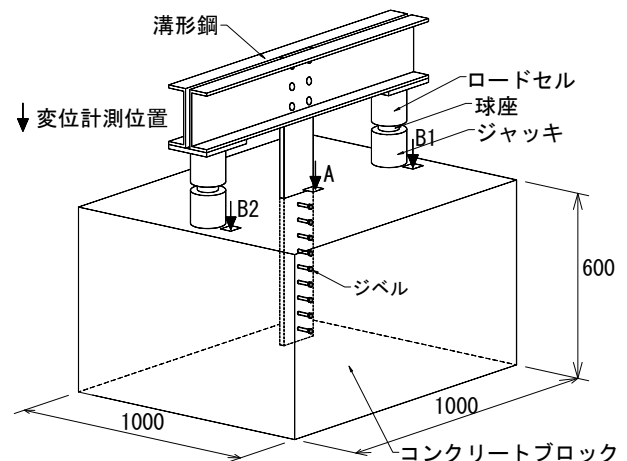


図-1 引き抜き試験の模式図

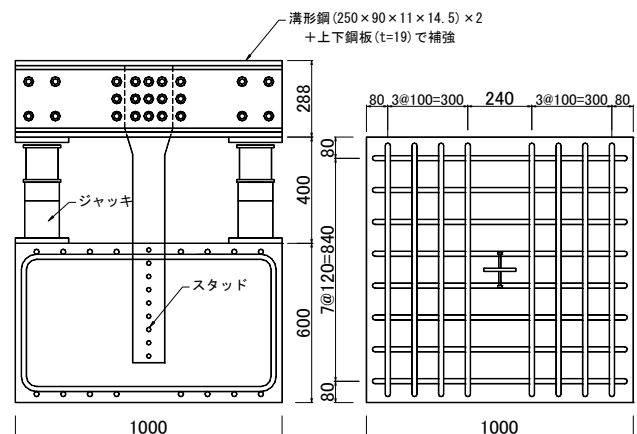


図-2 引き抜き試験装置形状寸法および配筋

S9-1試験体はスタッドジベルを9段配置したものである。スタッドは鋼板の両面に配置しているので計18本となる。スタッドはφ8mm、長さ60mmで、市販品であるφ16mmの1/2の形状寸法である。このスタッドについては、“頭付きスタッドの押し抜き試験方法・同解説(案)⁵⁾”にしたがって押し抜き試験を実施しており⁶⁾、せん断伝達耐力がほぼφ16mmスタッドの1/4(寸法比の2乗)となることを確認している。S1-1試験体はスタッドを深さ75mmの位置に1段配置したものである。これは、S9-1試験体のコンクリート表面から2段目のスタッドに相当し、当該位置におけるスタッドの破壊性状とせん断伝達挙動を確認することを目的としている。

C6T-1試験体は6段の穴あき鋼板ジベルを配置したものである。ジベルの孔径は35mm、貫通鉄筋はD10である。貫通鉄筋の長さは全長で600mmとして十分な定着長を確保している。鋼板断面はT形となっており、鋼桁などの上下フランジにジベル用の鋼板を取り付けた状態を想定している。既報³⁾においては、T形断面ではなく平鋼に6段のジベルを配置した実験(C6-1試験体)を実施しておりこの結果と合わせて比較検討する。C3-2試験体は、深さ方向に3段×2列に穴あき鋼板ジベルを配置し、ジベルが近接して配置された場合の影響を確認するものである。ジベルの列方向の配置間隔は $2 \times \phi$ (ϕ はジベルの孔径)とした。これ以外に、鋼板表面の摩擦が耐力に与える影響を確認するためにジベルのない平鋼(N試験体)の引抜き試験を実施した。

以上の試験体で用いた鋼板の厚さは、文献²⁾で計算した最大引抜き荷重においても降伏しないように、12mmとした(C6T-1は母材が12mmでジベル鋼板の厚さは9mm)。鋼板の材質はSM490とした。コンクリートの圧縮強度はC3-2試験体が 41.4N/mm^2 、それ以外の試験体は 33.1N/mm^2 である。鋼材の材料特性値を表-1にまとめて示す。

荷重方法は、コンクリート面からの鋼板の拔出し変位が0.5mmに達するまで荷重制御による単調荷重、その後は変位制御により、0.5mmずつの漸増繰返し荷重を行った。拔出し変位は、図-2の鋼材拔出し変位計測点Aの値からジャッキ位置に

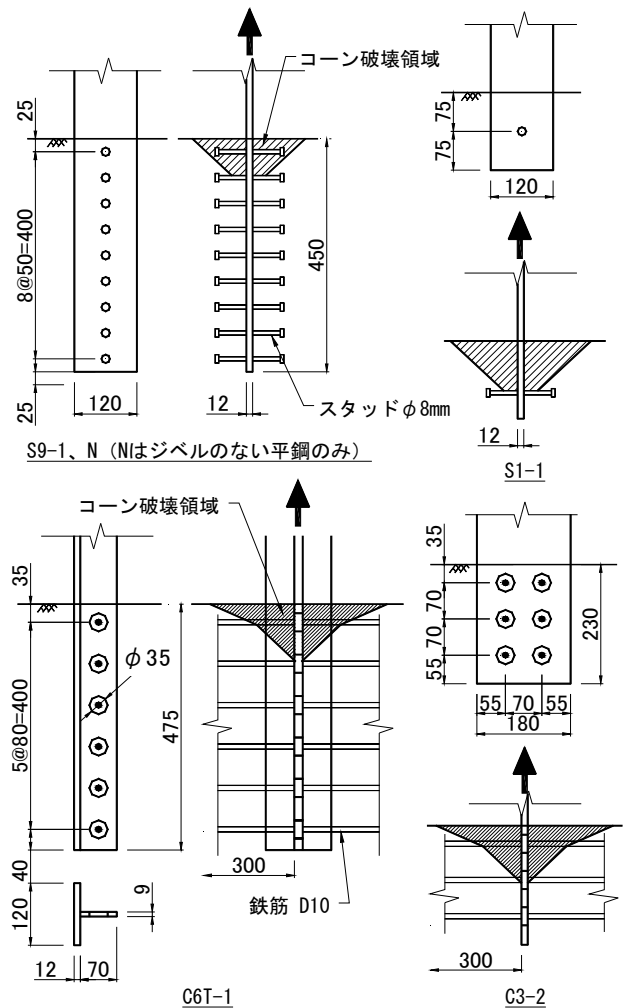


図-3 試験体一覧

表-1 鋼材の材料特性値

項目	スタッドφ8mm	鉄筋 D10
降伏強度(N/mm ²)	366	386
引張強度(N/mm ²)	482	546
弾性係数(N/mm ²)	—	195500

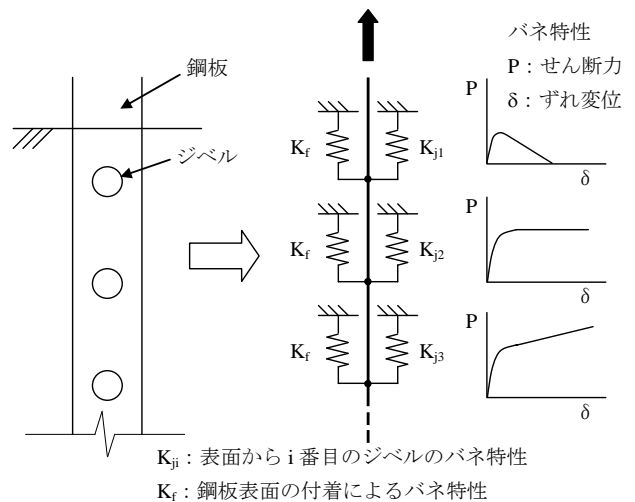


図-4 非線形バネモデル

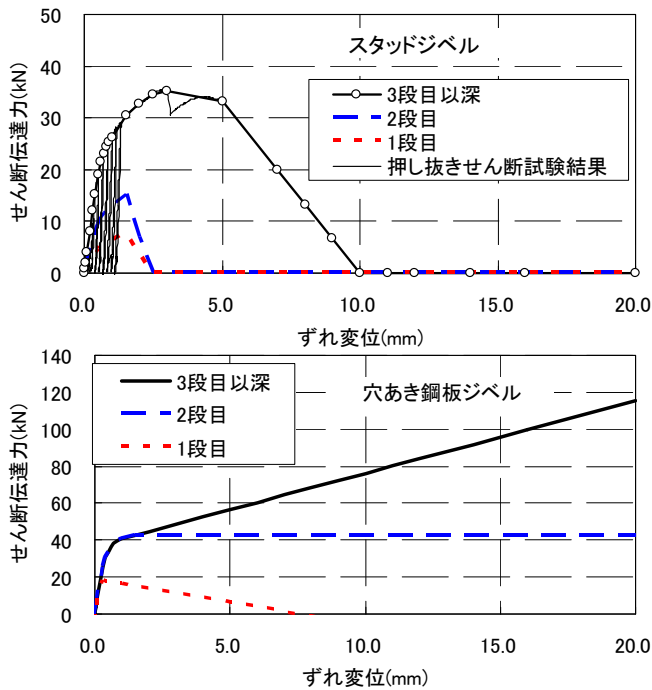


図-5 各ジベルで設定したずれ変位とせん断伝達力の関係

における鉛直変位 (B1,B2) を差し引いて求めた。

3. 解析の概要

非線形バネを用いた解析モデルの概要を図-4に示す。鋼板を棒要素でモデル化し、ジベル位置に相当する節点において、鋼板の付着特性をモデル化したバネと、

ジベルのずれ変位-せん断伝達力関係をモデル化したバネを並列に配置して不動点と接続する。鋼板の付着特性は、図-6のN試験体の実験結果を基に解析により同定した。

スタッドのバネ特性は、先に述べた押し抜きせん断試験結果の包絡線をそのまま用いた。そして浅い位置のバネ特性は、S1-1試験体の結果により表面から2段目の特性を決め、さらに表面に最も近いものは単純にせん断伝達耐力をその1/2とした。穴あき鋼板ジベルのバネ特性は、既報⁴⁾で配置深さごとに設定したモデルをコンクリートの強度の補正 (せん断伝達耐力が強度比の平方根に比例すると仮定) をして用いた。スタッドと穴あき鋼板ジベルのバネ特性をまとめて図-5に示す。

4. 実験と解析の結果

図-6は、ジベルのない鋼板のみのN試験体の結果である。70kN程度まで荷重が増加した後、急激に抜け出し変位が増加し荷重が大きく低下した。その後50kN程度の荷重を保持していた。深さ方向の要素分割長さを50mmとして、各節点に図中に示す摩擦によるずれ変位-せん断伝達力関係を付与したモデルで解析をした結果が赤線である。最大荷重までは良く実験結果と一致している。ピーク以降は鋼板の摩擦を過大に評価しないよう一定の割合で耐力が低減するよう設定した。

ジベルを配置した試験体は、いずれも浅い位置にあるジベルの影響により、図-3に示すようなコーン破壊が比較的低い荷重で生じた。図-7はS1-1試験体の結果である。最大荷重48.9kN時にコーン状の破壊を生じて荷重が低下した。2段目および1段目のスタッドの特性はこの実験結果を基に決定した。赤で示した解析値はここで決定した特性と摩擦バネを考慮したものである。

図-8はS9-1試験体の結果である。変位 2.0~2.5mmにおいてコーン破壊によるひび割れが生じ、最大荷重 (420kN) 到達時に一部スタッドが破断して荷重が低下するとともにコンクリートブロックに

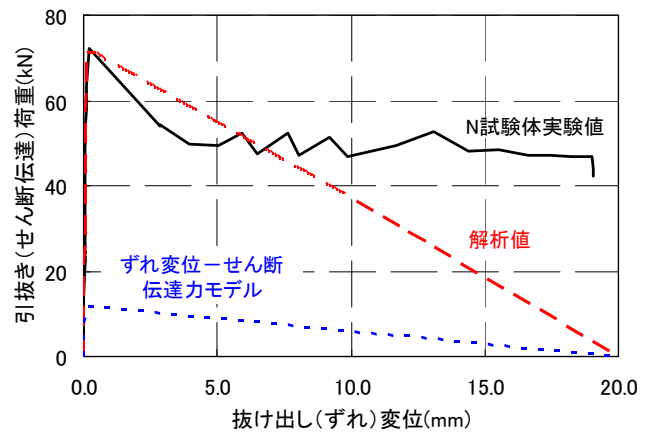


図-6 鋼板摩擦のモデル化と解析結果

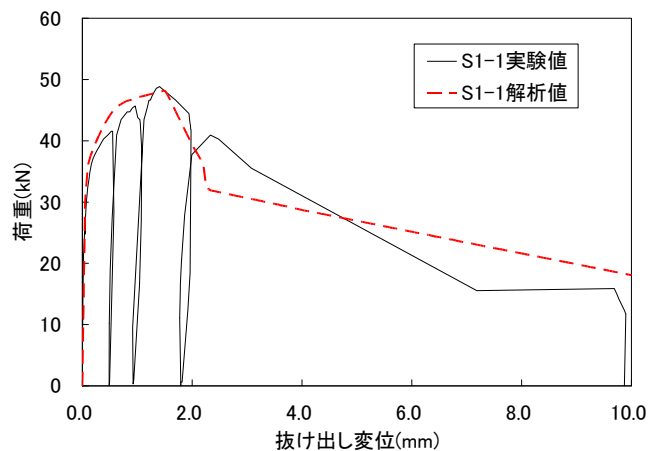


図-7 S1-1 試験体

縦方向のひび割れが生じた。解析値は荷重初期の挙動は概ね良好に再現しているが、耐力を若干小さく評価していることと、ポストピークの挙動に比較的大きな差異が見られた。縦ひび割れにより上方が引張、下方が圧縮となる曲げがブロックに生じて下方の鋼板の拘束が大きくなったことなども考えられる。

図-9は穴あき鋼板ジベルを6段配置したC6T-1試験体の結果である。抜き出し変位1.5~2.0mmでコンクリート表面にコーン破壊による円周状のひび割れが見られ、荷重の増加が緩やかになった。その後徐々に荷重が回復し変位20mm付近で複数の貫通鉄筋が破断する音が確認され、荷重が大きく低下した。平鋼の結果⁴⁾と比較すると、破壊の性状は同様であり、T断面にすることで鋼板の摩擦が増えた分耐力が上昇した。解析結果は摩擦も考慮しているため良好に試験体の挙動を評価できている。図-10は穴あき鋼板ジベルを2列で3段配置した試験体である。C6T-1と同じジベル数であるが、浅い位置に多く配置されているため耐力は小さくなっている。解析値はジベルが近接して配置されている影響は考慮していないが、引抜き挙動を良好に追跡できていることから、70mm (2×φ) の間隔でジベルを列方向に配置しても近接による影響は無視できることが分かった。

5. まとめ

スタッドと穴あき鋼板ジベルについて深さ方向に多段に配置した場合の引抜き挙動について実験と非線形バネによる解析を実施した。ジベルの配置位置によってバネの特性を変えること、および鋼板表面の摩擦の影響を適切に考慮することで、引抜き挙動を概ね良好に再現できることが分かった。

参考資料

- 1) 篠崎、浅井、西村、春日：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, 2011.7
- 2) 土木学会：2009年制定複合構造標準示方書、2009.12
- 3) 篠崎、三上、中島、川上：孔あき鋼板ジベルの引抜き耐力に関する実験的研究、三井住友建設技術

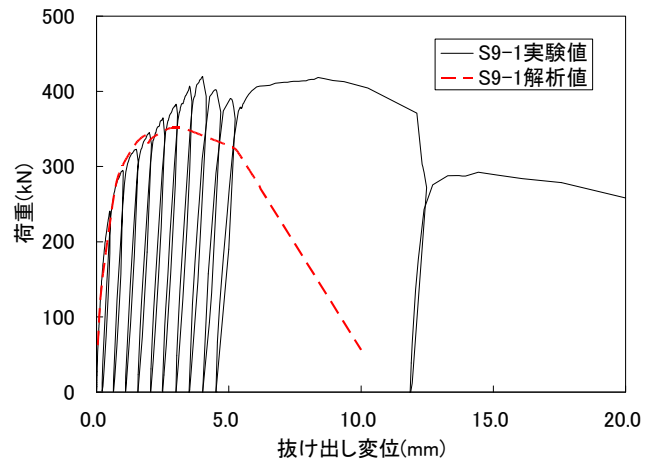


図-8 S9-1 試験体

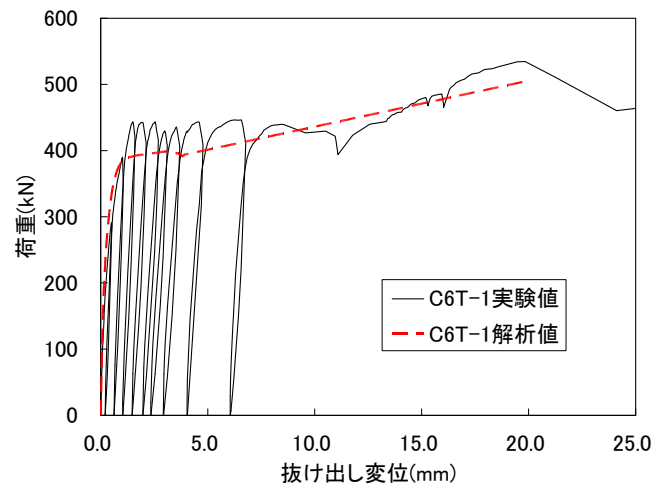


図-9 C6T-1 試験体

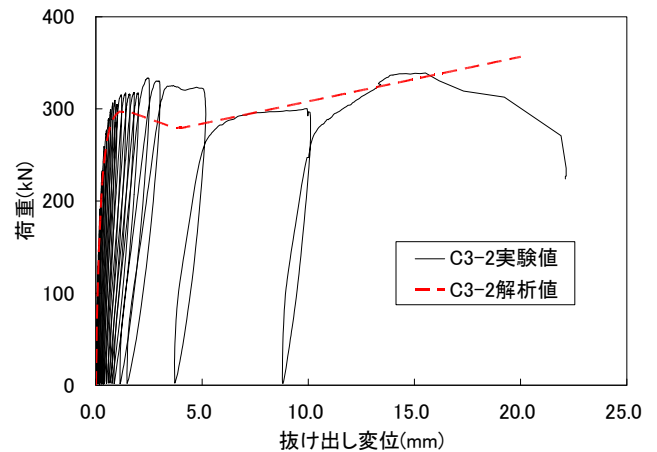


図-10 C3-2 試験体

研究所報告 第5号, pp.51-56, 2007

- 4) 篠崎、竹之井、浅井、三上：孔あき鋼板ジベルの引抜き耐荷挙動のバネモデルによる評価、三井住友建設技術研究所報告 第7号, pp.85-89, 2009
- 5) 日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押し抜き試験方法・同解説(案)、1996.11
- 6) 土橋浩：分合流部を有するシールドトンネル拡幅構造接合部の応力伝達機構の実験的検証および数値解析による評価、東京大学博士論文、2008.12