鋼製セグメントとRC躯体接合部を想定したフランジを有する孔あき鋼板ジベルの引張実験

清水建設株式会社　正会員　○仲山賢司　吉武謙二　波多野正邦　フェロー会員　輿石正己
首都高速道路株式会社　正会員　岸田政彦　副島直史
清水・東急特定建設工事共同企業体　正会員　小川卓

1. はじめに

著者らはトンネルの切り開き部などを対象として，太径鉄筋などを用いた鋼製セグメントと RC 躯体の接合方法などについて検討を行ってきた[1)]．ここでは，フランジを有する孔あき鋼板を用いたセグメント主桁を巻き込まない，より簡易で省スペースで施工可能な接合工法を提案した（**図１**，**図２**）．接合部は複合応力状態になるが，本報では，引抜力が作用する場合の性状を把握することを目的として，引張実験を実施し，実験結果をもとに設計手法を提案した．

2. 実験概要

試験体はトンネル分岐合流部を想定した実大モデルとした．試験体の形状寸法を**図３**に示す．試験要因は孔あき鋼板先端部のフランジ鋼板（幅 60mm，厚さ 19mm）の有無である（**表１**）．孔あき鋼板ジベルは，径 70mm の孔を 1 断目に 3 箇所，2 段目に 2 箇所設け，各孔には貫通鉄筋（D19）を配置した．貫通鉄筋は端部定着板（PL-50×50×19）を用いて定着した．実験時のコンクリートは圧縮強度 28 N/mm^2, 割裂引張強度は 2.6 N/mm^2，弾性係数は 32 kN/mm^2 であった．鋼材の材料試験結果を**表２**に示す．試験体は，**図４**に示すように 2 台の 3MN ジャッキの荷重と変位が等しくなるように載荷を実施した．荷重は 3MN ロードセルにて，鋼材の抜出し変位をコンクリート基部において計測した．

3. 実験結果

荷重－変位関係を**図５**に，最大荷重時の実験状況とはつり調査時の鋼材の損傷状況をそれぞれ**図６**，**図７**に示す．

試験体 T-WF では 1,400kN でひび割れが発生し，荷重－変位関係の勾配が若干緩くなった．その後，2,600kN 付近で鋼板が降伏し，3,936kN で孔を貫通して鋼材破断し荷重が低下した．試験体 T-NF では 1,150kN でひび割れが発生し，荷重－変位関係の勾配が緩くなった．その後，1,360kN で貫通鉄筋が降伏し，1,738kN

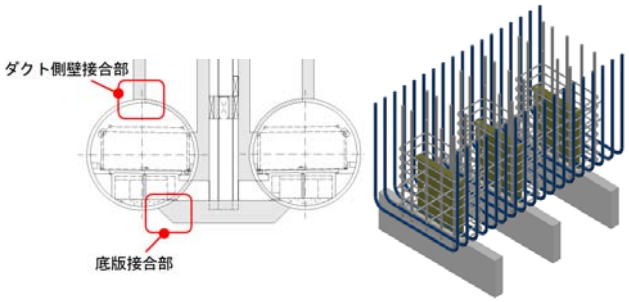

図１ 接合部イメージ　　図２ 接合部詳細

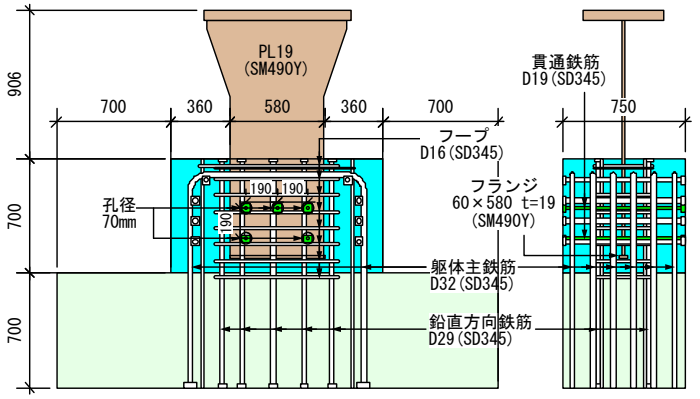

図３ 試験体図（試験体 T-WF）

表１　試験体および実験結果

試験体名	フランジの有無	孔あき鋼板厚さ (mm)	孔数	引抜き耐力	
				実験値※1 (kN)	設計値※2 (kN)
T-WF	あり	19	1段目-3箇所 2段目-2箇所	3,936 (1.07)	3,672
T-NF	なし			1,738 (0.74)	2,340

※1：（）内は設計値との比率．
※2：T-WFは**式(3)**，T-NFは**式(1)**により算定した．
γ_b=1.0として，材料試験結果を用いた．

表２　材料試験結果

鋼材仕様	適用箇所	降伏点 (N/mm^2)	弾性係数 (kN/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
SM490Y (t=19)	孔あき鋼板フランジ部	378	192	533
SD345 (D16)	せん断補強筋	363	183	509
SD345 (D19)	貫通鉄筋	387	183	590
SD345 (D29)	鉛直方向鉄筋	382	184	583
SD345 (D32)	躯体主鉄筋	374	178	567

キーワード　孔あき鋼板ジベル，複合構造，分岐合流部，引張，支圧
連絡先　〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目１６－１　ＴＥＬ 03-3561-3897

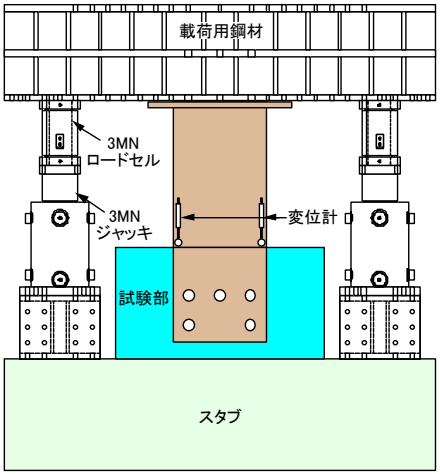

図４ 載荷装置図

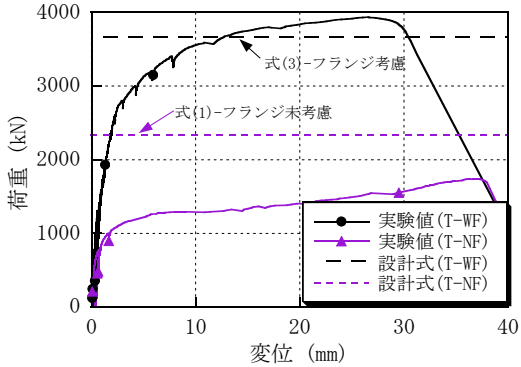

図５ 荷重－変位関係

で貫通鉄筋が破断し荷重が低下した.試験体 T-WF はフランジ付近からのひび割れが多く発生した.

実験における引抜き耐力と**式(１)**に基づく[2]算定値の比較を**表１**に示す. f'_{cd}, f_{ud} は材料試験結果を用い, 部材係数 γ_b は 1.0 とした.

$$V_{psud}=(1.85A-26.1\times10^3)/\gamma_b \quad \textbf{式(１)}$$

$$A=\pi(d^2-\phi^2)\times f'_{cd}/4+\pi\phi^2\times f_{ud}/4 \quad \textbf{式(２)}$$

$$(\text{ただし, } 4.01\times10^4<A<3.83\times10^5)$$

V_{psud} : PBL の孔 1 個あたりの設計せん断耐力(N),
γ_b:部材係数 (1.0～1.3), d:孔径(mm), ϕ :貫通鉄筋径(mm), f'_{cd}:コンクリートの設計圧縮強度(N/mm^2)
f_{ud}:貫通鉄筋の設計引張強度(N/mm^2)

フランジを有する試験体 T-WF の引抜き耐力はフランジのない試験体 T-NF の 2.3 倍で, それぞれ**式(１)**の算定値の 1.07 倍, 0.74 倍程度であった.試験体 T-WF ではフランジによる耐荷機構により算定値より引抜き耐力が高くなった. **式(１)**は押抜きせん断試験を基に算定されている. 今回の実験は押抜きせん断試験と比較して, 載荷条件の相違により孔あき鋼板ジベル付近の拘束効果が低かったため, 試験体 T-NF で引抜き耐力が低くなったと考えられる. フランジ面の支圧耐力を**式(１)**に累加した**式(３)**で試験体 T-WF の引抜き強度

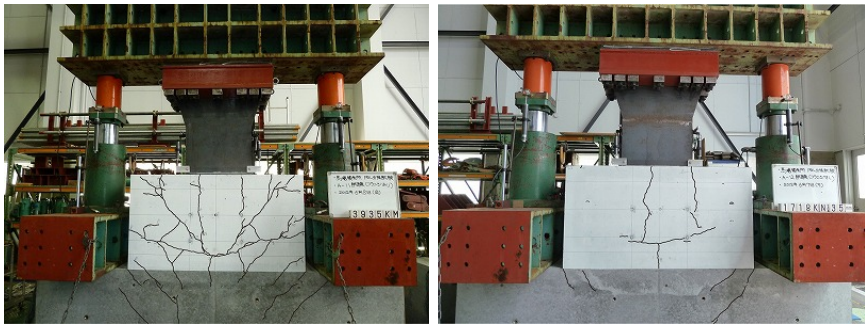

図６ 最大荷重時実験状況（左：T-WF, 右：T-NF）

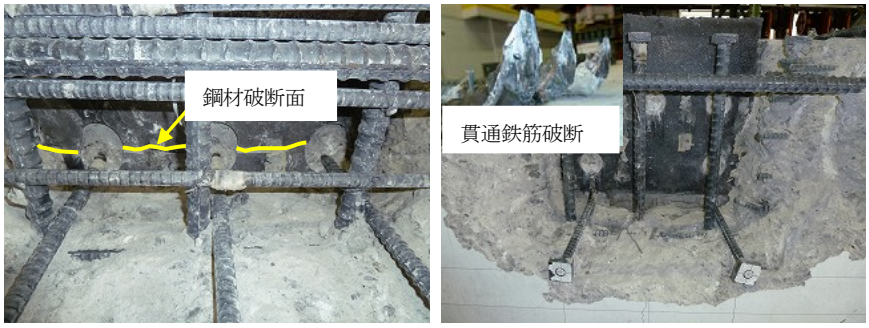

図７ 鋼材損傷状況（左：T-WF, 右：T-NF）

を算定する.

$$V=(V_{psud}+V_{fu})/\gamma_b \quad \cdots \quad \textbf{式(３)}$$

$$V_{fu}=f_{ak}\cdot(b_f-t)\cdot b_p \quad \cdots \quad \textbf{式(４)}$$

V_{fu} : フランジ前面の支圧耐力(N), f_{ak} :コンクリートの支圧強度(N/mm^2)[3], b_f :フランジの幅(mm), t:PBL 鋼板の板厚(mm), b_p : PBL 鋼板の幅(mm)

V_{fu}=1,332kN, V=3,672kN となり実験での引抜き耐力との比率は 1.1 となり, フランジの支圧強度を累加しても実験を安全側に評価可能である.

5. まとめ

フランジを有する孔あき鋼板を用いた簡易な鋼製セグメントと RC 躯体の接合工法を提案し, 引張実験を実施した. 従来式にフランジの支圧耐力を累加した式を提案し, 実強度を用いて引抜き耐力を評価した.

その結果, ①フランジを有する試験体 T-WF の引抜き耐力はフランジのない試験体 T-NF の 2.3 倍で, それぞれ従来の**式(１)**の算定値の 1.07 倍, 0.74 倍程度であること, ②孔あき鋼板のせん断耐力にフランジの支圧耐力を累加した**式(３)**と試験体の引抜き耐力との比率は 1.1 であり, 実験を安全側に評価可能である, ことが明らかになった.

【参考文献】

1) 森健太郎, 高梨智之, 井上啓明, 吉武謙二:鋼材とRCとの複合構造物の太径鉄筋を用いた接合部の直接せん断実験, 土木学会第59回年次学術講演会講演概要集Ⅴ-341, pp. 679-680, 2004.
2) 土木学会：複合構造標準示方書 2009年制定
3) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編 2012年制定