

# 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曲げ実験

清水建設株式会社 正会員 ○波多野正邦 吉武謙二 仲山賢司 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抜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<sup>1)</sup>。ここでは、RC 躯体と鋼製セグメントの接続部にフランジを有する孔あき鋼板を用い、鋼製セグメントを巻き込まない、より簡易に省スペースで施工可能な接合工法を提案した(図1, 2)。本報では曲げが作用する場合の実験結果と設計手法について報告する。

## 2. 実験概要

試験体は鋼製セグメントと RC 躯体の接合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)の有無と孔あき鋼板の厚さ(フランジ鋼板有:19mm, 無:22mm)である(表1)。孔あき鋼板は、径70mmの孔を1段目に3箇所、2段目に2~3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。セグメント主桁をモデル化した鋼材(100×100×920)の左右に孔あき鋼板を溶接しRC躯体を設置した。試験時のコンクリートは圧縮強度38 N/mm<sup>2</sup>, 割裂引張強度は3.5 N/mm<sup>2</sup>, 弾性係数は34 kN/mm<sup>2</sup>であった。鋼材の試験結果を表2に示す。

荷重装置を図4に示す。試験体は両端から150mmの位置でテフロン支承により単純支持した。孔あき鋼板の位置で純曲げ状態となるように、荷重荷点間隔を1,300mmとした。1MN ジャッキによりテフロン板を介して荷重した。荷重荷重および鉛直変位、孔あき鋼板ジベルの抜き出し量とひずみを計測した。

## 3. 実験結果

試験結果を表1に、荷重と試験体中央の鉛直変位関係および水平目開き関係を図5, 図6に示す。また、最大荷重時の実験状況と圧縮側コンクリートの損傷状況をそれぞれ図7, 図8に示す。

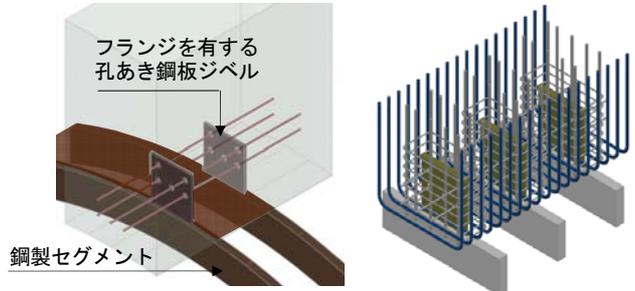


図1 セグメントと RC 躯体接続部 図2 接合部の詳細

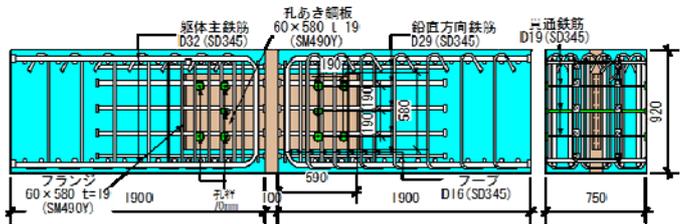


図3 曲げ試験体図(試験体 F-WF)

表1 試験体および試験結果

試験体名	フランジの有無	孔あき鋼板厚さ(mm)	孔数	曲げ耐力 P(kN)		終局曲げモーメント M(kNm)		
				実験値 <sup>*1</sup>	設計値 <sup>*2</sup>	合計 M <sub>tot</sub> +M <sub>0</sub>	PBL (M <sub>plb</sub> )	フランジ (M <sub>fl</sub> )
F-WF	あり	19	1段目-3箇所 2段目-2箇所	1,599 (1.08)	1,482	879	607	272
F-NF	なし	22	1段目-3箇所 2段目-3箇所	986 (1.03)	952	575	575	0

\*1: ()内は設計値との比率。  
 \*2: 設計曲げ耐力は自重による曲げモーメント(M<sub>0</sub>=27.2kNm)を考慮した次式により算定した。  
 $M = P/2 \times 1.15 + M_0$

表2 材料試験結果

鋼材仕様	適用箇所	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
SM490Y (t=19)	孔あき鋼板フランジ部	378	192	533
SM490Y (t=22)	孔あき鋼板	389	188	531
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

いずれの試験体も試験機の変形制限である150mmで荷重を終了した。試験体F-WFでは荷重荷重620kNでひび割れが発生した。その後、1,030kNから孔あき鋼板下部が降伏し、1,270kNで2段目と3段目の鉛直方向中央位置の鋼板が降伏し鉛直変位が急増した。貫通鉄筋や躯体主鉄筋は降伏しなかった。試験体F-NFでは、

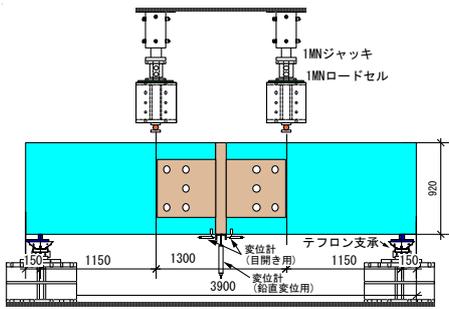


図4 荷重装置図

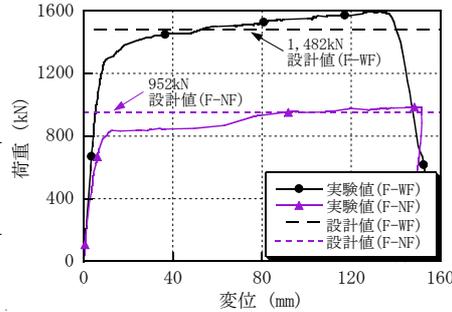


図5 荷重—鉛直変位関係

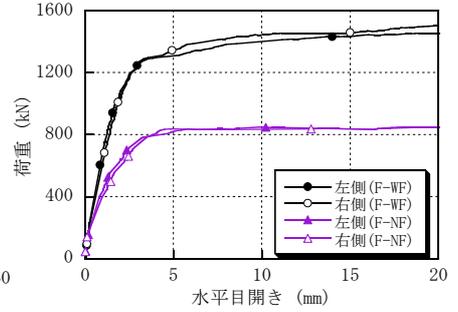


図6 荷重—水平目開き関係

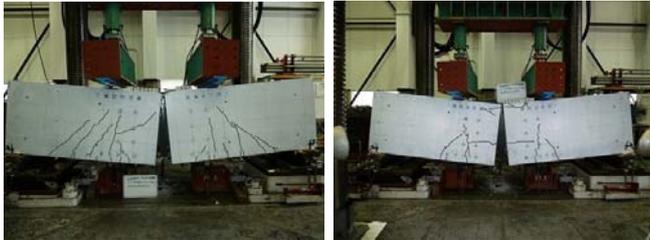


図7 最大荷重時実験状況(左: F-WF, 右: F-NF)



図8 鋼材の損傷状況(左: F-WF, 右: F-NF)

650kN 付近で荷重点の躯体主鉄筋と貫通鉄筋が降伏し、865kN 程度で孔あき鋼板下部が降伏した。フランジの効果による水平目開きの抑制を確認できる(図6)。

実験と式(1)に基づく曲げ耐力比較を表1に示す。

$$M = (M_{pbu} + M_{fu}) / \gamma_b \quad \dots \text{式(1)}$$

$$M_{fu} = f_{ak} \cdot A_b / 2 \cdot b_p / 2 \quad \dots \text{式(2)}$$

$M_{pbu}$ : 孔あき鋼板の孔のせん断耐力による曲げモーメント(Nm),  $M_{fu}$ : フランジ面の支圧による曲げモーメント(Nm),  $f_{ak}$ : コンクリートの支圧強度(N/mm<sup>2</sup>),  $A_b$ : フランジの支圧面積(mm<sup>2</sup>),  $b_p$ : PBL鋼板の幅(mm)

以下の検討で、 $f_{ak}$ ,  $f'_{cd}$ ,  $f_{ud}$ は材料試験結果に基づく値を用い、部材係数 $\gamma_b$ は1.0とした。

式(1)は、式(3)の孔あき鋼板のせん断耐力 $V_{psud}$ <sup>3)</sup>を引張鉄筋換算し圧縮側コンクリート幅をセグメント主桁厚と同じ100mmとして算定した曲げモーメント $M_{pb}$ にフランジ面の支圧による曲げモーメント $M_{fu}$ を累加したものである(図9)。

$$V_{psud} = (1.85A - 26.1 \times 10^3) / \gamma_b \quad \dots \text{式(3)}$$

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

(ただし、 $4.01 \times 10^4 < A < 3.83 \times 10^5$ )

$V_{psud}$ : 孔あき鋼板の孔1個あたりの設計せん断耐

$M_{pbu}$ の算定

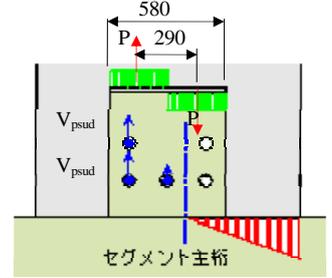
孔あき鋼板の孔1個あたりのせん断耐力 $V_{psud}$ (533kN)を鉄筋降伏時の引張力に置換え、圧縮側のコンクリート幅をセグメント主桁厚と同じ100mmとしてRC断面の曲げ耐力として算定

$M_{fu}$ の算定

$$P = f_{ak} \times A_b / 2 \\ = (2 \times 39.5) \times \{580 \times (60 - 19)\} / 2 \\ = 939 \text{ kN}$$

$$M_{fu} = P \times b_p / 2 = 939 \times 0.58 / 2 = 272 \text{ kNm}$$

図9 終局曲げモーメントの算定



力(N),  $\gamma_b$ : 部材係数(1.0~1.3),  $d$ : 孔径(mm),  $\phi$ : 貫通鉄筋径(mm),  $f'_{cd}$ : コンクリートの設計圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $f_{ud}$ : 貫通鉄筋の設計引張強度(N/mm<sup>2</sup>)

試験体F-NFの曲げ耐力の実験値との比率は1.03であり、フランジのない場合の曲げ耐力を精度良く算定できた。フランジのある試験体F-WFでは、 $M_{pb} = 607 \text{ kNm}$ ,  $M_{fu} = 272 \text{ kNm}$ であり、実験での曲げ耐力との比率は1.07となり、フランジの支圧耐力を累加しても実験を安全側に評価可能であること、また、フランジの支圧による曲げ耐力増加効果が確認できた。

5. まとめ

フランジを有する孔あき鋼板を用いた鋼製セグメントとRC躯体の簡易な接合法を提案し、曲げ試験を実施した。通常の孔あき鋼板ジベルの曲げ耐力算定をするために、孔あき鋼板のせん断耐力を引張鉄筋換算した算定式と、フランジを有する場合のためにフランジの支圧耐力を累加した曲げ耐力の算定式を提案した。その結果、①フランジによる支圧により曲げ耐力が増大すること、②フランジ有する試験体F-WFとフランジのない試験体F-NFの曲げ耐力を、提案式により1.07倍、1.03倍程度で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: コンクリート標準示方書 設計編 2012年制定
- 3) 土木学会: 複合構造標準示方書 2009年制定