# (2) 鋼管拘束下の孔あき鋼板ジベルの引抜き耐カに関する実験的研究

長岡 優花1・藤永 隆2・田中 照久3

<sup>1</sup>正会員 神戸大学大学院 大学院生 工学研究科建築専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail: yukakuu412@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 神戸大学 准教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail: ftaka@kobe-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 福岡大学 助教 工学部建築学科 (〒814-0180 福岡市城南区七隈八丁目19-1) E-mail: sttanaka@fukuoka-u.ac.jp

現在CFT構造の柱継手は現場で突合せ溶接されることが一般的であるが、高い技術力を要し、品質管理 が困難などの課題を持つ.著者らは、孔あき鋼板ジベルを引張応力伝達要素として用いた現場溶接不要の 新しいCFT柱継手を提案している.しかし、孔あき鋼板ジベルを引張抵抗要素として用いた検討例は非常 に少なく、かつコンクリートが拘束下での実験例は皆無であった.また鋼板とコンクリート間の付着が孔 あき鋼板ジベルの引抜き耐力に及ぼす影響については未解明な部分が多い.本論では、孔あき鋼板ジベル が引張力を受ける場合の引抜き耐力とその挙動に及ぼす影響について、実験変数を孔数、孔の挿入深さ、 鋼板とコンクリート間の付着の有無として引抜き実験を行った.

Key Words : concrete-filled steel tube, mechanical shear connector, embedded length, bond strength

## 1. はじめに

コンクリート充填鋼管(以下CFTとする)の柱継手に おいては、鋼管部は母材強度が担保される完全溶け込み 溶接で接合されることが一般的であり、部分溶込み溶接 やボルト接合とする場合でも作用応力で破断しない継手 強度を確保する必要がある<sup>1)</sup>.近年、溶接技術者不足の 問題や、超高強度鋼材同士の全強継手が困難となる問題 があり、溶接を用いない柱継手や溶接による継手強度の 不足分をなんらかの方法で補完する方法への需要が高ま っている.

著者らは、CFT 内部の充填コンクリートの存在に着目 し、孔あき鋼板ジベルによる鋼とコンクリート間のせん 断ずれ抵抗を用いることにより、充填コンクリートを介 した鋼管同士の応力を伝達する柱継手を提案している

(図-1).提案CFT柱継手は、孔あき鋼板を容易な隅肉 溶接のみを用いて柱鋼管に接合されており、従来の柱継 手のような高い溶接技術を必要とする現場での突合せ溶 接を用いない方法である.必要な溶接個所は安定した環 境下で作業が行われるため品質確保が容易になり、現場 での省作業化、工期短縮のメリットがある.しかし、孔 あき鋼板ジベルは橋梁のスラブと鋼桁間のずれ止めなど の土木構造物でよく用いられているが、土木構造物と比 較して部材サイズの小さい建築部材で用いることが難し いという問題がある.また、孔あき鋼板ジベルはせん断 ずれ抵抗要素として用いられるのが一般的であり、引張



抵抗要素として用いた例は少なく<sup>2)</sup>,引張抵抗挙動についても未解明の部分が多い.

著者らは、鋼管拘束下のCFT 柱継手への孔あき鋼板ジベルの適用を想定し、鋼コンクリート間の付着が孔あき 鋼板ジベルの引抜き耐力に及ぼす影響を調べるため、孔 数が1つの試験体の引抜き実験を行っている<sup>3</sup>.

本論では、孔の挿入深さ、孔数、孔間隔、付着除去処 理の有無を実験変数として、鋼管拘束下での孔あき鋼板 ジベルの引抜き実験を行い、諸因子が孔あき鋼板ジベル の引抜き耐力へ与える影響を検討する.

### 2. 孔あき鋼板ジベルの引抜き実験

#### (1) 実験概要

表-1に試験体の形状寸法の一覧を示す. 試験体は 250×250の正方形CFTブロック(長さ430 mm,鋼管板厚6 mm)中央に,幅90mmで板厚22mmの孔あき鋼板(SM490A) が埋め込まれている. (降伏応力409 MPa). 鋼板に設けら れた円孔の直径dは35mm,鋼管に充填されたコンクリー トの設計基準強度は21MPaで,すべての試験体において 孔内コンクリートの2面せん断破壊で耐力が決定される ように設計されている. 充填コンクリートの最大粗骨材 粒径は20 mmであった.実験変数は,鋼板表面の付着除 去処理の有無,孔の挿入深さ(3d,5d,7d,9d),孔数(0,1,2,3, 4),孔間隔(2d,4d,6d)で,計28体の実験を行った. ここで 孔の挿入深さはコンクリート上部端面から第一孔中心ま での長さであり,孔間隔は孔の中心間距離である.また 鋼板とコンクリート間の付着除去の処理方法は鋼板表面 へのコンクリート型枠用剥離剤の塗布であり,付着除去 処理を行っていない試験体の鋼板表面は黒皮のままであ る. なお,全試験体の鋼板側面に1mmのスチレンボード を貼付して完全に付着を除去している.

図-2に示す載荷装置で,孔あき鋼板に鉛直上向きに引 張力を単調載荷した. CFTブロックは固定梁により鋼管



試験体名	挿入深さ	孔間隔	付着除去	鋼板形状	試験体名	挿入深さ	「入深さ 孔間隔		鋼板形状	
21-0	_	-	なし		21-2-3d-6d	- 3d	6d	なし	<u>-</u> 3 <i>d</i> ,6 <i>d</i> 2 <i>d</i> 	
21-0-U			有		21-2-3d-6d-U			有		
21-1-3d	- 3d	-	なし	3 <i>d</i> 8 <i>d</i>	21-2-5d-2d	5.4	2d	なし	5 <i>d</i> 2 <i>d</i> _4 <i>d</i>	
21-1-3d-U			有		21-2-5d-2d-U			有		
21-1-5d	5d	-	なし	5 <i>d</i> 6 <i>d</i>	21-2-5d-4d	30	4d	なし	5d 4d 2d	
21-1-5d-U			有		21-2-5d-4d-U			有		
21-1-7d	- 7d	-	なし	$\begin{array}{c c} & 7d & 4d \\ \hline & 0 \\ \hline \end{array}$	21-2-7d-2d	7d	2d	なし	7d $2d$ $2d$	
21-1-7d-U			有		21-2-7d-2d-U			有		
21-1-9d	9d	-	なし	$3d^{2d}$	9d 2d 21-3-3d-2d 3c	24	2d	なし		
21-1-9d-U			有			30		有		
21-2-3d-2d	- 3d	2d	なし	3 <i>d</i> <sub>1</sub> 2 <i>d</i> _6 <i>d</i> - 0 0	21-3-5d-2d	5d		なし	<u>5d_2d2d2d</u> 000	
21-2-3d-2d-U			有		21-3-5d-2d-U			有		
21-2-3d-4d		44	なし	3d - 4d - 4d	21-4-3d-2d	- 3d	2d	なし	<u>-3d_2d2d2d2d</u>	
21-2-3d-4d-U		40	有 0 0		21-4-3d-2d-U			有		

表-1 試験体一覧

へりから50 mmの位置までを抑えている. 孔あき鋼板の CFTブロックからの抜け出し量を測定するため,鋼管と 充填コンクリート間のずれ変位と,鋼管と孔あき鋼板間 のずれ変位をそれぞれ測定している. 充填コンクリート と鋼板の相対ずれ変位を測定している.

#### (2) 荷重-相対ずれ変位関係

図-3に引抜き力と相対ずれ変位の関係を,表-2に実験 結果の一覧を示す.

孔の無い試験体の最大耐力時の負担応力を計算すると、 付着除去処理をしていない試験体21-0では0.563 MPaとな



り,付着除去処理をした試験体21-0-Uでは0.401 MPaとなり,これは文献4の拘束応力がない場合の黒皮表面の最大せん断応力(0.550 MPa),グリス塗布表面の最大せん断応力(0.350 MPa)とほぼ同値である.

孔数1つの試験体においては、付着除去処理をしてい ない試験体は孔の挿入深さの影響があまり見られず、付 着除去処理を施した試験体では孔の挿入深さが深いほど 最大耐力が小さくなった.

孔数2つの試験体でも付着除去処理をしていない試験 体では孔の挿入深さの影響はあまり見られず,付着除去 処理を施した試験体では孔の挿入深さが深いほど最大耐 力が小さくなった.

孔数1つから孔数4つまでの全ての試験体において, 最大耐力以降の急激な耐力の低下は見られなかったが, 孔数3つ,4つといった孔数の多い試験体は、少ない試 験体と比較すると最大耐力発揮後の耐力の低下がやや急 であった.また最大耐力時の相対ずれ変位は、孔数の多 い試験体の方が大きくなる傾向にあり、最深孔が深い位 置にある試験体のほうが大きくなる傾向にあった.

試験体	コンクリート強度 (MPa)	最大耐力 P <sub>max</sub> (kN)	最大耐力時 ずれ変位 (mm)		
21-0		39.0	0.290		
21-0-U	24.2	27.8	0.567		
21-1-3d		70.8	0.792		
21-1-3d-U	26.2	89.5	1.477		
21-1-5d		68.0	1.459		
21-1-5d-U		84.5	1.473		
21-1-7d	25.6	75.3	2.426		
21-1-7d-U	23.0	79.3	2.016		
21-1-9d		63.8	0.809		
21-1-9d-U		56.8	1.469		
21-2-3d-2d	27.2	91.8	2.746		
21-2-3d-2d-U	27.5	149.0	2.942		
21-2-3d-4d		90.5	1.271		
21-2-3d-4d-U		131.5	3.262		
21-2-3d-6d	26.2	100.0	2.632		
21-2-3d-6d-U		120.3	2.032		
21-2-5d-2d		101.3	2.103		
21-2-5d-2d-U		92.8	1.031		
21-2-5d-4d		86.8	0.641		
21-2-5d-4d-U		87.5	1.225		
21-2-7d-2d	26.8	82.3	0.593		
21-2-7d-2d-U		81.0	1.663		
21-3-3d-2d		165.0	1.612		
21-3-3d-2d-U	24.9	148.3	2.032		
21-3-5d-2d		150.8	3.275		
21-3-5d-2d-U		176.8	2.476		
21-4-3d-2d		172.8	2.073		
21-4-3d-2d-U		206.0	2.538		

表-2 引抜き実験結果一覧

実験後に CFT ブロックから孔あき鋼板を引き抜いて 孔内コンクリートのせん断面の状況を観察したが,一部 の試験体で小さな凹凸は確認されたものの,ほとんどの 試験体でせん断面は滑らかであり,孔内に骨材は観察さ れなかった.

#### (3) 各孔の耐力と付着応力による耐力

孔あき鋼板の各孔による応力伝達量と、鋼板表面とコ ンクリート間の付着による応力伝達量の負担割合を把握 するために、鋼板に貼付したひずみゲージより鋼板断面 の軸力を算定した.ゲージの貼付位置は、図-4に示すよ うに、第1孔の中心から35 mm下と、第2孔から第4孔の 中心から上下それぞれ35 mmの位置である.

各断面のひずみゲージから得られた応力の平均に孔あ き鋼板の断面積を乗じることで断面の軸力とした.各断 面の軸力の差分を,各孔のせん断耐力(P<sub>s</sub>),または鋼板 の最深孔より下の付着力(P<sub>b</sub>)と孔間の付着力(P<sub>b</sub>)とした. なお,鋼板の付着力への影響が小さいと考えられる付着 除去処理を行った試験体のみを検討対象とした.

図-5に各試験体の軸力一相対ずれ変位関係,表-3に最 大耐力時の各部分の負担力一覧を示す.

孔数が1つの試験体では、最大引抜き耐力時の孔より 下側の付着力は5 kN前後であり、孔あき鋼板の耐力の大 部分を孔部分で負担している. 孔部分の負担力は最大耐 力発揮後も急激な低下は見られなかった. また孔より下 側の最大付着力は10 kN前後と小さく、付着力が最大と なる時の相対ずれ変位は、孔部分の負担力が最大となる 時の相対ずれ変位と比較して非常に小さかった.

孔数が2つの試験体では、最大引抜き耐力時の最深孔 の下側、孔間の付着力ともに5 kN前後であり、挿入深さ の浅い孔の方が負担せん断力が大きい傾向にあった.孔 部分の負担せん断力は最大耐力発揮後も急激な低下は見 られなかった.また最大付着力は10 kN前後であり、最 大時の相対ずれ変位は非常に小さかった.付着力が最大 を迎えたのち、第2 孔、第1 孔の順に最大負担力を示し た.

孔数が3つの試験体では、最大引抜き耐力時の付着力 は試験体21-3-5d-2d-Uでは2.8 kNであるが、試験体21-3-3d-



図-4 ひずみゲージ貼付位置の一例

2d-Uで14.2 kNと少し大きかったが、いずれも孔部分の負担せん断力と比べると小さかった. 各孔の負担力は、 21-3-3d-2d-Uでは、挿入深さの浅い孔の方が負担せん断 力が大きい傾向にあったが、試験体21-3-5d-2d-Uでは第2 孔の負担せん断力が最も大きかった. 孔の負担せん断縁 は最大耐力発揮後も急激な低下は見られなかった. また 付着力の最大値は10 kN前後であり、その時の相対ずれ変位は非常に小さかった.

孔数4つの試験体では、最大引抜き耐力時の最深孔より下側の付着力は2.4 kNと非常に小さかった.孔の負担 せん断力は最大耐力発揮後も急激な低下は見られなかった.また最大付着力は6.7 kNであり、その時の相対ずれ



図-5 負担軸力-相対ずれ変位関係

## 変位は非常に小さかった.

また,すべての試験体の幅方向(孔のある面)のひず みゲージでは,孔縁部によるコンクリートの支圧抵抗で 局所的に圧縮ひずみが生じており,その値のみから孔の 負担分を推察することは付着分を過少に見積もる可能性 がある.

## 4. まとめ

提案する柱継手に用いられる孔あき鋼板の引抜き性能 を調べるため、孔の挿入深さ、孔数、孔間隔、鋼板表面 の付着処理の有無を実験変数として鋼管拘束下で孔あき 鋼板ジベルの引抜き実験を行った.

- 1) 孔あき鋼板が孔内コンクリートの二面せん断で耐力 が決定される場合でも、最大引抜き耐力以降に急激 な耐力低下をすることはなかった。
- 2) 孔あき鋼板の最大引抜き耐力時の各孔の負担力は, 孔の挿入深さが浅いほうが大きい傾向にあった.

謝辞:本研究を行うにあたって,日本鉄鋼連盟の2020年 度鋼構造研究・教育助成事業の助成を受けました.また, JSPS科研費20K04771の助成を受けました.ここに謝意を 表します.

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会:コンクリート充填鋼管設計施工指針,第2版, 2008年10月.
- 西村泰志,吉田幹人,齋藤啓一,青山尚樹:孔あき鋼板ジベルによる柱 RC・梁Sとする柱梁接合部の支圧破壊性状の改善,日本建築学会構造系論文集,第75巻,第655号, pp.1727-1735,2010年9月
- 3) Yuka Nagaoka, Takashi Fujinaga and Teruhisa Tanaka: Influence of Bond and Friction on Tensile Strength of Perforated Steel Plate Connector under Confinement, Proceedings of International Structural Engineering and Constructions, 8(1), STR-10, Jul. 2021.
- 4) 福元敏之,澤本佳和:拘束応力下における鋼・コンクリート 接触面の摩擦・付着特性,日本建築学会構造系論文集,第
  82巻,第736号, pp.941-948, 2017年6月

試験体	最大耐力 P <sub>max</sub> (kN)	最大耐力時 ずれ変位 (mm)	<i>P</i> <sub><i>s</i>1</sub> (kN)	<i>P</i> <sub><i>s</i>2</sub> (kN)	<i>P</i> <sub>s3</sub> (kN)	<i>P</i> <sub><i>s</i>4</sub> (kN)	P <sub>be</sub> (kN)	P <sub>bi</sub> (kN)
21-1-3d-U	89.5	1.477	82.9	-	-	-	6.6	-
21-1-5d-U	84.5	1.473	78.4	-	-	-	6.1	-
21-1-7d-U	79.3	2.016	76.1	-	-	-	3.2	-
21-1-9d-U	56.8	1.469	52.4	-	-	-	4.4	-
21-2-3d-2d-U	149.0	2.942	59.3	85.9	-	-	3.9	-
21-2-3d-4d-U	131.5	3.262	78.1	47.5	-	-	0.8	5.1
21-2-3d-6d-U	120.3	2.032	81.7	34.5	-	-	0.1	3.9
21-2-5d-2d-U	92.8	1.031	52.2	31.2	-	-	9.4	-
21-2-5d-4d-U	87.5	1.225	52.5	21.3	-	-	7.6	6.1
21-2-7d-2d-U	81.0	1.663	64.4	15.7	-	-	0.9	-
21-3-3d-2d-U	148.3	2.032	59.4	46.3	28.3	-	14.2	-
21-3-5d-2d-U	176.8	2.476	65.9	70.3	37.7	-	2.8	-
21-4-3d-2d-U	206.0	2.538	62.9	79.7	20.1	40.9	2.4	-

表-3 最大耐力時の各部分負担力一覧

\*Psiはi孔目の孔のせん断耐力

## EXPERIMENTAL STUDY ON PULL-OUT STRENGTH OF PERFORATED STEEL PLATE UNDER CONFINEMENT OF STEEL TUBE

## Yuka NAGAOKA, Takashi FUJINAGA and Teruhisa TANAKA

CFST columns are widely used in Japan and are commonly required the use of onsite full-strength welded splices between columns. But onsite-welding needs high technical skill. Authors have proposed new CFST column splice which enhance the constructability and can be avoided the onsite welding. In the proposed column splice, perforated steel plates are placed into each column half and fillet welded into place. To evaluate the performance of this splices, it is important to determine the pull-out strength and behaviour modes of the perforated steel plates embedded to CFST. In this paper, the pull-out experiment of perforated steel plates embedded to square CFST stub was conducted.