

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560472

研究課題名（和文） 孔あき鋼板ジベルの包括的設計強度式の策定

研究課題名（英文） Construction of comprehensive design formula for evaluating shear resistance of perfobond strip

研究代表者

中島 章典（NAKAJIMA AKINORI）

宇都宮大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70164176

研究成果の概要（和文）：鋼コンクリート複合構造のずれ止めとして用いられる孔あき鋼板ジベルについて、貫通鉄筋がある場合、ない場合のせん断抵抗メカニズムを、独創的な押抜き試験体を用いた実験により詳細に検討した。また、ジベル孔を複数有する場合において、各ジベル孔のせん断力分担特性を明らかにした。さらに、貫通鉄筋がない場合について、孔径、コンクリート強度に加えて、押抜き試験体のコンクリートブロックの大きさを考慮した適用性の高い孔あき鋼板ジベルの耐力評価式を新たに提案した。

研究成果の概要（英文）：In this research, I investigated experimentally the mechanism of the perfobond strip with or without the penetrating reinforcement in case of resisting the shear force in detail by using the original push-out specimen. I also clarified the shear force distribution of the perfobond strips which are arranged longitudinally along the steel plate. Furthermore, the design formula is proposed for evaluating the shear resistance of the perfobond strip taking into account the proportion of the concrete block as well as the perforation size and the concrete compressive strength.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
22 年度	1400000	420000	1820000
23 年度	700000	210000	910000
24 年度	1100000	330000	1430000
年度			
年度			
総計	3200000	960000	4160000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：孔あき鋼板ジベル，せん断耐力評価式，押抜き試験

1. 研究開始当初の背景

鋼コンクリート複合構造は、鋼材とコンクリートとを組合せ、両者の長所を活かし欠点を補った合理的な構造形式として、合成桁橋

のみではなく、鋼桁と鉄筋コンクリート橋脚を直角に剛結させた複合ラーメン橋など、その適用範囲が拡大してきている。このような

複合構造において、その優れた構造性能を発揮するための重要な鍵となるのが、鋼部材とコンクリート部材の間で応力伝達の役割を果たすずれ止めと呼ばれる構造要素である。

複合構造内にずれ止めを適切に配置するためには、ずれ止めの配置状況に対応した設計強度式が確立されている必要がある。複合構造のずれ止めとして最近では孔のあいた鋼板内にコンクリートが満たされることによってずれ止め効果を発揮する孔あき鋼板ジベルが用いられる場合も多い。孔あき鋼板ジベルの最初の提案者である Leonhardt らを始め、日本においても何人かの研究者により、1~2 個のジベル孔を配置した孔あき鋼板ジベルの押抜き試験体を用いた実験によって、ジベル孔 1 個の強度式が提案されている。しかし、押抜き試験によって求められる孔あき鋼板ジベルの耐力や伝達力と変形の関係は、孔あき鋼板を取囲むコンクリートブロックに対する鉄筋や載荷治具などの拘束条件によって無視できない影響を受け、ばらつきも大きいことが指摘されている。そのため、まず、基準となる試験条件の下における 1 個のジベル孔を有する孔あき鋼板ジベルの強度特性を明確にすることが早急に求められている。

一方、複合構造内に種々の状態で配置される孔あき鋼板ジベルが複数のジベル孔をもつ場合、個々のジベル孔の伝達力分担は実際にはわかっていない。そのため、現状では、実構造内に複数配置されたジベル孔は同じ伝達力を分担する、あるいは同じ強度を発揮するなどの仮定が用いられている。したがって、複数配置のジベル孔の個々の伝達力分担を明らかにし、それに基づいた孔あき鋼板ジベルの適切な設計強度式を策定することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、鋼コンクリート複合構造のずれ止めとして用いられる孔あき鋼板ジベルを対象とし、まず、1 個のジベル孔を有する鋼板をコンクリートで取囲んだ押抜き試験体を用いて、孔あき鋼板ジベルの基本強度を明確にし、設計強度式を作成する。この試験方法は、頭付きスタッドの標準押抜き試験方法とは異なるが、コンクリートブロック内に帯鉄筋を配置することによって、載荷治具などの影響を極力少なくすることができ、ジベル孔 1 個を有する孔あき鋼板ジベルの基本強度を明らかにするために適切で新しい試験方法である。また、複合構造内に種々の状態で配置される孔あき鋼板ジベルの使用状態を考えると、鋼板の全周がコンクリートで覆われ拘束効果を有するなど、この試験方法は実際の使用状態も反映している。また、ジベル孔が複数配置された孔あき鋼板ジベルの個々のジベル孔のせん断伝達力分担を明らかにし、その設計強度式を策定することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、種々のタイプの鋼コンクリート複合構造においてずれ止めとして利用される孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を推定する設計強度式を作成する。まず、1 個のジベル孔を有する鋼板をコンクリートブロックで取囲んだ独自の孔あき鋼板ジベルの押抜き試験体を用いて、種々のパラメータを考慮した孔あき鋼板ジベルの基本強度を明確にする。ここでは、コンクリート強度、ジベル孔径、ジベル鋼板板厚、コンクリートブロック寸法、貫通鉄筋径などをパラメータとした試験体を用いる。そして、孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗メカニズムに着目し、これらのパラメータがせん断耐力に及ぼす影響を明らかにし、まず、貫通鉄筋がない孔あき鋼板ジベルの強度

評価式を構築する。また、ジベル孔が複数配置された孔あき鋼板ジベルの押抜き試験を行い、その結果に基づいて、個々のジベル孔のせん断伝達力分担を明らかにする。さらに、貫通鉄筋を有する場合について、ジベル孔径と貫通鉄筋径の相対的關係を変化させた試験体を用いて、せん断抵抗メカニズムを明らかにし、せん断耐力を評価する設計強度式構築のための基礎データを収集する。

4. 研究成果

(1) 概要

鋼コンクリート複合構造のずれ止めとして用いられる孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式は種々提案されているが、その耐力算定の基となる試験は、スタッドの押抜き標準試験に基づくものがほとんどである。しかし、これらの耐力評価式は、近年の複合構造として適用例が増えている複合ラーメン橋などに用いられる孔あき鋼板ジベルの耐力を適切に評価しているとは言えない。そこで本研究では、スタッドの押抜き標準試験よりも拘束度の高い押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断力-ずれ変位関係やせん断耐力を明らかにするための実験を行った。実験においては、コンクリート強度、ジベル孔径、ジベル鋼板板厚、コンクリートブロック寸法、貫通鉄筋径などをパラメータとした試験体を用いた。

(2) 貫通鉄筋のない場合

本研究で用いた押抜き試験体のコンクリートブロックの大きさを変えた実験により、コンクリートブロックの寸法が大きくなるとともに孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は増加することがわかった。その際、コンクリートブロックの側面面積(図1のコンクリート部分の面積)がせん断耐力に対して高い相関をもつことがわかった。

貫通鉄筋のない孔あき鋼板ジベルのせん断力とずれ変位の挙動は以下のようなせん断抵

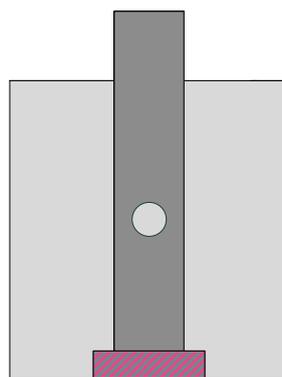


図1 試験体の側面積

抗メカニズムによることを推定した。

まず、鋼板の荷重がジベル孔内のコンクリートに伝達されるとともに、有意なずれ変位が生じ始め、ずれ変位が1~3mm程度でジベル孔内コンクリートのせん断面に徐々にひび割れが生じ、ついにはせん断ひび割れがせん断面全体に貫通する。しかし、せん断ひび割れ面の骨材の噛み合わせによってせん断力が伝達されるため荷重はさらに増加し、最大荷重に達する。その後、次第に骨材の噛み合わせが劣化し、荷重は減少する。

ジベル孔内コンクリートのせん断ひび割れが発生する荷重およびせん断ひび割れ面の骨材の噛み合わせによるせん断伝達はジベル孔周辺の拘束力が大きく影響するため、試験体のコンクリートブロックの大きさがせん断耐力に関係する。また、せん断ひび割れ面に存在する粗骨材の状況もせん断ひび割れ面の骨材の噛み合わせに影響し、結果的にせん断耐力にも影響を及ぼし、また、同じパラメータを有する試験体間のせん断耐力やせん断力-ずれ変位関係のばらつきにもつながっていると考えられる。

ジベル孔を有する鋼板の孔径に対する板厚の比をパラメータとした試験体では板厚の増加により、せん断耐力は増加しないことを確認した。この結果は、土木学会から出版されている複合構造標準示方書に示される耐力式

の考え方とは異なるものである。

本研究で用いた拘束度の高い孔あき鋼板ジベルの押抜き試験に基づく実験結果から、式(1)に示すような、ジベル孔径、コンクリートの圧縮強度に加えて試験体のコンクリートブロックの寸法の影響を考慮した適用性の高いせん断耐力評価式を定式化した。

$$Q_{ul} = 0.044 A f_c^{0.65} A_s^{0.43} \quad (1)$$

ここで、 Q_{ul} はせん断耐力(N)、 A はジベル孔面積(mm²)、 f_c はコンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 A_s はコンクリートブロックの側面面積(mm²)である。

また、本研究で得られた結果に加えて、既往の主な実験結果を含めた実験値と本耐力評価式の相関を図2に示すが、策定した耐力評価式と実験結果の相関はかなり良いことがわかる。

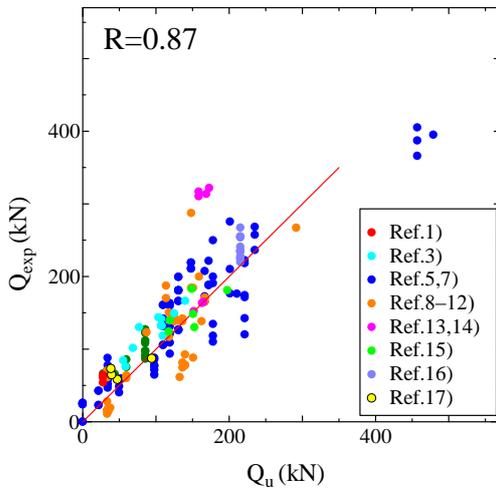


図2 耐力評価式と実験値の相関

(3) 貫通鉄筋のある場合

貫通鉄筋を有する実験においては、孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋の効果を確かめるために、ジベル孔径と貫通鉄筋の径が相対的に異なる押抜き試験体による実験を行った。

具体的には、貫通鉄筋径を10mm、ジベル孔径を30、60、90mmと変化させた場合、そして、ジ

ベル孔径を60mmと一定とし、貫通鉄筋径を10、13、16mmと変化させた場合の実験を行い、せん断力-ずれ変位関係やせん断耐力を明らかにするとともに、特に、貫通鉄筋の挙動を詳細に調べた。さらに、ジベル孔径と貫通鉄筋径を一定としてジベル鋼板の板厚を変化させた試験体による実験も行った。

貫通鉄筋ありの孔あき鋼板ジベルでは、ジベル孔内コンクリートの2面せん断抵抗に加えて、貫通鉄筋のダウエル効果でせん断に抵抗すると考えられている。本研究の実験結果を通して、このせん断抵抗メカニズムをさらに詳細に説明することを試みた。

まず、貫通鉄筋がない場合と同様、ジベル鋼板と周辺コンクリートの付着は避けられないので、鋼板とコンクリートの付着が切れるまではずれ変位はほとんど生じない。そして、付着が切れた段階で荷重の増加とともにずれ変位が生じ始める。さらに荷重が増加するのに伴ってジベル孔内コンクリートのせん断面に徐々にせん断ひび割れが進展していくことも、貫通鉄筋がない場合と同じである。しかし、せん断面にひび割れが生じ始めるとほぼ同時に、特にジベル孔内の位置の貫通鉄筋には曲げが生じ始める。これは、ジベル孔内に位置する貫通鉄筋のひずみ挙動からわかる。つまり、この段階から貫通鉄筋もせん断抵抗に寄与していることがわかる。ひび割れがジベル孔のせん断面を貫通した段階でせん断面の骨材の噛み合わせによるせん断抵抗が働くためせん断面が周辺コンクリートを外側に押し広げようとする。その際、ジベル孔内に位置する貫通鉄筋は曲げに加えて軸方向引張を受ける。これも、ジベル孔内に位置する貫通鉄筋のひずみ挙動からわかる。その後の荷重増加に対しては、せん断面の骨材の噛み合わせによる抵抗と鉄筋のダウエル効果によるせん断抵抗によって荷

重に抵抗するが、せん断面の噛み合わせによるせん断抵抗は徐々に減少するため、鉄筋のダウエル効果による抵抗が徐々に支配的となる。そして、鉄筋の曲げ抵抗が最大に達するころになると孔あき鋼板ジベルは最大荷重に達し、その後、荷重は減少していく。ここで、鉄筋の曲げ抵抗が最大になる前に鉄筋がジベル孔内を移動してジベル鋼板に接触するか、接触しないとしてもコンクリートを介する支圧の影響が大きくなるとせん断抵抗はさらに増加する場合もある。しかし、接触部分の鉄筋が局所的に曲がって破断すると急激に荷重は減少することになる。

本研究において、実験に際して詳細に計測したせん断力-ずれ変位関係および貫通鉄筋のひずみ挙動から、貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗メカニズムが詳細に説明できるようになった。今後、さらに補完的な実験を加えることによって、これらのせん断抵抗メカニズムに基づいた上で、貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価式を構築していくことが可能になると考えている。

(4) 複数配置の場合

ジベル孔が1個に加えて、2個から5個のジベル孔が長手方向に配置されている場合について、各孔あき鋼板ジベルのせん断力分担についても実験的に検討した。実験においては、孔間のジベル鋼板のひずみを計測することによって、孔間の鋼板の軸力を評価し、着目ジベル孔の上下での軸力差から各ジベル孔のせん断伝達力分担を評価した。その結果、ジベル孔が複数配置されている場合には、各ジベル孔のせん断力分担は等しくはなく、荷重が載荷される鋼板側（上方）に近いジベル孔のせん断力分担が大きく、下方のジベル孔ほどせん断力分担が小さくなることが明らかにされた。さらに、載荷される荷重の大

きさによって、長手方向のジベル孔のせん断力分担は変化し、初期の段階では、ジベル鋼板と周辺コンクリートの付着の影響が大きいため、上方のジベル孔がせん断力を分担し始めても、下方のジベル孔はほとんどせん断力を伝達しない状況も認められた。

以上のように、ジベル孔を複数有する場合の孔あき鋼板ジベルの設計を行うための重要な知見を得ることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Nakajima, A., Hashimoto, M., Koseki, S., Suzuki, Y. and Nguyen, M. H. : A Study on shear resistance of perfobond strip by using simple push-out specimen, Proceedings of 18th IABSE Congress in Seoul, Korea, 査読有, 2012, CD-ROM
- ① 中島章典, 小関聡一郎, 橋本昌利, 鈴木康夫, グエンミンハイ: 単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), 査読有, Vol.68, No.2, 2012, pp.495-508
- ② 中島章典, 小関聡一郎, 内藤雅人, 中島絢平, 鈴木康夫: 長手方向に複数配置した孔あき鋼板ジベルのせん断力分担に関する実験的研究, 構造工学論文集, 査読有, Vol.57A, 2011, pp.996-1006

〔学会発表〕(計10件)

- ① 橋本昌利, NGUYEN MINH HAI, 中島章典, 鈴木康夫: 孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に及ぼす影響因子, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-28, 2013.3.14, CD-ROM, 宇都宮大学(宇都宮市)
- ② 渡辺一貴, NGUYEN MINH HAI, 中島章典, 橋本昌利, 鈴木康夫, 複数配置した孔あき鋼板ジベル押抜き試験体のずれ性状とせん断力分担特性, 第40回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-26, 2013.3.14, CD-ROM, 宇都宮大学(宇都宮市)
- ③ NGUYEN MINH HAI, 中島章典, 橋本昌利, 鈴木康夫: 貫通鉄筋の効果に着目した孔あき鋼板ジベルの押抜き試験, 土木学会

- 第 67 回年次学術講演会講演概要集，
CS2-014, 2012. 9. 5, CD-ROM, 名古屋大学
(名古屋市)
- ④ NGUYEN MINH HAI, 橋本昌利, 中島章典,
鈴木康夫：孔あき鋼板ジベルの貫通鉄筋
の効果に関する実験的研究，第 39 回土
木学会関東支部技術研究発表会講演概
要集，I-33, 2012. 3. 14, CD-ROM, 関東学
院大学 (横浜市)
- ⑤ 中島章典, 橋本昌利, 小関聡一郎, 鈴木
康夫：拘束度の高い押抜き試験に基づく
孔あき鋼板ジベルの強度評価，第 9 回複
合・合成構造の活用に関するシンポジウ
講演集 2011. 11. 10, pp. 49-57, CD-ROM,
土木学会 (東京都)
- ⑥ 中島章典, 島弘, 渡辺忠朋：土木分野に
おけるずれ止めの性能評価法，第 9 回複
合・合成構造の活用に関するシンポジウ
講演集 2011. 11. 10, pp. 49-57, CD-ROM,
土木学会 (東京都)
- ⑦ 橋本昌利, 小関聡一郎, 中島章典, 鈴木
康夫：拘束度の高い押抜き試験に基づく
孔あき鋼板ジベルの強度評価，土木学会
第 66 回年次学術講演会講演概要集，
CS2-026, 2011. 9. 8, CD-ROM, 愛媛大学 (松
山市)
- ⑧ 小関聡一郎, 橋本昌利, 中島章典, 鈴木
康夫：拘束度の高い押抜き試験に基づく
孔あき鋼板ジベルの強度評価，第 38 回
土木学会関東支部技術研究発表会講演
概要集，I-47, 2011. 3. 11, CD-ROM, 法政
大学 (東京都)
- ⑨ 橋本昌利, 小関聡一郎, 中島章典, 鈴木
康夫：孔あき鋼板ジベルのせん断耐力に
及ぼすコンクリートブロック寸法及び
孔内骨材の影響，第 38 回土木学会関東
支部技術研究発表会講演概要集，
I-46, 2011. 3. 11, CD-ROM, 法政大学 (東
京都)
- ⑩ 小関聡一郎, 中島章典, 鈴木康夫, 中島
絢平，十字型鋼板押抜き試験による孔あ
き鋼板ジベルのせん断力分担特性，土木
学会第 65 回年次学術講演会講演概要集，
CS2-036, 2010. 9. 3, CD-ROM, 北海道大学
(札幌市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 章典 (NAKAJIMA AKINORI)
宇都宮大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：70164176

(2) 研究分担者

鈴木 康夫 (SUZUKI YASUO)
宇都宮大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：50431698

(3) 連携研究者

なし