

(47) コンクリート床版箱抜き部とモルタル層を用いた 頭付きスタッド押抜き試験体の押抜き性状

永尾和大¹・中島章典²・渡瀬博³・原健悟⁴

¹学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科地球環境デザイン専攻 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

Email: mt136433@cc.utsunomiya-u.ac.jp

²フェロー会員 宇都宮大学大学院教授 工学研究部循環生産研究部門 (〒 321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

Email: akinorin@cc.utsunomiya-u.ac.jp

³正会員 オリエンタル白石 (株) 本社施工・技術本部 技術研究所 (〒 321-4367 真岡市鬼怒ヶ丘 5)

Email: Hiroshi.Watase@orsc.co.jp

⁴正会員 オリエンタル白石 (株) 本社施工・技術本部 技術研究所 (〒 321-4367 真岡市鬼怒ヶ丘 5)

Email: kengo.hara@orsc.co.jp

合成桁の RC 床版をプレキャスト PC 床版に取換える場合、既設の RC 床版およびずれ止めを除去した後に頭付きスタッド (以下、スタッドとする) などのずれ止めをフランジ上に溶植し、プレキャスト PC 床版にはスタッド用の箱抜きを設け、無収縮モルタルまたは膨張コンクリートにより床版と鋼桁を一体化することが一般的である。しかしながら、箱抜き部およびモルタル層がスタッドのずれ止め効果などに与える影響を明確にした研究事例は少ない。本研究では、箱抜き部とモルタル層を有する合成桁のずれ止め効果を確認するために、H 形鋼とコンクリートブロックを用い、その間にモルタル層を設け一体化させた試験体を製作し、頭付きスタッドの押抜き試験方法 (案) に基づき、押抜き試験を行った。そして、モルタル層および箱抜き部がスタッドの押抜き性状に与える影響を調べた。

Key Words : *steel-concrete hybrid structure, mortar layer, headed stud, shear resistance, push-out test*

1. はじめに

1955 年頃に始まった高度経済成長期から 1980 年代にかけて、道路、橋梁、鉄道、ダムなどといった膨大なインフラが全国で整備されてきた。それらは適切な維持管理のもと補修を重ねて、今もなお利用されているものが数多く存在する。現在、橋長 15m 以上の主要な道路橋は約 150,000 橋を超え、その多くはこの時期に整備されたものである。また、供用後 50 年以上経つ橋梁は、2001 年時点で約 1,100 橋程度であるのに対し、2021 年には 20,000 橋となり、我が国の橋梁の整備時期は、他国と比べても明らかに偏りがあると言える。さらにこれらの橋梁には、近年の交通荷重の増加や長年の雨水などの影響により、材料の劣化が顕著に現れ始めており、大部分の橋梁が近い将来、一斉に寿命を迎えることが懸念されている。そのため、懸念が現実となる前に何らかの対策を講じなければならない。そこで求められるのが適切な維持管理のもと、補修による延命化や適宜高耐久な部材に取換えて更新を図ることである。現在、維持、補修を行っていく上で鋼桁橋の劣化した RC 床版をプレキャスト PC 床版に取り換えることで長寿命化が図られている。これは、最近、社会基盤整備に対する合理化およびコスト削減の要求が急速に増大したためである。合成桁の RC 床版をプレ

キャスト PC 床版に取換えた場合、工場で製造したプレキャスト PC 床版を使用するため、RC 床版に比べて品質、耐久性が高く、床版厚を薄くできるために床版の自重を軽減できる。また、RC 床版に比べ、施工期間、交通規制期間を短縮することができる。

合成桁の RC 床版をプレキャスト PC 床版に取換える場合、既設の RC 床版およびずれ止めを除去した後にプレキャスト床版を架設する。プレキャスト床版には頭付きスタッド (以下、スタッドとする) 用の箱抜きが設けられ、スタッドなどのずれ止めをフランジ上に溶植し、プレキャスト PC 床版にはスタッド用の箱抜きを設け、無収縮モルタルまたは膨張コンクリートにより床版と鋼桁を一体化することが一般的である。また、鋼桁添接部フランジ上のボルト配置のため、プレキャスト PC 床版と鋼フランジの間にモルタル層を設けることが必要となる。しかしながら、箱抜き部およびモルタル層がスタッドのずれ止め効果に与える影響を明確にした研究事例は少ない。⁵⁾

そこで本研究では、箱抜き部とモルタル層を有する合成桁のずれ止め効果を確認するために、H 形鋼とコンクリートブロック (プレキャスト PC 床版) を用い、その間にモルタル層を設け一体化させた試験体を製作し、頭付きスタッドの押抜き試験方法 (案)¹⁾ に基づき、押抜き試験を行うことで、モルタル層および箱抜き部

表-1 コンクリートおよびモルタルの材料強度

シリーズ	コンクリート			モルタル		
	圧縮強度	引張強度	弾性係数	圧縮強度	引張強度	弾性係数
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
NR-W40, R-W40	52	2.87	2.90 × 10 ⁴	59.9	5.22	2.44 × 10 ⁴
NR-W60, NR-W30	53.7	3.59	3.28 × 10 ⁴	56.7	3.31	2.31 × 10 ⁴
NR-W35	59.6	4.81	3.21 × 10 ⁴	65.9	4.88	2.58 × 10 ⁴

表-2 鋼材の材料強度

シリーズ	スタッド			H型鋼		
	降伏強度	引張強さ	伸び	降伏強度	引張強さ	伸び
	N/mm ²	N/mm ²	%	N/mm ²	N/mm ²	%
NR-W40, R-W40	325	472	35	269	435	29
NR-W60, NR-W30	366	472	37	342	454	31
NR-W35	366	472	37	306	453	32

がスタッドの押抜き性状に与える影響を調べた。また、スタッドの配置段数を変えることで、実構造物で想定されるスタッド配置での押抜き性状に与える影響を調べた。

2. 実験概要

(1) 押抜き試験体

実験に用いた押抜き試験体の詳細を図-1に示す。図-1の左側に側面図を、右側に平面図を示している。また、図-1の薄い灰色部分はコンクリートブロックを、濃い灰色部分はモルタル層を、オレンジ色はH形鋼を示している。スタッド1段配置の押抜き試験体では、図-1の平面図に示すように、コンクリートブロック幅は400mm、また、モルタル層の幅は400mm(コンクリートブロック幅と同じ)、H形鋼には200×200mmを使用し、試験体の高さは400mmである。

スタッドの配置段数が3段の押抜き試験体では、図-1の平面図に示すように、コンクリートブロック幅は600mm、また、H形鋼には300×300mmを使用し、試験体の高さは800mmである。また、モルタル層の幅を300mm(フランジ幅と同じ)と600mm(コンクリートブロック幅と同じ)のものを用意した。スタッドはコンクリートブロック上端から150、350、550mmの位置にある。

スタッドの配置段数が4段の押抜き試験体では、図-1の平面図に示すように、コンクリートブロック幅は700mm、また、モルタル層の幅は350mm(フランジ幅)とした。H形鋼には350×350mmを使用し、試験体の高さは1000mmである。スタッドはコンクリートブ

ロック上端から150、350、550、750mmの位置にある。それぞれの側面図に示すように、コンクリートブロック厚は150mm、H形鋼とコンクリートブロックとの間の高さ調整用モルタル厚は50mm、スタッドの高さは150mm、スタッドの軸径は19mmで、水平方向の配置間隔は100mmとした。

また、スタッドの配置段数が3、4段のものでモルタル層の幅が300、350mmのものは、モルタル層とコンクリートブロック間のせん断伝達を厳しくするために、モルタル最下部から下に50mmの空間を設けている。

各試験体の名前をそれぞれ図-1の右上に示しているが、試験体名の中のR、NRがそれぞれ開止めの有無を、1、3、4がスタッド配置段数を示しており、W40、60、30、35は無収縮モルタル幅が400、600、300、350mmであることを示している。

(2) 使用材料

実験に用いたコンクリートブロック、無収縮モルタルの材料特性を表-1に示す。実験開始時の材齢はコンクリートブロックでは29日～99日、無収縮モルタルでは15～57日となっている。コンクリートブロックには早強ポルトランドセメントを用い、粗骨材の最大寸法を20mmとし現場養生を行った。無収縮モルタルはJ₁₄ ロート流下時間8秒になるように水量を調整し、同じく現場養生とした。また、実験で使用したH型鋼にはSS400を使用した。配力鉄筋にはD10を使用し、鉄筋かぶりは25mmとした。実験で使用した鋼材の材料特性を表-2に示す。実験は3回に分けて行ったため、材料特性がそれぞれ異なっている。

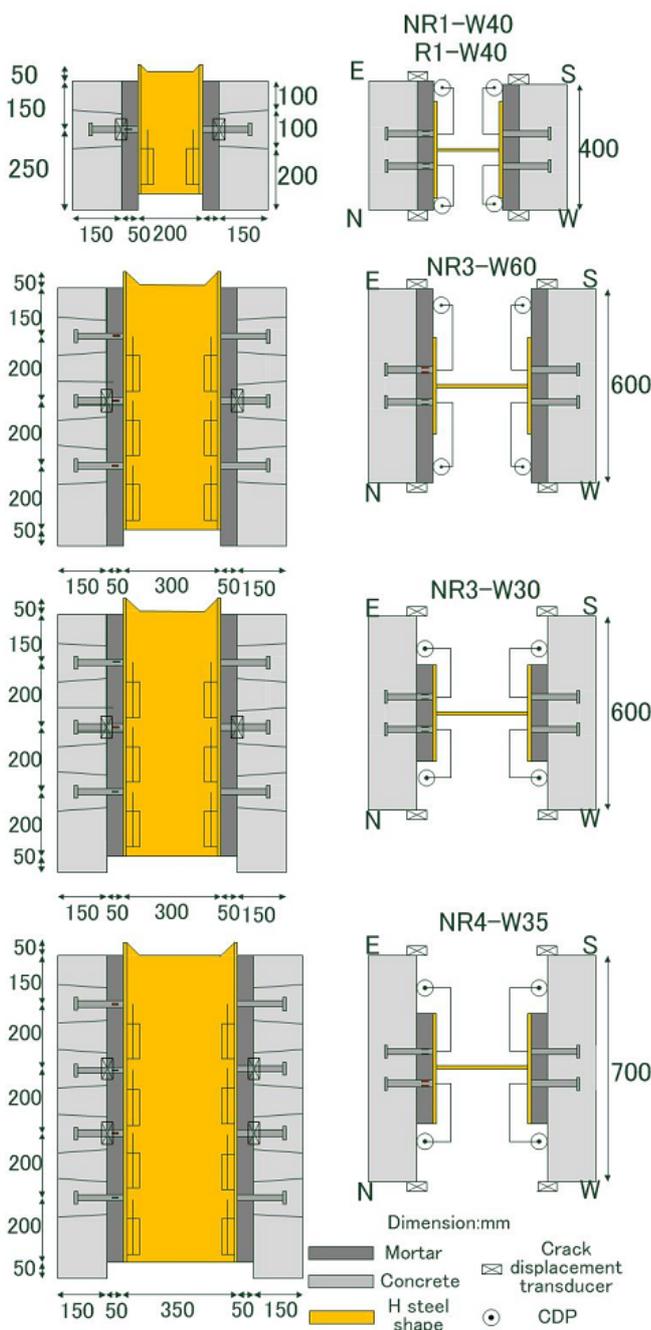


図-1 試験体

(3) 測定項目

実験に際しては、H形鋼と無収縮モルタル背面の相対ずれ変位をせん断方向にスタッドの高さと同じ高さで、スタッド1段につき4ヶ所測定した。コンクリートブロックと無収縮モルタルの鉛直目地ずれ変位と水平目地ずれ変位を、スタッドの高さと同じ位置で無収縮モルタルとコンクリートブロックの境目に亀裂計を設置して測定した。なお、3段配置では2段目を、4段配置では2段目、3段目にそれぞれ亀裂計を設置した。無収縮モルタルに覆われた部分のスタッドのひずみをスタッド基部から25mmの位置で測定した。ひずみゲージはせん断力方向に対して側面の位置に貼りつけた。1

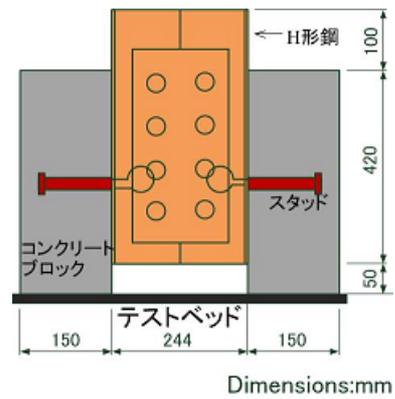


図-2 比較に用いた試験体²⁾

本のスタッドで2ヶ所計測し、ひずみは半分にした試験体のうち、一方のフランジ側のみで計測した。

(4) 試験方法

荷重は漸増繰り返しで載荷し、除荷は相対ずれ変位が0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0mmの時にいった。4.0mm以降は破壊まで0.05mmの増分間隔で単調載荷とし、載荷荷重が大きく低下した時点で載荷終了とした。

(5) 比較に用いた押抜き試験体

今回の押抜き試験結果と比較するために、ほぼスタッドの押抜き試験の標準試験体寸法で製作された試験体の押抜き試験結果²⁾を用いることとする。その試験体の詳細を図-3に示す。H形鋼には244×175mmを使用しており、スタッドは軸径19mm、長さ120mmで、コンクリート下部から高さ235mmの位置にあり、スタッド2本の水平方向の配置間隔は75mmである。この試験体の押抜き試験で得られたスタッド1本あたりのせん断耐力は135kNであった。

3. 実験結果および考察

複合構造標準示方書³⁾に基づく、実験に用いた試験体のスタッド1本の設計せん断耐力はスタッドの破断で決まる場合で134kNとなった。この値に最も近いものはNR3-W60の127kNであり、設計せん断耐力を上回ったものはなかった。また、NR-W40, R-W40, NR3-W30, NR4-W35の4つの試験体では、1度せん断力が低下した後にずれ変位の増加とともに、無収縮モルタル部分にひび割れが発生してからスタッドが破断している。NR3-W60では他の試験体と異なり、スタッドが破断する前にせん断力が低下することはなかった。

なお、比較に用いた試験体のスタッドのせん断耐力が最も大きく、箱抜き部およびモルタル層を用いた本

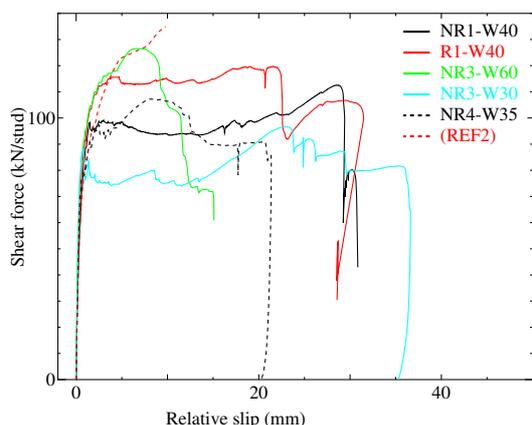


図-3 せん断力-相対ずれ関係

実験の試験体のせん断耐力は相対的に低い結果となっている。

a) せん断力-ずれ変位関係

すべての試験体のせん断力-ずれ変位関係を図-3に示す。縦軸はスタッド1本あたりのせん断力 (kN) であり、横軸はずれ変位 (mm) である。スタッド1本あたりのせん断力は荷重をスタッド本数で除して求めている。3段配置, 4段配置の試験体においても、すべてのスタッド位置でずれ変位を測定したが、結果に有意な差は見られなかったため、すべてのずれ変位を平均している。また、NR3-W60 と NR3-W30 試験体の破壊状況を写真-1, 写真-2に示す。図-3を見ると、比較に用いた試験体²⁾の場合や複合構造標準示方書に基づく設計せん断耐力に比べて全体的にせん断耐力が小さい。同じ1段配置の試験体でも、赤線で示す開止め有りの試験体の方がせん断耐力は高い結果となっている。また、3段配置の試験体では、無収縮モルタルの打設高さを変えた NR3-W60 と NR3-W30 を比較すると、NR3-W30 試験体では相対ずれ変位1mm以下でせん断力が一度低下していることがわかる。これは、写真-2にあるように、無収縮モルタルにひび割れが生じたためであり、ひび割れによってスタッド基部の支圧力が低下したことで、スタッドのせん断耐力が低下したと考えられる。

写真-1に示す NR3-W60 試験体と、写真-2に示す NR3-W30 試験体の破壊状況を比較すると、NR3-W30 試験体のほうが赤丸部分で示すようにモルタル層のひび割れが多く、また、ひび割れの多くがスタッドと同じ高さで発生している。これは NR3-W30 試験体ではモルタル層の下部に50mmの空間を設けたためであり、スタッドからせん断力が伝達されるのに伴って、モルタル層がコンクリート部に対して下方向にずれたためであると考えられる。4段配置試験体である NR4-W35 でも同様の挙動を示しており、モルタル層にひび割れが入ったことが確認できた。

ただし、図-3においてせん断力が約100kN以下で



写真-1 NR3-W60 実験後の破壊性状 写真-2 NR3-W30 実験後の破壊性状

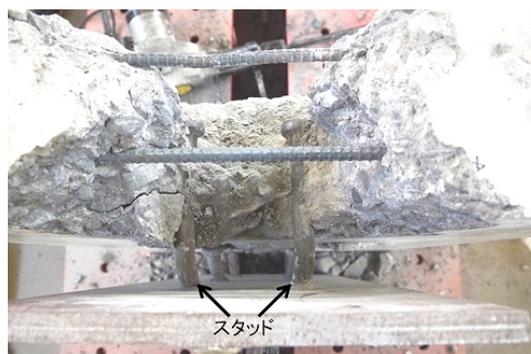


写真-3 NR3-W60 の上段スタッド周り

は、どの試験体においてもせん断力-ずれ変位関係に大きな差は見られないため、箱抜きおよびモルタル層を有する場合にも初期のずれ止め性状は通常のスタッドの押抜き試験体と同等であると言える

b) せん断力-スタッドひずみ関係

NR1-W40 と NR3-W60 のせん断力-スタッドひずみ関係を図-4に示す。縦軸はせん断力 (kN)、横軸はスタッドひずみである。また、NR3-W40 の上段スタッド周りのコンクリートを除去した写真を写真-3に示す。図-4-aに示す NR1-W40 の結果において、せん断力が90kN以下では、黒線と緑線が示すスタッドの内側と、赤線と青線が示すスタッドの外側でひずみに差が生じていることがわかる。また、写真-3を見るとコンクリートブロックとH形鋼の間にある無収縮モルタルに覆われていた部分のスタッド軸部だけが左右に膨らんでいることから、コンクリートブロックとH形鋼の間にあるモルタル層が原因である考えられる。また、同様の傾向が図-4-bに示す、3段配置の試験体である NR3-W60 の上段のスタッドでも見ることができる。しかし、図-4-c, 図-4-dに示すように、中段, 下段となるに従ってその傾向はほとんど見られなくなる。これらの傾向は、試験体のコンクリート接地面が滑り、コンクリートブロックは回転するために、上の方の鋼フランジとコンクリートの接触面に圧縮力が作用するのに対して、下の方では接触面が開こうとするため

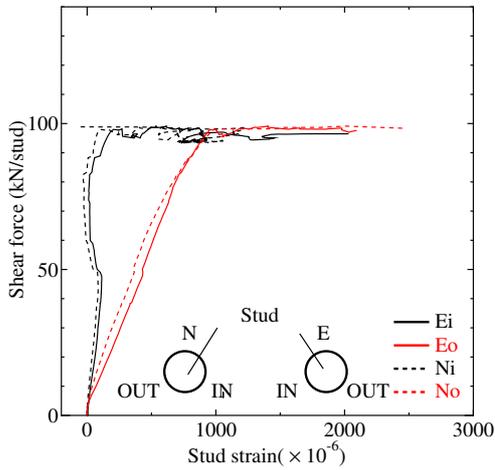


図-4-a NR1-W40

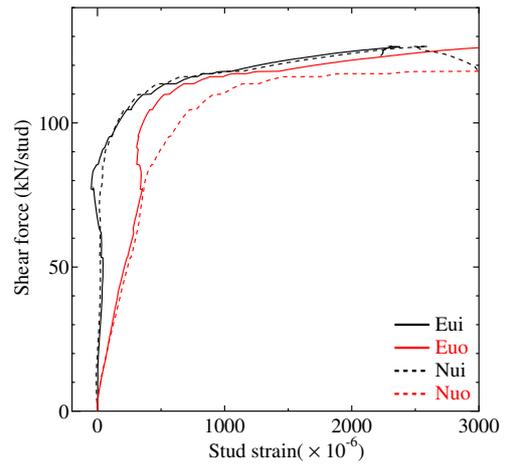


図-4-b NR3-W60 上段

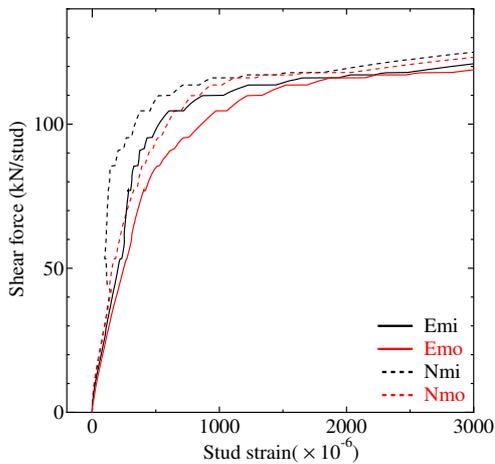


図-4-c NR3-W60 中段

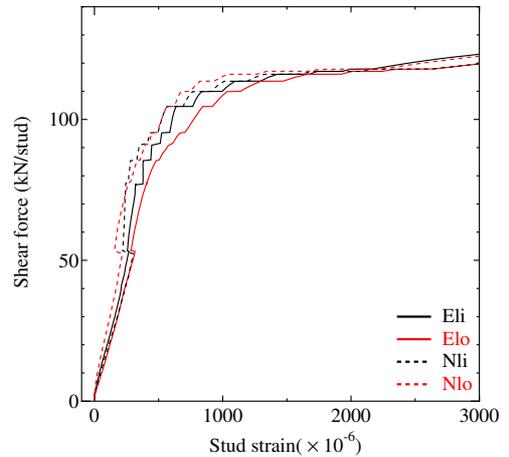


図-4-d NR3-W60 下段

図-4 せん断カースタッドひずみ関係

あると考えられる。しかし、実験中のスタッドの挙動ははっきりとはわかっていない。また、NR-W60と同様の傾向がNR3-W30やNR4-W35においても確認できた。

c) 相対ずれ変位—鉛直ずれ変位関係

すべての試験体の相対ずれ変位—鉛直ずれ変位関係を図-5に示す。縦軸はコンクリートブロックとモルタル層の鉛直ずれ変位であり、横軸はH型鋼とコンクリートブロックのずれ変位(mm)である。1段、3段配置の試験体では4ヶ所、4段配置試験体では8ヶ所で鉛直ずれを計測したが、結果に有意な差が見られなかったため、すべての変位を平均している。図-5を見ると、NR1-W40とR1-W40、NR3-W60とNR4-W35試験体はそれぞれ似た挙動を示していることがわかる。一方、NR3-W30試験体は相対ずれ変位1mm程度から鉛直ずれ変位が発生しており、その後急激に鉛直ずれが増加している。これはNR3-W30試験体ではモルタル層の

下部に50mmの空間を設けたために、コンクリートブロックとモルタル層の間ですれが大きくなったためであると考えられる。また、モルタル層の幅をフランジ幅と同じにし、他の試験体よりもモルタル層の幅が小さいため、モルタルがせん断方向に対して直角方向にせり出したことで、鉛直ずれに抵抗しなくなったと考えられる。しかし、モルタル層下部に空間を設けた試験体であるNR3-W30とNR4-W35試験体を比べると、スタッド段数が1段増えたことで鉛直ずれ変位の発生を遅らせる効果が認められる。

d) 相対ずれ変位—水平ずれ変位関係

すべての試験体の相対ずれ変位—水平ずれ変位関係を図-6に示す。縦軸はコンクリートブロックとモルタル層の水平ずれ変位であり、横軸はH型鋼とコンクリートブロックのずれ変位(mm)である。1段、3段配置の試験体では4ヶ所、4段配置試験体では8ヶ所で鉛直ずれを計測したが、結果に有意な差が見られなかった

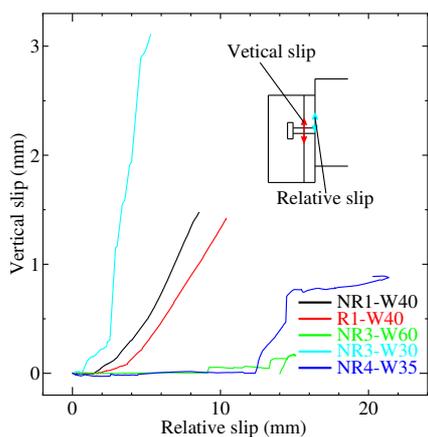


図-5 相対ずれ変位—鉛直ずれ変位関係

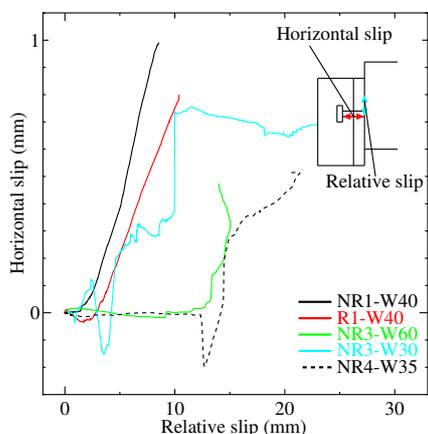


図-6 相対ずれ変位—水平ずれ変位関係

ため、すべての変位を平均している。図-6を見ると、NR1-W40とR1-W40、NR3-W60とNR4-W35試験体は相対ずれ—鉛直ずれと同様にそれぞれ似た挙動を示していることがわかる。NR1-W40とR1-W40では、荷重中にコンクリートブロックが回転するために、水平ずれが現れたものと考えられる。また、NR3-W30試験体でも同様に相対ずれ変位1mm程度から水平ずれ変位が発生しており、その後水平ずれが減少した後、急激に増加している。これはNR3-W30試験体ではモルタル層の幅をフランジ幅と同じにし、他の試験体よりもモルタル層の幅が小さいため、モルタルがせん断方向に対して直角方向にせり出したことで、水平ずれを正確に計測できなかったと考えられる。しかし、モルタル層下部に空間を設けた試験体であるNR3-W30とNR4-W35試験体を比べると、スタッド段数が1段増えたことで水平ずれ変位が大きく抑制できることがわかる。

4. まとめ

本研究では、H形鋼とコンクリートブロックとの間にモルタル層を有し、箱抜きを用いてH形鋼とコンクリートブロックを一体化した試験体をスタッドの段数を変えて押抜き試験を実施し、モルタル層、箱抜き部やスタッドの段数がずれ変位、破壊性状に及ぼす影響を調べた。その結果を以下に示す。

1. 複合構造標準示方書に基づく設計せん断耐力に比較して、本実験の箱抜き部とモルタル層を有する押抜き試験体のせん断耐力は平均して20%程度低下するという結果が得られた。
2. モルタル層を有する押抜き試験体のせん断力—ずれ変位関係はずれ変位が2mm以下では標準的なスタッドの押抜き試験体の関係と同様であるが、ずれ変位がさらに大きくなるとモルタル層にひび割れが生じるため、両者の関係は異なる。
3. モルタル層を有する押抜き試験体では、スタッドが外側に曲がるような挙動を示す。3段配置の上段においてもスタッド基部のひずみの内側と外側でひずみに差が生じ、スタッドが外側に曲がるような挙動を示すのに対して、下段ではスタッド基部のひずみの内側と外側のひずみに差が見られない。今後は、モルタル層、箱抜き部内のスタッドにどの程度の力が働いているのかを明確にするとともに、試験体の回転の影響などを確認することが必要である。

参考文献

- 1) 社団法人日本鋼構造協会：頭付きスタッドの押抜き試験方法（案）とスタッドに関する研究の現状、JSSCテクニカルレポート No.35, 1996.11.
- 2) 中島章典, 池川真也, 森内大介, 西園広之, 大江浩一, 阿部英彦：非合成桁橋スラブ止めの水平せん断ずれ性状と疲労強度について、第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, p.197, 1995.11.
- 3) 土木学会：複合構造標準示方書, p.63, 2009.
- 4) 大久保宣人, 栗田章光, 小松恵一, 石原靖弘：グループスタッドの静的および疲労特性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 48A, p.1392-1398, 2002.3.
- 5) 大久保宣人, 栗田章光：グループスタッドの連続合成桁への適用, 土木学会論文集 No.780 / I-70, 133-143, 2005.1.

STUDY ON BEHAVIOR OF PUSH-OUT TEST ON HEADED STUDS IN SLAB MODEL OF HOLED PRECAST CONCRETE AND LAYER OF MORTAR

Kazuhiro NAGAO, Akinori NAKAJIMA, Hiroshi WATASE and Kengo HARA

A perfobond strip is widely used as the validated shear connector in the various steel-concrete hybrid structures and in general the penetrating rebar is arranged in the perforation to suppress the brittle fracture of the perfobond strip due to the shear failure of the concrete at the perforation. However, the effect of the penetrating rebar on the shear resistance, and of the diameter of the perforation and the penetrating rebar, and the thickness of the steel plate on the behavior of the penetrating rebar are not always clarified up to now. In this research, in order to investigate the effect of the penetrating rebar on the shear resistance of the perfobond strip, two series of simple push-out tests are conducted paying attention to the relation between the perforation diameter and the penetrating rebar diameter, and the variation of the steel plate thickness.