

## (30) 基部に低弾性材料を巻付けた頭付きスタッドの変形挙動に関する実験研究

大垣 賀津雄<sup>1</sup>・石川 敏之<sup>2</sup>・今川 雄亮<sup>3</sup>  
大久保 宣人<sup>4</sup>・PHAM NGOC VINH<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 ものつくり大学教授 技能工芸部建設学科 (〒361-0038 埼玉県行田市前谷333番地)  
E-mail: ohgaki@iot.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 関西大学教授 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)  
E-mail: t-ishi@kansai-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 大阪工業大学准教授 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)  
E-mail: yusuke.imagawa@oit.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 高田機工株式会社 技術本部 (〒556-0011 大阪市浪速区難破中2-10-70)  
E-mail: n\_ookubo@takadakiko.co.jp

<sup>5</sup>非会員 The University of Danang-University of Science and Technology, Vietnam, Faculty of Civil Engineering  
Email: pnvinh@dut.udn.vn

コンクリート床版を有する鋼橋の設計には合成桁と非合成桁の設計法がある。一方で古くから弾性合成桁設計法が研究されているものの実用化には至っていない。弾性合成桁を設計する際に、ずれ止めのパネ定数を制御できれば、実施設計に適用しやすくなると考えられる。そこで、鋼桁とコンクリート床版間に配置される頭付きスタッドについて、パネ定数（フレキシビリティ定数）と押抜きせん断耐力の制御を目的とし、スタッド溶植部近傍にテープ等の柔らかい材料を巻付けた構造についての押抜き試験を行うこととした。本研究ではスタッド溶植部近傍に巻付けるテープの種類と厚さ、および巻付け高さをパラメータとし、パネ定数と押抜きせん断耐力を実験的に明らかにした。

**Key Words :** Composite girder, Rubber-sleeved studs, Shear connector, Push-out tests

### 1. はじめに

#### (1) 弾性合成桁設計法

1960~1970年代にかけて、各種連続合成桁が開発され建設された<sup>1)2)</sup>。しかしながら、1980年代にはRC床版の劣化損傷事例が顕在化したことを受けて、コンクリート床版の取替えを念頭に入れるため非合成桁橋の建設が主流となってきている<sup>3)</sup>。一方で、非合成桁として設計している橋梁においてもスラブアンカー等でコンクリート床版と結合されており、適切に合成効果を評価する必要がある<sup>3)</sup>、不完全合成桁として設計すべきである<sup>4)11)</sup>、不完全合成桁という言葉から受けるイメージがよくないので、ここでは弾性合成桁と呼ぶことにする<sup>1)2)9)11)</sup>。これまで弾性合成桁は各種研究が行われているが、設計に採用されるに至っていない。この理由として、計算方法が煩雑であることと、ずれ止めのパネ定数の評価や制御が

困難なことなどが挙げられる。

#### (2) 弾性合成桁設計法開発の意義

上述の事項を踏まえ、鋼桁とコンクリート床版の合成度合いを実挙動に近い弾性合成桁として計算できれば以下のような設計上の課題を克服できる。

- 非合成桁設計を行った場合でも、弾性合成桁として考えることが実挙動に即しており、コンクリート床版と鋼桁との合成作用を適切に評価できる。
- プレキャスト床版を用いた場合に配置に苦慮する箇所でも、比較的容易に頭付きスタッド（以下、スタッドと記す）の配置ができる可能性がある。
- 支間部のずれ止めを減らしても、合成桁設計法を用いた設計が可能となり、新設橋の経済設計や既設鋼桁の補強の合理化に繋がる。
- 中間支部点の設計は、プレストレスしない連続合成桁

と同様に、鋼桁+鉄筋断面の桁として設計できる。

### (3) 検討すべき課題

弾性合成桁設計法を確立するために、検討すべき課題は以下の通りである<sup>12)</sup>。

- a) 設計せん断力の設定法
- b) FEM解析による弾性合成桁挙動の評価法
- c) 弾性合成桁設計の計算システム化
- d) バネ定数の与え方
- e) ずれ止めのバネ定数の制御

### (4) 本研究の目的

温度差や乾燥収縮によって、桁端部に大きな水平せん断力が作用する。このような場合にずれ止めのバネ定数を小さくして橋軸方向に広く水平せん断力を分散させたいが、ずれ止めの終局せん断耐力は確保できるようにしたいと考えられる。これまで種々のずれ止めのバネ定数に関する実験的な研究<sup>12)22)</sup>がなされてきているが、このような観点での研究は行われていない。

そこで本研究では、上述の課題のうち、最後に記載したずれ止めのバネ定数の制御法の検討を目的としている。具体的には、スタッド溶植部近傍に変形性能のあるテープ（以下、エリマキテープと記す）を巻付ける工法を想定し、エリマキテープの種類、厚さ、および巻付け高さをパラメータとした押抜き試験<sup>23)</sup>を行い、弾性合成桁設計を行う際に必要となるスタッドのバネ定数と水平せん断耐力<sup>24)</sup>を明らかにした。

## 2. 試験概要

### (1) 試験体

押抜き試験に用いる試験体を図-1に示す。本試験では、450×450×300mmの場所打ちRC床版を想定したコンクリートブロックを製作し、200×450×16mmの鋼桁を想定した部材をスタッド $\phi 22 \times 150$  (SS400) 4本で一体化させる。

コンクリートブロックは呼び強度N24普通コンクリート(粗骨材の最大寸法20mm)を用いて、鋼材部と一体化するように打設する。また、鋼材部のコンクリート打設面はジンクリッチペイント塗装を行い、打設前にグリースを塗布して付着が無視できるようにした。

本試験におけるパラメータは表-1に、使用材料の特性は表-2に示す通りである。表-1に示す通り、試験体パラメータは、スタッド溶植部近傍に巻付けるエリマキテープの種類、巻付け数と厚さ、および巻付け段数と高さである。ここで、エリマキテープの種類として選定した材料は、実物を各種取り寄せた中から、ブチルテープ、ビ

ニール補修テープ、ラバーマスチックテープ、および熱収縮テープである。熱収縮テープ以外の材料はいずれも、指先の力で伸ばすことができるほど低弾性であり、スタッド根元に巻付けて固定できる。熱収縮テープは常温でやや硬く袋状になっており、ヒーターで加熱すると柔らかくなり収縮してスタッドに固定できる。以上、市販されていて容易に入手できる材料を用いた。

### (2) 相対ずれ変位の計測位置

押抜き試験を行う際に鋼桁とコンクリートブロックの相対ずれ変位を計測する。スタッドの位置に変位計を設置するため、鋼桁フランジの下端から225mmとコンクリートブロック下端から275mmの位置の相対鉛直変位（以下、相対ずれと呼ぶ）を4箇所計測して、その平均値で評価した。

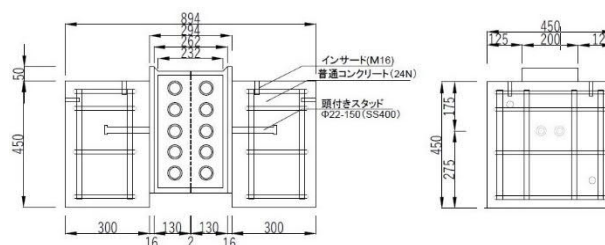


図-1 押抜き試験供試体

表-1 押抜き試験供試体パラメータ

供試体	エリマキテープの種類	巻付け(枚)	合計厚さ(mm)	巻付け段数	巻付け高さ(mm)
CASE0	なし	-	-	-	-
CASE1	ブチルテープ (幅19mm, 厚さ0.5mm)	1	0.5	1	19
CASE2		2	1	1	19
CASE3		1	0.5	2	38
CASE4		2	1	2	38
CASE5		1	0.5	4	76
CASE6		1	0.5	6	114
CASE7	ビニール補修テープ(0.2mm)	1	0.2	1	38
CASE8	ラバーマスチックテープ(厚さ1.7mm)	1	1.7	1	38
CASE9	熱収縮チューブ(40 $\phi$ )	1	1.7	1	38+溶植部

表-2 使用材料特性

使用材料	コンクリートブロック	H形鋼	スタッド $\phi 22$
弾性係数 (MPa)	31,300	$2.05 \times 10^5$	$2.05 \times 10^5$
ポアソン比	0.2	0.3	0.3
圧縮強度 (MPa)	35.7	-	-
降伏点 (MPa)	-	272	305
引張強度 (MPa)	-	438	433
伸び (%)	-	31	27

### (3) 試験方法

図-2に押抜き試験の状況を示す。H形鋼とコンクリートブロックとの相対ずれ4点を計測しながら荷重除荷を繰り返す。設計降伏荷重(360kN)まで1/12ずつ増分荷重と除荷を繰り返す。設計耐荷重以降は破壊まで単調荷重とした。また、供試体と荷重定盤との隙間や不陸を無くするため、設置時に超速硬無収縮モルタルを用いて設置位置の調整を行い、供試体のコンクリート下端部に単管パイプを用いて、鋼部材とコンクリートと隙間の開き止めの措置を講じている。

## 3. 試験結果と考察

実験から得られた結果を表-3にまとめて示す。同表中のバネ定数AとBは、それぞれ $P_{max}/3$ と $Q_s/Q_c=1$ の時の割線弾性係数から確定された値である。また、フレキシビリティ定数 $s$ は式(1)を使用して求めた<sup>5),6),8)</sup>。

$$s = \sqrt{(k_0 \times L_d) / (k \times m)} \quad (1)$$

ここに、 $k_0$ ：基準バネ定数1.96(kN/mm/mm)、 $k$ ：スタッド1本当たりのバネ定数(kN/mm/本)、 $m$ ：1列当たりのスタッド本数、 $L_d$ ：ずれ止め間隔(mm)である。

### (1) バネ定数とエリマキテープ厚さの関係

実験から得られた各スタッドの1本あたりのバネ定数Aとエリマキテープ巻付け厚さの関係を図-3に示す。同図から、エリマキテープ厚さが大きいほど、スタッドのバネ定数が小さくなるのがわかる。今回の試験データは少ないが、回帰式により、バネ定数とエリマキテープ厚さの関係がほぼ線形近似できるといえる。厚さ1.7mm

でバネ定数はエリマキテープを設置しない場合の半分以下(110~135kN/mm/mm)になる。また、表-3からフレキシビリティ定数はエリマキテープを巻付けていないCASE0で1.26であったが、厚さ1.7mmのエリマキテープを巻付けたCASE8,9では1.81~2.00なることがわかる。

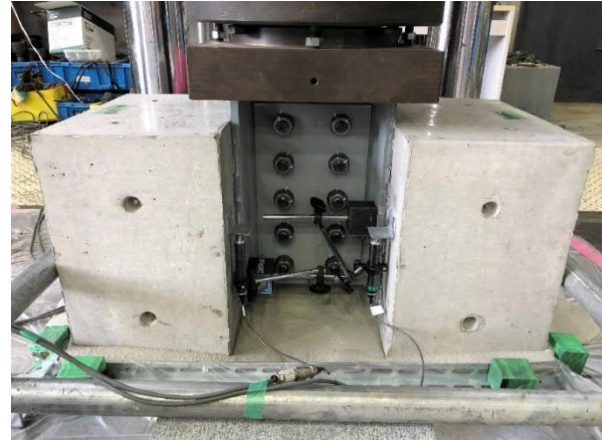


図-2 荷重実験状況

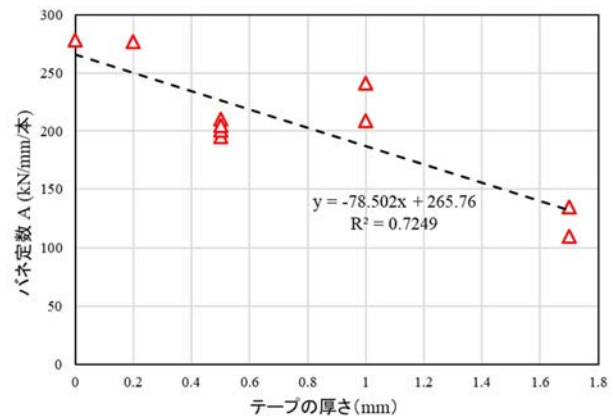


図-3 バネ定数とエリマキテープ厚さの関係

表-3 試験結果一覧

供試体	エリマキテープの種類	巻付け(数)	合計厚さ(mm)	巻付け段数	巻付け高さ(mm)	バネ定数 $k$ (kN/mm/本)※		フレキシビリティ定数 $s$	最大荷重(kN)
						A	B		
CASE0	なし	-	-	-	-	278	275	1.26	715
CASE1	ブチルテープ (幅19mm, 厚さ0.5mm)	1	0.5	1	19	210	197	1.45	678
CASE2		2	1.0	1	19	241	225	1.35	688
CASE3		1	0.5	2	38	195	219	1.50	679
CASE4		2	1.0	2	38	209	193	1.45	649
CASE5		1	0.5	4	76	201	224	1.48	646
CASE6		1	0.5	6	114	205	223	1.47	614
CASE7	ビニール補修テープ (厚さ0.2mm)	1	0.2	1	38	277	257	1.26	693
CASE8	ラバースチックテープ (厚さ1.7mm)	1	1.7	1	38	135	145	1.81	642
CASE9	熱収縮チューブ (40φ)	1	1.7	1	38+ 溶植部	110	125	2.00	641

注) バネ定数AとBはそれぞれ $P_{max}/3$ と $Q_s/Q_c=1$ の割線弾性係数から確定された値である。

## (2) バネ定数とエリマキテープ高さの関係

エリマキテープ厚さ 0.5mm のみの場合におけるバネ定数とエリマキテープ高さの関係を図-4に示す。同図から、 $\phi 22 \times 150$  のスタッド 1 本あたりのバネ定数は、エリマキテープ高さが 20mm 程度で約 200kN/mm に収束しており、その高さをスタッドの軸径より大きくしてもバネ定数が変わらなかった。後述のスタッドの変形状態から、スタッドのずれ変形は軸径と等しい高さの範囲中心に発生していることが原因と考えられる。

## (3) 最大荷重とエリマキテープ高さの関係

エリマキテープを巻付けていない CASE0 を 100% とした最大荷重比とエリマキテープ高さの関係を図-5に示す。同図から、エリマキテープ高さが大きいほど、スタッドの最大耐荷力が小さくなり、両者の関係がほぼ線形近似できることがわかる。スタッドのほぼ全高にエリマキテープを巻付けた CASE6 (高さ 114mm) で最大荷重比は 70% 程度に減少する。この原因としては、エリマキテープがコンクリートブロックとスタッドの間の付着範囲を減少させるため、エリマキテープ高さが大きくなるほどスタッドの最大荷重が減少することが考えられる。

## (4) 破壊モード

スタッドの荷重後の破壊状況を調べるため試験体をスタッド位置で切断した。その写真を図-6 に示す。同図からすべてのスタッドで根本の変形が大きくなっており、スタッドの上部の変形はほとんど生じていない。また、エリマキテープの厚さが大きい CASE4, 8, 9 については、スタッドの根本の終局状態の変形が大きく、高さ方向に広い範囲で変形していることがわかる。

## 4. まとめ

スタッド溶植部近傍に変形性能のあるエリマキテープを巻付ける工法について、エリマキテープの種類、厚さ、および巻付け高さをパラメータとした押抜き試験を行い、スタッドのバネ定数と水平せん断耐力を明らかにした。本研究から以下のことがわかった。

- (1) エリマキテープ厚さが大きいほど、スタッドのバネ定数が小さくなることがわかった。バネ定数とエリマキテープ厚さの関係がほぼ線形であり、厚さ 1.7mm でバネ定数はエリマキテープを設置しない場合の半分以下 (110~135kN/mm/mm) に減少した。
- (2) また、フレキシビリティ定数はエリマキテープを巻付けていない CASE0 で 1.26 であったが、厚

さ 1.7mm のエリマキテープを巻付けた CASE8, 9 では 1.81~2.00 なることがわかった。

- (3) エリマキテープ厚さ 0.5mm のみの場合におけるスタッド 1 本あたりのバネ定数は、エリマキテープ高さが 20mm 程度で約 200kN/mm に収束しており、その高さをスタッドの軸径より大きくしてもバネ定数が変わらないことがわかった。
- (4) エリマキテープを巻付けていない CASE0 を 100% とした最大荷重比は、エリマキテープ高さが大きいほど、スタッドの最大耐荷力が小さくなり、両者の関係がほぼ線形近似できることがわかった。スタッドのほぼ全高にエリマキテープを巻付けた場合は、最大荷重比が 70% 程度に減少した。
- (5) エリマキテープの厚さが大きい CASE4, 8, 9 については、スタッドの根本の変形が大きく、高さ方向に広い範囲で変形していることがわかった。

今後の課題としては、既往の他の実験データを含めて整理を行い、弾性合成桁設計におけるスタッドのバネ定数設定方法を提案することである。

謝辞：本研究の実験に際しては、研究当時ものつくり大学学生の川端一輝氏にご協力いただきましたことを感謝致します。

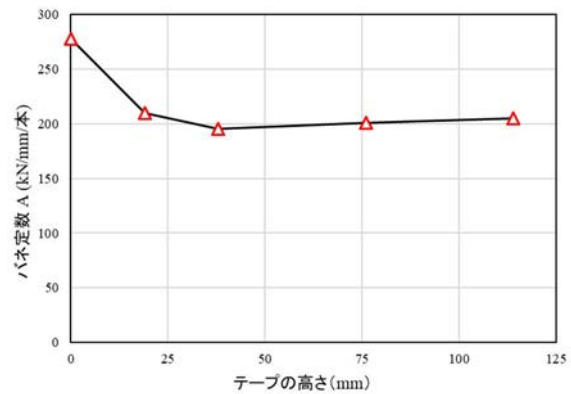


図-4 バネ定数とエリマキテープ高さの関係

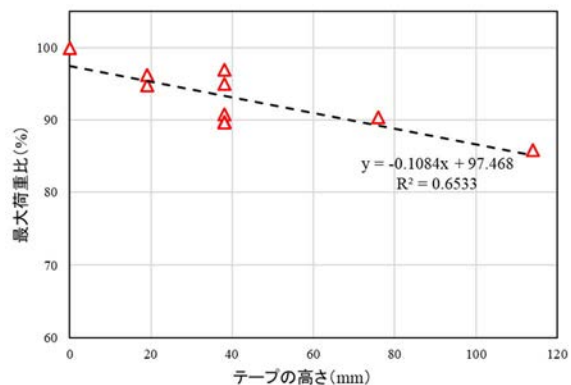


図-5 最大荷重比とエリマキテープ高さの関係

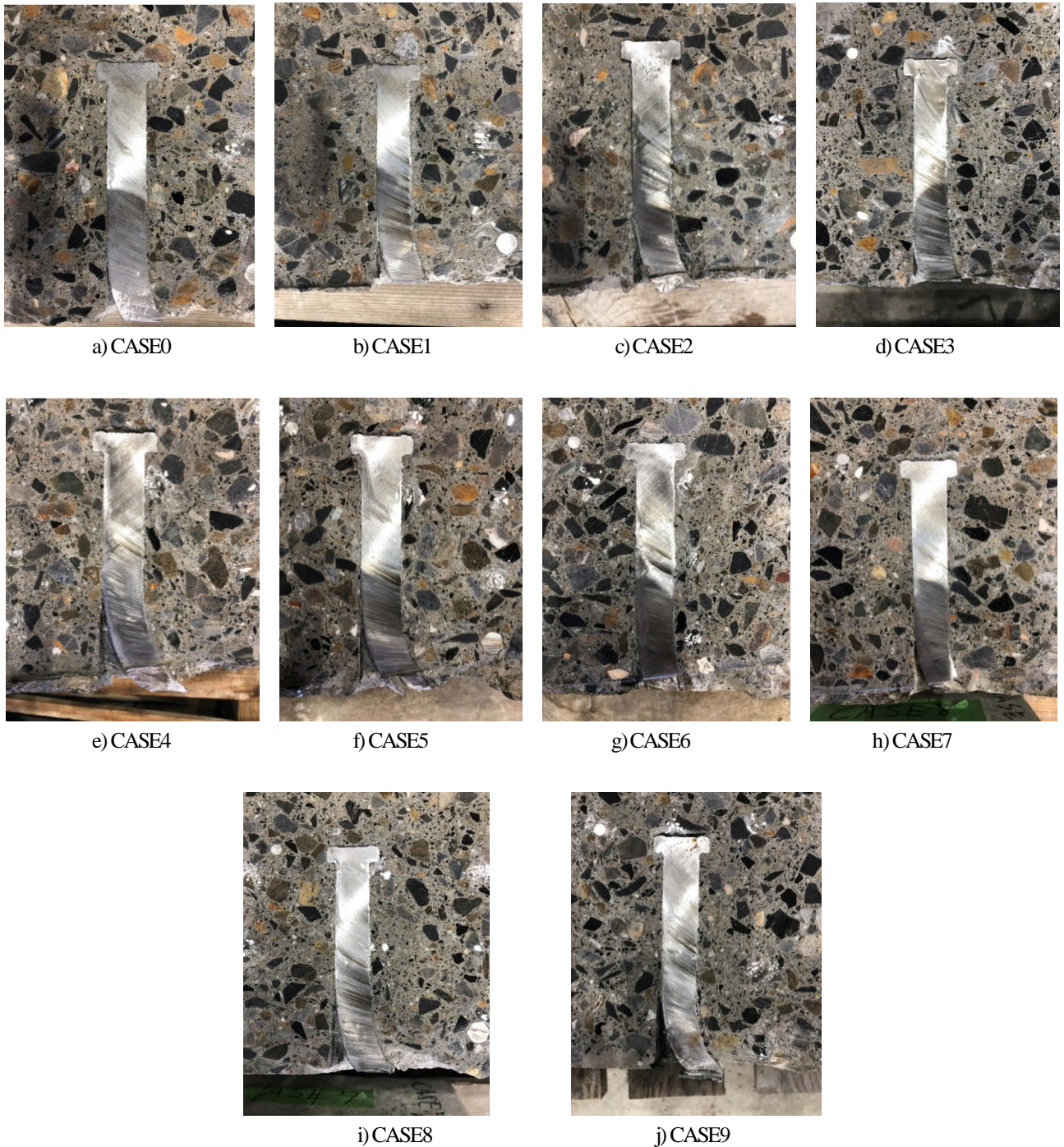


図-6 載荷後のスタッドの変形状況の写真

### 参考文献

- 1) 橋善雄：連続合成桁橋，理工図書，1966.
- 2) 大垣賀津雄：既設合成桁の床版取替えにおける設計・施工上の課題について，土木学会第10回道路橋床版シンポジウム論文報告集，2018.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅱ鋼橋・鋼部材編），丸善出版，2017.
- 4) 山本稔：不完全合成桁の曲げ理論，土木学会論文集，No.67，1960.
- 5) 橋善雄，安達義雄：不完全合成桁について，土木学会論文集，No.112，1964.
- 6) 小松定夫，佐々木孝：不完全合成格子桁橋の理論と近似計算法について，土木学会論文報告集，第329号，1983.
- 7) 佐々木孝，小松定夫：不完全合成桁橋の合理的設計，橋梁と基礎，Vol.24，No.5，1986.
- 8) 中井博，山内幸裕，袴田文雄，酒造敏廣，山本竜太郎：プレキャスト床版を用いた負の曲げモーメントを受ける弾性合成桁の実験研究，土木学会構造工学論文集，Vol.34A，1988.
- 9) 中原正人，栗田章光，中井博，小深田祥法：弾性合成桁

- 橋の経時挙動, 土木学会第4回複合構造の活用に関するシンポジウム論文集, (4), 1999.
- 10) 中島章典, 溝江慶久: 不完全合成桁の不完全度の簡易推定法, 土木学会論文集, No.537/I-35, 1996.
  - 11) 土木学会: 連続合成桁における床版取替技術の現状と展開, 複合構造レポート 17, 2021.
  - 12) 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 石川敏之, 今川雄亮, 大久保宣人: 弾性合成桁橋の設計法, 橋梁と基礎, Vol.57, No.5, 2023.
  - 13) 松井繁之, 平城弘一, 石崎茂: スタッドの非合成桁橋への適用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, 1997.
  - 14) 大谷恭弘, 栄真堂, 堀江良太: 頭付きスタッドのずれ剛性評価について, 土木学会全国大会第 72 回年次学術講演会概要集, CS5-034, 2017.
  - 15) 松本崇志, 浅野文佳, 小林駿祐, 光川直宏, 山口隆司: モルタル薄層を有する頭付きスタッドで結合されたプレキャスト床版の押抜き試験, 構造工学論文集, Vol.66A, 2020.
  - 16) 田川泰久, 平城弘一, 尾形素臣, 井上一朗, 松井繁之: 頭付きスタッドの押抜き試験法の標準化に関する検討, 鋼構造論文集, 第2巻, 第8号, 1995.
  - 17) 大城壮司, 上條崇, 奥井義昭, 長井正嗣: プレキャスト床版連続合成桁のずれ止めに関する実験および解析, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.2, 2012.
  - 18) 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, 2002.
  - 19) 石川敏之, 寺田典生, 福永靖雄, 中村和己, 田中一: カップラージョイントスタッドのせん断耐力および疲労強度特性, 構造工学論文集, Vol.47A, 2001.
  - 20) 今川雄亮, 大山理, 栗田章光: 火災時および火災後におけるスタッドの力学特性, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.2, 2009.
  - 21) 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 平木航介, 今川雄亮, 石川敏之, 大久保宣人: コンクリート床版を有する弾性合成桁の頭付きスタッドのバネ定数に関する実験研究, 第 12 回道路橋床板シンポジウム論文報告集, pp.347-352, 2022.
  - 22) 大垣賀津雄, PHAM NGOC VINH, 渡邊翔一郎, 石田学, 赤江信哉, 今川雄亮, 石川敏之, 大久保宣人: プレキャスト床版を有する弾性合成桁のずれ止め性能に関する実験研究, 土木学会第 14 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム, (10), 2021.
  - 23) 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, 1996.
  - 24) 土木学会: 複合構造標準示方書 [2014 年制定] 設計編, 2015.

(Received August 25, 2023)

## EXPERIMENTAL STUDY ON SHEAR BEHAVIOR OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE CONNECTORS WITH RUBBER-SLEEVED STUDS

Kazuo OHGAKI, Toshiyuki ISHIKAWA, Yusuke IMAGAWA  
Nobuhito OKUBO and Ngoc Vinh PHAM

In the design of steel bridges with concrete slabs, there are design methods for composite girders and non-composite girders. On the other hand, although flexible composite girder design method has been studied for a long time, it has not been put into practical use. When designing flexible composite girders, if the stiffness of the shear connector is to be controlled, it will be easier to apply it to the design.

Therefore, the authors carried out the push-out test to evaluate the stiffness of the stud shear connectors on a structure in which a soft material such as tape was wrapped around the welded part of the stud. In this study, the type, thickness, and winding height of the elastic tape to be wrapped around the stud welding part were used as parameters, and the stiffness of the shear connector and push-out shear strength were experimentally clarified.