

(35) 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

HORIZONTAL SHEAR-SLIP BEHAVIOR AND FATIGUE STRENGTH
OF SLAB CLAMP FOR PLATE GIRDER BRIDGE

中島章典*・池川真也**・森内大介***・西園広之****・大江浩一****・阿部英彦*****

By Akinori NAKAJIMA, Masaya Ikegawa, Daisuke MORIUCHI,
Hiroyuki NISHIZONO, Hirokazu Ohe and Hidehiko ABE

A slab clamp used in a plate girder bridge resists rather rigidly against horizontal shear between a steel girder and a concrete slab, so the slab clamp may be subjected to the cyclic horizontal shear by a moving vehicle. In this paper, then, a static push-out test and a fatigue test employing a push-out specimen with an actual size of a slab clamp were conducted. In the experiment, the effects of a compression strength of a concrete slab and a transverse restrained force applied to the concrete slab on the horizontal shear behavior and the fatigue strength were examined comparing with the results of a push-out specimen with studs.

As a result, the fundamental horizontal shear behavior and fatigue strength of a slab clamp were clarified.

1. はじめに

鋼道路橋の非合成桁に用いられるスラブ止めの役割は、鋼桁に対するコンクリート床版の位置を確保することであり、車両走行時などにスラブ止めが伝達する水平せん断力はかなり小さく力学的には問題がないと考えられてきた。しかし、実際にはスラブ止めもある程度のずれ止め剛度を有しており、また、大型車両の荷重規格の変更も考慮すれば、車両走行に伴いスラブ止めが伝達する繰り返しの水平せん断力の大きさは無視できないものであると予想される。

このような背景の基で、著者らは、実寸大スラブ止めを取り付けた押し抜き試験体の静的載荷実験および疲労試験を行って、スラブ止めの基本的な静的押し抜き性状および疲労強度を検討した¹⁾。しかし、この研究で用いた押し抜き試験体のコンクリートの圧縮強度は 520kgf/cm^2 とかなり高く、通常の合成桁に用いられるスタッドの押し抜き試験体の性状との比較もできなかった。

そこで本研究では、上述の研究に加えて、押し抜き試験体のコンクリートの圧縮強度を変えた場合および側方から拘束圧を与えた場合のスラブ止めの静的押し抜き性状および疲労強度を検討した。また、同時に打設したスタッドの押し抜き試験の結果をスラブ止めの結果と直接的に比較した。

2. 試験体の概要

スラブ止めの静的押し抜き性状および疲労強度を調べるために、図1のような押し抜き試験体を製作して実験を行った。スラブ止めは、直径16mmの丸鋼を鋼フランジに現場施工と同じ方法で溶接加工し、加工後に 45°

* 正会員 宇都宮大学 工学部建設学科建設工学コース

**** 正会員 トピー工業株式会社 鹿沼製造所工場管理部技術課

** 正会員 鹿島建設株式会社 建設総事業本部土木設計本部

***** 正会員 足利工業大学 土木工学科

*** 宇都宮市

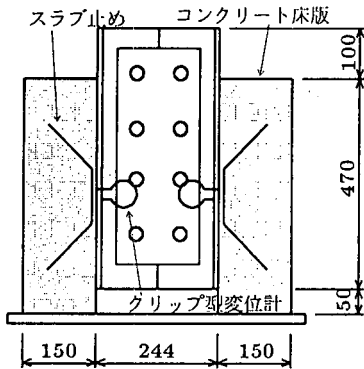


図1 押し抜き試験体形状

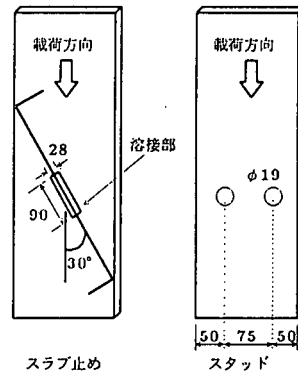


図2 スラブ止めおよびスタッド取り付け状況

に曲げあげて形を整えた。スラブ止めを取り付ける鋼柱には、 $244 \times 175 \times 7 \times 11$ mm、高さ520mmのH型鋼を用いた。また、コンクリート床版の大きさは縦470mm、幅400mm、厚さ150mmとした。比較のために、直径19mm、高さ120mmのスタッド2本を片側1段に、75mm間隔で鋼フランジに溶植した押し抜き試験体も製作した。H型鋼フランジへのスラブ止めおよびスタッド取り付け状況の詳細を図2に示す。拘束圧を負荷する押し抜き試験体については、図3に示すようにコンクリート床版を鋼板で挟み、あらかじめ明けておいた4箇所の穴に両端をねじきった直径16mmの鋼棒を通し、ナットで締め付けることによって拘束圧を加えた。その際、鋼棒の長さ中央部に貼付したひずみゲージを用いて張力を調整し、4本で約10tfの拘束圧を加えた。

押し抜き試験時に、鋼フランジとコンクリート床版の摩擦が、スラブ止めのせん断力伝達性状に及ぼす影響をなるべく小さくするために、鋼フランジ表面にクラフトテープを丁寧に貼り、その上にグリースを塗布し摩擦の低減を図った。

各試験体は、静的押し抜き試験用に1体、疲労試験用に3体を製作した。試験体の種類は、スラブ止め標準試験体と側方から拘束圧を負荷した試験体および比較のためにスタッドを溶植した試験体である。

3. 静的押し抜き試験の結果と考察

疲労試験に先立ち、スラブ止めおよびスタッドの水平せん断に対する荷重ずれ性状を把握するために静的押し抜き試験を実施した。

実験においては、図1のようにスラブ止め取り付け位置にクリップ型変位計を取り付け、鋼フランジとコン

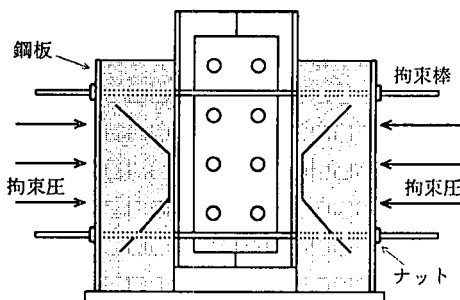


図3 拘束試験体の試験体状況

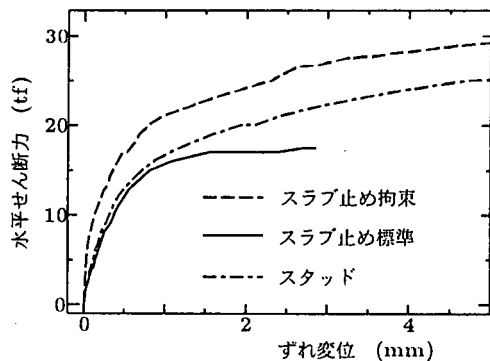


図4 水平せん断力-ずれ曲線

クリート床版のずれを計測した。荷重は、載荷除荷を繰り返しながら漸増させたが、車両が繰り返して走行した場合に近い状態の荷重ずれ関係を調べるため、荷重が0～8tfで荷重サイクルを数回繰り返した。また、コンクリート床版にひびわれが生じた荷重値までの範囲においても荷重サイクルを数回繰り返した。

押し抜き試験時に、クリップ型変位計により測定されたスラブ止めおよびスタッドのずれと水平せん断力との関係を図4に示す。図の縦軸は、押し抜き試験時に上部に載荷される荷重の1/2で、スラブ止め試験体の場合にはスラブ止め1本に、スタッド試験体の場合にはスタッド2本にかかる水平せん断力を表し、横軸は鋼フランジとコンクリート床版の相対的なずれを表している。この図より、荷重の初期段階において、スラブ止め標準とスタッドの荷重ずれ関係は近似していることがわかる。荷重が15tfを越えると、同じ荷重段階ではスラブ止め標準の方がスタッドよりもずれ変位が大きくなった。これに対して、スラブ止め拘束のずれは、すべての荷重段階で他よりさらに小さく、最大耐荷力も大きくなった。これは、拘束力を負荷したスラブ止めの押し抜き試験体では、横からの拘束圧による鋼フランジとコンクリート床版の摩擦力が影響するためであると考えられる。

一方、除荷過程も含めた押し抜き試験時の荷重ずれ関係を、スラブ止め標準の場合について図5に示す。荷重が8tfに到達した時点および床版コンクリートにひびわれが生じた時点で3回除荷、載荷を繰り返した。この図から、より大きい荷重を載荷した後に除荷載荷を繰り返した場合には、ずれ止め剛度は幾分低下していることが伺える。

ここで、このようにして測定された荷重ずれ曲線に基づいて、それぞれのずれ止め剛度を算出した結果を表1に示す。荷重8tfおよびひびわれ発生時のずれ止め剛度は、再載荷時の勾配を基に求めた。この表には文献1)のコンクリート強度が 520kgf/cm^2 と高いスラブ止め試験体の結果も併せて示している。ただし文献1)では、スラブ止めの取り付け角度を 30° および 90° とした場合を検討したため、コンクリート床版の幅を600mmとしている。

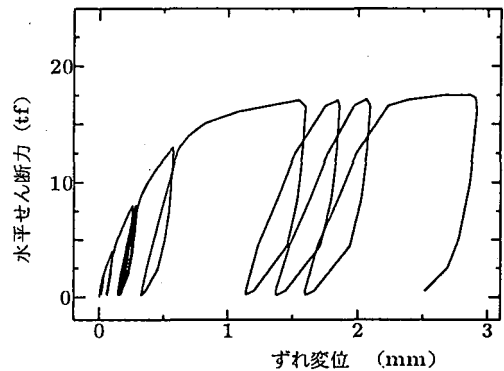


図5 除荷域も含めた水平せん断力-ずれ曲線

スラブ止め試験体についてはスラブ止め1本当たり、スタッド試験体についてはスタッド2本分として算定している。この結果から、ここで用いた標準のスラブ止め1本とスタッド2本分のずれ止め剛度は同程度の大きさであることがわかる。また、本研究の試験時のコンクリートの圧縮強度は約 350kgf/cm^2 であるが、コンクリートの圧縮強度が高いスラブ止め試験体のずれ止め剛度の方がわずかに大きいことがわかる。ただし、スラブ止めの取り付け角度を 90° とした場合には、スラブ止めの溶接部が押し抜き方向に対して大きく抵抗するために、ずれ止め剛度は取り付け角度を 30° とした場合よりも大きくなっている。

これに対して、拘束圧を負荷したスラブ止め試験体のずれ止め剛度はかなり大きくなっている。また、8tfまで荷重を載荷した後の除荷載荷時のずれ止め剛度の低下は顕著には認められないが、ひびわれ発生後の除荷載荷時のずれ止め剛度はやはり低下している。

4. 疲労試験の概要

疲労試験における荷重の載荷方法は、応力波形を正弦波、繰り返し速度を5Hz、下限荷重を2tfの部分片振り圧縮とし、上限荷重を3段階に変えて疲労試験を行った。

ただし、公称せん断応力とは、図2に示すように載荷荷重に対して、スラブ止めの試験では、スラブ止め1本にかかる水平せん断力をスラブ止めの溶接部の面積で除した値を、スタッドの試験では、スタッド2本分の軸部断面積で除した値を意味し、以下ではこれをせん断応力とする。

表 1 押し抜き試験により得られたずれ止め剛度

ずれ止め種類	初期勾配	荷重 10tf 時割線	8tf 再載荷時	ひびわれ発生時
スラブ止め標準	5.0×10^4	4.6×10^4	5.61×10^4	2.69×10^4
スタッド 2 本	6.6×10^4	4.48×10^4	4.59×10^4	3.79×10^4
スラブ止め拘束	18.6×10^4	8.0×10^4	17.1×10^4	—
スラブ止め ¹⁾ (520kgf/cm ²)	取り付け角度 30°	5.25×10^4	4.74×10^4	—
	90°	8.49×10^4	6.97×10^4	—

(単位:tf/m)

疲労破壊の決定は荷重制御で行い、出力荷重が入力荷重の 90% 以下または 110% 以上となった時点をもって疲労破壊が生じたものとし、それまでの繰返し回数を疲労寿命とした。

5. 疲労試験の結果と考察

荷重振幅を最も小さくしたスタッドの疲労試験およびスラブ止め拘束の疲労試験では、繰返し回数が 400 万回を越えても疲労破壊に至らなかったためその時点で試験を中止した。

破壊までの S-N 線図を図 6 に示す。図の縦軸はスラブ止めあるいはスタッドに作用するせん断応力範囲を表し、横軸は疲労破壊が生じるまでの繰返し回数を表す。スラブ止め、スラブ止め拘束およびスタッドの実験結果をそれぞれ図に示す記号で表している。せん断応力範囲で疲労強度を示した場合、スラブ止めの疲労強度はスタッドの疲労強度に比較してかなり小さくなっている。ただし、これはせん断応力範囲で表した結果であることに注意する必要がある。一方、拘束圧を与えたスラブ止めの疲労強度はやはりスラブ止め標準の疲労強度よりは大きくなっている。

さらに図中には、文献 1) でスラブ止めの取り付け角度を 30° とした場合の結果も示しているが、床版コンクリートの圧縮強度がスラブ止めの疲労強度に及ぼす影響はあまり大きくないと言える。また、図には示さないが、スラブ止めの取り付け角度を 90° とした場合の疲労強度も同程度であった (文献 1) 参照)。

本実験で用いたスタッドの疲労試験時の諸定数を入れて得られた松井・平城らの疲労強度条件式²⁾も図中に一点鎖線で示したが、本実験で得られたスタッドの疲労強度によく一致していることがわかる。

スタッド押し抜き試験体では、スタッド根元の溶接部に疲労亀裂が生じてスタッドが破断し、疲労破壊が生じた。この場合、床版コンクリートにはほとんどひびわれは生じなかった。これに対して、本研究のスラブ止め押し抜き試験体では、押し抜き方向下側スラブ止め上部の床版コンクリート表面が剥離して、疲労破壊を迎えた。しかし、実験終了後に同試験体を静的に押し抜いてスラブ止め溶接部を観察したところ、スラブ止めの丸鋼が押し抜き方向上端で溶接部から曲げ上がる位置において、丸鋼自身に疲労亀裂が生じていることがわかった。したがって、スラブ止めの疲労実験では、上述の位置に疲労亀裂が発生した後に床版コンクリート表面が剥離したものと考えられる。写真 1、写真 2 にスラブ止め押し抜き試験体の疲労破壊状況を示す。

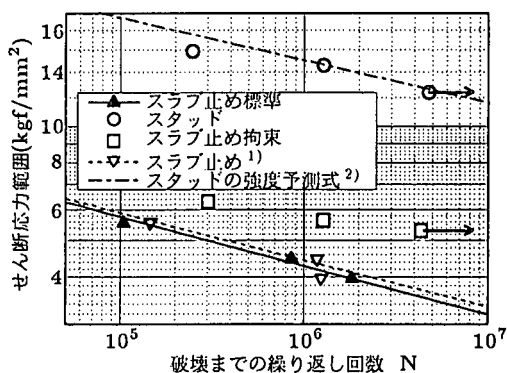


図 6 スラブ止めおよびスタッドの S-N 線図

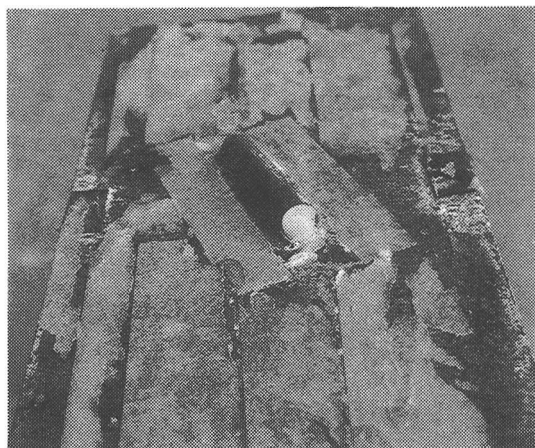


写真1 スラブ止め標準試験体の疲労破壊状況（鋼柱側）



写真2 スラブ止め標準試験体の疲労破壊状況（コンクリート床版側）

一方、文献1)のコンクリートの圧縮強度が高いスラブ止めの疲労試験では、スラブ止めが鋼フランジの溶接部からはずれるような疲労破壊性状を示しており、コンクリートの圧縮強度によって疲労強度はあまり差異がないものの、スラブ止めは異なる疲労破壊性状を示す結果となった。

6. おわりに

本研究では、スラブ止めの静的押し抜き性状および疲労強度を明らかにすることを目的として、実寸大のスラブ止めを取り付けた押し抜き試験体を用いた実験を行った。また、試験体形状および床版コンクリートの圧縮強度を同一の条件としたスタッドの押し抜き試験体による実験を行い、文献1)のコンクリートの圧縮強度がかなり大きい場合の結果も加えて相互に比較検討した。さらに、スラブ止めに側方から拘束圧を与えた押し抜き試験体の実験を行い、拘束圧が静的押し抜き性状や疲労強度に及ぼす影響を検討した。

本研究で得られた結果をまとめると以下になる。

1. スラブ止めの押し抜き試験体のずれ止め剛度はコンクリートの圧縮強度が高いほど幾分大きくなった。これに対して、コンクリートの圧縮強度が疲労強度に及ぼす影響は顕著には認められなかったが、異なる疲労破壊性状を示した。ただし、押し抜き試験体の側方から拘束圧を与えた場合のスラブ止めのずれ止め剛度および疲労強度はかなり大きくなった。
2. 押し抜き試験体の形状、床版コンクリートの圧縮強度など同一の条件で行ったスラブ止め1本とスタッド2本（径19mm）の押し抜き試験による低荷重範囲のずれ止め剛度は同程度の値となった。しかし、せん断応力範囲で整理した疲労強度は、スタッドの方がスラブ止めより大きくなった。

参考文献

- 1) 中島章典・池川真也・土橋健治・阿部英彦: 非合成桁橋スラブ止めの動的水平せん断伝達性状と疲労強度, 鋼構造年次論文報告集, 第2巻, pp.683-690, 1994.11.
- 2) 松井繁之・平城弘一・福本 士: 頭付きスタッドの疲労強度評価式の誘導 — 疲労強度評価式 —, 構造工学論文集, Vol.35A, pp.1233-1243, 1989.3.