

V-33

高腹圧力下におけるPC鋼より線のフレットング疲労に関する研究

北海道大学工学部 学生員 森脇 渉

北海道大学大学院 正 員 佐藤 靖彦

北海道大学大学院 正 員 上田 多門

北海道大学大学院 正 員 角田 與史雄

1. はじめに

PC橋においてプレストレスを与える緊張材は、主桁断面を構成するウェブなどの内部に配置される内ケーブル方式が主流であった。しかし近年、施工の省力化、桁自重の軽減策、維持管理の容易さなどの理由から、床版やウェブの外側に緊張材を配置する外ケーブル方式のPC橋が注目を集めつつある。外ケーブル方式を採用することによって先に述べたようなメリットが生まれる反面、ケーブルの防錆方法、偏向部（デビエータ）や定着部の構造などの課題も生じてくる。本研究で扱う偏向部での外ケーブルのフレットングを伴う疲労強度も外ケーブル方式における重要な問題である。

一般に互いに押しつけられている2物体が、相対的に微小振幅の滑り運動を繰返す現象をフレットングと称する。フレットングが起ると鋼材の疲労強度が低下する現象はよく知られている。外ケーブル構造においてPC鋼材は偏向部において円弧状に曲げ上げられているため、緊張力の軸直角方向分力によって偏向部との間に腹圧力を受ける。さらに活荷重によるケーブル軸方向の応力振幅、それに伴うPC鋼材間の微小相対滑り量といったフレットングを引き起こす様々な要因が存在するため、PC鋼材の疲労強度が低下する事が考えられる。しかし、偏向部におけるPC鋼材の疲労に関する研究は数例しかないので、その疲労特性について不明瞭な部分が多く、疲労寿命の低下によっていつ破断してもおかしくない、あるいは破断しているPC鋼材が緊張材としてその役割を担っているのが現状である。その中で田中〔1〕はPC鋼より線におけるフレットングに関する研究を行い、PC鋼よりの疲労強度式を提案した。そこで本研究はこの疲労強度式がPC鋼より線にとって厳しい条件下、すなわち高腹圧が作用する場合でも適応しえるのかを明らかにすることを目的として行った。

2. 実験概要

フレットング現象が発生する要因として先に述べた応力振幅、相対すべり量、腹圧力を作用させるために次のような供試体を使用した。(図1)

供試体には5本のPC鋼より線(SWPR7B 12.7mm:降伏耐力155.9kN、引張耐力183.4kN)を使用し、中心の1本のみ上下端で固定し、回りの4本は下端で固定している。上下端の定着には中空の鋼管に大きな膨張圧を発生する定着用膨張材(静的破砕材)〔2〕をつめることにより、その膨張圧でPC鋼より線を定着させる。これによりボルトなどの定着具を使って疲労試験を行う際に懸念される、定着部分での疲労破壊を憂慮する必要がない。なお定着用膨張棒張材には20℃以上の温度で、1週間程度の養生をさせた。

本実験では図1中のhの位置に拘束機(図2)を用いてPC鋼より線を外側から締め付けることにより、中心と外側のPC鋼より線の間に腹圧力を作用させている。なお以下に示す腹圧力の値はフレットング痕1個当たりの値である。またhの位置を変えることにより、相対滑り量を変えることができる。即ち中心、外側のPC鋼より線のひずみを ϵ_{center} 、 ϵ_{out} とすると高さhの部分で起こる相対滑り量 Δ は中心と外側のPC鋼より線の伸びの差であるから、

A Study on Fretting Fatigue of PCstrands under the High Contact Force Condition
by Wataru MORIWAKI, Yasuhiko SATO, Tamon UEDA and Yoshio KAKUTA

$$\Delta = h \cdot \varepsilon_{outer} - h \cdot \varepsilon_{out} = h \cdot \Delta \varepsilon$$

となり拘束位置を変えることにより、相対滑り量を操作することができる。本実験では、全ての供試体において h を一定、すなわち相対滑り量を 0.05 mm と一定にした。

実験には図3のような実験装置を用いた。疲労载荷中に腹圧力によりPC鋼より線が横方向に滑ると接触位置が変わり腹圧力も変化するので、これを防ぐためにスタビライザーAとアクチュエータのヘッドが回転することによりPC鋼より線の「より」がほどけてしまうとPC鋼より線が抜けてしまうので、これを防止するためにスタビライザーBを取り付けた。

本実験における測定項目は、

- (1) PC鋼より線（中心及び外側）のひずみ振幅
- (2) 上下の定着用鋼管の相対距離
- (3) PC鋼より線間の腹圧力
- (4) 疲労寿命

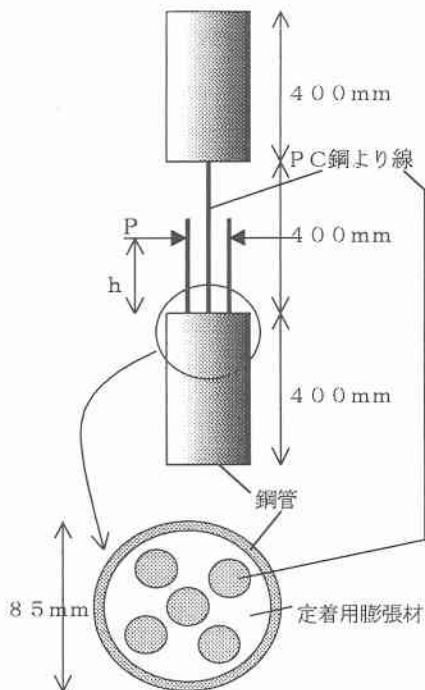


図. 1 供試体図

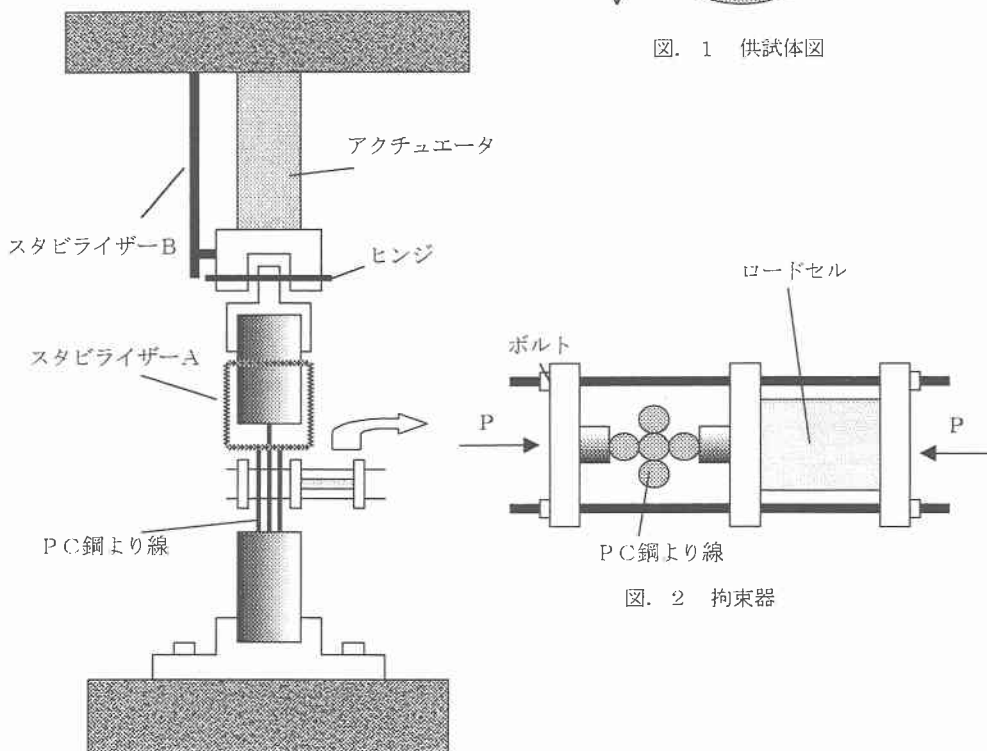


図. 2 拘束器

図. 3 実験概要図

である。ひずみはP C鋼より線にセットしたひずみゲージにより、鋼管の相対距離は変位計により定点間隔を測定した。腹圧力については拘束器に取り付けてあるロードセルで測定した。なおすべての実験のアクチュエータの振動数は5 H zで行った。

本研究では、腹圧力の大きさを実験変数とした2体の供試体のフレットィング疲労試験を行った。各供試体の設定を表1に示す。

表 1 载荷条件及び疲労強度

	腹圧力 (N)	最大荷重 (kN)	最小荷重 (kN)	応力振幅 (N/mm ²)	相対すべり量 (mm)	疲労寿命予測値 (回)	疲労寿命 (回)
供試体 1	1960	11.96	10.98	98	0.05	176490	630000(*)
供試体 2	7840	11.96	10.98	98	0.05	49986	370000(*)

3．実験結果及び考察

表1の(*)は破断せずに疲労载荷を中止して、実験を終了したものである。すなわち、本実験においてはP C鋼より線は破断しなかった。

表1における疲労寿命予測値は、以下に示す田中〔1〕による提案式により求めた値である。

$$N = (f_p)^a \cdot (f_{sl})^b \cdot (\sigma)^c \cdot (f_{fp})^{-c} \cdot D \tag{1}$$

N ： 疲 労 寿 命

f_p ： 腹 圧 力 に 関 す る 項

f_{sl} ： 相 対 滑 り 量 に 関 す る 項

σ ： 応 力 振 幅 に 関 す る 項

f_{fp} ： 最 小 応 力 に 関 す る 項

D ： 定 数 $D = 1.78 \times 10^{11}$

$(a, b, c) = (-0.91, -0.13, -1.34)$

供試体1は腹圧力を1 9 6 0 Nとして疲労試験を開始した。しかしP C鋼より線には「より」があるため複数の接点ができしまい、フレットィング痕1個当たりの腹圧力が著しく低減されてしまった。これにより疲労寿命が飛躍的にのびてしまったと考えられ、本研究の趣旨と合致しないことと時間的な制限により実験を中止した。

供試体2は先の反省をふまえフレットィング痕が1個になるように腹圧力作用点のまわりを削って実験を行った。しかし7 8 4 0 Nもの服圧力を作用させたためとフレットィングによる断面欠損が進行するにつれ、またしても接点が増えてしまった。このために予測していたよりもはるかに疲労寿命がのびてしまったと考えられるが、実験終了後供試体を観察してみたところ接点は中央のP C鋼より線の片側に2つつであった。これから単純に2つの接点に腹圧力が分配されたとしても、最低でも3 9 2 0 Nの腹圧力が作用していると考えられこの場合に予測される疲労寿命は8 9 1 9 7回であるから、この現象を説明する根拠にはなり得なく、また他に説明する術もない。図4は、既往の実験結果〔1〕を含めた腹圧力と疲労寿命の関係である。図中の実線は田中式により求めたものであるが、過去の実験結果を精度よく評価しているにもかかわらず、本実験とはまったくというほど一致を見ない。一般に、曲げ上げ半径を3 0 0 mmとした場合の腹圧力は、3 3 6．5 N／c mであるがそれをはるかに上回る場合に対しては田中式では評価しきれない可能性が

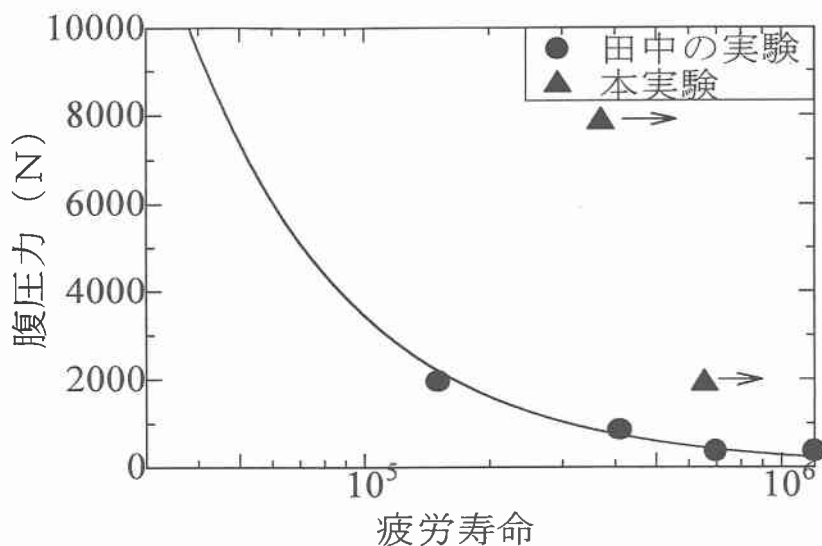


図4 疲労寿命式と実験結果

ある。すなわち、非常に大きな腹圧力を作用させることにより疲労寿命の低下を抑制する何らかの要素があることが考えられる。

4. まとめ

高腹圧力の条件下でP C高より線の疲労試験を行った結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 外ケーブル方式の緊張材に作用する一般的な腹圧力の範囲をはるかに超えると、田中式では評価しきれない可能性がある。
- (2) P C鋼より線同士の接点を増やすことにより腹圧力を小さくすることができ、疲労寿命も増加する。
- (3) 大きい腹圧力を作用させることにより疲労寿命の低下を抑制する何らかの要素がある可能性も考えられる。

謝辞

最後に本実験を行うにあたり、不可欠であった定着用膨張材に関して長崎大学助教授の原田哲夫博士、(株)小野田の上林眞幸氏には多大なご協力を、また北海道コンサルタントの田中雄太氏には、数多くの有益なアドバイスをいただきました。ここに深甚なる感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] 田中雄太：偏向部における外ケーブルの疲労強度に関する研究，北海道大学修士論文，1997
- [2] 膨張材による定着法研究会：定着用膨張材による定着法マニュアル ～連続繊維補強材の引張試験編～