

PC スtrandのフレッティング疲労強度に与える 応力振幅の影響に関する研究

A Study on Effect of Stress Range on Fatigue Strength of Prestressing Strand

北海道大学工学部土木工学科 ○学生員 伊藤智之 (Tomoyuki Ito)
北海道大学大学院工学研究科 正会員 上田多門 (Tamon Ueda)

1. はじめに

近年、PC 構造物の外ケーブル方式は内ケーブル方式に比べ、ケーブルの維持・管理が容易であることから適用が増加している。しかし、外ケーブル方式はその偏向部においてフレッティング現象により、ケーブル (PC 鋼より線) が通常の疲労強度よりもかなり低下する問題がある。フレッティング現象とは微小振幅の相対運動を受ける接触2面間に生じる摩耗現象である。PC 鋼より線は外ケーブル方式の偏向部において複数段に重なり合って PC 鋼より線間で偏向による腹圧力が作用する。PC 鋼より線は互いに点接触するので、接触部で腹圧力による応力が集中している。この腹圧力が作用している状況下で活荷重によって PC 鋼より線の軸方向に応力振幅が生じ、それに伴って相対滑りが PC 鋼より線間に生じる。この結果、接触部において摩耗および亀裂が発生し、さらに進行すると破断に至る。

本研究では、フレッティング疲労強度に影響を与えると考えられる応力振幅、腹圧力、相対滑り量の因子の中でも最も大きな影響を与えると考えられる応力振幅に着目し、腹圧力、相対滑り量の値を一定にして、応力振幅の値だけを変化させて、応力振幅がフレッティング疲労強度に与える影響を調べる実験を行った。

2. 実験概要

実験方式は、フレッティング疲労に支配的に影響を与えると思われる応力振幅、腹圧力、相対滑り量の3つの因子を独立して制御することができる図-1に示すものである。供試体に5本の PC 鋼より線を使用し、膨張材により中央の1本のみを上下端で定着し、外側の4本は下端のみを定着した。外側の4本の中から2本の PC 鋼より線を拘束器により締め付けることで中央と外側の PC 鋼より線の間に腹圧力を作用させる。相対滑り量は中央の1本にのみ応力振幅を与えて、その両側の2本には応力振幅を与えないことで、中央のより線と外側のより線間の接触点で生じる。その大きさは式(1)で表すことができる。

$$S_r = H(\varepsilon_{center} - \varepsilon_{out}) = H(1-r) \frac{\sigma_r}{E} \quad (1)$$

S_r : 相対滑り量、 H : 中央と外側の PC 鋼より線の接触点と固定点との間の距離、 ε_{center} 、 ε_{out} : 中央と外側の PC 鋼より線のひずみ振幅、 r : 接触部の摩擦により外側の PC 鋼より線に伝わる力を表すための係数、 E : PC

鋼より線のヤング係数。

相対滑り量は拘束器の位置を変えることで拘束位置 H を変え、その大きさを調節することができる。腹圧力は拘束器のボルトの締め付け具合を変えることで調節し、ロードセルにより測定した。

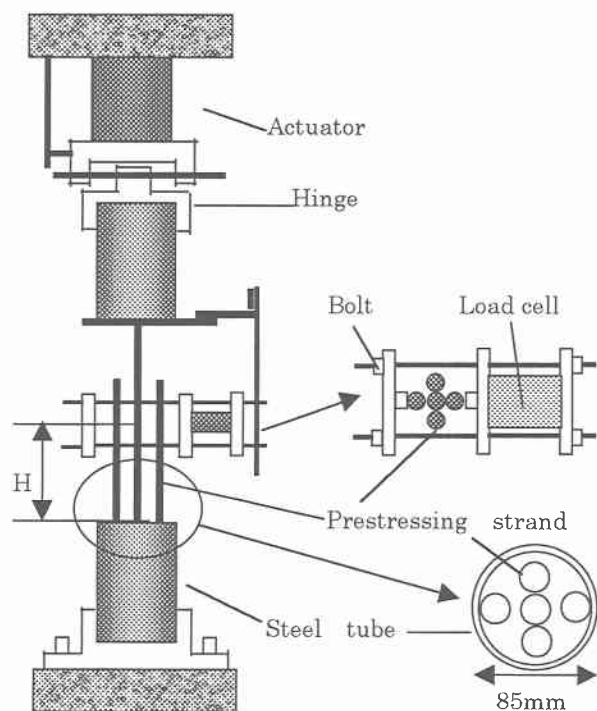


図-1 载荷方法

今回の実験で用意した供試体は、HI1 と HI2 (表-1 参照) である。本研究での実験方式と同じ方式で行われた既往の供試体を参考に今回の実験条件を設定した。

既往の供試体から相対滑り量については0.04mm程度の供試体が多く、今回の実験でも0.04mmを設定目標とした。しかし、HI1 では相対滑り量が少し小さくなってしまった。中央のより線のひずみ振幅に比べ、外側のより線のひずみ振幅が予想以上に大きくなかったためである。腹圧力については既往の供試体から相対滑り量が0.04mm程度に着目した場合、中程度の700~1000Nの供試体が多くあったので800Nを目標設定とした。応力振幅は相対滑り量と腹圧力について上記の条件を満足する既往の供試体には130MPa、98MPa、49MPa、30MPaとあったので160MPa、80MPaとした。以上の実験条件を表-1

の供試体 HI1 と HI2 の欄にまとめて示す。また、参考とした既往の実験での供試体の条件も表－1 に示してある。

表－1 各実験の条件および結果

Specimen	F (N)	Sr (mm)	σ_r (MPa)	N (万回)
HI1	830	0.065	160	44.4
HI2	827	0.037	80	50.8
HS4	1082	0.037	30	*) 300
HS5	838	0.040	130	46.8
HS3	784	0.040	98	*) 200
HM3	980	0.049	98	47.8
HT5	733	0.043	98	*) 200
HT9	850	0.038	98	41.1
HT12	882	0.035	49	76.0

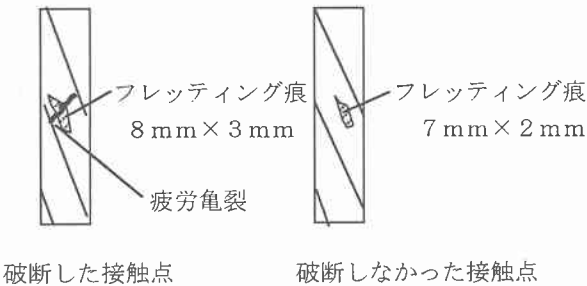
*) 破断せず、実験中止した供試体

3. 実験結果および考察

3. 1 フレッシング疲労性状

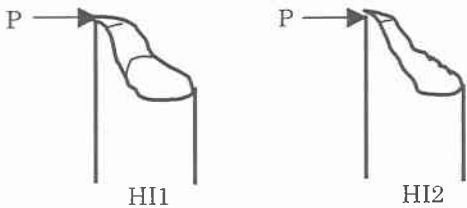
供試体 HI1 は、44.4 万回余り载荷した後に疲労破断が生じた。フレッシングによる赤茶の錆の粉も 10 ～ 20 万回载荷後ぐらいから見られた。フレッシング痕も破断した箇所にはっきり見られた。その状況は図－2 に示す。より線の破断面は接触点から斜めに亀裂が生じている。この斜めの亀裂がフレッシングによる疲労亀裂である。

供試体 HI2 については、50.8 万回余り载荷した後に疲労破断が生じた。フレッシングによる赤茶の錆の粉は供試体 HI1 の時と同じように 10 ～ 20 万回载荷後ぐらいから見られたが、HI1 の時より錆の量は少量しか見られなかった。そのためフレッシング痕もほとんど見られなかった。しかし、破断面は HI1 と同様に接触点から斜めに疲労亀裂が生じていた。



図－2 HI1 のフレッシング痕

より線の破断面について詳細に述べると、接触点からフレッシングにより斜めに疲労亀裂が進行し、途中で軸方向と鉛直に亀裂が進行する。これはフレッシングの疲労亀裂に良く見られる特徴である。その後亀裂は斜めにまた進行し破断に至るが、これは疲労亀裂が進行したことで断面積が減少して応力が増加したため、静的強度が最大応力に耐えられなくなったからである。HI1 に比べ、HI2 の方は軸方向と鉛直に進行する亀裂があまりはっきり見られなかった。図－3 に HI1 と HI2 の破断面を示す。

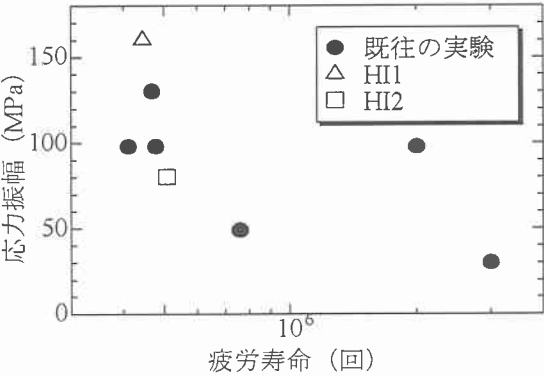


図－3 HI1 と HI2 の破断面

3. 2 既往の実験結果との比較

今回の供試体 2 体の実験結果と既往の実験結果を比較した。(既往の実験条件は表－1 を参照。)

既往の研究では応力振幅が大きいほど疲労寿命は小さくなるとされてきた。今回の実験結果でも HI1 と HI2 の疲労寿命を比較すると、応力振幅が大きい HI1 の方が HI2 に比べて疲労寿命は小さくなる結果となった。また、既往の実験結果とも比較するために今回の供試体 2 体の実験結果と共に応力振幅と疲労寿命の関係を図－4 に示した。この図から応力振幅の疲労寿命に与える影響はそれほど大きくない可能性がある。



図－4 応力振幅－疲労寿命

4. おわりに

腹圧力、相対滑り量を一定とし、応力振幅のフレッシング疲労強度の影響を調べる実験を行った結果、以下のことが結論として導かれた。

- (1) 応力振幅が大きいほど、疲労寿命は小さくなる。
- (2) 応力振幅に比べ、腹圧力、相対滑り量の方がフレッシング疲労寿命に与える影響が大きい可能性がある。

さらに腹圧力、相対滑り量のフレッシング疲労強度への影響についても今回と同様な実験方式で調べる必要がある。

参考文献

1) 上田多門、佐藤公紀、角田興史雄、新井英雄：外ケーブルのフレッシング疲労強度に与える応力振幅とすべり振幅の影響、第 10 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp569-572、2000.10

2) 佐藤公紀：PC 鋼より線のフレッシング疲労に関する疲労強度式の研究、北海道大学卒業論文 1998.3