

## I-86

## 大偏心外ケーブル PC 橋ケーブルのフレッティング疲労試験

|                 |      |       |
|-----------------|------|-------|
| 鹿島(株)技術研究所      | 正会員  | 石原 美光 |
| 北海道大学工学部        | フェロー | 上田 多門 |
| 北海道開発局開発土木研究所   | 正会員  | 佐藤 昌志 |
| 北海道開発コンサルタント(株) | 正会員  | 井上 雅弘 |
| 鹿島(株)技術研究所      | 正会員  | 日紫喜剛啓 |

## 1. はじめに

近年、PC 橋梁において、省力化や急速施工、維持管理の観点から、複数のストランド（PC 鋼より線）から構成される PC ケーブルを部材内に配置する内ケーブル方式にかわり、ケーブルを部材外に配置する外ケーブル方式の採用が増えている。さらに、外ケーブル方式の応用として、図-1 に示すように、外ケーブルを中間支点上で橋面より上に突出させて偏心量を大きくした、大偏心外ケーブル方式による橋梁も増えつつあり、現在帯広において施工中である土狩大橋（企業者：北海道開発局）にも採用されている。

大偏心外ケーブル方式では、中間支点上の偏向塔を介してケーブルが主桁に定着されるため、内ケーブル方式と異なり、主桁とケーブルとの間の付着がない構造となる。そのため、自動車などによる活荷重によって、ケーブルは、斜張橋の斜材と同じように自由に応力変動することとなる。特に、偏向部では、この応力変動により、内側にあるストランドと外側にあるストランドとの間で相対的な変位量の差が生じることとなる。このストランド間の相対変位の違いにより、隣接するストランド同士がこすれ合う現象のことを、一般にフレッティング（fretting）という。

フレッティングが生じた場合、ストランドは、①常に新しい金属面が外部にさらされているような状態になるために腐食されやすい、②応力集中を受け、傷がつきやすくなる、といった影響を受け、その結果、疲労強度が低下すると言われている<sup>1)</sup>。

しかし、フレッティングと疲労強度との関係について検討した例はほとんどなく、実橋への適用にあたっては、フレッティングが生じる場合のストランドの疲労性状を確認することが必要となる。

そこで、大偏心外ケーブル方式の偏向部におけるフレッティングによる疲労性状を確認する目的で、土狩大橋の偏向部を対象としたフレッティング疲労試験を実施している。ここでは、その概要について報告する。

## 2. 土狩大橋の概要

土狩大橋は、帯広・広尾自動車道において、道東自動車道との分岐点となる帯広ジャンクションから  
Fretting Fatigue Test of Cables of Extradosed PC Bridges.

by Yoshimitsu ISHIHARA, Tamon UEDA, Masashi SATO, Masahiro INOUE and Yoshihiro HISHIKI

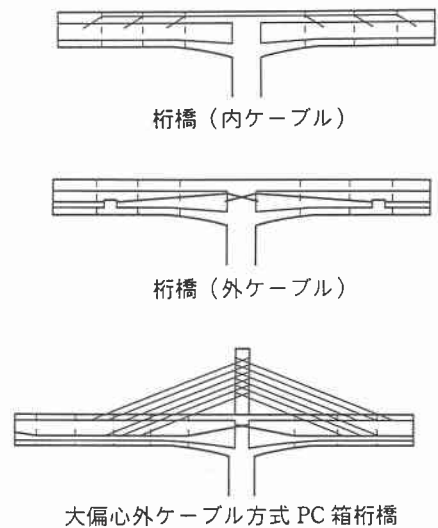
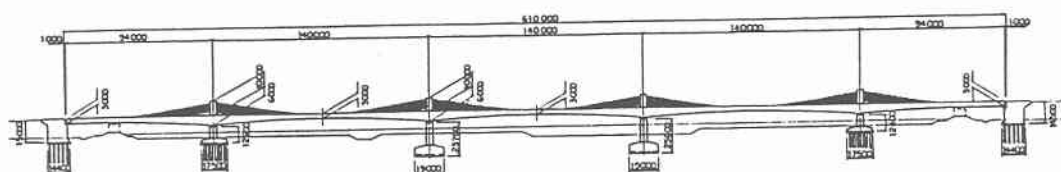


図-1 大偏心外ケーブル方式

約 4 km 南の十勝川を横断する橋梁である。土狩大橋の一般図を図－2 に示す。本橋の橋梁諸元は以下の通りである。

- ・ 構造形式：大偏心外ケーブル方式 PC 5 径間連続箱桁橋
- ・ 橋長：610 m
- ・ 支間長：94 m + 3 @ 140 m + 94 m
- ・ 幅員：23 m（一部拡幅部あり）
- ・ 主桁断面：3 室箱桁（一部、4 室箱桁）
- ・ ケーブルシステム：ディビダーク式外ケーブルシステム 19S15.2B
- ・ 偏向塔：RC 構造独立 1 本柱

側面図

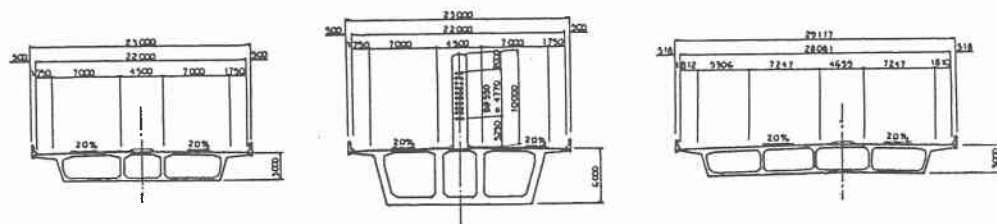


断面図

標準断面図

支点上断面図

拡幅部断面図



図－2 土狩大橋一般図

### 3. 試験の概要

#### 3.1 試験体及び載荷装置

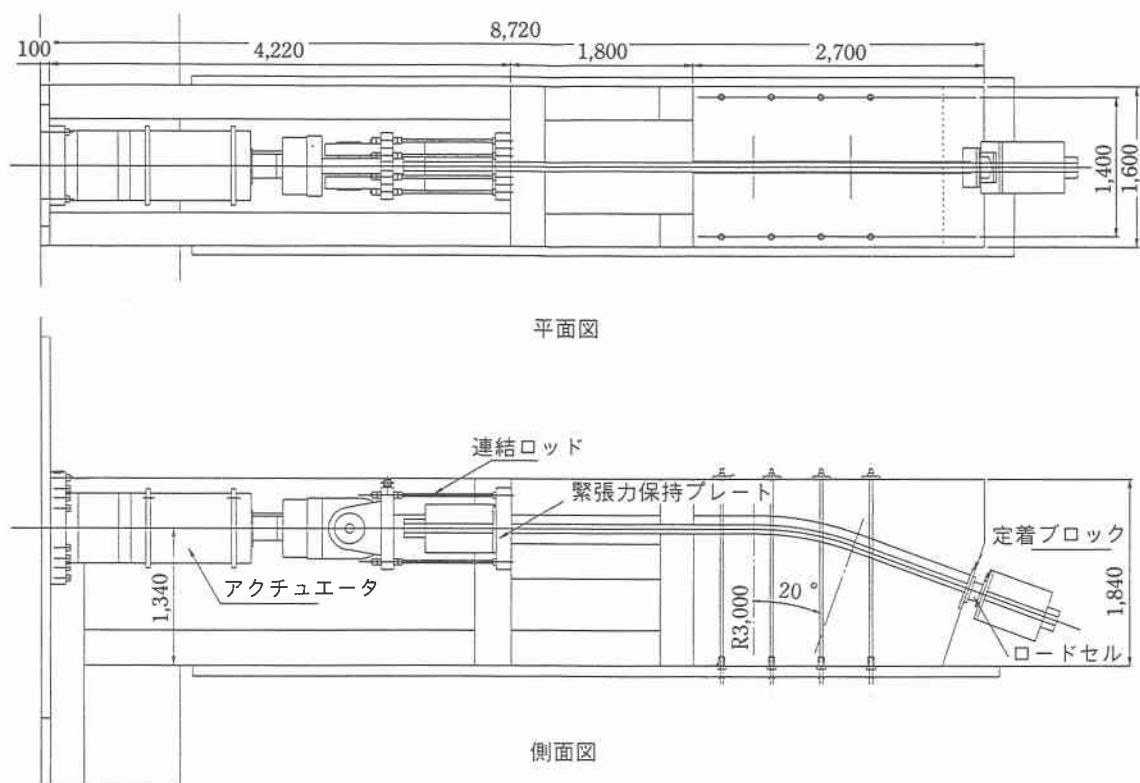
図－3 に、試験体及び載荷装置の概要を示す。

試験体は、土狩大橋における偏向塔側定着部周辺を模擬することとした。ただし、偏向部の曲げ内半径  $R$  については、主桁側が  $R=3.0$  m であり塔側 ( $R=4.0$  m) より条件が厳しいため、本試験では  $R=3.0$  m とした。また、偏向部の自由長部側端部には、スパーサを取り付けた。

ケーブルシステムには、実橋と同様ディビダーク式外ケーブルシステムを用いた。また、試験装置の載荷容量の制約から、ケーブル容量は 7 本よりストランドを 9 本用いた 9S15.2 (SWPR7B) とした。これは、実橋のほぼ 1/2 規模である。

#### 3.2 試験条件

応力振幅は、土狩大橋におけるケーブルの軸応力変動を考慮して  $5.0\text{kgf/mm}^2$  とし、載荷速度は、試験装置の性能を考慮して 1.2Hz とした。



図－３ 試験体及び載荷装置概要

また、現行の国内示方書では、大偏心外ケーブル方式における許容応力度の記述はない。そのため、ケーブルの初期導入張力の下限值は、大偏心外ケーブルを外ケーブルの一種と考え、外ケーブルに対する PC 鋼材の許容応力度に相当する値（ケーブル引張荷重の 60 %）とした<sup>2)</sup>。

載荷回数は、PTI 基準<sup>3)</sup>を参考に 200 万回を目安としたが、200 万回で異常が見られなければ 1,000 万回まで載荷するものとした。一般に、鋼材における疲労による強度低下は、200 万回程度の繰返し回数で止まり疲労限に近づくといわれている<sup>4)</sup>が、フレッキングを伴う疲労に関してはこれを試験的に確認した例がないため、ここでは 1,000 万回までとした。

本疲労試験における試験条件を、まとめて表－１に示す。

表－１ 試験条件

| 応力振幅<br>(kgf/mm <sup>2</sup> ) | 曲げ内半径<br>(m) | 初期導入張力下限値<br>(tf) | 載荷速度<br>(Hz) |
|--------------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| 5.0                            | 3.0          | 143.6             | 1.2          |

### 3.3 試験方法及び計測

試験は、載荷回数が 1,000 万回に至るまでの繰返し載荷とし、疲労試験の途中に、試験体の状況を確認する静的載荷試験を数回行っている。

疲労試験には 200tf アクチュエータを使用し、荷重制御で行っている。疲労試験中は、試験体端部に取付けた加速度計により、ストランド素線の破断検出を常時行っている。

計測は、初期張力導入時の緊張管理や、偏向部のひずみ分布状況をはじめとする試験中の試験体の状況を確認する目的で、静的載荷試験実施時に、ストランドひずみや試験体変位、固定側張力等について行った。

### 3.4 評価基準

本試験では、200 万回までに異常が見られなければ 1,000 万回まで載荷を行うため、200 万回終了時点において、ストランド素線の破断を検出しないことを評価基準とした。また、200 万回までにストランド素線の破断を検出した場合の評価基準は、PTI 基準<sup>3)</sup>を参考にして以下の通りとした。

- ・ ストランド素線の破断率が 2%以下であること（ここでは、 $(7 \times 9) \times 0.02 = 1.26$  より 1 本）。
- ・ 定着部に損傷がないこと
- ・ 偏向部から取り出したストランドの引張試験を実施し、疲労を受けないストランドと同程度の強度特性を有すること。

### 4. 評価基準に対する試験結果

疲労試験は、1997 年 12 月 27 日に 200 万回繰返し載荷を終了している。

図-4 に載荷回数-アクチュエータ内蔵変位計変位関係を示す。これより、アクチュエータ内蔵変位計の値が、開始時から 200 万回に至るまでほとんど変化していないことがわかる。この結果に加えて、疲労試験中に破断検出用加速度計の記録に異常がなかったことから、200 万回繰返し載荷によるストランド素線の破断は生じなかったものと考えられる。また、定着部や定着ブロック等に、外観上の異常は認められなかった。

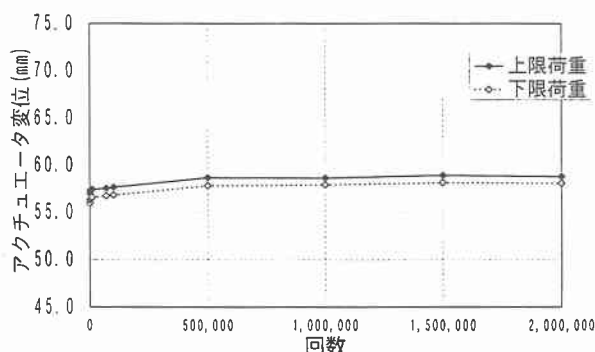


図-4 載荷回数-変位関係

### 5. まとめ

大偏心外ケーブル方式の偏向部におけるフレットングによる疲労性状を確認する目的で、土狩大橋の偏向部を対象としモデル化した試験体による、1,000 万回繰返し載荷によるフレットング疲労試験を実施している。その結果、初期導入張力の下限值：外ケーブルに対する PC 鋼材の許容応力度に相当する値、応力振幅：5.0kgf/mm<sup>2</sup>、載荷速度：1.2Hz の条件下で、200 万回繰返し載荷終了時点においてストランド素線の破断は検出されず、また外観上の異常は認められなかったことを確認した。

現在、載荷回数 1,000 万回に向けて疲労試験を実施中である。

今後は、1,000 万回繰返し載荷終了後、試験体を解体し、目視による健全性の確認を実施するとともに、ストランドのうち偏向部に当たる部分を取り出してストランド単体の引張試験を行い、残存耐力の確認を行う予定である。

### 【参考文献】

- 1) R.B.Waterhouse：フレットング損傷とその防止法、p.130、1984.10
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編、pp.301-303、1996.12
- 3) Post-Tensioning Institute：Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation by Post-Tensioning Institute Committee on Cable-Stayed Bridges, August. 1993
- 4) 伊藤学：鋼構造学、p.37、1985.11