

## 中間支点横桁を貫通する外ケーブルの摩擦抵抗に関する実験

|                |     |        |
|----------------|-----|--------|
| 昭和コンクリート工業株式会社 | 正会員 | ○ 佐藤 徹 |
| 日本道路公団静岡建設局    | 正会員 | 青木 圭一  |
| 日本道路公団静岡工事事務所  |     | 本間 淳史  |
| 株式会社 大林 組      | 正会員 | 山口 貴志  |

### 1. はじめに

外ケーブル構造の橋梁は、終局荷重作用時において外ケーブルの増加張力を簡易式または外ケーブルを弦材に部材評価した非線形解析から算出し、その張力増分を見込んで設計を行っている。この時、中間支点上の外ケーブルは 図 1-1 に示すように、①たすき掛け配置により定着する場合と、②張出し架設ケーブルや2径間に跨る連続ケーブルのように中間支点を貫通する場合とに分かれるが、部材評価する場合、外ケーブルの中間支点上の境界条件が課題になると考えられる。①の場合、固定として特に問題ないものの、②の場合、境界条件を固定としたり可動としたりする例があり、さらに厳密な方法として摩擦を考慮する場合も考えられ、設計担当者の判断によって使い分けられている状況である。

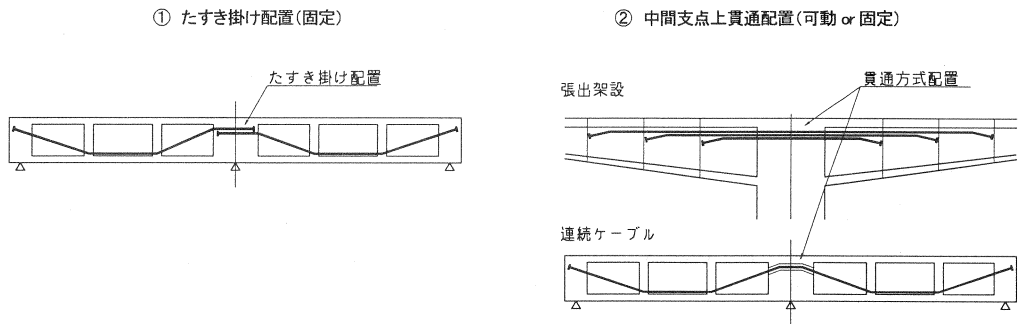


図 1-1 中間支点での外ケーブルについて

通常の支間バランスの橋梁ではその境界条件の違いによる解析上の差異は少ないと考えられており、外ケーブルの増加張力を算出する簡易式<sup>1) 2)</sup>においても可動・固定といった特別な区別はなく、中間支点上の境界条件を固定として取り扱うことが一般的である。

しかし、左右の支間長が異なり死荷重アンバランスや活荷重偏載荷の影響が大きい橋梁では、中間支点上を挟む左右の外ケーブル張力差が大きくなり摩擦だけで固定される貫通方式では滑りが生じ解析上の完全固定と一致しなくなる恐れもある(図 1-2 参照)。

そこで、ある橋梁のモデルケースを例に固定としての解析を行い、中間支点上を挟む左右の外ケーブル張力差を算出した。その値に対し、実橋の中間支点上で偏向する外ケーブルは、どの程度の摩擦抵抗が確保され、それが解析上の固定としての考えに一致しているのかを実物大模型にて検証実験を行ったため、ここに報告する。

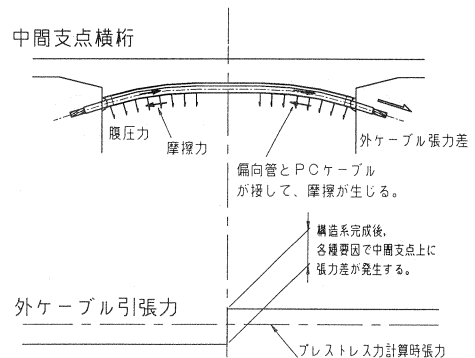


図 1-2 外ケーブルの滑りの概要

2. 実験内容

2-1 使用材料

本実験に使用する外ケーブルは、表 2-1 に示すように高密度ポリエチレン管 (以降、PE管と記す) に被覆された2種類のセミプレファブ型のPCケーブル(19S15.2mm SWPR7BL)にて実験を行った。

実験パラメーターは、表 2-2 に示すように解析上の固定に近く左右の外ケーブル張力差の大きいと思われる最大配置角と、腹圧力が小さく摩擦抵抗が少ないと思われる最小配置角に着目した。また、モデルケースの解析から算出された左右の外ケーブル張力差を表 2-3 に示す。

表 2-1 セミプレファブ型のケーブル材料表


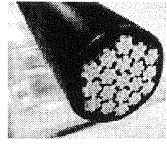
| 鋼材メーカー  | A社  | B社   |
|---------|---|--|
| 断面写真    |  |  |
| 標準外径    | 90mm  |  |
| 被覆材及び色  | 高密度ポリエチレン、黒   |  |
| 標準被覆厚さ  | 5mm   | 7mm(最小厚)   |
| PE管引張強さ | 38Mpa   | 23Mpa  |
| PE管引張伸び | 880%  | 650%   |

表 2-2 実験パラメーター

| CASE | 配置角度            | 鋼材メーカー |
|------|-----------------|--------|
| A-1  | 最大配置角 17°43'12" | A社     |
| A-2  | 最小配置角 6°31'11"  |        |
| B-1  | 最大配置角 17°43'12" | B社     |
| B-2  | 最小配置角 6°31'11"  |        |

表 2-3 外ケーブルの左右張力差

|            | 最大配置角                 | 最小配置角               |
|------------|-----------------------|---------------------|
| 死荷重のみ ①    | 93kN                  | 99kN                |
| 活荷重のみ ②    | 59kN                  | 11kN                |
| 活荷重時張力差①+② | 152kN                 | 110kN               |
| 終局時張力差     | 1.3×①+2.5×②<br>=269kN | 1.7×(①+②)<br>=189kN |

2-2 実験方法

実験は、実物大の中間支点横筋部を再現したコンクリートの供試体に配置角度の異なる外ケーブルを配置し、設計時緊張力 ( $P=0.6\sigma_{pu}=2925kN$ ) を左右の緊張ジャッキで均等に加える。その後、活荷重時の張力差 (以降、活荷重時張力差と記す) を追加緊張側のジャッキで追加緊張し、固定側のケーブルに荷重変化がないことを確認する。また、終局荷重作用時を想定した張力差 (以降、終局時張力差)、摩擦切れが起こる時の張力差 (以降、摩擦切れ張力差)、ケーブルの最大張力差 ( $P_{max}=0.9\sigma_{py}=3794kN$ ) と徐々に張力差レベルを上げていき、PC鋼材の摩擦係数、滑り状況、PE管の損傷状況を確認する。その実験概要図を図 2-1 に、荷重ステップ図を図 2-2 に、実験供試体を写真 2-1 に示す。

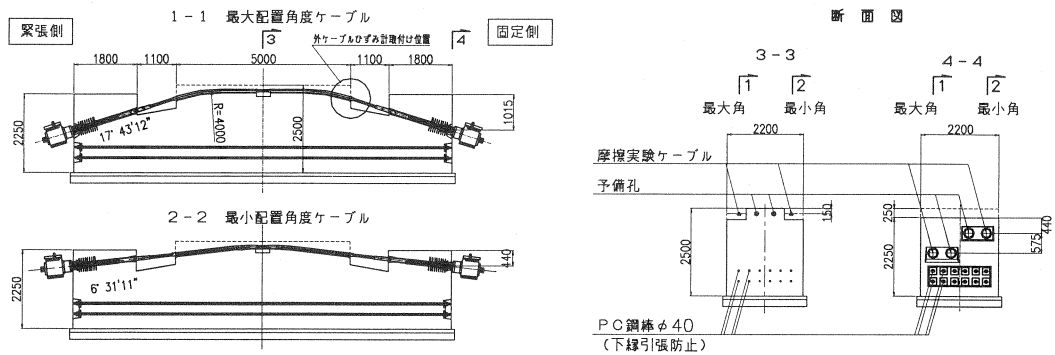


図 2-1 実験概要図

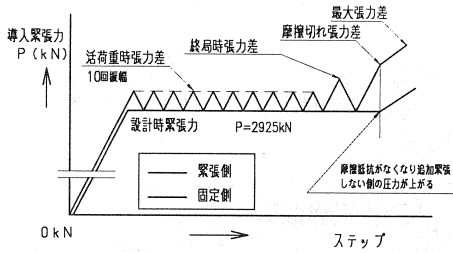


図 2-2 荷重ステップ図

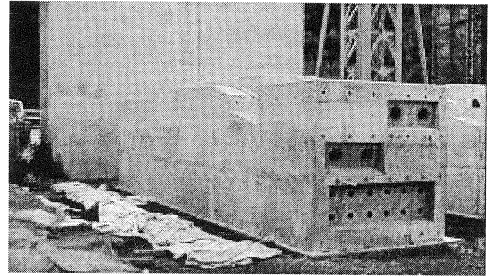


写真 2-1 実験供試体

3. 実験結果

本実験では、追加緊張側のジャッキ張力を徐々に増加させ、固定側のジャッキ圧力が変化した張力差を外ケーブルの摩擦切れ張力差とする。

最大配置角のA-1, B-1の荷重ステップ結果を図3-1に示す。また、最小配置角のA-2, B-2の荷重ステップ結果を図3-2に示す。その実験結果の値を表3-1に示す。この結果より、ケーブル種類による差はほとんど無く、配置角の影響によって摩擦力に差が生じてきていることが分かる。

また、最大配置角のA-1, B-1の中間支点上の固定端部に配置された外ケーブルひずみ計の履歴を図3-3に示す(ひずみ計の取付け位置は図2-1に示す)。設計時緊張力(0.6σpu)までは直線的に増加し、終局時張力差までひずみの変化がないことが分かった。しかし、終局時張力差を超えた頃から徐々にひずみは増え、摩擦切れ張力差に達した頃から再び直線的に伸びていった。最小配置角のケーブルでも同じ傾向であった。

ちなみに、同じように最大配置角のA-1, B-1の固定側に配置された変位計から計測されたPC鋼材とPE管の相対変位の履歴曲線を図3-4示す。PC鋼材とPE管の変位は、ほぼ同様な変位を示し一体となって挙動していることが確認された。

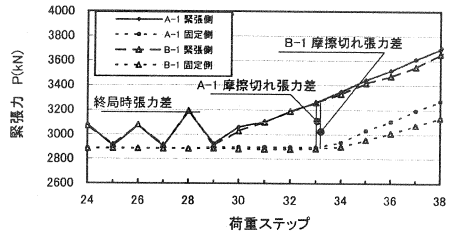


図 3-1 最大配置角の荷重ステップ図

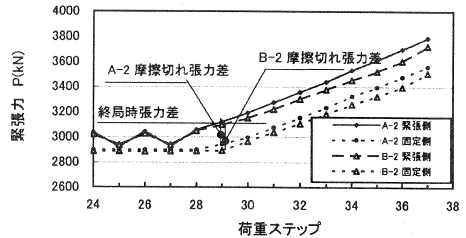


図 3-2 最小配置角の荷重ステップ図

表 3-1 各ケーブルの摩擦切れ張力差

|           | A-1   | B-1   | A-2   | B-2   |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 摩擦切れ張力差   | 436kN | 404kN | 203kN | 187kN |
| 安全率(活荷重時) | 2.87  | 2.66  | 1.85  | 1.70  |
| 安全率(終局時)  | 1.62  | 1.50  | 1.09  | 1.00  |

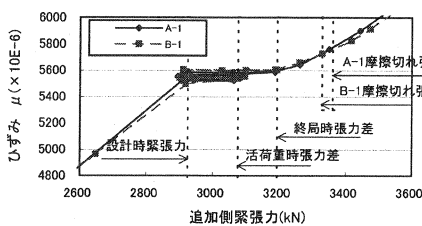


図 3-3 固定側ケーブルのひずみ履歴

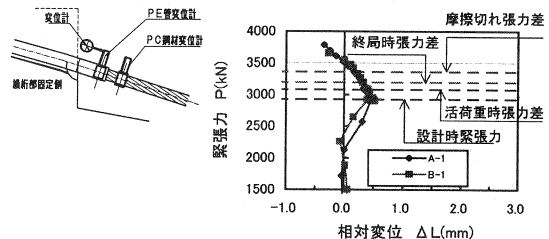


図 3-4 PC鋼材とPE管の相対変位

写真 3-1 に実験後のPE管表面損傷状況を示す。摩擦によって擦れてはいるものの全てのケーブルで健全な状態であった。また、PE管の内部においてもPC鋼材がPE管に食い込んだり、擦れたりすることもなく健全な状態であった。

中間支点横桁の偏向管と外ケーブルのPE管の間には摩擦が存在し、張力差に対し摩擦抵抗する。ここで、中間支点部で活動しないための張力差と鉛直分力および摩擦係数の関係は、下記式で表される。

$$P_L < F$$

ここに、F：中間支点横桁部の摩擦力

$$F = \mu \cdot P_D \cdot \sin \theta$$

$P_L$ ：外ケーブルの設計張力差

$P_D$ ：設計時緊張力

$\theta$ ：外ケーブル偏向角度

$\mu$ ：偏向管の摩擦係数

摩擦切れ時の摩擦係数 $\mu$ を逆算すると

$$\mu = F / P_D \cdot \sin \theta$$

以上の結果より、摩擦係数は表 3-2 に示す結果となった。

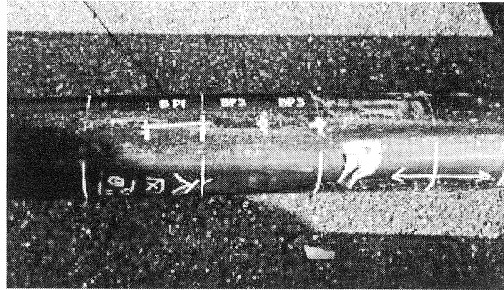


写真 3-1 外ケーブルの摩擦損傷確認

表 3-2 外ケーブルの摩擦係数

| CASE | 摩擦係数 $\mu$ |
|------|------------|
| A-1  | $\mu=0.24$ |
| B-1  | $\mu=0.22$ |
| A-2  | $\mu=0.30$ |
| B-2  | $\mu=0.28$ |

#### 4. 考察とまとめ

中間支点横桁部で通過する外ケーブルの摩擦実験を行った結果、以下のような結論が得られた。

- ・活荷重作用時レベルの左右張力差に対し、いずれのケースも固定側PC鋼材は変位・ひずみ・荷重とも変化がなく、固定状態であった。
- ・配置角度の大きいケーブルは、終局荷重作用時レベルの左右張力差でも固定状態であった。摩擦切れ張力差は、 $\Delta P=400\text{kN}$ 以上確保され、活荷重時張力差の2.6倍以上、終局時張力差の1.5倍以上であった。
- ・配置角度の小さいケーブルは、腹圧力に対して設計張力差が大きいため、摩擦切れ張力差は $\Delta P=187\text{kN}$ で、活荷重時張力差の1.7倍以上、終局時張力差の1.0倍以上であった。
- ・左右張力差を与え始めてから摩擦切れまでの過程において、PC鋼材とPE管の相対変位は、ほぼ“0”であり、PE管とPC鋼材は同一挙動をしていることが確認された。
- ・今回使用したセミプレファブ型の外ケーブルにおけるPE管と偏向管の間における静摩擦係数 $\mu$ は、外ケーブル直線部の摩擦係数を $\lambda=0$ とすれば、 $\mu=0.22\sim 0.30$ の範囲にあった。
- ・PE管の外観は、最大荷重( $0.9\sigma_{py}$ )まで緊張しても偏向部で変形することなく円形状態を保っていた。また、PE管は摩擦による発熱もなく、表面は健全な状態であった。

以上の結果から、今回対象とした橋梁の場合、配置角度の小さいケーブルでは腹圧力が小さく摩擦抵抗が小さくなるため、終局荷重作用時において解析上の境界条件に注意する必要があることが分かった。

#### 参考資料

- 1) PC橋の耐久性向上に関する設計・施工マニュアル (財) 高速道路技術センター, 平成13年10月
- 2) 角谷 努, 青木圭一, 正司明夫, 丸山正志: 全外ケーブル方式による波形ウェブPC橋の終局耐力に関する検討  
プレストレストコンクリート技術協会, 第10回シンポジウム論文集 (2000年10月)