

三次元非線形 FEM による PC 外ケーブルの移動・変形状態解析

長崎大学工学部 学生員 中島 朋史 長崎大学工学部 正会員 松田 浩
 長崎大学大学院 学生員 出水 享 タイムスエンジニアリング (株) 非会員 田口 保男

1 はじめに

外ケーブルの偏向部は、長時間にわたり動的な腹圧力を受けるため、相互に接触する PC 鋼材のフレッティング疲労が問題となり、フレッティング疲労に対する検討が不可欠である。

本研究ではフレッティング疲労試験を三次元 FEM 接触解析により解析的にシミュレーションするための第一段階として、ケーブル本数、配置形状、パラレルとツイストの相違、ピッチ間隔の影響についてパラメトリックな解析を行い、PC 鋼より線の最適本数や最適配置形状について検討した。

2 解析概要

2.1 メッシュ分割

本解析では、汎用解 FEM コード MARC を用い、PC 鋼材、PE 管、偏向部を 8 節点 Solid 要素でモデル化した。数本の PC 鋼より線で構成される PC 鋼材は一本の部材 (図-1) としてモデル化し解析を行った。荷重載荷は、PC 鋼材の両端を完全固定し、偏向部から PC 鋼材へ 100mm の変位荷重を静的に載荷させた。接触に関しては自動接触解析機能を使用した。解析には一般的に使用されている PC 鋼材本数 19 本、3 本、7 本の 3 種類のモデルを使用した。なお、それぞれの PC 鋼材の総断面積はすべて同じとした。これらのメッシュ分割詳細を表-1 に示す。図-2 の (a) および (b) に PC 鋼材 7 本の場合のパラレルおよびツイストのメッシュ分割図をそれぞれ示す。

表-1 メッシュ分割詳細

種類	要素数	
偏向部	240 要素	
PE 管	720 要素	
PC 鋼材	3 本 (φ38.2)	480 × 3 = 1440 要素
	7 本 (φ25)	480 × 7 = 3360 要素
	19 本 (φ15.2)	480 × 19 = 4560 要素

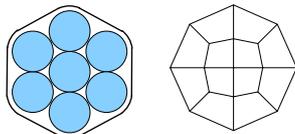
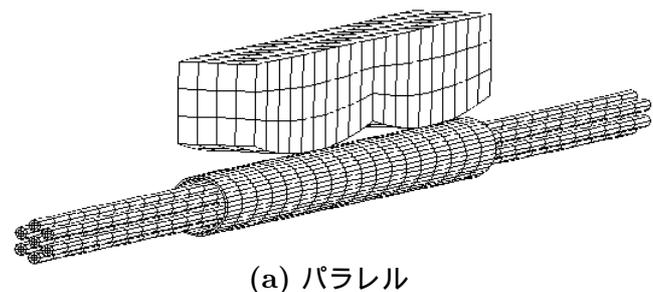
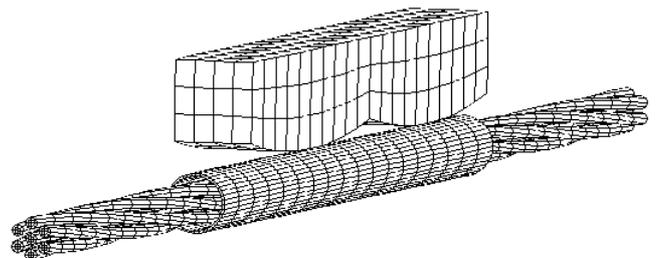


図-1 PC 鋼材モデル化



(a) パラレル



(b) ツイスト

図-2 メッシュ分割図

2.2 解析モデル

本解析では PC 鋼材の配置、本数、ピッチを変化させた場合のケーブルの変形状態、移動状況、耐力などを調べるため、ツイストを 12 ケース、パラレルを 5 ケースについて解析を行った。それぞれの種類のモデル詳細を表-2 および 3 に示す。また全体の解析のモデル寸法を図-3 に示す。

表-2 ツイスト

種類	詳細
T3-1, T7-1	PC 鋼材 3,7,19 本 ピッチ 10.4m
T3-2, T7-2	PC 鋼材 3,7,19 本 ピッチ 5.2m
T3-3, T7-3	PC 鋼材 3,7,19 本 ピッチ 3.9m
T3-4 T7-4	PC 鋼材 3,7,19 本 ピッチ 2.6m

表-3 パラレル

種類	詳細
P7-1	PC 鋼より線 7 本
P7-2	PC 鋼より線 7 本 配置を 15°回転
P7-3	PC 鋼より線 7 本 配置を 30°回転
P3	PC 鋼より線 3 本
P19	PC 鋼より線 19 本

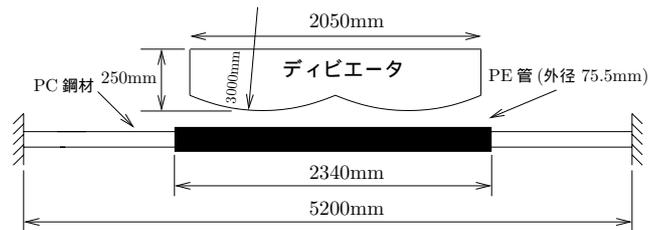
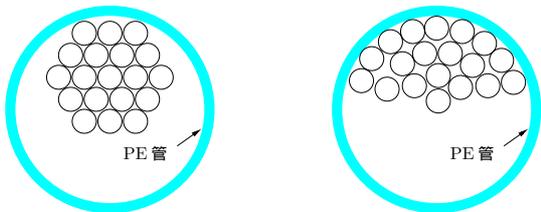


図-3 モデル寸法

図-4 に PC 鋼材 19 本のツイストとパラレルの場合の中央部のケーブル断面における PC 鋼材の移動状態の模式図を示す¹⁾。図よりパラレルに比べ、ツイストの断面形状は安定していることがわかる。そこで今回、PC 鋼材 7 本のパラレルとツイストの場合のケーブル断面の PC 鋼材の移動状態に注目した解析を行い、シミュレートの結果を比較した。

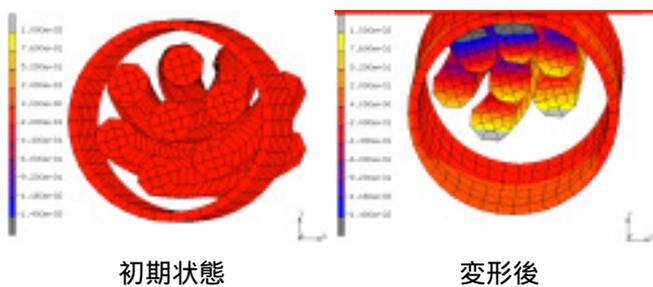


ツイスト パラレル

図-4 ケーブル断面形状模式図

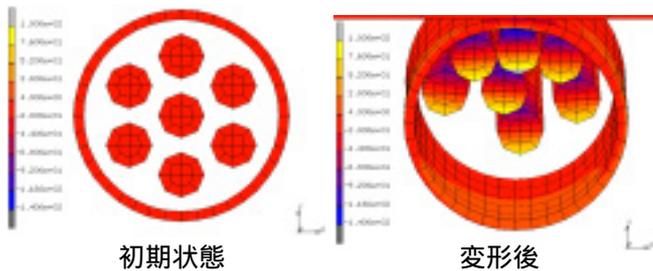
3 解析結果

図-5, 図-6 (a) ~ (e) にそれぞれツイスト, パラレルの偏向部を 100mm 変位させた時のサドル直下の断面形状を示す. なお, T7-1 と P7-1 には初期状態と載荷後の PC 鋼材の移動状態を示す.



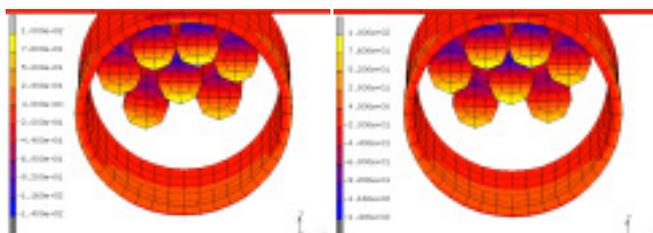
初期状態 変形後

図-5 ツイスト (T7-1)

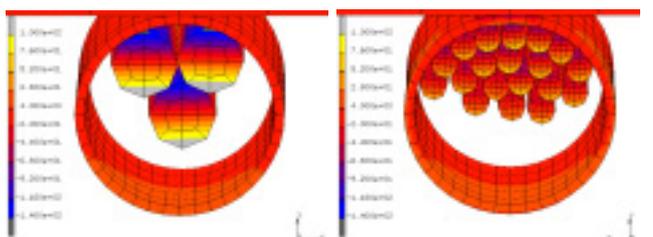


初期状態 変形後

(a) P7-1



(b) P7-2 (d) P7-3



(d) P3 (e) P19

図-6 パラレル

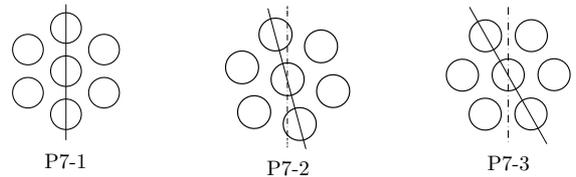


図-7 P7-1,2,3の配置図

図-4の模式図と同様に, ツイストはパラレルに比べ, PC 鋼材の不規則な移動が少なく, ほぼ初期形状を維持したまま変形することを, 解析によりシミュレートできた.

また, 図-7に示すように, P7-1の配置を 15° ずつ回転させて解析を行った結果, P7-2のケーブルの断面形状は P7-3に近い形状となった. これは, 初期配置を変化させることにより, PC 鋼材がそれぞれ安定する方向に移動していくためであると考えられる. また, PC 鋼材 3本の断面形状はパラレルにもかかわらず, 初期形状を維持した状態で移動していた. 一方, 19本は PC 鋼材のばらつきが見られ, 初期配置から大きく変化していた. 以上のように, PC 鋼材の本数により鋼材の移動状況が異なることがわかった.

次に, ツイストにおいて, ピッチの変化が, PC 鋼材の変形性状に与える影響に注目して解析を行った. 図-8にツイスト (PC 鋼材 7本)の載荷点における荷重-変位曲線に示す. 図-9は偏向部を 100mm 変位させた時のそれぞれの載荷荷重を示したものである. これらの図より, T7-2が最大値を示し, T7-4が最小値を示した. また 3本, 19本のツイストも同様に T3-2, T19-2が最大値を示した. このことから, ピッチを小さくするほど耐力が上がるのではなく, 最適なピッチが存在することがわかる.

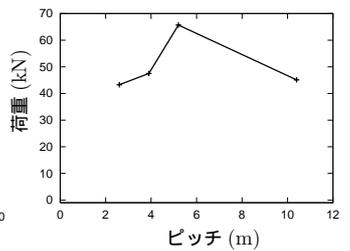
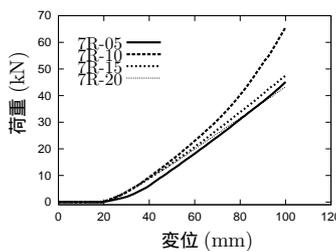


図-8 荷重-変位曲線 図-9 ピッチと耐力の関係

4 まとめ・今後の予定

今回, 三次元 FEM 接触解析により, ツイスト, パラレルのような複雑解析モデルのシミュレートを行った. その結果, ケーブルの本数, 初期配置, ピッチ間隔, ピッチの有無が与える影響が確認できた.

今後は 摩擦を考慮した解析や, 接触圧に注目した解析を行っていく予定である.

参考文献 1) PC 橋耐久向上に関する設計・設計マニュアル 日本道路公団 監修 (財) 高速道路技術センター