

変状の生じた吊橋の FEA による原因推定と終局耐力の検討

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○Carlos Arturo Liñan Panting
 長岡技術科学大学大学院 正会員 岩崎英治
 東京大学 正会員 長井宏平

1 はじめに

近年、ミャンマーではインフラ整備が急速に進んでおり、今後も多くの道路や橋梁が建設されていくと見込まれている。一方、既に建設されている橋梁に損傷が生じていることが報告されている¹⁾。ミャンマー最大の都市であるヤンゴンでも、いくつかの橋梁は軟弱地盤上に建設されたことで基礎やアンカーに問題が生じている。

本研究は Twantay 橋という、スパン中央部の鋼桁の沈下が認められる吊橋を対象としており、FEM 解析により、原因推定と終局強度の検討を行っている。

2 Twantay 橋の現況

Twantay 橋はヤンゴン郊外に 2006 年に、中国の支援を受け、ミャンマー建設省により建設された。図 1 のように支間長 256m の吊橋である。主ケーブルは北側と南側の主塔により懸架され、橋の両端の R.C.杭の上に敷設されたアンカーブロックに固定されている。このエリアは沖積地盤であり、軟弱地盤により主ケーブルの水平方向の力がアンカーブロックを移動させた可能性がある¹⁾。写真計測により主塔が橋軸方向に傾斜しており、図 2 のように主ケーブルにより曲げられていると推定される。ミャンマー建設省により建設直後から 5 回の路面高さが計測され、路面の沈下が確認された。2006 年の計測直後に、車両の逸脱防止用の約 300 トンのコンクリートブロックが路面に設置された。2009 年の測定では、路面が下がったと確認された。キャンバーが戻るような対策として、2012 年に 300 トンのコンクリートブロックを取り外し軽量化した。これらの時点の計測結果を図 3 に示している。これらのデータを FEM 解析の結果の検証に用いる。



図 1 Twantay 橋

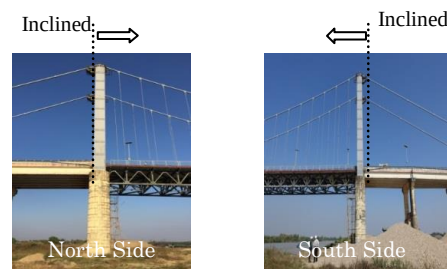


図 2 Twantay 橋の主塔の現在状態

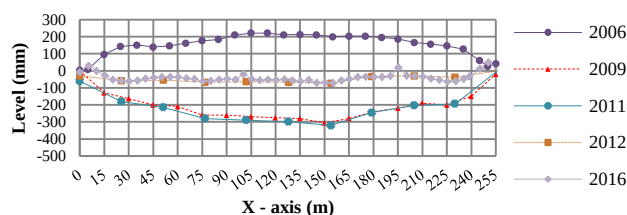


図 3 ミャンマーの建設省により計測された桁位置

3 FEM 解析による構造性能の検証

3.1. FEM 解析の目的

Twantay 橋の現在の構造性能を検証するために、FEM 解析を行う。本研究では、建設後からの変状を、数値解析を用いて再現することを試みる。実測値と解析値を比較することで、アンカーブロックの移動量を推定し、吊橋全体の安全性を議論する。この方法を用いると、モニタリングの結果から推定される将来に起こり得る変状に対し、構造性能を確認することや、対策の有効性を検証できる。数値解析には、ケーブル構造の形状決定と張力調整を安定的に行える滑車を有するケーブル要素^{2),3)}を含めた FEM ソフトを用いた。

3.2 吊橋モデル

Twantay 橋のモデルを図 4 に示す。塔と桁のモデルにビーム要素を使用し、主ケーブルと吊ケーブルにケーブル要素を使用した。支持条件は、塔は固定支点で、主ケーブルを固定するアンカーはヒンジ支点とした。桁は北側の主塔でヒンジ支点、南側でローラー支点とした。

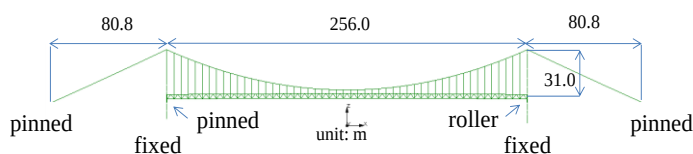


図 4 Twantay 橋のモデル

キーワード: 吊橋, FEM, 主塔傾斜, モニタリング

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学

3.3 解析結果

張力調整と形状決定に関する建設時の施工プロセスの記録が残っていないため、FEM 解析による数値シミュレーションと計測された桁位置の計測結果、3D 写真計測との比較により、建設時の施工プロセスの推定、推定される損傷と現在の状態を再現した。このとき、以下のようなFEM 解析のプロセスにより現在状態を再現できた。Step 1: 鋼桁と R.C.スラブの自重のみで形状とケーブルのプレストレスを決定。Step 2: 残りの自重を載荷。Step 3: 約 300 トンのコンクリートブロックを載荷。Step 4: アンカーの移動を再現するため、右側のアンカーブロックを 15cm 移動させる。Step 5: コンクリートブロックの取り外し。

桁位置の計測結果との比較を 図 5, Step 5 (現在の状態) と 3D 写真計測との比較を 図 6 に示している。

さらに、終局強度を検討するため、死荷重 D と活荷重 L を載荷した状態に対して荷重 $(D+L)$ を α 倍に漸増させる方法を採用する。なお、荷重が増えてもアンカーブロックは移動しないものとした。

設計の活荷重による健全なモデル 1 と比較が行われた。健全なモデル 1 より、ダメージを受けたモデルの方が高い構造性能を表したため、300 トンのコンクリートブロックを含まない健全なモデル 2 との比較も行われた。一番不利な状態の活荷重パタンの結果は 表 1 に表わしている。

表 1 終局時の荷重倍率 α の解析結果

$\alpha (D+L)$			
	Healthy model 1	Healthy model 2	Damaged model 3
Steel tower plasticizes	1.98	2.20	1.79
Cable fails	2.78	3.07	3.09
Ultimate strength	3.16	3.48	3.45

4 まとめ

ミャンマーで変形の生じた吊橋の維持管理のため、簡易モニタリングによる変形の進行確認と、FEM 解析による構造性能の確認を行い、以下の結論を得た。

(1) 数値解析により桁位置の計測結果と 3D 写真計測の結果と比較した上で、吊橋の施工過程から、現在の状態を再現できた。解析結果の妥当性が確認され、現在の状態は崩壊に至るような危険な状態ではないと言える。

(2) 終局強度の解析結果から、同じ自重を含める健全なモデルとダメージを受けたモデルを比較した結果、構造性能に大きな差がない。Twantay 橋の現在の状態でも安全性が確認される。しかし、定期的な維持管理が必要である。

(3) 建設直後の状態と定期的な維持管理による橋梁の状態把握の重要性が強調される。解析結果を比較できる施工プロセスと完成時の情報がないとより信頼性の高い評価が行えないため、将来のこのような橋梁に対し最低限必要な情報として、建設直後の状態計測、また定期的な主塔と補剛桁の位置の計測が勧められる。

参考文献

1) Japan Infrastructure Partners: Current Situation and Issues of Myanmar's Bridge Work, Bridge Maintenance Report of Japan Infrastructure Partners, 2012.
2) 岩崎英治, 長井正嗣: 滑車を有する柔ケーブル構造に適用可能な有限要素の開発, 構造工学論文集, Vol.48A, pp.151-158, 2002.3.
3) Dang Tung Dang, 岩崎英治, 長井正嗣: ケーブル構造の形状決定に関する一計算法, 応用力学論文集, Vol.8, pp.133-142, 2005.8.

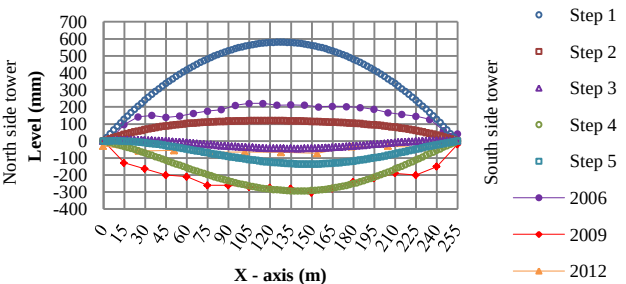
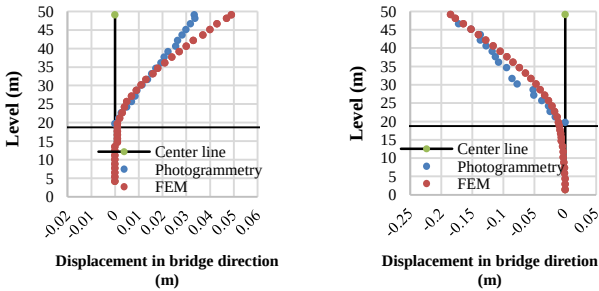


図 5 解析と計測の桁位置の結果比較



(a) 北側の主塔 (b) 南側の主塔

図 6 解析と 3D 写真計測の主塔傾斜の結果比較