

架設時の長大吊橋補剛桁構造系の信頼性比較

日本電子計算（株） *○正会員 二見 弘樹
中央大学大学院 学生会員 薦 広輝
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. 背景と目的

従来より、吊橋の研究に関しては、完成後の形状についての研究は多く行われているが、架設時における吊橋の耐風安定性に関しては数例見られるだけというのが現状である。しかし架設中の構造物はその構造形態が完成時と異なり、剛性も一般に低いなどのために、たとえ期間は短いとはいえ細心の注意を払わなければならない。

現在吊橋補剛桁の架設中の工法としては、全ヒンジ工法と逐次剛結法の2つの工法がある。全ヒンジ工法とは、架設途中の補剛桁にかかる鉛直曲げに対して回転自由なヒンジ結合とする工法である。全ヒンジ工法は手順が簡潔であり、海外の吊橋は例外なく全ヒンジ工法を採用している。しかし日本においては大部分の吊橋が、逐次剛結法を採用している。この工法は架設中の耐風安定性を確保することを目的として開発された。しかしこの工法には2つの課題がある。1つは閉合するまでの鉛直方向の曲げに対する強度の問題。2つ目は架設中の剛結作業となり工期短縮のネックである。

そこで本研究ではこの2つの工法に対して信頼性解析を行い2つの工法における安全性の差を信頼性指標（破壊確率）を示すことにより比較していくことを目的とした。

また信頼性解析に用いるデータ作成においてニューラルネットワークを用い予測することにより時間短縮を図った。

2. 解析方法

現在計画段階の東京湾港道路を3次元骨組モデルとして採用した。東京湾港道路の諸元は図-1～図-3の通りである。また構造解析、信頼性解析により求めた曲げモーメントの位置は補剛桁の付け根の部分である。

次に施工段階の設定だが、今回は施工段階を図-4のように閉合までを全6段階に等分して考えた。また全ヒンジ工法に関しては、側径間はアンカー側から57mごとに、中央径間に関しては主塔側から58mごとにヒンジを設定した。

これらの設定後、本研究では汎用ソフトであるCOSMOS/Mを用い、線形静解析を行うこととした。

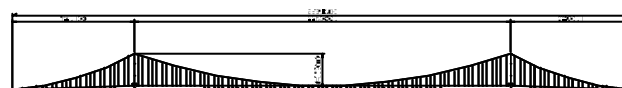


図-1 側面図



図-2 主塔

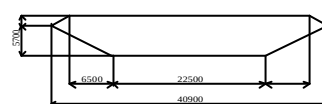


図-3 補剛桁

表-1 諸元表

中央径間	側径間	サグ比	塔高	補剛桁幅
2250m	720m	1/11	298m	40.9m
主ケーブル	A m ²	IY m ⁴	IZ m ⁴	E N / m ²
ハンガー	0.6336	0	0	2.03E+11
	0.016	0	0	1.40E+11
補剛桁	1.33	11.8	158	2.10E+11
主塔	3.84	73	27.45	2.10E+11

3. 風荷重の算定

基本風速の試算だが今回は神奈川県観音崎と千葉県富津における1967年～1992年の年最大風速のデータを用い、極値解析を行うことにより150年再現期待値を求めた。また極値分布としては年最大風速分布に多く採用されているGumbel分布を用いた。これより求めた、二箇所の再現期待値を高度10mに補正し、より大きい方を基本風速として採用した。結果としては富津における再現期待値45mを基本風速として設定した。

次に設計基準風速を求める。これは基本風速に対象構造物の高度に応じた補正係数を乗じて算定する。最後に風荷重だが、これは本研究では静的解析のみを行う為、空気力の抗力成分を考慮した。抗力係数は参考文献1より風洞実験により求めた値を適用した。実際に試算結果は表-2の通りである。

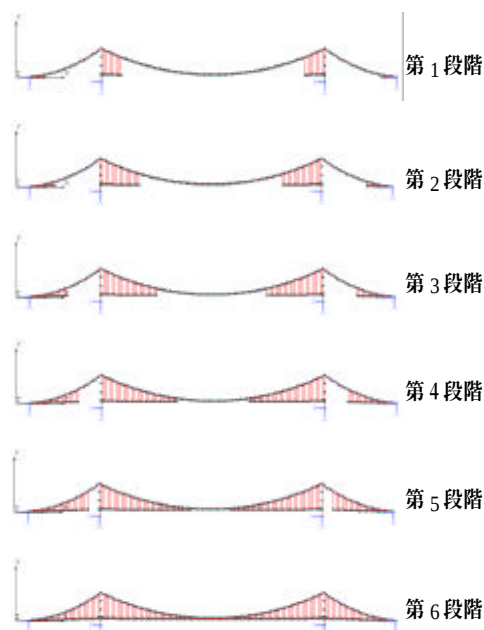


図-4 解析モデル（施工段階）

キーワード 吊橋、全ヒンジ工法、逐次剛結法、信頼性指標

*研究当時 中央大学大学院

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1816

4. 設計基準風速時の各曲げモーメント

表-2 より基本風速時における風荷重を、橋軸直角方向に等分布荷重として载荷した時の着目点における鉛直曲げモーメントと水平曲げモーメントの結果を 2 つの工法ごとに図-5、図-6 に示した。

表-2 風荷重

項目	対象構造	数値
基本風速(m/s)	-	45
設計風速(m/s)	補剛桁	54.105
	ケーブル関係	60.417
	主塔	60.868
抗力係数	補剛桁	0.7
	主ケーブル	0.7
	ハンガー	0.7
	主塔	1.8
受風面積 (m ² /m)	中央径間	側径間
	補剛桁	3.670 3.67
	ハンガー	1.200 1.21
	主ケーブル	0.330 0.43
	主塔	5.00~8.00
風荷重 (kgf/m)	吊構造部	978.814 994.146
	ケーブル関係	209.267 218.466
	主塔	2000.65~3201.039

5. 信頼性解析

各段階 10 種類の風荷重により解析を行い、求めた鉛直曲げモーメント、水平曲げモーメントを教師データとして用い、一様乱数を用いて発生させた 50 個の風速データから、バックプロパゲーション法(BP 法)により各曲げモーメントの予測を行う。各施工段階における信頼性指標 β を 1 次ガウス近似法により求める為式(1)のように性能関数を定義する。

$$Z = nM_d - M_w \quad (1)$$

v 安全率(=1.7), M_d 設計風荷重載荷時の(鉛直/水平)曲げモーメント, M_w 風荷重による(鉛直/水平)曲げモーメント

一次ガウス近似法にて算出した信頼性指標 β の結果を図-7、図-8 に示す。

図-7、図-8 は年最大風速分布における信頼性解析をおこなったが、現実において各施工段階の工期に 1 年かかることは考えにくい。そこで実際の施工期間に近い 1, 1.5, 2 ヶ月の 3 段階へ補正することとした。補正後は年最大風速分布の時に最も危険な結果を示した第 5 段階に注目し図-9、10 にまとめた。

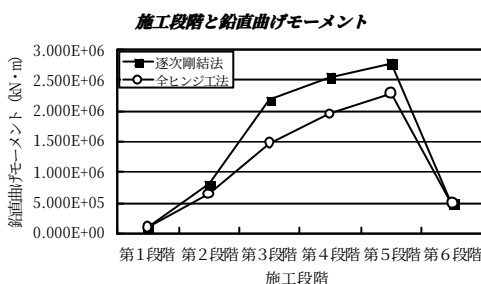


図-5 施工段階と鉛直曲げモーメント

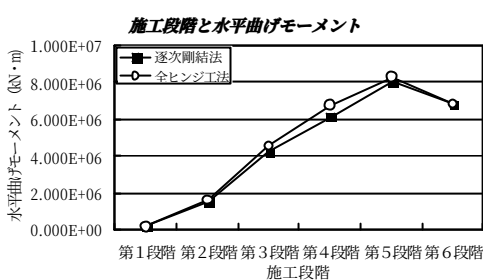


図-6 施工段階と水平曲げモーメント

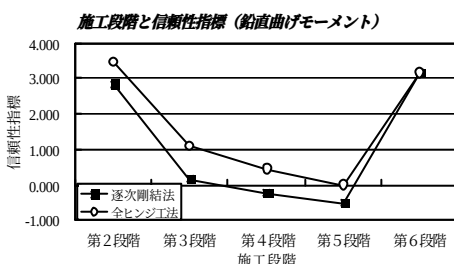


図-7 施工段階と信頼性指標(鉛直曲げモーメント)

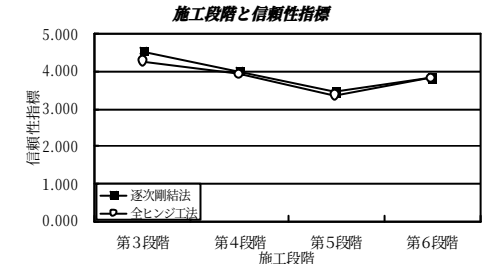


図-8 施工段階と信頼性指標(水平曲げモーメント)

6. まとめ

図-5、6 あるいは図-9、10 より鉛直曲げモーメントに関しては、ヒンジ工法の有効性が顕著にみられる。水平曲げモーメントに関しては両工法による差が少なく、どちらの工法が有効かは判断し

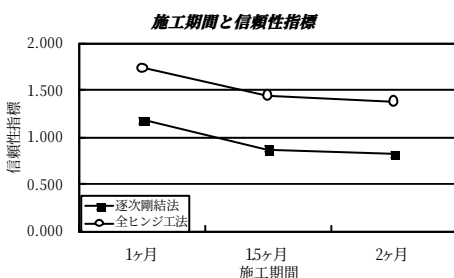


図-9 第5段階における信頼性指標(鉛直)

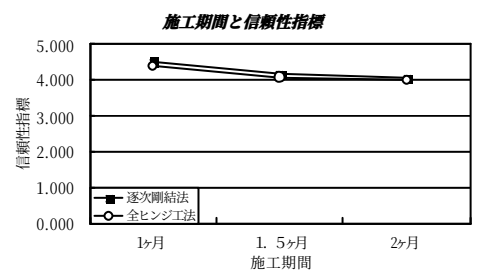


図-10 第5段階における信頼性指標(水平)

にくい。今回着目したのが断面力のみということもあるが、逐次剛結法はわざわざ時間を費やして、風荷重を根元に伝達する構造を作って断面の負担を増加させ、施工期間が長くなるリスクも冒しているといえそうである。風荷重対策として剛性を重視して逐次剛結法が多く採用されているものの、工期縮減の効果も含め全ヒンジ工法の採用を積極的に検討する価値があるのではなかいかと考える。

[参考文献]

- 1)財団法人 先端技術建設センター 平成7年度 東京湾口道路技術調査業務報告書
- 2)岡内功 伊藤学 宮田利雄 耐風構造 丸善, 1977.5 3)星谷勝 石井清 構造物の信頼性設計法 鹿島出版 1986.5