

斜張橋のケーブル定着部損傷時の力学的挙動の解析と安全性の検討

中央大学理工学部土木工学科
中央大学理工学部土木工学科

学生会員 丸山 大伍
正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

斜張橋のケーブルは非常に重要度が高い部材であり、この主部材であるケーブルに働く張力を確実に伝達するためにその定着部を合理的かつ安全に設計し、維持することが損傷の危険を回避するため重要なポイントになる。そこで本研究では、構造的危機管理の観点から斜張橋のケーブル定着部に損傷が生じたときに構造システムとしての機能信頼性に著しい影響を与えると予測し、そのときの橋の力学的挙動を伝達マトリックス法により明らかにし、健全時との比較・検討をする。また損傷時の安全性を活荷重シミュレーションを用いた信頼性解析により検討することとした。

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルは、中央径間長 600m とし名港中央橋をもとに試設計した¹⁾鋼 3 径間連続斜張橋を採用した。さらに、600mモデルと同じ形式を有し、主桁、主塔におけるケーブル間隔を同一にし、側径間長と中央径間長の比も一定となるように 200、400mモデルを決定した。

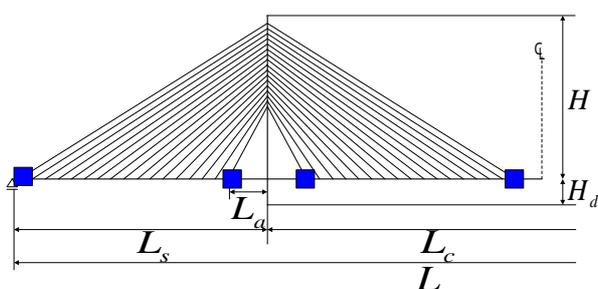


図-1 斜張橋全体形状 (中央径間長 600m)

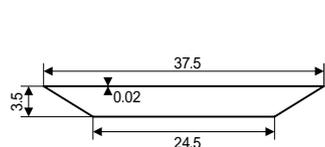


図-2 主桁断面

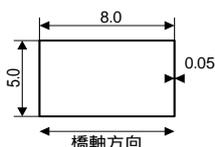


図-3 主塔断面

表-1 構造諸元

中央径間長	L_a	L_s	L_c	L	H	H_d
200	15	95	200	390	49	48.7
400	30	200	400	800	93	
600	45	290	600	1180	140	

図-1 にモデル形状を、表-1 に構造諸元を示す。ケーブル形式はマルチファンタイプで 2 面吊りとした。図-2、3 には主桁、主塔断面形状を示す。なお、主桁、主塔断面はすべてのモデルで同一である。荷重条件は主桁死荷重を 267.72 (KN/m)、活荷重は 45.95 (KN/m) とし全径間載荷することとした。

3. 解析結果

健全時と損傷時の比較だが、損傷したときに比較的断面力の変化が著しい損傷ケースに着目した。損傷位置については図-1 の部分で、損傷仮定は定着部全壊とした。解析結果として図-4、5、6 に最大の曲げモーメントが発生する主塔位置の主桁(着目点 A、B)の曲げモーメント図について示す。着目点 A は損傷側の塔位置で、B は中央を軸とする対称位置である。

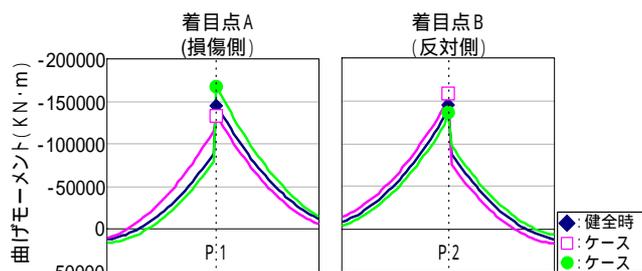


図-4 主桁の曲げモーメント図 (600m)

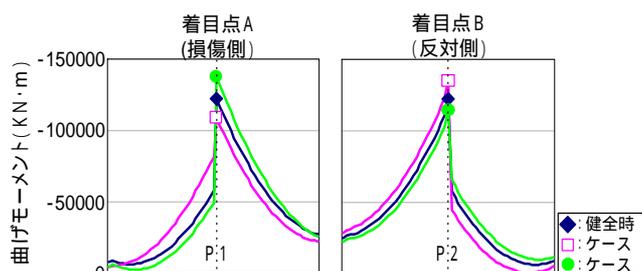


図-5 主桁の曲げモーメント図 (400m)

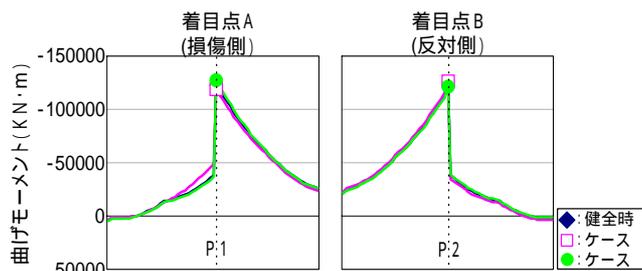


図-6 主桁の曲げモーメント図 (200m)

キーワード：ケーブル定着部、伝達マトリックス法、活荷重シミュレーション、信頼性解析

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部土木工学科 tel.03-3817-1816 fax.03-3817-1803

ここでは損傷ケース と しか示さなかったが、ケース、も合わせた各モデルの解析結果から次のようなことがわかった。

- ケース、の場合、曲げモーメントが着目点Aでは増大、それと反対側の着目点Bでは減少した。
- ケース、の場合、曲げモーメントが着目点Aでは減少、それと反対側の着目点Bでは増大した。

すべての解析結果より、これらのケースの主塔位置での曲げモーメントの増大が主桁に対して最も負荷を与えているということで、これらのケースに対する安全性の検討が必要と考えた。

4. 活荷重シミュレーション

前節の解析では活荷重を確定値として与え解析を行ったが、実際には道路橋に生じる車両重量はランダムであり、この変動が構造信頼性に大きな影響を与える。そこで本研究では、走行モードとして車種、車重、車間距離等のばらつきを考慮した様々な走行状態を考慮することとする。そして損傷が生じたときにどのような走行状態であるか考慮するために、実態活荷重の各確率モデルに従う荷重列を乱数により発生させ、その軸重と主塔位置の主桁における断面力の影響線とから曲げモーメント、軸力を算出する。自動車荷重の車種、車重、車間距離、車種混入率等の各確率特性は阪神高速道路公団の実態調査によって得られた結果を用いた。

5. 限界状態の設定

限界状態として終局限界状態である断面破壊を考慮することとし、断面に発生する応力がその断面の降伏応力を超えたとき断面破壊が生ずることとする。着目点A、Bにおいて、そこに発生する断面力(軸力P、曲げモーメントM)に対して以下の照査式を適用する。

$$Z = 1 - \left| \frac{P}{P_y} \right| - \left| \frac{M}{M_y} \right|$$

P_y : 降伏軸力 (KN) M_y : 降伏曲げモーメント (KN・m)

6. 信頼性評価

対象モデルに荷重列を発生させ、モンテカルロシミュレーション法を用い信頼性解析により破壊確率をもとに安全性評価を行う。モンテカルロシミュレーション法の繰り返し回数は100万回とする。なお、走行モードは通常走行、通常渋滞、突発渋滞時を設定し、それぞれの損傷ケースにおける各着目点の破壊確率を算出した(図-7、8)。

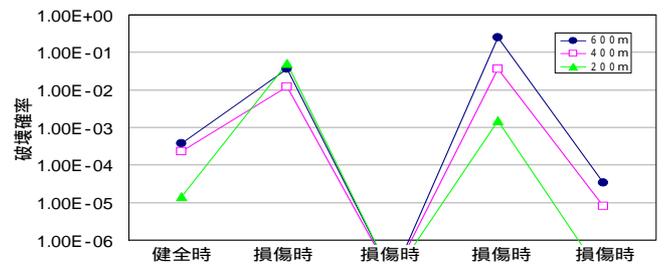


図-7 着目点Aでの破壊確率(突発渋滞時)

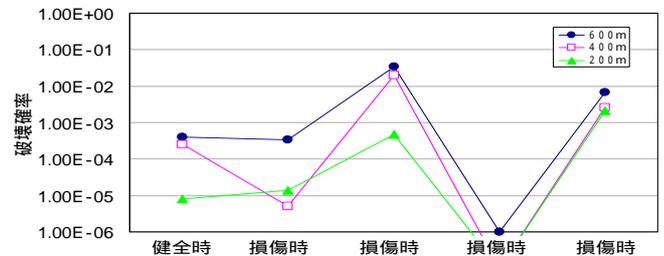


図-8 着目点Bでの破壊確率(突発渋滞時)

通常走行、通常渋滞時の各損傷ケースにおいても100万回のシミュレーションで破壊確率 $P_f < 1.0 \times 10^{-6}$ であった。突発渋滞については他の走行モードと比べて極端に自動車荷重が増加してしまうので、破壊確率は大きくなるという結果が得られた。着目点A、Bとも、中央径間が長くなるにつれて主桁に作用する軸方向圧縮力が増大する影響から健全時、各損傷時の破壊確率が大きくなっていくのがわかる。ここで、損傷時の破壊確率が健全時の破壊確率よりも小さくなっているケースがあるが、その着目点とは反対側の着目点でそのしわよせが見られる。また、着目点Aについてだが、その塔における側径間側の定着部が損傷すると中央径間が短くなるにつれて、健全時に対する損傷時の破壊確率の割合が大きくなっていく傾向が見られた。逆に中央径間側の定着部が損傷するとその割合が小さくなっていく傾向が見られた。

7. おわりに

全部は示せなかったが、ケーブル定着部損傷時の主桁の力学的挙動を明らかにし、どの程度安全性が低下するかが把握できた。まだ多くの問題点、課題が残るが、今後は、橋長を一定としケーブル本数を増やした、または減らした場合の信頼性評価を予定している。

<参考文献>

- 1) 長井他4名: 支間長と第一ケーブル間隔が斜張橋主桁の終局強度特性に及ぼす影響、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集、2001.
- 2) 菊地武志、佐藤尚次: 複数の限界状態を有する鋼製橋脚の信頼性評価、関東支部技術研究発表会、2003.