

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

○学生会員 丸山 大伍

中央大学理工学部土木工学科

正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

構造物に対する性能設計の時代をむかえ、従来になかった性能が注目されている。また、国際規格 ISO2394 により、ある原因に対して全体で不つりあいな影響がでないようにする、構造ロバスト性の確保が進められている。本研究ではこれらのことから、安全性能に対する危機管理的視点が必要だと考え、構造ロバスト性が高い並列システムである斜張橋を例にとり、ケーブル定着部損傷時の構造ロバスト性の確認として、損傷時の橋の挙動の解析、健全時と損傷時の比較・検討、さらには、信頼性解析による安全性の検討を行った。

2. 解析モデルと解析条件

解析モデルは、中央径間長 600m とし名港中央大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、600 m 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。主桁、主塔断面はすべてのモデルで同一である。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。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。なお、定着部の損傷箇所は図-1 の■の部分で、損傷仮定は定着部全壊とした。

3. 解析結果

解析結果として、損傷時に比較的断面力の変化が著しい曲げモーメントに注目し、最大曲げモーメントが発生する塔位置主桁(着目点 A、B)付近の曲げモーメント図を各モデル別で示す(図-2, 3, 4)。着目点 A は損傷側の塔位置で、これと反対側の対称位置の塔位置主桁を着目点 B とする。

ここでは損傷ケース②と③しか示さなかったが、ケース①、④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①、③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②、④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

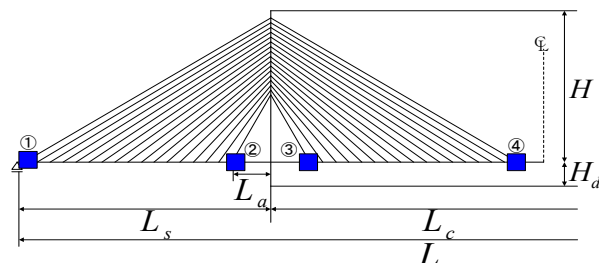


図-1 斜張橋全体形状 (中央径間長 600m)

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	

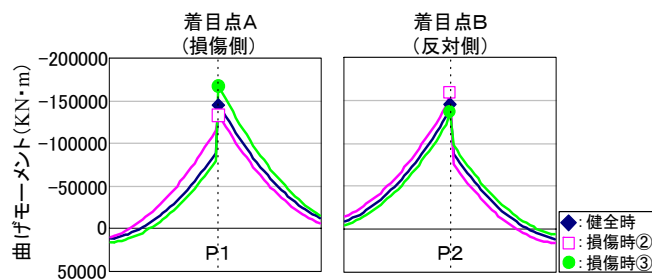


図-2 主桁の曲げモーメント図 (600m)

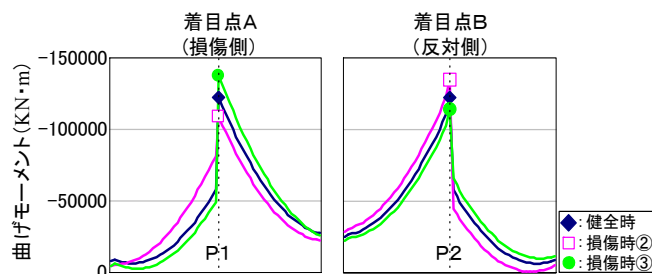


図-3 主桁の曲げモーメント図 (400m)

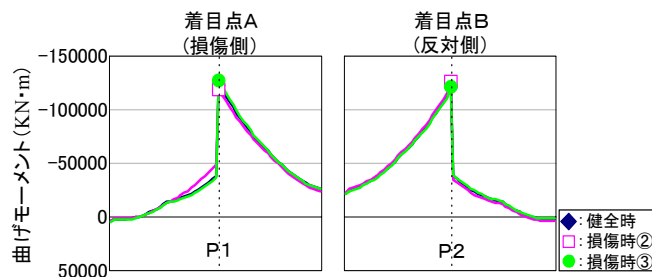


図-4 主桁の曲げモーメント図 (200m)

と考えられるが、この変動自体は小さく構造ロバスト性は確保されていると思われる。しかし、信頼性の観点から見たこれらの損傷ケースに対してのこれらのケースに対しての安全性の検討も必要だと考えた。

キーワード：斜張橋、ケーブル定着部、伝達マトリックス法、信頼性評価、動的解析

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

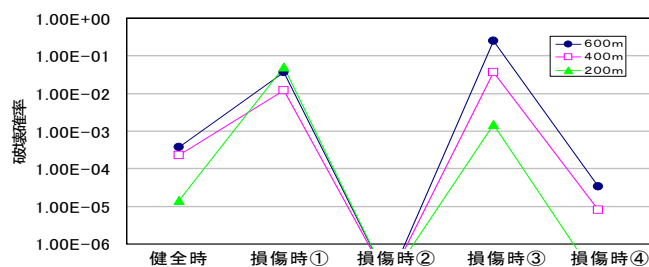


図-5 着目点Aでの破壊確率（突発渋滞時）

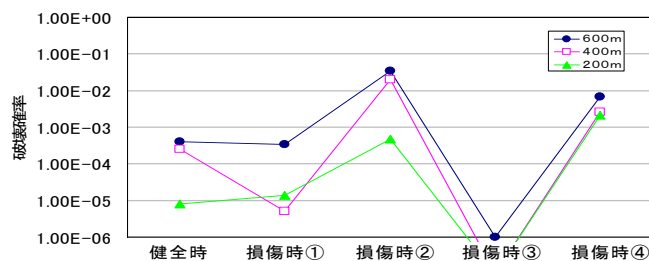


図-6 着目点Bでの破壊確率（突発渋滞時）

4. 信頼性評価

本研究では、車両の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えると、損傷時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、そして着目点での信頼性解析を行う。自動車荷重の各確率特性は元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。

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、着目点A、Bにおいて発生する断面力(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。

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

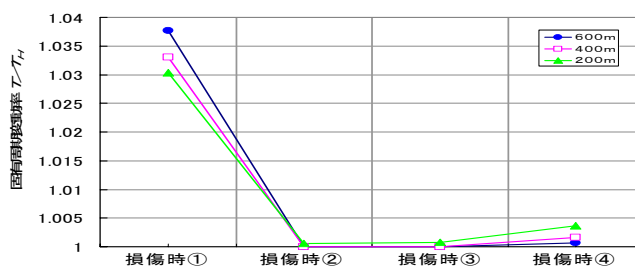
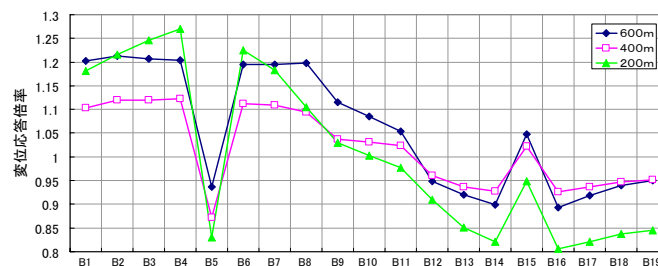
P_y : 降伏軸力 (KN)、 M_y : 降伏曲げモーメント (KN・m)

信頼性評価の方法としては、モンテカルロシミュレーション法を用い、着目点での破壊確率を算出し、健全時と損傷時で比較する(図-5、6)。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た。

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 $P_y < 1.0 \times 10^{-6}$ であった。突発渋滞に関しては着目点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増大しているのがわかる。また、健全時と各損傷時の破壊確率を比べると、4オーダーも違うケースがあり、ロバスト性に関して疑問が残る結果となった。

5. 動的解析

ここでは定着部損傷時にどのような動的挙動を示すか、固有値解析、時刻歴応答解析を行った結果を示す。

図-7 固有周期変動率 T/T_H (1次モード)図-8 損傷時①のモデル別変位応答倍率 δ/δ_H

●固有値解析

損傷時の評価には各損傷時の固有周期変動率 T/T_H を用い、損傷時の固有周期を T 、健全時の固有周期を T_H とする。図-7より損傷時①において他のケースと比べ大きい変動が確認できるが、安全性に影響を及ぼすほどではないことがわかる。

●時刻歴応答解析

損傷時の評価は、正弦波を桁中央部より入力し、主桁全体にわたって設置した節点にて変位、加速度応答倍率 δ/δ_H 、 α/α_H として、健全時の橋軸直角方向の最大応答値に対する損傷時の最大応答値の割合を用いる。各モデルの各損傷ケース別で比較したところ図-8のように損傷時①が他ケースと比べ応答倍率の変動が大きいことがわかった。これはアンカーケーブルに張力が働かなくなることによって塔の水平変位が増大し、橋全体の不安定さが増したためだと考えられる。

6. おわりに

全体の結果から、ケーブル定着部損傷によりモデルが小さくなるにつれ、主桁の挙動、安全性の変動は増大していく傾向が見られた。また構造ロバスト性に関しては、信頼性解析、時刻歴応答解析の結果からはやや疑問が残る結果となった。ただし、これらが現実の問題と顕在化するのには損傷発生後、長期にわたり放置した場合であり、適切なモニタリングが可能であればカバーは十分にできる。

今後の課題としては、塔やケーブルの挙動の確認、安全性の検討、さらには損傷仮定を変えてより現実的な検討も必要だと考えている。

<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、土木学会関東支部技術研究発表会、2003。