

## 斜張橋のケーブル破断による連鎖崩壊に関する一考察

秋田大学大学院 学生会員 角田 晴輝  
 秋田大学大学院 正会員 青木 由香利  
 秋田大学大学院 学生会員 及川 大輔  
 秋田大学大学院 正会員 後藤 文彦

表-1 桁および塔の断面諸元 (m<sup>2</sup> or m<sup>4</sup>)

断面	断面積	面内 I <sub>x</sub>	面外 I <sub>y</sub>
主桁	0.368	0.504	4.923
主塔	0.350	0.563	0.867

## 1. はじめに

吊橋, 斜張橋やアーチ橋など吊り形式橋梁において, ケーブルは命綱ともいえる重要な構造部材である. 2019年に生じた台湾の南方澳大橋の落橋は, ケーブルの腐食・疲労による破断が原因であると考えられており, ケーブル破断の危険性を示す典型的な事例である. そこで本研究では, 斜張橋を対象とし, ケーブル破断が橋全体の終局強度に及ぼす影響を検討し, 橋全体の崩壊過程を明らかにする.

## 2. 斜張橋のモデル及び解析条件

支間 300m の斜張橋を例にケーブルが破断したと想定したモデルに対し静的解析, 弾塑性解析を行い, 斜張橋の連鎖崩壊挙動について考察を加えた. 図-1 および表-1 にファンタイプ1面吊り鋼斜張橋モデルおよび主桁, 主塔の断面諸元を示す. 主桁, 主塔断面は, 鋼製箱断面とし, 床版は鋼床版を想定した. これらの断面は, 道路橋示方書に基づき, 所要の安全率が確保できるように常時設計荷重による応力照査を行って決定したものである. なお主桁, 主塔の材質は, SM400 で, 引張降伏応力は 235MPa である. 一方, ケーブルにおいては, 許容応力を 628MPa として設計した. 解析モデルは骨組みモデルとして解析を行った. なお本研究で用いた解析プログラムは, Marc Memtat2021 である.

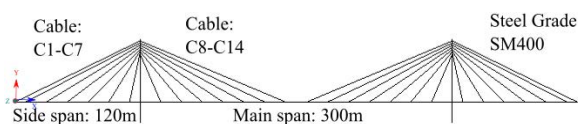


図-1 解析モデル

## 3. 終局強度の算出

ケーブル破断前と破断後の終局強度を弾塑性解析によって求めた. 載荷方法として, ケーブルプレストレスを受ける初期状態から  $k$  を荷重パラメータとして増加させることとした.

$$P = Pr + k(D+L+CW) \quad (1)$$

$k$  は荷重増加係数であり, 0.01 ずつモデル橋が終局に至るまで増加させた. 終局時の  $k$  を終局荷重係数  $ku$  とした. 終局時の変形図を図-2, 図-3, 図-4 に, 各解析ケースごとの終局強度とその減少率を表-2 に示す.

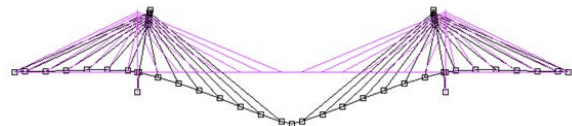


図-2 破断前の変形

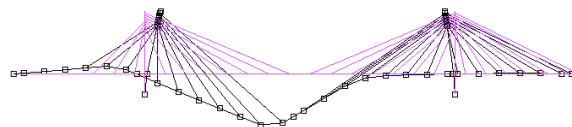


図-3 C1-C2-C3 破断時の変形

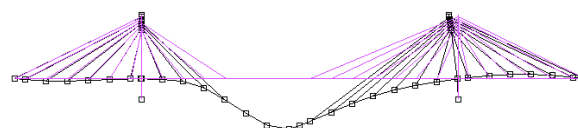


図-4 C14-C13-C12 破断時の変形

キーワード 斜張橋, ケーブル破断, 連鎖崩壊, 終局強度

連絡先 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学理工学部土木環境工学コース

表-2 健全時とケーブル破断時の終局強度

	破断ケーブル	$ku$	減少率
破断前		2.62	
ケーブル破断	C1	2.40	8 %
	C1+C2	2.00	24 %
	C1+C2+C3	1.68	36 %
	C14	2.35	10 %
	C14+C13	2.00	24 %
	C14+C13+C12	1.71	35 %

#### 4. ケーブル破断時の挙動

静的解析により1本のケーブルが破断直後、衝撃荷重により連鎖的に他のケーブルが破断する様子を解析する。

##### a) C1が破断したケース

C1が無くなった構造系に、死荷重および活荷重が衝撃的に作用する。これを、静的荷重の2倍が作用すると考え、 $2.0x(D+CW+LP1+LP2)$ を作用させる。その結果、すべての主桁および主塔断面は弾性域内である。破断したC1に隣接するC2の応力および、ひずみは他のケーブルより大きく、その応力は $1,482\text{N/mm}^2$ 、ひずみは0.0124となり、第一降伏点を超えるが、破断ひずみ(0.04)には到達しない。すなわち、全体崩壊には至らない。しかし、ケーブルが腐食している場合には、断面積が減少し、じん性が低下(過去の事例では、正常ケーブルの1/3になるとの報告もある)するため、C2も破断する危険性がある。そこでC1の破断に続きC2が破断する場合を検討する。C1およびC2が無くなった構造系に、死荷重および活荷重を衝撃的に作用させる。その結果、C5付近の主桁はウェブ中立軸付近を除いて降伏応力に達する。C2に隣接するC3の応力および、ひずみは他のケーブルより大きく、その応力は $1,570\text{N/mm}^2$ で第二降伏点に達し、ひずみは0.037となる。したがって、全体崩壊には至らない。C2に続きC3が破断する場合を検討する。その結果、C5付近の主桁断面が全塑性断面となり塑性ヒンジが形成され、橋全体が崩壊する。そのとき、C3に隣接するC4のひずみは破断ひずみに近い0.039となる。

##### b) C14が破断したケース

C14が無くなった構造系に、死荷重および活荷重を衝撃的に作用させる。その結果、破断したC14に隣接するC13の応力およびひずみは他のケーブルより大きく、その応力は $1,416\text{N/mm}^2$ 、ひずみは0.011となり、第一降伏点に達するが、全塑性断面とはならない。すなわち、全体崩壊には至らない。しかし、ケーブルが腐食している場合には、断面積が減少し、じん性が低下するため、C13も破断する危険性がある。そこで、C14に続きC13が破断した場合を検討する。C14およびC13が無くなった構造系に、死荷重および活荷重を衝撃的に作用させる。その結果、C11付近の主桁の下フランジが降伏応力に達するが、全塑性断面とはならない。その他の部材はすべて弾性域内である。C12の応力は $1,570\text{N/mm}^2$ で第二降伏点に達し、ひずみは0.027となる。C13に続き、C12が破断する場合を検討する。その結果、C13付近の主桁断面が全塑性断面となり、塑性ヒンジが形成され、橋全体が崩壊する。そのときの、C12に隣接するC11のひずみは0.027である。

#### 5. まとめ

本研究では支間300mの斜張橋モデルに対し静的解析を行い、ケーブル破断時の連鎖崩壊挙動と終局強度について検討を行った。

- 1) C1が破断した場合、C2、C3と連鎖的に破断し、C5付近の主桁断面に塑性ヒンジが形成され、橋全体が崩壊することが確認できた。
- 2) C14が破断した場合、C13、C12と続いて破断し、C13付近に主桁断面塑性ヒンジが形成され、橋全体が崩壊することが確認できた。
- 3) ケーブルが1本破断した後の崩壊挙動を静的解析によって再現できた。

#### 参考文献

- 1) 中村俊一, 青木由香利: ケーブル腐食を考慮した斜張橋の終局強度及び疲労寿命 構造工学論文集 Vol. 67A (2021年3月)
- 2) Shunichi Nakamura, Kazuhiro Miyachi: Ultimate Strength and Chain-Reaction Failure of Hangers in Tied-Arch Bridges, SEI, IABSE, DOI: 10.1080/10168664.2020.1775537, 2020