

ケーブル腐食を考慮した 3D 斜張橋モデルの終局強度に関する検討

秋田大学 学生会員 ○梅宮 湧吾
 秋田大学院 学生会員 角田 晴輝
 秋田大学院 正会員 青木 由香利
 秋田大学院 正会員 後藤 文彦

1. はじめに

斜張橋や吊り橋といった吊形式の橋梁において、ケーブルは構造にとって重要な部材である。近年、吊形式橋梁におけるケーブルの腐食が世界的に深刻な問題となっており、ケーブル腐食が原因で崩壊した吊形式橋梁も存在する。典型的な事例として2019年に台湾で生じた南方大橋（アーチリブ橋）の崩落が挙げられる。この崩落事故はスパン中央部のケーブルが破断した後に他のケーブルも破断していき、アーチリブが崩壊、落橋に至った。破断したケーブルが腐食していたことから、ケーブル腐食が破断の要因の一つと考えられている。本研究では斜張橋を対象として、ケーブル腐食が橋全体にどのように影響するか 3次元モデルを用いて検討していく。

2. 対象とする鋼斜張橋モデル

2.1 モデル橋の諸元

図-1 に示す検討対象のモデルは径間長 300m の鋼斜張橋で、2面吊り 7段ケーブルとした。主桁断面は鋼製箱断面とし(図-2)、鋼板材質は SM400 を用いた(降伏応力 235MPa)。主塔は H 形で構成され、断面は箱断面とし(図-3)、鋼板材質は SM570 を用いた(降伏応力 450MPa)。

ケーブルは ST1570 を用いて(引張強度 1570MPa)それぞれ異なるサイズとし、その詳細を表-1 に示す。

本モデルは主桁をシェル要素、主塔とケーブルをはり要素でモデル化した。主桁は 1 要素が 1m×1m とな

るように分割した。また、主塔は 2m につき 1 要素で分割し、ケーブルは 1 本 1 要素とした。

表-1 ケーブル断面

Cable	A(mm ²)	Cable	A(mm ²)
C1-C4	6,082	C8	6,082
C5-C6	5,808	C9-C11	5,808
C7	2,827	C12-C14	2,827

2.2 常時設計荷重

本研究では常時設計荷重として死荷重、カウンターウエイト、ケーブル・プレストレス力、活荷重を与えた。単位面積当たりの死荷重(D)は5.577kN/m²で、これは鋼桁重量の3.168kN/m²、地覆・高欄の1.114kN/m²、アスファルト舗装の1.295kN/m²の合計であり、それを等分布載荷した。また、桁端部の上揚力を防ぐために、側径間にカウンターウエイト $CW=3.636$ kN/m² を作用させた。

ケーブル・プレストレス(Pr)は温度荷重として、全ケーブルに-100℃与えた。

活荷重(L)は道路橋示方書¹⁾のB活荷重として2種類の荷重($p1, p2$)を載荷した。 $p1$ は載荷長を10mとしてスパン中央に与えた。幅員5.5mに $p1=10$ kN/m²、その他の部分には $p1=5$ kN/m²を載荷した。また、 $p2$ は載荷長を540mとして橋全体に与えた。幅員5.5mに $p2=3$ kN/m²、その他の部分には $p2=1.5$ kN/m²載荷した。

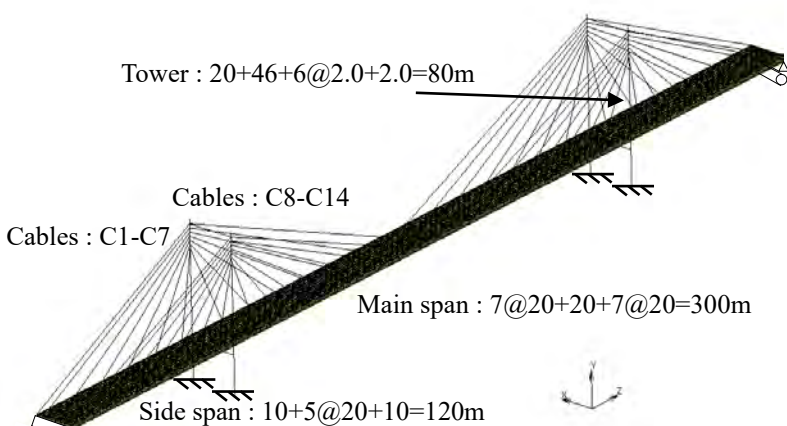


図-1 モデル橋のレイアウト

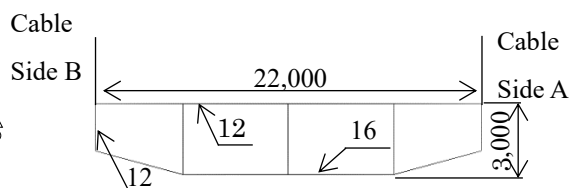


図-2 主桁断面(mm)

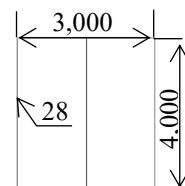


図-3 主塔断面(mm)

キーワード 斜張橋, 終局強度, 3次元モデル, ケーブル腐食

連絡先 〒010-8052 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

3. 終局強度

本章ではケーブル健全時とケーブル腐食時を比較するため、それぞれの終局強度を求めた。

3.1 解析シナリオ

本研究はケーブルの腐食を断面積の減少により再現しており、断面減少率を 0,10,20,30%と変化させた。また腐食ケーブルを橋の両側と片側として、解析を行った。具体的なシナリオは表-2 に示す。

表-2 解析シナリオ

scenario	ケーブル断面減少率(%)	
	Cable side A	Cable side B
1	0	0
2	10	10
3	20	20
4	30	30
5	10	0
6	20	0
7	30	0

なお、断面減少率 0%でケーブル健全時を表した。このことより scenario-1 が橋梁健全時、scenario-2~4 が両側腐食時、scenario-5~7 が片側腐食時を再現している。

3.2 弾塑性解析手法

本研究では既往研究と同じ手法を用いて解析を行った²⁾³⁾。最初にケーブル・プレストレス(Pr)を作用させる。その後、死荷重(D)、活荷重(L)、カウンターウエイト(CW)を増加させた。これを式(1)に示す。

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

ここで k は荷重増加係数とし、橋が崩壊するまで k を 0.01 ずつ増加させた。なお、本解析では主桁または主塔が十分に広い範囲で降伏応力に達することで橋梁が構造的に不安定になることから、その状態を橋梁の崩壊とみなした。この時の k を崩壊荷重係数 k_u とする。

3.3 解析結果

今回の解析結果では全ての scenario において主塔の降伏している箇所は圧縮側のみで、広範囲な降伏はみられないことから、主塔は崩壊要因ではないと判断したので主桁の結果のみを示す。

(1)ケーブル健全時(scenario-1)

ケーブル健全時の scenario-1 では、主桁スパン中央部において $k=2.06$ で上フランジが圧縮降伏、 $k=2.15$ で下フランジが引張降伏、 $k=2.71$ で中立軸付近が広範囲で降伏応力に至った。よって、このとき橋全体が崩壊したと判断した。以上のことから崩壊の要因を主桁スパン中央近辺の降伏と判断し、 $k_u=2.71$ とした。

表-3 両側腐食時の崩壊荷重係数

scenario	k_u
2	2.45
3	2.24
4	1.99

(2)両側ケーブル腐食時(scenario-2~4)

Scenario2~4 の解析結果は k_u が変化しただけで、崩壊過程は scenario1 と変わらなかった。それぞれの k_u を表-3 に示す。ケーブル断面減少率と k_u の低下率は線形であり、30%の低減で k_u も約 30%低下した。

(3)片側ケーブル腐食時(scenario5~7)

片側ケーブルの腐食時において上フランジ・下フランジは scenario-2,3,4 と同じく一様に降伏応力に達した。一方でウェブを確認すると、腐食させた Cable side A 側から降伏応力に達した。このことより橋梁の形状にねじれが確認された。上フランジ・下フランジ・腐食ケーブル側のウェブが降伏応力に達したところで、主桁断面が広範囲で降伏していると判断し、その時を k_u とした。それぞれの k_u を表-4 に示す。

表-4 片側腐食時の崩壊荷重係数

scenario	k_u
5	2.54
6	2.32
7	2.16

ここで scenario-2~4 と比較すると k_u の低減率は小さくなるが、ねじれによる影響は大きくでることから今後その影響を検討したい。

4. まとめと今後の課題

本研究では 3D モデルを用いて、弾塑性解析により橋梁の終局強度を算出した。この解析ではケーブル腐食を断面積の減少によって再現し、両側と片側の腐食を考慮してケーブル腐食が橋梁の終局強度に与える影響を検討した。まず両側ケーブルが腐食した解析では、ケーブル断面積の減少率を 0 から 30%まで変化させると崩壊荷重係数 k_u は線形的に減少した。また、片側ケーブルを腐食させると主桁の形状にねじれが確認でき、腐食ケーブル側のウェブが先行して降伏応力に達した。片側ケーブルを腐食させた際も腐食が進むにつれて k_u は線形的に減少した。この k_u の低下率は両側腐食と比較すると小さかった。

今回の解析では断面積の減少で腐食を再現したが、実際のケーブル腐食は断面積の減少に加え、伸び率の低減も考えられる。そのため、これを破断ひずみの減少によって再現することが今後の課題である。また、今後の応用研究として、全面荷重から偏心荷重に変更し、ねじれが橋全体にどう影響するかの詳細を検討していく。

REFERENCES

- (1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編,II 鋼橋編, 2002
- (2)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および疲労寿命, 2021
- (3)角田晴輝, 青木由香利, 後藤文彦, 中村俊一: ケーブル腐食を考慮した斜張橋の終局強度および連鎖崩壊解析, 2022