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

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,事故事例も報告されている.この事故事例 の一つとして2011年秋田県大館市にある雪沢大橋のケ ーブル破断事故が挙げられる.この事故の要因の一つ としてケーブル腐食が考えられている.以上のことを 踏まえ,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

本研究では図-1 に示す主径間長 300m, 2 面吊り7 段 ケーブルの鋼斜張橋をモデル化した. 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.

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 アルト舗装の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=3.636kN/m²を作用させた. 7019520 梅宮 湧吾 指導教員 青木 由香利

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=10kN/m², その他の部分に はp1=5kN/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=3kN/m², その他の部 分にはp2=1.5kN/m²載荷した.

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と応力-ひず み関係の低下により再現しており,ケーブル断面積と 応力-ひずみ関係をそれぞれ 100,90,80,70%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,それぞ れ解析を行った.具体的なシナリオは表-2 に示す.な お,ケーブル断面積と応力-ひずみ関係が 100%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-2~7 がケーブル両側腐食時, scenario-8~13 がケーブル片側腐食時を再現している.

3.2 弹塑性解析手法

本研究では既往研究と同じ手法を用いて解析を行った¹⁾²⁾.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.

$$P = Pr + k(D + L + CW) \tag{1}$$

ここで*k*は荷重増加係数とし,橋が終局に達するまで*k*を 0.01 ずつ増加させた.なお,本解析では主桁または 主塔において図-4,図-5 に示す点がすべて降伏したとき を橋梁の終局とみなした.この時の荷重増加係数 *k*を 終局荷重係数 *k*_uとする.以下,①~⑫は図-4,5の箇所







表-2	解析シナ	IJ	オ
1X 🖬		/	~ 1

scenario	Side of cable corrosion	Remaining Cable area	Remaining of stress- strain	
1	-	100%	100%	
2		90%		
3		80%	100%	
4	Cable side	70%		
5	A&B		90%	
6		100%	80%	
7			70%	
8		90%		
9		80%	100%	
10	Cable side B	70%		
11			90%	
12		100%	80%	
13			70%	

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⑥~⑧のみであったため,主塔は終 局の要因ではないと判断し,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①が圧縮降伏、k=2.15 で③が引張降 伏、④、⑤が k=2.71 で降伏、最後に②が k=2.91 で降伏 した.よって、このとき終局に至ったと判断した.以上 のことから終局に至った要因を主桁スパン中央の降伏 と判断し、 $k_{\mu}=2.91$ とした.

(2)両側ケーブル腐食時(scenario-2~7)

Scenario2~7 の解析結果は k_u が変化したものの,終 局過程は 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.また、この 時の応力分布(図-6)によると、主桁側径間の応力が減少、 主塔部付近の主桁の応力が増加したことが分かった.

(3)片側ケーブル腐食時(scenario8~13)

片側ケーブルの腐食時の④,⑤を確認すると,腐食させた Cable side B 側の⑤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.片側ケーブル腐食時は主桁スパン中央から左右に 6m のところが終局箇所(図-7)であり、①~⑤が降伏したところで k_u とした.それぞれの k_u を表-3 に示す.



図-7 終局箇所(片側腐食時)

表-3 腐食時の ku

両側ケーブル腐食時		片側ケーブル腐食時		
scenario	k_u	scenario	k_u	
2	2.60	8	2.78	
3	2.37	9	2.58	
4	2.11	10	2.44	
5	2.66	11	2.76	
6	2.42	12	2.57	
7	2.17	13	2.42	

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 減少と応力-ひずみ関係の低下によって再現し,両側と片側 のケーブル腐食を考慮して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,あるいは応力-ひずみ関係を100~70%で変化 させると崩壊荷重係数 ku は線形的に減少し,主桁主塔部上 フランジの応力が増加した.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.このときの終局箇所はスパ ン中央から左右に 6m のところで,ねじれの影響で応力が集 中したと考える.片側ケーブルを腐食させた際も腐食が進む につれて ku は線形的に減少したがこの ku の低下率は両側腐 食と比較すると小さかった.また,今後の課題として,形状 のねじれの詳細な影響を検討することが挙げられる.

REFERENCES

- (1)中村俊一, 青木由香利: ケーブル腐食を考慮した斜張 橋の終局強度および疲労寿命, 2021
- (2)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