

第I部門

少数ケーブル鋼斜張橋の構造冗長性に関する基礎的研究

神戸大学工学部

学生員 ○長谷川 智

神戸大学大学院工学研究科

正会員 橋本国太郎

1. 研究背景および目的 近年, 国内において腐食によるケーブルの損傷の事例が報告されており, また海外の斜張橋では, 落雷や火災によるケーブル切断事故や, 船舶の衝突によるケーブルおよび主桁の損傷事故などがある. これらから, 橋梁の部材や部材の一部に損傷が生じたときの橋の機能をある程度維持できる性質, つまり構造冗長性 (リダンダンシー) を評価することが求められている. しかし, リダンダンシーの評価方法に関しては鋼トラス橋では多数行われているが, 吊り橋や斜張橋のようなケーブル系橋梁に対してほとんどなされていない. そこで, 本研究では, 斜張橋を対象にケーブルが破断した時の各部材の力学的挙動および斜張橋のケーブル破断時のリダンダンシーをFEMによって明らかにすることを目的とする. ここでは, FEMによって作成した解析モデルから特定のケーブルの要素を削除し, ケーブル破断が瞬間的に発生することによる動的な効果を考慮するために衝撃係数を含めたケーブルの破断現象を静的挙動に置き換えて, そのときの橋梁全体の挙動や応力再配分挙動を検証することでその橋梁のリダンダンシーを評価する.

2. 解析モデル 本研究で対象とする橋梁は, 橋長 378.625m, 中央支間長 216.000m を有する 3 径間連続鋼床版斜張橋とし, 図-1 に示すケーブル形式が 2 段のモデル-A と 4 段のモデル-B の 2 種類である.

P3 塔の側径間側の上段ケーブルから C1, C2, …とケーブルに名称を付けている. また, 双方のモデルは桁と塔はファイバー要素, ケーブルはトラス要素でモデル化しており, 主桁は橋軸方向に 90 分割, ケーブルは 10 分割している. 桁や主塔の鋼材の応力 - ひずみ関係に関してはバイリニア型, ケーブルの応力-ひずみ関係をトリリニア型とし, 図-2 のように二次勾配へ移る応力を 1160N/mm², 三次勾配へ移る応力を 1370 N/mm², 破断応力を 1570N/mm² と設定した. 主桁・塔・ケーブルの使用材料を表-1 に示す.

のみを考慮した弾塑性微小変位解析を実施した. モデル-A では腐食によるケーブルの破断の過程の違いを考慮した, CASE-1, 2, 3 の 3 パターンの荷重載荷方法で解析を

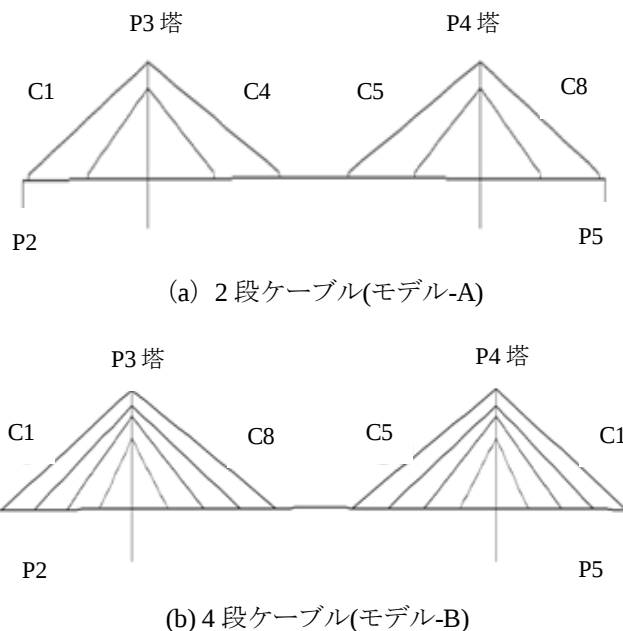


図-1 解析モデルの概要

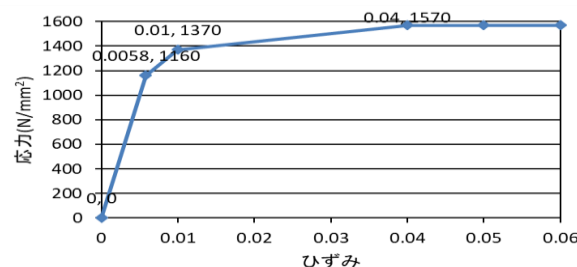


図-2 ケーブル材料の応力 - ひずみ関係

表-1 主桁・塔・ケーブルの使用材料

部材	材質
主桁	SS400, SM490
塔	SM490
ケーブル	PWS, φ 7mm

3. 解析方法 本研究の斜張橋の解析には, 汎用有限要素解析コード SeanFEM¹⁾を用いた. 本研究では, 材料非線形性を行い, モデル-B は CASE-1 のみで解析を行った. CASE-1 は, 瞬間的にケーブル全断面の破断が起こり動的効果を考慮したケースで, CASE-2 は時間を十分かけて破断し,

動的効果を考慮しないケース、CASE-3 は CASE-1 と CASE-2 の中間のケースである（腐食がケーブル断面の50%まで進み破断した場合）。

4. 解析結果 モデル-A に関して主桁の鉛直たわみや断面力を各ケースで比較し、また、CASE-1 についてモデル-A とモデル-B で比較検証を行った。モデル-A の上段ケーブルである、C5 ケーブル削除時の主桁の鉛直たわみを図-3 に示す。モデル-B に関して同じ位置の上段ケーブルである、C9 ケーブル削除時の主桁の鉛直たわみを図-4 に示す。

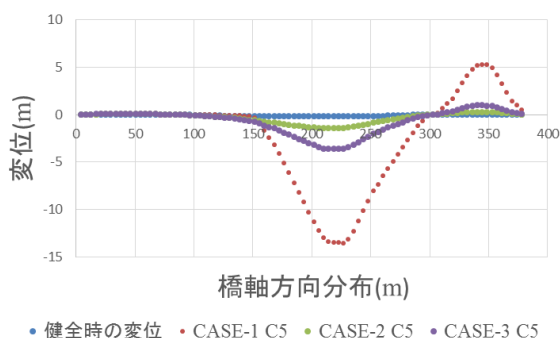


図-3 C5 ケーブル削除時モデル-A の主桁の鉛直たわみ

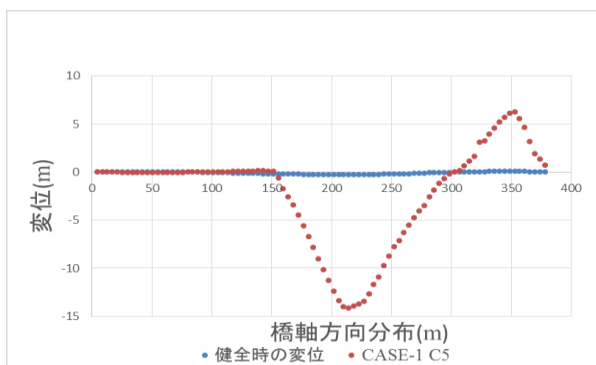


図-4 C9 ケーブル削除時モデル-B の主桁の鉛直たわみ

許容たわみ 0.54m^2 との比較より、上段ケーブル削除時には腐食の破断の種類に関わらず、モデル-A、モデル-B ともに許容たわみを超えており、橋梁としての機能を維持することは難しいことがわかる。

5. リダンダンシー評価 リダンダンシー評価の検討方法として、解析で得られた CASE-1 のモデル-A、モデル-B の桁、ケーブルの発生応力とそれぞれの主桁の座屈応力および降伏応力に注目し、5段階評価を用いて、一つのリダンダンシー評価の方法として提案する。以下の表-2 に示す。なお桁の座屈・降伏判定はリダンダンシーに影響が大きい下フランジの発生応力を求めて算出し、ケーブル破断に関しては、各削除ケーブル以外のケーブルと塔の定着部の応力を求め破断応力と比較し求めた。

表-2 リダンダンシー評価

S	各桁要素に降伏座屈なし
A	桁要素の降伏あり座屈なし
B	桁要素の座屈が全体の2割未満
C	桁要素の座屈が全体の2割以上
D	設定破断ケーブル以外のケーブル破断あり

表-3 リダンダンシー評価結果

	モデル-A の削除ケーブル名	モデル-B の削除ケーブル名
S		C11, C12, C15
A		
B	C7	C10, C13, C14
C	C5, C6, C8	
D		C9, C16

桁要素が一つでも座屈すると橋梁としての機能を維持できることは厳しいと考え、B 以下のランクになると橋梁としての機能がほとんど期待できない状態である。

解析結果から表-2 に当てはめると、モデル-A、B におけるリダンダンシー評価は表-3 の結果となった。

以上の結果から、モデル A は、全てのケースで B ランク以下であるのに対し、モデル-B では C11, C12, C15 ケーブル削除時の 3 ケースで降伏座屈なしで、リダンダンシーに優れているとわかるが、上段ケーブル C9, C16 では、その他のケーブルが破断してしまい崩壊に近づいていることがわかる。

6. 結論および今後の課題 本研究では、ケーブル本数の異なる斜張橋モデル2種類を用い、ケーブルを削除して、斜張橋のリダンダンシーを評価することを試みた。今後の課題としては、より適切なリダンダンシーの評価方法があるのか比較、検討する余地があると考えられる。

参考文献 1) 野中哲也, 吉野廣一: パソコンで解く ファイバーモデルによる弾塑性有限変位解析, 丸善, 2010
2) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 I 共通編 II 鋼橋編, 平成 29 年 11 月