

第 I 部門 損傷したケーブルを有する鋼斜張橋の残存耐荷力に関する解析的研究

神戸大学工学部 学生員 ○林 宏行
 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、鋼斜張橋のケーブル部材に対する腐食劣化事例が報告されるようになり、その耐荷力やリダンダンシーについての評価を求める声が上がってきている。しかし、斜張橋は鋼トラス橋に比べてその検討は多くは行われていない。そこで本研究ではケーブルが損傷した際の耐荷力や各部材の挙動を評価することを目的とし Fig.1 のようなマルチケーブル形式の斜張橋を FEM によってモデル化し、ケーブル部材の破断現象は解析モデルからケーブル要素を削除することによって簡易に再現し、そのときの橋梁全体の挙動や応力再配分挙動を追跡し、さらに橋梁全体の耐荷力を評価する。

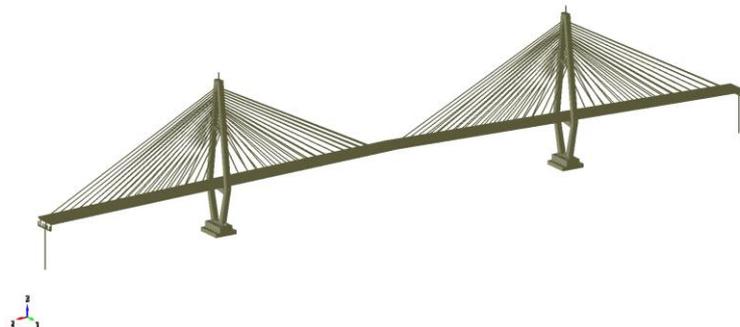


Fig.1 解析モデル

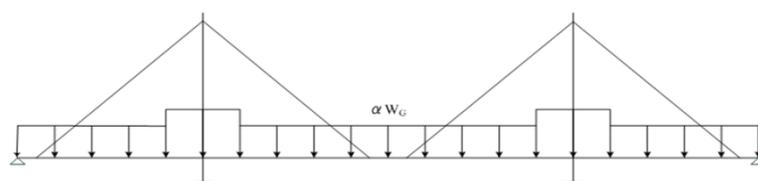


Fig.2 荷重モデル

2. 解析モデル FEM 解析には、汎用有限要素解析コード Sean FEM を用い、桁と塔はファイバー要素にて再現し、桁とケーブル、桁と橋脚は剛結合で結節し橋脚基部は各方向の変位・回転を完全拘束した。桁は 94 分割とし、鋼材は SM490Y を使用しており、塔は約 400 分割とし、鋼材は SM570Y を使用した。ケーブルは各 10 分割とする。橋長は 998m、中央支間長は 500m の三径間連続二面吊鋼斜張橋で、ケーブル段数は 15 段とした。鋼材の応力-ひずみ関係は降伏応力に達した後は E/100

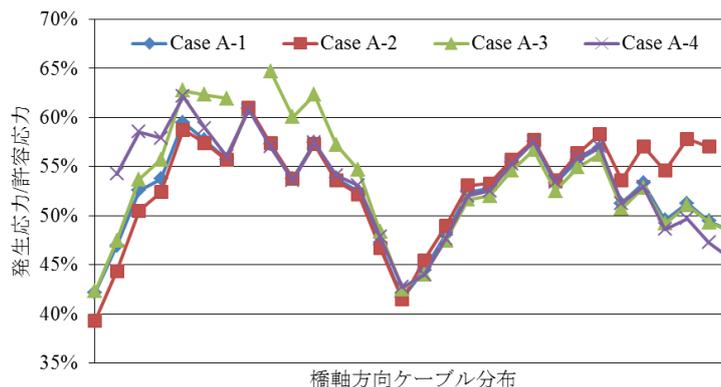


Fig.3 許容応力に対する発生応力の割合

の勾配で増加していくバイリニアモデルで設定した。またケーブル材料は降伏応力に達した後、素線の引張試験結果をもとに破断荷重とひずみの大きさを設定し、それに至るような勾配となるようにバイリニアモデルで設定した。本研究の解析においてはケーブルの破断荷重に達した際の破断を再現できていないため、破断荷重に達した後も荷重を負担し続けるという設定となっている。

3. 破断想定ケーブルと解析手法 破断想定ケーブルは健全状態のモデルに死荷重を載荷し、プレストレスを作用させた完成形を再現した際に軸力が最大となったケーブル (Case A-2) と応力が最大となったケーブル (CaseA-3) に加え側径間の最上段のケーブル (CaseA-4) としモデルから削除する。解析に際してはまず完成形をより細かく再現するため、ケーブル以外の部材に死荷重を載荷した後に、ケーブルに死荷重を載荷する。その後、ケーブル部材、弾性拘束ケーブルの順番にプレストレスを導入した。各ケースの死荷重状態を再現した後に耐荷力解析として、Fig.2 に示すような主桁全体に主桁死荷重を係数倍したものを漸増載荷していく。ここで主桁死荷重に乗じる比例係数を荷重パラメータ α とし $\alpha=0$ のときを死荷重状態とする。なお道路橋示方書を参考にし、活荷重として等分布荷重 p_2 を全橋に載せた場合は $\alpha=0.25$ 程度である。

4. 解析結果 まず、死荷重状態の各ケースのケーブルの状態について調査を行った。Fig.3 に死荷重状態の Hiroyuki HAYASHI, Kunitaro HASHIMOTO E-mail:hashimoto@person.kobe-u.ac.jp

各ケースの発生応力と許容応力の分布を示す。最も比率が高くなったのは、応力最大のケーブルを切断した

CaseA-3 でその比率は 65.2%であった。許容応力は斜張橋ケーブルの場合破断荷重を安全率 2.5 で除した値を採用していることにより、どのケースも死荷重状態においてはケーブルに連鎖的な崩壊が起こりうるような応力は発生していないことがわかる。

Fig.4 に CaseA-3 の桁の曲げモーメント分布 Fig.5 に塔の曲げモーメント分布をそれぞれ示す。どちらも許容範囲内の値であることから死荷重状態ではケーブルが一本切れたとしても崩壊に至るような応力は発生しないことがわかった。次に、耐荷力解析でも同様の検討を行った。終局状態では塔が座屈することで橋梁が崩壊したことになっていたが、各部材の応力状態を調査した結果、終局状態においてケーブル部材のほぼすべてが破断荷重を超えていたため荷重ケースを遡り、各ケースで最初のケーブルが破断荷重に達する荷重パラメータ α と桁や塔の挙動が非線形になる α をそれぞれ調べ、その結果をまとめたものを Table 1 に示す。Table 1 に示すように次のケーブルが破断する荷重パラメータ α がどのケースにおいても最も小さい値を示していることから、斜張橋の残存耐荷力はケーブルによって決まる可能性があることがわかった。それぞれのケースの中でも応力最大ケーブルを除去した CaseA-3 の荷重パラメータ α が最も低く 2.76 という値となった。

5. 結論 本研究で用いた斜張橋モデルにおいてはケーブルが一本切れた状態であってもすべて許容応力の範囲内の値を示しているため、死荷重状態では供用可能ということがいえる。これはケーブルが一本切れたとしても、マルチケーブル形式の場合ケーブル本数が多いため、極端に負担する荷重が増大することがないためと考えられる。耐荷力解析では主桁死荷重の 2.76 倍の荷重までは耐えられるということが分かったが、応力最大のケーブルを除去した際の耐荷力が最も低くなった原因として、死荷重解析の結果からもわかるように応力最大のケーブルの破断は周りのケーブルへの影響が大きいためと考えられる。

今後は、マルチケーブル形式の斜張橋のように、ケーブルが一本切れた状態でも他のケーブルが連鎖的に破断し崩壊する可能性の低いものを対象とするのではなく塔と桁を結ぶケーブル本数が 1 本や 2 本といった、ケーブルの破断が橋梁の供用に大きな影響を与える可能性がある斜張橋について検討を行う。

Table 1 各状態における荷重パラメータ α

	CaseA-1	CaseA-2	CaseA-3	CaseA-4
桁の降伏	4.42	4.42	4.42	4.32
塔の降伏	4.42	4.42	4.42	4.30
ケーブルの破断	3.18	3.12	2.76	3.16

参考文献：1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，2012

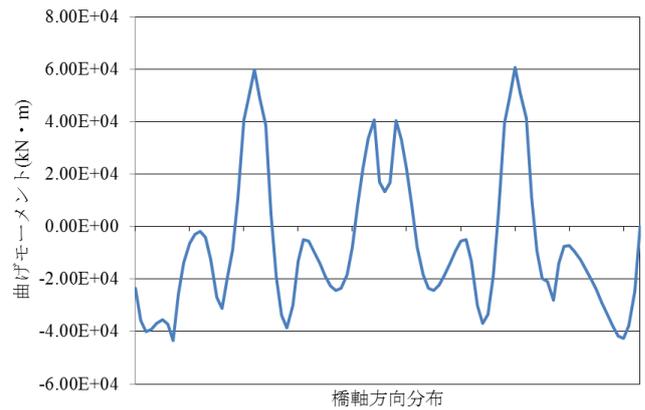


Fig.4 主桁曲げモーメント分布 (CaseA-3)

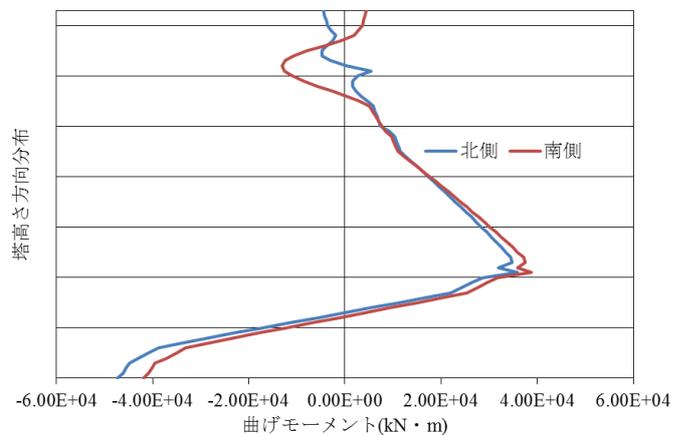


Fig.5 主塔曲げモーメント分布 (CaseA-3)