

## フェールセーフに基づく架設設計法に関する検討

トピー工業株式会社 正会員 林 健治

### 1. はじめに

アーチ橋の倒壊事故が相次いで発生したことを契機として、アーチ橋の架設工事における安全性が問題となり、「アーチ型の橋梁建設工事における橋げた等の倒壊防止に関する安全総点検について」という要請が出され、従来のセーフティ・アセスメントの実施と併行して、安全性を主体とした施工管理が実施されたことは記憶に新しい<sup>1)</sup>。著者も、ケーブル架設斜吊工法を用いたアーチ橋の情報化施工を実施するに当たり、安全施工管理の信頼性を高めるため、安全性に重大な影響を及ぼす因子を監視し、観測結果を施工に反映させるとともに、危険な状態の場合には警報を発し、緊急の対策を講じることができる安全施工管理システム<sup>1)</sup>を開発し、その適用を試み、妥当性・有効性を確認・検証した。同システムには、安全性に対する抜本的な対策を講じるため、斜吊設備などの仮設構造物を含めた架設構造系において、仮設構造物の一部が機能を果たさなくなっても、系全体が危険な状態に至らないように、確認・照査するフェールセーフ設計も含まれている。

既に、アーチ橋、2橋の安全施工管理の実施結果<sup>1),2)</sup>から、フェールセーフに基づく架設設計法は、安全施工管理を実施する上で不可欠な要素技術であることが確認されたが、その有効性を検証するまでには至っていない。そこで、フェールセーフに基づく架設設計法の考え方・手順を整理するとともに、安全施工管理の実施事例から、再度、その有用性を確認・検証した。本報は、以上の概要を示すものである。

### 2. フェールセーフに基づく架設設計法

フェールセーフの概念に基づく鋼橋の安全施工管理の手順は、図-1のとおりである。例えば、ケーブル架設斜吊工法を用いたアーチ橋の倒壊事故の要因分析①の結果から、鉄塔や斜吊ケーブルなどの仮設構造物を含む架設構造系の倒壊モード②として、鉄塔の一部が局部座屈により損傷し、柱が機能しなくなった場合や斜吊ケーブルの一部がクリップの弛み、ケーブル定着部の破壊、ケーブル自体の破断により同様に機能しなくなった場合が考えられる。ここでは、後者を取り上げ、架設設計法の具体的な手順・考え方を示す。

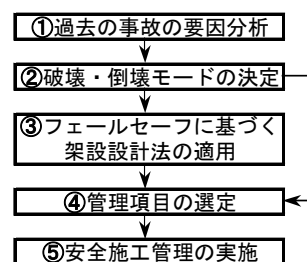


図-1 安全施工管理の手順

斜吊工法には、斜吊ケーブルの盛り替え作業が必要でない、多点吊り方式を用いるものとする。また、本報では、「（仮設構造）系の一部が破損しても、（架設構造）全体系が破壊・倒壊しない」ことを保証することをフェールセーフ（損傷許容設計、破壊制御設計の基礎）と呼ぶこととする。

1) 格点の座標および内力が既知である完成系を基準として解体計算を実施し、アーチリブ閉合後の系について断面力を求める。

2) アーチリブの閉合ブロックを除去し、閉合前の系の切断点に生じていた断面力を算定する。

3) 無応力状態の斜吊ケーブルをアーチリブ閉合前の系に配置し、2)の切断点に同じ大きさで向きが反対の荷重を載荷して、断面力等を算出する。

4) 先端の斜吊ケーブルの張力を求め、破壊モードとして着目した部位のケーブル1本を除去する。切断点にケーブル張力を1.4倍した（事故の要因分析等の結果から衝撃係数を0.4とした）反対向きの荷重を載荷する。

5) この荷重による影響値を計算し、除去前の断面力や変位に加算する。

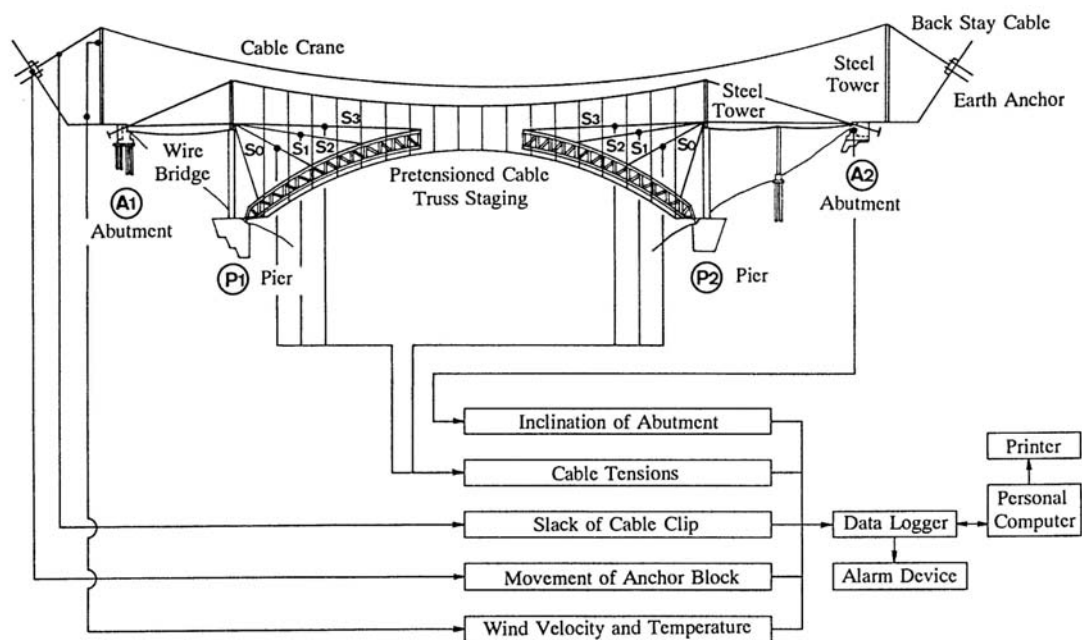
6) 次のステップ（前段階）の解体計算を実施し、4)、5)の操作を繰り返す。

なお、通常的设计では、常に先端の1段のケーブルのみが機能していると考え、処理・計算される。

### 3. フェールセーフ設計の適用事例と有効性の検証

キーワード フェールセーフ、架設設計、安全施工管理、ケーブル架設、解体計算

連絡先 〒441-8510 愛知県豊橋市明海町1番地 トピー工業(株) 技術統括部 技術研究所 TEL0532-25-1111



図－2 ケーブル架設斜吊工法を用いたアーチ橋への安全施工管理システムの適用事例<sup>1)</sup>

現在までに、上路式ブレースドリブ・アーチ橋と中路式鋼ローゼ桁橋に安全施工管理システムを適用し、架設工事の安全性を確保することができた（詳細は省略する）<sup>1), 2)</sup>。

本報では、前者への適用事例<sup>1)</sup>を用いてフェールセーフに基づく架設計算法の有効性を検証する（図－2参照）。

橋長 369m, 幅員 10m アーチ支間 230m, アーチライズ

39m の橋梁であり、斜吊ケーブルが、支点近傍のアーチリブを支持する S0, アーチリブ本体を支持する S1～S3 が上下流側, P1, P2 橋脚側にそれぞれ 2 組ずつ配置され、各架設段階において図－2 に示す管理項目を計測・監視し、安全施工管理が実施された。各架設段階（Step-1 : S1 のみ, Step-2 : S1 と S2, Step-3 : S1～S3）における設計値(1), 計測値(2), (1)に対する(2)の誤差(3), フェールセーフに基づく値(4)等を表－1 に示す。

設計値(1)と計測値(2)は比較的良好に対応しているため、これらの結果からフェールセーフに基づく値(4)も妥当な結果を与えるものと考えられる。一方、従来の架設計算法により算出された設計値（<>の値）は、S1 と S2 について(4)に対し、危険側の値を与え、必ずしも安全側の値とはならないことに留意する必要がある。

#### 4. おわりに

使用されたケーブルの破断荷重は、フェールセーフに基づく値(4)よりも十分に大きいので、従来の経験に基づく架設計算法により算出された設計値が直ちに問題となることはないが、以上の結果から、フェールセーフに基づく架設計算法を鋼橋の安全施工管理に適用することの妥当性・有用性が示されたものと判断される。

#### 参考文献

- 1) 為澤ほか：瀧山峡大橋上部工の架設工事，橋梁と基礎，Vol. 32, No. 4, pp. 9-18, 1998
- 2) 城戸ほか：泉津橋の安全施工管理，橋梁と基礎，Vol. 31, No. 9, pp. 11-17, 1997

表－1 各架設段階における切断前後における斜吊ケーブルの張力の変化

| Step              | Upper side |         |         | Lower side |         |         | Remark                                               |
|-------------------|------------|---------|---------|------------|---------|---------|------------------------------------------------------|
|                   | S3         | S2      | S1      | S1         | S2      | S3      |                                                      |
| Step-1            |            |         | <125.8> | <125.8>    |         |         | (1):Design value before break                        |
|                   |            |         | 125.8   | 125.8      | ←(1)    |         | (2):Measured value against (1)                       |
|                   |            |         | 123.0   | 119.8      | ←(2)    |         | (3):Error(%)                                         |
|                   |            |         | -2.2    | -4.8       | ←(3)    |         | {(2)-(1)}/(1)                                        |
|                   |            |         | 133.8   |            | ←(4)    |         | (4):Calculated value at Upper/Lower side after break |
| Step-2            |            | <227.2> |         |            | <227.2> |         | <>:Conventional design value before break            |
|                   |            | 182.8   | 57.7    | 57.7       | 182.8   |         | (5):In case of disregarding impact load              |
|                   |            | 167.1   | 47.5    | 53.5       | 169.6   |         | ←(5)                                                 |
|                   |            | -8.6    | -17.7   | -7.3       | -7.2    |         | Unit:tonf                                            |
|                   |            | 294.3   | 103.3   | 121.9      |         |         | without (3)                                          |
| Step-3            | <305.0>    |         |         |            |         | <305.0> |                                                      |
|                   | 197.7      | 88.5    | 39.4    | 39.4       | 88.5    | 197.7   |                                                      |
|                   | 209.3      | 105.3   | 36.6    | 43.2       | 77.2    | 207.4   |                                                      |
|                   | 6.1        | 19.0    | -7.1    | 9.6        | -12.8   | 4.9     |                                                      |
|                   | 283.9      | 158.6   | 64.0    | 77.0       | 180.4   | 0.0     |                                                      |
| Proof strength    | 868.0      | 692.0   | 346.0   | 346.0      | 692.0   | 868.0   |                                                      |
| Breaking strength | 694.0      | 554.0   | 277.0   | 277.0      | 554.0   | 694.0   |                                                      |