

斜張橋の知能化に関する基礎研究

山口大学大学院 学生会員○谷郷順一郎 協和設計株式会社 本下 稔
山口大学大学院 学生会員 坂井隆記 山口大学工学部 正会員 中村秀明・宮本文穂

1. はじめに

近年、既設および新設公共構造物の知能化に関する関心がますます高まっている¹⁾。従来の橋梁は、設計時に死荷重や活荷重が満載することを想定して設計をするが、交通量の少ない橋梁では寿命までに活荷重が満載することはほとんどない。また、橋梁の使用中に大規模な地震や台風が発生した場合でも橋梁が崩壊しないように設計されている。そのため、設計時にこのような自然災害や活荷重が満載することを想定して設計を行うのは、初期建設費を膨張させることとなり経済的であるとは言えない。したがって、橋梁に力が作用したときだけその力と逆向きの力を働かせれば、橋梁建設時の材料の削減により初期建設費を節約できる。また、橋梁の安全性、延命化、信頼性の向上を確保し、維持管理費や耐震補強工事費も削減できる。そこで、本研究では斜張橋の知能化に関する基礎研究として、橋梁模型を解析モデルとして、有限要素法（FEM 解析）を用いて数値実験を行った。

2. 橋梁の知能化と本研究の概要

知能化とは、センサー機能、プロセッサ機能、アクチュエータ機能を備えて、予期せぬ環境変化や外乱に対しても構造物自身が感知、判断、制御の諸機能を発揮して、安全性と計画された諸機能を維持することである。本研究では、制御機能の制御力について解析を行った。実際に通常作用する荷重を対象として設計した斜張橋の主桁に、稀にしか通行することのない大型車両荷重が通過することを想定する。大型車両の通過を安全にするためには、大型車両荷重載荷時の主桁の曲げモーメントを通常荷重による設計曲げモーメント以下に抑制する必要がある。そこで斜材ケーブルの張力を調節することで主桁の曲げモーメントを制御する。

3. FEM 解析

3.1 解析モデルと解析順序

FEM 解析を行う対象モデルは、香川県の高松自動車道にある府中湖橋の 100 分の 1 の橋梁模型（図-1）で、橋長 2000mm の 2 径間連続斜張橋である。この対象モデルを、2 次元平面モデルとし FEM 解析を行う。

FEM 解析の順序を次の①～④に示す。

- ①死荷重を載荷する。
- ②活荷重として通常荷重を載荷する。荷重の載荷点は、主桁の左端の節点から順に右に移動するものとする。
- ③活荷重として異常荷重を載荷する。荷重の載荷点は、主桁の左端の節点から順に右に移動するものとする。
- ④活荷重として異常荷重を載荷したときに、制御力として斜材ケーブルに追加張力を作用させる。斜材ケーブルに作用させる追加張力は、異常荷重載荷時と通常荷重載荷時の張力差を作用させる。

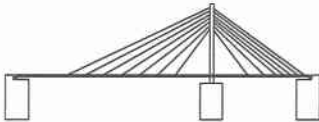


図-1 斜張橋

3.2 荷重条件と境界条件

FEM 解析に用いた荷重条件を表-1 に示す。

支点条件は、左端はX方向（橋軸方向）を自由、Y方向（鉛直方向）を固定とし、回転は拘束しない。右端は、X方向（橋軸方向）、Y方向（鉛直方向）とも固定とし、回転は拘束しない。主塔の最下部は完全固定とする。

表-1 荷重条件

名称		荷重	備考
死荷重	主桁	10.256g/mm	等分布荷重
	主塔・斜材ケーブル	軽量なため無視	
活荷重	通常荷重	1500g	集中荷重
	異常荷重	2500g	集中荷重

3.3 FEM 解析結果

FEM 解析による主桁の曲げモーメントを表-2に示す。異常荷重を載荷して、異常荷重載荷時と通常荷重載荷時の張力差を斜材ケーブルに作用させたが、通常荷重載荷時の曲げモーメントには戻らなかった。よって、斜材ケーブルの最適な張力を算出する必要がある。

表-2 主桁の曲げモーメント【単位：g・mm】

	1	2	3	4	5	6	7
死荷重載荷時	-212400	-87430	-8043	25870	31650	27420	12320
通常荷重載荷時	-338000	-180100	-87020	-43400	-29510	-26240	-33930
異常荷重載荷時	-421700	-241800	-139700	-89580	-70280	-62020	-64770
追加張力作用時	-397800	-220100	-119400	-70550	-52680	-45940	-49420
	8	9	10	11	12	13	14
	13050	56380	100600	145500	185300	192500	143500
	-37340	-8611	24220	61560	96030	113900	97350
	-70930	-51940	-26690	5624	36480	61550	66610
	-57850	-38960	-15220	14990	40950	59840	64240

4. 最適張力の算出

通常荷重載荷時の曲げモーメント： $M_d + M_D$ ，異常荷重載荷時の曲げモーメント： $M_d + M_I$ とすると，第 n 回目で増加させる張力 $?T(n)$ ，作用させる追加張力 $T(n)$ は，次式より求める。

$$?T(n) = \left\{ \frac{?M(n-1)}{M_I - M_D} \right\} \times ?T(1) \quad , \quad T(n) = \sum_{i=1}^n ?T(i) \quad , \quad ?M(n) = M_d + M_D - M(n)$$

ここで， $M(n)$ ：張力 $T(n)$ を作用させたときの曲げモーメント， $?M(n)$ ：制御する必要のある曲げモーメント量

以上の計算を繰り返して求めた最適張力と，そのときの曲げモーメントを表-3に示す。また，繰り返し回数を減少させるために，張力の増加量 $\Delta T(n)$ を2倍にしたときの解析結果を表-4に示す。

表-4 より，張力の増加量を2倍にすることにより解析の繰り返し回数を減少させることができた。解析結果を見る限りでは，主桁の曲げモーメントは極めてよく近似することができており精度の低下はなかったと思われる。

表-3 最適張力と曲げモーメント

	1	2	3	4	5	6	7
通常荷重載荷時[g・mm]	-338000	-180100	-87020	-43400	-29510	-26240	-33930
異常荷重載荷時[g・mm]	-421700	-241800	-139700	-89580	-70280	-62020	-64770
追加張力作用時[g・mm]	-338100	-180000	-87110	-43450	-29580	-26320	-34010
誤差[g・mm]	100	100	90	50	70	80	80
追加張力[gf]	1934	1620	1516	1446	1360	1239	1128
解析の繰り返し回数(回)	20	15	13	12	11	10	9

表-4 最適張力と曲げモーメント

	1	2	3	4	5	6	7
通常荷重載荷時[g・mm]	-338000	-180100	-87020	-43400	-29510	-26240	-33930
異常荷重載荷時[g・mm]	-421700	-241800	-139700	-89580	-70280	-62020	-64770
追加張力作用時[g・mm]	-338000	-180100	-87110	-43420	-29580	-26270	-33980
誤差[g・mm]	0	0	90	20	70	30	50
追加張力[gf]	1936	1621	1517	1448	1361	1241	1129
解析の繰り返し回数(回)	9	6	5	5	4	4	2

5. 斜材ケーブルの調節量の算出

斜材ケーブルの元の長さを L_0 ，そのときの張力を T_0 とする。斜材ケーブルに張力 ΔT を加えると，斜材ケーブルの長さが ΔL 長くなったとする。応力とひずみの関係から次式が成り立つ。

$$\frac{T_0 + ?T}{A} = E \times \frac{?L}{L_0} \quad A: \text{斜材ケーブルの断面積} \quad , \quad E: \text{ヤング係数}$$

よって，斜材ケーブルの調節量 ΔL は，次式で表される。

$$?L = \frac{(T_0 + ?T) \times L_0}{E \times A}$$

以上の計算よりもとめた斜材ケーブルの調節量を表-5に示す。

表-5 斜材ケーブルの調節量

	1	2	3	4	5	6	7
L_0 [mm]	1051.90	934.72	818.84	704.91	594.05	488.37	392.05
T_0 [gf]	3773	4337	4423	4219	3875	3425	2801
ΔT [gf]	1936	1621	1517	1448	1361	1241	1129
ΔL [mm]	1.43	1.33	1.16	0.95	0.74	0.54	0.37

6. まとめ

- ①計算を繰り返すことにより主桁の曲げモーメントの制御に必要な斜材ケーブルの最適な張力を求めた。
- ②張力の増加量を2倍にすることにより，解析の繰り返し回数の削減を行った。
- ③斜材ケーブルの張力から斜材ケーブルの調節量を算出した。

参考文献 1)土木学会 構造工学委員会：構造工学シリーズ 10 橋梁モニタリングのガイドライン，2000.10.