

# コンピュータネットワークを用いた橋梁の遠隔モニタリング・制御システムの構築

山口大学工学部 フェロー会員 宮本文穂  
山口大学工学部 正会員 中村秀明  
協和設計(株) 正会員 本下 稔  
山口大学大学院 学生員 谷郷順一郎

## 1 はじめに

近年、制御技術の自動化と合わせてインテリジェントブリッジと呼ばれる橋梁の知的構造物化の実現が注目されている。インテリジェントブリッジとは、構造物全体を系統的にとらえ、種々の外力に応じてリアルタイムでストレスあるいは構成部材の材料特性を制御することにより外力に抵抗する新しい概念に基づいた技術であり、狭義的にはセンサ機能、プロセッサ機能およびアクチュエータ機能を備えた、極めて魅力的な近未来的橋梁を指す。このような橋梁のインテリジェント化を前提にすることによって、構造安全率あるいは安全係数を限界値まで小さくして初期建設費の縮減を可能とするのみならず、供用期間中の維持管理費の削減を図ることも可能となる。すなわち、橋梁のインテリジェント化は、ライフサイクルコスト（LCC；初期建設費＋維持管理費＋更新費）を軽減することを可能にすると考えられる。本研究では、橋梁を対象とし、断面に想定以上の力や変形あるいは振動が生じた場合にこれらを打ち消すようにプレストレスあるいは材料特性の変化をリアルタイムで与えるパラストレスングの概念<sup>1)</sup>を、遠隔モニタリングとアダプティブ制御システム<sup>2)</sup>を組み合わせることで構築し、インテリジェントブリッジの実現を検討したものである。すなわち、死・活荷重載荷状態および斜材ケーブルへの張力追加状態の段階毎に FEM 解析および模型実験を行ってパラストレスングの可能性を検証した。

## 2 モニタリングシステムの概要

橋梁に加わる外力を制御するためには、まず橋梁に作用する力を把握することが重要である。そのために橋梁のモニタリングが必要である。さらに計測結果を有効に活用するためには、点検などの際に必要となるデータを迅速に参照することが必要となる。また、数多くの橋梁管理関係者が、モニタリングシステムを扱うことのできる環境も必要と言える。そこで、インターネットを利用することにより、必要とされるデータをリアルタイムで獲得できるモニタリングシステムの構築を行う。図-1に本研究で構築したモニタリングシステムの概要を示す。本システムは、それぞれ以下にその概要を示す、インターネットを利用したインターネットモニタリングシステム（以下 IMS）とスタンドアロンモニタリングシステム（以下 SMS）から構成される：

①IMS・・・情報の伝達と閲覧をするためのモニタリングシステムである。具体的には、SMS がモニタリングした計測結果を、インターネットを介して種々のクライアントがアクセスでき、リアルタイムで対象橋梁の挙動を確認できるのみならず、計測データの加工も可能なシステムである。

②SMS・・・モニタリングを行い、計測結果を視覚的に理解し易いグラフや表に作成して保存し、そのデータを Web サーバに転送するシステムである。また、FEM 解析機能を追加することにより、対象橋梁に制御力を与えた解析結果をシミュレーションする事が可能となった。これにより、パラストレスングの実現を可能とするシステムとなる。このようにして得られた計測データを SMS の画面上でグラフや数値等で描画を行う。

## 3 斜張橋模型を用いたモニタリング実験

### 3.1 モニタリングの対象： 本研究で用いた斜張橋模型の概要と計測項目、

仕様センサを、図-2 および表-1 に示す。この模型は、橋長 200m の実橋の縮尺 1/100 模型で橋長は 2m である。

キーワード：インテリジェントブリッジ、パラストレスング、モニタリング、制御

〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1 TEL：0836-85-9530 FAX：0836-85-9530

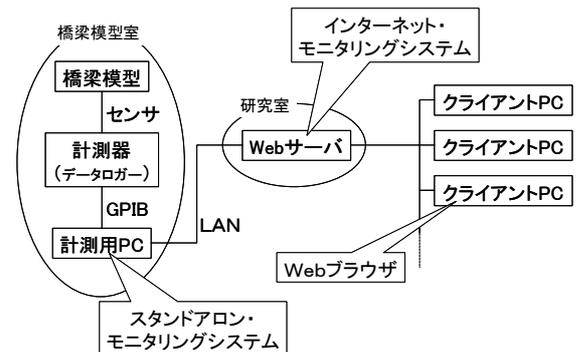


図-1 モニタリングシステムの構成

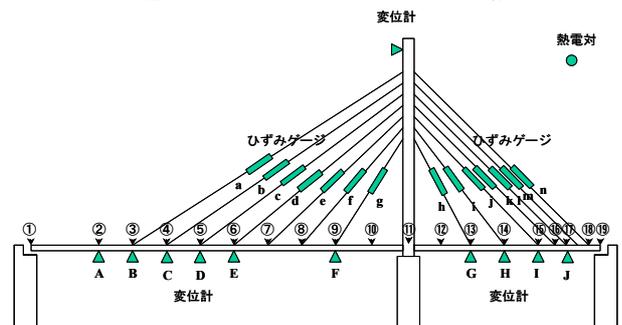


図-2 モニタリングシステム検証用斜張橋模型

表-1 計測項目と使用センサ

使用センサ	計測項目	計測点数
熱電対	気温	1
ひずみゲージ	ケーブル張力・応力	14
変位計	主塔変位	1
	主桁変位	10

3.2 モニタリング実験の概要：本研究で開発したSMSによるモニタリングシステムの妥当性を確認するために、まず、実際に斜張橋模型の挙動を計測した結果と、FEM解析による結果を比較した。モニタリング実験では、活荷重（車両荷重）を図-2に併記する載荷点①から⑱の順に移動載荷して、各載荷ごとに全ての斜材ケーブル張力と全ての主桁変位を計測する。各レベルの荷重に対してそれぞれ数回の実験を行い、それらの平均値を実験結果とする。具体的には活荷重が橋梁模型の左端から右端まで通過した時の主桁変位計位置 B,E,F（図-2参照）での変位と斜材ケーブル a,d,g（図-2参照）での張力を、普通車両に対応する活荷重 1.0 kg、大型車両に対応する活荷重 2.0 kg および異常時荷重に対応する活荷重 3.0kg それぞれに対して測定して、実験結果と FEM 解析結果について検証を行った。その結果の一例を図-3に示す。これより、両者はほぼ一致した挙動を示しており、本モニタリングシステムの有効性が確認できる。

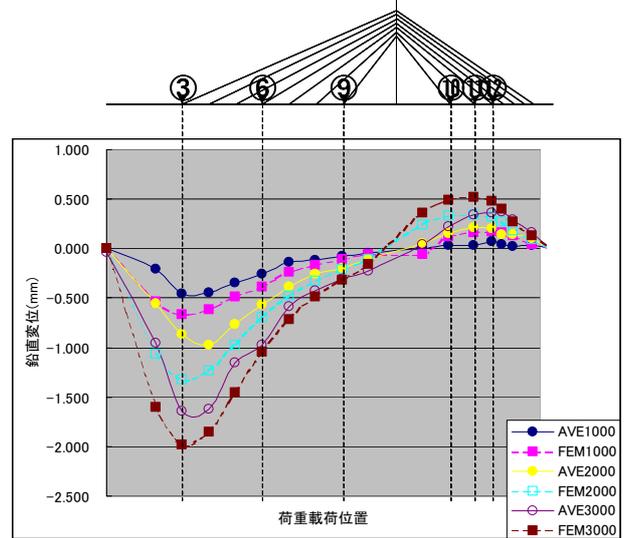


図-3 主桁③点の変位影響線の実験結果とFEM解析結果

両者はほぼ一致した挙動を示しており、本モニタリングシステムの有効性が確認できる。

4 モニタリング・制御システムの検証

上述のように構築したSMS, IMSは、斜張橋模型のレベルでは計測結果を有効利用でき、かつ、必要なデータを迅速に参照できるシステムになっている。また、種々の検証の結果、クライアントによるグラフ描画には大容量のHTMLソースが必要となり、その表示にはかなりの時間を必要とした。さらに、全てのデータ（月単位で計測されたデータ）を表示していたため詳細なグラフではあったが、一日のデータが細かく表示されていたため見づらいものとなっている。従って、グラフ表示はグラフ全体の特色が把握でき、表示にかかる時間を短縮できるようにするなどの種々の改良を加えた。以上のような改良後のモニタリングシステムとFEM解析結果による制御システムを組み合わせ合わせた統合システムの検証を行った。すなわち、橋梁の設計基準を超える活荷重が通行した際（異常時荷重）、橋梁部材に部材の許容値を超える大きな応力が加わる。その危険個所に制御力を与えることで主桁変位を上げ、安全性を保つように制御を行った。ここでは、橋梁模型に大型車両による活荷重を載荷した状態でFEM解析を行い、主桁部材の危険個所を検知し、斜材ケーブルに制御力を加えた。算出した制御力を加えてFEM解析を行い、橋梁模型が安全となるよう制御を行った。すなわち、制御力算出機能を有するFEM解析プログラムを構築し、橋梁模型を対象とした制御システムを構築した。制御方法としては、斜材ケーブル1本あるいは2本による制御実験を行い、有効的な制御手段かを検証した。これらのモニタリング結果ならびにFEM解析による制御結果を表-2, 3に示す。これより、効果的な制御が可能となっていることが分かる。

5 まとめ

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- ①SMS, IMSを組み合わせたモニタリングシステムおよび制御システムの構築を行い、高速化および重量判別システム機能の追加を行った。
- ②斜張橋模型による実験とFEM解析結果を利用してモニタリング・制御システムを検証した。その結果、橋梁模型におけるモニタリング実験とFEM解析の整合により、FEM解析による橋梁模型制御が有効である事が確認できた。

参考文献

1) S.Montens: A Global Concept for 21<sup>st</sup> Century Bridges: Parastressing, Proceedings of FIP Symposium on Post-Tensioned Concrete Structures 1996, pp.739-744, 1996.9., 2) 土木学会：橋梁振動モニタリングのガイドライン, 2000.10.

表-2 斜材ケーブル制御力

載荷位置	制御ケーブル	内側制御	外側制御	2本制御
		制御力(gf)	制御力(gf)	
③と④の中央に大型荷重載荷	a		6580	3522
	b	5875		3282
⑤と⑥の中央に大型荷重載荷	c		4992	2895
	d	5065		2627
⑧と⑨の中央に大型荷重載荷	f		3039	1781
	g	2547		1522

表-3 節点⑤, 2本制御による実験値とFEM解析結果

		節点4変位(Y方向) [mm]				実験値/FEM
		②	③	④	差(④-③)	
1回	FEM	-4.181	-4.834	-4.736	0.098	-1.092
	実験値	0.000	-0.582	-0.689	-0.107	
2回	FEM	-4.181	-4.834	-4.712	0.122	-1.180
	実験値	0.000	-0.576	-0.720	-0.144	
3回	FEM	-4.181	-4.834	-4.630	0.204	-1.020
	実験値	0.000	-0.539	-0.747	-0.208	
4回	FEM	-4.181	-4.834	-4.590	0.244	-0.889
	実験値	0.000	-0.555	-0.772	-0.217	
5回	FEM	-4.181	-4.834	-4.581	0.253	-0.909
	実験値	0.000	-0.591	-0.821	-0.230	