

Ⅱ-15 携帯電話を活用した橋梁のモニタリングシステムの開発

林 健治

Kenji Hayashi

【抄録】橋梁業界では、橋梁の計画、設計、施工から維持管理を含めたライフサイクル全般に亘り、コストの低減を可能にする技術開発に鋭意取り組んでいるところであるが、1)ライフサイクルコストの評価法の確立、2)橋梁のモニタリングシステムの開発、3)ITを活用した維持管理技術の確立、4)既設橋梁の診断・評価システムの確立が、不可欠となっている。特に、橋梁のライフサイクルにおける状態を観察・監視して、その経時変化を把握し、定期的な検査・診断を行う上で、2)のシステム開発が重要な鍵となる。本研究では携帯電話を利用したシステムに関して報告するものである。

【キーワード】 鋼橋、情報化施工、維持管理、モニタリング、遠隔操作

1. はじめに

構造物の維持管理は、21世紀における社会資本整備の中で最も重要な課題の一つである。最近では、国内外で橋梁の維持管理システム(BMS)を開発する事例が報告されており、今後、その機運が益々高くなることが予想されている。橋梁のライフサイクルにおける状態を詳細に観察・監視して、その経時変化を把握し、定期的な検査・診断を行うためには、モニタリングシステムの開発が不可欠である。しかし、架設時における形状管理・安全施工管理¹⁾と比較して、システムを開発した事例²⁾は少ない。

橋梁のライフサイクルコスト³⁾の低減を計る上では、ライフサイクル全般における詳細な計測・管理データの蓄積が必要である。本研究では、この観点から、橋梁のモニタリングシステムを開発する上で不可欠な要素技術を確立し、実橋の形状管理以後の計測を通して、システムの妥当性及び有効性を確認・検証しようとするものである。

2. モニタリングシステムの概要

本システムは、動態観測や変状観測などの現場観測や安全施工管理における計測に、架橋地点の制約から、公衆回線や通常の電源設備の敷設が困難な場合に使用可能な遠隔監視システムである。本システムは、従来の公衆回線によるデータの転送部に携帯電話を対応させ、多点計測(30ch)ができ、しかも、長期的に安定的な制御が可能であるデータロガーを利用するとともに、その省電力の特性を活かして太陽電池によ

り電源供給を行えるようにしたシステムである。

システム構成の一例を図-1に示す。ここで、計測・監視は次のような手順で行われる。

- 1) 監視側で監視支援システムを起動させ、通信待機状態に入る。
- 2) 現地観測側の携帯電話に電源が供給され、受信待機状態に入る。
- 3) 監視側から電話がかけられ、通信が行われる。現地観測側では、内部データを転送し、転送確認後、内部データを消去する。監視側では、データを受信する。同時に、両側共に内部時計を合わせる。
- 4) 現地観測側では、次のインターバルタイムまで計測機器等がスリープモードとなる。

なお、データの転送を失敗した(通信が完了しなかった)場合、データロガー(バックアップメモリー)にデータが保管され、次の通信時に送信される、ような対策が講じられている。

本システムの利点として、以下の事が挙げられる。

- 1) 携帯電話の近年の急速な普及に伴い、携帯電話の使用エリアが拡張されたこと
- 2) 30chもの多点の計測が可能となり、簡便なモニタリングから煩雑な形状管理まで広範囲な計測を実施できること
- 3) 現地観測側の省電力により、太陽電池による発電効率を大幅に向上したこと
- 4) 後述する気象ロボットシステムと併用することにより現地の気象状況も同時に把握できること

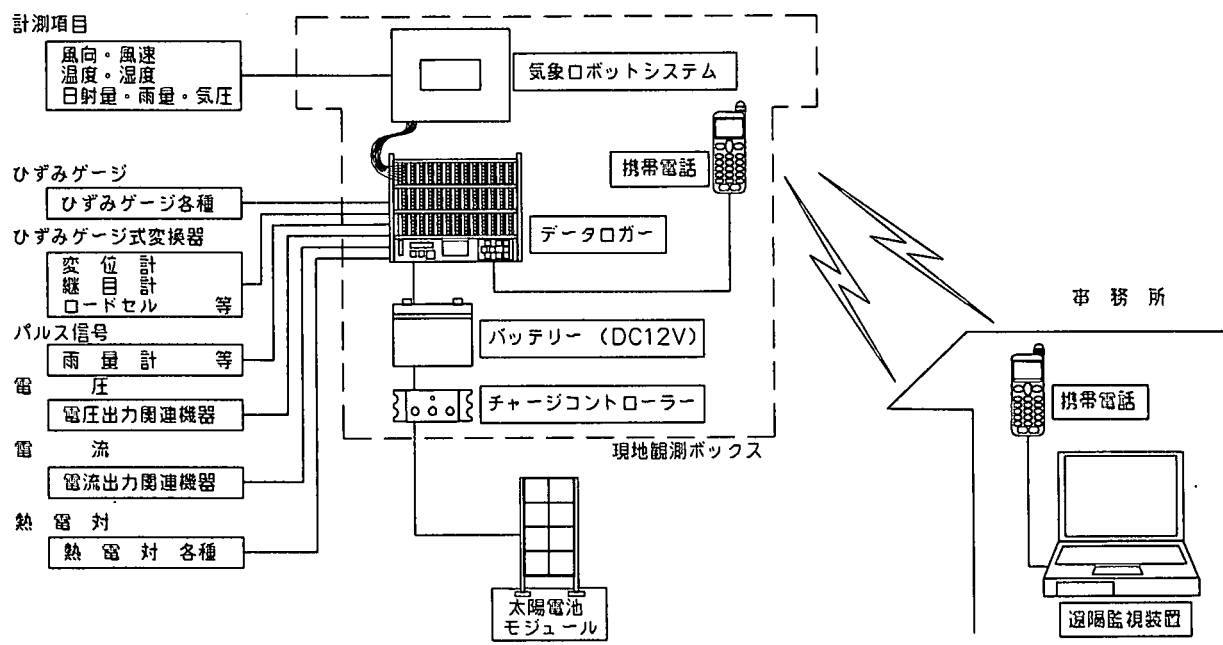


図-1 モニタリングシステムの構成

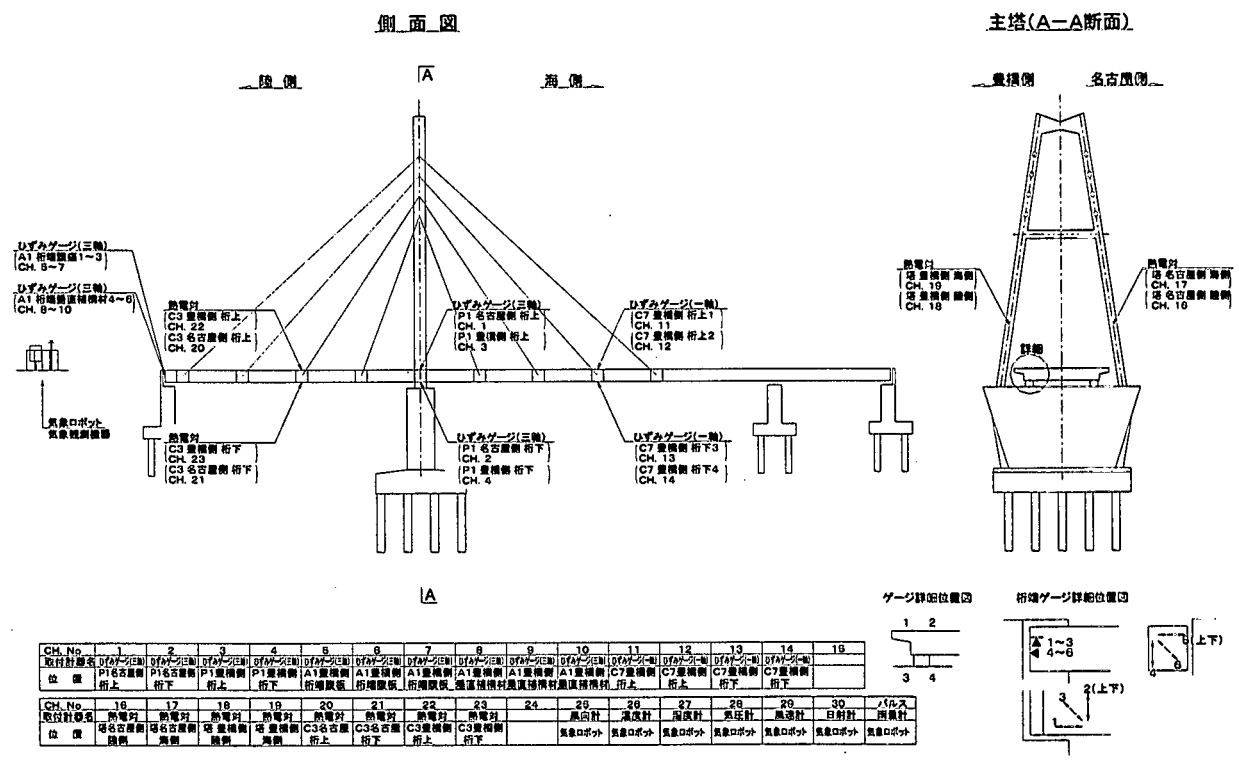


図-2 実橋（斜張橋）へのシステムの適用（バックスティの外側にシステムを配置）

3. システムの適用例

(1) 斜張橋の形状管理後の変状観測

当初、気象情報を無人で自動測定できる完全独立型の気象ロボットシステムを採用して、架橋地点（図-2、写真-1参照）における風向・風速、温度・湿度、

日射量・雨量、気圧をオフラインにより連続計測した。これらのデータは、橋梁を取り巻く環境を把握する上で不可欠と考えられる。

その後、上記のシステムを用いて、気象ロボットシステムのデータと、橋体の温度、構造細目の応力やひ

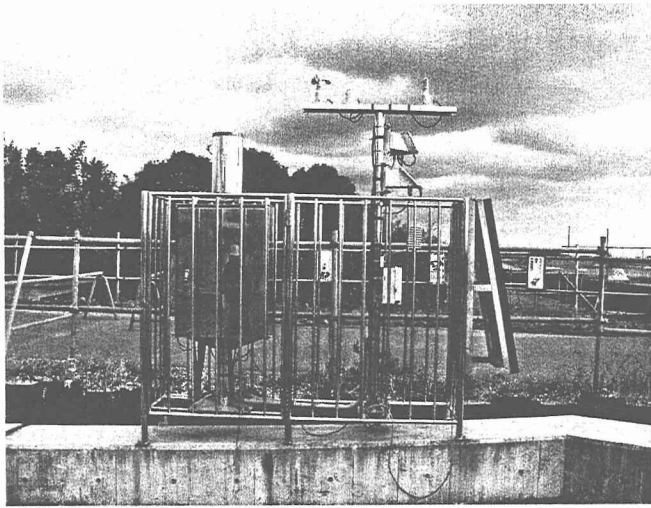


写真-1 システムの設置状況

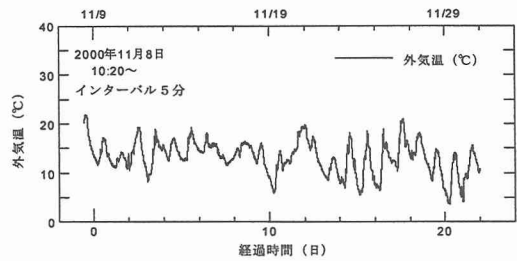


図-3 外気温の経時変化

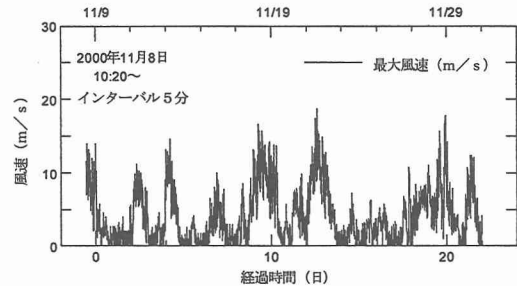


図-4 最大風速の経時変化

ずみについても連続計測を行っている。また、離散的ではあるが、完成後（前死荷重）段階に架設精度管理を実施して得られたデータ（荷重に対する応答データ）と気象データを対比し、その経時変化を継続的に調べている。以上の結果を用いて、種々の診断を行うことにより、維持管理の必要性を分析したり、ライフサイクルコストを試算する上でのバックデータとして活用することが可能になると考える。

計測結果の一例を図-3、図-4に示す。各計測項目の日変化、月変化、年変化などを表示・観察することにより、その概要・様相を知ることができる。図-1の監視側（遠隔監視装置）では、種々のデータをモニタリングすることができるが、特に、その変状が問題となる計測項目を絞って、モニタリングすることが望ましい。そのため、あらかじめフェールセーフ的な概念¹⁾を適用して、損傷モードを仮定し、構造系に重要な影響を及ぼす因子を抽出して計測・監視する必要がある。

ところで、橋梁の耐用年数⁴⁾は、一般的に60年程度と考えられている。塗装のサイクルは5～10年であり、コストの問題から維持管理のための点検作業も現在では10年位と考える場合が多い⁵⁾。したがって、モニタリングに必要な最低年数は10年と言っても過言でない。今後、長期的な観点からのアプローチが必要となることは言うまでもない。

(2) 鋼橋の疲労亀裂の発生・進展の計測

鋼橋の維持管理・保全において、鋼橋の変状を把握することは重要な検査項目であり、塗装の劣化・腐食、亀裂の発生・進展、鋼板の変形・座屈等が目視検査により観察・検査される。鋼橋の架設地点では、種々の制約により、目視点検を行うことが煩雑な場合が多く、その合理化・省力化の観点から、モニタリングシステムを活用して、連続計測することが望まれている。

特に、亀裂の発生・進展をモニタリングするシステムの開発が望まれるところであるが、通常、目視点検により亀裂の発生が確認された部位にクラックゲージを接着剤で貼付して、データロガーを介してパソコンによるオンライン計測、あるいは、リモート計測により、その進展量を連続計測している事例が多い。

従来のクラックゲージを用いる方法では、あらかじめ亀裂の発生部位を特定する必要がある。同時に、発生する向き（方向）も推定する必要がある。通常、亀裂が発生しそうな箇所は大凡特定することはできるが、その部位を限定することはできない。そのため、上述のように、目視点検により部位を観察・監視することがほとんどである。

以上の点を踏まえて、亀裂の発生をモニタリングする観点から、従来のクラックゲージを用いる方法の不具合を整理すると、以下のとおりである。

1) クラックゲージのみを活用する方法では、亀裂の発生を検出することは容易でない。むしろ、困難であると考えられる。

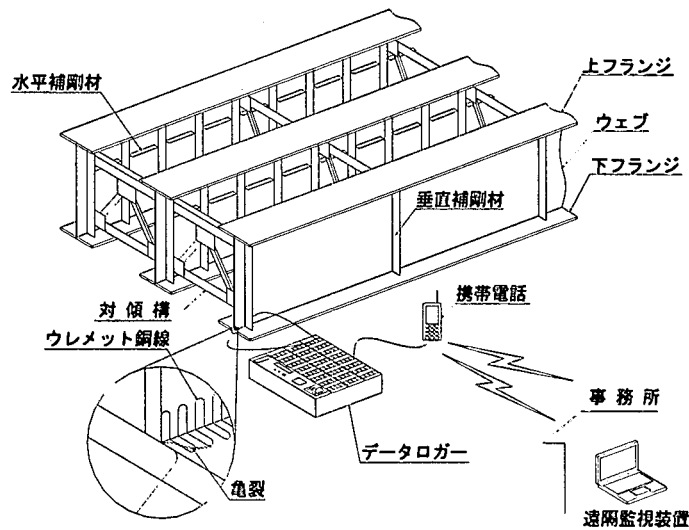


図-5 本システムによる亀裂の発生・進展計測

2) 複雑な形状の構造細目に亘って、亀裂の発生を検出することはほとんどできない。

3) 多数の箇所にはクラックゲージを貼付することは、作業が煩雑となる。

そこで、上記の不具合を解消し、鋼橋の疲労亀裂の発生を検知できる新たなモニタリングシステムとして本システムを適用した、図-5のシステムを提案する。ここでは、疲労亀裂が発生しそうな部位に径が0.01mm～0.10mmのウレメット銅線（超小型コイル用マグネットワイヤーとして使用されているもの）を接着剤で貼付し、その抵抗の変化をデータロガーで計測する。亀裂が銅線を横切ると、銅線が切断され、その抵抗変化により亀裂の発生を検知することができる。特に、亀裂が発生したか否かを検出するのみであれば、直列に配置することにより、多くの部位の亀裂発生を検知することができる。

本システムを採用することにより、次のような点が改良・改善される。

- 1) 亀裂の発生を容易に検知することができる。
- 2) 複雑な形状でも、ウレメット銅線の可撓性により、容易に配置できる。
- 3) 銅線を配置する作業は簡単であり、所定の箇所に銅線を容易に貼付できる。
- 4) ウレメット銅線、クラックゲージ、ひずみゲージとその機能を分けて活用することにより、疲労損傷部の総合的な診断を実施できる。

現在、本システムを鋼橋の疲労損傷部における亀裂の発生・進展のモニタリングに活用しているところで

あるが、その詳細はここでは省略する。データの公開が可能となった段階で、改めて報告する予定である。

4. おわりに

橋梁の保全の重要性は言うまでもなく、今後、ライフサイクルコストの低減を受けて、1)その評価法の確立、2)モニタリングシステムの開発、3)高度情報化に基づく新たな維持管理システムの開発、4)検査・診断システムと性能照査法の確立が重要な課題となる。著者も、2)に関して現有システムをより汎用性のあるシステムに拡張すべく、研究開発を継続したい。

最後に、本研究にご支援頂いた関係者各位、特に、(有)愛測エンジニアリング・樽谷省三氏、美馬隆宏氏、(株)共和電業・村井勝氏、トピー工業(株)鉄構事業部・事業開発部・成田直矢主査、同技術部開発グループ・河原一央氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 為澤、林、石川ほか：瀧山峡大橋上部工の架設、橋梁と基礎、pp.9-18、1998
- 2) 寺尾、松本：橋梁モニタリングシステムの開発、横河ブリッジ技報、No.27、pp.186-188、1998
- 3) (社)日本橋梁建設協会：鋼橋のライフサイクルコスト、pp.3-38、2000
- 4) 土木学会：特集・土木構造物の耐用年数と維持管理、土木学会誌、pp.8-17、1983
- 5) (社)日本橋梁建設協会：鋼橋の損傷と点検・診断、pp.33-174、2000