

国土交通省近畿地方整備局管内を対象とした橋梁モニタリングシステムに関する研究

大阪大学大学院 学生員 ○井藤 詳三 近畿地方整備局 正会員 久野 啓嗣
 近畿地方整備局 正会員 大坪 裕 (財) 道路保全技術センター 正会員 大橋 紀行
 大阪大学大学院 フェロー 松井 繁之

1. はじめに

近畿地方整備局管内を対象とすると、供用中の約 1200 橋梁（橋長 15m以上）のうちの 47%が 2021 年に供用年数 50 年を迎え、老朽化橋梁の増加が予想される。しかし、主要国道や重交通区間において、老朽化した橋梁を新設橋梁に架け替えることは、少子高齢化社会や今後の財政発展を考えると困難である。そのため、適切な維持管理を行い橋梁の延命化を図る必要がある。その効率的な維持管理方法として国土交通省が敷設を進めている道路管理用通信回線（光ファイバ）を使用し、遠隔計測により橋梁の状態をリアルタイムに監視するモニタリングシステムを構築する試みがなされた。本報告はその概案を述べるものである。

2. 対象橋梁の選定

モニタリング対象橋梁の選定にあたって、立地条件と橋梁自体の特徴に着目した。立地条件としては、大型車交通量が 15,000 台を超える重交通路線区間であり、データ送信のための道路管理用光ファイバーケーブルを容易に利用することができる場所とした。橋梁自体の特徴としては築 30 年以上経過した橋梁とした。その結果、兵庫国道管内の国道 43 号線に架かる武庫川大橋をモデル橋梁に決定した。

3. 測定箇所及び測定項目 (1)

橋梁の劣化要因から測定項目と着目部材を選定した。まず、人為的環境要因（自動車荷重）については床版、主桁・床組、支承に着目し、疲労損傷の判定、疲労破壊寿命推定を行えるようにした。自然環境要因（地震）については地震による上部工の異常な移動量、支承反力の変動で捉えることにした。以上の着目部材について橋梁全体の 3 次元 FEM 解析を行い、詳細着目箇所を決定した。図-1 に計測対象箇所を示す。

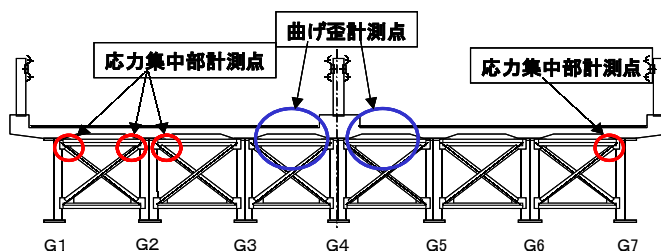


図-1 計測対象箇所（橋軸直角方向断面）

3. 1 自動車荷重の測定

橋梁の橋軸直角方向断面における車両のタイヤ位置から軸重測定に適した箇所の床版下面に曲げ歪計を複数設置し、WIM方式によって軸重を求める。図-2 に歪計の応答例を示す。軸重測定の考え方を以下に示す。

床版の曲げ歪量は式 (1) のように軸重と通行位置による応答関数で表される。この軸重と通行位置は独立関数である。

$$Y_n = W \cdot g_n(X) \quad (1)$$

影響関数 $g_n(X)$ は、一般的に式 (2) のように 3~4 次関数で表すことができる。

$$g_n(X) = a_{n1} + a_{n2} \cdot X + a_{n3} \cdot X^2 + a_{n4} \cdot X^3 \quad (2)$$

軸重 W と通行位置 X は、複数個のゲージ応答値と式 (1) で仮定した値を、式(3)のように表される 2 乗誤差が最小となる場合の値として決定できる。

$$\sum_{i=1}^j (Y_{mi} - Y_{ei})^2 \quad (3)$$

ここに、 i : ゲージ番号, j : ゲージ数, Y_{mi} : 実測応答値, Y_{ei} : 推定応答値 である。

図-2 は 1 つの歪計で計測した 3 軸トラックの波形の 1 例である。車種別の特徴のある波形が得られ、車軸の軸重に相当するピーク波高から各軸重が算定できる。よって、車種別の軸重頻度分布も得ることができる。

3. 2 応力集中部の選定

疲労損傷の事例が多く見られる応力集中部をモニタリング対象箇所とした。応力集中部の選定として局部詳細モデルによる FEM 解析を行い、発生応力大きい垂直スチフナの取合部と両サイドの主桁 G1, G7 のソールブキーワード: 老朽化橋梁, モニタリング, 自動車荷重, 光ファイバ

連絡先 : 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学工学部土木学科社会基盤設計学領域

レート全面の溶接部を計測対象箇所とした。これらの箇所での応力振幅をレインフロー法で求め、疲労度を蓄積していくシステムを構築している。主桁上部のスティフナ応力集中箇所の計測には応力集中測定用ゲージを用い、ソールプレート応力集中部の計測には溶接型ゲージを用いた。

3. 3 支承反力異常による地震被害の監視

地震による支承条件の変化等の重大な損傷を検知するために支点上スティフナにゲージを貼りつけた。スティフナの軸力から支点反力を求めることができるかどうかを汎用プログラム Sofistik を用いて FEM 解析を行った。モデル図を図-3 に示す。その結果、図-4、図-5 のように、支点反力とスティフナの軸力の影響線傾向はほぼ同じになることがわかった。ここで支点 01～04 は主桁 G1～G4 に対応している。そこで、スティフナ軸応力と支点反力の関係に着目し、主桁ウェブが支点反力のある有効幅の範囲で均等に分担すると考えると、有効幅は荷重の作用位置に関わらず一定であることが分かった。このことから支点上のスティフナの軸力から反力が算定できると考えられる。

3. 4 上部工の過大な移動量の測定 (OTDR センシングの橋梁モニタリングへの適用)

支承の移動量を計測するために光ファイバセンサの OTDR 技術による装置を用いて中央 G4 桁の移動量を測定する。OTDR センシングとは、光ファイバの屈折や変形を受光レベルの損失によって捉えるものである。移動量は桁が自動車荷重と温度変化で最大 18.975mm 移動すると試算されるので、20mm 以上を注意レベル、伸縮目地が接触する 50mm<移動量<70mm を警戒レベル、落下防止装置が接触する 70mm<移動量を異常レベルとして 3 段階に分けている。

3. 5 光ファイバセンシングによる床版疲労劣化追跡 (B-OTDR センシング) ②

床版の疲労劣化状態を把握するために床版下面の橋軸方向、橋軸直角方向に光ファイバを敷設した。B-OTDR センシングとは光ファイバに生じた歪による光の周波数の変化量から歪を求める技術である。1本の光ファイバを一筆書きで張り巡らすことによって、広範囲の監視が可能である。

4. 評価手法システム

前節までで述べた測定項目は常時監視と異常時監視に大別できる。軸重測定、応力集中部から得られたデータは常時監視として道路管理事務所のパソコンに集積されていき、床版の疲労寿命予測、鋼桁の疲労寿命予測の考え方に基づくプログラムを介して床版、鋼桁の余寿命を図-6 のような形で道路管理事務所、および評価機関としての大阪大学のパソコンモニタに表示される。集積されていくデータにより得られる結果は随時更新されていく。異常時監視においては地震等による構造異常が生じた際に異常値がモニタに表示され警告する。常時蓄積されていくデータへのアクセスは随時可能である。

5. 今後の展望

常時観測項目においては今後データを集積していき軸重頻度分布の作成、疲労寿命予測の精度を高めていく。また、より多くの橋梁に適用し、成果をあげる予定である。

参考文献

- 1) 飯田純也：近畿地方整備局管内を対象とした橋梁モニタリングシステムに関する研究 2002 修士論文
- 2) 井藤詳三：光ファイバセンシングの床版疲労劣化追跡への適用 2002 土木学会関西支部提出資料

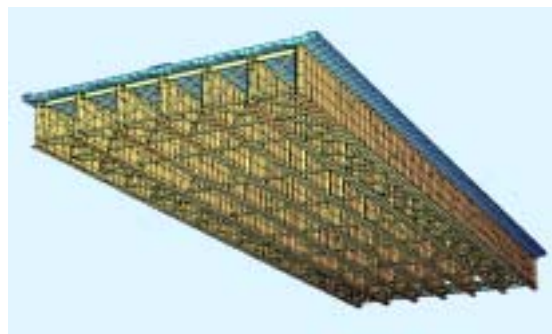


図-3 解析モデル図

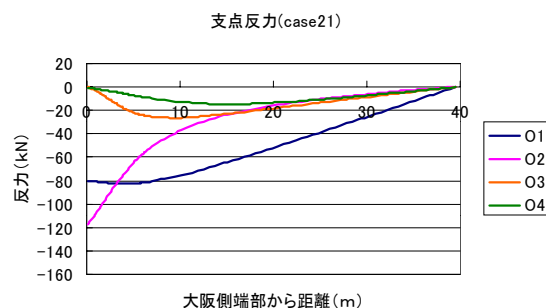


図-4 支点反力の影響線
スティフナ軸応力(case21)

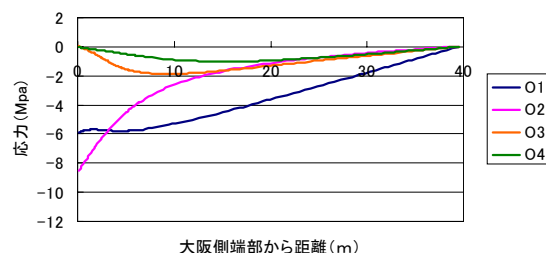


図-5 支点上スティフナの影響線

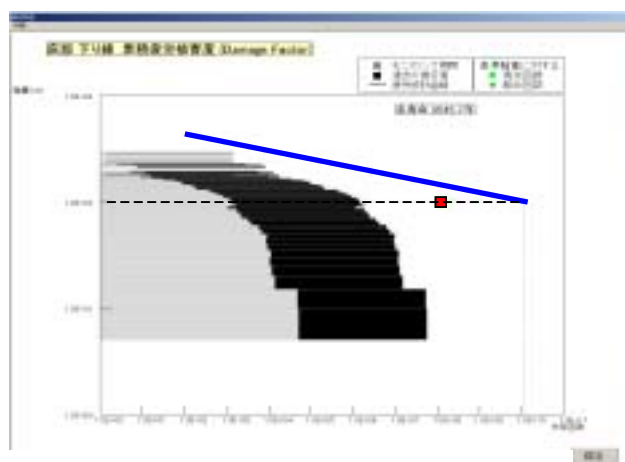


図-6 モニタに表示された床版余寿命