誘導路合成床版橋の施工／供用一貫モニタリングシステムの構築

清水建設(株)　正会員　○稲田　裕・若原　敏裕
成田国際空港(株)　正会員　武井　雄三・出山　裕樹

1. はじめに

本研究の対象である成田空港誘導路合成床版橋では，施工時，供用時の構造特性の変化を一貫して監視，評価が可能なモニタリングシステムを構築し，コンクリート打設時から継続的な計測を実施している．施工時の計測結果を施工に活用するとともに，竣工時の状態の正確な把握が可能となるため，維持管理の上では貴重な初期状態のデータを得ることができる．また竣工前に実施した実航空機による載荷試験では，計測システムを利用した歪み計測に加えて，橋梁に加速度計を取り付け，振動計測を行った．本報では，システムの概要と各種計測で得られた主な結果を示す．

2. 計測システムの概要

計測の主な目的は，i) 設計の妥当性の検証のための載荷試験および供用時の構造応答データの取得，ii) 施工時のコンクリート温度やひずみ等の性状評価，iii) 維持管理への適用を目指した供用下の変状監視等とした．

計測システムの計測項目を表 1 に，計測機器の配置を図 1 に示す．コンクリート，鉄筋等のひずみ計と熱電対を中心に，132 点のセンサを橋梁とダミー試験体に取り付けた．床版の配筋が終了した段階でセンサの設置を行い，コンクリート打設と同時に計測を開始した．また別報 [1]に示すように，航空機メインギアの通過が想定される位置の近傍にセンサを集中的に配置している．本報では，図中に示す橋軸方向のコンクリートひずみの計測結果を中心に示す．なお，後述する載荷試験時の加速度計の設置位置も合わせて示した．

表 1　計測項目

対象構造	センサ種別	計測位置	点数
橋梁	コンクリートひずみ計	橋軸・直交方向（上中下）	13
	熱電対	ひずみ計設置位置	16
	鉄筋計	主筋・配力筋／他	74
	鋼板ひずみ計	主桁フランジ・ウェッブ	8
	温湿度計	桁内環境	2
ダミー試験体	コンクリートひずみ計	2方向，上中下	9
	熱電対	ひずみ計設置位置	8
	鉄筋計		2
合計			132

本研究で構築した計測システムの概念図を図 2 に示す．長期の供用下のモニタリングでは，故障や計測目的の追加・変更等への対応が必要なため，冗長性や自由度が高いシステムを導入した．現状では前述の目的 i)を重視し，局所的に密な計測を行っているが，加速度計測を組み込んだ全体系の計測への拡張も可能としている．またセンサに近い橋梁桁内に設置したロガーでアナログ信号をデジタル変換し，光ケーブルで転送する方式を採用し，ケーブル敷設を容易にするとともに，ノイズ影響の低減を図っている．計測データは誘導路横に設置した計測室内の制御用 PC に収録されているが，インターネット経由で外部の管理者 PC からデータの確認と制御が可能である．

コンクリート打設時から現在まで全ての計測点について，サンプリングレート 2Hz で継続してデータが取得されている．計測結果の例として直近 3 ヶ月間のコンクリートひずみの計測結果の例を図 3 に示す．この結果は図 1 に示す 2

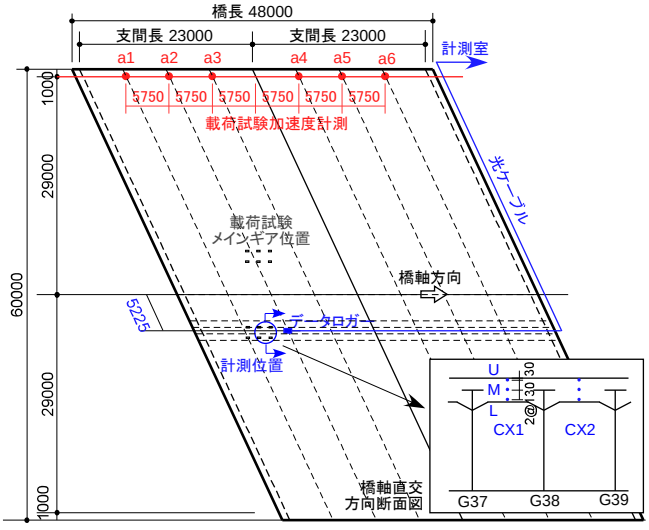

図 1　計測機器の配置

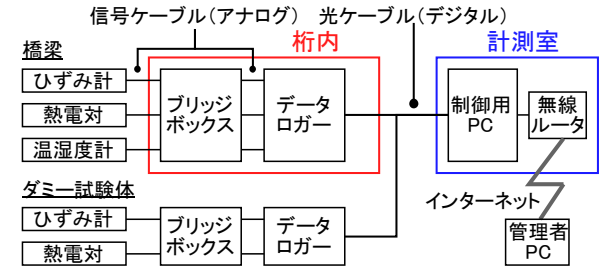

図 2　システム概要

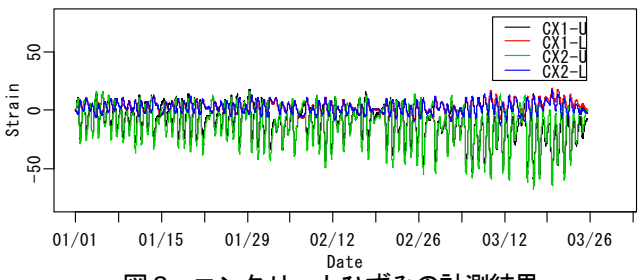

図 3　コンクリートひずみの計測結果

キーワード　合成床版，構造モニタリング，振動計測，載荷試験
連絡先　〒135-8530　東京都江東区越中島 3-4-17　清水建設（株）技術研究所　Tel 03-3820-8315

カ所の床版上・下面のひずみ計測値について，1/1 の 0 時を 0 としてその後の変化を表しており，気温変動に伴うひずみ変化を観察することができる．また 3/7 に橋梁の供用が開始されてからひずみ変動が増大していることが分かる．これらの変動特性の評価を継続し，維持管理上重要な変状の評価指標を抽出することが今後の課題となる．

3. 実機載荷試験時の計測

(1) 載荷試験時の歪み計測

航空機の載荷試験時には，データ収録のサンプリングレートを 100Hz に上げて連続的にデータを取得した．この結果を用いて，別報[1]で示したような解析手法の検証と設計モデルの妥当性の確認が実施されている．また，実データを反映した解析モデルが構築されれば，今後の維持管理において損傷や変状の評価が容易となると考えられる．

静的載荷時の計測例として，前述のコンクリートひずみ CX1-U について載荷前後の変化を図 4 に示す．ノイズの影響も比較的小さく，ひずみ変化が明確に表れており，また 4 回の載荷時の変動もほとんど見られなかった．2 点の計測位置の床版上面からの深さ方向 3 点のひずみの変化量について，4 回の載荷試験結果の平均値を求めた結果を図 5 に示す．今後，重量の異なる航空機通過時のデータについて同様の評価を行い，前項の初期性状と比較することによって，詳細な構造特性の把握と変状指標の抽出が可能となる．

(2) 振動計測結果

載荷試験時には，既設の計測システムに加えて，橋面上にサーボ型の加速度計を設置し振動計測を行った．走行時試験の計測結果の例として，航空機が前進して橋梁を通過する間に径間中央部の計測位置 a5 において得られた加速度波形を図 6 に示す．橋梁進入時，航空機の計測位置通過時，さらに橋梁離脱時に大きな加速度が得られている．振動特性の評価例として，図 6 の加速度波形について窓関数処理を行い，パワースペクトルを求めた結果を図 7 に示す[2]．10Hz 付近の大きなピークは，種々の検討の結果，航空機の車輪や航空機自身の振動によるものであることが推測される．今回の載荷試験では得られた加速度変動が小さく，橋梁の変形モードの正確な把握は困難であったが，この例では 1.8Hz 付近に 1 次モードの振動数と見られるピークが観察できた．供用開始時の振動特性の情報は維持管理上非常に貴重であり，今後の継続的な評価が期待される．

4. おわりに

本報では，対象橋梁に設置した施工中から供用下まで一貫して構造応答の把握を行うための計測システムの概要とそれにより得られた結果の例を示した．計測開始後 9 ヶ月にわたり，ほとんどの計測項目で有効なデータが得られている．この計測は今後も継続することが計画されており，正確な構造特性の把握と解析モデルへのフィードバックが可能である．また，温度変化や載荷による変形の評価を継続的に行うことにより，劣化や損傷の検出に有効な評価指標の抽出や，変状の評価手法の構築に活用できる．このような施工時からの有効な情報の蓄積は，維持管理の研究開発において重要である．さらに，加速度計や画像処理のシステムへの導入等のシステム拡張も検討を進めていく．

参考文献

1) 金子ら: 大型航空機を対象とした誘導路橋梁コンクリート床版の使用性能の評価，土木学会年次講演会, 2013（投稿中）．
2) 例えば，長松: モード解析入門，コロナ社,505p, 2009.6.

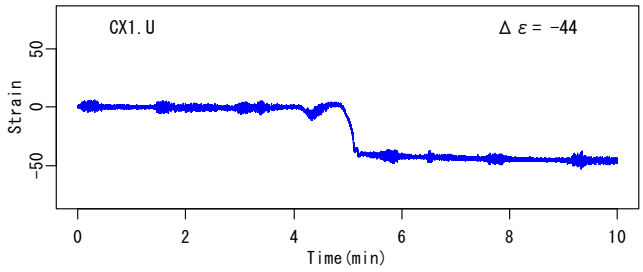

図 4　静的載荷に伴うコンクリートひずみ変化

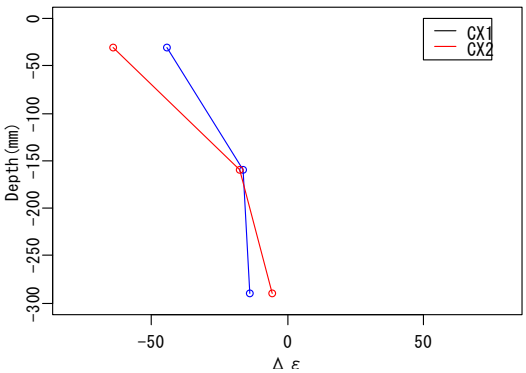

図 5　コンクリートひずみ変化の分布

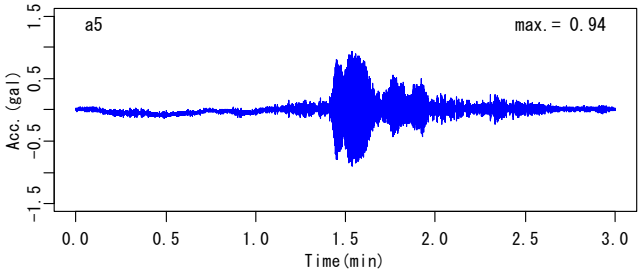

図 6　航空機走行時の加速度波形

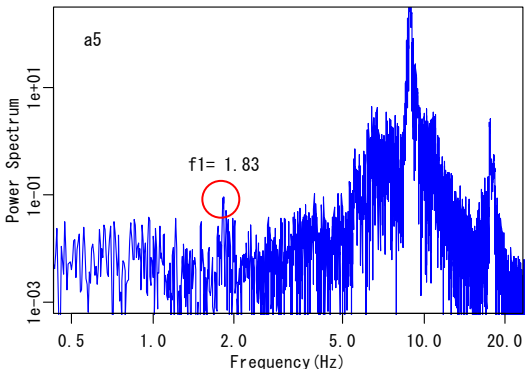

図 7　加速度波形のパワースペクトル