

I-55

エキスパートビジョンによる歩道橋の3次元振動測定

北海道大学工学部	正員	林 川 俊 郎
(株)土木測器センター		長 峯 満
(株)土木測器センター		合 沢 寛
(株)啓愛社エヌ・エム・ビー		阿 部 一 夫
野崎産業(株)		時 松 俊 輔

1. まえがき

わが国で初めて横断歩道橋が架けられたのは、昭和34年であると言われている。その後、交通量の多い国道、県道、市道等において住民および学童の安全な横断手段として、画一的な横断歩道橋が全国に多数設置されてきた。しかし、最近では都市部の景観を意識した3次元的な揺れをもった構造形式の歩道橋が架設されるようになってきた¹⁾。例えば、斜張橋形式、吊構造、アーチ構造、曲線桁形式等を取り入れた幅員の広い歩道橋である。この種の3次元的な揺れをもった歩道橋では鉛直方向のたわみ振動とともに、橋軸直角方向および橋軸方向の水平曲げ振動についても着目する必要があると思われる。歩行者および地震や風による動的応答解析とともに、その3次元的な振動性状を把握することも重要な研究課題であると考えられる。

本研究は歩道橋の3次元的な振動挙動を捉える一つの測定方法として、エキスパートビジョンによる実験結果について報告する。この方法は、橋梁の適当な場所にターゲットを貼付し、その動的挙動を数台のビデオカメラで撮影し、画像処理した後、所定の変位、速度、加速度等を得るものである。

2. 現場振動実験の概要

図-1に示すような上白石橋の側道橋について現場振動実験を行った。この側道橋の構造形式は、曲率半径 $R=140\text{m}$ を有する2径間連続曲線鋼床版箱桁橋であり、有効幅員は 2.0m である。既存の道路橋とは同じ下部工を共有しているが、上部工はお互に独立

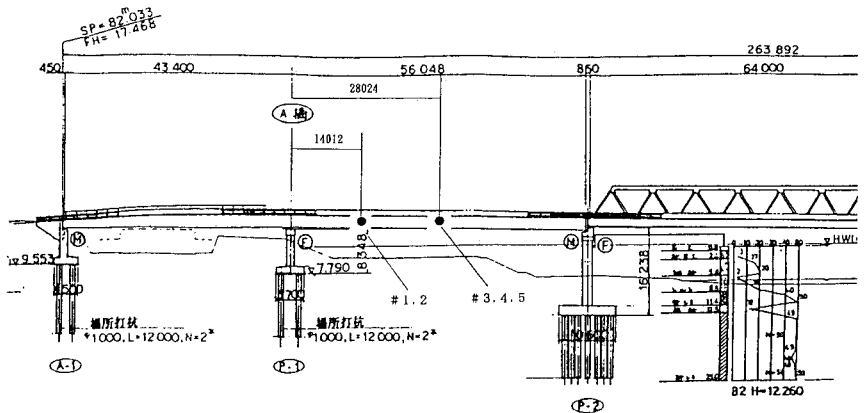


図-1 上白石橋の側面図とターゲットの配置

した構造になっている。現場振動実験は、交通量の少ない早朝4時より開始した。ターゲットは支間長の1/4点と1/2点に着目し、かつ箱桁断面の底部に2ヶ所、図-1のように#1~4と設置した。#5のターゲットは支間中央点のウェブに貼付したものである。ビデオカメラは側道橋の上流側に4台設置した。人力加振法による減衰自由振動波形から、側道橋の鉛直たわみ基本固有振動数を求めた。さらに、歩行者がその固有振動数（共振）に近い歩調で歩いた時の側道橋の強制振動実験も行った。

Three-Dimensional Vibration Measurements of Pedestrian Bridge by Expert Vision System.

By Toshiro HAYASHIKAWA, Mitsuru NAGAMINE, Hiroshi AIZAWA, Kazuo ABE and Syunsuke TOKIMATSU.

3次元エキスパートビジョンシステムの構成例が図-2に示されている。ビデオカメラで撮影された画像はビデオモニターで確認し、ビデオプロセッサで画像処理され、ビデオレコーダーに記録保存される。現場実験には、ここまでの装置が持ち込まれた。振動波形のデータ処理は、後日、研究室で行われた。

3. 自由振動測定結果

橋梁への加振は、人間5人が側道橋の支間中央点で、同時に屈伸運動することにより行った。図-3は中央点#4における鉛直たわみの減衰自由振動波形である。この波形はローパスフィルターとスムージング（窓関数）の処理を行っている。加振する前には、側道橋が約1mm前後で常時微動していることが分かる。また、加振時には最大約5mm前後の変位振幅があり、その後、徐々に減衰して行く状況が分かる。

この鉛直方向変位をフーリエ・スペクトル表示した結果が図-4に示されている。他の測定箇所においても、同じようなフーリエ・スペクトル図を得ており、この側道橋の基本固有振動数は2.5Hzであると考えられる。また、この固有振動数は、以前筆者の一人がサーボ型センサーを用いて上白石橋の完成時に行った常時微動振動測定による実測値2.5Hzと全く一致しており²⁾ 妥当な結果である。

4. 強制振動測定結果

歩行者10人が同一歩調で図-1に示す側道橋の上を左から右へ歩いた時の各点における応答変位を測定した。歩くピッチ（周期）は何通りかに分けて振動測定を行った。ここでは紙面の関係上、側道橋の鉛直たわみ基本固有振動数2.5Hzに同調した歩行による強制振動実験結果について述べる。

図-5は支間中央点の下流側の測定点#3において記録された鉛直たわみの振動波形である。横軸は測定時間を表し、縦軸は地面を固定点とした絶対鉛直変位である。振動波形を基線（振幅の中心軸線）から見ると、曲線特有のねじり振動を伴うためか、やや上向きの傾向を示している。図-6はこの振動波形のフーリエ・スペクトル図である。歩行者の加振振動数である2.5Hzが大きなピークとして現れ、その振動数の値を2倍した5.0Hzに次のピークが現れていることが分かる。

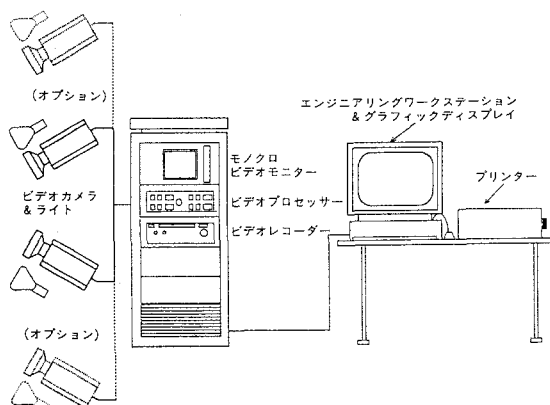


図-2 エキスパートビジョンシステムの構成

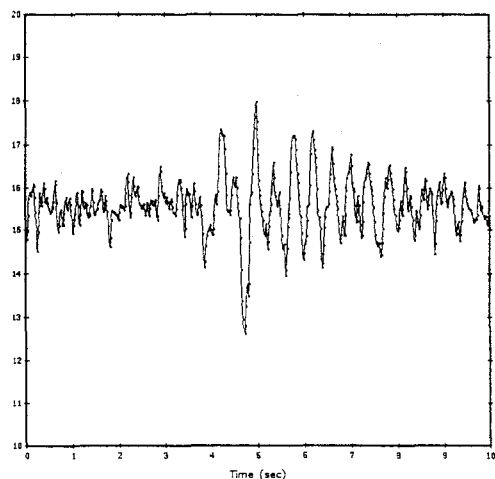


図-3 鉛直たわみ減衰自由振動波形（#4点）

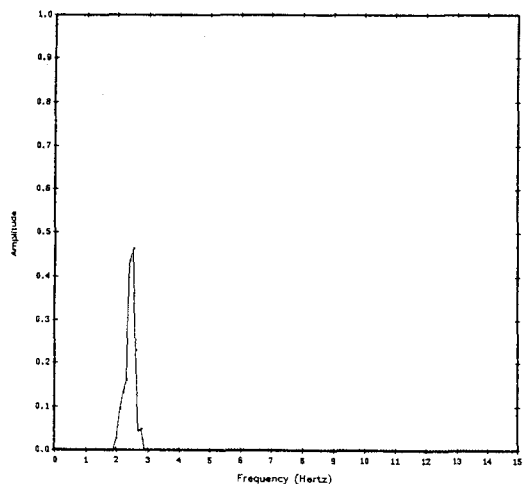


図-4 フーリエ・スペクトル図（振動数表示）

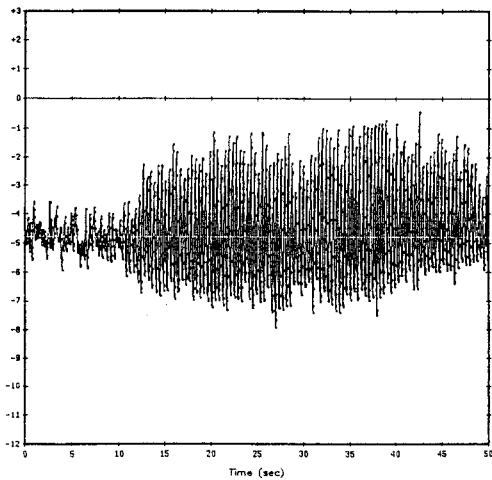


図-5 鉛直方向変位（#3点）

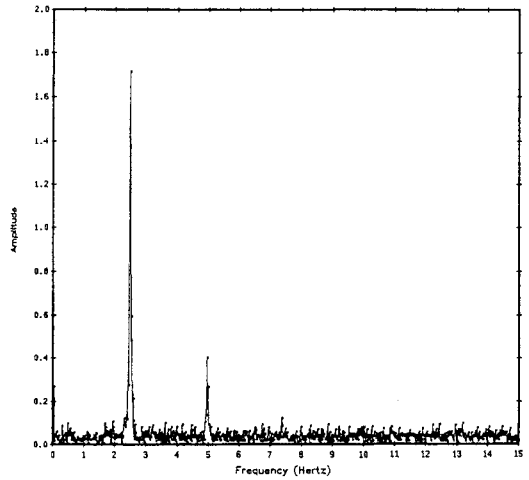


図-6 フーリエ・スペクトル図（#3点）

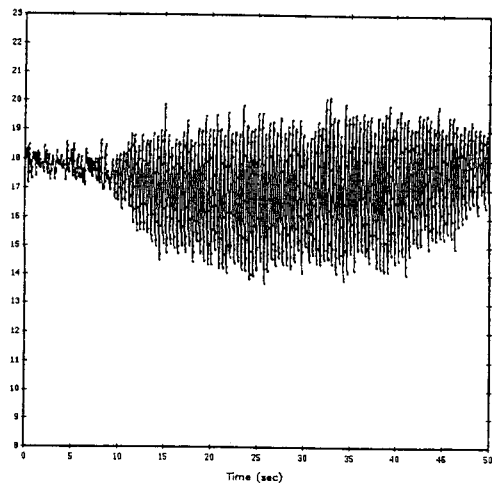


図-7 鉛直方向変位（#4点）

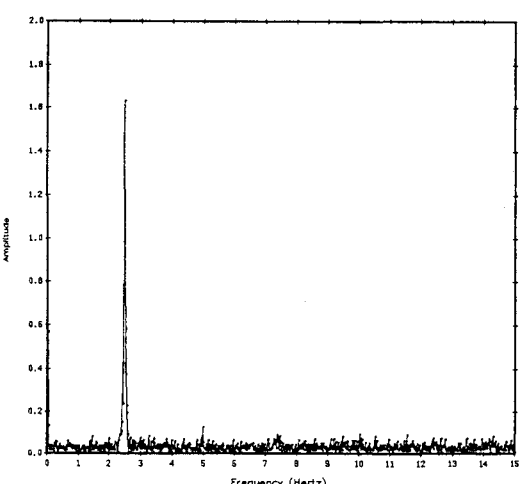


図-8 フーリエ・スペクトル図（#4点）

同様に、図-7は支間中央点の上流側の測定点#4において測定された鉛直たわみの振動波形である。振動波形を基線から見ると、歩行者が測定点#4に近づくにつれて鉛直たわみが大きくなり、やがて、離れて行くにつれて鉛直たわみが小さくなって行くことが分かる。また、全体的な振動を見ると、基線より下向きに凸な形を示している。図-8は#4点における振動波形のフーリエ・スペクトル図である。図-6と同じく、2.5Hzに卓越した振動数があり、続いて5.0Hzに小さなピークがある。

次に、測定点#4において測定時刻21.5秒から23.5秒までの2秒間に測定された橋軸方向（X方向）、橋軸直角方向（Y方向）および鉛直方向（Z方向）の時系列応答波形が図-9に示されている。この振動波形

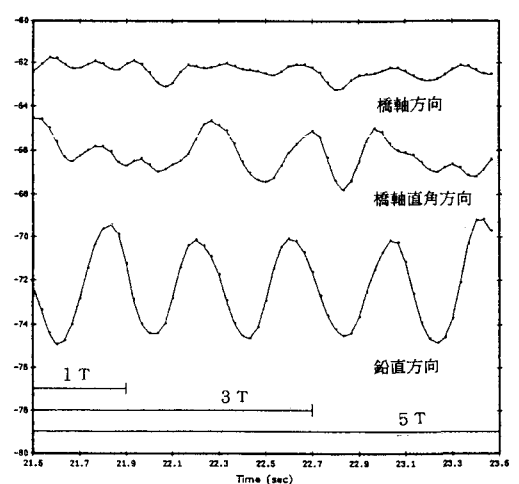


図-9 3方向変位の時系列波形（#4点）

からも分かるように、測定点#4は上下方向（Z方向）のみならず、X方向とY方向にも3次的に振動している。その変位振幅は鉛直方向、橋軸直角方向、橋軸方向の順で小さくなっていることが分かる。

この3次的な振動挙動を、さらに詳しく軌跡で示したのが図-10、11、12である。図-9の時系列変位波形から3サイクルの振動、つまり、振動数が2.5Hzであるから周期は0.4秒となり、その3倍の時間にあたる21.5秒から22.7秒までの1.2秒間における測定点#4の3次的な変動軌跡を表している。図-10はY方向から側面の軌跡、図-11はX方向から断面の軌跡、図-12はZ方向から平面の軌跡を表している。

これらの図より、測定点の3次的な動きを微視的に見ると、かなり複雑な動的挙動を示していることが分かる。逆に言えば、エキスパートビジョンシステムが正確に3次的な動きを捉えていると言うことができよう。この3次的な挙動の原因は、側道橋自身もっている固有のものなのか、曲率半径によるねじり振動等の連成効果なのか、支持点の水平移動によるものなのか、今後の検討課題としたい。

5. あとがき

本研究は曲率半径を有する2径間連続箱桁形式の歩道橋の動的挙動を、エキスパートビジョンシステムを用いて3次的に測定したものである。得られた歩道橋の鉛直たわみ基本固有振動数は以前測定した結果と同じであり、本測定法の妥当性が確かめられた。また、共振振動数で歩行したときの応答波形をデータ処理することにより、各測定点は3次的にかつ複雑に挙動していることが分かった。

このエキスパートビジョンによる測定は、非接触型の測定方法であることから、今後、座屈問題や塑性変形挙動を3次的に捉えることが可能であり、適用性も広いと考えられる。最後に、本振動実験にご協力頂いた(株)長大の関係者ならびに北海道大学橋梁研究室の教職員と大学院生の諸氏に感謝の意を表します。

（参考文献）

- 1) 梶川康男・加藤雅史：歩道橋の振動と使用性設計、振動制御コロキウム、pp.9-14、1991年7月。
- 2) 田所洋一・林川俊郎：上白石橋歩道添架橋の現場振動実験、土木学会北海道支部論文報告集、第46号、pp.71-74、1990年2月。

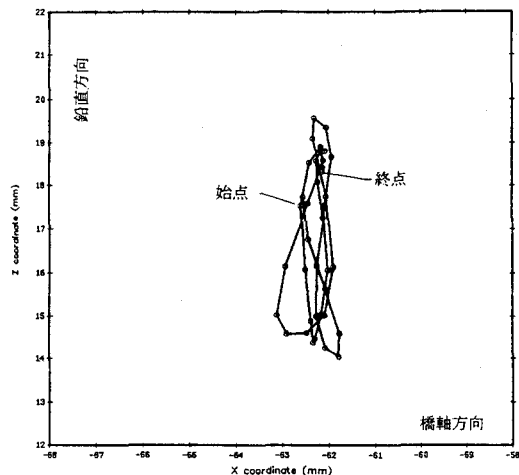


図-10 軌跡図（側面・3サイクル）

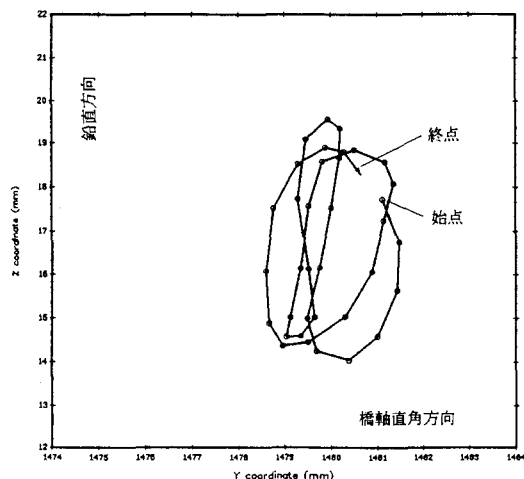


図-11 軌跡図（断面・3サイクル）

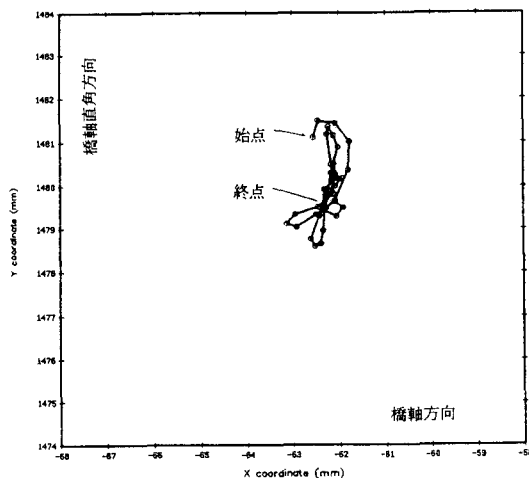


図-12 軌跡図（平面・3サイクル）