

I-511 歩道橋の動的応答特性に関する解析および実験について

北海道大学工学部 正員 小橋 卓司 新日本製鐵(株) 正員 窪田 公二
 北海道大学工学部 正員 林川 俊郎 北海道大学工学部 正員 佐藤 浩一
 北海道大学工学部 正員 及川 昭夫 北海道大学工学部 伊藤 公彦

1. まえがき

我が国においては、昭和40年代からの高度経済成長に伴い、橋梁、ダム等の公共構造物が次々と建設された。一方、今日では構造物の利便性や景観との調和等が、重要視される傾向にある。特に歩道橋の設計を考えた場合、その使用に際しての快適性、すなわち振動使用性は非常に重要な設計項目の一つであると考えられる。この振動使用性の判定は対象となる構造物の動的応答量を求め、その結果と人間の振動感覚に基づいた振動限度を比較する、いわば限界状態設計法的方法が主流となりつつある。

動的応答量を求めること自体は、今日のパソコンをはじめとしたコンピュータの飛躍的な性能向上で、さほど困難ではなくなった。しかしながら歩道橋の場合には、人間の歩行外力の取り扱い方が意外と難しく、歩行者の衝撃力等の決定すべきパラメータも多い。また歩道橋は、道路橋に比べ主桁の剛性が低いため、高欄、舗装等の影響が相対的に大きくなり、応答解析値と実測値とが一致しない場合もしばしばある。

そこで本研究では使用性判定に用いる際の、歩道橋の動的応答量の解析手法を検討するために、札幌近郊の横断歩道橋11橋について実験ならびに解析¹⁾を行った。よって、本研究は以上の結果を報告するものである。

2. 実験実験およびその結果

前述のとおり、本研究では札幌市内における横断歩道橋11橋について人力加振による減衰自由振動実験、ならびに人間一人の歩行による強制加振実験を実施した。なお、測定は歩道橋のスパンを6分割した5点で加速度応答値を得ており、用いたサンプリング周数波は200Hzである。表-1に実験ケースを示す。1次固有値および、2次固有値の測定についてはそれぞれのモード形状を考慮して、前者はスパンの1/2点、後者は

表-1 実験ケース

ケースNo.	1	2	3	4	5	6	7	8
実験	1次固有値	2次固有値	1.5Hz歩行	2.0Hz歩行	2.5Hz歩行	3.0Hz歩行	3.5Hz歩行	共振歩行

表-2 実験結果

歩道橋	スパン(m)	1次固有振動数(Hz)	2次固有振動数(Hz)	1次減衰定数 ξ (%)	2次減衰定数 ξ (%)
A	22.6	4.05	13.04	1.165	1.005
B	23.3	2.83	9.57	1.134	1.340
C	23.6	3.95	13.04	1.032	0.948
D	21.9	3.37	10.84	1.121	1.104
E	15.5	5.52	16.50	1.318	1.574
F	15.8	5.42	15.33	1.575	1.461
G	29.3	2.44	8.55	1.145	1.817
H	20.8	4.05	13.53	1.680	1.297
I	18.8	5.42	16.70	1.367	1.234
J	31.8	2.54	8.94	2.169	1.424
K	30.4	2.93	10.35	0.580	1.121

1/4点で跳躍し、歩道橋を加振することにより実験を行った。また強制加振については、荷重となる歩行者がメトロノームを携帯し、ある周期の発信音に歩調を合わせて歩行することにより加振した。なお、共振歩行は1次減衰自由振動実験の結果に応じて加振することとした。1次固有振動数が高く、歩行が不可能となるような場合には、その固有振動数の1/2で歩行する(以下、半共振と称す)方法を用いている。なお実験時においては、同時にFFT解析を行い、フーリエスペクトルから固有値を求めた。2次固有値測定(1/4点跳躍)の際にも、スペクトルのピークは1次固有値で発生しており、歩道橋では1次モードが2次モードに比べ、卓越することが確認された。表-2は、実験で得られた各歩道橋の1次および2次固有値と減衰定数である。なお1次減衰定数は、実験から得た波形より算出した値と、パワースペクトル波形より算出する、いわゆるHalf-Power-Methodでの値である。また2次減衰定数に関しては、上記の理由または衝撃等の影響により減衰自由振動波形が得られず、したがってHalf-Power-Methodの結果のみ示してある。

3. 歩道橋の動的応答解析

強制外力を受ける構造物の動的応答解析にはいくつかの方法が提案されているが、本研究ではニューマーク β 法を用いた直積数値積分法により解析を行った。

動的応答解析に先立ち、まず歩道橋の剛性を評価するための固有値解析を実施した。具体的には、剛性を①主桁のみ、②主桁+床版、③主桁+高欄、④主桁+床版+高欄の4パターンについて評価を行い、それぞれの各パターンにおける1次固有振動数をグラフ上にプロットし、剛性評価曲線を求め、実験から得た1次固有振動数との交点より、動的応答解析に用いる剛性を決定した。解析モデルに関しては、床版を仮想トラス部材とした3次元モデルを用い、床版、高欄の質量は主桁に付加することとした。

また運動方程式の歩行外力として、本研究では3種類の方法を採用している。これらの方法としては、まずオーストラリアのWheelerが提案した半正弦波を用いる方法(以下Wheelerの方法²⁾)、次に梶川らが文献

3)および4)等で提案した余弦波を用いる方法（以下梶川の方法）、最後に梶川の方法を若干改良した半余弦波を用いる本研究の方法である。

4. 解析結果および実験結果の比較

解析結果ならびに実験結果の一例として、1次および2次固有振動数が、それぞれ4.05Hz、13.04HzであるA歩道橋のスパン中央における共振時の実験結果と解析から得られた加速度応答波形を図-1に示す。なお、実験結果の波形には解析結果に比して時間的なずれが認められるが、これは実験時において測定を開始してから加振を始めるまでに若干の時間差が生じたためである。

図-1からは、最大応答値に差があるものの、波形はどの方法も共振状態を示しており、実験結果と比較してその振動性状はほぼ一致していると思われる。したがって共振状態に関しては、歩行外力のパラメータを検討することによって比較的容易に解析値を得ることが可能であると推定できる。

5. あとがき

以上より本研究は、歩道橋の振動使用性に用いる際の動的応答量の解析手法について、実験ならびに解析を通じて検討を行ったものである。

実験結果からは、全ての加振ケースに対して1次モードが卓越し、また共振時以外では比較的大きな衝撃応答値が得られることが判明した。また、1次固有振動数の1/2で加振した場合、最大応答値は共振時ほどではないものの、振動性状としては1次の共振状態となる傾向が認められた。

また、解析結果と実験結果の比較からは、共振時に関してはその振動性状はほぼ一致するものの、共振時以外は解析値は入力した歩行外力の振動数と一致し、このような場合は不十分な結果しか得られないことが明らかとなった。歩道橋の振動使用性を考えた場合、共振時のみならず半共振状態、または共振状態以外の応答値をある程度正確に求める必要があると考えられる。しかしながら現時点では、共振時には歩行外力のパラメータの若干の見直しで、比較的良好な応答値が得られることが予想されるが、他の場合についてはかなりの検討が必要であり、今後の課題を残す結果となっている。よって今後、半共振時および共振時以外の場合において、比較的正確な動的応答量が得られる歩行外力パラメータを確立することが必要であると思われる。

なお、本研究の一部に平成6年度文部省科学研究費奨励研究（A）（代表研究者 小幡卓司 課題番号06750501）の援助を受けたことを付記する。

最後に、実験に参加していただいた諸氏に感謝の意を表し、謝辞を記すものである。

【参考文献】

- 1) 小幡卓司・窪田公二・林川俊郎・佐藤浩一・及川昭夫：歩道橋の動的応答特性とその使用性について、土木学会北海道支部 論文報告集，pp.300-305，1995。
- 2) Wheeler J.E. :Prediction and Control of Pedestrian-Induced Vibration in Footbridges, Proc. of ASCE, No. ST9, pp. 2045-2065, 1982.
- 3) 梶川 康男：振動感覚を考慮した歩道橋の使用性照査法に関する考察，土木学会論文報告集第325号，pp. 23-33，1982。
- 4) 梶川 康男・津村 直宣・角本 周：PC吊床版歩道橋の振動と使用性，構造工学論文集 vol1136A, pp. 685-695, 1990。

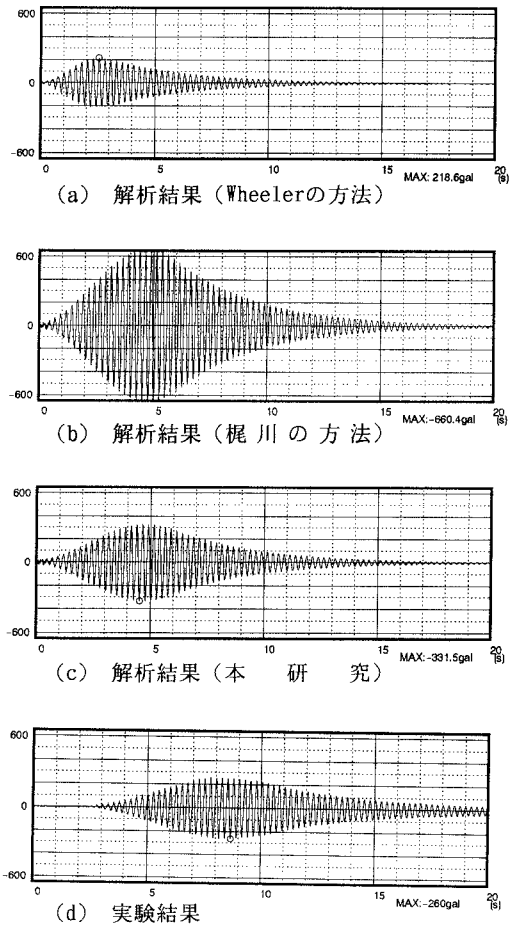


図-1 加 速 度 波 形