

孤立峰後流中の片持ち梁橋梁模型の水平応答と変動圧力の関係

九州工業大学大学院 学生会員 ○高倉和也 前田建設工業（株） 原田英輔
九州工業大学 正会員 木村吉郎 フェロー 久保喜延 正会員 加藤九州男

1. はじめに 山等の複雑地形上の流れは、風速の変動特性が空間的に一様な境界層乱流とは大きく異なる。このような場所に構造物を建設する場合、一様な境界層乱流中での応答特性では説明できない程大きな応答が生じることがあるため、地形の影響を十分に考慮した耐風性の検討が必要である。本研究では、こうした応答の発生メカニズムを解明する一段階として、山の後流の片持ち梁橋梁模型の水平応答と作用する変動圧力の関係を解明することを目的とした¹⁾。

2. 実験概要 実験は、縮尺が多々羅大橋のケースの 1/1333 となる、底面の直径 $D=135\text{cm}$ （半径 $R=67.5\text{cm}$ ）、高さ $H=30\text{cm}$ の円錐形の山模型（ $D/H=4.5$ ）を風洞内に設置して、その後流に橋梁模型を中心に風洞底面から高さ 3.7cm の位置になるように設置した状態で行った。橋梁模型は、1辺の長さ 2.0cm 、スパン 30cm の正方形角柱の

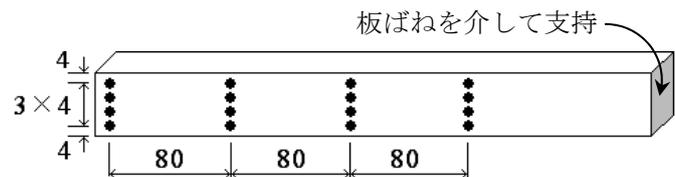


図1 圧力測定橋梁模型

（単位 mm, 裏面も同様に測定点を配置）

片持ち梁模型とし、固有振動数 7.1Hz であった。山模型底面の中心を原点とし、流れ主流方向を x 軸、鉛直上向きに z 軸、水平方向左岸向きに y 軸とした。山模型後流中での橋梁模型設置位置は、既往の研究において大きな水平応答が生じた、 $(x/R, y/R) = (1.48, -0.15)$ 、 $(1.78, -0.15)$ cm の位置に模型の自由端を設置し、流れ直角方向からの水平偏角 β を 0° 、 40° とした4ケースを測定した。また比較のために、境界層乱流中でも、水平偏角 β を 0° 、 40° とした2ケースについて測定した。橋梁模型の圧力測定点位置を図1に示す。境界層外での風洞風速は 6.0m/s とし、サンプリング周波数 1000Hz 、測定時間は5分間ずつ2回測定した。

3. 結果および考察

3.1 POD解析 POD解析を適用して、模型に作用する変動圧力において支配的なパターンの把握を試みた。さらに、大きな水平応答を発生させる特性を明らかにするために、条件付きサンプリングの適用の有無による違いを検討した。ここでの条件付きサンプリングは、標準偏差の2.5倍以上の風下側への大きな応答の発生時刻を基準とし、前後 0.575sec ずつの応答および変動圧力を抽出し、それらをアンサンブル平均して行った。表1、2にサンプリング前後の山模型の後流中及び境界層乱流中におけるPOD解析で得られた1~5次モードの寄与率を示し、図2、3に1次モード形の風上面を図示する。全ケースにおいて、条件付サンプリング前に比べ、サンプリング後では1次モードの寄与率が40%程度増加した。従って、大きな応答の発生時刻前後では、1次モードの圧力変動パターンが支配的に作用していると考えられる。山模型後流中での1次モードの変動圧力パターンは、サンプリング前後であまり変化していない（図2）。つまり山模型後流中では、1次モードの変動圧力パターンが頻繁に作用することによって大きな応答が発生していると推測される。

表1 寄与率（山模型後流中 $x/R=1.48$ ）

	サンプリング前		サンプリング後	
	$\beta=0^\circ$	$\beta=40^\circ$	$\beta=0^\circ$	$\beta=40^\circ$
1次モード	31.4	40.2	70.6	83.1
2次モード	27.7	20.9	12.9	9.3
3次モード	11.7	11.0	8.7	2.6
4次モード	7.6	6.2	2.7	1.3
5次モード	4.4	4.5	1.4	0.8

表2 寄与率（境界層乱流中）

	サンプリング前		サンプリング後	
	$\beta=0^\circ$	$\beta=40^\circ$	$\beta=0^\circ$	$\beta=40^\circ$
1次モード	30.4	40.1	64.0	86.5
2次モード	13.6	19.5	20.4	4.6
3次モード	11.8	8.5	8.1	3.1
4次モード	8.8	6.9	1.9	1.6
5次モード	8.5	5.8	1.6	1.0

キーワード：ガスト応答、複雑地形、後流、条件付きサンプリング、風洞実験

勤務先：〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 Tel.093-884-3466 Fax.093-884-3100

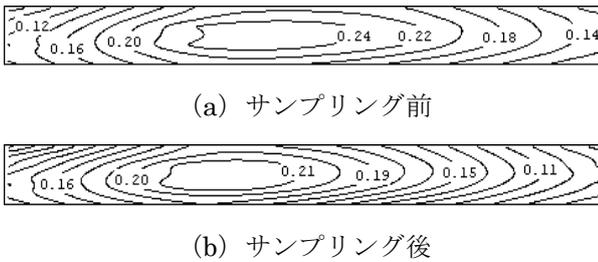


図2 1次モード形の風上面
(山模型後流中, $x/R=1.48$, $\beta=40^\circ$)

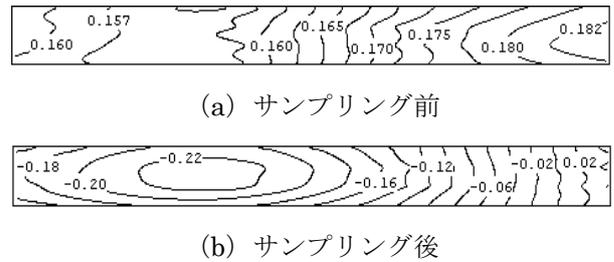


図3 1次モード形の風上面
(境界層乱流中, $\beta=40^\circ$)

一方、境界層乱流中では、サンプリング前後で1次モードの変動圧力パターンが全く異なっていることから、大きな応答が発生する際には、サンプリング前の複数の変動圧力パターンが組み合わさることによって、サンプリング後の1次モードのような変動圧力パターンが形成されていると推測される。

3.2 応答推定

POD解析の各変動圧力モード毎に、模型に作用する外力を算出し、数値積分を用いて模型の水平応答を算出した。初期条件として、応答のピーク発生時刻から0.528sec前で、橋梁模型の応答、速度、加速度の初期条件をゼロとしている。山模型からの距離 $x/R=1.48$ 、水平偏角 $\beta=40^\circ$ における橋梁模型の応答解析値（1次～5次までの和）を実験の応答測定値と比較して図4に示す。模型で測定された構造減衰定数 $h=4.0\%$ を用いて解析を行うと、応答の倍振幅の最大値は、解析値は測定値の1.14倍となり、また、ピーク($t=0$)から離れるにつれて測定値とは位相がずれた。そこで、減衰定数を増加させ、 $h=7.5\%$ として解析した結果、測定値とほぼ等しい応答が得られた。このような結果となる原因は、空力減衰の影響と考えられる。

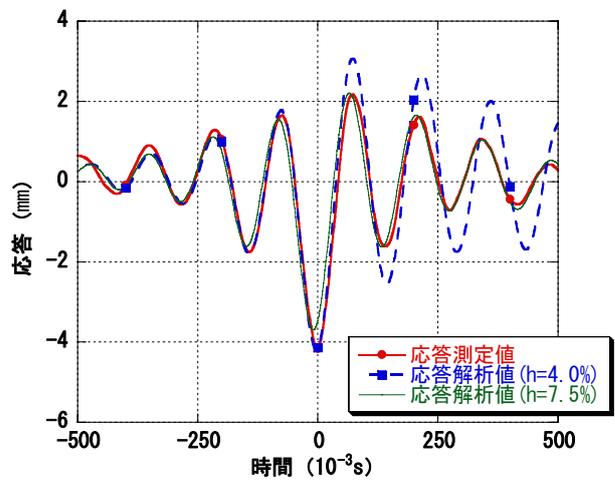


図4 応答解析値と測定値の比較

図5には、減衰定数を7.5%とした場合の各変動圧力モード毎の外力による応答解析結果を示す。1, 2次モードの変動圧力による応答が支配的であることがわかる。5次モードでは、応答測定値とは反対の応答が生じているが、5次モード以降の応答は、無視できる程小さい。2次モードについてみると、POD解析から得られる寄与率は全体の1割にも満たないにもかかわらず、応答解析では2次モードの変動圧力による水平応答は、1次モードと等しい位に大きな値となっている。こうした特性の原因については検討中である。

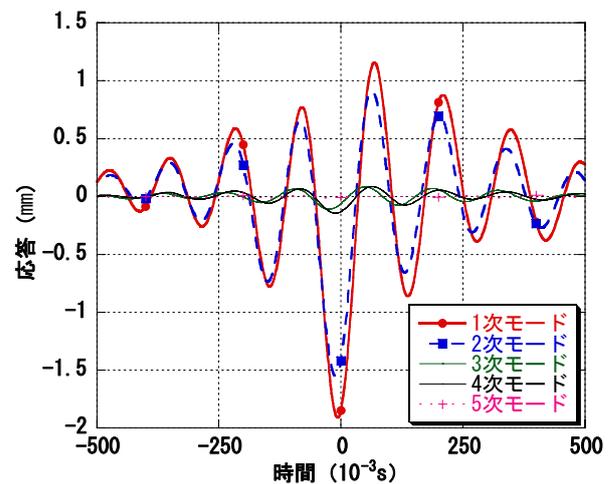


図5 各モード外力による応答

4. まとめ

大きな応答は、山模型後流中では1次モードの変動圧力パターン、境界層乱流中では複数組み合わせり形成された変動圧力パターンにより生じると推定される。応答解析の結果、1次及び2次モードの変動圧力による応答が支配的であると考えられた。他のケースについても同様に検討し、特性を明らかにしていきたい。

参考文献：1) 木村, 原田, 高倉, 久保, 加藤：孤立峰後流中の片持ち梁橋梁模型に大きな水平応答を生じさせる変動風速の構造解明の試み, 第61回年次学術講演会概要集, 土木学会, 2006,