

U ドップラーを用いた橋脚の振動数計測における条件に関する一考察

株式会社シーエス・インスペクター 正会員 ○松田健斗 吉田育央 緒方瞭

1. はじめに

近年、記録的短時間大雨や地震等の大規模災害の発生リスクが非常に高まっている。大規模災害が発生した場合には、鉄道会社においては列車運行可否を迅速に判断する必要がある。特に、河川橋梁に関しては、そのような大規模災害による被害を受けるケースが増加しており、列車の運行可否を判断するにあたっては、橋脚の健全度判定を行う必要がある。

橋脚の健全度判定の代表的な方法として、衝撃振動試験がある。橋脚の固有振動数を計測することで健全度を評価できるが、災害時に河川橋梁上で衝撃振動試験を行うとなると、健全度が低下している恐れのある橋梁上で直接重錘の設置や打撃を行う必要がある。そのため、非常にリスクが高い点や重錘設置等に時間を要することに伴って早急な対応がとれるかという点が懸念される。そこで、安全かつ迅速に橋脚の健全度判定を行うために、現在弊社ではU ドップラーⅡ¹⁾ (図1) の本格的な活用を検討している。U ドップラーⅡ (以下U ドップラーとする。) とは、離れた場所から打撃や計測センサを要することなく、振動数を測定できるシステムであり、図1の本体部から対象物にレーザー光を投射し、その反射光の波長を求めることで対象物の振動数を測定することができる。U ドップラーを用いて橋脚の振動数を計測する最終イメージを図2に示す。有事の際に橋脚から離れた位置で橋脚の常時微動を捉えて算出した卓越振動数を、衝撃振動試験で得られている固有振動数と比較して健全度を判定できるようになることが目標であるが、まずは衝撃振動試験に近い測定条件 (重錘打撃時の橋脚の揺れを感知する) において振動数を計測した際、固有振動数に近い振動数が得られるのかという点について検証を行っている。また、U ドップラーの仕様 (鉄道総研) によると、測定可能範囲は約100mまでとされているものの、実際の測定可能な距離や、橋脚に対するレーザー光の入射角度については明らかになっていない。災害時に迅速かつ正確に橋脚の振動数を測定するためには、事前に測定可能条件を把握しておく必要がある。本論文では今年度までに行ってきた検証について報告する。



図1 U ドップラーⅡ一式

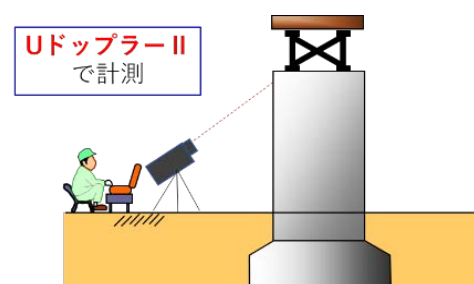


図2 U ドップラーを用いた橋脚の振動数計測イメージ

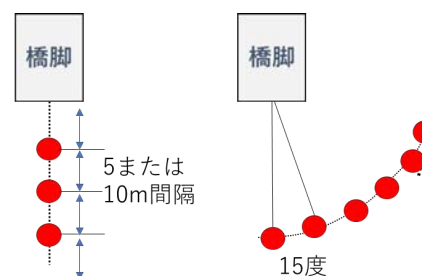


図3 橋脚からの距離と入射角度

2. 衝撃振動試験実施時のデータ取得

弊社では橋梁橋脚において衝撃振動試験を実施する際に、2021年度からU ドップラーによる振動数計測も同時に実施している。様々な条件の下、U ドップラーによる計測で得られた卓越振動数と、衝撃振動試験で得られた固有振動数の結果と比較することで、U ドップラーの計測可能条件について検証を進めている。

2021年度、2022年度で7橋梁26橋脚において、衝撃振動試験で得られた固有振動数とU ドップラーで得られた卓越振動数を比較した。定量的な計測可能条件を定めることはできていないものの、U ドップラー本体から橋脚までの距離 (以下、橋脚からの距離とする。) は10～50m程度、橋脚に対してレーザーを照射する角度 (以下、入射角度とする。) については30～40度程度では、比較的固有振動数に近い卓越振動数を測定できているという結果が見られた。

3. 適用可能条件検証のための現地実験

前述より、U ドップラーで橋脚の卓越振動数を計測するにあたり、橋脚からの距離と入射角度が大きく影響するであろうと推察された。そこで、U ドップラーの計測可能条件について、橋脚からの距離と入射角度 (図3) に絞って詳細に検証するために、新たに異なる橋梁における2橋脚 (以下、A橋梁橋脚、B橋梁橋脚とする。) において現地実験を実施した。

キーワード 河川橋梁, 衝撃振動試験, 固有振動数, 卓越振動数, 常時微動

連絡先 〒556-0011 大阪市浪速区難波中2丁目7-2-3F シーエス・インスペクター TEL06-6644-7210

ここで、2橋脚の各諸元について表1に示す。A橋梁橋脚においては、距離5～70mの間を5m間隔で14測点、角度0度～75度の間を距離10m固定・15度間隔で6測点計測した。B橋梁橋脚においては、距離7.5mに加え、10～110mの間を10m間隔で計12測点、角度0度～75度の間を距離10m固定・15度間隔で6測点計測した。各測点で5回レーザーを照射し、得られた振動数の平均値をその測点での卓越振動数としている。実験で得られた結果について以下に示す。

(1) 橋脚からの距離について

一例として、B橋梁橋脚からの距離の検証結果を表2、図4に示す。表2に示す差(Hz)とは、卓越振動数から固有振動数を差し引いた値であり、差(%)とは、卓越振動数を固有振動数で割った際の絶対値を取ったものである。すべての測点において、衝撃振動試験での固有振動数との差(Hz)が1Hz未満である卓越振動数を確認することができた。この結果より、橋脚に対して正面からUドップラーのレーザー光を照射した際は、橋脚から110m離れた位置からでも固有振動数との差(Hz)が1Hz以内での卓越振動数を計測できることが示唆された。差(%)については、最大で10%ほどであるが、これについては、測定の際に取れていたデータ数が十分でなかったことや、桁やその他鉄道構造物の振動数がより卓越した可能性等が考えられる。より測定精度を上げるためには、データ数の確保や測定対象物に付随するその他構造物の卓越振動数も把握しておくことが必要と考えられる。

(2) 橋脚に対しての入射角度について

一例として、B橋梁橋脚に対しての入射角度についての検証結果を表3、図5に示す。こちらに関しては、角度0度～45度までの場合、衝撃振動試験での固有振動数との差(Hz)が1Hz未満である卓越振動数を確認することができた。入射角度が45度を超えた場合に固有振動数との差(%)が大きくなっているが、Uドップラーが感知する橋脚の振動成分が、橋軸直角方向から橋軸方向へと転換してしまうことや、ターゲットに照射した際のレーザー光の反射率が著しく低くなることが原因ではないかと考えられる。

4. まとめと今後の展望

今回の検証では、橋脚からの距離は0～110m、入射角度は0～45度の条件下においては固有振動数に近い卓越振動数を確認することができた。この結果より、Uドップラーを用いることで、橋脚に近づかずとも橋脚の健全度を判定できる可能性があることが示唆された。また、橋脚からの距離に関しては、Uドップラーの仕様としては約100mまで測定可能とされているが、120m以上の距離があったとしても、ターゲットにレーザーを当てることさえ出来れば、卓越振動数を測定できる可能性が考えられる。今後、より詳細に計測可能条件を把握するために、さらに別の橋梁での検証や橋脚の常時微動を捉えて固有振動数と比較する等の検証も実施したいと考えている。来年度以降の衝撃振動試験実施時にも今回と同様にして測定を行うことで、さらなるデータの蓄積を行い、災害時に迅速かつ安全に橋脚の健全度判定が行えるような手法の一つとして実用化したいと考えている。

参考文献

1)上半文昭：構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発，鉄道総研報告，Vol.21/No.12，pp.17-22，2007

表1 2橋脚の各諸元

	上部構造材料	橋脚材料	橋脚基礎	完成年月
A橋梁橋脚	上路鋼板桁	レンガおよびコンクリート	直接基礎	大正7年
B橋梁橋脚	上路鋼板桁	レンガおよびコンクリート	直接基礎	大正11年

表2 橋脚からの距離を変えて得られた卓越振動数と固有振動数との比較

衝撃振動試験での固有振動数(Hz)			7.996
距離(m)	Uドップラーの卓越振動数(Hz)	固有振動数との比較	
		差(Hz)	差(%)
7.5	8.118	0.122	1.522
10	8.057	0.061	0.758
20	8.545	0.549	6.865
30	8.301	0.305	3.812
40	8.789	0.793	9.918
50	8.911	0.915	11.445
60	8.789	0.793	9.918
70	8.057	0.061	0.758
80	8.301	0.305	3.812
90	8.057	0.061	0.758
100	8.057	0.061	0.758
110	8.057	0.061	0.758

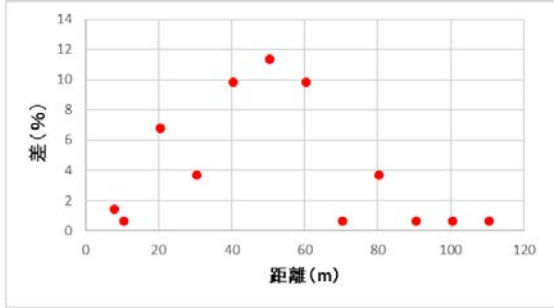


図4 橋脚からの距離と卓越振動数と固有振動数の差(%)の関係図

表3 橋脚に対しての入射角度を変えて得られた卓越振動数と固有振動数との比較

衝撃振動試験での固有振動数(Hz)			7.996
角度(度)	Uドップラーの卓越振動数(Hz)	固有振動数との比較	
		差(Hz)	差(%)
0	8.057	0.061	0.758
15	8.057	0.061	0.758
30	8.057	0.061	0.758
45	8.057	0.061	0.758
60	9.766	1.770	22.131
75	10.010	2.014	25.185

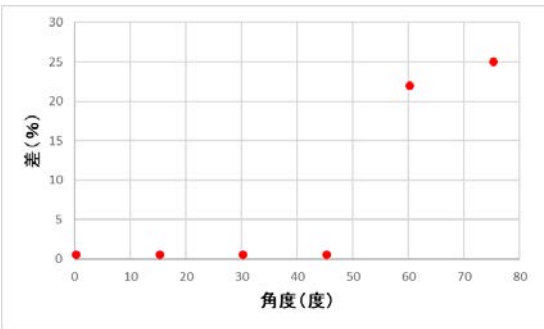


図5 入射角度と卓越振動数と固有振動数の差(%)の関係図