

# 常時微動計測により見えてくるもの

村田 修  
事業推進室  
(室長)

上半 文昭  
構造力学研究室  
(主任研究員)



むらた おさむ



うえはん ふみあき

地盤や構造物の常時微動を計測することにより、地盤の層構造の推定や構造物の健全度診断に利用することが検討されています。ここでは、常時微動計測結果の利用の現状や今後の展望について概説します。

## 常時微動とは？

地表面は、図1に示しますように、自動車などの交通によるものや、工場からのものなど、さまざまな要因による振動が伝わって、ごくわずかですが、常に振動しています。このような恒常的に存在する振幅の小さい地表面の振動を総称して「微動」と呼んでいます。物理探査学会では、人口密集地などで容易に観測される周期0.1-1秒の短周期の微動を「常時微動」としています。鉄道分野では、比較的早くから微動測定による構造物検査の開発に取り組んでおり、「常時微動」を人為的加振によらない外乱による

地盤や構造物の振動全般のこととするように少し幅広い取り扱いをしています。

物体を振動が伝わるときには、物体の性質（剛性、減衰特性など）により、伝わりやすい振動の性状（振動数、減衰特性など）が違ってきます。

地盤や構造物で計測される常時微動は、さまざまな振動が地盤や構造物をとおってきて観測されるもので、地盤や構造物の振動性状（剛性や減衰特性など）を反映したものとなります。そこで、常時微動の振動特性を把握することにより、地盤や構造物の状態を推定することが可能であると考えられ、古くから多くの研究開発が行われてきました。

人為的加振によらない外乱による地盤や構造物の振動である常時微動の計測により、地盤や構造物の状態を推定することができれば、従来、構造物の健全度診断法として広く用いられています。図2に示す衝撃振動試験など人為的

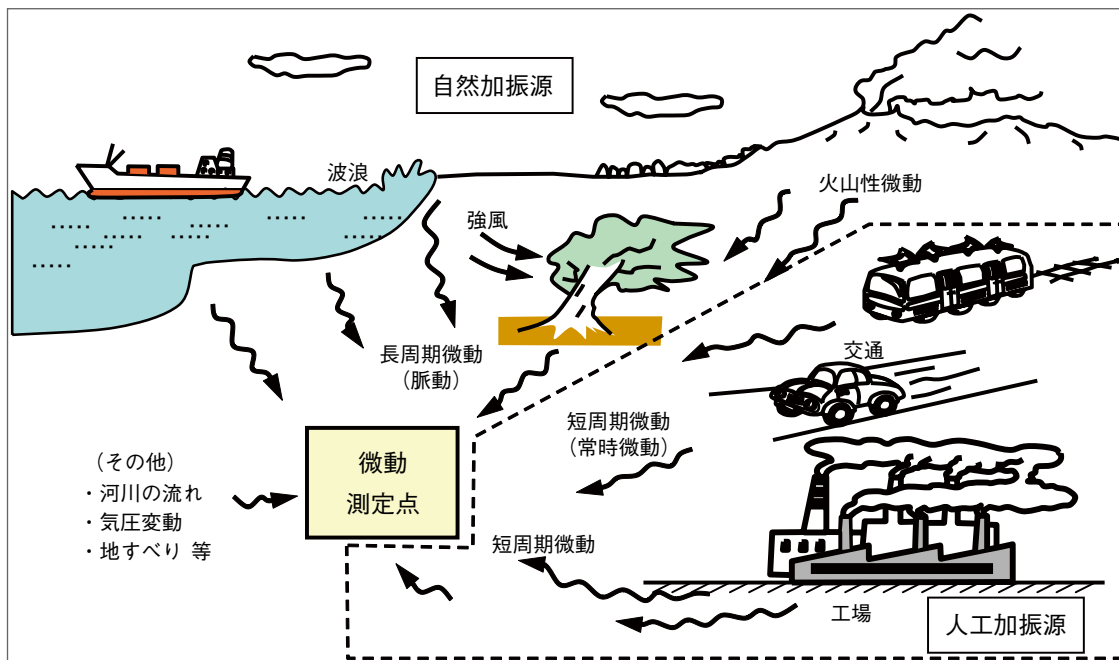


図1 微動の加振源

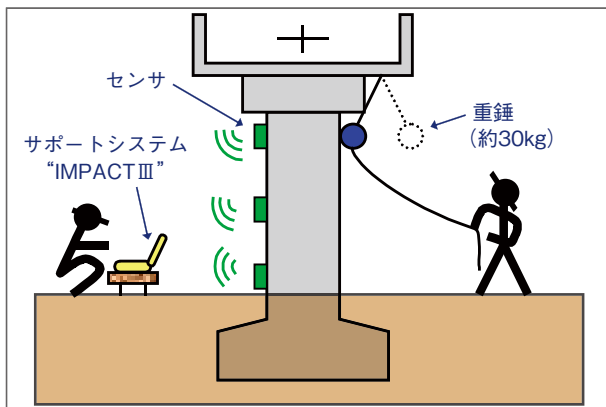


図2 衝撃振動試験の概要

に加振する方法<sup>1)</sup>に比べて簡便で効率的な方法となる場合があると考えられます。また、常時のモニタリングも可能となるなどの特徴があります。

### 地盤の構造を推定する

地盤の物性や強度を把握する方法としては、ボーリングにより孔を掘り、そこから得られる土の供試体を用いて、物理試験、化学試験、力学試験などさまざまな試験を行う方法や、ボーリングの孔を打撃する、あるいは圧力をかけるなどして強度特性を求める方法などが実用化され、広く用いられております。

これらの方法は直接的に地盤の物性や強度を測る方法で、比較的確実な方法ですが、試験をした点での評価にとどまり、地盤全体の概要を知るには、多数の点での試験を必要とし、費用や時間を多く必要とします。

これに対して、常時微動を用いる方法は、おおよその地盤の層構造を推定することにとどまりますが、簡便で効率的な方法で広い範囲の地盤の層構造推定が可能となります。

地盤の構造推定に常時微動の計測結果を利用するという研究は、1900年頃より行われ、一点での測定結果により固有振動数や増幅特性等の代表的特性を簡易に求めることを目的とした方法と、多点での結果を理論モデルにあてはめて逆解析し、構造そのものを求めることを目的としものとの二つの流れで発展してきており、地盤構造の概略推定手法として実用段階にあります。

常時微動による地盤構造の概略推定方法は、ボーリングによる方法などを補完する手法として大いに利用価値の高いものであると言えます。

### 構造物の健全度は診断できるのか？

高架橋の健全度診断については、図2に示すように、重錘を構造物に打撃して得られた固有振動数等から評価する衝撃振動試験が実用化され、広く普及しています。

一方、常時微動による方法の場合では、人為的な加振を与えないことから、明瞭なピーク値が得られず、固有振動数の特定が難しいと言われていましたが、標準的なラーメン高架橋の測定結果では、衝撃振動試験の結果と常時微動による結果と一致することが確認されております。

したがって、ラーメン高架橋の場合には、常時微動計測で固有振動数を求める方法を用いれば、重錘を構造物に打撃する手間が省ける可能性があります。

さらに、後述する非接触振動測定技術（Uドップラー）を用いて、常時微動を計測する手法を用いれば、センサーの取り付け、取り外しなどの手間が省けて効率的な測定ができるとともに、構造物に接近することなく測定可能ですので、地震被災後の構造物の健全度を調査する場合などで安全に作業ができるという利点があります。そこで、構造物の初期のデータを取得する際には、衝撃振動試験と常時微動による方法を同時に行い、精度を確認した後は、常時微動による方法で健全度を評価する方法が効率的と考えられます。

ただし、橋脚の場合の測定事例によると、衝撃振動試験の結果と常時微動計測の結果とで固有振動数の特定が一致する場合と一致しない場合があり、常時微動を用いて橋脚の健全度を決定できない場合があることが確認されました。したがって、橋脚の場合には、初期のデータを取得する際に、衝撃振動試験と常時微動による方法を同時に行い、橋脚ごとに常時微動による方法で特定が可能なのかどうかを判別する必要があります。これらのデータを蓄積することにより、常時微動が適用できる橋脚の条件が明確になると考えられます。

一方、河川増水時の橋脚の振動を計測することにより、橋脚の固有振動数を特定でき、洗掘を受けたかどうかの評価をすることが可能となるという最近の鉄道総研の研究があります。

河川の流れによる橋脚の振動ということで厳密な意味での常時微動ではありませんが、人為的な加振ではないということで、ここでは、常時微動計測の利用例ということで紹介します。

実橋梁において、測定した結果、水位が高い場合（河川増水時）には、橋脚振動を計測することにより固有振動数

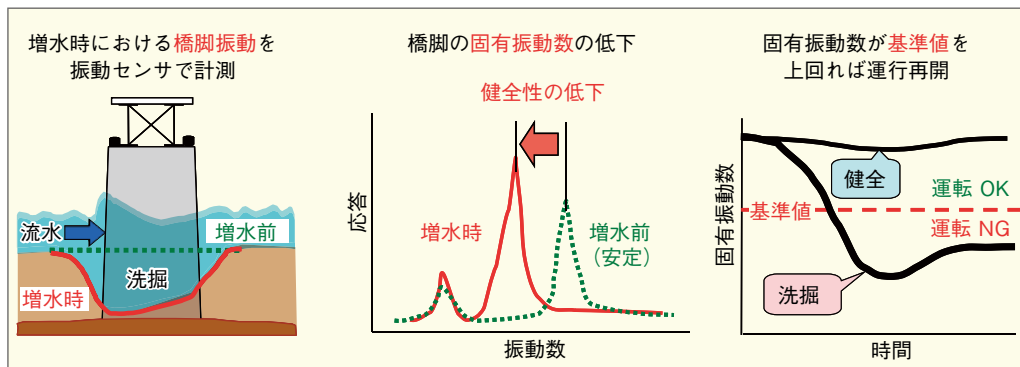


図3 橋脚基礎の健全性評価のイメージ

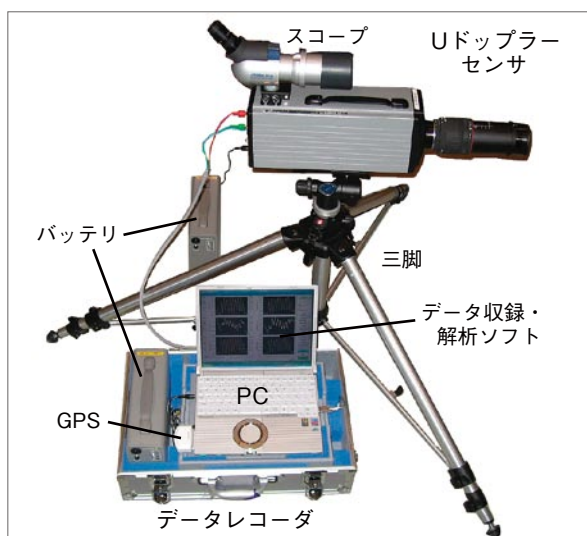


図4 Uドップラーの外観

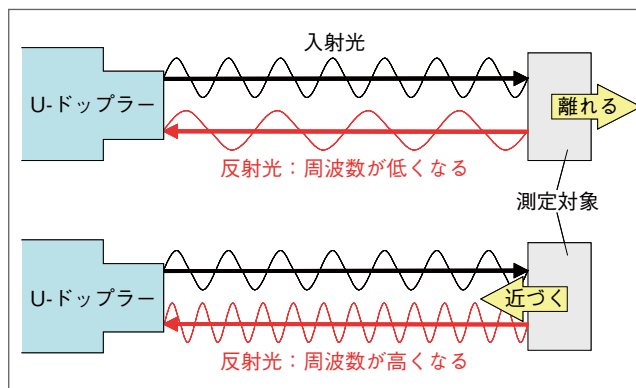


図5 反射光の周波数変化

が求められることが確認されました<sup>2)</sup>。したがって、図3に示すように、増水時における振動計測結果から固有振動数を求め、それが、衝撃振動試験などにより求められる初期の値と比較して、洗掘にともない、安定性の低下が生じているかどうかの評価が可能となり、さらには運行再開の判断資料となることが期待されます。

### 離れたところから測る

鉄道総研では、構造物の常時微動を離れたところから、精度よく測定する技術を開発しました。非接触測定センサーであるレーザードップラー速度計 (LDV) に、現場での構造物測定を精度良く、かつ効率的に実施するための工夫を施し、さらに、データの収録および解析機能も一体化した「構造物診断用の非接触振動測定システム (Uドップラー)」です<sup>3)</sup>。外観を図4に示します。

構造物の常時微動測定などにUドップラーを導入す

ば、構造物へのセンサー類の取り付け、撤去作業量および、高所等危険箇所での作業量が大幅に軽減されます。

Uドップラーは、図5に示すように、測定対象にレーザー光を照射して反射光を受信し、反射光の周波数変化から測定対象の速度を検出します。測定対象からの反射光が十分でないときは、図6に示すような再帰性反射シールなどを用いて測定対象の表面の反射性を向上することができます。

Uドップラーの特徴として、図7に示すようなUドップラー本体の揺れの影響を補正する機能を内蔵していることがあげられます。これにより、ノイズ振動の大きい場所での測定や、振幅の小さい常時微動による構造物の振動測定が可能となります。

上記の特徴から、Uドップラーは、常時微動計測によるラーメン高架橋の健全度診断や、常時微動計測ではありませんが、列車走行にともなう桁のたわみ測定などに適用され始めています。

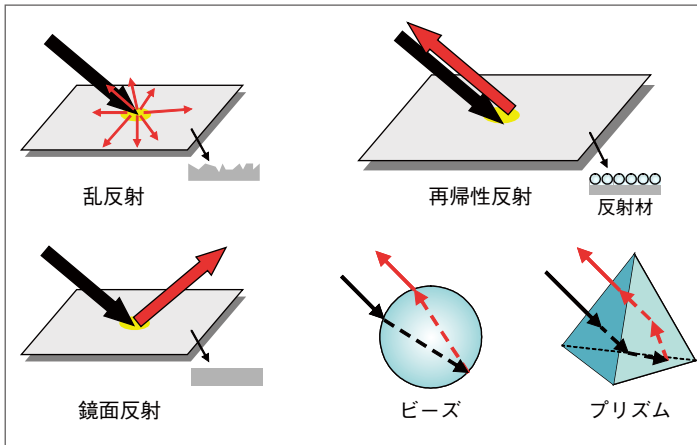


図6 物体表面での光の反射

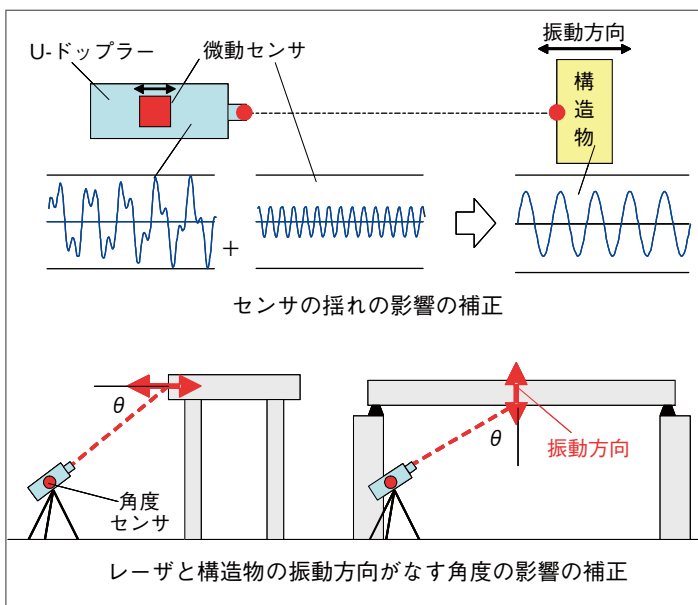


図7 Uドップラーの補正技術

### ほかに使い道は？

常時微動計測はさまざまな特徴をもっていますが、構造物の健全度診断への適用については、広く実用化されるところまでにはいたっておりません。

起振器や重錘打撃などの人工加振源によって特定部位を加振して起こした構造物応答に比べますと、加振源が明確でない常時微動による構造物の応答は、数多くの周波数成分が混在して構造物の固有振動数などを適切に把握できない場合があります、測定結果の評価が難しいことが多いと言われています。

しかしながら、最近の知見では、上述したように、ラーメン高架橋の固有振動数については、常時微動による推定結果と衝撃振動試験の結果が一致すること、河川橋脚の固有振動数は河川増水時に衝撃振動試験の結果と一致するこ

となどが示されており、これらの構造物に対しては、健全度評価を行うことが可能と考えられます。今後、構造物の種別、周辺環境、気候などが、常時微動の測定結果に与える影響を整理し、適用条件の明確化を図る必要があると考えられます。

常時微動計測の適用としては、既存の方法と比較して費用対効果のあるもの、あるいは、有効な方法がないものとして、高架橋、橋梁、橋台、盛土、住宅の仕上げ材、架線柱、防音壁などの健全度評価を対象として検討を進める必要があります。

このうち、例として、鉄道総研で検討を始めている落石検知への適用の検討を紹介します。

既往の研究で、落石の危険度評価と対象とする岩石に設置したセンサーで計測された振動性状とに相関があるという成果があります<sup>4)</sup>。この成果を利用することにより対象とする岩石の常時微動を計測することにより、落石の危険度評価をすることが可能と考えられますが、センサーを設置することは容易ではありません。

そこで、上述のUドップラーを用いて岩石の常時微動を計測すれば、センサーを設置することなく、離れたところから計測できるので、計測作業が極めて効率的となると考えられます。

今後、模型実験、現場計測、数値解析などにより、常時微動による落石危険度評価の可能性の確認およびUドップラーによる計測技術の確立を図り、落石危険度の概略評価の手法を提案していきたいと考えています。

なお、本報告は、鉄道総研部内で検討を進めてきた「常時微動利用検査技術研究会」で議論したものの一部を用いております。RRR

### 文献

- 1) 西村昭彦, 羽矢洋: 「橋梁基礎の健全度判定法と判定例」, 第21回地震工学研究発表会, 1991, 地震工学会
- 2) 佐溝昌彦, 渡邊諭, 淵脇晃: 増水時における橋脚起訴の安定性評価のための微動測定, JREA, Vol.49, pp.31667-31670, 2006.6
- 3) 上半文昭: 構造物の振動を非接触で測る, RRR, Vol.64, No.4, pp.22-25, 2007.4
- 4) 浅井健一他: 岩盤ブロックの常時微動と不安定性の関係に関する実験的研究, 第42回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.563-566, 2003.8