

# 実車走行試験における 桁共振測定と電柱振動対策

鉄道技術センター 電気部 電力課 電車線グループ 高島 将

## 1. はじめに

これまで、整備新幹線区間において列車通過時の高架橋での桁たわみ振動により電柱が大きく振動し、き電線として使用される裸銅線などの電車線路設備の損傷が報告されている。

設計段階の情報から共振する桁や電柱振動箇所を推定することが困難な事は過去の実績などから判明している。これは、架設後の桁上にレールや電柱、電線などが設備されることで桁の固有振動数が増え理論値と合致しないことに起因する。



図-1 北陸新幹線（金沢・敦賀間）路線図

電柱振動が顕著となる箇所を抽出するためには、共振が生じる桁の抽出が必須であるが、架設後の桁の固有振動数が理論値と合致しないことからあらかじめ共振桁を推定することは難し

く、実際に列車通過時に地上から桁の振動を計測する必要がある。そのため計測に多大な労力を要することから、開業前に電柱振動箇所を推定することは難しかった。

これまでの電柱振動箇所の特定パターンは主に2つあり、一つが定期保守点検時に設備損傷が発見され、その原因が現地調査により電柱振動と判断された場合である。もう一つが、沿線住民からの電柱異音や電柱振動の目撃情報により電柱振動箇所が発覚した場合である。いずれの場合においても、新幹線開業数年後に電柱振動箇所が特定されることが多数を占めており、設備保全のためにも早期の特定が求められていた。

近年の研究により軌道検測データを用いた共振桁抽出手法が確立されたことから、今回、この手法を電柱振動箇所の特定に利用した。北陸新幹線（金沢・敦賀間）での実車走行試験で計測された軌道検測データを活用した共振桁の抽出及び電柱振動箇所の開業前の早期特定について報告する。

## 2. 共振桁について

図-2に示すように、列車通過時において、車両の輪重により高架橋へ移動荷重が入力され、高架橋の桁にたわみ振動が発生する。

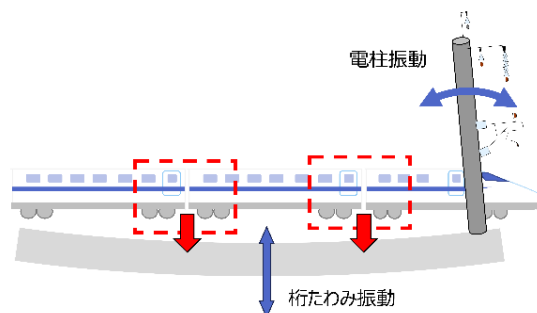


図-2 列車通過時の高架橋振動の概要図

この時高架橋へ入力される振動は、車両の輪軸が到来する周期に依存しており、その入力振

動数は図-3に示すように、列車速度と車両長により表すことができる。この入力振動数と高架橋の桁の固有振動数とが近接する場合、共振によりたわみ振動が増幅される。このような桁を共振桁と呼ぶ。

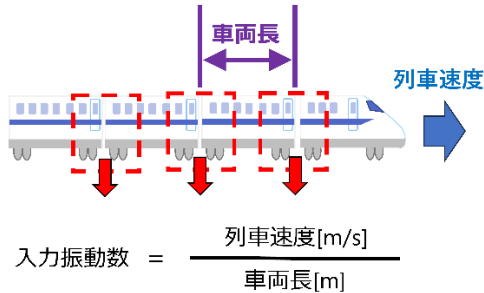


図-3 桁への入力振動数

### 3. 共振桁の抽出について

#### 3-1 桁の挙動について

列車速度毎の桁の挙動についてのシミュレーション結果を図-4に示す。シミュレーション条件は、桁長を30m、桁固有振動数を2.3Hz、車両長を25m、編成両数を12両とした。

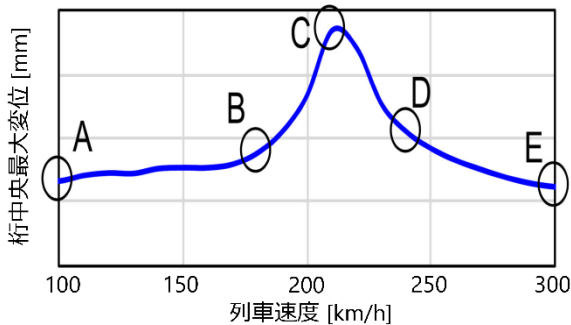


図-4 列車速度毎の桁の挙動

桁中央最大変位は、列車速度210km/hにおいて最大となった(図中C)。これは、列車速度に起因する入力振動数と桁の固有振動数が一致し共振している状態である。また、列車速度180km/h及び240km/hでは、入力振動数と固有振動数が近接しており、弱共振(うなり)の状態である(図中B、D)。列車速度100km/h及び300km/hでは、桁中央最大変位は増幅されおらず非共振の状態である(図中A、E)。

A、B、Cにおける桁中央変位の時間変化を図-5に示す。共振状態のCでは、A、Bに比べて桁中央変位が増幅されていることが分かる。

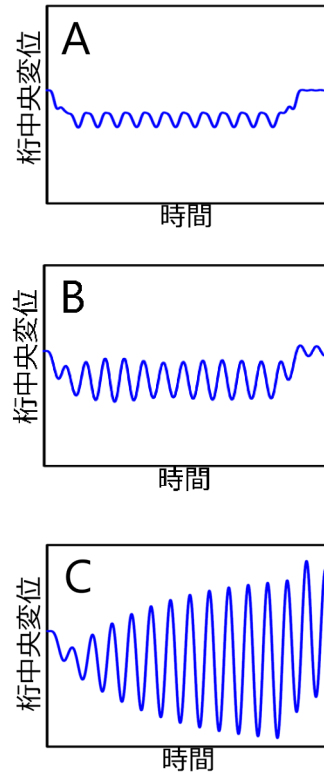


図-5 桁中央変位の時間変化

#### 3-2 共振桁抽出の原理

一編成中の先頭・最後尾車両で計測された車体上下加速度の値を用いて、共振桁の抽出を行う。

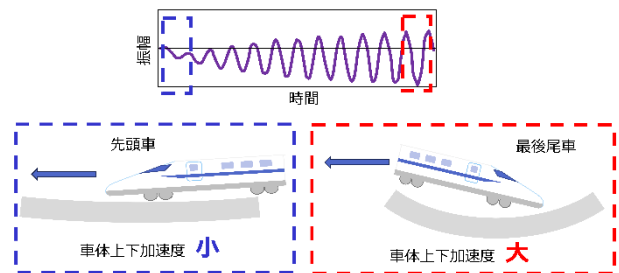


図-6 共振桁のたわみ波形と車体上下加速度

図-6に共振桁通過時の桁たわみ波形と車体上下加速度の関係を示す。3-1でシミュレーションをした通り、共振桁においては、列車通過時の桁たわみ振幅が車両通過とともに増幅する。すなわち、先頭車両通過時の振幅と最後尾車両通過時の振幅とで差が生じ、この振幅の差により、車体上下加速度についても先頭車両と最後尾車両とで差が生じる。

一方、非共振桁においては、列車通過とともに桁たわみ振幅が増幅されることはなく、先頭車両と最後尾車両とで車体上下加速度に大きな

差がつくことはない。非共振桁及び共振桁上の車両通過時における車体上下加速度について図-7に示す。

以上から、先頭・最後尾車両の車体上下加速度の計測データの差分値を比較することで共振桁を検知することが可能となる。

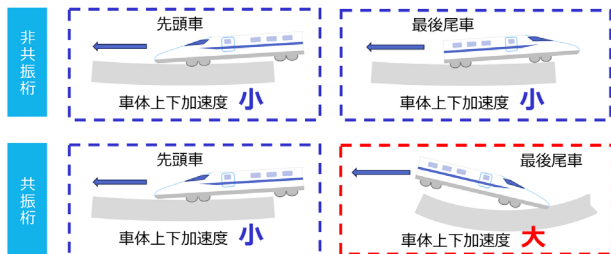


図-7 非共振桁及び共振桁上の車体上下加速度

### 3-3 共振桁抽出シミュレーション

実際の測定データへの適用に先立って、模擬計測波形を用いたシミュレーション例を図-8に示す。計測波形に対して、波形のピーク間をつなぐ包絡線処理を行うことで各波形の振幅量が強調される。包絡線処理を行った先頭・最後尾車両の波形に対して差分処理を行い、包絡線差分波形においてピークの存在の有無を判別することで共振桁が抽出できる。

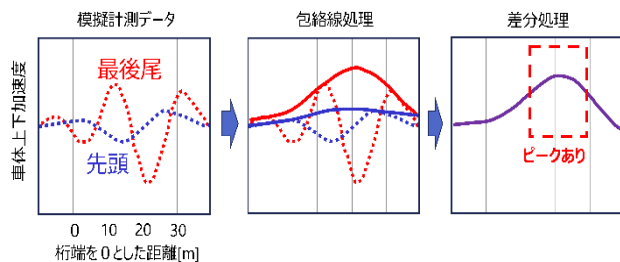


図-8 模擬波形シミュレーション例

## 4. 北陸新幹線（金沢・敦賀間）での共振桁抽出

北陸新幹線（金沢・敦賀間）開業前の2023年11月に実車走行試験が行われた。実車走行試験では、JR西日本所有のW7系営業車が使用された。

試験項目の1つとして軌道部門が実施する車体上下加速度の検測データを活用し、共振桁の抽出を行った。なお、図-9に示すようにW7系営業車の1号車と12号車に加速度センサが設置され、先頭車両と最後尾車両とで車体上下

加速度の計測が行われた。

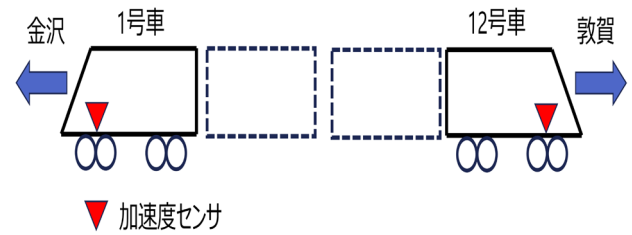


図-9 計測モデル（W7系営業車）

車体上下加速度の計測結果一例を図-10に示す。車体上下加速度の波形について、先頭車両と最後尾車両とで異なる波形が検出された。

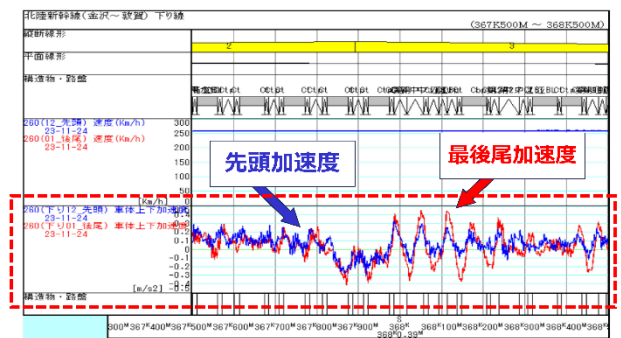


図-10 車体上下加速度の計測結果一例

車上計測データによる共振桁抽出結果の一例を図-11に示す。先頭・最後尾車両の車体上下加速度について、包絡線差分波形においてピークが検知された当該橋りょうを、共振桁と判別した。

また、全線にわたる計測の結果、ラーメン高架橋などを除く約2,200橋りょうのうち16橋りょうにおいて共振域の挙動が確認された。

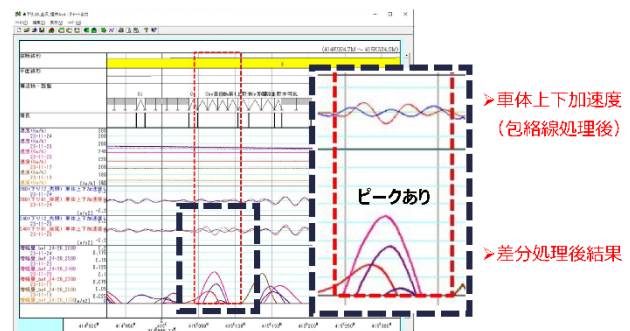


図-11 車上計測による共振桁抽出結果の一例



## 5. 北陸新幹線（金沢・敦賀間）での電柱振幅測定

抽出された 16 橋りょうに設備された電柱に対して、電柱上部変位の測定を行った。測定箇所の一例を図-12に示す。

図-13に示すように、測定対象の電柱に対して、地上からビデオカメラを用いて電柱振動を撮影し画像解析を行った。画像解析結果の一例を図-14、図-15に示す。図-14では、最大電柱全振幅が 2.0mm と測定され、管理値である電柱全振幅 20mm を下回り、電柱振動対策は不要と判断した。図-15では、最大電柱全振幅が 29.7mm と測定され、管理値である電柱全振幅 20mm を上回り、電柱振動対策は必要と判断した。

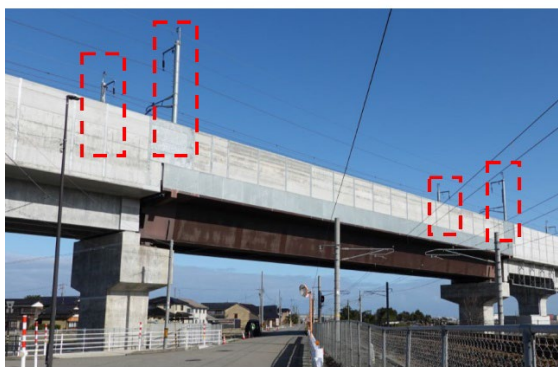


図-12 電柱振幅測定箇所の一例

電柱振幅測定の結果、16 橋りょうにある電柱 46 本のうち、2 橋りょうの電柱 6 本が管理値である電柱全振幅 20mm を超える値となり、電柱振動対策を行うこととした。

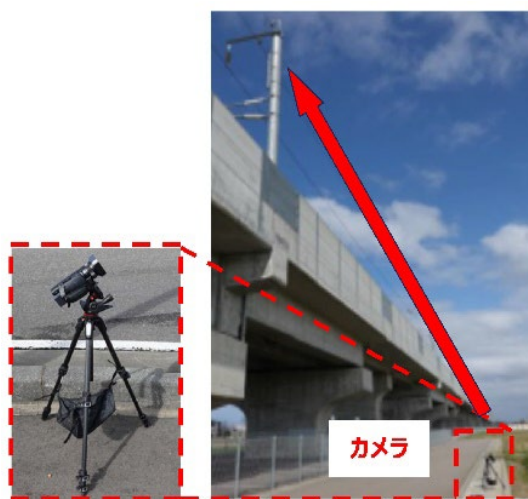


図-13 電柱振幅測定概要図

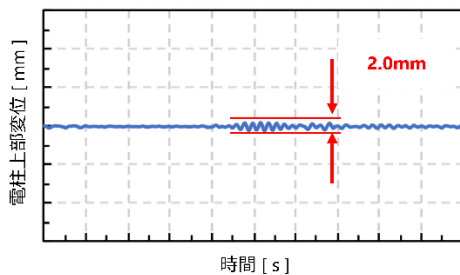


図-14 電柱振幅測定結果の一例 (2.0mm)

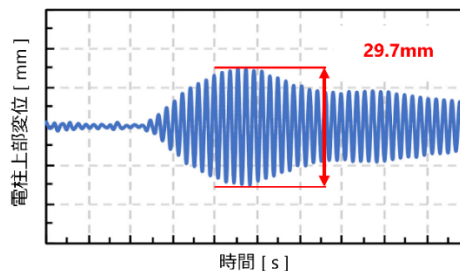


図-15 電柱振幅測定結果の一例 (29.7mm)

## 6. 電柱振動対策

電柱振動対策が必要な 6 本について、2025 年度末までに対策工事を行う予定である。振動抑制対策として、過去の整備新幹線区間で実績のある電柱下部への鋼板取付を施す予定である。この鋼板取付によって電柱の振動特性が変化し桁振動に起因する電柱振動が抑制される。参考に過去の実績を図-16に示す。



図-16 電柱振動抑制対策（過去の実績）

## 7. まとめ

実車走行試験時の軌道検測データを活用することで、北陸新幹線（金沢・敦賀間）において、電柱振動が発生する可能性がある 16 橋りょう（電柱 46 本）を抽出した。地上計測の結果、電柱振動対策が必要となる電柱 6 本（2 橋りょう）が特定された。これにより、これまで特定が困難とされていた新幹線開業前の早期に、電柱振動箇所の特定に初めて成功した。