

報告 新幹線走行に伴う P R C 単純桁の振動について

藤江 幸人*1・井口 重信*1・松田 芳範*2・小林 薫*3

要旨: 新幹線高架橋の P R C 単純桁において、列車走行に伴い電化柱に振動が生じている事象が見られた。そこで、電化柱および桁について、衝撃振動試験および列車通過時の変位量測定を行い、原因の考察を行った。その結果、列車走行による振動の卓越振動数と、電化柱および P R C 桁の固有振動数が比較的近い値であることが判明した。また、P R C 桁において、列車荷重が載荷されている側に、より大きなたわみが生じており、電化柱が線路直角水平方向へ強制加振されると考えられる。その結果、電化柱に主に線路直角水平方向の振動が生じると考えられる。

キーワード: 新幹線高架橋, 電化柱, P R C 単純桁, 振動

1. はじめに

電化柱をスパン中央に有する新幹線高架橋の P R C 単純桁において、新幹線に電力を供給するための電線であるちょう架線とトロリー線とを接続する箇所、損傷が見られる事象が発生した。図-1 に損傷位置の模式図を、写真-1 に損傷箇所を示す。原因調査として電化柱の振動測定を行った結果、電化柱が水平方向に大きく振動しており、この振動が接続箇所の損傷を引き起こしていることが判明した。また、別途、桁の目視による調査を行ったところ、電化柱の水平方向の振動だけでなく P R C 桁にも大きな上下振動が確認された。

そこで、P R C 桁および電化柱について衝撃振動試験、および変位量の測定を行い、電化柱の振動原因について考察したので以下に報告する。

2. 調査概要

2.1 調査対象

調査対象橋梁の側面図を図-2 に、断面図を図-3 に示す。以下、本文中では図-2 および図-3 に示したよ

うに x, y, z 座標をとることとする。図-3 中に示した上り線は y 軸負方向へ、下り線は y 軸正方向へ走行している。

調査対象橋梁は、複線 4 主桁ポストテンション T 型 P R C 単純桁で、支間は 29.2m である。桁スパン中央には、直径 400mm、長さ 12.0m の鋼管製の電化柱が設置されている。

2.2 調査項目

(1) 目視による外観調査

P R C 桁および支承部の変状の有無を確認するため、目視により外観調査を行った。支承部に関しては、橋脚に足場を設置し、近接目視により調査を行った。また、P R C 桁については、高所作業車を用いて可能な限り近接して目視調査を行った。

(2) 衝撃振動試験

P R C 桁および電化柱の固有振動数を把握するため、それぞれに対して衝撃振動試験を実施した。

P R C 桁については、図-4 に示す位置に速度計を設置し、所定箇所に重量 400N の重錘を 1m 程度の高さか

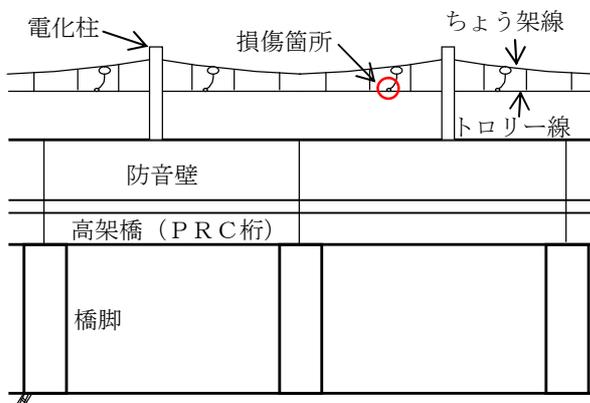


図-1 損傷位置模式図

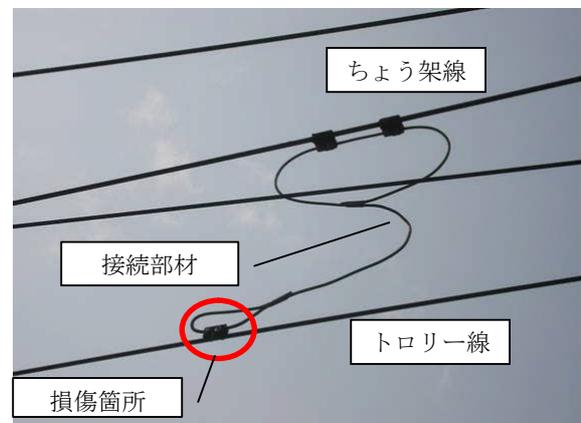


写真-1 損傷箇所

*1 東日本旅客鉄道 (株) 高崎支社設備部 課員 工修 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道 (株) 建設工事部 構造技術センター 副課長 (正会員)

*3 東日本旅客鉄道 (株) 研究開発センター フロンティアサービス研究所 課長 博(工) (正会員)

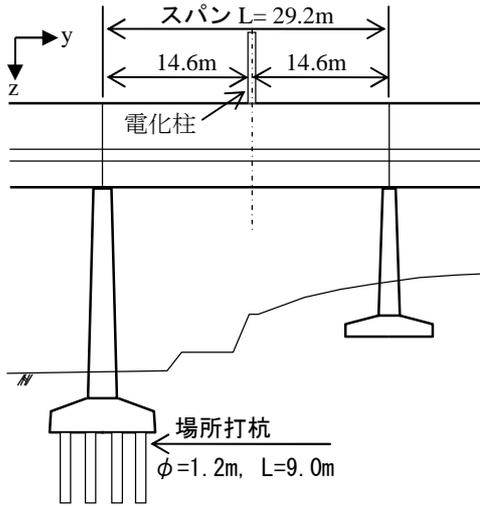


図-2 調査対象箇所側面図

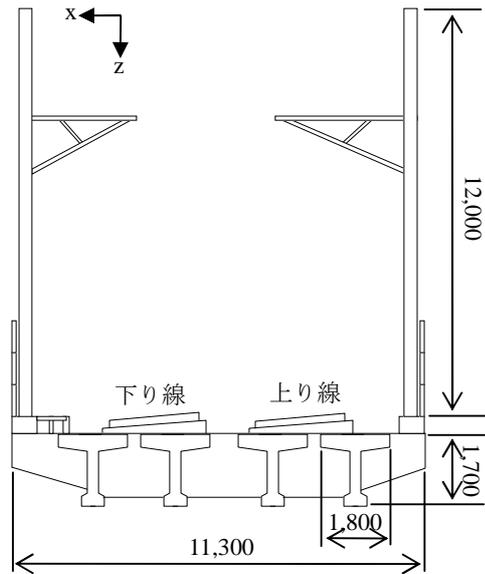


図-3 調査対象箇所断面図

表-1 列車通過時の桁たわみおよび電化柱振幅測定における測定項目一覧

| 調査項目 | 調査部位 | 測定機材等 |
|------------|--------|-------------------|
| 桁のたわみ測定 | 桁スパン中央 | リング式変位計 |
| 桁支点部の沈下量測定 | 桁支点部 | カンチレバー式変位計 |
| 電化柱の振幅測定 | 電化柱上端 | 速度センサー CCD式変位計 |

ら落下させることで速度応答を測定した。

電化柱については、電化柱天端付近の線路方向および線路直角方向の2箇所速度計を設置し、重量50Nの掛矢で電化柱下部を線路方向および線路直角方向に打撃して速度応答を測定した。得られた速度応答波形を周波数分析することでP R C桁および電化柱の固有振動数を求めた。

(3) 列車通過時のP R C桁たわみおよび電化柱の振幅測定

列車通過時のP R C桁スパン中央のたわみの測定、および電化柱の振幅測定項目を表-1に、測定装置およびセンサーの設置位置を図-5に示す。

P R C桁スパン中央のたわみは、リング式変位計で測定した。この際、カンチレバー式変位計により支点部の沈下量を測定し、支点部の沈下量をスパン中央で測定したたわみ量から差し引くことで、スパン中央における実たわみ量を求めた。

また、電化柱においては上端付近に設置したx方向およびy方向の2箇所の速度センサーにより測定した。さらに、測定データの精度を確認するため、下り線側電化柱のx方向の変位をC C D式変位計で測定した。

測定は、上下線各7本の計14本の列車について実施した。

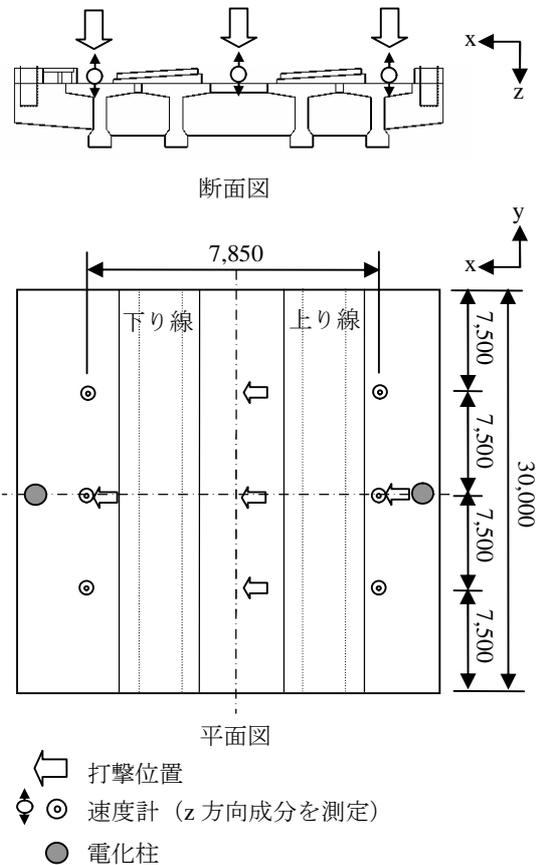
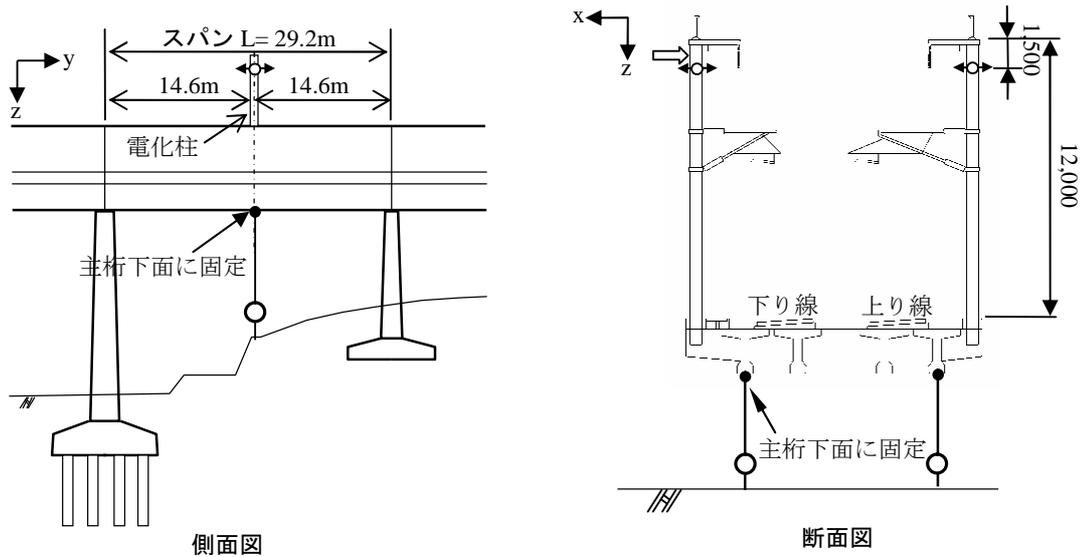


図-4 P R C桁に対する衝撃振動試験の速度計設置位置と打撃位置

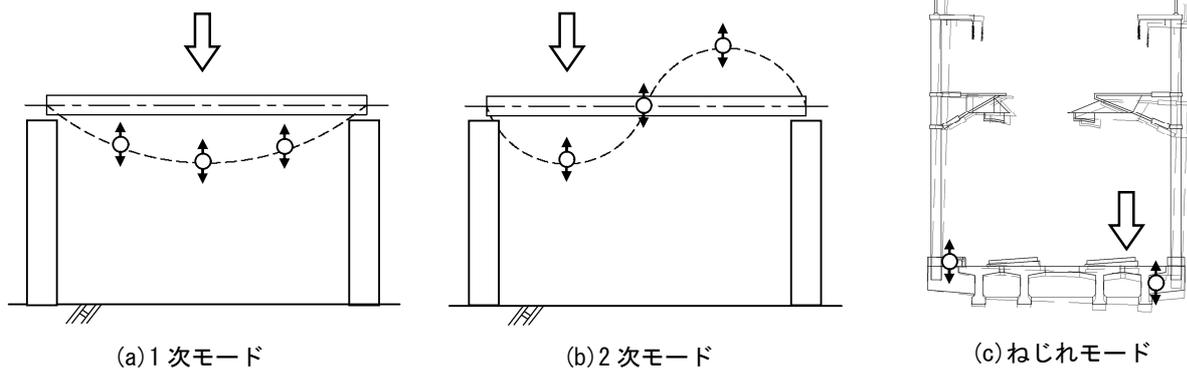


○ リング式変位計 ⊕ 速度計 ⇨ CCD式変位計

図-5 桁スパン中央断面の測定装置設置位置

表-2 固有振動数の実測値

| 測定箇所 | | 固有振動数 (Hz) | |
|------|--------|------------|-----|
| 桁 | 1次モード | 3.1 | |
| | 2次モード | 12.8 | |
| | ねじれモード | 4.1 | |
| 電化柱 | 上り線 | x方向 | 2.6 |
| | | y方向 | 2.2 |
| | 下り線 | x方向 | 2.8 |
| | | y方向 | 2.2 |



⇨ 打撃位置 ⊕ 速度計 (z方向成分を測定)

図-6 振動モード

3. 調査結果

3.1 目視による外観調査

張出床版と中床版下面に幅0.10mm~0.15mm程度の軽微なひび割れが散見されたものの、主桁や中間横桁、電柱支持梁などには目立った損傷は見られなかった。支承部についても、ゴム沓に軽微な割れがあったが、機能上の問題はないと思われる。

いずれも、構造規模から判断してPRC桁の剛性に影響を与えるような損傷は見受けられなかった。

3.2 衝撃振動試験

PRC桁および電化柱の衝撃振動試験により得られた固有振動数を表-2に示す。PRC桁の1次モードおよび2次モードとは、図-6(a), (b)に示すようなz方向のたわみによるモードであり、ねじれモードとは図-6(c)

表-3 PRC桁のたわみ測定における測定ケース

| | | たわみ測定主桁 | |
|------|-----|---------|-------|
| | | 上り線側 | 下り線側 |
| 通過列車 | 上り線 | case1 | case2 |
| | 下り線 | case3 | case4 |

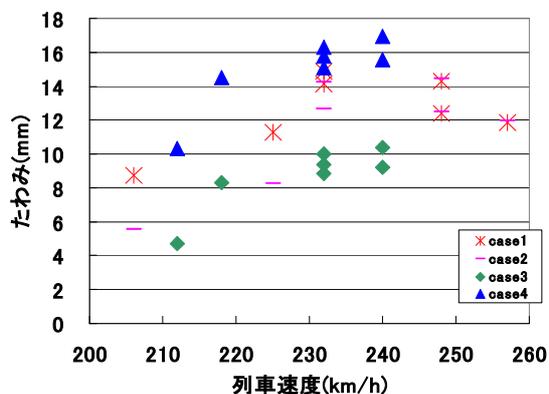


図-7 列車速度とたわみの最大値の関係

に示すような、線路軸周りのねじれのモードである。

表-2 より、PRC桁の1次の固有振動数は3.1Hzであった。電化柱に関しては、線路方向の固有振動数は上り線側電化柱、下り線側電化柱ともに2.2Hzであったが、x方向の固有振動数は上り線側2.6Hz、下り線側2.8Hzとy方向の固有振動数と比較し大きな値であった。

また、PRC桁の固有振動数と電化柱x方向の固有振動数は、2.6Hz~3.1Hzであり0.5Hzの範囲内であった。

3.3 列車通過時のPRC桁たわみおよび電化柱振幅測定

表-3 にPRC桁のたわみ測定における測定ケースを示す。図-7 に、表-3 に示した各ケースにおける列車速度とPRC桁スパン中央のたわみ最大値との関係を示す。下り線側に列車が通過した際の下り線側のたわみが一番大きく、最大では17mm程度になる。また、上り列車通過時においては、列車速度が240km/h付近でたわみの最大値が一番大きくなる傾向があった。下り列車通過時においては測定列車の最高速度が240km/hであったため、上り列車通過時と同様に240km/h付近でたわみの最大値がピークを示すかは判断できなかった。

図-8 に電化柱上端における変位の軌跡を示す。図-8 に示すように、電化柱上端ではy方向と比較しx方向により大きな変位を生じていた。

図-9 に列車速度と下り線側電化柱上端におけるx方向の振幅量の最大値を示す。220km/hで振幅最大値が40mm以上となり、この列車速度付近で振幅の最大値が一番大きくなる傾向であった。

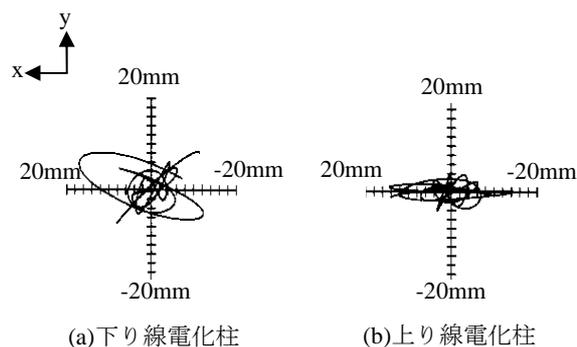


図-8 電化柱上端における変位の軌跡

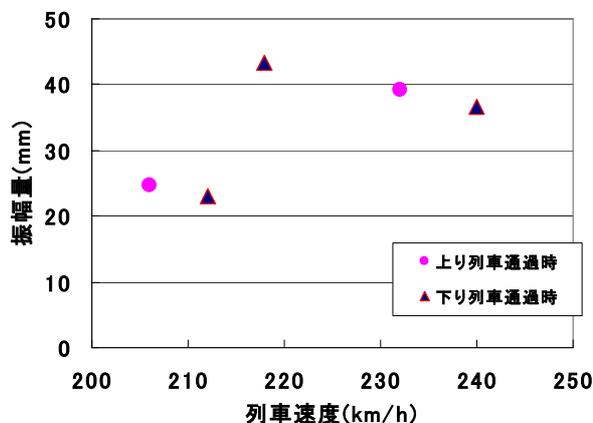


図-9 列車速度と下り線側電化柱x方向振幅の最大値の関係

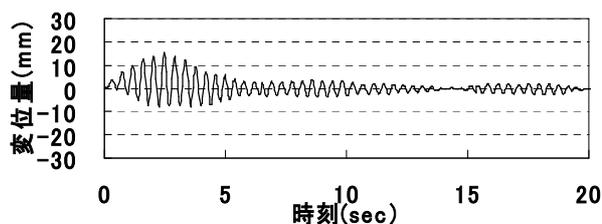


図-10 下り線側電化柱上端におけるx方向の変位の時刻歴(列車速度212km/h)(下り列車通過時)

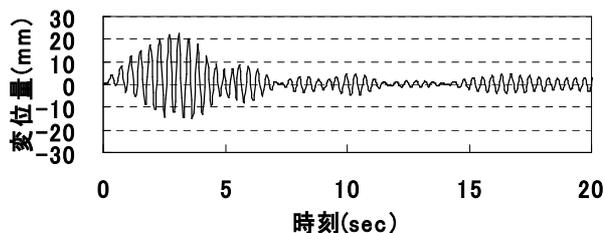


図-11 下り線側電化柱上端におけるx方向の変位の時刻歴(列車速度240km/h)(下り列車通過時)

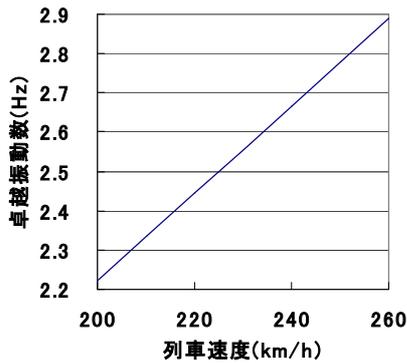


図-12 列車走行の卓越振動数

表-5 列車走行の卓越振動数と固有振動数の実測値の比較

| | | |
|-----------------------------|-------------|-------|
| 列車走行の卓越振動数(200km/h～260km/h) | 2.2Hz～2.9Hz | |
| 電化柱線路直角方向の固有振動数 | 上り線側電化柱 | 2.6Hz |
| | 下り線側電化柱 | 2.8Hz |
| PRC桁1次モードの固有振動数 | 3.1Hz | |

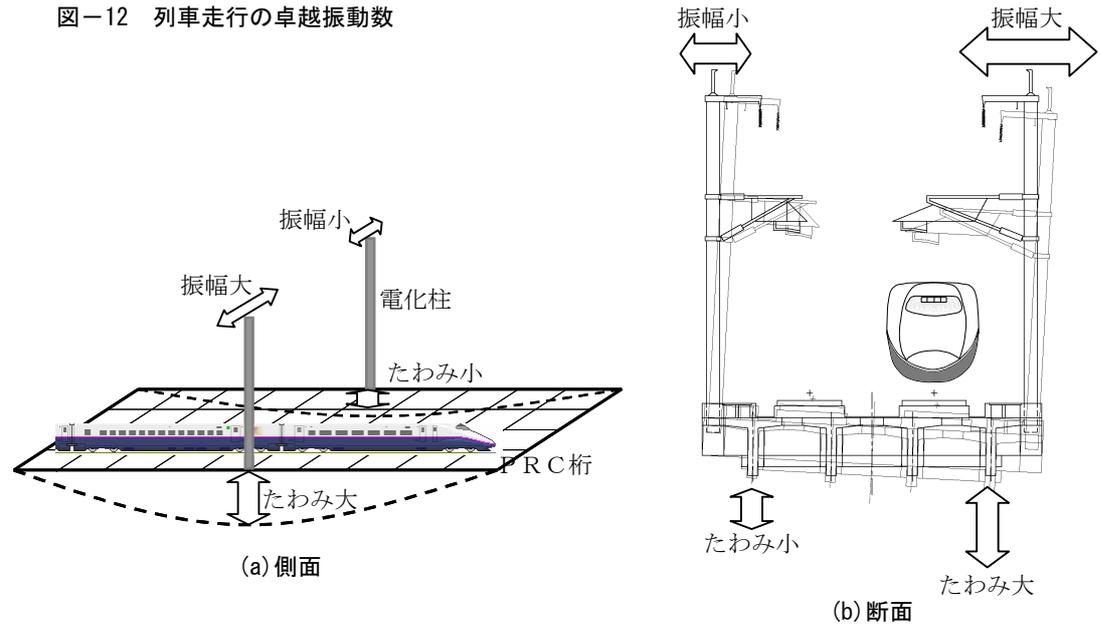


図-12 電化柱の多振動のイメージ

図-10, 図-11 に, 下り列車通過時の列車速度 212km/h および 240km/h のときの下り線側電化柱上端における x 方向振幅量の時刻歴をそれぞれ示す。列車速度が 212km/h の場合, x 軸方向正側に 15mm 程度の最大振幅であるのに対し, x 軸方向負側には 8mm 程度の最大振幅であり, 正側への変位が主であった。また, 列車速度が 240km/h の場合においても, x 軸方向正側で 22mm 程度, x 軸方向負側に 16mm 程度の最大振幅であり, 列車速度が 212km/h の場合と比較し正負両側とも振幅量は増大してはいたが, やはり正側への変位の方が大きかった。これについては, 下り列車通過時においては下り線側により大きな桁のたわみが生じるため, x 軸正方向(下り線側方向)に電化柱にも変位が大きく生じたと考えられる。

また, 3 秒程度で車両がすべて桁上を通過した後, 5 秒付近で振幅が小さくなった後も再び振幅が発生する現象も見られた。

4. 考察

4.1 固有振動数の評価

列車走行による振動の卓越振動数を表-3 に示す。列

車が桁上を通過する際, 列車の輪重により桁が強制加震されるが, その際の卓越振動数は, 列車速度と列車の輪重が作用する間隔つまり軸距により, 式(1)により算出した。¹⁾

$$f = \frac{v}{3.6L} \tag{1}$$

ここで, f : 卓越振動数(Hz)
L : 軸距(m)
v : 列車速度(km/h)

なお, 本検討においては, 軸距 L として車両長の 25m を用い列車走行による振動の卓越振動数を算出した。

調査対象箇所付近を走行する列車は 200km/h ～ 260km/h 程度で走行していることから, 図-12 より列車走行の卓越振動数は 2.2Hz～2.9Hz 程度であることが分かる。

表-5 に, 列車走行の卓越振動数と電化柱線路直角方向の固有振動数, および PRC 桁の固有振動数の実測値に関する比較を示す。表-5 に示した結果から, 調査対象箇所付近を走行する列車の卓越振動数 2.2Hz～2.9Hz 程度, 電化柱線路直角方向の固有振動数 2.6Hz (上り線)

および2.8Hz(下り線), P R C桁の固有振動数3.1Hzが, 0.9Hz 程度の範囲内であることがわかった。これから, 列車走行による振動, 電化柱線路直角方向の振動, P R C桁の1次の振動に関連性があると考えられる。

4.2 列車通過時の電化柱振幅の評価

図-12に電化柱の多振動のイメージを示す。列車荷重がP R C桁に載荷された場合, 図-12(a)に示したようにP R C桁にたわみが生じる。この際, 図-7の case3およびcase4を比較すると明らかなように, 図-12(b)に示したように列車荷重が載荷されている側により大きなたわみが生じる。この上下線におけるP R C桁のたわみ量の違いにより電化柱がx方向へ強制加震され, その結果, 電化柱に主にx方向の振動が生じると考えられる。

この際, 4.1で述べたように列車走行が桁を加震する際の振動特性と, 桁の1次の振動特性, および電化柱x方向の振動特性が比較的近いことが, 電化柱上端x方向において最大振幅40mm以上という振動が生じる一つの原因と考えられる。

5. まとめ

電化柱をスパン中央に有するP R C単純桁において, 電化柱およびP R C桁に対して衝撃振動試験および変位の測定を行ったところ, 以下のことが判明した。

- ・調査対象箇所付近を走行する列車の卓越振動数, 電化柱線路直角方向の固有振動数, P R C桁の固有振

動数が, 0.9Hz程度の範囲内である。

- ・電化柱上端では, y(線路)方向と比較しx(線路直角)方向の振動が主であり, 電化柱x(線路直角)方向の振動は, 列車速度が220km/h付近で最も大きくなった。
- ・P R C桁において, 列車荷重が載荷されている側により大きなたわみが生じていた。この上下線におけるP R C桁のたわみ量の違いにより, 電化柱がx(線路直角)方向へ強制加振されると考えられる。その結果, 電化柱に主にx(線路直角)方向の振動が生じると考えられる。
- ・列車走行が桁を加震する際の振動特性と, 桁の1次の振動特性, および電化柱線路直角方向の振動特性が比較的近いことが, 電化柱上端において最大振幅40mm以上という振動が生じる一つの原因と考えられる。そして, この振動により, 新幹線に電力を供給するための電線であるちょう架線とトロリー線とを接続する箇所, 損傷が見られる事象が発生したと考えられる。

参考文献

- 1) 曾我部正道, 吉田幸司, 松本信行, 涌井 一: 狂信する橋桁の疲労振幅と等価繰り返し回数に関する検討, 土木学会第56回年次学術講演会, pp.578-579, 2001.10