

新幹線新規開業区間における単純 PC 桁のたわみ測定結果に関する考察

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 設計技術部 正会員 ○進藤 良則
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 青森新幹線建設局 千葉 寿
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 青森新幹線建設局 山洞 晃一
 (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 石徳 隆行

Abstract : Tohoku Shinkansen between Hachinohe and Shin-Aomori started on service in December, 2010. Kyushu Shinkansen between Hakata and Shin-Yatsushiro started on service in March, 2011. Toward these openings, we measured the deflection of girders and confirmed that there was not a problem for running safety and comfort at the high speed run of Shinkansen vehicles. The deflection of the concrete girders was extremely smaller than the design. We thought one of the causes was the value of the impact load, and there was difference with a design level and the actual value of the impact factor (the ratio of the impact load for the train load). We report the deflection of the simple PC girders and the examination to calculate the impact factor for the future Shinkansen structures.

Key words : High-Speed Railway, Girder deflection, Impact Factor, Natural frequency

1. はじめに

鉄道・運輸機構では北海道、東北、北陸、九州の4つの線区の整備新幹線建設を実施している。このうち、東北新幹線、八戸・新青森間が平成22年12月、九州新幹線、博多・新八代間が平成23年3月に開業した。開業に向け、鉄道・運輸機構ではJR各社の協力のもと平成22年4月より、新設構造物となるPC (PPC) 桁および鋼桁のたわみ測定を実施してきた。その結果、これらの構造物が新幹線車両の高速走行において走行安全性および乗り心地に対して問題がないことを確認した。コンクリート構造の桁については、たわみの測定結果が設計たわみよりもごく小さかった。その原因の一つが衝撃荷重の大きさであり、衝撃係数(列車荷重に対する衝撃荷重の比率)の設計値と実測値には相違があるものと考えた。

本稿は、前半に単純PC桁のたわみ測定結果について報告し、後半では今後の新幹線構造物の桁の設計において、衝撃係数を精度よく算定するために実施した検討事項について述べるものである。

2. 構造物の概要

東北新幹線、八戸・新青森間の工事延長は81.2kmあり、このうち橋梁は3.8km、高架橋は14.7kmとなっている。単純PC桁の内訳は、PCT形桁69連、PC箱形桁5連、PC下路桁5連、PCホロー桁2連である。

九州新幹線、博多・新八代間の工事延長は121.1kmあり、このうち橋梁は16.9km、高架橋は60.7kmとなっている。

単純PC桁の内訳は、PCT形桁344連、PC箱形桁31連、PCホロー桁2連、PC下路桁17連(そのうち、ランガー桁が2連)である。各線区の概要を表-1に示す。

開業した2線区のPC桁の設計には「鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)」の平成4年版¹⁾(以下、「H4年RC標準」という)または平成16年版²⁾(以下、「H16年RC標準」という)が適用されている。標準列車荷重は、東北新幹線がN-16およびP-17、九州新幹線がP-16である。

たわみ測定が実施された桁の構造概要を表-2、そのうち代表的なPCT形桁の概況を図-1に示す。

表-1 各線区の概要

| 名称 | 東北新幹線 | 九州新幹線 |
|--------|------------|---------|
| 区間 | 八戸・新青森 | 博多・新八代 |
| 工事延長 | 81.2km | 121.1km |
| 設計速度 | 260km/h | 260km/h |
| 最小基本半径 | 4,000m | 4,000m |
| 最急勾配 | 20‰ | 35‰ |
| 標準列車荷重 | N-16, P-17 | P-16 |

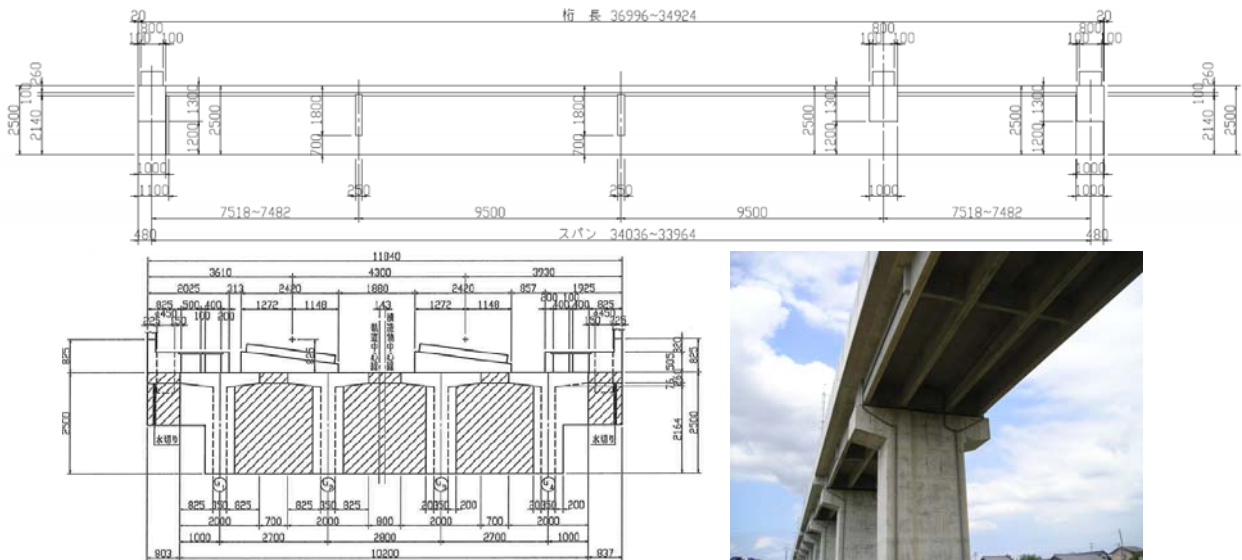


図-1 PCT 形桁の概況

3. 設計たわみの算定

列車の走行に伴い、桁には列車荷重のほか、車両動揺の影響や連行移動荷重の速度効果による動的な応答が加わる。これらの動的応答（衝撃荷重）の静的応答（列車荷重）に対する増加割合が衝撃係数である。衝撃荷重は列車荷重に衝撃係数を掛けた値であり、活荷重によるたわみの算定では、列車荷重と衝撃荷重を加算して求める。衝撃係数の算定方法は、「H4年RC標準」と「H16年RC標準」で異なる。

「H4年RC標準」では、終局限界状態の検討に用いる単線載荷時の衝撃係数を式(1)で算定する。使用限界状態の検討に用いる衝撃係数は、式(1)で求めた値の0.75倍である。

$$i = K_a \cdot \sqrt{1 + 10 / (65 + L_b)} \leq 0.6 \quad \dots \text{式(1)}$$

は速度パラメータであり、式(2)で算定する。

$$= v / (7.2 \cdot n_0 \cdot L_b) \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 v は設計最高速度 (km/h)、 n_0 は桁の基本固有振動数 (Hz)、 L_b は桁のスパン長 (m) である。

K_a は列車荷重の種別による係数であり、新幹線荷重の場合、 0.33 では 1.0 、 $0.33 < \dots < 0.4$ では別途検討して定めるものとしている¹⁾。

単純桁の基本固有振動数は、式(3)で算定される。

$$n_0 = \{ \sqrt{2 \cdot L_b^2} \} \times \sqrt{EI \cdot g / D} \quad \dots \text{式(3)}$$

ここに、 EI は桁の曲げ剛性、 g は重力加速度、 D は単位長さ当りの死荷重である。

「H16年RC標準」では、安全性および復旧性の検討に用いる単線載荷時の衝撃係数を式(4)で算定する。使用性の検討に用いる衝撃係数は、式(4)で求めた値の0.75倍である。

$$i = (1 + i_a) (1 + i_c) - 1 \quad \dots \text{式(4)}$$

ここに、 i_a は速度効果の衝撃係数であり、速度パラメータ、車両長 L_v と L_b の比からノモグラム²⁾で求められる。

表-2 測定対象の単純PC桁の構造概要

| No. | 桁形式 | 橋長 L (m) | スパン長 L_b (m) | 桁高 (m) | 桁高 スパン比 |
|-----|-----------|---------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1 | PCT形桁(4主) | 25 | 24.0 | 2.0 | 1/12.0 |
| 2 | PCT形桁(4主) | 30 | 29.0 | 2.3 | 1/12.6 |
| 3 | PCT形桁(4主) | 30 | 28.9 | 2.1 | 1/13.8 |
| 4 | PCT形桁(4主) | 30 | 29.0 | 1.9 | 1/15.3 |
| 5 | PCT形桁(4主) | 35 | 34.0 | 2.5 | 1/13.6 |
| 6 | PCT形桁(8主) | 38 | 37.0 | 1.9 | 1/19.5 |
| 7 | PCT形桁(6主) | 40 | 39.0 | 2.6 | 1/15.0 |
| 8 | PCT形桁(6主) | 45 | 44.2 | 2.9 | 1/15.2 |
| 9 | PC箱桁(1室) | 47 | 45.6 | 2.5 | 1/18.2 |
| 10 | PC箱桁(1室) | 50 | 48.5 | 3.3 | 1/14.7 |
| 11 | PCT形桁(9主) | 22 | 21.0 | 1.3 | 1/16.2 |
| 12 | PCT形桁(5主) | 30 | 29.0 | 2.1 | 1/13.8 |
| 13 | PCホロー桁 | 30 | 29.0 | 1.5 | 1/19.3 |
| 14 | PCT形桁(4主) | 35 | 34.0 | 2.4 | 1/14.2 |
| 15 | PCT形桁(9主) | 45 | 44.0 | 2.9 | 1/15.2 |
| 16 | PCT形桁(6主) | 45 | 44.0 | 2.9 | 1/15.2 |
| 17 | PC箱桁(2室) | 45 | 43.5 | 2.4 | 1/18.1 |
| 18 | PC箱桁(3室) | 60 | 58.0 | 3.9 | 1/14.9 |
| 19 | PC下路桁 | 60 | 58.2 | 5.0 | 1/11.6 |
| 20 | PC箱桁(1室) | 60 | 58.4 | 3.9 | 1/15.0 |
| 21 | PC下路ランガー桁 | 68 | 66.2 | 1.4 (11.0) ²⁾ | 1/47.3 (1/6.0) ³⁾ |

1) No.1~10は東北新幹線、No.11~21は九州新幹線の桁である。

2) アーチの高さ(桁下面~アーチ頂部)である。

3) スパンとアーチの高さとの比である。

i_c は車両動揺の衝撃係数であり、式(5)で算定される。

$$i_c = 10 / (65 + L_b) \quad \dots \text{式(5)}$$

4. たわみ測定

4.1 測定方法

桁のたわみ測定方法には、リング式変位計による測定方法(以下、「リング式変位計測」という)とビデオカメラを用いた測定方法(以下、「VTR式変位計測」という)の2通りがある。

リング式変位計測は、桁のスパン中央からピアノ線を鉛直方向に張り、ピアノ線の変位からたわみを測定する方法である。VTR式変位計測は、桁側面にターゲットを貼り、地上部からターゲットをVTRで撮影して、ターゲットの変位を画像解析してたわみを測定する方法である。

リング式変位計測およびVTR式変位計測の測定概要および設置状況をそれぞれ、図-2、図-3に示す。今回のたわみ測定では、基本的にはリング式変位計測を採用し、桁下に河川がある場合や測定時に桁下道路の交通止めが不可能な場合にはVTR式変位計測を適用した。

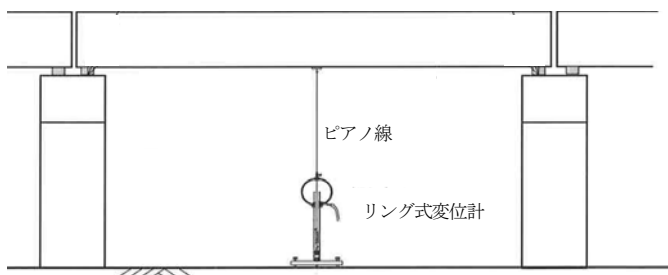


図-2 リング式変位計による測定状況

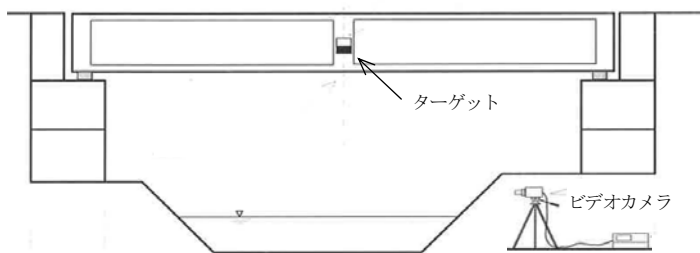


図-3 VTR式変位計測による測定状況



4.2 測定結果

たわみ測定では走行試験車両を 30km/h, 200km/h, 260km/h の3ケースについて走行させた。東北新幹線の走行試験車両は 30km/h 走行が EAST-i, 200km/h および 260km/h 走行が E2 系である。九州新幹線の走行試験車両は、30km/h, 200km/h, 260km/h 走行とも N700 系である。走行試験車両の編成、軸重および軸配置を表-3に示し、たわみ測定結果を表-4に示す。

表-3 走行試験車両の編成および軸配置

| 走行試験車両 | 編成 | 軸重 | 軸配置 |
|--------|-----|------------|----------------------------|
| EAST-i | 6両 | 10.5~12.4t | 2.25m+11.9m+2.25m+4.1m+... |
| E2系 | 10両 | 10.0~11.6t | 2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+... |
| N700系 | 8両 | 11.0t | 2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+... |

4.3 静的たわみの算定

「H16年RC標準」によると、30km/h 走行時の実測たわみ $_{30}$ には、式(5)で算定される車両動揺の衝撃係数 i_c が含まれる。そこで、 $_{30}$ から静的たわみ $_0$ を算定するため、以下に示す換算を行った。

式(4)において、0km/h, 30km/h 走行時の i_a をそれぞれ $i_{a,0} = 0, i_{a,30} = 0, i$ をそれぞれ i_0, i_{30} とすると、 $i_0 = i_c, i_{30} = i_c$ がえられる。 $i_{30} = _{30} / _0 - 1 = i_c$ なので $_0 = _{30} / (1 + i_c)$ となる。したがって 30km/h 走行時の実測たわみ $_{30}$ から静的たわみ $_0$ を算定するには、近似的に $_{30}$ を $1 + i_c$ で割戻すこととした。

また、東北新幹線の測定結果については、EAST-i による 30km/h 走行時のたわみ $_{EL,30}$ を E2 系の静的たわみ $_{E2,0}$ に変換する必要がある。そこで、 $_{E2,0}$ については桁を単純梁にモデル化し、梁に EAST-i および E2 系を連行移動荷重させたときスパン中央に生じる曲げモーメントの比を用いて式(6)により算定した。

$$E_{2,0} = E_{L,30} \cdot (M_{E2} / M_{EI}) / (1 + i_c) \quad \dots \text{式 (6)}$$

ここに、 $E_{L,30}$ はEAST-iによる30km/h走行時のたわみ、 M_{E2} と M_{EI} は桁にそれぞれE2系、EAST-iを連行移動載荷させたとき支間中央に生じる曲げモーメントの最大値である。

同様に、九州新幹線のN700系による静的たわみ $N_{700,0}$ については、式(7)により算定した。

$$N_{700,0} = N_{700,30} / (1 + i_c) \quad \dots \text{式 (7)}$$

4.4 たわみの照査

使用限界状態の設計たわみは、標準列車荷重を260km/h走行で単線載荷させたときのたわみである。その限界値 lim は、鉄道構造物等設計標準(変位制限)³⁾に示される乗り心地の照査を行う場合に適用する算定式から求められる。算定式は桁のスパン長 L_b により、 $L_b < 20m$ では $lim = L_b / 2200$ 、 $L_b \geq 20m$ では $lim = L_b / 1700$ である。

表-4 たわみの測定結果と設計値および限界値

| No. | 桁形式 | 車両動揺 i_c | 静的たわみ(mm) | 実測たわみ(mm) | | | 使用限界状態のたわみ(mm) | |
|-----|-----------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| | | | | 30km/h | 200km/h | 260km/h | 設計値 | 限界値 |
| 1 | PCT形桁(4主) | 0.112 | 1.14 | 1.46 | 1.41 | <u>1.54</u> | 8.60 (0.18) | 14.1 (0.11) |
| 2 | PCT形桁(4主) | 0.106 | 2.09 | 2.62 | <u>2.55</u> | 2.31 | 11.8 (0.22) | 17.1 (0.15) |
| 3 | PCT形桁(4主) | 0.106 | 1.96 | 2.43 | 2.27 | <u>2.36</u> | 11.6 (0.20) | 17.0 (0.14) |
| 4 | PCT形桁(4主) | 0.106 | 1.53 | 1.89 | 1.92 | <u>2.02</u> | 12.5 (0.16) | 17.1 (0.12) |
| 5 | PCT形桁(4主) | 0.101 | 1.65 | 2.13 | 1.88 | <u>2.13</u> | 11.1 (0.19) | 20.0 (0.11) |
| 6 | PCT形桁(8主) | 0.098 | 1.38 | 1.89 | <u>1.28</u> | 1.21 | 19.6 (0.07) | 21.8 (0.06) |
| 7 | PCT形桁(6主) | 0.096 | 2.25 | 3.05 | 2.29 | <u>2.52</u> | 18.9 (0.13) | 22.9 (0.18) |
| 8 | PCT形桁(6主) | 0.092 | 2.38 | 3.28 | 2.85 | <u>4.06</u> | 20.2 (0.20) | 26.0 (0.16) |
| 9 | PC箱桁(1室) | 0.090 | 2.37 | 3.29 | 2.85 | <u>3.63</u> | 15.5 (0.23) | 26.8 (0.14) |
| 10 | PC箱桁(1室) | 0.088 | 2.20 | 2.95 | 2.41 | <u>3.07</u> | 10.6 (0.29) | 28.5 (0.11) |
| 11 | PCT形桁(9主) | 0.116 | 1.42 | 1.59 | — | <u>1.50</u> | 9.00 (0.17) | 12.4 (0.12) |
| 12 | PCT形桁(5主) | 0.106 | 1.56 | 1.72 | — | <u>2.03</u> | 5.80 (0.35) | 17.1 (0.12) |
| 13 | PCホロー桁 | 0.106 | 1.32 | 1.46 | <u>1.51</u> | — | 6.28 (0.24) | 17.1 (0.09) |
| 14 | PCT形桁(4主) | 0.101 | 1.96 | 2.16 | — | <u>2.48</u> | 10.6 (0.23) | 20.0 (0.12) |
| 15 | PCT形桁(9主) | 0.092 | 2.55 | 2.78 | — | <u>3.28</u> | 11.6 (0.28) | 25.9 (0.13) |
| 16 | PCT形桁(6主) | 0.092 | 2.60 | 2.84 | 3.20 | <u>3.70</u> | 11.6 (0.32) | 25.9 (0.14) |
| 17 | PC箱桁(2室) | 0.092 | 1.79 | 1.96 | <u>2.02</u> | — | 8.65 (0.23) | 25.6 (0.08) |
| 18 | PC箱桁(3室) | 0.081 | 1.44 | 1.56 | 1.29 | <u>1.32</u> | 4.90 (0.27) | 34.1 (0.04) |
| 19 | PC下路桁 | 0.081 | 1.45 | 1.57 | 1.46 | <u>1.60</u> | 5.52 (0.29) | 34.2 (0.05) |
| 20 | PC箱桁(1室) | 0.081 | 2.98 | 3.22 | <u>3.43</u> | 3.25 | 10.8 (0.32) | 34.4 (0.10) |
| 21 | PC下路ランガー | 0.076 | 1.19 | 1.28 | <u>1.28</u> | 1.25 | 3.90 (0.33) | 38.9 (0.03) |

注1) No.1~No.10は東北新幹線、No.11~No.21は九州新幹線の桁である。

注2) 実測たわみは、上り線と下り線の各走行結果から、軌道直下におけるたわみを記載した。

注3) No.1~No.10の実測たわみは30km/hがEAST-i、200km/hおよび260km/hがE2系による結果である。

注4) No.11~No.21の実測たわみはN700系(8両)による結果である。

注5) ※を付した実測たわみはNo.13が150km/h、No.17が125km/h走行時の値である。

注6) たわみの限界値には、変位制限標準の乗り心地の照査(260km/h、複数連)を適用した。

注7) ()は30km/hを除く最も大きい実測たわみ(下線の数値)の判定値である。

5. 衝撃係数

5.1 衝撃係数の実測値および設計値

E2系およびN700系の260km/h走行における衝撃係数の実測値は、たわみの測定結果から、それぞれ、 $E_{2,260} / E_{2,0} - 1$ 、 $N_{700,260} / N_{700,0} - 1$ で算定される。衝撃係数の設計値は、「H4年RC標準」では式(1)、「H16年RC標準」では式(4)から求められる。それぞれの算定式で得られた衝撃係数に0.75倍した値を表-5に示す。なお、式(4)による算定には、鉄道総合技術研究所のノモグラム²⁾を用いた。

No.6、No.18の桁では、衝撃係数の実測値がマイナスとなった。原因については今後の調査が必要である。

図-4に「H4年RC標準」および「H16年RC標準」から求めた衝撃係数の設計値に対する実測値の比較を示す。ただし、実測値がマイナスの桁は除いている。図-4によると「H4年RC標準」で求めた衝撃係数は実測値との乖離も大きく、実測値よりも小さい値を示す桁が存在した。一方、「H16年RC標準」で求め

た衝撃係数は実測値よりも大きく、実測値の殆どが設計値の50%以下となった。その原因として①走行試験時に必ずしも列車が桁の共振発生速度で走行していないこと、②走行試験時の列車編成両数(荷重の繰返し回数)が少ないこと、③設計で仮定した固有振動数が実際の固有振動数よりも低いことの3点が考えられる。本稿ではこのうち、③に着目し、以下に示す補正方法を検討した。

表-5 衝撃係数および固有振動数の比較

| No. | 桁形式 | 衝撃係数 (260km/h) | | | | 固有振動数(Hz) | | 剛性補正係数 |
|-----|-----------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------------|--------|
| | | 実測値 | H4年標準 | H16年標準 | H16(補正) | 理論値 | 測定値 | |
| 1 | PCT形桁(4主) | 0.351 | 0.360(0.97) | 1.090(0.32) | 0.403(0.87) | 3.60 | 6.30 | 3.07 |
| 2 | PCT形桁(4主) | 0.105 | 0.360(0.29) | 1.129(0.09) | 0.163(0.65) | 3.31 | 8.20 | 6.15 |
| 3 | PCT形桁(4主) | 0.204 | 0.592(0.34) | 0.592(0.34) | 0.291(0.70) | 3.54 | 4.69 ² | 1.75 |
| 4 | PCT形桁(4主) | 0.320 | 0.163(1.96) | 0.804(0.40) | 0.291(1.10) | 3.41 | 4.69 ² | 1.89 |
| 5 | PCT形桁(4主) | 0.291 | 0.250(1.16) | 0.827(0.35) | 0.264(1.10) | 2.66 | 4.10 | 2.37 |
| 6 | PCT形桁(8主) | -0.123 | 0.258(-) | 0.328(-) | 0.280(-) | 2.85 | 3.91 | 1.88 |
| 7 | PCT形桁(6主) | 0.120 | 0.369(0.33) | 0.626(0.19) | 0.470(0.26) | 2.33 | 3.40 | 2.13 |
| 8 | PCT形桁(6主) | 0.714 | 0.282(2.53) | 1.175(0.61) | 0.711(1.00) | 1.92 | 3.32 | 3.00 |
| 9 | PC箱桁(1室) | 0.532 | 0.710(0.75) | 1.173(0.45) | 1.173(0.45) | 2.16 | 2.73 | 1.60 |
| 10 | PC箱桁(1室) | 0.395 | 0.305(1.30) | 1.195(0.33) | 0.683(0.58) | 2.34 | 3.20 | 1.87 |
| 11 | PCT形桁(9主) | 0.056 | 0.431(0.13) | 0.829(0.07) | 0.322(0.17) | 3.75 | 5.90 | 2.46 |
| 12 | PCT形桁(5主) | 0.301 | 0.450(0.67) | 1.690(0.18) | 0.305(0.99) | 3.22 | 4.45 ² | 1.93 |
| 13 | PCホロー桁 | 0.061 ¹ | 0.319(-) | 0.305(-) | 0.305(-) | 3.90 | 4.30 | 1.21 |
| 14 | PCT形桁(4主) | 0.265 | 0.378(0.70) | 0.827(0.32) | 0.280(0.95) | 2.62 | 3.91 | 2.22 |
| 15 | PCT形桁(9主) | 0.286 | 0.348(0.82) | 1.175(0.24) | 1.175(0.24) | 2.20 | 3.05 ² | 1.93 |
| 16 | PCT形桁(6主) | 0.423 | 0.362(1.17) | 1.175(0.36) | 1.175(0.36) | 2.09 | 3.13 | 2.22 |
| 17 | PC箱桁(2室) | 0.128 ¹ | 0.305(-) | 0.973(-) | 0.634(-) | 2.64 | 3.10 | 1.37 |
| 18 | PC箱桁(3室) | -0.031 | 0.269(-) | 0.554(-) | 0.554(-) | 2.24 | 2.81 ² | 1.56 |
| 19 | PC下路桁 | 0.103 | 0.241(0.43) | 0.554(0.19) | -(-) | 2.58 | - | - |
| 20 | PC箱桁(1室) | 0.091 | 0.306(0.30) | 0.554(0.16) | 0.554(0.16) | 1.89 | 2.70 | 2.04 |
| 21 | PC下路ランガー | 0.050 | 0.252(0.20) | 0.261(0.19) | 0.261(0.19) | 2.10 | 3.05 ² | 2.10 |

注1) No.1~No.10は東北新幹線, No.11~No.21は九州新幹線の桁である。
 注2) 「H16(補正)」とは、実測固有振動数を用いて「H16年RC標準」から算定した衝撃係数である。
 注3) ()内は、設計値に対する実測値の割合である。
 注4) ※1を付した実測衝撃係数はNo.13が150km/h, No.17が125km/h走行に対する値である。
 注5) ※2は、衝撃振動試験で測定した固有振動数である。

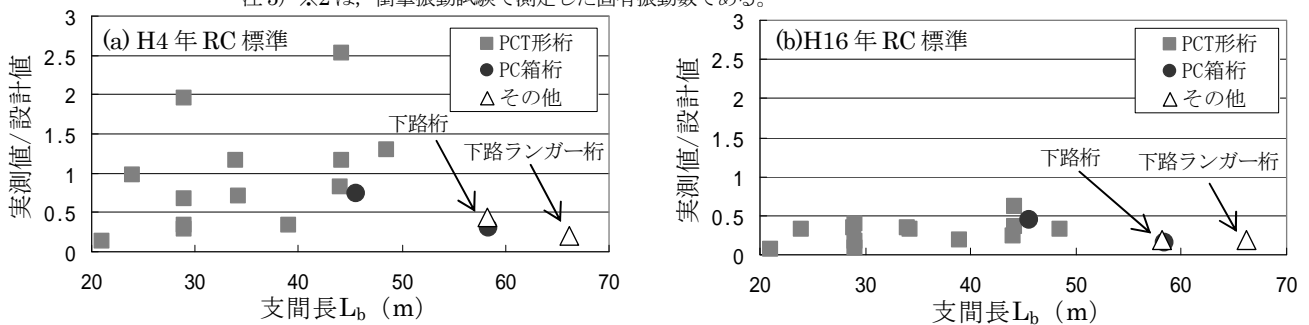


図-4 衝撃係数の設計値と実測値の比較

5.2 実測固有振動数の算定

式(4)に含まれる速度効果の衝撃係数 i を算定する際に必要となる速度パラメータは、桁の基本固有振動数 n_0 の影響を受けるものと考えられる。したがって、基本固有振動数の理論値と実測値とに乖離がある場合には適切な衝撃係数が算定されない可能性がある。

そこで、たわみの時刻歴波形または桁の衝撃振動試験の結果から桁の実測固有振動数を求めることとした。実測固有振動数の算定結果を既出の表-5に、式(3)で求めた理論値と実測値の比較を図-5に示す。図-5に示すように実測値の方が理論値よりも50%程度高い結果となった。その原因として以下の理由が考えられる。

桁上面には路盤コンクリート、軌道、防音壁およびダクトなどがあるが、桁の設計にはこれらを有効断面に加えていない。しかし実際はこれらの部材が桁剛性に寄与するため、実測固有振動数は理論値よりも高い値を示す。

固有振動数の算定に用いる弾性係数は、コンクリートの設計基準強度から求めているが、コンクリートの実強度はこれよりも高いため、実際の弾性係数も設計値より大きい値を示す。

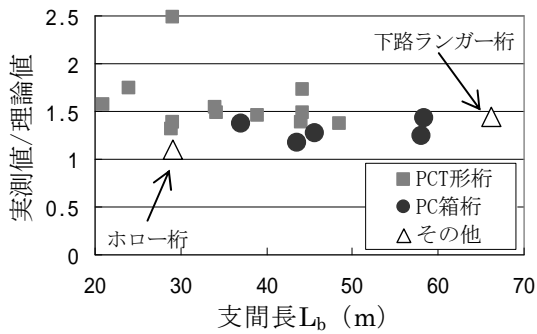


図-5 固有振動数の理論値と実測値の比較

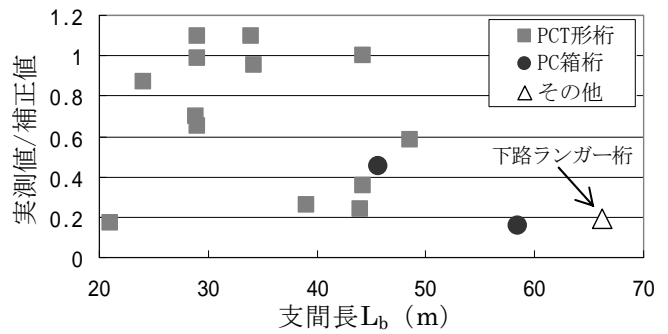


図-6 衝撃係数の補正值と実測値の比較

5.3 実測固有振動数を用いた衝撃係数の補正

前項の推察を基に、実測固有振動数を用いて「H16年RC標準」から衝撃係数の補正値を算定した。その結果を既出の表-5に示し、補正値と実測値の比較を図-6に示す。図-6によると補正値よりも実測値の方が若干大きい値を示す桁はあるが補正前よりも実測値に近い値を示している。

5.4 提案する衝撃係数の算定方法

実測固有振動数 n を用いて「H16年RC標準」で算定した衝撃係数は、実測値に近い値を示すことから、式(3)で算定される設計固有振動数 n_0 が n に一致するよう、桁の曲げ剛性 EI に補正係数 k を掛けて $k \cdot EI$ とすると、 $k = (n/n_0)^2$ が得られる。以下、 k を剛性補正係数と呼ぶことにする。求めた剛性補正係数を既出の表-5に示す。また、剛性補正係数を桁の構造形式で区分すると表-6となる。

表-6 剛性補正係数の範囲

| | |
|----------|---------|
| 単純PCT形桁 | 1.9~6.2 |
| 単純PC箱桁 | 1.4~2.0 |
| 単純PCホロー桁 | 1.2 |
| PCランガー桁 | 2.1 |

表-6によると、剛性補正係数は桁の構造形式で差異があり、PCT形桁の最小値は2.0程度、PC箱桁の最小値は1.5程度となった。PCホロー桁およびPCランガー桁は、1橋ずつの測定結果となるが、剛性補正係数はそれぞれ1.2、2.1となった。

以上より、単純PCT形桁および単純PC箱桁を設計する場合には、剛性補正係数を用いて桁の固有振動数を算出し、これを用いて「H16年RC標準」で衝撃係数を算定すれば、実測値に近い衝撃係数が得られ、従来よりも活荷重によるたわみを精度よく算定できるものと考えられる。

6. まとめ

新幹線複線単純PC桁の走行試験によるたわみ測定を実施し、衝撃係数の実測値と設計値について比較検討を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 「H4年RC標準」で求めた衝撃係数は、たわみの実測値から求めた衝撃係数よりも小さい値を示す桁がある。しかし、これらの桁の実測たわみは「H16年RC標準」で求めた設計たわみの30%程度以下であり、実測衝撃係数の方が設計値より大きくても走行安全性および乗り心地に対して問題はない。
- 2) 「H16年RC標準」で求めた衝撃係数は、設計固有振動数を用いた場合、たわみの実測値から求めた衝撃係数よりもやや大きい値を示す。
- 3) 「H16年RC標準」に実測固有振動数を用いて算定した衝撃係数は、たわみの実測値から求めた衝撃係数に近い値を示す。
- 4) 「H16年RC標準」を用いて桁の設計を行う場合、衝撃係数の設計値を実際の衝撃係数に近づけるには、剛性補正係数で補正した固有振動数を用いる方法が有効と考えられる。
- 5) 剛性補正係数は、桁の構造形式ごとに差異があり、PCT形桁の最小値は2.0程度、PC箱桁の最小値は1.5程度である。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物)，丸善，1992.10
- 2) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物)，丸善，2004.4
- 3) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 (変位制限)，丸善，2006.2