

論文 整備新幹線における単純PC桁の たわみ測定結果に関する考察

石川 太郎¹・西 恭彦²・進藤 良則³

¹正会員 鉄道・運輸機構 設計部 (〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1)
E-mail: ishikawa.tar-65ba@jrnt.go.jp

²正会員 鉄道・運輸機構 設計部 (〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町6-50-1)
E-mail: nishi.tak-67y6@jrnt.go.jp

³正会員 鉄道・運輸機構 九州新幹線建設局 (〒812-8622 福岡県福岡市博多区祇園町2-1)
E-mail:shindo.yos-3z2v@ jrnt.go.jp

既開業の整備新幹線の延長は、平成29年2月現在、930kmに達し、その約32%が橋梁・高架橋である。開業前に実施する実車走行による桁のたわみ測定では、橋梁・桁が走行安全性および使用性（乗り心地）について問題がないことを確認する。既開業の北海道新幹線、東北新幹線、北陸新幹線ならびに九州新幹線で測定した桁のたわみの値は、いずれも設計値より小さい値であった。その要因として橋面上の地覆や路盤RCなどの非構造部材が桁剛性に寄与していることが考えられた。そこで、筆者らは、たわみの時刻歴波形から得た桁の固有振動数が設計値よりも高いことに着目し、各桁の実測剛性倍率（固有振動数の設計値に対する実測値の比の2乗）を算出した。桁の構造種別ごとに剛性倍率の適正値を考慮することで衝撃係数の算定精度が向上したことから、本手法を整備新幹線のコンクリート橋梁の設計に取り入れたので本稿で述べる。

Key Words : *high speed train, girder deflection, impact factor, rigidity magnification*

1. はじめに

鉄道・運輸機構（以下、機構）では北海道、東北、北陸、九州の4線の整備新幹線を建設し、現在も北海道、北陸、九州で建設を進めている。既開業区間では、事前に実車走行による桁のたわみ測定を行い、走行安全性および乗り心地に問題がないことを確認した。平成14年に開業した東北新幹線（盛岡・八戸間）ならびに平成16年に開業した九州新幹線（八代・鹿児島中央間）の単純PC桁は、たわみの実測値が設計値よりもごく小さい結果であった。その一要因として地覆や路盤RC等、非構造部材の付加剛性が衝撃作用を低減する効果があげられる。そこで、機構では平成16年以降の単純PC桁の設計では、衝撃係数を算定する場合に限り、桁の曲げ剛性に剛性補正係数（表-1）を乗じて非構造部材の剛性を付加している¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。本稿は整備新幹線の近年開業した線区における単純PC桁のたわみ測定結果を交えて、実測結果より算定した剛性倍率から剛性補正係数の妥当性と設計計算上の効果を再度検証したものである。

表-1 単純桁の剛性補正係数

桁の構造種類	剛性補正係数
単純PC箱桁	1.5
単純PCT形桁	2.0

2. 単純PC桁の概要

(1) 構造概要

単純PC箱桁およびPCT形桁の横断面を図-1に示す。図中に網掛けで示した路盤や地覆などが非構造部材である。単純PCT形桁の桁長は20m～45mであり、桁長35m以下は4主桁、45m以下は6主桁である。桁高は雪荷重や路盤の構造に応じて各線区で相違がある。PC箱桁は桁長が45mを超え、場所打ち施工が可能な箇所に応用する。桁下空頭がPCT形桁とPC箱桁では確保できない箇所はPCローラー桁やPC下路桁を適用する。PC下路桁で桁長が60mを超える場合はランガー構造となる。

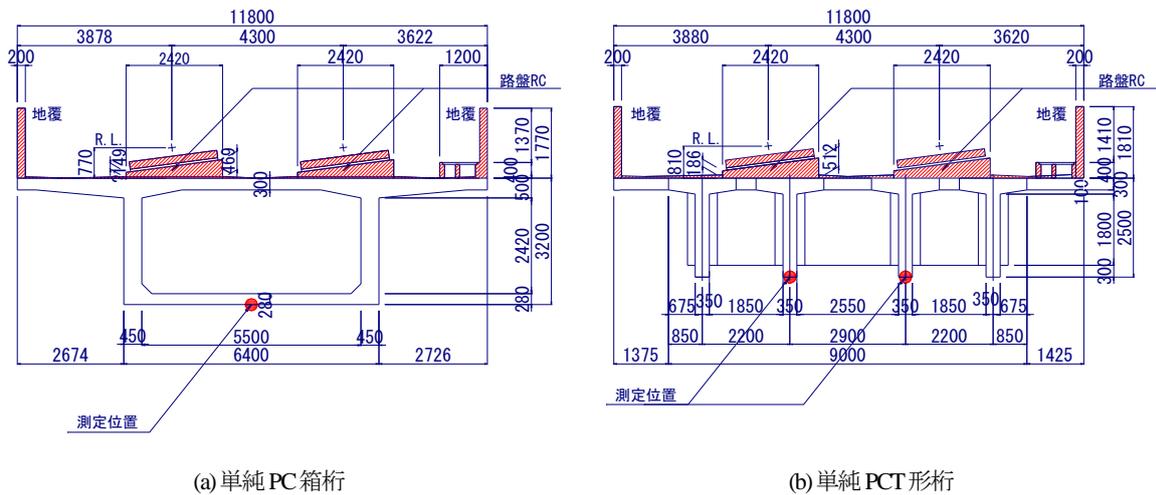


図-1 単純PC桁の断面

(2) 設計概要

PC桁の設計には平成16年以前は「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⁵⁾（以下、「RC標準H4」），それ以降は平成16年版⁶⁾（以下、「RC標準H16」）を適用している。

a) 衝撃係数の算定

衝撃係数は、動的な衝撃荷重の静的応答（列車荷重）に対する割合であり、「RC標準H4」と「RC標準H16」では算定方法に相違がある。「H4年RC標準」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。

$$i = K_a \cdot \alpha + \frac{10}{65 + L_b} \leq 0.6 \quad (1)$$

使用限界状態の検討に用いる衝撃係数は、式(1)で算定した値の0.75倍である。 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、 $\alpha \leq 0.33$ では1.0、 $0.33 < \alpha < 0.4$ では別途検討して定める。 α は速度パラメータであり、式(2)で算定する。

$$\alpha = \frac{v}{7.2n_0 \cdot L_b} \quad (2)$$

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。

b) 桁の固有振動数

基本固有振動数は、式(3)で算定する。

$$n_0 = \frac{\pi}{2L_b^2} \cdot \sqrt{\frac{EI \cdot g}{D}} \quad (3)$$

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。

「RC標準H16」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。

$$i = (1 + i_a)(1 + i_c) - 1 \quad (4)$$

使用性の検討に用いる衝撃係数は、式(4)で算定した値の0.75倍である。ここに、 i_a は速度効果の衝撃係数であり、式(2)で算定した速度パラメータ α 、車両長 L_v と L_b の比からノモグラムを使って求める。

i_c は車両動揺の衝撃係数であり、式(5)で算定する。

$$i_c = \frac{10}{65 + L_b} \quad (5)$$

3. 活荷重による桁のたわみ測定

(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方法（以下、「リング式変位計測」）とビデオカメラを用いた測定（以下、「VTR式変位計測」）、Uドップラーによる方法がある。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。これまでに整備新幹線で実施した単純桁のたわみ測定は、リング式変位計測を基本とし、桁下にリング式変位計が設置できない場合はVTR式変位計測とした。

(2) 測定条件

たわみ測定に使用した試験車両の諸元を表-2に示す。たわみ測定は、走行速度30km/h、200km/h、260km/hの順に実施した。

表-2 走行試験車両の諸元と走行速度

試験車両	車両長	編成	軸重	軸配置	走行速度(km/h)			線区
					30	200	260	
H5系	25m	10両	11t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	実施	実施	実施	北海道
EAST-i	20m	6両	10.8~14.9t	2.25m+11.9m+2.25m+4.1m+...	実施	—	—	東北・北陸
E2系	25m	10両	10.1~11.7t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	—	実施	実施	東北
E7系	25m	12両	10.3~11.6t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	—	実施	実施	北陸
N700系	25m	8両	11t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	実施	実施	実施	九州
P-16 (軸配置はH荷重)			16t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	—	—	設計	北海道・北陸・九州
P-17 (軸配置はH荷重)			17t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m+...	—	—	設計	東北

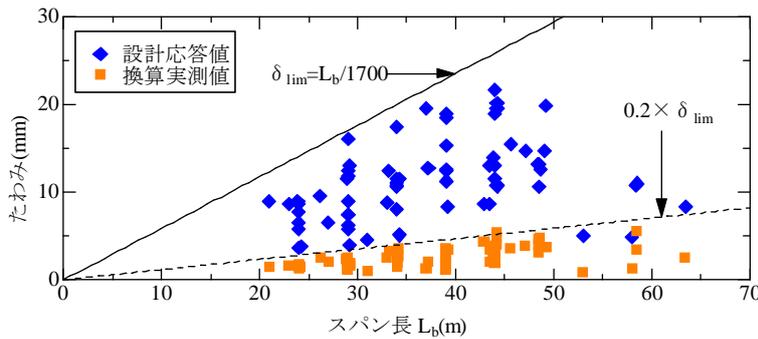


図-3 単純PC桁のスパン長とたわみの関係

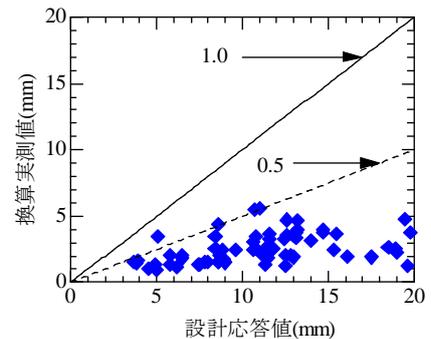


図-4 たわみの設計応答値と換算実測値

4. 測定結果とその評価

(1) たわみの実測値と限界値

a) たわみの実測値

たわみ測定は単線走行で実施するため、「RC標準H16」の使用性（乗り心地）ならびに「RC標準H4」の使用限界状態を検討する際の荷重条件に近い。しかし、走行試験車両の軸重・軸配置は、設計で用いる標準活荷重P-16およびP-17の軸重ならびにH荷重（新幹線標準列車荷重）の軸配置と相違するため、実測値を設計条件の軸重・軸配置と等価なたわみに換算する必要がある。換算方法は、桁を単純梁でモデル化し、走行試験車両の軸重・軸配置のケースと設計条件の軸重・軸配置のケースで連行移動載荷した際の両者の最大たわみの比を実測たわみに乗じた。本稿では、実測たわみを前述の方法で換算して求めたたわみを「換算実測値」と称するものとする。図-3にたわみの換算実測値を示す。

b) たわみの限界値

使用性（乗り心地）に対するたわみの限界値 δ_{lim} は、「鉄道構造物等設計標準（変位制限）」⁷⁾（以下、「変位制限標準」）に示された制限値とし、 $L_b \geq 20m$ の場合は $\delta_{lim} = L_b / 1700$ で算定した。なお、RC桁など $L_b < 20m$ の場合は $\delta_{lim} = L_b / 2200$ で算定する。

たわみの換算実測値は図-3に示すとおり、限界値に対して20%程度以下であった。また、たわみの換算実測値は、図-4に示すとおり設計応答値の50%程度以下であった。

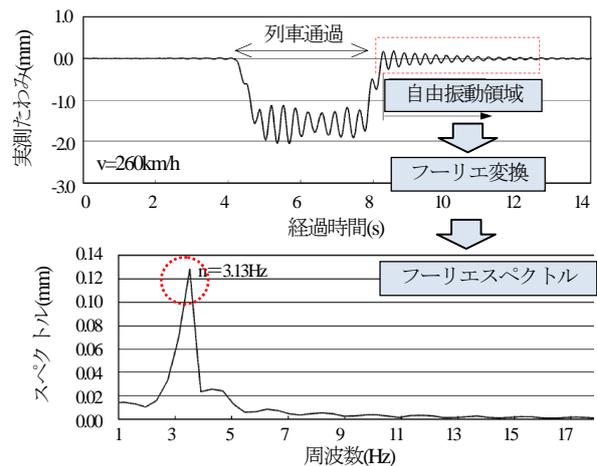


図-5 たわみの時刻歴波形と実測固有振動数の推定

たわみの換算実測値が設計応答値よりも小さい要因として、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) 設計時の固有振動数よりも実際の固有振動数の方が高いこと、以上の3点が考えられる。本稿は、3)の固有振動数の相違について検討を行う。

(2) 桁の固有振動数と剛性倍率

a) 実測固有振動数

前述の3)に着目し、桁の実測固有振動数 n_{meas} を算定する。算定方法は、たわみの時刻歴波形のうち、最後尾車両が桁上から抜けた後の自由振動領域に対してフーリエ解析を行い、フーリエスペクトルから実測固有振動数

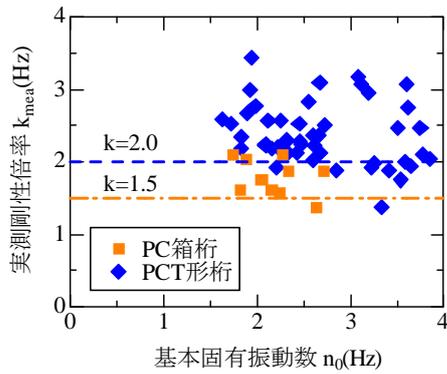


図-7 実測剛性倍率の結果

n_{mea} を推定した(図-5)。

b) 剛性倍率

基本固有振動数 n_0 と実測固有振動数 n_{mea} の関係を求める。そこで、式(3)の n_0 を n_{mea} 、 EI を実測剛性倍率を乗じた $k_{mea}EI$ に置き換えると式(6)をえる。

$$n_{mea} = \frac{\pi}{2L_b} \cdot \sqrt{\frac{k_{mea} EI \cdot g}{D}} \quad (6)$$

式(6)を k_{mea} について解くと式(7)を得る。

$$k_{mea} = (n_{mea} / n_0)^2 \quad (7)$$

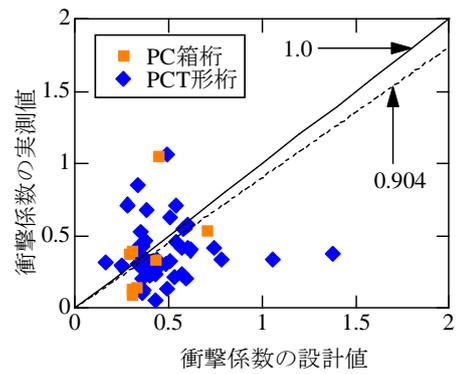
図-7に実測剛性倍率 k_{mea} の結果を示す。剛性補正係数 k (PC箱桁は1.5, PCT形桁は2.0) は、実測剛性倍率 k_{mea} の最小値をおおむね満たしている。これについて、図-1に示す桁を例に断面の試算による確認を行った結果を表-3, 表-4に示す。構造部材のみ考慮した場合の断面二次モーメントの値に対する、非構造部材まで考慮した場合の値の比率は、PC箱桁で1.64倍、PCT形桁で2.10倍となっている。これは図-7に示す実測剛性倍率および、設計で用いる剛性補正係数との大小関係と調和的な結果であり、桁剛性に対する非構造部材の寄与を示すものである。

(3) 衝撃係数の評価

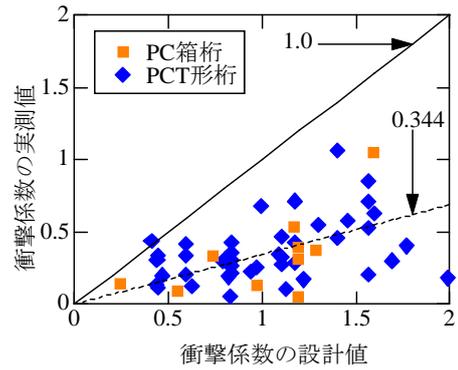
実測衝撃係数の算定補法について説明する。まず、30km/h走行時のたわみ δ_{30} から式(8)で静的に列車を載荷した場合のたわみ δ_0 を算定する。

$$\delta_0 = \frac{\delta_{30}}{i_c + 1} \quad (8)$$

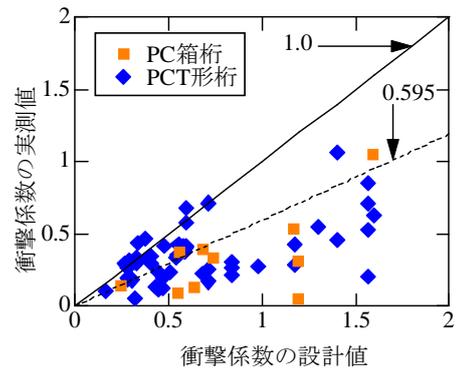
次に、200km/hおよび260km/h走行時のそれぞれの実測たわみ δ_{200} , δ_{260} を式(8)で算定したたわみ δ_0 で除して1を減じた値、すなわち $\delta_{200} / \delta_0 - 1$, $\delta_{260} / \delta_0 - 1$ を求める。これらの大小を比較し、大きい方の値を実測衝撃係数の値とした。表-5, 表-6にそれぞれ単純PC箱桁, 単純PCT形桁のたわみ, 固有振動数および衝撃係数の設計値と実測値を示す。また、図-8に「RC標準H4」および「RC標準H16」から求めた衝撃係数の設計値と実測値の比較を



(a) RC標準H4年



(b) RC標準H16年



(c) RC標準H16年(剛性補正後)

図-8 衝撃係数の比較

示す。「RC標準H4」で求めた衝撃係数は、実測値が設計値を大きく上まわる桁が存在した。衝撃係数の設計値に対する実測値の比は、標本数53連で平均値は0.904であった(図-8(a))。一方、「RC標準H16」で剛性補正係数を考慮せずに求めた衝撃係数は、実測値が設計値を大きく上まわる桁はなかった。衝撃係数の設計値に対する実測値の比は、標本数61連で平均値は0.344であった(図-8(b))。「RC標準H16」で剛性補正係数を考慮して衝撃係数を算定すると衝撃係数の設計値に対する実測値の平均値は0.595となり、設計でより実測結果に近く、かつ概ね安全側の衝撃係数の値を算定していることが確認された(図-8(c))。

表-3 単純PC箱桁の断面二次モーメントの試算例

		各部材				全体		
		断面積	断面二次モーメント	図心位置 ※1	ヤング率	断面積	断面二次モーメント	図心位置 ※1
部 材 構 造	主桁	$A_0(\text{m}^2)$ 5.88	$I_0(\text{m}^4)$ 8.66	$e'_0(\text{m})$ 1.44	$E(\text{N}/\text{mm}^2)$ 3.1×10^{10}	$A_1(\text{m}^2)$ 7.93	$I_1(\text{m}^4)$ 11.05	$e_1(\text{m})$ 1.12
	スラブ	2.05	2.93×10^2	0.196	3.1×10^{10}			
非 構 造 部 材 を 含 む	主桁	$A_0(\text{m}^2)$ 5.88	$I_0(\text{m}^4)$ 8.66	$e'_0(\text{m})$ 1.44	$E(\text{N}/\text{mm}^2)$ 3.1×10^{10}	$A_2(\text{m}^2)$ 11.27	$I_2(\text{m}^4)$ ※2 18.13	$e_2(\text{m})$ 0.71
	スラブ	2.05	2.93×10^2	0.20	3.1×10^{10}			
	地覆	0.708	1.85×10^1	-0.89	2.5×10^{10}			
	路盤RC	1.496	1.80×10^2	-0.17	2.5×10^{10}			
	ダクト	0.138	2.09×10^3	-0.22	2.5×10^{10}			
	排水勾配コンクリート	0.138	1.29×10^5	-0.013	2.8×10^{10}			
	軌道スラブ※3	0.844	2.54×10^3	-0.47	3.1×10^{10}			
	レール ※3	0.0075	3.04×10^5	-0.67	2.0×10^{11}			
断面二次モーメントの比率				I_2/I_1		1.64		
※1		スラブ上面を基準に下向きを正				※2 $f_d=30\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリート換算		
※3		簡単のため直線区間(カントなし)を想定						

表-4 単純PCT形桁の断面二次モーメント試算例

		各部材				全体		
		断面積	断面二次モーメント	図心位置 ※1	ヤング率	断面積	断面二次モーメント	図心位置 ※1
部 材 構 造	主桁	$A_0(\text{m}^2)$ 4.83	$I_0(\text{m}^4)$ 1.95	$e'_0(\text{m})$ 0.95	$E(\text{N}/\text{mm}^2)$ 3.1×10^{10}	$A_1(\text{m}^2)$ 6.33	$I_1(\text{m}^4)$ 3.70	$e_1(\text{m})$ 0.76
	スラブ	1.50	1.13×10^2	0.15	2.8×10^{10}			
非 構 造 部 材 を 含 む	主桁	$A_0(\text{m}^2)$ 4.83	$I_0(\text{m}^4)$ 1.95	$e'_0(\text{m})$ 0.95	$E(\text{N}/\text{mm}^2)$ 3.1×10^{10}	$A_2(\text{m}^2)$ 10.04	$I_2(\text{m}^4)$ ※2 7.78	$e_2(\text{m})$ 0.37
	スラブ	1.50	1.13×10^2	0.15	2.8×10^{10}			
	地覆	0.724	1.98×10^1	-0.91	2.5×10^{10}			
	路盤RC	1.689	2.44×10^2	-0.19	2.5×10^{10}			
	ダクト	0.138	2.09×10^3	-0.22	2.5×10^{10}			
	排水勾配コンクリート	0.311	1.08×10^4	-0.03	2.8×10^{10}			
	軌道スラブ ※3	0.844	2.54×10^3	-0.51	3.1×10^{10}			
	レール ※3	0.00775	3.04×10^5	-0.71	2.0×10^{11}			
断面二次モーメントの比率				I_2/I_1		2.10		
※1		スラブ上面を基準に下向きを正				※2 $f_d=30\text{N}/\text{mm}^2$ のコンクリート換算		
※3		簡単のため直線区間(カントなし)を想定						

表-5 単純PC箱桁のたわみ、固有振動数および衝撃係数の設計値と実測値

番 号	支間長 (m) L_0	たわみ(mm)				固有振動数 (Hz)		実測 剛性 倍率 k_{mm}	衝撃係数						
		換算実測値		設計値		理論値 n_0	実測値 n_{ms}		RC標準 H4		RC標準 H16				
		0 km/h	260 km/h	応答値 δ_d	限界値 δ_{lim}				設計値	実測/設計	$k=1.0$		$k=1.5$		
1	53.0	0.68	0.93	5.0	31.2	2.71	3.70	1.87	0.376	0.290	1.295	1.288	0.292	0.560	0.671
2	48.6	2.31	4.72	12.6	24.3	2.05	2.70	1.74	1.047	0.451	2.320	1.593	0.657	1.593	0.657
3	58.5	4.15	5.54	11.0	58.5	1.75	2.54	2.10	0.334	0.433	0.771	0.738	0.452	0.738	0.452
4	63.4	2.21	2.53	8.4	37.3	1.82	2.30	1.60	0.141	0.333	0.423	0.243	0.581	0.243	0.581
5	48.5	3.31	4.00	13.2	28.5	2.25	—	—	0.050	—	—	1.195	0.044	1.195	0.044
6	48.4	3.58	4.70	13.2	28.5	2.28	3.30	2.09	0.310	—	—	1.195	0.261	1.195	0.261
7	45.6	2.37	3.63	15.5	26.8	2.16	2.73	1.60	0.532	0.710	0.749	1.173	0.454	1.173	0.454
8	48.5	2.20	3.07	10.6	28.5	2.34	3.20	1.87	0.395	0.305	1.295	1.195	0.331	0.683	0.578
9	43.5	1.79	2.02	8.7	25.6	2.64	3.10	1.37	0.128	0.305	0.420	0.973	0.132	0.634	0.202
10	58.0	1.44	1.32	4.9	34.1	2.24	2.81	1.56	—	0.269	—	0.554	—	0.554	—
11	58.4	2.98	3.43	10.8	34.4	1.89	2.70	2.04	0.091	0.306	0.297	0.554	0.164	0.554	0.164
12	42.9	2.82	4.36	8.6	25.2	1.72	2.73	2.53	0.547	0.582	0.939	1.299	0.421	1.299	0.421

表-6 単純PCT形桁のたわみ、固有振動数および衝撃係数の設計値と実測値

番号	支間長 (m) L_b	たわみ(mm)				固有振動数 (Hz)		実測 剛性 倍率 k_{ms}	衝撃係数						
		換算実測値		設計値		理論値 n_0	実測値 n_{ms}		RC標準H4		RC標準H16				
		0 (km/h)	260 (km/h)	応答値 δ_d	限界値 δ_{lm}				設計値	設計値	実測/ 設計	$k=1.0$		$k=2.0$	
						設計値	実測/ 設計					設計値	実測/ 設計	設計値	実測/ 設計
13	429	2.82	4.36	8.6	25.2	1.72	2.73	2.53	0.547	0.582	0.939	1.299	0.421	1.299	0.421
14	438	—	3.13	14.0	21.9	1.98	3.30	2.77	—	0.508	—	1.567	—	1.567	—
15	240	1.11	1.55	7.8	13.3	3.51	5.50	2.46	0.402	0.617	0.651	1.768	0.227	0.592	0.679
16	390	2.04	2.66	18.5	21.7	1.90	3.10	2.66	0.302	0.481	0.628	0.835	0.361	0.835	0.361
17	290	—	1.32	7.5	16.1	3.09	5.50	3.17	—	0.431	—	3.506	—	0.407	—
18	230	1.28	1.56	8.6	11.7	3.85	5.50	2.04	0.223	0.402	0.555	0.940	0.238	0.680	0.329
19	342	—	2.72	11.5	19.0	2.60	3.70	2.03	—	0.507	—	1.103	—	0.393	—
20	292	1.54	1.90	13.0	16.2	2.67	4.70	3.10	0.236	0.569	0.415	3.505	0.067	0.444	0.532
21	291	1.45	1.94	16.1	14.6	3.26	4.60	1.99	0.338	1.058	0.320	2.252	0.150	0.387	0.874
22	492	2.59	3.77	19.8	19.7	1.62	2.60	2.58	0.456	0.541	0.842	1.404	0.325	1.404	0.325
23	442	2.81	4.80	19.5	22.1	1.83	2.80	2.34	0.706	0.538	1.313	1.566	0.451	1.566	0.451
24	310	0.81	1.06	4.5	18.2	3.59	5.10	2.01	0.308	0.333	0.925	0.441	0.699	0.323	0.955
25	390	2.04	2.48	15.3	19.5	2.12	3.40	2.57	0.217	0.533	0.408	0.835	0.260	0.835	0.260
26	290	1.02	1.33	7.4	14.5	3.65	5.10	1.95	0.299	0.409	0.730	0.789	0.379	0.325	0.919
27	340	1.43	1.89	11.5	17.0	2.60	4.00	2.37	0.322	0.510	0.632	1.103	0.292	0.393	0.819
28	240	0.97	1.38	5.8	12.0	4.22	6.20	2.16	0.419	0.600	0.698	0.592	0.708	0.592	0.708
29	239	1.04	1.64	8.9	14.1	3.62	6.00	2.75	0.579	0.600	0.965	1.454	0.398	0.592	0.978
30	330	1.74	2.47	8.8	19.4	2.55	4.30	2.83	0.418	0.745	0.561	2.248	0.186	0.475	0.879
31	270	1.66	2.05	6.5	12.3	2.98	—	—	0.235	0.426	0.552	4.824	0.049	0.509	0.462
32	392	2.42	3.46	8.4	23.1	2.46	3.71	2.28	0.431	0.344	1.254	0.835	0.516	0.551	0.782
33	442	2.96	5.47	10.7	36.8	2.09	3.13	2.24	0.849	0.333	2.546	1.566	0.542	1.566	0.542
34	242	1.09	1.45	3.8	11.0	4.75	3.71	0.61	0.333	0.783	0.425	0.591	0.563	0.537	0.620
35	342	2.44	3.51	5.1	20.1	3.33	3.91	1.38	0.436	0.355	1.228	0.410	1.064	0.333	1.310
36	292	1.23	1.64	3.9	13.3	3.77	5.47	2.11	0.334	0.435	0.768	0.444	0.752	0.325	1.027
37	440	1.60	1.92	21.7	25.9	2.16	3.20	2.19	0.202	0.360	0.560	1.567	0.129	1.567	0.129
38	390	1.10	1.39	11.3	22.9	2.13	—	—	0.267	0.404	0.661	0.835	0.319	0.835	0.319
39	340	1.49	1.90	17.5	20.0	2.25	3.60	2.56	0.276	0.435	0.634	1.103	0.250	0.980	0.281
40	340	1.04	1.53	8.0	20.0	2.72	4.30	2.50	0.471	0.377	1.250	1.103	0.427	0.374	1.260
41	290	0.90	1.17	6.2	16.8	3.20	5.50	2.95	0.293	0.382	0.768	2.253	0.130	0.407	0.720
42	390	0.92	1.24	12.5	22.9	2.45	3.90	2.53	0.354	0.363	0.974	0.835	0.424	0.551	0.642
43	440	1.48	2.26	19.0	25.9	2.22	3.30	2.21	0.524	0.353	1.484	1.567	0.334	1.567	0.334
44	240	0.90	1.52	3.7	12.5	3.92	—	—	0.682	0.384	1.778	0.996	0.685	0.592	1.153
45	372	1.78	2.02	12.8	21.9	2.47	3.70	2.25	0.136	0.491	0.277	0.437	0.311	0.428	0.318
46	262	1.81	2.48	9.6	11.9	—	—	—	0.373	1.380	0.271	5.916	0.063	0.588	0.635
47	332	2.29	3.24	12.4	19.5	2.31	3.50	2.29	0.417	0.572	0.729	2.247	0.186	0.576	0.725
48	491	1.84	3.79	14.7	28.9	1.83	2.70	2.18	1.062	0.490	2.166	1.404	0.756	1.404	0.756
49	471	2.42	3.94	14.7	27.7	1.83	2.80	2.35	0.630	0.509	1.239	1.596	0.395	1.596	0.395
50	435	2.66	3.40	13.1	25.6	1.94	3.60	3.44	0.170	—	—	1.222	0.141	0.712	0.242
51	240	1.62	1.80	6.5	14.1	4.16	5.86	1.98	0.110	—	—	0.444	0.253	0.444	0.253
52	290	1.45	1.70	8.9	17.1	3.12	5.47	3.07	0.180	—	—	1.990	0.088	0.305	0.576
53	440	3.02	3.80	13.1	25.9	2.32	3.52	2.30	0.260	—	—	0.970	0.265	0.712	0.361
54	390	3.01	3.60	12.6	22.9	2.42	3.52	2.12	0.200	—	—	0.470	0.416	0.470	0.416
55	340	2.18	2.60	10.8	20.0	2.68	3.91	2.13	0.190	—	—	0.819	0.235	0.281	0.686
56	240	1.14	1.54	8.6	14.1	3.60	6.30	3.07	0.351	0.360	0.975	1.090	0.322	0.403	0.871
57	290	2.09	2.55	11.8	17.1	3.31	8.20	6.15	0.105	0.360	0.292	1.129	0.093	0.163	0.644
58	289	1.96	2.36	11.6	17.0	3.54	4.69	1.75	0.204	0.592	0.345	0.592	0.345	0.291	0.701
59	290	1.53	2.02	12.5	17.1	3.41	4.69	1.89	0.320	0.163	1.963	0.804	0.398	0.291	1.100
60	340	1.65	2.13	11.1	20.0	2.66	4.10	2.37	0.291	0.250	1.164	0.827	0.352	0.264	1.102
61	370	1.38	1.28	19.6	21.8	2.85	3.91	1.88	—	0.258	—	0.328	—	0.280	—
62	390	2.25	2.52	18.9	22.9	2.33	3.40	2.13	0.120	0.369	0.325	0.626	0.192	0.470	0.255
63	442	2.38	4.06	20.2	26.0	1.92	3.32	3.00	0.714	0.282	2.532	1.175	0.608	0.711	1.004
64	210	1.42	1.50	9.0	12.4	3.75	5.90	2.46	0.056	0.431	0.130	0.829	0.068	0.322	0.174
65	290	1.56	2.03	5.8	17.1	3.22	4.45	1.93	0.301	0.450	0.669	1.690	0.178	0.305	0.987
66	340	1.96	2.48	10.6	20.0	2.62	3.91	2.22	0.265	0.378	0.701	0.827	0.320	0.280	0.946
67	440	2.55	3.28	11.6	25.9	2.20	3.05	1.93	0.286	0.348	0.822	1.175	0.243	1.175	0.243
68	440	2.60	3.70	11.6	25.9	2.09	3.13	2.22	0.423	0.362	1.169	1.175	0.360	1.175	0.360
—	—	—	—	—	—	—	—	—	平均	—	0.904	—	0.344	—	0.595
—	—	—	—	—	—	—	—	—	標準偏差	—	0.572	—	0.206	—	0.305

5. まとめ

開業前に整備新幹線の単純PC桁のたわみ測定を実施した結果、次の知見をえた。

- 1) 単純PC桁の換算たわみは、限界値の20%程度以下、設計応答値の50%程度以下であった。
- 2) 単純桁の衝撃係数を算定する際に考慮する剛性補正係数 k の値（PC箱桁は1.5、PCT形桁は2.0）は、概ね安全側の設定であった。
- 3) 単純PC箱桁および単純PCT形桁の衝撃係数は、剛性補正係数を考慮することで設計値の算定精度が向上することを確認した。

参考文献

- 1) 進藤良則，千葉寿，山洞晃一，石徳隆行：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，第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2011.

- 2) 下津達也，水谷哲也，舟竹弘次，進藤良則：北陸新幹線の桁たわみ測定結果に関する考察，第19回鉄道工学シンポジウム，2015.
- 3) 進藤良則，下津達也，水谷哲也，舟竹弘次：北陸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，第24回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2015.
- 4) 進藤良則，山洞晃一，朝長光：北海道新幹線（新青森・新函館北斗間）の新設桁のたわみ測定結果に関する考察，第20回鉄道工学シンポジウム，2016.
- 5) 鉄道総合技術研究所：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.
- 6) 鉄道総合技術研究所：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.
- 7) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 変位制限，丸善，2006.

(2017.4.7 受付)

STUDY ON THE DEFLECTION MEASUREMENT OF SIMPLE PC GIRDERS ON THE PROJECTED SHINKANSEN LINES

Taro Ishikawa, Takahiko NISHI, Yoshinori SHINDO

Projected Shinkansen lines in service extend 930km as of February 2017, and bridges and viaducts account for about 32% length. Many cases of girder-deflection measurement were carried out to confirm vehicle running safety and usability (riding comfort) before opening service. The measured girder deflection on Hokkaido Shinkansen, Tohoku Shinkansen, Hokuriku Shinkansen and Kyushu Shinkansen were less than designed. It was considered that nonstructural members such as wheel guard and roadbed RC contributed to the girder rigidity. Every natural frequency value analyzed by the time history girder deflection was higher than designed, and we calculated the rigid correction coefficient (the ratio of the measured natural frequency to the design value). Since the impact factor's accuracy was improved by applying the impact load considering of appropriate rigid correction coefficient for each type of structure, we introduced this method into the simple PC girder design.