

整備新幹線における単純 PC 桁のたわみ測定結果と考察

鉄道・運輸機構 正会員 ○西 恭彦 正会員 井上 翔

鉄道・運輸機構 正会員 石川太郎 正会員 進藤良則

1. はじめに

整備新幹線の開業前に実施する桁のたわみ測定では、構造物が走行安全性および乗り心地に問題がないことを確認する。単純 PC 桁のたわみ測定結果は、いずれも設計値より小さかった。その要因として防音壁や路盤 RC などの非構造部材が桁剛性に寄与しているものと考えた。そこで、付加剛性は桁の固有振動数を高めると考え、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。その結果、剛性倍率（剛性補正係数）を PCT 形桁は 2.0, PC 箱桁は 1.5 に定めて衝撃係数を算定すると衝撃係数の精度が向上したので本稿で報告する。

2. 単純 PC 桁の構造と設計

単純 PCT 形桁の桁長は 21m~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適用する。

単純 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（以下、「RC 標準 H4」）、それ以降は平成 16 年版（以下、「RC 標準 H16」）を適用している。「H4 年 RC 標準」の終局限界状態の検討に用いる単線載荷時の衝撃係数は、 $i = K_a \cdot \alpha + 10 / (65 + L_b) \leq 0.6$ で算定し、使用限界状態の検討では、その 0.75 倍である。 K_a は新幹線荷重の場合、 $\alpha \leq 0.33$ では 1.0 である。 α は速度パラメータであり、 $\alpha = v / (7.2 \cdot n_0 \cdot L_b)$ で算定する。 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。「RC 標準 H16」の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は、 $i = (1 + i_a)(1 + i_c) - 1$ で算定し、使用性の検討では、その 0.75 倍である。 i_a は速度効果の衝撃係数であり、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用いて求める。 i_c は車両動揺の衝撃係数で $i_c = 10 / (65 + L_b)$ である。桁の基本固有振動数 n_0 は、 $n_0 = \{ \pi / (2 \cdot L_b^2) \} \times \sqrt{EI \cdot g / D}$ で算定する。 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。

3. 桁のたわみ測定

表-1 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	線区
H5 系	25m	10 両	11t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m	北海道
EAST-i	20m	6 両	10.8~14.9t	2.25m+11.9m+2.25m+	東北・北陸
E2 系	25m	10 両	10.1~11.7t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m	北陸
E7 系	25m	12 両	10.3~11.6t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m	北陸
N700 系	25m	8 両	11t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m	九州
P-16 (軸配置は H 荷重)			16t	2.5m+15.0m+2.5m+5.0m	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	東北

してたわみを測定した。試験車両の諸元を表-1 に示す。走行速度は 30km/h、200km/h、260km/h の順に実施した。

3.2 測定結果とその評価

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

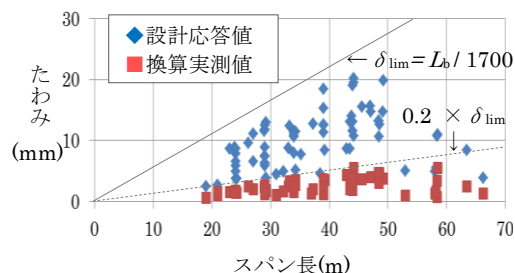


図-1 単純 PC 桁のスパンとたわみ

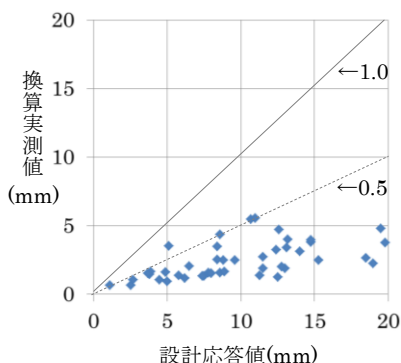


図-2 たわみの設計応答値と実測値

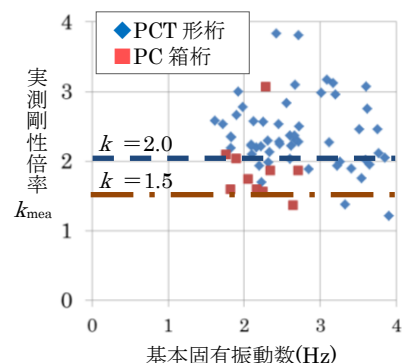
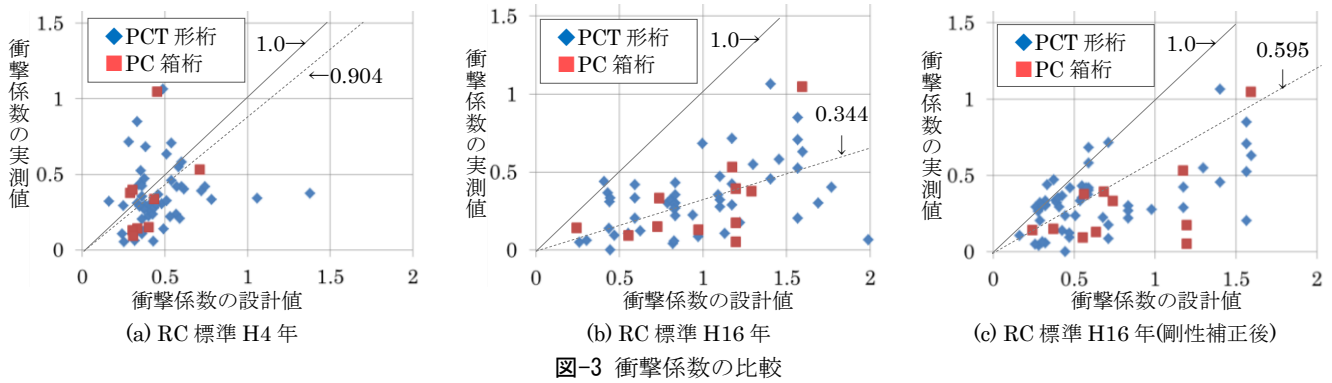


図-3 実測剛性倍率

キーワード たわみ、整備新幹線、衝撃係数、固有振動数

連絡先 〒231-8315 神奈川県横浜市中区本町 6-50-1（横浜アイランドタワー） TEL : 045-222-9082



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、試験車両の軸重・軸配置は、設計で用いる標準活荷重 P-16 や P-17 の軸重、H 荷重（標準列車荷重）の軸配置と相違する。そこで、実測値が設計条件の軸重・軸配置と等価な換算実測値に補正するため、桁の単純梁モデルに試験車両の軸重・軸配置のケース、設計条件の軸重・軸配置のケースで連行移動載荷し、最大たわみの倍率を実測たわみに乗じて換算実測値を求めた。

たわみの限界値 δ_{lim} は、「鉄道構造物等設計標準（変位制限）」に示された乗り心地の制限値とし、 $L_b \geq 20m$ の場合は $\delta_{lim} = L_b / 1700$ で算定した。図-1にたわみの換算実測値を示す。たわみの換算実測値は、設計限界値の20%程度以下、設計応答値の50%程度以下であった。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) 試験走行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) 試験走行時の編成車両数（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の3点が考えられる。

3.3 桁の固有振動数と剛性倍率

前述の3)に着目し、桁の実測固有振動数 n_{mea} を算定する。算定方法は、たわみの時刻歴波形で列車通過後の自由振動区間のフーリエスペクトルから実測固有振動数を推定した。実測剛性倍率 k_{mea} は、基本固有振動数の式および n_0 を n_{mea} 、 EI を $k_{mea}EI$ に置換した $n_{mea} = \{\pi/(2 \cdot L_b^2)\} \times \sqrt{k_{mea}EI \cdot g/D}$ から $k_{mea} = (n_{mea}/n_0)^2$ を得た。図-2に実測剛性倍率を示す。剛性補正係数 k （PCT 形桁は 2.0、PC 箱桁は 1.5）は、実測剛性倍率の最小値をおおむね満たした。

3.4 衝撃係数の評価

実測衝撃係数は、200km/h および 260km/h 走行時の実測たわみ δ_{200} 、 δ_{260} を 30km/h 走行時の実測たわみ δ_{30} で除して1を減じた値、すなわち $\delta_{200}/\delta_{30} - 1$ 、 $\delta_{260}/\delta_{30} - 1$ のうち、いずれか大きい方とした。図-3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を示す。「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、標準偏差は 0.572 であった（図-3(a)）。「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、標準偏差は 0.206 であった（図-3(b)）。「RC 標準 H16」で剛性補正係数を考慮して衝撃係数を求めると設計値に対する実測値の平均値は 0.595、標準偏差は 0.305 となり、衝撃係数の精度は向上した（図-3(c)）。

4. まとめ

整備新幹線の単純 PC 桁のたわみ測定結果から以下の知見をえた。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 （PCT 形桁は 2.0、PC 箱桁は 1.5）は、安全側の設定であった。3) 単純 PCT 形桁および単純 PC 箱桁の衝撃係数は、剛性補正係数を考慮することで設計値の精度が上がるのがわかった。

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) 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。
- 3) 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。