

北海道新幹線(新青森・新函館北斗間)新設 PC 桁のたわみ測定結果に関する考察

鉄道・運輸機構 正会員 ○進藤 良則 山洞 晃一
朝長 光 米澤 豊司 津金 昭一

1. はじめに

整備新幹線の単純PC桁の設計は、路盤や地覆などの非構造部材が有する付加剛性を表-1に示した剛性補正係数¹⁾を桁の剛性に乘じ、得られた固有振動数から衝撃作用を求め、たわみの応答値を算定する。平成28年3月に開業した北海道新幹線、新青森・新函館北斗間では、開業前に実車走行による桁のたわみ測定を行った。その結果、たわみの実測値は設計値よりも小さく、本手法がたわみを安全に算定できることを確認した。

一方、連続PC箱桁の設計では、付加剛性の影響を考慮していない。そこで連続PC箱桁の衝撃係数を単純桁と同様に付加剛性の影響を考慮して算定し、実測値と比較した。結果は衝撃係数の精度は向上しなかったが、固有振動数の精度は向上したので本稿で報告する。

2. 桁の要求性能とたわみの照査

鉄道構造物が供用時に要求される性能には、安全性、使用性、復旧性がある。使用性の性能項目のうち、乗り心地は、鉄道利用者に快適な乗り心地を提供するための性能である。橋梁の場合、乗り心地の照査指標は、桁のたわみであり、設計時に応答値が限界値を超過しないことを照査する。構造物完成後のたわみ測定では、桁が設計どおりに要求性能を満たしていることを実測値に基づいて確認する。

2.1 たわみの設計応答値

たわみの設計応答値は、衝撃係数 i (列車荷重に対する衝撃荷重の比)を求め、列車荷重と衝撃荷重を桁に作用させて算定される。鉄道構造物等設計標準(コンクリート構造物)²⁾では、乗り心地の照査に用いる衝撃係数を式(1)で算定される値の75%としている。

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

ここに、 i_a は速度効果の衝撃係数であり、速度パラメ

表-1 剛性補正係数の例

構造種類	剛性補正係数
単純PCT形桁	2.0
単純PC箱桁	1.5

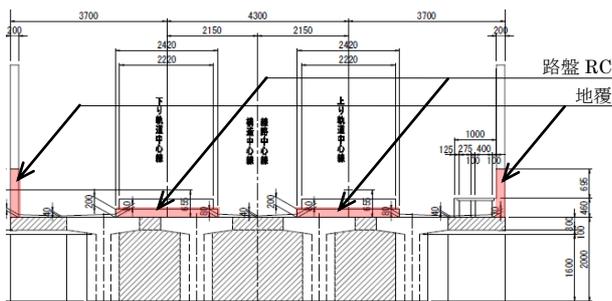


図-1 PCT形桁の標準断面

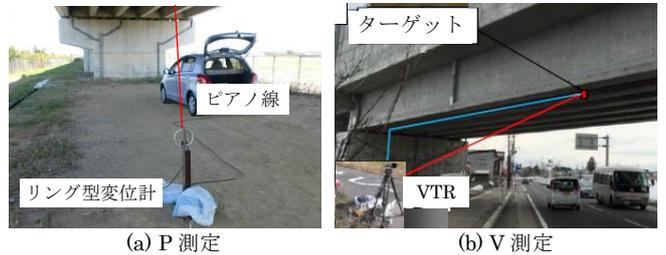


図-3 たわみ測定方法

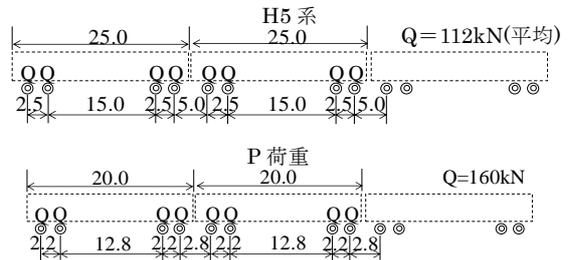


図-2 H5系とP-16の軸重・軸配置

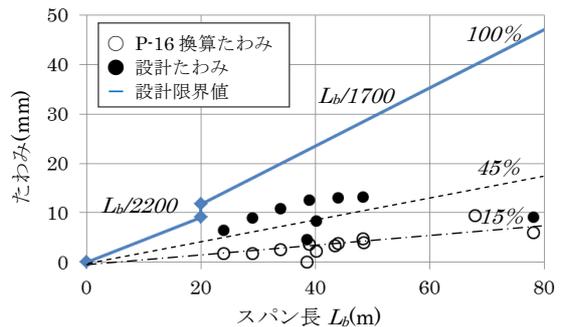


図-4 たわみ測定結果と設計値(使用性)の関係

ータ $\alpha (=v / 7.2n \cdot L_b)$ 、車両長 L_v (m)とスパン長 L_b (m)の比を用いてノモグラム²⁾で求める。 v は設計速度 (km/h)、 n は桁の固有振動数(Hz)である。固有振動数の算定方法は、単純桁と連続桁で異なる。単純桁の場合は、式(2)で算定される基本固有振動数 n_0 を用いる。

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

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。連続桁の場合は、固有値解析を行って当該スパン長の固有振動数を用いる。 i_c は車両動揺の衝撃係数であり、式(3)で算定する。

$$i_c = 10 / (65 + L_b) \quad \text{式(3)}$$

2.2 たわみの設計限界値

260km/h走行時のたわみの設計限界値 δ_{lim} (mm)は、鉄道構造物等設計標準(変位制限)³⁾にしたがって、 $L_b < 20m$ では $\delta_{lim} = L_b / 2200$ 、 $L_b \geq 20m$ では $\delta_{lim} = L_b / 1700$ で算定する。

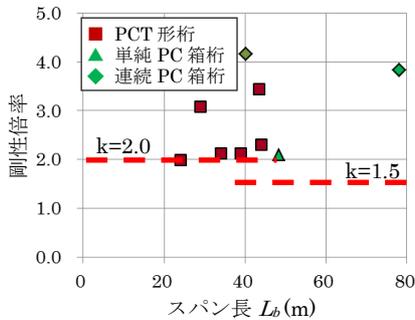


図-6 実測剛性倍率

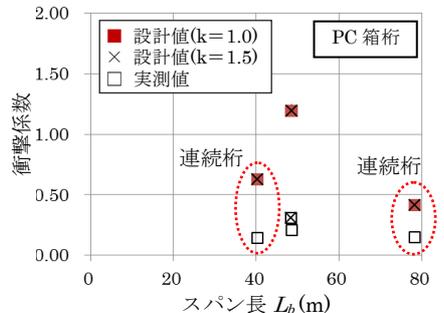
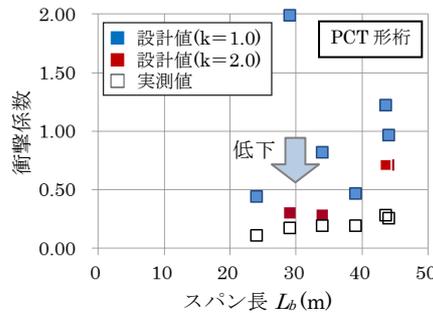


図-7 衝撃係数の比較

3. たわみ測定

3.1 測定対象桁

たわみ測定を実施したPC桁は、スパン長24m～44mの単純PCT形桁(図-1)が6連、スパン長44mの単純PC箱桁が2連、スパン長40m(橋長82m)と78m(橋長158m)の2径間連続PC箱桁が各1連である。

3.2 測定方法

たわみの測定方法は、図-2に示すように、桁下面から地盤上に設置したリング型変位計までをピアノ線で張り、リングの変形からたわみを測定する方法(P測定)、河川等でリング型変位計が設置できない場合に桁側面に貼ったターゲットをビデオカメラで撮影し、これを画像処理してたわみを測る方法(V測定)を適用した。

3.3 測定条件

たわみ測定はH5系(10両)を30～45km/h、190～200km/h、260km/hの3段階の順に単線で走行させた。

3.4 測定結果

測定時の荷重条件は、使用性(乗り心地)の設計照査を実施する際の荷重条件に近いが、H5系の軸重・軸配置は、設計作用の標準列車荷重P-16と相違する(図-3)。そこで、たわみの実測値(以下、実測たわみ)を設計応答値及び設計限界値と比較するため、たわみの実測値をP-16と等価なたわみ(以下、P-16換算たわみ)に換算した。換算方法は、桁を単純梁でモデル化し、H5系及びP-16を各々連行移動載荷した際の最大たわみの比を実測たわみに乗じた。測定結果は図-4に示すとおり、P-16換算たわみが、平均で設計限界値の15%程度と小さく、乗り心地の照査を満足した。また、P-16換算たわみは、設計応答値の30%程度であった。

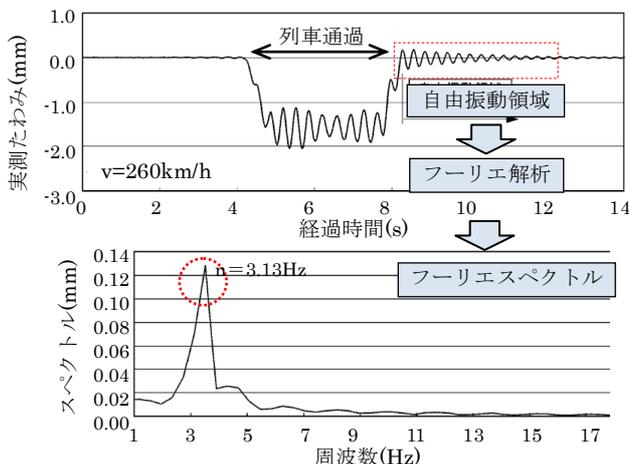


図-5 たわみの波形と実測固有振動数の推定例

4. 実測値と設計値の比較

4.1 固有振動数の比較と剛性倍率

設計で用いる基本固有振動数 n_0 が実測固有振動数 n_{mea} と相違が大きいと、衝撃係数を精度よく算定できない。基本固有振動数と実測固有振動数の関係は、式(2)の EI に剛性倍率 k を乗じると $n_{mea} = \sqrt{k} \cdot n_0$ となり、 $k = (n_{mea}/n_0)^2$ が得られる。そこで図-5に示すように列車通過後の自由振動波形をフーリエ解析し、推定した実測固有振動数から剛性倍率 k を求めた。図-6に k の算定結果を示す。単純桁の設計で考慮する剛性補正係数(PCT形桁は2.0、PC箱桁は1.5)は、剛性倍率 k の下限値となっており、安全側の設定であるといえる。連続PC箱桁の剛性倍率は、単純桁と同等以上であった。今回は連続桁の測定数が2橋のみであるが、連続桁についても剛性倍率を考慮できる可能性が示されたと考える。

4.2 衝撃係数の比較

衝撃係数の設計値に対する実測値の比を図-7に示す。衝撃係数の実測値 i_{260} は、 $i_{260} = \delta_{260}/\delta_0 - 1$ であり、 δ_{260} は190～200km/h走行時と260km/h走行時の実測たわみのうち、いずれか大きい方の値とした。静止状態の実測たわみ δ_0 は、測定値がないため、45km/h走行時の実測たわみを $(1+i_c)$ で除して算定した¹⁾。

図-7に示すようにPCT形桁の衝撃係数は、剛性補正の効果がみられた。PC箱桁については単純桁の1連で剛性補正の効果がみられた。連続桁については測定数が少ないため、追加調査を行いたいと考える。

5. まとめ

たわみ測定結果の考察を以下に記す。

- 1)PC桁のたわみ測定を行った結果、P-16換算たわみは設計限界値の15%程度、設計応答値の30%程度であり、乗り心地の照査を満たした。
- 2)単純桁の設計で考慮する剛性補正係数(PCT形桁は2.0、PC箱桁は1.5)は、安全側の設定であり、連続PC箱桁についても適用できる可能性があることが分かった。
- 3)PCT形桁の衝撃係数は、剛性補正の効果があつた。

PC箱桁については単純桁で剛性補正の効果があつた。
参考文献

- 1)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.
- 2)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.
- 3)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.