

論文 PRC 単純 T 形桁におけるコンクリート弾性係数の特性分析

内田 雅人^{*1}・原田 悟^{*2}・井口 重信^{*3}・築嶋 大輔^{*4}

要旨：大きなたわみが発生している支間長 29.2m の PRC 単純 T 形桁において、定期的なたわみ量を測定している。これまで計測したたわみ量のデータを確認したところ、気温とともにたわみ量が増加する傾向が確認された。そこで、弾性係数の温度依存性を確認するため、既設橋りょうからコアを採取し、動弾性係数への温度の影響を確認した。また、湿度が動弾性係数に与える影響についても確認した。

キーワード：PRC 単純 T 形桁、たわみ量、動弾性係数

1. はじめに

新幹線で供用されている支間長 29.2m の PRC (Prestressed Reinforced Concrete) 単純 T 形桁において大きなたわみの発生が確認されている。ある区間には同じ標準設計の桁が多く供用されているが、大きなたわみが確認されているのは一部の橋りょうのみである。大きなたわみが発生している橋りょうについては、定期的なたわみ量を測定しながら、維持管理している。なお、管理に使用している値はレーザードップラー計を用いて、スパン中央のたわみを計測したものである。

これまで冬季に比べ夏季に大きなたわみ量が発生することが定性的に確認されており、気温や湿度などの影響があると考えられた。そこで、本研究ではたわみ量に対する気温と湿度の影響について確認を行うこととした。

2. 調査

2.1 調査対象橋りょう

調査対象は大きなたわみが発生している A 橋りょうと発生していない B 橋りょうの 2 橋である。この 2 橋は PRC 単純 T 形桁の標準設計の橋りょうであり、支間長はともに 29.2m である。また、防音壁の形状や電柱の設置箇所以外については、概ね同様の形状である。



写真-1 A 橋りょう全景

A 橋りょうの現地状況写真を写真-1、B 橋りょうの現地状況写真を写真-2 に示す。また、標準一般図を図-1、橋りょう諸元を表-1 に示す。



写真-2 B 橋りょう全景

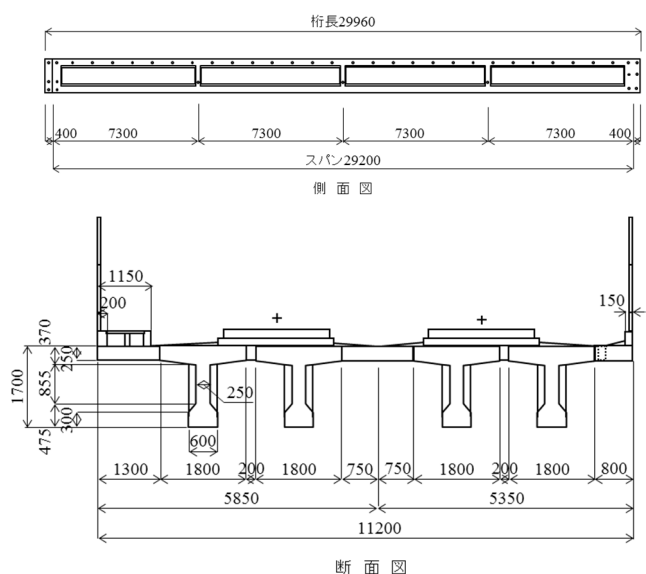


図-1 標準一般図

*1 東日本旅客鉄道 (株) 構造技術センター (正会員)
 *2 東日本旅客鉄道 (株) 高崎土木技術センター (正会員)
 *3 東日本旅客鉄道 (株) 構造技術センター (正会員)
 *4 東日本旅客鉄道 (株) 構造技術センター 課長 (正会員)

表-1 橋りょう諸元

構造形式	ポストテンション PRC 単純 T 形桁
桁 長	30m
支 間 長	29.2m
曲率半径	R=4000m
桁 高	1.7m
張出スラブ長	1.3m (下り) / 0.8m (上り)
コンクリート強度	40N/mm ²
最大水セメント比	55%
粗骨材の最大寸法	25mm

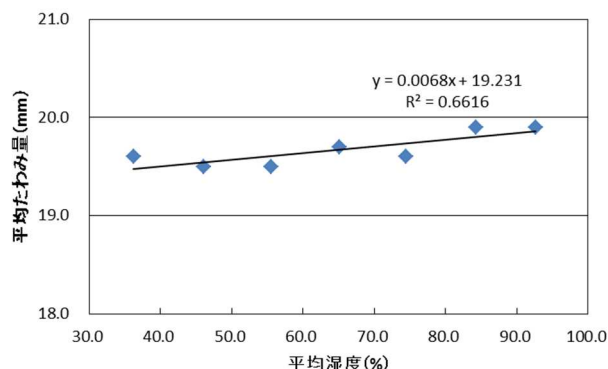


図-3 湿度とたわみ量の関係

2.2 気温と湿度がたわみ量に与える影響

ここではA橋りょうを対象に、気温と湿度が橋りょうのたわみに与える影響について検証する。検証の方法は、たわみ量計測日の気温を5℃ごと、湿度を10%ごとのグループに分け平均し、温度と湿度の各グループのたわみ量の平均値を比較することで、気温と湿度がたわみ量に与える影響を確認する。なお、ここで使用するたわみ量は測定日ごとの最大値である。また、気温と湿度は近隣の気象庁データの日平均気温と日平均湿度である。

図-2 はグループごとの平均気温と平均たわみ量の関係を示しており、気温が高くなると、たわみ量も増加していることが確認できる。また、この時の決定係数は、0.86 となり、平均気温と平均たわみ量に相関があると考えられる。この結果は、冬季に比べ気温が高い夏季に大きなたわみが発生すると定性的に確認されてきたことと一致している。

図-3 はグループごとの平均湿度と平均たわみ量の関係を示しており、湿度が高くなるにつれて、たわみ量も増えていることが確認できる。日本の気候は、夏に湿度が高くなり、冬は湿度が低くなるため、湿度が高い夏季に大きなたわみが発生すると定性的に確認されてきたことと一致している。しかし、近似線の傾きは小さく、湿度がたわみ量に与える影響は小さいと考えられる。

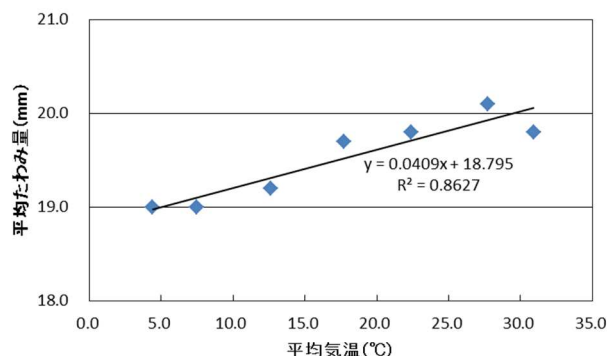


図-2 気温とたわみ量の関係

2.3 固有振動数の季節変化

前節において、たわみ量に対する温度の影響が確認されたため、ここではA橋りょうを対象に固有振動数への温度の影響を確認する。図-4 は、測定日ごとに日平均気温と固有振動数の関係を示したものである。この図から日平均気温が低下する冬季に固有振動数が増加し、逆に日平均気温が上昇する夏季に固有振動数が低下する傾向が確認できる。この結果から、気温が高くなるにつれてたわみ量が増加し、気温が低くなるにつれてたわみ量が減少する原因として、桁の剛性の変化が影響しているものと考えられる。なお、固有振動数の差は最大で0.15Hz程度となっている。

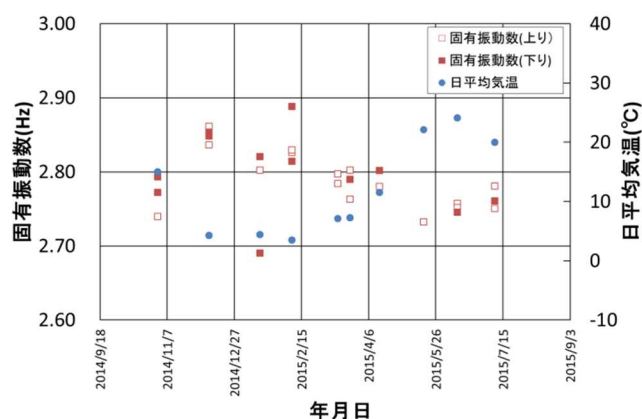


図-4 固有振動数と日平均気温の関係

3. 現地コアを用いた弾性係数調査

3.1 動弾性係数

A 橋りょうにおいて桁のたわみ量及び固有振動数が温度に依存する傾向が確認された。そこで、弾性係数への温度の影響を確認することとした。また、併せて湿度の影響についても確認を行うこととした。試験は、JIS A 1127 共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法に準拠して行い、動弾性係数で評価することとした。なお、温度と湿度は、恒温恒湿槽を用いて変化させることとした。

3.2 コア採取

大きなたわみが発生しているA橋りょうとたわみが小さいB橋りょうから湿式のコアドリルを用いてコアを4本ずつ採取した。コアは主桁4本のうち、内側にある2本の主桁から2本ずつ採取した。

コアを採取した位置を図-5に示す。コアの採取位置は、桁への影響を少なくするため、曲げモーメントが小さい箇所とした。また、コアの径は鋼材を損傷せずに採取できる大きさとし、 $\phi 50\text{mm}$ のコアドリルを使用して、 $\phi 45.4\text{mm}$ のコアを採取した。なお、B橋りょうにおいても桁への影響を考慮して、A橋りょうと同様の方法でコアを採取した。

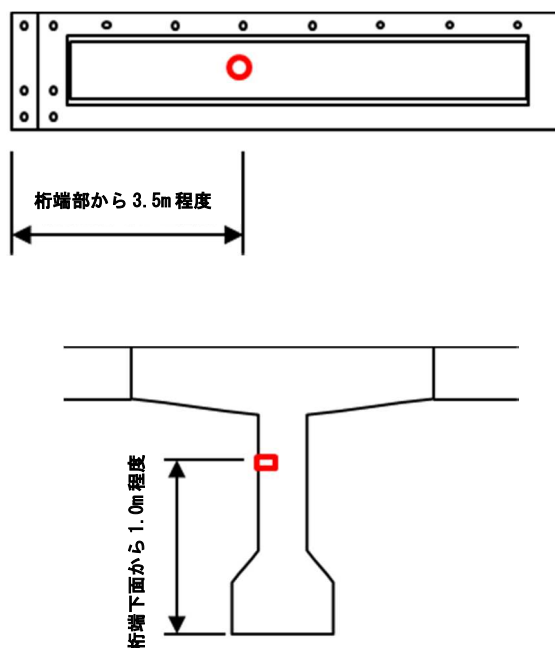


図-5 コア採取位置

3.3 試験方法

(1) 試験体の形状

試験には、採取したコアを湿式のコンクリートカッターにより切断し、高さが直径45.4mmの2倍程度となるよう加工したものを使用した。試験体の形状を表-2に示す。コアの削孔は同じドリルで行ったため、コアの径は $\phi 45.4\text{mm}$ に統一されているが、コアの高さはコンクリートカッターで切断したため、最大で6.9mmの差が発生している。加工後のA橋りょうG2-1P試験体の状況を写真-3に示す。

表-2 試験体の形状

橋りょう名	採取位置	高さ L (mm)	直径 R (mm)
A 橋りょう	G2-1P	89.7	45.4
	G2-2P	86.3	45.4
	G3-1P	90.4	45.4
	G3-2P	89.7	45.4
B 橋りょう	G2-2P	91.3	45.4
	G2-3P	93.2	45.4
	G3-2P	92.0	45.4
	G3-3P	91.9	45.4



写真-3 試験体形状 (A 橋りょう G2-1P)

(2) 設定条件

湿度と温度の設定は、対象の橋りょうが供用されている場所に近い気象台の気象データを用いることとした。設定条件は、2013年1月～2015年8月までの日平均気温と日平均湿度を使用して、最高および最低日平均気温、最高および最低日平均湿度を考慮して決定することとした。

図-6は、A橋りょうおよびB橋りょうが供用されている場所に近い気象台の気象データについて、2013年1月～2015年8月までの日平均気温と日平均湿度をプロットしたものであり、縦軸が日平均気温、横軸が日平均湿度を示している。この図から、日平均気温の最高値は32.6℃であり、最低値はマイナス1.3℃であった。また、日平均湿度の最高値は93%であり、最低値は24%であることが確認された。しかし、試験に使用した恒温恒湿槽は、設定条件に制約があるため、試験における設定値は、表-3に示す3ケースとした。

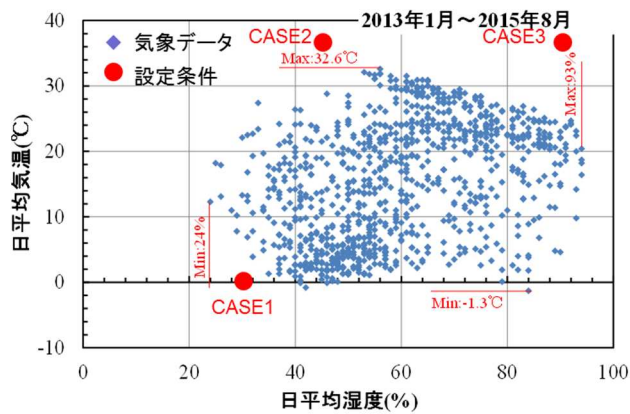


図-6 日平均気温と日平均湿度

表-3 設定条件

	温 度	湿 度
CASE-1	0℃	30%
CASE-2	35℃	45%
CASE-3	35℃	90%

(3) 一次共鳴振動数

試験は、JIS A 1127 共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法に準拠して行い、一次共鳴振動数は、試験体の形状を考慮して縦振動の値を用いることとした。また、計測値は両端面をそれぞれ1度ずつ計測し、その平均値を採用することとした。一次共鳴振動数の計測状況を写真-4に示す。なお、試験に使用した供試体の一次共鳴振動数は、試算により 20,000Hz より大きくなることが予想されたため、計測には 30,000Hz までの計測が可能な測定器を使用した。

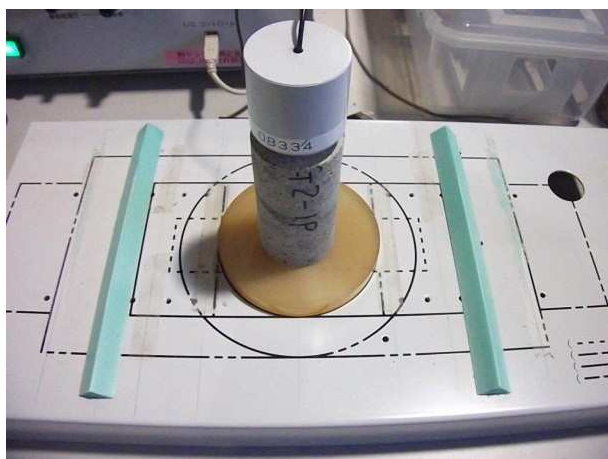


写真-4 一次共鳴振動数の測定状況

3.4 試験結果

試験は CASE-1、CASE-2 および CASE-3 の順番で行った。各条件で設定された恒温恒湿槽の中で試験体を1週間養生した後、一次共鳴振動数、寸法および重量を測定し、動弾性係数を算出した。一次共鳴振動数の計測結果の一例を図-7に示す。

一次共鳴振動数においては、A 橋りょうで CASE-1 が最も大きな値となっており、次に CASE-3 続き、最も一次共鳴振動数の値が小さくなったのは、CASE-2 であった。また、B 橋りょうにおいても、A 橋りょうと同じく、CASE-1 が最も大きな値となっており、次に CASE-3 続き、CASE-2 で最も一次共鳴振動数の値が小さくなる傾向が確認された。しかし、B 橋りょうの G2-3P 試験体においては、CASE-3 の値よりも CASE-2 の値が大きくなっていた。値が逆転した原因は不明であるが、その差は 50Hz とわずかなものであった。動弾性係数の試験結果を表-4に示す。

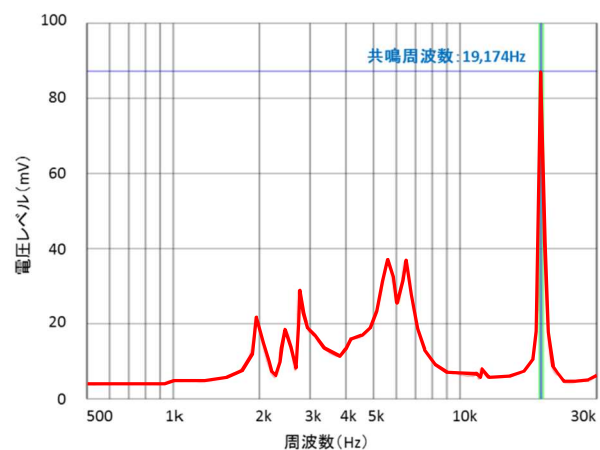


図-7 一次共鳴振動数 測定結果の例

動弾性係数の平均値においては、A 橋りょうと B 橋りょうともに、CASE-1 の値が最も大きく、次に CASE-3 が続き、最も値が小さくなったのは CASE-2 であった。この結果から、コンクリートの動弾性係数はコンクリートの温度が高くなるにつれて、低下する傾向にあると考えられる。これは実構造物において、夏季にコンクリートの弾性係数が低下し、桁のたわみ量が増加することの裏づけとなる結果であった。なお、湿度においては、A 橋りょうと B 橋りょうともに、CASE-2 よりも CASE-3 で動弾性係数が大きくなっていた。つまり、湿度が低くなるにつれて、動弾性係数が低下する結果となった。これは、定性的に確認されてきた夏季にたわみが大きくなることや図-3の湿度とたわみ量の関係とは異なる結果となっている。温度による動弾性係数の低下率は CASE-1 と CASE-2 の動弾性係数の平均値を比較したと

ころ、温度 35℃で A 橋りょうは 5.4%程度、B 橋りょうは 5.9%程度低下している結果となった。また、湿度による弾性係数の低下率は、CASE-2 と CASE-3 の動弾性係数の平均値を比較したところ、湿度 45%で A 橋りょうは 3.0%程度、B 橋りょうは 1.1%程度低下している結果となった。以上のことから、対象の 2 橋りょうが設置されて

いる環境下では、湿度に比べ温度のほうがコンクリートに与える影響が強いと考えられる。なお、動弾性係数の試験結果と図-3 に示した湿度とたわみ量の関係が異なる結果となった原因として、図-3 のたわみ量に温度の影響が含まれることなどが考えられる。

表-4 動弾性係数試験結果

橋りょう名	CASE (設定条件)	採取位置	重量 m (kg)	長さ L (mm)	半径 R (mm)	断面積 A (mm ²)	1 次共鳴振動数 F0 (Hz)	動弾性係数 E1 (N/mm ²)	動弾性係数 (平均) E0 (N/mm ²)
A 橋りょう	CASE-1 (0℃, 30%)	G2-1P	0.3269	89.7	45.4	1618.8	20,924	31,722	30,062
		G2-2P	0.3189	86.3	45.4	1618.8	21,562	31,616	
		G3-1P	0.3278	90.4	45.4	1618.8	20,139	29,697	
		G3-2P	0.3197	89.7	45.4	1618.8	19,597	27,213	
	CASE-2 (35℃, 45%)	G2-1P	0.3259	89.7	45.4	1618.8	20,361	29,946	28,450
		G2-2P	0.3179	86.3	45.4	1618.8	21,039	30,006	
		G3-1P	0.3267	90.4	45.4	1618.8	19,651	28,179	
		G3-2P	0.3185	89.7	45.4	1618.8	19,069	25,669	
	CASE-3 (35℃, 90%)	G2-1P	0.3275	89.7	45.4	1618.8	20,697	31,094	29,322
		G2-2P	0.3195	86.3	45.4	1618.8	21,269	30,820	
		G3-1P	0.3286	90.4	45.4	1618.8	19,867	28,969	
		G3-2P	0.3205	89.7	45.4	1618.8	19,279	26,403	
B 橋りょう	CASE-1 (0℃, 30%)	G2-2P	0.3252	91.3	45.4	1618.8	20,030	29,433	28,189
		G2-3P	0.3161	93.2	45.4	1618.8	18,658	25,341	
		G3-2P	0.3304	92.0	45.4	1618.8	19,704	29,161	
		G3-3P	0.3251	91.9	45.4	1618.8	19,758	28,819	
	CASE-2 (35℃, 45%)	G2-2P	0.3242	91.3	45.4	1618.8	19,384	27,481	26,519
		G2-3P	0.3148	93.2	45.4	1618.8	18,205	24,026	
		G3-2P	0.3292	92.0	45.4	1618.8	19,174	27,513	
		G3-3P	0.3241	91.9	45.4	1618.8	19,174	27,057	
	CASE-3 (35℃, 90%)	G2-2P	0.3256	91.3	45.4	1618.8	19,490	27,902	26,805
		G2-3P	0.3167	93.2	45.4	1618.8	18,155	24,039	
		G3-2P	0.3307	92.0	45.4	1618.8	19,227	27,790	
		G3-3P	0.3257	91.9	45.4	1618.8	19,279	27,489	

4. まとめ

コアによる室内試験では、A 橋りょうと B 橋りょうともに、コアの動弾性係数は、温度が高いほど低くなり、湿度が低くなるほど低下することが確認された。温度による動弾性係数の変化率は、温度が 0℃から 35℃まで上昇すると A 橋りょうのコアは 5.4%程度、B 橋りょうのコアは 5.9%程度低下する結果となった。また、湿度による弾性係数の変化率は、湿度が 90%から 45%まで低下すると A 橋りょうのコアでは 3.0%程度、B 橋りょうのコアでは 1.1%程度低下する結果となった。

以上のことから、たわみ量には気温と湿度が影響していると考えられる。そのため、たわみ量の管理においては、温度と湿度の影響を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 藤江幸人, 井口重信, 松田芳範, 小林薫: 報告 新幹線走行に伴う PRC 単純桁の振動について, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1081-1086, 2008
- 2) 国土交通省鉄道局監修, 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 平成 16 年 4 月, 丸善株式会社, pp23, 1992
- 3) 土木学会構造工学委員会, 構造力学公式集改定委員会編; 構造力学公式集 平成 5 年 2 月 社団法人土木学会