

大規模掘削工事に近接した鉄道高架橋の計測管理方法

掘削 近接施工 現場計測

東急設計コンサルタント 正会員 ○後藤 有志
東京急行電鉄 蒔苗 斉
エルメス計測工業 正会員 大西 靖和

1. はじめに

近接施工における周辺構造物、特に鉄道構造物の計測管理では、列車走行に対する安全性の確保から、厳しい管理値が設定されるのが一般的である。軌道あるいは構造部材の健全性は、本来、変形角等に相当する相対変位によって判定するのが望ましいが、計測上の管理値は、主に絶対変位を対象に設定されているのが実情である¹⁾。ただし、屋外計測で不動点を得ることは極めて困難であり、また、対象構造物での測定値には、構造物自体の温度伸縮等の影響による変位が加算されるため、工事の影響による挙動を精度よく捉えることは容易ではない。

本計測は、影響工事開始前に7ヶ月ないしは13ヶ月と、比較的長期の事前計測期間が得られた事例である。本報では、連続する3測点の変位から算出する3点間相対変位を主体とした鉄道高架橋の計測管理方法を紹介するとともに、外気温の季節変動に伴う高架橋の挙動の実態を示し、事前計測結果に基づく温度補正効果について記す。

2. 計測概要

(1) 計測対象・計測項目・使用計器

当工事の掘削範囲は、図-1に示すように、I-a街区、I-b街区とも、2つの営業路線が乗り入れる駅部高架橋に近接している。計測範囲は、いずれも剛性の高いべた基礎の格子状立体ラーメン上に一方の端部を設け、軌道方向の水平および鉛直変位を、また、一部橋脚の直交2方向の傾斜を、いずれも自動計測した。使用した計器は、①鉛直変位：デジタルレベル²⁾、②水平変位：ベクトル変位計(ワイヤ式非接触変位計；オーバーラップ方式)³⁾、③傾斜：同(下げ振り方式)^{2), 3)}である。

(2) 両端基準変位と保線基準換算変位

各測定範囲の水平・鉛直変位は、いずれも両端基準変位(両端を結ぶ基準線に対する変位)および図-2に示す保線基準換算変位の2種の変位で表し、各々に対して管理値を設けた。保線基準換算変位は、軌道整備基準における「通り」・「高低」に相当する3点間相対変位²⁾で、直結道床におけるレールの調整余裕幅2.0mmを根拠に、水平・鉛直方向とも一次管理値1.0mm、二次管理値1.6mm、両端基準変位については、水平変位に対して一次管理値3.5mm、二次管理値5.0mmと設定した。

3. 計測結果

(1) 水平変位の例

I-a街区で得られた両端基準および保線基準換算水平変位の全期間経時変化を、外気温とともに図-3に、両端基準変位分布を図-4に示す(測点位置は図-4・図-5参照)。図-3(b)あるいは図-4から明らかなように、相対変位(変形角)は全計測期間を通してPa5の測点に集中して生じ、Pa1~Pa5

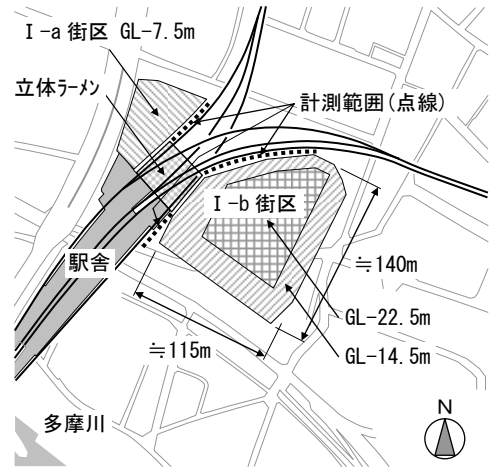
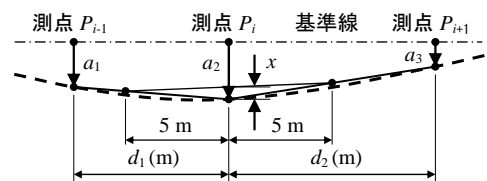


図-1 工事場所



x : 測点 P_i の保線基準換算変位
 $x = -5 \{ d_2 a_1 - (d_1 + d_2) a_2 + d_1 a_3 \} / (2 d_1 d_2)$
 a_1, a_2, a_3 : 基準線に対する変位

図-2 保線基準換算変位の定義

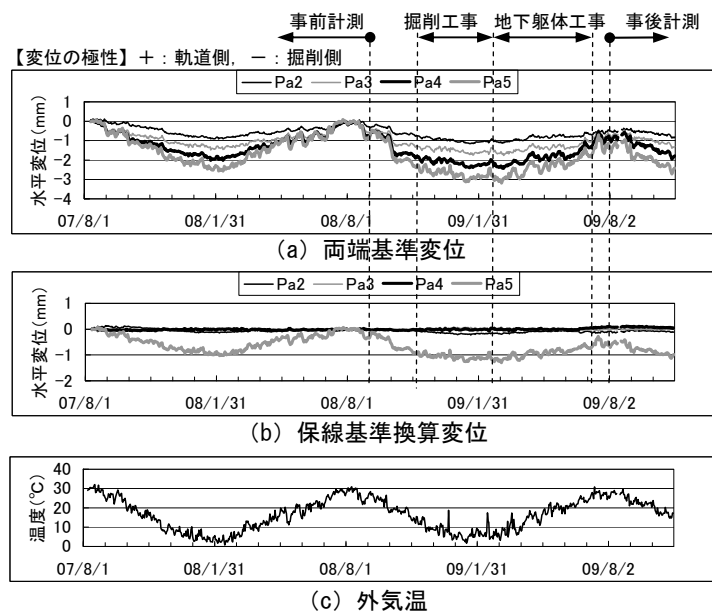


図-3 水平変位経時変化 (I-a 街区)

間は直線的な分布形状を示している。計測対象の高架橋は、図-5に示すように、Pa1～Pa5間が連続ラーメンで、Pa5における相対変位の変動は、主に一方の端部 Pa6 を設置した格子状立体ラーメン部材の温度伸縮に起因するものと推定される。

(2) 鉛直変位および傾斜の例

I-b 街区 (Pb1～Pb10 間約 78m ; Pb1～Pb5, Pb6～Pb9 が連続ラーメン) で得られた両端基準鉛直変位および軌道方向の傾斜の経時変化を抜粋して各々図-6, 図-7 に示す。水平変位と同様、事前計測期間から周期的変動を示している。なお、軌道横断方向の傾斜の結果は省略したが、全期間を通して $\pm 0.2 \times 10^{-3}$ rad 以下とわずかであった。

(3) 事前計測結果による温度補正の効果

水平・鉛直変位および傾斜の経時変化から、測定値の年周期の変動は、主に外気温の季節変動の影響によることが明らかである。そのため、水平・鉛直の両端基準変位について、I-a 街区では約 13 ヶ月、I-b 街区では約 7 ヶ月の事前計測期間の変位と外気温との関係を用いて温度補正した。日射の影響のない毎日 04:00 のデータに基づき、最小二乗法により求めた結果を、I-a 街区の両端基準水平変位を例として表-1 に掲げる。温度補正は、表-1 の a, b の値を用い、次式で行った。

$$x' = x - (at + b)$$

(x' : 補正後の値, x : 補正前の値, t : 温度)

図-3(a)および図-6 の温度補正結果を図-8 に示す。同図によれば、補正前の図では不明確であった工事の影響による変位の傾向、山留め壁施工時等の微小な変位を明確に把握できる。

4. おわりに

本工事における高架橋の計測で得られた主な結果を以下に要約する。なお、山留め壁の挙動との関連等については、別途、報告する⁴⁾。

- ① 鉄道高架橋の計測では、両端基準変位および今回示した保線基準換算変位による管理が有効である。管理値は、各変位の工学的意味を考慮し、設定する必要がある。
- ② 高架橋等の構造物では、構造物自体の温度伸縮による変位が繰り返し生じている。その変位量は、工事の影響による変位あるいは管理値に比べて、無視できないことが確認された。
- ③ 外気温の季節変動に伴う測定値の変動に対しては、事前計測結果に基づく温度補正が有効である(ただし、温度との相関が高い場合; 本事例では 3~4 ヶ月の事前計測でも十分なことを別途検証)。補正後の結果によれば、工事の影響による微小な変位を明確に把握できる。

【参考文献】1) 日本建築学会山留め設計小委員会: シンポジウム 山留め設計の諸課題, pp.121~136, 2006. 2) 大西靖和: 最近の計測技術と計測管理の考え方, 基礎工, Vol.35, No.9, pp.10~13, 2007. 3) 小室真一, 大西靖和, 細川実, 丸田春樹, 青木龍之: 磁気センサを用いた構造物の変位測定方法 (その1)・(その2), 第38回地盤工学研究発表会, pp.79~82, 2003. 4) 沼上清他: (本発表会), 2010.

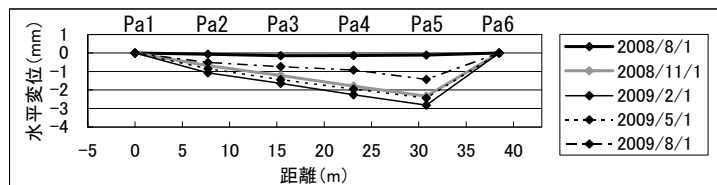


図-4 両端基準水平変位分布 (I-a 街区)

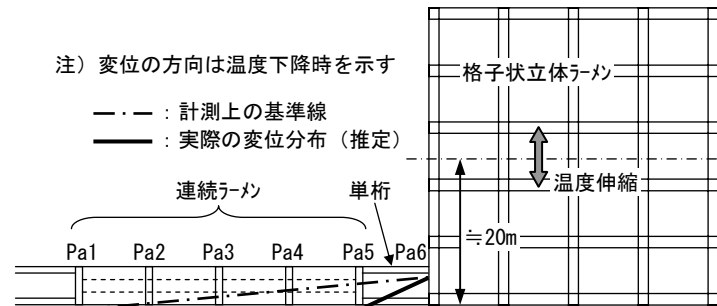


図-5 構造物の温度伸縮の概念図 (I-a 街区; 水平方向)

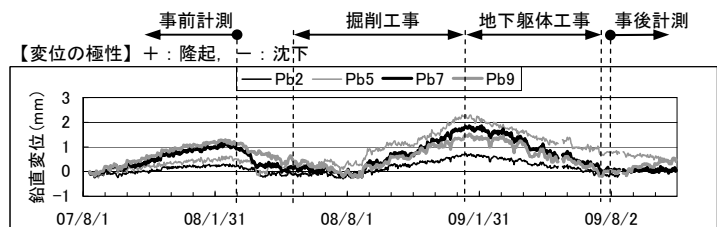


図-6 両端基準鉛直変位経時変化 (I-b 街区; 測点抜粋)

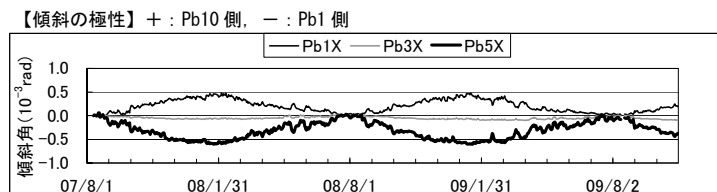
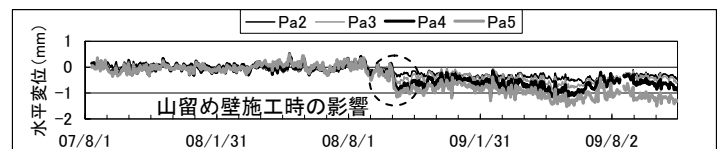


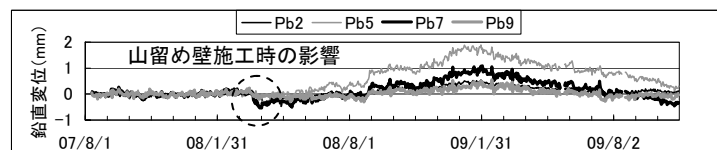
図-7 軌道方向傾斜角経時変化 (I-b 街区; 測点抜粋)

表-1 両端基準水平変位と外気温との相関 (I-a 街区)

測点No.	Pa2	Pa3	Pa4	Pa5
相関係数: R	0.9253	0.9478	0.9689	0.9802
傾き: a (mm/°C)	0.0300	0.0427	0.0627	0.0851
切片: b (mm)	-0.9184	-1.4809	-2.0554	-2.6083



(a) 両端基準水平変位 (I-a 街区; 図-3(a)の補正結果)



(b) 両端基準鉛直変位 (I-b 街区; 図-6の補正結果)

図-8 温度補正後の水平・鉛直変位経時変化