

鉄道橋脚基礎の列車通過時の動的変位計測

鉄道総合技術研究所
計測技研株式会社

正会員○西岡英俊, 神田政幸
正会員 橋村義人, 安藤貴志

1. はじめに

既設基礎の性能評価を行う上で、供用時の変位量は重要な指標である。特に鉄道橋脚は列車荷重が比較的明確なため、定量的に評価できる可能性がある。しかしながら、一般的に既設基礎の変位量は微小であり、列車通過の十数秒間に渡る動的な挙動を精度良く計測することは、これまで困難であった。本事例は、このような列車通過時の高精度な変位計測を行った事例について報告する。

2. 計測手法の概要

本検討では、地盤振動の影響を受けずに橋脚基礎の動的変位を高精度に計測するため、影響範囲外の不動点間に基準ラインを渡し、橋脚躯体側に設置したセンサーから帯状レーザーを照射して基準ラインに対する変位を計測する「HVラインゲージ¹⁾」を用いた。計測対象は鋼桁(起点方支間 9.6m, 終点方支間 16m)を

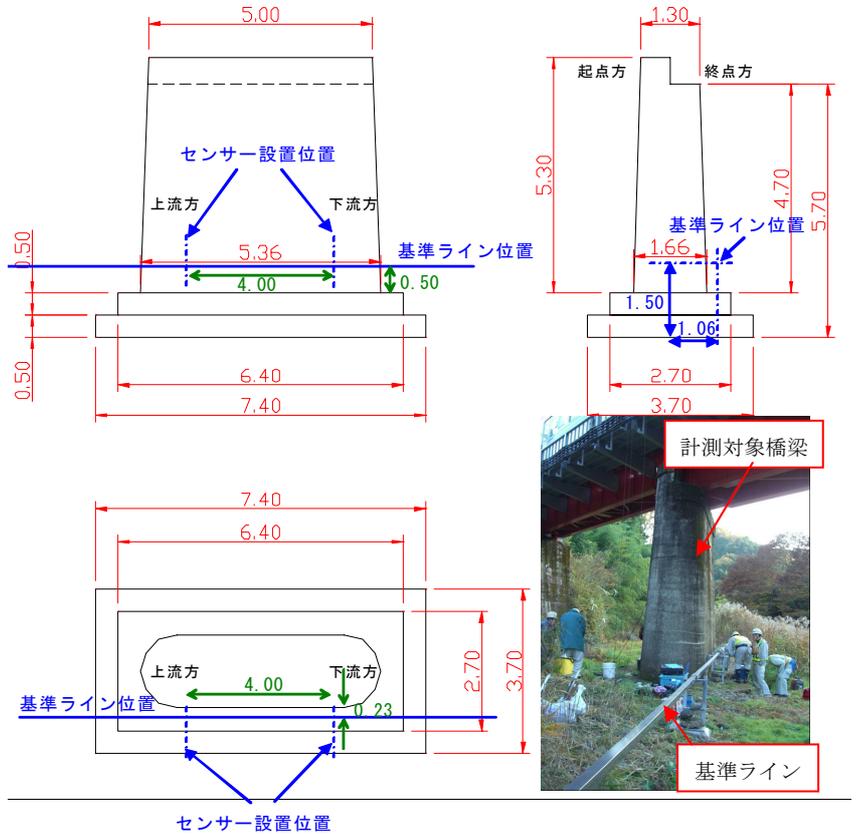


図1 HVラインゲージ設置位置 (単位:m)

支持する単線鉄道橋脚(直接基礎形式, 斜角約45度)である。河床低下により建設時よりも土被りが低下したため根固め工が施工されているが、別途実施した衝撃振動試験(固有振動数 35.3Hz)および固有値解析²⁾により、地盤ばねの健全度について「問題は少ない」と評価されたものである。

HVラインゲージの不動点は橋脚から約10m離れた位置とし、センサーは基礎としての変位量を計測できるよう、地表面付近の橋脚側面(終点方)の2箇所(上流方, 下流方)に設置し、それぞれで鉛直・水平変位を計測した(図1)。なお、各計測値は基準ラインにおける変位であり、基礎中心から基準ラインがずれている分、鉛直変位に基礎の回転の影響が含まれる。そこで、計測した水平変位が直接基礎底面を回転中心とした剛体回転によって生じていると仮定して、フーチング底面中心における鉛直変位に変換する。また、上流方と下流方での変位差は非常に小さい値であったため、本報告では上流方と下流方の平均値についてのみ示す。

このほか比較のため、既往の沈下量計測手法として、橋脚天端からピアノ線を橋脚近傍の地表面に設置した錘に張り、ピアノ線の変位をリング式変位計で計測する手法と、橋脚天端の速度計(東京測振製 VSE-15, 測定周波数範囲 0.1~70Hz)による速度波形を積分する手法でも計測を行った。前者は従来「盛工式」として鉄道分野で古くから用いられていた手法^{3), 4)}と原理的に同一であるが、地盤振動の影響や橋脚天端部の水平変位の分離時の計算誤差が比較的大きくなる。また、後者は速度計の応答特性上、特に長周期成分の計測誤差が大きくなるという問題がある。

キーワード 基礎, 直接基礎, 沈下, 動的変位, 動的計測, HVラインゲージ

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室

3. 計測結果

営業列車通過時（特急列車7両編成，通過速度 58km/h）の各計測結果を図2に示す。HVラインゲージによる基礎底面の鉛直沈下（図2(a)中の③）は，列車の進入に伴い 0.04mm 程度の沈下を生じ，その中で列車の車軸の通過に伴う 1Hz 程度の微小な上下動を計測できていることがわかる。一方，ピアノ線方式は上流方と下流方で大きく挙動が異なり，一部で列車通過時に浮き上がるような非現実的な値が得られた。これは橋脚天端の水平変位の影響の補正が不十分であるためと考えられる。また速度計方式は，波形をそのまま積分すると誤差の累積が見られ，0.3~30Hz のバンドパスフィルターによる波形処理を行っても車軸の通過に伴う 1Hz 程度の変位は概ね計測できるものの，列車の進入・退出に伴う長周期の沈下挙動は計測できていない。

図3は，保守用車両（バラスト運搬車）を計測対象橋梁上で一時停止（約 5 分間）させた場合のHVラインゲージによる計測結果である。停止時間中の微小なクリープ沈下まで計測できていることがわかる。

4. 鉛直ばね定数の算定

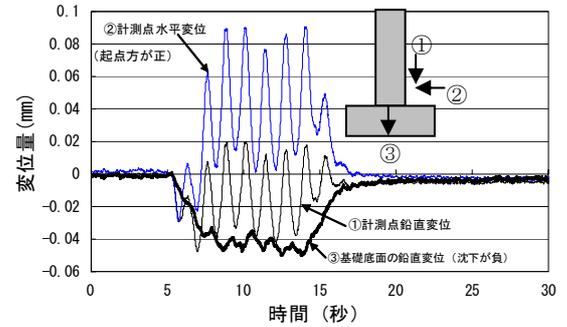
HVラインゲージによるフーチング底面の最大沈下量と，列車荷重（空車時）を最大沈下量で除した鉛直ばね定数 K_v を列車速度との関係で図4に示す。列車速度と鉛直ばね定数との相関は見られない。また，鉛直ばね定数 K_v は，衝撃振動試験の固有値解析による逆算値 49,200kN/mm に比べて 1/10 程度の小さい値となっており，鉄道基礎標準による N 値 30 砂礫地盤（推定）での設計値 4,100kN/mm と同程度であった。これは列車荷重によって生じる地盤のひずみレベルが衝撃振動試験よりも大きく，構造設計で想定するひずみレベルに近いことを示唆するものである。

5. おわりに

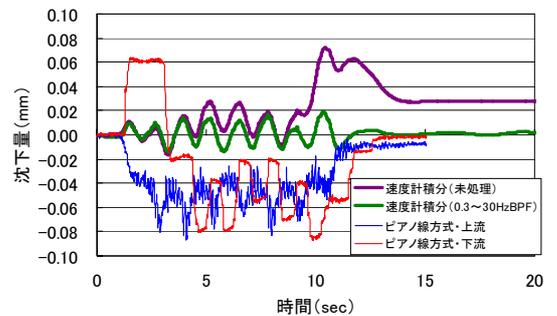
健全な橋脚基礎では変位量自体が微小であるため，既存手法では十分な精度で計測することができないが，HVラインゲージでは精度良く計測でき，鉛直ばね定数の算定が高精度に可能であることが確認できた。今後，このような高精度の沈下計測に基づく，基礎の支持性能の定量的な評価手法の構築を行う予定である。なお，本調査にあたっては，現場提供および試験列車の手配等，西武鉄道株式会社飯能保線所 近藤健右所長，鈴木哲也副所長に御協力頂きました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) 橋村義人：帯状レーザーで高精度計測 HV ラインゲージ，土木学会誌，Vol.89，No.5，pp.52-53，2004.5
- 2) 羽矢洋，稲葉智明：衝撃振動試験における新しい評価基準値，鉄道総研報告，Vol.16，No.9，2002.9
- 3) 堀松和夫：鉄道橋梁下部構造の運動性状について，土木学会論文集第 58 号・別冊，1958.
- 4) 西村昭彦：橋脚等振動沈下試験の新手法，構造物設計資料，No.89，pp.19-22，1987.3



(a) HVラインゲージ



(b) 既存手法

図2 変位計測結果（特急列車，7両編成）

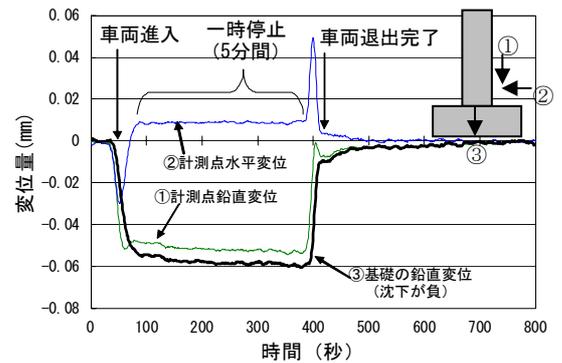


図3 変位計測結果（保守用車一時停止）

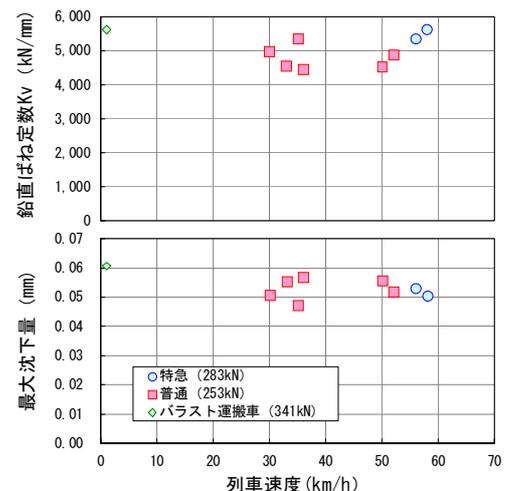


図4 最大沈下量と鉛直ばね定数