

鉄道 RC ラーメン高架橋柱の最大応答部材角測定装置の改良

(株)計測リサーチコンサルタント
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 仁平達也

正会員 ○濱田弘志 正会員 宮本則幸
正会員 曽我部正道 正会員 谷村幸裕

1. はじめに

鉄道 RC ラーメン高架橋の損傷は、通常被災後の随時検査において目視により確認がなされる。しかし、近年鋼板巻き補強が施され、目視による損傷の把握が困難な RC 柱の本数が増加する傾向にある。一方、柱端部に生じる最大応答部材角と損傷レベルの関係は概ね把握されているため、最大応答部材角を効率的に測定出来れば、地震後早期に柱の損傷レベル評価が可能となり、復旧作業の効率化やダウンタイムの減少が期待できる。

このような背景から本研究では、鉄道 RC ラーメン高架橋柱の損傷レベル検知システムの開発を実施した。図 1 に全体システムの概要図を示す。RC ラーメン高架橋柱に、センサーとして図 2 に例示するような最大応答部材角測定装置を設置し、地震時における最大応答部材角を測定する。このデータを、送受信機を中継しながら基地局へ伝送するとともに、地震後の随時検査において RF-ID(Radio Frequency Identification)タグにより回収するものである。著者らはすでに、最大応答部材角測定装置について、単体での静的試験、および実物大柱に取付けての静的試験、装置を取り付けた試験体の加振試験を行い、静的、動的ともに良好な精度を有していることを確認している⁽¹⁾。また、機械的なセンサーであるため、構造上発生する機械的な遊間等が測定誤差を生じていることも確認している。

そこで、本研究においては、測定精度向上を目的として最大応答部材角測定装置の改良を行い、その精度を検討した。以下に報告する。

2. 最大応答部材角測定装置の概要およびその改良点

2.1 装置の概要

図 3 にピークセンサーの構造、表 1 にピークセンサーの仕様を示す。ピークセンサーは正側と負側の両方の最大変位量を検出し、記憶することが可能である。また、ポテンシオメーターの移動による電圧変位を計測するため、常にセンサーに電源を供給する必要がなく、測定時のみに微弱な電源を使用する。センサーの検出範囲は $\pm 10\text{mm}$ である。このうち、ピークセンサーの構造上発生する検知不能な微小な変位量（以下、不感帯という）が $\pm 1\text{mm}$ 程度存在する。実際の測定における不感帯は、測定開始前のセンサー内における稼動部分の位置により異なる。一方、RC ラーメン高架橋柱天端の地震時の応答変位は、高架橋の高さ、柱の諸元にもよるが、水平変位で $50 \sim 300\text{mm}$ 程度を想定する必要がある。

そこで、図 2 に示すような幾何学的な相似の関係を利用した治具を開発した。このような治具は 1 方向のものが既に提案されているが、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱は全方向に振動することが予測されるため、図 2 に示すような、任意方向の変位量を X 方向（線路方向）と Y 方向（線路直角方向）成分に分解し、1 装置で 2 方向の最大応答部材角を測定する機構を新たに開発した。なお、実構造物への設置は、測定棒先端の柱への接続箇所は、基部より $1000 \sim 2000\text{mm}$ 程度の塑性ヒンジ部(RC 柱部材の損傷集中箇所)を避けることとし、センサー部と上層梁の接続箇所についても水平性を確保するためハンチを避けることとした。

2.2 装置の改良

図 4 に改良前、図 5 に改良後の最大応答部材角測定装置を示す。既往の検討によって、測定誤差が発生する要因の一つとして、図 6 に示す、ピークセンサーと測定棒の接続箇所にある、機械的な遊間であることを把握している。そこで、改良においては、この機械的な遊間を可能な限り小さくした。また、図 4 および図 5 に示すように、ピークセンサーの固定部の剛性を高めた。

3. 精度確認試験

3.1 精度確認試験概要

図 7 に精度確認試験状況を示す。表 2 に試験ケースを示す。試験は、正弦波および模擬地震波（L1 と L2 地震キーワード ピークセンサー 無電源 最大応答部材角 地震 高架橋 2 軸方向

連絡先 〒732-0029 広島県広島市東区福田 1 丁目 665-1 (株)計測リサーチコンサルタント Tel:082-899-5472

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 コンクリート構造 Tel:042-573-7281

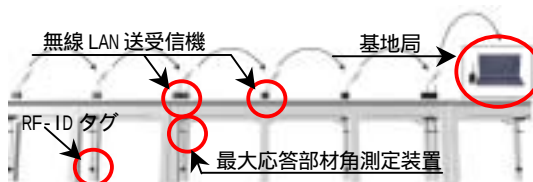


図 1 システムの概要図

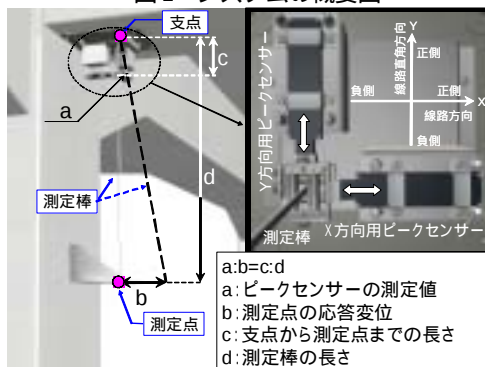


図 2 最大応答部材角測定装置の概要

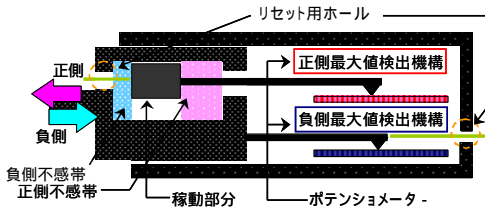


図 3 ピークセンサーの構造

表 1 ピークセンサーの仕様

項目	値
寸法	127×18×32 mm
重量	155g
検出範囲	$\pm 10\text{mm}$
分解能	$2\mu\text{m}$

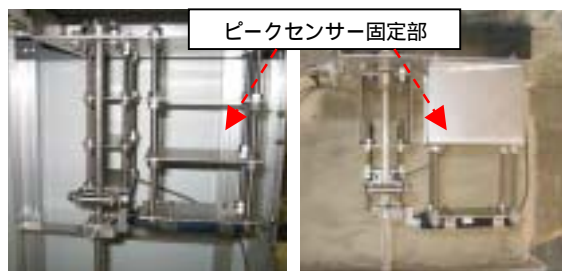


図4 装置改良前



図5 装置改良後



図6 接続箇所

波)により想定した高架橋の柱天端に生じる応答部材角を、図7に示す専用の実験フレームに設置し、最大応答部材角測定装置に静的に与えることにより実施した。測定棒の全長は1000mm、支点からセンサー検知位置までの長さはX方向を230mm、Y方向を200mmとした。これらの諸元は、鉄道RCラーメン高架橋の柱天端の応答部材角、センサーの仕様および測定精度との関係より定めた。なお、両方向に同一変位量を与えることを目的として、振幅を $\sqrt{2}$ 倍し45°方向から入力するものとした。

3.2 精度確認試験結果

図8～図13に試験結果の例を示す。図は改良前と改良後の試験結果である。図の波形線は変位計の測定値、○印は装置の正側の測定値、*印は負側の測定値である。各試験結果において、装置は正負側ともに経験した最大値を追従していることがわかる。

表3と図14に改良前と改良後の測定精度の検討結果を示す。横軸は変位計の測定値(θ_{ds})とした。縦軸は最大応答部材角測定装置の測定値(θ_{ps})を変位計の測定値で除した値(θ_{ps}/θ_{ds})とした。 θ_{ds} が大きくなると、測定誤差が小さくなっており、改良前と改良後の装置の誤差の発生傾向に違いはみられない。変動係数 C_v の比較において、全試験データでは改良前が8.8%、改良後が6.8%となり、測定誤差が小さくなった。また、鉄道RCラーメン高架橋柱の損傷(曲げ降伏)が生じる程度の最大応答部材角が0.005(rad)以上では6.9%、4.3%となった。さらに、0.01(rad)以上では6.6%、3.6%、0.02(rad)以上では5.4%、2.2%となった。改良前と比べて、装置の測定精度が向上し、特に、大きな応答部材角の測定精度が向上していることを確認した。これは2.2に示した、装置の改良点であるピークセンサーと接続箇所との機械的な遊間が小さくなったこと、およびピークセンサーの固定部の剛性を高くしたことによるものと考えられる。

4. まとめ

最大応答部材角測定装置の改良を行い、改良前との測定精度を比較した結果、以下のことがわかった。

- 1) 改良前と改良後において誤差の発生傾向に違いはない。
- 2) 測定誤差の比較において、全試験データでは、改良前が8.8%、改良後が6.8%となった。特に、0.005(rad)以上では6.9%、4.3%、0.01(rad)以上では6.6%、3.6%、0.02(rad)以上では5.4%、2.2%となり、応答部材角が大きくなるにつれて、測定精度が向上する。

現在、本装置を実橋梁に設置し、耐久性確認試験を実施している。本研究の一部は国庫補助を受けて実施された。

表3 θ_{ps}/θ_{ds} の平均値(A_{ve})と変動係数(C_v)

検討データ	A_{ve} (前)	C_v (前)	A_{ve} (後)	C_v (後)
全データ	1.00	8.8%	1.02	6.8%
θ_{ds} 0.005(rad)	0.99	6.9%	1.00	4.3%
θ_{ds} 0.01(rad)	1.00	6.6%	0.99	3.6%
θ_{ds} 0.02(rad)	1.00	5.4%	1.00	2.2%

表2 実験ケース

Case	想定した鉄道RC ラーメン高架橋	入力 地震波	測定 方向	装置
0-1-前	—	正弦波	L方向	改良前
0-1-後				改良後
0-2-前			C方向	改良前
0-2-後				改良後
1-1-前	柱高さ 12m (1層)	L1 G3 地盤	L方向	改良前
1-1-後				改良後
1-2-前			C方向	改良前
1-2-後				改良後
2-1-前	柱高さ 7m (1層)	L2 G3 地盤	L方向	改良前
2-1-後				改良後
2-2-前			C方向	改良前
2-2-後				改良後

L方向:線路方向(X方向), C方向:線路直角方向(Y方向)

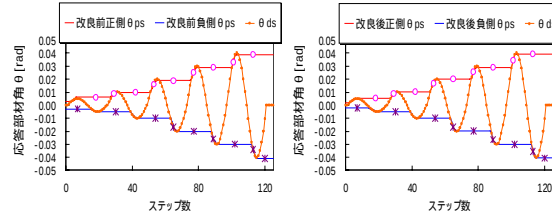


図8 Case0-1-前

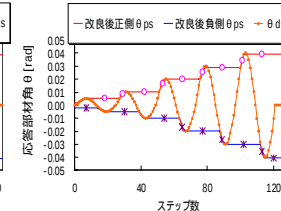


図9 Case0-1-後

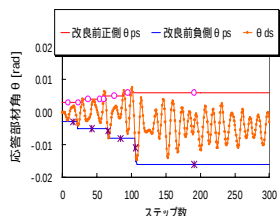


図10 Case1-1-前

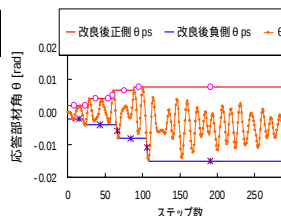


図11 Case1-1-後

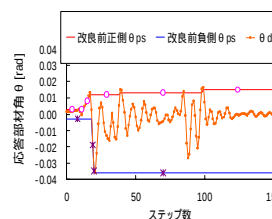


図12 Case2-2-前

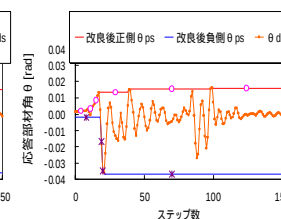


図13 Case2-2-後

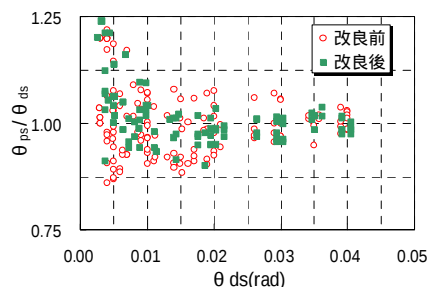


図14 測定精度検討結果