応答部材角測定装置による鉄道ＲＣ高架橋地震時モニタリングシステムの構築

（株）計測リサーチコンサルタント　正会員○濱田弘志　　宮本則幸
（公財）鉄道総合技術研究所　正会員　仁平達也　正会員　濱上洋平
曙ブレーキ工業（株）　　西條敦志

1. はじめに

大規模地震時に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[1]，最大応答部材角を効率的に測定できれば，地震後早期に柱の損傷レベル評価が可能となり，復旧作業の効率化等が期待できる．これまでに著者らは，RC 高架橋柱の最大応答部材角を直接測定する装置（以下，旧装置）の開発を行ってきた[2]．今回，昨年度に開発した，最大応答部材角だけでなく，被害解析等で有効となる応答方向の把握等が可能で，動的測定が可能な応答部材角測定装置（以下，プロトタイプ[3]）について，精度向上を目的とした改良を行い（以下，改良タイプ），その精度を確認し，改良タイプを実鉄道 RC ラーメン高架橋に設置しモニタリングシステムを構築した．本稿ではこれらの内容について報告する．

2. 応答部材角測定装置とモニタリングシステムの概要

図-1 に最大応答部材角測定装置を示す．測定棒は，測定点より柱に垂直に設置した治具を介して，地震時の柱の応答に追随する．測定点は，損傷が集中し，変形が集中する範囲（塑性ヒンジ区間）を避けた位置とし，図-2 に示すように，測定棒のアーム長を 1.5m 程度とする．装置は，トリガーとした構造物の応答加速度（100gal 程度）以上になると測定を開始し，XY 方向ともに 50Hz，連続的に 60 秒測定することを基本とした構成である．必要な電源は，太陽光パネルにより蓄電した電力を用いる．

測定データは，地震後直ちに設計計算結果をデータベース化したシステム PC に伝送し，遠隔地に設置した PC より装置を設置した構造物や近接する構造物群の損傷状況を評価するものである．プロトタイプは，旧装置よりも測定精度が低く，測定誤差を示す変動係数も大きくなっていた．そのため，改良タイプではバラつきの原因となった回転ポテンショスタットを直線性が±3%から±0.05%の高品質なセンサーに変更し，同一入力値の再現性が低下（ヒステリシス）した原因となった復帰ばねを撤去した．

3. 改良タイプの測定精度

プロトタイプと改良タイプに正弦波および模擬地震波（L2G3 地震波）により生じる柱天端の応答部材角を静的に与え，入力値と経験した最大値を測定値とし，入力値と測定値を比較する精度確認試験を実施した．本試験における測定棒の全長は 1550mm（実構造物は塑性ヒンジ長以上の 1000～2000mm 程度を想定）とした．表-1 に試験に用いた波形を示す．合計 4 ケース実施した．

表-2 と図-4 に測定精度の検討結果を示す．入力値は測定中に経験した最大応答部材角とし，旧装置の精度[1]との比較により検討した．プロトタイプと改良タイプの測定値/入力値の平均値は 0.918 と 0.952 となり，変動係数は 16.0%と 5.2%となった．この主な原因として，図-5 に示すように，微小な部材角の精度が向上したことが挙げられる．また，最大値のみを測定する旧装置と比較すると，改良タイプは平

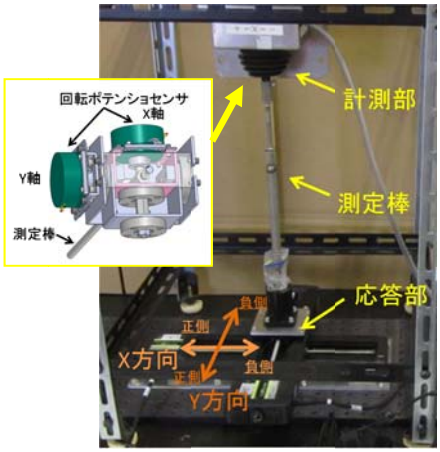

図-1　開発装置（改良タイプ）

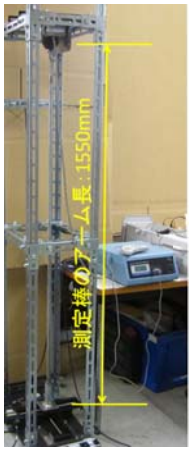

図-2 測定棒のｱｰﾑ長の例

STEP	内容
1	地震発生時⇒応答部材角の時刻歴のデータを測定
2	測定データを Zig-bee 無線でシステム PC へ伝送（通常時は 1 日/回）
3	操作 PC よりシステム PC を遠隔操作し構造物および構造物群の損傷状況を評価

図-3　全体システムの概要

表-1　試験ケース

Case	入力地震波	方向
1	正弦波	X 方向
2		Y 方向
3	L2_G3 地盤※	X 方向
4		Y 方向

※柱高さ 7m の 1 層鉄道 RC ラーメン高架橋を想定

表-2　測定値/入力値

	装置	全データ	0.003(rad)以上	0.01(rad)以上
平均値	旧装置	0.976	0.976	0.988
	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ	0.918	0.938	0.958
	改良ﾀｲﾌﾟ	0.952	0.964	0.955
標準偏差	旧装置	0.086	0.086	0.065
	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ	0.147	0.076	0.052
	改良ﾀｲﾌﾟ	0.050	0.053	0.053
変動係数(%)	旧装置	8.8	8.8	6.6
	ﾌﾟﾛﾄﾀｲﾌﾟ	16.0	8.1	5.5
	改良ﾀｲﾌﾟ	5.2	5.5	5.6

※旧装置：全データ=0.003(rad)以上のデータ（0.003(rad)以下は不感帯）

キーワード　最大応答部材角，損傷レベル，モニタリング
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

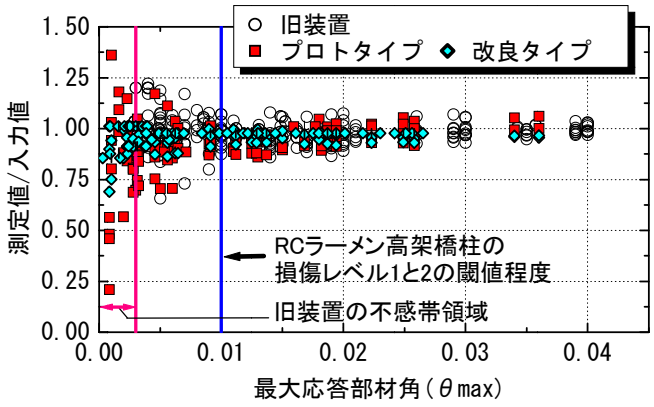

図-4 測定精度（測定値/入力値）

均値と変動係数に差異はみられず，最大応答部材角の測定精度は概ね同等となることを確認した．

4. 実鉄道構造物へのモニタリングシステムの構築

4.1 モニタリングシステムの設置作業

図-6 にシステムの構築状況を示す．改良タイプを用いたモニタリングシステムを実鉄道 RC ラーメン高架橋の端部柱に設置し，設置箇所から約 40m 離れた常時電源を確保できる位置にシステム PC を設置した．作業時期は 1 月，設置作業は約 7 時間を要した．測定棒と構築時において，図-7 に示すように，改良タイプの動作確認試験を行い，システム PC へのデータ伝送が可能であることを確認した．初期動作確認後，システムの稼働状況の確認を行う目的で，1 回/日に定刻で 60 秒間，応答部材角を測定しデータをシステム PC に送信することとした．

4.2 データ取得状況

図-8 に設置後 2 カ月間の取得データの推移を示す．良好にデータ取得していることを確認している．なお，測定データは ±0.002（rad）程度の変動がみられた．この原因として，図-9 に示す箇所，すなわち，柱に垂直に設置した冶具と測定棒との間において，設置上必要な機械的な遊間を有していることや，不静定構造物であるラーメン高架橋の温度変化による影響が考えられる．すなわち，前者は計測時間内の変動の主な要因であり，後者は，計測日間の変動の主な要因であると考えられる．しかしながら，図-4 に示すように，この範囲の挙動は損傷レベルの判定に影響を与えないものと考える．

図-10 にバッテリーの推移を示す．太陽光パネルを設置しない場合，140 日程度でシステム稼働に必要な電圧の最低値に到達する想定であるが，太陽光による充電により，大きな電圧低下はなく稼働していることを確認した．

5. まとめ

応答部材角測定装置の精度向上を目的とした改良を行い，改良した装置を実鉄道 RC ラーメン高架橋に設置しモニタリングシステムを構築した．設置後 2 カ月程度経過したが，良好にデータを取得していることを確認した．今後も，引続いてデータを取得していく予定である．本研究は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した．

参考文献

1）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，2004.4 2）鈴木哲也，仁平達也，曽我部正道，宮本則幸：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.29,No.2，pp.721-726，2007 3）仁平達也，岡本大，宮本則幸，濱田弘志，西條敦志、安齋眞：省電力型最大応答部材角測定装置の開発，土木学会第 71 回年次学術講演会，V-626，pp.1251-1252，2016

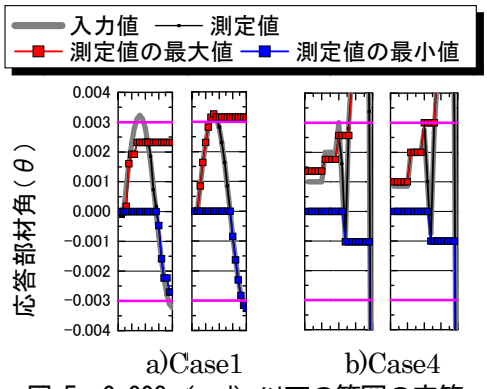

図-5 0.003（rad）以下の範囲の応答
（左：プロトタイプ，右：改良タイプ）

図-6 システム構築状況

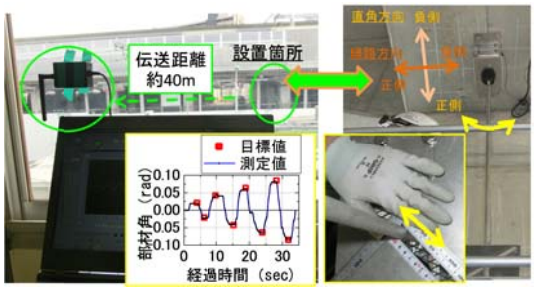

図-7 伝送試験状況

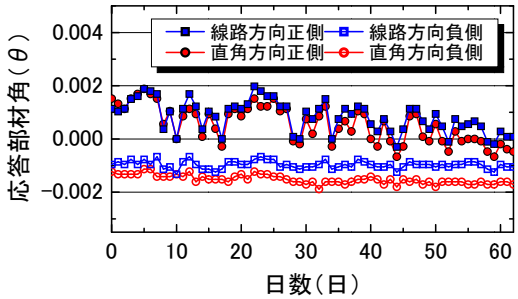

図-8 データ取得状況

図-9 遊間の箇所

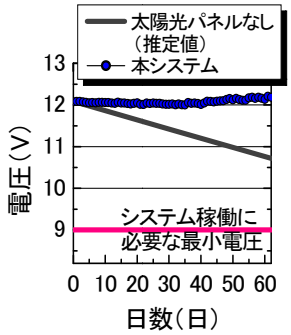

図-10 バッテリーの推移