

## 地震被害推定ノモグラムを用いた電化柱の即時被害推定

|               |     |     |    |
|---------------|-----|-----|----|
| (公財)鉄道総合技術研究所 | 正会員 | 坂井  | 公俊 |
| (公財)鉄道総合技術研究所 | 正会員 | 田中  | 浩平 |
| (公財)鉄道総合技術研究所 | 正会員 | 原田  | 智  |
| 中央開発(株)       | 正会員 | ○田中 | 駿  |
| 中央開発(株)       | 正会員 | 王寺  | 秀介 |

## 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震において、電化柱の折損被害が発生し、この取り換え作業が運行再開のボトルネックとなった。そのため、地震時には土木構造物の被害を早急に把握することだけでなく、この上に建植されている電化柱の被害の有無を早期に判定することが重要である。このとき、例えば地表面地震動は距離減衰式<sup>1)</sup>、鉄道橋梁・高架橋は被害推定ノモグラム<sup>2)</sup>を用いることで、簡易かつ適切に地震動分布や構造物被害の有無を判定することが可能である一方で、電化柱に対してこのような簡易被害判定手法は存在しないのが現状である。

そこで本検討では、橋梁・高架橋を対象として作成された被害推定ノモグラムを用いた電化柱の応答評価の可能性を確認するために、地震動特性、高架橋特性および電化柱の特性を網羅的に変化させた地震応答解析を実施するとともに、被害推定ノモグラムと比較を行った。

## 2. 解析条件

検討の条件としては、既往の検討<sup>2)</sup>において得られた高架橋天端の応答波形を電化柱に入力することで、電化柱の応答加速度を評価することとした。具体的には、入力地震動として防災科学技術研究所 K-NET において 1996 年 5 月～2011 年 7 月の間に発生した地震の観測記録のうち、三成分合計加速度で 50gal 以上を計測した記録の水平成分(NS, EW 成分)の計 16992 記録を用いる。高架橋の条件としては、等価固有周期  $T_{eq}$  を 0.1～10s まで対数軸で等間隔に 40 ケース変化させることとし、それぞれの地震動、構造物周期に対して応答塑性率  $\mu$  が 1～10 となるように降伏震度  $k_{hy}$  を調整した。

このようにして得られた高架橋天端の応答波形を入力として電化柱の応答解析を実施する。電化柱は線形弾性体として取り扱うとともに、等価な 1 自由度モデルによって表現する。固有周期  $T_p$  を 0.1～1.0s まで 0.05s 刻みで 19 パターン変化させた。減衰定数  $h_p$  は、0.01～0.20 まで複数パターン変化させることとした。以上の条件で、各地震動波形、高架橋条件、電柱条件に対する電化柱の最大応答加速度を算出した。ここで、電化柱のような比較的単純な棒部材の天端応答を等価な 1

自由度モデルによって評価する場合には、適切な刺激係数を考慮する必要がある<sup>3)</sup>が、ここでの結果はその影響を無視していることに注意を要する。

## 3. 解析結果

前述した条件により得られた電化柱の最大加速度のうち、高架橋を弾性体 ( $\mu=1$ )、電化柱の減衰定数  $h_p=0.05$  とした場合の結果を図 1 に示す。この図における  $T_b$  は高架橋の振動卓越周期(s)で式(1)により算定する<sup>2)</sup>。 $T_p$  は電化柱の固有周期(s)、 $PPA$  は電化柱の最大加速度(gal)、 $PSA$  は高架橋天端の最大加速度(gal)、 $PSV$  は高架橋天端の最大速度(kine)である。

$$T_b = 2\pi \frac{PSV}{PSA} \quad (1)$$

この結果を見ると、各結果は大きくばらついているものの、 $T_b/T_p$  毎の平均的な特徴を確認すると、 $T_b/T_p=1.0$  付近でピークを示し、それ以降では徐々に応答加速度の比が小さくなっている傾向がみられる。これは、電化柱の固有周期が高架橋の振動卓越周期に近いと、電化柱と高架橋が共振して、応答が局所的に増大することを反映した結果である。また大まかな傾向は、従来の橋梁・高架橋に対して提案された被害推定ノモグラム<sup>2)</sup>と類似しており、これをそのまま適用できる可能性があると言える。

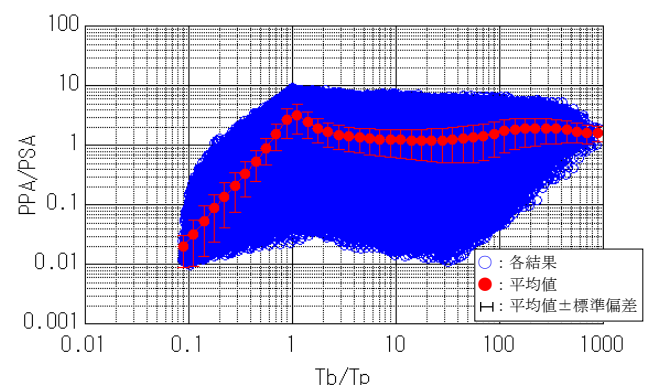


図1 応答解析結果(高架橋 $\mu=1$ , 電化柱  $h_p=0.05$ )

続いて、高架橋の非線形化が電化柱の応答に与える影響を見るために、高架橋の応答塑性率  $\mu=1\sim10$  のそれぞれの計算結果に対して加速度比  $PPA/PSA$  の周期比

キーワード 電化柱, 被害推定ノモグラム, 地震応答解析

連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 地震動力学研究室 TEL042-573-7394

毎の平均値と標準偏差をプロットした結果を図2に示す。これを見ると、横軸を周期比  $T_b/T_p$ 、縦軸を加速度比  $PPA/PSA$  に取って整理することで、高架橋の応答塑性率によらず概ね同一の傾向を示していることが確認できる。また電化柱の減衰を変化させた場合には、全体の応答倍率が大小するものの、基本的な傾向は変わらないことを確認している。

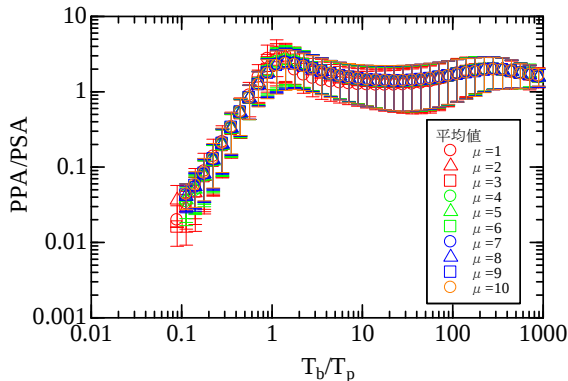


図2 高架橋の応答塑性率による変化

#### 4. 被害推定ノモグラムによる応答評価

以上の解析結果より、電化柱の地震時応答加速度は、高架橋の振動卓越周期と電化柱の周期比  $T_b/T_p$  を横軸とし、縦軸を加速度の応答倍率  $PPA/PSA$  とすることで、地震動や高架橋の特性によらず統一した表現が可能であることが確認できた。またこの傾向は橋梁・高架橋を対象として作成された被害推定ノモグラム<sup>2)</sup>と同様の傾向を示している。そこで、橋梁・高架橋の被害推定ノモグラムを用いた応答評価の可能性について検討を行う。被害推定ノモグラムは、次式で表現される。

$$A_r = k_3 \times \frac{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{T_r}{k_1}\right)^2\right)^2 + 4k_2^2 \left(\frac{T_r}{k_1}\right)^2}}{\left(\frac{T_r}{k_1}\right)^2} \quad (2)$$

ここで、 $A_r$  は  $PPA/PSA$  の逆数を表し、 $T_r$  は周期比  $T_b/T_p$  である。また  $k_1, k_2, k_3$  は回帰係数である。これによって算定される被害推定ノモグラムを電化柱の減衰定数  $h_p=0.05$  とした場合の全解析結果を周期比毎に平均したものと重ね描いたものを図3に示す。この結果を見ると、被害推定ノモグラムによる結果は全体の平均的な傾向を概ね表現できており、高架橋を対象として作成されたノモグラムをそのまま適用しても問題ないことが確認できる。

また、高架橋の被害推定ノモグラムには、減衰が変化した場合の補正手法の提案も行っている。そこで今回の解析結果のうち、 $h_p=0.03, 0.15$  とした場合の平均的な応答加速度についても減衰定数を補正した被害推定

ノモグラムと重ね描いた結果を図4に示しているが、いずれの結果もノモグラムと解析結果の平均値は良好に一致している。

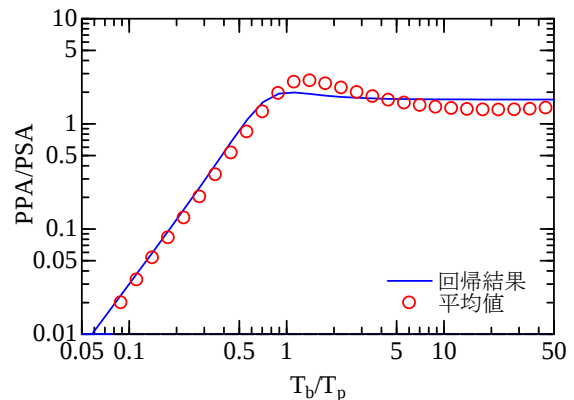


図3 被害推定ノモグラムの適用性の確認 ( $h_p=0.05$ )

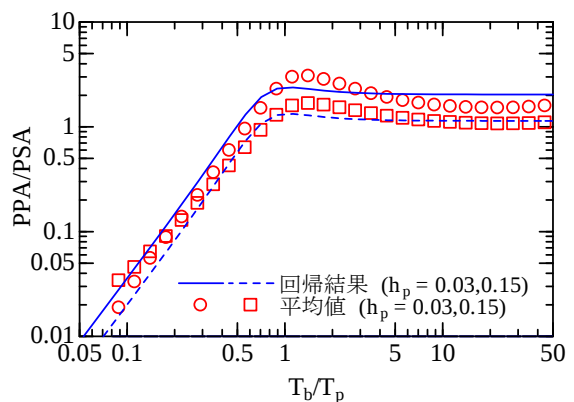


図4 電化柱の減衰が変化した場合の結果

#### 5. まとめ

高架橋上に建植された電化柱の地震被害即時推定のための検討を行った。具体的には、地震動条件、高架橋の条件、電化柱の条件を多数変化させた地震応答解析を実施するとともに、得られた結果から過去に橋梁・高架橋を対象として作成された被害推定ノモグラムの適用性を確認した。その結果橋梁・高架橋の被害推定ノモグラムを用いることで、電化柱の応答を適切に推定可能であることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 523, pp. 63-70, 1990.
- 2) 坂井公俊, 室野剛隆: 地震動の最大加速度と最大速度を用いた土木構造物の地震被害推定ノモグラムの改良, 土木工学会論文集A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, (地震工学論文集第34巻), I\_32 - I\_39, 2015.
- 3) 室野剛隆, 加藤尚, 豊岡亮洋: 地震動の入力レベルが高架橋と電車線柱の共振現象に与える影響評価, 第31回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, 2011.