

鉄道の運転規制への活用を目的とした構造物の損傷下限値の評価方法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○川西 智浩、山田 聖治、室野 剛隆、和田 一範

1. はじめに

各鉄道事業者においては、地震後に鉄道構造物の点検を実施すべきかを判断するため、地震の揺れの強度を表す指標に対してしきい値（点検基準値）が定められていることが多い¹⁾。この点検基準値は、一般的に過去の被害事例に基づき被害が生じる揺れの推定値（以下、損傷下限値）を定め、その損傷下限値にある程度の安全率を見込んで設定されている。しかし、過去の被害経験は限定的であることから、本研究ではより物理的な側面からの検討として、構造物の柱・橋脚に関する損傷下限値を、数値解析により評価する方法を提案する。なお本検討では、地震の揺れの強度を表す指標値として SI 値を用いる。

2. 評価方法

本研究では、過去に観測された多数の地震動と構造物の高さや幅等のパラメータを網羅的に変化させた多数の構造物を用いて応答解析を実施することにより、橋梁・高架橋における柱・橋脚の損傷下限値を評価する。まず、構造物に入力する地震動としては、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、三成分合成加速度で 50gal 以上を計測した記録の水平成分 (NS、EW 方向) の計 16992 記録を用いた。次に構造物としては、1 層 3 径間のラーメン高架橋（杭基礎）を対象とし、上記構造物の諸元として複数のパラメータを網羅的に変化させた構造物群を用いる。構造物のケース数は、表 1 に示すパラメータを組み合わせて作成した構造物のうち、プッシュオーバー解析結果が適切でない構造物、周期が 10(s)以上の構造物、降伏震度が 2.0 以上または 0.2 未満の構造物など、応答解析の検討対象として適切でない構造物を除外した計 435610 ケースとする。解析対象構造物の等価固有周期 T_{eq} と降伏震度 k_{hy} の関係を図 1 に示す。

図 2 に数値解析に基づく構造物（柱・橋脚）の損傷下限値の設定方法を示す。一般的な高架橋は比較的単純な構造物であり、その動的挙動が 1 自由度系で表現できることが多い²⁾ことから、図 1 で示した等価固有周期 T_{eq} と降伏震度 k_{hy} を有する弾性の構造物（減衰定数 5%）に対し、上記の地震動を入力して 1 自由度の応答解析を実施する。そして、構造物がある塑性率に達する際の揺れの指標値を評価し、その評価結果に基づき構造物の曲げ損傷を対象とした場合の損傷下限値を設定する。

3. 評価結果

構造物が塑性率 1～4 に達する際の SI 値と構造物の降伏震度 k_{hy} との関係を図 3 に示す。各図より、構造物の降伏震度が大きくなるにつれて、ある塑性率に達する際の SI 値が向上することがわかる。図 3 には、損傷評価結果に基づき、各塑性率に達する SI 値の下限を $y=ax+b$ の形でフィッティングさせて設定した損傷下限値をあわせて示している。また、塑性率 1～4 に対して設定した損傷下限値をとりまとめた結果を図 4 に示す。このように提案手法では、構造物がある

表 1 主なパラメータの概要

パラメータ	範囲等
柱高さ (m)	5～15
断面幅 (m)	0.7～1.1
引張鉄筋比 (%)	0.2～1.5
帯鉄筋比 (%)	0.05～1.25
断面応力(N/mm ²)	0.5～3.0
地盤種別	G3～G5

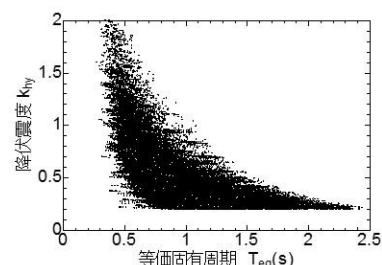


図 1 解析対象構造物の T_{eq} - k_{hy} 関係

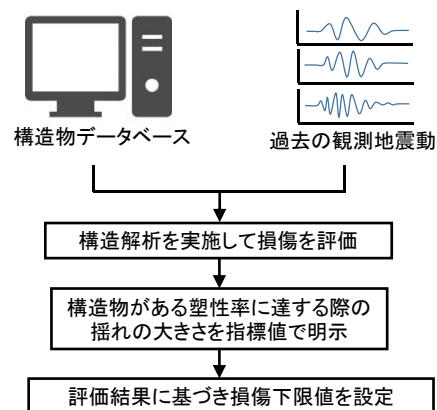


図 2 構造物の損傷下限値の設定方法

キーワード 損傷下限値, 点検基準値, 運転規制, 橋梁, 高架橋

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鉄道地震工学研究センター TEL 042-573-7336

塑性率に達する揺れの指標値を整理していることから、構造物の塑性率ごとに損傷下限値が設定可能である。

4. 提案手法による構造物の損傷下限値の活用方法

図4に示した塑性率ごとの損傷下限値の評価結果を用いることで、目的にあわせて複数段階の損傷下限値を設定できる。例えば、構造物の塑性率が1の場合、曲げひび割れを許容するものの、鉛直荷重は十分保持できることから、塑性率1の損傷下限値を「徐行運転」を実施する下限と設定し、一方、構造物の塑性率が2の場合、曲げ損傷が進行した状態であることから点検が必要であると考え、塑性率2の損傷下限値を「点検実施」を実施する下限と設定する。このように塑性率と目的の対応を明確にすることで、図5に示すように、ある構造物の降伏震度から、目的に応じた損傷下限値を設定できる。

また、運転規制を実施するかどうかの限界点を、耐震補強前はせん断破壊の発生点、耐震補強後は曲げ降伏点とする場合、構造物の耐震補強によりせん断破壊が発生しなくなるため、図6(a)に示すようにこの限界点が向上する。本研究で提案した手法では、構造物の降伏震度とある塑性率に達する揺れの指標値の関係を整理していることから、図6(b)に示すように、図4に示した損傷下限値の評価結果を補強後の降伏震度に適用することにより、損傷下限値の設定に耐震補強の効果を反映させることが可能となる。

5. まとめ

本研究では、橋梁・高架橋における柱・橋脚を対象として損傷下限値の評価方法を提案するとともに、その活用方法を示した。別途、柱・橋脚以外の損傷についても損傷下限値を設定したうえで、被害形態毎の損傷下限値に対しさらに安全率を考慮することで地震時点検基準値を設定することが可能となる。今後、柱・橋脚以外の損傷についても数値解析に基づき損傷下限値の評価方法を検討する予定である。

謝辞 本研究では、防災科学技術研究所 K-NET のデータを使用させていただきました。

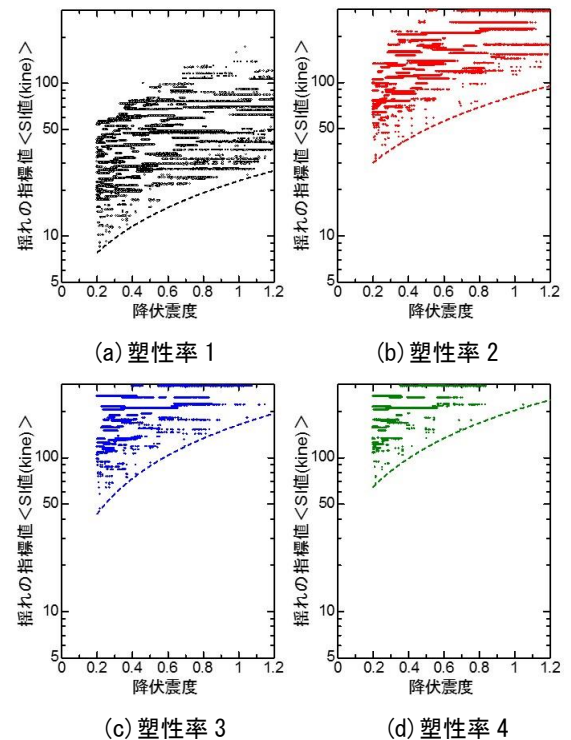


図3 構造物の損傷下限値の評価結果

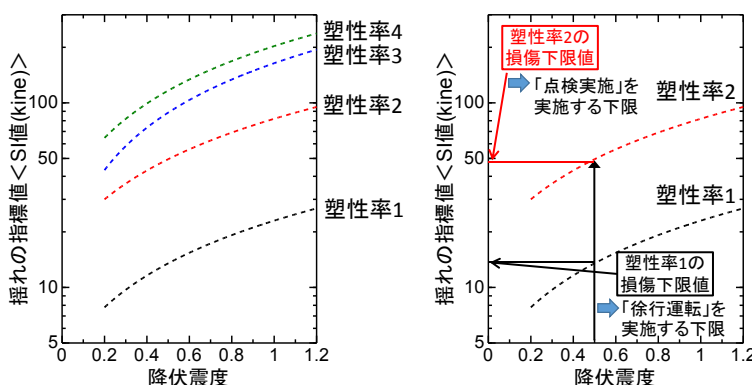
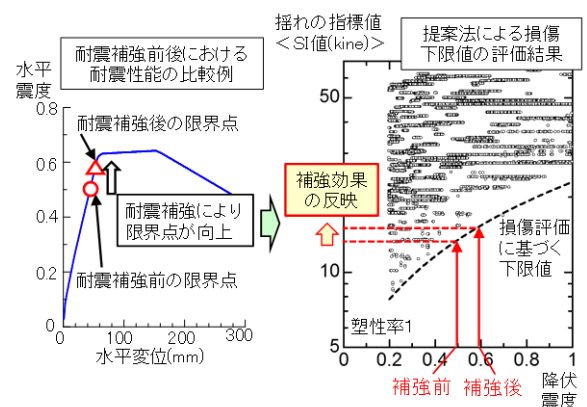


図4 塑性率1～4の損傷下限値の評価結果 図5 目的に応じた損傷下限値の設定



(a) 補強による限界点向上 (b) 損傷下限値の設定
図6 損傷下限値設定における耐震補強効果の反映

参考文献 1) 鈴木博人、島村誠：地震時運転規制方法の研究、JR EAST Technical review、No.3、pp.53-60、2003。
2) 室野剛隆、佐藤勉：構造物の損傷過程を考慮した非線形応答スペクトル法の適用、土木学会地震工学論文集、第29巻、pp.520-528、2007。