

地震に伴う損傷を受けた RC ラーメン高架橋の残存性能の評価

中央復建コンサルタンツ（株）正会員 ○水野陽弓

（公財）鉄道総合技術研究所 正会員 坂井公俊、名波健吾、豊岡亮洋

中央復建コンサルタンツ（株）正会員 今村年成、青田周平

1. はじめに 過去の大規模地震では、RC ラーメン高架橋の中層梁や柱上下端のひび割れ等の被害が報告されている。地震後の早期復旧や早期運転再開の合理的な判断には、地震で損傷した構造物の残存性能の把握も重要な要素の一つとなる可能性が考えられるが、このような観点での検討は限られており（例えば¹⁾、現状では多くの場合で経験に基づいた補修の要否や運転再開の判断が行われている。そこで本検討では RC ラーメン高架橋を対象として、地震損傷の程度による構造物の残存性能の変化に関する基礎的な検討を実施した。

2. 対象構造物、検討の手順 本検討で対象とする構造物は、1層ラーメン高架橋（構造物 A）、2層ラーメン高架橋（構造物 B）の2種類とする。両構造物ともに、鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）²⁾に準拠してモデル化を行うとともに、L1 地震動、L2 地震動に対する耐震性能を満足する断面を設定している。最終的に設定した構造物 A、B の概略形状を図 1 に示すが、これを地震前の各構造物の健全な状態として扱う。この2種類の構造物に対してそれぞれプッシュオーバー解析を行うことで、健全な状態における構造物全体系の荷重-変位関係を把握しておく。

続いて、地震に伴う損傷状態を複数ケース想定し、この損傷程度に応じて構造物の解析モデルを修正し、各構造物の性能の把握を行う。この時の損傷状態としては、今回は以下の2ケースを想定した。

①荷重-変位関係の折れ曲がり点（柱上下端が降伏した点）

まで応答した場合（図 2 の Yb 点付近）

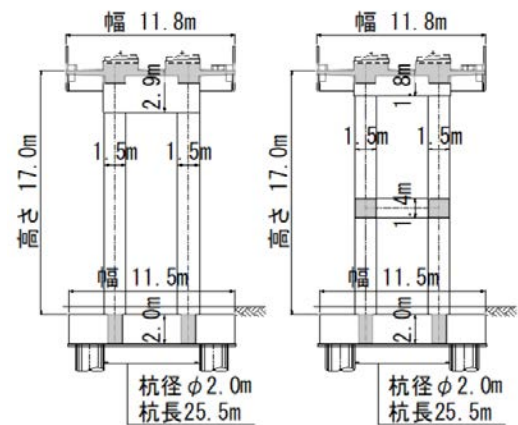
②荷重-変位関係の折れ曲がり点と最大耐力点の概ね中点

まで応答した場合（図 2 の最大応答点付近）

損傷発生後の解析モデルは、図 2 の赤線で示したように、想定した最大応答点を目指すように初期剛性を変更することで表現した。各構造物、各損傷状態の構造物に対するプッシュオーバー解析を実施することで地震後構造物の荷重-変位関係を把握するとともに、地震前の構造物との比較を行う。なお本検討では、解析安定性の観点から部材特性の軸力変動や非線形特性の負勾配を無視している。

3. 解析結果 各構造物の地震前、地震後の荷重-変位関係を比較した結果を図 3 に示す。これを見ると、地震の損傷に伴って構造物全体系の初期剛性が徐々に低下していることが分かる。その一方で、構造物全体の最大水平震度は損傷程度によらずほぼ一定となっている。また今回想定した構造物では、構造物 A の方が変形性能が大きく、結果として損傷に伴う初期剛性の変化が相対的に大きくなっていることも確認される。

次に、地震後の構造物の残存性能として、等価固有周期



(a) 構造物 A（中層梁無） (b) 構造物 B（中層梁有）

図 1 対象構造物の概略形状

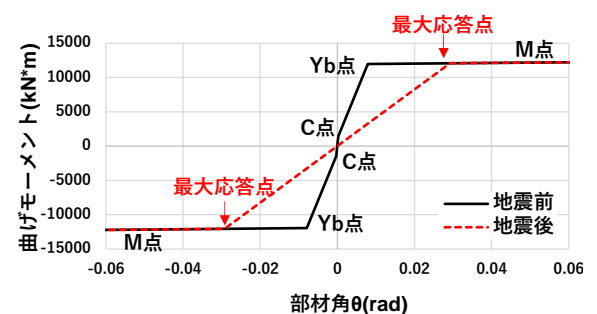


図 2 損傷を受けた部材の非線形特性の設定

キーワード 損傷後の耐震性能, RC ラーメン高架橋, 鉄道構造物, プッシュオーバー解析

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ株式会社 TEL 06-6160-2312

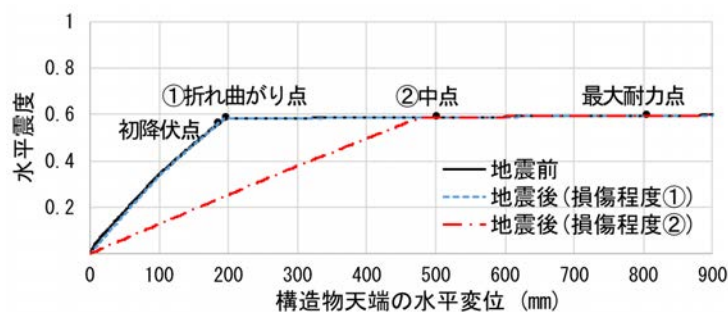
T_{eq} 、降伏震度 k_{hyb} 、最大耐力点に達する部材が初めて現れた時の変位 (M 点変位) δ_m の情報をまとめて図 4 に示す。この図の横軸 0 は地震前の状態を、1、2 は 2. で定義した損傷状態①②を示しており、地震前の状態の固有周期は弾性固有周期である。図 4 より、地震に伴う損傷程度が大きいほど固有周期が長くなる一方で、降伏震度、M 点変位は損傷程度によらず概ね一定であることがわかる。また固有周期の変化の影響は、構造物 B (中層梁有) よりも構造物 A (中層梁無) の方が多少大きくなっている。これは、前述した理由に加えて、今回対象とした構造物 B における先行的な損傷発生部位が中層梁である一方で、構造物 A では柱の上下端に損傷が集中していることも要因の一つであると考えられる。

最後に鉄道構造物の設計地震動に対する性能を評価した結果を図 5 (L1 地震動)、図 6 (L2 地震動) に示す。まず L1 地震動に対する地震応答値 (図 5) を見ると、地震に伴う損傷程度が大きいほど、応答変位が大きくなっている。これは L2 地震動に対する結果 (図 6(a)) でも同様の傾向である。この要因としては、図 4(a) に示したように損傷に伴う構造物の長周期化が考えられる。結果として地震に対する照査値 (図 6(b)) も徐々に大きくなる結果が得られるなど、地震に伴う損傷によって、L1 地震動、L2 地震動に対する性能は徐々に低下することが確認された。

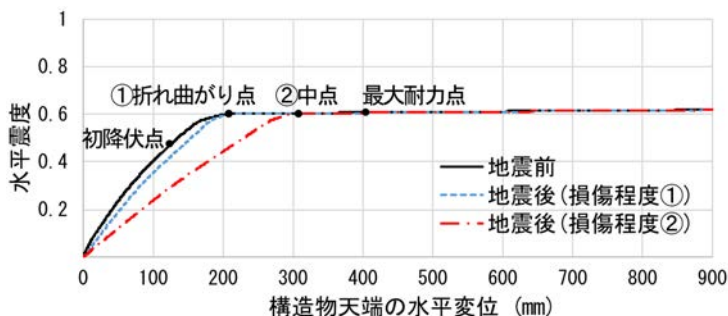
4. 今後の予定 部材損傷に伴う非線形特性の表現方法を精査した後、構造形式や構造物形状を変化させた条件で同様の検討を実施することで、損傷に伴う性能変化の大小比較を行う。最終的には地震後の構造物が保有する地震リスクを評価することで、地震後の復旧判断に資する情報の表示方法について検討を行う予定である。

参考文献 1) 井上和真、植村佳大、浅見健斗、今井克実、井澤亮介：2 層式 RC ラーメン高架橋の中層梁の地震損傷が残存耐震性能に及ぼす影響, 第 41 回地震工学研究発表会講演論文集, Vol.41, 2021.

2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説—耐震設計, 丸善出版, 平成 24 年.

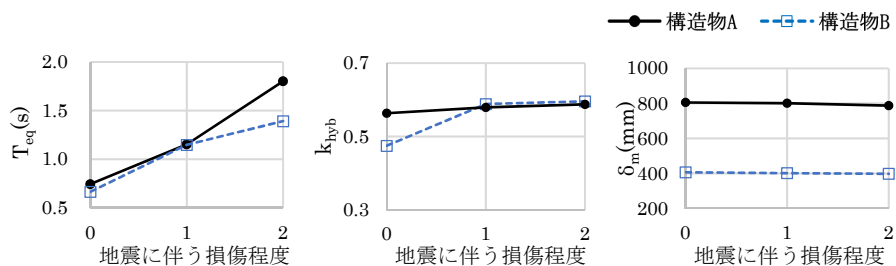


(a) 構造物 A (中層梁無)



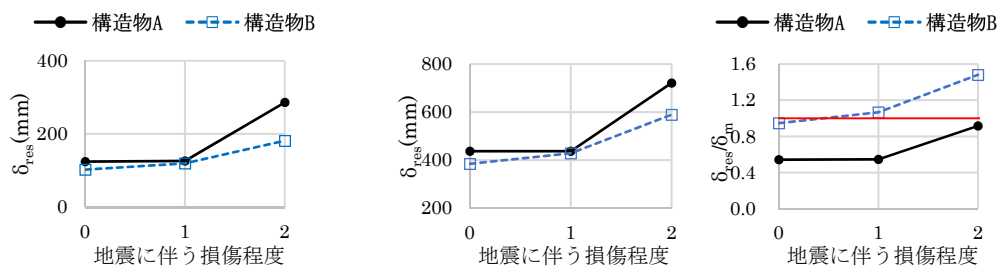
(b) 構造物 B (中層梁有)

図 3 地震に伴う損傷を考慮した荷重—変位関係の変化



(a)等価固有周期 T_{eq} の変化 (b)降伏震度 k_{hyb} の変化 (c)M 点変位 δ_m の変化

図 4 地震後の構造物の残存性能



(a) 応答変位 δ_{res} の変化 (b)照査値 δ_{res} / δ_m の変化

(L1 地震動) 図 6 地震後の構造物の残存性能 (L2 地震動)