

2011年東北地方太平洋沖地震で被災したRC1層ラーメン高架橋の地震被害とサイト特性を考慮した強震動の関係

早稲田大学 学生会員 ○篠口 冨子, 早稲田大学 学生会員 石橋 寛樹
大阪大学 正会員 秦 吉弥, 早稲田大学 正会員 秋山 充良

1. はじめに

地震被害調査では、大きな損傷が生じた RC ラーメン高架橋に直近しており、かつ同種の構造であっても全く被害が生じていない高架橋が観察されることがある。線状に同種の構造物が連続して存在する場合、基礎構造や表層地盤の地層構成は一般的に緩やかに変化しており、被害の生じたラーメン高架橋と被害の生じていないものとの差に特徴的な違いを見出せない。本稿では、ほぼ同じ構造諸元を持ちながら RC1 層ラーメン高架橋の地震被害に大きな差が生じた地点を取り上げ、各高架橋位置でサイト特性を考慮した強震動を推定する。そして、それらを用いて RC1 層ラーメン高架橋の非線形地震応答解析を行い、高架橋に生じる応答値と 2011 年東北地方太平洋沖地震で観察された地震被害の関係を考察する。RC ラーメン高架橋の被害がある地点や区間に集中的に生じたことや、それらの前後では被害が生じていないことの原因をそれぞれの高架橋位置で推定される強震動の違いから説明することを試みる。

2. サイト特性を考慮した強震動による RC ラーメン高架橋の地震応答解析

2011 年東北地方太平洋沖地震において、JR 長町駅周辺では 500m 程度の区間にある RC1 層ラーメン高架橋に被害が集中し、その前後の区間では大きな損傷は確認されていない^{1), 2)}。本研究では、図-1にある長町高架橋 P_01-P_32 の 32 か所の位置でサイト特性を考慮して推定されたそれぞれの強震動^{3), 4)}を用いて RC1 層ラーメン高架橋の非線形動的解析を行い、地震応答の大きさと高架橋 RC 柱の損傷度を比較する。入力強震動の違いによる同一構造物の応答値の差を比較することで、地震被害が生じた位置で推定された強震動はこの種のラーメン高架橋に大きな応答を生じさせるのかを確認する。解析モデルは、図-2に示すように 3次元の多質点系骨組解析を採用し、RC 柱の上下端に設けた塑性ヒンジの中心位置に与える非線形バネ（モーメント-回転角 ($M-\theta$) 関係)により曲げによる非線形性を表現した。 $M-\theta$ 関係の非線形バネの骨格曲線は、死荷重時の状態に対して定めている。なお、鉛直方向に地震動は入力

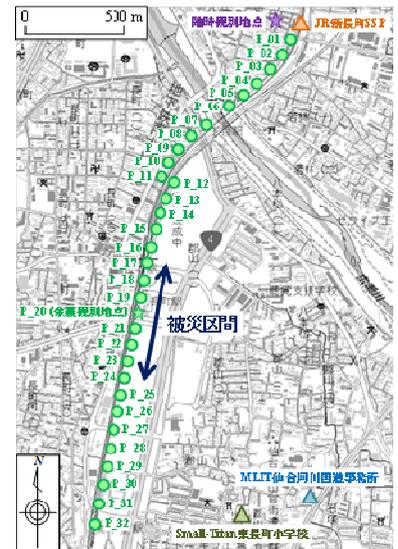


図-1 長町高架橋の強震動推定地点

していない。数値積分には Newmark の β 法 ($\beta=1/4$) を使用し、減衰は Rayleigh 減衰とした。 $M-\theta$ 関係の骨格曲線は、鉄道構造物等設計標準 (以下、鉄道標準) に従い算定し、Y 点 (降伏点)・M 点 (モーメント最大点)・N 点 (終局点 (降伏荷重を維持する最大変形点)) の三点を結ぶ直線とした。図-3に解析に用いた $M-\theta$ 関係の骨格曲線を示す。履歴モデルは Takeda 型に従うと仮定し、仮に N 点を超える応答が生じたとしても、M 点と N 点を結ぶ直線をそのまま延ばし、それを骨格曲線として解析を続けた。P_01-

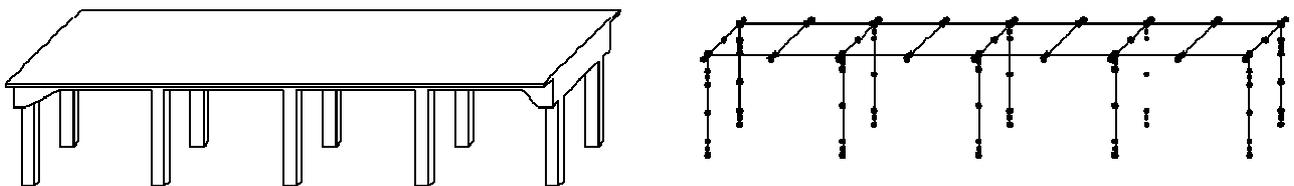


図-2 解析モデル

Key Words : RC ラーメン高架橋, サイト特性, 強震動, 地震応答解析, 地震被害
連絡先 : 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL : 03 (5286) 2694

P₃₂ を用いた動的解析により得られた最大回転角の分布を図-4 に示す。サイト特性を反映した各強震動について高架橋内の全ての塑性ヒンジの中で生じる回転角の最大値を求め、鉄道標準が定める定義に従い損傷レベルを比較した。ここでは、損傷レベルは 1-4 の 4 段階であり、最大回転角が 0 点-Y 点間にあるときを損傷レベル 1, Y 点-M 点間にあるときを損傷レベル 2, M 点-N 点間にあるときを損傷レベル 3, N 点以上のときを損傷レベル 4 と定義されている。図-4 より、全ての場合で曲げ降伏点を超える応答が生じている。RC ラーメン

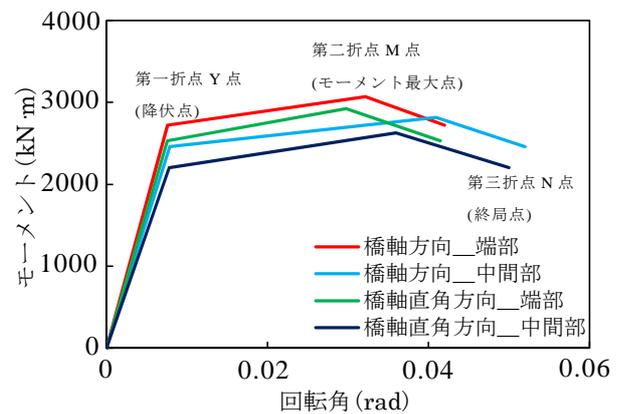


図-3 モーメントー回転角関係

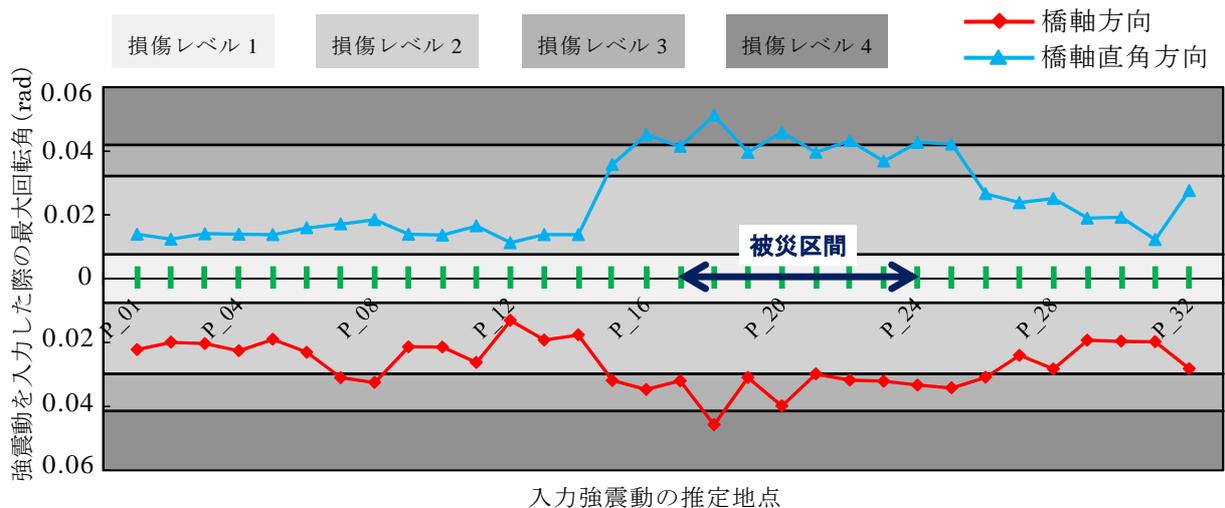


図-4 長町高架橋における各対象地点で推定された強震動を入力した際に生じる最大回転角の分布図

高架橋に被害が生じた被災区間では、その他の区間に比べて大きな最大回転角が発生し、特に P₁₈ で推定された強震動は、橋軸方向・橋軸直角方向ともに大きな応答値を生じさせている。振幅や位相特性を踏まえてサイトごとの強震動を再現した結果として、非線形動的解析による応答値は被災区間で大きく、高架橋が損傷していない区間で小さくなるなど、実際の被害の有無に概ね対応した結果が得られた。サイト特性の違いを考慮した強震動と構造物の地震応答解析により、線状鉄道構造物の中で特に大きな地震被害が生じる地点や区間を把握できる可能性を示した。

3. まとめ

サイト特性を踏まえた強震動による非線形動的解析を実施した結果、2011 年東北地方太平洋沖地震で被害の生じた RC ラーメン高架橋は被害の生じなかった地点にある高架橋に比べて、計算上、大きな応答が生じる結果となった。サイト特性を踏まえた強震動と動的解析により、線状に続く構造物の中で、特に耐震上の配慮が必要とされる構造物を同定できる可能性が示された。今後は強震動の推定精度を改善し、また橋梁モデルを精緻化するとともに、他の地震被害の例を通じた検証を重ねる必要がある。

参考文献 1) 秦吉弥, 秋山充良, 高橋良和, 後藤浩之, 野津厚, 一井康二: 2011 年東北地方太平洋沖地震による長町高架橋被災区間での地盤震動特性の評価, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, I-224, pp.447-448, 2013. 2) 東日本旅客鉄道: 特集「東北地方太平洋沖地震と鉄道構造物」, Structural Engineering Data (SED), No. 37, 2011. 3) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin Seismological Society of America (BSSA)*, Vol.101, No.2, pp.688-700, 2011 4) 野津厚, 長尾毅, 山田雅行: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法の改良ー因果性を満足する地震波の生成ー, 土木学会論文集 A, Vol.65, No.3, pp.808-813, 2009.