

第 I 部門

損傷した 2 層式 RC ラーメン高架橋の列車走行性に関する基礎的検討

京都大学工学部 学生員 ○畠山 琴羽

京都大学大学院工学研究科 正会員 植村 佳大

京都大学大学院工学研究科 正会員 高橋 良和

1. 背景および目的

2 層式 RC ラーメン高架橋の耐震設計では、柱部の損傷低減を目的に、地震時損傷を中層梁に誘導させることが一般的である。しかし、中層梁損傷が列車走行性を与える影響について、検討例が見当たらない。これは、構造物の耐震性能と社会へ提供されるサービス水準の定量的関係が明らかでないことの一例と考えられる。そこで本研究では、構造物の耐震性能とサービス水準の定量的関係の導出に向け、2 層式 RC ラーメン高架橋の中層梁損傷後の列車走行性を評価することを試みる。

2. 性能・機能・サービス水準

本研究では、構造物の性能・機能・サービス水準を以下のように定義する。

性能：構造物などの性質と能力を示す定量的指標

機能：構造物の働きや固有の役割を示す定性的指標

サービス水準：機能がどの程度効果を発揮しているかを表す定量的指標

現行の設計書¹⁾²⁾では、性能について具体的な記載がある一方、機能についての表現は抽象的であり、またその機能が提供するサービス水準についての記載は見当たらない。近年、土木構造物の危機耐性に関する議論が活発化しているが、構造性能とサービス水準を結び付けることができれば、危機耐性を考える際の達成目標を定量的に表現することが可能となる。そのため、構造性能とサービス水準の関連付けは重要であるといえる。

3. サービス水準の定量的評価に向けた課題

本研究では、現行設計基準³⁾に定義されている列車走行性のうち、地震後の走行安全性について検討する。その際、RC ラーメン高架橋が社会に提供するサービス水準を、列車が走行可能な速度（以下、列車走行速度と呼ぶ）によって定量化することとする。ここで、サービス水準の定量的評価の流れを図-1 に示す。図に示す通り、

構造性能とサービス水準を定量的に関連づけるためには、構造物の応答変位と不同変位の関係を導出する必要がある。特に、地震後の目違い δ_g と地震時の最大応答変位 δ_m の関係を下記のように定式化すべきと考える。

$$\delta_g = f(\delta_m) \quad (1)$$

しかし、実際に地震による目違いを決定づける要因は、材料の不確定性や地盤特性の相違などが複合的に絡み合うため、 $f(\delta_m)$ を構造解析のみで導くには限度がある。

また現行の設計基準³⁾では、地震後の走行安全性に係る水平目違いの限界値が走行速度と関連づけて指標化されていない。このように、現状では構造性能とサービス水準を定量的に関連づけるための知見が不十分であり、更なる研究や観測データが必要であるといえる。

そこで本研究では、これらの不十分な知見を補うため、下記のような仮定を行う。

- 目違い δ_g と最大応答変位 δ_m の関係は、以下に示す線形関係で表すことができる。

$$\delta_g = 0.1\delta_m \quad (2)$$

- 現行設計基準³⁾に記載されている地震時の走行安全性に係る水平目違いと列車の走行速度の関係を、地震後の走行安全性の照査に使用できる。

4. 解析概要

(1) 解析手法

本解析では、モンテカルロシミュレーションを用いて材料特性の違いに起因する不同変位を算出する。その際、過去の検討⁴⁾⁵⁾を参考に、コンクリート圧縮強度および鉄筋の降伏強度を、平均と分散がそれぞれ



図-1 構造性能とサービス水準の関連性

Kotoha HATAKEYAMA, Keita UEMURA, Yoshikazu TAKAHASHI

hatakeyama.kotoha.64r@st.kyoto-u.ac.jp

35.89MPa と 3.84MPa, 372.65N/mm^2 と 13.73N/mm^2 である正規分布と仮定して解析を行う。また本解析では、入力倍率を変化させた JMA 神戸 NS 波(1995 年兵庫県南部地震)を対象構造の線路直角方向に入力する。その後、得られた最大応答変位をもとに水平目違い量を算出し(式(2)), その値から列車走行可能速度を導出する。以上より、入力された地震動に対して列車が走行不能になる確率 (以下、列車走行不能確率と呼ぶ) を試算し、耐震性能とサービス水準の関係の定量化を目指す。

(2) 構造モデル

2 層式 RC ラーメン高架橋には東北新幹線の一般的な諸元を用いた(図-2)。上層梁と中層梁・柱間の接合部は剛体、柱と中層梁はファイバー要素でモデル化し、コンクリートには Hognestad モデル、鉄筋には Menegotto-Pinto モデルを採用した。また、1 層式ラーメン高架橋は、2 層式 RC ラーメン高架橋の中層梁が崩壊し剛性がゼロとなった状況とみなしてモデル化した(図-2)。

5. 解析結果

(1) 解析モデルの妥当性

地震動の入力倍率と最大応答変位の関係、及び部材の損傷過程を図-3 に示す。図より、本解析モデルによって、中層梁が先行的に損傷する 2 層式 RC ラーメン高架橋特有の挙動が再現可能であることがわかった。

(2) 列車走行不能確率の試算

3.で述べた仮定を踏まえて得られた列車走行不能確

率を図-4 に示す。図-4 を用いることで、650gal の地震発生後、130km/h での列車走行が 14.9%の確率で不能となる状況から、中層梁が損傷すると、130km/h での列車走行が 100%の確率で不能な状況になるというように、サービス水準の定量的評価が可能であることがわかる。しかし、今回は簡易的な仮定のもとでの検証であるため、構造物の耐震性能とサービス水準の定量的関係の導出に向け、更なる研究や観測が必要であるといえる。

6. まとめ

2 層式 RC ラーメン高架橋特有の損傷過程を再現可能なモデルを用い、簡易的な仮定の下で地震後の列車走行不能確率を試算した。その結果、中層梁の損傷が地震後の列車の走行性に影響を与える可能性が示唆された。

謝辞：本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究 (A)21H04574 と、科学研究費補助金若手研究 21K14231 の助成を受けて実施した。謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 同解説 I 共通編，2017.11.
- 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，2012.9.
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準 同解説 変位制限，2006.2.
- 4) 高橋利一：受託試験におけるコンクリートの圧縮強度に関する調査，昭和 59 年度 GBRC，(財)日本建築相互試験所，39 号，1985.
- 5) 池田茂：受託試験における鉄筋コンクリート用異形棒鋼の引張及び曲げ試験に関する調査，昭和 59 年度 GBRC，(財)日本建築相互試験所，44 号，1986.

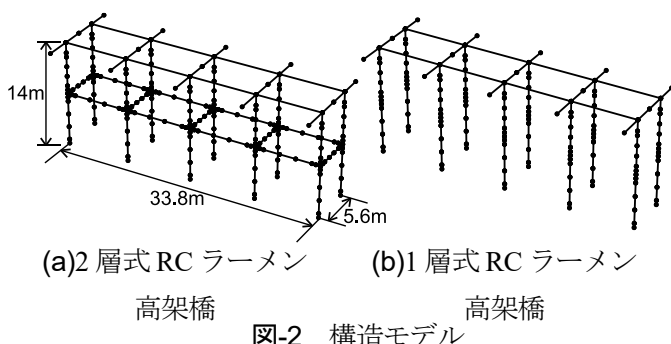


図-2 構造モデル

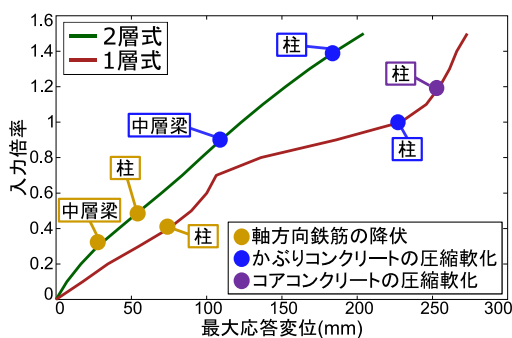


図-3 入力倍率-最大応答変位関係

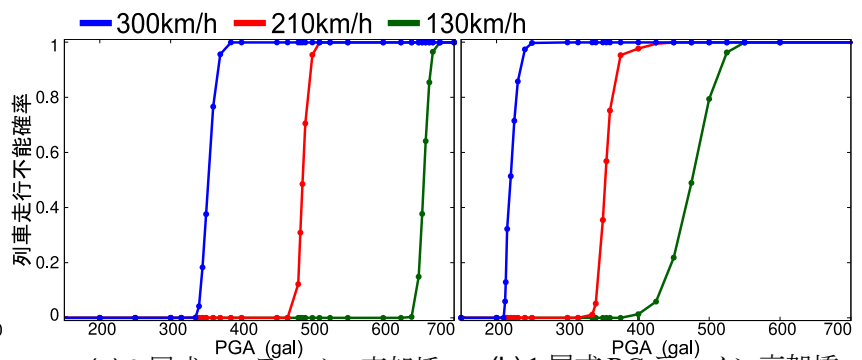


図-4 列車走行不能確率