

地震後の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ラーメン高架橋は、柱部の損傷低減を目的として、地震時損傷を中層梁に誘導させるように耐震設計が行われることが一般的である。しかし、中層梁損傷が列車走行性に与える影響について検討された事例が見当たらない。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の評価を試みる。

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のに対し、機能についての表現は抽象的である。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の結び付けが可能となれば、危機耐性を考える際の達成目標を定量的に表現できる。そのため、危機耐性の観点からも構造性能とサービス水準の関連づ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、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、RCラーメン高架橋が社会に提供するサービス水準を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。図より、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ことがわかる。そこで本研究では、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、地震後に発生する目違いを決定づける要因は、隣接構造物間での材料の不確実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に下記に示す簡易的な仮定の下で検討を行うこととする。

- 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。



図-1 構造性能とサービス水準の関連性

キーワード 2層式RCラーメン高架橋、耐震性能、列車走行性、動的解析

連絡先 〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂 C1-2-139 TEL 075-383-3246

4. 解析概要

(1) 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)。その際、中層梁・柱間の接合部と上層梁は剛体、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。1層式 RC 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)。

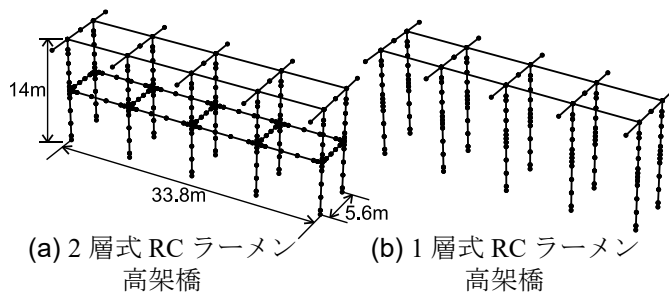


図-2 構造モデル

(2) 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⁾を参考に、コンクリート圧縮強度及び鉄筋の降伏強度を、平均と分散がそれぞれ 35.89MPa と 3.84MPa、372.65N/mm² と 13.73N/mm² である正規分布と仮定する。また、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、式(2)を用いて得られた最大応答変位から水平目違い量を算出し、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)を列車走行速度ごとに試算し、構造物の耐震性能と社会へ提供されるサービス水準の関係の定量化を目指す。

5. 解析結果

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、本解析モデルにより、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できることがわかった。

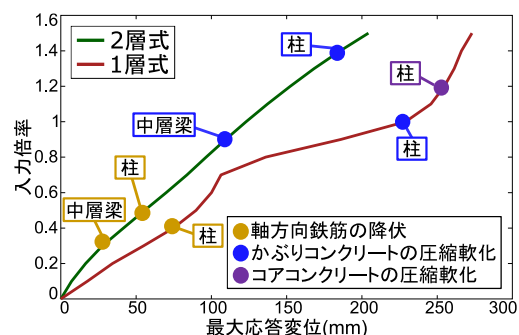


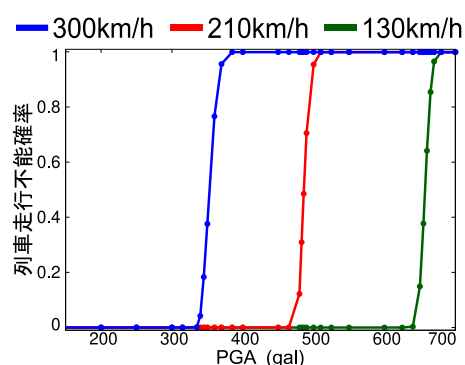
図-3 入力倍率-最大応答変位関係

次に、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

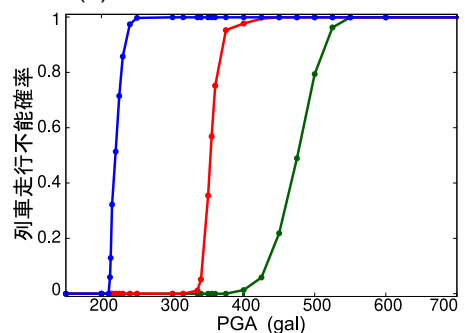
に示す。図-4を用いることで、650galの地震発生後、130km/hでの列車走行が14.9%の確率で不能となる状況から、中層梁の損傷が発生することで、130km/hでの列車走行が100%の確率で不能な状況になるというように、サービス水準の定量的評価が可能となる。しかし、今回の検討は簡易的な仮定のもと実施したものであるため、より厳密な構造物の耐震性能とサービス水準の定量的関係の導出に向け、更なる研究や観測が必要であるといえる。

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。



(a) 2層式 RC ラーメン高架橋



(b) 1層式 RC ラーメン高架橋

図-4 列車走行不能確率

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.