

地震時における鉄道施設の要点検状態と、鉄道の運行停止リスク評価

～京浜急行電鉄におけるケーススタディ～

○中央大学大学院 学生員 三渡裕太

中央大学 正会員 佐藤尚次

1. 研究の背景と目的

2005年7月23日16時35分頃、千葉県北西部を震源とするマグニチュード6.0の地震が発生し、首都圏ではJRの復旧に7時間以上の時間を要した¹⁾。また、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震においても首都圏の鉄道交通網は麻痺し、多くの帰宅困難者が発生したことは記憶に新しい。これらの事例において特に注目が集まった点は、人的、物的な被害ではなく、交通機関の復旧の遅さである。このことから、鉄道の遅延につながる鉄道構造物の「要点検状態」を「使用限界状態」として考慮する必要があると考えられる。また、鉄道路線における区間ごとの重要度を明らかにし、より効率的な点検、復旧を行うことが望まれる。

そこで、本研究では、鉄道路線内での地震災害時の点検作業による期待停止時間を算出し、各区間における利用者数を乗じることで、中小規模の地震に対する鉄道の運行停止リスク評価を行う。また、その結果から点検作業の効率化の必要性について考察することを目的とする。なお、起こりうる事象を地震による高架橋の橋脚損傷とした。

2. 対象路線および本研究における区間の区切り方

2.1 対象路線

本研究では京浜急行電鉄を対象路線とし、本線の泉岳寺駅-金沢八景駅間と空港線全線を対象区間とする。図-1に京浜急行電鉄各線の概略図を示す。

2.2 区間の区切り方

本研究では、対象路線内の高架化による構造的な特徴と車両基地の所在から、区間を表-1に示すように区切ることにする。

3. 高架橋の橋脚損傷に伴う期待停止時間の算出条件

3.1 想定地震の設定

想定する地震は、表-2に示した8つの地震を想定し、泉岳寺駅、京急蒲田駅、京急川崎駅、横浜駅、上大岡駅の5駅付近での加速度を入力加速度として使用した。

3.2 橋脚モデル

想定する橋脚モデルは、結果と比較を行うため、既往の研究^{2),3)}で用いたものと同様のモデルとし、施工年度等のばらつきを考えるため耐力を正規分布に従う確率変数とした。

3.3 復旧時間の設定

橋脚の損傷度ごとの復旧時間の設定を表-3に示す。

損傷度小以上の損傷が生じた場合については、復旧作業に動員することができる人数に限りがあることを想定し、21本以上の橋脚に損傷が生じた場合、損傷が生じた橋脚の本数によって期待停止時間が増加するよう設定することとした。

なお、本研究は、構造物の破壊に至らない状態においても点検作業によって鉄道が停止してしまう状況を「要点検状態」として想定している。そこで、損傷度が降伏限界の60%の場合においても、橋脚の点検を行うために、区間内の橋脚本数に従った復旧時間を要するとしている。

3.4 期待停止時間の算出手順

各再現期間における地震が発生した場合の期待停止時間の計算フローを図-2に示す。なお、橋脚に与えら

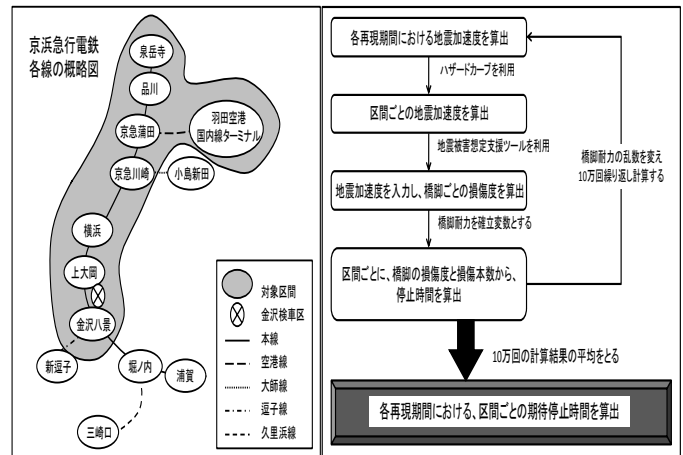


図-1 対象路線の概略図

図-2 期待停止時間の計算

表-1 区間の設定

区間名	区間	橋脚本数(本)
(1)	泉岳寺駅-京急川崎駅間	1015
(2)	京急川崎駅-横浜駅間	236
(3)	横浜駅-上大岡駅間	436
(4)	上大岡駅-金沢八景駅間	44
(5)	空港線全区間	87

表-2 想定地震

東海地震	東京湾北部地震	東南海地震	南海地震
立川断層帯	神縄・国府津-松田断層帯	平井断層	鴨川低地断層帯

表-3 復旧時間の設定

損傷度	損傷の程度	復旧時間(分)	
		損傷本数20本以下	損傷本数21本以上
降伏限界60%	要点検	30+損傷本数×0.5	30+損傷本数×0.5
降伏限界	小	4320	4320+(損傷本数-20)×20
終局限界90%	中	43200	43200+(損傷本数-20)×20
終局限界	大	86400	86400+(損傷本数-20)×20

れる地震加速度は、3.1節で述べた5駅付近の加速度のうち、橋脚に最も近いものを用いている。

4. 期待停止時間の算出結果

4.1 再現期間と各区間の期待停止時間の変動について

期待停止時間の算出結果を図-3に、結果のうち期待停止時間の大きな変動が見られる再現期間25年までの範囲を図-4に示す。これらの図より、各区間とも再現期間15年までの短い再現期間の間に期待停止時間が発生している。区間1, 3, 4に関しては再現期間20年から40年の間に急激に期待停止時間が長くなっているが、区間2, 5に関しては期待停止時間の増加が比較的遅く、再現期間25年頃においても100時間程度という短い停止時間となる結果が得られた。

4.2 利用者数を考慮した運行停止リスクについて

図-5は4.1節で示した結果に、国土交通省が行った平成17年大都市交通センサスのデータより推計した各区間の利用者数を重みとして乗じた結果を示したものである。今回対象とした各区間のうち、区間5以外の4区間は、都心部と横浜の2つの都市を結ぶ路線であるため、利用者数に大きな差は見られない。そのため、

キーワード 鉄道 高架橋 点検 地震

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816

これらの区間における期待停止時間の相対的な関係は図-4で示したものと大きく異なつた点は見られない。しかし、支線である区間5に関しては、他の区間に比べて利用者数が少なく、利用者数を考慮した場合の運行停止リスクは他の路線に比べ小さい範囲に留まった。

4.3 算出結果に対する考察

(a) 要点検状態について

4.1節で示した結果から、構造物に甚大な影響を与える損傷は地震によってもたらされる。しかし、再現期間が10年ほどからの範囲においても数時間から1週間程度の期待停止時間が発生しており、要点検状態による鉄道の運行停止リスクは高いことが分かる。また、区間2、5では長い再現期間の範囲においても要点検状態または損傷度小の状態によって鉄道の停止が発生しており、構造物の破壊を防止する対策をとらずとも、点検作業の効率化などを通して、運行停止リスクを大幅に減少させることが可能であると思われる。他の区間においても、要点検状態による鉄道の運行停止は短中期間の間に発生するリスクは高く、構造物の破壊を防ぐ対策だけでなく、点検作業の効率化などによる鉄道停止時間の短縮も重要な課題であるといえる。

(b) 橋梁被害に伴う現象について

入力加速度の大きさ、橋脚の本数に違いがあるため、再現期間によって期待停止時間の長さの順位が異なる。特に区間1では橋脚数が多いため、期待停止時間の伸び方のばらつきが大きい。

(c) 利用者数を重みとして考慮した場合について

図-4と図-5を比較すると、利用者数の差が小さい区間1から4の関係には大きな差が見られないが、利用者の少ない区間5では、再現期間25年までの範囲において全区間で最も重み付き期待停止時間が短く、この再現期間までにおいては期待停止時間の短い区間2よりも更に低いリスクとなっている。このことから、単に期待停止時間が長くなるかどうかだけでなく、鉄道の運行停止時間と利用者数の両面からリスクを評価し、点検の自動化や橋脚の補強などの対策を行う際の優先順位を選定する必要がある。

5. 結論

本研究では、地震発生時に鉄道構造物が壊れるか壊れないかだけでなく、公共交通機関として機能するか機能しないかということに焦点を当て、鉄道施設の要点検状態を考慮することを通して、区間ごとの重要度と構造物に求められる性能の差を明らかにすることを試みた。その結果を以下に示す。

(a) 区間1(泉岳寺駅-京急川崎駅間)、区間3(横浜駅-上大岡駅間)、区間4(上大岡駅-金沢八景駅間)においては、短い再現期間の地震に対しても大きな損傷が生じ、大きな停止時間が発生する。

(b) 区間2(京急川崎駅-横浜駅間)、区間5(空港線)では、長い再現期間の地震に対しても軽微な損傷に留まり、大きな停止時間は発生しないという結果が得られた。

(c) (b)のような傾向を示す区間は、点検の自動化、復旧作業の効率化を図ることで停止時間の大幅な削減が可能であると考えられる。

(d) 利用者数を重みとし、支線との比較を行うことでリスク評価における利用者数の重要性を確認することが出来た。

(e) 利用者数に大きな差のない区間の間においても、構造物やゾーンの特徴による停止時間の差は見られ、利用者数と構造、鉄道の所在などの特徴を考慮することの重要性についても示すことが出来た。

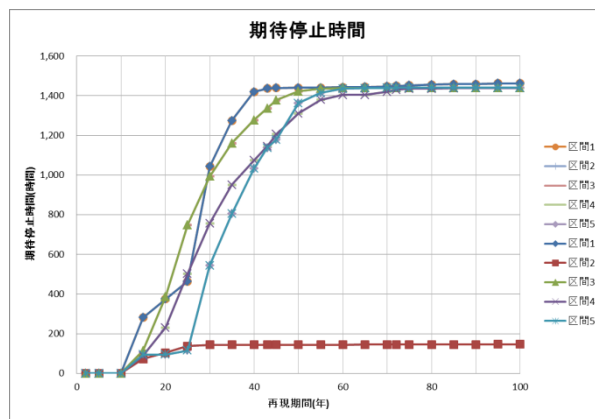


図-3 期待停止時間の算出結果

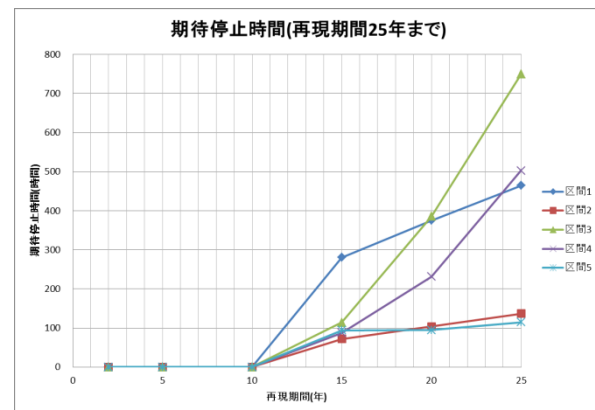


図-4 期待停止時間の算出結果(再現期間25年まで)

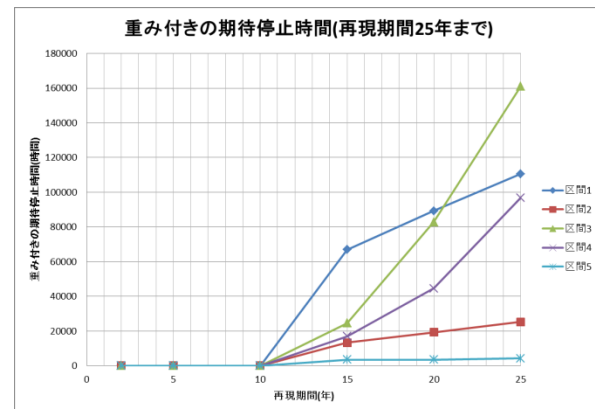


図-5 重み付き期待停止時間の算出結果

6. 今後の課題

(a) 入力加速度の代表地点数を増やし、橋脚1本ごとの損傷度推定の精度を高める。

(b) 沿線の斜面の崩壊、沿線構造物からの落下物等の他のハザードについても検討する。

(c) 点検作業、復旧作業の効率化による運行停止リスクの削減効果についても検討し、現状との比較を行う。

<参考文献>

- 1) 内閣府：千葉県北西部を震源とする地震について（第6報）
- 2) 太田浩輔：災害時の施設信頼性と鉄道利用者の時間リスク，中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻設計工学研究室2005年度修士論文
- 3) 先家圭吾：鉄道構造物の損傷又は日常リスクによる社会的損失費用の推計，第34回土木学会関東支部技術研究発表会，2007
- 4) 鉄道総合技術研究所編：平成11年鉄道構造物等設計標準・同解説耐震設計