

大規模地震を想定した橋梁の被災リスクの分析 ～横浜市の橋梁定期点検データを用いて～

南 貴大¹・藤生 慎²・中山 晶一郎³・高山 純一⁴

¹学生会員 金沢大学 環境デザイン学類 (〒920-1192石川県金沢市角間町)
E-mail:takahoro1993@gmail.com

²正会員 金沢大学助教 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

⁴フェロー 金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail: takayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

近年、東北地方太平洋沖地震や平成28年熊本地震などの大規模地震が発生している。地震動によって多くの橋梁が被災し、人命救助や物資輸送の妨げとなっている。本研究の対象地域とした横浜市では、橋梁の耐震補強が進んでおり、重要な橋梁については99%対策済みとなっている。しかし定期点検によると各橋梁の損傷程度にはばらつきがあり、健全な橋梁と比較して既損傷が生じている橋梁については地震によって被災するリスクが高い可能性がある。そこで本研究では地震動と定期点検データから得られる既損傷を用いて橋梁の被災リスクを評価しGISを活用し見える化を行った。

Key Words : bridge maintenance, inspection data, earthquake, seismic risk,

1. はじめに

日本全国の道路橋（橋長 2.0m 以上）は現在約70万橋あり、そのうち一般的に橋梁の寿命とされている50年を経過している橋梁（高齢橋）は平成25年度で全体の18%を占め、10年後には約43%を占めることが予想されている¹⁾。公共事業費が年々減少する中、数年後には、高度経済成長期に集中的に建設された橋梁が供用年数50年を超え、橋梁の高齢化を迎えることとなり、人的にも費用的にも対応が困難となり、仮に橋梁通行止めになれば、道路交通ネットワークに大きな弊害を及ぼしかねない。このような状況の中、効率的な維持管理が重要視されており国や地方自治体では橋梁の定期点検を行うとともにアセットマネジメントの枠組みづくりが活発化している。

図-1、図-2からわかるように横浜市が管理する橋梁の多くが高度経済成長期に架設され、橋梁の高齢化が進んでいる。供用年数50年を超える高齢橋は現在（2016年）では全体の約19%であるが、20年後には全体の約68%占めることになる。そこで県は事後保全的な修繕から、計画的かつ予防保全的維持管理に転換し、橋梁長寿命化によるライフサイクルコストの縮減及び維持・更新費の平

準化を図り、道路網交通網の安全・安心の確保に努めている。そのため橋梁の定期点検を各橋梁5年に1度の頻度で行っており、橋梁を部材ごとに損傷度を評価し記録を行っている²⁾。

そのような中で、東北地方太平洋沖地震や平成28年熊本地震などの大規模地震が発生している。地震動によって多くの橋梁が被災し、人命救助や物資輸送の妨げとなっている。首都及びその周辺地域は、南方からフィリピンプレートが北米プレートの下に沈み込み、これらのプレートの下に東方から太平洋プレートが沈み込む特徴的で複雑なプレート構造を成す領域に位置しており、過去M7クラスの地震や相模トラフ沿いのM8クラスの大規模な地震が発生している³⁾。本研究の対象地域とした横浜市では、橋梁の耐震補強が進んでおり、重要な橋梁については99%対策済みとなっている²⁾。しかし定期点検によると各橋梁の損傷程度には、ばらつきがあり、直近の橋梁定期点検で伸縮装置・主桁・支承の遊間異常、主桁支点付近の減肉や亀裂、支承の機能低下など地震の影響を受けやすい損傷⁴⁾が確認されている場合、地震によって損傷が拡大する恐れがある。

そこで本研究では地震動と定期点検データから得られる既損傷を用いて橋梁の被災リスクを評価しGISを活用

して被災リスクの見える化を行った。

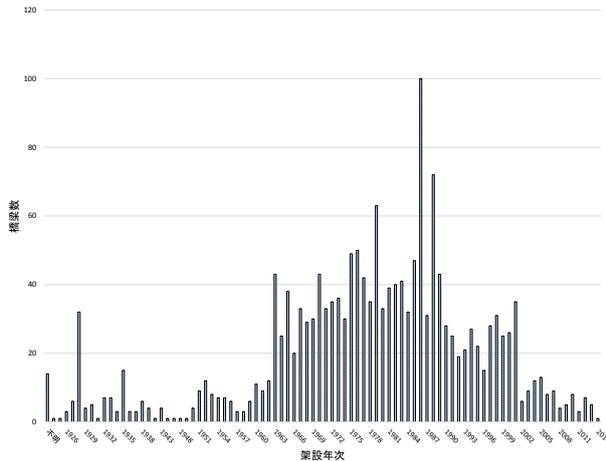


図-1 横浜市が管理する架設年次別橋梁数

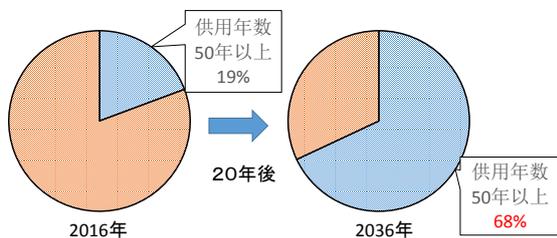


図-2 横浜市が管理する高齡橋の割合

2. 既往研究

これまでに橋梁定期点検データを用いた研究は数多く行われている。

大島ら⁹⁾ はこれまで実施してきた物理的健全度評価を踏まえたうえで耐震性に関連するアイテムを選定し、エキスパートにアンケートを行い、その結果を数量化理論により解析し、得られたそれぞれのアイテムに対する重み係数を考慮した耐震性健全度評価を提案している。

貝戸ら^{6) 7)} はNY市がここ9年間に実施した829橋梁に対する目視点検結果を用いて劣化速度に着目したマルコフ過程に基づく劣化予測を提案している。また長大橋の目視点検上の管理限界状態として想定する頂上事象を定め、頂上事象の原因となる下位事象をフォルト・ツリーで構成し、下位事象の発生確率をマルコフ劣化ハザードモデルで与えることで頂上事象の発生確率の経時変化を算出した。

近田ら⁸⁾ はI県が昭和57年から63年度の間の橋梁定期点検データの数量化理論第Ⅱ類による分析結果を用いた橋梁の健全度に基づき補修後に管理対象橋梁群のトータル健全度を最大とする補修橋梁・部位の組み合わせ最適化問題に、遺伝的アルゴリズムを援用したナップサック問題を適用することで解決している。

また道路構造物の耐震性評価指標に関する研究も行われている。

久世ら⁹⁾ は、高速道路の耐震化優先度指標に、複数の想定地震の予測震度と発生確率を考慮した震度の期待値と、迂回の所要時間を基準に算出した路線重要度、構造物の脆弱度と復旧度を基準に算出した構造物特性によるIC間の交通機能支障度を提案している。

秦ら¹⁰⁾ は、高速道路のIC間における高速道路盛土の耐震性評価指標を各想定断層の50年発生確率と各想定地震の各断面における残留変位量を用いて算出している。

しかし、これらの研究では構造物の現状の損傷状況が考慮されておらず、橋梁定期点検のような最新の損傷程度が把握できるデータを用いて、大規模地震時における橋梁の被災リスクの評価を行うことは、有意義であると考えられる。

3. 使用データ

橋梁定期点検は、道路橋の各部材の状態を把握、診断し、当該道路橋に維持や補修・補強等の必要な措置を特定するために必要な情報を得るためのものであり、安全で円滑な交通の確保、沿道や第三者への被害の防止を図るなどの橋梁に係る維持管理を適切に行うために必要な情報を得ることを目的に実施されている。橋梁定期点検では、損傷状況の把握及び対策区分の判定を行い、これらに基づき部材単位での健全性の診断及び道路橋毎の健全性の診断を行い、これらの結果の記録を行う。

(1) 橋梁定期点検データ

横浜市では平成12年度に「公共施設の長寿命化」の基本方針を定め、横浜市独自の定期点検要領を策定した。平成14年度から、この定期点検要領を基に定期点検を開始し、平成19年度までにすべての橋梁の点検を終えている。現在では橋の重要度YBPI（交通量、緊急輸送路指定の有無、交通施設）と橋梁の損傷度YBHI（定期点検による各部材の損傷度から求める橋全体の損傷度）のマトリックスによって、補修の優先度を決定し、橋の健全性を維持している。

5年に1度の頻度で定期点検を実施するために、毎年5分の1を目安に点検を行っている。点検は径間ごとに、橋面工（舗装、伸縮装置、高欄・防護柵・地覆、付属物）、上部工（コンクリート床版、鋼床版、コンクリート桁、鋼桁）、下部工、基礎、支承、落橋防止、その他、などの点検項目があり、それぞれの損傷状況に応じて損傷度が健全なものから順に、「無」、「a」、「b」、「c」、「d」、「e」で評価されている。また判定できないものは「判定不可」、部材がないものに関しては「部材なし」

と判定されている。またその損傷の規模については、「大」、「中」、「小」、「無」と評価されている。径間の中で最も悪い損傷度を橋梁の損傷度とし、それによってYBHIを算出している。本研究では地震によって影響を受けやすい「橋脚・橋台」「支承」「伸縮装置」の橋梁単位の損傷度で各橋梁の脆弱性を評価した。

(2) 橋梁の地震リスク

本研究では、地震リスクとして、J-SHIS地震ハザードステーション¹¹⁾の確率論的地震動予測地図を用いた。確率論的地震動予測地図とは、日本及びその周辺で起こりうる全ての地震に対して、その発生場所、発生可能性、規模を確率論的手法によって評価し、さらにそれら地震が発生したときに生じる地震動の強さをバラツキも含めて評価することにより、一定の期間内に、ある地点が、ある大きさ以上の揺れに見舞われる確率を計算することにより作成されている。地点ごとに地震ハザード評価を実施し、地震動の強さ・期間・確率のうち2つを固定して残る1つの値を求めた上で、それらの値の分布を250mメッシュで示したものである。本研究では震度分布を用いることとした。震度分布にも様々な期間の確率のケースがあるが、本研究では、図-3に示すように30年以内に震度6強以上の揺れに見舞われる確率を用いた。

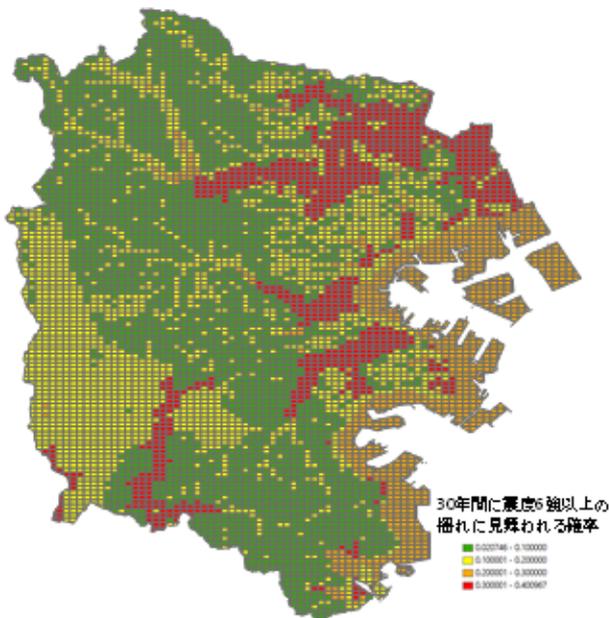


図-3 50年に2%の確率で見舞われる震度¹¹⁾

4. 横浜市が管理する橋梁の基礎分析

横浜市が管理する橋梁1725橋の本研究で対象とする部材である橋脚・橋台、支承、伸縮装置の損傷に関する基礎集計を行った。

図-4、図-5、図-6は、地震時に既損傷が拡大しやすい部材における損傷度について集計したものである。「判定不可」「不明」「部材なし」のサンプルは除いて集計を行った。支承や伸縮装置は「無」の判定が50%をこえており損傷しにくい部材であることが分かる。しかし「c」の判定の割合は他の部材と比較して大して変わらないことが分かる。橋脚・橋台は「無」の判定が他の部材と比べて少なく、判定「c」の割合が大きく、損傷を受けやすい部材であることが分かる。

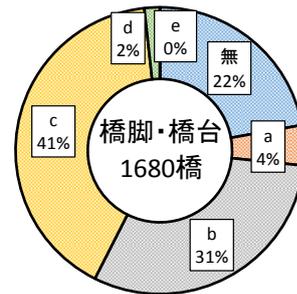


図-4 橋脚・橋台部における損傷度の割合

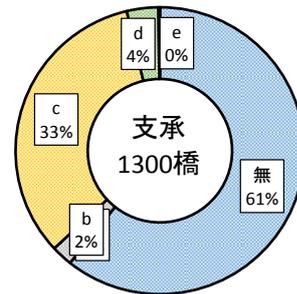


図-5 支承部における損傷度の割合

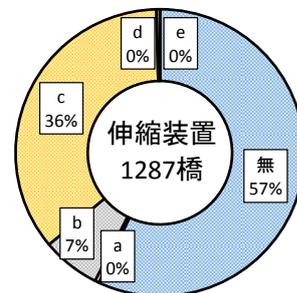


図-6 伸縮装置における損傷度の割合

5. 被災リスクの評価

地震時の被災リスクを数値化するために損傷度と脆弱

度の関係を表-1の通り定義した。式1に示すように3つの部材「橋脚・橋台」「支承」「伸縮装置」の脆弱度を合計した値に30年以内に震度6強以上の揺れに見舞われる確率を乗ずることで算出した。被災リスクは表-2に示すように「重度」「中度」「軽度」の3段階で評価した。被災リスクについてGISを活用して見える化を行ったものを図2に示す。地震時の橋梁の被災リスクが「重度」の橋梁は赤色で示しており、「中度」については黄色、「軽度」については緑色でプロットしている。図-3と図-4を比較してみると30年間で震度6強以上の揺れに見舞われる確率が30%以上のところに位置している橋梁は被災リスクが高く、また被災リスクの高い橋梁は沿岸部に集中している傾向がみられる。

表-1 損傷度の数値化

損傷度	脆弱度
無	0
a	1
b	2
c	3
d	4
e	5

$$R_j = (\sum_{i=1}^3 J_i) P_j \quad (1)$$

R:被災リスク, J:脆弱度, P:被災確率, i:部材, j:橋梁番号

表-2 被災リスクのランク付け

被災リスク	ランク
0~1	軽度
1~2	中度
2以上	重度

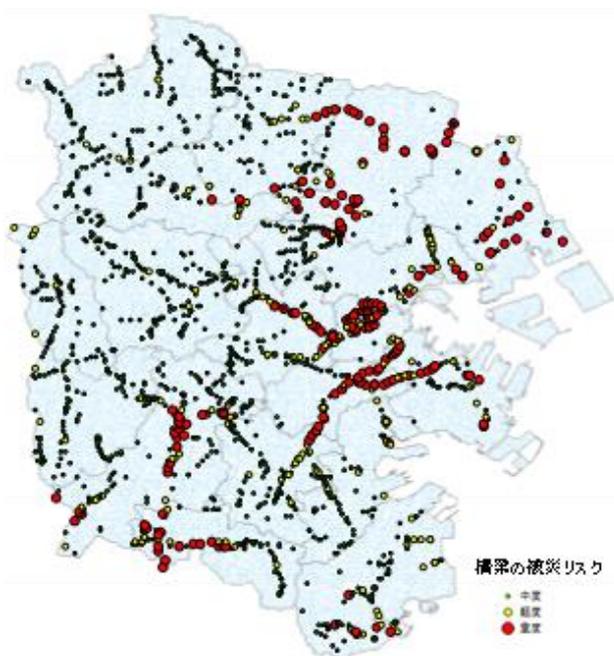


図-3 地震時における橋梁の被災リスクの見える化

6. まとめと今後の課題

本研究では定期点検で得られる損傷の程度と地震が発生する確率を用いて、地震時の橋梁の被災リスクについて評価し、見える化を行った。その結果、被災リスクが大きな橋梁は集中しており、沿岸部に存在する傾向がみられる。本研究では津波の影響について考慮していないにもかかわらず、沿岸部の被災リスクが高いため、既損傷を優先して補修するなどのソフト的な対策が今後必要であると思われる。

本研究では既損傷と地震が発生する確率のみを考慮しているため、津波の影響や耐震補強の有無、迂回路の有無についても考慮した被災リスクの算出を行うことが今後の課題である。また地震動についても、いくつかのケースを想定した被災リスクの算出が必要である。

謝辞

本研究を遂行するにあたり貴重な橋梁に関するデータをご提供していただきました横浜市道路局建設部橋梁課の皆様ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通白書 H26 第 2 部第 2 節
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/pdf/np202000.pdf>, 2015 年 7 月 17 日閲覧
- 2) 横浜市道路局道路課 橋梁の長寿命化計画
<http://www.city.yokohama.lg.jp/doro/kyouryou/asset-management/>, 2016 年 7 月 29 日閲覧
- 3) 中央防災会議 首都直下地震対策検討ワーキンググループ、首都直下地震の被害想定と対策について
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_report.pdf, 2016 年 6 月 17 日閲覧
- 4) 橋梁点検ハンドブック-国土交通省北陸整備局 pp40-43
<http://www.hrr.mlit.go.jp/hokugi/file/mijika/kyoryo-handbook-A5.pdf>, 2015 年 7 月 17 日閲覧
- 5) 大島 俊之, 三上 修一, 山崎 智之, 丹波 郁恵: 橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析, 土木学会論文集, No.675, pp.201-217, 2001.
- 6) 貝戸清之, 阿部允, 本間仁, 藤野陽三: 実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集, No.744, pp29-38, 2003
- 7) 貝戸清之, 金治英貞, 小林寛, 間嶋信博, 大石秀雄, 松岡弘大: 目視点検データを用いたフォルト・ツリー分析に基づく長大橋の最適点検政策の決定手法, 土木学会論文集 F4, Vol.67, No.2, pp74-91
- 8) 近田康夫, 橋謙二, 城戸隆良, 小堀為雄: GA による既存橋梁の補修計画支援の試み, 土木学会論文集, No.513, pp151-159, 1995

- 9) 久世益充, 都竹延晃, 岩崎真二郎, 杉戸真太, 高速道路路線における耐震化優先度評価に関する検討, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 70 No. 4 p. I_219-I_226
- 10) 秦吉弥, 一井康二, 加納誠二, 土田孝, 今村孝志, 盛土の耐震診断に基づく高速道路の通行機能の耐震性評価, 土木学会論文集 F, Vol.65, No.1, pp.50-58]
- 11) J-SHIS 地震ハザードステーション <http://www.jshis.bosai.go.jp/>, 2016年6月25日アクセス

0

ANALYSIS OF SEISMIC DISASTER RISK OF BRIDGES CONSIDERING LARGE SCALE
EARTHQUAKE DISASTERS
A CASE STUDY OF BRIDGE INSPECTION DATE IN YOKOHAMA CITY

Takahiro MINAMI, Makoto FUJII, Shoichiro NAKAYAMA,
and Jyunichi TAKAYAMA

Recently, extending the service life of the bridges has come to be studied. Many bridges are built in the period of high economic growth, and they reached their service life. Consideration of rebuilding and extending the service life must be carried out. Yokohama city conduct regular inspection of the bridges every 5 years. damage of the bridge can be assessed by regular inspection. In late years large scale earthquakes such as the 2016 Kumamoto earthquake and The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake are occurred. Many bridges suffer from earthquake vibration and disturb lifesaving and the supplies transportation. Yokohama city carried out the seismic strengthening of the bridge. However, according to the periodic inspection, the damage degree of each bridge has unevenness. There is possibility that the bridge which the existing damage increase the risk for suffering from earthquake damage. In this study, suffering risk of the bridge was calculated using existing damage and earthquake vibration.