

2011年東北地方太平洋沖地震による国道の被災データに基づく橋梁のフラジリティー評価

日本大学工学部土木工学科 中村 晋, 川前 俊也, 佐々木 聰

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により多くの社会基盤施設が被災した。高速道路や国道などの道路網は、復旧などに重要な役割を担っている。落橋が生じるような被害は生じていないが、補修や補強のための交通規制などにより、復旧のみならず地域活動に大きな影響を及ぼすことになる。南海トラフ沿いの巨大地震の発生が懸念されているなかで、地震への備え、さらに地震後の復旧や復興への対応という観点で道路網、特に国道の被災想定を行うことが必要不可欠と考えられる。

岩手県、宮城県および福島県内に位置する国道のうち、東北地方太平洋沖地震により被災した橋梁は960橋に及ぶ。ここでは、まず、橋梁の被災状況を示す。次に、津波以外の地震動により被災した橋梁を対象とし、被災部位、橋梁の形式、建設年などの構造的な特性に関するデータと、被災地点において推定した地震動強さとの関係に基づき、被災部位の構造的な特性を踏まえフラジリティーの曲線の評価を行う。

2. 国道の橋梁に関する被害概要

岩手県、宮城県及び福島県に位置する国道のうち被災した橋梁は960¹⁾にも及び、その位置を図-1に赤の点で示す。そのうち津波の被害を受けた橋梁は141橋あり、写真-1に示した国道45号の歌津大橋のように橋脚が圧壊するなどの甚大な被害が発生した。

Fragility curve of the bridge member at National road based on the damaged data due to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake by Susumu Nakamura, Toshiya Kawamae, Satoshi Sasaki

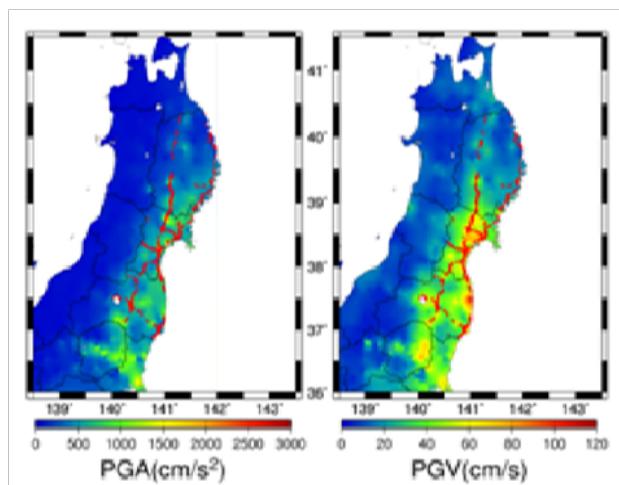


図-1 PGA、PGV の空間分布と橋梁の被災位置



写真-1 津波により橋脚が圧壊した歌津大橋

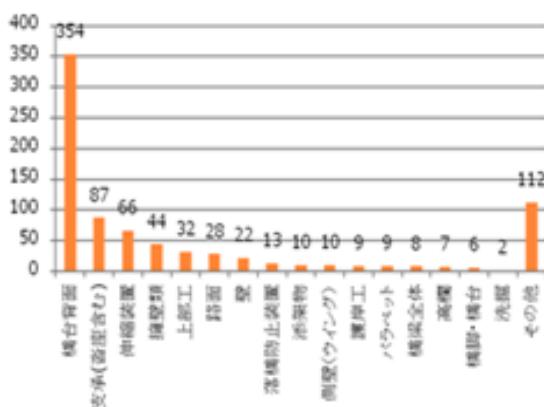


図-2 被災部位ごとの被災件数



写真-1 鮫川橋(福島県、国道6号線)
の橋台背面地盤で生じた段差

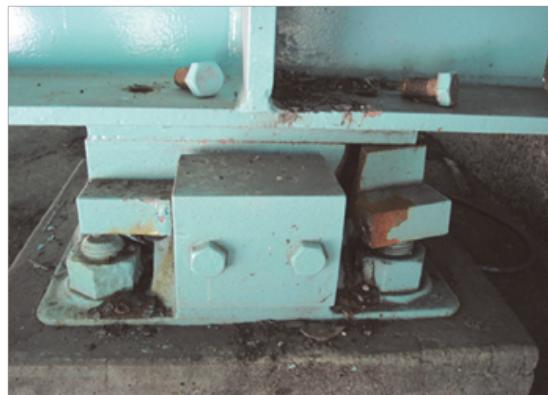


写真-2 稲迦堂川橋(福島県、国道4号線)
で生じた支承の破断

ここでは 960 橋のうち津波による被害を除く 819 橋を検討の対象とした。まず、橋梁の被災部位に応じた被災件数の比較を図-2 に示す。図より、橋台背面の地盤沈下による段差などの被災件数が最も多い。その一例として、福島県の国道 6 号線に位置する鮫川橋で生じた段差を写真-2 に示す。次いで支承の被災が多く発生している。支承の被害には BP 支承、ゴム支承、鋳鉄支承といった種類によらず、いずれも被災している。鋳鉄支承の被災事例として、福島県の国道 4 号線に位置する稻迦堂川橋の支承の破断事例を写真-3 に示す。一方、橋脚や橋台の被災件数が 6 橋と少ないのも特徴と言える。ここでは、橋台背面地盤と支承の被害に着目して、構造的な特性や地震動強さとの関係について関係について分析するとともに、それらの被災確率と地震動強さとの関係についても評価を行う。

3. 検討に用いた強震記録の概要

フラジリティーの評価に必要な被災地点の地震動強さは、既往の地震観測点における地震動強さを空間補間することにより求めた。ここでは、盛土の変状に影響を及ぼす様々な強度指標のうち、最大加速度 PGA、最大速度 PGV を地震動強さとして用いた。また、補間に用いた既往の地震観測網は、防災科学研究所強震ネットワーク(K-NET)、防災科学研究所基盤強震観測網(KiK-net)より東北 6 県と、新潟県、群馬県、栃木県、茨城県の観測地点(合計 369 箇所)で得られた記録、NEXCO 東日本の IC(61 箇所)で観測された強震記録、国土交通省より公開されている観測データ(87 箇所)を用いた。それらの観測点の PGA、PGV データを用いてスプライン法により空間補間された東北 6 県と隣接県における PGA、PGV の空間分布を図-1 に示す。

4. 橋梁の部位に応じた被災と地震動強さ、構造的な特性との関係

ここでは、支承(沓座の被害含む)と橋台背面地盤の段差の被害と、地震動強さ PGA および PGV、橋梁の種類、橋長との関係、さらに準拠基準と被災件数の関係について検討を行う。被災橋梁位置の地震動強さ PGA、PGV は、前述の空間補間ににより推定された PGA、PGV を用いた。

まず支承が被災した橋梁位置における地震動強さと橋種、橋長さといった構造的な特性との関係を図-3、4 に示す。これより支承の被災地点においては鋼橋が最も被災件数が多いことが分かる。これは鋼橋が軽量であり、阿武隈川や北上川などの川幅の広い河川が東北地域に多く存在するためと

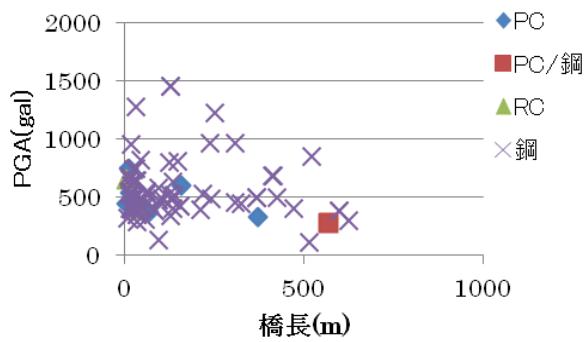


図-3 支承の被災地点における PGA と橋種、橋長との関係

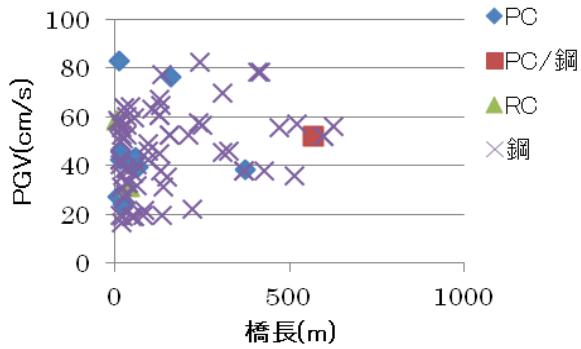


図-4 支承の被災地点における PGV と橋種、橋長との関係

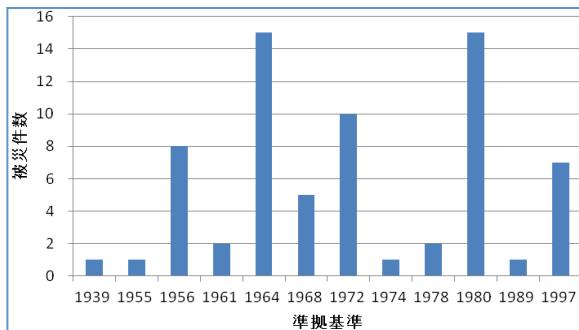


図-5 被災した支承の準拠基準と被災件数の関係

考えられる。また、図より、橋長 100m 以上の橋梁においては橋長が長くなるにつれて小さな PGA に対する被災件数が多く、PGV が増加するにつれて被災件数が増加する傾向にあった。これは橋長さが長くなるにつれ、支承への作用慣性力が増加するためと考えられる。図-5 に準拠基準と支承の被災の関係を示す。準拠基準として 1980 年代以前のものが多く、特に 1956 年、1980 年の基準により構築された橋梁において被害が多かった。

次に橋台背面の被害について地震動強さと構造的な特性との関係について示す。最初に、被災位置における PGA と PGV の関係を図-6 に示す。PGA、PGV ともにかなり小さな地震動にて被害が現れており、PGV の増加とともに被災件数が多くなっていることが分かる。このことを踏まえ、次に橋台背面の被災位置における地震動強さのうち、PGV と橋種に応じた被災件数との関係について図-7 に示す。被害が生じた橋梁の形式は支承と異なり、PC、RC 形式の橋梁が鋼橋に比べて少し多い程度であり、橋種との明確な関係は認められない。また、PGV が 30cm/s から 70cm/s に及ぶ広い範囲で被害が多い。次に、準拠基準と橋台背面の被災の関係を図-8 に示す。被災した橋梁はその準拠基準が 1980 年以前の古いものが多いが、最近の準拠基準による橋梁も比較的多く含まれている。作用地震動の強さには準拠基準年代による差は認められ

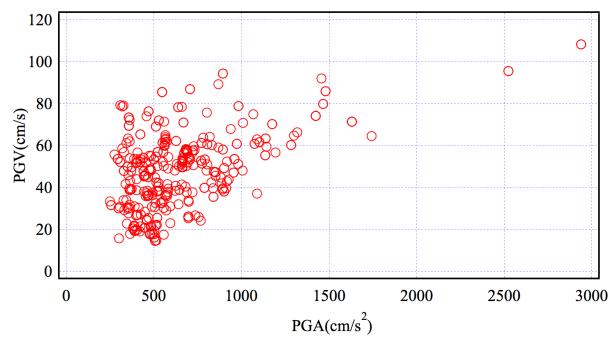


図-6 被災地点における PGA と PGV

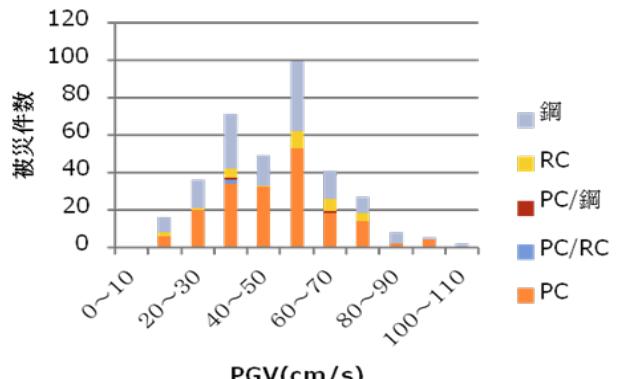


図-7 橋台背面の被災地点における PGV と橋梁の形式の関係

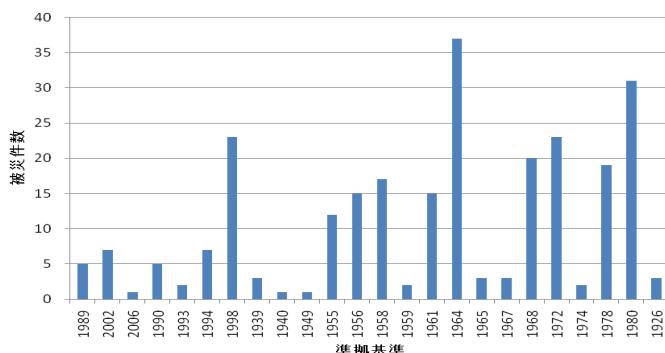


図-8 橋台背面の被災地点の地震動強さと準拠基準の関係

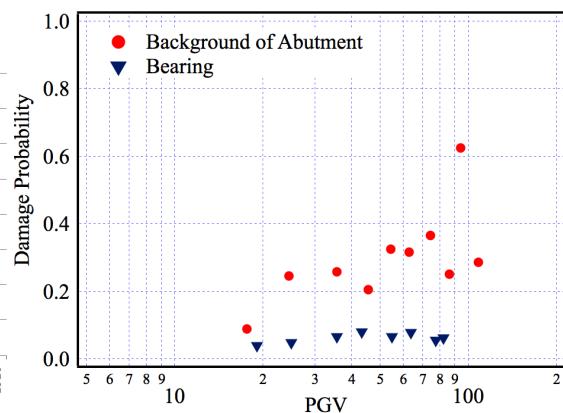


図-9 PGV と橋台背面および支承の損傷確率との関係

なかつた。

5. 被災部位ごとの損傷確率

橋台背面と支承の被害に着目し、損傷確率と PGV の関係を図-9 に示す。ここでは、損傷確率をある地震動強さ区間における被災した橋梁の割合として定義し、検討した構造的な特性を踏まえて損傷確率と PGV との関係について考察する。橋台背面の損傷確率は PGV が 20cm/s で 20%以上と大きな値を示し、PGA とともに増加する傾向にあり、支承の損傷確率は PGV が 20cm/s から 90cm/s 程度までほぼ一定の大きさであり、大きな変化は見られなかった。

6. まとめ

ここでは東北地方太平洋沖地震によって被災した960の橋梁のうち津波の被害を除く819橋の被災データを使用し、被災の特徴とそれに及ぼす構造、地震動強さとの関係について検討を行った。

被災は橋台背面の段差などの被害、次いで支承の被害が多く、橋脚や橋台の被害が少ない。支承の被災は鋼橋に多く、橋長 100m 以上の橋梁において橋長が長くなるにつれて小さな PGA に対する被災件数が多い傾向が認められる。また、1980 年代以前の古い基準により構築された橋梁の被災件数が多かった。

橋台背面の被害は橋梁形式による差異は少なく、PGV の増加とともに被災件数も増加している。また、被災した橋梁は準拠基準 1980 年代以前の古い基準により構築された橋梁のみならず、最近の基準による橋梁も比較的多く含まれていた。

橋台背面の損傷確率は PGV が 20cm/s で 20%大きな値を示し、PGV の増加とともに増加していく傾向にあった。

参考文献

- 1) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会 (2013):平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震災害調査報告書～地震・地震動および社会基盤施設の被害～