

# 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による 道路橋被害の統計分析

中尾 吉宏<sup>1</sup>・片岡 正次郎<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 主任研究官 国土技術政策総合研究所道路地震防災研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1）  
E-mail: nakao-y2qi@nilim.go.jp

<sup>2</sup> 正会員 室長 国土技術政策総合研究所道路地震防災研究室（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1）  
E-mail: kataoka-s92rc@nilim.go.jp

平成 23 年東北地方太平洋沖地震では、地震動及び地震後に発生した津波により、広い範囲で道路橋に多数の被害が発生した。道路橋被害の全体像を統計的に把握する取り組みとしては、橋長や径間数により被害が発生しやすくなること等に着目した分析結果がこれまでに報告されている。本報告では、被災橋梁の耐震設計に適用された技術基準や被災橋梁の平面形状等に更に着目し、道路橋被害の統計分析を行った結果を示す。検討の結果、平成 8 年以降の道路橋示方書が適用された道路橋は、被害が生じにくくなっていること、また、昭和 55 年道路橋示方書より古い技術基準が適用された道路橋は、優先的に進められてきた耐震補強や過去の地震被害発生後の更新・補強等により、被害が生じにくくなっていること等が統計的に示された。

**Key Words:** *the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, highway bridge, seismic design specification, earthquake ground motion*

## 1. はじめに

平成 23 年東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方の広い範囲で道路橋に多数の被害が発生した。これら道路橋の被害については、様々な調査がこれまで実施されてきており、地震動や津波による被害について知見が蓄積されている。

（公社）土木学会 地震工学委員会 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会（委員長：九州工業大学 幸左賢二教授）は、国土交通省、NEXCO 東日本、岩手県、宮城県、福島県等により集計された橋梁被害データを取りまとめている<sup>1)</sup>（以下、橋梁被害データとする）。

また、東北地方太平洋沖地震により生じた地震動については、国土交通省、気象庁、（国研）防災科学技術研究所などが設置した地震計により強震記録が多数得られており、これらの記録を基に、東北地方から関東・甲信越にわたる地域の地震動強度を 250m メッシュで推定した成果（以下、地震動強度の推定結果とする）が公表されている<sup>2)</sup>。

畑・片岡<sup>3)</sup>は、これらの成果に基づき、東北地方太平洋沖地震で生じた道路橋被害と地震動強度との関係を、

橋長、径間数等に着目して統計分析することで、橋長が長くなった場合や構造形式が連続桁である場合の橋梁の被災率が高いこと等を報告している。

本報告では、同報告<sup>3)</sup>で用いられた橋梁被害データと地震動強度の推定結果に加え、直轄国道の施設情報を記録した道路管理データベースシステム（MICHI）を活用し、東北地方太平洋沖地震で生じた道路橋被害と適用基準等の関係について統計分析した結果を示す。

## 2. 橋梁被害データ等の概要

本検討で用いた道路橋の被災度や橋長等に関する情報は、橋梁被害データ<sup>1)</sup>に基づいている。橋梁被害データには、国土交通省、NEXCO 東日本、岩手県、宮城県、福島県が管理する約 5,600 の道路橋等についての、橋長等の構造情報や、東北地方太平洋沖地震による損傷原因等の情報が整理されている。また、表-1 の考えに基づく損傷ランク A～C の情報が整理されており、本検討では、道路橋の被災度と表現する。損傷原因は、「地震動」、「地震動及び津波」、「地震及び液状化」、「津

波」等に分類されており、本検討では、損傷原因が「地震動」とされる道路橋を対象とした分析を行っている。

道路橋の耐震設計に適用された技術基準や、道路橋の平面形状等については、MICHIに整理されている情報を活用した。

また、本検討では、地震動強度の推定結果<sup>2)</sup>を道路橋の位置と関連付けた結果を、道路橋に作用したと考えられる地震動強度として用いている。

表-1 損傷ランクの定義

損傷ランク	被害の程度
A	落橋および大被害
B	中被害
C	小被害
-	異常無し

### 3. 道路橋被害の特徴

橋梁被害データ<sup>1)</sup>等に基づき、東北地方太平洋沖地震による道路橋被害と以下の関係について考察する。

- ・道路橋への適用基準
- ・道路橋の平面形状（直橋、斜橋・曲線橋）
- ・地震動強度（特殊橋に着目）

#### (1) 道路橋被害と適用基準の関係

ここでは、MICHIに適用基準の情報が整理されている直轄国道の道路橋を対象として、道路橋被害と適用基準の関係を、地震動強度及び橋長の観点を交えて考察する。

##### a) 地震動強度

被災度 B 以上の損傷が生じた橋梁数と適用基準の関係を図-1 に示す。同図では、道路橋への適用基準を以下の①から④に分類している。

- ① 平成 7 年兵庫県南部地震のように発生頻度が極めて低いマグニチュード 7 級の内陸直下型地震による地震動を考慮することとなった平成 8 年道路橋示方書以降の基準<sup>4) 5) 6)</sup>（以下、「H8 道示以降」とする）
- ② レベル 1 地震動を上回る大きな地震力が作用しても倒壊に至るような致命的な損傷が生じないことを照査する地震時保有水平耐力の照査法が導入された平成 2 年道路橋示方書<sup>7)</sup>（以下、「H2 道示」とする）
- ③ 鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能の照査法が加えられるとともに、下部構造編において、コンクリートの許容せん断応力度の低減と帯鉄筋量

の増加に関する改訂が行われた昭和 55 年道路橋示方書<sup>8)</sup>（以下、「S55 道示」とする）

- ④ ③よりも古い昭和 46 年道路橋耐震設計指針・同解説以前の基準<sup>9) 10) 11) 12)</sup>（以下、「S46 道示以前」とする）

また、図-2 には、SI 値 20(cm/sec)以上の地震動が作用した橋梁数を適用基準ごとに示している。

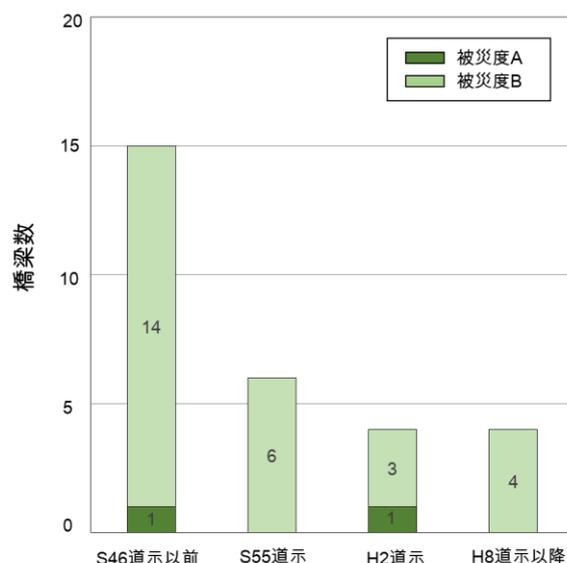


図-1 被災度 B 以上の橋梁数と適用基準

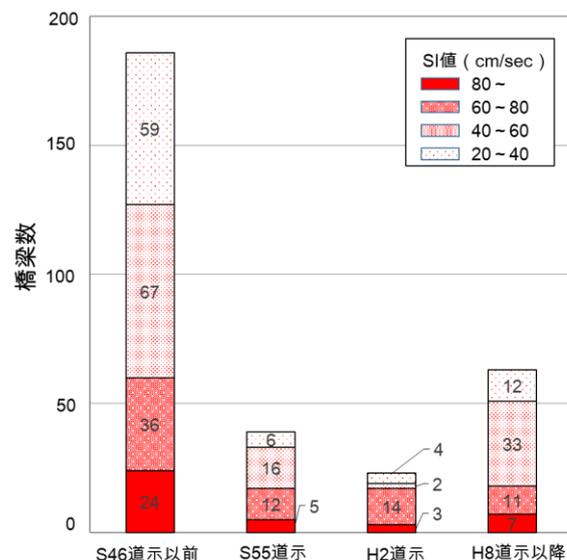


図-2 SI 値 20(cm/sec)以上の地震動が作用した橋梁数

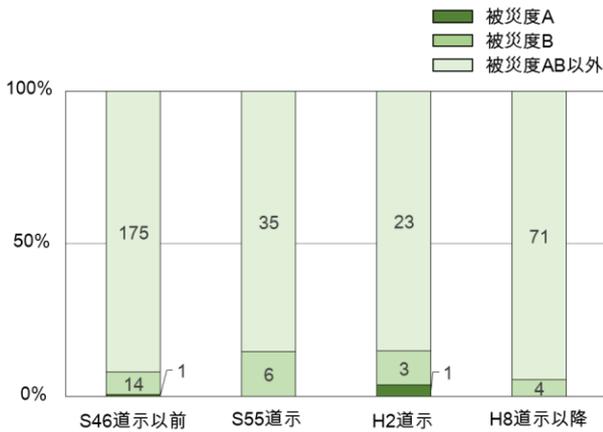
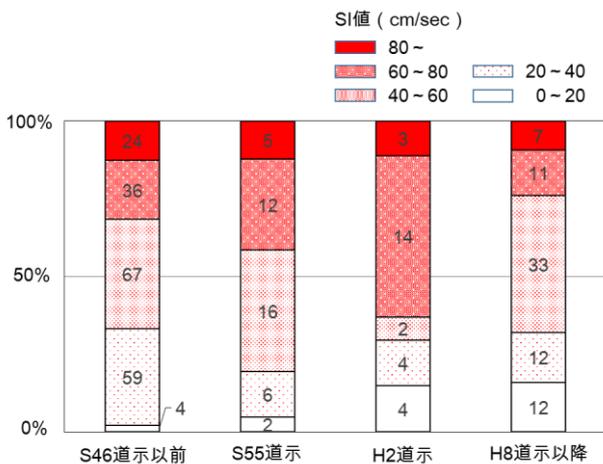
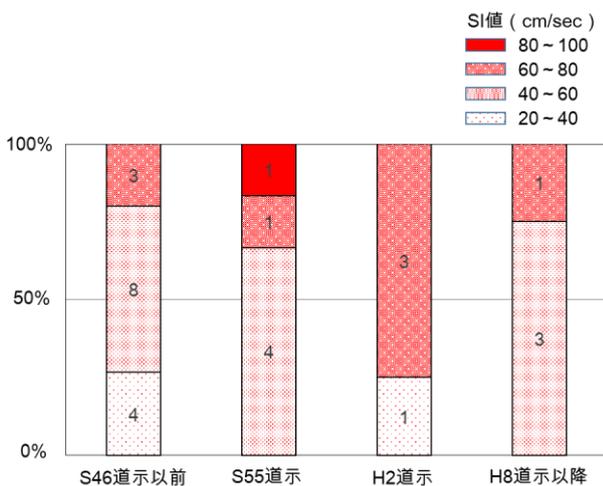


図-3 適用基準と被災度



(a) 全橋



(b) 被災度B以上の道路橋

図-4 道路橋に作用した地震動強度 (SI値)

図-1 から、被災度 A の損傷が、H2 道示及び S46 道示以前の道路橋には生じている。地震動強度の推定結果によれば、これらの損傷は、SI 値 60~80(cm/sec)の地震動により生じている。図-2 から、SI 値 60(cm/sec)以上の地

震動が作用した橋梁数は、H8 道示以降と H2 道示の橋でほぼ同じであるが、H8 道示以降の道路橋に被災度 A の損傷は生じていない。

ここで、被災率と適用基準の関係について検討するため、被災度 B 以上の損傷が生じた道路橋の割合と適用基準の関係を図-3 に示す。また、全橋及び被災度 B 以上の損傷が生じた道路橋について、橋に作用した地震動強度を適用基準ごとに整理した結果を、それぞれ、図-4(a)及び(b)に示す。

図-4(b)から、H2 道示及び S46 道示以前の道路橋は、SI 値 40(cm/sec)を下回る地震動によって被災度 B の損傷が生じているのに対し、H8 道示以降の道路橋に被災度 B の損傷をもたらしたのは SI 値 40(cm/sec)を超える地震動となっている。また、地震動の推定精度には限界があると考えられるが、全橋に着目した場合、道路橋に被災度 B 以上の損傷を発生させたのは、図-4(b)から、SI 値 20(cm/sec)以上の地震動である。図-4(a)から、SI 値 20(cm/sec)以上の地震動は、適用基準によらず、大半の橋に作用しているが、図-3 から、H8 道示以降の道路橋に被災度 B 以上の損傷が生じた割合は最も小さい。

以上から、H8 道示以降の基準改定について、耐震性の向上効果が統計的に認められる。

また、図-4(a)から、SI 値 20(cm/sec)以上の地震動が作用した橋の割合は、S46 道示以前の道路橋が相対的に大きい。図-3 から、S46 道示以前の道路橋の被災率は、S55 道示及び H2 道示の橋より小さい。S46 道示以前の道路橋が被災度 B 以上の損傷を受けた割合が、H2 道示及び S55 道示の道路橋と比べ大きくないのは、Kawashima<sup>19)</sup>が指摘するように、1978 年宮城県沖地震の被災により耐震性が低い橋梁の更新・補強が進められたこと、また、近年でも「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム(平成17年度~19年度)」等により耐震補強が進められてきたためだと考えられる。同プログラムでは、S55 年道示より古い基準を適用した緊急輸送道路の橋梁のうち特に優先的に補強する必要のある橋梁を対象とした耐震補強が行われている。ここで、S46 道示以前の道路橋が被災度 B 以上の損傷を受けた割合が、S55 道示及び H2 道示の橋より小さくなっているのは、図-4 から、SI 値 60(cm/sec)以上の地震動が作用した橋の割合が小さく、強い地震動が作用した橋の割合が相対的に小さかったためだと考えられる。

以上から、S46 道示以前の道路橋についても、これまでの耐震補強等による耐震性の向上効果が統計的に認められる。

#### b) 橋長

畑・片岡<sup>20)</sup>は、道路橋の被災度と橋長、径間数の関係を分析した上で、橋長の大きな橋梁は被災度 A 及び B の損傷の発生率が大きくなることを報告するとともに、

その原因は、橋長が長くなると径間数が増え、損傷箇所となり得る支承部や橋脚などが多数含まれるためとしている。ここでは、橋長の大きな橋の被災率が大きくなる傾向について、適用基準による差異を検討する。

直轄国道の道路橋のうち、被災度 B 以上の損傷が生じた橋の割合を、適用基準毎に橋長に応じて整理した結果を図-5 に示す。同図(a)には橋長によらない全橋の整理結果を、同図(b)には、橋長 50m 以上の道路橋の整理結果を示している。なお、橋長が 50m 以上になると、大半が複数径間の橋となる<sup>3)</sup>ことが報告されている。本検討で対象とした直轄国道の道路橋では、複数径間の橋が全橋に占める割合は 39%であるのに対し、橋長 50m 以上の橋に占める割合は 98%に達する

図-5 から、全橋に比べ、橋長 50m 以上の橋に被災度 B 以上の損傷が生じる割合は適用基準によらず大きい。H2 道示の道路橋は、その度合いが強いが、これは被災度 AB 以外の橋の数が全橋で整理した場合と比べ著しく少ないためである。

橋長が長くなり、複数径間の橋が多くなると、被災度 B 以上の損傷が生じる橋の割合が増加するのは、上記の様に、損傷が生じ得る支承部や橋脚などが多数含まれるようになる<sup>3)</sup>こと、また、地盤条件の変化等により局所

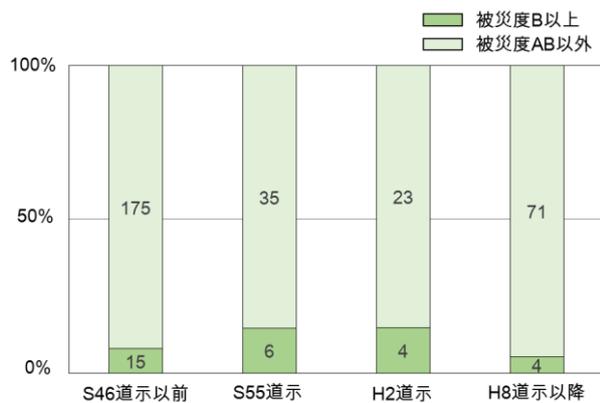
的に強い地震動が作用する可能性が高くなること等が考えられる。

## (2) 平面形状と被災度の関係

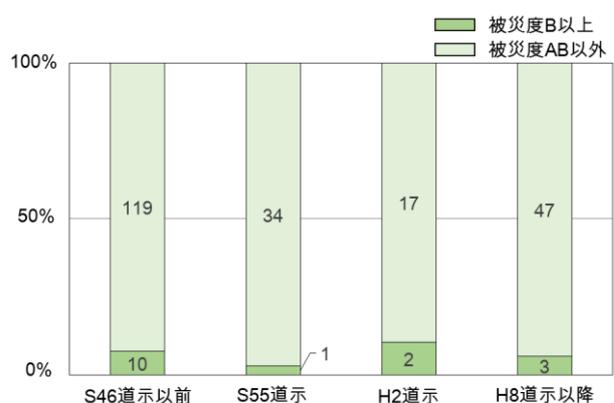
直轄国道の道路橋については、平面形状として、直橋、斜橋、曲線橋等の情報が MICHI に整理されている。ここでは、直轄国道の道路橋の被災度と平面形状の関係について検討した結果を示す。なお、道路橋は、全長にわたり直橋と斜橋、曲線橋が混合する形で構成されている場合もあるため、これらは検討対象から外し、斜橋・曲線橋のみで構成された道路橋と、直橋のみで構成された道路橋に着目する。

斜橋・曲線橋と直橋に被災度 B 以上の損傷が生じた割合を、それぞれ、適用基準ごとに整理した結果を図-6(a)及び(b)に示す。図-6(b)から、S55 道示以降の直橋の数は限定されており、同図(a)に整理した斜橋との有意な差異を検討するのは困難である。

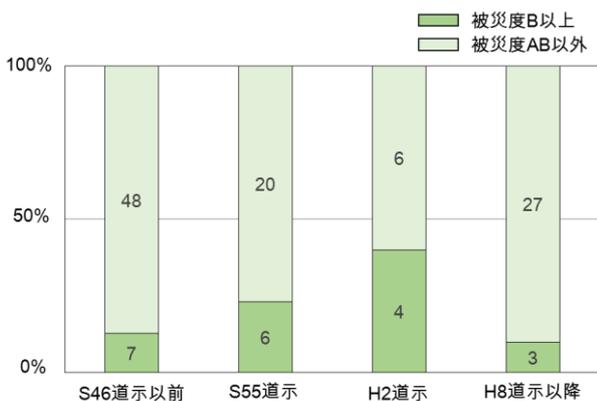
次に、斜橋・曲線橋及び直橋に被災度 B 以上の損傷をもたらした地震動強度の累積頻度を図-7 に示す。同図(a)及び(b)には、それぞれ、S46 道示以前及び S55 道示以降の道路橋の整理結果を示している。同図から、適用基準によらず、斜橋・曲線橋で被災度 B 以上の損傷



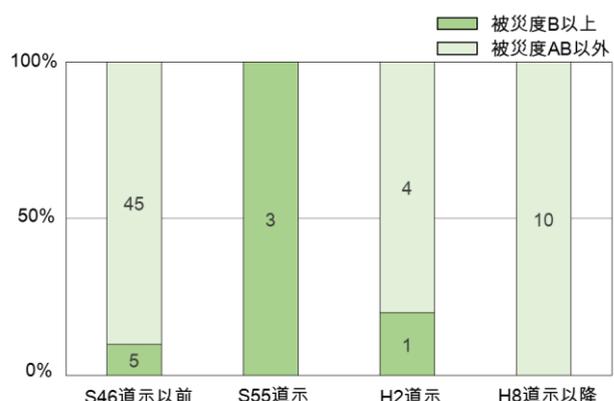
(a) 全橋



(a) 斜橋・曲線



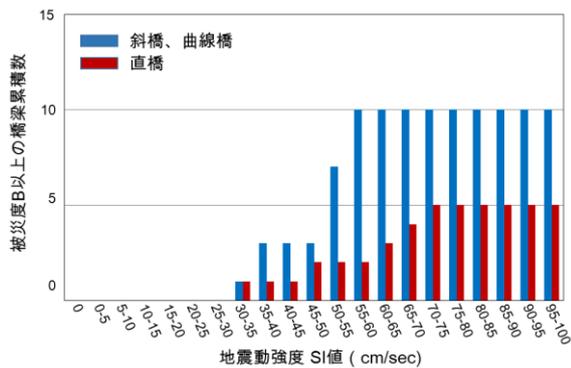
(b) 橋長 50m 以上の道路橋



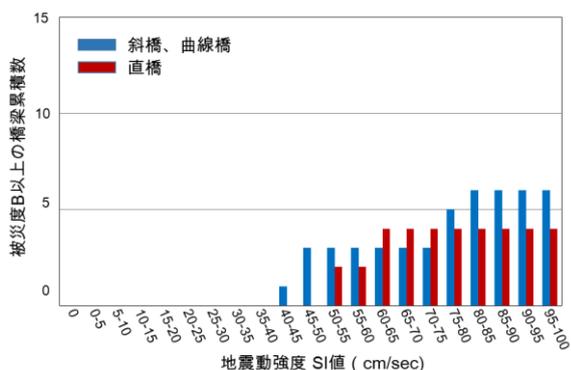
(b) 直橋

図-5 橋長・適用基準に応じた被災度

図-6 適用基準に応じた被災度



(a) S46道示以前の道路橋



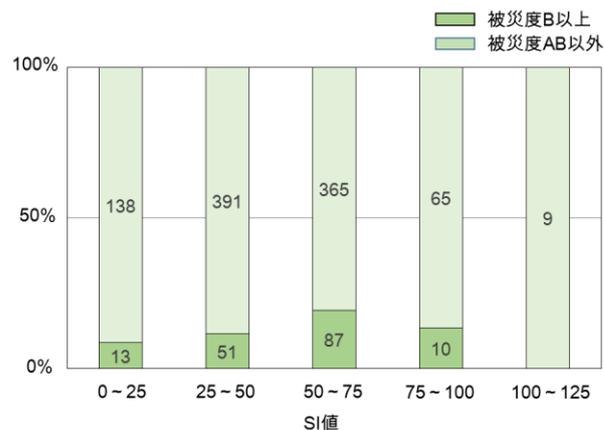
(b) S55道示以降の道路橋

図-7 直橋及び斜橋・曲線橋に被災度 B 以上の損傷を生じさせた地震動強度 (SI 値)

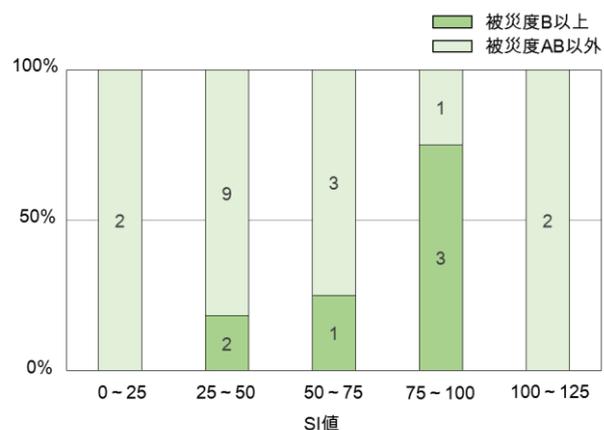
が増加し始める地震動強度は、直橋に比べて小さい。また、斜橋・曲線橋及び直橋の何れについても、被災度 B 以上の損傷が生じ始める地震動強度は、S46 道示以前に比べ、S55 道示以降の橋で大きくなっており、基準改定による耐震性向上が認められる。

### (3) 特殊橋の被災度

橋梁被害データに基づき、被災度 B 以上の損傷が生じた道路橋の割合と橋に作用した地震動強度の関係を、全橋及び特殊橋で整理した結果を図-8 に示す。特殊橋としては、アーチ橋、ランガー橋、ローゼ橋、トラス橋、斜張橋、吊橋、エクストラドローズ橋等を考慮している。図-8 には、橋梁被害データに含まれる直轄国道以外の道路橋も対象に含めている。同図から、事例数は限定されているが、特殊橋は全橋の整理結果に比べ、SI 値 75~100(cm/sec)の地震動により被災度 B 以上の損傷が生じた割合が著しく大きい。特殊橋には強い地震動の作用により複雑な挙動を示すものもあり、一定の損傷を受けるケースが生じたものと思われる。



(a) 全橋



(b) 特殊橋

図-8 特殊橋及び全橋の被災度と地震動強度

## 4. まとめ

橋梁被害データ<sup>1)</sup>及び地震動強度の推定結果<sup>2)</sup>に加え、MICHIを用い、東北地方太平洋沖地震で生じた道路橋被害の統計分析を行った。

その結果、H2 道示の道路橋に被災度 A の損傷を生じさせた地震動は、H8 道示以降の道路橋にも同様に作用したが、H8 道示以降の道路橋に被災度 A の損傷は生じていないこと、また、H8 道示以降の道路橋に被災度 B 以上の損傷を生じさせた地震動は、H2 道示以前の道路橋に比べ強いことが示された。

H2 道示以前の道路橋に被災度 B 以上の損傷を発生させた地震動は、どの適用基準の橋についても大半に作用しているが、H8 道示以降の道路橋が被災度 B 以上の損傷を受けた割合は最も低いこと、また、S46 道示以前の道路橋が被災度 B 以上の損傷を受けた割合は、S55 道示及び H2 道示の道路橋よりも小さいことが示された。S46 道示以前の道路橋が被災した割合が、H2 道示及び S55 道示の道路橋と比べ大きくないのは、S55 年道示よ

り古い基準を適用した緊急輸送道路の橋梁のうち特に優先的に補強する必要のある橋梁を対象とした「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム（平成17年度～19年度）」等により耐震補強が近年でも進められてきたこと、また、Kawashima<sup>13)</sup>が指摘するように、1978年宮城県沖地震による被災によって、耐震性が低い橋梁の更新・補強が進められてきたことが推察される。また、S46道示以前の道路橋が被災度B以上の損傷を受けた割合が、S55道示及びH2道示の道路橋よりも小さくなったのは、強い地震動が作用した橋の割合が小さかったためと考えられる。

また、斜橋・曲線橋と直橋の比較分析から、被災度B以上の損傷が斜橋・曲線橋に増加しはじめる地震動強度は直橋に比べ小さいこと、S55道示以降の橋については、斜橋・曲線橋及び直橋の何れについても被災度B以上の損傷が生じ始める地震動強度がS46道示以前の橋に比べ大きいこと等が示された。

上述の様に、H8道示以降の道路橋は、その他の適用基準の道路橋に比べ、高い耐震性が確保されていること、また、S55道示及びH2道示との相対比較から、S46道示以前の道路橋の耐震性が改善されていることが認められ、これまでの基準改定や耐震補強等の効果が現れていることが示された。斜橋・曲線橋及び直橋の被害をS46道示以前とS55道示以降で比較した分析からは、被災が生じ始める地震動強度がS55道示以降の橋で大きくなっており、基準改定の効果の一面と推察される。

## 参考文献

- 1) (公社)土木学会 地震工学委員会 東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会：最終報告書，土木学会，2015.
- 2) 国土技術政策総合研究所：東北地方太平洋沖地震の地震動分布（ver3.0）の算出手順，<http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/index.htm>
- 3) 畑明仁，片岡正次郎：2011年東北地方太平洋沖地震による橋梁被害のマクロ分析，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 72, No. 4（地震工学論文集第35巻），pp. I\_676-I\_690, 2016.5.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002.
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2012.
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1990.
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1980.
- 9) 日本道路協会：道路橋耐震設計指針・同解説，1972.
- 10) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書解説，1956.
- 11) 日本道路技術協会：鋼道路橋設計示方書案解説，1940.
- 12) 内務省土木局：道路構造に関する細則案，1926.
- 13) Kawashima, K.: Damage of bridges due to the 2011 Great East Japan Earthquake, Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.12, No.4, pp.319-339, 2012

(2016.9.2 受付)

## STATISTICAL STUDY ON DAMAGE TO HIGHWAY BRIDGES DUE TO THE 2011 OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU EARTHQUAKE

Yoshihiro NAKAO and Shojiro KATAOKA

In the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, strong ground motions and tsunami caused damage to a large number of highway bridges in broad area. The existing study showed that the longer bridges or continuous girder type of bridges tend to have larger damage ratio. In this study, damage to highway bridges is statistically studied focusing on difference in damage-ratio and degree due to design codes, plane shapes, etc. The result statistically showed that the bridges designed in accordance with the post-1990 design codes tend to have less damage and that damage to the bridges designed in accordance with pre-1980 design codes has been reduced by seismic retrofit