

東日本大震災における橋梁の全体被害状況 とその一次分析

性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会¹

¹地震工学委員会 性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会

2011年3月11に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震動ならびに地震後に発生した津波により橋梁に大きな被害が発生した。性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会では、東日本大震災による橋梁等の被害分析ワーキンググループを立ち上げ、様々な機関あるいは研究者ら等から報告されている土木構造物の被害情報の中から、998橋の被害に関する情報を一元的に収集し、まずはデータベースとして整理を行った。その上で、これらの被害橋データベースを基に、被害に関するマクロ的な視点からの一次分析を行ったので、その結果について報告する。

Key Words : 2011 Great East Japan Earthquake, Bridges, Damage Database, Macro-analysis

1. はじめに

2011年3月11に発生した東北地方太平洋沖地震では、地震後に発生した津波により多くの死者、行方不明者が生じる大災害となったが、橋梁構造物にも、地震動あるいは津波の影響により甚大な被害が生じたところである。

今回の地震による地震動は、継続時間こそ長かったものの、そのスペクトル特性は、橋の一般的な固有周期帯に着目して見れば、1995年兵庫県南部地震の時の地震動と同等もしくはそれよりも低いレベルであった。1995年兵庫県南部地震以降、橋の重要度や構造特性に応じて、各機関で優先度を付けながら耐震補強が進められてきているが、今回の地震はそうした中で発生した大規模地震であった。その結果、橋脚等、耐震補強がなされていた橋では被害が軽減できた一方で、耐震補強がされていない橋において、従前と同様な被害が目立った。また、1995年兵庫県南部地震以降多く採用されるようになったゴム支承に破断が生じる等、これまでになかった被害も報告されている。

一方、地震後に発生した大規模な津波により、主として東北地方太平洋沿岸に立地した橋において津波により橋桁が流出する等の被害も発生した。津波による橋桁の流出は、2004年スマトラ島沖地震により発生した津波によっても生じた被害であるが、我が国では戦後初めて経験する被害である。

今回の地震では震源域が広く、このため橋の被害も東北地方から関東地方にわたって広域に発生している。

個々の橋の被害については、橋を管理する機関をはじめとしていろいろな報告がなされているが、道路橋、鉄道橋も含めた形で橋の被害の全容をとりまとめた報告はない。そこで、地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会では、東日本大震災による橋梁等の被害分析ワーキンググループを立ち上げ、各方面で報告されている内容を集約し、998橋の被害に関する情報を一元的に整理し、被害記録のアーカイブ化あるいは今後の被害分析に有効に活用されるようにしていくため、情報ソースと併せてデータベース化を行った。さらに、これらの被害データを基に、被害に関するマクロ的な視点からの一次分析を試みた。

なお、詳細な内容については、2012年7月25～26日に開催された性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会主催の「第15回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム」において報告書¹⁾として発刊しているため、そちらを参考にされたい。

2. 調査橋梁とデータベースの内容

東北地方太平洋沖地震による地震動ならびにその後に発生した津波により影響を受けた橋梁のうち、本活動を通じて情報を収集できた橋梁数は、岩手県から神奈川県までの範囲にある1991橋（道路橋1907橋、鉄道橋84橋）である。これらの橋梁に対して、路線別に分類した上で、橋梁名、竣工年、橋梁形式、主な被害、当該橋の被害状況に関する情報ソースとなっている文献^{2)～3)}等をわか

表-1 東日本大震災における橋梁の被害データベース（一部抜粋）

(1). 高速自動車国道及び一般国道の自動車専用道路

1). 三陸縦貫自動車道

No.	橋梁名	竣工年	橋梁形式(上段:上部構造, 下段:下部構造)	主な損傷	出典
1	金浜跨線橋	2009	プレテンPC単純床版 杭基礎(A1, A2)	排水マスの沈下 踏掛版下の空洞	土研資料No.4204
2	新米谷大橋	(未確認)	4径間連続鋼床版箱桁 PC小判型橋脚	損傷確認されず	土研資料No.4204
3	新天王橋	2002	5径間連続鋼床版鋼箱桁 ラーメン式橋台, RC壁式橋脚, 逆T式橋台 場所打ち杭(A1, A2), 鋼管矢板基礎(P1~P3), 鋼管杭(P4)	橋台背面盛土の遊間及び沈下	土研資料No.4204 地震工学委員会 EJEC
4	鳴瀬奥松島大橋	1995	2径間連続鋼箱桁(非合成)+ニールセンローゼ桁+2径間連続鋼箱桁(非合成)+単純鋼板桁(非合成) 直接基礎	橋脚背面部の段差 桁端部の遊間異常	土研資料No.4204
5	高松橋	1995	4径間連続鋼板桁(非合成) 直接基礎(P2以外), 場所打ち杭基礎(P2)	支承取付部の損傷	土研資料No.4204
6	山田高架橋		4径間連続鋼箱桁2連, 積層ゴム支承 RC橋脚	損傷確認されず(地震記録あり)	東北建設伊藤組 片岡第31回
7	関谷高架橋			損傷確認されず	東北建設伊藤組

る範囲で拾い出し、表形式としてデータベース化した。

表-1は、そのデータベースの一部を抜粋したものである。

なお、情報を収集した1991橋のうち、何らかの被害が生じたことが報告されている橋梁が998橋含まれている。これらの橋における被害状況については、本研究小委員会の委員によって全てを直接調査して把握したものではなく、出典となっている文献の情報に基づいて記載しているものが多い。本来であれば、同一の視点によって被害状況をその程度を含めて統一的に評価して記述すべきところであるが、今回の震災では、被害橋梁の立地範囲が非常に広域にわたり、またその数も非常に多いことから、まずは被害に関する情報を多く収集して一元化して整理し、これを多くの者で共有できるようにすることに力点を置くことにしたものである。

3. 被害橋梁と震度階との関係

図-1は、一般国道上に位置する橋長2m以上の856橋の橋梁のうち、岩手県、宮城県、福島県、茨城県に存する橋梁の位置と被害の有無を地図上に分けてマッピングするとともに、これを本震による気象庁震度階の分布図³⁴⁾と併せて示したものである。ここで、「地震動の影響により被害が発生した橋梁」とは、地震動によって橋梁本体に被害が生じた橋で、橋台背面に生じた段差についてはそれが5cm以上になると被害ありに分類した。また、橋面の防護柵の変形や地覆コンクリートのひび割れが生じている状態や、鋼橋の塗膜剥離等の軽微な被害についてもこの分類に含めることとした。一方、「地震動の影響を受けたが被害が発生しなかった橋梁」とは、地震による橋梁本体への被害がなく、かつ、橋台背面に生じた段差も5cm未満の状態である橋梁とした。したがって、「地震動の影響により被害が発生した橋梁」と集計され

ている橋梁の全てが、橋梁としての機能に支障が生じるような被害であったことを意味するものではないことに留意して結果を見る必要がある。また、「津波の影響により被害が発生した橋梁」とは、被災後の緊急点検において津波が上部構造に達した痕跡のある橋梁で被害が発生した橋梁、「津波の影響を受けたが被害が発生しなかった橋梁」とは、被災後の緊急点検において津波が上部構造に達した痕跡があるが被害が発生しなかった橋梁である。

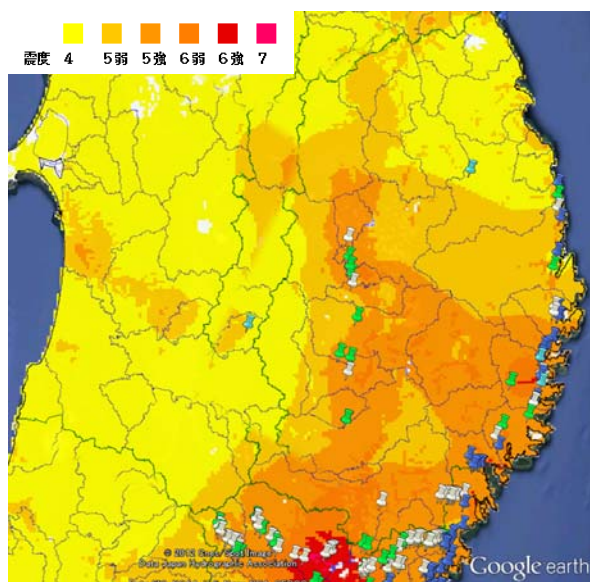
これらの地区に存する橋梁すべてに対してプロットがなされているわけではないので、あくまでも定性的な傾向しか言及できないが、これらの図によれば、気象庁震度階が大きい地区に被害が集中している傾向があるとは言えないことがわかる。

4. 被害箇所の統計分析

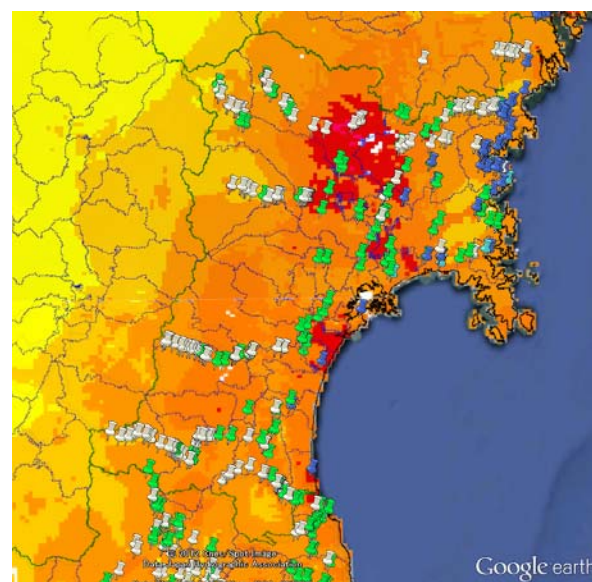
(1) 東北地方整備局管理の道路橋

国土交通省東北地方整備局では、岩手県、宮城県、福島県の3県内での管理橋梁1,909橋を対象として、地震後に緊急点検が実施されており、被災の有無について、表-2に示すとおり、3月11日の本震と4月7日の余震それぞれで分類して整理がなされている³⁵⁾。ここで、側道橋とは、車道部である本線橋とは構造が分離しているが並列して架けられた歩道部の橋である。また、直轄国道横過橋とは、東北地方整備局が管理する国道を横過する他機関が管理する橋である。

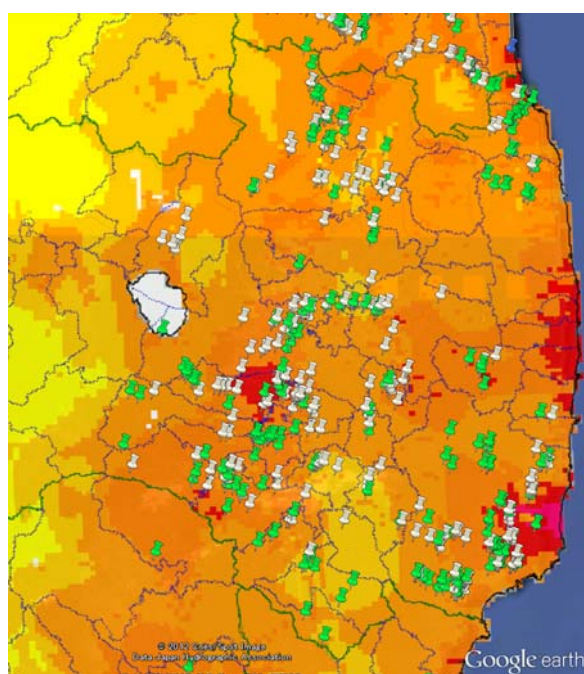
また、表-3は津波の影響を受けた橋梁数とその中で上部構造が流出する被害が生じた橋梁の数を示したものである。これより、東北地方整備局が管理する橋梁においては、津波が上部構造の高さにまで達した橋梁数が154橋（側道橋及び横過橋含む）であり、その9割以上の橋



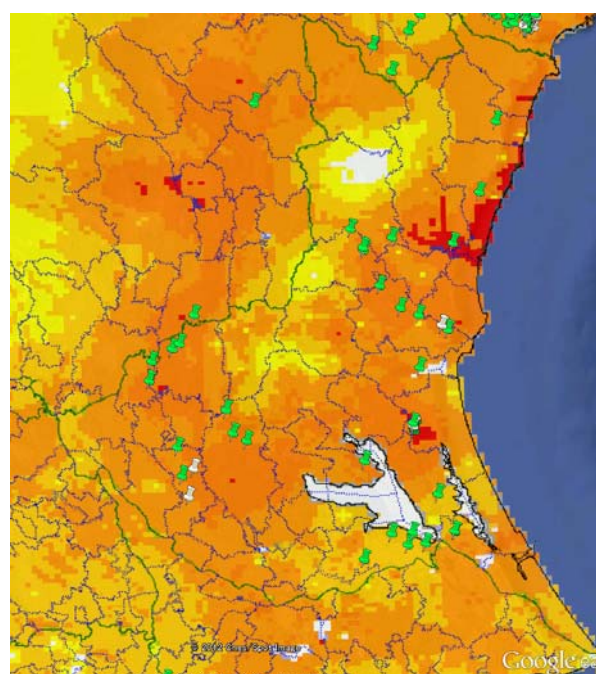
(a) 岩手県



(b) 宮城県



(c) 福島県



(d) 茨城県

地震動の影響により被害が発生した橋梁
地震動の影響を受けたが被害が発生しなかった橋梁

津波の影響により被害が発生した橋梁
津波の影響を受けたが被害が発生しなかった橋梁

図-1 橋梁の被害の有無と震度階の分布の比較

梁には何らかの損傷が生じているものの、上部構造が流出するに至ったのは12橋（8%）であったことがわかる。

図-2は、本線橋と側道橋（合計1572橋）を対象として、道路震災対策便覧（震災復旧編）³⁹に記載されている応急復旧のための判定手法に従い、耐荷力に関する被災度並びに走行性に関する被災度をそれぞれ判定した結果を示したものである。表-2では全体の6割の橋梁に何らかの被害はある一方で、全体の9割は耐荷力の観点からは異常が認められない程度の被害であることがわかる。ま

た、走行性についても、異常は認められるが走行できる状態（通行注意）、あるいは、走行性に対して特に異常が認められない（被害なし）場合が全体の98%を占めていることがわかる。

図-3は、本線橋と側道橋（合計1572橋）を対象として、損傷が生じた部位を累計した結果を示したものである。ここで、1橋の中で複数の部位に損傷が生じている橋については、それぞれの部位で損傷数に計上している。これからも、今回の地震による損傷は、橋台背面の沈下、

表-2 東北地方整備局が管理する橋梁の被害数

	点検橋梁数	被災不明	損傷なし	損傷あり	被災率
本線+側道橋	1572橋		612橋	960橋	61%
うち本線橋	1157橋		445橋	712橋	62%
うち側道橋	415橋		167橋	248橋	60%
直轄国道橋梁橋(0V)	337橋	3橋	255橋	79橋	23%
合 計	1909橋	3橋	867橋	1039橋	54%

表-3 東北地方整備局が管理する橋梁における津波による被害数

	点検橋梁数	被災不明	津波影響なし	津波影響あり	(うち落橋)	津波の影響割合
本線+側道橋	1572橋		1421橋	151橋	12橋	10%
うち本線橋	1157橋		1064橋	93	5橋	8%
うち側道橋	415橋		357橋	58橋	7橋	14%
直轄国道橋梁橋(0V)	337橋	3橋	297橋	3橋		1%
合 計	1909橋	3橋	1718橋	154橋	12橋	8%

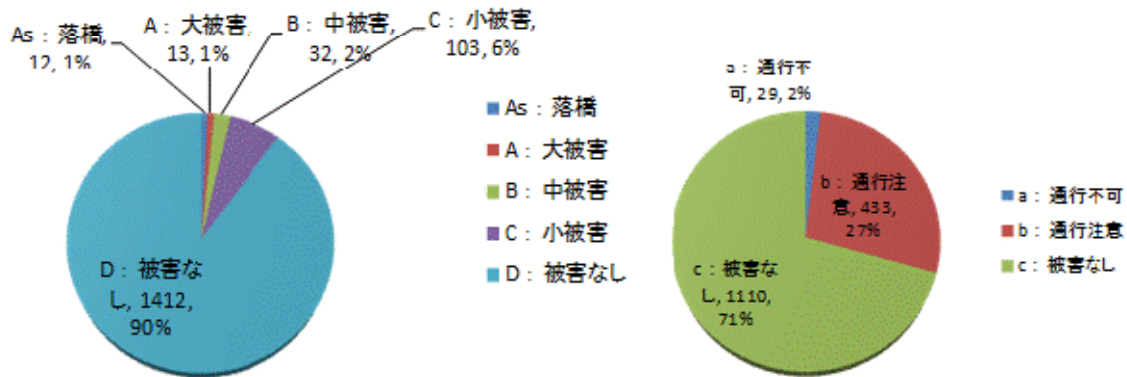


図-2 道路震災対策便覧（震災復旧編）に基づく耐荷力、走行性に関する被災度判定の結果

伸縮装置、支承等に生じていることがわかる。1995年兵庫県南部地震では、鉄筋コンクリート橋脚に生じた損傷が多かったが、東北地方整備局が管理する道路橋では耐震補強がなされた橋が多かったこともあり、橋脚柱部に損傷が生じた橋は全体の1%に止まっている点は特徴的である。

(2) 宮城県管理の道路橋

宮城県では、管理橋梁1,309橋を対象に、被災の状況並びに損傷が生じた部位の整理がなされている³⁰⁾。宮城県管理の道路橋では、全体の45%の橋梁で被害が生じているが、損傷部位としては、図-4に示すように、橋台背面に関する被害が最も多く、次いで伸縮装置や支承の損傷が生じている。また、橋脚の損傷は全体の1%程度であり、これらの傾向は、図-3に示した東北地方整備局が

管理する道路橋と同様な傾向であると言える。

5. まとめ

地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会では、東北地方太平洋沖地震による地震動または津波の影響を受けた1991橋の橋梁に関する情報を一元的に集約し、表-1のような書式のデータベースを作成した。また、広域に発生した橋梁の被害に関する多くのデータを活用してマクロ的観点から分析を行った。その結果、橋梁の被害と気象庁震度階の間には特段の傾向があるわけではないこと、兵庫県南部地震の際に多く発生した橋脚の損傷は、今回の地震では少なくなったこと、道路橋には何らかの被害が生じているものが多いが耐荷力や走行性に大きな影響を及ぼすような被害ではな

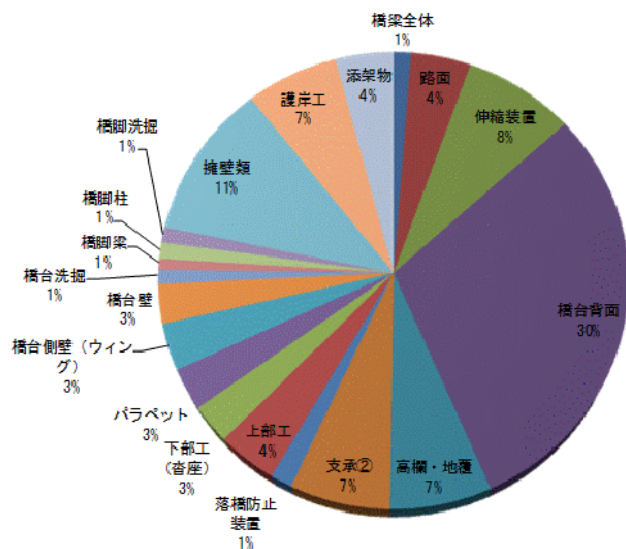


図-3 東北地方整備局管理の道路橋の損傷部位

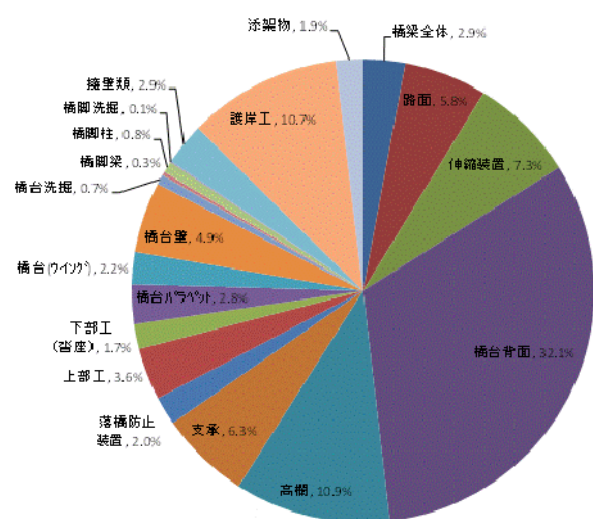


図-4 宮城県管理の道路橋の損傷部位

いこと等が、マクロ的な観点から確認された。

ただし、今回は橋梁の被害評価が必ずしも統一的な視点や尺度に基づいて実施されているわけではないため、被害の有無は評価できても、その度合いについてはデータにばらつきがあると考えられる。また、サンプルデータについて市町村管理レベルの橋は含まれていない。引き続き、重要な被害データの蓄積を図る必要がある。

その一方で、今回の地震で相応の地震動の影響や津波の影響を受けたと考えられるにも関わらず、損傷が生じなかった橋梁もある。被害が生じた橋に対する原因の解明と同時に、被害が生じなかった橋に対する原因の解明についても、耐震設計技術の高度化、特に既設橋に対する合理的な耐震性能評価の観点から、今後重要な研究の視点になるのではないかと考えられる。

なお、本稿では紹介を省略したが、報告書では、特に重要な個別の橋梁の被害については、詳細な調査結果を記述するとともに、被害に対する様々な視点からの解析的な検討結果についても示していることを付言する。

謝辞：性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会東日本大震災による橋梁等の被害分析ワーキンググループ報告書を作成するにあたり、震災対応で多忙のところ、国土交通省東北地方整備局、岩手県、宮城県、福島県より貴重な資料の貸与等の協力を賜った。ここに記して、深く謝意を表する。

付録

性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会東日本大震災による橋梁等の被害分析ワーキンググループ

報告書 目次

はじめに

I.全体橋梁被害概要

- 1.調査橋梁位置図
- 2.調査橋梁一覧表
- 3.被害統計分析結果

II.地震動による橋梁被害

1.代表的橋梁被害分析

- 1.1 鉄道橋：第一中曽根高架橋
- 1.2 鉄道橋：第5猪鼻高架橋
- 1.3 鉄道橋：第2・第3愛宕高架橋
- 1.4 仙台市営地下鉄（八乙女駅～泉中央駅間）の高架橋
- 1.5 道路橋：天王橋
- 1.6 道路橋：亀田橋
- 1.7 道路橋：関上大橋
- 1.8 道路橋：神崎大橋

2.橋梁被害の分析

- 2.1 地震動の特徴
- 2.2 ゴム支承被害状況
- 2.3 ラーメン高架橋被害状況

III.津波による橋梁被害

1.代表的橋梁被害分析

- 1.1 小泉大橋
- 1.2 歌津大橋
- 1.3 新北上川大橋
- 1.4 気仙大橋
- 1.5 JR気仙沼線橋梁（津谷川橋梁・水尻川橋梁）
- 1.6 沼田跨線橋

- 1.7 二十一浜橋
- 1.8 水尻橋
- 1.9 新二渡橋

2.津波の特徴

3.津波被害分析

- 3.1 津波被害の実験的検証
- 3.2 津波水平作用力と橋梁水平抵抗力
- 3.3 橋梁被害に対する防潮堤の効果に関する解析的検討
- 3.4 津波被害の軽減に向けて

IV.付録

調査橋梁一覧表

参考文献

- 1) 地震工学委員会性能に基づく橋梁の耐震設計法に関する研究小委員会：東日本大震災による橋梁等の被害分析WG報告書，第 15 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム，2012 年 7 月
- 2) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報，国総研資料 No.646，土研資料 No.4202
- 3) 土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書
- 4) 2011 年東北地方太平洋沖地震によるゴム系支承損傷を伴う橋梁被害，JAE 年次大会 2011
- 5) コンクリート委員会調査団（岩手調査班）報告書第 1 報
- 6) コンクリート委員会・構造工学委員会調査団（宮城調査班）報告書第 1 報
- 7) コンクリート委員会・構造工学委員会調査団（福島調査班）報告書第 1 報
- 8) 構造工学委員会調査団（福島県内鋼橋）報告
- 9) 橋建協報告，東日本大震災 被害調査報告
- 10) 東日本大震災橋梁調査（緊急）報告（スライド・2011/5/20）
- 11) 東日本大震災 被害調査報告(2011/6)
- 12) 東日本大震災 報告書 1
- 13) 東北建設協会：栗子国道維持出張所管内構造物点検（平成 23 年 3 月 12 日）
- 14) 東北建設協会：郡山維持出張所管内橋梁点検（平成 23 年 3 月 12 日）
- 15) 東北建設協会：宮城県内橋梁等被害調査（平成 23 年 3 月 15 日～24 日）
- 16) 東北建設協会：国道 6 号被災状況調査【原町維持出張所管内】（平成 23 年 3 月 23 日～4 月 11 日）
- 17) 東北建設協会：岩手県・宮城県現地調査（平成 23 年 3 月 30 日～4 月 1 日）
- 18) 東北建設協会：直轄道路被災状況調査【三陸国道事務所管内】（平成 23 年 4 月 4 日～4 月 8 日）
- 19) 東北地方太平洋沖地震の強震記録による地震時水平力分散構造を有する高架橋の地震応答解析
- 20) 東日本大震災宮城県沿岸部橋梁構造物等調査について（第 1 版）
- 21) 東日本大震災における NEXCO 福島管理事務所の初期対応について，第 29 回日本道路会議，Paper No. 2002, 2011
- 22) 東日本大震災に伴うネクスコ郡山管理事務所管内の被災状況の現状，第 29 回日本道路会議，Paper No. 2003, 2011
- 23) 東北地方太平洋沖地震により損傷した長大トラス橋の復旧概要，第 29 回日本道路会議，Paper No. 2011, 2011
- 24) 東日本大震災に伴う橋梁応急復旧の概要～仙台東部道路 仙台東部高架橋～，第 29 回日本道路会議，Paper No. 2012, 2011
- 25) 東日本大震災による原瀬川橋支承の災害応急復旧作業，第 29 回日本道路会議，Paper No. 2013, 2011
- 26) 東北地方太平洋沖地震による影響及び対応について（平成 23 年 3 月 14 日）
- 27) 「東日本大震災」関連公共土木施設被災・応急復旧状況（平成 23 年 11 月 22 日）
- 28) 群馬県内における土木構造物の被害調査報告書（第 1 報），土木学会関東支部群馬会
- 29) Structural Engineering Data, No.37, JR 東日本, 2011
- 30) 岩手県橋梁点検結果
- 31) 宮城県東北地方太平洋沖地震(余震)道路施設点検調査橋梁緊急点検結果報告書，2011.12.
- 32) 福島県橋梁点検結果
- 33) 東北地方整備局東日本大震災に伴う緊急橋梁点検概要書，2011.10.
- 34) 気象庁，推計震度分布図
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikai/eventlist.html>
- 35) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），平成 18 年度改訂版，平成 19 年 3 月

(2012. 10. 1 受付)

MACRO-STUDY ON BRIDGE DAMAGE DUE TO 2011 GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE

Subcommittee on Performance-based Seismic Design Method for Bridges

Many bridges were damaged due to the ground motion effect or the tsunami effect induced by the 2011 Great East Japan Earthquake. Subcommittee on Performance-based Seismic Design Method for Bridges, the Earthquake engineering Committee, JSCE has establish the working group(WG) for damage analysis of bridges and gathered information of bridge damage reported by many associations and researchers. The WG listed 998 bridges with information of damage and references. Furthermore the preliminary macro-study on bridge damage was performed, to summarize the characteristic of damage.