

近年の地震被害データに基づく 道路橋の構造被災度推定手法の改良

大道 一歩¹・片岡 正次郎²

¹正会員 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）

²正会員 博（工）国土技術政策総合研究所 道路地震防災研究室長（〒305-0804 茨城県つくば市旭1）

1. はじめに

災害対策基本法第二条の二は、「災害の発生直後その他必要な情報を収集することが困難なときであっても、できる限りの確に災害の状況を把握し、これに基づき人材、物資その他の必要な資源を適切に配分することにより、人の生命及び身体を最も優先して保護すること」と定めている¹⁾。現在、発災直後の地震被害の概況を推定する手段の一つとして、構造被災度推定フローを用いた道路橋の被災度推定手法²⁾が存在する。この手法を用いて熊本地震等における実際の被災度と比較・検証を行った結果、現在用いている「構造被災度推定フロー」について、概ね妥当な結果が得られていることが確認できたが、一部では、実際の被害状況と比較して小さく推定している箇所もあることが判明した。

本論では、構造被災度推定フローによる推定被災度を実被害が上回る、すなわち危険側の推定を行っている箇所について、原因の考察及び構造被災度推定フローの改良を行った。

2. 熊本地震における被害状況の整理

(1) 被災度推定の方法

本論における道路橋の被災度推定手法は、「構造被災度推定フロー」の方法を元に修正した「構造被災度推定フロー（システム用修正版）」³⁾を採用し、推定精度と課題の整理を行った。システム用修正版の修正箇所は主に、支承や基礎等に複数の形式を持つ場合は、形式ごとにそれぞれ推定を実施し、厳しい推定結果を採用することでフローを適用できるように補足を行ったものである。

道路橋の被災度推定手順は、以下のとおりである。

a) 検討対象の選定

国土交通省、NEXCO 西日本、熊本県及び大分県の管理する橋梁より、2016年熊本地震時の被害写真及び緊急点検結果における被災概要のコメントにより被災度を整理している400橋程度を選定した⁴⁾。

b) 基礎データの整理

橋梁データ（上部構造形式、支承形式、下部構造形式等）と道路被害情報（震度、SI値、被災度の判定結果、被害写真、交通規制状況、復旧状況等）を整理した。ここで、震度及びSI値は、国土技術政策総合研究所が公表している、2016年熊本地震地震動分布図⁵⁾による250mメッシュでの推定結果を利用した。

c) 被災度の推定

橋梁データ、道路被害情報に基づき、前述の構造被災度推定フロー（システム用修正版）を用いて、被災度の推定を行った。なお、被災度の推定にあたっては、道路震災対策便覧（震災復旧編）⁶⁾に記載されている、被災度を5段階に分類したものについて、A以上、B、C以下の3段階にまとめ、それぞれA、B、Cとして推定した。耐荷力に関する被災度の分類を以下に示す。

As：落橋あるいは倒壊・半倒壊した場合（落橋）

A：耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合（大被害）

B：耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合（中被害）

C：短期間には耐荷力の低下に影響のない場合（小被害）

表-1 推定被災度と実被害の関係

表 1 判定被災度と実被害の関係

1. 総合											
総合被災度ランク		構造被災度推定フロー			比較橋梁数		352				
実被害	A	11	4	0	判定不能 (構造被災度推定フロー)	61					
	B	19	2	9							
	C	6	10	22							
	D	44	18	207	計	413					
							総合被災度ランク	橋梁数	比率(%)		
							一致する件数(A~C)	35	42%		
							1段階異なる件数(A~D)	64	77%		
2. 橋脚											
橋脚の被災度ランク		構造被災度推定フロー			比較橋梁数		176				
実被害	A	1	0	0	橋脚なし	176					
	B	5	0	0	判定不能 (構造被災度推定フロー)	61					
	C	5	10	15							
	D	46	7	87	計	413					
							総合被災度ランク	橋梁数	比率(%)		
							一致する件数(A~C)	16	44%		
							1段階異なる件数(A~D)	118	67%		
3. 支承											
支承の被災度ランク		構造被災度推定フロー			比較橋梁数		349				
実被害	A	10	3	0	支承なし	3					
	B	15	3	9	判定不能 (構造被災度推定フロー)	61					
	C	6	10	21							
	D	48	18	206	計	413					
							総合被災度ランク	橋梁数	比率(%)		
							一致する件数(A~C)	34	44%		
							1段階異なる件数(A~D)	265	76%		
4. 基礎											
基礎の被災度ランク		構造被災度推定フロー			比較橋梁数		352				
実被害	A	2	2	0	基礎なし	0					
	B	5	0	1	判定不能 (構造被災度推定フロー)	61					
	C	3	10	13							
	D	70	22	224	計	413					
							総合被災度ランク	橋梁数	比率(%)		
							一致する件数(A~C)	15	42%		
							1段階異なる件数(A~D)	254	72%		

凡例

■	…実被害＞構造被災度推定フロー	一致する件数(構造被災度推定フロー・実被害)
■	…実被害＝構造被災度推定フロー	……A・A, B・B, C・Cの数
■	…実被害＜構造被災度推定フロー	1段階異なる件数(構造被災度推定フロー・実被害)
■	…実被害＞構造被災度推定フローとなる橋梁	……A・B, B・C, C・Dの数

D：耐荷力に関しては特に異常が認められない場合（被害無し）

(2) 被害情報に基づく判定結果

被害情報に基づく判定は、緊急点検時に実施された被災度判定によるものとするが、緊急点検時の被災度評価は橋梁全体に対して実施されているものであり、部位ごとの判定の記述はない。そのため、被災写真のある国道・県道は、写真を道路震災対策便覧（震災復旧編）⁹⁾の記述と照らし合わせて判定し、写真のない高速道路の被災度は、被災内容の記述より個別に判定した。なお、413橋の内61橋は、基礎形式や支承形式等の情報が不足しているため、判定不能とした。

評価が出来ないため、総合評価結果を示している。また、実被害は、橋脚・支承・基礎の部位ごとの判定結果及び、総合判定結果（橋梁の部位ごとにおける最も厳しい被災度判定結果）を示している。表-1によると、実被害判定がA～Cの、何らかの被害が確認できた橋梁で、現在の構造被災度推定フローの推定結果が実被害の判定と一致する割合は42%である。また、被災のなかった橋梁（被災度D）を含めた場合、1段階以内の差異となるのは80%近くであることが確認できる。今回の結果では、13橋（3%程度）で実被害が構造被災度推定フローの推定結果を上回っている。

3. 構造被災度推定フローの改良

(3) 被災度の評価結果

構造被災度推定フローの被災度と実被害の関係を、表-1に示す。構造被災度推定フローは、部位ごとの

(1) 被災度評価の方法

前章で述べたように、構造被災度推定フローと実被害の結果は、77%が1段階以内の差異となってお

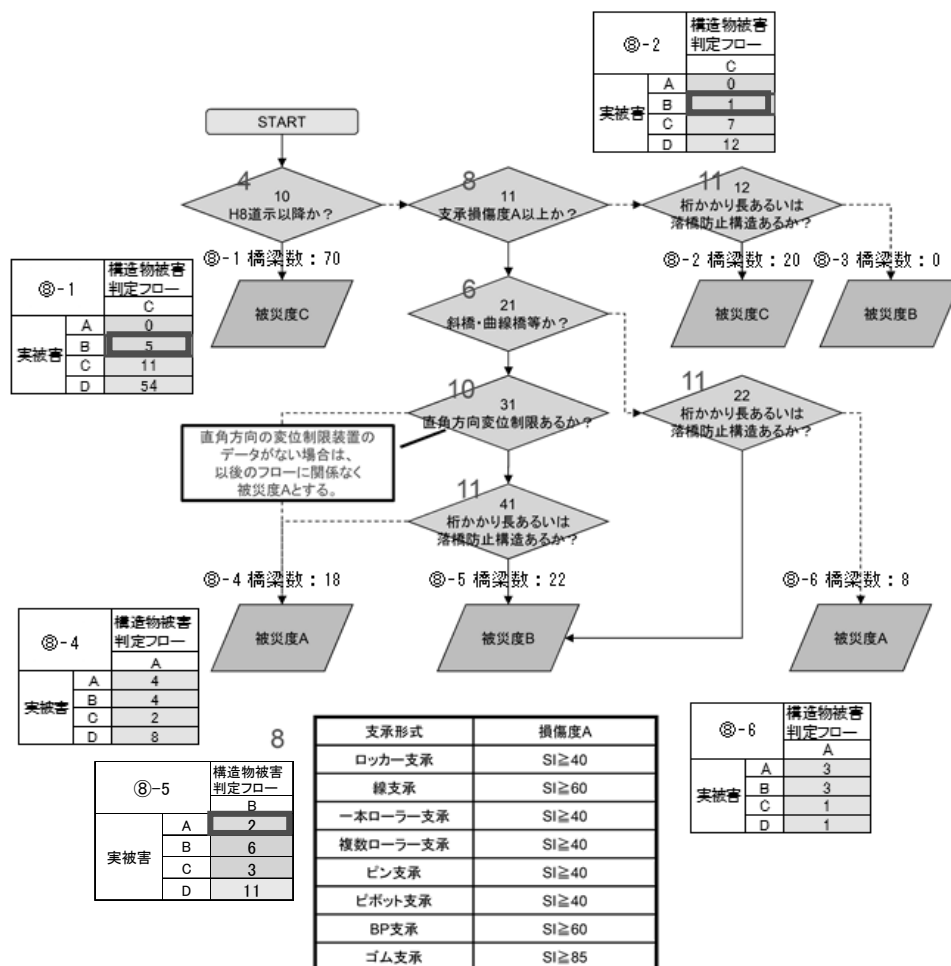


図-4 危険側の推定結果箇所（B-3 支承・落橋防止）

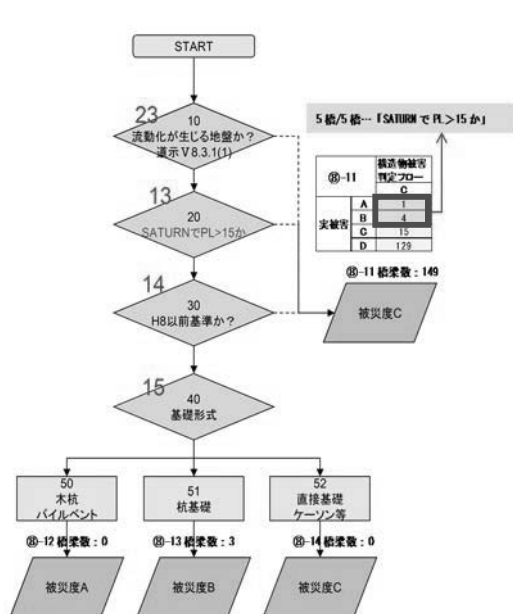


図-5 危険側推定結果箇所（B-5 橋梁基礎側方流動の評価）

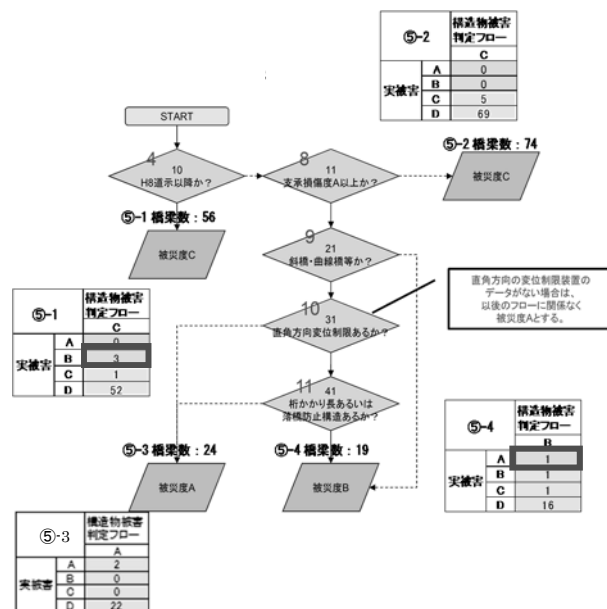


図-6 危険側の推定結果箇所（A-1 端部支承・落橋防止）

り、概ね妥当な成果が得られていることが分かる。しかし同時に、実被害の判定が構造被災度推定フローの評価結果を上回る箇所も13箇所存在することが判明した。そのため、本章では、これら13箇所につ

いて、構造被災度推定フローにおけるどの段階で差異が生じているのか検証し、原因の特定並びに、フローの改良について検討を行う。

図-1から図-6に、構造被災度推定フローにおける

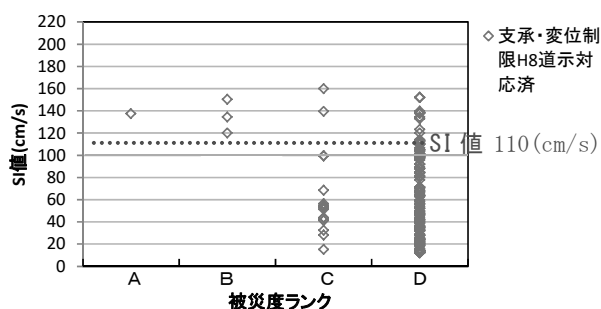


図-7 SI値と被災度の関係

総合、支承、橋台・基礎に着目した各結果と、実被害の判定結果の比較を示す。図から分かるように、実被害の判定結果が構造被災度推定フローの推定被災度を上回っているのは、特殊橋梁における総合フロー⑦、橋台・基礎におけるA-2フロー⑤-8及びB-4フロー⑧-9・⑧-10、端部支承・落橋防止におけるB-3フロー⑧-1・⑧-2・⑧-5及びA-1フロー⑤-1・⑤-4、橋梁基礎側方流動におけるB-5フロー⑧-11、に該当する箇所であった。次節からは、これらの橋梁について個別に、実際の被災内容と推定被災度で差異が生じた要因に着目し、フローの改良を検討する。

(2) 構造被災度推定フローの改良

この節では、実被害による判定が構造被災度推定フローの推定被災度を上回るものについて、個別に原因を考察し、フローの改良を行う。

a) 総合フロー 特殊橋

図-1に示すように、総合フロー⑦で実被害が推定被災度を上回っている橋梁が3橋ある。これは、基礎や支承が損傷している場合であっても、震度6弱の地震の場合には構造被災度推定フローでは一律で被災度Cと推定されるためである。実被害判定でAとなる3橋はトラス橋を含む特殊橋であり、現在のフローでは正しく被災度を推定できないと考える。そのため、トラス橋に適用できる構造被災度推定フローを別途検討する必要があるが、現時点ではトラス橋を含む特殊橋は構造被災度推定フローの対象外とする。

b) A-2 橋台・基礎

図-2に示すように、フロー⑤-8で実被害が推定被災度を上回っている橋梁が3橋ある。1橋については、フローの微地形区分による液状化の判定で $PL < 5$ となるため、推定被災度がCとなる。しかし、実際には液状化の被害が現地を確認されており、被災を正しく推定できていない。そのため、液状化に起因する被災度の推定について、実態に則した改良を行い、精度向上を行う必要があると考えられる。また、残りの2橋については、共に道示S46以降の基準である

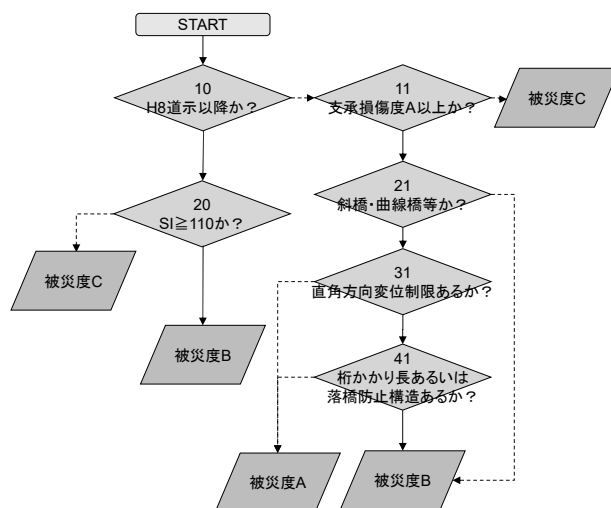


図-8 A-1 端部支承・落橋防止（改良後）

(H2及びH8)が、実際には液状化の影響で橋台・基礎が損傷している。

そのため、この2橋についても液状化に起因する被災度推定手法について、精度向上が必要であると考えられる。

c) B-4 橋台・基礎

図-3に示すように、フロー⑧-9・⑧-10で実被害が推定被災度を上回っている橋梁が4橋ある。⑧-9で実被害による判定がAとなる橋梁は、トラス橋の基礎部分の損傷が原因であり、現在のフローでは正しく被災度を推定できない。そのため、この橋梁は、a)と同様に、特殊橋であることから、構造被災度推定フローの対象外とする。

⑧-10の3橋は、道示S46以降の基準である（いずれもS55対応）ため、推定被災度がCとなるが、実際には液状化の影響で橋台・基礎が損傷している。

そのため、このフローについても、液状化に起因する被災度の推定精度向上が必要であると考えられる。

d) B-3 支承・落橋防止

図-4に示すように、フロー⑧-1・⑧-2・⑧-5で、8橋が実被害が推定被災度を上回っている。⑧-1で、実被害による判定がBとなる5橋の内4橋は、支承は損傷しているものの、変位制限構造に損傷がないため、小被害であるとみなし、被災度Cとするとといった改良が妥当であると考えられる。残りの1橋は、支承より先に変位制限が損傷しており、現在のフローでは正しく被災度を推定できないため、構造被災度推定フロー適用できるよう、改良について検討しなければならない。

⑧-2で、実被害による判定がBとなる1橋も、支承より先に変位制限が損傷しており、現在のフローで

表-2 両端橋台橋梁における被災度と地盤変状の有無の関係

	被災度A	被災度B	被災度C	合計
地盤変状あり	0	6	8	14
地盤変状なし	1	0	14	15
合計	1	6	22	29

は正しく被災度を推定できないため、改良について検討しなければならない。

⑧-5で、実被害による判定がAとなる2橋は、a)でも述べた、トラス橋を含む特殊橋であり、桁橋として構造被災度推定フローを適用した場合は推定被災度Bとなる。

そのため、a)、c)と同様に、現在のフローでは正しく被災度を推定できないと考え、構造被災度推定フローの対象外とする。

f) B-5 橋脚基礎側方流動

図-5に示すように、フロー⑧-11で実被害が推定被災度を上回っている橋梁が5橋ある。いずれの橋梁も、構造被災度推定フローでは、 $PL \leq 15$ であるために被災度Cと推定されたが、実際には液状化の影響で基礎が損傷していたため、被災度B以上の判定結果となっている。

そのため、b)、c)と同様に、液状化に起因する被災度評価についての精度向上が必要であると考えられる。

e) A-1 端部支承・落橋防止

図-6に示すように、⑤-1・⑤-4で、実被害が推定被災度を上回っている橋梁が4橋ある。⑧-1で、実被害による判定がBとなる3橋の内2橋は、d)と同様に、支承は損傷しているものの、変位制限構造に損傷がないため、被災度Cとすることができる。残りの1橋はH8道示以降に新設された橋梁であるが、支承に損傷が生じているため、被災度Bと判定された。支承の被災を推定するためには、SI値による支承損傷度の評価が必要であると考えられる。

今回調査したH8道示対応済みの橋梁における、被災度ランクとSI値の関係を図-7に示す。ただし、支承の損傷により被災度Bとなる橋梁のうち、落橋防止システムが損傷していない橋梁は、実被害をCと判定し、集計から除いている。

図-7によると、H8道示対応済みであっても、SI値117 (cm/s) 以上で被災度Bとなるものが確認されることから、SI値110を閾値に、110以上の橋梁を被災度Bと設定するのが妥当であると考えられる。SI値による評価を追記した構造被災度推定フロー（改良後）を図-8に示す。

⑤-4で、実被害が推定被災度を上回っている橋梁について、直線橋であるため、被災度Bと推定され

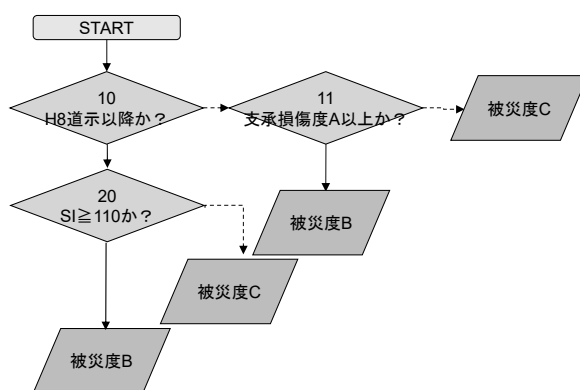


図-9 A-1 端部支承・落橋防止（再改良後）

たが、実被害では被災度Aである。液状化による被災も見られるため、液状化に起因する被災度の推定について、精度向上が必要であると考えられる。

4. 熊本地震以外の地震による分析

図-8の構造被災度推定フロー（改良後）について、SI値による評価を追記する改良を行ったところであるが、4章ではこの改良に加えて、熊本地震以外の地震により得られた知見を基に、更なる改良を試みる。

2章で述べた、熊本地震における被害状況の整理結果以外にも、過去の地震において、両端橋台形式の橋梁に何らかの被害が記録されている地震（1968十勝地震⁷⁾、1993年釧路沖地震⁸⁾、2000年鳥取県西部地震⁹⁾、2004年新潟県中越地震¹⁰⁾、2007年能登半島地震¹¹⁾、2007年新潟県中越沖地震¹²⁾、2008年岩手・宮城内陸地震¹³⁾の7つ）における被災状況を整理すると、表-2に示すように、既往地震で被害のあった両端橋台29橋中、約半分にあたる14橋について、背面土沈下等の地盤変状に伴って被害が発生していることが判明した。特に、被災度A～Bに着目すると、7橋のうち6橋で地盤変状に伴って被害が発生していることが確認できる。以上のことから、地震発生時に、地盤変状が発生した場合には、比較的大きな被害が発生していると考えられる。また、標記の29橋について、構造被災度推定フローを用いて被害を推定すると、その推定結果は概ね安全側に評価出来ていることが確認できた。

今回検討を行った29橋中28橋は、被災度Aの被害は発生していない。また、被災度Aと判定された1橋も、石積み橋梁の落橋というケースであった。よって、大半の両端橋台形式の橋梁では、地震時に被災度Aとなる可能性はかなり小さいと考えることが出来る。そのため、現在の構造被災度推定フローにおける、「支承損傷度A以上か。」の項目において、

表-3 推定被災度と実被害の関係（改良前後比較）

1. 総合(改良前)				1. 総合(改良後)				1. 総合(改良前)				1. 総合(改良後)							
総合被災度ランク		構造被災度推定フロー		総合被災度ランク		構造被災度推定フロー		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)	
実被害	A	10	1	0	実被害	A	9	2	0	一致する件数(A〜C)		34	43%	一致する件数(A〜C)		40	51%		
	B	19	2	9		1段階異なる件数(A〜D)		270	78%	1段階異なる件数(A〜D)		276	79%						
	C	6	10	22															
	D	44	18	207															
2. 橋脚(改良前)				2. 橋脚(改良後)				2. 橋脚(改良前)				2. 橋脚(改良後)							
橋脚の被災度ランク		構造被災度推定フロー		橋脚の被災度ランク		構造被災度推定フロー		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)	
実被害	A	1	0	0	実被害	A	1	0	0	一致する件数(A〜C)		16	46%	一致する件数(A〜C)		16	46%		
	B	5	0	0		1段階異なる件数(A〜D)		117	67%	1段階異なる件数(A〜D)		117	67%						
	C	5	9	15															
	D	46	7	87															
3. 支承(改良前)				3. 支承(改良後)				3. 支承(改良前)				3. 支承(改良後)							
支承の被災度ランク		構造被災度推定フロー		支承の被災度ランク		構造被災度推定フロー		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)	
実被害	A	9	1	0	実被害	A	8	2	0	一致する件数(A〜C)		32	44%	一致する件数(A〜C)		38	52%		
	B	15	2	9		1段階異なる件数(A〜D)		263	76%	1段階異なる件数(A〜D)		269	78%						
	C	6	10	21															
	D	48	18	206															
4. 基礎(改良前)				4. 基礎(改良後)				4. 基礎(改良前)				4. 基礎(改良後)							
基礎の被災度ランク		構造被災度推定フロー		基礎の被災度ランク		構造被災度推定フロー		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)		総合被災度ランク		橋梁数		比率(%)	
実被害	A	1	1	0	実被害	A	1	1	0	一致する件数(A〜C)		14	42%	一致する件数(A〜C)		15	45%		
	B	5	0	1		1段階異なる件数(A〜D)		252	72%	1段階異なる件数(A〜D)		253	73%						
	C	3	9	13															
	D	70	21	224															

凡例

- …実被害＞構造被災度推定フロー
- …実被害＝構造被災度推定フロー
- …実被害＜構造被災度推定フロー
- …被害なし
- …実被害＞構造被災度推定フローとなる橋梁

- 一致する件数(構造被災度推定フロー・実被害)
……A・A, B・B, C・Cの数
- 1段階異なる件数(構造被災度推定フロー・実被害)
……A・B, B・Cの数
- 2段階異なる件数(構造被災度推定フロー・実被害)
……A・Cの数

Noのものは被災度C, Yesのものは被災度B, と単純化した方が, 実被害との関係により即している. 以上を考慮して, 構造被災度推定フローを再改良したものを図-9に示す

図-9に示した構造被災度推定フローを用いて被災度を推定すると, 図-5で示す⑤-3に該当する橋梁が推定被災度Bとなるため, 実被害判定がAである2橋は, 危険側の推定結果となる.

この2橋について個別に被災内容を確認すると, 1橋は, アンカーボルトの破断及び, 支承の損傷により実被害Aの判定となっている. しかし, 全面通行止めに至る被害ではなかったため, 実態に則した判定基準の改良を検討する必要がある.

もう1橋は, 地盤変状に起因した被害であり, 液状化とも異なる特殊な被害状況であるため, 現在の構造被災度推定フローでは, 被災度の推定は困難である. よって, 現在のフローでは正しく被災度を推定できないため, 構造被災度推定フローの対象外とする必要があると考えられる.

5. 妥当性の検証

(1) 被災度の推定結果

前章までで, 構造被災度推定フローにより推定し

た被災度と, 実被害における被災度との差異について原因を考察し, 構造被災度推定フローの改良を行った. 本章では, 構造被災度推定フローを改良した結果, 実被害との一致度合いがどの程度向上したか検証する. 構造被災度推定フローにより推定した被災度と, 実被害で判定した被災度の関係について, フロー改良前後で比較した結果を表-3に示す. 表-3では, ここまでの検討で「構造被災度推定フローの対象外」と結論付けた橋梁は, 改良前後共に, 集計の対象外としている. 構造被災度推定フローの改良によって, 実被害が推定結果を上回る箇所は10箇所から4箇所に減少していることが確認できる. ただし, 支承の被災度推定は, 4章で実施した改良により, 新たに1橋に対して危険側に推定される結果となった.

また, フロー改良後においてもなお, 危険側の推定結果となっている橋梁は, 液状化に起因する被災度を適切に推定出来ないもの及び, 変位制限構造の被災を推定できなかったことが原因となっているため, 被災度推定手法の精度について, 実態に即した被災度を推定出来るよう, 向上させる必要がある.

(2) 構造被災度推定フローで安全側の判定をしたものについて

ここまでで、熊本地震等を例とした、構造被災度推定フローと実被害の関係性について検討し、危険側の評価となっているものは構造被災度推定フローの改良を行った。本項では、構造被災度推定フローによる評価が実被害の判定より安全側の評価を行ったものについて、評価内容の整理を行う。

a) 橋脚の評価

今回の調査では、半分以上の橋脚で安全側評価となった。SI値による被災度推定が安全側に推定していたことによるものだが、熊本地震の地震動特性で、橋梁に被害を及ぼすとされる1秒程度の周期の地震動が、道示や兵庫県南部地震よりも小さかったため、このような推定結果になったと考えられる。しかし、評価結果全体を見たときに、妥当な評価結果となる橋脚も存在することから、フローの改良は現時点では困難である。

b) 支承の評価

支承の評価結果は概ね妥当であるが、安全側の評価となっているものが1/4程度あり、少なくないと考えられる。この原因も、橋脚と同様に、熊本地震の地震動特性によるものであると考えられるが、評価結果が妥当である支承も多いことから、フローの改良は現時点では困難である。

c) 基礎の評価

基礎の評価について、現状では、液状化すれば過小評価、液状化しなければ過大評価となっている。液状化の発生の有無に重きをおいた評価基準とすることが望ましいと考えられる。

6. 結論

本論では、既存の「構造被災度推定フロー」において、熊本地震等の被災事例を基に、構造被災度推定フローによる被災度推定と実被害による判定結果を比較し、構造被災度推定フローの妥当性を検証した。その結果、既存の構造被災度推定フローの推定結果が実被害の判定と一致する件数は40%程度、1段階以内の差異となるのは80%程度であり、既存の構造被災度推定フローについても概ね良好な精度を保持していることが確認できた。

しかし、実被害の判定結果が構造被災度推定フローの推定結果を上回っている事例も確認できたため、その要因に着目し、原因の特定及び、構造被災度推定フローの改良により対処できると考えられるものは、構造被災度推定フローの改良を行った。

構造被災度推定フローの改良の結果、実被害の判定結果が構造被災度推定フローの推定結果を上回っている箇所を減少させることができた。

その一方で、液状化に起因する被災度の推定箇所については、現在の知見が十分でないため、構造被災度推定フローの改良には至っていない。より実態に即した構造被災度推定フローとするために、液状化に関する被災度推定手法の精度向上は必須であると考ええる。

謝辞：本研究は熊本県、大分県、NEXCO西日本及び国土交通省で実施された緊急点検結果を活用させて頂いた。関係者各位に記して御礼申し上げる。

なお、本研究の一部は、JSPS科研費JP16H02357の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 災害対策基本法（昭和36年法律第223号）
- 2) 小林寛，運上茂樹：大地震時における道路橋の被災度推定手法，土木技術資料47-12，pp.48-53，2005.
- 3) 長屋和宏，片岡正次郎，日下部毅明，松本幸司：震後対応における意思決定を支援する即時震害推測システムの開発，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 72(2016) No.4，I_966-I_974，2017.
- 4) 猿渡基樹，中尾吉宏，片岡正次郎：平成28年(2016年)熊本地震による道路橋被害の統計分析，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol74，N0.4(地震工学論文集第37巻)，I_818-I_826，2018.
- 5) 国総研道路地震防災研究室ウェブサイト「2016年熊本地震地震動分布図」，
<http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/>（2019年6月14日閲覧）
- 6) （公社）日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），2007.
- 7) 建設省土木研究所：1968年十勝沖地震災害調査報告，土研報告第141号，1971.
- 8) 建設省土木研究所：平成5年(1993年)釧路沖地震災害調査報告，土木研究所報告第193号，1994.
- 9) 建設省土木研究所：平成12年(2000年)鳥取県西部地震緊急調査報告書，土木研究所資料第3769号，2000.
- 10) 国土技術政策総合研究所：平成16年(2004年)新潟県中越地震に係わる現地調査概要，国総研資料第248号，2005.
- 11) 国土技術政策総合研究所他：平成19年(2007年)能登半島地震被害調査報告，国総研資料第438号，2008.
- 12) 国土技術政策総合研究所他：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震建築物被害調査報告，国総研資料第430号，2007.
- 13) 国土技術政策総合研究所他：平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震被害調査報告，国総研資料第486号，2008.