令和 8 年熊本地震における「道路被害」の経済損失と過去 10 年間の「橋梁強靭化」の経済･財政的価値についての強靭性評価

京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻・藤井研究室

概要：

・本分析では、今回の熊本地震による実際の道路被害状況に基づき、道路の破断とそれに伴う代替経路の混雑による旅行時間の増加を算出することで被災後 3 カ月間での累計経済損失を MasRAC により推計した結果、地震による道路被害が 2026 年の年間名目 GDP に与える損失は約 288 億円、名目税収の減少額は約 31 億円と推計された。

・また、令和 3 年に完了した砂川大橋の強靭化対策が実施されていなかった場合、当該橋梁は約 72%の確率で破損が生じ、98 日～190 日間通行止めとなっていたであろうと推計された。そしてそれを通して年間名目 GDP で 165～272 億円、名目税収で約 18～30 億円の被害がさらに拡大していたであろうと推計された。

・さらに、高木橋、益城橋、御船川橋、木山川橋、浜戸川橋、緑川橋に対する過去 10 年間の強靭化対策が不在であった場合、現時点で復旧している橋梁の復旧日数が約 1 か月遅延したであろうと推計された。その場合、砂川大橋を含む橋梁全体の強靭化効果は年間名目 GDP283～389 億円、名目税収 31～43 億円と推計された。

令和 8 年 7 月 28 日の R8 熊本地震により、九州自動車道や南九州自動車道、国道 3 号を含む地域の重要な道路網が被災し、各地で通行止めとなった。現場・関係者の懸命な努力により復旧が急がれ、九州自動車道は令和 8 年 8 月 14 日に全線で通行再開されたが、南九州自動車道の一部区間などでは現在も通行止めが続いている。本分析は、**第一にこの道路破断がどれだけの経済被害をもたらしたのか、第二に、「橋梁の強靭化」がどれだけの経済効果をもたらすのかを定量推計**するものである。

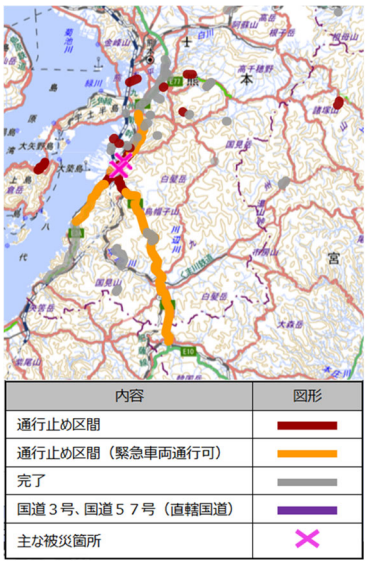


図 1　地震発生 1 週間後の被害状況

計算の前提

表 1 の 3 つのシナリオを設定し、各シナリオにおけるマクロ経済指標（名目 GDP・実質 GDP・名目税収）をマクロ経済モデル MasRAC により算出した。なお、シナリオ①・②における「地震被害」については、実際の震災後の被害状況に準拠し、その道路破断および代替経路の混雑による熊本県内の南北方向の移動所要時間の平均的な増加比率を推計した。また、シナリオ②では、砂川大橋の橋梁破断による所要時間増加を併せて考慮した。

シナリオ⓪	地震被害なし （ベースシナリオ）
シナリオ①	**地震被害が発生** （実際の被災状況に準拠）
シナリオ②	**地震被害が発生＋砂川大橋が破断** （砂川大橋の強靭化未実施を想定）

表 1　MasRAC で推計した 3 つのシナリオ

道路アクセシビリティの計算方法

(1) MasRAC によるマクロ経済推計の前提

MasRAC は、交通ネットワークの破断を「各地域のアクセシビリティ指標の変化」として入力することにより、GDP・税収等のマクロ経済指標の変化をシミュレートする。ついては本分析では各シナリオが想定する交通ネットワークを前提とした「MasRAC が考慮する 207 生活圏の全 OD 間の所要時間」を算定し、それに基づいてアクセシビリティ指標を算定した。

各シナリオにおける各 OD 所要時間算定には、国土交通省開発の全国総合交通分析システム（NITAS）を活用した。具体的には、実際の被害状況および被災後の交通流データを活

項目	設定条件
使用モード	道路モード
経路探索条件	所要時間最小
起終点	全国207生活圏（ODペア）

表 2　NITAS での経路探索条件

用して外部的に推計した[注 1)]所要時間増加（移動速度減少）比率を、熊本県内ネットワーク上の南北方向の主要な経路に対して適用した上で経路探索を行った。経路探索条件は**表 2** の通りである。

影響要因	所要時間増加比率
A：地震による影響	南行：＋18.05％ 北行：＋26.75％
B：砂川大橋破断による追加影響	南行：＋17.00％ 北行：＋9.25％
C：地震・砂川大橋破断の複合影響（A×B）	南行：＋38.1％ 北行：＋38.5％

表 3　所要時間増加比率の推計結果

（2）反実仮想分析（強靭性評価）

本分析では、「過去 10 年間の橋梁強靭化対策が『不在』であった場合に、橋梁破損を通した道路交通ネットワーク破損がどの程度拡大していたのか、そしてそれを通してどの程度の経済・財政被害が拡大していたのか」という反実仮想分析を「**強靭性評価**」として行う。

ついては本分析では、**付録 C** に示した方法を用いて、**過去 10 年間で耐震性の増進を図る強靭化対策が行われ、かつ今回、震度 5.5 以上の地震動がもたらされた橋梁のうち、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋を対象とした。同橋**について、もしも強靭**化対策（約 5.5 億円の事業費：国交省調べ）が不在であれば、72.0%の確率で通行止めを伴う破損が生じていたであろうと推定**された。この結果を受け、**本分析では砂川大橋が通行止め破損した場合の経済被害、財政被害を推計することとした**（それ故、本分析では表 1 に示したように、シナリオ⓪、①に加えて、砂川大橋通行止め破損時のシナリオ②を推計対象とすることとした次第である）。

R8 熊本地震時に通行止め破損した橋梁のうち、復旧期間が実績あるいは予定のいずれかで示されている 16 橋梁を対象とすると、その復旧期間の平均値は 97.9 日間となった（詳細は**付録 D** 参照）。一方で、「耐震性能 3 以下」の橋梁に限ると、復旧期間平均は 190.1 日間であった。砂川大橋は強靭化前には「性能 3」（地震による損傷が橋として致命的とならない性能）が無かったことから、**復旧日数シナリオとして 98 日間と 190 日間の 2 ケースを想定**することとした。

また、以上に加えて、付録 D に示したように、過去 10 年間の橋梁強靭化の取組がなされていない場合には、より多くの通行止め破損橋梁の復旧日数が大幅に増大し、少なくとも 1 ヶ月程度は橋梁の復旧が遅延していたと予想されている。

（3）震災後、ならびに、反実仮想（強靭性評価）における道路ネットワーク状況

本分析では、2026 年 10 月現在で得られていた地震後約 3 ヶ月間の交通ネットワーク上の道路状況についてのプローブデータを使用した。このプローブデータを確認したところ、約 3 ヶ月で平常時に戻りつつあることを踏まえ、シナリオ分析においては、地震後 3 ヶ月間は地震前の状況に比して混雑しているものの、それ以降は地震前の交通状況が実現していると想定する。一方、被災エリアにおける道路通行止め区間の総延長は、16 日目までは約 100ｋｍ以上であった一方、17 日以降は 7ｋｍにまで減少している。ついてはこれらを踏まえ、本推計では、

「地震発生～発生後 16 日目」　（100ｋｍ以上の通行止め区間が存在し、混雑している状況）
「地震発生後 17 日目～90 日目（3 ヶ月）」（通行止め区間が大幅に減少したが、混雑している状況）
「地震発生後 91 日目～砂川大橋復旧日」（一部通行止め区間は残るが、平常時とほぼ同じ状況）

の 3 つの期間を想定し、それぞれの期間のアクセシビリティ指標を作成し、MasRAC にその指標を入力してマクロ経済シミュレーションを行うこととした。

さて、以上の仮定に基づいて MasRAC でマクロ経済推計を行うにあたり、それぞれのシナリオ分析において必要となる熊本県内の南北方向主要経路の所要時間増加率については**表 3** に示した比率で拡大すると仮定した。この所要時間増加率の推計の詳細については**付録 A, B** に記載したように、まず最初に地震直後 3 ヶ月の熊本県内の南北方向主要経路の所要時間の平均を求めた。その結果、**表 3**「A」に示したように、複数の橋梁の通行止め破損によって、地震直前よりも 2 割から 3 割程度の所要時間が増加していることが示された（詳細は**付録 A** 参照）。次に、砂川大橋が通行止め破損をしたという反実仮想時の所要時間推計にあたっては、「砂川大橋破損→周辺の道路がさらに混雑する→所要時間がさらに増加する」、というプロセスを**付録 B** に示した前提に基づいて推計し、1 割から 2 割程度所要時間がさらに増加すると推計された。したがって、砂川大橋通行止め破損時には、**表 3**「C」に示したように平時に比して 4 割程度熊本県内南北移動の所要時間が拡大するということが想定される。

以上の前提の下、地震直後、ならびに、砂川大橋の通行止め破損の反実仮想（98 日通行止めケース、および 190 日通行止めケース）のそれぞれの「地震発生～発生後 16 日目」「地震発生後 17 日目～90 日目（3 ヶ月）」「地震発生後 91 日目～98 日目（または 190 日目）」の三期間ごとにアクセシビリティ指標を求め、それぞれに基づいて年間 GDP を推計し、推計された年間 GDP より一日あたりの GDP を算定し、それを上記期間長を掛け合わせて足し合わせることで、各シナリオ⓪①②の GDP 水準を推計した。

推計結果

以上の前提に基づいた結果を**表 4** に示す。これらは、今回の熊本地震に伴う実際の道路破断および道路混雑による 3 カ月間での累積損失額（⓪と①の差分）、これに加えて砂川大橋が破断することを想定した場合の損失額（⓪と②の差分）、およびそれらの差分（これは砂川大橋強靭化の経済効果を表す）の推計結果である。 なお、**表 4** は実際の復旧期間に基づく基準推計である。

表 4 の推計結果によれば、**地震による道路被害が 3 ヶ月間に実質 GDP に与える経済損失は、年間実質 GDP で約 246 億円、年間名目 GDP で約 288 億円、名目税収の減少額は約 31 億円に相当するものと推計された。**また、砂川大橋の橋梁強靭化工事を実施しておらず、今回の地震で破断していた場合の**年間実質 GDP の総損失は約 387～478 億円、年間名目 GDP の損失は 454～560 億円、名目税収の減少額は約 50～61 億円に拡大するものと推計された。**

さらに、これらの損失額の「差分」が年間実質 GDP で約 141～232 億円、年間名目 GDP で約 165～272 億円、名目税収で約 18～30 億円と推計されたが、これらは「砂川大橋の橋梁強靭化によって回避することが出来た損失額」として解釈できる。したがって、**令和 3 年に完了した砂川大橋の橋梁強靭化工事実施の経済的価値が最大ケースで年間名目 GDP で 272 億円、年間実質 GDP で約 232 億円、名目税収で約 30 億円に相当する**ということ（より厳密に言うなら、その価値が発揮され得る確率が 72%存在するということ）が推計結果として得られた。また、砂川大橋強靭化の事業費が 5.5 億円であることを踏まえると、**砂川大橋の強靭化事業はその事業費の約 49 倍の経済効果と事業費を大きく上回る（5 倍以上の）財政効果があった**ということが示された。

	実質GDP	名目GDP	名目税収
地震による被害（⓪－①）	**246億円**	**288億円**	**31億円**
地震＋砂川大橋破断よる被害（98日間通行止めケース）（⓪－②）	387億円	454億円	50億円
砂川大橋の強靭化による効果（98日間通行止めケース）（①ー②）	**141億円**	**165億円**	**18億円**
地震＋砂川大橋破断による被害（190日間通行止めケース）（⓪－②）	478億円	560億円	61億円
砂川大橋の強靭化による効果（190日間通行止めケース）（①ー②）	**232億円**	**272億円**	**30億円**

表 4　損失額と砂川大橋強靭化効果の推計結果

※実質 GDP の基準年は 2011 年
※各値は億円単位に丸めて表示しているため、差分などは表示値同士の単純計算と一致しない場合がある。

以上の分析は、被災橋梁の実際の復旧期間を前提としており、砂川大橋以外の橋梁については、過去 10 年間の強靭化による復旧期間の短縮を反実仮想として評価していなかった。しかし、通行止め破損が生じた橋梁のうち **6 橋梁は耐震性能 3 から性能 2 への強靭化**を受けていた。**付録 D** の分析によれば、これらの強靭化がなかった場合、すでに復旧した 14 橋梁の**平均復旧日数は 11.3 日から 39.4 日へと約 28.1 日（約 1 か月）**延びていたと推計される。そこで、砂川大橋の破断に加え、被災橋梁の復旧が約 1 か月遅れていた場合の経済被害と、**橋梁全体の強靭化による損失回避額**を追加推計した結果を**表 5** に示す。

	実質GDP	名目GDP	名目税収
実際の地震による被害	**246億円**	**288億円**	**31億円**
橋梁強靭化が無く復旧日数が一ヶ月遅延した場合の被害	370億円	433億円	47億円
橋梁強靭化で復旧日数が一ヶ月短縮された事による効果	**124億円**	**145億円**	**16億円**
橋梁強靭化が不在で復旧一ヶ月遅延＋砂川大橋が「98日間」通行止めになった場合の被害	488億円	571億円	62億円
橋梁全体の強靭化による効果（98日間通行止めケース）	**242億円**	**283億円**	**31億円**
橋梁強靭化が不在で復旧一ヶ月遅延＋砂川大橋が「190日間」通行止めになった場合の被害	579億円	678億円	74億円
橋梁全体の強靭化による効果（190日間通行止めケース）	**333億円**	**389億円**	**43億円**

表 5　橋梁が強靭化されておらず復旧日数が一ヶ月遅延していたケースにおける損失額と橋梁全体の強靭化効果の推計結果

※実質 GDP の基準年は 2011 年
※各値は億円単位に丸めて表示しているため、差分などは表示値同士の単純計算と一致しない場合がある。

表 5 の推計では、橋梁の強靭化が行われず復旧が約 1 か月遅れた場合、地震による損失は年間実質 GDP370 億円、年間名目 GDP433 億円、名目税収 47 億円となり、表 4 の基準推計に比べ、それぞれ 124 億円、145 億円、16 億円増加する。さらに砂川大橋も破断すると、損失は実質 GDP488～579 億円・名目 GDP571～678 億円・名目税収 62～74 億円に拡大する。すなわち以上の反実仮想分析を通して、**橋梁全体の強靭化は、砂川大橋の破損を回避し、破損した橋梁の復旧日数を短縮させることを通して、実質 GDP242～333 億円・名目 GDP283～389 億円・名目税収 31～43 億円を拡大させる効果があった**と推計された。

留意点

以上の推計は、道路ネットワークの破断によって各地域の産業生産量ならびに需要量が毀損することにより生じる GDP の毀損額を、既往のマクロ経済計量データに基づいて構築されたマクロ経済シミュレータ MasRAC によって推計したものである。実際には地震によって新幹線・在来線ネットワーク，生産施設等も毀損しており，それらを加味すればより大きな経済被害が想定される．本結果はあくまでも道路毀損に起因する経済被害のみを推計したものである点には留意願いたい．

また、道路毀損に起因する経済被害についても、本分析が対象としなかった影響がある点に留意が必要である。第一に、熊本地域を迂回する自動車交通が東九州自動車道等を利用し、熊本地域外で渋滞がもた

らされていたこと、第二に、東西方向でも混雑が報告されていることを考慮すると、ここで報告した経済被害額には過小評価の可能性が残る。

参考文献

根津佳樹・藤井聡（2016）「交通インフラ投資によるマクロ経済への影響分析のためのシミュレーションモデル MasRAC の構築」『科学・技術研究』Vol.5, No.2, pp.185-195.

根津佳樹・藤井聡・波床正敏（2016）「東西経済の不均衡解消を企図した新幹線国土軸整備による経済不均衡改善に関する分析―マクロ経済シミュレーションモデル MasRAC を用いて―」『実践政策学』Vol.2, No.2, pp.175-185.

国土交通省(2026a)「令和８年熊本地震における被害と対応について」(2026 年 11 月 12 日閲覧)

国土交通省(2026b)「令和８年熊本地震　対応状況」(2026 年 11 月 12 日閲覧)

謝辞：本分析で用いた、令和８年熊本地震時の橋梁の通行止め破損やその強靭化対策の状況についてのデータは、国土交通省道路局、九州地方整備局、熊本県、熊本市、NEXCO 西日本から提供頂いたものである。また、令和８年熊本地震直前直後の交通ネットワークの交通量、区間所要時間などのデータについては、(株)ブログウォッチャー、(株)unerry から提供頂いたプローブデータを筑波大学　システム情報系　社会工学域の浦田淳司氏が集計されたものを用いている。ここに記して、深謝の意を表したい。

付録 A：熊本県南北平均所要時間の増加率：地震後 3 か月間

1. 対象経路と所要時間の平均

県内の南北経路を北部・中央部・南部の 3 区間に分け、北部・南部は国道 3 号と九州自動車道の 2 経路平均、中央部は国道 3 号・県道 14 号・県道 338 号経由・九州自動車道の 4 経路平均を求めた。各区間の平均所要時間を合計し、県内南北全体の所要時間とした。

県道 338 号経由には国道 266 号・県道 42 号の接続部分を含む。県境までの未観測区間には、観測区間の 1km 当たり所要時間を外挿した。

2. 比較期間と欠測値の補完

地震直前は 2026 年 7 月 20 日週、1 か月目は 7 月 27 日～8 月 24 日週（5 週・35 日）、2 か月目は 8 月 31 日～9 月 21 日週（4 週・28 日）を用いた。3 か月目は 9 月 28 日～10 月 19 日週（4 週・28 日）とし、実測データがないため、2 か月目の方向別所要時間をそのまま適用した。NEXCO の地震前値・1 か月目の欠測値には、9 月 14 日・21 日週の平均を代用した。県道 338 号経由の通行止め週は通常走行の平均から除外した。

3. 通行止めと 3 か月間平均の算定

1 か月目は九州自動車道の南北貫通経路を 17 日間利用不能、残り 18 日間を利用可能と仮定した。利用不能時は北部・南部を国道 3 号のみ、中央部を一般道路 3 経路平均とした。2 か月目は高速道路を利用可能とする既往推計値を採用し、3 か月目もこれと同じ所要時間とした。

1 か月目平均 ＝ (18/35) × 高速利用可時 ＋ (17/35) × 高速利用不可時

3 か月間平均 ＝ (5 × 1 か月目平均 ＋ 4 × 2 か月目平均 ＋ 4 × 3 か月目平均) ／ 13　［3 か月目＝2 か月目］

増加時間 ＝ 期間平均 − 地震直前　／　増加率（%）＝（増加時間 ／ 地震直前）× 100

4. 方向別の推計結果

方向	比較期間	地震直前	期間平均	時間増分	**増加率**
北→南	1 か月目	282.65 分	397.90 分	+115.25 分	**+40.77%**
北→南	2 か月目	282.65 分	293.51 分	+10.86 分	**+3.84%**
北→南	3 か月目（仮定）	282.65 分	293.51 分	+10.86 分	**+3.84%**
北→南	2 か月間平均	282.65 分	351.50 分	+68.85 分	**+24.36%**
北→南	**3 か月間平均**	**282.65 分**	**333.66 分**	**+51.01 分**	**+18.05%**
南→北	1 か月目	277.26 分	431.62 分	+154.36 分	**+55.67%**
南→北	2 か月目	277.26 分	301.31 分	+24.05 分	**+8.68%**
南→北	3 か月目（仮定）	277.26 分	301.31 分	+24.05 分	**+8.68%**
南→北	2 か月間平均	277.26 分	373.70 分	+96.45 分	**+34.79%**
南→北	**3 か月間平均**	**277.26 分**	**351.43 分**	**+74.17 分**	**+26.75%**

※3 か月間平均は 5 週＋4 週＋4 週＝13 週間の期間加重平均。3 か月目は観測値ではなく、2 か月目の継続を仮定した。

以上より、**R8 熊本地震発災後 3 か月間の熊本県内南北方向主要道路の所要時間は平均で南行きが 18.05%、北行きは 26.75%増加していたという結果となった。**

付録 B：砂川大橋の仮想破断が熊本県内の南北道路ネットワーク所要時間に与える影響

要旨

・R8 熊本地震において、「**県道 338 号上の砂川大橋が、過去 10 年間の強靭化対策が実施されておらず、そのため破損し通行不能となる」との仮想状況**を設定し、それによって熊本県内の南北方向の道路所要時間平均がどれほど増加するのかを推計した。

・推計の結果、**被災後３ヶ月間の南北道路の旅行時間の平均値が、南行き 17.00%、北行き 9.25%それぞれ増加**するという推計結果となった。

砂川大橋が通行止めになっていた仮想現実における、道路ネットワークの所要時間に対する影響を推計する。**国道 3 号、県道 14 号、県道 338 号、九州自動車道の 4 路線を対象**に、**砂川大橋（県道 338 号）が通行不能**となった場合の、**方向別・月別の混雑影響および熊本県内の南北移動所要時間の増加率を推定**する。

なお、R8 熊本地震被災では、複数の橋梁が破損し、通行不能となっている。破損して通行止めとなっている橋梁の復旧期間の平均値は約 3.26 ヶ月（97.9 日）であった（付録 D 参照）。一方、砂川大橋は令和３年に耐震性能２（被災時の損傷は限定的で、迅速回復が可能となる耐震性）の工事が完了しているが、それ以前はその性能が担保されておらず、破損時には長期の通行止めリスクが存在していた。本反実仮想では、上記の全体平均に対応する 98 日間と、耐震性能 3 以下の橋梁の平均に対応する 190 日間の通行止めをシナリオとして想定した。

計算は北→南（南下）と南→北（北上）を別々に行う。GPS の代理横断面から得た交通量シェア［3］を用い、次の手順で実施した。

1　月別の 4 路線交通量シェアを算定（ステップ 1）

1 か月目は 2026 年の 8 月 24 日開始の週まで、2 か月目は 8 月 31 日開始の週から 9 月 21 日開始の週までとして、各月・方向の 4 路線の GPS 通過数シェア［3］を求め、月別シェアを単純平均した。なお、3 か月目の観測データはないため、2 か月目のシェア・交通量水準が継続すると仮定した。

路線	1 か月目 北→南	1 か月目 南→北	2 か月目 北→南	2 か月目 南→北
国道 3 号	47.99%	48.92%	40.81%	44.29%
県道 14 号経由	38.57%	39.14%	27.73%	25.16%
県道 338 号	4.30%	3.08%	11.84%	8.77%
九州自動車道	9.14%	8.87%	19.62%	21.77%

表 1　GPS 週別シェアの月内単純平均（3 か月目はデータ不在のため 2 か月目と同じと仮定）

2　砂川大橋破断による比例再配分（ステップ 2）

県道 338 号の砂川大橋を通行不能とし、その交通量を残る国道 3 号・県道 14 号・九州自動車道に破断前の 3 路線のシェア比（表 1 より算定）に比例して全量配分し、以下の各路線の交通量シェアを得た。

路線	1 か月目 北→南	1 か月目 南→北	2 か月目 北→南	2 か月目 南→北
国道 3 号	50.14%	50.47%	46.29%	48.55%
県道 14 号経由	40.31%	40.38%	31.46%	27.58%
県道 338 号	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
九州自動車道	9.55%	9.15%	22.25%	23.87%

表 2　砂川大橋通行不能時に、県道 338 号の砂川大橋の通過交通量が他 3 路線に分配された場合の各路線交通量シェア

3　BPR 関数による中心部所要時間の変化（ステップ 3）

上記で推計した各路線の交通量に基づき、付録 B-1 に示した BPR 関数を用いて各月・各経路の中心断面の旅行時間増加率を推計した結果、表 3 を得た。

$$T_i(Q_i) = T_i^{free}\left[1 + 0.15\left(\frac{Q_i}{C_i}\right)^4\right]$$

$$\frac{T_i(Q_i)}{T_{i,ref}} = \frac{1 + 0.15\,\rho_i{}^4\left(\frac{Q_i}{Q_{i,ref}}\right)^4}{1 + 0.15\,\rho_i{}^4}$$

ここで、$T_i(Q_i)$はリンク i の交通量 Q_i における所要時間、$T_i{}^{free}$は自由流所要時間、C_i は交通容量である。混雑係数 α ＝0.15、指数 p＝4 とする。T_i,ref、Q_i,ref は参照週（2026 年 9 月 21 日週）の所要時間・GPS 通過数、ρ_i は代表混雑度を示す。破断前後の交通量をそれぞれ正規化式に代入し、両者の所要時間比から増加率を算定した（詳細は付録 B-1）。

路線	1 か月目 北→南	1 か月目 南→北	2 か月目 北→南	2 か月目 南→北
国道 3 号	+13.78%	+7.86%	+29.51%	+15.89%
県道 14 号経由	+13.47%	+11.09%	+17.91%	+13.88%
九州自動車道	+0.01%	+0.00%	+0.54%	+0.29%
県道 338 号	通行不能	通行不能	通行不能	通行不能

表 3　砂川大橋断面の各路線の所要時間増加率（BPR 関数、p＝4）

4　距離減衰と県境間の完成経路（ステップ 4）

砂川大橋の通行止めによる各路線の交通量増加率を、付録 B-2 の距離減衰モデルに従って各リンクに配分し、その交通量を付録 B-1 の BPR 関数に代入して所要時間を求める。

$Q_{i,後} = Q_{i,前} \times [1 + g_0 \exp(-d_i/\lambda_r)]$

ここで、g_0は中心断面の交通量増加率、d_i は中心からの距離、λ_r は減衰距離である。県道 14 号は 35.87km、国道 3 号・九州自動車道は 487.02km を適用した（詳細は付録 B-2）。

国道 3 号・九州自動車道は県境まで、県道 14 号は国道 3 号との接続地点まで各リンクを計算する。県道 14 号経由ルートは両端から県境まで国道 3 号を接続する。

各リンクの所要時間増分を合計した県境間の 3 経路

の所要時間を表 4 に示す。破断前にはプローブ観測値［3］に基づく共通基準時間を使用した。

※　なお、県道 14 号と国道 3 号の接続位置は、計算上、熊本県北側の県境から国道 3 号に沿って 62.1km の地点（北側）および 89.68km の地点（南側）と仮定した。県道 14 号本線の延長は約 23.07km とした。国道 3 号の県境間延長は 151.4km、九州自動車道は約 143.4km とする本分析の概算値を使用した。

期間	方向	南北経路	破断前 分	破断後 分	増加 分	増加率
1 か月目	北→南	国道 3 号	394.30	442.88	+48.58	+12.32%
1 か月目	北→南	県道 14 号経由	390.18	437.03	+46.85	+12.01%
1 か月目	北→南	九州自動車道	170.32	170.33	+0.01	+0.00%
1 か月目	南→北	国道 3 号	394.35	421.58	+27.23	+6.90%
1 か月目	南→北	県道 14 号経由	389.35	416.92	+27.57	+7.08%
1 か月目	南→北	九州自動車道	186.92	186.92	+0.00	+0.00%
2 か月目	北→南	国道 3 号	394.30	494.14	+99.83	+25.32%
2 か月目	北→南	県道 14 号経由	390.18	485.26	+95.08	+24.37%
2 か月目	北→南	九州自動車道	170.32	171.13	+0.80	+0.47%
2 か月目	南→北	国道 3 号	394.35	447.83	+53.48	+13.56%
2 か月目	南→北	県道 14 号経由	389.35	442.69	+53.33	+13.70%
2 か月目	南→北	九州自動車道	186.92	187.43	+0.51	+0.27%

表 4　3 経路それぞれの県境間所要時間。県道 14 号経由は国道 3 号の北・南側接続区間を含む。

5　県内ネットワークの平均増加率（ステップ 5）

最後に、各経路について県境までの基準時間と増加時間を足し上げ、3 経路の所要時間を等重みで平均する。方向別の増加率を出し、それぞれの方向毎の各路線所要時間を平均し、県全体の方向別合成指標を算定し、以下の結果を得た。すなわち、砂川大橋が通行止め規制となった場合、3 ヶ月平均で熊本県の南行きは所要時間が 17.00%、北行きは 9.25%増加するという推計値が得られた。

期間	方向	破断前 分	破断後 分	増加 分	増加率
1 か月目	北→南	318.27	350.08	+31.81	+10.00%
1 か月目	南→北	323.54	341.81	+18.27	+5.65%
2 か月目	北→南	318.27	383.51	+65.24	+20.50%
2 か月目	南→北	323.54	359.32	+35.77	+11.06%
3 か月目〔継続仮定〕	北→南	318.27	383.51	+65.24	+20.50%
3 か月目〔継続仮定〕	南→北	323.54	359.32	+35.77	+11.06%
3 か月平均	**北→南**	**318.27**	**372.36**	**54.10**	**＋17.00%**
3 か月平均	**南→北**	**323.54**	**353.48**	**29.94**	**＋9.25%**

表 5　共通基準時間を固定したモデル試算。

参考資料

［1］Federal Highway Administration (2022), Multiresolution Modeling for Traffic Analysis: Guidebook, FHWA-HRT-22-055, p. 53. https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/22055/22055.pdf

［2］国土交通省道路局『令和 3 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 箇所別基本表（熊本県）』。https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/data/pdf/kasyo43.pdf

［3］データ提供：(株)ブログウォッチャー、(株)unerry　データ集計：浦田淳司（筑波大学 システム情報系 社会工学域）

謝辞

本付録の分析を行うにあたり、　(株)ブログウォッチャー、(株)unerry から提供頂いたプローブデータを、筑波大学　システム情報系 社会工学域の浦田淳司氏が集計したものを使用させて頂いた。ここに記して深謝の意を表したい。

（付録 B-1）先行研究と道路交通センサスに基づく BPR 型リンク・パフォーマンス関数の設定

1. 数式展開：標準 BPR 関数の正規化

交通量とリンク旅行時間の関係には、標準的な BPR（Bureau of Public Roads）関数を用いる。本稿では非線形指数 p＝4、混雑係数 a＝0.15 を既往の交通計画実務で用いられる代表値として外生的に与える［1］。道路経路別・週別ダミーなどの追加説明変数は導入しない。

$$T_i(Q_i) = T_i^{free}\,[\,1 + 0.15\,(\frac{Q_i}{C_i})^4\,] \tag{1}$$

リンク i の基準交通量と基準旅行時間をそれぞれ Q_i,ref、T_i,ref とすると、式(1)を基準時点での旅行時間で除すことにより、リンク旅行時間倍率を表現できる。

$$\rho_i = \frac{Q_{i,ref}}{C_i} \tag{2}$$

$$\frac{T_i(Q_i)}{T_{i,ref}} = \frac{1 + 0.15\,(\frac{Q_i}{C_i})^4}{1 + 0.15\,(\frac{Q_{i,ref}}{C_i})^4} \tag{3}$$

$$\frac{T_i(Q_i)}{T_{i,ref}} = \frac{1 + 0.15\,\rho_i{}^4(\frac{Q_i}{Q_{i,ref}})^4}{1 + 0.15\,\rho_i{}^4} \tag{4}$$

したがって、容量 C_i が直接観測されなくても、基準時点の混雑度 ρ_i と GPS 通過数から得られる相対交通量 Q_i/Q_i,ref を与えれば、旅行時間倍率を求められる。なお、同一区間の距離が変わらない条件では、これは所要時間の変化を表す式である。

2. 使用データとパラメータの設定

道路別の ρ_i には、国土交通省「令和 3 年度全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）」熊本県箇所別基本表における代表断面の混雑度を用いる［2］。7 経路について、対象経路に近い代表区間を選定した。交通量比の基準には、GPS 通過数と旅行時間がともに利用できる同一参照週（2026 年 9 月 21 日週）を設定する［3］。

3. 設定結果

表 1　経路別に外生設定した混雑度 ρ［2］

経路	ρ	代表区間（観測地点）	観測年
国道 3 号（北側）	1.21	宇土市立岡町	2021 年
国道 266 号	1.03	熊本市南区城南町舞原	2021 年
国道 3 号（南側）	1.36	宇城市小川町江頭	2019 年
県道 14 号	1.28	宇城市松橋町南豊崎	2021 年
県道 338 号	1.20	八代郡氷川町網道	2021 年
県道 42 号	1.16	八代市本町 3 丁目	2021 年
九州自動車道（NEXCO）	0.60	松橋 IC～宇城氷川スマート IC	2021 年

注：各値は道路全体の平均値ではなく、近傍の代表区間の値である。国道 3 号（南側）は 2021 年度調査に掲載された 2019 年の観測値を用いている［2］。

本稿では表 1 の ρ と a＝0.15、p＝4 のみを BPR 関数に設定する［1,2］。これらの係数に対する回帰推計・t 検定・ダミー変数の選択は行わない。基準リンク旅行時間 T_i,ref が既知であれば、任意の交通量比について式(4)からリンク旅行時間を算定する。

適用上の留意点：道路交通センサスの混雑度は昼間 12 時間の交通量と交通容量の比であり、BPR 関数における時間当たりの容量比と観測時間帯が一致しない［1,2］。また、センサスの 2019～2021 年の条件と、2026 年の GPS 通過数の条件も一致しない。したがって、表 1 の混雑度は容量比の代理値として設定したものであり、交通容量や自由流旅行時間を新たに実測・推計したものではない。GPS 通過数の比を交通量比とみなすには、期間間でプローブ捕捉率が大きく変動しないとの仮定も必要となる。

本件への適用：月別の GPS 通過数から各リンクの破断前交通量比を求め、砂川大橋断面で比例再配分された交通量の増分を付録 B-2 の距離減衰モデルによって各リンクに割り当てる［3］。それぞれの破断前後の交通量を正規化 BPR 式に代入し、両者の所要時間倍率を算定する。混雑度 ρ には表 1 の代表値を使用し、参照週は 2026 年 9 月 21 日週とする。

（付録 B-2）道路通行止めに伴う交通量変化の距離減衰モデル

交通規制解除前後の GPS データに基づく路線別距離減衰と BPR 所要時間算定モデル

推定結果　県道 14 号の両方向では λ＝35.87km、国道 3 号の南下方向では λ＝487.02km が得られた。本分析では県道 14 号に 35.87km、国道 3 号・九州自動車道に 487.02km を用いる。

1. 目的

ある道路区間が通行止めになると、その交通の一部が同じ断面の他路線に迂回し、迂回先の交通量と所要時間が増加する。一方、迂回車両の一部は断面の上流・下流で元の路線に戻るなどして分散するため、通行止め断面から離れるほど、他路線

に生じた所要時間の増加は小さくなると考えられる。

本付録は、この交通分散の仕組みを実務用の距離減衰式として表し、「ある路線の中心区間で交通量が増えたとき、同じ路線の上流・下流にある局所区間にはその増加率がどの程度残るか」を概算する。国道 3 号、県道 14 号、NEXCO（九州自動車道）に路線別の減衰距離を適用する。係数の設定には、2026 年 8 月 10 日週（規制解除前）と 8 月 17 日週（解除後）の GPS 交通量変化［3］を使用する。

2. モデル

2.1 交通量変化率の計算

係数推定に用いる観測地点 i の規制解除前後の平日平均 GPS 通過数を $Q_{i,10}$、$Q_{i,17}$ とし、解除前に比べた交通量の減少率を次で定義する。

$$r_i = (Q_{i,10} - Q_{i,17}) / Q_{i,10}$$

各路線・方向の中心地点での減少率を r_0 とすると、中心に対する相対減少率は $R_i = r_i / r_0$ である。中心地点では $R_0 = 1$ とする。

2.2 距離減衰関数の推定

各路線の中心地点からの距離 d_i（km）に対し、上流・下流に共通する指数減衰関数を以下のように定義する。

$$R_i \approx \exp(-d_i/\lambda) \quad (\lambda > 0)$$

減衰係数の算定には、県道 14 号の北→南・南→北の中心以外 14 地点と、国道 3 号の各方向の中心以外 8 地点を使用し、観測された R_i と $\exp(-d_i/\lambda)$ の二乗誤差の平均が最小となる λ を求める。中心地点は相対比 1 に固定されるため、誤差評価に含めない。推定結果は本付録 4.1 に示す。

2.3 交通量増加率の距離減衰

通行止めによって生ずる周辺代替経路の交通量増加率が、GPS によって観測される交通量変化の相対比と同じ減衰に従うと仮定し、以下のように定式化する。

$$Q_{i,後} = Q_{i,前} \times [1 + g_0 \exp(-d_i/\lambda_r)]$$

$Q_{i,前}$、$Q_{i,後}$はリンク i の破断前・破断後の交通量、g_0は中心断面での交通量増加率、d_i は中心断面からの距離（km）、λ_r は道路別の減衰距離である。県道 14 号では $\lambda = 35.87$km、国道 3 号と九州自動車道では $\lambda = 487.02$km とする（本付録 4.1 参照）。県道 338 号は破断後通行不能となる。

2.4 月別シェアの集計・比例再配分・BPR 関数によるリンク別所要時間

各路線の週別交通量シェアを算定した上で、1 か月目は 5 週間、2 か月目は 4 週間の週別シェアをそれぞれ単純平均し、月別交通量シェアとした。3 か月目については 2 か月目と同じ値を仮定した。

砂川大橋を含む県道 338 号の交通量シェアを s_{338}、残存する道路 j のシェアを s_j とする。断面全体の交通需要を一定とし、県道 338 号の交通を残存 3 路線のシェア比に比例して全量配分する。したがって、残存道路の破断後シェア s'_j および中心断面での交通量増加率 g_0は、次式で与えられる。

$$s'_j = s_j / (1 - s_{338}) \qquad g_0 = s_{338} / (1 - s_{338})$$

リンク i の月別交通量と参照週交通量の比を $u_i = Q_{i,前}/Q_{i,ref}$ とする。上の距離減衰式から得られた破断後交通量 $Q_{i,後}$ を、付録 B-1 に示した正規化 BPR 関数（$\alpha = 0.15$、$p = 4$）に代入する。破断後と破断前の BPR 関数値の比 M_i は、次式となる。

$$M_i = \{1 + 0.15\rho_i^4 \,[u_i \,\{1 + g_0 \exp(-d_i/\lambda_r)\}\,]^4\} / \{1 + 0.15\rho_i^4 u_i^4\}$$

ρ_i は道路交通センサスの代表混雑度を代理値として用いる。各リンクの共通基準所要時間 $t_{i,ref}$ に対する増分 Δt_i を求め、経路に含まれる各リンクの時間を合計する。

$$\Delta t_i = t_{i,ref}(M_i - 1) \qquad T_{r,後} = \Sigma_{i \in L_r}(t_{i,ref} + \Delta t_i)$$

L_r は県境間経路 r のリンク集合である。破断前時間には共通基準時間 $\Sigma_{i \in L_r} t_{i,ref}$ を用い、各月の交通量条件による増分を加える。このため、破断前時間は各月で共通となる。GPS 通過数は同じリンクに対応する観測値を優先し、対応する観測値がないリンクや県境延長部分には路線代表値を用いる。これは各月の実測所要時間を直接再現したものではなく、基準時間を固定した反実仮想計算である。

県境間経路は、国道 3 号、県道 14 号経由、九州自動車道の 3 経路とする。県道 14 号は国道 3 号の北側 62.1km 地点と南側 89.68km 地点の間を結ぶ約 23.07km の本線として扱い、その両端から県境までを国道 3 号で接続する。国道 3 号（約 151.4km）・九州自動車道（約 143.4km）の県境間延長にはモデル上の概算値を用い、未観測区間は既存区間から外挿した。3 経路の県境間時間を等重みで平均し、南下・北上別に県全体の合成指標を得る。

$$\bar{T}_{e,月} = [T_{国道3号,e,月} + T_{県道14号経由,e,月} + T_{九州道,e,月}]/3 \qquad 増加率 = 100 \times (\bar{T}_{後} - \bar{T}_{前}) / \bar{T}_{前}$$

なお、県道 14 号の減衰距離は県道 14 号の観測から得た推定値であり、九州自動車道の 487.02km は国道 3 号南下の推定値を準用したものである。また、県境延長部の位置・時間には推計上の近似を含む。

3. データ

共通係数の算定に使用した事例は、2026 年 8 月 10 日週と 8 月 17 日週の熊本県内の道路断面である。県道 338 号・NEXCO の規制が解除・緩和された前後について、迂回交通を分担していた国道 3 号と県道 14 号の同一 GPS 地点を対応づけ、平日

平均通過数の変化を比較した［3］。

なお、本モデルの適用は、「（橋梁被災に伴う）通行止め」に伴う周辺経路の所要時間の「増加」であるが、推計にあたっては、当該の安定したデータが得られていないことから、「（被災した橋梁の）通行止め解除」に伴う周辺経路の所要時間の「短縮」によって得られるデータに基づいて、推計することとした。地震によって橋梁が破断しており、その際の各種データを用いて本モデルを推計する方法も考えられるが、地震によるインパクトは、特定橋梁破断だけではなく、複数の橋梁が破断しており、かつ、OD 交通量も大きく変化することから、推計には馴染まないと考えられる。その一方で、「通行止め解除」の事例は、その他のイベントが限られており、そのインパクトのみを抽出しやすく、モデル推計にはより適当であると考えた。

路線・方向	8/10 週 シェア	8/17 週 シェア	変化
国道 3 号　北→南	55.08%	37.90%	−17.18pt
県道 14 号　北→南	44.92%	26.53%	−18.39pt
国道 3 号　南→北	54.57%	39.77%	−14.80pt
県道 14 号　南→北	45.43%	25.13%	−20.30pt

注：この表の交通量シェアは規制解除に伴う経路間再配分を示す参考値であり、距離減衰係数の推定には直接使用しない。断面集計では、県道 338 号の閉鎖時交通を構造的ゼロと扱い、8 月 17 日週の NEXCO 交通量には別週の代入値が含まれる。

減衰係数の推定には、同じ GPS 観測地点について両週の通過数を直接比較した値を用いた。県道 14 号の中心観測地点では、北→南が 232.6→105.0（減少率 54.86%）、南→北が 247.6→119.4（51.78%）であった。

4. 推定結果

4.1 推定した減衰距離

上記の県道 338 号・NEXCO の規制が解除・緩和のケースにおいて観測されている同一地点を比較できるデータは国道 3 号が各方向 9 地点（計 18 地点）、県道 14 号が各方向 8 地点（計 16 地点）、計 34 地点である。各路線・方向の中心地点を除く 30 地点を 4 ケースの減衰検討に使用した。その結果を以下に示す。

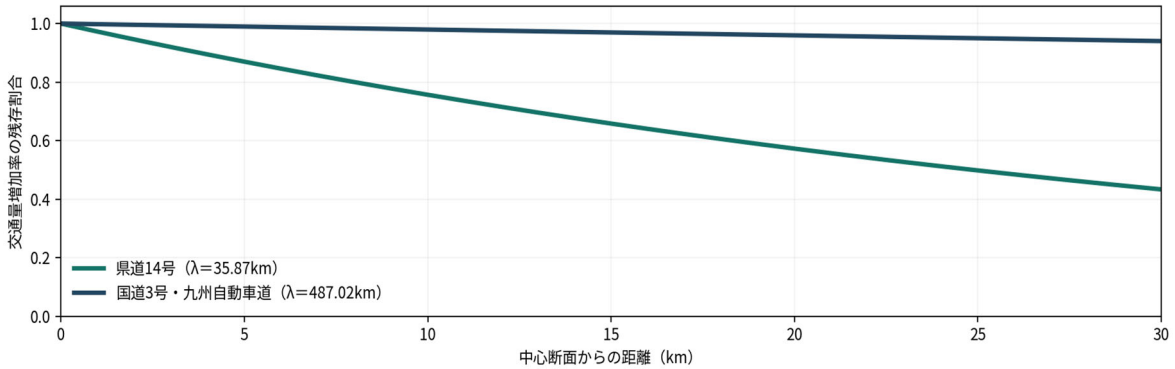
推定対象	中心以外の地点数	減衰距離 λ	評価
県道 14 号　北→南	7	40.63km	減衰を確認
県道 14 号　南→北	7	32.05km	減衰を確認
県道 14 号　両方向一括	14	35.87km	4 路線共通の採用値
国道 3 号　北→南	8	487.02km	減衰が極めて弱い
国道 3 号　南→北	8	収束無し	減衰が明瞭でない

※ 国道 3 号・南→北は推定値が収束しなかった。

この表に示したように、国道 3 号については減衰が極めて軽微な傾向しか確認できなかった一方、県道 14 号では明確な減衰が観測上認められた。これは、県道クラスではその利用者の他路線への経路変更が比較的頻繁に生ずる一方、国道クラスの場合は、その頻度が比較的低いことを反映する可能性を示している。

ついては、本研究では、県道 14 号については両方向 14 地点から得られた λ＝35.87km を、国道 3 号については南行きで推計された λ＝487.02km を採用する。九州自動車道については路線固有の係数を推定できていないため、交通流出入がインターチェンジ等に限られる道路構造を踏まえ、国道 3 号の λ＝487.02km を代理値として用いる。

4.2 路線別係数による交通量増加率の残存割合



中心からの距離	0km	2km	5km	10km	20km	30km
県道 14 号（λ＝35.87km）	1.00	0.95	0.87	0.76	0.57	0.43
国道 3 号・九州自動車道（λ＝487.02km）	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.94

採用値 λ＝35.87km では、中心から 1km 離れるごとに交通量増加率の残存割合は直前の約 97.25%となる。中心での交通量増加率が 10%なら、10km 先では約 7.57%、20km 先では約 5.73%となる。一方、λ＝487.02km では、10km 先で中心の約 97.97%、20km 先でも約 95.98%が残る。

なお、国道 3 号の λ＝487.02km は南行きの観測に基づく推定値であり、北行きと九州自動車道への適用は共通の代理係数を置くものである。

4.3　実務適用上の条件

本モデルは、規制解除前後の GPS 通過数の減少率から得られた距離減衰係数を、通行止めに伴う局所区間の交通量増加率に適用する実務用の簡便な係数である。適用時には（a）上流・下流で同じ減衰率、（b）比較する局所区間の延長が概ね同程度、（c）道路条件も大きく異ならない、という概算の前提を置く。国道 3 号では観測上の減衰が明瞭でなかった点に留意する。

結論として、県道 14 号については「$g(d)=g_0\exp(-d/35.87)$」、国道 3 号および九州自動車道については「$g(d)=g_0\exp(-d/487.02)$」を用いる。各リンクの交通量増加率を BPR 関数に代入して所要時間の増分を求める。

以上

付録 C：橋梁強靱化が実施されなかった場合の反実仮想分析

要旨

過去約 10 年間に耐震性能が向上し、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋について、もしも強靱化が実施されず、耐震性の低い「脆弱」な状態（「耐震性能 3」以下）にとどまっていたと仮定した場合に、令和 8 年熊本地震で「橋梁の破損に伴う通行止め」が発生する確率を推計した。

推計にあたって、まず、①R8 時点で耐震性能 3 以下、②架設年 1981 年以前、③橋長 150m 以上、という全ての条件に該当する緊急輸送道路の橋梁を対象に、気象庁の観測データから再推定した推計計測震度を説明変数とする通行止めを伴う破損（以下これを「通行止め破損」と呼称）が生じたか否かの二項ロジットモデルを推定した。

そして、その推計したロジットモデルを、上記の②③の条件に合致し、かつ、過去 10 年の間に強靱化された（性能 3 以下から性能 2 に引き揚げる工事が行われた）砂川大橋に適用し、反実仮想分析を行った。これは、同橋が強靱化されていなければ条件①も満たし、条件①②③の全条件を満たす橋梁と同じ確率構造で通行止め破損が生じていたと仮定するものである。この仮定の下、**砂川大橋が強靱化されていなかった場合の通行止め破損確率は 71.89%と推計**された。なお、この推計のためのロジットモデルの説明変数である推計震度の係数は統計的有意に届かず有意傾向であったことから、より豊富なサンプルに基づく推計が今後の課題である。

1. 目的

本分析の目的は、過去約 10 年間で耐震性能 3 以下から耐震性能 2 を満足する状態へと改善し、今回の地震では通行止め破損を免れた砂川大橋について、もしも耐震補強等の強靱化が行われず、従前の耐震性能 3 以下の状態にとどまっていたならば、令和 8 年熊本地震の際に「橋梁の破損に伴う通行止め」（以下、この事象を「通行止め破損」と呼称する）がどの程度の確率で発生していたかを推計することである。なお、ここに言う「耐震性能 1，2，3」とは国土交通省が橋梁の耐震性の水準について定めた基準であり、それぞれ以下を意味する。

- **耐震性能 1**：地震によって橋としての**健全性を損なわない**性能
- **耐震性能 2**：地震による損傷が限定的にとどまり、**機能の回復を速やかに行い得る性能。**
- **耐震性能 3**：地震による損傷が橋として**致命的とならない**性能（落橋などを防ぐ）。

今回の地震時点でも「耐震性能 3」以下にあった橋梁の通行止め破損実績と各地点の推計震度データから、震度に基づいて通行止め破損確率を推計する二項ロジットモデルを推定する一方、そのモデルを、「H28 時点で耐震性能 3 以下、R8 時点では性能 2 を満足するようになり、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋」に適用し、無強靱化の場合の通行止め破損確率を反実仮想として求めるのが、本稿の目的である。

2. 方法

2.1　分析データと目的変数

使用するのは、国土交通省道路局、九州地方整備局、熊本県、熊本市が共同で調査し、令和 8 年 11 月 11 日にとりまとめた橋梁名・位置・橋長・架設年・耐震性能（平成 28 年および令和 8 年）・通行止め破損の有無などを統合した橋梁データベース（359 登録行。上下線を含む）である。これは、震度 6 弱以上が測定された基礎自治体に存在する、「緊急輸送道路」に指定されている路線上の道路橋データベースである。

目的変数 Y は「通行止め破損」の発生有無を表すダミー変数とし、通行止め破損が記録された場合を Y＝1、それ以外を Y＝0 とした（記録のない場合は暫定的に 0 とする）。

2.2　反実仮想推定、および、通行止め破損についての二項ロジットモデルの推定を行う橋梁の選定

本分析では、まず、推計地震で震度 5.5 以上（すなわち、震度 6 弱以上）の地震が生じたエリア内に存在し、かつ、過去 10 年の間に耐震性能 3 以下から耐震性能 2 へと引き揚げる強靱化対策が行われた橋梁を確認した。このうち、実際には通行止め破損が発生しなかった砂川大橋を、「もしも強靱化がなされていなか

った場合」の通行止め破損確率を推計する反実仮想の対象とした。

砂川大橋

一方、通行止め破損についての二項ロジットモデルを推定するにあたっては、砂川大橋と同様の架設年・橋長等の条件を持ち、かつ、反実仮想で想定する、令和 8 年時点で「耐震性能 3 以下」であるという条件だけが異なる橋梁を抽出した。

砂川大橋と共有する条件として、本分析で考慮したのが、以下の 3 条件である。

①R8 時点で耐震性能 3 以下であること、

②架設年が 1981 年以前であること、

③橋長が 150m 以上であること、

これら 3 条件を満たす道路橋として、9 つの橋梁が抽出された（付録 C2 参照）。

なお、②では、1980 年に「道路橋示方書・同解説Ⅴ 耐震設計編」が制定されたことを、耐震設計基準上の節目と位置づけた。個々の橋梁について「適用基準年」については確認できないため、設計から架設・供用までの時間差を考慮し、1981 年以前の「竣工」を旧基準世代の近似条件として扱った。

また、③の 150m 以上は、反実仮想を適用する砂川大橋の橋長が 150m を上回ることを踏まえ、対象橋梁とロジットモデルの推定サンプル橋梁群との間の質的な相違を縮減することを企図して設けた抽出条件である。

2.3 ロジットモデルの仕様

各橋梁について、令和 8 年熊本地震時に通行止め破損が発生する確率を p、各橋梁地点の推計計測震度「震度」を I_3（算定方法は付録 C1 参照）とする。そして、各橋梁の通行止め破損確率 p について、ロジットモデルの枠組みを援用し、以下のように定式化する。

$$X_3 = (I_3 - 6.2) / 0.1 \qquad (1)$$

$$\log\{p/(1-p)\} = \beta_0 + \beta_1 X_3 \quad , \quad p = 1/\{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 X_3)]\} \qquad (2)$$

X_3はI_3を 6.2 で中心化し、0.1 単位に尺度調整した値であり、β_0は切片、β_1はX_3に対する回帰係数を表す。log は自然対数、exp は指数関数である。これらを用い、震度だけを説明変数とする二項ロジットモデルを以下のように設定した。

ここで、数値 6.2 は通行止め破損の閾値ではなく、係数を読み取りやすくするための基準値である。9 橋梁群の Y を使い、切片と震度の係数を通常の最尤法で推定する。

2.4 反実仮想の対象

上記②③の条件を満たし、H28 時点では耐震性能 3 以下であった一方、R8 時点で「性能 2 を満足」と記録された橋梁は、砂川大橋、浜戸川橋、緑川橋、御船川橋、木山川橋の 5 橋である。ただし、後者の 4 橋では実際に通行止めを伴う被災が記録されており、強靱化による通行止め破損の回避を評価する対象とはしない。本付録の反実仮想推計対象は、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋の 1 橋に限定する。なお、5 橋はいずれも R8 時点では性能 2 であるため、①の条件を満たす推計サンプル 9 橋には含まれない。

3. ロジットモデル推定結果

上述の条件で選んだ 9 橋梁群について、震度だけを説明変数とする通行止め破損ロジットを推定した。9 橋のうち Y=1 は 3 橋、Y=0 は 6 橋である。通常の最尤法による推定は収束し、係数・標準誤差・適合度指

標は表 1 に示すとおりとなった。推計に用いた 9 橋の一覧は付録 C2 に示す。

指標	推定値	補足
推計橋梁群数	9	統合前 13 登録行（上下線を統合）
通行止め破損 Y=1／Y=0	3／6	原票の通行止め記録に基づく
切片 β_0	0.369628	標準誤差 0.997920
震度係数 β_1	0.455077	標準誤差 0.343615
震度係数の p 値（片側検定）	0.0927	Wald 検定
対数尤度	-4.529074	通常最尤法
尤度比検定 p 値	0.1214	切片のみのモデルとの比較
McFadden 擬似 R^2	0.2094	線形回帰の R^2 とは異なる

表 1　R8 耐震性能 3 以下の推計サンプル 9 橋による「通行止め破損」ロジットの推定結果。

この結果に基づくと、今回の令和 8 年熊本地震において各橋梁の震度（I_3）に応じた通行止め破損確率は、以下の式で推計されることとなる。

$$\text{推定式（3）：} \log\{p/(1-p)\} = 0.369628 + 0.455077 \times (I_3 - 6.2)/0.1$$

このように、震度の係数は正（0.455077）であり、他の条件を標本選定でそろえた場合、震度が 0.1 高くなると通行止め破損のオッズは約 1.58 倍になる計算である。一方、震度の係数の p 値※は 0.0927 であり、片側 10%水準で有意傾向が認められた。

ただし、本推計のサンプル数は 9 つと限定的であることには留意が必要である。サンプル数が限定されたのは、反実仮想の推計を行う「砂川大橋」と同様の条件（架設年が 1981 年以前で、橋長が 150m 以上）を持ち、かつ、令和 8 年時点で耐震性能 3 以下である橋梁が、上下線統合後で 9 橋しか存在しなかったからである。

なお、推計サンプル 9 橋と同様の架設年・橋長の条件を満たし、平成 28 年時点では耐震性能 3 以下、令和 8 年時点では性能 2 である橋梁は 5 橋である。したがって、この条件に合致する合計 14 橋梁のうち、過去 10 年間に 5 橋梁が強靱化されたという事実は変わらない。ただし、この強靱化済み 5 橋のうち 4 橋では実際に通行止めを伴う被災が発生したため、通行止め破損の回避可能性を評価する反実仮想の対象は砂川大橋のみとする。

※　震度の係数が正であるとの方向仮説に基づく片側 Wald 検定。

4. 反実仮想推定結果

以上より推計された式（3）を用いて、H28 から R8 にかけて耐震性能 3 以下から性能 2 を満足する状態へと移行し、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋について、強靱化が無かった場合の通行止め破損確率を推計した結果が表 2 である。震度は付録 C1 の方法で算定した値を用いた。

橋梁名	架設年	震度（I_3）	強靱化がなかった場合に、通行止め破損が生じていた確率の推計値
砂川大橋	1981	6.3252	**71.89%**

表 2　耐震性能 3 以下のままだった場合の砂川大橋の通行止め破損予測確率。

砂川大橋の反実仮想確率は 71.89%と推計された。これは、同橋の推計震度が 6.3252 であり、推定された震度係数が正であることを反映する。なお、71.89%は強靱化がなかった場合のモデル上の予測確率であり、強靱化による因果効果を直接識別した値ではない。

5. 結論

本分析では、令和 8 年時点で耐震性能 3 以下にある橋梁のうち、1981 年以前に架設され、橋長 150m 以上の 9 橋を推計サンプルとした。これらの橋の通行止め破損の有無と各地点の震度を用いて二項ロジットモデルを推定し、その結果を、H28 時点の耐震性能 3 以下から R8 時点の性能 2 へ改善し、実際には通行止め破損が生じなかった砂川大橋に適用した。同橋が強靱化されず耐震性能 3 以下のままであったと仮定した場合の通行止め破損確率は 71.89%と推計された。一方、同じく強靱化された浜戸川橋、緑川橋、御船川橋、木山川橋では実際に通行止めを伴う被災が発生していたため、通行止め破損の回避可能性に関する反実仮想の対象からは除外した。これらの橋については、付録 D における復旧日数短縮の分析対象として扱う。砂川大橋の 71.89%は、低耐震性能の比較橋梁 9 橋から得た確率構造を適用した予測値である。サンプル数が小さく、統計的推定には不確実性を伴うことから、この数値を強靱化の因果効果そのものと解釈することはできない。

付録 C1　震度の推定と橋梁地点への空間割当

付録 C1.1　対象地震と震源要素

本分析における説明変数「震度」は、今回の地震で各橋梁地点に生じた計測震度を統計的に推定した値であり、橋梁地点での実測値ではない。対象は 2026 年 7 月 28 日 16 時 27 分 15.2 秒の熊本県熊本地方の地震（M7.1）であり、気象庁の震源要素は北緯 32 度 37.5 分、東経 130 度 40.7 分、深さ 16km である（参考資料 1)。震度は連続値であり、震度階級の「3」を指すものではない。

付録 C1.2　観測データと距離減衰式の再推定

気象庁が公表した震度 5 弱以上の強震観測データ（参考資料 1）から、計測震度と震央距離の両方が得られる 77 観測点を採用した。内訳は熊本県 53 点、長崎県 10 点、鹿児島県 8 点、福岡県・佐賀県・宮崎県各 2 点である。計測震度が欠測となっている熊本南区富合町は除外した。公表計測震度および震央距離は小数第 1 位までの値を使用した。

観測点 i の実測計測震度を I_i、震央からの地表距離を d_i（km）、震源距離を D_i（km）、対数距離を T_i とする。震源深さを h＝16km とし、$\log_{10}$は常用対数とする。

$$D_i = \sqrt{(d_i^2 + h^2)} \quad , \quad T_i = \log_{10}(D_i / h)$$

定数項を α、距離係数を β、誤差項を ε_i とし、計測震度を次の正規誤差モデルで表す。誤差項 ε_i は平均 0、標準偏差 σ の正規分布に従うと仮定する。

$$I_i = \alpha + \beta T_i + \varepsilon_i \quad , \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$$

公表資料は震度 5 弱以上の観測点に限定されるため、計測震度 4.5 以上という選択条件を考慮し、切断正規回帰（truncated normal regression）の最尤法で α、β および σ を推定した。$\mu_i = \alpha + \beta T_i$ を回帰平均、ϕ と Φ をそれぞれ標準正規分布の確率密度関数および累積分布関数、n＝77 を観測点数とすると、最大化した対数尤度（log は自然対数）は次式となる。

$$\ell(\alpha, \beta, \sigma) = \Sigma_{i=1}^{n} \{ \log \phi[(I_i - \mu_i)/\sigma] - \log \sigma - \log[1 - \Phi((4.5 - \mu_i)/\sigma)] \}$$

推定結果は、α＝6.350378474（標準誤差 0.156168)、β＝−4.251836301（標準誤差 0.647432)、σ＝0.480548 であった。距離係数は負であり、両側 Wald 検定で p＜0.001 となった。よって、橋梁地点に適用する震度（I_3）の推定式を次のように定める。T は当該橋梁の震源距離 D から算定した対数距離である。

$$I_3 = 6.350378474 - 4.251836301 \times T$$

表示上は $I_3 \fallingdotseq 6.3504 - 4.2518 \times T$ と丸められるが、本文・表 1・表 2・付表 1 の計算には丸め前の係数を用いる。なお、公表値が 0.1 単位に丸められていることや、切断正規分布の仮定、局所地盤条件を説明変数に含めないことから、推計震度には不確実性が残る。

本距離減衰式の推定には観測点の計測震度・震央距離のみを用いており、橋梁の通行止め破損の実績は使用していない。橋梁地点の震度の推定と、その震度を用いた本文の通行止め破損ロジット推定は、異なる計算段階である。

付録 C1.3　橋梁への空間割当

震央の緯度を ϕ_0、経度を λ_0 とし、その座標を（ϕ_0, λ_0）＝（32.625000°, 130.678333…°）とする。橋梁地点の緯度を ϕ、経度を λ とし、両地点の地表距離 d（km）をハバーサイン式で計算する。角度は計算時に度からラジアンへ変換し、地球半径 R は 6,371km とする。ここで a はハバーサイン式の無次元の中間量、asin は逆正弦関数、I_3 は橋梁地点の推計計測震度「震度」を表す。

$$a = \sin^2[(\phi - \phi_0)/2] + \cos\phi \cos\phi_0 \sin^2[(\lambda - \lambda_0)/2]$$

$$d = 2R \times \mathrm{asin}(\sqrt{a})$$

$$I_3 = 6.350378474 - 4.251836301 \times \log_{10}\{\sqrt{(d^2+256)} / 16\}$$

上り線・下り線の登録座標が異なる場合は、方向別に震度を推計した後、橋梁群として統合する際に単純平均する。局所地盤による地震動の増幅、断層方向性、橋梁の構造形式や劣化状況などは、この距離減衰モデルでは明示的に考慮していない。したがって、震度には橋梁地点ごとの誤差があり得る。

付録 C2　ロジット推計に用いた比較橋梁 9 橋

推計サンプルとなる全 9 橋梁群は、元の 13 登録行を上下線で統合したものであり、統合後の通行止め破損 Y は方向別 Y の最大値、震度（I_3）は方向別推計値の単純平均とした。

9 橋梁群のうち、通行止め破損が生じた橋梁（Y=1）は 3 橋、生じなかった橋梁（Y=0）は 6 橋である。推計震度は 5.58〜6.23 の範囲にあり、平均は 5.90 であった。Y 別にみると、平均推計震度は Y=1 の橋梁で 6.10、Y=0 の橋梁で 5.81 であり、通行止め破損が生じた橋梁ほど推計震度が高い傾向がみられた。

なお、個別橋梁の耐震性能は管理者において公表していないため、推計サンプルの個別データの掲載は省略する。

参考資料

[1] 気象庁「令和 8 年（2026 年）7 月 28 日 16 時 27 分 令和 8 年熊本地震・強震観測データ」
https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/2607281627_kumamoto/index.html

[2] 国土交通省「道路橋示方書の改定経緯」（昭和 55 年の耐震設計編の制定）
https://www.cbr.mlit.go.jp/shizukoku/maintenance/data/h2902-shiryou4-2.pdf

謝辞

なお、本付録の分析で用いた橋梁データは、国土交通省道路局、九州地方整備局、熊本県、熊本市、NEXCO 西日本から提供頂いたものである。ここに記して深謝の意を表したい。

付録 D：橋梁強靭化による復旧日数「短縮」についての強靭性評価

ここでは国土交通省道路局、九州地方整備局、熊本県、熊本市、NEXCO 西日本から提供された橋梁データに記載された通行止め記録を使用した。橋梁名から上り・下りの表記を除いて名称ベースで統合し、上下線のいずれかに通行止めがあれば対象に含めた。日数は方向別のうち最も長いものを採用した。

対象は「橋梁が毀損し、それによって通行止めがあった橋梁」で、かつ、復旧日数が確定、あるいは予定されている 16 橋梁である。なお、個別橋梁の耐震性能は管理者において公表していないため、個別データの掲載は省略し、集計値のみ示す。

16 橋梁の復旧平均日数は **97.9 日**となる。

また、耐震性能が「耐震性能 2」と「耐震性能 3 以下」の区分別に平均を求めると

耐震性能 2（8 橋梁）の復旧平均日数　　5.6 日
耐震性能 3 以下（8 橋梁）の復旧平均日数　　190.1 日（約 6.34 ヶ月）

と大きな開きがある結果となった。これは、耐震性能 2 とは「地震による損傷が限定的にとどまり、機能の回復が速やかに行い得る」という耐震性評価であり、耐震性能 3 とは「地震による損傷が橋として致命的とならない性能（落橋などを防ぐ）」という耐震性評価である。したがって、この平均値の違いは、耐震性能の評価結果を反映した結果であると考えられる。

ここで、この性能 2、3 の復旧日数の相違に基づけば以下の様な形で、過去 10 年間の橋梁強靭化が行われていなかった場合の復旧日数がどれだけ伸びていたかを推計すること（すなわち、**橋梁強靭化の復旧日数の観点における強靭性評価**）が可能となる。

まず、これら通行止めを伴う破損が生じた 16 橋梁のうち、過去 10 年間に耐震性能 3 から耐震性能 2 へ引き上げられた橋梁は、高木橋、益城橋、御船川橋、木山川橋、浜戸川橋、緑川橋の 6 橋梁であった。これら 6 橋梁は実際に通行止めを伴う被災が生じており、復旧日数はいずれも 2 日であり、平均も 2.0 日である。ここに上述の耐震性能別平均復旧日数の比（190.125/5.625＝約 33.8 倍）を適用し、仮にこれら 6 橋梁が強靭化されず耐震性能 3 のままであった場合を想定すると、平均復旧日数は約 67.6 日に拡大すると予想されることとなる。そして、通行止め破損の 16 橋の内、現時点で復旧が終えている 14 橋の平均復旧日数に着目するなら、現状 11.3 日のところ、39.4 日へと、28.1 日増加することが予期されることとなる。

このことは、橋梁強靭化の取組が過去 10 年において行われていなければ、破損した橋梁にだけ着目しても、その復旧日数は約一ヶ月遅延していたであろうことを示している。逆に言うなら、**橋梁強靭化によって、復旧日数が一ヶ月「短縮」**されていたであろうことを示している。

ところで、反実仮想を想定する砂川大橋は、強靭化対策が行われる以前は「耐震性能 3」が確保されていない状況であり、「落橋」も含めたより深刻な被害が生ずるリスクも見込まれる橋梁であった。したがって、砂川大橋の通行止め破損を想定する本稿の反実仮想では、**97.9 日を基本ケース（98 日ケース）**として想定する一方、耐震性能 3 以下の平均値である **190.1 日も最大ケース（190 日ケース）**として想定することとした。

なお、これら平均の値は、復旧予定日を織り込んだ「予測を含む平均」であり、全橋梁の確定した実際の復旧期間の平均ではない点に留意が必要である。また、まだ通行止めが解除になっていない以下の 2 橋については、地震発生日は 2026 年 7 月 28 日、予定日数は予定終了日－地震発生日（暦日差）で算出した。NEXCO の見込みは川田橋「2027 年末ごろの 4 車線復旧」、南九州道・八代 JCT～八代南 IC 間「2028 年末ごろの通行止め解除」であり、いずれも確定日ではない。このため、年末を 12 月 31 日とした計算上の仮定である。

参考資料

NEXCO 西日本：2026 年 9 月 29 日「妙見第一橋の復旧計画及び通行止め区間の解除の見通しについて」
https://corp.w-nexco.co.jp/corporate/release/kyushu/r8/0929/
NEXCO 西日本：川田橋の被災状況及び復旧内容
https://corp.w-nexco.co.jp/activity/maint_bus/disaster_recovery/kumamoto2026/kawada/
川田橋 4 車線復旧予定：NEXCO 西日本の 2026 年 8 月 28 日公表内容を紹介する 2026 年報道 https://r2sj.net/news/37325