

# フラジリティカーブに基づく交通ネットワークの地震被害評価

熊本大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○清田 玲央  
 熊本大学大学院自然科学研究科 正会員 藤見 俊夫  
 熊本大学大学院自然科学研究科 正会員 松田 泰治  
 熊本大学大学院自然科学研究科 正会員 溝上 章志

## 1. はじめに

地震大国である我が国では大地震の被災経験や解析技術の進歩により構造物の耐震設計が見直されてきた。しかしながら、既設橋梁の多くは高度経済成長期に建設されているため示方書の適用年次が古く、十分な耐震性能を有しているとは言い難い。また、これらの橋梁の耐震補強についても未着手のものが多く、大地震発生における甚大な被害が想定される。

これらの被害をより包括的に推定する為には、橋梁の損壊といった一次的な被害だけでなく被災後に生じる交通ネットワーク全体への影響といった二次的な被害も検討しなければならない。交通ネットワーク被害に関する既往の研究では、地震動と橋梁被害を示すフラジリティカーブ(Fragility Curve)が対数正規分布などに従うと仮定して作成されているため、橋梁の地震応答に基づいたものではない。一方でフラジリティカーブの作成事例は存在するものの、作成されたフラジリティカーブが交通ネットワーク解析に適用された事例は存在しない。そこで本研究では、地震応答に基づいたフラジリティカーブを作成し、その結果を用いることで交通ネットワークの地震被害評価の精度を向上することを目的とする。

## 2. フラジリティカーブ

本研究で使用したフラジリティカーブは以下の三種類である。昭和43年制定道路橋下部構造設計指針(以下S43橋脚)、昭和55年、平成2年制定道路橋示方書・同解説V耐震設計編(以下S55, H02橋脚)によって試設計されたII種地盤A地域の鉄筋コンクリート製の単柱式橋脚(直接基礎)である。本研究では材料強度のばらつきにより表-1に示す構造パラメータから不確実性が生じると仮定した。更に、これらのパラメータを正規分布に従う確率変数と仮定した。各パラメータの平均値に対して標準偏差を10%として与えた。不確実性を考慮した構造パラメータを1000パターン作成し、これらの応答値が想定した限界上に生じる確率を「破壊確率」と定義した。検討用の入力地震動は平成14年度版道路橋示方書V(耐震設計編)の標準波に示すTypeII-II-3地震波を使用した。本研究では地震動の基準値として構造物の被害に相関が高いとされるSI値を採用した。作成されたフラジリティカーブを図-1に示す。

表-1 不確実性を有する構造パラメータ

位置	パラメータ	平均値		
		S43	S55	H02
定着 頂部	剛性率	$1.02 \times 10^7$	$1.02 \times 10^7$	$1.02 \times 10^7$
段落 とし 部	第一剛性低下率	0.217	0.209	0.249
	第二剛性低下率	$9.16 \times 10^{-3}$	$5.30 \times 10^{-3}$	$5.63 \times 10^{-3}$
	ひび割れ回転角 (rad)	$1.34 \times 10^{-4}$	$1.33 \times 10^{-4}$	$1.23 \times 10^{-4}$
	降伏回転角(rad)	$1.25 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-3}$
塑性 ヒン ジ位 置	ばね定数(MN/m)	$2.04 \times 10^8$	$2.04 \times 10^8$	$2.55 \times 10^8$
	第一剛性低下率	0.218	0.211	0.251
	第二剛性低下率	$9.77 \times 10^{-3}$	$5.68 \times 10^{-3}$	$6.07 \times 10^{-3}$
	ひび割れ回転角 (rad)	$2.55 \times 10^{-5}$	$2.55 \times 10^{-5}$	$2.37 \times 10^{-5}$
	降伏回転角(rad)	$2.35 \times 10^{-4}$	$2.39 \times 10^{-4}$	$2.40 \times 10^{-4}$

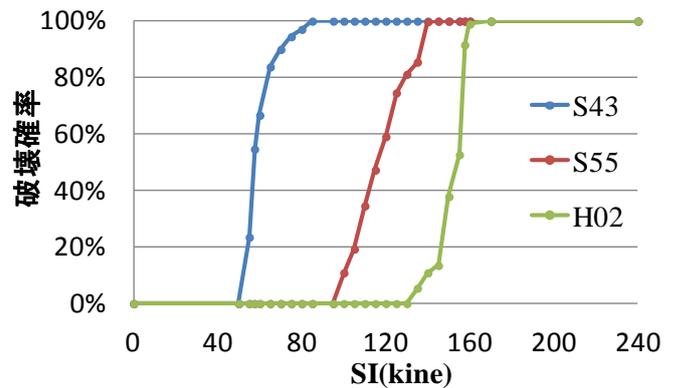


図-1 作成されたフラジリティカーブ



図-2 対象ネットワーク

### 3. フラジリティカーブに基づく間接被害評価手法

#### 3-1. 対象ネットワーク

本研究における対象ネットワークとして熊本都市圏の道路ネットワークを選択した(図-2)。モデルのノード数は2353, リンク数は2981である。鉄道等の公共交通機関については考慮しない。すべての交通量は177のノードに対して発生, 集中するものとした。本研究において対象とする橋梁は国道及び県道のみを考慮した。

#### 3-2. 想定するシナリオ地震

本研究では, 地震調査委員会<sup>1)</sup>により想定された布田川・日奈久断層帯をシナリオ地震とした。構成する断層の形態などから北東部, 中部及び南西部の3つの区間に分けられると推定されているが, 今回は対象ネットワークへの甚大な被害が予想される中部単独のみとした。

#### 3-3. 間接被害算出手法

間接被害額の算出手法について説明する。まず, 前述のシナリオ地震及び司・翠川<sup>2)</sup>の距離減衰式を用いて各橋梁所在地でのSI値を算出する。得られた各橋梁のSI値と図-1のフラジリティカーブにより各橋梁の破壊確率を得ることができる。対象ネットワーク内において破壊確率を有する橋梁は65橋であった。しかし, 被災パターンは $2^{65}$ 個存在するため, 全ての被災パターンの被害額を計算することは困難である。そのため, 本研究ではモンテカルロシミュレーションにより, 交通ネットワーク上の各橋梁について[0,1]の乱数を発生させ, その値がフラジリティカーブから推定された破壊確率を下回れば破壊, 上回れば無破壊と判定する。それにより, 橋梁破壊の被災パターンを得る。次に, それぞれの地震時ネットワークでの交通流の配分結果を算出する。本研究では被災から一定期間経過し, 平時と同様の交通需要が生じるものと仮定し, 利用者均衡配分により交通流配分を行う。抽出された破壊橋梁の組み合わせパターンのもとで生ずる交通ネットワークの寸断・遮断による間接被害額を算出する。橋梁破壊は, 交通ネットワークの当該リンクの通行止めとして扱われる。被害額は, 破壊橋梁を迂回するためにトリップの総所要時間が増大するコストとして算出される。総時間費用・総交通費用の推定を行った。ネットワークモデルの構築, 及び交通流配分の算定には, 交通需要推計汎用プログラムパッケージ JICA STRADA 3.5 を用いた。上記の手法を1回の試行として本研究ではモンテカルロシミュレーションにより500回の試行を行う。

#### 3-4. 解析結果

上記の算出方法を用いてモンテカルロシミュレーションにより作成された間接被害額の頻度分布を図-3に示す。また, 耐震補強実施後の結果も同様に行った。国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務

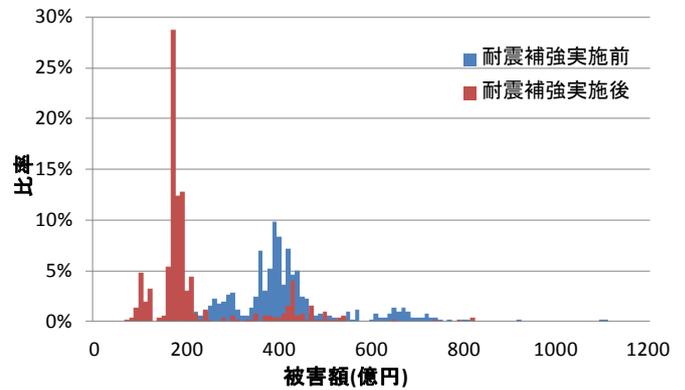


図-3 シナリオ地震による間接被害額分布

所, 熊本県土木部道路保全課へそれぞれヒアリングを実施したところ, 対象ネットワーク上の19橋の耐震補強が確認された。これらの橋梁はH02橋脚と同様の耐震性能を有するものとした。この条件のもと前述の算定手法に基づいて間接被害分布を作成したところ, 図-3の耐震補強実施後に示す結果を得た。

#### 3-5. 考察

図-3の結果よりシナリオ地震による間接被害額は, 耐震補強実施前において期待被害額が413億円という結果を得た。同様に耐震補強実施後では期待被害額214億円という結果を得た。これら二つの分布の形状を見てみると, 耐震補強実施前では被害額の分布は400億円を中心に裾野が広い形状であり, 実施後については200億円を中心にピークの尖った裾野が狭い形状である。これらの結果より, 耐震補強実施によって, 期待被害額が半減したこと, 被害額の不確実性が減少したことが確認できた。一方で耐震補強実施前の期待被害額である413億円を上回る場合が12%も存在しており, 耐震補強未実施の橋梁が65橋から46橋に減少しても, 耐震補強による便益が期待できない被災パターンも存在することから, 期待被害額以上の被害も想定しなければならない。

#### 4. まとめ

本研究では, 熊本都市圏交通ネットワークを対象として, 橋梁の地震時動的応答に基づくフラジリティカーブから各橋梁の破壊確率を算定し, それらの確率に基づく交通ネットワークの寸断・遮断による間接被害額を算出する手順を提案した。その結果, 耐震補強実施により期待被害額において198億円の被害が軽減されることが確認できた。しかし, 被害額分布の形状を見てみると, 耐震補強実施後においても期待被害額の2倍以上の被害も予想されることも明らかになった。

#### 参考文献

- 1)地震調査委員会: 布田川・日奈久断層帯の評価, 2002
- 2) 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプおよび地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No.523, pp.63.70, 1999