

## 実用的な道路防災事業効果評価手法の開発

鶴田舞\* 日下部毅明\*\*

### 1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震以降、道路施設においては一斉点検、耐震性水準の見直し等が行われ、それらを踏まえた地震防災事業が着々と進められてきた。一方で、事業の効果を説明することが求められており、施設管理者が容易に扱うことができる定量的な事業評価方法の確立が必要とされている。

国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室では、対象地域を襲う様々な地震に対して、防災事業による減災効果を定量的に評価する手法について検討を行ってきている<sup>1)</sup>。

本報告では、評価手法の概要および評価手法を用いてモデル地域におけるケーススタディーを実施した結果について述べる。

### 2. 評価手法の概要

防災事業効果の定量的評価手法として、費用便益分析を適用する。便益と費用は、

便益：防災事業の実施により軽減される被害額の期待値

費用：耐震補強に要する費用

と設定し、

- ① 評価対象地域における地震ハザードを反映
  - ② 道路のネットワークとしての機能向上を評価
  - ③ 現場での適用を想定した実用的手法
- を考慮して評価項目および手順を検討した。評価手順を図-1に示す。以下、図中の項目の内容について2.1~2.5に、評価に必要なデータについて2.6に示す。

#### 2.1 地震ハザード解析

道路施設の地震による損失評価にあたっては、対象地域における地震ハザード（地震動強さ）から施設の被災度を評価しておく必要がある。対象地域における地震の設定は、道路施設に被害を及ぼす恐れのある地震（シナリオ地震）を全て考慮する方法と、代表的な1シナリオ地震を用いる方法がある。現段階では、防災事業の効果を評価する場合には全ての地震の被害を考慮できる前者

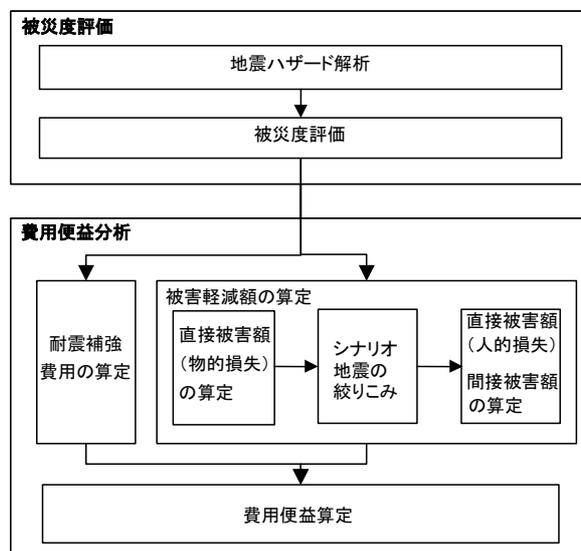


図-1 道路防災事業評価の手順

の評価方法が妥当と考えている。一方後者は、対象道路網において特に対応を急ぐ地震について、道路ネットワークの脆弱性、耐震対策事業の効果を評価したい場合に活用する。

道路施設位置における地震動強さ（最大速度、最大加速度、SI値(構造物の損傷度との相関が高いとされている指標)、計測震度）は、各震源のデータから距離減衰式<sup>2)</sup>により推定する。また、推定結果より、道路施設に被害を及ぼす恐れのあるシナリオ地震を設定する。ここでは被害発生のおしきい値として最大加速度250gal<sup>3)</sup>を設定している。なお、震源モデルは、活断層、プレート境界型地震のほか、伏在断層等震源を特定できない地震（バックグラウンドゾーン地震）についても過去の地震記録をもとに考慮<sup>4)</sup>している。

また、被害額の期待値算定（2.3.4 および 2.3.5 で記述）に用いる地震の発生確率は、活断層調査等により前回の発生時期が確認されている地震については時間依存性を考慮して算定し、それ以外の地震については地震の発生がポアソン過程に従うものとして算定<sup>5)</sup>する。

#### 2.2 被災度評価

道路施設の地震被災度評価手法については種々の方法が提案されているが、ここでは橋梁と盛土

について、2.1 で求めた地震動強さおよび施設管理者が容易に集めうるデータから被災度を推定する手法を用いる。

### 2.2.1 橋梁の被災度評価

橋梁については、既往の震災データに基づき、施設位置での地震動強さと各橋梁の基本的な諸元情報をもとに被災度を簡便に推定する手法が提案されている<sup>6)</sup>。評価結果は、A (大被害)、B (中被害)、C (小被害) に分類される。

### 2.2.2 盛土の被災度評価

盛土については、当該地点の地震動強さおよび平成8年の道路防災総点検の評価点数から沈下量を推定する評価式が提案されている<sup>7)</sup>。盛土の被災度は、推定沈下量が1mを上回る盛土については詳細な検討が必要と判定する。ここでは、橋梁の評価分類に合わせて、沈下量が1m以上の場合A (大被害)、1m未満の場合C (小被害) と呼ぶ。

## 2.3 便益の算定

地震被害を起因とする道路施設の損失評価項目として、道路施設の被害が直接原因となる直接損失と、道路施設が有していた機能の低下が波及することにより生じる損失等の間接損失に大別して抽出した。これらの項目について、データの収集および評価の難易度、損失の大きさ、貨幣価値化の可否から、評価項目としての選定を行った。結果を表-1に示す。以下に、表中評価項目として○をつけたものについて評価手法を述べる。

### 2.3.1 直接被害額 (道路施設本体の物的損失) の算定

道路施設そのものが損傷することにより生じる被害額であり、施設の復旧に要する費用がこれに相当する。被害額の算定にあたっては、2.2 で求めた被災度に応じた復旧費用を適用する。

ある諸元において、一般的な復旧・補強工法と

表-1 道路施設の地震被害を起因とする損失項目

損失項目		被害額評価の難易度	被害額の大きさ	評価項目としての考慮	評価内容および評価項目○としなかった場合についてはその理由	
直接損失	道路施設本体の物的損失	普通	中	○	橋梁、盛土等の津路施設が損傷することにより生じる被害額	
	道路施設の損傷に起因する物的損失	跨線橋下部の鉄道施設	困難	大	△	落橋時に被災する鉄道車両の被害額および乗車人員の被害額。被害額の設定が難しいため、可能であれば評価する。
		添架ライプラインの損失	普通	小	△	道路施設に添架しているライプライン配管の物的被害額。添架位置および地震動の大きさに応じた被災状況の設定が難しいため、これらの設定が可能であれば評価する
道路施設の損傷に起因する人的損失		普通	大	○	道路利用者が道路施設の損傷により死傷することによる被害額	
間接損失	通常交通の通行障害	迂回	普通	大	○	道路施設の損傷により生じる迂回交通の走行時間、走行経費の増加等による被害額
		交通の取り止め	普通	大	×	道路利用者が地震後に道路を利用することをやめたことによる損失であるが、道路利用者の交通需要の変化を計測することは一般に困難である。
		公共サービスの低下	困難	小	×	ごみ収集等の公共サービスレベルが低下することによる損失であるが、通常の道路投資の評価においても計測が困難である。
		交通事故の増加	困難	小	×	道路施設の損傷を原因とした交通事故による被害額であるが、道路施設の損傷と交通事故の因果関係を評価することは困難である。
		住民生活の快適性の減少	困難	小	×	通勤・通学等日常生活の快適性が低下することによる損失であるが、通常の道路投資の評価においても計測が困難である。
	緊急車両の通行障害	消防活動車両	普通	中	△	消防隊が消火可能時間以内に到達できず家屋等が焼失することによる被害額。建物棟数データ、消防署位置と道路ネットワークデータのリンク付けに手間を要するため、必要に応じて算定する。
		救護輸送車両	普通	中	△	救急搬送車が救護可能時間以内に病院に到達できず死傷することによる被害額。建物棟数データ、救急医療機関位置と道路ネットワークデータのリンク付けに手間を要するため、必要に応じて算定する。
		復旧工事車両	困難	大	×	復旧機材等の輸送に時間を要し、復旧工事が遅延することにより生じる被害額。復旧工事の内容が対象施設により異なり、一貫性のある評価の適用が困難である。
		緊急物資輸送車両	困難	小	×	緊急物資の輸送が遅延することにより生じる被害額。時間価値原単位、走行経費原単位の客観的な設定が困難である
		避難支障	困難	小	×	住民等の避難が遅延することにより生じる被害額。時間価値原単位、走行経費原単位の客観的な設定が困難である
空間機能低下による損失	跨線橋下部の鉄道機能停止	普通	大	△	鉄道の運行がストップすることにより生じる鉄道利用者および鉄道事業者の被害額。鉄道の利用者数等のデータを入手することは容易ではないため、可能であれば評価する。	
	添架ライプラインの供給停止	普通	大	△	配管・配線等が破断されることによるライプライン事業者・利用者の被害額。水道幹線網等のデータを道路管理者が入手することは容易ではないため、可能であれば評価する。	
その他	自然環境の悪化	困難	小	×	大気汚染、騒音、および地球温暖化への影響等が考えられるが、地震後の道路施設の被害との因果関係の評価が困難であること等から評価しない。	

積算基準より求めた復旧費用の例を表-2、表-3に示す<sup>1)</sup>。

表-2 橋梁の復旧費用

被災度	復旧 (千円/1000m <sup>2</sup> )	耐震補強 (千円/橋脚)	摘要
A	190,700	—	撤去、再構築
B	2,500	25,000	補修、橋脚補強
C	—	—	補修不要

※3径間連続の高架橋(3×50m=150m、幅員10.7m、片側2車線)の場合

表-3 盛土の復旧費用

被災度	復旧(千円/1000m <sup>3</sup> )	摘要
A	6,200	撤去、再構築
C	—	補修不要

※：盛土高さ10m、天端幅14m、長さ150mの場合

### 2.3.2 直接被害額（道路施設の損傷に起因する人的損失）の算定

道路利用者が道路施設の地震被害により死傷することによる被害額である。ここでは、

- ① 落橋する橋梁上を通行する利用者
  - ② 落橋する橋梁の下に道路があった場合（跨道橋）、その道路を通行する利用者
- について、人的損失額を算定している。

人的損失額は、次式により算出するものとする。

$$\text{人的損失額} = \text{施設利用者数} \times \text{被災率} \times \text{被災状況別の金銭的対価}$$

道路施設の利用者数は、地震発生時に施設上を通過する交通量および跨道橋下を通過する交通量から設定する。交通量は、2.3.3に述べる迂回損失額算定で実施する交通量推計結果を適用する。

被災率は、①については兵庫県南部地震の被災事例から設定（表-4参照）し、②については100%と仮定した。

表-4 落橋する橋梁上にいる利用者の被災度<sup>8)</sup>

死亡	重傷	軽傷
3%	6%	9%

被災状況別の金銭的対価は、表-5に示す人的被害額と事業者主体の被害額を足し合わせたものとする。なお、物的被害額は乗車車両の被害額であるため、人的被害額には含めないものとした。

表-5 死傷者1人当たりの人的・物的損失<sup>9)</sup>

被災者の状況	人的損失の金銭対価の内容(千円)		
	人的被害額	物的被害額	事業者主体被害額
死亡	33,515	400	807
残後遺症(重傷)	11,517	400	217
完治障害(軽傷)	652	400	50

### 2.3.3 間接被害額（迂回による損失）の算定

迂回による損失は、道路施設の損傷に起因する交通規制により、走行時間、走行経費が増加することを示す。平常時の道路状況における移動費用と、地震発生後の道路状況における移動費用を、交通量推計に一般的に用いられている交通量配分シミュレーションを用いて算定し、その差を迂回による被害額とする。防災事業の実施前後それぞれの被害額を比較することにより、道路のネットワークとしての機能向上を示すことができる。

$$\text{迂回による被害額} = \text{地震後のすべての車両の移動費用} - \text{平常時のすべての車両の移動費用}$$

移動費用は、所要時間を貨幣換算した「時間費用」と、車両の走行にかかるすべての費用を考慮した「走行費用」とする。時間費用および走行費用の算定は、費用便益分析マニュアル（平成15年8月国土交通省道路局 都市・地域整備局）に示されている方法に準じて行う。

なお、地震後の交通量推計に用いるOD（自動車起終点）は、平常時のものを適用している。これは、地震直後を除き、また特に被災の著しい地域を除き、広域的には経済活動、通勤・通学等の活動は一定期間で平常時に近いものに戻ると仮定したためである。地震直後の緊急活動を評価する場合、広域的に生活・経済活動が一変するような激甚被害を評価する場合には地震時ODおよび交通量を設定することが望ましいが、簡易な手法で両者を推定することは現時点では困難である。

道路施設の損傷に起因する交通規制期間は、平成7年の兵庫県南部地震および平成16年の新潟県中越地震での復旧事例をもとに、道路施設の被災度と管理者に応じて設定した（表-6）。ここで、交通規制の形態には全面通行止めと一部通行規制の2パターンがあるが、計算の簡略化のため、全面通行止めに日数を換算して平均期間を求めた。その際、一部通行規制は上下線のどちらかが規制

された事例が多いことから、同規制 2 日分を全面通行止め 1 日分と仮定した。

表-6 施設被災度別の交通規制期間の設定

	被災度	管理者	交通規制期間			
橋梁	A	国	~75日			
		地方自治体	~300日			
	B	共通	~4日			
	C	共通	なし			
跨道橋	A	共通	~7日	※跨道橋下の道路通行止め		
盛土	A	国	~7日			
		地方自治体	~300日			
	C	共通	なし			

表-6 のとおり、復旧段階は、①被災直後から 4 日、②5~7 日、③8~75 日、④76~300 日の 4 段階とした。

### 2.3.4 シナリオ地震の絞りこみ

対象地域によっては、2.1 の地震ハザード解析で選定されたシナリオ地震数が膨大となり、すべての地震について 2.3 で述べた交通量配分シミュレーションを行うと計算コストが大きくなる恐れがある。このような場合には、以下のような手順でシナリオ地震の絞り込みを行う。

- 1) 対象地域をゾーン分割し、選定したシナリオ地震を各ゾーンに割り当てる (図-2 参照)。ブロックの大きさは、バックグラウンドゾーンメッシュのサイズを目安にする。
- 2) 地震ハザード解析で設定したすべての地震について 2.3.1 で述べた直接被害額 (物的損失) を算定し、それぞれの地震の発生確率を掛け合わせて被害額の期待値を求める。
- 3) 1) で設定した各ゾーンから、被害額の期待

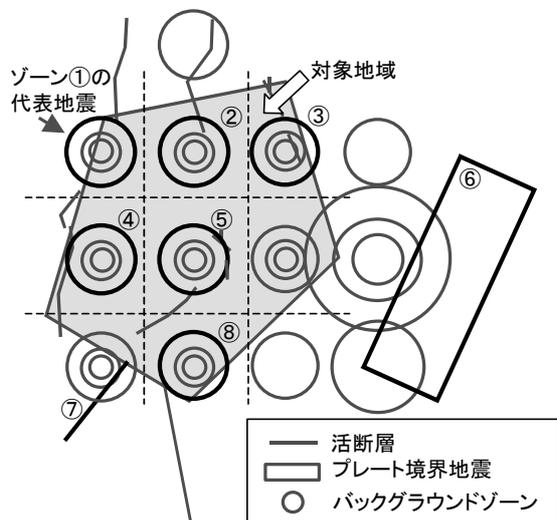


図-2 ゾーン代表地震の抽出イメージ

値の大きい地震(ゾーン代表地震)を 1 つ以上抽出する。

- 4) ゾーン代表地震について交通量配分シミュレーションを実施し、直接被害額 (人的損失) および間接被害額を算定する。
- 5) その他の地震の直接被害額 (人的被害) および間接被害額は、ゾーン代表地震の直接被害額 (物的損失) ~ {直接被害額 (人的損失) + 間接被害額} の比率から推定する。

### 2.3.5 被害軽減額の期待値の算定

耐震補強対策を講じることで回避できる被害額の期待値を便益とする。便益は、すべての地震について補強の有無による被害額の差を算定し、各地震の発生確率を乗じて求める。

### 2.4 費用の算定

道路防災事業の費用は、施設の耐震補強に要する費用を算定する。

### 2.5 費用便益分析

2.3 および 2.4 から評価期間における総便益と総費用を算出し、費用便益分析を行う。

$$\text{費用便益比 (B/C)} = \frac{\sum(\text{対策による便益の現在価値})}{\sum(\text{対策費用の現在価値})}$$

対策の開始年次を起算点として、評価期間にわたり、各年次の便益と費用の値を算定し、それぞれ総計する。

年間被害軽減期待額を  $b$ 、事業期間  $S_b$ 、評価期間  $S_b+N$ 、割引率  $r$  とするとき、事業着手時点から  $S_b+N$  年間の総便益  $B$  は、

$$B = \sum_{i=0}^{S_b+N-1} \frac{b_i}{(1+r)^i}$$

同様に、耐震補強費用を  $c$ 、整備期間を  $S_c$  とするとき、総費用  $C$  は、

$$C = \sum_{i=0}^{S_c-1} \frac{c_i}{(1+r)^i}$$

評価期間は、道路施設の平均的な耐用年数に基づき 50 年と設定した。また、社会的割引率については、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針」(平成 16 年 2 月 国土交通省)に基づき 4 % と設定した。

### 2.6 評価に必要なデータ一覧

評価に用いるデータは、道路防災総点検データ、

道路ネットワークデータ、OD 交通量データ等、現場での入手が容易なものとした。また、データの加工を容易にするツールを作成した。評価に必要なデータ一覧およびその入手先、補助解析ツールを表-7に示す。

表-7 使用データ一覧

評価項目	使用データ	入手先	解析ツール
地震ハザード解析	震源データ	文献4)	-
	構造物位置、地盤種別	道路防災総点検データ	
被災度評価	計測震度、SI値	地震ハザード解析結果	防災マップ作成マニュアル
	構造物諸元	道路防災総点検データ	
直接被害額(物的損失)	地震発生確率	震源データより算定 <sup>5)</sup>	-
直接被害額(人的損失)	地震ネットワークデータ、OD交通量データ	道路管理者	配分シミュレーションプログラム*
間接被害額			

\*交通量推計に用いられている市販のソフトを利用

### 3. 手法を用いた試算例

評価手法の妥当性を検討するために、ケーススタディーを実施した。解析対象として、大規模地震の発生確率が高まっている東北地方から1国道事務所程度のエリアを選定し、主要地方道以上の道路ネットワークを設定した。また防災事業として、同ネットワークから補強路線を選定し、当該路線にある橋梁の耐震補強を実施した場合を想定し、事業の効果を算定した。耐震補強を行う橋梁数は113で、対象エリアにおける橋梁全体(916)の12%を占める。道路ネットワークおよび補強路線・橋梁の位置を図-3に示す。

対象エリアについて地震ハザード解析を実施したところ、79のシナリオ地震が選定された。これらすべての地震について被災度評価を行い、補強前後それぞれの道路ネットワークの状況を推定した。ある地震における補強対策実施前の被災度評価結果を図-4に、地震直後の交通量を図-5に示す。

被害額については、道路施設の物的損失についてはすべての地震で算定、人的損失および迂回損失については代表10シナリオ地震で算定し、残りの地震については2.3.4に示した方法により推定した。あるシナリオ地震における被害額の算定結果を表-8に示す。



図-3 道路ネットワークモデル図

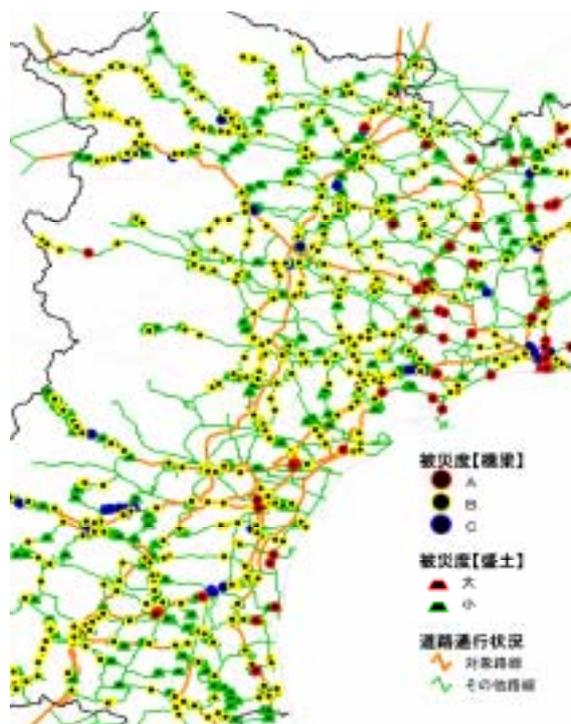


図-4 被災度評価結果の例

便益は、補強事業実施による被害軽減額とし、シナリオ地震それぞれの年発生確率を被害軽減額に乘じ、これを全ての地震について累計することにより年間被害軽減期待額を算定した。評価期間50年、社会的割引率4%として総便益Bを算出した結果、約412億円となった。一方、費用は耐震補強費とし、3年間で補強を実施するものとして

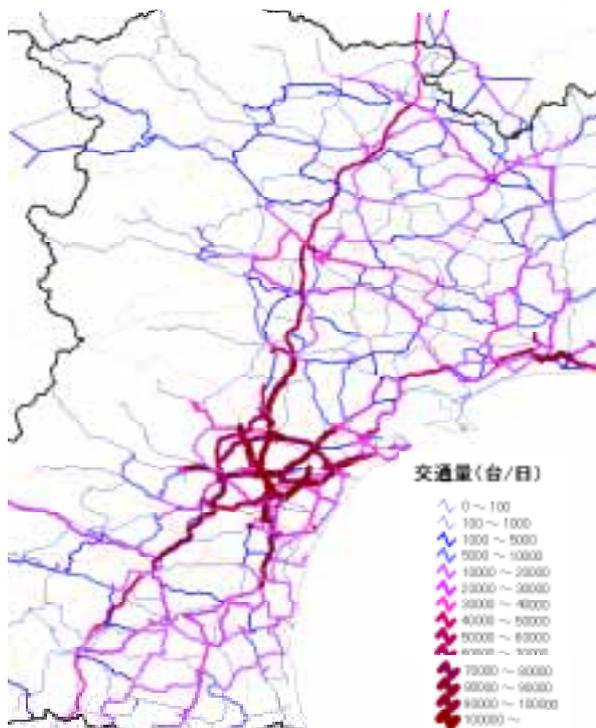


図-5 地震直後の交通量推計結果

同様に算定した結果、総費用 C=約 75 億円となった。以上より、B/C は約 5.5 と導出され、耐震補強による効果を定量的に示すことができた。なお、この数値は本評価手法におけるいくつかの仮定の上導出されたものであり、数値そのものの取扱については検討が必要ではあるものの、補強事業を実施する効果が大きいことが示された。

#### 4. まとめ

本研究により提案された防災事業効果評価手法を用いて、事業効果を定量的に評価、比較することができる。例えば当手法を用いて、橋梁耐震補強3箇年プログラム等の事業効果の説明への活用が期待される。一方で、同エリアは地震の切迫性が指摘されている地域であるため、高い投資効果が得られる結果となったが、一般に地震の発生確率を乗ずると B/C で算出される投資効果は低くなることから、多様な効果を総合的に評価する手法について今後検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 日下部毅明、谷屋秀一、吉澤勇一郎：道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究、国土技術政策総合研究所資料 160 号、平成 16 年 3 月
- 2) 片岡正次郎、佐藤智美、松本俊輔、日下部毅明：短期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰

表-8 被害額の算定結果

	補強前	補強後
直接被害額	345	236
物的被害	337	230
人的被害	9	6
間接被害額	2,237	1,962
合計	2,582	2,198
被害減少額	—	384

(単位：億円)

表-9 費用便益分析結果

単位：億円

経年	割引率	便益		費用	
		単純価値	現在価値	単純価値	現在価値
1	1.00	0.00	0.00	25.98	25.98
2	0.96	6.33	6.08	25.98	24.98
3	0.92	14.21	13.14	25.98	24.02
4	0.89	23.70	21.07	0.00	0.00
5	0.85	25.91	22.14	0.00	0.00

45	0.18	10.59	1.88	0.00	0.00
46	0.17	10.59	1.81	0.00	0.00
47	0.16	10.60	1.74	0.00	0.00
48	0.16	10.60	1.68	0.00	0.00
49	0.15	10.61	1.61	0.00	0.00
50	0.15	10.61	1.55	0.00	0.00
計		総便益(B)	411.92	総費用(C)	74.99
		費用便益比(B/C)		5.5	

式、土木学会論文集、平成 18 年（投稿中）

- 3) 建設省土木研究所耐震技術研究センター・防災技術課：占用施設・沿道施設の耐震性評価に関する調査（その 1）平成 7 年兵庫県南部地震における被災調査、土木研究所資料第 3557 号、平成 10 年 3 月
- 4) 中尾吉宏、日下部毅明、村越潤、田村敬一：確率論的な地震ハザードマップの作成手法、国土技術政策総合研究所研究報告第 16 号、平成 15 年 10 月
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長期的な地震発生確率の評価手法について、平成 13 年 6 月
- 6) 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、Vol.47、No.12、平成 17 年 12 月
- 7) 土木研究所：道路盛土の簡易耐震性評価法（案）、平成 15 年
- 8) 大阪府地震想定調査報告書、平成 9 年 3 月
- 9) 国土交通省道路局 道路事業評価手法検討委員会：交通事故減少便益の原単位の算出方法、平成 15 年 2 月

鶴田舞*	日下部毅明**
国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室研究官	北海道開発局留萌開発建設部次長（前 国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室長）
Mai TSURUTA	Takaaki KUSAKABE