

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

長屋 和宏¹・片岡 正次郎¹・日下部 毅明¹・松本 幸司¹

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail:nagaya-k28p@nilim.go.jp

地震発生時における国土交通省の所管施設の管理では、大きな震度が観測されたエリアで点検を実施している。しかしながら、被害が甚大でその分布が広範にわたる場合や地震が夜間に発生した場合など、被害状況の把握に数時間以上を要することがあり、迅速な災害対策のための意思決定が困難になることが懸念される。そこで、地震発生直後に得られる強震記録から地震動分布を推定する手法および地震動分布とインフラ施設の基礎情報をもとに被害状況を推測する手法の開発を行った。また、開発成果を踏まえ、施設管理者などの意志決定支援を目的に地震発生直後の情報の少ない段階においてインフラ施設の被害推測情報などを提供する、「即時震害推測システム」の開発を行った。開発にあたっては、災害対応現場の担当者との意見交換などを踏まえ、基本的な機能に加え、災害時の意思決定支援に資するいくつかの機能を備えた。

Key Words : *estimation of ground motion, estimation of damage on public infrastructure, support of the early stage after earthquake*

1. はじめに

地震発生時における国土交通省の所管施設の管理では、所定の震度が観測されたエリアで施設点検を実施している。しかしながら、被害が甚大でその分布が広範にわたる場合や地震が夜間に発生した場合など、被害状況の把握に数時間以上を要することがある。

2011年3月に発生した東日本大震災では、被害が甚大であった東北・関東地方は点検終了まで多大な時間を要した。同様に広域かつ多様な被害が想定される南海トラフ地震や首都直下地震では、被害の概況把握すら困難になることが懸念される。

このように所管施設の被害が把握できない状況が続くと、災害対策本部などでは迅速な初動対応のための的確な意思決定が困難になる。

そこで、国土技術政策総合研究所(以下、国総研という)では、地震発生直後に各種観測網より得られる強震記録から地震動分布を推計する手法および地震動分布と所管施設の基礎情報をもとに被害状況を精度良く推測する手法の開発を行ってきた¹⁾。開発成果を踏まえたプロトタイプシステムが構築されたので、これまでの研究およびシステムについて紹介する。

2. 即時震害推測システム

(1) 即時震害推測システムの概要

地震発生直後に得られる情報としては、気象庁が発表する震度階級が一般的であるが、震度階級だけでは多様な振動特性を有する各種施設の被害を推測するのは難しいことが指摘されている²⁾。土木構造物の被害程度と比較的相関のある地震動指標としては、SI値(スペクトル強度)が知られており、耐震設計における地盤の液化化判定などでは、最大加速度が用いられている。

また、地震の揺れによる施設被害を推測するにあたっては、その施設の直近で観測された地震動強さが必要となる。しかしながら、施設近傍で地震観測が行われているものは少なく、複数地点での観測記録をもとに地震動強さの空間分布を推計する必要がある。

一方、地震動強さから施設被害を推測するにあたっては、施設が経験した地震動強さの他に、構造形式やその構造物の耐震設計レベル(一般的には設計された年代)が大きな影響を及ぼす。

「即時震害推測システム」は、これらを踏まえ、地震観測記録を用いてインフラ施設などの被害推測を行う。被害推測のフローを図-1に示す。

現在、本システムは、中部地方の模擬データを使用し

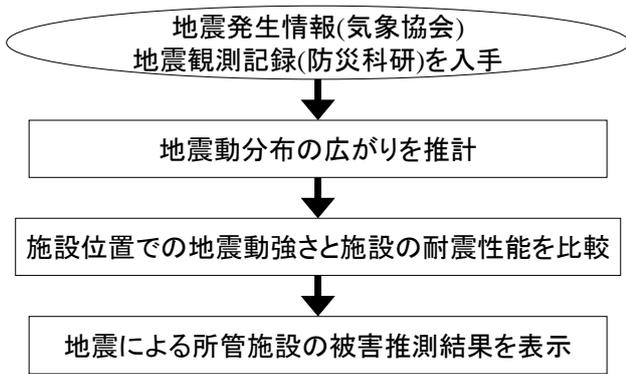


図-1 被害推測のフロー

たプロトタイプシステムとして構築し、国総研内で試験運用しており、即時震害推測情報を災害対応現場で実践的に活用するための検討を行っている。

(2) 地震動分布の推計

地表面で観測される地震動強さは、地点ごとに異なる表層地盤の特性に大きく影響を受けることから、地表面で観測された地震動強さをそのまま空間補間することは適切ではない。このため、本システムでは、表層地盤によって基盤面の地震動強さが何倍に増幅されるかを表す増幅倍率DBを作成しており、地震動分布の推計では、地表面で観測された地震動強さを増幅倍率で除して基盤面での値に変換し、空間補間している。また、地表面の地震動分布は、空間補間で得られた基盤面における地震

動分布にそれぞれの位置での増幅倍率を乗ずることで得られる³⁾。

地震動分布の推計に用いる観測記録は、全国約1,000箇所に設置された地震計からなる(研)防災科学技術研究所のK-NET⁴⁾を活用している。また、気象庁が公表する震源位置やマグニチュードの情報は、(一財)日本気象協会がインターネットを通じて配信するサービスを活用して入手し、これらの情報を用いて地震動分布を推計演算している。なお、気象庁でも震度5弱以上を観測した地震については、震度階の面的分布を推計した結果を推計震度分布⁵⁾として公表しており、これも同様に基盤面で地震動強さを空間補間している⁶⁾。本システムは、構造物被害の推測を目的としているため、計測震度に加え、SI値、最大加速度の推計分布の演算を行うシステムとして開発している。

さらに、本システムでは、任意の地点を震源とし、深さ、マグニチュードを設定することで、基盤面における地震動の距離減衰特性および表層地盤の増幅倍率を踏まえた、想定地震の地震動分布を推計する機能を有している。

これにより、容易に様々な地震の地震動分布を想定するとともに被害想定をイメージすることができる。

(3) 構造物被害の推測

構造物の被害推測は、道路橋、盛土を対象に実施して

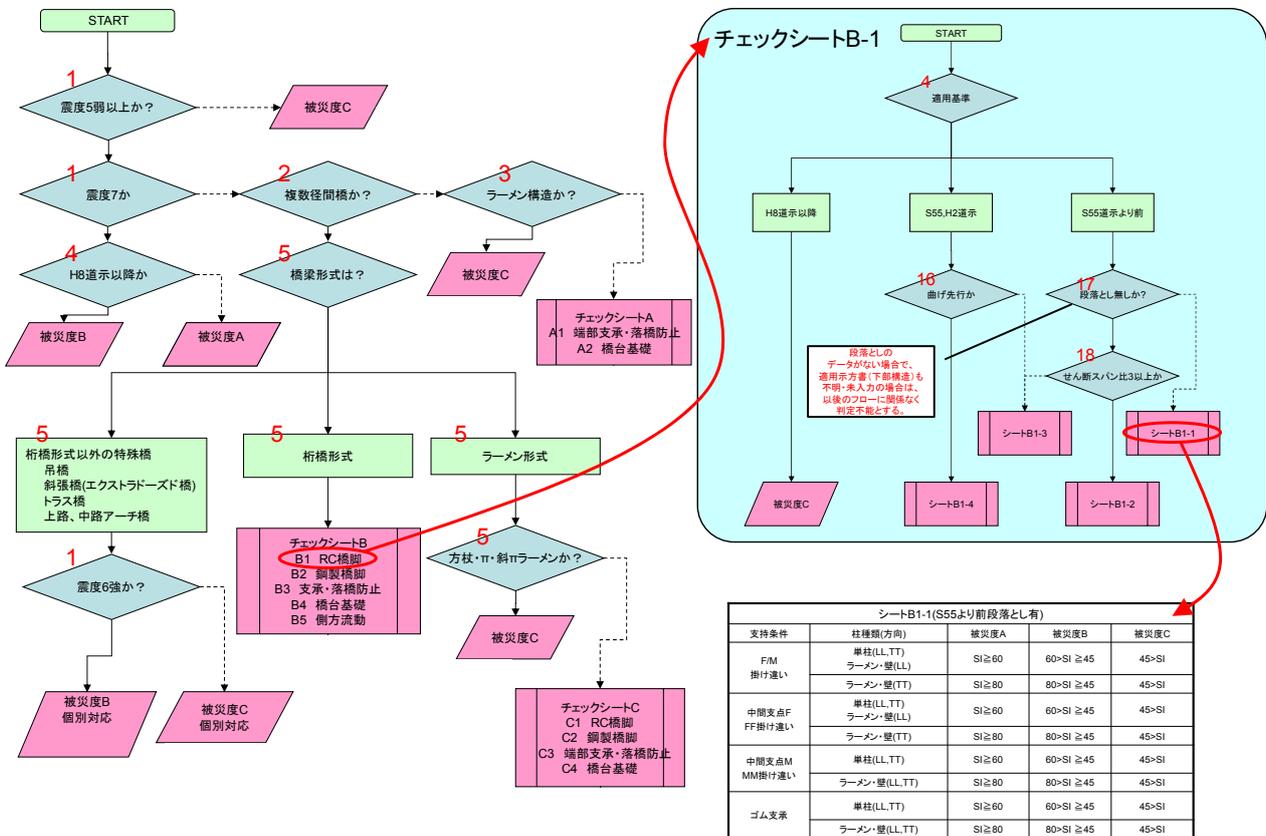


図-2 橋梁の被害推測フローより抜粋

おり、既往地震の被災データに基づいて提案された手法⁷⁾を用いている。それぞれの被害推測に用いる地震動指標は、道路橋梁：計測震度およびSI値、盛土：計測震度、である。

道路橋および盛土の被災度の評価は、道路震災対策便覧⁸⁾に従いA、B、Cに分類しており、それぞれ以下の通りである。

- A：大被害…橋梁では耐荷力の低下に著しく影響のある損傷が想定され、落橋などの致命的な被害が想定される場合。盛土では全面的な崩壊が想定される場合。
- B：中被害…橋梁では耐荷力の低下に影響のある損傷が想定されるが、余震や活荷重など被害を進行させる要因がなければ、当面は利用可能であると想定される場合。盛土では部分的な崩壊が想定される場合。
- C：小被害…橋梁では短期的には耐荷力の低下の影響は想定されない場合。盛土ではごく一部の変状が想定される場合。

また、施設被害に影響が大きい地盤の液状化についても、設計に用いられる値を推定する手法¹⁰⁾で推測を実施しており、推計される最大加速度に応じて、液状化の危険度大、危険度小、危険性無し、と評価をしている。

道路橋梁の被害推測の流れを図-2に示す。道路橋梁の被害推測では、最初に個別の構造物位置での震度階に応

じて被害推測対象か否かのスクリーニングを行う。その上で橋梁の構造形式(径間数、橋梁形式など)および設計に用いられた基準の年次(一般に新しい基準で設計された橋梁ほど高い耐震性能を有する)による場合分けを行い、SI値による評価を行う。震度7のエリアに位置する橋梁は、場合によらず被災度B以上と評価している。

なお、被害推測フローに基づく構造物の評価は、被害推定を行う全ての構造物に対して予め行っており、各構造物は、被災度に対応する地震動指標の閾値を取りまとめている。これにより、地震発生時は、施設位置での地震動指標値と閾値の比較のみで被災度を推測することができ、地震発生直後の演算時間の短縮を図っている。

さらに、構造物の被災度の推測については、本研究としても精度向上を図っている。以下に道路盛土で改良を行った例を示す。2004年新潟県中越地震および2011年東北地方太平洋沖地震で発生した多数の道路盛土の被災事例をもとに、被災しやすい構造的要因を抽出するとともに、地震動強さと道路盛土の被災度の関係を分析した。平地と傾斜地では盛土の被災パターンが異なる⁹⁾ため、平野・台地部と丘陵部の2つに分類し、被災データを整理した。

表-1は、平野・台地部の道路盛土の被災パターンを示したもので、各地震の被災件数と被災パターンの被災度別の関係を検討した。その結果、基礎地盤条件、盛土構造(盛りこぼしか擁壁か)および盛土高さとの関係

表-1 平野・台地部の道路盛土の被災パターン・被災区分⁹⁾加筆

| 被災パターン | 被災模式図 | 被災度 | 被災度の説明 |
|--------|-------|-----|------------------------------|
| I型 | | B | 亀裂幅15cm以上または段差量20cm以上 |
| | | C | 亀裂幅15cm未満または段差量20cm未満 |
| II型 | | A | 亀裂幅30cmをこえ、かつ段差量50cm未満をこえたもの |
| | | B | 亀裂幅30cmを以下または段差量50cm以下 |
| V型 | | A | 沈下量50cm以上 |
| | | B | 沈下量20cm以上、50cm未満 |
| | | C | 沈下量20cm未満 |

表-2 地震動強さと道路盛土の被災度の関係

| 道路構造タイプ | | | 震度 | | | | | | |
|--------------|-----------------------|-------------|------|----|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 地盤条件 | 盛土構造 | 盛土高さ | 4 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7 | |
| 軟弱粘性土地盤 | 盛りこぼし形状 | 5m未満 | - | - | - | - | II-B(V-C) | II-A(V-B) | |
| | | 5m以上 | - | - | (V-C) | II-B(V-B) | II-A(V-B) | II-A(V-A) | |
| | 腰積み擁壁 ブロック 積み擁壁 | 擁壁高 3m未満 | 5m未満 | - | - | - | - | II-B | II-B(V-C) |
| | | | 5m以上 | - | - | - | II-B(V-B) | II-B(V-B) | II-B(V-B) |
| | | 擁壁高 3m以上 | 5m未満 | - | - | - | - | - | - |
| | | | 5m以上 | - | - | - | - | II-B(V-C) | II-B(V-B) |
| 砂質土・礫質土・液状地盤 | 盛りこぼし形状 | 5m未満 | - | - | - | II-B(V-C) | II-B(V-C) | II-A(V-B) | |
| | | 5m以上 | - | - | - | I-B(V-C) | II-A(V-B) | II-A(V-A) | |
| | 腰積み擁壁 ブロック 積み擁壁 | 擁壁高 3m未満 | 5m未満 | - | - | - | I-C(V-B) | I-C(V-B) | II-B(V-B) |
| | | | 5m以上 | - | - | - | I-C(V-C) | I-B(V-B) | II-B(V-B) |
| | | 擁壁高 3m以上 | 5m未満 | - | - | - | I-B | II-B | II-B(V-B) |
| | | | 5m以上 | - | - | - | I-B(V-B) | I-B(V-B) | II-A(V-B) |

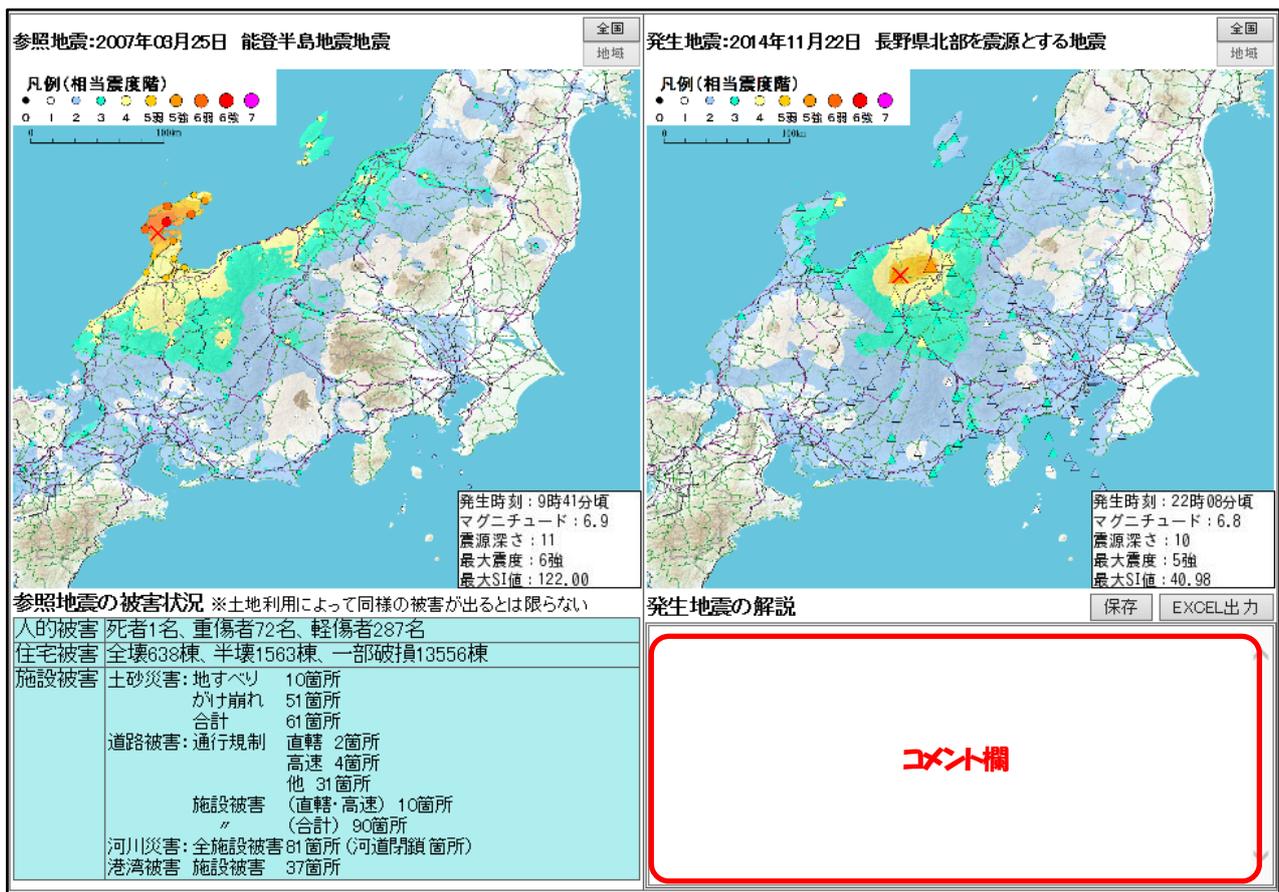


図-3 参照地震情報の例

連が強いことがわかったため、これらの条件で被災事例を分類した上で、被災した盛土位置での地震動強さと被災パターン・被災度との関係を表-2のように整理した。

本表を用いることで、盛土構造等と地震発生直後に推計した地震動強さから、道路盛土の被災度を迅速に推測することができる。今後、他の施設についても同様の分析を進めるとともに、地震ごとの被害の特徴を考慮する等の高精度化を図る。

(4) 斜面構造の地震被災リスクの表示

道路に面している斜面構造は、地震発生時に度々被害を生じ、通行に支障を来している。しかしながら、斜面構造の地震に対する被災評価は、多様な斜面特性や地震発生前の降雨状況などが大きな影響を及ぼすことが知られており、地震被害を推測する一般的な手法が確立されていない。

このため、本システムでは、道路斜面を対象に、地震に対する被害発生リスクとして、防災カルテ点検時に「要対策」と判定された斜面を対象に、震度に応じたリスク(震度7:被災リスク「大」、震度6強:被災リスク「中」、など)を表示している。

3. 現場での活用を踏まえた機能実装

本システムの開発にあたっては、地方整備局の防災関

係部署(道路管理課など)と連携を図り、被害推測情報を災害対応現場の実務での活用を踏まえた機能、情報提供画面の作り込みを行った。その際、本システムのデモ機による機能、情報提供画面を提示するとともに、災害対応の流れと鑑みた課題などの抽出を行った。本調査を通じて構築した機能の一部を紹介する。

(1) 「参照地震情報」の抽出・表示

国総研では、地震が発生した際(その時発生した地震を「発生地震」と呼ぶ)、既往地震の中から、地震特性(震源のタイプ(海溝型、活断層型)、地震動の強さと広がり、都市域もしくは沿岸地域などの地震の発生地域)が類似する地震(これを「参照地震」と呼ぶ)を抽出し、「発生地震」の諸元と「参照地震」の諸元および被害状況などを取りまとめた「参照地震情報」を作成している¹²⁾。

本システムには、地震後30分程度で「参照地震」を自動で抽出し「参照地震情報」を作成する機能を有している。抽出は、250mメッシュで推計したSI値を用い、その大きさに応じたメッシュ数による近似性の評価を行い、「参照地震」の候補となる既往地震を3つ示し、ユーザーが地震の発生地域などを踏まえた選択をすることで「参照地震情報」が作成される。

図-3に2014年11月22日に長野県北部の地震(気象庁マグニチュード6.7、最大震度6弱)が発生した際の、本システ

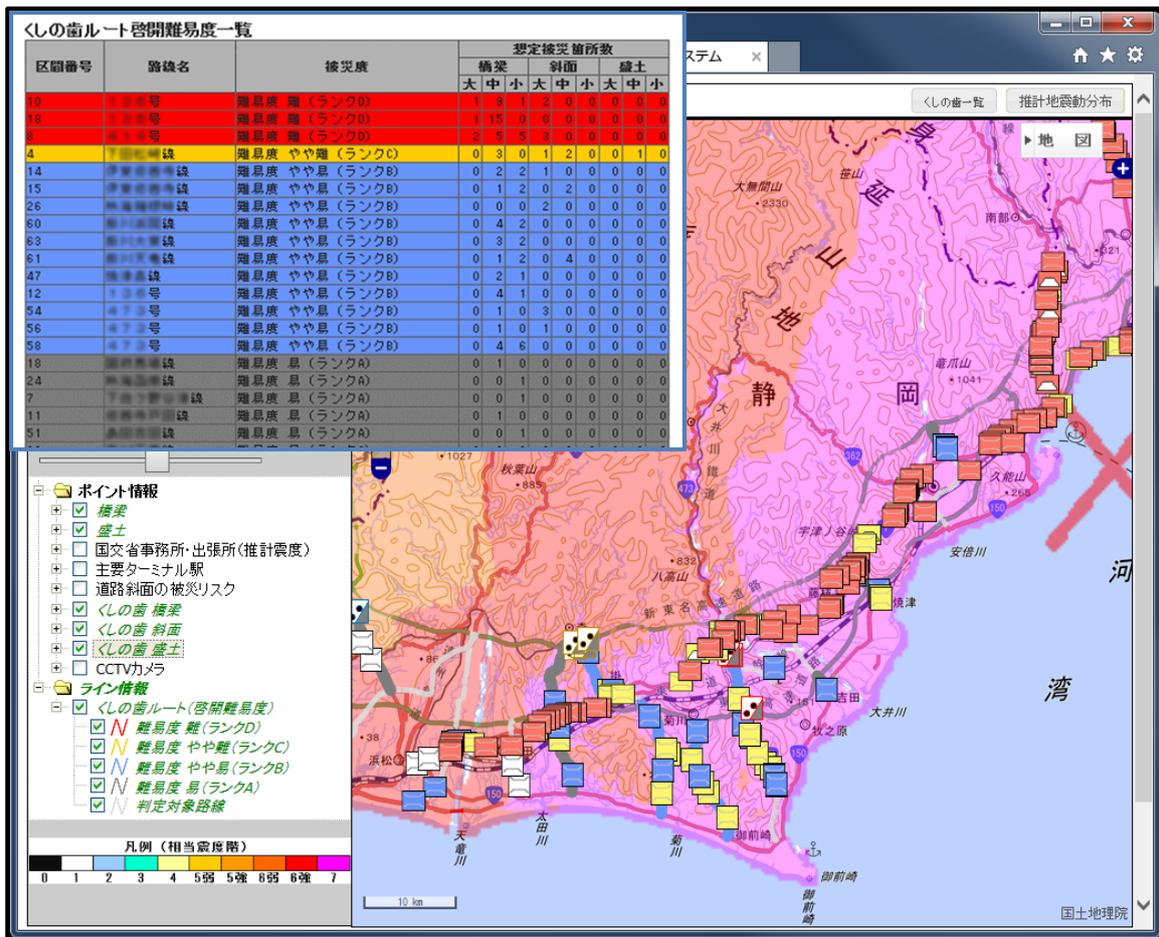


図4 被害推測結果の表示(くしの歯作戦ルートの評価)

ムでの「参照地震」の抽出および「参照地震情報」の作成例を示す。

地震の規模、震源深さ、地震動の広がりおよび近接する地域で発生した地震として、平成19年能登半島地震を抽出し、その際の被害概況などを表示している。なお、本画面はエクセル形式で保存することができ、「発生地震」と「参照地震」の比較に基づくコメントなどをユーザーが記載することができる。

なお、システム内には、「参照地震」の候補として1968年十勝沖地震以降に発生した比較的最大震度の大きい38地震について、人的被害、住宅被害、施設被害(土砂災害、道路被害、河川被害など)を整理したデータベースを有している。

「参照地震情報」は、「発生地震」の被害状況を直接推測するものではないが、「参照地震」の被害概況および当時の災害対応を踏まえることで、支援要員の派遣や復旧に要する資機材の手配などの災害対応の意思決定を支援する。

(2) 道路啓開難易度の評価および表示

東日本大震災では、津波により甚大な被害が発生した沿岸部への輸送道路をくしの歯型に緊急啓開する「くしの歯作戦」¹³⁾が有効に機能したことから、南海トラフ地

震による被害が懸念される地域の整備局などでは同様の計画が策定されている¹⁴⁾。

「くしの歯作戦」は、高速道路などの広域支援ルートを確保するSTEP1、沿岸被災地へのアクセスルートを複数確保するSTEP2、津波ガレキ除去などにより沿岸ルートの道路啓開を行うSTEP3、の三段階からなる¹⁴⁾。

本システムは、地震に対する施設被災の評価を行うことから、STEP1およびSTEP2の対象路線に位置する橋梁、盛土、斜面の地震被害の推測を行う。特にSTEP2の対象路線に関する推測では、路線毎の被害箇所数とその程度を踏まえ、路線間の道路啓開の難易度を評価し、図4示す形で表示する機能を付与した。

(3) CCTVカメラの抽出・表示

CCTVカメラは、平常時の施設保全をはじめ、災害発生後の被災箇所の管理・監視を行うツールとして広く使われており、国土交通省では所管施設の沿線などに20,000台を越えるカメラが設置されている。

しかしながら、地震発生直後における迅速かつ網羅的な状況把握ツールとしてのCCTVカメラの活用には、現場職員の平常時を踏まえた豊富な経験などに依存¹⁵⁾している。一方、機器の廉価化やネットワーク化により地震時に見るべきカメラの数が膨大となっている。特に南海

トラフ地震などの広域災害の想定では、その傾向は顕著となる。また、CCTVカメラで確認された状況を共有する仕組みがないため、災害対応場面に応じて複数の職員が繰り返し同じカメラの映像を確認していることがある。

このため、本システムでは、推計された地震動分布にCCTVカメラ位置を重ね合わせ、点検すべき地震動(一般的に震度4以上)の発生箇所のCCTVカメラを抽出する機能を具備した。

CCTVカメラにより確認された施設状況などはシステムに記録することができ、異常が認められたカメラは地図上のアイコンが着色される。これにより、現地からの点検結果報告が入手できない場合でも、集中的な被災箇所の把握が可能になる。

(4) その他の機能

上記の他、地震発生直後に現地支部庁舎の被災や対応に当たる職員などの状況を推察することを目的とした推計地震動分布と管理事務所・出張所の位置を重ね合わせ、庁舎位置の地震動強さを把握する機能などを有している。

4. まとめ

地震発生直後の情報の少ない段階において施設管理者などの意思決定を支援することを目的に、地震観測記録からインフラ施設被害を推測し、提供する、「即時震害推測システム」の開発を行った。

開発にあたっては、地方整備局との意見交換などを踏まえ、基本的な機能に加え、災害時の意思決定支援に資するいくつかの機能を備えた。

本開発成果は、今後、地方整備局などの災害対応の現場への普及を図っていく予定である。さらに、今後、被害推測情報を起点として、地震発生後に得ることが出来る様々な情報を組み合わせることで、より確度の高い情報を提供する仕組みについての研究・開発を進めていく。

謝辞：「即時震害推測システム」の開発にあたっては、中部地方整備局道路部道路管理課 堀江勝樹課長、野田茂樹課長補佐、高見泰彦係長(役職は開発当時)に資料提供

および種々の意見を頂いた。記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 運上茂樹, 金子正洋, 片岡正次郎, 長屋和宏: 大規模広域型地震被害の即時推測技術に関する研究, 土木技術資料, 第54巻, 第1号, pp.64~65, 2012
- 2) 例えば, 境有紀, 瀧瀬一起, 神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.555, pp.85-91, 2002.05.
- 3) 運上茂樹, 金子正洋, 片岡正次郎, 長屋和宏, 中村洋光, 功刀卓, 青井真: 強震記録に基づく地震動分布即時推定システムの構築, 土木技術資料, 第55巻, 第4号, pp.18~21, 2013
- 4) 防災科研ウェブサイト: 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 5) 気象庁ウェブサイト: 推計震度分布図, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikai/index.html>
- 6) 柿下毅: 気象庁の新しい震度情報—推計震度分布—, 震災予防, No.186, 2002.
- 7) 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, 第47巻, 第12号, pp.48~53, 2005
- 8) 土木研究所: 道路盛土の簡易耐震性評価法(案), 2003
- 9) 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, 2007
- 10) 長屋和宏, 日下部毅明, 真田晃宏: 東北地方整備局における即時震害予測システム(SATURN)の開発, 土木技術資料, 第47巻, 第9号, pp.155~160, 2005
- 11) (社)道路保全技術センター: 防災カルテ作成・運用要領, 平成8年12月
- 12) 運上茂樹, 高宮進, 片岡正次郎, 長屋和宏: 地震発生直後の概略被害状況の推測, 国総研レポート2011, p47, 2011.3
- 13) 国土交通省東北地方整備局: 災害初動期指揮心得, pp.61~65, 2013.3
- 14) 例えば, 中部地方幹線道路協議会, 道路管理防災・震災対策検討分科会:「中部版 くしの歯作戦」(平成26年5月改訂版)【道路啓開オペレーション計画】, 2014.5
- 15) 長屋和宏, 真田晃宏, 日下部毅明, 小路泰広: 国交省地震計ネットワークとCCTVカメラネットワークの連携による被災状況確認迅速化に関する検討, 震度計の設置促進と震度データの利用高度化に関するシンポジウム, 2007.3

A Research on Immediate Damage Estimation Technology to Improve Crisis Management for Mega-earthquakes

Kazuhiro NAGAYA, Shojiro KATAOKA, Takaaki KUSAKABE
and Koji MATSUMOTO

A real-time earthquake damage estimation system is set for disaster management of concerned facilities. The system is expected to support the decision making just after earthquakes and to outline scenarios of practical disaster drill.