

大規模広域型地震被害の 即時推測技術に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 防災・メンテナンス基盤研究センター 国土防災研究室

主任研究官 ながや かずひろ
長屋 和宏

1. はじめに

国土交通省の所管施設の管理では、地震発生時に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には、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、中部地方以東の全域で所管施設の点検を実施したが、特に被害が甚大であった東北・関東地方では点検終了まで多大な時間を要した。同様に広域での多様な被害が想定される首都直下地震や東海・東南海・南海地震では、被害状況の概略の把握にさえ難しくなることが懸念される。このような所管施設の被害が把握できない状況が続くと、災害対策本部等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定する手法、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、の開発を目的とした「大規模広域型地震被害の即時推測技術に関する研究」を平成23～26年度の4カ年のプロジェクト研究として実施している¹⁾。本稿

では、これまでの研究およびシステムなどの開発状況について紹介する。

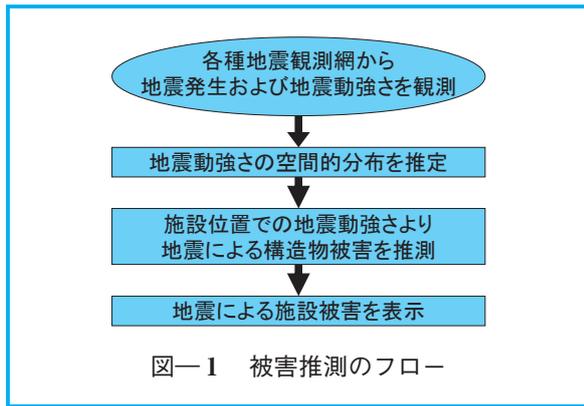
2. 即時震害推測システム

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状化判定などでは、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当たっては、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、所管施設のうち、施設近傍で強震観測が行われているものは少なく、複数の観測点での記録をもとに地震動強さの空間分布を推定する必要がある。

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所管施設などの被害推測を行なうものであり、被害推測のフローを図1に



示す。

本システムを構成するそれぞれの仕組みは以下に示すとおりであり、現在模擬データを使用したプロトタイプシステムを構築し、試験運用している。現時点では地震動分布の演算時間の短縮を図るとともに、本システム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。

3. 強震記録活用の仕組み

施設被害の推測に用いる地震観測記録は、全国約1,000箇所に設置された強震計からなる独立行政法人防災科学技術研究所（以下「防災科研」という）K-NET³⁾の強震記録を活用しており、地震動分布をより精度良く推定するため、適宜国総研の観測記録などを統合している。

なお、本研究は、国総研と防災科研との共同研究としても位置づけている。

現時点では、地震発生後、自動的にK-NETの観測データ（強震記録から算出された計測震度、最大加速度、最大速度、SI値）が国総研に送信され、関係するサーバの構成および機能とデータの流れは図一 2 の通りである。

防災科研からのK-NETデータは、通信品質とセキュリティ確保のためインターネットを介さないIP-VPN（IP通信網を経由して構築した閉域通信網）により国総研の地震情報管理サーバに送信されている。

これとは別に、地震動分布の推定に必要となる

震源位置とマグニチュードが地震発生後に一般財団法人日本気象協会（JWA）から送信され、これらのデータをもとに、4で示す手法により地震動分布が演算される。

4. 地震動分布の推定

(1) 地震動分布の推定手順

地表面で観測される地震動強さは、地点ごとに異なっている表層地盤の特性に大きく影響を受けることから、地表面の地震計で得られた地震動強さをそのまま空間補間すると適切に補間することができない。一方、地下の硬い基盤面での地震動強さには、震源からの距離に応じて小さくなる減衰特性があることが知られている。このため、図一 3 のように、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、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地震動強さに変換し（図中①）、基盤面で空間補間する（図中②）方法が一般的である。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⁴⁾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⁵⁾。地表面で地震観測がされていない位置での地震動強さは、空間補間で得られた基盤面における地震動強さ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（図中③）。

(2) 表層地盤の増幅倍率

表層地盤の増幅倍率は、地震ハザードステーション⁶⁾で公開されている250mメッシュの表層30m平均S波速度をもとに、既往の研究成果^{7,8)}により算出している。

表層30m平均S波速度は全国の地形・地盤分類メッシュマップ⁹⁾をもとに、同じ地形分類であっても標高や地盤の傾斜によって堆積物の粒度が異なること等を考慮して推定されたものであり、地震動増幅倍率と相関が高く、地震被害想定に用い

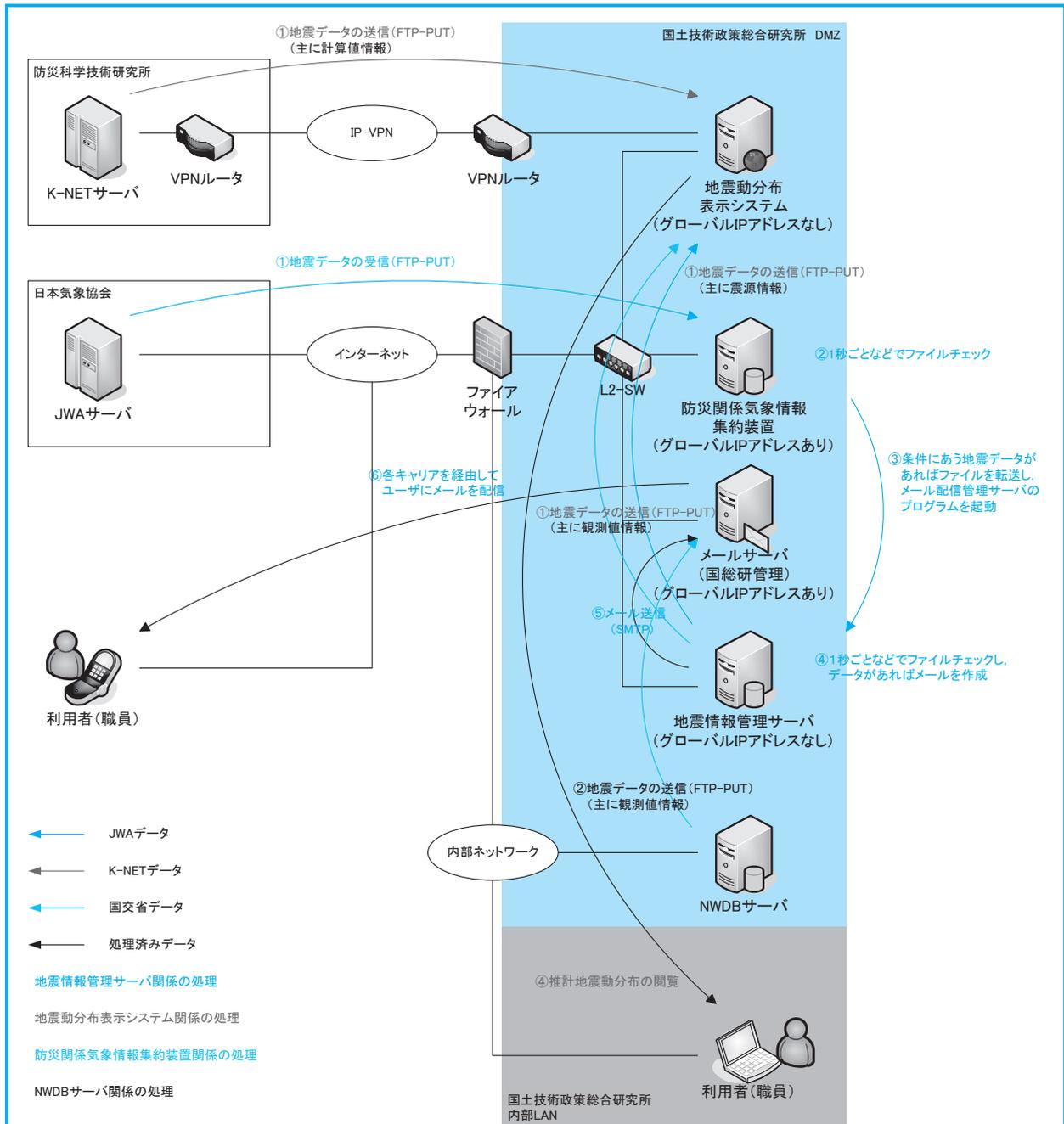


図-2 「即時震害推測システム」関係サーバの構成および機能とデータの流れ

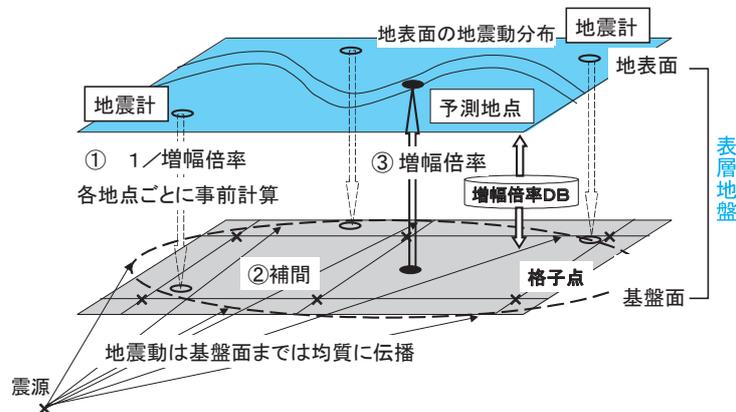


図-3 地震動分布の推定手順

る広域震度分布の予測などにも地盤の揺れやすさを表す指標としてよく用いられている¹⁰⁾。

(3) 基盤面での地震動強さの補間

基盤面での地震動強さの補間にあたっては、他機関の地震被害推定システムなどで用いられた実績のある三つの手法（Inverse Distance Weighted法, Minimum Curvature法, Kriging法）を整理し、既往地震の地震動分布を推定して適用性を比較検討した。その結果、震源情報が必要となるものの、補間精度が高く演算量も比較的少ないKriging法を採用した。

(4) 地震動分布表示プログラム

システム内の実際の演算では、公開されている最大地動分布の推定シミュレータRASMO¹¹⁾のプログラムを用いている。

例として、2013年4月13日に発生した淡路島付近の地震（気象庁マグニチュード6.3、最大震度6弱）の際の計測震度の分布を推定した結果を図一4に示す。

画面には、地震に関する基本的な情報として、

震央地名・地震名、発生時刻、震央位置、マグニチュード、震源の深さを表示するとともに、システム内で共有している強震記録の最大震度、データソースの共有状況を示している。図では近畿・中国・四国地方を表示しているが、他の地域や全国の表示、震度階、最大加速度、SI値のタブによる切り替え表示、強震記録を追加し再表示することができる。

5. 参照地震情報

国総研では、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（表一1）を「被害地震情報カタログ」としてデータベース化している。

「被害地震情報カタログ」ではそれぞれの地震特性として、震源のタイプ（海溝型、活断層型）、地震動の強さとその広がり、地震の発生地域（都市域、山間地、沿岸地域など）をまとめている。また、併せてそれぞれの地震の人的被害、住宅被害、施設被害（土砂災害、道路被害、河川被害、



図一4 地震動分布表示の画面イメージ
(△: K-NET観測点, ○: 国土交通省観測点)

表-1 データベース化した「被害地震情報カタログ」対象地震一覧

地震名	日付	発生時刻	マグニチュード	震央	震源深さ(km)	最大震度	人的被害(死者数)	住宅被害(全壊家屋数)
1 十勝沖地震	1968年 5月16日	9時48分頃	7.9	40° 44.0' N 143° 35.0' E	0	5	52	673
2 宮城県沖地震	1978年 6月12日	17時14分頃	7.4	38° 9.0' N 142° 10.0' E	40	5	28	1,183
3 日本海中部地震	1983年 5月26日	11時59分頃	7.7	40° 21.6' N 139° 4.4' E	14	5	104	934
4 釧路沖地震	1993年 1月15日	20時06分頃	7.5	42° 55.2' N 144° 21.2' E	101	6	2	53
5 北海道南西沖地震	1993年 7月12日	22時17分頃	7.8	42° 46.9' N 139° 10.8' E	35	5	202	601
6 北海道東方沖地震	1994年10月 4日	22時22分頃	8.2	43° 22.5' N 147° 40.4' E	28	6	0	39
7 三陸はるか沖地震	1994年12月28日	21時19分頃	7.6	40° 25.8' N 143° 44.7' E	0	6	3	72
8 兵庫県南部地震	1995年 1月17日	5時46分頃	7.3	34° 35.9' N 135° 2.1' E	16	7	6,434	104,906
9 愛知県東部	1997年 3月16日	14時51分頃	5.9	34° 55.6' N 137° 31.5' E	39	5強		
10 鹿児島県北西部を震源とする地震	1997年 3月26日	17時31分頃	6.6	31° 58.3' N 130° 21.5' E	12	5強	0	4
11 鹿児島県北西部を震源とする地震	1997年 5月13日	14時38分頃	6.4	31° 56.9' N 130° 18.1' E	9	6弱	—	—
12 山口県北部	1997年 6月25日	18時50分頃	6.6	34° 26.4' N 131° 39.9' E	8	5強		1
13 岩手県内陸北部を震源とする地震	1998年 9月 3日	16時58分頃	6.2	39° 48.3' N 140° 54.0' E	8	6弱	—	—
14 新島神津島近海	2000年 7月 1日	16時01分頃	6.5	34° 11.4' N 139° 11.6' E	16	6弱		15
15 新島神津島近海	2000年 7月15日	10時30分頃	6.3	34° 25.4' N 139° 14.5' E	10	6弱		
16 三宅島近海	2000年 7月30日	21時25分頃	6.5	33° 58.2' N 139° 24.6' E	17	6弱		
17 鳥取県西部地震	2000年10月 6日	13時30分頃	7.3	35° 16.4' N 133° 20.9' E	9	6弱	0	435
18 芸予地震	2001年 3月24日	15時27分頃	6.7	34° 7.9' N 132° 41.6' E	46	6弱	2	70
19 静岡県中部	2001年 4月 3日	23時57分頃	5.3	35° 1.4' N 138° 5.6' E	30	5強		
20 宮城県沖を震源とする地震	2003年 5月26日	18時24分頃	7.1	38° 49.2' N 141° 39.0' E	72	6弱	0	2
21 宮城県北部を震源とする地震	2003年 7月26日	7時13分頃	6.4	38° 24.3' N 141° 10.2' E	12	6強	0	1,276
22 十勝沖地震	2003年 9月26日	4時50分頃	8.0	41° 46.7' N 144° 4.7' E	45	6弱	0	116
23 新潟県中越地震	2004年10月23日	17時56分頃	6.8	37° 17.5' N 138° 52.0' E	13	7	68	3,175
24 釧路沖	2004年11月29日	3時32分頃	7.1	42° 56.7' N 145° 16.5' E	48	5強		
25 釧路沖	2004年12月 6日	23時15分頃	6.9	42° 50.8' N 145° 20.5' E	46	5強		
26 留萌支庁南部	2004年12月14日	14時56分頃	6.1	44° 4.6' N 141° 41.9' E	9	5強		
27 釧路沖	2005年 1月18日	23時09分頃	6.4	42° 52.5' N 145° 0.4' E	50	5強		
28 福岡県西方沖を震源とする地震	2005年 3月20日	10時53分頃	7.0	33° 44.3' N 130° 10.5' E	9	6弱	1	144
29 千葉県北東部	2005年 4月11日	7時22分頃	6.1	35° 43.6' N 140° 37.2' E	52	5強		
30 千葉県北西部を震源とする地震	2005年 7月23日	16時34分頃	6.0	35° 34.9' N 140° 8.3' E	73	5強	—	—
31 宮城県沖を震源とする地震	2005年 8月16日	11時46分頃	7.2	38° 8.9' N 142° 16.6' E	42	6弱	—	—
32 能登半島地震	2007年 3月25日	9時41分頃	6.9	37° 13.2' N 136° 41.1' E	11	6強	1	638
33 三重県中部	2007年 4月15日	19時29分頃	5.4	34° 47.4' N 136° 24.4' E	16	5強		
34 新潟県中越沖地震	2007年 7月16日	10時13分頃	6.8	37° 33.4' N 138° 36.5' E	17	6強	11	1,086
35 神奈川県西部	2007年10月 1日	2時21分頃	4.9	35° 13.5' N 139° 7.1' E	14	5強		
36 岩手・宮城内陸地震	2008年 6月14日	8時43分頃	7.2	39° 1.7' N 140° 52.8' E	8	6強	17	30
37 岩手県沿岸北部を震源とする地震	2008年 7月24日	0時26分頃	6.8	39° 43.9' N 141° 38.1' E	108	6弱	—	—
38 駿河湾を震源とする地震	2009年 8月11日	5時07分頃	6.5	34° 47.1' N 138° 29.9' E	23	6弱	1	0

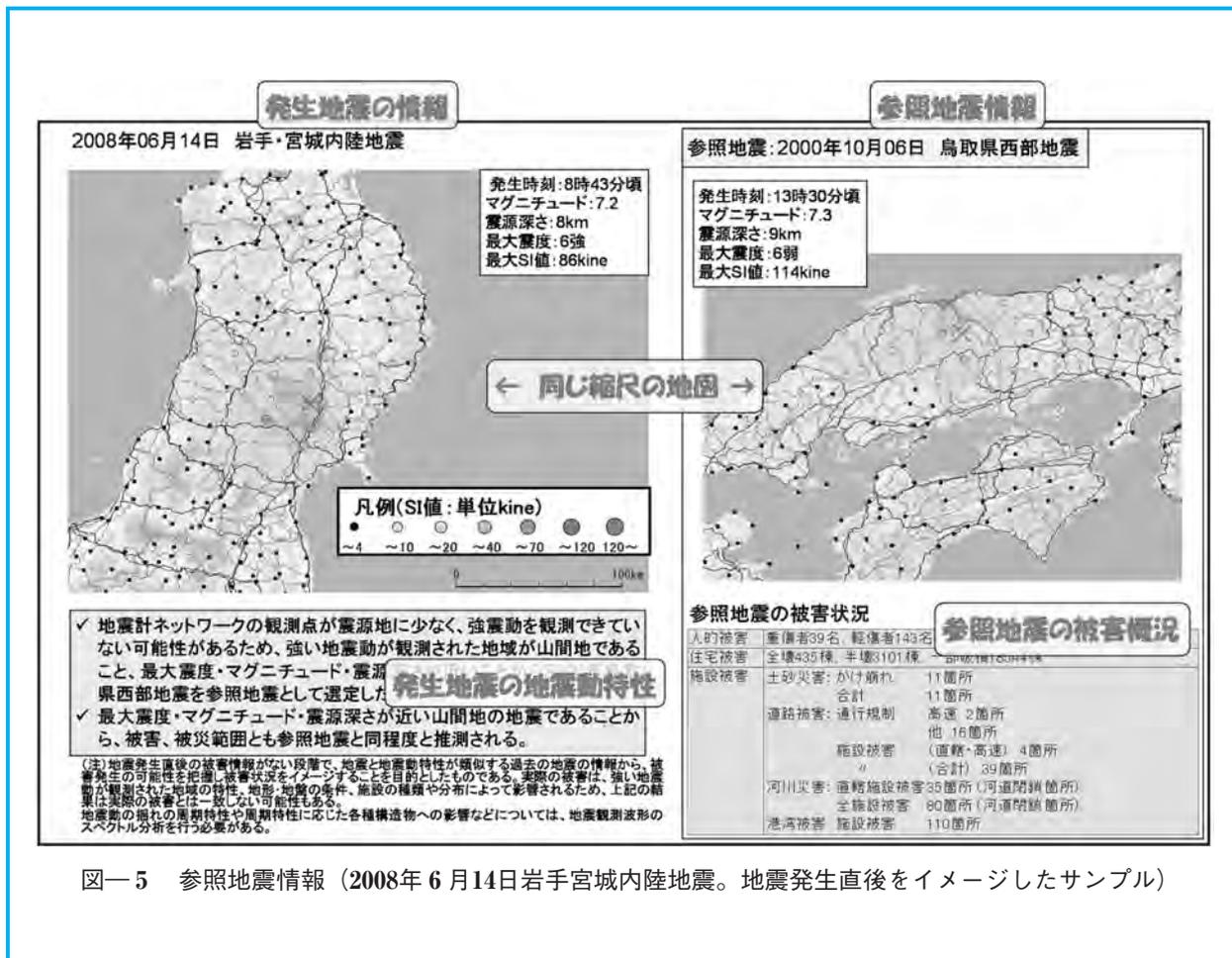
港湾被害)を整理している。

地震が発生した際(その時発生した地震を「発生地震」という)、「被害地震情報カタログ」に収録されている地震の中から、地震特性が類似する地震(これを「参照地震」という)を抽出し、現場などの災害対応の参考となるよう「発生地震」と「参照地震」の情報を「参照地震情報」としてとりまとめることができる(図-5)¹²⁾。

「参照地震情報」には、「発生地震」の情報としてマグニチュード、震源の深さなどの地震諸元、観測記録の最大値とともに地震動分布を表示し、

併せて「参照地震」についても同様の情報を表示する。また、地震動分布の表示に当たっては、地図の縮尺を同一とすることでそれぞれの地震動の広がりと比較できるようにするとともに、「参照地震」の被害状況を表示している。

「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、災害対応にあたる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。



図一五 参照地震情報 (2008年6月14日岩手宮城内陸地震。地震発生直後をイメージしたサンプル)

なお、地震動分布表示プログラムでは、「参照地震情報」の作成を支援する機能を有しており、地震動強さの分布が近似する既往地震の抽出を自動で行なっている。既往地震の抽出は、250mメッシュのSI値の分布からのSI値の大きさに応じたメッシュ数を用いた近似性の評価を行なっており、メッシュ数の近似性に応じて三つの「参照地震」の候補を示し(図一四右下)、地震の発生地域などを踏まえた選択により「参照地震情報」を作成する。

6. 構造物被害の推測

地表面の地震動強さからの構造物の被害推定は、道路橋、盛土を対象に実施しており、既往地震の被災データに基づいて提案された手法¹³⁾、¹⁴⁾を用いている。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¹⁵⁾で推測を実施している。

地震動強さからの構造物の被災度の関係については、本研究としてもその精度向上を図っており、その一例として、道路盛土の例を示す。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¹⁶⁾ため、平野・台地部と丘陵部の二つに分類し、被災データを整理した。

表一2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

表-2 平野・台地部の道路盛土の被災パターン・被災区分¹⁶⁾に加筆

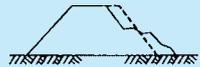
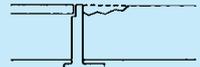
被災パターン	被災模式図	被災度	被災度の説明
I型		B	亀裂幅15cm以上または段差量20cm以上
		C	亀裂幅15cm未満または段差量20cm未満
II型		A	亀裂幅30cmをこえ、かつ段差量50cm未満をこえたもの
		B	亀裂幅30cmを以下または段差量50cm以下
V型		A	沈下量50cm以上
		B	沈下量20cm以上、50cm未満
		C	沈下量20cm未満

表-3 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	5 m未満		—	—	—	—	II-B (V-C)	II-A (V-B)
		5 m以上		—	—	(V-C)	II-B (V-B)	II-A (V-B)	II-A (V-A)
	積み擁壁ブロック 腰積み擁壁	擁壁高さ 3 m未満	5 m未満	—	—	—	—	—	II-B (V-C)
			5 m以上	—	—	—	II-B (V-B)	II-B (V-B)	II-B (V-B)
		擁壁高さ 3 m以上	5 m未満	—	—	—	—	—	—
			5 m以上	—	—	—	—	II-B (V-C)	II-B (V-B)
(砂質土・礫質土) 液化化地盤	盛りこぼし形状	5 m未満		—	—	—	II-B (V-C)	II-B (V-C)	II-A (V-B)
		5 m以上		—	—	—	I-B (V-C)	II-A (V-B)	II-A (V-A)
	積み擁壁ブロック 腰積み擁壁	擁壁高さ 3 m未満	5 m未満	—	—	—	I-C (V-B)	I-C (V-B)	II-B (V-B)
			5 m以上	—	—	—	I-C (V-C)	I-B (V-B)	II-B (V-B)
		擁壁高さ 3 m以上	5 m未満	—	—	—	I-B	II-B	II-B (V-B)
			5 m以上	—	—	—	I-B (V-B)	I-B (V-B)	II-A (V-B)

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-3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定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。

7. まとめ

本研究は、地震観測記録から被災状況を推測する手法を開発し、即時震害推測情報として提供することで、地震発生直後の情報の少ない段階において施設管理者の意思決定をサポートすることを目的にしている。

本研究の成果は、今後、地方整備局等の災害対応の現場に普及させていく予定であり、さらに、被害推測情報を起点として、地震発生後に得ることができるさまざまな情報と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。

【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, Vol.54, No.1, pp.64-65 (2012)
- 2) 例えば, 境有紀, 瀬瀬一, 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) 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/>
- 4) 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>
- 5) 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)
- 6) 地震ハザードステーションJ-SHISウェブサイト: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 7) 藤本一雄, 翠川三郎:「近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係」日本地震工学会論文集, Vol.6, pp.11~22 (2006)
- 8) 末富岩雄, 石田栄介, 磯山龍二:「空間補間による地震動分布推定の高精度化のための一検討」, 第28回地震工学研究発表会報告集, p.8 (2005)
- 9) 若松加寿江, 松岡昌志, 久保純子, 長谷川浩一, 杉浦正美:「日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築」, 土木学会論文集, No.759/I-67, pp.213-232 (2004)
- 10) 若松加寿江, 松岡昌志:「全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用」, 日本地震工学会誌, No.18, pp.33-38 (2013)
- 11) 防災科研川崎ラボラトリーウェブサイト: <http://www.kedm.bosai.go.jp/japanese/daidaitoku/software.html>
- 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, p.47 (2011.03)
- 13) 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, pp.48-53 (2005)
- 14) 土木研究所: 道路盛土の簡易耐震性評価法 (案), (2003)
- 15) 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, Vol.47, No.9, pp.155-160 (2005)
- 16) 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)