

◆ 報 文 ◆

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

長屋和宏* 日下部毅明** 真田晃宏***

1. はじめに

大規模地震発生時の施設管理者の震後対応は、地震諸元の把握、管理施設の緊急点検・緊急措置の実施、施設機能を回復するための応急復旧、地域の復興を考慮した本復旧の手順で実施される。一般に地震諸元の把握から所管施設の緊急点検・緊急措置までの活動段階を初期対応と定義することができ、施設被害の全体像を把握し、二次災害の発生を防ぐための緊急措置を施すことが主眼となる。初期対応を迅速に進めることは、震後対応全体の基本方針を定め、応急復旧や本復旧を円滑に進める上で極めて重要である。

即時震害予測システム (Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification : 以下、SATURN) は、地震直後の情報空白期に体制構築や緊急点検など施設管理者の初期対応の効率化を情報面で支援することを目的としたリアルタイム防災情報ツールである。

本稿は、平成15年度より開発を行い平成17年度に稼働を開始した、東北地方整備局におけるSATURNについて報告するものである。

2. SATURN の概要

SATURNは、地震計より得られる観測情報を活用し、地盤の液状化の可能性や橋梁などの施設被害およびその規模の予測を地震発生後15分程度で行う。SATURNにおける被害予測フローを図-1に示す。SATURNでは、液状化予測および被害予測を行う対象について、あらかじめ構造解析などを行い、被災度ランク毎の地震動強さを閾値として設定し、被害予測構造物データベースを構築する。

地震の発生および地震動強さに関する情報は、国土交通省所管施設に沿って20~40km間隔で全国約700箇所離散的に配置した地震計をマイク

ロ回線等でオンライン化している地震計ネットワーク¹⁾より取得している。地震観測地点以外の地震動分布は、①観測位置の地盤応答特性を考慮して工学的基盤における地震動特性値に変換、②工学的基盤では地震動が均質に伝播するものとして工学的基盤における地震動分布を推定、③工学的基盤で面的に推定された地震動特性値を地表までの応答特性を考慮して地表面における地震動強さに変換する補間計算により推定している。最後にこうして得られた被害予測構造物地点における地震動の大きさと被害予測構造物データベースの閾値を比較し、各構造物の被害を予測・表示する。また、地震発生時のリアルタイム予測の他、想定地震の規模・震源位置を入力することにより、想定地震に対する被害想定を行うことができる。

SATURNは、兵庫県南部地震の経験を踏まえ、土木研究所および関東地方建設局(当時)の共同で開発が行われ、平成9年よりプロトタイプシステム(以下、関東版SATURN²⁾)を試験運用している。なお、関東版SATURNは、地震計ネットワークサーバと直結した専用端末で稼働するシ

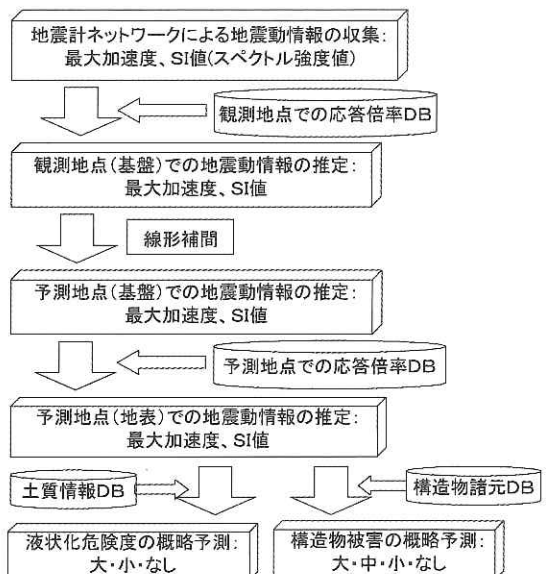


図-1 被害予測フロー

Development of a Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification (SATURN) in the Tohoku Regional Development Bureau

ステムとなっており、防災訓練におけるシナリオ作成などで活用されている。

3. 東北地方整備局におけるシステム整備の背景

東北地方では平成15年5月26日、7月26日にそれぞれ、震度6弱を上回る地震が発生した。また、宮城県沖地震の発生確率は30年以内に99%といわれ³⁾、その切迫性から大規模地震に対する備えの重要性がますます高まっている。このような背景を踏まえ、東北地方整備局では、大規模地震時において施設管理者が適切な対応を取ることができるようになるため、既往地震により得られた教訓などを生かし、災害対応能力の向上方法の検討を実施中である。この中でSATURNの開発・活用が有効な対策の1つとして位置づけられており、本開発はその一環として実施された。

4. システム開発における基本的考え方

東北地方整備局におけるSATURNの構築は、関東版SATURNを改良する形で実施し、試験運用より得られた知見および近年発生した地震による被害や災害対応時の課題を整理し、開発の基本方針とした。

4.1 被害予測情報の共有

大規模地震時における初期対応では、関係職員間で情報共有を図り、効率的に震後対応を実施することが非常に重要である。

このため、今回のシステム開発では、被害予測結果を共有できるウェブブラウザを活用したシステムとした。これにより関係する全ての職員がLAN接続された執務用コンピュータから情報を閲覧することができる。

4.2 予測対象構造物の拡大

平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震では、道路橋の他に土構造物などの被害によって多くの通行障害が発生し、道路盛土などがネットワークの隘路となりうる事が再認識された。

これらの状況を踏まえ、関東版SATURNの予測対象施設に加え、道路盛土の被害予測を実施することとした。なお、道路盛土同様に同地震による被害がクローズアップされた斜面崩壊についても被害予測を実施することを検討したが、地震動と被害の関係を定量的に示す被害関数の研究がこれまで進んでいないことから、今後の課題とした。

4.3 既存の設備・ツールなどとの連携

所管施設の保全では、平常時における施設管理を目的にCCTVカメラをはじめとする設備・ツールが整備されている。しかしながら、これらの設備・ツールを大規模地震の緊急時に効果的に活用することは担当職員の経験などに依存している。このため、これら既存設備・ツールを大規模地震時の概略状況把握の情報源として効率的に活用することを目的とした活用方策の検討を行い、その成果をシステムの開発に盛り込んだ。

また、橋梁の耐震補強工事などは「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」⁴⁾が鋭意進められている。このため、施設の状況が急激に変化しており、システムが保有する被害予測構造物データベースの陳腐化が懸念される。このような状況に対応するため、本システムの開発では、施設情報を日常的に管理している外部のデータベースとの連携を図り、鮮度の高い情報を利用者に提供する枠組を構築した。

5. SATURNの具体的開発内容

今回開発を行ったシステムの画面イメージを図-2に示す。前述した様に今回開発したシステムは関東版SATURNをベースとしているため、基本となる予測手順などは、関東版SATURNに準じている。ここでは、今回の構築で新たに盛り込んだ機能および改良した点について記述する。

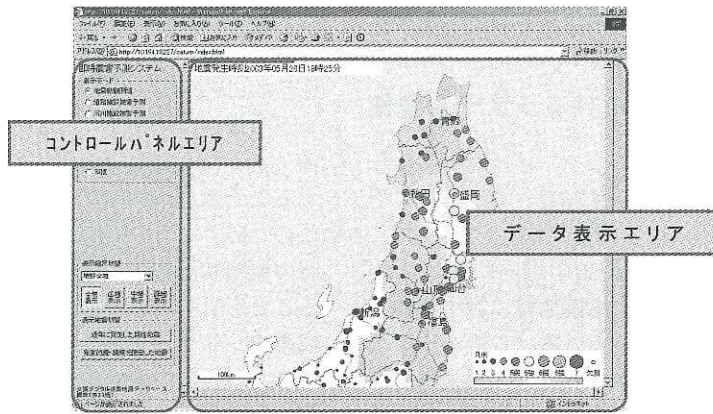
5.1 システムのネットワーク化

本システムの開発にあたっては、開発の基本方針でも示したように、ウェブブラウザを用いたシステムとして構築した。

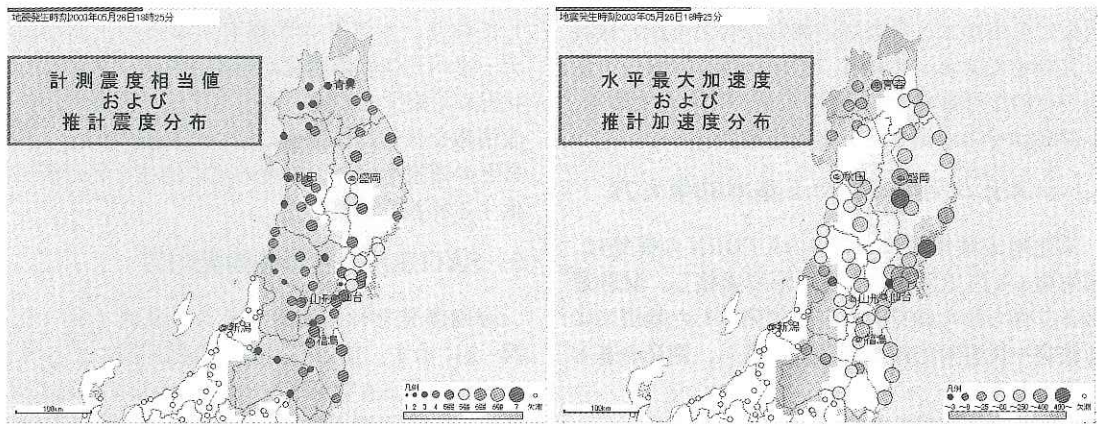
システム画面の基本構成は、図-2、a)に示すようになっており、表示の切り替え操作などを行う「コントロールパネルエリア」と地震観測記録や被害予測結果を表示する「データ表示エリア」より構成される。システムの操作法については、ネットワーク化に伴い専任職員のみならず多くの防災関係職員が情報を閲覧すること、地震発生時に初めてシステムを操作する可能性があること、などから可能な限り「コントロールパネルエリア」の表示のみで理解できることとした。

5.2 地震動分布の予測

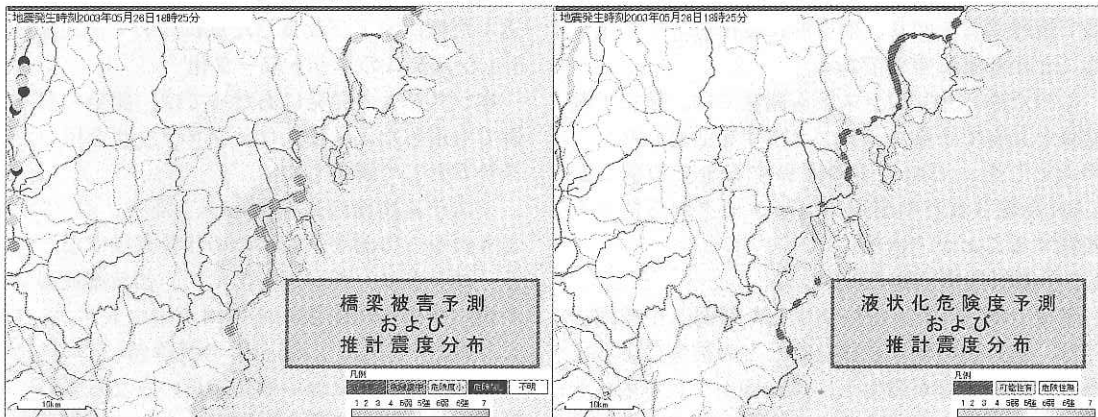
本システムでは、概要に示したように、地震計で観測した観測記録を工学的基盤の地震動特性値に変換し、工学的基盤および地表での面的な地震動分布推定を行い、施設位置における地震動強さ



a) 操作画面イメージ(起動時画面)



b) 地震動観測値および推計地震動分布の表示イメージ(全体表示)



c) 道路施設被害予測の表示イメージ(中域表示)

図-2 SATURN画面イメージ

を推定している。本開発では、東北地方整備局管内の102箇所の地震計の内、地質状況が明らかとなっている62箇所の観測記録を地震動分布予測に用いている。

なお、関東版SATURNでは、工学的基盤での

地震動分布からの地表面地震動推定は、被害予測を実施する施設位置のみで実施しており、発生地震の震度分布については地震計設置位置の観測記録表示となっている。しかしながら、震度などの地震動情報を防災活動に活用するに当たっては、

離散的な実測の観測記録のみならず、面的広がりを持つ詳細な震度分布が求められており、気象庁では実測データと地盤の増幅度を組み合わせた「推計震度分布」を平成16年3月より公表している⁵⁾。このため、今回のシステム構築でも地震計ネットワークで得られた観測記録を用い、500mメッシュの推計地震動分布を震度、最大加速度、SI値（スペクトル強度値）それぞれについて算出し、図-2、c) に示すように被害表示画面でも推計震度分布を重ねて表示している。なお、施設の被害予測において地盤応答倍率を算出するための地質柱状図を得ることができない地点については、推計分布で算出した地震動を用いて予測を行っている。

また、地震動分布推定のプロセスにおいて、東北整備局管内の南部（福島県、山形県）の地整境界部では、地震計の設置状況から、地震動分布推定が外挿となってしまう恐れがある。このため、本システムでは、東北地方整備局管内で観測された観測記録以外に、近隣の関東地方整備局、北陸地方整備局の観測記録も活用し、より精度の高い地震動分布推定を行っている。

5.3. 液状化危険度予測

液状化危険度予測については、関東版SATURN同様PL（液状化指数）法⁶⁾によりPL=5または15となる加速度を算出して液状化危険度判定データベースを構築し、PL<5：液状化の危険性無、5≤PL<15：液状化危険度小、PL≥15：液状化危険度大、の3段階で予測判定している。しかしながら、直轄国道、直轄河川沿線および橋梁地点を網羅する形で必要な地質情報が入手できなかったため、平野部が多く液状化危険度が高いと考えられる、宮城県、秋田県の国道沿線および必要な情報の得られた橋梁地点の液状化判定では、地質柱状図を用いたPL法による液状化判定を実施し、その他では、地形区分に基づく簡便法により液状化危険度判定を行った。

地形区分に基づく液状化危険度判定手法とは、PL法による約2,600箇所の判定結果を地形区分⁷⁾ごとに分類し、図-3に示す様なPL=5または15となる加速度の累積ヒストグラムを作成し、ある度数を超える加速度をその地形区分の液状化危険度閾値としたものである⁸⁾。

本システムでは、各地形区分別の液状化危険度閾値を一般的な地形区分による液状化判定法との対比⁹⁾から33%を超過する加速度とし、表-1に

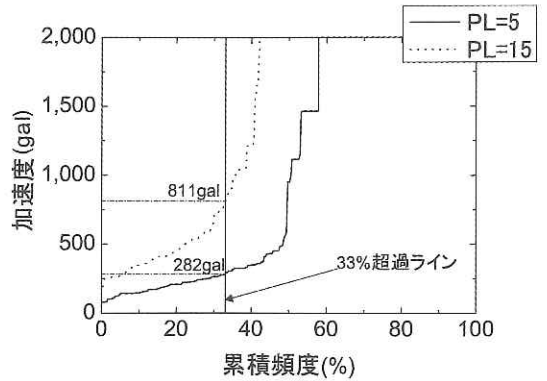


図-3 PL法による液状化判定の地形区分毎の累積頻度（三角州・旧河道の例）

表-1 地形区分による液状化危険度閾値（累積ヒストグラムにおける33%超過時の加速度）

	タイプI地震動 (プレート境界型大規模装置)		タイプII地震動 (内陸直下型地震)	
	PL=5	PL=15	PL=5	PL=15
山地	液状化の危険性無し			
台地	690	-	1,288	-
扇状地	356	-	661	-
自然堤防	200	382	310	712
三角州・旧河道	180	441	282	811

示す形で設定した。これによりPL法同様に3段階で予測判定を実施している。

5.4 道路施設の被害予測

道路施設の被害予測は、前述したように関東版SATURNの橋梁被害予測に加え、盛土被害予測を実施している。

橋梁の被害予測手法は、関東版SATURN同様、設計に適用された示方書の年次区分などに応じ、危険性無、危険度小、危険度中、危険度大の4段階で予測判定している。なお、近年鋭意実施されている耐震補強を施した橋脚の被害予測については、現行の道路橋示方書に準拠した耐震性能を有するものとし、適用示方書年次区分を「復旧仕様以降」として閾値の設定を行った。

一方、道路盛土の被害予測は、道路盛土を対象とした数値解析結果より作成された沈下量評価式を用いて被害予測を行っている¹⁰⁾。盛土沈下量評価式は、道路防災総点検の評価点数および水平最大加速度の関数となっており、次式に示すとおりである。

$$d=0.165 \times (p - 2) \times \left(\frac{PGA}{G}\right)^{0.6}$$

ここに、d：盛土の推定沈下量 (m)



図-4 CCTVとの連携業務イメージ

- p : 道路防災総点検の評価点数
- PGA : 水平最大加速度 (gal)
- G : 重力加速度 (980gal)

被災度判定は、盛土の地震に対するリスクを過去の被害事例および被災による車両通行阻害状況などから勘案し、 $d < 1m$: 危険性無, $d \geq 1m$: 危険性有、の2段階で予測している。

5.5 河川施設の被害予測

関東版SATURNにおける河川堤防の被害予測は、平成7年河川堤防耐震点検マニュアル¹⁰⁾に基づく詳細点検箇所を対象に堤防沈下による機能損失から、危険性無, 危険度小, 危険度中, 危険度大の4段階で予測判定している。

今回のシステム構築では、網羅的な施設管理として、東北地方整備局が管理する全ての河川堤防を対象に被害推定を行うものとして、同耐震点検において詳細点検を実施していない堤防の被災度判定を実施する必要性が生じた。このため、先の地形分類による液状化危険度判定手法を用い、河川堤防の標準断面から堤防の沈下を予測し、同様の危険度評価を行っている。

5.6 既存設備・ツールなどの活用

4.3で述べた既存設備・ツールの活用に関する

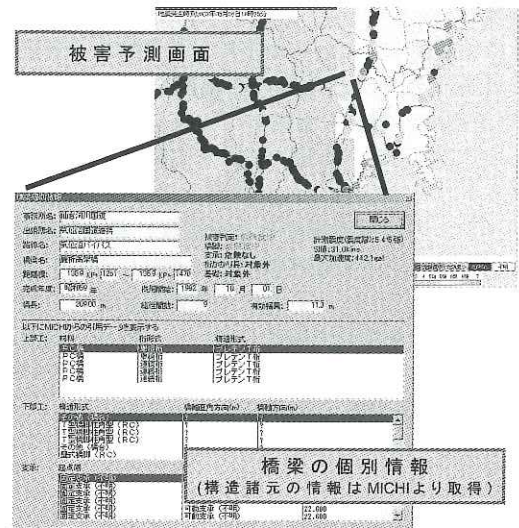


図-5 MICHIIからの個別情報の表示

検討の成果を活用し、一部の事務所では試行的にシステム内に既存設備・ツールに関するレイヤを設け、日常的な施設管理に活用されているCCTVカメラや道路の異常に関する情報を利用者から収集するロードセーフティステーション¹¹⁾、などの既存の設備・ツールの位置情報と地震動分布を併せて表示し、大規模地震時に情報を取得すべき設備・ツールの優先順位付けを行う機能を設けた。CCTVカメラの活用例を図-4に示す。

あらかじめCCTVカメラの設置位置およびカメラより状況を確認することができる施設などを整理したデータベースを構築し、地震発生時には推計震度分布から各カメラ位置における地震動強さを推定する。これにより、大きな地震動を受けたカメラから順に通行状況などの確認を行うことができる。また、SATURNにより被害の発生が予測された施設については、その施設が撮影範囲に入っているカメラから施設状況を直接確認、もしくはその前後のカメラからの交通状況などの情報により施設の状況を推察することが可能となる。

また、外部データベースとの連携についても、道路施設の情報を保有する道路管理データベースシステム (MICHII)¹²⁾ と連携を図ることとした。これにより仮に耐震補強の実施から日が浅く、被害予測構造物データベースが更新されていないためSATURNの被害予測において危険性を示されても、図-5に示すような形で橋梁の個別情報をMICHIIより取得することで、利用者が施設の現況をイメージできるようにした。

6. まとめ

東北地方整備局の大規模地震発生時における震後対応能力向上を目的に即時震害予測システムの開発を実施した。システムの構築にあたっては、近年発生した地震による課題などの整理、試験運用中のプロトタイプシステムより得られた知見の整理などを行うと共にその成果を反映させた。本稿では、開発したシステムの役割・機能と個別の予測手法について、プロトタイプシステムからの改良点を中心に紹介した。

今回のシステム構築を踏まえ今後のSATURNの発展の方向を考えた場合、以下のような課題が挙げられる。

- ①防災業務モデルとの連携…地方整備局の地震発生時における防災業務を踏まえ、SATURNが効果的に活用される業務モデルの構築。
- ②予測対象施設の拡張…本開発で盛り込むことのできなかった斜面の被害予測を始め、トンネル、占用・沿道施設などを被害予測。
- ③被害予測精度の向上…より高度な検討成果に基づく精度の高い被害予測手法を開発するとともに、本システムが活用される業務モデルに応じた被害予測精度の検討。
- ④ハザードの多様化…地震に対する被害予測のみならず、沿岸部での津波などのハザードに対する被害予測。

また今後は、本システムの運用における課題の整理、改良をすすめ、本研究・開発の最終成果として、即時震害予測システムに関するマニュアルの作成を行うとともに、各地整への展開を図る予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課：

建設省地震計ネットワークの整備計画および活用方針、防災技術課資料第1号、1999.3

- 2) 日下部毅明、杉田秀樹、大谷康史、金子正洋、濱田禎：即時震害予測システム (SATURN) の開発、国土技術政策総合研究所資料第71号、2003.1
- 3) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：長期評価における確率値の更新と活断層の地震規模の表記について、地震調査研究推進本部ホームページ (http://www.jishin.go.jp/main/chousa/05jan_kakuritsu/index.htm)、2005.1
- 4) 国土交通省道路局国道・防災課、地方道・環境課、鉄道局 施設課：道路、新幹線の橋梁の耐震補強の推進について、国土交通省ホームページ (http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/06/060308_html)、2005.3
- 5) 柿下 毅：気象庁の新しい震度情報—推計震度分布一、震災予防 No.186 pp16-20、2002.9
- 6) 道路橋示方書・同解説V耐震設計編、pp130、(社)日本道路協会、2002.3
- 7) 久保智弘、久田嘉章、柴山明寛、大井昌弘、石田瑞穂、藤原広行、中山圭子：全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化および面的な早期地震動推定への適用500mメッシュ地形分類データ、防災科学技術研究所ホームページ (http://www.j-map.bosai.go.jp/j-map/500m_dl/paper/2-56-1-21.html)、2004.8
- 8) 吉村優治、鈴木正人、堀裕季子、長屋和宏：統計的手法を用いた微地形分類による液状化判定の研究、土木学会中部支部研究発表会講演概要集、2005.3
- 9) 例えば、松岡昌志、翠川三郎：国土数値情報を利用した広域震度分布予測、日本建築学会構造系論文報告集、第447号、1993.5
- 10) 建設省河川局治水課：平成7年河川堤防耐震点検マニュアル、1995.3
- 11) 国土交通省東北地方整備局道路部：道の異常はコンビニエンスストアへ！、国土交通省東北地方整備局ホームページ (<http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00045/road/sesaku/vsp/rst/top.htm>)
- 12) (財)道路保全技術センター：道路管理データベースシステム (MICHI)、道路保全技術センターホームページ (<http://www.hozon.or.jp/center/doc/pdf/michi.pdf>)

長屋和宏*



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
Kazuhiro NAGAYA

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長
Takaaki KUSAKABE

真田晃宏***



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主任研究官
Akihiro SANADA