

ISSN 1346-7328

国総研資料 第9号

平成13年11月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.9

November 2001

平成12年度防災技術課調査研究成果概要報告書

杉田秀樹・村越潤・葛西伸寛・野崎智文・大谷康史・真田晃宏・大住道生

Annual Report of Research Activities, Earthquake Disaster Prevention Technology Division, 2000

Hideki SUGITA, Jun MURAKOSHI, Nobuhiro KASAI, Tomofumi NOZAKI,
Yasushi OHTANI, Akihiro SANADA, Michio OHSUMI

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

平成 12 年度防災技術課調査研究成果 概要報告書

杉田 秀樹 *

村越 潤 **

葛西 伸寛 ***

野崎 智文 ****

大谷 康史 *****

真田 晃宏 *****

大住 道生 *****

Annual Report of Research Activities, Earthquake Disaster Prevention Technology Division, 2000

Hideki SUGITA *

Jun MURAKOSHI **

Nobuhiro KASAI ***

Tomofumi NOZAKI ****

Yasushi OHTANI *****

Akihiro SANADA *****

Michio OHSUMI *****

概要

防災技術課において平成 12 年度に実施した調査研究の成果をまとめたものである。公共土木施設の耐震性水準の横断的整合、震災対策体制の評価技術、幹線系道路の防災評価、総合的な震災対策支援システム、道路網の合理的な地震時リスク評価技術、震害予測システムの構築、強震計の点検調査等の調査研究の他に、学会などでの口頭発表論文及び雑誌などへの投稿論文を含んでいる。

キーワード：公共土木施設、地震防災、パフォーマンスマトリクス、震災対策体制、防災計画、地域計画、交通制御、リモートセンシング、強震観測、防災情報システム

Synopsis

This note is the annual report of research activities of the earthquake disaster prevention technology division in 2000. This includes researches such as: consistence of seismic potential in various civil infrastructures; evaluation of the system of road administrator immediately after earthquake; evaluation of seismic safety of highway networks against earthquakes; supporting system for earthquake disaster prevention; method of risk estimation for road network under earthquakes; development of real-time earthquake damage estimation system for road and river facilities; maintenance of strong-motion observation sites. In addition, this also includes accepted papers at congresses.

Key Words : civil infrastructure, earthquake disaster prevention, performance matrix, earthquake disaster countermeasure system, disaster prevention plan, regional plan, traffic control, remote sensing, strong-motion observation, disaster prevention information system

- * 現 独立行政法人建築研究所国際地震工学センター上席研究員
- ** 現 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
地震防災研究室室長
- *** 現 国土交通省関東地方整備局荒川上流工事事務所管理課専門職
- **** 現 国土交通省道路局企画課道路防災対策室課長補佐
- ***** 現 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
- ***** 現 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
- ***** 現 国土交通省四国地方整備局土佐国道工事事務所調査第二課課長

- * Currently, Principal Researcher, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Independent Administrative Institution Building Research Institute
- ** Currently, Head, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- *** Currently, Assistant Head, Administrative Division, Ara River Upper Reaches Works Office, Kanto Regional Development Bureau, Ministry of

Land, Infrastructure and Transport

**** Currently, Deputy Head, Road Emergency Management Office, Road Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

***** Currently, Senior Researcher, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

***** Currently, Senior Researcher, Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management, National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

***** Currently, Head, Second Planning Division, Tosa National Highway Works Office, Shikoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

目 次

調査研究

1. 公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究	5
2. 震災対策体制の評価技術に関する研究	7
3. 強震計管理費	9
4. 地区の防災要素の影響評価手法の開発 (幹線系道路の防災評価に関する研究)	13
5. 総合的な震災対策支援システムの研究開発	17
6. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発	19
7. 震害予測システムの構築に関する試験調査	21
8. 河川施設の強震計の点検調査	23
9. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査	25

(付属資料)

投稿・発表

1. 兵庫県南部地震5周年シンポジウム
(平成12年10月5日～6日・東京都千代田区)
 - ・土木構造物の地震観測～展望と課題……………27
2. 第2回日韓科学技術フォーラム
(平成12年10月24日～26日・東京都港区)
2nd Japan-Korea Science and Technology Forum
(2000.10.24～26、Minato-ku, Tokyo-to, Japan)
 - ・ Strong Motion Observation for Civil Infrastructure ……………29
3. 第39回土木研究所研究発表会
(平成12年12月7日～8日・茨城県つくば市)
 - ・ 建設省地震計ネットワークの活用……………33
4. 土木技術資料
平成12年9月号
 - ・ 土木構造物の強震観測の現状と課題……………37
 - ・ 地震時の交通状況評価に関する研究……………43平成13年1月号
 - ・ 地震時危機管理の近未来像……………49平成13年2月号
 - ・ 震災情報システム整備マニュアル(案)の概要……………55

**2000（平成 12）年度
調査研究
概要報告書**

1. 公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究

研究期間：平成 10 年度～平成 12 年度

担当者：課長：杉田秀樹、課長：村越潤、研究員：大谷康史、研究員：大住道生

要 旨： 社会基盤施設の耐震対策に際しては、地域で想定される地震動に対する地震時性能が国や地域の要求を満たすとともに、適切な投資配分のもとでリスクが最小化される必要がある。しかし、現状では施設毎に地震時性能の目標が設定されているため、地域全体として耐震対策投資が最適化されているかどうか不明確である。本研究は、地域に存在する複数の社会基盤施設の耐震性水準を、相互の整合性を明確にしながら、合理的に設定するための手法について検討するものである。12 年度は、各道路施設が各地震レベルに対して要求される通行機能に関する性能と、各道路施設の損傷状態を定量的に結びつけることにより性能評価に基づく耐震設計体系の根幹を構築した。さらに想定される各損傷状態を復旧するために必要な期間を試算し、各施設の耐震性水準の設定に関するケーススタディーを行った結果、道路施設の性能評価指標として交通規制期間が使えることがわかった。

2. 震災対策体制の評価技術に関する研究

研究期間：平成 11 年度～平成 14 年度

担当者：課長：村越潤、課長：杉田秀樹、研究員：大谷康史

要 旨： 公共土木施設を管理する国土交通省の工事事務所、地方公共団体において、地震発生時に所管施設に関する被害・復旧情報を迅速に収集し処理することは、震災対策にとって必須の事項である。本研究では、想定された震災対策体制をネットワーク表現し、体制システム全体としての情報収集・処理・集約に関するパフォーマンスを定量的に評価するために、防災計画に基づく震災対策体制の活動をシミュレートし、体制の参集方法、点検ルート、班構成等を変化させながら、迅速かつ的確に活動可能な体制計画を立てることができるツールを開発し、これにより、事務所や地方公共団体が行う震災対策体制の妥当性の評価を行うことを目的としている。

12 年度は、過年度に理論構築した体制評価プログラムについて、体制活動のリスクを評価できるように改良を行った。

3. 強震計管理費

研究期間：昭和 56 年度～平成 15 年度

担当者：課長：村越潤、管理係長：葛西伸寛

要 旨： 土木研究所では、局所的な地形・地盤条件が地震動特性に及ぼす影響の解析を目的として特定地域に多数の地震計を系統的に配置する高密度観測と、構造物や周辺地盤上に強震計を配置して構造物や地盤の地震時振動特性を把握するための一般強震観測を実施している。

本課題は、土木研究所が所有する観測施設の継続的な維持管理、観測記録の処理・蓄積および地震動の伝播特性に関する基礎的な検討を行うことを目的とする。

平成 12 年度は、①高密度強震観測施設の保守点検と観測記録集の作成、②一般強震観測施設(土研所有分 14 箇所)の保守点検と観測記録集の作成(地建等所有分を含む)、③観測施設・観測記録データベースの拡充を行った。

4. 地区の防災要因の影響評価手法の開発

研究期間：平成 10 年度～平成 14 年度

担 当 者：課長：村越潤、研究員：大谷康史、研究員：真田晃宏

要 旨： 平成 7 年兵庫県南部地震による市街地の甚大な被害を背景に、各地域で推進される防災まちづくりを技術面から支援することを目的として、平成 10 年度より 5 箇年計画で建設省総合技術開発プロジェクト「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」が開始された。本研究は、「地区の防災対策技術の開発」をテーマに、救出・救護・避難問題に対する幹線系道路の信頼性評価手法の検討を行うものである。5 箇年計画の 3 年度目である。12 年度は、道路機能障害に影響を与える施設の整理を行い、その結果を基に、施設被害等の交通への影響の評価手法について検討し、ケーススタディーを行った。また、評価手法の簡略化についても検討を行った。

5. 総合的な震災対策支援システムの研究開発

研究期間：平成 11 年度～平成 14 年度

担 当 者：課長：村越潤、研究員：真田晃宏

要 旨： 本研究は、国土交通省の所管する各種施設の防災対策として、震前・震後の対策活動を支援する震災対策支援システムの検討を行うものである。システムの検討に際しては、情報通信技術や航空宇宙技術などの先端技術の活用方法、および対策活動に即して要素技術に要求される機能・性能・精度などを明らかにすることに重点を置いている。

12 年度は、リモートセンシング技術を利用した被害検知の手順に関する調査、被害推定の精度向上のための基礎的調査として、過去の地震にお

ける施設被害の実態調査、および鳥取県西部地震等における道路管理者の情報収集・伝達・管理に関する実態調査を実施した。その結果、レーザプロファイラーによる施設被害の計測では、岸壁の沈下や道路橋の落橋の検知に有効であることが明らかとなった。

6. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

研究期間：平成 12 年度～平成 14 年度

担当者：課長：村越潤、研究員：真田晃宏

要 旨： 本研究は、道路閉塞要因となる道路施設、占用施設に関する既往の地震での被災事例を調査し、被災による道路区間の閉塞可能性を評価する手法について検討するとともに、既に開発済みである道路ネットワーク耐震性評価手法との連携を図り、被害想定に対応した道路ネットワークとしてのリスク評価を実現するものである。12 年度は、兵庫県南部地震において道路閉塞要因となった被災事例を中心に、既往地震での被害データの有無及び蓄積状況について調査するとともに、道路路面等を対象に被災データ、地震の揺れの大きさ、地形に関するデータを収集し、被害の有無や程度に関する影響要因を検討した。

7. 震害予測システムの構築に関する試験調査

研究期間：平成 9 年度～平成 12 年度

担当者：課長：村越潤、研究員：大谷康史

要 旨： 関東地方整備局では、平成 7 年度より管理施設に作用した地震動に関する情報を震後即時に収集する地震計ネットワークを構築している。本課題では、地震計ネットワークより得られた地震動情報を利用して、管理施設の被災可能性を震後即時に予測する震害予測システム(SATURN)を開発し、地方整備局の防災業務に導入することを目的とするものである。河川堤防の被害予測を行うプロトタイプシステムは昨年度の成果により関東地方整備局で試験運用を行っており、平成 12 年度は、予測精度を検証するためのシステムを作成するとともに、試験運用を通じて明らかになった改良点を整理して動作環境の改良を行った。

8. 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：平成 12 年度

担当者：課長：村越潤、管理係長：葛西伸寛

要 旨： 建設省が所管する公共土木施設の一般強震観測は、昭和 32 年に近畿地

方建設局管内の猿谷ダムにSMAC型強震計を設置して開始された。平成13年3月現在、建設省、北海道開発局、沖縄総合開発事務所が所管する河川、道路、ダム、砂防施設に付設された880箇所の地震観測施設で観測が実施されており、観測された地震波は各種構造物の耐震設計基準や地震動特性の研究に活用されている。

本課題は、一般強震観測のうち建設省が河川施設に設置した観測施設を対象として、強震計の年1回の動作確認としての保守点検、地震記録の回収、及び数値化処理を行うことを目的とする。

平成12年度は89箇所の強震計保守点検と記録の回収、処理を行うと共に、河川局が主導する「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」に係る技術指導を図った。

9. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査

研究期間：平成11年度～平成12年度

担当者：課長：村越潤、研究員：大谷康史

要旨：1995年の阪神・淡路大震災の教訓の一つとして、地震直後における被災地域の特定や被災状況の把握が施設管理者の初期対応に極めて重要なことが指摘された。これを受けて、国土交通省（当時、建設省）では平成7年度から地震計ネットワークを整備し、平成11年3月には697点の観測点が稼働するに至った。平成11年度に、この地震計ネットワークにより収集した地震動情報を活用するため、情報を管理するデータベース（以下、「DB」とする。）を構築し、平成12年度に構築したDBを効率よく管理するためのインターフェースを整備した。また、平成11年度に地震動数値情報（最大加速度、SI値）の閲覧機能を作成しており、平成12年度は都市域の拡大図を追加し、利便性を向上させた。

1. 公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究

1. 公共土木施設の耐震性水準の横断的整合に関する研究

研究期間：平成10年度～平成12年度

担当者：課長：杉田秀樹、課長：村越潤、研究員：大谷康史、研究員：大住道生

【要旨】

社会基盤施設の耐震対策に際しては、地域で想定される地震動に対する地震時性能が国や地域の要求を満たすとともに、適切な投資配分のもとでリスクが最小化される必要がある（図-1参照）。しかしながら、現在のところ各施設の耐震設計には施設毎に異なる基準が用いられており、また、各々の基準では構造物の重要度等を与件として地震時性能の目標が設定されているため、地域全体として耐震対策投資が最適化されているかどうかが不明確である。本研究は、地域に存在する複数の社会基盤施設の耐震性水準を、相互の整合性を明確にしながら、合理的に設定するための手法について検討するものである。これまでに、現状の各種施設の耐震設計体系の比較分析を行い、耐震性水準のパフォーマンスマトリックスによる表現方法及び、耐震性水準と対策コストを勘案しながら耐震対策を選択するためのI0Cカーブの概念を提案している。平成12年度は、特に道路施設に着目して、各道路施設が各地震レベルに対して要求される通行機能に関する性能と、各道路施設の損傷状態を定量的に結びつけることにより、性能評価に基づく耐震設計体系の根幹を構築した。さらに想定される各損傷状態を復旧するために必要な期間を試算し、各施設の耐震性水準の設定に関するケーススタディーを行った結果、道路施設の性能評価指標として交通規制期間が使えることがわかった（図-2参照）。

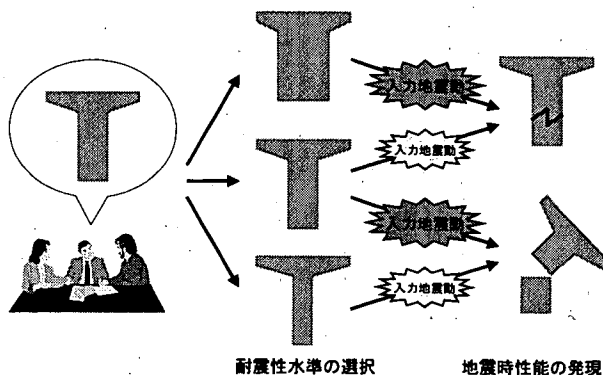


図-1 耐震性水準、地震時性能の概念

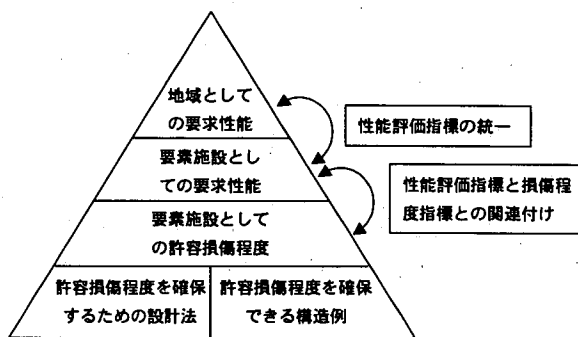


図-2 性能設計体系イメージと本研究課題の関係

1. 研究目的

社会基盤施設の耐震対策では、適切な投資配分のもと、地域で想定される地震動に対して各種施設の地震時性能が整合している必要がある。本研究は、複数の社会基盤施設の耐震性水準を、相互の整合性を明確にしながら、合理的に設定するための手法を検討するものである。これまでに、現状の各種施設の耐震設計体系の比較分析を行い、様々な入力地震動に対する施設の地震時性能や耐震対策コストを表現する方法を提案している。各種施設についてこれらの表現方法を適用し、耐震性水準の横断的整合性を確認するためには、各種施設間で共通化された地震動レベルと性能レベルの表示方法を具体化する必要がある。このため、平成12年度は、道路施設を対象に、性能レベルと施設の損傷程度との関係を試算により求め、具体化された性能マトリックスを作成する事を目的とした。

2. 研究方法

2.1 パフォーマンスマトリックスの性能軸の整理

各種施設の耐震性水準を比較するためには、各施設の性能を同じ指標で表現しなければならない。例えば道路施設は車を通行させることがその基本的な機能であるから、例えばその性能はある出発地点から到着地点までのアクセス時間で表現することができる。しかし、アクセス時間は道路ネットワークに依存するので、各道路施設を直接的に評価する指標とはならない。従って、アクセス時間を算出するための施設毎の指標が必要である。本研究では地震時性能に着目しているため、施設が被災した場合の交通規制期間をアクセス時間算出のための指標とした。交通規制期間は、施設の補修にかかる総期間とし、補修期間は実工事の実績によった。

2. 2 地震動強度に応じた道路施設の試設計

地域としての要求耐震性能を実現するためには、その前段階として地域で想定される様々なレベルの地震動に対して、統一された指標で表現された要素施設の耐震性能を実現する設計体系を構築する必要がある。しかし、現状の耐震設計法はほとんどが仕様設計に基づいており、統一された指標で表現された耐震性能を実現する設計法が整備されていないだけでなく、許容損傷程度を演繹的に実現する設計法も整備されていないものが多い。そこで、本研究では道路施設を表-1に示す3つのレベルの目標耐震性能を目安に設計し、それがそれぞれ4段階の地震動を受けた場合の損傷程度を試算することにより、統一された指標で表現された要素施設の耐震性能と各道路施設の

表-1 試算に用いた目標耐震性能

①	レベル1地震動に対して健全性を保持できる
②	レベル2タイプII地震動に対して致命的な被害を防止できる
③	レベル2タイプII地震動に対して限定的な損傷に留めることができる

3. 研究成果

一例として道路橋が被災したときの、各部材の損傷状態、補修内容、補修期間の関係を図-3に示す。ここで試算対象とした橋梁はRC橋脚を有する鈹桁橋である。これを見ると、損傷する部材により補修期間が著しく異なること、および各損傷状態を補修期間により表すことが可能であることがわかった。この結果を用いて、パフォーマンスマトリックスの性能軸を交通規制期間として入力地震動との関係を示した実現レベルのパフォーマンスマトリックスが図-4である。ただし、入力地震動は地表面加速度で示してある。他の道路施設についても同様の表示方法が可能であり、これにより、施設の設計結果、部材の損傷程度、施設の性能が定量的に関連づけられたことになり、異なる種類の道路構造物を、統一された指標である交通規制期間により表すことができた。

この指標化手法を用いて道路施設を統一された指標（交通規制期間）により表現することにより、想定する道路ネットワークにおいてネットワーク解析を行い、各施設の最適耐震性水準を算定することが可能となる。

4. 主な研究成果物

- 1) 大住、村越、杉田、大谷：性能評価に基づく耐震性水準の合理的設定手法に関する基礎的研究、第.56 回土木学会年次学術講演会概要集、2001.10 (杉田、村越、大谷、大住)

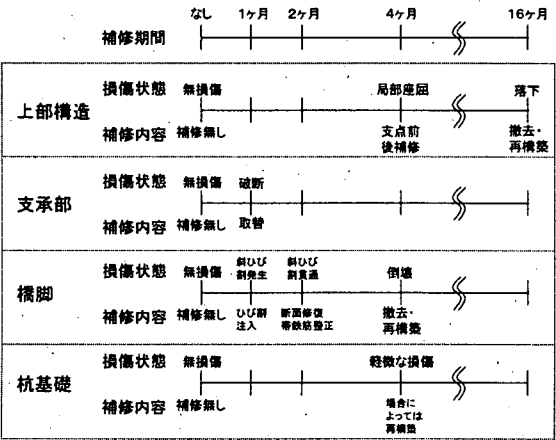


図-3 損傷状態と補修期間の関係

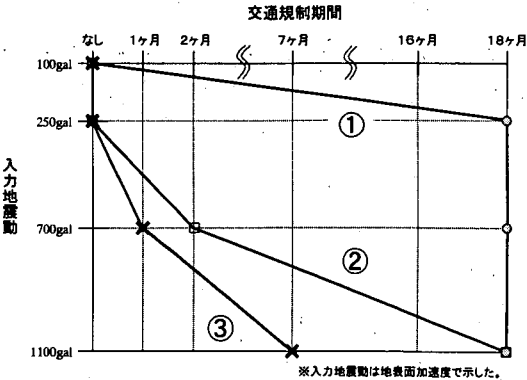


図-4 道路橋の実現レベルのパフォーマンスマトリックス

2. 震災対策体制の評価技術に関する研究

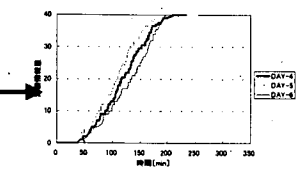
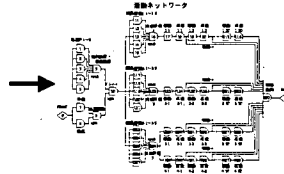
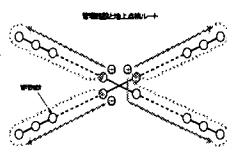
2. 震災対策体制の評価技術に関する研究

研究期間：平成 11 年度～平成 14 年

担当者：課長：村越潤、課長：杉田秀樹、研究員：大谷康史

【要旨】

公共土木施設を管理する建設省工事事務所、地方公共団体において、地震発生時に所管施設等に関する被害・点検・復旧情報を迅速に収集し処理することは、震災対策にとって必須の事項である。本研究では、震災対策体制をネットワーク表現し、仮想の地震被害を発生させ、その情報収集をシミュレーションすることで、体制システム全体としての情報収集・処理・集約に関するパフォーマンスを定量的に評価することを目指している。そのため、防災計画に基づく震災対策体制の活動をシミュレートし、体制の参集方法、点検ルート、班構成等を変化させながら、迅速かつ的確に活動可能な体制計画を立てることができるツールを開発し、その結果によって、事務所等が行う震災対策体制の妥当性の評価を行うことを目的としている。平成 12 年度には、過年度に理論構築した体制評価プログラムについて、体制活動のリスクを評価できるように改良を行った。



1. 研究目的

本研究では、現在定量的な評価

震災対策体制(地震時の点検ルートと点検要員の編成などを策定)

震災対策体制のモデル化とシミュレーション

被災情報の収集状況の評価

が難しい震災対策体制について、その体制をネットワーク表現し、仮想の地震被害を発生させることで、その体制の情報収集・処理・集約に関するパフォーマンスを定量的に評価する技術について研究している。その中で、建設省工事事務所等の震災対策活動において、大規模地震時に想定される危機的状況を具体化するとともに、体制整備、情報機器導入などソフト的な防災対策に関してもその投資効果を明示することができるようツールを作成し、体制の定量的評価を行うことを目的としている。

2. 研究方法

2. 1 リスク評価手法を組み込むにあたっての課題の整理

平成 11 年度には震災対策体制におけるリスク(情報の収集を遅延させる要因)についての検討を行った。それらのリスクを、過年度に作成したプログラムに組み込むことにあたって、問題となる点について整理を行った。

2. 2 評価プログラムの改良

2. 1 で明らかとなった問題点について解決方法を検討し、それに従いプログラムの改良を行った。

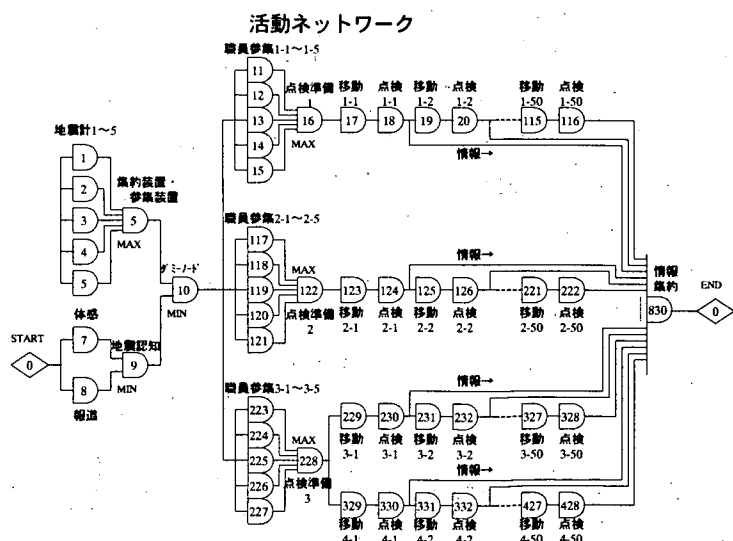


図 1 震災対策体制ネットワーク

3. 研究結果

3. 1 リスク評価手法を組み込むにあたっての課題の整理

4つの点検ルートを3つの出張所で管理していると仮定した事務所を具体例とし、ゲートを用いたネットワークで表現したものが図1である。図1では、地震発生後、地震計からの情報や体感、報道等により地震

を感知した職員が参集し、準備を行い、施設の点検を行うことを表現している。また、点検後には、被災情報が本部に集約されている。平成 11 年度の検討結果より、本評価システムに組み込む必要があるとした主要なリスク要素を表 1 に示す。表 1 の要素を図 1 に示した過年度に作成したプログラムに組み込むにあたり以下の課題に対応する変更が必要となる。

ゲート	不測の事態
職員参集	要員の被災による参集不能
地上移動	移動経路の閉塞
情報集約	専用連絡施設の被災

- ・要員の参集にあたっては、参集のゲートに参集時間の増加は組み込んでいるが、次のステップには全員の参集が必要であり、参集不能な状態を組み込むとプログラムが次のステップに進むことができなくなる。
 - ・移動経路の閉塞に対しては、あらかじめ代替路を設定しておくことが必要であり、そのためには平成 11 年度に検討したように、閉塞が考えられる場所の前に分岐のゲートを設けるとともに、後に合流のゲートを設ける必要がある。
 - ・専用連絡施設の被災については、専用連絡手段（防災無線等）、一般通信手段（携帯電話等）、点検要員の帰還等の複数の連絡手順を設定した上で対応する必要がある。
- また、その他にも以下の課題を解決する必要がある。
- ・参集状態・被害予測等により、点検班の班編制を変更可能な仕様とする。
 - ・点検班の班編制により、点検の所要時間が変化する。

3. 2 評価プログラムの改良

3. 1 で整理した課題を解決し、プログラムに組み込めるように改良を行った。既存のプログラムでは、全ての事象をゲートとして設定して図 1 に示すようにネットワークを構築していた。この手法は、表現がシンプルで分かりやすい構造となる反面、一度設定したゲート間の関係を変更することが難しい。課題から、点検班の班編制などを柔軟に変化させることが必要である。そこで、従来はゲートで全て表していた事象を、拠点、班、要員、情報の 4 つに分類することとした。それぞれの内容は以下の通りである。

拠点：班が移動する場所を示す。事務所、点検場所、各要員の自宅等の場所と、それらを結ぶ移動経路からなる。

班：拠点上を移動し、その結果を基に点検データを情報として発信する。点検班が中心となるが、夜間に地震が発生した場合などの要員の参集も班としての行動となる。また、移動は行わないが、観測機器

要員：班に属し、その行動結果を変化させる。

情報：各班から発信される被災情報と、それらを集約した結果のことを言う。

以上の分類を行った上でのネットワークイメージを図 2 に示す。拠点からなるネットワークが基盤として存在し、その上を要員が所属した班が動き、点検を順次行い被災情報を情報を発信する。改良後のプログラムの特徴を以下に示す。

- ・事務所で班の編制を自由に変更可能となる。
- ・基盤のネットワークで迂回路を設定しておけば、班はどちらへも移動できる。
- ・班に情報の発信手段を設定することにより、効率的に手段の追加が可能である。
- ・班編成と点検等の時間を関係づけることが容易である。

4. 主な成果物

・大谷康史, 杉田秀樹, 野崎智文：震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集 1-B, pp. 580-581, 2000, 9

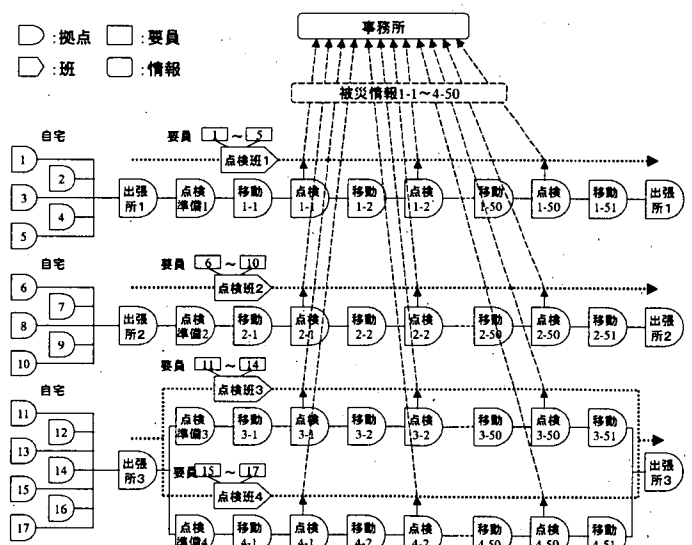


図 2 改良後の震災対策体制ネットワークイメージ

3. 強震計管理費

3. 強震計管理費

研究期間：昭和56年度～平成15年度

担 当 者：課長：村越潤、管理係長：葛西伸寛

【要旨】

土木研究所では、局所的な地形・地盤条件が地震動特性に及ぼす影響の解析を目的として特定地域に多数の地震計を系統的に配置する高密度観測と、構造物や周辺地盤上に強震計を配置して構造物や地盤の地震時振動特性を把握するための一般強震観測を実施している。

本課題は、土木研究所が所有する観測施設の継続的な維持管理、観測記録の処理・蓄積および地震動の伝播特性に関する基礎的な検討を行うことを目的とする。

平成12年度は、①高密度強震観測施設の保守点検と観測記録集の作成、②一般強震観測施設(土研所有分14箇所)の保守点検と観測記録集の作成(地建等所有分を含む)、③観測施設・観測記録データベースの拡充を行った。

1. 研究方法

1. 1 高密度強震観測施設

高密度強震観測は、相良、焼津、沼津、松崎、神戸西、神戸東、小田原、幕張・習志野、館山の9地区で実施している。本観測システムは電話回線を通じた遠隔メンテナンスとデータの自動転送が可能な、自律管理システムであり、管理作業の大幅な効率化に成功している。平成12年度は平成11年4月から平成12年3月の間に高密度強震観測施設で記録された18地震188記録(564成分)を高密度強震観測記録集(No.3)として取りまとめたほか、観測施設の現地点検、収集したデータの整理・取りまとめを行った。

1. 2 一般強震観測施設

平成12年12月現在において土木研究所が所有する観測施設は表1に示すとおりである。平成12年度は、これら14観測施設の保守点検を行うとともに、平成8年度から整備が進められている「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」の推進を図った。また平成12年度に回収された記録の数



表1 強震計設置状況

ID	旧ID	観測所名	センサー名
CG809300101	907	平大橋	橋台
CG809300301	902	西新井橋	地盤
CG809300302			橋脚
CG809300303			橋脚
CG809300401	914	八重洲地下街	B1F地盤
CG809301301	915	袖ヶ浦地中管	地中-30m
CG809301302			地盤A
CG809301303			地盤B
CG809301304			地盤C
CG809301305			地盤D
CG809301306			地盤E
CG809301307			地盤F
CG809300201	913	天津跨線橋	地盤
CG809300202			地盤
CG809300701	905	落合橋	橋脚
CG809300501	903	昭和大橋	地盤
CG809300502			橋脚
CG809301001	904	新天竜川橋	橋脚
CG809301101	910	駿河大橋	地盤
CG809300601	908	朝比奈川橋	橋台
CG809300801	912	御前崎	地盤
CG809300901	909	雲見橋	地盤
CG809300902			橋脚
CG809301201	911	福井大橋	地盤
CG809301202			橋脚
CG809301401		小浜維持出張所	地盤
計		観測所数	センサー数
		14	26

注)旧IDは従来の彙報で使用していたID。新IDは全国調査を機に新たに整備したIDである。

値化および整理を行い、平成11年4月から平成12年3月までに発生した地震の他、平成6年10月の北海道東方沖地震、同年12月の三陸はるか沖地震、平成12年8月の伊豆諸島群発地震、同年10月の鳥取県西部地震で観測された記録から、概ね地表面あるいは地中で20gal以上、または構造物上で100gal以上の最大加速度が得られた、10地震125記録のデジタル記録の再生波形を土木研究所彙報²⁾として取りまとめた。

1. 3 観測施設・観測記録データベースの整備

観測地点に係る諸元資料を関係機関に調査を行い、改めて観測箇所を確認し整理した。

表2 高密度強震観測施設の障害と対応

2. 研究結果

2. 1 高密度強震観測施設

1) 保守点検

保守点検の結果は表2に示したとおりである。5箇所におい

ID	観測点名	障害状況	対応
CA050401	阪神高速道路公団変電施設	電源障害	対応済
CA060201	阪神高速道路公団深江浜基地	電源障害	対応済
CA070301	小田原市立前羽小学校	電源障害	対応済
CA070601	小田原市立国府津小学校	電源障害	対応済
CA070801	小田原市立酒匂小学校	電源障害	対応済

て落雷等によると思われる電源障害が認められたため修繕を行った。また、土木研究所側のデータ収集管理装置についてはプログラム上の不備とハードウェアとの不整合が認められ、一部を改善した。

2) 観測記録集の作成

平成11年4月から平成12年3月の間に高密度強震観測施設で観測された地震は表3に示すとおりである。これら180地震188波形(564成分)の加速度記録を土木研究所資料¹⁾として取りまとめた。

表3 高密度強震観測施設で記録された地震の諸元

地震番号	地震諸元												地区名(地区番号)									観測記録数
	年	月	日	時	分	震央地名	北緯	東経	深さ	規模	震度	相良	焼津	沼津	松崎	神戸西	神戸東	小田原	幕張・習志野	館山		
							度	分	度	分	km										M	
EQ-1999-02-040	99	02	12	03	16	京都府南部	34	59	135	34	15	4	4						○			10
EQ-1999-03-005	99	03	02	11	11	神奈川県東部	35	37	139	32	29	3.4	1				○					1
EQ-1999-03-041	99	03	12	23	24	京都府南部	34	59	135	34	15	3.9	3					○				2
EQ-1999-03-088	99	03	16	16	43	滋賀県北部	35	16	135	56	12	4.9	4					○				2
EQ-1999-03-110	99	03	26	08	31	茨城県北部	36	27	140	37	58	4.9	4							○		11
EQ-1999-04-033	99	04	17	17	31	兵庫県南西部	34	58	134	43	18	3.8	3					○				1
EQ-1999-04-062	99	04	25	21	27	茨城県北部	36	28	140	38	58	5.1	4							○		8
EQ-1999-05-018	99	05	07	21	48	静岡県中部	35	13	138	21	20	4.7	3	○	○	○						35
EQ-1999-06-050	99	06	18	16	08	宮城県沖	38	13	141	44	54	4.3	2					○				2
EQ-1999-07-024	99	07	15	07	56	千葉県北東部	35	55	140	28	56	4.9	3						○			9
EQ-1999-07-027	99	07	15	19	25	大阪湾	34	39	135	08	14	3.8	3					○				3
EQ-1999-08-010	99	08	02	04	58	大阪府南部	34	26	135	21	14	3.9	3					○				2
EQ-1999-08-057	99	08	21	05	33	和歌山県北部	34	03	135	28	70	5.4	5弱	○				○	○			20
EQ-1999-09-018	99	09	13	07	56	千葉県北西部	35	34	140	10	77	5	4						○	○	○	74
EQ-1999-11-017	99	11	07	03	34	福井県沖	36	4.2	135	47	14	4.8	4					○				2
EQ-1999-11-050	99	11	19	15	36	房総半島南東沖	34	34.3	140	19	104	4.3	2								○	2
EQ-2000-01-00064	00	01	24	21	50	福島県沖	37	07.7	141	34	46	4.5	2							○		1
EQ-2000-02-00027	00	02	11	20	57	山梨県東部	35	29.9	139	3	18	4.2	3						○			3
計						18地震																188

注) 表中の「○」は観測記録が得られた観測地区を示す。

2. 2 一般強震観測施設

1) 保守点検

土木研究所が設置した14箇所の保守点検の結果として特に不具合は発生してはいなかった。

2) 「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」の推進

平成8年度より河川局の主導により推進している上記計画について整備状況を確認した。なお、平成12年度末に於ける観測点の整備状況は表5のとおりである。

表5 河川堤防第3期配置計画整備状況

地方局名	水系名	種別	該当観測所名	地方局名	水系名	種別	該当観測所名
北海道開発局	十勝川	SMAC更新	帯広河川事務所	中部地方建設局	菊川	全国配置	未設置
			士幌水位・流量観測所		豊川	全国配置	豊川地震観測所
			池田河川事務所		庄内川	耐震化地盤	未接続
			東横水位・流量観測所		木曾川下流	既存増設	木曾峠
			大津水位観測所		長良川下流	微地形地盤	新所 西川 福原
東北地方建設局	鶴川	SMAC更新	鶴別地震観測所	近畿地方建設局	鈴鹿川	全国配置	未接続
	沙流川	SMAC更新	未設置		新宮川	全国配置	鮎田
	天塩川	全国配置	遠別町富士見		紀の川	既存増設	湊中州
	後志利別川	全国配置	今金河川事務所構内		大和川	SMAC更新	柏原 王寺 堺
	後志利別川	微地形地盤	未設置				大和川
	吉田川	SMAC更新	山崎震動観測所				伊加賀西
	高瀬川	既存増設	高瀬川地震観測所				枚方
	雄物川	既存増設	雄物川堤防観測局				大淀
	阿武隈川	全国配置(大堰付近)	阿武隈大堰観測所				西島
	阿武隈川	全国配置(福島市付近)	郡山観測所		淀川	全国配置(スーパー堤防)	大島
	北上川	全国配置(関北橋付近)	小塚震動観測所	中国地方建設局	淀川	SMAC更新(枚方)	設置取りやめ
	北上川	全国配置(岩手県内)	一関堤防観測所		淀川	SMAC更新(大淀)	片川
関東地方建設局	北上川	微地形地盤	新田町震動観測所		加古川	全国配置	設置取りやめ
	最上川	全国配置(山形市付近)	河川防災センター観測所		加古川	耐震化地盤(深層混合処理)	設置取りやめ
	名取川	特殊堤	関上観測所		九頭竜川	全国配置	百間川右岸(沖元)
	鳴瀬川	耐震化地盤	中下震動観測所		九頭竜川	耐震化地盤(自立式矢板)	太田川堤防
	江戸川	SMAC更新	松戸出張所		旭川	全国配置	佐波川堤防(穂松)
	荒川下流	全国配置(スーパー堤防)	岩瀬出張所		太田川	SMAC更新	未設置
	利根川上流	全国配置(スーパー堤防)	検討中	四国地方建設局	佐波川	耐震化地盤	田後(たじり)
	利根川下流	全国配置(砂層地盤)	小見川出張所		斐伊川	全国配置	徳島
	那珂川	全国配置	検討中		天神川	全国配置	四方十川堤防
	多摩川	全国配置(スーパー堤防)	多摩出張所		吉野川	既存増設	八多喜堤防
	相模川	全国配置	相模川出張所	九州地方建設局	四万十川	既存増設	大淀川堤防観測所
北陸地方建設局	北利根川	特殊堤(直接基礎)	北利根川観測所		肱川	全国配置	川島観測所
	荒川下流	耐震化地盤(深層混合処理)	小名木川出張所		遠賀川	全国配置	中津出張所
	利根川下流	耐震化地盤(ドレーン)	未定		山国川	全国配置	浜砂観測所
	江戸川(中川)	耐震化地盤(自立式矢板)	検討中		五ヶ瀬川	全国配置	紅粉観測所
	利根川下流	微地形地盤	佐原出張所		白川	全国配置	白川(小島)観測所
	信濃川下流	耐震化地盤	やすらぎ堤(白山)		筑後川	全国配置	六角川堤防施設計
中部地方建設局	阿賀野川	特殊堤	阿賀野川堤防		六角川	耐震化地盤	六角川堤防施設計
	神通川	全国配置	未設置		菊池川	耐震化地盤	菊池川堤防施設計
	千曲川	全国配置	未設置				
中部地方建設局	狩野川	全国配置	伊豆長岡出張所				

注) SMAC更新: SMAC型から新機種への更新
全国配置: 全国的な観測点のバランスに配慮して新たに観測機器を設置
微地形地盤: 旧河川敷のように地下構造が局所的に変化している箇所への設置
既存増設: 既存の観測点に観測機器(センサー)を増設

3) 観測記録

平成12年度に収集された記録(各メーカー独自のバイナリー形式)を数値化しテキスト形式に整理した。
数値化した波形のうち4波形を図1、2に示す。

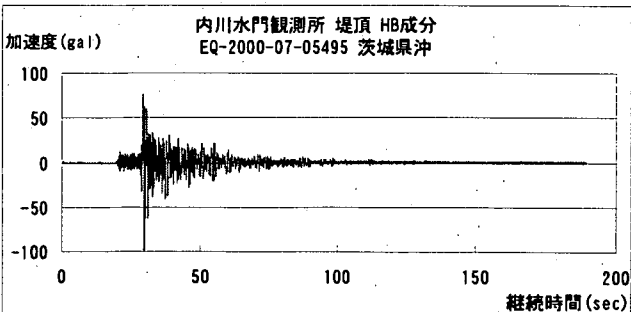
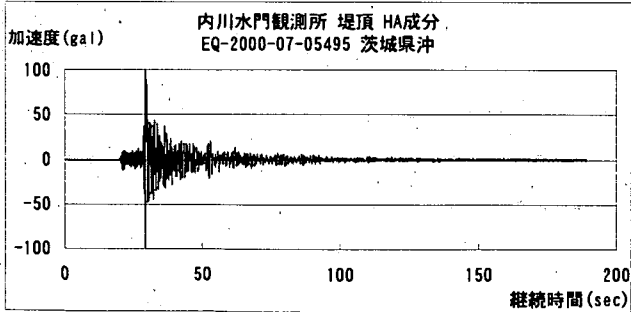


図1 EQ-2000-07-05495(2000年7月21日)の記録

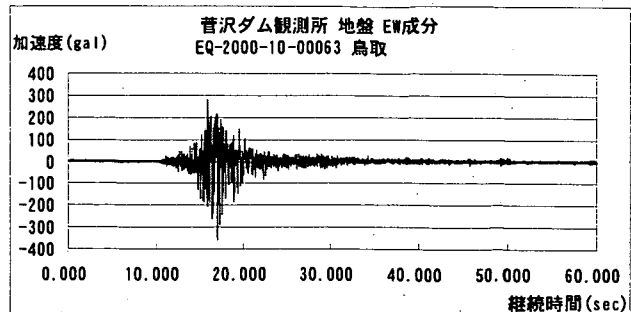
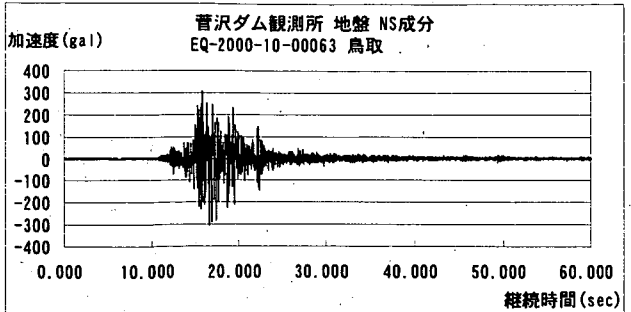


図2 EQ-2000-10-00063(2000年10月6日)の記録

平成11年4月から平成12年3月までに発生した地震の他、平成6年10月の北海道東方沖地震、同年12月の三陸はるか沖地震、平成12年8月の伊豆諸島群発地震、同年10月の鳥取県西部地震で観測された記録から、表6に示すとおり、10地震125記録のデジタル記録の再生波形を土木研究所彙報として整理取りまとめた。

表6 土木研究所彙報「土木構造物における加速度強震記録(No.24)」に掲載した地震諸元

地震番号	地震諸元									
	発生時刻	震央地名	北緯		東経		深さ	規模(M)	震度	観測記録数
EQ-1994-10-007	1994年10月04日 22時22分	北海道東方沖	43	22	147	40	30.0km	8.1	6	12
EQ-1994-12-053	1994年12月28日 21時19分	三陸はるか沖	40	27	143	43	.0km	7.5	6	10
EQ-1999-04-003	1999年04月02日 14時43分	和歌山県北部	34	14	135	09	10.0km	3.1	1	3
EQ-1999-05-034	1999年05月13日 02時59分	釧路支庁中南部	42	57	143	55	104.0km	6.4	4	6
EQ-1999-07-029	1999年07月16日 02時59分	広島県南東部	34	25	133	12	20.0km	4.4	4	4
EQ-1999-08-004	1999年08月01日 03時04分	新潟県上越地方	36	54	138	14	11.0km	2.4	2	2
EQ-1999-08-041	1999年08月12日 05時10分	和歌山県北部	34	15	135	12	10.0km	3.3	2	6
EQ-1999-08-057	1999年08月21日 05時33分	和歌山県北部	34	03	135	28	70.0km	5.4	5弱	5
EQ-2000-08-K0003	2000年08月13日15時46分	伊豆諸島群発地震	34	13	139	15	14.0km	3.8	3	38
EQ-2000-10-00063	2000年10月06日 13時30分	鳥取県西部	35	16.5	133	20.9	11.0km	7.3	6強	39
計		10地震								125

注：EQ-2000-08-k0003のデータは最大観測値のデータ

2. 3 観測施設・観測記録データベースの拡充

各地方建設局、北海道開発局、沖縄総合開発事務所が所有する地震観測施設の新設、更新、廃止に係る現状について調

表7 各地域の地震観測施設の整備状況

査を行った。整理にあたって今後の観測データの参照などが容易となるよう各センサー毎にID番号を設定した。各地域における設置状況は表7のとおりである。

地域	関係事務所数	観測所数					センサー数			ch数
		河川	道路	ダム	砂防	計	一般専用	NW兼用	計	
北海道	87	51	104	14	0	169	150	146	296	875
東北	27	41	55	28	1	125	129	100	229	587
関東	30	37	66	10	11	124	115	109	224	672
北陸	17	21	24	4	6	55	67	50	117	276
中部	26	23	56	8	34	121	103	84	187	552
近畿	24	37	65	10	10	119	38	130	168	504
中国	16	24	30	5	0	58	23	60	83	249
四国	14	11	12	5	12	40	59	24	83	249
九州	25	21	23	12	7	63	89	46	135	405
沖縄	1	0	0	6	0	6	22	6	28	76
計	267	266	435	102	81	880	795	755	1,550	4,445

注1)観測区分については、「一般専用」は単独の一般観測地点として、「NW兼用」は地震計ネットワークと兼用のセンサーとして両者の目的を兼ねて整備したものを示す。

注2)河川、道路、ダム、砂防の各対象施設の合計が観測所数の計と合致しないのは複数の対象施設を兼用している観測所を重複してカウントしているため。

3. 主な研究成果物

- 1) 土木研究所:高密度強震観測記録集(No. 3)、土木研究所資料第3776号、平成13年1月
- 2) 土木研究所:土木構造物における加速度強震記録(No. 24)、土木研究所彙報Vol. 68、平成13年3月
(村越、葛西)

4. 地区の防災要素の影響評価手法の開発 (幹線系道路の防災評価に関する研究)

4. 地区の防災要素の影響評価手法の開発（幹線系道路の防災評価に関する研究）

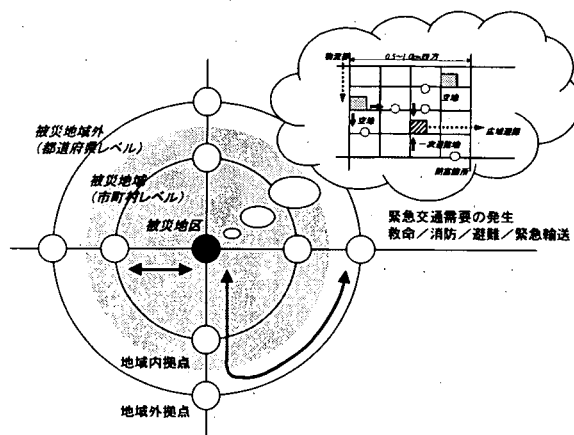
研究期間：平成10年度～平成14年度

担当者：課長：村越潤、研究員：大谷康史、研究員：真田晃宏

【要旨】

平成7年兵庫県南部地震による市街地の甚大な被害を背景に、各地域で推進される防災まちづくりを技術面から支援することを目的として、平成10年度より5箇年計画で建設省総合技術開発プロジェクト（総プロ）「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」が開始された。本総プロでは研究領域を①地区の防災要素の影響評価手法の開発、②地区の防災対策技術の開発、③計画支援技術・防災対策推進方策の開発に分類し、公共施設整備の市街地災害抑制効果、地区レベルの防災対策、及び、住民・行政職員の合意形成支援ツールに関する研究を実施する。本研究は、救出・救護・避難問題に対する幹線系道路の信頼性評価手法の検討を行うものである。5箇年計画の3年度目である12年度は、幹線系道路区間の耐震性評価について、詳細なデータに基づいて評価を行う手法と、実務的に簡略化した評価手法について検討を行った。

なお本総プロでは、「防災まちづくり総プロ研究開発委員会（学・官）」「共同研究推進会議（地方公共団体・公団）」「防災まちづくり研究会（官・産）」を組織し、産学官の連携のもと研究開発を推進している。



1. 研究目的

本研究は、地震発生時の住民の救出・救護・避難等に重要な役割を果たす幹線系道路の信頼性評価手法の開発を行うものである。本研究には、道路区間の障害危険度評価、道路ネットワーク状態の評価、地震時交通需要評価、緊急活動の効果の評価が含まれる。評価結果は、道路管理者の防災対策の判断材料になるとともに、地震時の幹線系道路状況を住民に分かりやすく提示することにより、地域の防災活動を支援するものである。本研究の全体フローを図1に示す。

2. 研究方法

2. 1 幹線系道路の障害危険度評価手法の検討

平成11年度までに、既往地震時の道路機能障害の事例収集と特徴整理に基づき、道路施設、道路占用・沿道施設等の被害や放置車両による道路機能障害の評価モデルについての基本的な考え方を整理した。平成12年度は、これらの結果を基に障害危険度評価手法の構築に向けて以下の検討を行った。

①被災時に幹線系道路の交通に影響を与える施設の検討

②道路区間の障害危険度評価の全体フローの検討

③ケーススタディ

2. 2 障害危険度評価手法の簡略化の検討

2. 1の評価手法は詳細な評価手法ではあるが、計算時の

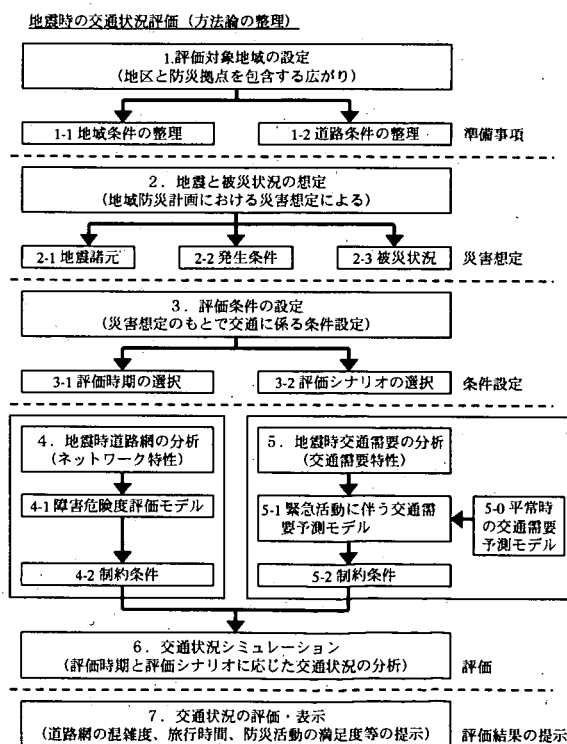


図1 交通状況評価の全体フロー

入力情報が多く、労力がかかるので、それを
実務的な観点から簡略化する方法について
も併せて検討を行った。

3. 研究結果

3. 1 被災時に幹線系道路の交通に影響を 与える施設の検討

平成 11 年度に被災時に幹線系道路の交通
に影響を与える施設について、概略とりまと
めているが、平成 12 年度は震災直後の評価
時の影響のみに着目し、再整理を行った。
結果を表 1 に示す。まとめると以下の通りで
ある。

- ・トンネル・地下街等は特別な場合を除けば被災していないことが明らかとなったため、本検討の対象外とする。
- ・電柱等は実際に交通に影響を及ぼしているが、その程度が現段階では関数化されていない。評価手法に組み込むには、事例データを集め、その影響を明らかにする必要がある、今後の課題とした。
- ・路面損傷は発生頻度が比較的高いものの、多くの場合は道路の自由走行を妨げ交通速度を低下させる程度の被害である。この事象も、各地点の地震動強度と路面損傷の関係および路面損傷と速度低下の関係については調査研究が十分には行われておらず、今後の課題とした。
- ・落橋等橋梁の大被害については、ひとたび発生すれば幅員に関係なく通行止め（完全閉塞状態）を引き起こす可能性が極めて高い。これに対し、低層建築物の被災は面する 1 車線を閉塞させる程度の被害が多い。

②道路区間の障害危険度評価の全体フロー の検討

平成 11 年度に道路区間の耐震性評価手法
について検討しており、平成 12 年度にその
手法を図 2 に示す全体フローとしてとりま
とめた。評価手順は、完全閉塞要因と車線減
少要因より、道路区間の閉塞確率を算出し、
これに放置車両の影響を考慮することによ
り、道路区間のフラジリティを算出する。な
お、走行速度低下要因の扱いについては検討
課題であるが、路面損傷による走行速度へ
の影響が明らかになれば、道路ネットワーク解
析を行う際のリンクパラメータとして用い
ることとする。

また、本研究では、道路区間の状態をより
わかりやすく表現するための指標の一つと

表 1 震災直後の幹線系道路に影響する施設・要因等

対象施設	機能障害要因等	想定被害	サービス低下 の種別	影響性		整備・利用の現状		閉塞要因と しての考慮 の有無*
				被害発生 確率	被災時サ ービス低下量	被害発生 確率	被災時サ ービス低下量	
道路施設	路面	ひび割れ、段差	速度低下	高	中	無	無	△
	橋梁	落橋、損傷	車線数減少	中	多	有	無	○
	盛土	法面の崩壊	車線数減少	中	多	無	無	△
	トンネル	抗口の崩落	車線数減少	低	少	無	無	×
沿道・占用 施設(地上)	跨道橋	落橋、損傷	車線数減少	中	中	有	有	○
	歩道橋	落橋、損傷	車線数減少	高	少	無	無	×
	擁壁	倒壊	車線数減少	中	中	無	無	△
	電柱	倒壊	車線数減少	高	中	無	無	△
	低層建築物	倒壊	車線数減少	高	中	有	有	○
	高層建築物	倒壊	車線数減少	中	中	有	有	○
沿道・占用 施設(地下)	水道管	損傷	速度低下	中	少	有	無	×
	ガス管	損傷	速度低下	中	少	有	無	×
	地下鉄	崩落	車線数減少	低	少	無	無	×
	地下街	崩落	車線数減少	低	少	無	無	×

*検討項目の選定の記号の意味

○: 検討対象として考慮する。

△: 検討対象として考慮する(データが少なく、手法が確立していない)。

×: 検討対象として考慮しない。

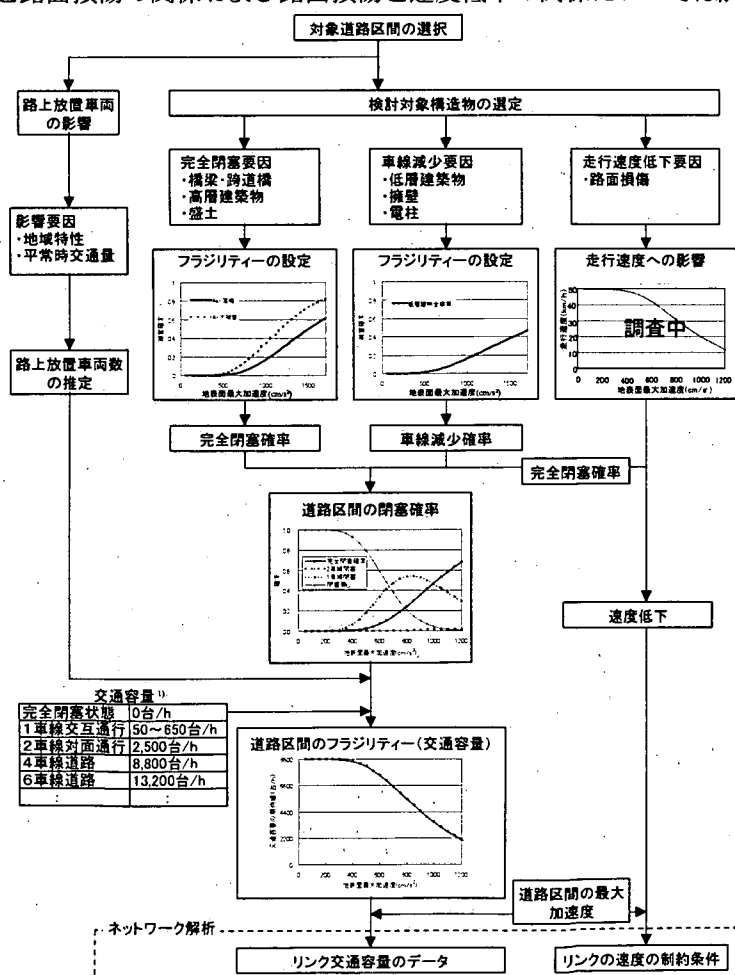


図 2 道路区間の障害危険度評価の全体フロー

して、道路区間の状態別閉塞確率から算出される交通容量の期待値を用いることとした。

③ケーススタディ

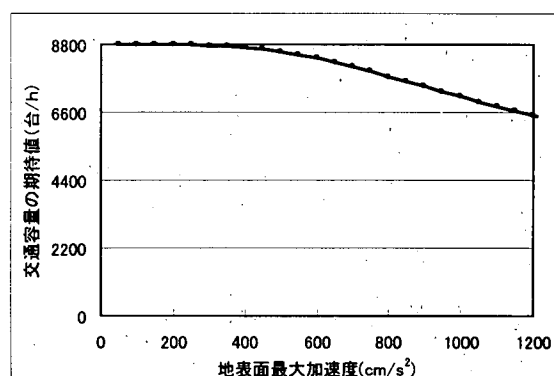
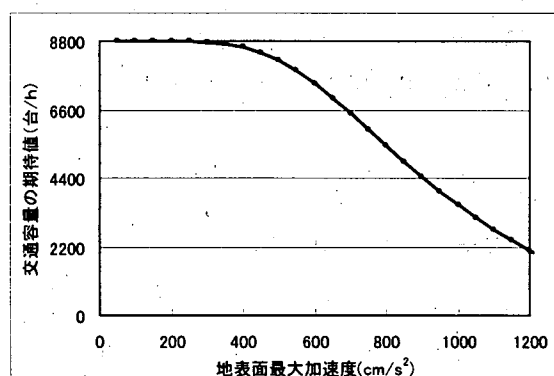
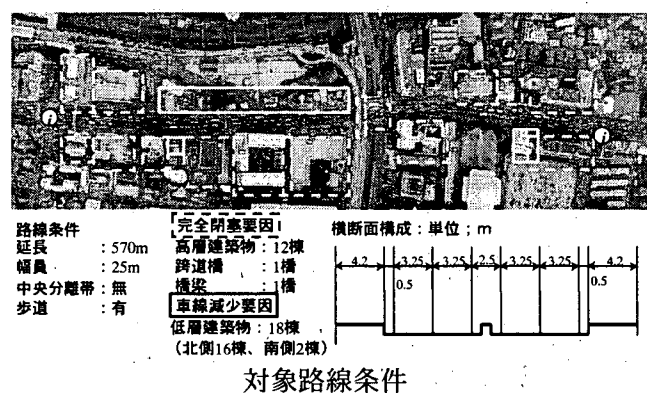
ここでは、現段階で被災関数等が明らかになっている橋梁、高層建築物、低層建築物を評価対象として、次の特徴の異なる3種類のケースについて、ケーススタディーを行った。

ケーススタディーⅠ：橋梁、跨道橋が存在し、高層建築物、低層建築物が混在している区間。

ケーススタディーⅡ：ほとんどの沿道建築物が、高層建築物であるオフィス街。

ケーススタディーⅢ：高層建築物と低層建築物が混在している住宅街。中央分離帯有り。

評価結果に違いのあるケーススタディーⅠとⅡを比較して、図3に示す。具体的な計算手法については、平成11年度の報告を参照されたい。



ケーススタディーⅠ 図3 ケーススタディ実施結果 ケーススタディーⅡ

3. 2 障害危険度評価手法の簡略化の検討

3. 2. 1 簡略化の目的

3. 1に示した評価手法については、個々の施設特性を考慮した精緻な評価が可能であり、新たな fragility 曲線などの研究成果を反映しやすい反面、入力情報の収集に労力を要し、また、計算プログラムによるサポートが必要となり、実務的には使い勝手が良いとは言えない。本研究では道路区間の状況を数段階程度のレベルに概略的に評価する手法を目標としていることから、ここでは、評価結果に影響を与えない範囲で入力手間を簡略化した実務的な評価手法について、併せて検討することとした。

具体的には、個々の沿道施設（高層建築物、低層建築物、電柱）を評価に考慮するのでなく、住居、工業など市街地の土地利用の大枠を示す用途地域区分を一つの指標として考え、それにより沿道施設の状況を代表させることとした。なお、道路施設（橋梁・盛土など）については、元々区間内の数量も少なく、また代替可能な指標

がないことから、3. 1の方法と同様に扱うこととした。

3. 2. 2 簡略化のポイント

簡略化のポイントは、各種沿道施設の閉塞確率を算出するに当たって、沿道施設の閉塞確率を与える数表を用途地域区分に応じて事前に設定しておく点にある。図4に閉塞確率数表の作成手順を示す。閉塞確率については、対象道路区間の①幅員構成（車線数、歩道の有無等）、②用途地域区分、③想定地震による地表面最大加速度、④区間長の4項目を入力条件として、数表より簡単に求められることを目標としている。

3. 2. 3 用途地域区分毎の沿道施設の調査結果（中間報告）

本調査では、都市計画法に基づく用途地域区分と沿道施設の設置状況の関係を把握することを目的として、神戸市市街地を対象として、沿道施設の実態を調べた。表2に用途地域区分毎の沿道施設数の調査結果を示す。なお、現在のところ、第2種低層住居専用地域の調査事例はない。沿

道施設の抽出方法に関する留意事項を以下に示す。

- ・建築物の数量は、神戸市のデジタルデータから算出した。
 - 低層建築物は、階数データが2以下のもの、中高層建築物は、階数データが3以上のものとした。
 - ・表2中の数量は、道路区間長500mあたりの片側に建築されている建築物の数量である。
 - ・道路区間長については、幹線系道路と考えられる道路どうしの交差点間の距離（リンク長）としている。
- 表3より以下の傾向が見られる。
- ・低層住居専用地域、中高層住居専用地域及び住居地域では、低層建築物が多く、中高層建築物が少ない。
 - ・近隣商業地域では、低層建築物が多く、中高層建築物もある程度存在する。
 - ・商業地域では、中高層建築物が多い。
 - ・工業地域では、建築物数が少なく、中高層建築物も少ない。

表2 沿道施設数量の調査結果（中間報告）

				片側 500mあたりの換算数量			
用途地域区分	サンプル数	低層建築物	中・高層建築物	用途地域区分	サンプル数	低層建築物	中・高層建築物
第1種低層住居専用地域	2	23	0	近隣商業地域	6	28	7
第1種中高層住居専用地域	3	42	2	商業地域	4	13	18
第2種中高層住居専用地域	4	18	4	準工業地域	3	16	3
第1種住居地域	5	26	4	工業地域	2	11	1
第2種住居地域	4	29	4	工業専用地域	2	12	0
準住居地域	2	23	3				

- ・単位長さあたりの建築物数は、住居地域や近隣商業地域ではばらつきが少なく、工業地域では比較的大きい。

以上のように、用途地域区分を指標として用いることにより、市街地の沿道施設の状況を概ね代表させることができると考えられる。今後、サンプル数を増やすために東京都のデジタルデータも用いて調査する予定である。

4. 主な成果物

土木研究所、建築研究所：防災まちづくり総プロー平成12年度成果報告書

参考文献：1) 社団法人日本道路協会：道路の交通容量,1984.9

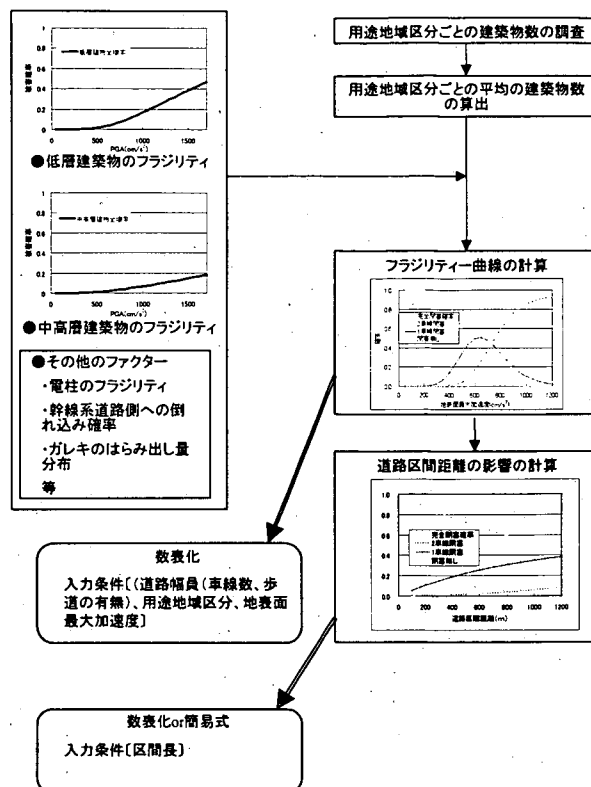


図4 沿道施設による道路区間の閉塞確率の数表の作成手順

5. 総合的な震災対策支援システムの研究開発

5. 総合的な震災対策支援システムの研究開発

研究期間：平成 11 年度～平成 14 年度

担 当 者：課長：村越潤、研究員：真田晃宏

【要旨】

本研究は、国土管理の主要課題である所管施設の震災対策について、震前・震後の対策活動を支援する震災対策支援システムの検討を行うものである。システムの検討に際しては、情報通信技術や航空宇宙技術等の先端技術を活用する方法、及び、対策活動に即して要素技術に要求される機能・性能・精度等を明らかにすることに重点を置く。平成 12 年度は、リモートセンシング技術を利用した被害検知の手順に関する調査、被害推定の精度向上のための基礎的調査として過去の地震における施設被害の実態調査、及び、鳥取県西部地震等における道路管理者の情報収集・伝達・管理に関する実態調査を実施した。

1. 研究目的

最近、震災対策に利用可能あるいは有効とされる新しい情報通信技術が非常に速いペースで開発、提供されている。本研究は、それらの先端的な技術を調査し、これらの技術を応用することによって効果的な震災情報システムを整備するための、留意事項および震災対策の面から各種技術に要求される機能、性能、仕様等をまとめるものである。

2. 研究方法

本研究では、以下の 4 つのサブテーマに分けて検討を実施している。

(1) 震災予防のための要素技術の検討

想定される地震により発生する被害の推定方法、被害により生じる損失の評価手法、被害や損失を最小化するための計画策定技術に関する検討

(2) 危機管理のための要素技術の検討

地震による施設被害の検知、検知した情報等の収集及び伝達のための技術、資機材や要員の配置等を考慮した適切な震災対策の遂行のための技術、震災対策体制の有効性を事前評価する技術に関する検討

(3) リモートセンシングデータの震災対策への活用

施設被害を検知するための、プラットフォーム、センサへの要求性能、リモートセンシングを利用する手順に関する検討

(4) 分散共有型震災情報システムアーキテクチャの構築

情報の伝送・共有のための技術、情報システムの耐災害性能など安全性に関する検討

平成 12 年度は、(1)について施設被害推定のため被害関数の検討、(2)について震災対策体制の評価手法の検討、(3)について各種リモートセンシング技術の特徴及び適用可能性の検討を実施した。

3. 研究成果

3. 1 各種リモートセンシング技術の適用可能性の検討

橋梁等の道路構造物、堤防等の河川施設等の地震による被災の検知にリモートセンシング技術を利用するには、施設管理者等が要求するリモートセンシングデータの精度、検知までの所要時間等の条件への適合が必要である。このため、現在利用可能又は今後利用が想定されるリモートセンシング技術を対象に、データ精度、データ処理技術、データ処理時間等を検討し、適用可能性及び適用にあたっての利用手順を検討した。検討対象のリモートセンシング技術は表-1 の通りである。

3. 2レーザープロファイラーによる施設被害検知可能性の検討

表-1 に示す検討対象のセンサのうち、平成 11 年度は光学系センサについて検知に必要な画像の地上解像度に関する検討を行った。平成 12 年度は、上空から地上の3次元形状を取得できるレーザープロファイラーによる計測を鳥取県西部地震の被災施設を対象に実施し、地震時の落橋、崩落等による路面、地表面高さの変化の検知への適用性を検討することとした。計測条件を以下に示す。

図-1 に計測対象とした被害の一例を示す。岸壁エプロン部分のケーソンと背後地盤の間に60cm

飛行条件

対地高度：975m

飛行速度：185km/h (約51m/sec)

計測時の天候、計測時間帯

計測時の天候：風速 4km/hr

計測時間帯：午後1時～午後4時5分

レーザープロファイラー計測条件

レーザーパルス発射頻度：15,000 回/秒

スキャン頻度：25.2 回/秒、スキャン角度：8°

地上での計測幅：136.4m

レーザー計測密度：1点/約2m×0.5m 四方

水平計測誤差：±30cm、垂直計測誤差：±15cm



図-1 岸壁の沈下の状況

程度の段差が岸壁に沿って約270mにわたり生じたものである。図-2 は岸壁端平均高さとの高低差を色相段階で示したものである。白色部分は接岸中の船舶や図-1 に見られる岸壁上の荷揚げ装置である。岸壁端より10m程度あたりから色相の変化が確認でき（高低差が60cm程度となる白黒トーンのエリアが広がっており）、ここに段差が生じていることが推定できる。図-3

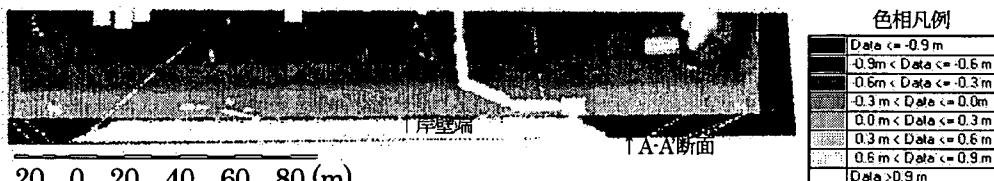


図-2 岸壁標高

は、岸壁断面（図-2 中 A-A断面）の標高の現場測量結果とレーザープロファイラー計測結果を比較して示したものである。レーザープロファイラー計測点は、厳密

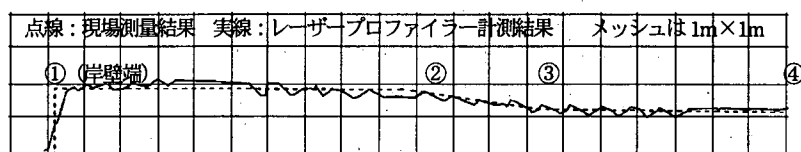


図-3 岸壁断面標高の比較

には、ある一断面上に存在しないため、断面近傍の計測点を利用し内挿により断面上の標高を得た。そのため、計測結果は折れ線状になっている。図-3 中の①から②までの沈下が生じていないエリア、②から③の段差が生じ岸壁エプロンが傾斜しているエリア及び③から④までの沈下したエリアともに、レーザープロファイラー計測結果は測量結果に一致している。このように、高低差を示すことで目視で被災状況を検知することが可能であると思われる。

4. 主な研究成果物

- ・村越潤・真田晃宏、航空機レーザープロファイラーを用いた地震被害施設の検知、土木学会第56回年次学術講演会概要集、2001.10 (村越、真田)

6. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

6. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

研究期間：平成 12 年度～平成 14 年度

担 当 者：課長：村越潤、研究員：真田晃宏

【要旨】

地震発生時に緊急輸送活動等のバックボーンとして機能すべき道路網については、地震発生時に期待されるネットワークとしての機能に留意しつつ、その耐震性確保のための効果的な補強対策を推進し、また、道路閉塞等による機能障害を想定した震後の緊急輸送活動計画を検討する必要がある。

兵庫県南部地震では、道路橋等の道路施設、ガス管等の占用物件、人家等の沿道建築物の被害が道路の通行機能に影響を与えた。このため、震前・震後の地震防災対策を支援するための技術として、想定される地震に対する道路施設等の被害の程度を推定し、これに基づき道路網としての地震時リスクを概括的に評価する手法の開発が求められている。

本研究では、道路閉塞要因となる道路施設、占用施設に関する既往の地震での被災事例を調査し、被災による道路区間の閉塞可能性を評価する手法について検討するとともに、既に開発済みである道路ネットワーク耐震性評価手法との連携を図り、被害想定に対応した道路ネットワークとしてのリスク評価を実現するものである（研究フロー参照）。

平成 12 年度は、兵庫県南部地震において道路閉塞要因となった被災事例を中心に、既往地震での被害データの有無及び蓄積状況について調査するとともに、道路路面等を対象に被災データ、地震の揺れの大きさ、地形に関するデータを収集し、被害の有無や程度に関する影響要因を検討した。

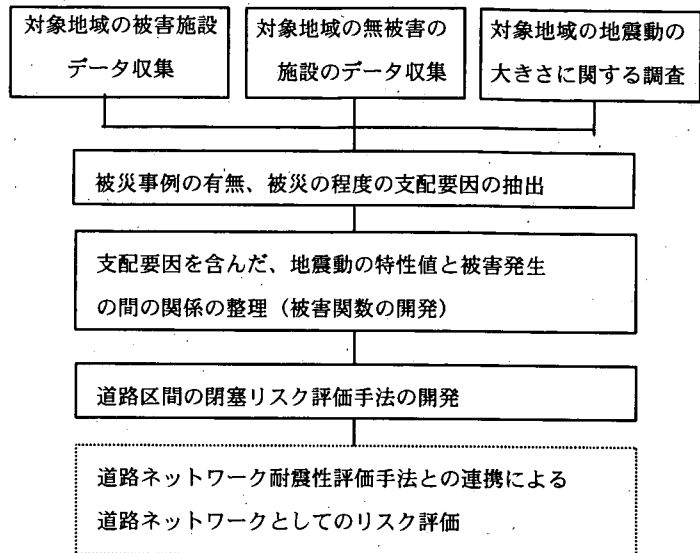
1. 研究目的

既往の地震被害において報告されている道路閉塞要因のうち、被害データに基づく地震動の大きさと被害発生間の関係についてこれまで十分な検討がされていないものについて、被害データを収集し、地震の揺れの大きさと構造物の被害の発生との間の関係を明らかにし、被害関数の検討を行うものである。これらの成果を踏まえ、道路区間の閉塞リスク評価手法を開発し、道路ネットワーク耐震性評価手法における閉塞リンクの設定に活用するものである。

2. 研究方法

2. 1 地震動と被害発生間の関係の整理

被害関数の検討にあたっては、これまで既往の地震による施設被害事例の調査分析に基づき、地震動の特性値と施設被害の起こりやすさの関係について分析が行われている。例えば、建築物に関しては、兵庫県南部地震での被害実態を基に被災の確率と地震動との間の関係が建築年代別に整理されており、内閣府の地震被害想定支援ツール等実用化の事例が見られる。同様に、ガス導管について、東京ガスでは、十勝沖地震等の被災データをもとに、SI 値と被害率（単位延長当たり被災件数）をガス管種類ごとに整理し、被害推定等



研究フロー

を行う早期警報システム（SIGNAL）として活用している。いずれの場合も、地震動の特性値として使用する指標や関係要因等は施設毎に異なっている。

道路施設又は沿道施設の被災により道路が通行止めになるような事例（道路閉塞要因）については、表-1に示す通り、道路橋や上述の沿道建築物の倒れ込み、ガス導管等ごく一部の事例を除き、データ分析及び被害関数の検討は行われていないのが実状である。そこで、本研究では、過去の地震での被害データを収集・分析するとともに、被害の生じなかった施設についても同様の調査を実施し、それらを基に、被害の有無、被害の程度を支配する要因を抽出、その後、要因を説明変数とした被害関数を導くこととした。

2. 2 道路区間の閉塞リスク評価手法の開発

道路区間内に存在する土木施設の被害関数を重ね合わせることで、地震動の大きさに対する道路区間の閉塞可能性を評価する手法を開発する。

3. 研究結果

兵庫県南部地震時に道路通行の機能が低下し通行規制等の処置が行われた箇所について規制要因等のデータを収集した。調査対象は、建設省兵庫国道工事事務所、兵庫県、神戸市および阪神高速道路公団が管理する、神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市、伊丹市、尼崎市の地域内の道路である。このうち、本年度は道路路面と道路擁壁について、被害情報を整理した。以下では道路路面について整理結果を示す。道路路面に関する収集データ数は56である。

被害の発生を支配する要因は施工年代等様々であるが、既調査で地形の違いにより各種施設災害の状況も異なっている点が指摘されていることから、道路路面の被害について、まず、地形分類ごとに地表面最大加速度別被害件数を整理した。図-1は地表面最大加速度別の被害件数を示す。全体としては、250gal以上で被害が見られるとともに、650galから700galで件数が急増している。地形分類のうち、傾向の違いが顕著な埋立地と段丘について地表面最大加速度別被害件数を示したものが図-2である。段丘では500gal未満では被害が見られず、500galから750galまでの間で件数が増加している一方、埋立地では350galで被害が見られている。このことから道路路面においても地形分類の違いによる影響が推定できる。今後、他の調査結果を取り込みデータ数を増やし、地質条件等の支配要因の分析を行うとともに、跨道橋等道路路面や擁壁以外の道路閉塞要因についても分析する予定である。

表-1 道路閉塞要因一覧

施設名	完全通行止の事例	被害関数研究状況
道路路面	○●	—
橋梁	○●	◎
歩道橋	○	—
盛土	○●	—
擁壁	○●	—
電柱	○●	—
水道管	○●	◎
ガス導管	○●	◎
地下鉄	○	—
低層建築物	○	◎
高層建築物	○	◎

○：兵庫県南部地震での事例
●：新潟地震、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震での事例
◎：既存の研究において被害関数が提案されているもの
—：被害関数が研究中又は研究がされていないもの

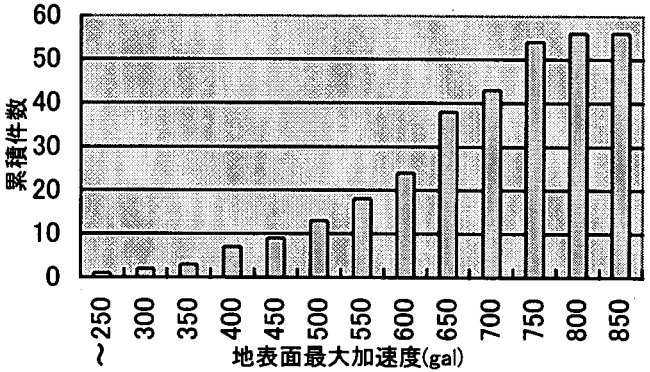


図-1 地表面最大加速度と被害件数

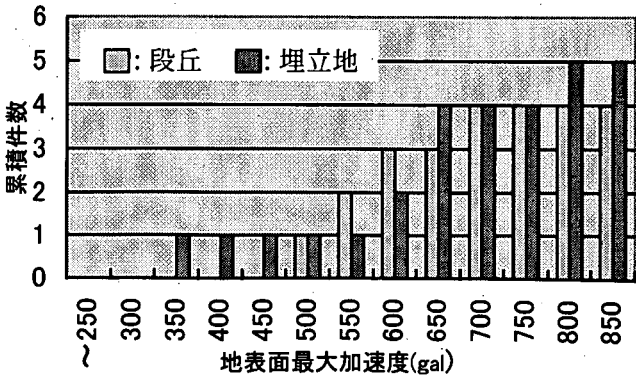


図-2地形別地表面最大加速度と被害件数

(村越、真田)

7. 震害予測システムの構築に関する試験調査

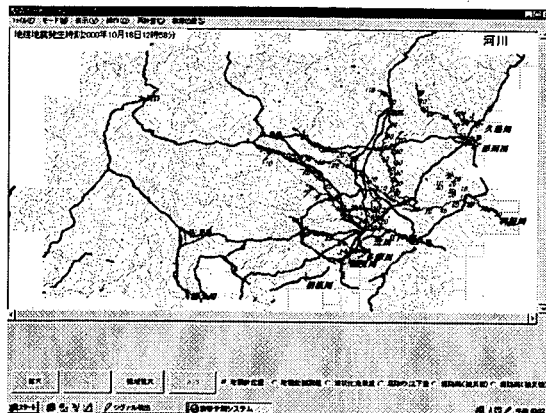
7. 震害予測システムの構築に関する試験調査

研究期間：平成9年度～平成12年度

担当者：課長：村越潤、研究員：大谷康史

【要旨】

関東地方整備局では、平成7年度より管理施設に作用した地震動に関する情報を震後即時に収集する地震計ネットワークを構築している。本課題では、地震計ネットワークより得られた地震動情報を利用して、管理施設の被災可能性を地震後即時に予測する震害予測システム(SATURN)を開発し、地方整備局の防災業務に導入することを目的とするものである。河川堤防の被害予測を行うプロトタイプシステムは昨年度の成果により関東地方整備局で試験運用を行っており、平成12年度は、予測精度を検証するためのシステムを作成するとともに、試験運用を通じて明らかになった改良点を整理して動作環境の改良を行った。



1. 研究目的

本課題は、地震計ネットワークにより収集された地震動情報を利用して、管理者に管理施設の被害状況を即時に予測して与える震害予測システムの開発を行うものである。震害予測システムは、大規模な地震時の二次災害を防止し、被災による影響の拡大を最小限に抑止するために極めて重要な初期対応に対して情報面より支援を行う。平成12年度は、予測精度検証システムの作成及び操作性の改良を行った。

2. 研究方法

2. 1 予測精度検証システムの作成

予測精度を検証するために必要な、計算経緯をデータファイルに出力するプログラムを作成した。

2. 2 操作性の改良

システムの操作性を向上させるために、関東地方整備局における試験運用を通じて明らかとなった改良点の提案に基づき、システムの改良を行った。

3. 研究成果

3. 1 予測精度検証システムの作成

本震害予測システムの推定機能は大きく分けると、被害推定地点の地震動を観測点の地震動情報から推定する部分と、各施設に作用する地震動（最大加速度あるいはS I 値）から施設被害を予測する部分に分けられる。いずれも、過去の地震時のデータを基に構築されているが、実際に地震が発生した結果により、推定精度を検証しておく必要がある。本システムの試験運用開始から研究終了までの平成12年度までに、被害推定の検証を行う機会は訪れなかった。そこで、今後の地震発生時に備えて、検証に必要なデータを出力するための、プログラムを作成した。

プログラムは、地震動推定の各ステップ毎の経緯を出力するものである。地震動推定手順は図-1に示すとおりであり、各観測点の観測値を地盤応答係数により工学的基盤面上の地震動に変換し、この基盤面上の地震動から地震動分布を面的に補完する。その補完面から各管理施設の直下の値を推定し、地盤応答係数を

再度用いて、各管理施設に作用する地震動を求めるものである。平成12年度に作成した、プログラムのメニューを図2に示す。図1におけるステップ1に対応するデータとして、①観測地点の地震動特性値、②観測点直下の工学的基盤面上地震動特性値が出力される。また、ステップ2に対応するデータとして③工学的基盤面上格子点地震動特性値、④予測点直下の工学的基盤面上地震動特性値が出力される。最後に、ステップ3に対応するデータとして、⑤予測地点地震動特性値が出力される。この、地震動推定手法において、照査する必要があるのは、地盤応答係率係数の妥当性と、工学的基盤面上での補間手法の妥当性である。プログラムで出力された③の最大加速度の値を3Dグラフで図3に示す。工学的基盤面上での補間は、観測値の値を曲面で近似させることにより行っているため、必ずしも震源から離れるに従い漸減するとは限らず、また負の値になる場合もある。この地震動推定手法については、今後の地震データも加えて検証を行い、必要に応じて改良をする予定である。また、被害予測についても、新たなデータが得られれば、閾値を見直す必要がある。

3. 2 操作性の改良

平成12年度は、以下の改良を行った。

- 1) 震害予測システムは、ネットワーク対応ではないため、同時に複数の人が操作することができない。このシステムは、緊急時のシステムであるが、そのため日常から操作になれておくことが重要である。そこで、日常から手軽に操作法を習熟することができるように、事務所等で広く利用されているwindows 95, 98にインストールして稼働させることができる windows 95, 98対応版のシステム（ただし、リアルタイムによるデータ受信機能は無し）を作成した。
- 2) 地上と地中の観測点がある場合など、複数のデータがほぼ同じ箇所に存在した場合、画面上で1つのデータしか選択できない仕様であったので、メニュー方式により、全てのデータを選択できるように改良した。

4. 主な研究の成果

- ・大谷康史，建設省地震計ネットワークの活用，第39回土木研究所研究発表会論文集，9-12，2000.12

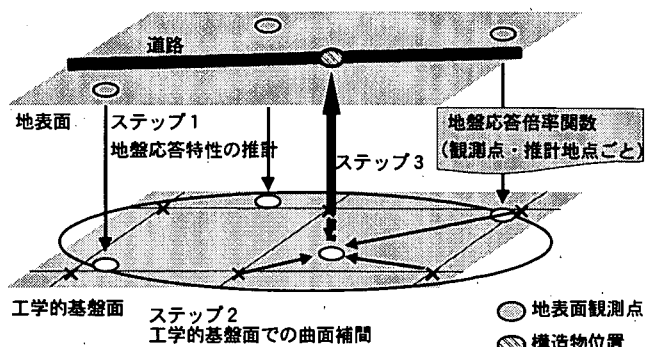


図1 地震動補完推定手法

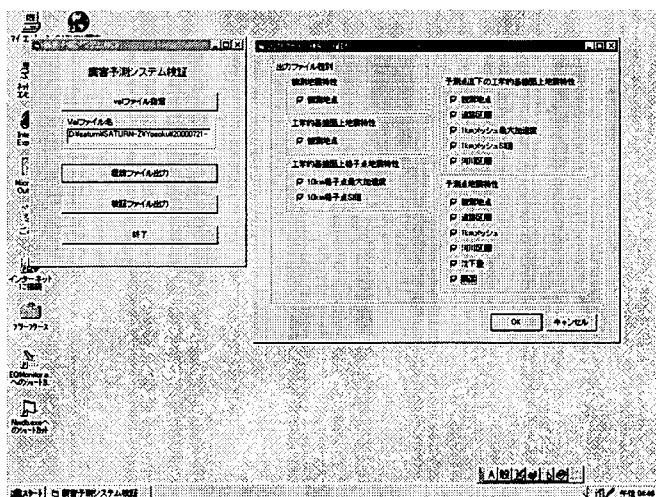


図2 地震動推定計算過程出力メニュー

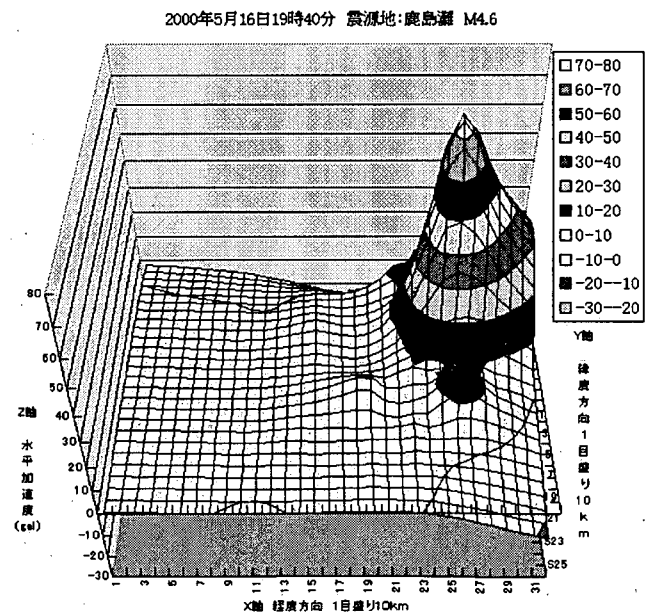


図3 工学的基盤面上での最大加速度予測

8. 河川施設の強震計の点検調査

8. 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：平成12年度

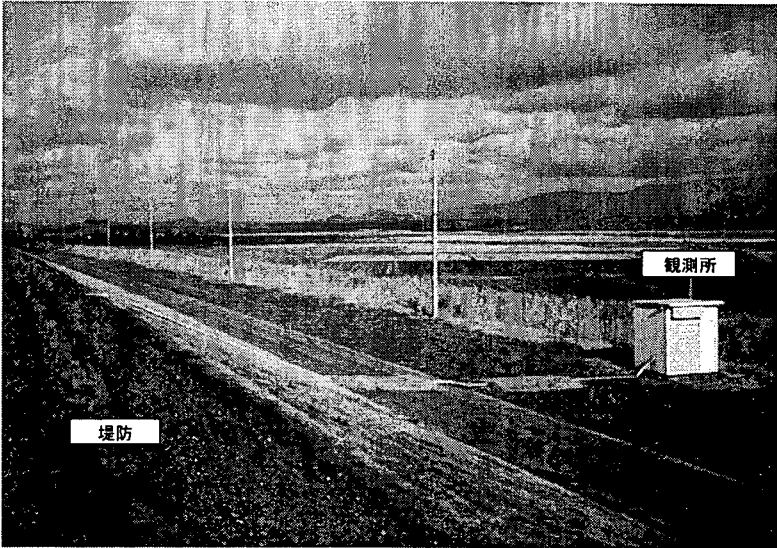
担当者：課長：村越潤、管理係長：葛西伸寛

【要旨】

建設省が所管する公共土木施設の一般強震観測は、昭和32年に近畿地方建設局管内の猿谷ダムにSMAC型強震計を設置して開始された。平成13年3月現在、国土交通省(旧建設省、北海道開発局、及び沖縄総合開発事務所のみ)が所管する河川、道路、ダム、砂防施設に付設された880箇所の地震観測施設で観測が実施されており、観測された地震波は各種構造物の耐震設計基準や地震動特性の研究に活用されている。

本課題は、一般強震観測のうち建設省が河川施設に設置した観測施設を対象として、強震計の年1回の動作確認としての保守点検、地震記録の回収、及び数値化処理を行うことを目的とする。

平成12年度は89箇所の強震計保守点検と記録の回収、処理を行うと共に、河川局が主導する「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」に係る技術指導を行った。



1. 研究方法

1. 1 強震計の保守点検

平成13年3月現在、国土交通省(旧建設省及び北海道開発局関係のみ)が管理する河川施設に付設された266観測所で強震観測が実施されている。設置機関別に設置箇所等を整理すると表-1のとおりである。本調査はこの内、89箇所の観測施設を対象に動作確認としての保守点検を実施し、観測記録の回収と数値化処理を実施した。

1. 2 「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」の推進

「河川堤防における強震計配置計画(第3期)」は第1期(昭和53年)、第2期(平成元年)を元に、観測施設の更新・増強と多様な条件下での観測記録の収集を目的に策定されたものである。平成8年より観測点の整備を行っており、70箇所の強震計の増設が計画されている(表-2参照)。

平成12年度は各観測所の設置状況の確認等を行い、計画の進捗、設置状況の把握に努めた。

表-1 河川施設における強震計設置状況

(平成13年3月現在)

	関係事務所数	観測所数	センサー数	ch数	センサー内訳	
					一般専用	NW共用
北海道	25	51	75	225	24	51
東北	12	41	80	212	52	28
関東	12	37	83	249	55	28
北陸	8	21	42	123	26	16
中部	9	23	36	108	19	17
近畿	10	37	69	207	12	57
中国	10	24	38	114	18	20
四国	7	11	21	63	13	8
九州	12	21	53	159	43	10
計	105	266	497	1,460	262	235

表－２ 河川堤防第３期配置計画 増設箇所一覧表

地方局名	水系名	種別	該当観測所名	地方局名	水系名	種別	該当観測所名
北海道開発局	十勝川	SMAC更新	帯広河川事務所 土俵水位・流量観測所	中部地方建設局	菊川	全国配置	未設置
			池田河川事業所 東橋水位・流量観測所		豊川	全国配置	豊川地震観測所
			大津水位観測所		庄内川	耐震化地盤	未接続
			陸別地盤観測所		木曾川下流	既存増設	木曾碑
			未設置		長良川下流	微地形地盤	新所 西川
東北地方建設局	吉田川	SMAC更新	遠別町富士見 今金河川事業所構内	近畿地方建設局	鈴鹿川	全国配置	未接続
			山崎運動観測所		新宮川	全国配置	断田
			高瀬川地盤観測所		紀の川	既存増設	濃中州
			雄物川堤防観測所		大和川	SMAC更新	柏原 王寺 堺
			阿武隈川(大連付近)				大和川
			阿武隈川(福島市付近)				伊加賀西
			郡山観測所				枚方
			北上川(関北橋付近)				大淀
			小塚運動観測所				西島
			北上川(岩手県内)				大島
			新田町運動観測所				設置取りやめ
			河川防災ステーション観測所				片川
			名取川 特殊堤 耐震化地盤				設置取りやめ
関東地方建設局	荒川下流	全国配置(スーパー堤防)	岩淵出張所	中国地方建設局	旭川	全国配置	百間川右岸(沖元)
			利根川上流		太田川	SMAC更新	太田川堤防
			利根川下流		佐波川	耐震化地盤	佐波川堤防(縮松)
			那珂川		斐伊川	全国配置	未設置
			多摩川		天神川	全国配置	田後(たじり)
			相模川		吉野川	既存増設	徳島
			北利根川		四方十川	既存増設	四方十川堤防
			荒川下流		藤川	全国配置	八多喜堤防
			利根川下流		大淀川	既存増設	大淀川堤防観測所
			江戸川(中川)		遠賀川	全国配置	川島観測所
北陸地方建設局	信濃川下流	耐震化地盤(自立式矢板)	佐原出張所	四国地方建設局	山国川	全国配置	中津出張所
			やすらぎ堤(白山)		五ヶ瀬川	全国配置	浜砂観測所
			阿賀野川		白川(小島)	全国配置	白川(小島)観測所
			神通川		筑後川	全国配置	紅粉観測所
			千曲川		六角川	耐震化地盤	六角川堤防強震計
中部地方建設局	狩野川	全国配置	伊豆長岡出張所	九州地方建設局	菊池川	耐震化地盤	菊池川堤防地震計

注)SMAC更新: SMAC型から新機種への更新
 全国配置: 全国的な観測点のバランスに配慮して新たに観測機器を設置
 微地形地盤: 旧河川敷のように地下構造が局所的に変化している箇所への設置
 既存増設: 既存の観測点に観測機器(センサー)を増設

2. 研究結果

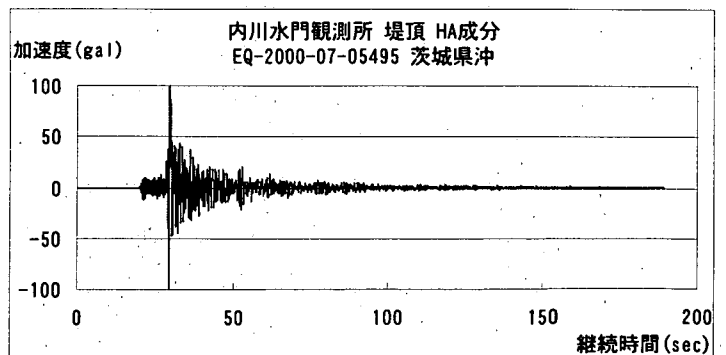
2. 1 強震計の保守点検

平成12年度の点検の結果、木曾川堤防(新所)観測施設他16観測所で障害が認められ、13箇所については補修を行い、機能回復に努めた。3箇所については点検時の補修が不可能であったため、関係事務所に連絡して、補修を要請した。今回の点検における強震計の障害発生率は約6%であり、前年度(約3.7%)よりは悪化したが、平成10年度(約29.6%)との比較では大幅に改善した。また機器更新がなされた箇所もいくつか見受けられ、観測状況の改善が図られつつあるが、設置後、20年以上経過した強震計も未だ残っており、早急な機器の更新が望まれる。

また、アナログ式記録計も幾つかあるが、これらはデジタル記録方式強震記録計への更新も早急に実施されることが望ましい。

2. 2 観測記録の数値化

平成12年7月21日3時31分茨城県沖を震源とする地震(M4、震源深さ4.9km)による内側水門観測所での記録を図-1に示す。これらの主要な観測記録については数値化しデータベースに蓄積すると共に年度ごとに土木研究所彙報として刊行している。



図－１ 内側水門観測所 観測記録

3. 主な研究成果

- 1) 土木研究所彙報：土木構造物における加速度強震記録(24)、土木研究所彙報Vol.68、平成13年3月
- 2) 河川局、土木研究所：河川堤防における強震計配置計画(第3期)、土木研究所資料第3499号

(村越、葛西)

9. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査

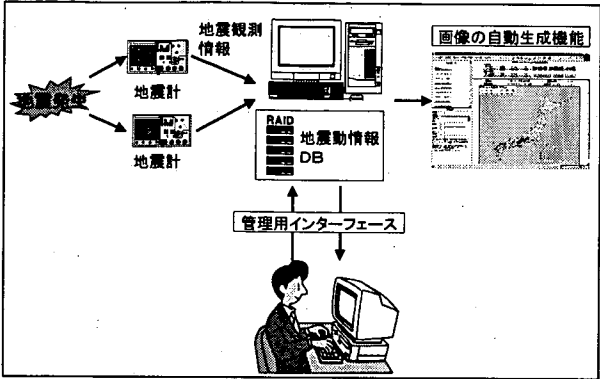
9. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査

研究期間：平成11年度～平成12年度

担 当 者：課長：村越潤、研究員：大谷康史

【要旨】

平成7年兵庫県南部地震の教訓の一つとして、地震直後における被災地域の特定や被災状況の把握が施設管理者の初期対応に極めて重要なことが指摘された。これを受けて、国土交通省（当時、建設省）では平成7年度から地震計ネットワークを整備し、平成11年3月には697点の観測点が稼働するに至った。平成11年度に、この地震計ネットワークにより収集した地震動情報を活用するため、情報を管理するデータベース（以下、「DB」とする。）を構築し、平成12年度に構築したDBを効率よく管理するためのインターフェースを整備した。また、平成11年度に地震動情報（最大加速度、S I 値等）の閲覧機能を作成しているが、平成12年度は都市域の拡大図を追加し、利便性を向上させた。



1. 研究目的

国土交通省では、地震直後における河川・道路等の所管施設の被災地域の特定や被災状況の把握を目的として、全国的な地震計ネットワークを設置した。このネットワークにより収集される地震データを効率的に管理し有効に活用するために、地震動情報をDB化して管理できるようにするとともに、簡単に地震情報が閲覧できるシステムを作成した。

2. 研究方法

2. 1 地震動情報DBの管理用インターフェースの作成

平成11年度に構築したDBを効率よく管理するためのインターフェースを作成した。

2. 2 地震動情報の閲覧システムの改良

平成11年度に作成した閲覧システムについて、試験的に運用し、使用に際しての意見を募ったところ、都市部において地震計位置が接近しており、地図上での選択が困難であるとの意見が多く、新たに都市域図を追加することとした。

3. 研究結果

3. 1 地震動情報DB管理用インターフェースの作成

平成11年度の成果により、地震動情報を管理するDBは構築が終了した。しかし、DBを効率よく管理し、効果的な活用を行うためには、管理機能を高めなければならない。そこで、表1に示す機能を持つ、管理用インターフェースを作成した。この管理用インターフェースを用いることにより、複数の地震が同時に発生した場合のデータの管理、データ調査依頼があった場合の対応、システムの緊急事態に備えたデータのバックアップおよび復旧時のリストア作業などを効率的に行うことが可能となった。管理用インターフェース

表1 DB管理機能項目

管理機能項目
・地震計情報入力・修正機能
・地震動数値データ分割機能
・地震動波形データ入力機能
・HTML作成情報出力機能
・データ検索機能
・ファイル出力機能
・印刷機能
・バックアップ・リストア機能

画面を図1に示す。各項目は初期メニューで選定でき、必要に応じて階層化が図られている。

3. 2 地震動情報の閲覧システムの改良

平成11年度に作成した閲覧システムを試験的に運用した結果、都市部において地震計位置が接近しており、地図上での選択が困難であるとの意見が多く寄せられた。そのため、新たに東京、名古屋、大阪の3都市域図を追加することとした。平成11年10月6日に発生した鳥取県西部地震のデータを用いた表示例を図2～図4に示す。図4が平成12年度に新しく追加した大阪周辺の都市域図であり、図3に示す平成11年度成果である近畿・中国・四国地域図に比べ、観測地点選択時の操作性が大きく向上している。

本システムでネットワーク化されている観測点は、図5に示すとおりである。平成12年6月初旬から、この観測ネットワークで公開基準の震度階4以上が観測された地震について閲覧用データを整備しており、平成13年3月までに18地震が閲覧可能となっている。システム構築は平成12年度で終了し、今後は発生する地震動情報の追加、データに対する問い合わせ対応など運用段階に移行する。

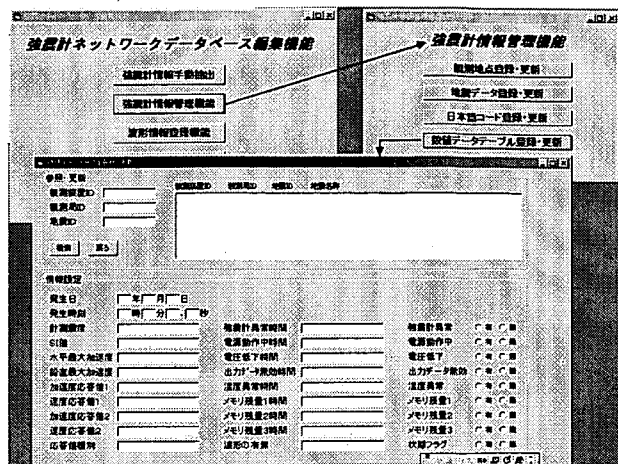


図1 DB管理インターフェース

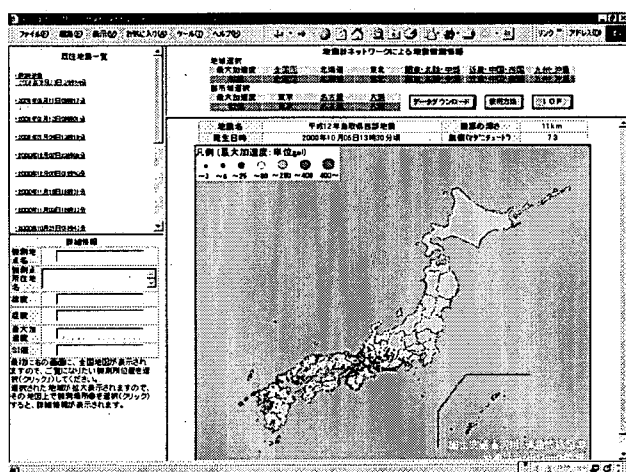


図2 地震動情報閲覧画面（全国）

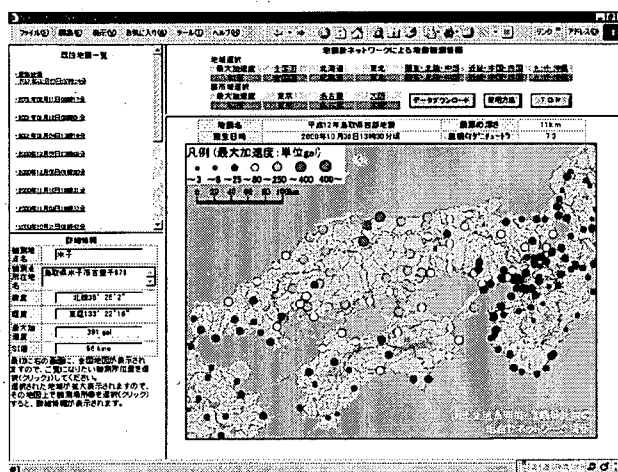


図3 地震動情報閲覧画面（近畿・中国・四国）

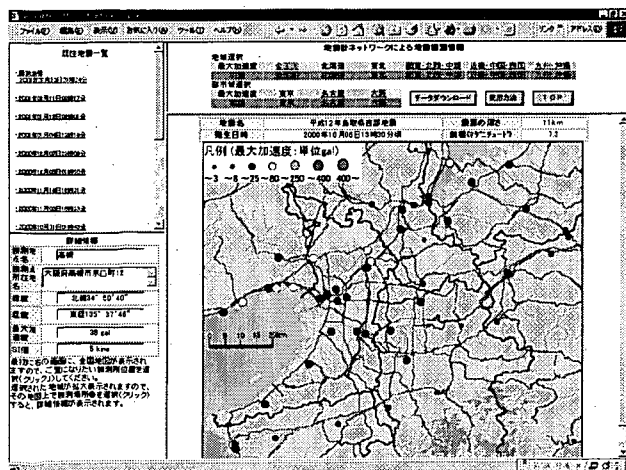


図4 地震動情報閲覧画面（大阪周辺）

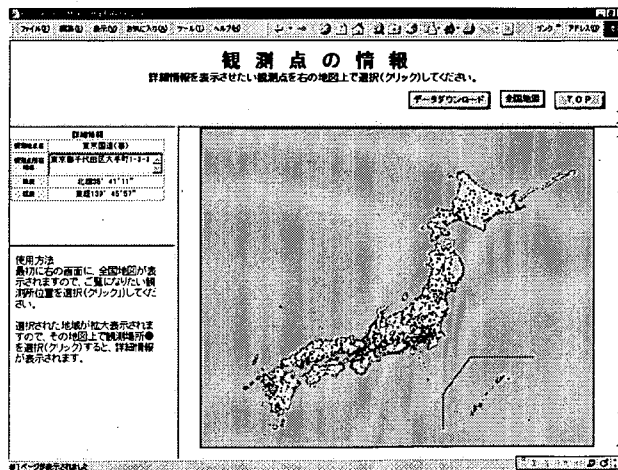


図5 地震計設置位置情報閲覧画面

付属資料

兵庫県南部地震 5 周年シンポジウム
(平成 12 年 10 月 5 日～6 日・東京都千代田区)

土木構造物の地震観測～展望と課題

土木構造物の地震観測～展望と課題

杉田 秀樹¹

Hideki SUGITA¹

1 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課

1. はじめに

土木構造物の地震観測に筆者が関りを持ったのは、1995年兵庫県南部地震を契機としてである。建設省土木研究所では、当該地震による土木構造物の甚大な被害を背景に地震防災研究の拡充を図り、地震リスクマネジメント等のソフトな防災研究と地震観測を所掌する防災技術課が新たに組織された。50余年に及ぶ地震観測の歴史から見れば兵庫県南部地震以降の数年間にはごく短期間ではあるが、後述する情報技術の進捗に基づいて、土木構造物の地震観測の様相が大きく変化した時期でもある。本文では、筆者が地震観測業務を担当する上で直面した種々の経験を踏まえて、土木構造物の地震観測に今後求められる役割と課題を考察することとしたい。

なお、広義な意味での地震観測には、高感度地震計による微小地震観測、広帯域地震計による地震観測、強震計による強震観測、GPS連続観測等による地殻変動観測、及び、活断層調査等が含まれる。本文では、このうち土木構造物の強震観測に焦点をあてることとしたい。

2. 強震観測の経緯と状況変化

(1) 強震観測の経緯¹⁾²⁾

強震観測の構想は、東京帝国大学地震研究所末広恭二所長の講演に基づいて、1933年にまず米国において実現した。我が国では、1953年に国産強震計（SMAC型強震計）が開発され、総理府資源調査会（1953）や日本学会議（1964）の内閣総理大臣宛勧告を経て強震観測事業が開始された。1964年の新潟地震を契機に、土木構造物の事業主体による強震計整備が加速し、強震観測事業の連絡調整を図る必要から科学技術庁国立防災科学技術センター（現、防災科学技術研究所）に強震観測事業推進連絡協議会が設置された。同協議会では、強震観測施設の配置状況の把握、観測施設の充実に関する検討、主要な観測記録の広報等の活動が行われている。

河川施設、道路施設、ダム施設、砂防施設等の土木構造物に対する強震観測施設の配置状況を示すと図1の通りである。建設省が所掌する土木構造物に対する強震観測³⁾は、1958年に近畿地方建設局の猿谷ダムにSMAC型強震計が配置されたことに始まり、現在は全国432箇所の観測施設が稼働している状況にある。構造物の種類毎に観測施設数を整理すると図2の通りであり、河川施設では堤防に設置された観測施設が、道路施設では橋梁に設置された観測施設が多くを占めている。また、ダム施設と砂防施設については、兵庫県南部地震を契機に新たに配置された観測施設が多い。

(2) 強震観測の体制

我が国において強震観測の実施主体は、科学技術庁、気象庁、運輸省、建設省、地方自治体等の公的機関のほか、大学や鉄道、ガス、電気、建設会社等の民間組織など極めて多岐に渡る。強震観測の実施目的は、地震学・地震工学等の地震防災研究への貢献、施設管理業務への貢献など実施主体毎に様々であるが、観測計画や観測情報の流通については相互連携が望まれる。

兵庫県南部地震を契機に地震防災対策特別措置法が制定（1995）され、総理府に地震調査研究推進本部が設置された⁴⁾。地震調査研究推進本部は政策委員会と地震調査委員会から構成され、政策委員会の調査観測計画部会では微小地震観測、GPS連続観測、活断層調査等の基盤的調査観測の体系化と観測情報の流通を所掌している。地震に関する基盤的調査観測計画（1998）⁵⁾では、基盤的調査観測の一つに強震観測を取り上げ、表層地盤上での強震観測網の充実のほか、局所的な地下構造の影響が少ない基盤上の強震観測網の必要性が示されている。

(3) 河川堤防の強震計配置計画⁶⁾

兵庫県南部地震による淀川堤防等の被害を背景に、河川管理施設の耐震点検や防災研究が進められる一方で、実地震による土構造物の挙動を把握するための強震観測施設の拡充が必要とされた。河川堤防への強震計配置は1978年より開始され、第1期配置計画で17箇所、第2期配置計画で21箇所が既に整備されている。第3期配置計画では、第1・2期計画で整備された観測施設の更新・増強等必要な見直しを行うとともに、1997-1999にかけて69箇所の観測施設が拡充された（一部未着手）。

第3期配置計画では、多様な条件下での観測情報を蓄積するため、①従来観測箇所が少ないⅠ種及びⅢ種地盤の観測施設を拡充する、②地域的な空白域の観測施設を拡充する、③特殊堤の観測施設を新設する、④地盤改良等の耐震化対策箇所の観測施設を新設する、⑤旧河道を挟んで微地形が異なる箇所の観測施設を新設する、ことを主眼としている。

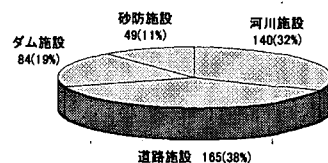


図1 強震観測施設の配置状況 (2000.3 現在)

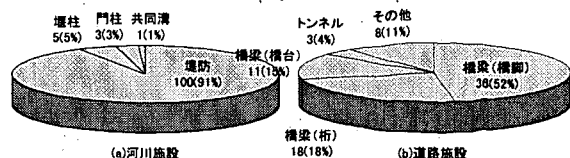


図2 構造物種類毎の強震観測施設数 (2000.3 現在)

(4) 建設省地震計ネットワーク⁷⁾

兵庫県南部地震では、地震直後における被災地域の特定や被災状況の把握が、土木施設管理者の初期対応に極めて重要であることが認識された。建設省では、災害対策用ヘリコプターの拡充や防災無線網のデジタル化等を通じて地震直後の情報収集体制の改善を図るとともに、直轄道路及び河川沿いの表層地盤上の強震動を観測して施設管理者に即時伝送する地震計ネットワークを整備した。強震観測施設は、関東・中部・近畿地域で約 20km 間隔、その他の地域で約 40km 間隔を目途に 1996 年より整備が進められ、全国 791 箇所の観測施設が稼働している (1999.4 現在)。

施設管理者の初期対応を支援するためには、強震地域全体を網羅する地震動情報を地震発生後数分以内に集約し、信頼性の高い伝送路で関連部署に提供する必要がある。各観測施設の観測情報は、全国 10 地域の中核局に自動的に集約され、建設本省や土木研究所に伝送される。通信回線容量の制約等から、現状でオンライン伝送される観測情報は最大加速度や SI 値といった地震動特性値に限定されるが、これらの観測情報を HP 上で情報提供するための準備も進められている。

3. 地震防災研究のための強震観測～展望と課題

(1) 強震観測の役割

我が国で土木構造物の強震観測が開始されてから 50 年余りが経過した現在、各主体の尽力により強震観測施設は拡充され、観測情報も着実に蓄積されつつある。現在までに取得された観測情報は、各種構造物の耐震設計基準や防災対策を策定するための重要な研究資源として位置付けられている所である。しかしながら、強震観測の本来の主眼である震源近傍の強震動については、観測情報の蓄積が未だ乏しいと言わざるを得ない。強震観測の役割は、震源近傍の強震動特性を理解して将来の強震動評価に貢献することであり、震源近傍の観測情報の蓄積が急務である。兵庫県南部地震では、強震観測の歴史上初めて M7 規模の内陸直下型地震における震源近傍の観測情報が取得され、キラーパルスや震災の帯の存在が確認されたが、プレート境界型の地震が近傍で生じた場合や M8 規模の内陸直下型地震が生じた場合の強震動特性等、観測情報の蓄積を待って議論すべき課題は多い。

強震動は本質的にランダム性が強い現象であり、研究手段としては解析よりも観測に優位性がある。今後数値解析技術が向上しても、新たな現象を理解する上で強震観測が担う役割に大きな変化はないと思われる。

(2) 強震観測施設の運営

強震観測の実務を担当する立場から今後留意すべき課題は、観測施設の維持・更新と観測情報の蓄積・流通である。デジタル式強震計の普及に伴い、動作確認・記録回収・記録処理等を効率的に実施できる技術環境が整う一方で、従来のアナログ式強震計の計画的な更新が求められる。建設省が土木構造物に設置した強震計の約 7 割に相当するアナログ式強震計を短期間に更新することは難しいが、機会を捉えて更新を進めるため、常時から強震観測事業に対する理解を得る努力が必要である。

また前述した通り、強震観測事業には多くの機関が関与する。情報流通の仕組み作りや情報流通作業の適正な

評価など従来より指摘される種々の障壁はあるが、観測情報の流通は各観測主体が連携して取り組むべき課題であろう。自己反省とともに、地震調査研究推進本部や強震観測事業推進連絡協議会など観測主体を横断する組織の今後の動向に期待したい。

4. 危機管理のための強震観測～展望と課題

デジタル式強震計の普及、通信回線のデジタル化と大容量化、ネットワーク構築技術の進歩など情報技術の革新を背景に、複数の強震観測施設を比較的容易にオンライン化することが可能となった。一方で、兵庫県南部地震で危機管理の重要性が広く認識された結果、大規模地震時の防災業務を担う多くの組織でオンライン強震観測網が整備・運用されている。前述した地震計ネットワークは、地震発生直後に施設被害の可能性を診断する即時被害予測システム (図 3 参照) の主要インフラであり、情報の混乱や空白が想定される状況下において初期活動の指針を与える重要な役割を担っている。

オンライン強震観測網を利用して早期地震検知、震源推定、人的・物的被害予測を行う仕組みは、一般にリアルタイム地震防災システムと呼ばれる。リアルタイム地震防災システムの動向⁸⁾について本文では言及しないが、情報技術の革新を背景に実現した強震観測の新たな役割とすることができよう。

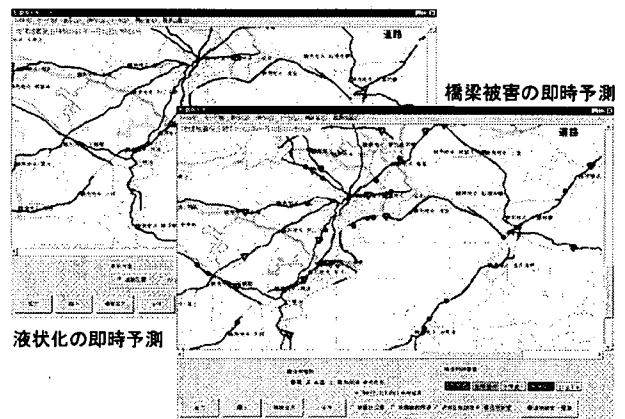


図 3 オンライン強震観測網を利用した即時被害予測

参考文献

- 1) 工藤一嘉: 強震観測－現状と展望、地震、Vol.47、1994
- 2) 建設省土木研究所: 土木構造物に対する強震観測、土木研究所資料、Vol.1734、1982
- 3) 杉田秀樹: 公共土木施設の地震観測、日本地震学会ニュースレター、Vol.10-1、1998
- 4) 石田勝彦: 地震調査研究推進本部の活動紹介、地震工学振興会ニュース、No.156、1997
- 5) 地震調査研究推進本部: 地震に関する基盤的調査観測計画
- 6) 建設省河川局、土木研究所: 河川堤防における強震計配置計画 (第 3 期)、土木研究所資料、Vol.3499、1998
- 7) 杉田秀樹: リアルタイム地震対応を目指した地震計ネットワークの整備、地震工学振興会ニュース、No.157、1997
- 8) 例えば、山崎文雄: リアルタイム地震防災のための地震動モニタリング、土木学会地震工学委員会、第 1 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集、pp.5-12、1999

第2回日韓科学技術フォーラム
2nd Japan-Korea Science and Technology Forum
(2000.10.24~26, Minato-ku, Tokyo-to, Japan)

Strong Motion Observation for Civil Infrastructure

<Summary>

Strong Motion Observation for Civil Infrastructures

Dr. Hideki SUGITA
Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan

1. Introduction

From a viewpoint of earthquake engineering, earthquake observations are essential for understanding the earthquake mechanism and characteristics of ground motion. Earthquake observations in the broadest sense of the term include microtremor monitoring, broad-band monitoring, strong motion observations by accelerographs, observations of the movement of the earth's crust by GPS observations, and active fault surveys. This paper presents a state-of-the-art of earthquake observation focusing on the strong motion observations of civil infrastructures.

2. State-of-the-art of Strong Motion Observation

The concept of strong motion observations was first realized in 1933 in the United States based on lectures by Prof. Suehiro, Director of the Earthquake Research Institute of Tokyo Imperial University. In 1953, Japan's first domestically developed accelerographs (SMAC-type) appeared, and strong motion observation projects began following recommendations to the Prime Minister by the Natural Resources Survey Committee of the Prime Minister's Office (1953) and by the Science Council of Japan (1964). Following the 1964 Niigata Earthquake, the Strong Motion Earthquake Observation Council was established at the National Research Center for Disaster Prevention (now the National Research Institute of Earth Science and Disaster Prevention) of the Science and Technology Agency in response to the need to accelerate the provision of strong motion accelerographs by bodies constructing civil infrastructures and to coordinate and link strong motion observation projects. The activities of the Council are clarifying the state of the installation of strong motion observation facilities, studying ways to expand strong motion facilities, and publicizing principal strong motion records.

Figure 1 shows the state of the installation of strong motion observation facilities at civil infrastructures such as river, road, dam, and sediment control facilities. The strong motion observations of civil infrastructures under the jurisdiction of the Ministry of Construction began with the installation of a SMAC-type accelerograph at the Sarutani Dam operated by the Kinki Regional Construction Bureau in 1958, and these observations are now performed at a total of 432 locations throughout Japan. **Figure 2**, which shows the numbers of observation facilities broken down by the type of structure observed, reveals that among river structures, most are installed at levees, and among road structures, most are at bridges. Many dams and sediment control structures were equipped with strong motion observation facilities following the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake.

In Japan, strong motion observations are performed by a wide range of organizations including the Science and Technology Agency, Meteorological Agency, Ministry of Transport, Ministry of Construction, local government bodies, other public organizations (railways, gas companies, electric power companies), and universities. Although the roles of strong motion observations varies according to the organizations, basic concepts are a contribution for research activities of earthquake disaster prevention measures and a contribution for urgent activities immediately after earthquakes.

"Law for Earthquake Disaster Prevention Measures, 1995" was enacted and the Headquarters for Earthquake Research Promotion was organized in the Prime Ministers Office as responses to the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. The Headquarters for Earthquake Research Promotion consists of a policy committee and an earthquake research committee. The survey and observation planning subcommittee of the policy committee is in charge of organizing and coordinating basic surveys and observations including microtremor monitoring, GPS observations, active fault surveys, etc. and the dissemination of reports. The "Fundamental Earthquake Survey and Observation Program, 1998" includes strong motion observations among basic survey and observation categories, and points out the need to complete a strong motion observation network on surface ground and to establish a strong motion observation network on engineering bedrock.

The damage developed at the levees of the Yodogawa River by the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake

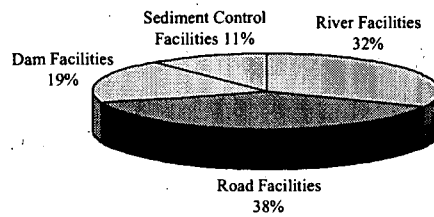


Fig.1 Installation of Strong Motion Observation Facilities (as of 2000.3)

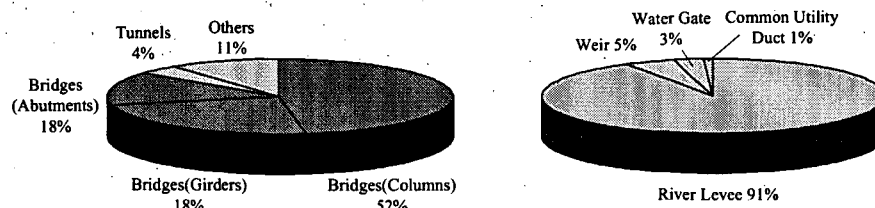


Fig.2 Number of Observation Facilities by Structure Type (as of 2000.3)

demonstrated the need for disaster prevention measures of river facilities and for more strong motion observation facilities to clarify the behavior of river management structures during earthquakes. Strong motion accelerographs have been installed in river levees since 1978, with these instruments provided at 17 locations during phase I and at 21 more locations during phase II of the installation program. Phase III of this installation program call for necessary changes in the observation facilities—replacement and upgrading—at locations established during phase I and phase II, and for new observation facilities at 69 new sites between 1997-1999.

For the accumulation of strong motion records under diverse conditions, the phase III installation program focused on (1) expanding the number of observation facilities in Type I and Type III ground where few observation facilities had been installed before, (2) expanding observation facilities to fill regional blank areas, (3) installing observation facilities in specific types of levees, and (4) installing new observation facilities at locations where ground improvement works have been executed.

The 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Disaster was a sharp reminder that the initial response of civil engineering structure managers to an earthquake must include immediate steps to designate the disaster area and clarify the extent of the damage caused by the earthquake. The Ministry of Construction has improved the immediate post-earthquake data collection systems by expanding the number of disaster response helicopters in service and by digitalizing its disaster prevention radio network and has also established seismograph networks that observe strong motion of surface ground along roads and rivers under MOC jurisdiction and instantly transmit the results to facility managers. Since 1996, the installation of new strong motion observation facilities has been undertaken to achieve the goal of facilities at intervals of 20 kilometers in the Kanto, Chubu, and Kinki regions and at 40 kilometer intervals in other parts of Japan. There are now strong motion observation facilities in operation at 791 locations nationwide (as of April 1999).

To support the initial response to an earthquake by facility managers, it is essential to collect earthquake motion data from throughout the region where the strong motion occurred and provide it to concerned bureaus and agencies through highly reliable transmission channels within a few minutes after the occurrence of the earthquake. Observation data from the observation facilities is automatically gathered at central offices at 10 locations throughout Japan and is then transmitted to the headquarters of the Ministry of Construction and to the Public Works Research Institute. Because of restrictions on the capacity of the communication lines, the observation information that can now be transmitted on line is limited to maximum acceleration and SI values that are specified values of earthquake motion, but preparations to provide these kinds of data by on a web page are now in progress.

3. Strong Motion Observations for Earthquake Disaster Prevention: Prospects and Challenges

Now more than fifty years after the start of strong motion observations of civil engineering structures in Japan, the efforts of organizations establishing these facilities are being rewarded by the expansion of strong motion observation facilities and the steady accumulation of observation data. The observation data that have

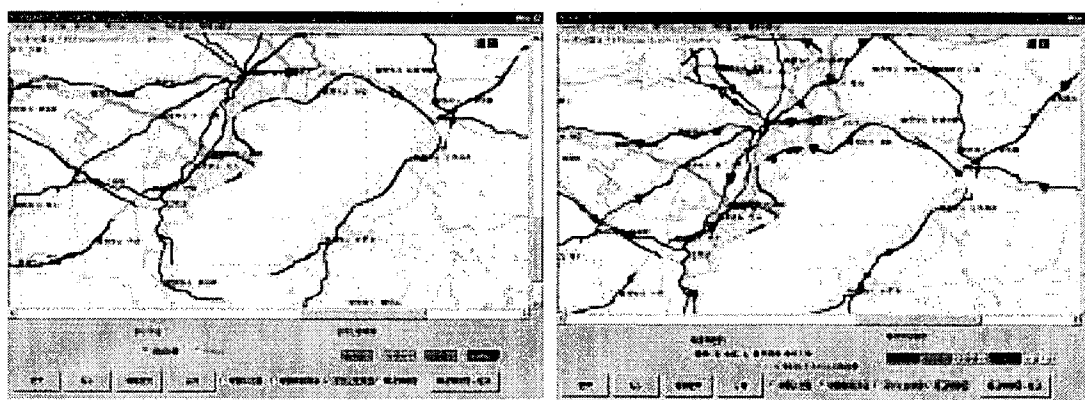
been accumulated up till this time have been positioned as important resources for use in research to set seismic resistance design standards for various kinds of structures and to devise disaster prevention measures. But it must be pointed out that not enough data have been accumulated by observations of earthquake motion occurring close to the epicenter that is the essential focus of strong motion observations. The role of strong motion observations is to clarify strong earthquake motion properties near epicenters in order to contribute to future strong earthquake motion evaluations, and near-epicenter observation data must be accumulated as quickly as possible. During the Hyogo-ken Nanbu Earthquake, near-epicenter observation data for a magnitude 7 scale intraplate earthquake occurring under land was obtained for the first time in the history of strong motion observations, confirming the existence of a relatively long period spike shaped wave or earthquake disaster zone. But there are many issues which can be considered only after the accumulation of more observation data such as the strong motion earthquake motion properties in cases of a nearby plate boundary type earthquake or a magnitude 8 intraplate earthquake directly under the land.

Because strong earthquake motion is a phenomenon with a high degree of randomness, observations have priority over analysis as a research method. Even future improvement of numerical analysis technology will not result in much change to the role of strong motion observations in helping us understand new phenomena.

4. Strong Motion Observation for Crisis Management: Prospects and Challenges

As a consequence of the information technology revolution—the spread of digital strong motion seismographs, the digitalization and increasing capacity of communication lines, and progress in network construction technology—it is now relatively easy to put multiple strong earthquake motion observation facilities on-line. On the other hand, as a result of the spreading awareness of the importance of crisis management that followed the Hyogo-ken Nanbu Earthquake, many organizations responsible for carrying out disaster prevention work when a large earthquake has occurred, are constructing and operating online strong earthquake motion observation networks. The seismograph networks described above are infrastructures vital for instant damage prediction systems that diagnose the possibility of facility damage immediately after the occurrence of an earthquake (see Figure 3), and play an important role in providing guidelines to initial action under circumstances where it is assumed that information disruption and blank areas will occur.

Methods of using an on-line strong earthquake motion observation network to quickly detect an earthquake, estimate its epicenter location, and predict human and property damage are generally called real time earthquake disaster protection systems. This paper has not touched on trends in real time earthquake disaster prevention systems, but it is possible to define this as a new role for strong earthquake motion observations now possible thanks to the information technology revolution.



Estimation of Ground Liquefaction Risks

Estimation of Bridge Damage Risks

Fig.3 Urgent Damage Estimation using On-line Monitoring Strong Motion Records

第 39 回土木研究所研究発表会
(平成 12 年 12 月 7 日～8 日・茨城県つくば市)

建設省地震計ネットワークの活用

1. まえがき

1995年に発生した兵庫県南部地震においては、地震直後の被災地域の特定や被災状況の把握に時間を要し、初期対応を十分に行えなかった。この教訓を受けて、施設管理者の初期対応を支援するために、建設省では平成7年度から地震計ネットワークの整備を開始し、平成11年3月には全国697点の観測点が稼働し、オンライン化されるに至った。

本研究では、地震計ネットワークで観測された地震動情報を、施設管理者の初期対応等に役立つ形で提供するためのシステム開発を行っており、本報告では、既に利用されている3つのシステムの機能について紹介する。

即時震害予測システム(SATURN)は、関東地方建設局で試験稼働しており、地方建設局や工事事務所で地震直後に管内施設の被災の危険性についての情報を提供し、初期対応を支援する。地震動情報データベースシステムは、地震計ネットワークにより観測した地震動情報を蓄積し、地震動の履歴情報の提供を行う。地震動情報閲覧システムは、他の地方建設局で観測した地震動情報をネットワークを通じて提供する。

2. 目的

本研究は、地震計ネットワークから収集される地震動情報を有効に活用する目的で、種々のシステムを構築するものである。以下に各システムごとの導入目的を示す。

(1) 即時震害予測システム

即時震害予測システムは、関東地方建設局と共同で開発を行っており、地震後、早期に所管施設

全体の被災状況を把握することを支援することを目的としている。そのために、地震動情報を受信した場合、その情報から道路、橋梁、河川堤防の地震被災危険度を予測する機能を有し、観測地震動情報とともに被災予測情報を防災担当者に提供するものである。防災担当者は、地震直後に所管施設全体の被災危険度の情報を得ることができ、より効率的・効果的な初期対応を行うことが可能となる。

(2) 地震動情報データベース

地震の観測情報は貴重なデータであり、散失しないように保存する必要がある。合わせて、地震動情報を活用するためには、地域・時間など諸条件に応じたデータをすぐに検索し、入手できるようにしておく必要がある。そのために、地震動情報を集積しておくデータベースシステムを構築した。構築したデータベースシステムは、地震計ネットワークで観測された地震動情報を自動的に蓄積する機能を有している。蓄積されたデータは、データベース管理者を通じ、求める条件に合致したものを入手することが可能である。

(3) 地震動情報閲覧システム

観測した地震動情報を、手軽かつ広範囲に提供することを目的として、ネットワークに対応した地震動情報閲覧システムを開発した。

3. 方法

各システムの開発方針と開発方法を以下に記す。

(1) 即時震害予測システム

本システムは、初期対応の策定に活用されるものであるため、地震後すぐに予測結果を求めることが要求された。よって、予測結果を算出するま

での目標時間を、地震発生後15分とした。そのため、被害程度の判断手法は、あらかじめ被害が発生する地震動強度を計算しておき、実際の地震発生時には予測地震動強度と被害レベルの閾値を比較するのみとし、時間短縮を図った。

(2) 地震動情報データベースシステム

地震動情報システムには、地震動観測情報、地震観測点情報、地震計情報などが蓄積される。それらのデータは相互に関係するため、リレーショナル型のOracleを用いたシステムとした。地震計で観測され、ネットワークを経由して土木研究所のサーバーに送信されてきた地震動情報は、自動でデータベースに蓄積される。また、操作性を考慮し、各種データの確認及び修正を行うためのインターフェースを作成した。

(3) 地震動情報閲覧システム

即時震害予測システム詳細な情報を扱うために、予測結果のみに制限しても扱うデータが多く、ネットワーク対応にするには課題が多い。そこで、地震動観測結果のみをネットワーク接続されているパーソナルコンピュータにより簡単に閲覧できるシステムを開発することとした。そのために、現在使用されているパーソナルコンピュータの大部分で標準で対応できるHTML言語による閲覧システム(通常ホームページとよばれているもの)を開発した。なお、地震動情報の提供も速やかに行う必要があるため、本システムは地震が発生した場合、地震動情報データベースシステムから情報を得て、各地震に対応した部分の画像データやHTMLプログラムを、自動で生成する機能を有している。

4. 結果

4. 1 即時震害予測システム

(1) 被害予測の方法

地震計ネットワークは、重要な地域は2.0 km

～40 km程度の間隔で、地震計を設置している。そのため、全ての管理施設に地震計が設置されているわけではない。そこで、本震害予測システムでは、観測された地震動から各管理施設位置における地震動を推定し、各施設の被害を推定する手法を採用した¹⁾。

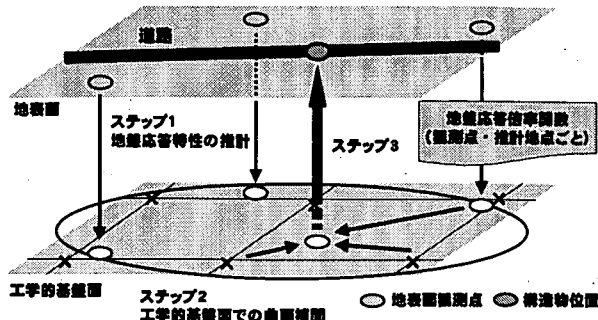


図-1 地震動補完推定手法

採用した手法は、図-1に示すように、各観測点の観測値を地盤応答係数により工学的基盤面上の地震動に変換し、この基盤面上の地震動から地震動分布を面的に補完する。その補完面から各管理施設の直下の値を推定し、地盤応答係数を再度用いて、各管理施設に作用する地震動を求めるものである。また、被害の程度については、事前に被害が発生すると予測される加速度あるいはSI値を閾値として計算しておき、各管理施設に作用すると推測される値をこの閾値と比較することにより、短時間で被害予測を行っている。橋梁被害予測については、表-1に示す閾値¹⁾を用いた。また、河川の被害の判定には、各被害が発生する加速度を個々の地点について計算し、閾値とした。

表-1 橋梁被害の閾値

	適用条件	被害度大	被害度中	被害度小	被害度なし
RC橋脚(曲げ破壊)	適用条件あり	0.2>khy	SI>30	30≦SI>10	10≦SI
	昭和55年以前	0.4>khy≧0.2	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	昭和55年	khy≧0.4	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
	平成2年	khy≧0.5	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	復旧仕様以降	khy≧0.6	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
	復旧仕様以降	khy≧0.6	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
RC橋脚(せん断破壊)	適用条件あり	せん断変位比	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	昭和55年以前	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	昭和55年	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	平成2年	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
鋼橋	適用条件あり	せん断変位比	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
	昭和55年以前	h/d<3	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
	昭和55年	h/d<3	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
	平成2年	h/d<3	SI>100	100≦SI>50	50≦SI
支保	適用条件あり	せん断変位比	SI>140	140≦SI>50	50≦SI
	昭和55年以前	h/d<3	SI>140	140≦SI>50	50≦SI
	昭和55年	h/d<3	SI>140	140≦SI>50	50≦SI
	平成2年	h/d<3	SI>140	140≦SI>50	50≦SI
基礎	適用条件あり	せん断変位比	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	昭和55年以前	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	昭和55年	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI
	平成2年	h/d<3	SI>50	50≦SI>30	30≦SI

(2) 被害予測施設

現在試験稼働している関東地建版においては、以下の施設の被害予測を行っている。

- ・ 国道の液状化危険度 6,028 区間、約 2,320km
- ・ 橋梁の被害予測 331 箇所
- ・ 河川の液状化危険度 564 区間、約 170km
- ・ 河川堤防の沈下量予測 564 区間、約 170km

図-2, 3に被害予測結果例を示す。

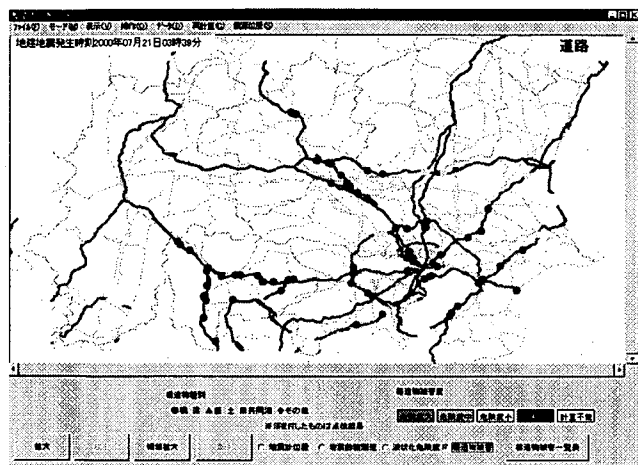


圖-2 橋梁被害予測例

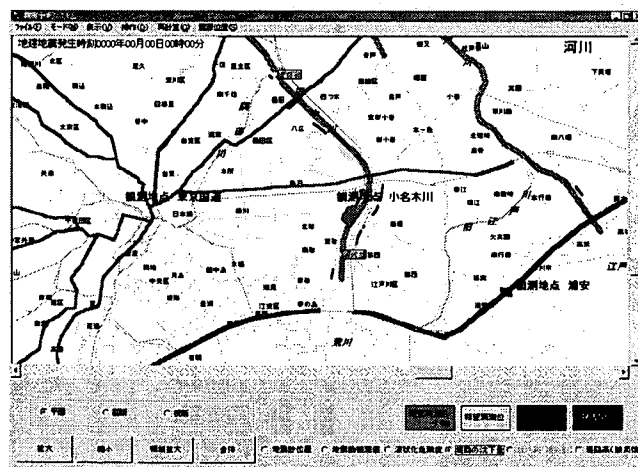


図-3 堤防の被害予測例

4. 2 地震動情報データベースの作成

地震計ネットワークの観測記録は、図－４に示すように地震動を感知し、地震計が観測を行うと、自動的に観測局、事務所、地方建設局を経て土木研究所集約されたデータが送付される。そのため、データベースを構築するに際し、各施設や地震動情報を識別するために、図－４に示す番号あるい

はIDを設定した。

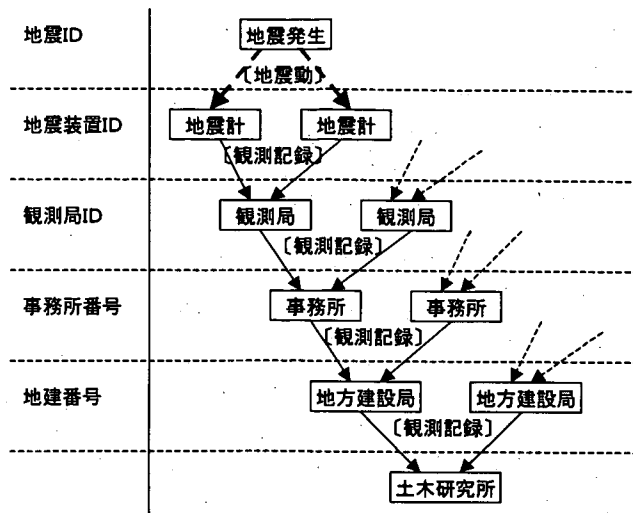


図-4 地震動数値情報の送信経路と識別番号

地震動観測記録には、各観測点で記録した観測値を最大加速度、震度階相当値などにとりまとめた地震動数値情報と、時系列加速度をそのまま記録した地震動波形情報の2種類がある。それらの状況を踏まえ、図-5に示す5種類のデータベース構成とし、互いのデータベースを図-5に示すIDで関連づけた。

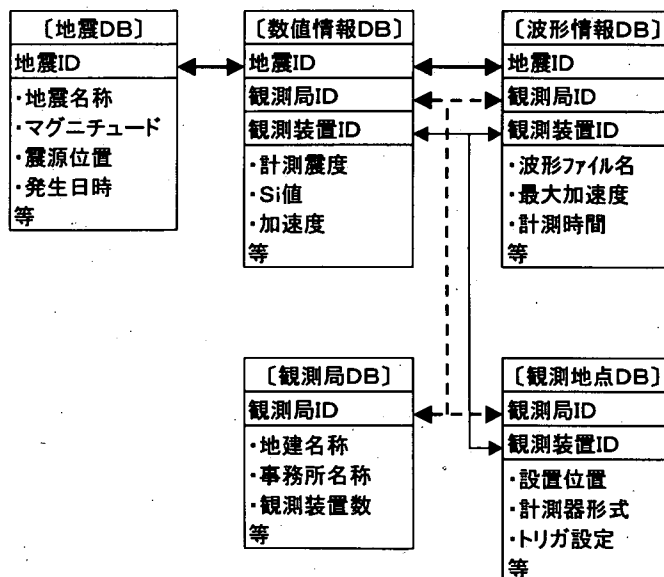


図-5 DBの構成と関連

なお、2000 年 9 月時点において自動的に土木研究所に送信される情報は地震動数値情報のみであり、地震動波形情報は、地震後個別に担当者により地震計から回収され、土木研究所に送付される体制になっている。そのため、地震動数値情報のみ、土木研究所に送信された時点で、自動的に

データベースに蓄積する使用になっている。また、図-6に示すデータベース操作インターフェースにより、登録地震動情報の確認、観測局・観測地点等のデータの追加・更新などを、画面上の操作のみで行えるようにしている。また、ここでは後日送付されてきた地震動波形情報をマニュアル操作で蓄積できるようになっている。

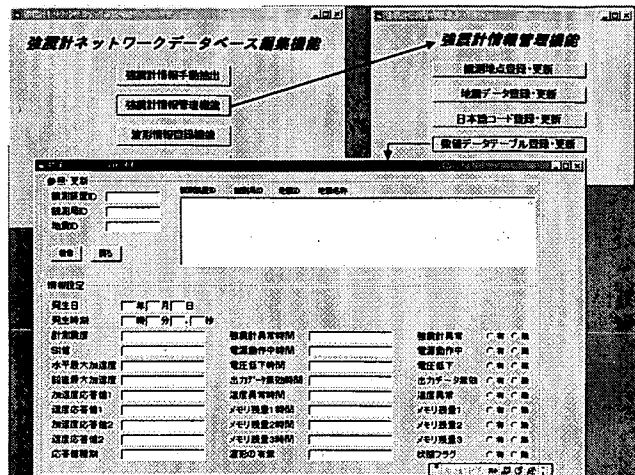


図-6 DBインターフェース画面

4. 3 地震動情報の閲覧システムの作成

蓄積された地震情報の閲覧システムは、閲覧画像・表示プログラム生成部分と、実際にアクセスに対して画像を表示する部分からなる。画像・プログラム作成システムは、データベース自動登録システムからの起動信号を受け、発生した地震の閲覧画像および最新の地震履歴ファイル等を生成する。画像表示システムは、最新の地震履歴ファイルと蓄えられた画像ファイルにより、情報を提供する。前述の通り、このシステムは、HTMLにより作成しているため、一般のホームページと同様に、マウス操作のみで地震の選択や目的地域の拡大、各観測地点情報の表示ができる。閲覧画像は、最大加速度及びS I値の2種類を用意している。図-7に観測地点の全国表示の画面を、図-8に関東地方を中心とした地域の拡大した画面を示す。また、観測画面では、基本情報のダウンロードも可能である。

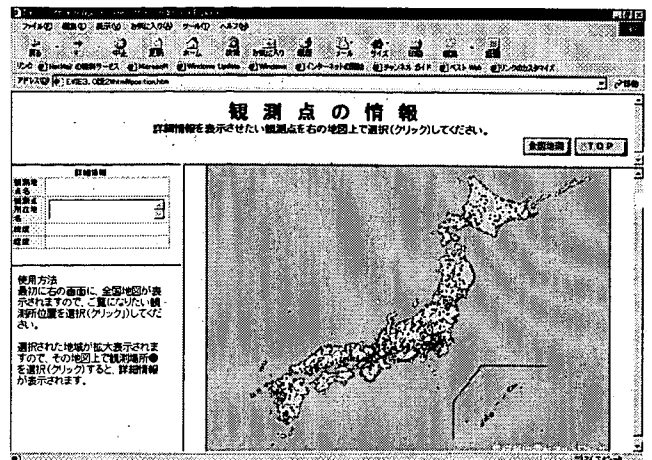


図-7 地震観測点表示画像

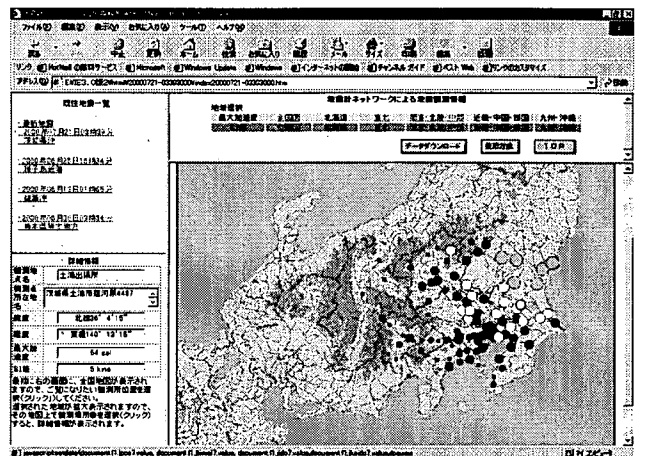


図-8 地震情報表示画像(地域画面)

5. まとめ

本報告では、建設省地震計ネットワークからの地震動観測情報を有効に活用するために開発したシステムの紹介を行った。これらのシステムの活用による、より効果的な震後対応が期待される。本研究に関する今後の課題は以下のとおりである。

(1) 即時震害予測システムの導入推進

関東地建での試験稼働を踏まえ、今後他の地建への導入を推進する。

(2) 地震動波形情報の収集

地震動波形情報を、地震直後にオンラインで収集できるシステムの構築を目指す。

参考文献:

- 1) 濱田 禎、杉田 秀樹、金子 正洋：公共土木施設における即時震害予測システム, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.3419-3424, 1998.11

土木技術資料 平成 12 年 9 月号

土木構造物の強震観測の現状と課題

土木構造物の強震観測の現状と課題

葛西伸寛* 杉田秀樹**

1. はじめに

我が国の強震観測は、昭和 28 年 10 月に総理府資源調査会が内閣総理大臣に強震観測に関する勧告を提出したことを契機として開始された。建設省では、昭和 33 年に猿谷ダムに強震計が設置されている¹⁾。

その後、昭和 39 年の新潟地震を契機に各管理施設で強震観測が強化されてきた。また、兵庫県南部地震では高速道路高架橋が倒壊するなど甚大な被災を被ったことにより、土木構造物の耐震性確保に対する要請が高まり、強震観測についても、より一層の重要性が認識された。

本文は、建設省所管施設における強震観測の現状を調査し、各観測施設毎や各地域毎等の差異を俯瞰的な視点から整理する。さらに、強震観測関係者によるブレインストーミングを行い、強震観測の課題を分析することで、より一層、効率的な強震観測のあり方について今後の方針を考察した。

2. 強震観測の現状

2.1 記録媒体による観測機器の分類

強震計は地震観測計器の一種であり、主に強振動と呼ばれる振幅域を観測する観測計器で、記録部とセンサーにより構成される。

観測機器は日々進化しているが、現在、観測している機器を記録媒体別に区分すると①自記紙タイプ、②電子媒体タイプの 2 種類に大別できる。

また、電子媒体は、アナログ形式とデジタル形式

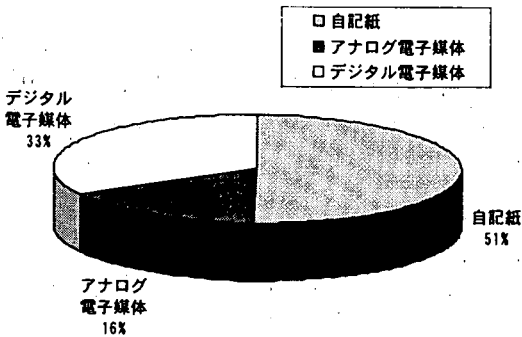


図-1 記録媒体別の観測機器の構成比

表-1 現存する計器の記録媒体の種別による特徴

記録媒体分類	自記紙	電子媒体	
	アナログ	デジタル	
特徴	振動を紙などに直接波形として記録	振動を音声記号として記録	信号をデジタル化して記録
観測範囲	狭帯域	広帯域	広帯域
データの歪み	多い	少ない	無い
媒体の回収間隔	基本的に地震発生毎に回収	定期的	定期的
媒体コスト	安価	安価	高価
数値化コスト	高い	高い	安い
数値化に伴うデータの歪み	発生しやすい	発生しやすい	理論的には無い

に分類できる。現在、土木研究所で動作確認を行っている観測機器の台数を記録媒体別に分類したものが図-1である。また、現在使用している観測機器で使用している各記録媒体の特徴をまとめると表-1の通りである。自記紙タイプの観測計器はデータの歪みが電子媒体に比較すると大きい。また、地震発生時刻の記録が得られないために、地震発生毎に記録媒体を回収する必要があるなど不利な点が多い。現在の強震計は電子媒体が主流であり、自記紙タイプの強震計は計画的に電子タイプのものに更新していくことが必要である。

2.2 センサー形式による観測機器の分類

強震計に用いられているセンサーは表-2の通り、機械式、圧電式、コイル式の3種類に大別できる。機械式は最も簡単な構造で、振動を振子で感知し、そのまま記録紙に出力するものである。

表-2 強震計のセンサーの種別¹⁾

	機械式	圧電式	コイル式
振動変換方式	振子の振動を直接出力する	振子の振動を圧電素子で電気信号へ変換する	振動を電磁コイルによって電気信号へと変換する
対応範囲	振子により対応できる帯域に限られる	比較的広帯域	広帯域
遅延記録(感知前記録)の付記	不可能	不可能	可能
一般的な呼称	スクラッチ式 自記紙型	圧電式 電圧式	サーボ式 電磁式 可動コイル式

この方式が初期の地震観測計器に多く採用されたのは構造が簡単で振子の固有振動別に様々な周波数帯を測ることが可能だったためである。しかし、この形式は、測定範囲内の周波数帯でも様々な機器特性が顕在化しやすく、観測データの取扱いには多数の手順と注意が必要である。このため、最近の強震計では使われることは少ない。

圧電式は圧電素子(ピエゾ素子など)を使い、振動を直接電気信号へと変換する方式である。基本的に広範囲の周波数帯で強い振動を測定可能であるが、構造上、長周期帯は計測し難く、地震動よりは高周波数帯(短周期帯)の振動の計測に向いているためか、最近ではあまり使われてはいない。

コイル式は基本的に振動を磁石とコイルによる起電により電気信号へと変換する方式である。コイル式の一つであるサーボ式は振動子を電磁石とコンデンサで振動させないようにすることで振動を高効率で電気信号へと変換する方式である。構造的に静止から高周波数帯まで計測可能であり、機器特性の影響も極めて小さいため近年では最も一般的に用いられている方式である。また、強震観測記録を用いた地震動解析のためには地震動が構造物に到着してから大きく揺れだすまでの振動記録(初期微動という)が重要であることから、電気信号へ変換する圧電式とコイル式のセンサーを用いる強震計は感知前記録(遅延記録という)¹⁾の機能を備えた構造となっている。

2.3 設置施設別の設置状況

観測機器の設置状況を示すと表-3の通りである。なお、表-3には建設省が別途、施設管理のために設置している地震計ネットワークの観測所も含まれている²⁾。

表-3によれば全国で、432観測所、998センサー、2,961chが設置されている。この数は、全国平均で約860km²に一つの観測所があることに

表-3 建設省直轄関係の地震計設置状況(管理施設別)

一般強震 観測総計	設置状況			観測区分 (センサー別)	
	観測所数	センサー	ch	一般	共用
河川	140	362	1,083	259	103
道路	165	250	734	129	121
ダム	84	291	859	256	35
砂防	49	97	291	96	0
総計	432	998	2,961	740	257

注 1) 観測区分については、「一般」は一般観測として、「共用」は地震計ネットワークと共用して整備したものを示す。
注 2) 対象施設の合計が観測所数の計と合致しないのは複数の対象施設を兼用している観測所を重複してカウントしているため。

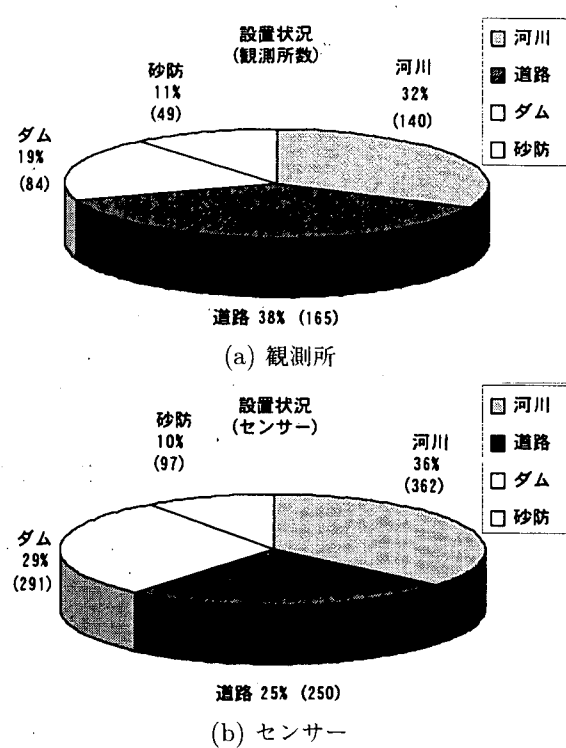


図-2 施設別の観測機器の設置割合

なり、これは一辺が約44kmの三角メッシュ毎の観測網と同等である。

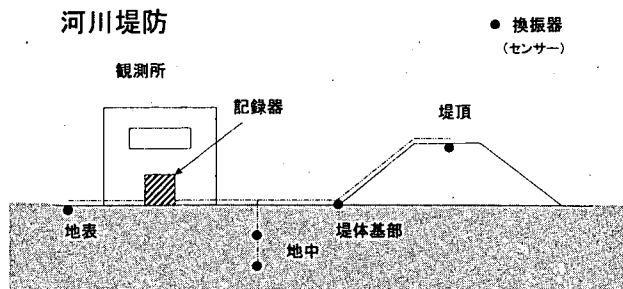
河川、道路、ダム、砂防の区分に応じて観測所とセンサーの割合を示すと図-2の通りである。観測所数で見ると、河川が約1/3、道路が約2/5、ダムが約1/5、砂防が約1/10を占めているが、センサー数で見ると河川とダムが約1/3、道路は約1/4、砂防は約1/10を占めている。これは対象となる施設数の多寡と1観測所あたりのセンサー数の多寡による。

2.4 観測対象施設におけるセンサーの設置個所

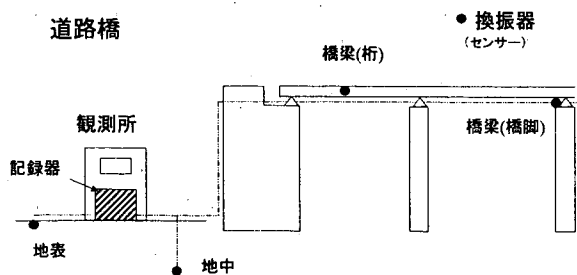
各施設におけるセンサーの標準的な設置位置を模式的に示すと図-3の通りとなる。センサーの設置に際しては地表での地震動と構造物の挙動の双方を記録できるように配置することが肝要である。

各施設毎にセンサーの数を設置位置別に集計すると図-4の通りである。河川施設は地表、地中、構造物にバランスよく設置されている。これに対して、道路施設では地表に設置されたセンサーが多く、構造物や地中のセンサーが少ない。ダム施設は巨大な水圧に抗する施設であり、堤体の挙動を精緻に観測する必要があるため、構造物に設置されたセンサーが多くなっている。砂防施設では構造物と地表の比がほぼ1対1という設置状況となっている。

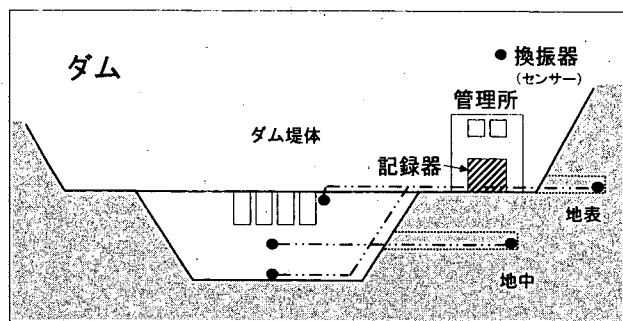
河川施設と道路施設について構造物の設置位置別に割合を示すと図-5の通りである。河川施設では堤防に対する観測に重点が置かれている。また



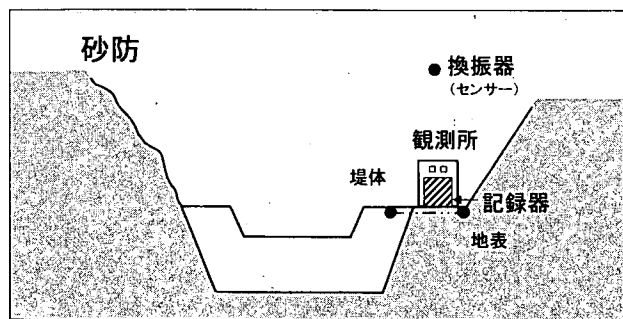
(a) 河川施設 (堤防)



(b) 道路施設 (橋梁)



(c) ダム施設 (堤体)



(d) 砂防施設 (堤体)

図-3 センサーの標準的な設置例

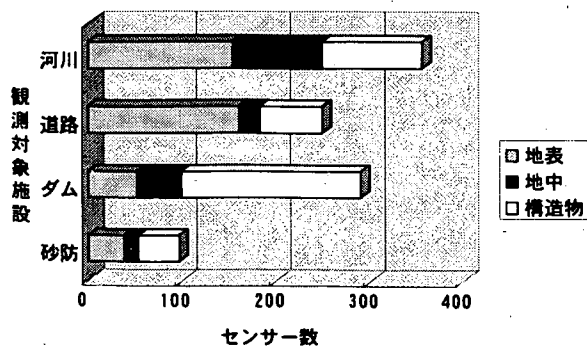
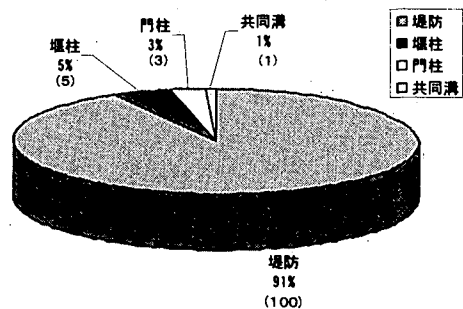
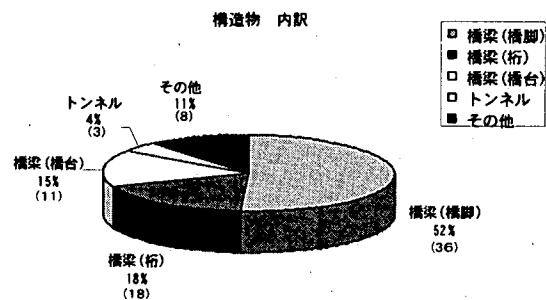


図-4 センサーの設置個所の施設別分類



(a) 河川施設



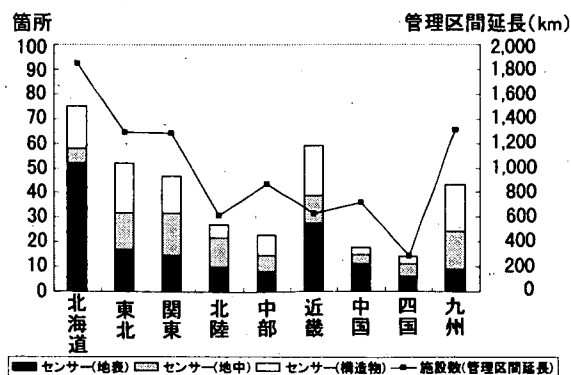
(b) 道路施設

図-5 観測対象とする構造物合

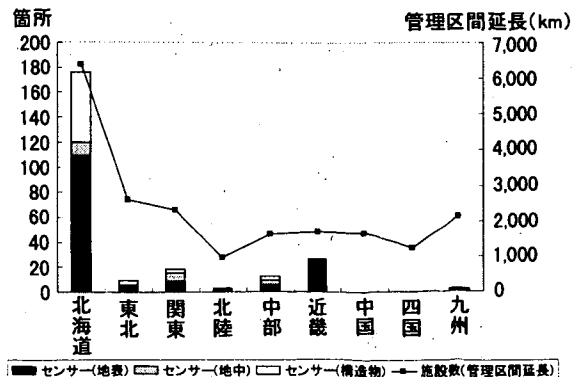
道路施設では橋梁に対する観測に重点が置かれ橋梁の各部位に対してセンサーが配置されている。

2.5 地域別の設置状況

河川施設と道路施設についてセンサーの設置箇所数を地域別に整理すると図-6の通りである。



(a) 河川施設



(b) 道路施設

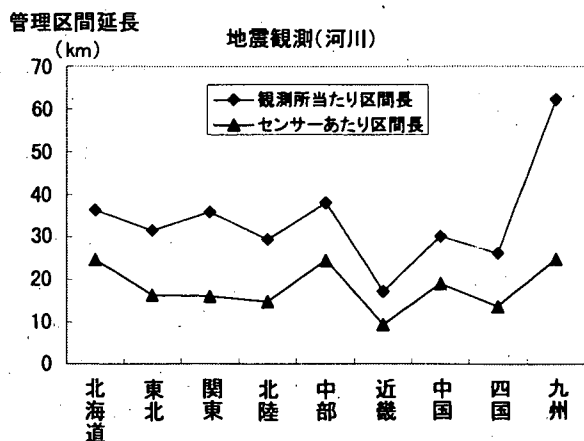
図-6 地域毎に見たセンサーの状況

河川では管理区間延長と施設数と比較して近畿の設置数が突出しているが、これは兵庫県南部地震により強震観測の重要性が強く認識され整備が推進されたためである。これに対して道路では北海道を除いて観測施設の整備は低い状況となっている。

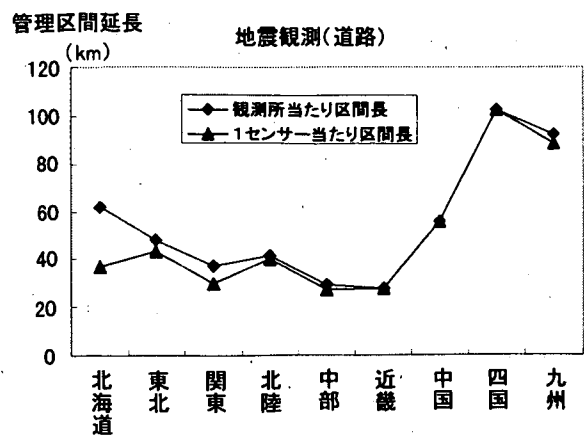
また、観測所及びセンサーあたりの管理区間延長を整理すると図-7の通りである。

河川での1観測所あたりの管理施設延長は全国平均で約33kmである。地方別で見ると九州だけが長くなっているが、センサーあたりの管理施設延長では突出して長くはなっていない。これは1観測所について多数のセンサーを配置しているためである。道路での1観測所あたりの管理施設延長は全国平均で約49kmである。比較して長い地方は四国、九州である。北海道を除く地域で観測所あたりとセンサーあたりの管理施設延長に差がないのはほとんどの観測所で単数のセンサーしか配置されていないためである。

河川、道路共に配置密度や観測所とセンサーの配置状況に地域格差があるため、今後は総合的な視野からの計画的な整備が必要であろう。



(a) 河川



(b) 道路

図-7 地域別の観測施設あたりの施設延長

3. 強震観測に係る課題

第2章までに示したように、土木構造物の強震観測については近年になって一層、観測箇所が増加し観測機器の多様化が進んでいる。また約40年間の強震観測の歴史を通じて既に整備された観測計器の老朽化に伴い機器の更新などの必要性も増している。このような背景の下、強震観測事業を円滑に円滑に推進するため、強震観測の関係者によるブレインストーミングを行い、強震観測に係る現状の課題を分析した。

ブレインストーミングでは「必要な設置場所の明確化が必要」、「データの変換方式などの統一化が必要」等の多岐に渡る意見が出された。次に課題を整理するために、これらの意見を「基準・仕様」、「精度」、「性能」、「計画」、「設置」、「管理」、「データ利用」の7つの属性でグルーピングした。さらにISM法 (Interpretive Structural Modeling : 要素、属性などを分析して階層構造を客観的に導出する数学的手法) を用いて、属性間の構造化を行った。この結果を図-8に示す。

図-8によれば、以下の点が指摘される。

- ①「計画」、「データ利用」が最上位に位置づけられており、次いで「管理・基準」の順となっている。これらの課題は強震観測関係者の間で最も重要かつ優先的に解決を図るべき事項として認識されていると考えることができる。
- ②これに対して観測計器の「性能」、「精度」は下位に位置づけられている。これらの課題は上段の計画等の課題に従属することを示すものである。

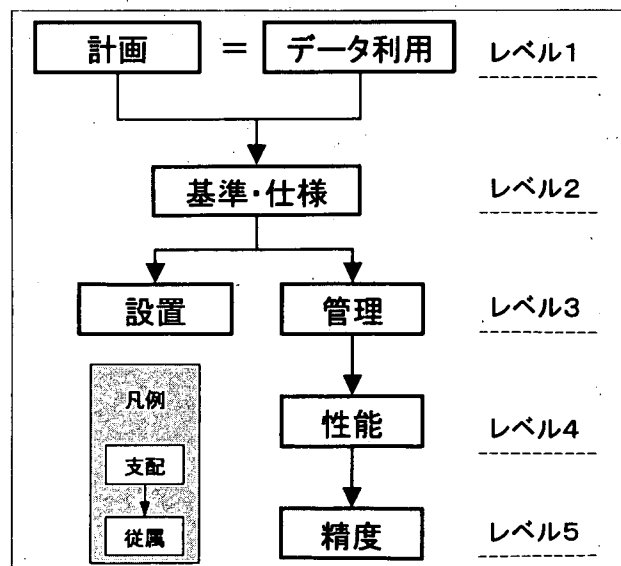


図-8 属性間の支配関係図

4. 強震計の整備運用計画

第3章で明らかにされた強震観測の整備運用に係る計画について考察する。

現状において、ダム施設への観測計器の整備は施設自体の挙動観測として河川砂防技術基準(案)に従って行われている。砂防施設については、兵庫県南部地震を契機として「砂防ダムへの地震計の設置について(H7,11 砂防課長通達、建設省河砂発第51号)が出され、高さ15m以上の砂防ダムについて強震計を設置することが求められている。河川施設については「河川堤防における強震計配置計画(第一～三期)(H8,5 本省治水課事務連絡)」に基づき、全国で90観測所に配置されることとなっている。

現状では前述した通り事業別の計画に基づき強震観測所は整備されてきた。しかしながら、観測所の疎密を解消し、新設、更新、廃止等を合理的かつ効率的に行うためには事業別の計画を包括する全体計画について検討していくことが必要である。

5. データ処理の効率化

第3章では強震観測に係る課題として「データ利用」が課題意識の上位に位置づけられている。ここでは強震観測を気象観測の一つと捉え、同じく気象観測の一つである雨量、水位観測と比較することにより、データ利用に係る課題解決の方向を考察する。

5.1 データ量の比較

建設省で観測している雨量、水位観測所と比較すると表-4の通りとなる。観測所数は約1/3であるが、ch数はほぼ同数である。これは1観測所=1センサー=1chである雨量、水位観測所と異なり、強震観測は1観測所に複数のセンサーが存在し、さらに1センサーにつき上下1方向水平2方向の3chとなるためである。また、收集整理すべき

表-4 雨量、水位観測との比較³⁾

	観測所数	ch数	総データ量	記録形態
雨量観測	2,886	2,886	25,281,360 データ/年	毎正時に1データ
水位観測	2,746	2,746	24,054,960 データ/年	"
地質観測	873	2,961	4,440,000 データ/地震	1/100秒単位で約2分程度 (約12千データ/ch/大地震) 半径100kmのデータ
			22,460,296 データ/年	震度4以上(年間30回) 半径50kmのデータ

表-5 地震発生回数
(最大震度4以上)

年	地震発生回数 (震度4以上)
1990	16
1991	27
1992	50
1993	24
1994	20
1995	48
1996	31
1997	40
1998	29
1999	23
平均	30.8

データの時系列数量の相違がある。雨量、水位観測は基本的に毎正時(各時刻の00分時)に一度、観測しデータを収集する。だが、強震観測は基本的に地震発生時に対象となる施設に付けられた全てのセンサーで1/100秒単位で数分間観測しデータを収集する。仮に大地震が発生した時、震源から半径100km以内の観測所のデータを収集するとした場合、前述の観測所の

平均密度から算出すると約9.1観測所のデータを収集することとなるこれは全国の雨量、水位観測所の約2ヶ月分に相当する。震災発生時に大量のデータを速やかに収集するためには工夫が必要である。また、最大震度4以上の地震についてデータを収集することを試算すると、対象となる地震は表-5の通り、過去10年間の平均で約30回/年程となる。これは雨量、水位観測の一年間あたりのデータ量とほぼ同量となる。

5.2 データ処理の流れ

現在の雨量・水位観測と強震観測のデータの流れを比較して図-9に示す。この図に示す通り強震観測では①土木研究所が年1度、動作確認をする時に収集する、②大地震時に観測所の管理者が土木研究所に送付する、という2つの手段によって行われ、データ整理(数値化→テキスト形式変換)は土木研究所が行い、概ね20gal以上の観測データについて彙報として取りまとめ、公刊している。これに対して雨量・水位観測は、観測所を管理する事務所がデータを收集整理し、地方建設局を通じて本省に集約される仕組みである。仮に1事務所あたり10箇所程の雨量、水位観測所を管理していると仮定すれば、土木研究所は年間で約300倍、大規模地震発生時には約600倍の処理能力が即座に必要となる。

これを解決するための方法としては以下に上げる4つの方法が考えられる。

①フォーマットの共通規格化

水位観測等のように出力形式、保存形式、保存媒体、等を共通の規格

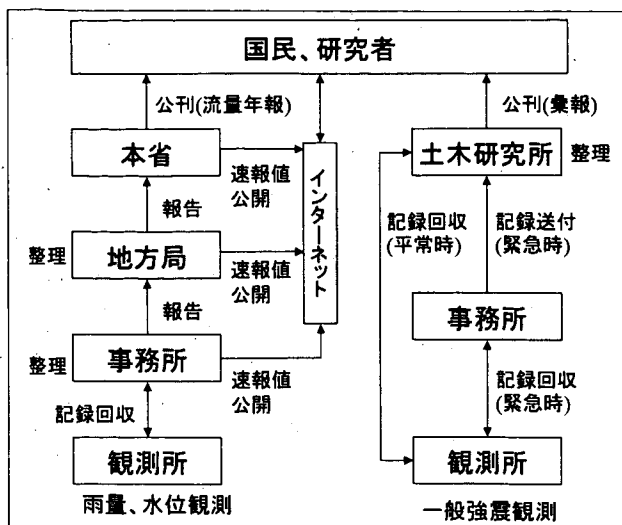


図-9 各観測のデータの流れ

とすることで、収集・整理の作業を効率化する。これはコストを削減や人為的なデータの取扱上のミスを削減することに繋がる。

②データ回収の省人力化

オンライン化などによりデータ回収の迅速化と省人力化を図る。

③データ処理の効率化

多様化する観測機器に対する機器特性の補正プログラムの効率的な整備を行う。また、観測機器を管理する事務所などにおいて回収されたデータのデータベース化を進めることにより、重要なデータの喪失を防ぐ。

④デジタル式機器への積極的な更新

データ処理作業が相対的に複雑なアナログ式の観測計器からデータ処理作業が少ないデジタル式の観測機器へ積極的に更新することにより、効率的な観測体制の充実を図る。

6. 今後の展望

これまでで判明した強震観測の改善点を以下に整理する。

①包括的な配置計画の推進

事業別、地域別の観測所、センサーの疎密を是正する包括的な観測計画を策定し、推進する。

②組織的なデータ処理の推進

統一的な手法、手段で組織的に観測することで、効率的且つ省人力化したデータ整理を推進する。

③フォーマットの共通規格化

観測データの共通化を図ることで、データ処理の効率化と堅牢性の向上を図る。

④機器の積極的な更新

自記紙(アナログ)タイプから電子(デジタル)

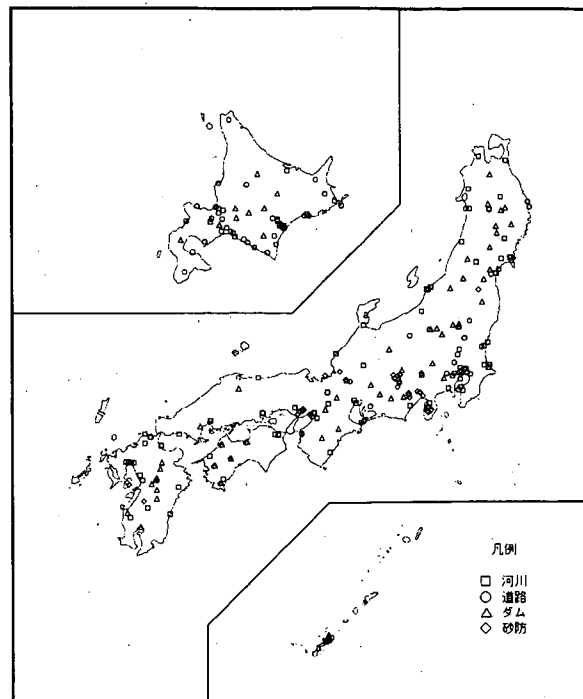


図-10 全国の一般強震観測地点

タイプ方式への機器の更新を図ることで、より効率的な強震観測を推進する。

⑤データ回収の効率化

オンライン化等により、データ回収の効率化を図る。

⑥データ処理の効率化

機器補正プログラム等の整備とデータベースの組織的な整備を推進する。

以上、6項目の強震観測の改善点について今後、関係各機関と調整を図り、積極的に推進していく予定である。

参考文献

- 1) 荒川直士他：土木構造物に対する強震観測(第2刷), 土木研究所資料 1734号
- 2) 杉田秀樹：リアルタイム地震対応を目指した地震計ネットワークの整備、土木技術資料, Vol.40, No.2, 1998.2
- 3) 建設省水文研究会：水文観測, 社団法人全日本建設技術協会

葛西伸寛*



建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課管理係長
Nobuhiro KASAI

杉田秀樹**



同 防災技術課長、工博
Dr.Hideki SUGITA

土木技術資料 平成 12 年 9 月号

地震時の交通状況評価に関する研究

地震時の交通状況評価に関する研究

杉田秀樹* 大谷康史**

1. はじめに

平成7年に起きた兵庫県南部地震による市街地の甚大な被害を背景に、地震に対して強いまちづくりが各地域で推進されている。そのまちづくりを技術面から支援することを目的として、平成10年度より5箇年計画で建設省総合技術開発プロジェクト(以下「総プロ」と記す)「まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発」が開始された。本総プロでは研究領域を(1)地区の防災要素の影響評価手法の開発、(2)地区の防災対策技術の開発、(3)計画支援技術・防災対策推進方策の開発の3テーマに分類し、公共施設整備の市街地災害抑制効果、地区レベルの防災対策及び住民・行政職員の合意形成支援ツールに関する研究を実施している。当課では、(1)地区の防災要素の影響評価手法の開発に属する、地震時交通需要推計手法、道路区間の障害危険度評価手法を含む幹線系道路(道幅が8m程度以上の道路)の信頼性評価手法について、研究を行っている。

本報告は、兵庫県南部地震等既往地震の被災事例の調査・分析結果を報告し、これに基づく幹線系道路における地震時の交通状況評価手法の枠組みについて提案する。

2. 幹線系道路の地震時機能障害に関する調査

2.1 既往地震による幹線系道路の被害

2.1.1 既往地震による被害の調査方針

地震により道路施設(道路橋、盛土、切土・斜面、トンネル等)、道路占用施設(地中埋設管、共同溝等)、道路沿道施設(建築物、電柱、ブロック塀等)に機能障害が発生すると、幹線系道路では通行規制を行わなければならない。

そこで、幹線系道路の障害危険度評価手法を作成するにあたり、考慮すべき事象を明らかにするために、既往地震における道路被害について調査を行った。調査対象地震は、近年に発生し被害が大きかった5地震とし、被害発生場所により、山

間部に被害が生じた地震(昭和53年伊豆大島近海地震)、市街地に被害が生じた地震(昭和53年宮城県沖地震、昭和58年日本海中部地震、平成5年釧路沖地震、平成5年北海道南西沖地震)、大都市直下型地震(平成7年兵庫県南部地震)の3種類に分類した。

調査方法は、兵庫県南部地震については道路管理者に対するヒアリングを行い¹⁾、その他の地震については、既往の被害調査報告書によった。

2.1.2 兵庫県南部地震における被災事例

兵庫県南部地震における調査範囲を表-1に示す。調査対象となった総管理延長は1,040kmであり、その区間で道路管理者が行った通行規制は232カ所にのぼった。通行規制の原因となった道路機能障害の調査結果は図-1に示すとおりであり、以下の事象が明らかとなった。なお、道路機能障害の種類は多岐にわたるため、関連事項をまとめて、大きく5項目に分類している。

(1) 通行規制をもたらした道路機能障害は、路面・付帯設備関連が最も多く、それに橋梁関連が続いている。

表-1 兵庫県南部地震における調査対象

道路管理者	管理延長	通行規制箇所数
兵庫県	520km (50%)	76件 (32%)
神戸市	260km (25%)	46件 (20%)
阪神公団	73km (7%)	64件 (28%)
兵庫国道	187km (18%)	46件 (20%)
合計	1,040km (100%)	232件 (100%)

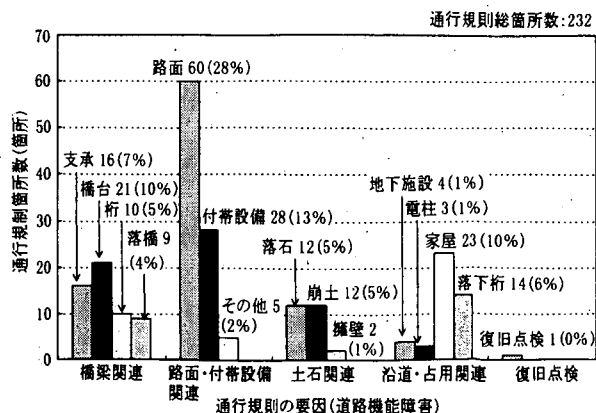


図-1 通行規制の原因となった機能障害

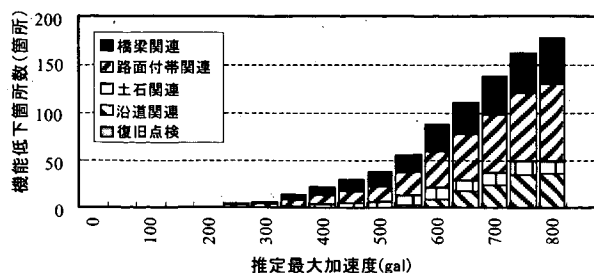


図-2 地表面最大加速度と機能障害箇所数

(2) 幹線系道路においても道路施設以外の沿道・占用関連の被害による通行規制が全体の約19%を占めており、道路機能障害を扱う上で、重要な要素である。

次に、別途推定された地表面最大加速度分布を用いて、通行規制をもたらした各種道路機能障害件数と地表面最大加速度の関係を累積グラフ形式にとりまとめた。結果は図-2の通りであり、各種施設被害による道路機能障害の一般的な傾向についてまとめると、以下の通りである。

(1) 全体的な傾向は、施設被害は地表面最大加速度が概ね200galを超えた地域で生じ始め、地表面最大加速度が概ね500galを超える地域で急増する傾向がある。

(2) 橋梁関連、路面・付帯設備関連の被害による機能障害は、地表面加速度が概ね200galを超える地域で生じ始める。

(3) 土石関連の被害による機能障害は、概ね300galを超える地域で生じ始め、500galを越える地帯で障害件数が頭打ちとなっている。

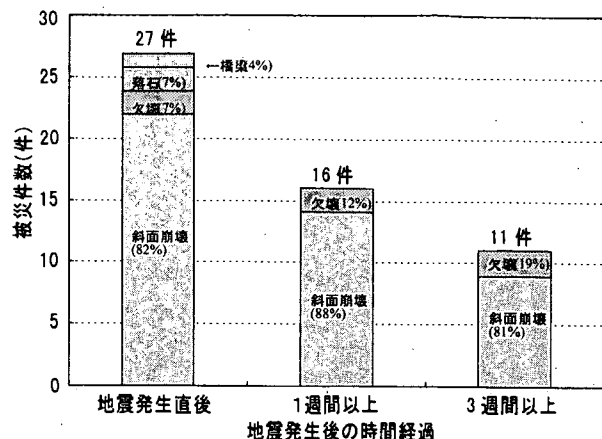
(4) 沿道・占用関連については概ね500galを下回る地域で機能障害が見られない。これは、幹線系道路の機能障害をもたらす被害が地下施設被害・電柱倒壊・家屋倒壊・道路上への桁落下など比較的大規模な被害に限定されており、これら被害は地表面最大加速度が小さな地域では生じにくいと考えられる。

2.1.3 既往地震における道路機能障害の復旧

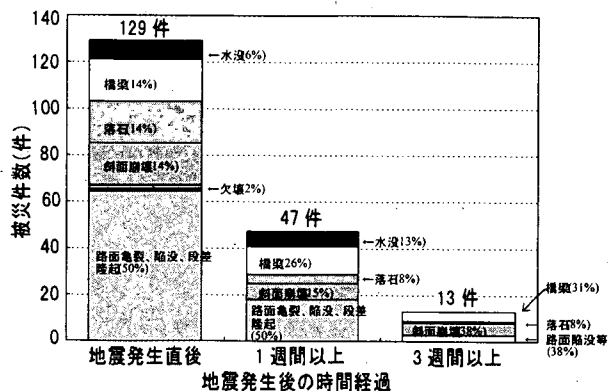
地震後の時間経過に伴う幹線系道路の被害の復旧状況を把握するために調査を行った。調査結果を、(a) 山間部の地震、(b) 市街地の地震、(c) 大都市直下の地震の3種類の分類毎に図-3に示す。調査結果より以下の結論が得られた。

(1) 山間部の地震においては、土石関連被害が多く、市街地の地震に比べて道路機能障害の解消に時間を要する。

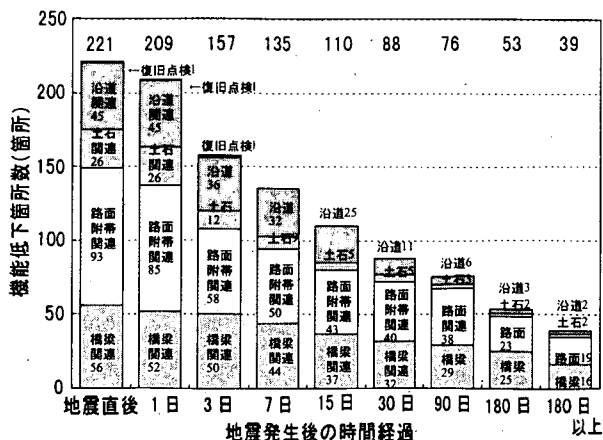
(2) 施設被害が多岐にわたる市街地の地震と大都市直下の地震では、施設被害件数や被害程度が



(a) 山間部の地震 (伊豆大島近海地震)



(b) 市街地の地震 (新潟、宮城、日本海中部)



(c) 大都市直下の地震 (兵庫県南部)

図-3 通行規制を伴う道路機能障害の時間変化

異なるため定量的な比較は難しいが、道路機能障害を概ね9割解消するために、市街地の地震では3週間程度、大都市直下型の地震では180日以上要する。

(3) 兵庫県南部地震では、路面損傷が1日以内で復旧された箇所が多く見られる一方、6ヶ月以上の復旧期間を要した箇所も少なくない。これは、部分的に使用可能となり緊急輸送路として供用されている路線では、復旧作業に専念できず、完全復旧までに時間を要する場合があるためだと考えられる。

表-2 通行規制と道路機能障害の関係

道路機能障害 (施設被害等)	交通規制の種類							
	交通整理	広域交通規制	完全通行止	車重量規制	夜間通行規制	走行速度規制	一方通行	車線制限
1. 欠崩			●		●			
2. 亀裂、陥没、段差、隆起			●	●		●		●
3. 落石、土石崩壊			●		●			●
4. 上部工の傾斜、移動、落橋		●	●	●			●	
5. 支承部の損壊			●	●				
6. 橋脚、橋台、橋対の亀裂、剝離、基礎の破損			○	●			●	
7. 橋台の裏込め土の崩壊								●
8. 橋梁取付部の段差		●	●					
9. 歩道橋の被害			○					
10. 地下道の被害								
11. 信号機等の被害	●							
12. 地下埋設管の被害			●					
13. 建物の被害			○					●
14. 塀、石積の倒壊			●					○
15. 道路上への桁落下			○					○
16. 電柱、立木の傾斜、倒壊			●	●				
17. 浸水		●						
18. 市街地火災			○					
19. 避難、緊急輸送活動				○				
20. 車輛滞流								

●印：新潟地震、伊豆大島近海地震、宮城県沖地震による通行規制例

○印：兵庫県南部地震により新たに生じた通行規制例

2.1.4 道路機能障害評価時の留意事項

評価対象として、主に市街地を想定しているが、兵庫県南部地震においては、既往の市街地の地震に比べて復旧に長期間を必要としている点に留意し、復旧時期の道路機能障害評価にあたっては、推定地震被害の質・量を考慮する必要がある。

2.2 道路機能障害と通行規制

既往地震の調査事例より、道路機能障害と道路管理者が実施した通行規制の関係について調査を行った。調査結果は、道路震災対策便覧²⁾を参考とし、表-2の通りとりまとめた。兵庫県南部地震は他の既往地震に比較して大規模な施設被害が多く生じたことから、橋梁・橋台の損傷、歩道橋被害、建物被害、道路上への桁落下による完全通行止めの事例が新たに見られた。幹線系道路の障害危険度評価にあたっては、この点に留意し、被害想定が過小評価にならないよう検討する必要がある。

3. 地震時の交通状況評価

3.1 幹線系道路の地震時の重要性

幹線系道路は、被災者の救命、消防、広域避難、緊急輸送等の活動に対して重要な役割を果たして

いる。平常時から幹線系道路の耐震性を評価し、予測される地震時の交通状況を把握することにより、道路管理者は効果的な構造物の耐震性向上等や訓練等を行うことが可能となる。また、地震時の幹線系道路状況を住民に分かりやすく提示することにより、地域の防災活動も支援することができる。

地震発生直後は、幹線系道路に区切られた町丁目程度の街区において、一時避難や住民による消火・救助活動等が行われる。その後、状況に応じて行われる大規模な消火・救助活動、広域避難活動、緊急支援物資の輸送等は、防災拠点(物流拠点や消防署等)から被災地区へ、あるいは被災地区から広域避難場所へと幹線系道路を利用して行われる。本研究においては、そのような活動の各地区への効果を評価するために、評価対象地域を各防災拠点が含まれる市町村程度の広がりとし、町丁目程度の被災地区(500~1,000m四方程度)を起終点とする緊急活動の効果という比較的微視的な検討により評価を行う。

3.2 交通状況推計の枠組み

これまでに、道路施設の耐震性評価や道路ネットワークの脆弱性評価^{3),4)}については研究的な取り組みがなされているが、地震時の交通需要を含めた総合的な交通状況評価については、ほとんど検討がなされていないのが現状である。そこで、総合的な交通状況評価手法の枠組みとして、図-4に示すフローを提案する。この全体フローは、地域の防災対策担当者が、当該地域を含んだ自治体等の地震被害想定をベースに評価することを念頭において作成したものである。評価手法は、事前準備から交通状況の評価まで、大きく7つに分けており、その中で特に重要なモジュールは以下の3つであり、その内容を示す。

(1) 幹線系道路の障害危険度評価モジュール

道路施設被害・沿道占用施設被害・路上放置車両等による道路機能障害の評価を行う。

(2) 緊急活動に伴う交通需要推計モジュール

避難活動・救助活動・消防活動・物資輸送活動・復旧活動等の緊急活動に伴う交通需要の推計を行う。

(3) 交通状況シミュレーションモジュール

幹線系道路の機能障害を再現したネットワーク

上に、評価時期に応じた緊急活動に伴う交通需要及び背景交通需要をネットワーク配分しシミュレーションを行う。

上記モジュールは、以下に示す本手法の基本方針に基づき、今後構築する。

- (1) 沿道施設等まで含めた幹線系道路の被害と地震時の交通需要の両方を考慮した総合的な評価を可能とする。
- (2) 地域防災計画と整合させることができ、一貫した検討を行うことを可能とする。
- (3) 各計算システムは独立しており、将来的によりよい評価法が確立された場合、システムの変更

が容易である。

3.3 交通状況評価の前提条件

各地域において発生する地震は多様であるが、本研究の対象とするのはその地域において発生が予想される最大級の地震である。この地震については、各自治体において検討されており、地域防災計画として、対象とする地震や被害想定を検討結果がとりまとめられている。これら地域防災計画との整合を図るためには、その諸条件を前提とした手法が必要となるため、自治体が作成している地域防災計画を収集し、関係する項目について調査を行った。地震諸元・発災条件・気象条件等前提条件についての結果を表-3に示す。

各被害想定事例の前提条件として、地震規模、震源位置、季節、曜日、発生時刻、天候、風向・風力の7項目が多く地域で設定されている。また、半数以上の被害想定では、地震動強度分布予測も行われている。一般的な前提条件を表-4に示す。次に、被害想定事例の項目について表-5に示す。建物被害、火災、交通機関被害、ライフライン被害、人的被害の5項目が多く地域で想定されている。そ

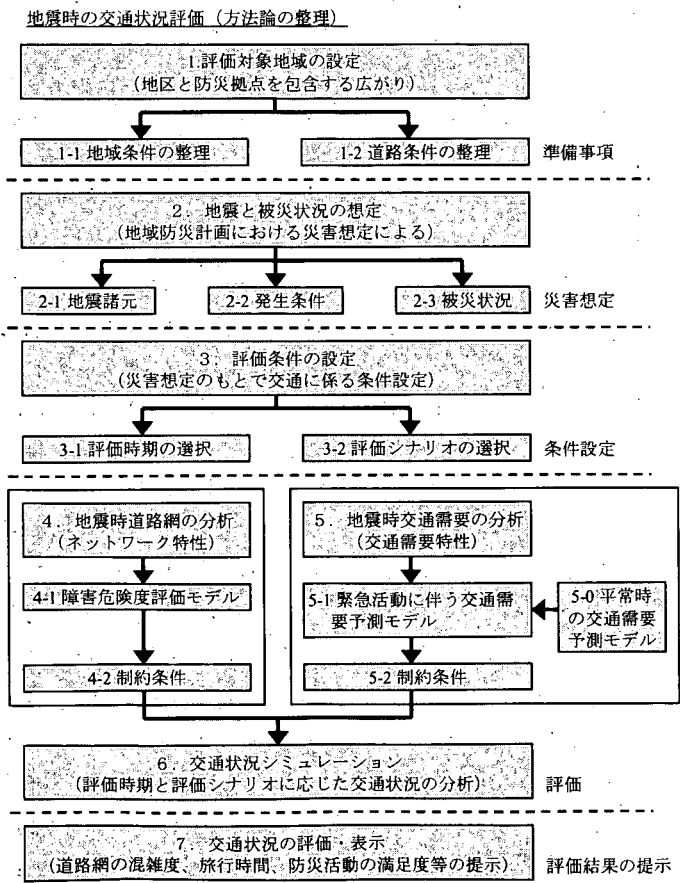


図-4 地震時交通状況評価の全体フロー

表-4 一般的な地域防災計画の前提条件

条件項目	標準的な条件	その他
地震規模	平均 M7.4	最小 M6.7 ~ 最大 M8.0
震源位置	想定地震による	
季節	冬	比較対象として、夏、春、秋、梅雨をあげる所もある
曜日	平日	休日は比較対象としてもほとんどない
発生時刻	夕刻 (17~18時)	比較対象として朝夕ラッシュ時、昼12時、午後3~4時等比較的多い
天候	晴れ	梅雨時期設定以外は全て晴れを設定している
風向	北~北西	設定季節での平均的な風向き設定となっている
風力	平均 5.6m/s	最小3.0 ~ 最大10.0m/sまでバラツキが大きい

表-3 各自治体地域防災計画の前提条件

対象圏域		小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防庁	国土庁
地震諸元	震源位置	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地震規模	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地震動強度分布予測	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
発災条件	季節		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	曜日			○	○	○	○		○	○	○	○
	発災時刻		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
気象状況	天候		○		○	○	○			○	○	○
	風向・風力	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	湿度				○			○				

*東京消防庁と国土庁は、地震による被害を推定するシステムの入力値を示している。

表-5 各自治体地域防災計画の被災想定

対象圏域	小牧市	横浜市	川崎市	埼玉県	東京都	神奈川県	福井県	静岡県	大阪府	東京消防庁	国土庁
建物被害	ゆれ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	液状化	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	斜面			○	○	○	○	○	○	○	○
	ブロック塀			○	○	○	○	○	○	○	○
	落下物			○	○	○	○	○	○	○	○
火災	出火	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	延焼			○	○	○		○	○	○	○
鉄道			○	○	○		○				
道路	高速道路			○	○		○		○	○	
	一般道路		○	○	○		○				
	緊急輸送路				○				○		
ライフライン	上水道		○	○	○	○	○		○	○	○
	下水道		○	○	○	○	○			○	○
	電力		○	○	○	○	○		○	○	○
	ガス		○	○	○	○	○		○	○	○
	電話		○	○	○	○	○		○	○	○
人的被害	死者	○		○	○	○	○	○	○	○	○
	負傷者		○	○	○	○	○	○	○	○	○
帰宅困難者			○	○	○						
食料過不足			○	○	○	○	○		○		
医療需給不足					○						
教育制約					○						
ガレキ発生量			○	○	○						
就業制約者					○						
津波災害						○	○	○	○		
河川堤防被害				○			○				
ため池被害				○							
その他			港湾被害・コンビナート被害	閉塞バス数、閉塞バス率		重要施設機能支障評価	地すべり被害想定、福井空港の地震時加速度、港湾、漁港の被害				

の他では、地域の特性から、津波の被害を算定したり、河川堤防の被害を算定した地域がある。また、災害後の救援、復旧を意識した避難所収容者数やガレキ発生量等を算定している地域もある。

3.4 シナリオ設定の考え方

地震後の交通状況は、発災時間の交通状況、防災対策の内容等により、大きく変化する。様々な状況を考慮して評価、検討を行うことは時間、労力等の点から望ましくないため、交通管理の視点から表-6に示す3種類の代表的なシナリオを設定し、その考え方をとりまとめた。

(1) ベースシナリオ

地域防災計画の前提条件をそのまま適用し、地域防災計画と整合した交通状況を把握するシナリオとする。

(2) 交通条件が厳しいシナリオ

地域防災計画の地震発生時刻は、表-4に示すように、火災発生等の被害が最大となる冬の夕方に設定している。主眼である交通状況においては、交通量が多い朝の通勤時間の方が厳しい状況となる

表-6 シナリオの概要

シナリオ名	評価の視点	適用対象期間		
		短期	中期	長期
ベースシナリオ	震災直後の時期に現在の自分たちの住んでいる町の幹線系道路を利用した、防災活動の安全性を把握する	○		
交通条件が厳しいシナリオ	最も交通条件が厳しい場合の状況を把握する	○	○	○
防災対策を行ったシナリオ	最も交通状況が厳しい場合における緊急・災害復旧車両等の交通を円滑に行うための対策の効果を把握する	○	○	○

ため、この時間の交通量を前提条件とするシナリオである。他の条件については、検討していない地域防災計画も多いので、冬の夕方で検討したベースシナリオと同じ条件とする。

(3) 防災対策を行ったシナリオ

地震後に道路管理者等が行う車輛の通行規制等の対策の効果を検討したり、道路の耐震性を向上させた場合の効果について検討するシナリオ。防災対策の影響を考慮した道路ネットワークを作成し、交通条件が厳しいシナリオと同じ交通を発生させて、評価を行う。

表-7 交通状況の評価時期

評価時期 (時間目安)	短期的評価		中期的評価		長期的評価	
	被災期 ～ 30分	混乱期 ～ 3時間	救援期 ～ 3日	応急復旧期 ～ 1週間	復旧期 ～ 3箇月	復興期
時期の特徴	非組織的活動： 状況確認と安全確保 組織的活動： 人命救助と災害拡大防止	非組織的活動： 生活環境の仮確保 組織的活動： 被災者支援と緊急措置	非組織的活動： 避難、見舞、物資搬送 組織的活動： 医療・救護、物資搬送、緊急措置	非組織的活動： 生活環境の再構築 組織的活動： 災害復旧と被災者ケア		
道路を利用する主要な活動	非組織的活動： 安否確認、救出、帰宅 組織的活動： 救急・救助、消火・消防					
交通評価の視点	地域住民の視点： 地域の状況想定、各種防災対策の検討 交通管理の視点： 規制効果の確認・明示				交通管理の視点： 交通管理方策の検討	

3.5 交通状況評価の時期区分

被災者が必要とする緊急活動は地震後の時間経過に応じて変化していく。あらゆる時期において評価を行うことはケース数が多すぎて現実的でないため、時間経過においても緊急活動内容の変化により、状況が厳しくなると考えられる主要な場面を選定する。緊急活動について調査した結果を表-7に示す。評価時期については、以下の3種類とした。

(1) 短期(被災期～混乱期)

地震直後3時間程度までの混乱した時期の評価を行う。地震による1次被害が収まったところ、被災状況が不明なまま、外出先から自宅へ向かう車輛等で渋滞が起こる時期と考えられる。代表的な時間は、地震発生後3時間とする。

(2) 中期(救援期～応急復旧期)

地震発生後3時間から1週間の間の、混乱が收拾し応急復旧が行われている時期の評価を行う。道路の応急復旧時に、緊急物資輸送車両、個人の物資輸送等により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1週間とする。

(3) 長期(復旧期～復興期)

地震発生後1週間以降の復旧が行われている時期の評価を行う。道路が完全に復旧しきらない状況で、復旧のための建設車両と回復した日常交通により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1箇月とする。

4. 結論

本報告のまとめは以下のとおりである。

- (1) 幹線系道路の機能障害の要因について調査し、大都市直下の地震では、既往の地震時に見

られなかった施設被害による完全通行止めの事例が生じていること、施設被害による道路機能障害の復旧に長期間が必要であることが明らかとなった。これらを評価手法に適切に考慮する必要がある。

(2) 道路施設の耐震性評価、ネットワークの脆弱性評価、地震時の交通需要推計を含めた総合的な地震時の交通状況評価手法の枠組みを提案した。

(3) 地震後の交通状況評価を行うべき3種類のシナリオ(ベースシナリオ、交通条件が厳しいシナリオ、防災対策を行ったシナリオ)の設定の考え方と、3種類の評価時期(短期[地震直後3時間程度まで]、中期[地震発生後3時間から1週間程度]、長期[地震発生後1週間程度以降])について、提案した。

今後、実際の地域によるケーススタディーを行いながら、本報告で提案した評価の枠組みの適用性を具体的に調査し、各モジュールを構築する予定である。最後に、本検討に際しては、(財)国土開発技術センターに設けられた「まちづくりにおける防災・評価対策技術の開発全体委員会」(伊藤滋委員長)、「防災性能評価分科会、地区施設等効果分析幹事会」(家田 仁主査)等において種々有益なるご指導を賜った。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 土木研究所：占用・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、1999.1
- 2) 日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編、震災復旧編)、1988.2；(震後対策編)、1996.10
- 3) 土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その1)、土木研究所資料第3589号、1998.9
- 4) 土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その2)、土木研究所資料第3621号、1999.1

杉田秀樹*



建設省土木研究所
耐震技術研究センター
防災技術課長、工博
Dr.Hideki SUGITA

大谷康史**



同 防災技術課研究員
Yasushi OHTANI

土木技術資料 平成 13 年 1 月号

地震時危機管理の近未来像

地震時危機管理の近未来像 — リアルタイム地震防災 —

杉田秀樹* 大谷康史**

1. はじめに

我が国は、国土面積が世界の陸地面積の0.25%であるにもかかわらず、世界中の地震数の約10%程度が集中する世界有数の地震国である。20世紀の100年間でM7.0以上の地震を約200回経験し、このうち15回は犠牲者を伴う大規模災害となった。度重なる地震から生命・財産・社会基盤の損失を防除するための技術の研究開発は21世紀においても不断の命題である。

しかしながら、1995年の兵庫県南部地震では、6500余名の生命が失われるとともに、社会基盤の損失により住民生活や経済活動には深刻な影響がもたらされた。これを契機に、我が国の地震防災技術開発は転機を迎え、地震被害を未然に防除する従来の“防災技術”に、地震被害が発生した場合の影響を軽減する“減災技術”を組み合わせた、“危機管理技術”への取組みが強く要請されることとなった。

地震防災分野において“危機管理技術”が要請される背景には、我が国の都市化に伴う地震災害の性質の変化が挙げられる。都市域の拡大と都市機能の高度化は、予測困難な被害形態や複合的な災害連鎖を引き起こす可能性を次第に高めている。自然災害のなかでも地震災害は、多様な地震被害が同時広域的に発生しやすい上、地震被害の影響が短時間に多方面に拡大しやすい。地震被害の影響を軽減するためには、広域的な即時対応や災害連鎖の早期抑制を可能にするための十分な備えが重要となる。

本文では、我が国の地震災害を振り返ることにより都市型災害としての地震災害の特徴と危機管理の留意事項について考察する。また、土木研究所における地震防災技術開発を危機管理の視点で整理するとともに、近年進捗の著しい情報技術を活用して21世紀初頭の実現が期待されるリアルタイム地震防災について考察する。

2. 我が国の地震災害

(1) 田園災害から都市型災害へ

国土の都市化に伴って地震災害が変化の様子

を模式的に示すと図-1の通りである。社会基盤施設や防災施設が未整備な状態では、地震被害は人的被害と物的被害が中心であり、地震被害の影響は空間的・時間的に限定される(田園災害¹⁾)。一方、生命・財産・社会資本が集積されつつあるが防災対策が十分でない状態では、人的被害と物的被害に起因する二次的な影響が発生して、災害は空間的・時間的に拡大される(都市化災害¹⁾)。さらに都市化が進行して都市機能が高度化された状態になると、甚大な人的被害と物的被害に加えて、二次的な影響が複合的に拡大する(都市型災害¹⁾)。多様な社会基盤が複雑に組み合わされた大都市域では、地震動の大きさと被害形態の関係が未然に把握しにくく、多様な都市機能が高度に相互依存しているために社会基盤の喪失に起因する影響の波及過程を未然に把握しにくい。

地震を含めた自然災害による犠牲者数の経緯を示すと図-2の通りである。自然災害による犠牲者数は防災対策の着実な推進に伴って減少する傾向にあるが、ひとたび大規模な災害に直面した場合の死傷者数はむしろ増加傾向にある。これは、都市化の進展による災害ポテンシャルの増加に伴い、

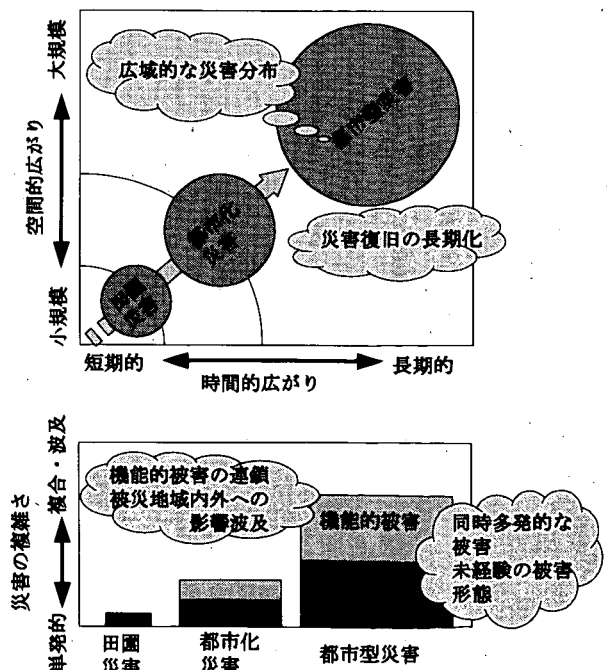


図-1 地震災害の性質の変化

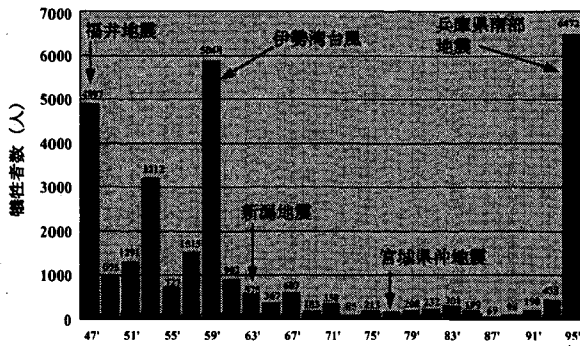


図-2 自然災害による犠牲者数の経緯²⁾

自然災害が都市型災害に繋がりやすい状況にあることを示唆するものである。

我が国で生じた主要な地震災害を、上述した都市型災害の特徴を踏まえて考察すると以下の通りである。

1) 新潟地震 (1964 年 6 月 16 日、M7.5)³⁾

都市化が進行する地方中核都市で生じた都市化災害と位置付けられる。本地震により約 470 名の死傷者が発生し、約 1,960 棟の建物が全壊した他、信濃川の河口部の軟弱地盤に位置する橋梁施設が被災して住民生活に影響を及ぼした。本地震では、軟弱地盤の液状化現象に伴う大規模な施設被害が生じたことから、液状化現象と軟弱地盤対策への取り組みが本格的に始められる契機となった。



写真-1 新潟地震による昭和大橋の落橋

2) 宮城県沖地震 (1978 年 6 月 12 日、M7.4)⁴⁾

新潟地震と同様に、都市化が進行する地方中核都市で生じた都市化災害と位置付けられる。新興住宅地で生じた地滑り等により、約 1,350 名の死傷者が発生し、約 1,270 棟の建物が全壊した。本地震では、変電施設、ガス供給管、上下水道施設等のライフラインに物的被害が生じ、住民生活や経済活動に深刻な影響を及ぼした。

3) 兵庫県南部地震 (1995 年 1 月 17 日 M7.2)⁵⁾

高度に都市化が進行した大都市域に生じた初めての地震であり、約 6,500 名の犠牲者が発生し、約 93,000 棟の建物が全壊した。地域の幹線道路

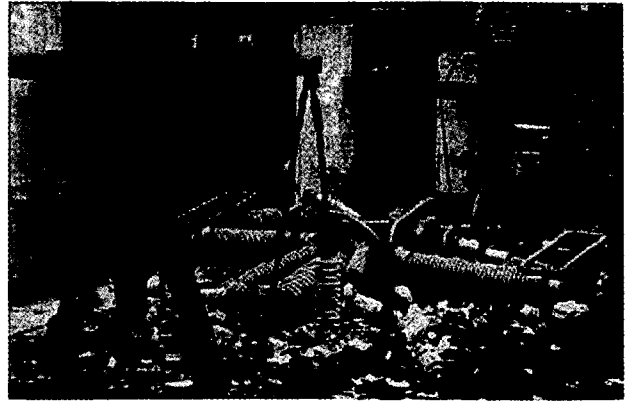


写真-2 宮城県沖地震による変電所設備の被害



写真-3 兵庫県南部地震による高架道路の倒壊

や物流拠点である港湾施設をはじめ多様な社会基盤施設に甚大な被害が生じ、地震被害の影響は長期かつ広範囲に及んだ。本地震による経済的な影響の大きさは、約 10 兆円とされる物的被害と同程度との推定もなされている。

(2) 都市型災害と危機管理

以上に示した災害事例を踏まえて、都市型災害の特徴を整理すると以下の通りである。

1) 災害多発化と災害予測の困難性：多様な構造物に同時多発的に物的被害が発生する。また、都市化の進行に伴って大規模な地震を未経験の構造物・機能が現出しており (図-3 参照)⁶⁾、地震外力

社会的背景	都市施設及び機能の例	年代			
		1930	50	70	90
・地価高騰 ・人口と都市機能の集中	高層建物				
	地下街				
	埋立地				
	化学プラント				
・大量・高速な輸送システムの発達	高速道路				
	地下鉄				
・情報化社会	コンピュータインシステム				
・生活機能の向上	上水道・下水道				
	コンビニエンスストア				
主な被害地震		↑ 関東地震 ↑ 新潟地震 ↑ 宮城県沖地震 ↑ 兵庫県南部地震			

図-3 新しい構造物・機能の現出と地震災害

と被害形態の因果関係が十分に理解されていない予測困難な災害が発生する可能性がある。

2) 人的被害の増加：人口密度の増加に伴い人的被害が拡大する。膨大な数の傷病者搬送や避難生活への対処が要請される。

3) 災害の連鎖的拡大：都市機能が高度に相互依存しているため、物的被害が多方面に連鎖・波及する。例えば、電力施設や交通基盤施設の被害は交通管制機能の低下、交通渋滞の加速、救援活動の遅延、復旧活動の遅延、災害復興の長期化等のように波及する。

以上に示した都市型災害の特徴を踏まえて、社会基盤施設の危機管理上の留意点を考察すると以下の通りである。

1) 事前防災：社会基盤施設の耐震性を高めると同時に、想定を超える被害量・被害程度・被害形態など不測の事態にも柔軟に対応可能な組織体制の準備が重要である。

2) 直前防災：地震現象を予め予測できれば、当該地域の防災強化や地域住民の避難等、災害ポテンシャルを減ずることができる。ただし、豪雨災害等と異なり、地震発生の直前予知は現状の技術水準では一般に困難であり（東海地震を除く⁷⁾）、技術水準の向上が望まれる。

3) 最中防災：地震現象の最中に社会基盤施設を制御できれば、二次的影響をもたらす物的被害を減ずることができる。ただし、豪雨災害等に比較して地震現象の継続時間は極めて短いため、現実的には、地震発生を把握して直後防災に繋げることが重要である。

4) 直後防災：地震現象が収束した直後には、同時広域的な施設被害状況を短時間で把握して、二次的影響の発生を抑制することが重要である。また、二次的影響の拡大過程を動的に把握して、災害連鎖を遮断するための方策をとることが重要である。

5) 事後防災：二次的影響の拡大を抑制した後は、災害の長期化を防止する観点から、物的被害の早期回復に努めることが重要である。

3. 危機管理と地震防災技術開発

公共土木施設の地震防災に向けた土木研究所の主要な技術開発の経緯と現状を、上述した危機管理の視点で整理すると以下の通りである。

1) 事前防災技術と事後防災技術

各種公共土木施設の耐震設計と震災復旧に関する基本技術を開発するため、建設省総合技術開

発プロジェクトの枠組で“新耐震設計法の開発”⁸⁾と“震災構造物の復旧技術の開発”⁹⁾を実施した（表-1 参照）。本技術開発は、土木施設毎の耐震設計基準や震災復旧指針類に関わる近年の技術開発の基盤となっている。

表-1 事前・事後防災に関する技術開発

新耐震設計法の開発 (S.47-S.51)	最終成果：建設省新耐震設計法(案) 耐震設計法に係る基本事項の共通化、設計手順の明確化、設計作業の合理化を実現。
震災構造物の復旧技術の開発 (S.56-S.60)	最終成果：建設省土木構造物の災害復旧マニュアル(案) 時間経過に応じた復旧方針、河川・海岸・砂防施設・道路・下水道施設の被災調査法と復旧工法を網羅。

2) 最中防災技術

所管施設近傍の地震動を検出して初動体制の意志決定に役立てるため、建設省河川局・道路局と連携して、建設省地震計ネットワーク整備計画を作成した。地震観測点の整備は平成8年度から3箇年で行われ、現在約700観測点でオンライン観測が実施されている（写真-4 参照）。このように、地震発生や地震動の分布を検出するためのオンライン観測網は、兵庫県南部地震を契機に各方面で整備・拡充が進められている¹⁰⁾。代表的な仕組みとして、気象庁では約600観測点、科学技術庁では約1,000観測点、自治省では約2,000観測点、日本道路公団では約100観測点の観測網が整備されている。また、国外では米国（図-4 参照）、メキシコ、台湾等で同種の観測網が整備されている。



写真-4 建設省地震計ネットワークの観測点

3) 直後防災技術

被害を把握して二次的影響を抑制するための基本技術を開発するために、建設省総合技術開発プロジェクト“災害情報システムの開発”¹²⁾と“まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発”を実施している（表-2 参照）。

また、直後防災のための要素技術として、建設省地震計ネットワークによるオンライン情報を活

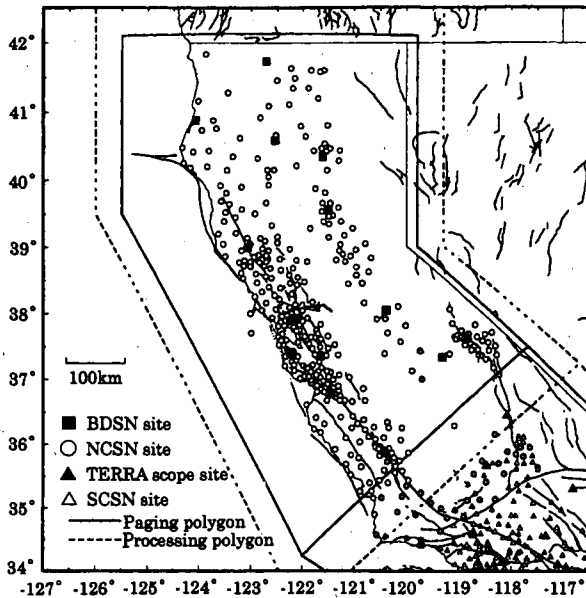


図-4 米国カリフォルニア州北部の地震観測点 (REDI システム)¹¹⁾

表-2 直後防災に関する技術開発

災害情報システムの開発 (S.62-H.3)	最終成果：災害情報システムガイドライン(案) ヘリコプター等による災害情報収集技術、リモートセンシングデータ処理技術、マッピングデータベース技術、復旧計画作成支援技術を取りまとめた。
まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発 (H.10より継続中)	道路網の寸断に伴う地震時の交通状況評価技術などについて検討中。

用して、所管施設の被害予測を行うことが可能な即時震害予測システム (SATURN) を開発した¹³⁾。

本システムでは、地震観測情報が20kmあるいは40km間隔でしか得られないため、図-5に示す手法で各管理施設位置の地震動を予測し、その地震動と地震前にあらかじめ設定しておいた被害発生の閾値と比較する手法を用いることにより、短時間で被害予測を行うことを可能としている。

本システムの稼働事例として、平成12年7月21日の茨城県沖地震における地震動分布、道路橋の被害予測、道路の液状化予測の画面を図-6に示

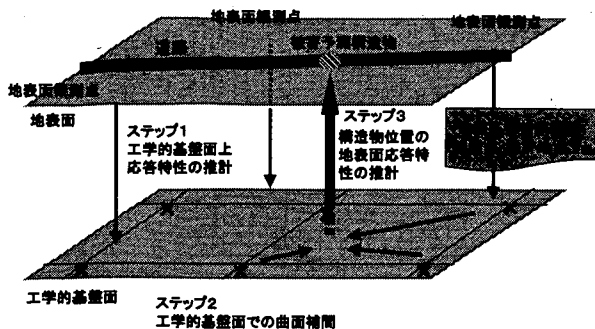
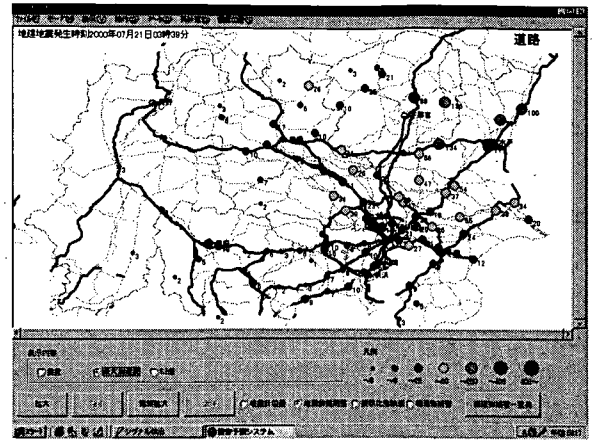
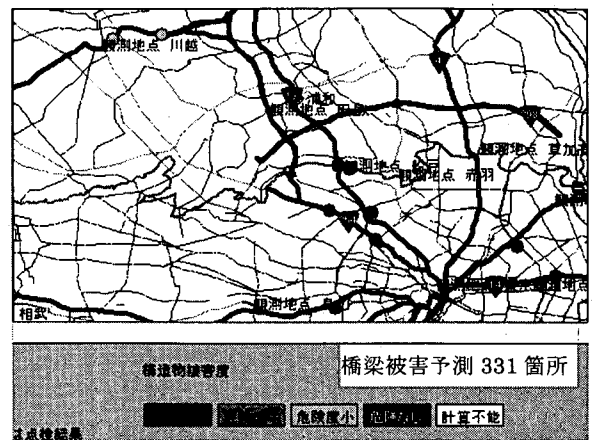


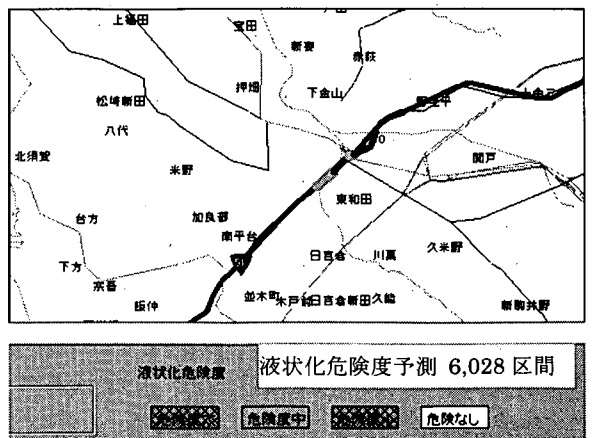
図-5 予測施設位置の地震動の推定方法



(a) 地震動分布 (最大加速度)



(b) 道路橋の被害予測 (画面の一部)



(c) 液状化危険度の予測 (画面の一部)

図-6 即時被害予測システムの稼働例
(平成12年7月21日茨城県沖地震 M6.0)

す。現在までに施設被害をもたらすような大規模な地震は生じていないが、稼働実績を積むことにより、被害予測精度を高めていく必要がある。

4. 危機管理の近未来像～リアルタイム地震防災

(1) リアルタイム地震防災とは何か

地震発生後の防災活動のあり方を議論する際に、地震発生後の即時対応を意図して“リアルタ

リアルタイム地震防災”という言葉が用いられる場合がある。ここで“リアルタイム地震防災”の概念を工学的視点から考察する場合に、以下の文章が参考になる。“今日の観測・通信・解析技術や電子計算機の進展状況を背景とし、更なる地震被害の軽減を目指す一つの方向として、時々刻々変化する現象に動的に対応する…”(土木学会リアルタイム地震防災研究小委員会設立趣意書¹⁰⁾より抜粋)

本節では、公共土木施設に対するリアルタイム地震防災を以下のように定義づけ、いくつかの技術開発を通じて21世紀初頭に実現可能であると考えられる危機管理の近未来像を考察する。

リアルタイム地震防災：情報技術を積極的に活用することで効率化された直後防災のあり方。地震による状況変化を動的に把握し、災害波及の防止・軽減措置を講ずることで、施設被害の影響を最小化する事を主眼とする(図-7参照)。

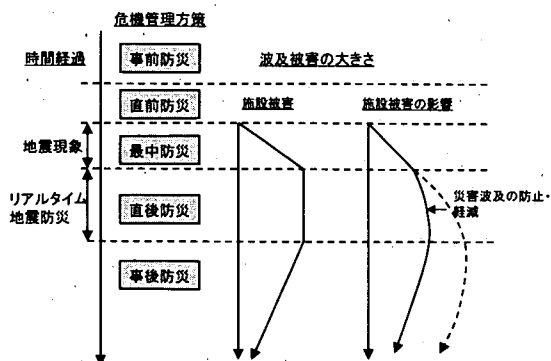


図-7 リアルタイム技術による被害軽減のイメージ

(2) 地震モニタリングから被害モニタリングへ

19世紀の米国サンフランシスコ市における地震防災の発想を図-8に例示する。地震発生から地震波到達までの数秒間の時間的余裕を災害軽減に役立てる発想は古くから存在し、我が国ではJRの緊急列車制御システム(UrEDAS)¹⁴⁾や東京ガスの



図-8 地震波到達までの時間的余裕を災害軽減に役立てる発想(San Francisco Daily Evening Bulletin, 1868.11.3)

緊急導管遮断システム(SIGNAL, SUPREME)¹⁵⁾など一部の公益機関において実現されている。これらの仕組みは、施設被害の影響(列車事故や火災)を未然に防止するために、施設被害の確認に先立って施設制御を行う点に特徴がある。しかしながら他の土木施設では、多様な構造物を短時間で一元的に制御することは難しいため、同時多発的に生じる施設被害をいかに短時間で把握できるかが直後防災の焦点となる。

土木研究所では、施設被害を短時間で把握するために、衛星画像や現位置センサーを用いたモニタリング技術の防災実務への導入可能性について検討を進めている。例えば、衛星画像の地上解像度を変化させた結果によれば(図-9参照)、橋梁被害を識別するためには地上解像度として1m程度を確保する必要があることが分かっている。また、現位置センサーによる施設被害の診断技術について、道路橋の導入イメージを示すと図-10の通りである。

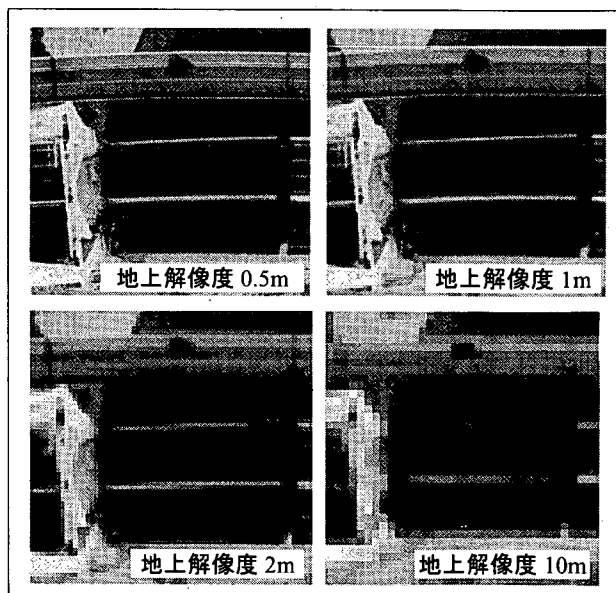


図-9 衛星画像による施設被害の識別の可能性

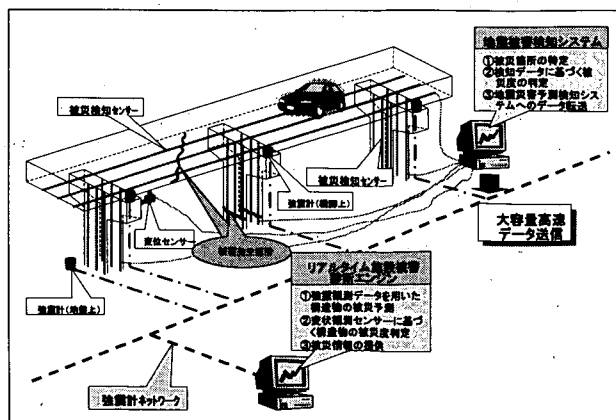


図-10 現位置センサーによる道路橋の被災診断

(3) “空白時間帯”のない情報提供へ

兵庫県南部地震においては、意志決定者が被災情報を入手できない地震発生直後の情報空白時間帯の存在が指摘された¹⁶⁾。前述した被害予測技術や被害モニタリング技術によって、地震による状況変化の動的な把握が可能になった場合、地元自治体、防災関係機関、地域住民等に対する連続した情報提供が災害波及を防止・軽減するための焦点となる(図-11 参照)。

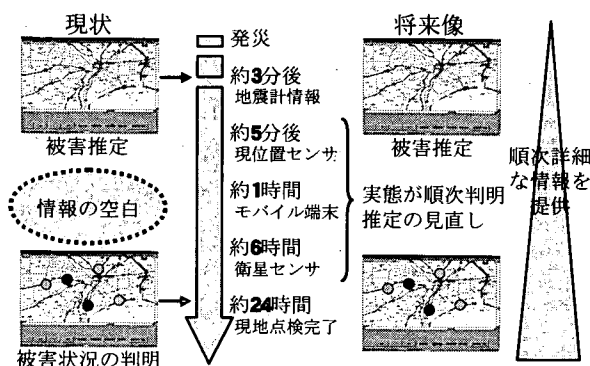


図-11 防災関係機関・住民等への情報提供

連続した情報を実現するために、携帯電話やインターネット、デジタル放送など進歩の著しい情報通信技術の地震時の活用方法について検討を進める必要がある。

5. まとめ

本文では、都市型災害としての地震災害の特徴と危機管理の留意事項を分析するとともに、近未来の実現が期待されるリアルタイム地震防災について考察を加えた。

1) 都市型災害の特徴を、災害多発化と災害予測の困難性、人的被害の増加、災害の連鎖的拡大の側面で整理した。

2) 地震災害に対する危機管理を、事前防災、直前防災、最中防災、直後防災、事後防災に分類し、各段階の留意事項と関連する地震防災技術開発の現状を紹介した。

3) 公共土木施設のリアルタイム地震防災を、情報技術を積極的に活用した直後防災と位置づけ、被害モニタリング技術と情報提供技術により実現可能な危機管理の近未来像を考察した。

参考文献

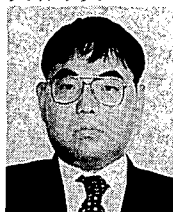
- 1) 河田恵昭：都市大災害，1995，11
- 2) 建設省 IDNDR 推進室監修：日本の防災～国際防災の10年に寄せて(パンフレット)
- 3) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告、土木研究所報告、Vol.125，1965.6
- 4) 建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害調査報告、土木研究所報告、第159号，1983.3
- 5) 建設省土木研究所：平成7年(1995年)兵庫県南部地震災害調査報告、土木研究所報告、第196号，1996.3
- 6) 鹿島都市防災研究会編著：地震防災と安全都市，1996.8
- 7) 地震調査研究推進本部：地震調査研究の推進について，1999.4
- 8) 建設省土木研究所：新耐震設計法(案)，土木研究所資料、第1185号，1977.3
- 9) 建設省土木研究所：土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案)、土木研究所彙報、第45号
- 10) 土木学会リアルタイム地震防災研究小委員会：リアルタイム地震防災シンポジウム論文集(第1回、第2回)，1999.1，2000.5
- 11) 山崎文雄：リアルタイム地震防災のための地震動モニタリング、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.5-12，1999.1
- 12) 建設省土木研究所：基幹施設の災害情報システム・ガイドライン(案)，土木研究所彙報、第58号
- 13) 濱田禎、杉田秀樹、金子正洋：公共土木施設における即時震害予測システム、第10回日本地震工学シンポジウム，pp.3419-3424，1998.11
- 14) 中村豊：リアルタイム地震動モニタリング、1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.37-41，1999.1
- 15) 清水善久：東京ガスの新リアルタイム防災システム-SUPREME-、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.13-18，1991.1
- 16) 建設省道路局道路防災対策室監修：新時代を迎える地震対策～地震に強いみちづくりへの提言，1996.10

杉田秀樹*



建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課長、工博
Dr. Hideki SUGITA

大谷康史**



同 防災技術課研究員
Yasushi OTANI

土木技術資料 平成 13 年 2 月号

震災情報システム整備マニュアル(案)の概要

震災情報システム整備マニュアル(案)の概要

杉田秀樹* 野崎智文**

1. はじめに

大規模地震の発生直後には、施設被害の全容を把握して機能回復に努めるとともに、避難活動や救急救命活動の円滑な実施に貢献するため関係自治体や地域住民に対して確度の高い施設被害情報をできる限り早期に提供することが重要である。地震規模が大きくなるほど避難活動や救急救命活動の重要性は増すが、一方で、発災時間帯、参集人員、通信回線の輻輳等の制約から、広範囲に分布する施設被害を短時間で把握することは難しい。例えば、平成7年兵庫県南部地震では道路施設被害の情報収集に12～24時間を要し¹⁾、迅速な初期対応の重要性が指摘されたことは記憶に新しい。

兵庫県南部地震の教訓を背景に、建設省では地震計ネットワークの整備、災害対策用ヘリコプターの拡充、防災行政無線のデジタル化等、震災対策の高度化に向けて情報技術を活用した種々の取り組みがなされてきた。また、幾つかの自治体や公益機関においても、災害情報を体系的に収集・分析・伝達・蓄積するための震災情報システムが開発・導入されているところである。

本文は、土木研究所においてとりまとめた「震災情報システム整備マニュアル(案)」²⁾の骨子を報告するものである。本マニュアルは、国・自治体・公益機関等の震災対策を担当する部局(以下、震災対策組織と呼ぶ)において、対策活動を支援するための各種情報技術の組み合わせ(以下、震災情報システムと呼ぶ)を検討する際の基本的考え方を示すものである。震災情報システムを新規に導入する場合だけでなく、情報共有・分散処理・セキュリティ等の基本要件に配慮しながら、先端の衛星技術やインターネット技術を活用して既存の震災情報システムを更新・拡張する場合にも参照することが可能である。

2. 本マニュアルの構成

本マニュアルの構成を示すと図-1の通りである。第2章では、様々な階層レベルの部局・部署からなる震災対策組織において震災情報システムを

第1章 目的と用語の定義
第2章 基本方針

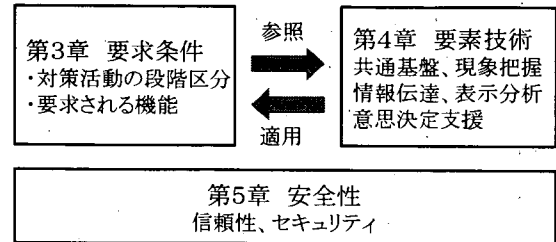


図-1 マニュアルの構成

計画・整備・運用する際の基本方針を記述している。第3章では、震災対策活動と扱われる情報を整理し、情報処理機能・情報精度・迅 性等に関するシステムの要求条件を記述している。第4章では、要求条件を満足する情報技術を具体的に記述している。最後に第5章では、震災情報システムの安全性確保のために留意すべき事項を、災害状況下の信頼性とセキュリティの側面から記述している。

3. システム整備の基本的考え方

(1) 震災情報システムの運用上の課題

兵庫県南部地震を契機として震災情報システムの整備が進められる一方で、整備後数年を経過したシステムに対しては運用上の課題が指摘されることも多い³⁾。比較的多く聞かれる課題を整理すると、以下の通りである。

1) 整備目的の不明確さに起因する課題：対策活動と連携して運用する体制が不十分/機器操作に手間がかかるため実用的でない/運用のメリットが認められない、等

2) オーダーメイド的なシステム構造に起因する課題：技術の進捗に併せた部分的な機能更新・追加が難しい/同じシステムが整備されていないと組織間の情報交換が難しい/ホストコンピュータの障害が全体に影響しやすい、等

3) 低頻度災害であることに起因する課題：平常時には運用しないため有事対応が心許ない/担当者が短期間に交替するためシステムに習熟した人材確保が難しい/データ更新が行われていない、等

本マニュアルでは、これらの課題を踏まえた上

で、“目的指向のシステム整備”、“システム構造の柔軟性の確保”、“平常時の利用”を、震災情報システムを整備・更新する際の基本方針として位置付けている。

(2) 目的指向のシステム整備

震災情報システムの整備・更新に際しては、PC（パーソナルコンピュータ）/WS（ワークステーション）等のハードウェアや特定のアプリケーションソフトウェアを中心に考えるのではなく、震災対策組織の活動内容と扱われる情報を中心に考えることが重要である。このため、以下の手順で検討を進めるのが望ましい。

- 1) 当該震災対策組織の対策活動の内容を分析する
- 2) 対策活動で扱われる情報を分析する
- 3) 情報処理を高度化するための要求機能を分析する
- 4) 要求機能を満足する情報技術の組合せを分析する

なお、情報機器や情報処理技術は常に進歩しており、本マニュアルで記述する技術が将来陳腐化することも十分に考えられる。しかし、震災情報システムの計画に際して対策活動内容を分析し、必要な情報の種類や内容を明確にし、条件を満足する技術を選択するという手順は、情報技術の進歩によらず変わらないものである。

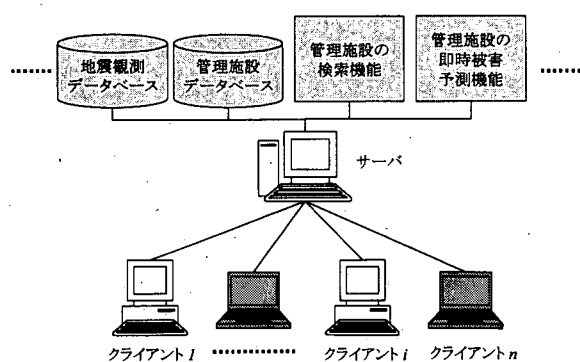


図-2 システムアーキテクチャ(機能と情報がサーバに集中)

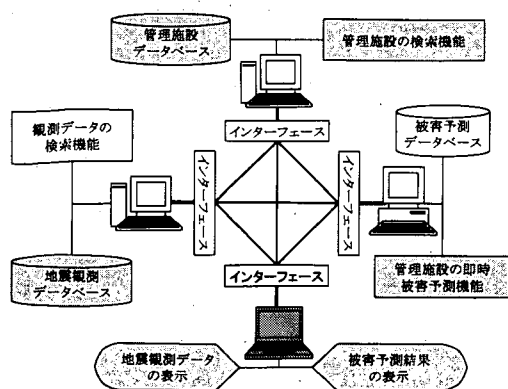


図-3 システムアーキテクチャ(機能と情報を分散)

(3) システム構造の柔軟性の確保

地震動観測、施設被害検知、組織内外の情報連絡等様々な要求機能を実現するためのシステム構造は、多様な機能を持つ小規模システムが相互に連携した分散型システムとするのが望ましい。また、システムで扱われる多種多様な情報は、組織内外で共有可能な形式で管理されることが望ましい。これらの要求を満足するシステム構造としては、図-2 に示すサーバ・クライアント方式と、図-3 に示す分散方式が考えられる。

サーバ・クライアント方式では、様々な機能を集約したサーバを利用して各クライアントが情報を入手する。現状のハードウェア/ソフトウェア技術で比較的容易に実現できるが、情報管理の効率性や機能更新・追加の柔軟性は旧来の大型ホストシステムと大差ない。一方、分散方式では、共通のインターフェースを介して個別システムの情報や機能を相互利用できる。例えば、即時被害予測機能を保有するサーバは地震観測情報や施設管理情報をデータベースから取得して予測計算を実行する。予測結果は任意のクライアントから参照でき、予測結果と緊急点検結果を重ね合わせるなどの利用も可能である。個別システムが保有する情報は形式を問わないが、共通のインターフェースを設定しやすくするためには、同一のソフトウェアを採用するか、情報の構造を共有する等の工夫が必要である(図-4 参照)。

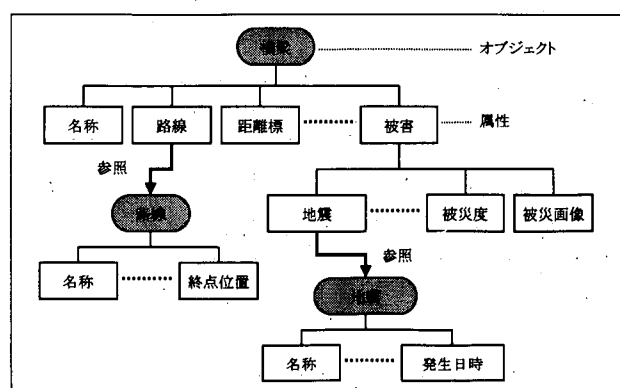


図-4 震災情報の構造化の例

(4) 平常時の利用

例えば緊急輸送活動の迂回路を設定する場合に、工事等が行われている区間を迂回路に含めることはできない。このように、震災情報システムが扱う情報には平常時から入力・蓄積・管理すべきものが多いため、平常時の施設管理等に用いる情報システムと機能や情報を共有化しておくことが望ましい。震災情報システムを平常時のシステムと連携しておけば、情報を効率的に更新でき、シス

テム操作の習熟を促進できるメリットもある。

4. 対策活動に即した要求機能

(1) 対策活動の段階区分

道路・河川施設の震災対策を担当する一般的な組織を想定し、対策活動に即した要求機能を考察する。まず対策活動を4段階に区分し、各段階の活動方針を整理すると以下の通りである⁴⁾。

1) 緊急対応段階：地震発生直後に施設被害の概略を把握して対応方針を定める。また、二次災害の発生可能性に基づいて緊急措置を行う。

2) 応急復旧段階：個別施設の被災状況を把握して応急復旧の必要性、優先順位、応急復旧水準を

表-1 震災対策活動の段階区分、情報、要求機能
(a) 緊急対応段階

対策活動	扱われる情報	システムの要求機能
震災対策体制の確立	地震情報	地震検知機能(4.3.1)
	施設被害情報	施設被害検知機能(4.3.2, 4.3.3)
	体制起動情報	一斉通報機能(4.4.1)
緊急調査	緊急調査方針	現象把握機能(4.3.1~4.3.5)
	緊急調査の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)
	施設被害情報	対策活動支援機能(4.3.4)
	周辺情報	広域状況把握機能(4.3.5)
調査結果に基づく対応方針の検討	関連機関情報	情報交換機能(4.4.3)
	資機材備蓄情報	情報管理機能(4.4.2)
	優先順位と対応水準	意思決定支援機能(4.6.1~4.6.3)
緊急措置	緊急措置の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)

(b) 応急復旧段階

対策活動	扱われる情報	システムの要求機能
応急調査	応急調査方針	広域状況把握機能(4.3.5)
	応急調査の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)
	施設被害情報	広域状況把握機能(4.3.5)
	周辺状況	広域状況把握機能(4.3.5)
調査結果に基づく応急復旧方針の検討	関連機関情報	情報交換機能(4.4.3)
	資機材備蓄情報	情報管理機能(4.4.2)
	優先順位と対応水準	意思決定支援機能(4.6.1~4.6.3)
応急復旧	応急復旧の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)

(c) 本復旧段階

対策活動	扱われる情報	システムの要求機能
本復旧のための調査	本復旧の調査方針	意思決定支援機能(4.6.1~4.6.3)
	本復旧調査の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)
	施設被害情報	対策活動支援機能(4.3.4)
調査結果に基づく本復旧方針の検討	周辺状況	広域状況把握機能(4.3.5)
	関連機関情報	情報交換機能(4.4.3)
	資機材備蓄情報	情報管理機能(4.4.2)
本復旧	地域の復興計画の情報	情報交換機能(4.4.3)
	優先順位と対応水準	意思決定支援機能(4.6.1~4.6.3)
	本復旧の活動状況	対策活動支援機能(4.3.4)
	資機材備蓄情報	情報管理機能(4.4.2)
		情報交換機能(4.4.3)

(d) 体制支援段階

対策活動	扱われる情報	システムの要求機能
対策活動状況の明示・伝達	体制レベルに関する情報	共通機能(4.2)
防災拠点・設備の状況把握	要員の安否、参集、配備状況	情報管理機能(4.4.2)
対策活動の支援物資の管理	建築施設の被災、修復状況	対策活動支援機能(4.3.4)
	電源、通信設備等の活動状況	情報管理機能(4.4.2)

注：表中()内の数字は図-5に対応

定め、応急復旧を行う。

3) 本復旧段階：施設の重要性、復旧の難易度、施設の将来計画、地域の復興計画を参照して本復旧水準を定め、本復旧を行う。

4) 体制支援段階：上記の各段階を通じて体制を維持するための支援活動を行う。職員の安否確認や資機材管理等が含まれ、体制解除まで継続的に必要とされる。

(2) 各段階区分で扱う情報と要求機能

上述した段階区分毎に、対策活動で扱う情報とシステムに要求される機能を整理すると表-1のようになる。要求機能を実現するための情報技術を選択する際には、要求される情報精度や処理速度にも留意する必要がある。

1) 緊急対応段階では、災害の拡大を防止するため、情報精度よりも処理速度が重要である。

2) 応急復旧段階では、緊急輸送路の確保等に際して、情報処理速度と情報精度の両方が要求される。情報精度と処理速度のバランスが重要である。

3) 本復旧段階では、情報精度が重要である。被災程度の大きな施設の復旧では、限られた期間内に新規整備と同程度の情報分析が要求される。

5. 利用可能な要素技術

(1) 要素技術の分類

システムの要求機能を実現するために、現状で利用可能な要素技術を分類すると図-5の通りである。システム整備に際しては、当該時点における技術動向を調査した上で、情報精度、処理速度、導入コストを勘案して要素技術の組み合わせを検討



図-5 要求機能を実現させるために利用可能な要素技術

表-2 主要な情報伝送技術の特徴

技術の名称	伝送速度	信頼性			費用		サービス地域
		輻輳	規制	断線	導入	維持	
一般公衆電話	○(56kbps)	×	×	△	◎	◎	◎
ISDN	○(64kbps)	×	×	△	○	◎	○
パケット通信	◎(48-1.5Mbps)	◎	○	△	△	△	△
携帯電話、PHS	○(9.6-32kbps)	△	△	○	◎	○	◎
無線通信	×(2.4kbps)	◎	◎	◎	—	—	—
衛星通信	×(2.4kbps)	◎	○	◎	—	—	—

◎：優れている、○：普通、△：やや劣る、×：劣る
無線通信はK-COSMOS、衛星通信はN-STARを想定

することが望ましい。ここでは、緊急対応段階の対策活動に有効と考えられる共通基盤技術、現象把握技術、情報伝達技術を例示する。

(2) 共通基盤技術

本技術は、対策活動の多くに不可欠な震災情報システムの基盤技術であり、情報伝送技術と情報蓄積技術が含まれる。

1) 情報伝送技術：記録媒体を輸送する方法と有線／無線回線による方法がある。有線／無線回線には一般回線と独自回線がある。地震発生直後には情報伝送の支障が初期対応に影響を及ぼした事例も多いため、各々が持つリスク、情報容量、品質、伝送速度を明確にすることが重要である(表-2)。

2) 情報蓄積技術：通常利用を目的に所定機器の内部記憶媒体(ハードディスク等)に蓄積する方法と、バックアップや輸送を目的に外部記憶媒体(メモリーカード等)に蓄積する方法がある。また、電子地図情報や施設管理情報等相互に関連する大量の情報を、検索等の操作が可能な形で蓄積する技術に、リレーショナルデータベース技術がある。リレーショナルデータベースでは、SQL(Structured Query Language)と呼ばれる共通化された方法により、異なるサーバ上に構築

されたデータベースを任意のクライアントが操作できる(図-6参照)。

(2) 現象把握技術

本技術は、対策活動のトリガー情報を収集するための技術であり、地震現象を把握する技術、施設被害を把握する技術、施設点検を支援する技術が含まれる。施設被害を把握する技術には以下のものがある。

1) 施設被害検知技術：管理施設に生じる変状をセンサー等で監視して情報発信する技術である。広域に分布する施設を効率的に監視するために、長大橋等の重要施設を高精度で集中的に監視する方法

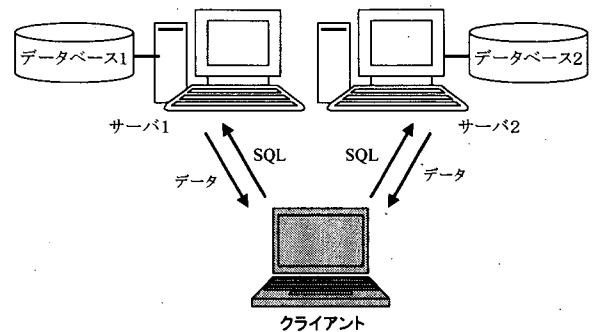


図-6 SQLによる複数データベースの利用

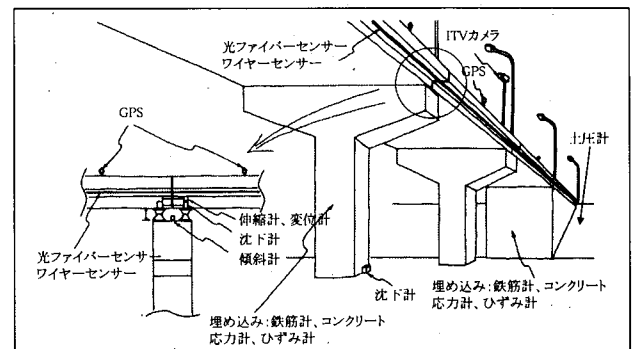
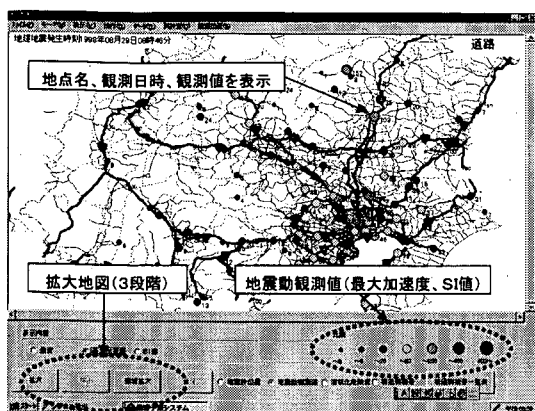


図-7 橋梁へのセンサー設置イメージ

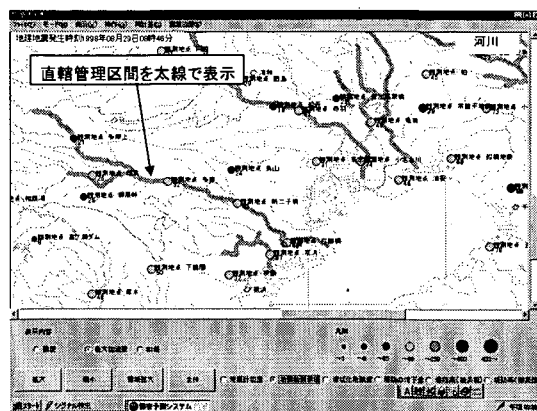
表-3 橋梁の被害検知に利用可能なセンサー

測定項目	センサー	落橋				遊間の開き				路盤段差(台裏、橋面)				各部の破壊			
		床版・桁	支承部	橋脚	橋台	床版・桁	支承部	橋脚	橋台	床版・桁	支承部	橋脚	橋台	床版・桁	支承部	橋脚	橋台
変位 (水平動)	伸縮計	○	×	×	×	◎	×	×	×	○	×	×	×	△	×	△	×
	変位計	○	×	×	×	◎	×	×	×	○	×	×	×	△	×	△	×
変位 (上下動)	伸縮計	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎	△	△	△	◎	△	△
	変位計	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎	△	△	△	○	△	△
	沈下計	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎	△	△	△	○	△	△
変位 (3次元)	光波測距儀	◎	×	△	△	◎	×	△	△	◎	×	△	△	△	×	△	△
	GPS	◎	×	△	△	◎	×	△	△	◎	×	△	△	△	×	△	△
傾斜	傾斜計	×	×	△	△	×	×	△	△	×	×	△	△	×	×	△	△
ひずみ	ひずみ計	△	×	△	△	△	×	△	△	△	×	△	△	○	×	○	○
応力	鉄筋計	△	×	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○
	コンクリート応力計	△	×	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	○	○
土圧	土圧計	×	×	×	△	×	×	×	△	×	×	×	△	×	×	×	△
断線検知	ワイヤーセンサー			○				○				○				△	
変状検知	光ファイバーセンサー			○				○				○				△	
間接的検知	ITVカメラ等			◎				○				○				○	

◎：事象の有無及び程度・位置等を検知、○：事象の有無を検知、△：事象の可能性を検知、×：検知不可または対象外



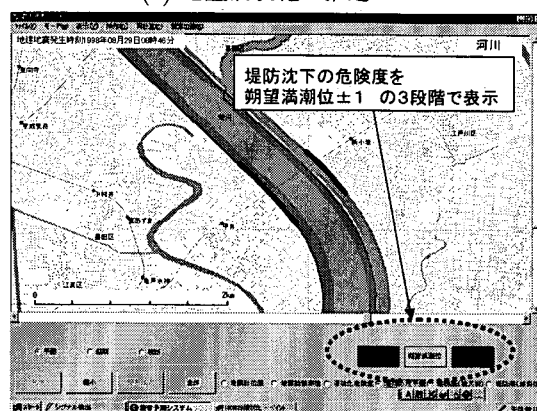
(a) 地震動観測値 (最大加速度)



(c) 地盤液状化の推定



(b) 道路橋被害の推定



(d) 河川堤防の沈下量の推定

図-8 即時被害予測システム (SATURN)

と、精度は低くても多数の施設を広範囲で監視する方法を、コストと効率性を勘案して組合せる必要がある。例えば、橋梁施設の被害検知に利用可能なセンサー種類とセンサーの設置イメージを示すと表-3 及び図-7 の通りである。

2) 施設被害推定技術：地震観測情報に基づいて施設被害を間接的に推定する技術である。広域にわたって検知センサーを導入することが困難な場合、地震発生直後の意思決定に有用な情報を与える。代表的な技術には、遠隔で観測される P 波強度に基づいて軌道近傍の揺れを推定する UrEDAS(JR)、建物倒壊数や死傷者数を推定する DIS(国土庁) 等がある。また、土木研究所と関東地方建設局が共同開発した道路・河川施設の即時被害予測システム (SATURN)⁵⁾ を図-8 に示す。

3) 上空からの被害状況把握技術：上空からの被災調査は、地上調査に比べて広域性と迅速性に優れている。プラットフォームやセンサーの性能により情報精度は制約されるが、大規模被害の有無や

表-4 リモートセンシングによる被害状況把握

(a) リモートセンシングデータの特徴

	ヘリコプター-VTR	航空写真	衛星画像
即時性	◎	○	△
機動性	◎	◎	△
広域性・同時性	△	○	◎
精度	○	◎	△
対応可能な段階	地震発生直後～救援期	救援期～復旧期以降	復旧期以降
主な用途	・早期情報収集 ・機動的活動	・細密部の判読/計測 ・正確な被害規模把握 ・地盤変形の計測	・広範囲な被害状況把握 ・被災直前との状況比較
課題	・位置情報の取得 ・GISデータ化	・デジタル変換 ・GISデータ化	・情報提供の安定性と確実性

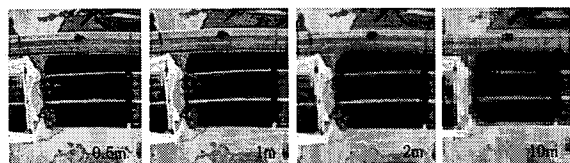
◎：優れている ○：普通 △：やや劣る

衛星画像は、Quickbird、SPOT、LANDSAT を想定

(b) プラットフォームの特徴

	航空機	人工衛星
機動性	通常は地震発生直後に飛行可能。ただし、日中に限られる。	再帰日数により必ずしも地震発生直後の撮影が可能とは限らない。
天候の影響	荒天時には飛行不可能	センサーによっては、雲の影響で撮影できない場合がある。
解像度	高度が低いので、解像度は高い。	高度が高いため、解像度は比較的低い。
広域撮影	一度に広域を撮影できない。	広域撮影が可能。

施設被害の分布を把握できる。衛星データの利用環境が整いつつある現在、一層の活用が期待される技術である。プラットフォームとして利用可能な航空機と衛星について、リモートセンシングデータの特徴を整理すると表-4 の通りである。また、

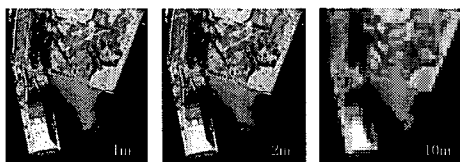


(a) マルチバンドデジタル画像

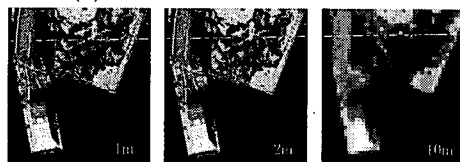


(b) エッジ強調処理画像

図-9 衛星画像による橋梁被害の判読
(図中の数字は画像の解像度)



(a) マルチバンドデジタル画像



(b) 色調強調画像

図-10 衛星画像による港湾被害の判読
(図中の数字は画像の解像度)

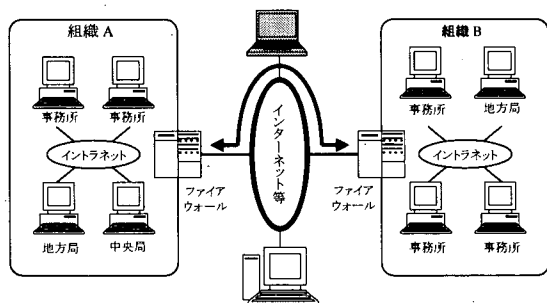


図-11 エクストラネットによる相互アクセス

高解像度衛星画像を用いて被害状況をどの程度把握できるかを調べるため、航空機から撮影した被害写真を衛星画像に模擬し、画像の解像度を変化させて被害判読状況を比較した結果を図-9 及び図-10 に示す。

(3) 情報伝達技術

震災情報システムでは、上述した情報伝送技術の他に、震災対策組織内の指示・報告や組織間の連携活動を支援する情報伝達技術が必要である。情報伝達技術には、多数の要員に指示を行う一斉同報技術、組織内で活動状況や備蓄資機材等の周辺情報を共有する情報管理技術、及び、関連組織間で施設被害情報や対策活動情報を交換するための技術が含まれる。

特に大規模地震時には、国・自治体・ライフライン機関等との密接な情報交換が必要となる。関連組織間で情報交換を円滑に行うためには、地震発生時に必要な情報を相互に整理しておくことが重要である。情報交換には、電話や電子メール等で

不定形情報を伝送する方法と、組織内と同様の方法で共通化した情報をネットワーク技術を用いて共有化する方法がある。ネットワーク技術には、インターネット/イントラネット/エクストラネットが含まれる。ここでエクストラネットは、イントラネットを構築する複数の組織同士が限定的に相互アクセスする仕組みであり(図-11 参照)、各組織がセキュリティ上の独立性を保ちながら、ユーザ認証や暗号化技術を用いて情報交換を実現できる点が特徴である。

6. まとめ

本文では、土木研究所でとりまとめた「震災情報システム整備マニュアル(案)」の骨子を報告した。本マニュアルは、国・自治体・公益機関等の震災対策を担当する部局において、対策活動を支援するための情報技術の効果的な組み合わせ(震災情報システム)を検討する際の基本的な考え方を提案するものである。本マニュアルが関係各方面において震災情報システムを新規整備・更様・拡張する際の参考となれば幸いである。

参考文献

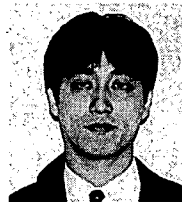
- 1) 建設省監修：新時代を迎える地震対策-地震に強いまちづくりへの提言，1996.10
- 2) 建設省土木研究所：震災情報システム整備マニュアル(案)，土木研究所資料，第3674号，1999.11
- 3) 土木学会地震工学委員会：リアルタイム地震防災シンポジウム論文集(第1回，第2回)，1999.1、2000.5
- 4) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧(震前対策編，震災復旧編，震後対策編)，1996.10
- 5) Hideki SUGITA, et. al: Development of Urgent Earthquake Damage Estimation System for Road Facilities, Proc. of 12th WCEE, New Zealand, 2000.1

杉田秀樹*



国土交通省建築研究所
国際地震工学部第2耐震工学研究室長
(前 耐震技術研究センター防災技術課長)，工博
Dr. Hideki SUGITA

野崎智文**



国土交通省道路局企画課
道路防災対策室課長補佐
(前 防災技術課主任研究員)
Tomofumi NOZAKI

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 9 NOVEMBER 2001

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課

〒305-0804 茨城県つくば市旭1

TEL 0298-64-2675