

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386-5878

土木研究所資料第3756号

土木研究所資料

平成11年度防災技術課調査研究成果 概要報告書

平成12年10月

建設省土木研究所
耐震技術研究センター・防災技術課

Copyright©(2000)by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

平成11年度防災技術課調査研究成果 概要報告書

防災技術課	課長	杉田	秀樹
	管理係長	葛西	伸寛
	主任研究員	野崎	智文 ^{*1}
	研究員	大谷	康史
	研究員	真田	晃宏

要 旨

防災技術課で平成11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、震前・震後の道路網健全性評価技術、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

^{*1} 現 建設省道路局企画課道路防災対策室課長補佐

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	9
2. 震災対策体制の評価技術に関する研究	17
3. 強震計管理費	21
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）	27
5. 総合的な震災対策支援システムの研究開発	35
6. 地震情報システムに関する国際共同研究	43
7. 震前・震後の道路網健全性評価技術に関する試験調査	49
8. 震害予測システムの構築に関する試験調査	55
9. 河川施設の強震計の点検調査	59
10. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査	63

(付属資料)

投稿・発表

1. 1st U.S.-Japan Workshop on Seismic Information System, UJNR
(1999.11.15～17・茨城県つくば市)
 - ・ SATURN-Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification..... 69
 - ・ Draft Manual for Seismic Information System Development 83

2. 天然資源の開発利用に関する日米会議 耐風・耐震構造専門部会 第32回合同部会
(平成12年5月16日～19日・米国メリーランド州ゲイサースバーグ)
The 32nd Joint Meeting of the U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects(UJNR)
(2000.5.16～19, Gaithersburg, Maryland, USA)
 - ・ DRAFT MANUAL FOR SEISMIC INFORMATION SYSTEM
DEVELOPMENT 101
 - ・ URBANIZATION AND URBAN DISASTER PREVENTION..... 113

3. 第2回リアルタイム地震防災シンポジウム
(平成12年5月18日～19日・東京都港区)
 - ・ 道路・河川管理に向けた地震防災情報システム..... 127

4. 土木学会第55回年次学術講演会
(平成12年9月21日～23日・宮城県仙台市)
 - ・ 幹線系道路の信頼性評価に関する検討..... 137
 - ・ 道路ネットワーク耐震性評価指標を用いたケーススタディ..... 141
 - ・ 震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討..... 145

5. 第23回土木計画学研究発表会
(平成12年11月23日～25日・栃木県足利市)
 - ・ 幹線系道路の地震時交通状況に関する検討..... 149
 - ・ 道路ネットワーク耐震性能指標を用いたケーススタディ..... 155

**1999（平成 11）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、主任研究員：野崎智文

要 旨： 道路・河川管理施設等の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、耐震性水準のパフォーマンスマトリ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IOCカーブ(Input-Output-Cost Curve)の概念を提案している。平成11年度は、道路・河川管理施設等についてパフォーマンスマトリクスの具体化を図ることを目的に、社会基盤施設の耐震性水準の概念整理、及び、各種構造物の耐震設計体系（入力地震動、計算モデル、性能評価パラメータ等）の横断的な比較分析を行った。

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：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11年度には、震災対策体制のネットワーク表現手法および活動時間の表現手法の研究を行った。

3. 強震計管理費

研究期間：昭和 56 年度～平成 12 年度

担 当 者：課長：杉田秀樹、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 11 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 12 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：杉田秀樹、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 2 年度目である 11 年度は、評価手法の全体フローを作成し、具体的な前提条件等の決定を行うとともに、幹線系道路の耐震性評価法と地震時交通需要の推定方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。

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：杉田秀樹、主任研究員：野崎智文、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11年度は、震災予防と危機管理に関する要素技術の現状調査、分散・共有型情報システムを構築するための技術の調査、及び、リモートセンシングデータに基づく被害検知技術の調査を実施した。

6. 地震情報システムに関する国際共同研究

研究期間：平成11年度

担 当 者：課長：杉田秀樹、主任研究員：野崎智文

要 旨： 1994年ノースリッジ地震、1995年兵庫県南部地震という大都市地域の震災を経験した日米両先進国においては、リアルタイム地震防災技術、GIS等の情報処理技術を活用した各種の地震情報システムが開発されつつある。現在のところそれらは個別に研究開発がなされているが、今後はそれらのシステムの連携や情報の共有化が大きな課題となる。このようなことから、UJNRでは地震情報システムに関する作業部会を設け、両国が共同して集中的な検討を行うことを決議した。また、コモンアジェンダ（日米地震被害軽減パートナーシップ）においても、地震時の道路施設の危機管理に向けた情報システムの開発を、両国のパートナーシップのもとに行うこととしており、地震情報システムに関する両国共同の研究活動は重要な課題となっている。本研究では前述の課題を踏まえ、日米両国のリーダー機関が主体となり、両国の行政機関・ライフライン機関等における地震情報システムの研究開発動向を調査・整理した。また、地震情報システムを整備・普及するための技術的課題について、日米関係機関の問題意識を調査・整理した。

7. 震前・震後の道路網健全性評価技術に関する試験調査

研究期間：平成7年度～平成11年度

担 当 者：課長：杉田秀樹、主任研究員：野崎智文

要 旨： 本研究は、道路の地震防災対策に関して、平常時における震災予防計画のための道路ネットワークの耐震性評価手法および地震発生時の危機管理に資する各種技術を検討し、現場の地震防災対策に資するものである。平成11年度は、道路ネットワーク耐震性評価手法の適用性を実地域に関するケーススタディで確認したほか、地震時の道路危機管理システムに適用可能な技術を整理した。また、5箇年にわたる研究成果のとりまとめを行った。

8. 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：杉田秀樹、研究員：大谷康史

要 旨： 関東地方建設局では、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、地建の防災業務に導入することを目的とするものである。平成10年度までに、地盤の液状化の可能性と橋梁被害の可能性を予測する機能を備えたプロトタイプシステムを構築し、関東地建によって試験運用を開始している。平成11年度は、河川堤防の沈下量を予測する機能を開発し、既存システムへの統合を図った。また、試験運用を通じて得られた改良点を整理して動作環境の改良を行った。

9. 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：平成11年度

担当者：課長：杉田秀樹、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10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873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11年度は27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。

10. 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：杉田秀樹、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、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。この地震計ネットワークにより収集した地震動情報の活用方法の1つとして、情報を管理するデータベース（以下、「DB」とする。）を構築し、地震発生後、各地方建設局等から送信されてきた地震動情報（最大加速度、S I 値等）を自動的にDB化するシステムを作成した。また、地震動数値情報を簡単にネットワーク上で参照できる閲覧システムの作成も行った。

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、主任研究員：野崎智文

【要旨】

道路・河川管理施設等の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

(図1参照)、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、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IOCカーブ(Input-Output-Cost Curve)の概念を提案している。平成11年度は、道路・河川管理施設等についてパフォーマンスマトリックスの具体化を図ることを目的に、社会基盤施設の耐震性水準の概念整理、及び、各種構造物の耐震設計体系(入力地震動、計算モデル、性能評価パラメータ等)の横断的な比較分析を行った。

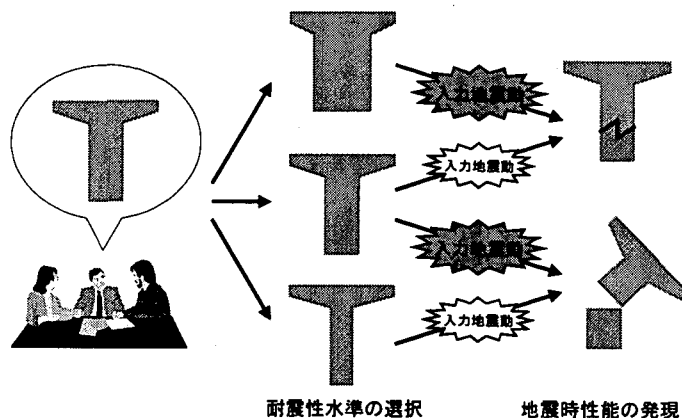


図1 耐震性水準、地震時性能の概念

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、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(パフォーマンスマトリックス、IOCカーブ、図2参照)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11年度は、社会基盤施設の耐震性水準の概念を整理するとともに、道路施設、河川施設、鉄道施設、港湾施設、下水道施設等について、入力地震動、計算モデル、性能評価パラメータ等の耐震設計体系を横断的に比較分析した。

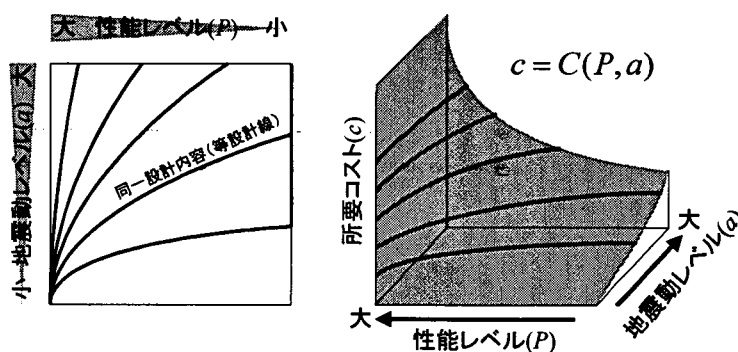


図2 パフォーマンスマトリックス(左)とIOCカーブ(右)

パフォーマンスマトリックス、IOCカーブ、図2参照)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11年度は、社会基盤施設の耐震性水準の概念を整理するとともに、道路施設、河川施設、鉄道施設、港湾施設、下水道施設等について、入力地震動、計算モデル、性能評価パラメータ等の耐震設計体系を横断的に比較分析した。

2. 研究方法

2. 1 社会基盤施設の耐震性水準の概念整理

各種社会基盤施設は、多種多様な要素構造物が組み合わされてシステムとしての機能が発現される。このような施設システムとしての耐震性水準は、要素構造物毎に用意された耐震設計基準に基づいて、要素構造物の耐震性水準によって左右される。しかしながら、要素構造物毎の耐震設計基準では、構造物毎の構造特性や地震被害事例を背景に入力地震動や地震時性能が定められており、相互の整合性が明確でない。このため、施設システム（例えば道路ネットワーク）全体としての耐震性や、異なる種類の施設システムが複数存在する地域の耐震性を評価するためには、要素構造物毎に異なる耐震設計の表現方法を統一あるいは比較可能な形で整理する必要がある。

ここで、施設システムの耐震性水準の概念を図3のように表現する。図中の網掛け部分は、施設システムを構成する要素構造物の耐震設計を表現している。要素構造物に地震動が入力した場合、構造物はこれに回答し、変形・損傷等の地震時性能が発現する。地震時性能は、例えば道路橋の場合には桁間の開きや段差の発生など要素構造物毎に固有の構造的な性能であるが、施設システムの地震時性能を検討する際には、これを施設システムの地震時性能に結びつけることが可能な機能的な性能に翻訳する必要がある。例えば道路橋を例にとれば、段差等の構造的な性能は、道路ネットワークの通行可能性、走行速度、交通量等の機能的な性能に結びつく。本研究では、要素構造物の構造的な性能と施設システムの地震時性能を結びつける機能的な性能を“機能基本量”と定義する。機能基本量は、要素構造物毎の地震時性能とは異なり、施設システム内（地域の施設システム間）で共通化された表現となる。また、任意の地震動に対する施設システムの地震時性能は、要素構造物毎の機能基本量の組合せにより定まることとなる。

本研究では、各種施設システムを対象にして、施設システムの地震時性能～機能基本量～要素構造物の地震時性能の関係を整理した。

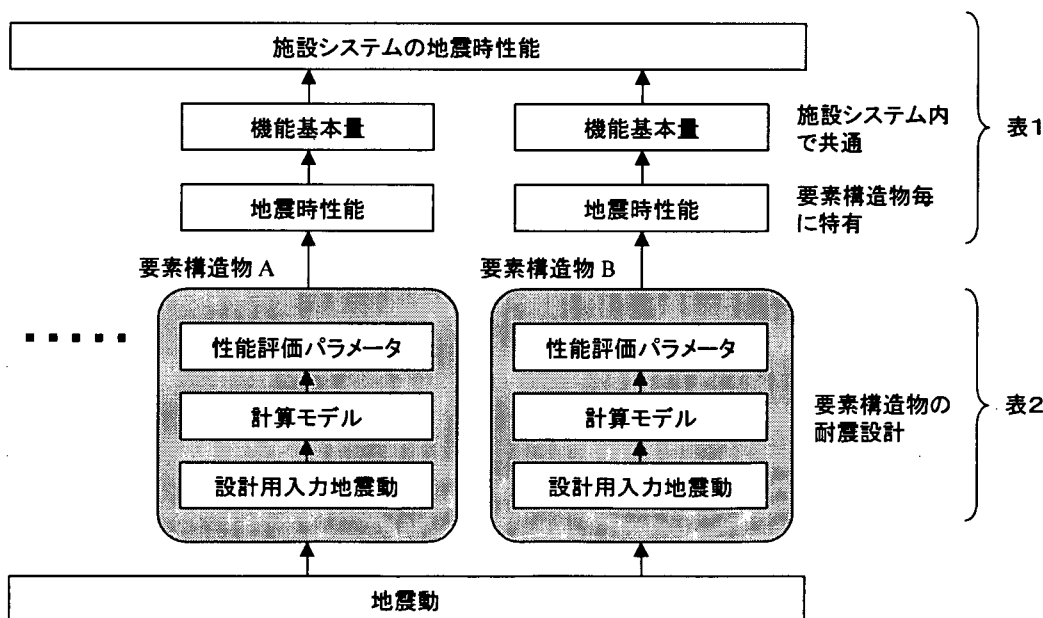


図3 施設システムの耐震性水準の概念

2. 2 要素構造物の耐震設計体系の横断的整理

地域で想定される地震動に対して施設システムがどの程度の地震時性能を発現するか、すなわち、地震動

と施設システムの地震時性能の定量的な関係を導くためには、①地震動～設計用入力地震動の関係、②性能評価パラメータ～地震時性能の関係、③地震時性能～機能基本量の関係、が明確にされる必要がある。これらの関係を定量化できれば、要素構造物毎の耐震性水準に基づく施設システムの耐震性水準の特定、また、施設システムの目標耐震性水準を合理的に実現するための要素構造物の耐震性水準の選択、が可能になる。

本研究では、上記の関係を導く根拠資料を得ることを目的として、各種要素構造物の耐震設計体系を横断的に比較可能な形式で調査・整理した。耐震設計の整理は、図3の網がけ部分で示した、設計用入力地震動の設定、計算モデル、性能評価パラメータのコントロールの視点で行った。

3. 研究成果

3. 1 社会基盤施設の耐震性水準の概念整理

施設システムとして、道路（橋梁、盛土、擁壁、開削トンネル）、鉄道（橋梁、盛土、擁壁、開削トンネル）、河川（堤防、ダム）、下水道（管路、マンホール）、港湾（係留施設）、斜面・のり面（対策工）を選定し、施設システムの地震時性能～機能基本量～要素構造物の地震時性能の関係を整理すると表1の通りである。表1によれば、以下の点が指摘される。

- 1) 道路、鉄道、河川、港湾、下水道、斜面・のり面等の社会基盤施設の地震時性能は、各々単一の機能基本量を想定することで表現可能である。これら機能基本量をパフォーマンスマトリクスの性能軸に導入することで、施設システムを構成する要素構造物の耐震性水準を横断的に比較可能な形式で表現できる。
- 2) 機能基本量は要素構造物の地震時性能により変化する。機能基本量を連続量として扱うためには、要素構造物の種類、被害形態、被害程度と機能基本量の定量的な関係を把握する必要がある。

表1 施設システムの地震時性能～機能基本量～要素構造物の地震時性能

施設システム	地震時性能(機能)	機能基本量	要素構造物	地震時性能(被害)
道路 (道路ネットワーク) 、及び、 鉄道 (鉄道ネットワーク)	交通機能	アクセス時間	橋梁 (橋脚、橋台)	段差・補修 (時間増加)
				落橋 (機能停止) (使用者事故) (第三者被害)
			盛土 (擁壁)	段差・補修 (時間増加)
				崩壊 (機能停止) (使用者事故) (第三者被害)
			トンネル (山岳、開削)	変状・補修 (時間増加)
				崩壊 (機能停止) (使用者事故) (第三者被害)
河川 (流水ネットワーク)	治水・利水機能	流量	堤防	崩壊 (溢水の誘発) (洪水被害)
港湾 (物流基地)	運送サービス機能	物流量	係留施設	変状 (物流量低下)
下水道 (下水ネットワーク)	下水 (流水機能)	流量	管路	崩壊 (機能停止)
				漏水 (流量低下) (周辺汚染)
				寸断 (機能停止) (周辺汚染)
			マンホール	漏水 (流量低下) (周辺汚染)
				寸断 (機能停止) (周辺汚染)
				変状 (周辺施設機能低下)
斜面・のり面	治山機能	保持土量	斜面・のり面	崩壊 (機能停止) (第三者被害)

3. 2 要素構造物の耐震設計体系の横断的整理

各種施設システムを構成する主要な要素構造物について、耐震設計基準やマニュアル類を調査し、耐震設計体系を整理した。一例として、鉄道と道路の整理結果を示すと表2及び表3の通りである。なお、耐震設計体系の整理は、以下の視点で横断的な比較が可能となるように配慮した。

1) 構造物種別の明示

例えば道路橋の場合、対象となる施設システムは道路である。道路はネットワーク全体として機能を発現するが、道路橋を含む要素構造物の被災によって迂回や渋滞など処理交通量の低下を生じ、アクセス時間の増加としてネットワークの地震時性能を低下させる。個別構造物だけでなく施設システムの耐震性水準を検討する必要から、まず対象施設を明示し、次に要素構造物を整理した。

表2 要素構造物の耐震設計体系の整理 (鉄道)

施設システム	要素構造物	設計用入力地震動と耐震性能		計算方法		
		設計用入力地震	耐震性能	荷重	計算モデル	性能評価パラメータ
鉄道	橋脚	L1 (基礎応答スペクトル適合波形)	耐震性能Ⅰ (地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない)	応答加速度による慣性力 (固有周期と地震種別に基づき弾性応答スペクトルから設定)	一体(支承、躯体、基礎)モデル (耐震性能Ⅰを満足する設計を行うための弾性体モデル化)	許容応力度、許容変位、許容支持力 (弾性挙動を要するよう、弾性境界に安全率を考慮した応力度や支持力で性能を限定する)
		L2 (基礎でのスペクトル1or2or3適合波形)	重要度高い 耐震性能Ⅱ (地震後に補修を必要とするが、早期に機能を回復できる)	最大応答震度による慣性力 (構造系の降伏震度と等価固有周期から非線形応答スペクトルにより応答塑性率を推定し、構造系の荷重～変位関係から設定)	一体(支承、躯体、基礎)モデル (構造系の塑性化を考慮して設計するため、各部材の非線形性を考慮したモデル化)	応答変位、応答塑性率 (部材ごとに塑性率に応じた損傷や安定の状態を示し、鉄道機能に及ぼす影響や補修状態と関連づけて耐震性能を規定している)
			その他 耐震性能Ⅲ (地震により構造物全体が崩壊しない)			
	橋台	L1 (基礎応答スペクトル適合波形)	耐震性能Ⅰ (地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない)	設計震度による慣性力と地震時土圧 (地震応答解析による地表面の最大応答加速度から設計震度を設定)	一体(支承、躯体、基礎)モデル (耐震性能Ⅰを満足する設計を行うための弾性体モデル化)	許容応力度、許容変位、許容支持力 (弾性挙動を要するよう、弾性境界に安全率を考慮した応力度や支持力で性能を限定する)
		L2 (基礎でのスペクトル1or2or3適合波形)	重要度高い 耐震性能Ⅱ (地震後に補修を必要とするが、早期に機能を回復できる)	設計震度による慣性力と地震時土圧 (地震応答解析による地表面の最大応答加速度から設計震度を設定)	一体(支承、躯体、基礎)モデル (構造系の塑性化を考慮して設計するため、各部材の非線形性を考慮したモデル化)	応答変位、応答塑性率 (部材ごとに塑性率に応じた損傷や安定の状態を示し、鉄道機能に及ぼす影響や補修状態と関連づけて耐震性能を規定している)
			その他 耐震性能Ⅲ (地震により構造物全体が崩壊しない)			
	盛土	L1 (基礎応答スペクトル適合波形)	耐震性能Ⅰ (地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない)	設計震度による慣性力 (地震応答解析による地表面の最大加速度から設計震度を設定)	剛体(円弧滑り)モデル	円弧滑り安全率 (耐震性能Ⅰを満足するため、盛土の変位を小さく(抑えるよう)曲げ地盤反力による釣合いを確保)
		L2 (基礎でのスペクトル1or2or3適合波形)	重要度高い 耐震性能Ⅱ (地震後に補修を必要とするが、早期に機能を回復できる)	地表面の応答加速度 表層地盤の剛性低下 (地震応答解析により、地表面の応答加速度や表層地盤の剛性低下を推定)	盛土のせん断変形: 剛体(ニューマーク)モデル 盛土の沈下: 累積過剰変位を仮定 表層地盤の沈下: 剛性低下を考慮した弾性体	盛土の沈下量 (沈下量に応じた鉄道機能に及ぼす影響や補修状態と関連づけて耐震性能を規定している)
			その他 耐震性能Ⅲ (地震により構造物全体が崩壊しない)			
	擁壁	L1 (基礎応答スペクトル適合波形)	耐震性能Ⅰ (地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない)	設計震度による慣性力と地震時土圧 (地震応答解析による地表面の最大応答加速度から設計震度を設定)	一体(躯体、基礎)モデル (耐震性能Ⅰを満足する設計を行うため、弾性体モデル化)	許容応力度、許容変位、許容支持力 (弾性挙動を要するよう、弾性境界に安全率を考慮した応力度や支持力で性能を限定する)
		L2 (基礎でのスペクトル1or2or3適合波形)	重要度高い 耐震性能Ⅱ (地震後に補修を必要とするが、早期に機能を回復できる)	設計震度による慣性力と地震時土圧 (地震応答解析による地表面の最大応答加速度から設計震度を設定)	一体(躯体、基礎)モデル (構造系の塑性化を考慮して設計するため、各部会非線形性を考慮したモデル化)	応答変位、応答塑性率 (部材ごとに塑性率に応じた損傷や安定の状態を示し、鉄道機能に及ぼす影響や補修状態と関連づけて耐震性能を規定している)
			その他 耐震性能Ⅲ (地震により構造物全体が崩壊しない)			
	開削トンネル	L1 (基礎応答スペクトル適合波形)	耐震性能Ⅰ (地震後も補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない)	地盤変位 (地震応答解析により構造物位置での表層地盤の変位を仮定)	はりバネモデル (耐震性能Ⅰを満足する設計を行うため、部材は弾性体モデル化、地盤は非線形性を考慮)	許容応力度 (弾性挙動を要するよう、弾性境界に安全率を考慮した応力度や支持力で性能を限定する)
		L2 (基礎でのスペクトル1or2or3適合波形)	重要度高い 耐震性能Ⅱ (地震後に補修を必要とするが、早期に機能を回復できる)	地盤変位 (地震応答解析により構造物位置での表層地盤の変位を仮定)	はりバネモデル (構造系の塑性化を考慮した設計を行うため、地盤とともに部材の非線形性を考慮)	応答変位、応答塑性率 (部材ごとに塑性率に応じた損傷や安定の状態を示し、鉄道機能に及ぼす影響や補修状態と関連づけて耐震性能を規定している)
			その他 耐震性能Ⅲ (地震により構造物全体が崩壊しない)			

2) 構造物と部材との関係

要素構造物の種類や設計法によって、構造物を一体として設計計算を行う場合、また、構成部材毎に設計

計算を行う場合等の相違がある。例えば、道路橋の設計計算を震度法・地震時保有水平耐力法等の静的手法で行う場合には上部構造を考慮するのは固有周期及び水平方向荷重の算定までであり、動的解析等の動的手法による場合には上部構造を含めた一体系として扱われる。本研究では、要素構造物の設計計算手法を静的手法と動的手法に分類し、各々の計算モデルにおける構造物と部材の関係を整理した。

3) 耐震性能の表現方法

要素構造物の耐震設計体系で要求される耐震性水準を、設計用入力地震動と耐震性能の対比により整理した。また、耐震性能が満足されているか否かを照査するための性能評価パラメータを示した。例えば、道路橋の場合には部材毎に性能照査が行われ、橋脚であれば変位と塑性率が性能評価パラメータとなる。

表3 要素構造物の耐震設計体系の整理 (道路)

施設システム	要素構造物	設計用入力地震動と耐震性能		計算方法		
		設計用入力地震	耐震性能	荷重	計算モデル	性能評価パラメータ
道路	橋脚	L1 (地表での応答スペクトル)	耐震性能 I (健全性を損なわない)	設計震度による慣性力 (固有周期と地震種別より弾性 応答スペクトルから設定)	一体(支承、躯体、基礎) モデル (計算は個別に行うが、各々弾 性体として順次荷重を伝達する ため、結果として一体モデルを仮 定)	許容応力度、許容変 位、許容支持力 (弾性挙動をするよう、弾性境界 に安全率を考慮した応力度や支 持力で性能を照査する)
		L2 (地表でのタイプ I or タイ プ II 応答スペクトル)	B種橋 (重要度高い)	支承、橋脚: 設計震度による慣性力 (固有周期と地震種別に基づき 弾性応答スペクトルから設定) 基礎: 橋脚基部の終局耐力、 地表面震度によるフー チング慣性力 (地表面震度は地震種別により 設定)	支承:弾性体モデル (上部工の荷重を確実に橋脚 躯体に伝達させることを前提とし て、弾性範囲内で設計を行う) 躯体:非線形モデル (構造物の塑性化を考慮した設 計を行う) 基礎:非線形はりバネ モデル (降伏の範囲内で設計を行うが、 地盤と基礎の両方で降伏を定議 するため非線形性を考慮)	支承:せん断ひずみ 躯体:許容応塑性 率、変位 (許容応塑性率は、地震のタイ プや重要度に応じて規定) 基礎:降伏に至らない
			A種橋 (その他)	耐震性能 III (致命的な被害を防止する)		
	橋台	L1 (地表での応答スペクトル)	耐震性能 I (健全性を損なわない)	設計震度による慣性力 (固有周期と地震種別より弾性 応答スペクトルから設定)	一体(支承、躯体、基礎) モデル (計算は個別に行うが、各々弾 性体として順次荷重を伝達する ため、結果として一体モデルを仮 定)	許容応力度、許容変 位、許容支持力 (弾性挙動をするよう、弾性境界 に安全率を考慮した応力度や支 持力で性能を照査する)
		L2	B種橋 (重要度高い) A種橋 (その他)	L2レベルの設計を行わないが、靱性に富む構造細目を規定		
	盛土	L1 (地盤種別で規定)	耐震性能 I (健全性確保)	設計震度による慣性力	剛体(円弧滑り)モデル	円弧滑り安全率 (盛土の形状を小さく抑えるよう 極限地盤反力による釣合いを確 保)
		L2 (地盤種別で規定)	重要で二次災害 の恐れあり その他	耐震性能 I (健全性確保)	—	—
	擁壁	L1 (地盤種別で規定)	一般	設計震度による慣性力 と地震時土圧	一体(躯体、基礎)モデ ル (計算は個別に 行うが、各々を弾性体として順次 荷重を伝達するため、結果として 一体モデルを仮定)	許容応力度、許容変 位、許容支持力 (弾性挙動をするよう、弾性境界 に安全率を考慮した応力度や支 持力で性能を照査する)
			高さ8m以下で復 旧が容易	—	—	—
		L2 (地盤種別で規定)	重要で二次災害 の恐れあり	設計震度による慣性力 と地震時土圧	一体(躯体、基礎)モデ ル (計算は個別に 行うが、各々を弾性体として順次 荷重を伝達するため、結果として 一体モデルを仮定)	許容応力度、許容変 位、許容支持力 (弾性挙動をするよう、弾性境界 に安全率を考慮した応力度や支 持力で性能を照査する)
			その他	—	—	—
	開削トンネル	L1 (基礎の速度応答スペク トル適合波形)	耐震性能 I (健全性を損なわない)	地盤変位 (地盤応答解析により構造物位 置での表層地盤の変位を仮定)	はりバネモデル (部材は弾性体にモデル化し、地 盤は非線形性を考慮)	許容応力度 (弾性挙動をするよう、弾性境界 に安全率を考慮した応力度で性 能を照査する)
		L2 (基礎の速度応答スペク トル適合波形)	耐震性能 II (限定された損傷に留める)	地盤変位 (地盤応答解析により構造物位 置での表層地盤の変位を仮定)	はりバネモデル (構造系の塑性化を考慮した設 計を行うため、地盤とともに部材 の非線形性を考慮)	耐力、応答変位 (応力度が耐力以下となるのが 基本、これを超える場合には構 造的研究成果より応答変位で性 能を評価)

4) 設計手順

表2に示す以外に、要素構造物毎の具体的な設計手順を調査した。すなわち、設計計算法の種類(応答スペクトル法、時刻歴応答解析法、地震時保有水平耐力法等)を地震のレベル(L1、L2等)と関連づけて整理した。入力地震動の設定法については、例えば道路橋のL1地震動に対する加速度応答スペクトルの設定根拠等の経緯や設計への適用手順を整理した。設計計算モデルについては、要素構造物毎の主要モデル(例えば橋梁の固有周期算出、応答スペクトルの具体形)を整理した。また、構造物の挙動と性能評価パラメー

タの関係を整理した。例えば道路橋の場合には、性能評価パラメータとして橋脚天端の変位 μ を定義し、 δ と降伏変位 δ_y 、終局変位 δ_u に許容塑性率及び安全率を組み合わせた限界状態における変位を比較して部材の諸元が決定される。構造物の挙動を代表する荷重変位曲線と性能評価パラメータの関係を、要素構造物毎に比較可能な形式で整理した。

要素構造物の耐震設計体系を調査・整理した結果、横断的な視点から以下の点が指摘される。

- (1) 道路では要素構造物毎に入力地震動の設定法や要求性能の表現が異なるのに対して、鉄道ではこれらの表現が一元化されている。
- (2) 橋梁等の構造物については地震時挙動のメカニズムがある程度解明されており、設計法も定量的であるが、土構造物については現象の定量的なモデル化が研究途上であり、定量的な設計法に制約がある。
- (3) 耐震設計の結果が連続的な性能の変化ではなく、ダムの滑動、転倒といった単一のイベントで規定されているものがある。これには、当該施設の耐震安全性がイベントのみで規定される場合と、設計モデルの制約により変位等の定量的な変化を表現できない場合がある。

3. 3 今後の方針

本調査の結果、各種構造物の現行設計基準における入力地震動の設定法、設計モデルおよび性能評価パラメータが整理された。実際に同一公共土木施設を構成する各要素構造物の耐震性水準の整合性を検討するためには、各設計法における性能評価パラメータを、施設の機能基本量に翻訳する必要がある。たとえば同一道路ネットワーク上に存在する道路橋、盛土等の構造物に対して想定される地震動を入力した場合、道路橋の性能は変位で、盛土の性能は円弧滑りによる安全率という異なるパラメータで表現されるが、これらを道路交通に影響する共通の機能基本量すなわち通行可能性や走行速度に変換しなければならない。今後、各構造物の性能評価パラメータを各施設の機能基本量に変換する方法について調査する必要がある。

4. 主な研究成果物

- 1) 社会基盤施設の耐震性水準の合理的な設定方法に関する基礎的研究、第25回地震工学研究発表会、1999.7
- 2) 社会基盤施設の耐震性水準の合理的な設定方法に関する基礎的研究、第22回土木計画学研究発表会、1999.10
- 3) A method to determine seismic performance of highway network system, 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, 2000.1

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：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、迅速かつ確実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11年度には、震災対策体制のネットワーク表現手法および活動時間の表現手法の研究を行った。

1. 研究目的

本研究では、現在定量的な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なツールを作成し、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 震災対策体制の表現方法の検討

震災対策体制の評価の視点は、初期に行われる緊急点検において、被災情報を早期にかつ効率的に収集できるかという点である。そのため、評価を行うためには、「被災情報」が「時間経過」に伴いどのように収集されたかを明らかにする必要がある。そこで、震災情報収集体制を表現する方法として、「要員の参集」、「現場への移動」といった時間を要する個々の活動を「ゲート」として表現し、これらのゲートを接続したネットワークによって体制全体を表現することにした。そのため、「ゲート」には活動の処理時間の設定が必要であり、特に点検の「ゲート」には点検により得られる情報の設定も必要である。

2. 2 活動時間の表現手法の検討

各ゲートで表される活動について、地震時には被災等により連絡や移動などに必要な処理時間が通常時とは大きく異なるため、その設定手法について検討した。

3. 研究結果

3. 1 震災対策体制の表現方法の検討

震災対策体制のネットワーク表現を検討するにあたり、図1に示す4つの点検ルートを3つの出張所で管理している事務所を仮定し、具体例として用いることにした。この事務所の震災時の活動をゲートを用いたネットワークで表現したものが図2である。図2では、地震発生後、地震計からの情報

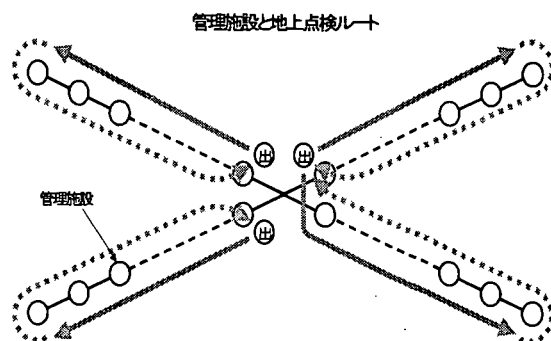


図1 モデル事務所の点検ルート

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。

図2は、震災時の計画をそのまま表現したものであり、実際に起こりうる表1に示すような不測の事態は表現していない。そこで、例として移動経路の閉塞に対応したネットワーク表現手法を図3に示す。(a)は図2で示したネットワーク表現であり、つながりが1つのため、移動不能になる状況をシミュレートできない。(b)は移動経路が閉塞した場合に備えて、迂回路を移動するゲートを追加して、ネットワークを作成したものである。このネットワークは、本来の移動経路を利用できる場合には(確率 $1-p$) これを利用し、移動経路が閉塞した場合は(確率 p) 迂回路を通ることを表現可能としている。

3. 2 活動時間の表現手法の検討

ゲートには、前述のように活動に必要な処理時間を設定する。各活動の処理時間の中で、特に移動の処理時間は、平常時においても一定の時間ではなく、ある程度のばらつきを持っている。地震時には通行経路の被災や渋滞等で平常時以上の時間を必要とし、ばらつきも大きくなる。表2に、ネットワークに用いる処理時間を持つゲートとその処理時間設定法について検討した結果を示す。この活動の処理時間を設定するために、事例調査を行った。調査結果の1例を示すと、移動時間については、震災直後の神戸市内の走行所要時間についての調査結果が示されており、その分布は図4に示すとおりであった¹⁾。この調査では、震災時の移動時間は平常時に

表2 ゲートの処理時間の設定法

ゲート	影響する事象	処理時間の設定法
参集装置	連絡手段の幅狭	連絡手段の不通過確率 p を設定し、それより遅延時間を設定する。
職員参集	通勤路の被災、渋滞等	平常時の通勤時間に、被災事例から求めた増加係数とばらつきを適用し、関数を設定する。
点検準備	なし	平常時の点検準備時間を設定を用いる。
地上移動	点検路の被災、渋滞等	平常時の移動時間に、被災事例から求めた増加係数とばらつきを適用し、関数を設定する。
地上点検	被災箇所の詳細点検による時間増	被災度に応じた点検時間の増加係数とばらつきを調査より求め、適用する。
情報集約	連絡手段の幅狭	報告手段の不通過確率 p を設定し、それより遅延時間を設定する。

比べて平均で6倍程度の時間を要していた。これらの資料が時間設定の基礎資料となるが、同じような調査で中規模の地震である昭和62年の千葉県東方沖地震では、震災時の移動時間が平常時の1.3倍程度との結果もあり²⁾、地震規模、発生場所等の違いを考慮する必要があることが明らかとなった。

参考文献：1)阪神・淡路大震災兵庫県災害対策本部、「阪神・淡路大震災一兵庫県1ヶ月の記録」1995.7
2)土木研究所、「地震時の被災調査及び情報連絡体制-昭和62年千葉県東方沖地震の場合-」、土木研究所資料第3587号,1998.6

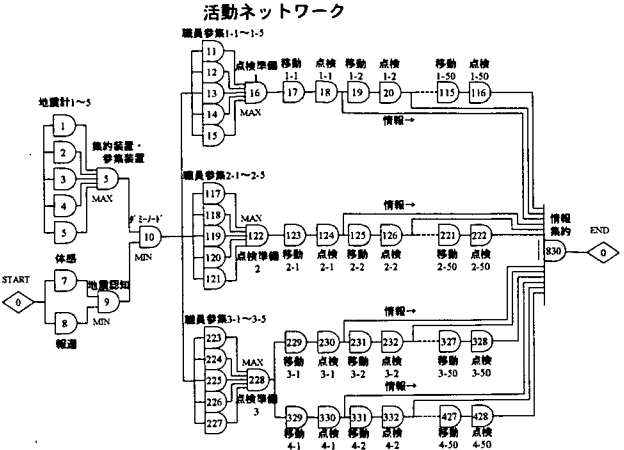


図2 震災対策体制ネットワーク

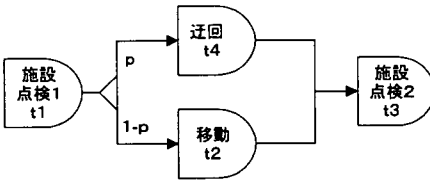
表1 震災時に発生しうる不測の事態

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

(a) 図2に示している方法



(b) スイッチングを用いた方法



※ t は活動に要する時間を示す。
 p は移動経路が閉塞する確率を示す。

図3 分岐を考慮したネットワーク

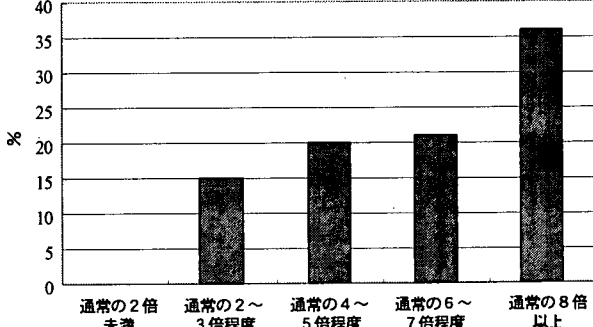


図4 神戸市における震災時の走行所要時間

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12年度

担 当 者：課長：杉田秀樹、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11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12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11年度は平成10年4月から平成11年3月の間に高密度強震観測施設で記録された20地震400記録(1200成分)を高密度強震観測記録集(No.2)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

表1 強震計設置状況

平成11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11年度は、これら12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11年度に回収された記録の数値化および整理を行い、平成9年11月から平成11年3月までに発生した地震のうち、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、5地震13記録39成分のデジタル記録の再生波形を土木研究所彙報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。

ID	観測所名	観測計器数
902	西新井橋	3
903	昭和大橋	2
904	新天竜川橋	1
905	落合橋	1
907	平大橋	1
908	朝比奈川橋	1
909	雲見大橋	2
910	駿河大橋	1
911	福井大橋	2
912	御前崎	1
913	天津跨線橋	2
914	八重洲地下街	1

2. 研究結果

2. 1 高密度強震観測施設

表2 高密度強震観測施設の障害と対応

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箇所において落雷によると思われる通信機器の

ID	地区	観測所	障害状況	対応
CA020201	焼津	サッポロビール静岡工場	回線異常	修理済
CA020301	"	東益津幼稚園	"	"
CA020401	"	東益津小学校	"	"
CA020501	"	東益津小学校体育館 GL-2.0	"	"
CA020502	"	" GL-15.2	"	"

不良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、早急な改善を要する。

2) 観測記録集の作成

平成10年4月から平成11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20地震400波形(1200成分)の加速度記録を土木研究所資料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										高密度観測地区名									
	年	月	日	時	分	震央地名	北緯	東経	震源深さ	規模	最大震度	相良	焼津	沼津	松崎	神戸西	神戸東	小田原	幕張・習志野	館山
EQ-1998-04-013	98	4	9	17	45	福島県沖	36	56	141	02	93km	M5.4	4							○
EQ-1998-04-065	98	4	22	10	40	伊豆半島東方沖	34	57	139	12	8km	M4.0	3		○					
EQ-1998-04-069	98	4	22	20	32	岐阜県美濃中西部	35	10	136	34	10km	M5.4	4					○		
EQ-1998-04-085	98	4	25	18	34	伊豆半島東方沖	34	57	139	13	6km	M4.0	3					○		
EQ-1998-04-086	98	4	26	07	37	伊豆半島東方沖	34	58	139	11	5km	M4.7	4	○	○			○		
EQ-1998-04-088	98	4	26	12	21	房総半島南東沖	34	36	140	17	97km	M4.6	3							○
EQ-1998-04-089	98	4	26	15	03	伊豆半島東方沖	34	59	139	11	1km	M4.4	4	○	○			○		
EQ-1998-04-092	98	4	27	06	09	伊豆半島東方沖	34	57	139	12	7km	M4.5	4		○					
EQ-1998-05-009	98	5	3	11	09	伊豆半島東方沖	34	57	139	11	3km	M5.7	4	○	○	○	○		○	○
EQ-1998-05-055	98	5	16	03	45	千葉県南部	34	58	139	57	74km	M4.8	3					○	○	○
EQ-1998-06-045	98	6	14	22	17	千葉県東方沖	35	27	140	46	51km	M5.6	3						○	○
EQ-1998-06-076	98	6	24	23	52	茨城県南部	36	07	140	07	73km	M4.6	4						○	
EQ-1998-08-051	98	8	20	15	40	鳥島近海	28	54	139	53	457km	M7.1	3							○
EQ-1998-08-083	98	8	29	08	46	東京湾	35	36	140	03	67km	M5.1	4		○	○	○		○	○
EQ-1998-11-019	98	11	6	07	26	伊豆半島東方沖	35	01	139	08	7km	M3.8	3					○		
EQ-1998-11-027	98	11	8	21	40	千葉県北西部	35	37	140	03	78km	M4.6	4					○	○	○
EQ-1998-11-091	98	11	28	00	22	千葉県北西部	35	38	140	06	67km	M4.3	3						○	
EQ-1998-12-013	98	12	3	05	15	東京湾	35	36	140	03	67km	M4.2	2						○	
EQ-1999-01-060	99	1	27	10	27	伊豆大島近海	34	49	139	39	38km	M3.6	2							○
EQ-1999-02-040	99	2	12	03	16	京都府南部	34	59	135	34	15km	M4.0	4					○		

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

表4 一般強震観測施設の障害対応

1) 保守点検

土木研究所が設置した12箇所の保守点検結果を表4に示す。障害が確認された2箇所の観測所の機器の修理を終えているが昭和大橋については現地への設置を来年度に行う予定である。

ID	観測所名	障害状況	対応
903	昭和大橋	基盤障害	修理済
909	雲見大橋	橋梁工事のため一時撤去	対応済
912	御前崎	観測小屋破損	修理済

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、利根川、鈴鹿川などの観測地点にお

ける、強震計および間隙水圧計の設置方法を現場事務所に対して技術指導した。なお、平成11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
			東橋水位・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
	釧路川	SMAC更新	釧路地震観測所		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	淡中州
	後志利別川	全国配置	今金河川事業所横内	近畿地方建設局	大和川	SMAC更新	柏原
	後志利別川	微地形地盤	未設置		淀川	全国配置(スーパー堤防)	伊加賀西
東北地方建設局	吉田川	SMAC更新	山崎震動観測所		淀川	SMAC更新(枚方)	枚方
	高瀬川	既存増設	高瀬川地震観測所		淀川	SMAC更新(大淀)	大淀
	雄物川	既存増設	雄物川堤防観測所		淀川	耐震化地盤(ドレーン 西島)	西島
	阿武隈川	全国配置(大堰付近)	阿武隈大堰観測所		加古川	全国配置	大島
	阿武隈川	全国配置(福島市付近)	郡山観測所		加古川	耐震化地盤(深層混合処理)	設置取りやめ
	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	九頭竜川	全国配置	片川
	北上川	全国配置(岩手県内)	一関堤防観測所		旭川	全国配置	百間川右岸(沖元)
	北上川	微地形地盤	新田町震動観測所		太田川	SMAC更新	太田川堤防
	最上川	全国配置(山形市付近)	河川防災ステーション観測所		佐波川	耐震化地盤	佐波川堤防(橋松)
	名取川	特殊堤	関上観測所		斐伊川	全国配置	未設置
	鳴瀬川	耐震化地盤	中下震動観測所		天神川	全国配置	由後(たじり)
関東地方建設局	江戸川	SMAC更新	松戸出張所	四国地方建設局	吉野川	既存増設	徳島
	荒川下流	全国配置(スーパー堤防)	岩洲出張所		四方十川	既存増設	四方十川堤防
	利根川上流	全国配置(スーパー堤防)	検討中		肱川	全国配置	八多喜堤防
	利根川下流	全国配置(砂層地盤)	小見川出張所		大淀川	既存増設	大淀川堤防観測所
	那珂川	全国配置	検討中		遠賀川	全国配置	川島観測所
	多摩川	全国配置(スーパー堤防)	多摩出張所	九州地方建設局	山国川	全国配置	中津出張所
	相模川	全国配置	相模川出張所		五ヶ瀬川	全国配置	浜砂観測所
	北利根川	特殊堤(直接基礎)	北利根川観測所		白川	全国配置	白川(小島)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		筑後川	全国配置	紅粉観測所
	利根川下流	耐震化地盤(ドレーン)	未定		六角川	耐震化地盤	六角川堤防強震計
北陸地方建設局	江戸川(中川)	耐震化地盤(自立式矢板)	検討中		菊池川	耐震化地盤	菊池川堤防地震計
	利根川下流	微地形地盤	佐原出張所				
	信濃川下流	耐震化地盤	やすらぎ堤(白山)				
	阿賀野川	特殊堤	阿賀野川堤防				
	神通川	全国配置	未設置				
	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

平成11年度に回収された記録(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。

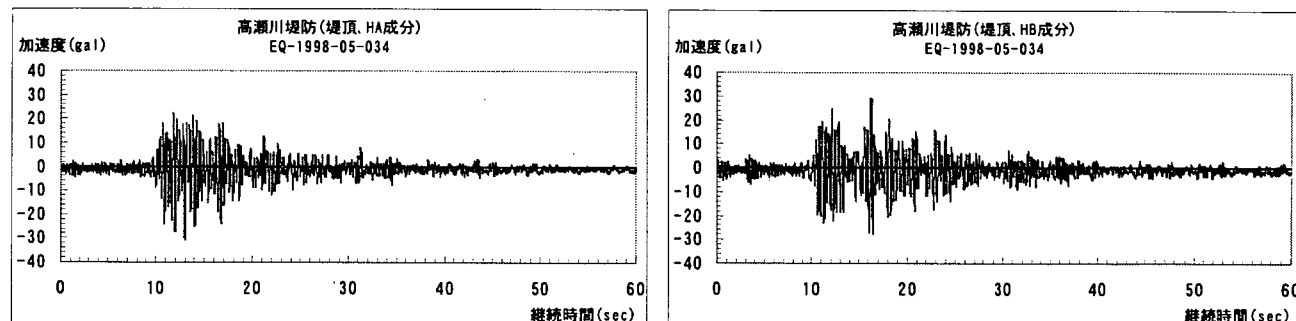


図1 EQ-1998-05-034(1999年05月13日)の記録

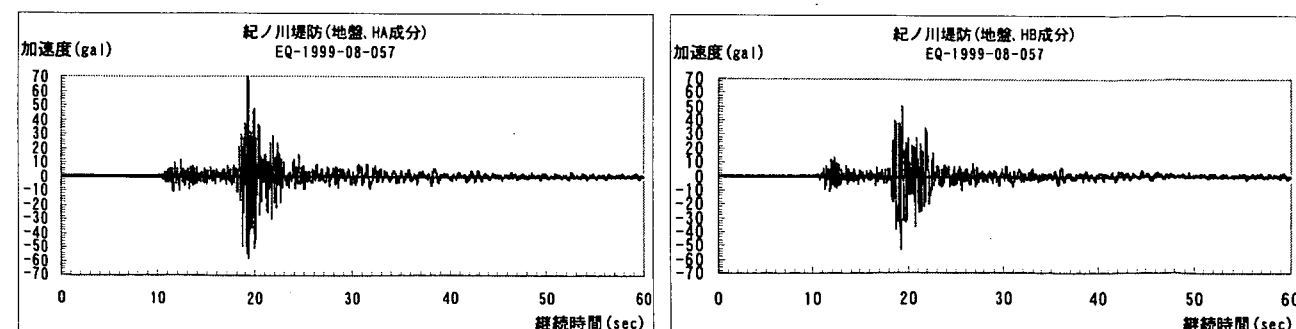


図2 EQ-1999-08-057(1999年08月21日)の記録

平成9年11月から平成11年3月までに発生した地震のうち、表6に示すとおり、5地震13記録39成分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.23)」に掲載した地震諸元

地震番号	地震諸元													波形数
	年	月	日	時	分	震央地名	北緯		東経		震源深さ	規模	最大震度	
EQ-1997-12-053	97	12	19	22	07	石川県西方沖	36	19	136	13	13km	M4.4	4	3
EQ-1998-01-038	98	1	10	14	02	鹿児島県薩摩地方	31	50	130	17	6km	M4.1	3	9
EQ-1998-04-046	98	4	18	01	21	鹿児島県薩摩地方	31	51	130	17	9km	M3.6	3	9
EQ-1998-04-075	98	4	24	00	00	新潟県沖	37	59	139	02	15km	M3.5	2	6
EQ-1998-05-079	98	5	23	04	49	周坊灘	33	42	131	51	85km	M5.3	4	12

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	設置状況				対象施設 (観測所内訳)				観測区分 (センサー内訳)		
	関係事務所数	観測所数	センサー	ch数	河川	道路	ダム	砂防	一般	共用	NW
北海道	87	169	296	875	51	104	14	0	150	146	0
東北	27	124	224	572	41	54	28	1	124	0	100
関東	30	120	203	609	36	63	10	11	94	4	105
北陸	17	55	93	276	21	24	4	6	43	4	46
中部	26	121	187	552	23	56	8	34	102	12	73
近畿	22	117	164	492	37	63	10	10	34	79	51
中国	16	58	83	249	24	30	5	0	23	11	49
四国	14	40	83	249	11	12	5	12	59	1	23
九州	25	63	135	405	21	23	12	7	89	0	46
沖縄	1	6	28	76	0	0	6	0	22	0	6
計	265	873	1496	4355	265	429	102	81	740	257	499

注1) 観測区分については、「一般」は一般観測地点として、「NW」は地震計ネットワークとして、「共用」は両者の目的を兼ね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。

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. 2)、土木研究所資料第3672号、平成11年10月
- 2) 土木研究所: 土木構造物における加速度強震記録(No.23)、土木研究所彙報Vol. 67、平成12年3月

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：杉田秀樹、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（図1参照）。5箇年計画の2年度目である11年度は、評価手法の全体フローを作成し、具体的な前提条件等の決定を行うとともに、幹線系道路の耐震性評価法と地震時交通需要の推定方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。

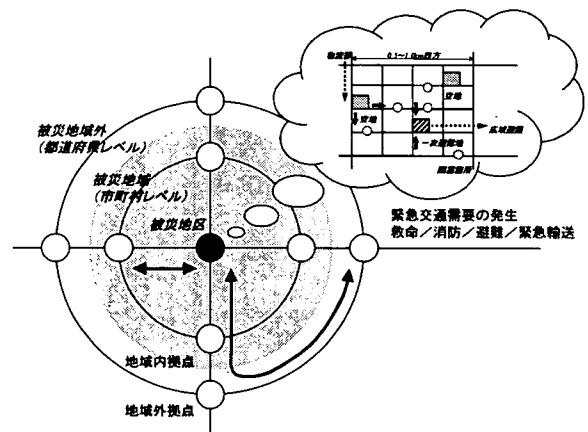


図1 研究成果のイメージ

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。

2. 研究方法

2.1 地震時交通状況評価

本研究では、市町村程度の広がりにおける幹線系道路を対象として、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の評価する。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。このため本研究では、まず地震時の交通状況評価の全体フローを作成した。

2.2 幹線系道路の耐震性評価手法の検討

幹線系道路の障害危険度評価の構成要素の一つである道路施設被害・沿道占用施設被害による交通容量の低下の評価方法について検討した。実際の道路区間について、施設情報の入手方法、施設の被災関数、施設が被災した場合の交通に対する影響、等をケーススタディー的に検討し、評価手法の試案を作成した。

2.3 地震時の交通需要推計方法の検討

地震時の交通需要は、平常時の交通需要とは大きく異なる。このため、平成10年度に検討した地震時の活動の原単位を参考にした上で、交通需要の推計方法について検討した。交通需要を大きく地震発生に伴う緊急活動と背景交通の2つに区分し、地震発生後の時間経過に応じた推計方法の試案を作成した。

3. 研究結果

3. 1 評価手法の枠組みの整理

評価手法の一連の流れをフローにしたのが、図2である。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。事前準備から交通状況の評価まで、大きく7つに分かれているが、特に重要な項目は以下の3つである。

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手法。

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手法。

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、緊急活動に伴う交通需要及び背景交通需要を評価時期に応じたネットワーク配分を行いシミュレートする手法

評価手法の枠組みについて平成11年度に検討した主要な成果を以下に示す。

(1) 交通状況評価の前提条件

自治体が作成する地域防災計画を収集し、前提条件としての地震緒元・発災条件・気象条件、及び、想定結果としての被害想定項目を整理した(表1参照)。これらの条件や項目を、地震時交通状況の評価の際の前提条件として位置付けた。

表1 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	国土庁
地震緒元	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。

(2) 評価シナリオの整理

交通状況評価の目的に照らして、表2に示すように、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3種類に整理した。

(3) 評価時期の整理

緊急活動が地震後の時間経過に応じて変化することを考慮し、短期(被災期～混乱期)、中期(救援

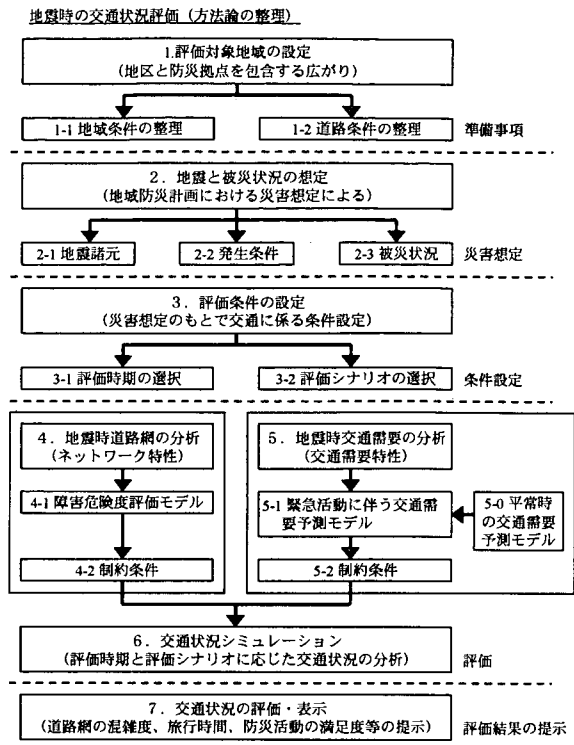


図2 地震時交通状況評価の全体フロー

期～応急復旧期）、長期（復旧期～復興期）の3種類に整理した。

（4）評価手法のモデルの枠組

表2 シナリオの概要

評価手法を、図3に示すように“幹線系道路のネットワーク評価モデル”、“地震時交通需要推計モデル”、“交通状況シミュレーションモデル”の3つでモデル化するものとし、それぞれにモデルを構成するサブモデルを設定した。また、サブモデル作成の基本的な考え方とサブモデルで反映すべきパラメータ（交通状況評価の前提条件、被害想定項目等）を設定した。

シナリオ名	評価の視点	適用対象時期		
		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。	○	○	○

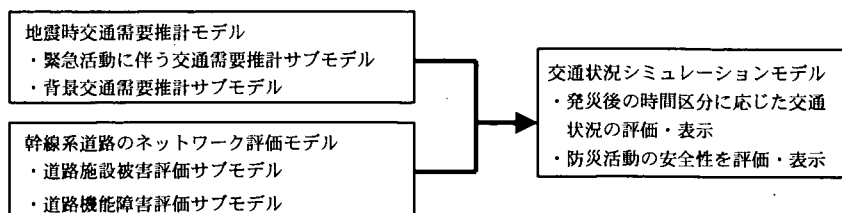


図3 各種防災活動の安全性評価のためのモデル

（5）各種防災対策の交通状況評価への反映

“防災対策を行ったシナリオ”で想定する防災対策について、ソフト対策とハード対策に分けて選定した。

（6）路上放置車両の交通状況評価への反映

路上放置車両の発生原因と発生量を阪神淡路大震災の事例から評価した上で、地震発生時に走行中または路上駐車中の車両のうち、運転者の意思により放置される車両をモデル化することとした。

3. 2 幹線系道路の耐震性評価手法の検討

（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

本研究で対象とする幹線系道路は幅員が8m以上と広いために、路面損傷や高架部分の落橋等の道路構造物自体の被災による通行不能を例外とすれば、沿道施設の倒壊による道路の完全閉塞可能性は非常に低い。

幹線系道路の道路閉塞を評価する場合は、完全閉塞の有無だけでなく、通行可能な車線の減少や、自動車の自由走行速度の低下による交通容量の低下等を指標とし、サービス機能に与える影響を考慮した段階的な評価を行う必要がある。

そこで、阪神淡路大震災を主とした報告を調査し、その被害の発生頻度と交通に対する影響について、表3にとりまとめた。その結果、トンネル・地下街等は特別な場合を除けば被災してないことが明らかとなったため、本検討の対象外とした。また、電柱等は影響があることは明らかであるが、その程度が現段階では関数化されておらず、これらの影響を明らかにすることは今後の課題である。一方、被災時の影響が比較的明らかな項目についても、路面損傷は発生頻度が比較的高いが、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にすぎないのに対し、落橋等橋梁の大被害は、発生頻度は比較的低いが、ひとたび発生すればその地点で通行止めになることが推

表3 幹線系道路の評価項目となる施設・要因

	サービス低下の種類	影響性		整備・利用の現状		検討項目の選定*	備考
		被害確率	被災時閉塞確率	被害確率	被災時閉塞確率		
道路本体	路面	速度低下	高	中	×	×	△
	橋梁	完全閉塞	中	高	○	×	○
	盛土	完全閉塞（車線減少）	中	高	○	○	○
	トンネル	完全閉塞	低	高	×	×	×
沿道・占用施設（地上）	跨道橋	完全閉塞	中	低	○	△	○
	歩道橋	工事発生（完全閉塞）	高	低	×	×	（○）
	擁壁	完全閉塞（車線減少）	低	中	×	×	△
	電柱	車線減少	高	中	×	×	△
	低層建築物	車線減少	高	中	○	○	○
沿道・占用施設（地下）	高層建築物	完全閉塞	低	高	○	×	○
	水道管	工事発生（速度低下）	高	低	○	×	（○）
	ガス管	工事発生（速度低下）	高	低	○	×	（○）
	地下鉄	完全閉塞	低	低	×	×	×
その他	地下街	完全閉塞	低	低	×	×	×
	放置車両	車線減少	高	中	×	○	×

*）検討項目の選定の記号の意味

○：閉塞要因として考慮に入れる（○）：復旧期の閉塞要因として考慮
△：閉塞要因として含めるべきであるが手法が確立していない
×：閉塞要因として考慮しない

測されるなど、発生頻度、交通に与える影響が異なる様々な要因があり、これらを同一の指標で評価することは、手法の単純化には貢献するが合理的とはいえない。よって、このような場合は、各道路閉塞要因をそのサービス機能に与える影響の程度ごとに分類して評価を行う手法がよいと考える。

(2) 交通容量に影響する要因の分析

表3に示した項目の中で、検討対象の項目を、交通に対する影響の度合いにより分類した結果を図4に示す。

「完全閉塞要因グループ」は、路線の高架構造部分、高層建築等で被害の発生確率は低いものの、倒壊によって路線が完全に閉塞する危険性があるグループである。「車線減少要因グループ」は、低層建物、電柱等で、比較的被害が頻発するが幹線系道路のように幅員が広い場合は、路線を完全に閉塞させる危険性は少なく、倒壊によるガレキのはらみだしにより一部車線の走行が制限されることによる幹線系道路のサービス低下を引き起こす要因となるグループである。「走行速度低下要因グループ」は、路面や埋設管等を示し、震災によって生じた段差や亀裂などによって自由な走行が妨げられ速度低下による幹線系道路のサービス機能の低下を引き起こす要因となるグループである。また、幅員、歩道の有無など道路の基本条件等評価に不可欠な条件を、「路線条件グループ」として図4に合わせて示している。

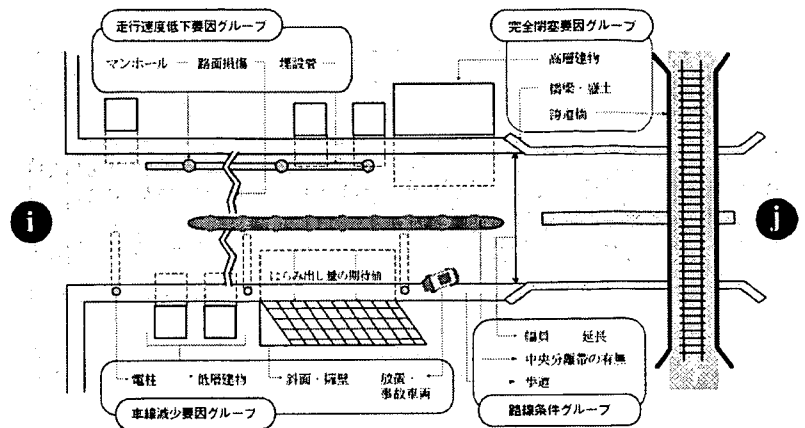


図4 交通への影響を考慮した耐震評価法のイメージ

(3) 各要因グループの評価方法

「完全閉塞グループ」については、要因 i ごとに被災関数により被災確率 P_i を求める。本グループは、被災し交通に影響が生じた場合、必ず完全閉塞すると仮定し、対象路線の完全閉塞確率 P_p は閉塞しない確率 $(1 - P_i)$ の積を1から減じて求める。要因数が n の場合は、(式1)より算定する。

$$P_p = 1 - (1 - P_1) \times \cdots \times (1 - P_n) \quad \cdots (式1)$$

「車線減少要因グループ」については、各要因により生じたはらみだし量の最大値により影響を判断する。はらみだし量の確率密度関数の算出法について以下に概説する。

幅員減少要因が片側の沿道に直列に並んでいる場合は、はらみだし量の大きいものが、車線減少量として効く。このことから、図5に示すように、幅員減少要因 a, b が沿道に直列した場合を考える。要素 a, b それぞれの被災関数が加速度 α の関数 $F_a(\alpha)$, $F_b(\alpha)$ として得られているとき、ある地震によりそれぞれに作用する地盤加速度が α_a, α_b である時、要素 a によって生じるはらみ出し量 x の確率密度関数は $P_a(x)$ 、要素 b によって生じるはらみ出し量の確率密度関数は $P_b(x)$ と求められる。これより、

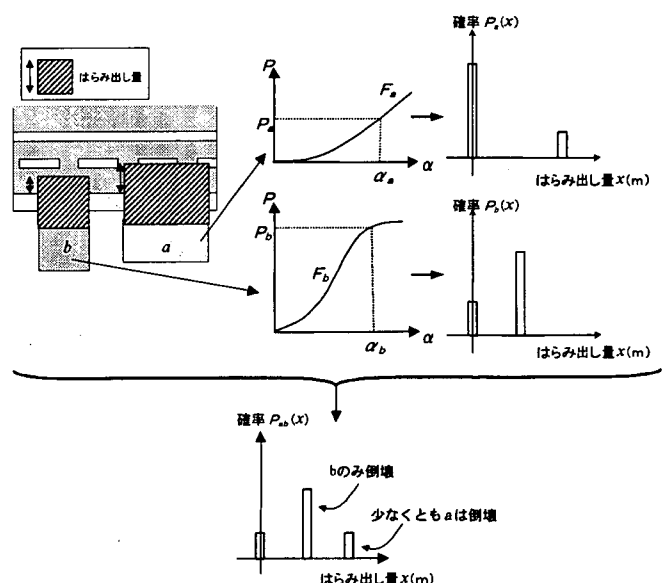


図5 要因が直列に並んでいる場合はらみだし量の確率密度関数算出イメージ

この二つの要因を同時に考慮したはらみだし量の確率密度関数 $P_{ab}(x)$ は、(式2) のように示される。

$$p_{ab}(x) = p_a(x) \int_0^x p_b(\tau) d\tau + p_b(x) \int_0^x p_a(\tau) d\tau - p_a(x)p_b(x) \quad \cdots (式2)$$

要因 c が増えた場合は $P_{ab}(x)$ に対し、 $P_c(x)$ を同様の演算で追加することが出来る。

次に、要素が向かい合っている場合には、はらみだし量は同時に倒れた場合、和で効く。このことから、仮に、幅員減少要因 d, e が対象路線に向かい合って存在しており、要素 d によって生じるはらみ出しの確率密度関数を $P_d(x)$ 、要素 e によって生じるはらみ出しの確率密度関数を $P_e(x)$ とすると、この二つの要因を同時に考慮したはらみだし量の確率密度関数 $P_{de}(x)$ は、(式3) のように示される。

$$p_{de}(x) = \int_0^x p_d(\tau) p_e(x-\tau) d\tau \quad \cdots (式3)$$

要因 f が d と向かい合う形で増えた場合、 $P_{de}(x)$ と $P_{df}(x)$ を演算して、両者の並列演算を行えばよい。なお、対象路線に中央分離帯があり、反対車線への移動が自由ではないのであれば、以上のような向かい合う場合の演算は必要ではなく、直列の場合の確率密度を両側で行い、片側車線ごとに閉塞確率を予測すればよい。

「走行速度低下要因グループ」については、「車線減少要因グループ」と同様に要因ごとの速度低下量を表す確率密度関数を用いて、最も大きな影響により、判断すればよい。しかし、本要因についての確率密度関数については、今後の検討課題である。

(4) 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、ケーススタディーを行う。ケーススタディーの対象を図6に示す神戸市内の路線とした。評価対象の数は、航空写真を判読して求めた。対象路線の延長は570mであり、橋梁・跨道橋2橋、高層建築物17棟、低層建築物12棟が存在する。ケーススタディーに際し、用いた手法及び仮定をまとめる。高層建築物に関しては、被災関数として林ら¹⁾の報告を用い(図7参照)、高層建築物被災時の幹線系道路の完全閉塞確率は、神戸市中央区の被災事例において、被災建築物のうち路線の交通に影響を与えたものの割合が約3%であったことから、被災確率 $\times 0.03$ とした。橋梁に関しては山崎ら²⁾の被災関数を用いた(図8参照)。橋梁の被災時と幹線系道路の完全閉塞の関係は、道路本体が橋梁となって

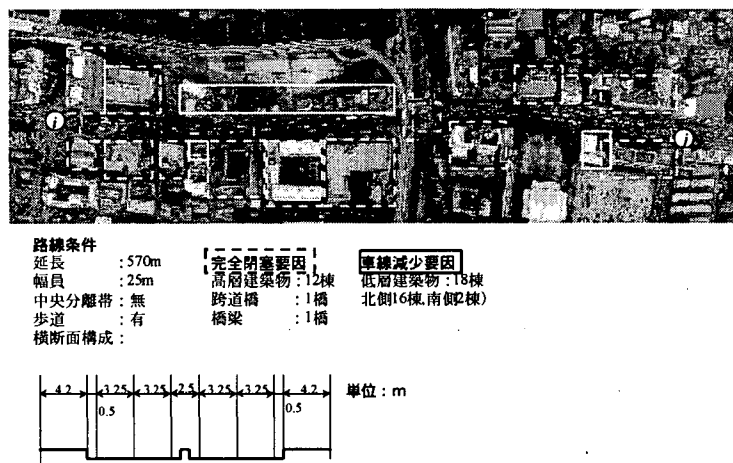


図6 ケーススタディーの対象路線

建築物被災時の幹線系道路の完全閉塞確率は、神戸市中央区の被災事例において、被災建築物のうち路線の交通に影響を与えたものの割合が約3%であったことから、被災確率 $\times 0.03$ とした。橋梁に関しては山崎ら²⁾の被災関数を用いた(図8参照)。橋梁の被災時と幹線系道路の完全閉塞の関係は、道路本体が橋梁となって

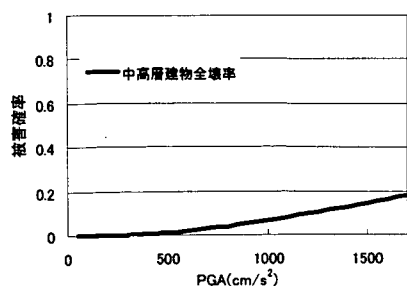


図7 高層建築物のフラジリティ¹⁾

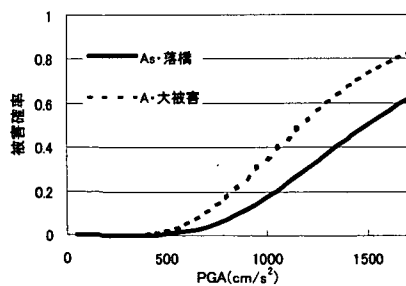


図8 橋梁のフラジリティ²⁾

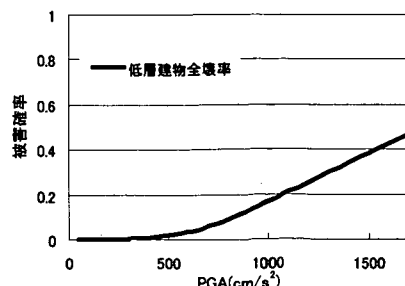


図9 低層建築物のフラジリティ¹⁾

いる場合は被害ランク A 以上のとき、跨道橋の場合は被害ランク As のとき、完全閉塞するもの仮定した³⁾。低層建築物に関しては、高層建築物と同様に、林らの被災関数を用いた(図9参照)。被災時にはらみ出す確率およびはらみ出し量は、阪神・淡路大震災調査報告⁴⁾より、被災時に道路側にはらみ出す確率を 0.482、はらみ出し量を一律 6m とした。

総合評価は、それぞれの加速度に対する、完全閉塞確率、2車線閉塞確率、1車線閉塞確率を求め、完全閉塞確率はそのまま総合評価に用い、2車線閉塞確率、1車線閉塞確率は(1-完全閉塞確率)を乗じて総合評価に用いる。

以上の条件で、(3)に示した手法を用いて総合評価を行うと、図10に示す結果を得る。評価結果は、完全閉塞要因により「完全閉塞」状態、車線減少要因グループにより両側それぞれ1車線ずつ閉塞した「2車線閉塞」状態、車線減少要因グループによりどちらか片側1車線が閉塞した「1車線閉塞」状態、「閉塞無し」の4段階で示した fragility 曲線で得た。さらに、fragility 曲線より交通量の期待値を計算すると図11のように求めることも可能となる。

3. 3 地震時の交通需要推計方法の検討

(1) 緊急交通需要の評価に関する検討

阪神淡路大震災の事例等から緊急活動ごとの発生時期と発生量を整理した上で、緊急交通需要を交通量として考慮すべきか否か、また、交通状況評価の指標として採用すべきか否かを検討した。採用した緊急活動を、組織的活動(警察・消防等組織として社会のために行う活動)、非組織的活動(個人のための活動)に区別した。

(2) 背景交通需要の評価に関する検討

背景交通は地震発生後の時間経過に応じて特性が異なるため、短期評価と中・長期評価で考慮するモデルを区別する。平常時の活動(パーソントリップデータ、交通センサスデータ)を基本とし、短期評価では地震発生時の行動変化を反映したモデル(推計方法は図12参照)を、また中・長期評価では曜日や時間帯を反映したモデルを検討する。

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—平成11年度成果報告書

参考文献：1)林康裕,宮腰淳一,村田和夫：1995 年兵庫県南部地震の地震動強さと建物被害の検討,清水建設 IRI 研究報告 97-01,1997.3

2)山崎文雄,大西淳一,田山聡：高速道路構造物の早期被害推定法の提案,第3回都市直下地震災害総合シンポジウム,pp.403-406,1998.10

3)社団法人 日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編),1988.2

4)阪神・淡路大震災調査報告(交通施設と農業施設の被害と復旧)：阪神・淡路大震災調査報告編集委員会,社団法人土木学会,1998.2

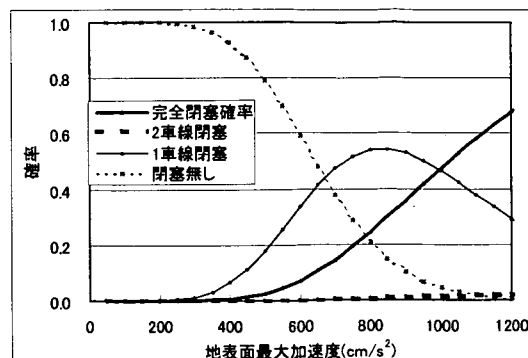


図10 幹線系道路の fragility

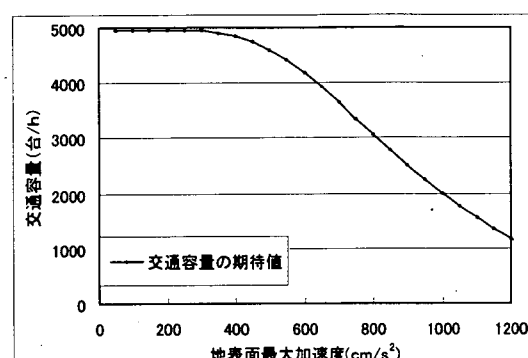


図11 交通量の期待値

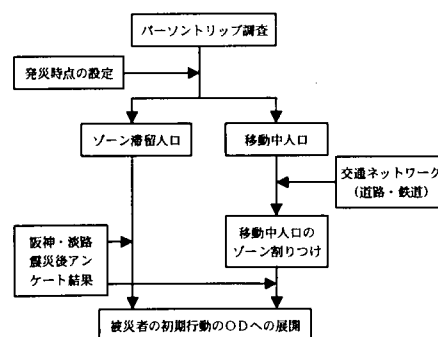


図12 短期評価に用いる背景交通量推計方法

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：杉田秀樹、主任研究員：野崎智文、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11年度は、震災予防と危機管理に関する要素技術の現状調査、分散・共有型情報システムを構築するための技術の調査、及び、リモートセンシングデータに基づく被害検知技術の調査を実施した。

1. 研究目的

円滑な国土管理を進めるためには、状況モニタリング、施設計画と構築、施設管理が適切に行われる必要がある。特に公共土木施設の地震防災対策に際しては、図1に示すように、耐震補強等の震前対策により施設被害を最小化するための震災予防と、地震後に施設被害が発生した場合の迅速な対応により被害の拡大・影響を抑止する危機管理を適切に組み合わせる必要があり、国土管理に必要な諸活動が最もクリティカルな形で現れる。一方

で、近年の情報通信技術や航空宇宙技術は、震災予防や危機管理に係る対策活動に適用することが可能と考えられる。このため本研究では、先端技術を活用した震災対策支援システムの考え方、及び、システムが備えるべき要素技術の要求機能・性能・精度等を調査検討し、震災対策組織が震災対策支援システムを整備・拡充する際に有効なガイドラインを提示する。

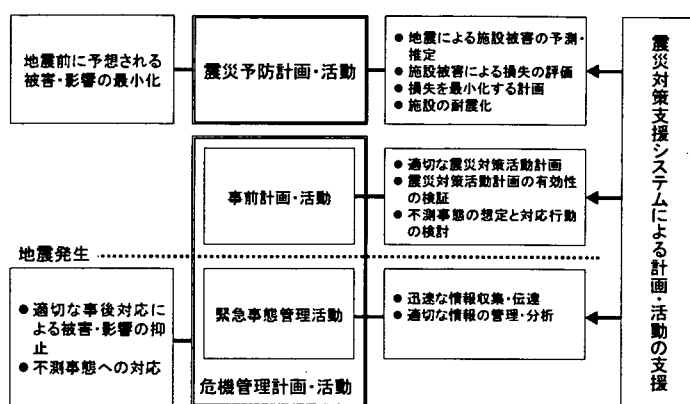


図1 震災予防と危機管理

2. 研究方法

2. 1 震災予防と危機管理に関する要素技術の調査

震災予防とは、震前に所管施設の耐震性を向上することで、地震発生時の損失を最小化するための計画・活動をいう。震災予防を円滑に進めるためには、1) 地震及び地震による施設被害の推定、2) 地震被害に起因する社会経済的損失の評価、3) 損失を最小化するための震災予防計画の最適化、を行う必要がある。

一方、危機管理とは、地震により施設被害が発生した場合をあらかじめ想定し、施設被害の拡大や施設被害による影響を抑止するための計画と、地震発生後に行う活動をいう。危機管理を円滑に進めるためには、1) 迅速な情報収集及び情報伝達、2) 迅速な意思決定、3) 混乱時における震災対策体制の管理、4) 不測の事態に対する震災対策体制の有効性の事前評価、を行う必要がある。

これらの活動は、従来から人間あるいは情報通信機器等を活用して行われてきたところであるが、近年の情報通信技術や宇宙技術等の支援によって、これらの活動はより効率化することが可能と考えられる。そこで、震災予防と危機管理に関する諸活動を支援する震災対策支援システムの要素機能を実現するために現状

2. 2 分散・共有型情報システムの構築に関する調査

2. 3 リモートセンシングデータに基づく被害検知技術に関する調査

3. 研究結果

震災予防・危機管理に必要な要素技術としては様々なものが考えられるが、そのいくつかの例を図2～4に示す。図2は大規模な橋梁のような重要な箇所の地震被害を、被害発生直後に検知するためのセンサーである。また、広域にわたって分布する施設のすべてにセンサーを設置することが可能でない場合、オンライン型地震計のデータに基づいて地震発生直後に施設被害を概略推定する技術も有効である。一方、GIS技術の活用により、震災予防計画の策定や危機管理活動の管理などをより効率的に行うことが可能となる(図3)。また、複数の情報通信技術を組み合わせ、現場の点検活動などをより効率的に行うサブシステムを構築することも可能である(図4)。

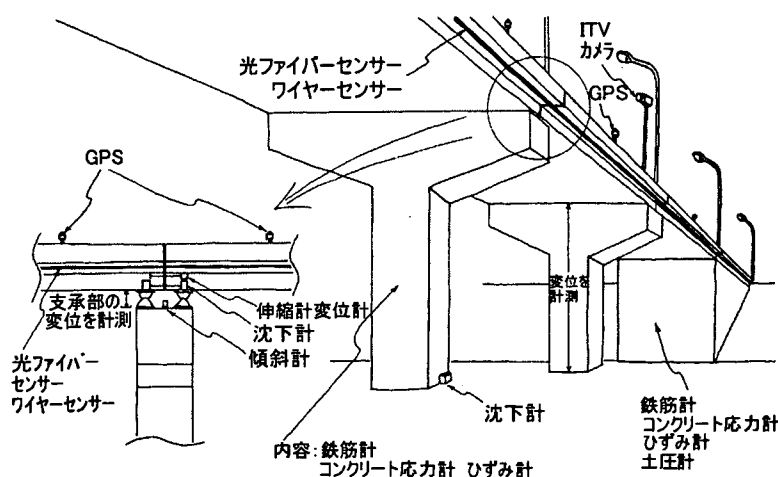


図2 道路橋の地震被害検知センサーの設置イメージ

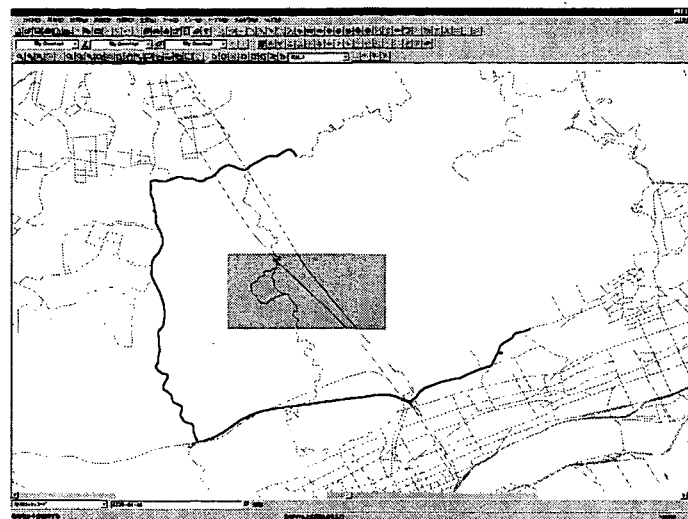


図3 GISによる迂回路探索の例

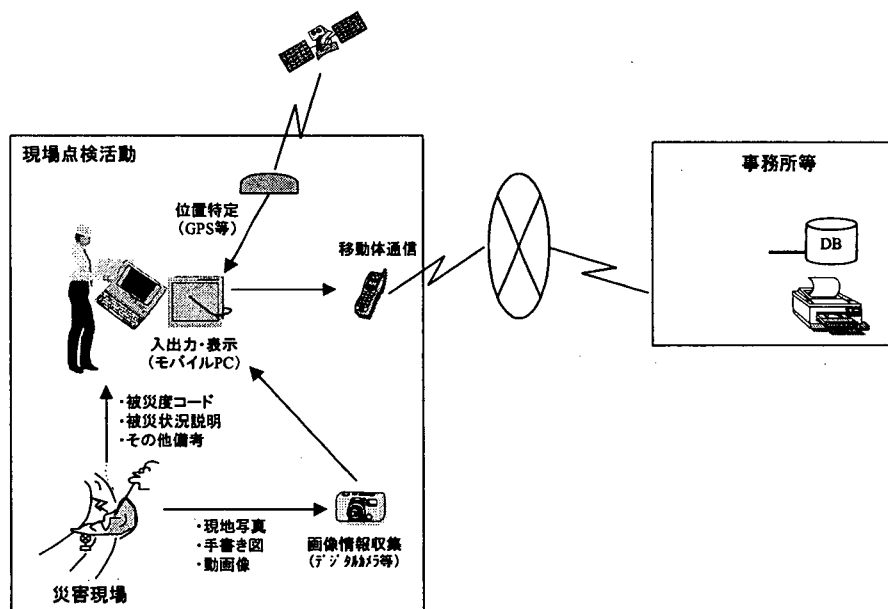


図4 モバイルコンピューティングによる地上点検サブシステムのイメージ

3. 2 分散共有型情報システム構築の考え方と適用可能な技術

震災対策支援システムは、所管施設の被害情報や管理情報のみならず、地図データ、社会経済データなど様々な種類の情報を扱う。特に危機管理活動にあっては、組織間の異なる情報を交換し、効果的な震後対策を講じる必要がある。このため震災対策支援システムは、異なる組織に分散して存在する情報を互いに共有し、活用できる分散共有型のシステムである必要がある。さらに、分散共有型システムとして整備することにより、システムの要素機能に用いている技術が高度化された場合や新たな技術を利用する要素機能を付加する場合に、柔軟にシステムを拡張することが可能となる(図5)。このような分散共有型システムを構築するために利用可能な情報・通信技術は現時点でも急速に進歩しつづけており、これらの技術によって有効な震災対策支援システムを構築することが可能となる。この場合重要なこととして、震災対策活動に用いられ

る情報を、活動内容に沿って整理し、共有しやすい形で構造化し整理することがあげられる。たとえば、道路橋の地震被害については、道路橋を構成する属性を構造的に整理し、道路橋が存在する路線や被害を発生させた地震等のデータと相互参照させることにより、データの独立性と相互関係が維持される（図6）。

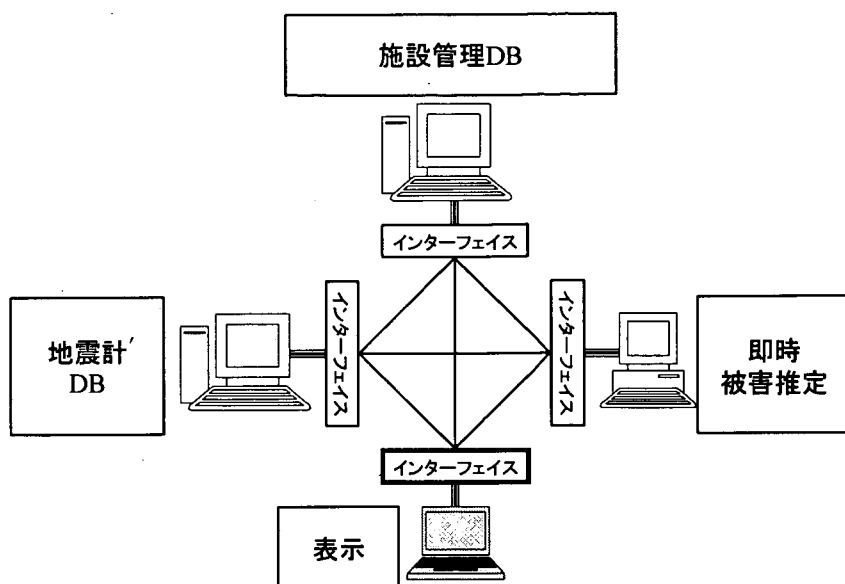


図5 情報伝送のインターフェイスを統一した分散共有型システム

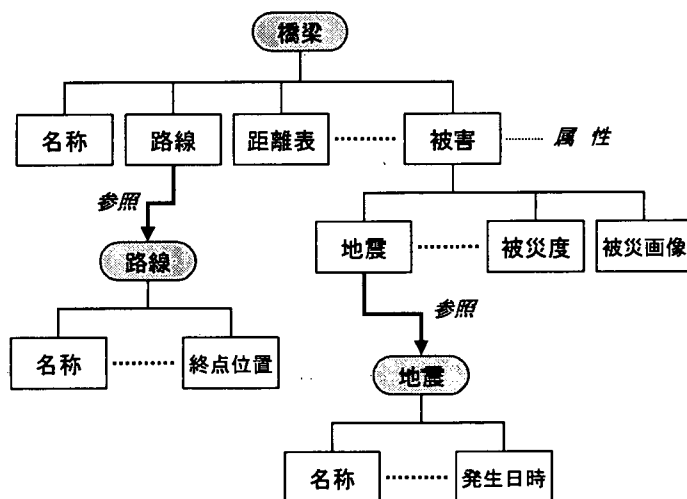


図6 情報の構造化

3. 3 リモートセンシングデータに基づく被害検知

地上解像度1mのセンサー等を搭載する IKONOS 衛星が1999年9月に打ち上げられたほか、合成開口レーダ(SAR)、レーザプロファイラ等、地上の状況を広範囲にわたって取得できるリモートセンシング技術の開発、利用が盛んになっている。これらの技術を用いて、広域に存在する公共土木施設の地震による被害を検知することができると考えられる。本研究では、地震等の災害によって被災した構造物や液状化等の変状のリモートセンシングシミュレーション画像データに基づき、被害の視認性、被害抽出技術等について調査した。

図7および8は、兵庫県南部地震による阪神高速道路5号湾岸線西宮港大橋の落橋被害および神戸港埠頭

の液状化および護岸被害のシミュレーション画像である。これらの写真における被害の目視による判読性を調査した結果、大規模な構造物被害は概ね地上解像度1～2mの間に判読の限度があることがわかった。

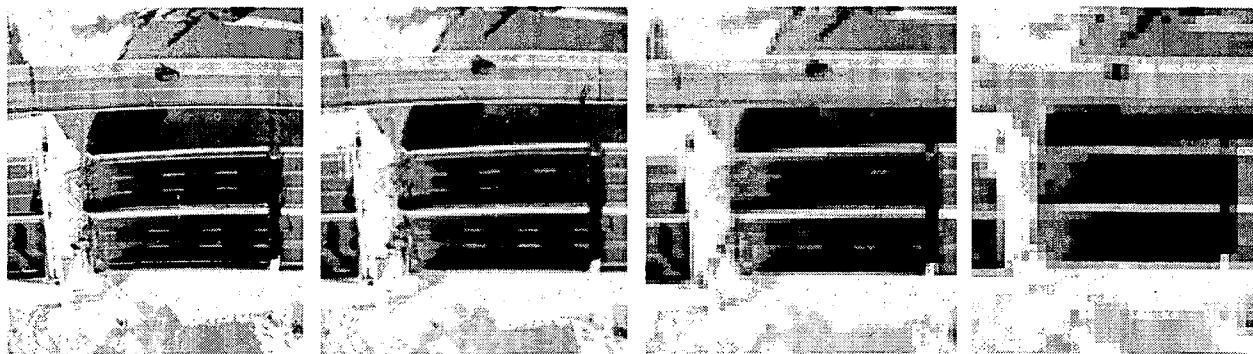


図7 カラー画像：大規模な落橋被害（左から地上解像度0.5m、1m、2m、10m）



図8 カラー画像：液状化および護岸被害（左から地上解像度1m、2m、10m）

図9は図7のデータにエッジ強調処理を施したものである。この場合も目視判読と同じく、地上解像度1～2mの間に大規模被害を判読できる限度があることがわかった。ただし、若干の桁のずれといった比較的規模が小さい被害を検出するためには、より高い解像度が必要となる。図10は、図8のデータのうち液状化や土砂流出に対応する色調のセルを赤色で強調したものである。土砂災害、液状化等の変状の規模にもよるが、大規模な被害の場合は解像度2m以上でも変状が存在するエリアを発見可能である。

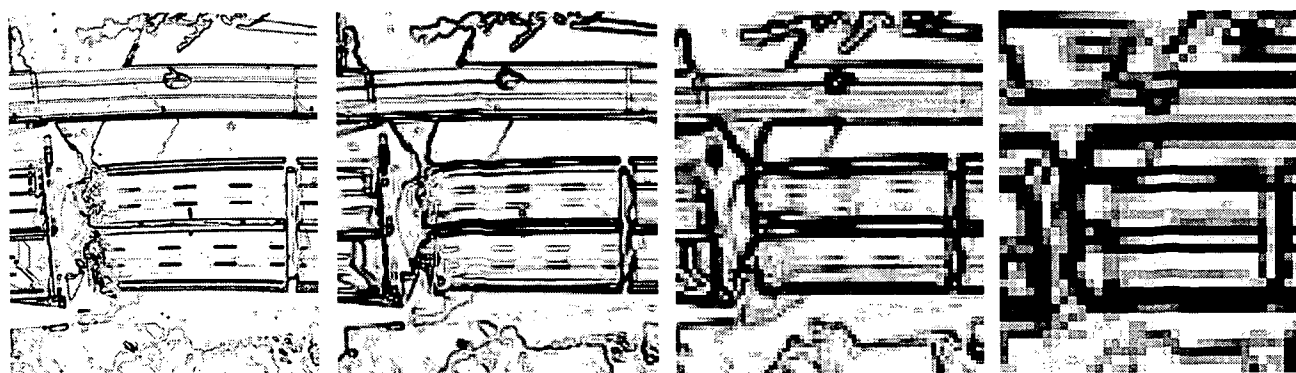


図9 エッジ強調画像：大規模な落橋被害（左から地上解像度0.5m、1m、2m、10m）

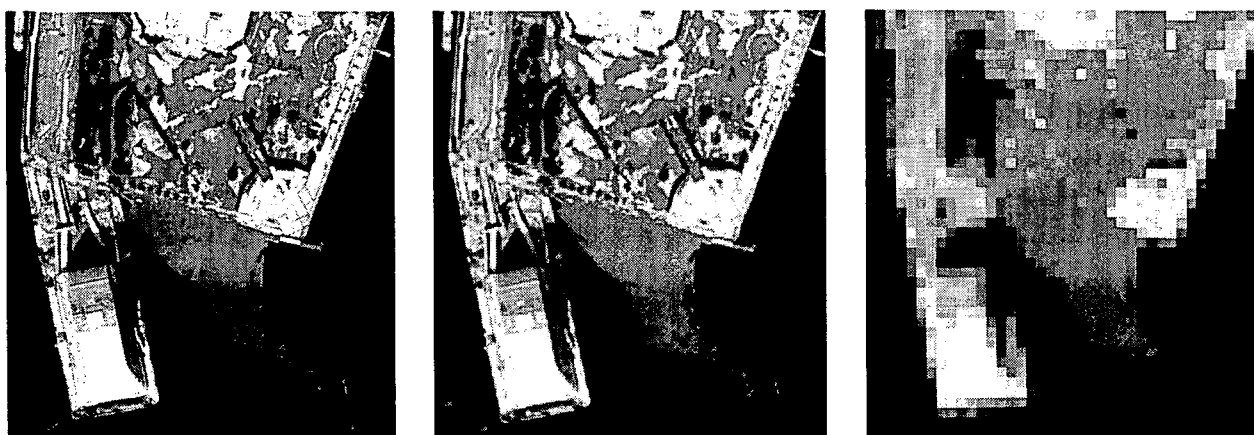


図10 色調強調画像：液状化および護岸被害（左から地上解像度1m、2m、10m）

4. 主な研究成果物

特になし

6. 地震情報システムに関する国際共同研究

6. 地震情報システムに関する国際共同研究

1. 利用制度 科学技術庁二国間型国際共同研究

2. 相手国及び相手 米国

側研究機関名 米国連邦危機管理庁(FEMA)、陸軍地形工学研究所(ARMYTEC)

3. 研究の内容・成果等

(1) 研究の目的と意義

1994年ノースリッジ地震、1995年兵庫県南部地震という大都市地域の震災を経験した日米両先進国においては、リアルタイム地震防災技術、GIS等の情報処理技術を活用した各種の地震情報システムが開発されつつある。現在のところそれらは個別に研究開発がなされているが、今後はそれらのシステムの連携や情報の共有化が大きな課題となる。このようなことから、IJNRでは地震情報システムに関する作業部会を設け、両国が共同して集中的な検討を行うことを決議した。また、コモンアジェンダ(日米地震被害軽減パートナーシップ)においても、地震時の道路施設の危機管理に向けた情報システムの開発を、両国のパートナーシップのもとに行うこととしており、地震情報システムに関する両国共同の研究活動は重要な課題となっている。

(2) 研究方法と研究実施体制

地震情報システムの開発には、システムアーキテクチャーの確立、システムの土台となるGIS技術、データベース技術、情報の共有化技術、分散型システムによるリスク軽減技術など、様々な先端技術が必要となる。このため、情報分野に関して特に進んだ両国間において研究情報の交換を行う。

地震情報システムの現状に関する情報を両国で交換するほか、米国においては、ネットワーク、GISに関する技術が進んでいるため、これらに関する研究を主として担当し、日本においては地震直後のリアルタイム被害推定技術等に関する研究を主として行う。また、地震による被害・損失・リスクについて、両国が保有する評価手法を比較検討する。

研究体制	日本側リーダー	防災技術課長 1 名	主任研究員 3 名	合計 4 名
	米国側リーダー	連邦危機管理庁 1 名	陸軍地形工学研究所 1 名	合計 2 名

(3) 成果

日米両国のリーダー機関が主体となり、両国の行政機関・ライフライン機関等における地震情報システムの研究開発動向を調査・整理した(表1参照)。地震情報システムの整理は、システムの利用目的(震前のリスクマネジメント、震後のクライシスマネジメント)と、システムに必要とされる要素技術(モニタリング技術、データ分析技術、データ伝送技術)の視点で行った。また、地震情報システムを整備・普及するための技術的課題について、日米関係機関の問題意識を調査・整理した。本検討から、以下の点が明らかにされた。

1) 日米両国において、地震情報システムの研究開発の重点は、震前のリスクマネジメント

と地震発生直後の警戒・同報・緊急対応への利用に置かれている。

- 2) 要素技術の必要性については、地盤振動と構造物被害のモニタリング技術、地震動分布と人的・構造物被害の評価モデリング技術、画像等を含めたデータ伝送技術が、日米両国で共通している。
- 3) 整備・普及のための技術的課題として、日米両国とも、データベースの効率的な整備方策、及び、データ共有とリスク分散を実現するシステムアーキテクチャーを挙げている。

表 1 日米両国における地震情報システムの研究開発動向

Table 1: Elemental Technologies

				Objectives (Technology utilized for what?)				
				Risk Management before Earthquake	Crisis Management after Earthquake			
					Loss Estimation Works	Warning & Notification	Urgent Response Works	Restoration Works
Methodologies	Monitoring & Data Collection	Ground Motion		● USGS		●● JMA,NIED,USGS	●● PWRI,USGS	
		Built Environment	Structural Response					
			Damage	● FEMA		●● GSI,PWRI,TEC		
		Ground Motion		●● NLA,PHRI,USGS	●● JMA,USGS	○ (NLA,PWRI)		
	Data Analyzing (Modeling)	Built Environment	Structural Response			○ PWRI		
			Damage	●● NLA,TU,FEMA	● FEMA	○ NLA,PWRI	○ NLA,PWRI	○ NLA,TU
		to Whom?			○ JMA			
		How?		●● GSI,FEMA,TEC	●● JMA,GSI,USGS			
	Data Transmission & Data Dissemination							

Table 2: System Architecture for Practical Use

Data Issues (Database)	●● NLA,FEMA,TEC
System Issues (Data Sharing, System Extensibility)	●● PWRI,USGS

Japanese Organization: ○

NLA National Land Agency
PWRI Public Works Research Institute
JMA Japan Meteorological Agency
GSI Geographical Survey Institute

PHRI Port and Harbor Research Institute
TU Tohoku University
NIED National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
BRI Building Research Institute

U.S. Organization: ●

FEMA Federal Emergency Management Agency
TEC U.S. Army Topographical Engineering Center
USGS U.S. Geological Survey

震前のリスクマネジメント、地震発生直後の緊急対応、情報システムアーキテクチャーについて、日米両国が研究開発を進める地震情報システムの詳細情報を交換し、現状と課題について意見交換を行った。意見交換を実施した主要な地震情報システムと要素技術は表2の通りである。意見交換の結果、日米間の更なる研究協力が有効な研究協力課題として、以下の課題を洗い出した。

- 1) GIS, GPS, 衛星画像等先端技術の活用技術
- 2) 個別に整備される地震情報システムの連携活用技術
- 3) 地震情報システムの整備を促進するための低コスト技術

表2 防災関係機関における主要な地震情報システム

	Organization	Categories	
		Crisis Management	System Issues and Advanced Technologies Risk Management - Loss Estimation
Japan	National Land Agency	Early Estimation System for Tsunami Hazard	
	Japan Meteorology Agency	Real Time Provision of Earthquake Information in Japan	
	Kyoto Univ.	Disaster Management through Normal-service GIS Based on Spatial-temporal Database	
	Kyoto Univ.	Modeling of Phase Characteristics of Earthquake Motions in Spatial Field and Interpolation of Observed Earthquake Motions	
	PWRI, MOC	SATURN- Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification	
	Tokyo Fire Department	The Earthquake Damage Estimation System of Tokyo Fire Department	
	Hiroshima Univ.	Seismic Damage Information System for Hiroshima City	
	Yokohama City Univ.	"READY" A System for Real Time Assessment of Earthquake Disaster in Yokohama City	
	NTT	Systems Related to Disaster Countermeasure in NTT	
	Tokyo Gas Co.	Development of SUPREME	
	System and Data Reseach Co.	On the UrEDAS- its Development and Application for Early Warning and Rapid Information against Destructive Earthquakes	
	National Research Institute of Department	Fire Framework for Efficient Gathering of Earthquake Damage Information	
	PWRI, MOC		Draft Manual for Seismic Information System Development
	Geological Survey Institute, MOC		GEONET, GPS Earth Observation Network System
	Building Research Institute, MOC		A Seismic Hazard Map for the Earthquake Resistant Design of Buildings
U.S.	Central Research Institute of Electric Power		Seismic Countermeasures of Electric Power System on the Basis of Risk Management
	FEMA	HAZUS Capabilities as A Near-Real Time Rapid Damage Assessment Tool	
	FEMA		Natural Hazards Exposure Mapping in the United States
	FEMA	Earthquake Research for Electric Utilities	
	FEMA		American Lifelines Alliance- Reducing Risks to Utility and Transportation Systems from Natural Hazards
	U.S. Army Topographical Engineering Center		

(4) 研究の評価、今後の展望等

日米両国における地震情報システムの現状と課題について意見交換を行い、日米間で共通する要素技術の理解を深めるとともに、一層の研究協力が有効な技術課題に関して合意することができた。今後も、既存のUJNR耐風耐震構造専門部会や日米地震被害軽減パートナーシップの枠組を活用して、技術情報と研究データの交換を継続することが望まれる。

4. 相手国代表研究者からの意見（研究の評価、今後の展望等）

進捗の著しい地震情報システムについて、日米間で研究開発の動向を把握し、共通する要素技術の相互比較を行うことは有効である。今後も、継続的な技術情報と研究データの交換が望まれる。また、コモンアジェンダの枠組で実施される日米地震防災政策会議では、政策的な観点から地震情報システムの利活用が議論されており、本研究協力成果に基づく技術的支援が望まれる。

5. 研究発表等

(1) 学会発表（発表者名、発表題目、学会名）

発表会数：(2) 回

ア. Hideki Sugita, Tomofumi Nozaki: "Seismic Information System for National Land Management", 31st UJNR Joint Meeting on Wind and Seismic Effects

イ. Stuart Nishenko, "Testing the HAZUS Earthquake Quick Assessment Model: October 16, 1999 M7.1 Hector Mine, California Earthquake", the Second High-level U.S.-Japan Earthquake Policy Cooperation Forum

(2) 論文等 (著者名、題目、発表誌名、番号名)

発表回数: () 回

なし

(3) 特許等 (出願番号、出願年月日、発表の名称、発明者、出願人)

発表会数: () 回

なし

7. 震前・震後の道路網健全性評価技術に関する試験調査

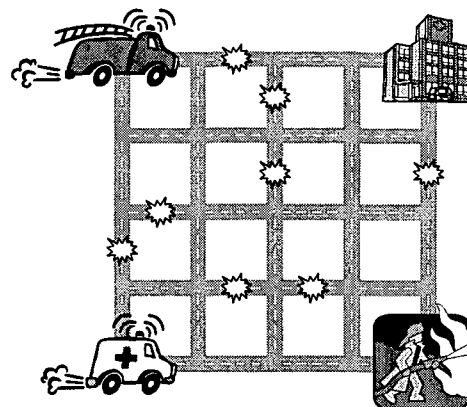
7. 震前・震後の道路網健全性評価技術に関する試験調査

研究期間：平成7年度～平成11年度

担当者：課長：杉田秀樹、主任研究員：野崎智文

【要旨】

本研究は、道路の地震防災対策に関して、平常時における震災予防計画のための道路ネットワークの耐震性評価手法および地震発生時の危機管理に資する各種技術を検討し、現場の地震防災対策に資するものである。平成11年度は、道路ネットワーク耐震性評価手法の適用性を実地域に関するケーススタディで確認したほか、地震時の道路危機管理システムに適用可能な技術を整理した。また、5箇年にわたる研究成果のとりまとめを行った。



道路ネットワーク全体の耐震性は？
各区間の耐震上の優先順位は？

1. 研究目的

地震発生時に緊急輸送活動のバックボーンとして機能すべき道路網については、地震時に期待されるネットワークシステムとしての機能に留意しながら、補強・新設計画や規制方策を検討しなければならない。一方、地震発生直後には、被災状況の把握、被災箇所に対する点検・対応を迅速に行う必要がある。本研究では、道路区間の耐震性に基づいたネットワーク全体としての耐震性を評価する事前の健全性評価技術および地震発生直後に被害状況を把握し、ネットワーク機能の早期回復を支援する技術を開発する。

2. 研究方法

2. 1 道路ネットワーク耐震性評価技術の開発

道路に関する震災予防計画を策定するためには、既存の道路網の耐震性を適切に評価する必要がある。こ

こで道路の耐震性は、橋梁等個々の構造物の耐震性で評価するだけでなく、地震によって道路の区間が被災し、あるいは交通状況が悪化した場合のネットワークとしての機能性によっても評価すべきである。本研究では、地震後の道路ネットワークにおける交通状況のもとで、緊急輸送活動の効果を定量評価する手法を開発する。本手法では、地震発生後の道路の被災状況とそれとの交通状況およびこれに対する交通規制を組み合わせたネットワーク状態に対して一つの耐震性評価指標 SP が算出される。道路に関する地震防災対

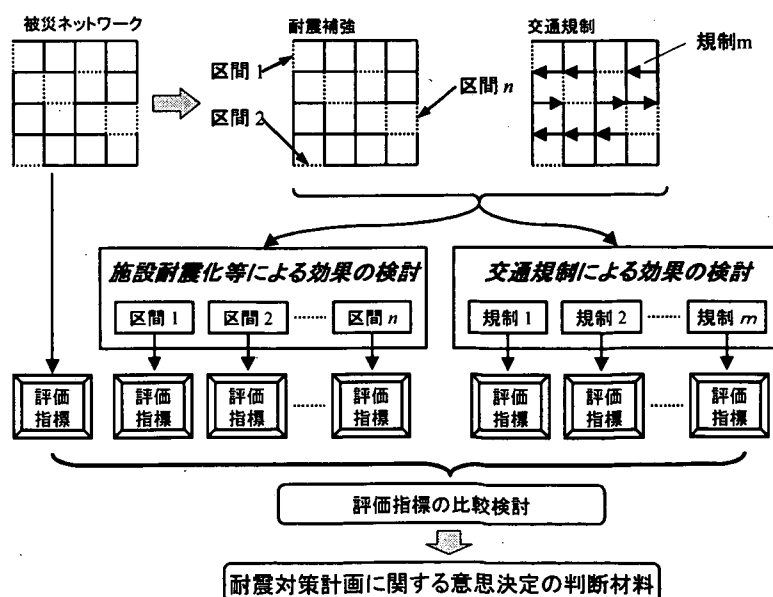


図1 道路ネットワーク耐震性評価手法の利用イメージ

策の担当者は、耐震補強計画や迂回路設定等の対策に応じてネットワーク条件を設定し、各条件に対する SP を比較することによって、より有効な地震防災対策を検討する（図1）。

道路ネットワーク耐震性評価の考え方は図2左のとおりである。緊急輸送交通は、緊急目的以外の交通（背景交通）の影響によって定まる走行速度のもとで走行し、その旅行時間に応じて低減する緊急輸送活動の効果量が集計される（図2右）。

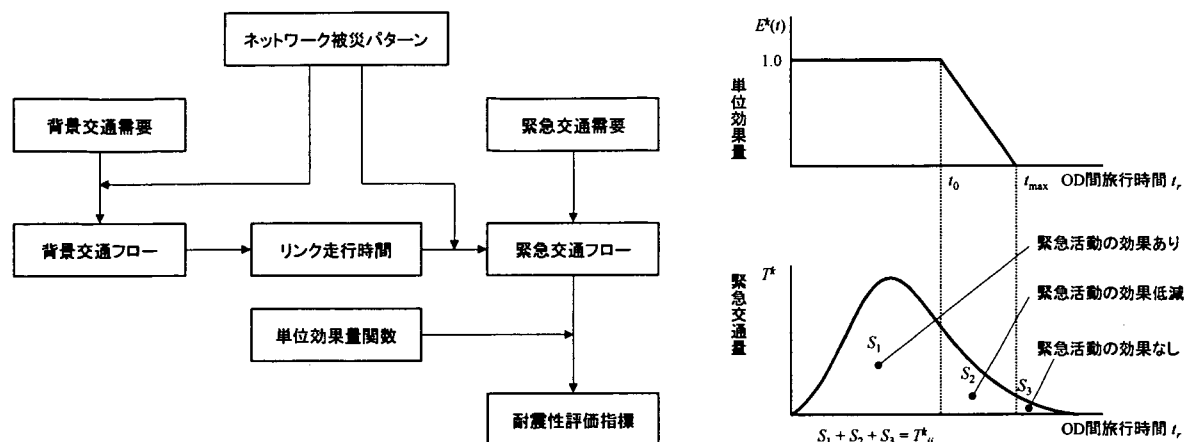


図2 道路ネットワーク耐震性指標の計算手順と緊急交通の効果量の考え方

2. 2 地震時道路危機管理システム技術の整理

地震時の道路の危機管理においては、道路施設の被害をいち早く把握し、適切な初動体制をとることが重要である。詳細な点検に先立って、道路施設被害の全容を把握する方法としては、1) ヘリコプター等による上空からの被害状況把握、2) 施設に設置した原位置センサーによる被害検知、3) リモートセンシング技術による上空あるいは高高度からの被害検知、4) 地震動データ等に基づく被害推定、が考えられる。

本研究では、現位置センサーによる被害検知の考え方を整理するとともに、地震動データに基づく即時震害予測システムを開発した。

3. 研究結果

3. 1 道路ネットワーク耐震性評価のケーススタディー結果

平成11年度においては、本手法を実際の道路ネットワークに適用し、手法の適用性を検証した。対象地域としては静岡県を考え、静岡市内の緊急輸送活動に基づく耐震性評価を行った。図3に静岡市の道路ネットワークを示す。対象路線としては高速道路から一般県道までの道路および幹線市道を含めている。また、静岡市外については、主要地方道以上の路線を対象とした。緊急輸送交通としては救急活動目的を想定し、消防拠点～被災地～病院拠点の交通とした。図3において、●印は消防拠点、○印は病院拠点を表す。また静岡市内の24のBゾーンを被災地とし、各々の人口に対して一定比率で搬送を要する負傷者が発生するとした。評価指標を計算するシナリオとしては、平常時の状態のほか以下の二つの被災シナリオを設定した。

シナリオA：東名の市内オーバースの部分において東名と一般道が通行不可

シナリオB：静清BPのオーバースの部分において静清BPと一般道が通行不可

また各シナリオに対して、被災地から病院拠点を選択する場合に、平常時のネットワークおよび交通状況に基づいて選択するパターン（行き先固定）と震災時のネットワークおよび交通状況に基づいて拠点を選擇するパターン（行き先変動）の二つのパターンについて試算を行った。

緊急輸送交通の旅行時間別交通量頻度分布を図4に示す。各シナリオ、パターンについて、いずれも平常時に比べて旅行時間が長い方にシフトしていることがわかる。また、いずれのシナリオについても、行き先固定よりも行き先変動パターンの方が旅行時間が短い。各シナリオ、パターンに対する耐震性評価指標 SP の値を図5に示す。 SP によって、各シナリオ、パターンに対する耐震性評価指標が単一の数値で表され、把握が容易になる。なお、 SP は緊急輸送を対象としたものであるが、背景交通の受ける影響も定量的に評価するため、孤立交通を除く有効交通需要に関する一台あたり平均走行時間 (travel time per vehicle: TTPV) も計算し、図5に示している。



図3 ケーススタディ・ネットワーク

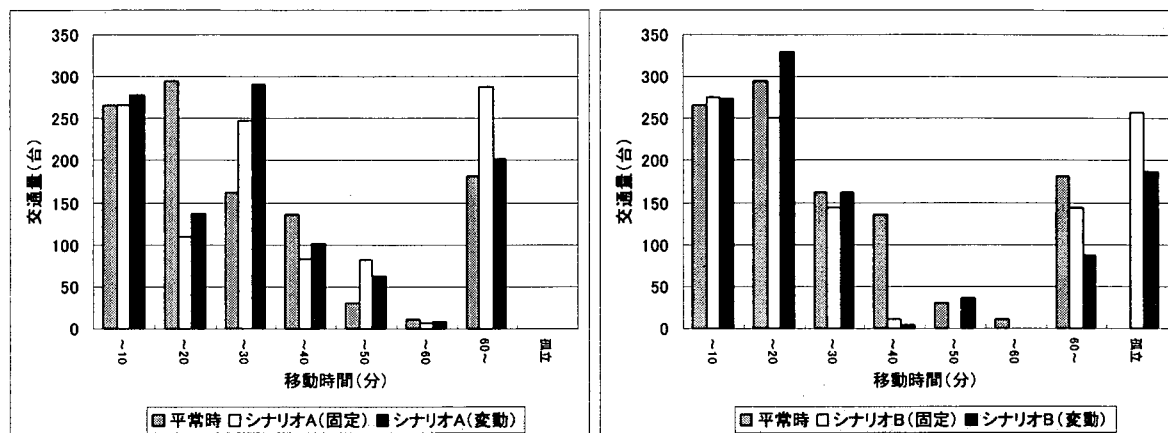


図4 緊急輸送交通の旅行時間別交通量頻度分布

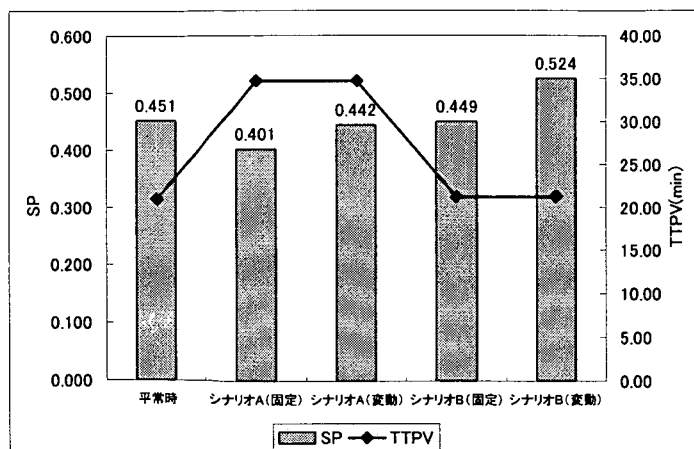


図5 耐震性評価指標

3. 2 地震時道路危機管理システム技術

橋梁等道路施設の地震被害を、被害発生直後に検知するためには、変位計などのセンサーやGPS観測による定量的な状況をリアルタイムで知るほか、ITVカメラによる視覚的な情報も有効である。一方、広域にわたって分布する施設のすべてにこのような機器を設置することが適切でない場合、オンライン型地震計のデータに基づいて地震発生直後に施設被害を概略推定する技術も有効である。本研究では、建設省地震計ネットワークのデータに基づき、道路施設の被害を地震直後に概略推定する即時震害予測システムを開発した(図6)。

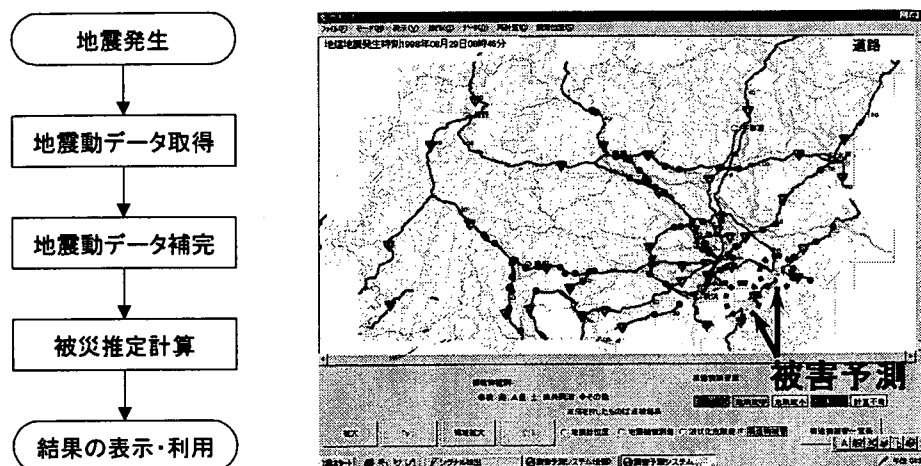


図6 即時被害推定技術

4. 主な研究成果物

- ・ 杉田秀樹・野崎智文、道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その1)ネットワーク耐震性指標の提案とその計算方法の開発、土木研究所資料第3589号、1998年9月
- ・ 杉田秀樹・野崎智文・矢野和彦、道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究(その2)地震時の道路交通管理手法に関するケーススタディー、土木研究所資料第3621号、1999年1月
- ・ 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論文集、pp3419-3424、1998年11月
- ・ 杉田秀樹・野崎智文・葛西伸寛・真田晃宏・大谷康史、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年11月
- ・ Tomofumi NOZAKI, Hideki SUGITA, A METHOD TO DETERMINE SEISMIC PERFORMANCE OF HIGHWAY NETWORK SYSTEM, 12WCEE, Jan. 2000
- ・ Hideki SUGITA, Masahiro KANEKO, Tadashi HAMADA, DEVELOPMENT OF URGENT EARTHQUAKE DAMAGE ESTIMATION SYSTEM FOR ROAD FACILITIES, 12WCEE, Jan. 2000
- ・ リアルタイム震害予測システム(Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification: SATURN)プロトタイプ(関東地方建設局において試験運用中)

8. 震害予測システムの構築に関する試験調査

8. 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：杉田秀樹、研究員：大谷康史

【要旨】

関東地方建設局では、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、地建の防災業務に導入することを目的とするものである。平成10年度までに、地盤の液状化の可能性と橋梁被害の可能性を予測する機能を備えたプロトタイプシステムを構築し、関東地建によって試験運用を開始している。平成11年度は、河川堤防の沈下量を予測する機能を開発し、既存システムへの統合を図った。また、試験運用を通じて得られ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っている。平成11年度は、河川堤防沈下量予測システムの開発及び既存システムへの統合、動作環境の改良を行った。大規模な地震時には、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、施設被害を把握して必要な緊急措置を講じる初期対応が極めて重要である。

2. 研究方法

2. 1 河川堤防沈下量予測システムの開発及び既存システムへの統合

平成10年度の検討結果より、被害事例に基づく変形予測手法による閾値を用いた河川堤防沈下量予測システムを開発し、既存システムに統合した。

2. 2 動作環境の改良

システムの動作環境を向上させるために、関東地方建設局における試験運用を通じて得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 河川堤防沈下量予測システムの開発及び既存システムへの統合

平成10年度の検討結果に基づき、河川堤防の耐震点検調査が行われた総延長約170km、561区間について、被害事例に基づく変形予測手法による堤防の沈下量を計算した。計算に用いた手法は、最初に既存地震被害より、PL値と沈下量の関係を、タイプⅠ地震動からは図1を、タイプⅡ地震動からは図2の分布を得、それぞれ包絡曲線を求めた。その後、各予測区間について、ボーリング結果より得た地盤定数を用いてPL値を計算し、沈下量の予測値を求めた。その計算結果より、平均朔望満潮位+1.0m、平均朔望満潮位、平均朔望満潮位-1.0mになる加

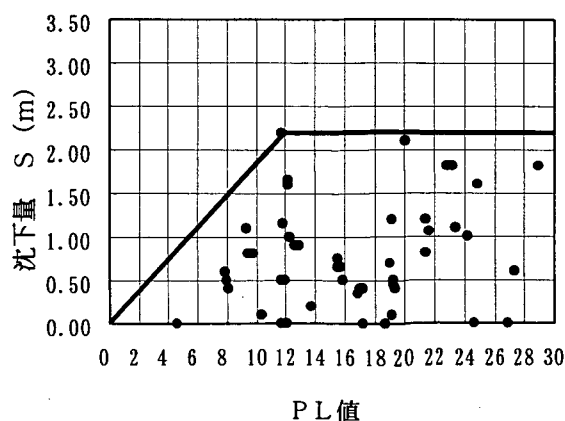


図1 タイプⅠ地震動のPL値と沈下量の関係

速度の閾値を求めた。その結果、平均朔望満潮位+1.0mまで沈下する可能性を有する区間は、タイプⅠ地

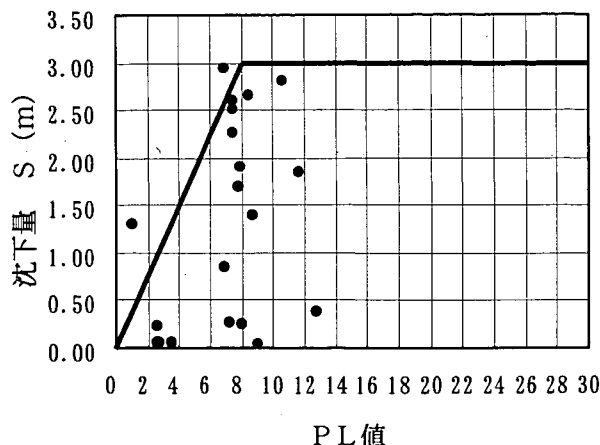


図2 タイプⅡ地震動のPL値と沈下量の関係

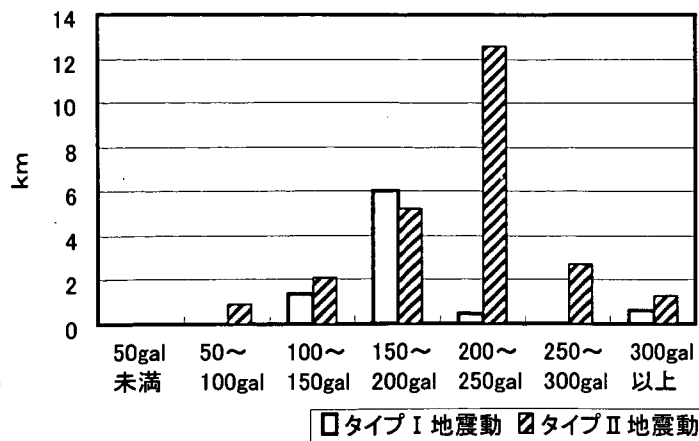


図3 平均朔望満潮位+1.0mとなる加速度

震動で35区間、約8.5km(約5%)、タイプⅡ地震動で101区間、約24.7km(約15%)との予測を得た。それぞれの区間長を発生加速度により区分し、図3に示す。

以上の計算結果を用いて、沈下後の天端高の危険度を予測するシステムを震害予測システムに組み入れた。仮想地震による堤防の被害予測結果を図4に示す。

3. 2 動作環境の改良

動作環境の改良は、以下の通りである。

- ・位置を把握しやすいように、河川名称及び地先名（主要なダム名および河川の観測所名等）を追加する（図5）。
- ・耐震堤防施工箇所については、一目でわかるように表示を変更する。
- ・管理区間を区別しやすくするために、建設省直轄河川とその他の河川に分けて表示可能とする。
- ・当所固定であった河川の平面図等の詳細図のウィンドウのサイズを使いやすいように画面上で変更できるようにする。

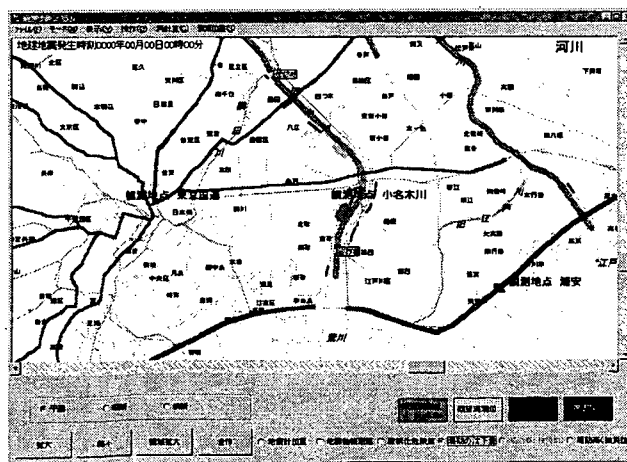


図4 仮想地震による堤防の被害予測例

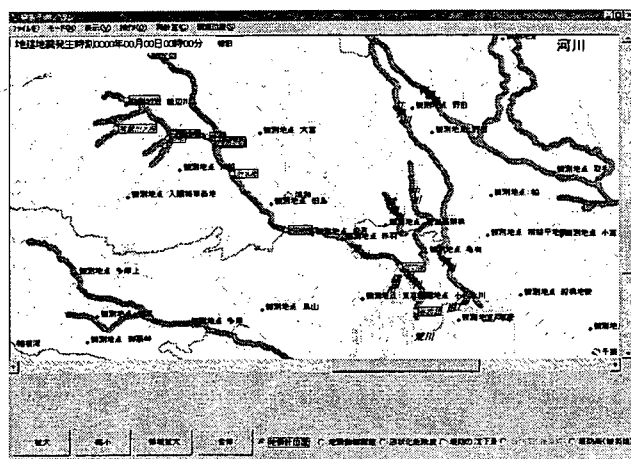


図5 名称等表示項目の追加

4. 主な研究の成果

- ・杉田秀樹・金子正洋，地震時道路管理に向けた即時震害予測システム，第23回日本道路会議，23B，452-453，1999。

9. 河川施設の強震計の点検調査

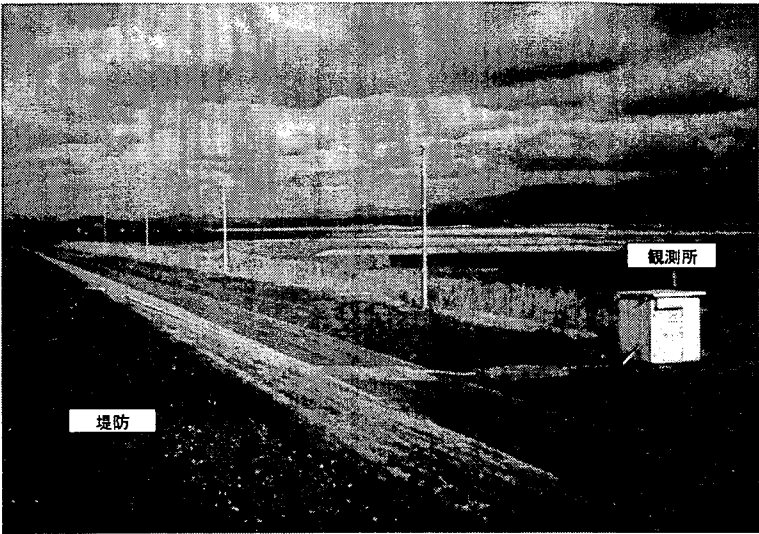
9. 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：平成 11 年度

担 当：課長：杉田秀樹、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 S M A C 型強震計を設置して開始された。平成 10 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 873 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 11 年度は 27 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。

1. 研究方法

表－1 河川施設における強震計設置状況

(平成12年3月現在)

1. 1 強震計の保守点検

平成 12 年 3 月現在、建設省、北海道開発局が管理する河川施設に付設された 265 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、建設省所管の 27 箇所の観測施設を対象に動作確認としての保守点

	設置状況				観測区分		
	関係事務 所数	観測所数	センサー 数	総 c h 数	一般	共用	N W
北海道	25	51	75	225	24	51	0
東北	12	41	80	212	52	0	28
関東	12	36	80	240	52	0	28
北陸	8	21	42	123	26	1	15
中部	9	23	36	108	19	3	14
近畿	10	37	69	207	12	47	10
中国	10	24	38	114	18	0	20
四国	7	11	21	63	13	1	7
九州	12	21	53	159	43	0	10
河川計	105	265	494	1451	259	103	132

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。

平成 10 年度は表－2 に示すように、利根川、鈴鹿川などの観測地点で、強震計・間隙水圧計の設置方法

について現場事務所と意見交換を行い、計画の進捗に勤めた。

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	中部地方建設局	菊川	全国配置	未設置
			土鏡水位・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
			東橋水位・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
	釧路川	SMAC更新	徳別地震観測所		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	今金河川事業所構内		紀の川	既存増設	淡中州
	後志利別川	全国配置	未設置	近畿地方建設局	大和川	SMAC更新	柏原
	後志利別川	微地形地盤	未設置		淀川	全国配置(スーパー堤防)	伊加賀西
東北地方建設局	吉田川	SMAC更新	山崎震動観測所		淀川	SMAC更新(枚方)	枚方
	高瀬川	既存増設	高瀬川地震観測所		淀川	SMAC更新(大淀)	大淀
	雄物川	既存増設	雄物川堤防観測所		淀川	耐震化地盤(ドレーン 西島)	西島
	阿武隈川	全国配置(大堰付近)	阿武隈大堰観測所		加古川	全国配置	大島
	阿武隈川	全国配置(福島市付近)	郡山観測所		加古川	耐震化地盤(深層混合処理)	設置取りやめ
	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	九頭竜川	全国配置	片川
	北上川	全国配置(岩手県内)	一関堤防観測所		九頭竜川	耐震化地盤(自立式矢板)	設置取りやめ
	北上川	微地形地盤	新田町震動観測所		旭川	全国配置	百間川右岸(沖元)
	最上川	全国配置(山形市付近)	河川防災ステーション観測所		太田川	SMAC更新	太田川堤防
	名取川	特殊堤	関上観測所		佐波川	耐震化地盤	佐波川堤防(橋松)
	鳴瀬川	耐震化地盤	中下震動観測所		斐伊川	全国配置	未設置
関東地方建設局	江戸川	SMAC更新	松戸出張所		天神川	全国配置	田後(たじり)
	荒川下流	全国配置(スーパー堤防)	岩淵出張所	四国地方建設局	吉野川	既存増設	徳島
	利根川上流	全国配置(スーパー堤防)	検討中		四万十川	既存増設	四万十川堤防
	利根川下流	全国配置(砂層地盤)	小見川出張所		肱川	全国配置	八多喜堤防
	那珂川	全国配置	検討中		大淀川	既存増設	大淀川堤防観測所
	多摩川	全国配置(スーパー堤防)	多摩出張所		遠賀川	全国配置	川島観測所
	相模川	全国配置	相模川出張所		山国川	全国配置	中津出張所
	北利根川	特殊堤(直接基礎)	北利根川観測所	九州地方建設局	五ヶ瀬川	全国配置	浜砂観測所
	荒川下流	耐震化地盤(深層混合処理)	小名木川出張所		白川	全国配置	白川(小島)観測所
	利根川下流	耐震化地盤(ドレーン)	未定		筑後川	全国配置	紅粉観測所
	江戸川(中川)	耐震化地盤(自立式矢板)	検討中		六角川	耐震化地盤	六角川堤防強震計
	利根川下流	微地形地盤	佐原出張所		新池川	耐震化地盤	新池川堤防地震計
北陸地方建設局	信濃川下流	耐震化地盤	やすらぎ堤(白山)				
	阿賀野川	特殊堤	阿賀野川堤防				
	神通川	全国配置	未設置				
	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

2. 研究結果

2.1 強震計の保守点検

平成11年度の点検の結果、木曾川堤防の観測施設で処理機能不全が認めれたため基盤交換を行い機能回復を図った。今回の点検における強震計の障害発生率は約3.7%であり、平成10年度の29.6%と比較して大幅に改善した。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、未だ20年を経過した強震計もあり、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11年8月21日5時33分和歌山県北部を震源とする地震(M5.4、震源深さ70km)による紀ノ川堤防(地盤)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。

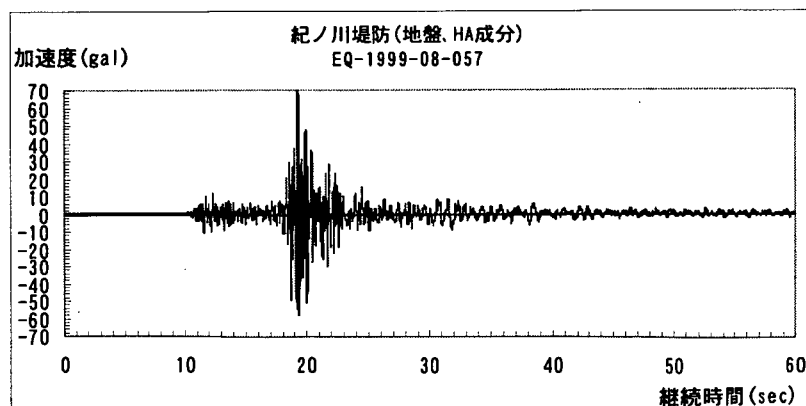


図-1 紀ノ川堤防 観測記録

3. 主な研究成果物

- 1) 土木研究所彙報: 土木構造物における加速度強震記録(23)、土木研究所彙報Vol.67、平成12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

10. 地震計ネットワークデータベース作成に関する調査

10. 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：杉田秀樹、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、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。この地震計ネットワークにより収集した地震動情報の活用方法の1つとして、情報を管理するデータベース（以下、「DB」とする。）を構築し、地震発生後、各地方建設局等から送信されてきた地震動情報（最大加速度、S I 値等）を自動的にDB化するシステムを作成した。また、地震動数値情報を簡単にネットワーク上で参照できる閲覧システムの作成も行った。

1. 研究目的

建設省では、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の作成

地震計ネットワークにより土木研究所のサーバーに送信されてきた地震動情報をDBサーバーのDBに自動登録する機能を作成した。また、DB情報の確認及び修正を行うインターフェースも作成した。

2. 2 地震動情報の閲覧システムの作成

ネットワークにより接続しているパーソナルコンピュータより地震動情報が簡単に閲覧できるように、HTMLによる表示機能を作成した。

3. 研究結果

3. 1 地震動情報DBの作成

地震計ネットワークの観測記録は、図1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システムになっている。そのため、DBを作成するに際し、各施設や地震動情報を識別するために、図1に示す番号あるいはIDを設定した。

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がある。それらの状況をふまえ、図

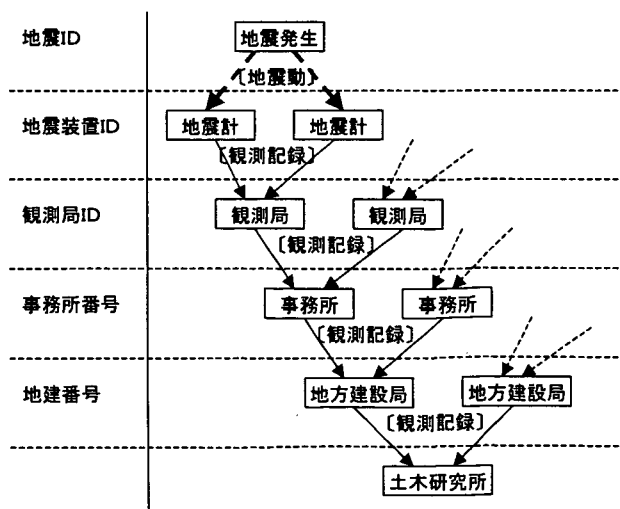


図1 地震動数値情報の送信経路と識別番号

2に示すように5種類のDBを構成とし、互いのDBを図に示すIDで関連づけた。

現在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、地震後個別に回収され、土木研究所に送付される。そのため、地震動数値情報については、土木研究所に送信されてきたら自動的に認識し、DBに登録するアプリケーションを作成した。この自動登録システムは、登録後3. 2に示す閲覧情報を作成するシステムに、起動信号送る。また、図3に示すDB操作インターフェースを作成し、登録情報の確認、観測局・観測地点等のデータの追加・更新機能を持たせるとともに、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追加できるようにした。

3. 2 地震動情報の閲覧システムの作成

登録された地震情報を分かりやすく簡単に閲覧できるようにするために作成したシステムは、閲覧画像を作成する部分と、実際にアクセスに対して画像を表示する部分に大きく分かれる。画像作成システムは、DB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。このシステムは、HTMLにより作成しており、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。閲覧画像には、最大加速度を表示した画像と、SI値を表示した画像の2種類を用意している。図4に全国表示の画面を、図5に関東地方を中心として拡大した画面を示す。

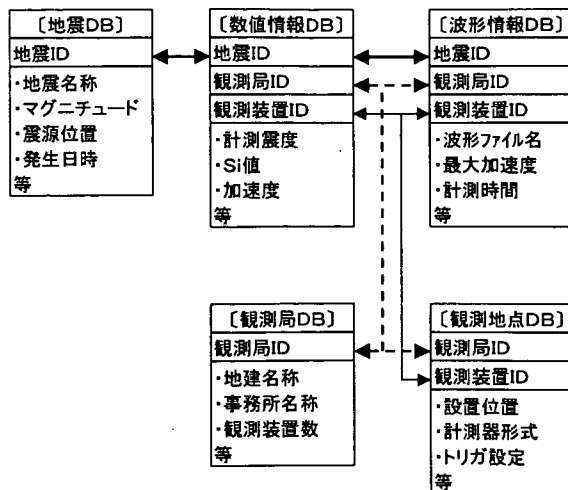


図2 DBの構成と関連

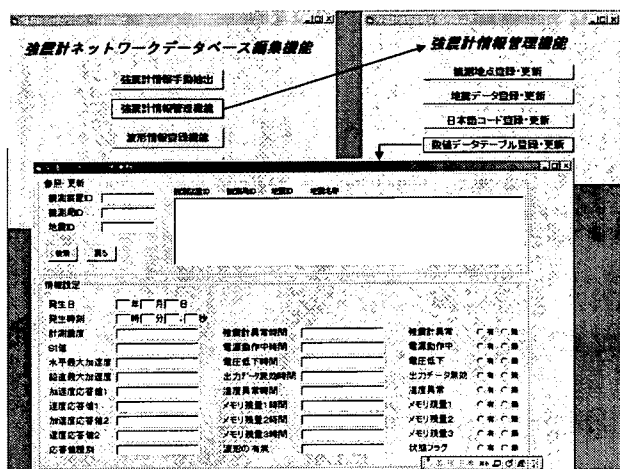


図3 DBインターフェース画面

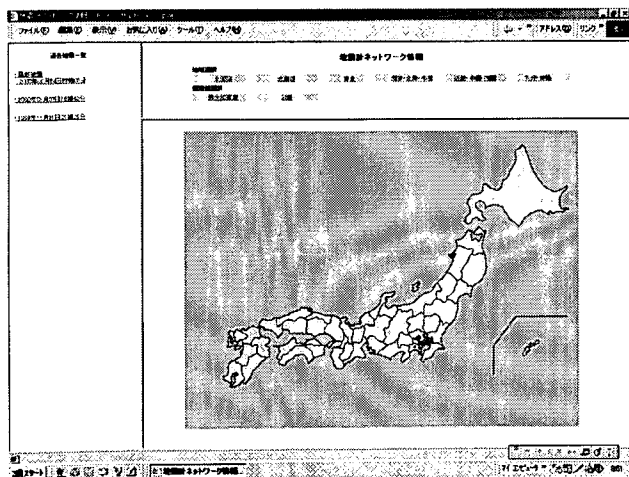


図4 地震情報閲覧機能 (全国画面)

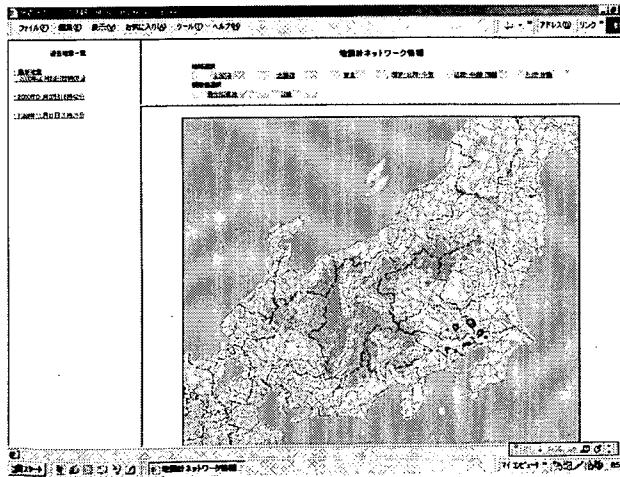


図5 地震情報閲覧機能 (拡大画面)

付属資料

1st U.S.-Japan Workshop on Seismic Information System, UJNR
(1999.11.15~17・茨城県つくば市)

SATURN-Seismic Assessment Tool for
Urgent Response and Notification

SATURN- SEISMIC ASSESSMENT TOOL FOR URGENT RESPONSE AND NOTIFCATION

Hideki SUGITA¹, Yasushi OHTANI² and Tomofumi NOZAKI³

ABSTRACT

Earthquake damage of road facilities does not only reduce their functions but affects the socio-economic activities in and around the damaged area. Besides improving the seismic performance of road facilities, therefore, post-earthquake emergency activities to reduce the damage effects must be jointly promoted.

This paper presents a seismic assessment tool for urgent response and notification: SATURN, which is developed at Public Works Research Institute, Ministry of Construction. By providing rough estimation on damage states and damage distributions of road facilities in a short time, the system will support decision-makers to facilitate emergency actions immediately after earthquakes.

KEYWORDS: Damage Estimation, Ground Liquefaction, Highway Bridge, Accelerographs Network, Urgent Response

1. INTRODUCTION

Emergency activities at sections that are in charge of road facilities can be classified into four stages [1] ; i.e. assuming magnitude of the earthquake, grasping a damage outline in a whole affected area, conducting temporary repair works to secure transportation functions and conducting permanent restorations. To establish a scope of works for a series of emergency activities, it is quite important to grasp a damage outline as early as possible.

1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake was a first destructive earthquake attacked a highly integrated urban area in Japan [2] . Based on that experience, following difficulties were pointed out for grasping a damage outline;

- 1) Much time was required for setting-up damage inspection teams,
- 2) Much time was required for investigations of widely spread severe damages, and
- 3) Adequate amount of damage information was not assembled at the headquarter due to disruptions/ congestion of telecommunication lines.

Table 1 Grasping Damage Outline at Headquarter

	Hyogo-ken Nanbu EQ (destructive)	Sanriku Haruka-oki EQ (moderate)
EQ Occurrence	05:46 1/ 17/ 1995	21:19 12/ 28 /1994
Damage Inspection	08:00 1/17 – 08:00 1/18	21:50 – 23:22 12/28
Required Time	Approx. 24 hours	Approx. 30 minutes

¹ Earthquake Disaster Prevention Division, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, Japan
Email: sugita@pwri.go.jp

² ditto, Email: Ohtani@pwri.go.jp

³ ditto, Email: nozaki@pwri.go.jp

Table 1 shows the required time for grasping damage outline at the headquarter. The table also describes the time required in 1994 Sanriku Haruka-oki Earthquake, in which severe damage was not developed on road facilities. For promoting a series of emergency activities against a destructive event, quick decision-making is indispensable in spite of the difficulty of assembling damage information. Applications of information systems to support the decision-making of sectors are therefore considered to be essential.

2. OUTLINE OF SATURN

Based on the past disaster experiences, development of information systems to support emergency activities has been conducted in PWRI [3] [4]. SATURN was developed as an essential tool for grasping damage outline automatically immediately after an earthquake by providing rough estimations on damage states and damage distributions of road facilities.

Fundamental functions of SATURN are as follows;

- 1) The system estimates possibilities of ground liquefaction and highway bridge damage
- 2) Damage estimation is carried out using the pre-stored ground/ structural condition data and earthquake ground motion data monitored by the accelerographs network
- 3) Damage estimation is completed within 15 min., by that time emergency investigation team can be set-up
- 4) Estimated information is visually displayed on the CRT using digital map

Implementation of SATURN is considered to be effective in the following aspects;

- 1) Severely damaged area can be assumed in a short time. Damage inspections can be effectively engaged by a restricted amount of inspectors,
- 2) Damage outline can be understood smoothly based on damage inspections, and
- 3) Decision-making on the back-up organization and stuffs/ devices management can be initiated from the early period of emergency responses.

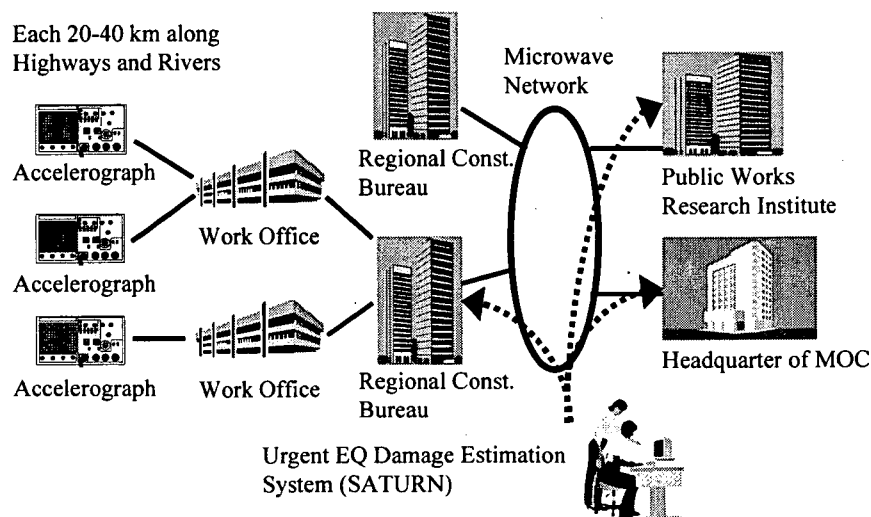


Fig.1 Accelerographs Network operated by MOC

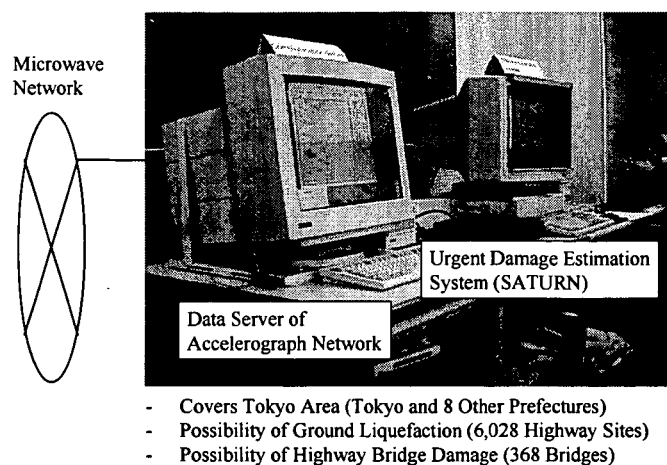
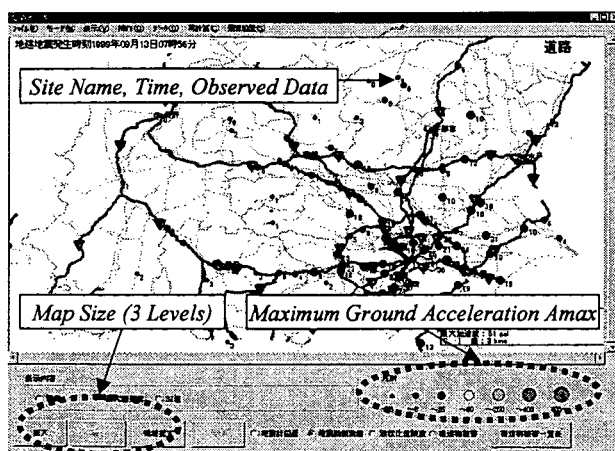


Photo 1 Prototype System (under operation)

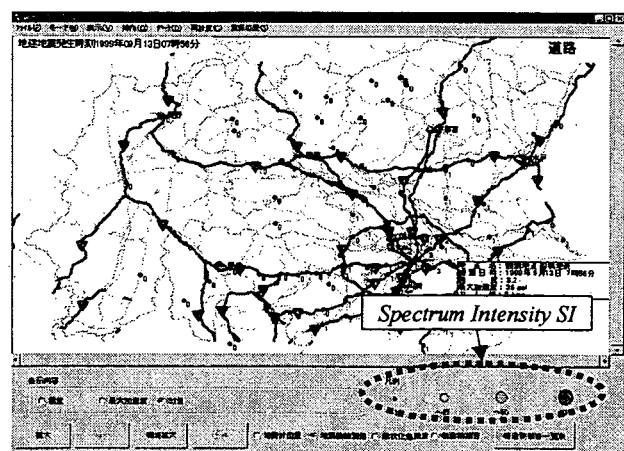
Fig.1 show a configuration of the accelerographs network operated by the Ministry of Construction. Approximately 700 strong motion accelerographs are installed along highways and rivers with an interval of 20-40 km. Ground motion data (maximum acceleration A_{max} and spectrum intensity SI) are transmitted real-timely to the headquarter and sectors in charge of emergency activities.

Photo 1 shows a prototype system installed at the regional construction bureau of MOC. The prototype system, which does not cover whole Japan but Kanto region (Tokyo and other 8 prefectures), has been under operation since 1997.4.

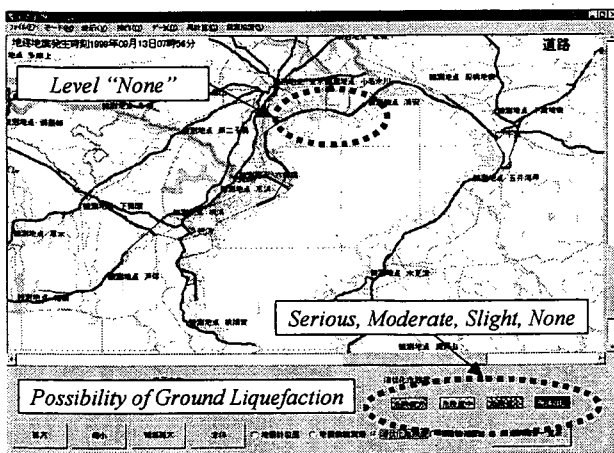
Fig.2 Shows the measured ground motion and estimated damage by an earthquake on September 13, 1999 (M5.0). Rough estimation of ground liquefaction states (at 6,028 highway sites) and bridge damage states (368 highway bridges) is available at this time. Maximum acceleration A_{max} and spectrum intensity SI (designated hereinafter as ground motion characteristic values) monitored by 110 accelerographs installed at ground surface in Kanto region is adopted for the calculation.



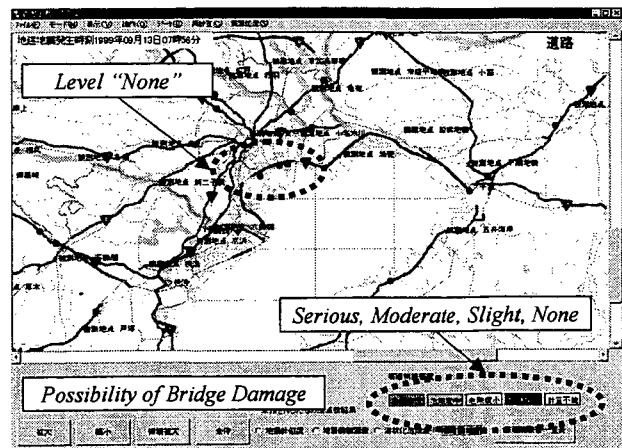
(a) Maximum Acceleration A_{max}



(b) Spectrum Intensity SI



(c) Possibility of Ground Liquefaction



(d) Possibility of Highway Bridge Damage

Fig.2 Estimated Damage by Prototype System (1999.9.13, M5.1)

3. DAMAGE ESTIMATION METHODOLOGY

3.1 Three Steps of Estimation

SATURN performs damage estimation by three steps as shown in Fig.3.

1) Estimation of Ground Motion Characteristic Values

For the judgement of ground liquefaction and bridge damage, ground motion characteristic values at the very site where the judgement is to be performed (designated hereinafter as a judgement site) are needed. Because the locations of observation sites are different from judgement sites, ground motion characteristic values have to be estimated analytically.

2) Possibility of Ground Liquefaction Possibility along Highway

Possibility of ground liquefaction is judged for each divided highway section. Division of highway sections is carried out so that the ground condition is assumed to be uniform in each section. Ground liquefaction states is judged based on a P_L value evaluated in each highway section. The P_L value is evaluated by eq.(1), where a liquefaction resistant ratio F_L [5] is evaluated by a ground condition and an estimated maximum acceleration in each highway section.

$$P_L = \int_0^{20} (1 - F_L)(10 - 0.5x)dx \dots \dots \dots (1)$$

$$F_L = R / L$$

where,

- x : Depth from the surface (m)
- F_L : Liquefaction resistant ratio
- P_L : Potential of liquefaction
- R : Dynamic shear strength ratio
- L : Shear stress ratio during an earthquake

3) Possibility of Bridge Damage

Possibility of bridge damage is judged individually based on the structural database. As the structural database, bridge maintenance data accumulated at sectors are adopted in this estimation. Damage states of whole bridge is judged by comparing damage states of major bridge components. Damage states of major bridge components is judged by the SI value estimated at the judgement site. By using a SI value, it is possible to consider the cyclic effect of ground motion. The SI value is evaluated by eq.(2), where

S_{vi} means the i (sec) component of velocity response spectrum.

$$SI = \frac{1}{2.5} \sum_{i=0.1}^{2.5} S_{vi} \dots\dots\dots (2)$$

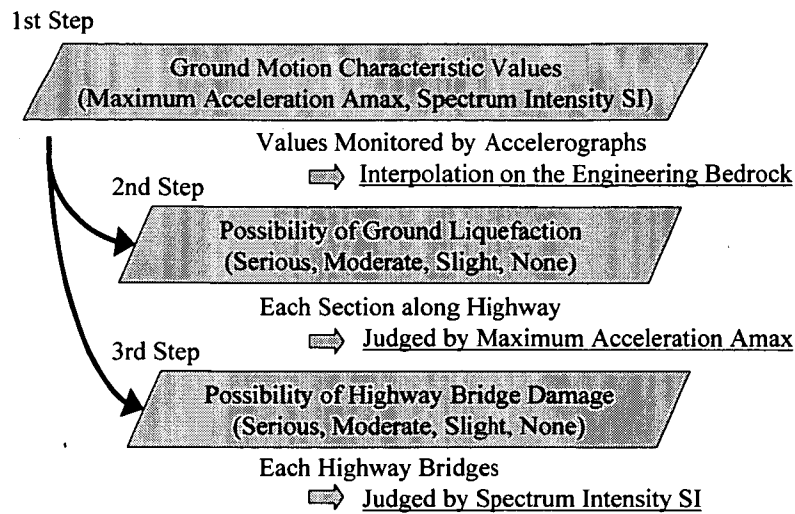


Fig.3 Flowchart of Damage Estimation

3.2 Classification of Damage States

Estimated ground liquefaction states and bridge damage states are displayed in four categories, i.e. "Serious", "Moderate", "Slight" and "None". As shown in **Table 2**, categories were defined as a combination of an assumed loss of transportation functions and a necessity of emergency repair works.

3.3 Estimation of ground motion Characteristic Values

Fig.4 shows the estimation steps of ground motion characteristic values at judgement sites. Following procedure is adopted in this system for minimizing the estimation time with enough accuracy.

- 1) Evaluating ground motion characteristic values right under each observation site by assuming a ground response amplification ratio.
- 2) Evaluating a characteristic value right under a judgement site by an interpolation.
- 3) Evaluating a characteristic value at a judgement site by assuming a ground response amplification ratio.

Table 2 Categories of Damage States

Classification	Influence to Transportation	Required Works
"Serious"	Interruption for Weeks	Demolition/ Reconstruction
"Moderate"	Interruption/ Restriction for Days	Temporary Repair
"Slight"	Restriction for Hours	Temporary Repair
"None"	No Restriction	None

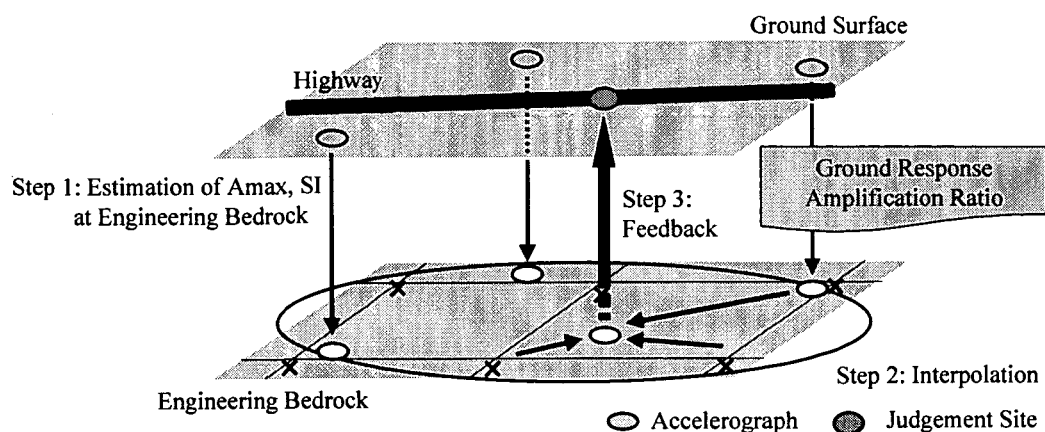


Fig.4 Estimation Steps of Ground Motion Characteristic Values

A ground response amplification ratio varies according to the cyclic characteristics of ground motions and non-linear property of ground soil deposit. For each observation/ judgement site, the amplification ratio α was calculated by "SHAKE" using a standard time history record. The Kaihoku Bridge record detected in 1978 Miyagiken-oki Earthquake was adopted as a standard time history because it provided the most average amplification ratio in trial calculations using five other typical records observed during past earthquakes. The non-linear property of ground can also be considered by eq.(3).

$$\alpha = a \times b^{-x} \dots\dots\dots (3)$$

where, α :Ground response amplification ratio for each observation/ judgement site
 x :Maximum acceleration (spectrum intensity) at engineering bedrock
 a, b :Coefficients which represent the non-linear property of ground soil deposit

3.4 Estimation of Ground Liquefaction States along Highways

Table 3 shows a $P_L \sim$ Ground Liquefaction States Table. Ground liquefaction states is judged with the Table by P_L value that is estimated for each highway sections. The Table was developed based on a series of experimental studies of past earthquake disasters at PWRI. By modifying the table in accordance with the future research development, accuracy of ground liquefaction states can be easily upgraded. Here, the P_L value for the damage state "Serious" was not defined in the table. This is because the ground liquefaction is hardly considered to induce serious damages to road facilities that would interrupt the transportation for a long time period.

Table 3 $P_L \sim$ Ground Liquefaction States Table

Classification of Ground Liquefaction State	Serious	Moderate	Slight	None
P_L value	-----	$P_L > 15$	$15 \geq P_L > 5$	$5 \geq P_L$

3.5 Estimation of Bridge Damage States

Table 4 shows the SI Value $\sim$ Bridge Component Damage Table. Damage states of the major bridge components is judged with the table by the SI value that is estimated for each highway section including a bridge site. As for the damage states of major bridge components, following five failure mechanisms were considered due to their large effects on a whole bridge system, i.e. 1) bending failure of RC column,

2) shear failure of RC column, 3) buckling of ST column, 4) failure of bearing and 5) movement of foundation due to the liquefaction-induced ground flow.

Table 4 SI Value~Bridge Component Damage States Table (Bending Failure of RC Column)

Design Code	Yield Seismic Coefficient	Damage State of Component			
		Ultimate	Before Ultimate	Ultimate	Before Ultimate
1979	-----	SI > 50	SI > 30	SI > 10	10 ≥ SI
1990	-----	SI > 50	SI > 30	SI > 10	10 ≥ SI
1995	0.6 > k_{hy}	SI > 50	-----	-----	50 ≥ SI
	$K_{hy} \geq 0.6$	SI > 100	SI > 50	-----	50 ≥ SI

Table 5 Bridge Component Damage States Table~Bridge Damage States Table

Damage States of Bridge Component	Damage States of Bridge			
	Serious	Moderate	Slight	None
<i>Bending Failure of RC Column</i>	<i>Ultimate</i>	Before Ultimate	Yielding	Before Yielding
Shear Failure of RC Column	Failure	Before Failure	Shear Cracking	<i>Before Cracking</i>
Buckling of ST Column	Buckling	Before Buckling	Slight Deformation	Before Deformation
Failure of Bearing	Failure	Damage (tall bearing)	<i>Damage (short bearing)</i>	Slight Damage
Movement of Foundation	-----	Large Deformation	Small Deformation	<i>Slight Deformation</i>

- Damage state of bridge is evaluated by comparing estimated component damage.
- *Italic case*: Bridge damage is judged as "Serious".

The table was defined based on both a series of experimental studies and dynamic response analyses at PWRI. Basic concepts for the judgement of damage states are as follows;

- 1) Bending failure of RC column: Relationships between SI values and damage states were studied for several column types. Relationships were determined by the dynamic response analyses on approximately 400 columns. Column types were classified by structural specifications such as section size and weight. Damage states for each column type were classified by the SI value.
- 2) Shear failure of RC column: By a combination of h/D value and design year, a possibility of shear failure to be developed prior to the bending failure is estimated. h/D value is a ratio of a column height against a section size. Damage states were classified by the SI value based on a series of experimental studies of past earthquake disasters.
- 3) Buckling of ST column: A possibility of buckling is estimated by design year. Damage states were classified experimentally by the SI value.
- 4) Failure of bearing: A possibility of failure was classified experimentally by the SI value. Because a failure of bearing induces a gap of road surface, the damage states are to be judged by the bearing height.

- 5) Movement of foundation due to lateral ground spread: Verifying the distance between foundation sites and water lines, a possibility of the liquefaction-induced ground flow is estimated. Damage states were classified by a combination of a distance and a ground liquefaction state.

Table 5 shows a Bridge Component Damage States~Bridge Damage States Table. The damage state of a whole bridge system is judged by comparing the damage states of major bridge components, i.e. the maximum damage state among those of major bridge components represents the damage state of a whole bridge system.

4. FEASIBILITY STUDY

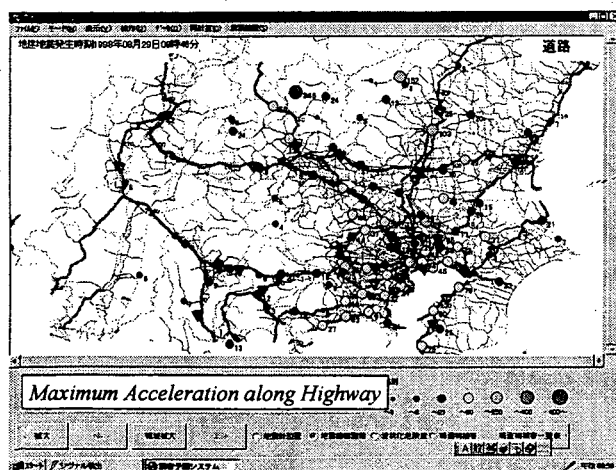
4.1 Observed Earthquakes

Table 6 shows characteristics of earthquakes observed in Kanto area during 1997.4- 1998.9. There were eight earthquakes with magnitude of 4.0 or larger in JMA scale. Feasibility study was carried out using maximum accelerations measured by the accelerograph network.

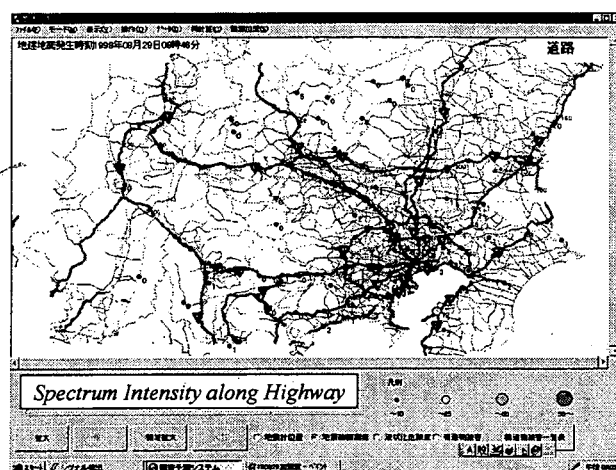
Table 6 Earthquakes observed in Kanto Area during 1997.4- 1998.9 ($\geq M4.0$)

EQ No.	Date	Magnitude (JMA)	Depth (km)	Epicenter
EQ 1	1997/8/9	4.7	68	South suburb of Saitama pref.
EQ 2	1997/9/8	5.1	108	Tokyo bay
EQ 3	1997/12/6	4.6	56	North-west suburb of Chiba pref.
EQ 4	1998/3/23	5.3	45	Far east of Ibaraki pref.
EQ 5	1998/4/9	5.4	93	Far east of Fukushima pref.
EQ 6	1998/5/16	4.8	74	South suburb of Chiba pref.
EQ 7	1998/6/24	4.6	51	South suburb of Ibaraki pref.
EQ 8	1998/8/29	5.1	67	Tokyo bay

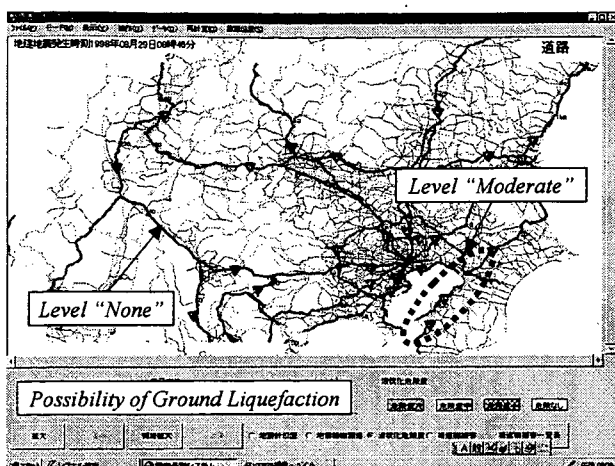
As an example, **Fig. 5** shows the measured ground motions and estimated damage possibilities by the EQ8 on August 29, 1998. "Moderate" possibility of ground liquefaction and "Slight" possibility of bridge damage were partially estimated around Tokyo Bay.



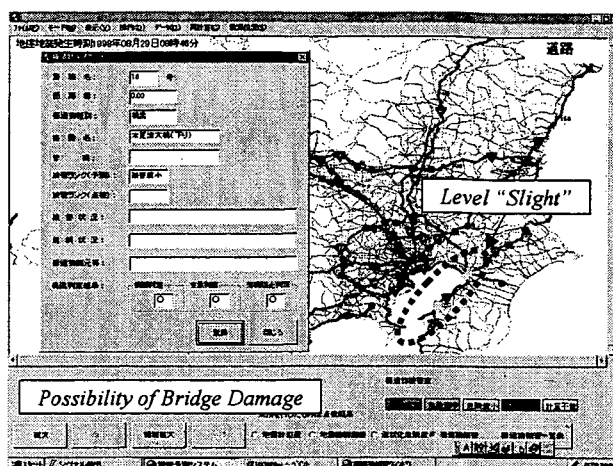
(a) Maximum Ground Acceleration along Highway



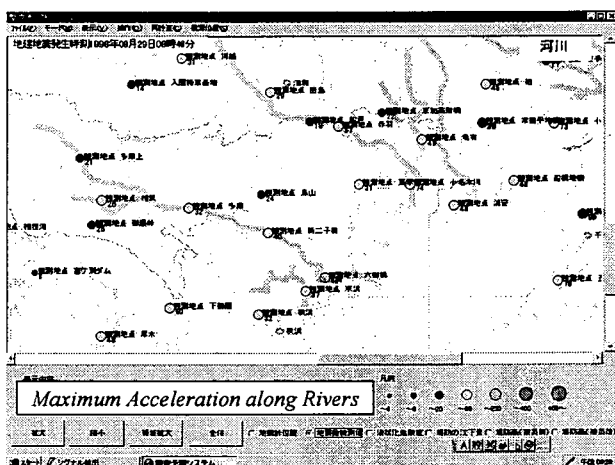
(b) Spectrum Intensity along Highway



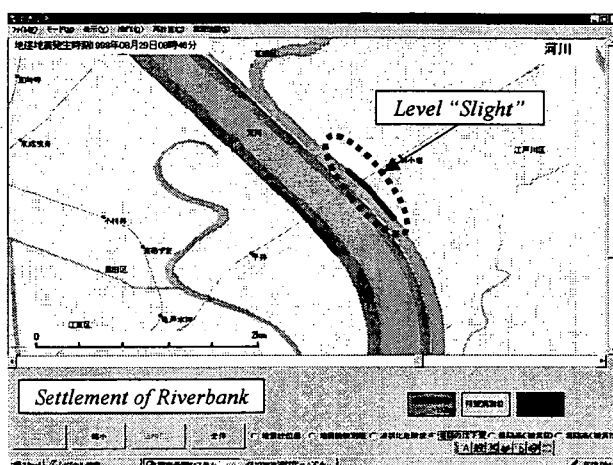
(c) Possibility of Ground Liquefaction



(d) Possibility of Bridge Damage



(e) Maximum Acceleration along River



(f) Possibility of Settlement of Riverbank
(Additional Function, under testing)

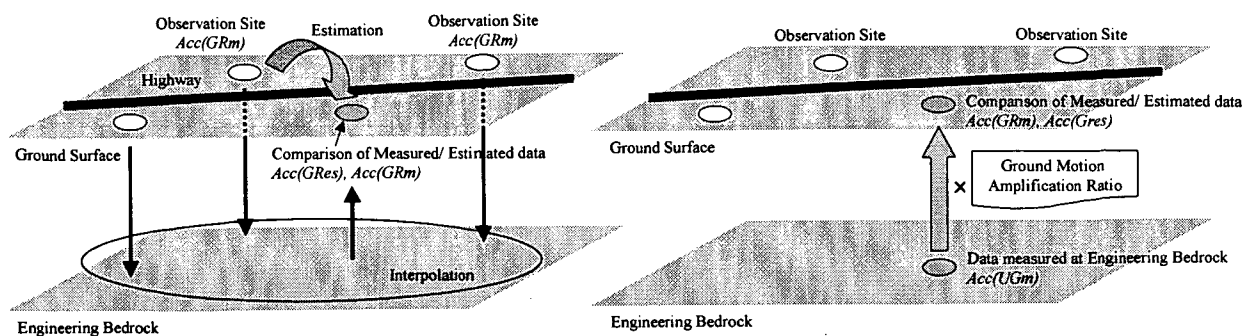
Fig.5 Estimated Damage Possibility by EQ8, August 29, 1998

4.2 Distribution of Ground Motion

A feasibility of the analytical model was studied using ground accelerations measured at the ground surface. As shown in Fig.6(a), measured maximum ground acceleration was compared with estimated maximum acceleration supposing a observation site as a judgement site. Fig.7(a) and Fig.7(b) shows the comparison of measured/ estimated maximum ground accelerations for the EQ8 and eight earthquakes respectively.

4.3 Ground Motion Amplification Ratio

A feasibility of the ground motion amplification ratio was studied using ground accelerations measured at the ground surface and the engineering bedrock. As shown in Fig.6(b), measured maximum ground acceleration was compared with the maximum acceleration estimated by the amplification ratio. Fig.8 shows the comparison of measured/ estimated maximum ground acceleration for eight earthquakes (EQ1-EQ8).



(a) Feasibility of Ground Motion Distribution (b) Feasibility of Ground Motion Amplification Ratio

Fig. 6 Comparison of Measured/ Estimated Maximum Ground Acceleration

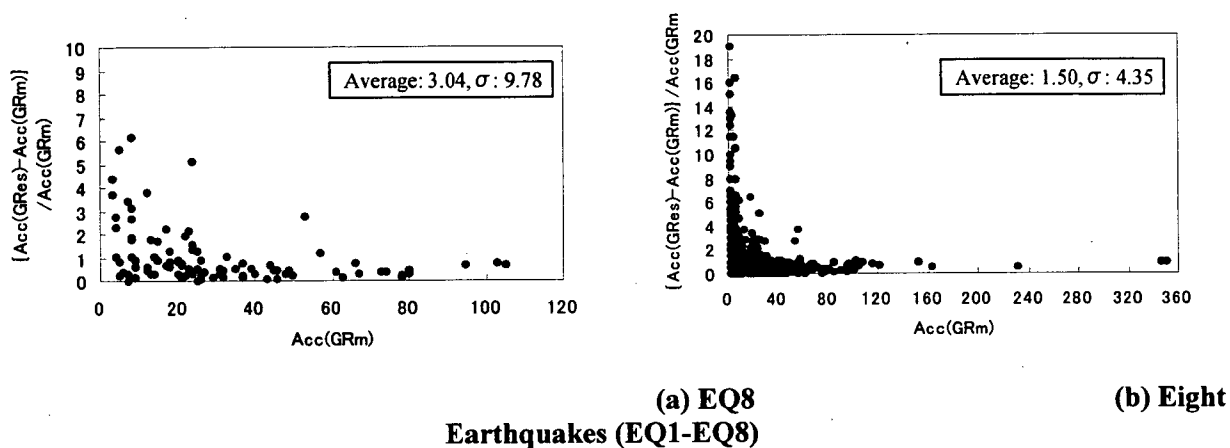


Fig. 7 Feasibility of Analytical Model for Estimating Ground Motion Distribution

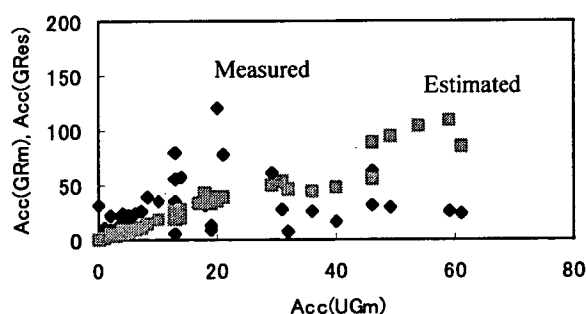


Fig. 8 Feasibility of Ground Motion Amplification Ratio

5. CONCLUSIONS

1. The seismic assessment tool for urgent response and notification: SATURN was introduced. By providing rough estimation on the damage states and damage distributions of road facilities immediately after an earthquake, the system will support decision-makers to facilitate emergency

works, i.e. damage inspections with restricted amount of inspectors, management of back-up organization, and management of construction stuffs/ machinery.

2. SATURN estimates possibilities of ground liquefaction and highway bridge damage within 15 minutes. Damage estimation is carried out using pre-stored ground/ structural condition data and earthquake ground motion data monitored by the accelerographs network. Evaluation of damage states is made by the maximum acceleration A_{max} and spectrum intensity SI as judgement indexes.
3. Prototype system that covers Tokyo area is under operation at the regional construction bureau of MOC. For activating this system to the disaster prevention practice, further research will be required on the following subjects;
 - 1) Verification of damage estimation methodologies with use of the prototype system.
 - 2) Developments of damage estimation methodologies on the other road facilities, such as the slope failure, embankment sinking and damage of underground lifelines.
 - 3) Clarifying the seismic information system architecture including SATURN and other advanced information technologies, such as the wide area monitoring technology, data collecting technology, data analyzing technology using GIS, and decision-making support tools.

REFERENCES

1. Public Works Research Institute (1986), "Manual for Repair Methods of Civil Engineering Structures Damaged by Earthquakes", Technical Note of PWRI, Vol. 45
2. Public Works Research Institute (1996), "Report on the Disaster caused by the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake", Report of PWRI (Japanese), Vol. 196
3. H.Sugita, S.Odagiri and M.Kaneko (1997), "Development of Real-time Seismic Information System for MOC", 29th UJNR Joint Panel on Wind and Seismic Effects
4. H.Sugita and T.Nozaiki, "Seismic Information System for Civil Infrastructures", 30th UJNR Joint Panel on Wind and Seismic Effects
5. Japan Road Association (1996), "Design Specification of Highway Bridges; Part V Seismic Design"
6. H.Sugita and T.Hamada(1997), "Real-time Earthquake Damage Estimation System for Civil Infrastructures", 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, UJNR
7. H.Sugita and T.Nozaiki, "Seismic Information System for National Land Management", 31st UJNR Joint Panel on Wind and Seismic Effects

1st U.S.-Japan Workshop on Seismic Information System, UJNR
(1999.11.15~17・茨城県つくば市)

Draft Manual for Seismic Information System Development

Draft Manual for Seismic Information System Development

NOZAKI Tomofumi¹⁾, SUGITA Hideki²⁾, OHTANI Yasushi³⁾

ABSTRACT

When large earthquake occurs, organizations in charge of civil infrastructure must investigate the damage of facilities that exist over wide area and analyze the information to make proper decision to secure and restore the function of facilities. Considering the importance of the civil infrastructures, information of damage and decision making regarding the facilities needs to be managed promptly after an earthquake. Recent technologies to process the information are incredibly advanced and those are promising for the elemental technologies of the seismic information systems (SIS). However, as such technologies are usually developed only in the respective professional field, the users encounter problems. For example, the performance of some technologies is not sufficient for earthquake response activities, or the data may not be able to be shared between different systems. Being aware of such problems, Public Works Research Institute (PWRI) has developed a guideline to develop SIS. This paper introduces outline of the "Draft Manual for Seismic Information System Development". The manual includes general idea of SIS development concept and the references to elemental technologies, which helps personnel in charge of developing SIS who is not necessarily professionals of information technology.

KEY WORDS: Earthquake, Disaster Prevention, Information System

1. INTRODUCTION

When a large earthquake occurs, earthquake response system encounter such difficulties as below.

- Earthquake usually occurs without any sign, and the damage is caused immediately after it.
- Numbers of facilities in extensive area are damaged at a time.
- They must cope with large number of sites that need efficient restoration works.
- There are reciprocal relation of damages and restoration works of complex urban systems.

On the other hand, recent progress of advanced technologies such as information technology and space

1)Senior Research Engineer, Earthquake Disaster Prevention Technology Division, Earthquake Disaster prevention Research Center, Public Works Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-0804

2)Head, ditto

3)Research Engineer, ditto

development are thought to be efficient tools to solve the problems. These technologies include,

- wide area precise inspection by satellite image data,
- easy positioning by using portable GPS devices,
- flexible display and analysis of geographical data by GIS and
- computer network and distributed system by small-sized information devices.

By combining those technologies, the problems which earthquake response system encounter can be efficiently solved. In reality, many organizations apply PCs and other information devices for earthquake disaster prevention.

However, as those advanced technologies are developed only by the professionals of respective fields, their performance may not agree with the requirements of earthquake disaster response activities. For example, satellite images may not be precise to detect damage of facilities, or maneuverability of the GIS is too complex for the emergency actions. Besides those problems regarding each technology, other problems may exist due to framework of the information system. For example, sometimes the same kinds of data set are stored to different computer systems redundantly. In addition, once a huge system is constructed, it needs much amount of cost to extend or revise it. In other words, there are many possible problems and losses when SIS is constructed applying highly sophisticated technologies without considering requirement of the users.

However, it does not mean those technologies are irrelevant as long as they are combined in proper manner. Being aware of this issue, PWRI has tried to compose a guideline to develop an efficient SIS. In this paper, the brief contents of the "Draft Manual for Seismic Information System Development" are introduced. In the chapter two, the structure of the manual is briefly stated with key issues. From chapter three to six, each key issue corresponding to the manual contents is introduced.

2. STRUCTURE OF MANUAL

2.1 Overview

Aiming to support development of an efficient SIS, the manual contains important topics, namely, planning and development concepts of user-oriented and flexible SIS, and a list of state-of-the-art of technologies as a reference for the system planners. The topics are arranged in corresponding chapters as shown in Figure 2.1. Note that the numbers of chapter are not of this paper but of the manual. The contents are shown in the Appendix.

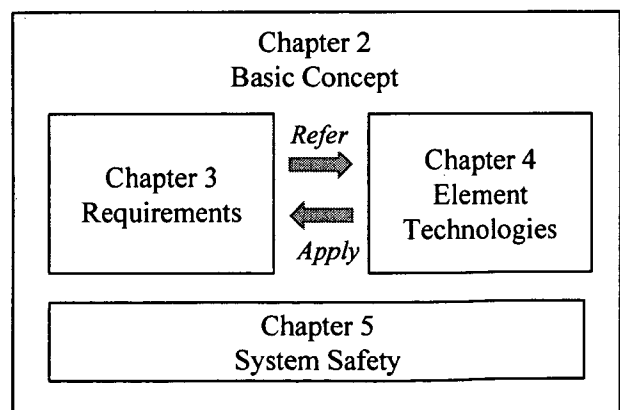


Fig. 2.1 Structure of Manual

2.2 Key Issues

Brief statements of the key topics in Figure 2.1 are as follows. The detailed explanations are in the chapter three to six of this paper.

(1) Basic Concept of SIS Development

The basic concept of SIS development includes (i) planning concept for user-oriented SIS and (ii) that for flexible SIS, (iii) consideration of system interface and (iv) application of SIS in the normal state. These issues are fundamentals for SIS that satisfies requirements for earthquake disaster response systems, and they are stated in the chapter two of the manual. While the concept mainly aims to initial development of SIS, they can be applied to improvement of existing SIS with careful consideration.

(2) Earthquake Disaster Response Activities and Requirements for SIS

Based on the statement in the concept of SIS, an example of investigation to understand requirements of SIS is shown in the chapter three of the manual.

(3) Review of Element Technologies for SIS

After requirements and structure of SIS is determined, planners must investigate proper technologies to realize the functions of SIS. As SIS includes both advanced information technology and earthquake engineering technology, the planners need their comprehensive list. The manual provides an inventory of current advanced technologies of both fields in the chapter three.

(4) Consideration of Safety of SIS

Because SIS is supposed to be used in an earthquake situation, it must be well prepared for a disastrous condition. Therefore, planners must consider safety of devices, facilities and data related to SIS against earthquakes. Besides the safety, security must be established and maintained because SIS is developed as a network system. The peripheral technologies and methodologies for SIS are introduced in the last chapter of the manual.

3. BASIC CONCEPT OF SIS DEVELOPMENT

3.1 General

When one tries to develop an efficient SIS, there are several problems. First, advanced information systems are usually developed mainly from a viewpoint of information technology professionals who do not necessarily know the activities of earthquake disaster response system. As a result, sometimes personnel in the response system encounter insufficiency of system performances such as accuracy, speed and capacity while some other performances exceed their aims. There can be another problems in the progressive information technology. For an example, once SIS is developed as a large host-terminal system, it cannot be revised easily. For another example, data may not be shared easily between different systems which are separately developed, or even it may be difficult to exchange data between different versions of the same application because of frequent revision. Thus, in the first part of the manual, several

suggestions are stated to develop efficient and flexible SIS that meet with the requirements of the earthquake disaster response system.

3.2 Objective Oriented Concept

To develop SIS which satisfies requirements of an earthquake disaster response system, SIS should not be thought simply as an integration of devices and application software. Rather, it is suggested that the system should be developed based on the earthquake response activities and the information dealt with in the activities. To accomplish this objective, following three steps are needed.

- to investigate and organize response activities of the earthquake disaster response system
- to investigate information dealt with in the activities
- to clarify the requirements of functions of the SIS to efficiently deal with the information

Charts, tables and even the analytical method such as the systems analysis are necessary to perform the tasks above. Although the manual does not show the detailed methods, a simple example of such an examination is expressed in another chapter.

3.3 Flexibility

SIS deals with many kinds of data of daily maintenance in addition to the emergency information after the earthquake. Therefore, it needs to be able to access almost any information regarding the facility management. One of the solution of such data sharing system is servers with highly integrated functions and clients that browse the result of servers' functions (Figure 3.1). However, it has disadvantages such as inflexibility, bottleneck and concentration of risk against earthquakes. Especially, SIS must be flexible from the viewpoint of expandability because it utilizes rapidly changing advanced technologies. The better solution to cope with this problem is a distributed data sharing system (Figure 3.2). In such system, the data are stored in each server for specific function and they are utilized by arbitrary client through the common interfaces.

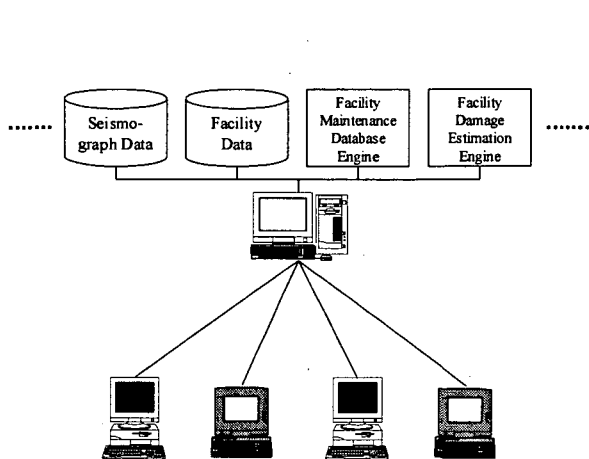


Fig. 3.1 Data Sharing System

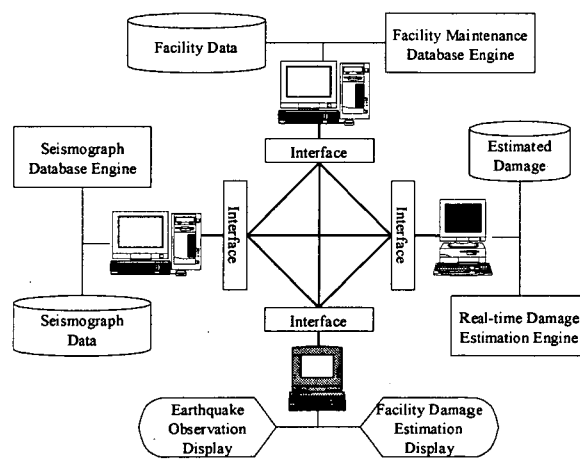


Fig. 3.2 Distributed Data Sharing System

To realize the true distributed data sharing system, the structure and the formant of the data dealt with by SIS must be identified and clearly described. An image of data structure that can include the attributes and relationships is shown in Figure 3.3. Once the structure is defined and clarified, the information can be interpreted to any format. If the format is well defined, arbitrarily added subsystem can access the information regardless with the types of operating systems and applications.

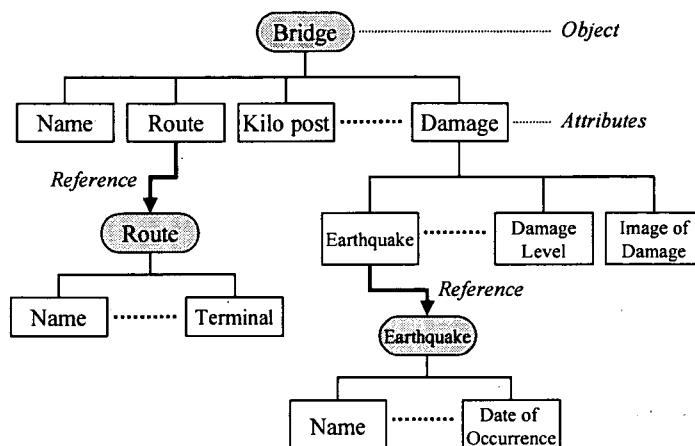


Fig. 3.3 Image of Data Structure

3.4 Others

Other issues concerning the feasibility and the usability of SIS - for example, the standardized interfaces that lead to better manipulation and use of the system in the normal situation to be accustomed to it - are explained.

4. COUNTER-EARTHQUAKE ACTIVITIES AND INFORMATION

4.1 General

To develop an efficient SIS, the activities of the earthquake disaster response system and the information dealt with need to be investigated. In the manual, an example of such investigation in which response activities are divided into four phases is shown. For each phase, the activities are specified, and the information needed for each activity and the functions of system to deal with the information are listed.

4.2 Earthquake Disaster Response Phases

Assuming an earthquake disaster response for civil infrastructures, following four phases are listed.

- Emergency response phase
- Temporary restoration phase
- Complete restoration phase
- Response system support phase

In the emergency response phase, overall rough damage inspection is performed. Temporary measures without heavy equipments are taken occasionally. Temporary restoration phase includes the damage inspection, decision making and activities for the restoration. Complete restoration phase is similar to the temporary restoration phase, while it requires more close inspection and complete restoration of damaged facilities. Response system support phase is different from other three phases, which concerns overall response activities from the start to the end. For example, it includes ensuring safety of the personnel and management of resources to maintain the response system.

4.3 Activities, Information and System Requirements for Each Phase

For each phase, the response activities are itemized. For example the emergency response phase includes four activities, namely, (1) setup of earthquake response system, (2) emergency damage inspection, (3) investigation of response planning and (4) emergency response. Each activity requires various kinds of information for its execution, and the functions of SIS to deal with the information are listed. For instance, the activity to setup the earthquake response system includes the following sets of information and the function of SIS.

(A.1) Setup of earthquake response system

(A.1.1) earthquake information -> earthquake detecting function [4.3.1]

(A.1.2) facility damage information -> damage detecting function [4.3.2, 4.3.3]

(A.1.3) startup trigger information -> emergency call function [4.4.1]

The numbers in the brackets indicate the section numbers of the manual where the technologies corresponding to the functions are explained. Details of those technologies are explained in the chapter four of the manual. The chapter three exemplifies that once the planner analyzes the activities, information and the required functions, he/she can distinguish the appropriate technologies applicable for SIS by referring the corresponding sections.

5. TECHNOLOGIES APPLICABLE FOR SIS

5.1 General

Usually, the personnel of the earthquake disaster response system who plan to develop SIS are not the professionals of the information technologies. Besides, because of the characteristic of SIS, it does not only include the general information technology but also applies the specific technologies regarding the earthquake disaster prevention. Thus, the planners in the response system and the information technology professionals must share the both kinds of knowledge.

In the chapter four "Element Technologies for SIS" of the manual, numbers of technology that can be applied to SIS are introduced. The planner of SIS can refer them to find the technologies suitable for the function of SIS which he/she has investigated as exemplified before. Also, it can be referred as the handbook to know the state-of-the-art of the technologies for SIS. While the advanced technologies are

often explained separately in respective specific area, this manual collects them so as to be the comprehensive reference for SIS planners. Also, it is intended that the manual be useful for the personnel who are not necessarily the professionals of the information technology to discuss about SIS with the information technicians. The technologies included in this chapter are divided into five categories, namely,

- Common infrastructure technologies,
- Technologies to detect phenomena,
- Technologies for information exchange,
- Technologies for display and analysis,
- Technologies to support decision making

The structures of this chapter with Subcategories are shown in Figure 5.1. Each numbers beside the boxes are not of this article but of the manual.

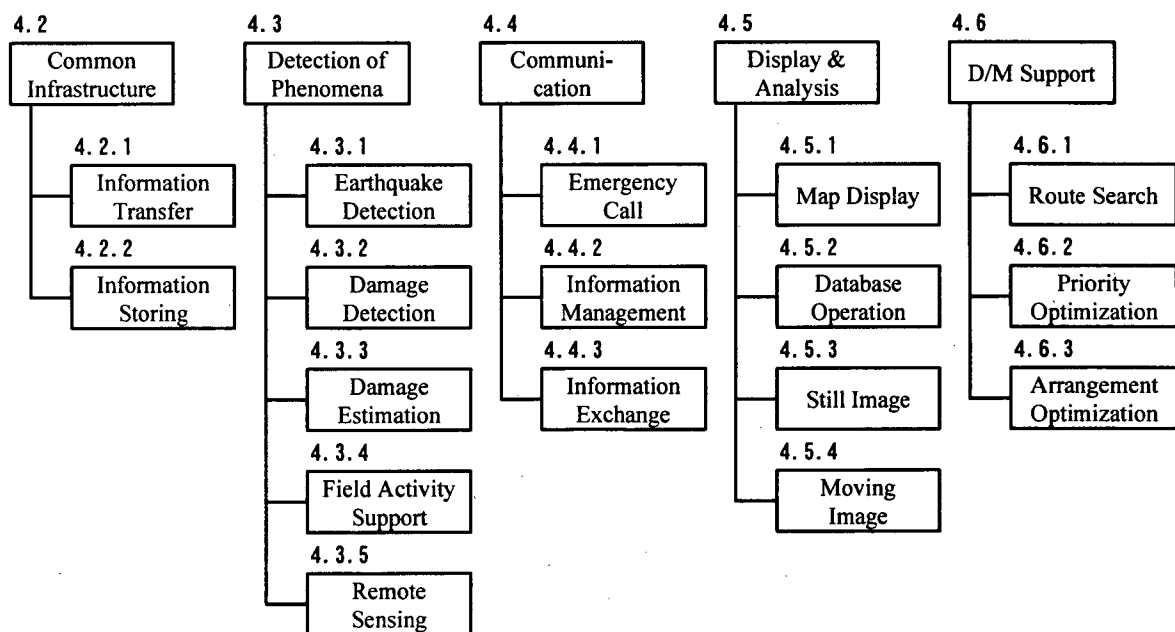


Fig. 5.1 Structure of Manual Chapter 4

5.2 Common Infrastructure Technologies

This section introduces two kinds fundamental and important technology that are common to any SIS: that is, the information transfer technologies and the information storing technologies. In fact, they are fundamental technologies for any kinds of information systems.

The information transfer technologies are the vital for all kinds of information systems, which includes wired/non-wired signal transfer technologies. In the manual, several kinds of those technologies are listed

and compared from such viewpoint as speed, risk and cost.

The Information storing technology section focuses on the storage devices such as hard disk drive (HDD) and magneto-optic disk (MO). Also, this section introduces the brief concept of the relational database (RDB) which is related to the distributed data sharing system. Figure 5.2 shows an image of data shared system with Structured Query Language (SQL) which is generally used to control RDB.

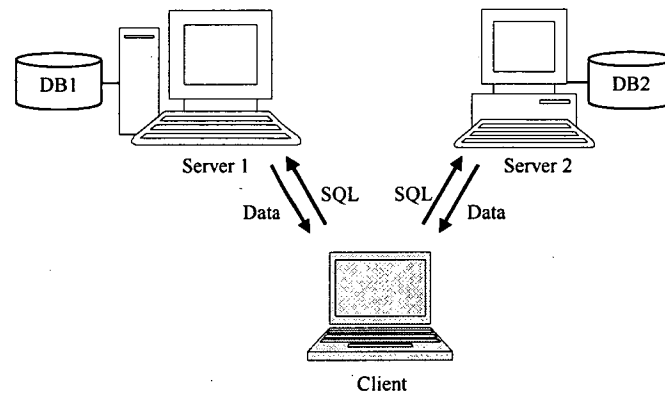


Fig. 5.2 Concept of SQL

5.3 Technologies to Detect Phenomena

Prompt detection of phenomena regarding the earthquake disaster is necessary for the efficient response. This section includes following five kinds of technologies.

- earthquake detection: technology to detect the ground motion of an earthquake by accelerograms that indirectly represents the facility damage
- damage detection: technology to directly detect the damage of facilities caused by the earthquake by utilizing various types of sensors
- damage estimation: technology to estimate the damage of facilities indirectly based on the ground motion data
- field inspection support: combination of technologies to support the field inspection of damage
- remote-sensing: advanced remote sensing technologies from platforms such as an airplane and an artificial satellite

For example, sensors to detect facilities damage should be used properly depending on the distribution of the facilities and the required accuracy. While rough detection of damage of facilities in wide area needs only simple sensors such as the wire sensor, more sophisticated sensors are necessary for accurate detection for important facilities. Figure 5.3 illustrates an image of accurate damage detection for an important bridge.

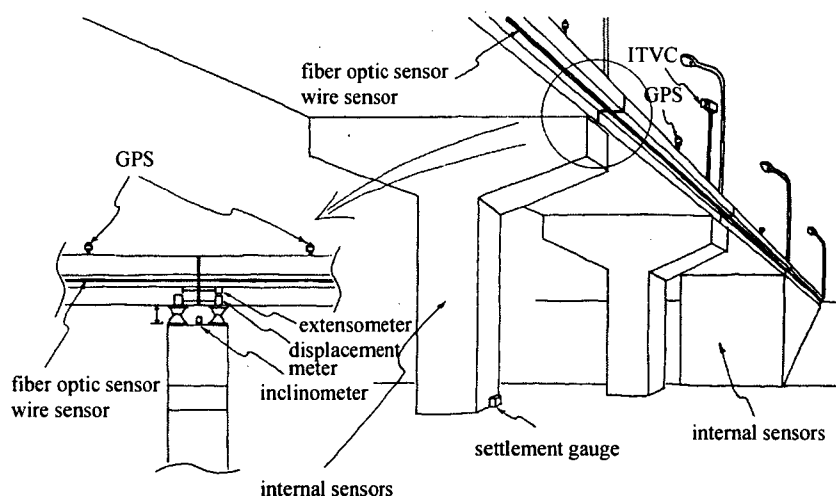


Fig. 5.3 Sensors for Accurate Detection of Important Facility

Figure 5.4 is an example of a real-time damage estimation system for civil infrastructures. The flow of the execution and the display image are from Seismic Assessment Tool for Urgent Response and Notification (SATURN) developed by PWRI. It provides rough estimate of damage on civil infrastructures based on the ground motion data detected by online accelerograms.

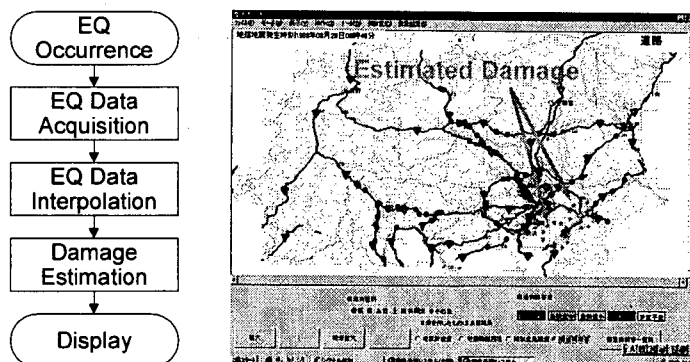


Fig. 5.4 Real-time Damage Estimation

In Figure 5.5, the field inspection support technology is illustrated in which various kinds of advanced technology equipment are utilized. For example, personnel of inspection team can easily understand their position in the damaged area with the help of the global positioning system (GPS) and the geographical information system (GIS). The information about the damage including texts, still images and even moving images can be sent to the response center through the communication technology. The planner can develop such a system with exclusive devices, or he/she can use existing equipments in the market. Recent technology can provide the flexibility of such a way of development of the system, and it

improves the efficiency of the field inspection activities.

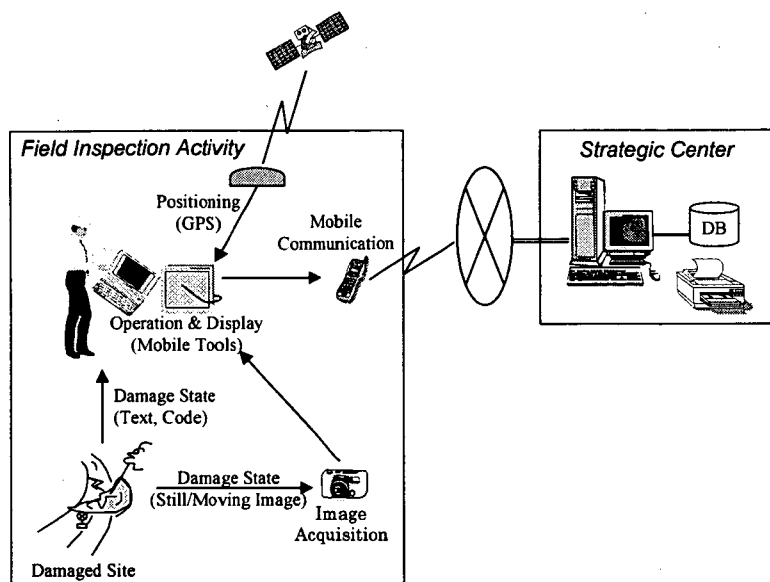


Fig. 5.5 Field Inspection Support

Because of the extension of the earthquake damage, the information in wide area needs to be corrected all at once. Remote-sensing technology can be a candidate for such requirement. The remote-sensing technology consists of two parts, one is a platform and the other is a sensor. There are many kinds of platform: e.g., aircraft and artificial satellite. They are characterized by their height, mobility and stability. As for the sensor technology, it also has various kinds such as an optical sensor, infrared sensor and laser profiler. They are characterized by the ability to detect phenomena, accuracy and influence of weather such as cloud and rain. Simulated images from satellite are shown in Figure 5.6 by changing the accuracy.

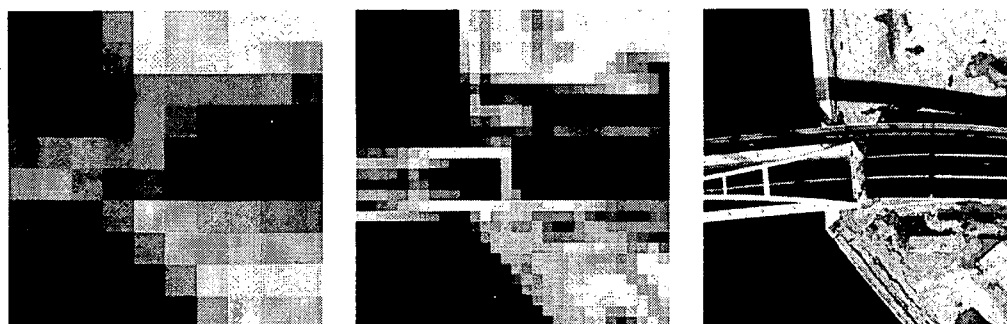


Fig. 5.6 Simulated Remote Sensing Images (Grid Size: 30m, 10m, 1m)

5.4 Technologies for Information Exchange

For the prompt and efficient earthquake response activities, organizations and the personnel need to exchange their information. First, it is vital to note the information for the establishment of the response system to the personnel all at once especially when the earthquake occurs out of office hours. Pager, voice modem and Internet technology can be used. Second, the information stored and corrected need to be managed appropriately. For example, even if the system has the stock data materials for the restoration, they may be meaningless if their volume is not updated timely. Thus, the information management issue is explained here although it is rather a management technique than a pure hardware technology or logical software technology. In the last, the technology that is applicable to exchange information between two different organizations is introduced. It is comparatively the professional issue regarding the network communication technology, however a planner needs to know its concept. Figure 5.7 shows an image of the extranet which utilizes the Internet technology. By applying the extranet, more than one organizations exclusively exchange their information through the Internet which anonymous users access.

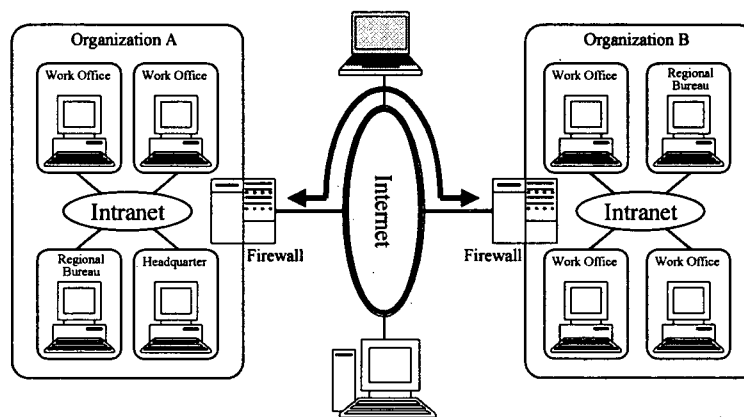


Fig. 5.7 Data Exchange in Internet

5.5 Technologies for Display and Analysis

While the information is gathered and stored, it becomes useful only when they are analyzed and displayed in proper manner. The manual shows recent technologies to display following objects.

- map: display, integration and analysis of data by using GIS
- database: flexible database control by using SQL
- still/moving image: their application and the mechanism

While those technologies are not only for SIS but general for any kinds of information system, their mechanisms are briefly discussed to help planners grasp initial ideas to import them into their SIS. For example, a still image linked with an object in GIS is shown in Figure 5.8. In the manual the mechanisms of each technology is explained conceptually.

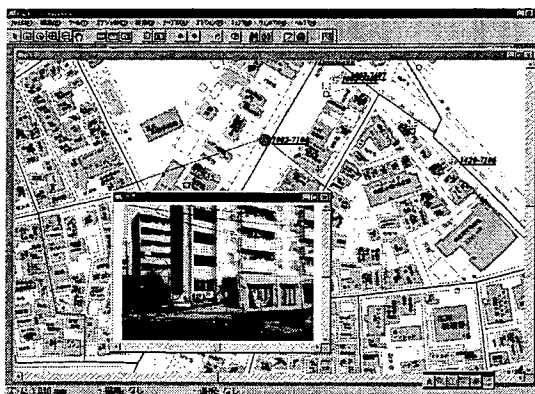


Fig. 5.8 Still Image in GIS

5.6 Technologies to Support Decision Making

While the information of damage state and other phenomena and their analyzed results improve the earthquake response activities, it can be useful if the SIS provides more creative information to support examination on efficient response alternatives. Usually such functions utilize simulation and/or optimizing techniques from many fields. The manual introduces three examples of them as follows.

- Technology to find the shortest route
- Technology to find the most efficient priorities of such activities as emergency restoration
- Technology to find the most optimized pattern of person/material arrangement

Those technologies do not necessarily give the completely exact results, however, the earthquake response team can investigate the appropriate countermeasure by examining the alternatives that the decision making support technologies provide.

6. SAFETY AND SECURITY

6.1 General

Sometimes, the negative surface of the information system is emphasized: e.g., its vulnerability to disaster, security problem and complexity of operation. It may be true if the system is not constructed and maintained properly. To realize the functions of SIS both in the usual and the emergency states, the manual introduces the following important points: that is, safety against earthquake disaster and security as network system.

6.2 Safety against Earthquake Disaster

SIS must be functional under the estimated level of earthquake. On the other hand, the information system devices are weak against such conditions as shock, vibration and irregular temperature which occur in earthquakes. The manual explains following three issues to reduce and manage the risk of SIS against the earthquake.

- Constructing earthquake standing SIS : many points regarding the settings and arrangements of system devices and facilities
- Risk control with distributed SIS : concepts and techniques to keep the redundancy of the system, network line and data against the disaster
- Preparedness to the critical situation in which SIS is not functional : importance of consideration of contingent situation in which the response system must act without sophisticated SIS

Examples of data distribution by using RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disk) technology are shown in Figure 6.1. Here, RAID0 is used to improve the disk access speed and RAID1 is used to improve safety of data. There are other efficient and practical disk system of RAID versions, and the planners can improve the safety of the data by utilizing them.

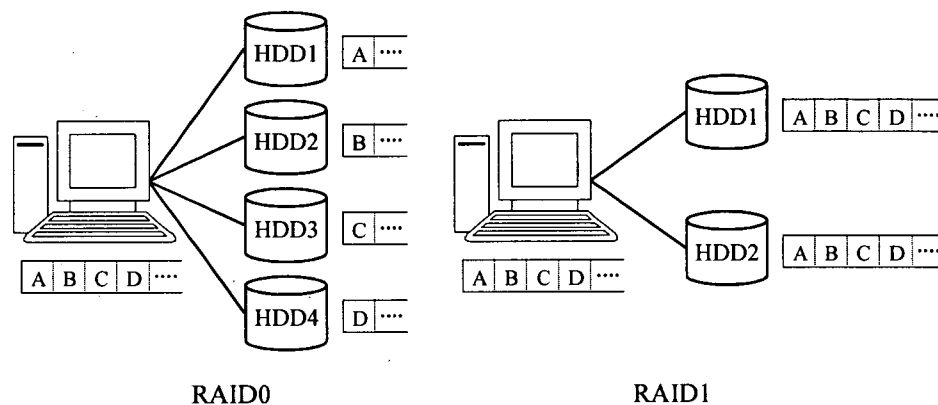


Fig. 6.1 Image of RAID0 and RAID1

6.3 Security

Although the security does not directly related to the efficiency of SIS function, it is an important issue regarding the computer network system. Because the ideal SIS deals with almost all the kinds of data of the earthquake disaster response organization, the data stored and transferred in SIS must be well secured by such technologies as firewall and encryption. In Figure 6.2, an idea of the firewall for a network system is illustrated. Here, the access from out of SIS is denied as long as it is not the reply to a request from SIS.

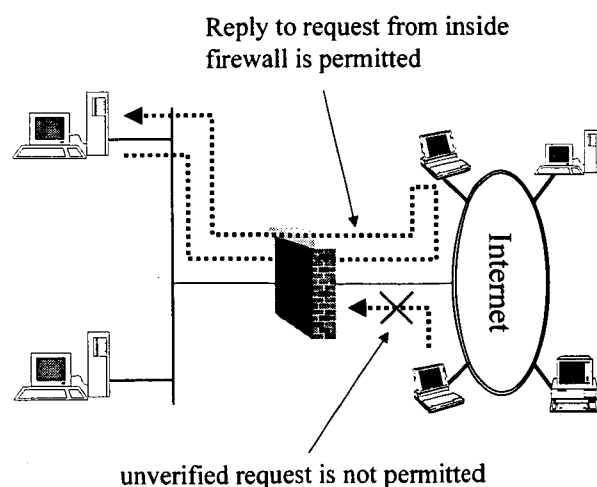


Fig. 6.2 Example of Firewall Policy

On the other hand, strong security occasionally becomes an impediment for the earthquake disaster response activity. An example is a case in which all the limited authorized personnel are not accessible to the system in a disaster. Thus, the manual suggests that both the security and its exception from the point of the earthquake disaster response need to be considered.

7. CONCLUSION

Seismic Information System is one of the most difficult information systems to develop. Because the earthquake response system must deal with many kinds and much amount of information over their own organization, SIS is required to be the most extensive system. Also, it must stand against a disastrous earthquake for its original use. In addition, the planner and user must have the knowledge of earthquake engineering for some of functions of SIS. Thus, planning and developing SIS certainly require comprehensive knowledge of the information technology, earthquake engineering and risk management. Although there are researches and products for the individual system currently, there have not been guidelines for the comprehensive SIS and they are left to the information technicians. The manual introduced in this paper has been produced aiming to be such a comprehensive but easy-to-use guideline for information technicians, earthquake engineers and earthquake response system planners. As the software and hardware technology progresses in rapid speed, the elemental contents needs to be revised by degrees. By improving the technologies based on another detailed researches regarding each element technologies, actual SIS that helps response systems can be developed.

REFERENCES

- Public Works Research Institute: Guidelines for Disaster Information Systems for Important Infrastructures (draft), *Technical Note of PWRI, Vol. 58*, 1992.4
- K. Kawahima, K. Tokida, H. Sugita, T. Nakajima and H. Matsumoto: Guidelines for Disaster Information Systems for Important Infra-structures, *Wind and Seismic Effects, Proceedings of the 25th Joint Meeting, UJNR*, pp475-486, 1993.5
- S. Odagiri, H. Sugita, M. Kaneko, T. Nozaki and T. Hamada: Development of Real-time Seismic Information System for MOC, *Proceedings of the 29th UJNR Joint Meeting of U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR 1997.5*, pp425-436
- T. Nozaki, H. Sugita: System to Assess Socio-economic Effect of Earthquake Disaster, *Proceedings of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems*, 1998.11, pp199-212

H. Sugita, T. Hamada, Development of Real-time Damage Estimation System for Road Facilities, *Proceedings of the 7th U.S.-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems*, 1998.11, pp271-284

H. Sugita, T. Nozaki: Seismic Information System for Civil Infrastructures, *Wind and Seismic Effects, Proceedings of the 30th Joint Meeting, UJNR*, pp306-318, 1998.5

天然資源の開発利用に関する日米会議
耐風・耐震構造専門部会 第32回合同部会
The 32nd Joint Meeting of the U.S.-Japan Panel
on Wind and Seismic Effect(UJNR)
(2000.5.16～19、Gaithersburg, Maryland, USA)

DRAFT MANUAL FOR SEISMIC INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT

DRAFT MANUAL FOR SEISMIC INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT

by

Hideki SUGITA¹⁾, Tomofumi NOZAKI²⁾

ABSTRACT

This paper introduces the "Draft Manual for Seismic Information System Development" that Public Works Research Institute, Ministry of Construction recently developed. The manual was prepared to develop efficient seismic information system: SIS for civil infrastructure administrating bodies from the viewpoint of the national land management policy. This paper includes a basic concept of SIS development, requirements of SIS, element technologies for SIS, and safety/ security.

KEY WORDS: Earthquake Disaster
Information System
System Requirement
Safety, Security

1. INTRODUCTION

Recent situations such as environmental changes and severe disasters over the world require more comprehensive countermeasure than before. Such countermeasure must be an overall program including monitoring of circumstances, adequate planning and administration in addition to the construction. Especially, civil infrastructures require overall management because they have counteractions to nature and social activities.

The Ministry of Construction has initiated a five-year comprehensive research project "Application of Advanced Technologies for the National Land Management" since 1999. In the

national land management (designated hereinafter as NLM) framework, four important tasks are needed to cope with the major missions (**Figure 1**) including the safety against disaster. The research project includes applications of recent advanced information technologies such as GIS, GPS and satellite images.

Among various missions included in NLM, earthquake disaster prevention for civil infrastructures is unique because;

- 1) Disaster mitigation requires various kinds of information, i.e. hazard distribution, disaster potential, and social activities,
- 2) Damage of facilities tend to be developed simultaneously in wide area,
- 3) Urgent works are needed to prevent the expansion of disaster influence,
- 4) Disaster influence is unpredictable due to the complexity of urban functions.

A seismic information system (designated hereinafter as SIS) is one of the solutions to support disaster response activities (**Figure 2**).

Although advanced technologies have been rapidly developed, their performance may not agree with the requirements of disaster response activities. For example, satellite images may not be precise to detect damage of facilities, or

-
- 1) Head, Earthquake Disaster Prevention Technology Division, PWRI, MOC
1 Asahi, Tsukuba, Ibaraki 3050804 Japan
 - 2) Senior research engineer, ditto

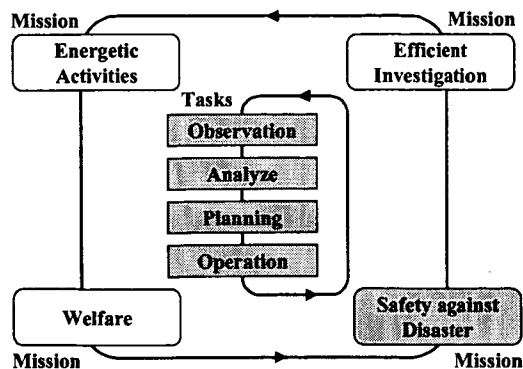


Fig.1 Framework of NLM

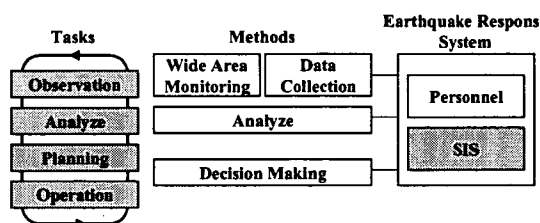


Fig.2 Earthquake Response System for NLM

maneuverability of the GIS is too complex for the emergency actions. Besides, other problems may exist due to a framework of the SIS. For example, sometimes the same kinds of data set are stored to different computer systems redundantly. In addition, once a huge system is constructed, it needs much cost to extend or revise the system. In other words, there are many possible problems and losses depending on the SIS architecture. Being aware of these issues, the PWRI has composed a draft guideline for the efficient development of the SIS. In this paper, the brief contents of the "Draft Manual for Seismic Information System Development" are introduced.

2. STRUCTURE OF MANUAL

2.1 Overview

For the efficient development of the SIS, the

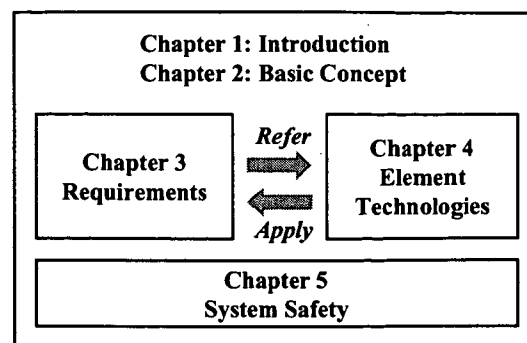


Fig.3 Structure of Manual

manual contains important topics, namely, planning and development concepts of user-oriented and flexible SIS, and a list of state-of-the-art of technologies as a reference for the system planners. Also, the system safety issue is included. The topics are arranged in corresponding chapters as shown in Figure 3. Note that the numbers of chapter are not of this paper but of the manual.

2.2 Key issues

Brief statements of the key topics in Figure 3 are as follows. The detailed explanations are in the chapter three to six of this paper.

(1) Basic Concept of SIS Development

The basic concept of the SIS development includes: concept for user-oriented SIS, concept for flexible SIS, consideration of the system interface, and the application of SIS in normal state. These issues are fundamentals for the SIS that satisfies requirements for earthquake disaster response systems. While the concept mainly aims to initial development of the SIS, they can be applied to improve existing SIS with careful consideration.

(2) Activities and Requirements for SIS

Classification of the earthquake response activities, information required for the activities, and functions required for the SIS are described

in the chapter three of the manual.

(3) Review of Element Technologies for SIS

After requirements and structure of the SIS is determined, planners must investigate proper technologies to realize the functions of the SIS. Because the SIS requires knowledge on both advanced information technology and earthquake engineering technology, planners need their comprehensive list. The manual provides an inventory of current advanced technologies of both fields in the chapter four.

(4) Consideration of Safety of SIS

Because the SIS is supposed to be used in an emergency situation, it must be well prepared for a disastrous condition. Therefore, planners must consider safety of devices, facilities and data related to the SIS against earthquakes. Besides the safety and security must be established and maintained because the SIS is developed under network situations. The technologies and methodologies for the safety and the security are introduced in the last chapter of the manual.

3. BASIC CONCEPT

3.1 General

When one tries to develop an efficient SIS, there are several problems. First, advanced information systems are usually developed mainly from a viewpoint of information technology professionals who do not necessarily know the activities of earthquake disaster response system. As a result, sometimes personnel in the response system encounter insufficiency of system performances including the accuracy, speed and capacity while some other performances exceed their aims. Second, there can be another problems related a system architecture. Once SIS is developed as a large host-terminal system, it cannot be revised easily. Data may not be shared

easily between different systems that are separately developed, or even it may be difficult to exchange data between different versions of the same applications because of frequent revision. In the first part of the manual, therefore, several suggestions are stated to develop efficient and flexible SIS that meet with the requirements of the earthquake disaster response activities.

3.2 Objective oriented concept

To develop the SIS that satisfies requirements of an earthquake disaster response system, SIS should not be thought simply as an integration of devices and application software. Rather, it is suggested that the system should be developed based on the earthquake response activities and the information dealt with in the activities. To accomplish this objective, following three steps are needed.

- 1) To investigate and organize disaster response activities
- 2) To investigate information dealt with in the activities
- 3) To clarify the requirements of functions to efficiently deal with the information

Charts, tables and even the analytical method such as the systems analysis are necessary to perform the tasks above.

3.3 Flexibility

SIS deals with many kinds of data of daily maintenance in addition to the emergency information after earthquakes. Therefore, it needs to be able to access almost any information regarding the facility management. One of the solution of such data sharing system is servers with highly integrated functions and clients that browse the result of servers' functions (Figure 4). However, it has disadvantages such as inflexibility, bottleneck and concentration of risk

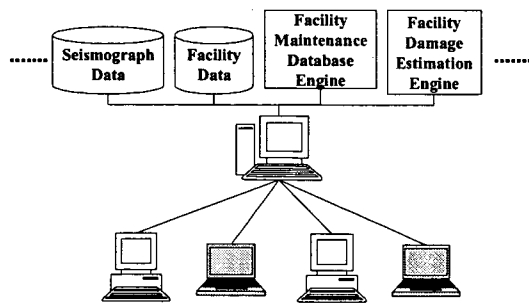


Fig.4 Data Sharing Architecture

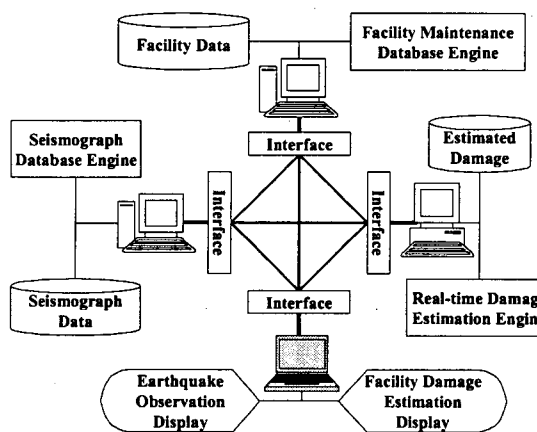


Fig.5 Distributed Data Sharing Architecture

against earthquakes. Especially, SIS must be flexible from the viewpoint of expandability because it utilizes rapidly changing advanced technologies. The better solution to cope with this problem is a distributed data sharing system (Figure 5). In such system, the data are stored in each server for specific function, and the data are utilized by arbitrary clients through common interfaces.

To realize the true distributed data sharing system, the structure and the format of the data dealt by SIS must be identified and clearly described. An image of data structure that can include the attributes and relationships is shown in Figure 6. Once the structure is defined and clarified, the information can be interpreted to any format. If

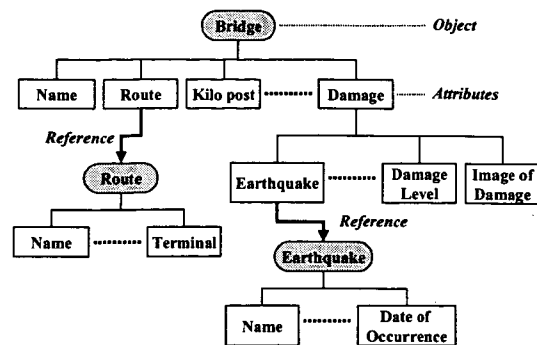


Fig.6 Data Structure

the format is well defined, arbitrarily added subsystem can access the information regardless with the types of operating systems and applications.

4. REQUIREMENTS OF SIS

4.1 General

It is essential to investigate activities of the earthquake disaster response system and the information dealt with. In the manual, an example of such investigation in which response activities are divided into four phases is shown. For each phase, activities, information needed, and functions required for SIS are clarified.

4.2 Earthquake disaster response phases

Assuming an earthquake disaster response for civil infrastructures, response phases can be classified as follows:

- 1) Emergency response phase: Overall rough damage inspection is performed. Temporary measures without heavy equipments are taken occasionally.
- 2) Temporary restoration phase: Activities include damage inspection, decision-making and activities for the temporary restoration.
- 3) Complete restoration phase: Similar to the temporary restoration phase, while it requires

more detailed inspection and complete restoration of damaged facilities.

- 4) Response system support phase: This phase is different from other three phases, which concerns overall response activities from the start to the end. For example, it includes ensuring safety of the personnel and management of resources to maintain the response system.

4.3 Activities, information, requirements for each phase

For each phase, response activities are itemized as shown in Table 1. For example the emergency response phase includes four activities, namely, setup of earthquake response system, emergency damage inspection, investigation of response planning and emergency response. Each activity requires various kinds of information for its execution, and the functions of SIS to deal with the information are listed.

The numbers in the brackets indicate the section numbers of the manual where the technologies corresponding to the functions are explained. Details of those technologies are explained in the chapter four of the manual. The chapter three exemplifies that once the planners analyzes the activities, information and the required functions, they can distinguish the appropriate technologies applicable for SIS by referring the corresponding sections.

5. ELEMENT TECHNOLOGIES

5.1 General

In the chapter four "Element Technologies for SIS" of the manual, numbers of technology

Table 1 Activities, Information and Required Functions

Emergency Response Phase		
Activities	Information	System Functions
Set-up of EQ Response System	Earthquake	Earthquake Detection(4.3.1)
	Facility Damage	Damage Detection(4.3.2,4.3.3)
	Set-up Trigger	Emergency Call(4.4.1)
Emergency Damage Inspection	Inspection Strategy	Detection of Phenomena(4.3.1-4.3.5)
	Inspection Activity	Field Activity Support(4.3.4)
	Facility Damage	Field Activity Support(4.3.4)
	General Information	Remote Sensing(4.3.5)
Study of Response Planning	Related Organ's Action	Information Exchange(4.4.3)
	Construction Staffs	Information Management(4.4.2)
	Priority	Decision Making Support(4.4.1-4.4.3)
Emergency Response	Response Activity	Field Activity Support(4.3.4)
Temporary Restoration Phase		
Activities	Information	System Functions
Damage Investigation	Investigation Strategy	Remote Sensing(4.3.5)
	Investigation Activity	Field Activity Support(4.3.4)
	Facility Damage	Remote Sensing(4.3.5)
	General Information	Remote Sensing(4.3.5)
Restoration Planning	Related Organ's Action	Information Exchange(4.4.3)
	Construction Staffs	Information Management(4.4.2)
	Priority	Decision Making Support(4.4.1-4.4.3)
Temporary Restoration	Restoration Activity	Field Activity Support(4.3.4)
Complete Restoration Phase		
Activities	Information	System Functions
Investigation	Investigation Strategy	Decision Making Support(4.6.1-4.6.3)
	Investigation Activity	Field Activity Support(4.3.4)
	Facility Damage	Field Activity Support(4.3.4)
	General Information	Field Activity Support(4.3.4)
Restoration Planning	Related Organ's Action	Information Exchange(4.4.3)
	Construction Staffs	Information Management(4.4.2)
	Regional Restoration Plan	Information Exchange(4.4.3)
	Priority	Decision Making Support(4.4.1-4.4.3)
Complete Restoration	Restoration Activity	Field Activity Support(4.3.4)
	Construction Staffs	Information Management(4.4.2)
Response System Support Phase		
Activities	Information	System Functions
Response System	Response System Level	Common Infrastructure(4.2)
Related Information	Response System Staffs	Information Management(4.4.2)
Disaster Prevention Base	Building Damage	Field Activity Support(4.3.4)
Activity Support Staffs	Device Damage	Field Activity Support(4.3.4)
	Storage and Distribution	Information Management(4.4.2)

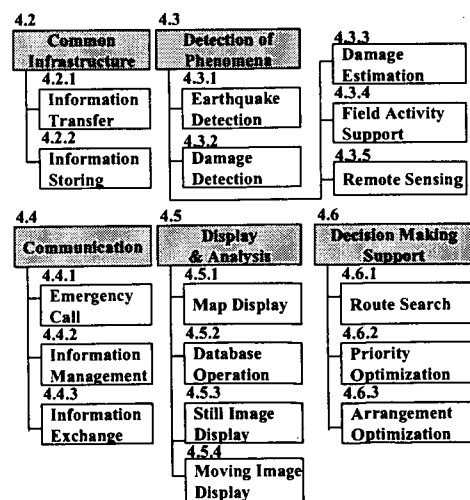


Fig. 7 Element Technologies

that can be applied to SIS are introduced. The

planners of SIS can refer them to find the technologies suitable for the function of SIS that they have investigated in the chapter four. Also, it can be referred as the handbook to know the state-of-the-art of the technologies for SIS. While the advanced technologies are often explained separately in respective specific area, this manual collects them so as to be the comprehensive reference for SIS planners. Also, it is intended that the manual be useful for the personnel who are not necessarily the professionals of the information technology to discuss about SIS with the information technicians. The technologies included in this chapter are divided into five categories. The structures of this chapter with subcategories are shown in Figure 7.

5.2 Common infrastructure technologies

This section introduces two kinds of fundamental and important technology that are common to any SIS. The information transfer technologies are the vital for all kinds of information systems that includes wired/ wireless signal transfer technologies. In the manual, several kinds of those technologies are listed and compared each other as shown in Table 2.

The Information storing technology section focuses on the storage devices such as hard disk drive and magnet-optic disk. Also, this section introduces a brief concept of the relational database that is related to the distributed data sharing system. Fig. 8 shows an image of data shared system with "Structured Query Language: SQL" that is generally used to control RDB.

5.3 Technologies to detect phenomena

Prompt detection of phenomena caused by the earthquake disaster is necessary for the efficient response. This section includes following five kinds of technologies.

Table 2 Information Transfer Technologies

Technologies	Speed	Vulnerability			Cost		Service Area
		Conflict	Restrict	Damage	Initial	Run	
Telephone Line	O	X	X	Δ	OO	OO	OO
Ditto (ISDN)	O	X	X	Δ	O	OO	O
Ditto (Packet)	OO	OO	O	Δ	Δ	Δ	Δ
Cellular Phone	O	Δ	Δ	O	OO	O	OO
Wireless (Ground)	X	OO	OO	OO	—	—	—
Wireless (Satellite)	X	OO	O	OO	—	—	—

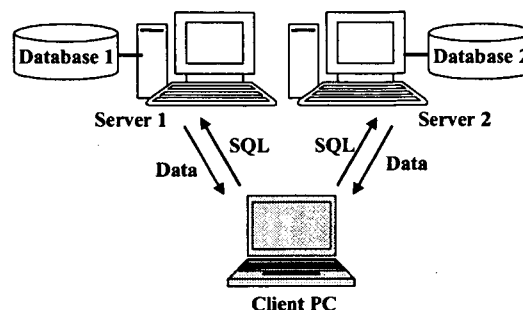


Fig.8 Data Sharing using SQL

- 1) Earthquake detection: Technology to detect the ground motion of earthquakes by accelerographs.
- 2) Damage detection: Technology to directly detect the damage of facilities by utilizing various types of sensors.
- 3) Damage estimation: Technology to estimate the damage of facilities indirectly based on the monitored ground motion data.
- 4) Field inspection support: Combination of technologies to support the field inspection of damage.
- 5) Remote-sensing: Advanced remote sensing technologies from platforms such as helicopters, airplanes and artificial satellites.

For example, sensors to detect damage should be used properly depending on the distribution of facilities and the required accuracy. While rough detection of damage in the wide area needs only simple sensors such as the wire sensor, more sophisticated sensors are necessary for accurate damage detection for important facilities. Fig 9 illustrates an image of accurate damage detection

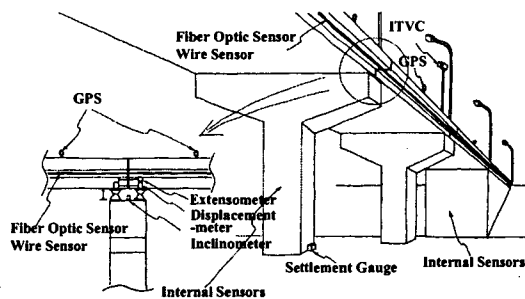
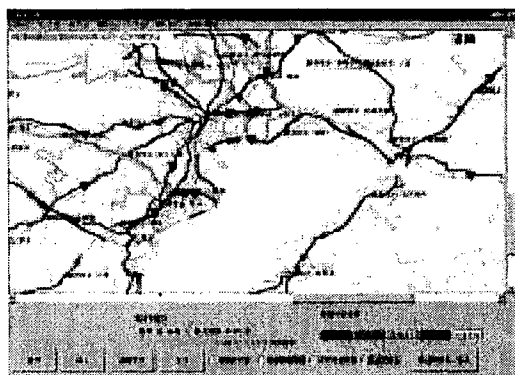
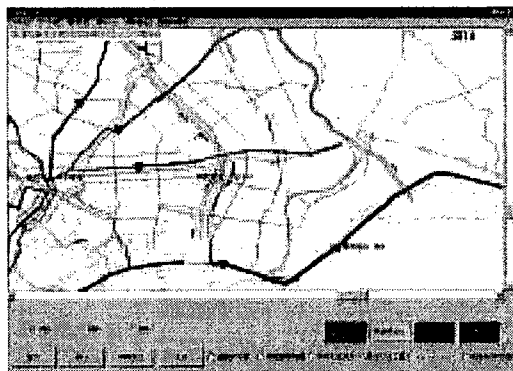


Fig.9 Damage Detection of Highway Bridge



Damage of Highway Bridges



Damage of River Levees

Fig. 10 Urgent Damage Estimation System

for a highway bridge.

Figure 10 shows an urgent damage estimation system for highway bridges and river levees. The system provides rough estimation based on the monitored ground motion data and pre-stored structures database.

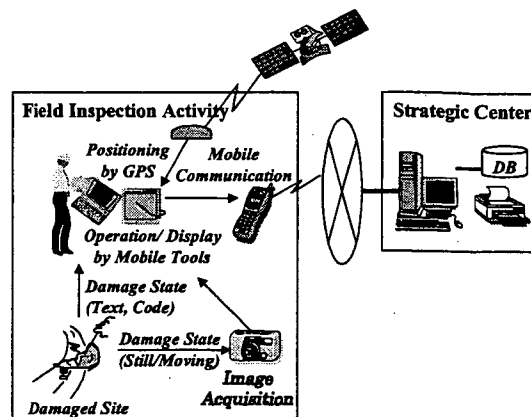


Fig. 11 Field Inspection Support Technologies

Field inspection support technology is illustrated in Figure 11, in which various kinds of advanced equipments are utilized. For example, personnel of inspection team can easily understand their position in the damaged area with the help of the GPS and GIS devices. The information about the damage including texts, still and moving images can be sent to the response center through the communication technology. Planners can develop such a system with exclusive devices, or they can use existing equipments in the market. Recent technology can provide the flexibility of development of the system.

Because of the extension of the earthquake damage distribution, the information in wide area needs to be collected all at once. Remote-sensing technology can be a candidate for such requirement. The remote-sensing technology consists of two parts, one is a platform and the other is a sensor. Various kinds of platform are characterized by their height, mobility and stability. As for the sensor technology, it also has various kinds such as an optical sensor, infrared sensor and laser profiler. They are characterized by the ability to detect phenomena, accuracy and

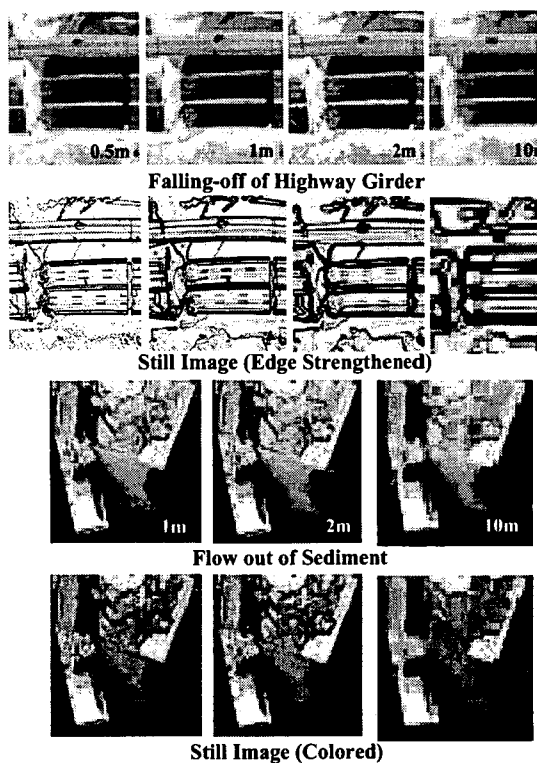


Fig. 12 Damage Detection by Remote Sensing

influence of weather such as cloud and rain. Figure 12 shows simulated satellite images for understanding earthquake damage.

5.4 Technologies for information exchange

For the prompt and efficient earthquake response activities, organizations and the personnel need to exchange their information. This section includes following three kinds of technologies:

- 1) Emergency call: It is vital to note the information for the establishment of the response system to personnel all at once. Pager, voice modem and Internet technology can be used.
- 2) Information Management: Information collected and stored need to be appropriately managed. For example, information of stock materials for the restoration is meaningless if they are not updated timely. Information

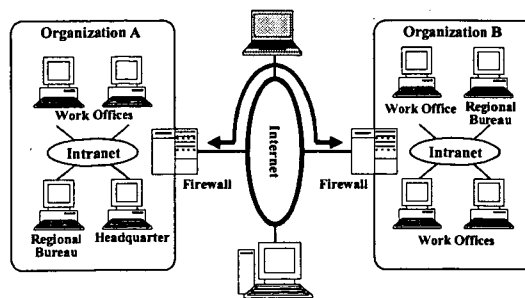


Fig.13 Data Exchange between Extranet

management issue is explained here although it is rather a management technique than a pure hardware/ software technology.

- 3) Information exchange: Technology that is applicable to exchange information between different organizations is introduced. Figure 13 shows an image of the extranet that utilizes the Internet technology. More than one organizations exclusively exchange their information through the Internet by using extranet technology.

5.5 Technologies for display and analysis

While the information is gathered and stored, it becomes useful only when they are analyzed and displayed in proper manner. This section includes recent technologies to display maps, database and still/ moving image.

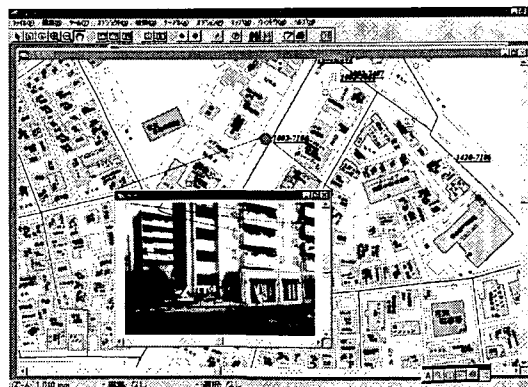


Fig. 14 Still Image Displayed in GIS

While those technologies are not only for SIS but general for any kinds of information system, their mechanisms are briefly discussed to help planners grasp rough ideas to import them into their SIS. For example, a still image linked with an object in GIS is shown in **Fig14**. In the manual the mechanism of each technology is explained conceptually.

5.6 Technologies to support decision-making

While the earthquake/ damage/ general information itself improve the response activities, it can be useful if the SIS provides more creative information to support examination on efficient response alternatives. This section introduces three kinds of examples:

- 1) Technology to find the shortest route
- 2) Technology to find priorities of emergency restoration activities
- 3) Technology to find optimized pattern of person/ material arrangement

Those technologies do not necessarily give the completely exact results, however, the earthquake response team can investigate the appropriate countermeasure by examining the alternatives.

6. SAFETY AND SECURITY

6.1 General

Vulnerability to disasters and security problems are the negative aspects of SIS. It may be true if the system is not constructed and maintained properly. This section introduces several measures for the reduction of these kinds of risks to realize the functionalities of SIS both in the usual and the emergency states.

6.2 Safety against earthquake disaster

SIS must be functional under the anticipated

level of earthquake. On the other hand, the information system devices are weak against such conditions as shock, vibration and irregular temperature during earthquakes. This section explains following three kinds of issues to reduce and manage the risk of SIS.

- 1) Constructing earthquake standing SIS: Many points regarding the settings and arrangements of system devices and facilities
- 2) Risk control with distributed SIS: Concepts and techniques to keep the redundancy of the system, network line and data
- 3) Preparedness for the critical situation: Importance of consideration of contingent situation in which the response system must act without sophisticated SIS

An Example of data distribution by using Redundant Arrays of Inexpensive Disk: RAID

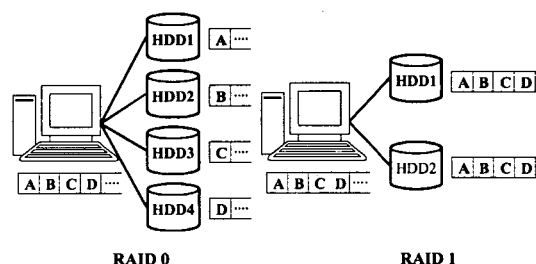


Fig.15 Data Distribution using RAID

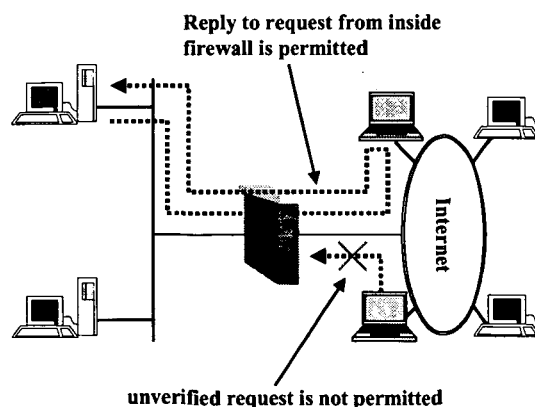


Fig. 16 Security of SIS using Firewall

technology is shown in **Figure 15**. "RAID 0" is used to improve the disk access speed and "RAID 1" is used to improve safety of data. There are other efficient and practical disk system of RAID versions, and the planners can improve the data safety by utilizing them.

6.3 Security

Although the security does not directly related to the efficiency of SIS function, it is an important issue regarding the computer network system. Because the ideal SIS deals with almost all the kinds of data of the earthquake disaster response organization, the data stored and transferred in SIS must be well secured by such technologies as firewall and encryption. **Figure 16** illustrates an idea of a firewall for a network system.

On the other hand, strong security occasionally becomes an obstruction for disaster response activities. An example is a case in which all the limited authorized personnel are not accessible to the system in a disaster. Thus, the manual suggests that both the security and its exception from the point of the earthquake disaster response need to be considered.

7. CONCLUDING REMARKS

This paper introduces the "Draft Manual for Seismic Information System Development" that PWRI recently developed. The manual was prepared to develop efficient seismic information system for civil infrastructure administrating bodies. Highlights of the manual can be summarized as follows:

- 1) Seismic information system is one of the most sophisticated information systems to develop. Because of the characteristics of earthquake disaster response activities,

user-oriented, feasible, earthquake standing and highly secured system is required.

- 2) "User-oriented" seismic information system must be studied based on the information dealt with in each earthquake response phase. Assuming the response activities for infrastructure, disaster response phase can be classified as emergency response, temporary restoration, and complete restoration phase.
- 3) "Feasible" seismic information system must be studied to achieve data sharing, risk distribution, rational maintenance, and extensibility of the system. This concept is essential not only for the construction of SIS but also reconstruction/ upgrading occasions.
- 4) The manual describes element technologies suitable for the damage detection, communication, display and analysis, and decision-making support. Technologies must be carefully selected considering the cost and required performance. It is essential to study the performance including accuracy, speed and capacity from the earthquake engineering of viewpoints.

REFERENCES

- 1) PWRI: Guidelines for Disaster Information Systems for Important Infra-structures, 25th Joint Panel Meeting, UJNR, 1993.5
- 2) Sugita and Hamada: Development of Urgent Damage Estimation System for Road Facilities, 7th U.S.-Japan Lifeline Workshop, UJNR, 1998.11
- 3) Sugita and Nozaki: Seismic Information System for Civil Infrastructures, 30th Joint Panel Meeting, UJNR, 1999.5
- 4) Earthquake Disaster Prevention Div.: Draft Manual for Seismic Information System Development, Technical Memorandum, vol.3674, 1999.11

天然資源の開発利用に関する日米会議
耐風・耐震構造専門部会 第32回合同部会
The 32nd Joint Meeting of the U.S.-Japan Panel
on Wind and Seismic Effect(UJNR)
(2000.5.16～19、Gaithersburg, Maryland, USA)

URBANIZATION AND URBAN DISASTER PREVENTION

URBANIZATION AND URBAN DISASTER PREVENTION

by
Tomomitsu FUJII¹⁾

ABSTRACT

In Japan, urbanization has been accompanied by the appearance of increasingly advanced and complex social systems. And disasters caused by earthquakes, intensive rainfall and other natural forces that caused property damage and human casualties have evolved into quite complex urban disasters that bring secondary disasters in addition to the primary damage.

This report reexamines past urban earthquake and flood disasters to study changes and features in urban disasters accompanied by urbanization. The report also presents an outline of urban disaster prevention measures that must be promoted to prevent urban disasters and minimize their effects to increase the safety of urban areas.

KEY WORDS: Urbanization
Urban Disaster
Earthquake, Flood
Disaster Prevention Measure

1. INTRODUCTION

The rapid industrialization and urbanization since the beginning of high-speed economic growth in 1955 has concentrated the population in the three huge metropolitan regions around Tokyo, Nagoya, and Osaka. Urbanization has been accompanied by the appearance of advanced social systems and facilities, and by their increasing close

interrelationships.

Once social systems and facilities are destroyed or disrupted by natural disasters, not only does the system itself fail, ripple effects cause chain reactions triggering new forms of disasters that did not seen in the past. In this way, disasters that occur in urban area have been transformed and evolved as a by-product of urbanization.

Focusing on natural disasters accompanied by urbanization, this report reexamines past earthquake and flood disasters to study the changes, features and lessons of urban disasters. The report also includes an outline of urban disaster prevention measures against earthquakes and intense rainfalls that must be promoted to prevent urban disasters and minimize their effects considering recent social trends including internationalization, information technology revolution, and aging of society.

2. URBAN DISASTER

2.1 Urbanization

Figure 1 shows changing numbers of human casualties due to past natural disasters. Although continuous implementations of disaster prevention

1) Director-general, Public Works Research Institute, Ministry of Construction
1 Asahi, Tsukuba, Ibaraki 3050804 Japan

measures has been rewarded with a steady fall in the number of casualties, continued concentration of properties and population in urban regions increased their susceptibility against natural disasters. And the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake caused the most serious disaster in the recent history of Japan.

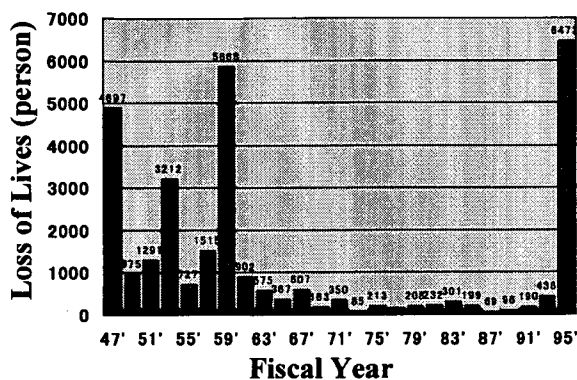


Fig. 1 Human Casualties due to Natural Disasters

In urban regions, new social systems and facilities have appeared and spread to support the socio-economic activities (Figure 2). Many of these social systems and facilities have never been exposed to a large-scale disaster and have the potential to cause unpredictable forms of damage and complex chain-reactions of secondary disasters.

Background	Facilities and Functions	Years			
		30'	50'	70'	90'
Rising Price of Land, Concentration of Population/ Functions	Multistory Buildings		..		
	Underground Arcade		..		
	Reclaimed Land		..		
	Chemical Plant		..		
Rapid/ Mass Transportation System	Highway System		..		
	Subway System	..			
Information Oriented	Online Computer System		..		
Improvement of Living Condition	Water Supply/ Sewage		..		
	Convenience Store			..	
Major Earthquakes		Kanto EQ	Niigata EQ	Hyogo-ken Nanbu EQ	

Fig. 2 Appearance of New Social Systems and Facilities

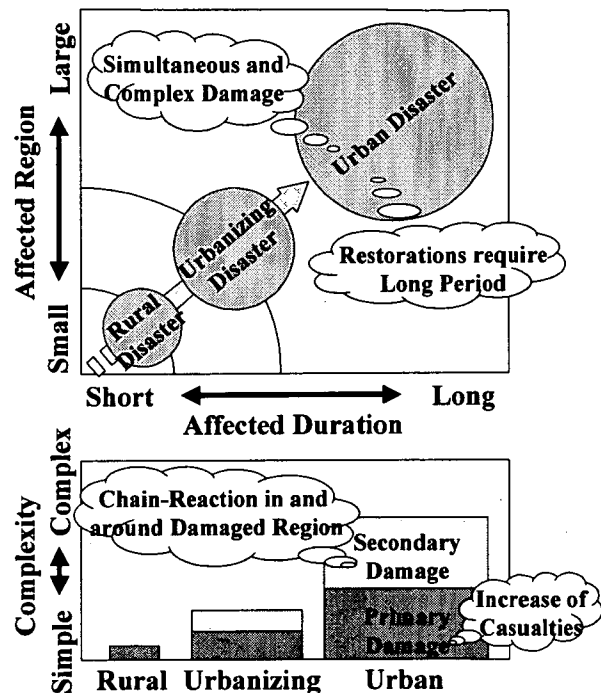


Fig. 3 Evolution and Classification of Natural Disasters (schematic)

2.2 Recent urban disasters

(1) Classification of natural disasters

Figure 3 schematically presents that natural disasters have evolved by focussing on their "effected duration", "effected region" and "complexity of influence". This report categorizes natural disasters as a "rural disaster", an "urbanizing disaster" and an "urban disaster".

1) Rural disaster:

This type means a classical disaster developed in a region where urbanization has not initiated and neither infrastructures nor disaster prevention facilities have been provided. Most of the effects caused are primary damage such as property damages and human casualties. Effected duration and region are limited.

2) Urbanizing disaster:

This type of disaster occurs in rapidly urbanizing

regions where population has been increasing but infrastructures and disaster prevention facilities have not been sufficiently provided. Rapid urbanization in developing countries has increased the frequency of this type of disasters around the world. Although effects caused by the disaster are mainly primary damages, effected duration and region are larger than rural disasters.

3) Urban disaster:

This type of disaster occurs in highly urbanized metropolises and regional core cities. Where the infrastructures are not sufficiently safe, extremely severe primary damage occur, and cause disruption of urban functions as the secondary damage. Because urban functions are highly interdependent and complexes, it is difficult to predict the relationship between the external natural force and the form of damages. Influence of the disaster spread over wide area, and disaster restoration requires long period comparing with previous types of disasters.

(2) Recent urban disasters in Japan

1) Niigata Earthquake (1964/6/16, M 7.5)



Photo. 1 Failure of Highway Bridge due to Ground Liquefaction

Earthquake disaster developed in the urbanizing Niigata Prefecture caused approximately 470 of

casualties, 1,960 of totally destroyed buildings, and failures of highway bridges. Ground liquefaction that occurred over wide areas of soft soil deposit was an unpredictable phenomenon that have never experienced before. And it was pointed out that a ground cave-in and a lateral ground flow induced by the ground liquefaction are likely to enlarge human and property damages. Because most of core cities are placed on soft ground soil deposit in Japan, this disaster experience enforced countermeasures to prevent the ground liquefaction.

2) Miyagi-ken-oki Earthquake (1978/6/12, M 7.4)

Earthquake disaster developed in an urbanized regional core city of Sendai in Miyagi Prefecture caused appropriately 1,350 casualties and severe damages on lifeline facilities for electric power/ gas/ water supply and sewerage. Damage of buildings in newly prepared residential districts and human casualties due to the collapse of block walls were never experienced in previous disasters. Because damages of lifelines influenced daily lives and socio-economic activities for several weeks after the earthquake, upgrading the seismic safety of lifelines was pointed out to be important.



Photo. 2 Damage of Power Plant

3) Nihonkai-Chubu Earthquake (1983/5/26, M 7.7)

Earthquake disaster developed in the urbanized regional core city of Noshiro in Akita Prefecture caused approximately 270 casualties, severe damage on transportation systems including highways and railroads, and lifeline facilities. The fact that about 75% of the casualties were the direct result of Tsunami triggered by the earthquake served as a sharp reminder of the importance of prompt evacuation activities and provision of information to residents following an earthquake. Transportation systems and lifelines were seriously disrupted by damages to embankments and buried pipelines. Because it takes a long time to find out and repair damage of underground facilities, it was pointed out that seismic strengthening of underground facilities is important.



Photo. 3 Up-lift of Underground Gas Storage Tank

4) Intensive Rainfall in Nagasaki Pref. (1982/7/23, 187 mm/ hour)

Flood disaster developed in the urbanized regional core city of Nagasaki caused slope failures and

sediment flows around residential districts, and disruptions of highway network. Approximately 1,100 casualties and 600 totally collapsed buildings were developed. Because the City of Nagasaki is located in a peninsula surrounded by the sea, disruptions of highway network temporarily isolated the city and obstructed rescue activities. Even after the flood waters had receded, mountains of debris and abandoned automobiles blocked the streets so that it took a week just to re-open the trunk roads. The disaster was a sharp reminder of the importance to secure the highway network redundancy, and to re-open trunk road promptly after flood disasters.



Photo. 4 Closure of Trunk Road due to Flood Debris

5) Hyogo-ken Nanbu Earthquake (1995/1/17, M 7.2)

Hyogo-ken Nanbu Earthquake was one of the largest earthquake disaster developed in highly urbanized region in Japan. Extensive ground motion that was not formerly anticipated caused approximately 5,500 fatalities, 93,000 totally collapsed buildings, catastrophic damage of transportation systems and lifelines, and damage of other industrial facilities. Because disruptions

of arterial highways caused serious and long lasting influence on nationwide transportation activities, importance to provide alternate arterial transportation routes was pointed out. The importance of wide-area improvements to urban districts was also illustrated by the spread of uncontrollable fires that swept through districts with high concentrations of wooden dwellings. Damage to disaster prevention bases and information systems that seriously hampered the urgent response after the earthquake also reminded the importance to prepare appropriate crisis management programs in addition to disaster prevention programs.

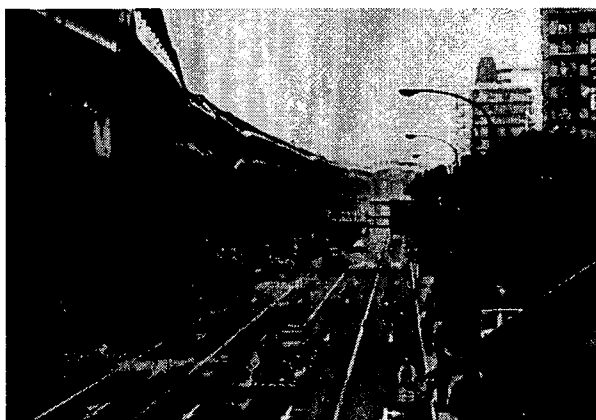


Photo. 5 Disruption of Arterial Viaduct

6) Intensive Rainfall in Fukuoka Pref. (1999/1/29, 122 mm/ hour)

Flood developed in Fukuoka city caused 2 fatalities, and slope failure developed in Hiroshima Pref. caused 31 fatalities and 153 collapsed buildings. Around the Hakata Station where the use of underground space was advanced, an underground arcade and underground station were flooded. In the basement of a nearby office building, people who failed to evacuate promptly were drowned. The flooding cut off transportation routes and caused the failure of power system

equipment blacking out the Hakata Station area. This flood clearly indicated that the city was susceptible to the influence of intensive rainfall that exceeded the anticipated amount of rainfall. The flooding of underground space was never experienced before, and reminds the need of flood disaster prevention measures for underground space.



Photo. 6 Flooding of Underground Station

2.3 Features and lessons learned

(1) Features of urban disaster

1) Simultaneity and complexity

In addition to the damage of human lives and properties, complex disasters including city fire, slope failure, tsunami, flooding, lifeline damage, transportation damage, rumors, deteriorate of environment, and other disasters are developed simultaneously. And the form of disasters varies according to topographical conditions, ground conditions, and other unique features of regions.

2) Increase of human casualties

Highly concentrated populations tend to cause an extremely increase of human casualties. Extensive rescue and medical treatment activities are required. Also numbers of emergency facilities for medical treatment and evacuation are needed.

3) Influence to socio-economic activities

Socio-economic activities in urban regions are highly dependent on infrastructures including lifeline facilities, transportation facilities, information related facilities, etc. Once infrastructures lost their functions, serious repercussion may be induced. In the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, for example, disruption of expressway not only cause delayed evacuations, delayed restorations works and traffic congestions in the damaged region but indirectly affected nationwide socio-economic activities. And the damage of port facilities at Kobe not only cause loss of functions but also affected socio-economic status in neighbor countries through import/ export activities.

4) Chain-reaction and expansion of disaster

As a consequence of the highly interdependence of urban functions, primary damage may induce chain-reaction and cause the expansion of secondary damage. For example, urban functions are extremely dependent on electricity, failure of power station affects almost all the urban functions and socio-economic activities as the secondary damage.

5) Difficulty of disaster prediction

Due to the complex relationships between urban functions, damage that does not seem to be related with external natural force may be developed. And due to recently appeared new facilities and functions, unexpected new forms of damage may be developed. In the 1971 San Fernando Earthquake, for example, explosion of gas pipeline and falling-off of curtain walls in high-rise buildings were developed. In the 1978 Miyagi-ken-oki Earthquake, more than half of the fatalities were induced by the collapse of block walls. In the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, malfunctions of fire hydrants prevented

firefighters from halting the spread of city fires, and the damage of gas stations help leaving many vehicles abandoned on city streets.

(2) Lessons learned from urban disasters

1) Importance of disaster mitigation planning

Although frequency of large-scale urban disasters is quite low, disaster potentials is extremely high. For promoting countermeasures and securing safety of urban regions against such kind of "low frequency and high influence" disasters, it is quite important to develop appropriate disaster mitigation plans that include risk management measures for damage prevention and crisis management measures for minimizing disaster influences by urgent response works. Also construction of infrastructures must balance the pursuit of advanced functions with consideration of their safety and roles during disasters.

2) Assessment of growing susceptibility

It is essential to carefully study the credible external natural force, and evaluate susceptibility of urban regions. Susceptibility must be appropriately evaluated from the following viewpoints;

a) Distribution and attribute of population:

As the population concentrate to the urban regions, disaster potential increases. As the population increases, residents with various attributes also increase, i.e. elderly, handicapped, foreigners, and infants. As the population increases, relationship in community is likely decline and residents with little experience of disasters are increase. Housing problem enforce long distance commute, and induce huge population gap between daytime and nighttime. Depending on the time disaster occurs, human casualties due to panic and traffic accidents may extensively increase.

b) New facilities/ functions and chain-reactions:

As new facilities/ functions increase, new form of damage and propagation of disaster due to chain-reaction are likely developed. It is therefore essential to evaluate disaster susceptibilities by understanding vulnerability of facilities/ functions and their relationships.

c) Spread of residential districts:

Accompanied with the spread of residential districts, residents living in risky districts from disasters are increasing. Districts with extremely high concentration of wooden dwellings have risk from city fire. Districts along steep slopes have risk from slope failure. Districts with low elevation have risk from flooding and tsunami. And districts formed in reclaimed land have risk from ground liquefaction.

d) Advanced use of urban space:

Accompanied with the lack of land, elevated structures have been constructed for utilizing urban space. Although these structures are necessary in urban regions, vulnerability and risk from disasters must be carefully studied. For example, High-rise buildings have risk from fire, underground facilities including arcade and stations have difficulty in emergency evacuation, and elevated railways and viaducts have risk from earthquakes.

e) Hazardous plants and materials:

As the urban functions concentrated, hazardous plants and materials to sustain urban activities are required. These plants and materials include energy production plants, pharmaceutical and chemical plants, gas storage tanks, petroleum supply bases, gas stations, etc. These plants and materials have risk from explosions and serious environmental problems.

3. DISASTER PREVENTION MEASURES

3.1 Basic concept

The "Disaster Countermeasures Basic Act" was enacted in Nov. 1961 in response to a large-scale disaster caused by the 1959 Ise-wan Typhoon. The Act established the framework for disaster prevention measures in order to protect human lives and properties from external natural forces including earthquakes, tsunamis, windstorms, intensive rainfalls, landslides, floods, high tides, volcanic eruptions, heavy snows, etc. **Figure 4** shows the relationship between disaster prevention plans prepared for national level, Prefectural level, municipal level and citizens' level.

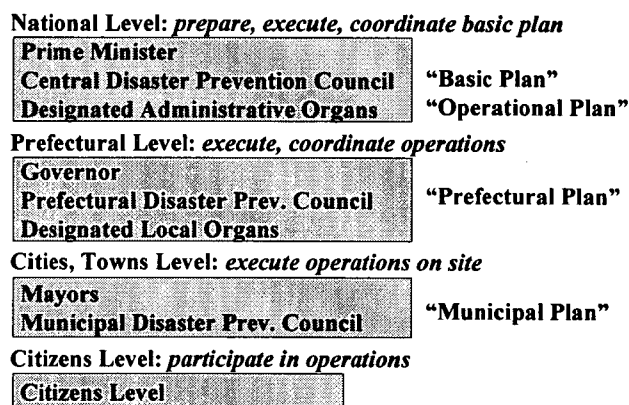


Fig. 4 "Basic Plans for Disaster Prevention" in Japan

Here, the disaster prevention plan was revised following the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Although disaster countermeasures have been implemented to protect human lives and properties from anticipated natural external forces, the concept of crisis management to minimize the disaster influence was additionally introduced. This is because we must recognize technical difficulties to predict a maximum limit of external

natural forces, and technical/ financial difficulties to completely protect facilities/ functions from damages against catastrophic levels of external natural forces.

3.2 Earthquake disasters

(1) Basic concept for disaster prevention

Although a mechanism of earthquake occurrence have been investigated, it is technically difficult to predict the maximum scale, accurate location and time of earthquakes. And it is financially/ technically unrealistic to attempt protecting facilities/ functions from damage considering catastrophic levels of external earthquake force. In the "Basic Plan for Disaster Prevention" described above, basic concept for preventing damage of structures/ facilities is described as follows (Table 1):

Table 1 Basic Concept for Preventing Damage

		Earthquake Motions	
		Ordinary Motion once or twice during lifecycle	Extremely Strong Motion very low probability during lifecycle
Importance	Ordinary Structures	Significant Loss of Functions must be Prevented	Threat to Human Lives Must be Prevented
	Important Structures		Significant Influence To Urgent Activities and Social Activities Must be Prevented

1) External earthquake forces

Two levels of earthquake motions must be considered in the seismic design of structure/ facility. The first level is ordinary motion that has certain probability to strike structure/ facility once or twice during its lifecycle. The second level is extremely strong motion that has very low probability to strike structure/ facility during its

lifecycle. The second level of motion includes that generated by interplate earthquakes in the ocean, and that generated by earthquakes due to inland faults.

2) Requirement of safety

Significant loss of functions must be prevented against the first level of ordinary earthquake motion. And serious threat to human lives must be prevented against the second level of extremely strong earthquake motion. In addition, sufficient seismic safety must be provided to structure/ facility that failure of function affect significant influence to urgent response activities and socio-economic activities. The amount of safety must be determined by considering importance of each structure/ facility.

For securing safety of structure/ facility, other than the individual seismic design, it is also important to secure function of systems by increasing system redundancy and providing alternatives.

(2) Disaster mitigation measures

After the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, the Ministry of Construction compiled the "Concept of Urban Planning emphasizing on Seismic Safety". Based on the concept, disaster mitigation measures have been promoted. In addition to the seismic design/ retrofitting of infrastructures/ buildings, following principal policies have been strongly focused.

1) Reduction of vulnerability

The policy includes the reconstruction of vulnerable districts with high concentration of wooden dwellings, establishment of disaster proofing zones, and distribution of open spaces to prevent the spread of city fire.

2) Improvement of core public facilities

For securing urban functions for evacuation, fire fighting and emergency transportations, the policy enforcing implementations of the evacuation route network, emergency transportation route network;

3) Upgrading safety of lifeline facilities

The policy includes construction of common utility ducts accommodating water, gas, electricity, telephone and other pipelines, providing backup water sources needed for fire fighting and daily lives, and improving information systems to collect, analyze, disseminate disaster information.

(3) Technological development

The Public Works Research Institute has been promoting R&Ds for the urban earthquake disaster mitigation. Followings are the principal research themes.

1) Technologies for disaster prevention

- Preparation of seismic hazard map taking effects of inland faults into account
- Evaluation of emergency transportation route seismic performance

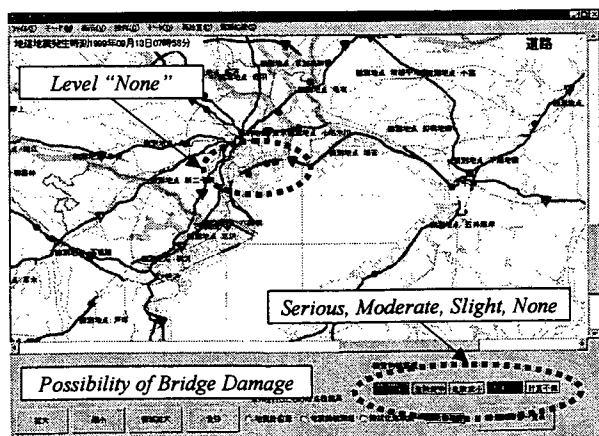


Fig.5 Urgent Damage Estimation Technology
(Highway Bridge Damage)

2) Technologies for crisis management

- Urgent damage estimation using ground motion

observation network (Figure 5)

- Urgent damage detection using advanced information technologies including satellite image and sensors

3.3 Flood disasters

(1) Basic concept for disaster prevention

Conventional measures have been promoted in order to prevent flood-induced damage against anticipated level of rainfalls. Although the frequency of flood disasters has been reduced, the scale of disasters has tended to increase due to the urbanization. The basic concept of flood disaster prevention becomes, therefore, an appropriate control of the relationship between intensive rainfall and induced damage. Based on this basic concept, comprehensive flood disaster mitigation measures are needed in order to create watershed systems where intensive rainfall does not significantly affect the socio-economic activities.

1) External natural force

Relationship between anticipated intensive rainfalls and induced damage in the existing watershed must be carefully studied. Anticipated form, scale and influence of flood disaster must be studied considering past disaster experiences, changes of watershed and safety of related facilities.

2) Requirement of safety

Requirement of the flood frequency reduction and flood-induced damage reduction must be studied considering above described relationships in each watershed. Combination of disaster mitigation facilities must be carefully selected considering the reliability/ deterioration and cost/ effect/ limitation of facilities.

(2) Disaster mitigation measures

for the effective evacuation activity

These include river course improvement, levees, diversion channels, dams, retarding basins, drainage pumping stations, high tide levees, etc.

These include super levees, forest zones, double levees, emergency drainage gates, and land side channel networks.

These include the conservation of water retention/retarding functions by constructing storage/infiltration facilities in the watershed, and the control of woody debris and harmful sediment by constructing sediment dams.

This approach includes the management of land use, and the promoting of flood-proofing city planning.

This approach includes improvement of urgent warning, dissemination of hazard map, improvement of evacuation by education/ drills.

Followings are principal research themes conducted by the Public Works Research Institute for flood disaster mitigation.

- Preparation of flood hazard map for displaying distribution of risks in each watershed (**Figure 6**)

- Pre-disaster dissemination of flood information for the awareness/ education of residents

- Post-disaster dissemination of flood information

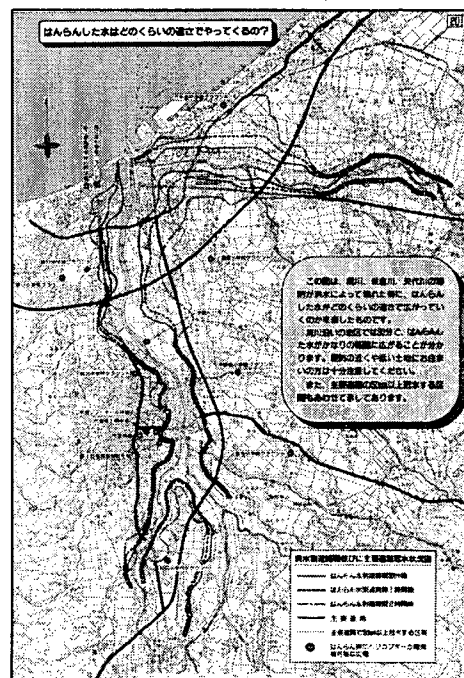


Fig. 6 Flood Hazard Map

4. CONCLUDING REMARKS

This report reexamines past earthquake and flood disasters to study the changes, features and lessons of urban disasters. This report also introduced the basic concept, policy measures and technological development for the urban disaster mitigation in Japan.

Features of urban disaster can be summarized as follows:

- 1) Highly concentrated population and properties tend to cause an extremely increase of human casualties and structural damages.
- 2) Once urban infrastructures lost their functions, serious repercussions to socio-economic activities are developed. As the consequence of highly interdependence of urban functions, primary damage induces chain-reaction and

causes the expansion of secondary damage in and around the damaged region.

- 3) Accompanied with newly appeared urban facilities/ functions and the chain-reaction effects, unexpected forms of damage tend to be developed.

Lessons learned from past urban disasters can be summarized as follows;

- 1) For securing safety against "low frequency and high influence" urban disasters, it is essential to develop appropriate disaster mitigation plans that include risk management measures for damage prevention and crisis management measures for minimizing damage influence. It is also essential to disseminate appropriate disaster information to public for the better awareness and education.
- 2) It is essential to assess the susceptibility of existing urban regions. Viewpoints include distribution and attribute of population, newly appeared facilities/ functions, chain-reactions, spread of residential districts, advanced use of urban space, and distribution of hazardous plants and materials.

REFERENCES

- 1) PWRI: Report on disaster caused by the 1964 Niigata Earthquake, report of PWRI, vol. 125, 1965.6
- 2) PWRI: Report on disaster caused by the 1978 Miyagi-ken-oki Earthquake, report of PWRI, vol. 159, 1983.3
- 3) PWRI: Report on disaster caused by the 1983 Nihonkai-chubu Earthquake, report of PWRI, vol. 165, 1985.3
- 4) Earthquake Engineering Division of PWRI: Report on disaster caused by 1982 Intensive Rainfall in Nagasaki Pref., technical memorandum of PWRI, vol. 2417, 1986.11
- 5) PWRI: Report on disaster caused by 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, report of PWRI, vol. 196, 1996.3
- 6) Central Disaster Prevention Council: Basic Plans for Disaster Prevention, 1997.6
- 7) Ministry of Construction: Concept of Urban Planning emphasizing on Seismic Safety, 1995.4

第2回リアルタイム地震防災シンポジウム
(平成12年5月18日～19日・東京都港区)

道路・河川管理に向けた地震防災情報システム

道路・河川管理に向けた地震防災情報システム

杉田 秀樹¹、野崎 智文²

¹ 正会員 工博 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課長（〒3050804 茨城県つくば市旭1番地）

² 正会員 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課（現 道路局企画課道路防災対策室）

道路・河川等公共土木施設の地震被害は、施設自体の機能低下を通じて被災地域内外の復旧活動や経済活動に大きな影響を与える。地震直後に被災施設や被災程度をいかに迅速に把握できるかは、震災対策組織の初期活動の成否に極めて重要であることから、建設省ではこれまでに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、即時被害予測システムの開発等を実施してきた。一方、建設省では平成11年度より総合技術開発プロジェクト“先端技術を活用した国土管理技術の開発”を開始し、国土管理の視点から地震時の危機管理を高度化するための総合的な地震防災情報システムの開発に取り組んでいる所である。

本文は、リアルタイム地震防災の今後を展望する視点から、道路・河川施設の震災対策活動に必要なとされる地震防災情報システムの枠組について考察するものである。本文には、システム整備の基本的考え方、対策活動に即したシステムの要求条件、及び、システムに活用可能な要素技術が含まれる。

Key Words: earthquake, disaster prevention, information system, river facility, road facility

1. はじめに

近年の大規模災害や環境問題を背景に、適切な国土管理の重要性が指摘されている。社会資本の中でも社会活動を支える道路・河川等の公共土木施設は、施設整備だけでなく現状把握、分析、計画を含めて総合的な管理の高度化が求められている。建設省では、平成11年度より5箇年計画で総合技術開発プロジェクト“先端技術を活用した国土管理技術の開発”を開始し、施設管理を支援する各種情報技術の利活用について検討を進めている。

公共土木施設に焦点をあてた場合、国土管理の概念は、各種ミッションを達成するためのタスク（現状把握、分析、計画、実行）の総称と捉えることができる（図1参照）。公共土木施設が担うミッションには、例えば地域活動の活性化、良質な生活環境の形成、維持・管理の効率化、国民の安全・安心の確保が含まれ、地震防災は安全確保の一環として位置付けられる。

地震防災情報システムは、地震災害に対する震災対策組織の対策活動を支援するための情報技術の総称である（図2参照）。道路・河川施設の対策活動は、施設被害の発生を未然に防止するとともに、

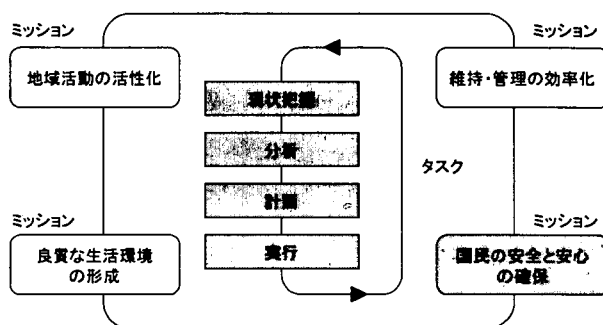


図1 公共土木施設に係る国土管理の概念

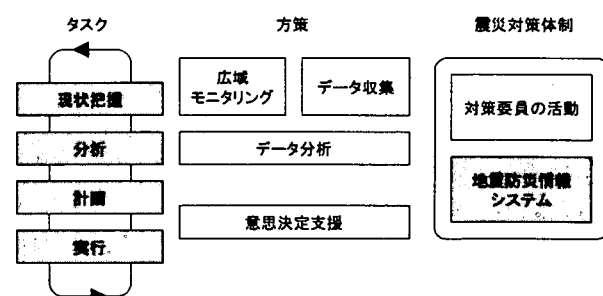


図2 地震防災情報システムの位置付け

施設被害が生じた場合には影響の拡大防止措置を講じ、可能な限り速やかな復旧に努めることを主眼とする。対策活動においては大量かつ多様な情報を扱う必要があるため、地震防災情報システムには広域モニタリング、データ収集、データ分析、意思決定支援等の機能が要求される。

建設省では、地震発生直後に被災状況を迅速に把握するため、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、即時被害予測システムの開発等を進めてきた。これら情報技術は、地震防災情報システムに要求される機能のうち、主として広域モニタリングに焦点をあてたものである。阪神淡路大震災以降、大規模な地震災害を経験していないが、震災対策上最も重要な局面である地震発生直後の初期対応（リアルタイム地震防災）を高度化できると期待される。

しかしながら、阪神淡路大震災を契機として震災対策組織への情報技術の導入が進む一方で、地震防災情報システムを具体的に整備・運用するための課題が指摘されている。

- 1) 情報の整合性：複数の震災対策組織で同種のデータベースを保有し、相互に整合しない場合がある。
- 2) システムの構造：ホストコンピュータを主体とした巨大システムでは、技術の進捗に合せた部分的な機能更新・機能追加が困難な場合がある。
- 3) 先端技術の導入：衛星画像・地理情報システム等先端技術の対策活動に対する費用対効果や具体的な導入手続きが不透明である。
- 4) 震前・震後を通じた総合支援：平常時の震前対策を含めて、震災対策組織が行う緊急調査、応急措置、復旧・復興に連続的に利用できるシステムが必要。
- 5) システムへの習熟：国土管理の他分野との供用や震前対策への利用を通じて、平常時からシステム操作に習熟しておくことが重要。

建設省土木研究所では、上記の課題を踏まえて、道路・河川管理を行う震災対策組織が地震防災情報システムを整備・拡充する際の参考事項を「地震防災情報システム整備マニュアル（案）」として整理した。本文は、リアルタイム地震防災の今後を展望する視点から、道路・河川施設の震災対策活動に必要とされる地震防災情報システムの枠組と技術動向を考察するものである。

2. 基本的考え方

(1) “目的指向”のシステム整備

地震防災情報システムの整備に際しては、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主体として捉えるのではなく、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。具体的には、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分析
- 2) 対策活動で扱われる情報の分析
- 3) 情報処理を高度化するために地震防災情報システムに要求される機能の整理

道路・河川等の公共土木施設を所管する震災対策組織の対策活動を数段階に区分し、扱われる情報と情報処理を高度化するための機能を整理した例を第3章に示す。また、機能を実現するために現状で利用可能な要素技術を第4章に示す。

(2) システム構造の柔軟性

地震防災システムには、地震動の観測、施設被害の検知、組織内外の情報連絡等様々な機能が含まれる。また、機能を実現するハードウェア/ソフトウェア技術も急速に進んでおり、短期間で既存技術が陳腐化することも多い。このため、システム構造を固定されたハードウェア/ソフトウェアと考えるのではなく、様々な機能を有する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、地震防災情報システムが扱う多種多様な情報は、効率的に蓄積・活用でき、また、関連部署間で共有可能な形式で管理する必要がある。

情報共有を実現するためのシステム構造としては、まず図3に示す構造が考えられる。地震防災情報システムのためのサーバが情報と機能を保有するもので、各クライアントはサーバの機能を利用して情報を入手できる。現状のハードウェア/ソフトウェア技術を利用して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・機能追加の柔軟性は大型ホストシステムと変わらない。

一方、図4には情報と機能を分散したシステム

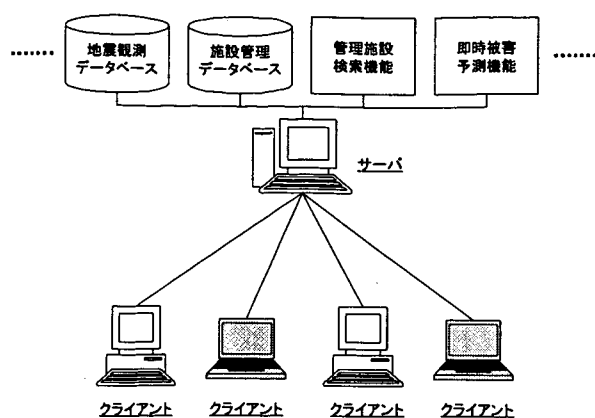


図3 サーバに機能と情報が集中したシステム構造

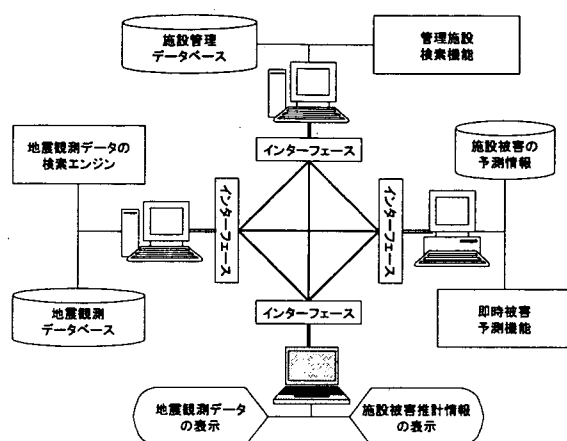


図4 機能と情報を分散したシステム構造

構造を示す。情報と機能は個別システムで扱われ、定められたインターフェースを介して相互に交換される。例えば、即時被害予測機能を有するサーバは地震計データベースや施設管理データベースから必要な情報を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ることも可能である。この場合各サーバに蓄積される情報は形式を問わないが、情報を交換するためのインターフェースを以下の方法で統一／明示する必要がある。

- 1) 同一のアプリケーションを用いる方法
- 2) 情報の構造等を共通化する方法（図5参照）

(3) 平常時利用

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、地震防災情報システムが扱う情報には平常時から入力・蓄積・管理されるべ

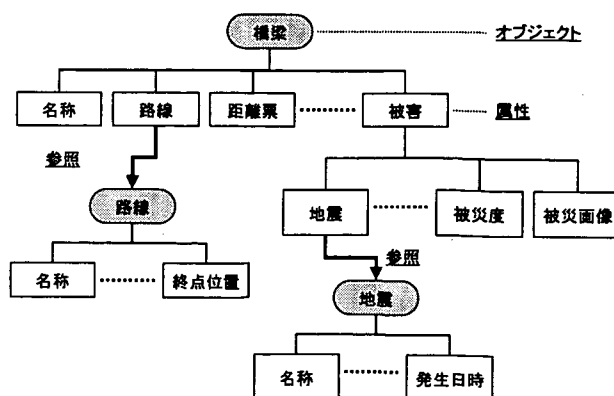


図5 震災情報の構造化の例

きものが多いため、平常時の施設管理や施工管理に利用する情報システムと機能・情報を共有・連携させることが望ましい。特に地震防災情報システムが持つ機能の中で平常時の施設管理を効率化する機能（緊急輸送路網の健全度評価を道路改築計画に用いるなど）については積極的な検討が必要である。

一方、地震防災情報システムには、対策活動においてのみ利用される機能も含まれる。このような機能については、防災訓練や小規模地震時の対応を通じてシステム利用の習熟を図る必要がある。

3. 対策活動に即した要求機能

(1) 一般

地震防災情報システムの整備に際しては、対策活動の内容と扱われる情報を分析し、情報を必要な精度・タイミングで扱うための要求機能を整理する必要がある。ここでは、道路・河川施設を管理する一般的な震災対策組織を対象に、地震防災情報システムの要求機能を考察する。

(2) 対策活動の段階区分

震災対策組織の対策活動を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。

- 1) 緊急対応段階：地震発生直後に施設被害の概略を迅速に把握し対応方針を定める。また、二次災害の発生可能性に基づき、必要に応じて緊急措置を行う。
- 2) 応急復旧段階：個別施設の被災状況を把握し、応急復旧の必要性、優先順位、応急復旧水準を定め、応急復旧を実施する。

3) 本復旧段階：施設の重要性、復旧の難易度、施設の将来計画を考慮して本復旧水準を定め、地域の復興計画を考慮して本復旧を実施する。

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も対策活動である。支援活動には対策要員の安否確認や資機材管理等が含まれ、体制の起動から解除まで継続的に必要とされる。

(3) 各段階区分で扱う情報と要求機能

震災対策組織が行う対策活動、活動に必要な情報、及び、地震防災情報システムに要求される機能を、各段階区分毎に示すと表1の通りである。

表1 対策活動で扱う情報と要求機能

(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	地震／広域状況把握機能[4.3.1-4.3.5]
	緊急調査活動状況	地上活動支援機能[4.3.4]
	施設被害情報	地上活動支援機能、広域状況把握機能[4.3.4.4.3.5]
	周辺状況	地上活動支援機能、広域状況把握機能[4.3.4.4.3.5]
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、対応水準	意思決定支援機能[4.6.1-4.6.3]
緊急措置	緊急措置状況	地上活動支援機能[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]
	応急調査活動状況	地上活動支援機能、広域状況把握機能[4.3.4.4.3.5]
	施設被害情報	地上活動支援機能、広域状況把握機能[4.3.4.4.3.5]
	周辺状況	地上活動支援機能、広域状況把握機能[4.3.4.4.3.5]
	関連機関情報	情報交換機能[4.4.3]
応急復旧方針検討	資機材備蓄情報	情報管理機能[4.4.2]
	優先順位、復旧水準	意思決定支援機能[4.6.1-4.6.3]
	応急復旧状況	地上活動支援機能[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]
	本復旧調査活動状況	地上活動支援機能[4.3.4]
	施設被害情報	地上活動支援機能[4.3.4]
	周辺状況	地上活動支援機能[4.3.4]
	関連機関情報	情報交換機能[4.4.3]
本復旧方針検討	資機材備蓄情報	情報管理機能[4.4.2]
	地域の計画に関する情報	情報交換機能[4.4.3]
	優先順位、復旧水準	意思決定支援機能[4.6.1-4.6.3]
	本復旧状況	地上活動支援機能[4.3.4]
本復旧	資機材備蓄情報	情報管理機能、情報交換機能[4.4.2.4.4.3]
(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
体制活動状況の明示・伝達	体制レベル情報	共通機能
	要員の安否・参集・配備状況	情報管理機能[4.4.2]
体制活動の拠点・設備の状況把握	建築施設の被災・修復状況	地上活動支援機能[4.3.4]
	電源・通信設備等の被災・稼働状況	地上活動支援機能[4.3.4]
体制活動支援物資の管理	物資備蓄・配備状況	情報管理機能[4.4.2]

1) 緊急対応段階では、体制の確立や緊急措置を可能な限り迅速に行う必要がある。このため、情報の精度よりも情報処理の迅速さが要求される。

2) 応急復旧段階では、緊急対応段階に比べて高い情

報精度が要求される。ただし、緊急輸送路確保や二次災害防止には迅速な情報処理が必要であり、精度と時間を比較勘案して適切な技術を選択する必要がある。

3) 本復旧段階では、迅速な情報処理よりも情報精度が要求される。施設の恒久復旧では、限られた時間とはいえ新設時と同様の情報分析が必要である。また当該施設が含まれる地域計画との整合を図るため、柔軟な情報交換機能が重要となる。

4. 活用可能な要素技術

(1) 一般

地震防災情報システムに要求される機能を実現するために、現状で利用可能な要素技術を整理すると図6の通りである。地震防災情報システムの整備・拡充に際しては、当該時点で最新の技術動向と導入に要するコストを勘案し、要求機能を満足できる要素技術の組合せを検討することが望ましい。

ここでは、要素技術のうち地震発生直後の緊急対応段階に関連する、共通基盤技術、現象把握技術、情報伝達技術を例示する。

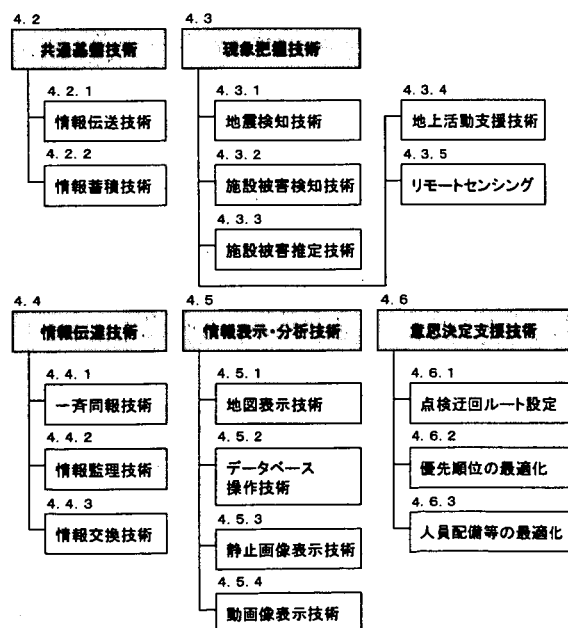


図6 要求機能を実現するために利用可能な要素技術

(2) 共通基盤技術

共通基盤技術には、情報伝送技術と情報蓄積技

術が含まれる。地震防災情報システムが扱う情報は、多くの場合電子化されたデジタル情報であり、震災対策組織や現場において収集された情報は何等かの方法で伝送・蓄積されるのが一般的である。また、共通基盤技術は地震防災情報システムだけでなく、他目的のシステムにも利用／共有される。

1) 情報伝送技術

情報伝送には、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。また、有線／無線回線には、一般回線と独自回線がある。情報電送技術の選択に際しては、各々が持つ伝送情報量、品質、リスクを考慮する必要がある（表2参照）。

名称	線種	A/D	通信速度	輻射の影響	通信規制	断線の危険性	導入コスト	維持コスト	サービス地域
一般公衆電話	有線	A	○:56Kbps	×	×	△	◎	◎	◎
ISDN	有線	D	○:64Kbps	×	×	△	○	◎	○
パケット通信	有線	D	◎:48~1.5Mbps	◎	○	△	△	△	△
携帯電話、PHS	無線	A/D	○:9.6~32Kbps	△	△	○	◎	○	◎
無線通信	無線	A/D	×	2.4Kbps	◎	◎	—	—	—
衛星通信	無線	D	×	2.4Kbps	◎	○	◎	—	—

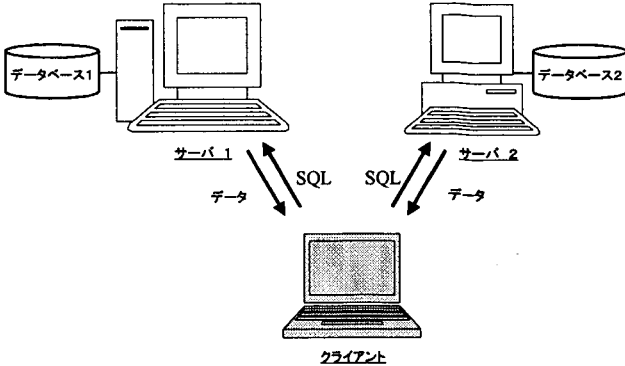
◎:優れている ○:普通 △:やや劣る ×:劣る

表2 主要な情報伝送技術の特徴

2) 情報蓄積技術

情報蓄積には、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。情報蓄積技術の選択に際しては、蓄積情報量、蓄積期間、リスクを考慮する必要がある。

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、検索等の情報操作が可能な形で蓄積

図7 SQLによる複数データベースの利用

する技術に、リレーショナルデータベース技術がある。SQL(structured query language)と呼ばれる共通化された方法により、異なるサーバ上で構築されたデータベースを、任意のクライアントが操作することが可能となる（図7参照）。

(3) 現象把握技術

現象把握技術には、地震現象の把握に関する技術、施設被害の把握に関する技術、施設被害の点検を支援する技術が含まれる。

1) 施設被害検知技術

施設被害検知技術は、管理施設に生じる変状をセンサー等で直接検出し、情報発信する技術である。道路・河川施設は広域に分布するため、長大橋梁など重要施設の被害を高精度で集中的に監視する方式と、精度は低くても多数の施設を広範囲で監視する方式を、コストと効率性を勘案して組合せることが望ましい。例えば、橋梁施設の被害検知に利用可

表3 橋梁施設の被害検知に利用可能なセンサー

測定項目	センサー	橋脚				道間の開き				路盤段差				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	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎	△	△	△	○	△	△
変位(3次元)	沈下計	○	△	△	△	△	△	△	△	◎	◎	△	△	△	○	△	△
	光波測距儀	◎	—	△	△	◎	—	△	△	◎	—	△	△	△	—	△	△
傾斜	GPS	◎	—	△	△	◎	—	△	△	◎	—	△	△	△	—	△	△
	傾斜計	—	—	△	△	—	—	△	△	—	—	△	△	—	—	△	△
ひずみ	ひずみ計	△	—	△	△	△	—	△	△	△	—	△	△	○	—	○	○
	鉄筋計	△	—	△	△	×	—	×	×	×	—	×	×	○	—	○	○
応力	コンクリート応力計	△	—	△	△	×	—	×	×	×	—	×	×	○	—	○	○
	土圧計	—	—	—	△	—	—	—	△	—	—	—	△	—	—	—	△
断続検知	ワイヤーセンサ	○				○				○				△			
変状検知	光ファイバーセンサ	○				○				○				△			
間接的検知	TV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 —:対象外

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8の通りである。

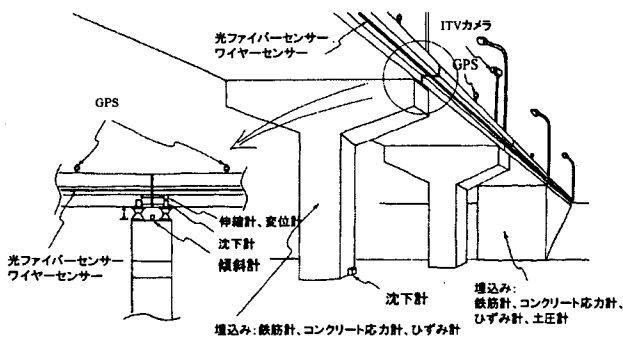


図8 橋梁施設へのセンサー設置イメージ

2) 施設被害推定技術

施設被害推定技術は、管理施設の被害を地震観測情報等を用いて間接的に推定する技術である。広域にわたって施設被害検知技術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。地震観測情報から施設被害の可能性をある程度推定することは可能であるが、必ずしも管理施設の近傍で地震観測情報が得られるとは限らず、また、同程度の地震動強度でも構造特性により被害程度が異なる可能性があることに注意を要する。

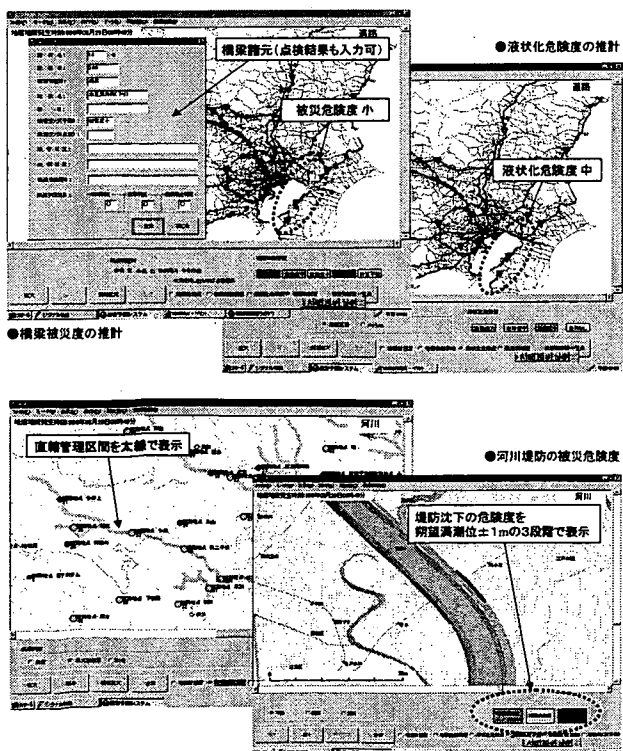


図9 道路・河川施設の即時被害予測システム

地震観測情報に基づく施設被害推定の仕組みは、既に多くの地方公共団体やライフライン機関等で導入が進められている。例えば、建設省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)を図9に示す。

3) リモートセンシングによる被害状況把握技術

上空からの被害情報把握技術には、リモートセンシング画像の分析技術と、プラットフォームの位置を特定する技術が含まれる。上空からの被害状況把握は、地上点検に比べて広域性と迅速性に優れており、施設被害の程度が大きい場合には地上点検と同程度の情報精度が得られる場合もある。

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して表4に示す。また、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模擬的にシミュレートした結果を図10に示す。

表4 リモートセンシングによる被害状況検知の特徴

(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

(b) 航空機と衛星の長所と短所

	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	高度が低いため、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。

(4) 情報伝達技術

地震防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

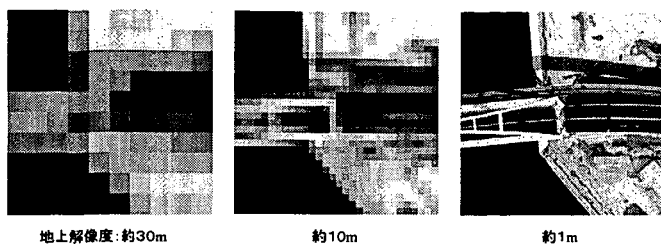


図10 高解像度衛星画像のシミュレーション
(阪神高速湾岸線西宮港大橋の落橋現場)

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。

特に大規模な地震の場合、地震後の混乱を軽減して効率的な対策活動を実施するために、国・自治体・ライフライン機関等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行う際には、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、一部の情報を組織内と同様の方法で共通化しておきネットワーク技術を用いて共有化する方法と、共有化は行わず電話・電子メール等で不定形情報を伝送する方法がある。

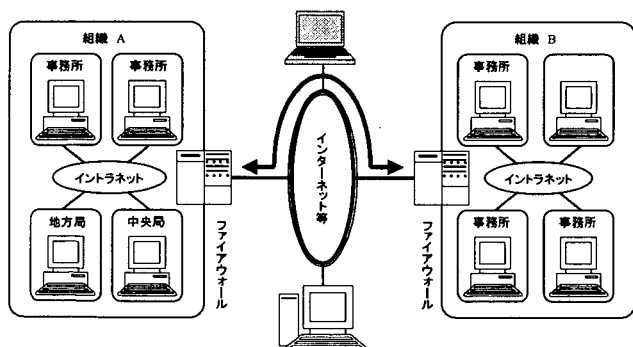


図11 エクストラネットによる相互アクセス

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。

5. まとめ

本文では、リアルタイム地震防災の今後を展望する視点から、道路・河川施設の震災対策活動に必要とされる地震防災情報システムの枠組を考察し、システム整備の基本的方向を整理した。

1) 地震防災情報システムの整備に際しては、対策活動の内容と扱われる情報を分析し、“目的指向”の視点からシステムの要求機能を定めることが合理的である。道路・河川施設等震災時の緊急活動を支える公共土木施設では、地震発生直後の初期対応が重要であるが、地震防災情報システムでは初期対応に重点を置きつつ、震前対策・緊急対応・応急復旧・本復旧段階における対策活動を連続的に支援できることが望ましい。

2) 地震防災情報システムには、情報収集/分析/管理に係る多様な機能が要求される。また、機能を実現する情報技術の進捗に応じて部分的な機能更新や機能追加が要求される場合が多い。このため、地震防災情報システムを多様な機能を持つ小規模システムが連携した分散型システムとして捉え、システム構造の柔軟性を確保することが重要である。また、分散型システムの運用に際しては、震災対策組織内外での情報共有、及び、セキュリティ確保に留意する必要がある。

3) 地震防災情報システムが扱う情報には、平常時から入力/蓄積/管理されるべきものが多い。このため、平常時の施設管理や施行管理に向けたシステムと機能・情報の共有・連携を図ることが望ましい。また、震災対策活動にのみ利用される機能については、防災訓練等を通じてシステム利用の習熟を図る必要がある。

4) 地震防災情報システムに利用可能な技術の中で、衛星画像を用いた被害状況把握技術は、地震発生直後の初期対応を一層効率化できる可能性がある。主として国土管理の多分野において研究開発がなされてきた当該技術を、震災対策活動に導入する際には、現状の技術水準で施設被害がどの程度の情報精度・タイミングで把握可能かを調べるとともに、震

災対策の観点からプラットフォームやセンサーの
要求性能を明らかにすることが重要である。

参考文献

- 1) 杉田秀樹：道路及び河川施設における地震防災システムの現状、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集、土木学会地震工学委員会、リアルタイム地震防災小委員会、1999.1
- 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) 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、1992.3
- 4) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編、震後対策編、震災復旧編）、1988.2
- 5) 建設省：震災に強いまちづくり構想、1995.4
- 6) 建設省土木研究所：平成7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

土木学会第 55 回年次学術講演会
(平成 12 年 9 月 21 日～23 日・宮城県仙台市)

幹線系道路の信頼性評価に関する検討

幹線系道路の信頼性評価に関する検討

建設省土木研究所 正会員 杉田 秀樹
建設省土木研究所 正会員 大谷 康史

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震においては市街地に甚大な被害が発生し、その教訓から、各地で災害に強いまちづくりが進められている。まちの防災評価を行うにあたっては、図1に示すように地区内の街路はもとより、地区と防災拠点をつなぐ幹線系道路まで視野に含めた検討が必要である。本研究は、災害時に救急・救護・広域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を開発するものである。本報告では、信頼性評価手法のモジュールの内、「幹線系道路の障害危険度評価モジュール」に資することを目的として行った道路機能障害実態調査を報告する。

2. 信頼性評価の枠組み

本研究は、各自治体が想定している地震が発生した場合に、まちの幹線系道路の交通状況を予測し、道路管理者の防災対策の判断材料にするとともに、住民にまちの実態を震災前に理解してもらうことにより、地震時の被害の軽減を目的とするものである。図2に評価の全体フローを示す。この全体フローに従い、地域の被害想定等に基づいて地震時の交通状況を予測し、幹線系道路を利用した各種緊急活動の安全性を事前評価するための方法論を構築する。この中で、特に重要なモジュールは以下の3つである。

(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手法。

(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手法。

(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、緊急活動に伴う交通需要及び背景交通需要を評価時期に応じたネットワーク配分を行いシミュレートする手法¹²⁾。

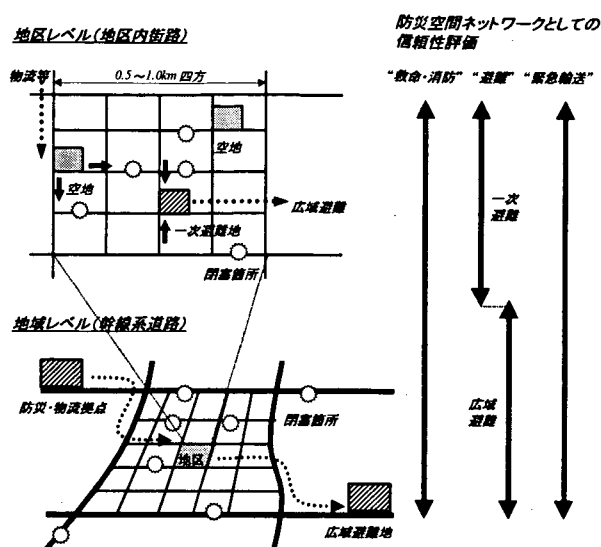


図1 研究の目標

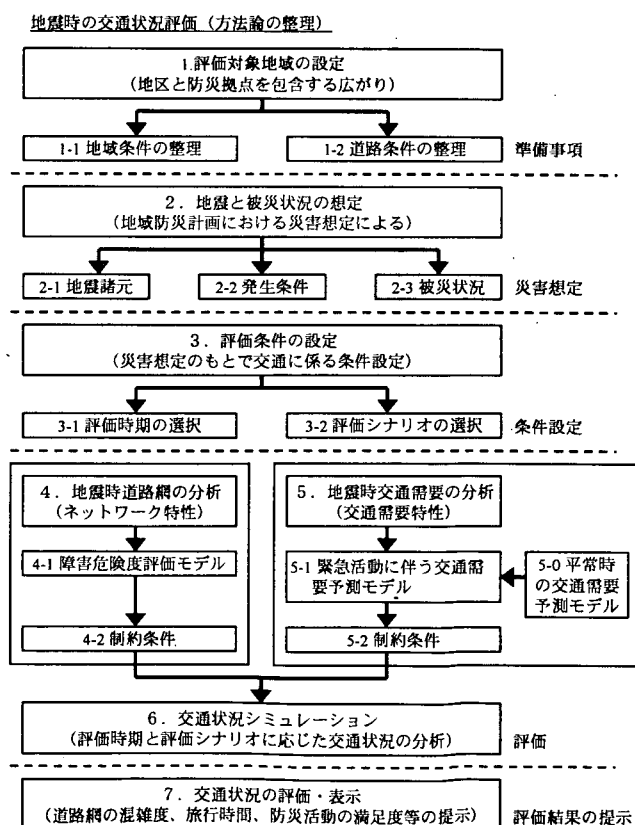


図2 評価手法の全体フロー

キーワード：地震、都市防災、耐震性、道路ネットワーク、震災事例、評価手法

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地(TEL)0298-64-2211 (FAX)0298-64-0598

3. 幹線系道路の障害危険度評価の検討

幹線系道路における被災の実態データを収集するために、1995年の兵庫県南部地震による被災地域の道路管理者を対象に、ヒアリング調査を実施した。道路管理者が行う通行規制の原因となった道路機能障害について、図3に示す。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つに分類している。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。また、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、重要な要素であることがわかる。

図4は、既往地震を(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種類に分類した上で、通行規制をもたらした道路機能障害の時間経過に伴う減少について比較して示したものである。山間部の地震においては、土石関連被害が多いため、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。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に着目すると、施設被害件数や被害程度が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日以上要することがわかる。

4. まとめ

(1) 本報告では、幹線系道路の信頼性評価の枠組み、および主要なモジュールの構成を報告した。

(2) 幹線系道路の機能障害の要因について、ヒアリング結果を示し、路面・付帯設備被害が最も大きな要因であること、土石関連被害は生じた場合に復旧に時間を要すること、幹線系道路においても沿道・占用施設被害が重要な要素であることを明らかにした。

最後に、本検討に対しては、(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)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：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
- 2) 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

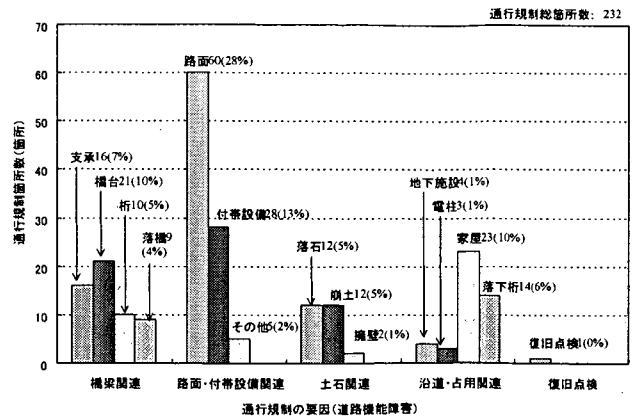
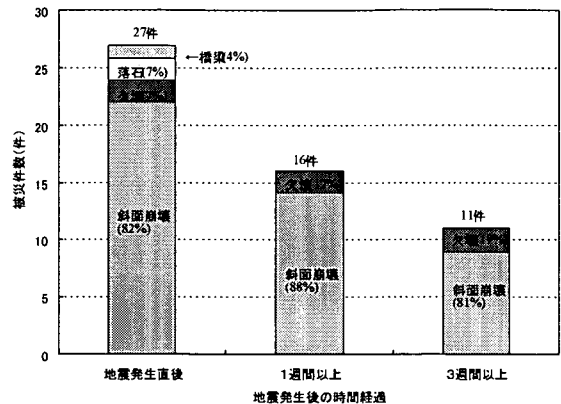
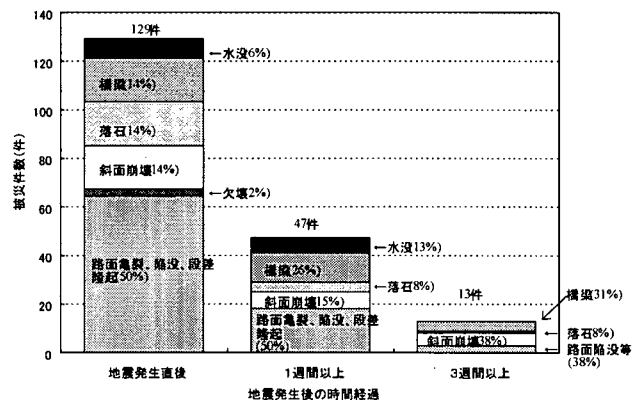


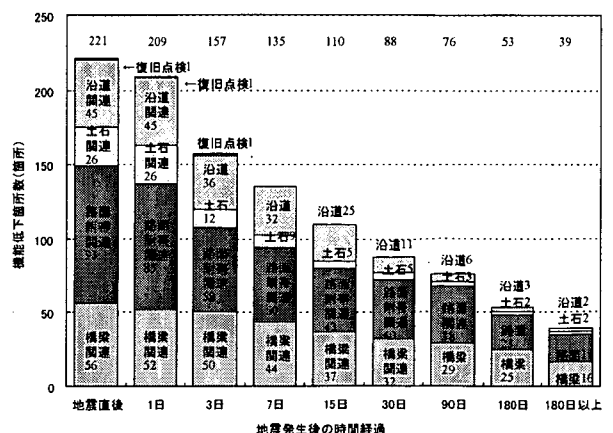
図3 通行規制をもたらした機能障害



(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4 通行規制をもたらす道路機能障害の時間変化

土木学会第 55 回年次学術講演会
(平成 12 年 9 月 21 日～23 日・宮城県仙台市)

道路ネットワーク耐震性評価指標を用いたケーススタディ

道路ネットワーク耐震性評価指標を用いたケーススタディ

建設省土木研究所 正会員 野崎 智文
建設省土木研究所 正会員 杉田 秀樹
建設省土木研究所 真田 晃宏

1. はじめに

道路の耐震性は、個々の構造物の耐震性のみでなく、地震後における道路網全体としての機能として評価されるべきである。地震時の道路網の機能は、ゾーン間のトポロジカルな接続性や所要時間、被災後のネットワークの容量、地震後の交通状況推計に基づく総走行時間等の指標によって評価される試みがある。しかしながら、これらの手法は理論面での検討が中心であるか、複雑な計算手法を要求するものが多い。本研究では、現在用いられている一般的な手法を用いて道路ネットワークとしての耐震性を評価する手法を実際の地域に適用し、ネットワーク内の路線・区間の重要性、補強パターンの有効性等を評価しようとするものである。

2. 道路ネットワーク耐震性評価指標の考え方

本研究の道路ネットワーク耐震性評価においては、対象を地震発生後の緊急輸送活動とし、ゾーン間の緊急輸送交通の旅行時間に応じて変化する緊急輸送活動の効果量を集計した総効果量より耐震性指標 SP を計算する (図1)。

$$SP^k = \frac{\sum_i \sum_j \sum_r E^k(t_{ijr}) T_{ijr}}{\sum_i \sum_j \sum_r T_{ijr}} \quad (1)$$

ここで、 t_{ijr} 、 T_{ijr} ：地震発生後におけるゾーン ij 間のルート r 沿いの旅行時間と交通量、 $E^k(t)$ ：旅行時間 t に対応する目的 k の緊急輸送交通 1 台あたりの効果量。緊急輸送活動は救急、消防等の活動であり、避難、見舞い、通勤といった目的の背景交通とは区別される。緊急輸送交通の走行は、ネットワークの被災による迂回や背景交通による渋滞の影響を受ける。 SP はネットワークの被災状況を所与として計算されるが、事前の耐震補強や地震後の交通規制パターンによって被災状況および交通状況は変化し、異なる値の SP が得られる。耐震補強や交通規制のパターンごとの SP を比較することによって、これらの対策の効果を比較検討することができる。

3. ケーススタディ設定

ケーススタディ地域は静岡県とし、耐震性評価は静岡市内の救急輸送について計算する。背景交通は静岡県全域各ゾーン間を行き来し、その影響を受ける道路交通状況のもとに静岡市内の消防拠点 (13 箇所)、被災各ゾーン (24 の B ゾーン)、病院拠点 (19 箇所、診療所を除く) の間の緊急輸送活動の効果量を

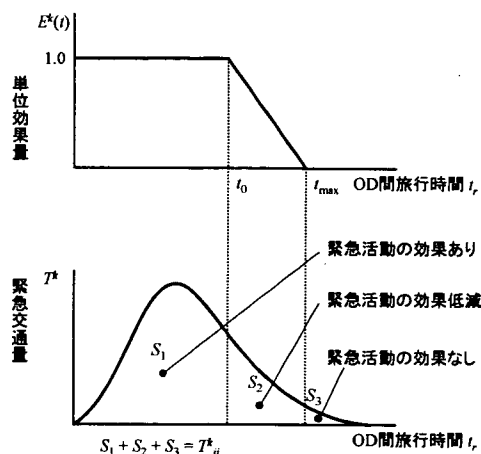


図1 道路ネットワーク耐震性の考え方



図2 ケーススタディ設定 (静岡市内の道路ネットワーク)

キーワード：地震，防災，道路，耐震性

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 (TEL)0298-64-2211 (FAX)0298-64-0598

計算し、指標とする。道路ネットワークに対する被害設定は以下のようなシナリオを考えた。

シナリオ A 東名の市内オーバースの部分において東名と一般道が通行不可

シナリオ B 静清 BP のオーバースの部分において静清 BP と一般道が通行不可

これらのシナリオは想定被害ではなく、各路線等の重要性を確認するために設定したシナリオである。このうち、シナリオ A、B における通行不可能リンクを図

2 に示す。図中●は消防拠点、○は病院（診療所を除く）であり、このほか負傷者が発生する被災地（B ゾーン）のセントロイドを設定している。なお、救急輸送に関する図 1 の単位効果量関数のパラメータは、心肺停止時間と蘇生率の関係（ドリンカー曲線）に基づき、蘇生率が 0% となる 10 分を t_0 とした。また t_{max} についてはその 3 倍の 30 分とした。

4. ケーススタディ結果

シナリオ A、B の静岡市内の緊急輸送交通の旅行時間別頻度分布を図 3 に示す。この場合の旅行時間は、消防署拠点～被災地～病院拠点の旅行時間である。ここで、「目的地固定」では被災地から向かう病院拠点の選択を平常時のネットワーク・旅行時間に基づいて決定し、「目的地変動」とはこの選択を被災後のネットワーク・旅行時間に基づいて決定する。被災した場合、平常時に比べて旅行時間が全般的に長い方へシフトしている状態がわかる。

二つのシナリオについて耐震性評価指標を計算した結果を図 4 に示す。図 3 では旅行時間の頻度分布で表されていたものが、ネットワークの被災パターンごとに一つの数値 SP として表されている。また図中には、背景交通の一台あたり平均旅行時間 $TTPV$ も示している。シナリオ A、B の比較より、東名高速断面の方が静清 BP 断面よりも緊急輸送活動に与える影響が大きいことがわかる。また、行き先固定よりも行き先変動の方が SP が大きくなることから、地震後の被災状況、交通状況に基づいて緊急輸送活動を行うことが重要であることがわかる。

5. おわりに

これまで筆者らは本手法を簡単なモデルネットワークに適用して試算を行ってきたが、本手法は実際の地域に適用した際にもネットワークの状態に応じた指標（ SP や $TTPV$ ）の有意な差を与えることがわかった。また、地震後の被災状況や交通状況に関する情報を把握することの利点を確認された。

参考文献

- 1) 杉田秀樹, 野崎智文, 「道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究 (その 1) ネットワーク耐震性指標の提案とその計算方法の開発」, 土木研究所資料第 3589 号, 1998 年 9 月
- 2) 杉田秀樹, 野崎智文, 矢野和彦, 「道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究 (その 2) 地震時の道路交通管理手法に関するケーススタディー」, 土木研究所資料第 3621 号, 1999 年 1 月

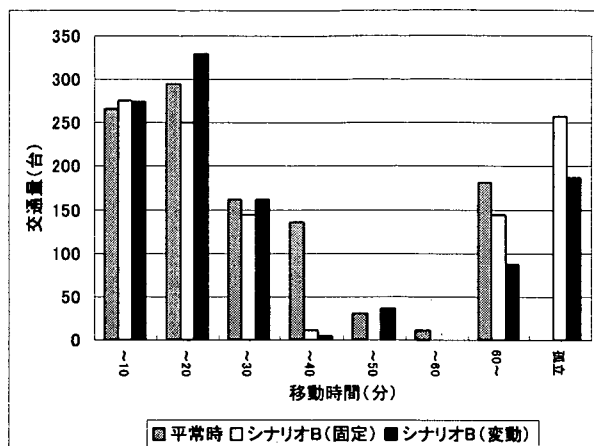
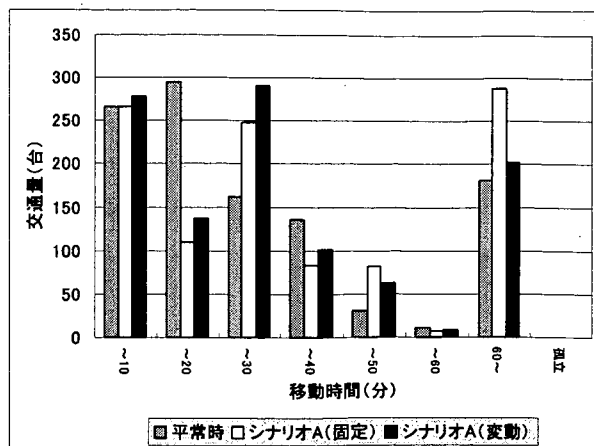


図 3 緊急輸送活動の旅行時間別交通量分布

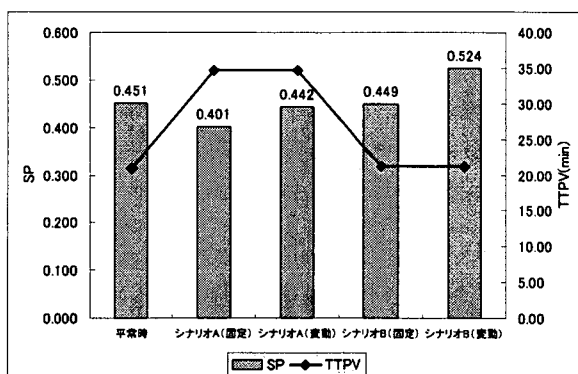


図 4 各シナリオの耐震性評価指標

土木学会第 55 回年次学術講演会
(平成 12 年 9 月 21 日～23 日・宮城県仙台市)

震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討

震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討

建設省土木研究所 正会員 大谷 康史
建設省土木研究所 正会員 杉田 秀樹
建設省土木研究所 正会員 野崎 智文

1. はじめに

公共土木施設の地震防災対策の中で地震発生後においては、所管施設の被害・点検・復旧情報を迅速に収集し、対応することが重要である。施設管理者の防災業務計画では緊急対応のための体制について規定されているが、不測の事態等を含めて震災対策体制の有効性を確認する必要がある。本報告では、震災情報の収集体制の効率性評価に資することを目的として、従来提案してきた震災対策体制のネットワークモデル化手法の中の活動の処理時間の評価手法と不測の事態に対処可能なネットワーク表現方法の改良手法について検討した結果を報告するものである。

2. ネットワーク表現手法

震災対策体制のネットワークモデルについては、これまで土木研究所において検討されている¹⁾²⁾。これは、震災情報収集体制において、「要員の参集」、「現場への移動」といった時間を要する活動を「ゲート」として表現し、これらのゲートを接続したネットワークによって体制を表現し、シミュレーションを行うものである。それぞれのゲートは表現している活動に必要な時間と、活動によって得られる情報量をパラメータとして持っている。実際にネットワーク表現を行った例

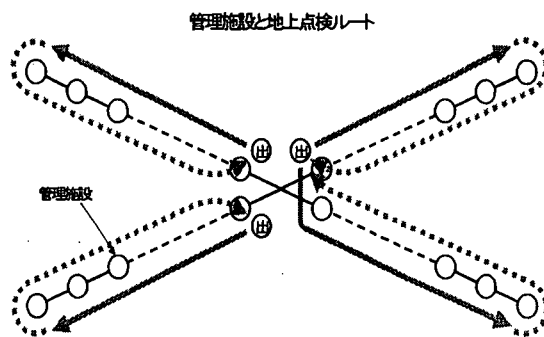


図1 モデル事務所の点検ルート

を示す。図1は、ネットワークで表現しようとする体制である。4つの点検ルートを3つの出張所で管理しているモデル事務所を想定している。これをゲートを用いたネットワークで表現したのが図2である。図2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た後、準備を行い、点検を行うことを表している。また、点検後には、その情報が対策本部に集約されることも表している。

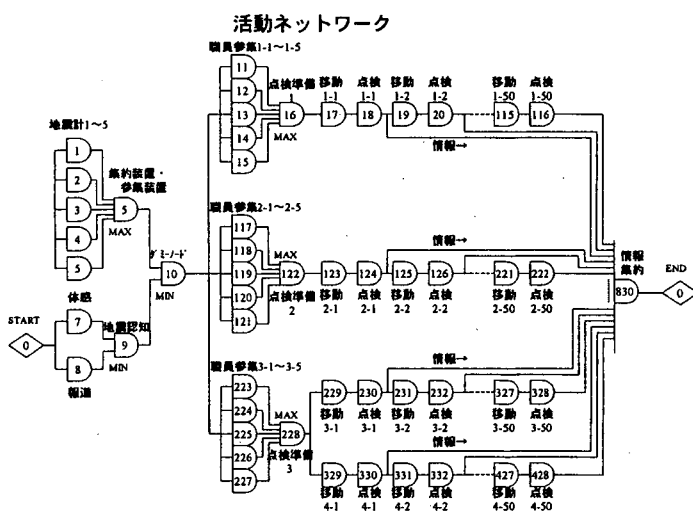


図2 震災対策体制ネットワーク

3. 処理時間等の設定

(1) 処理時間設定の重要性

情報収集は速やかに行われことが重要であり、

その評価の中で時間が重要な位置を占める。図

2に示したネットワークの中では、ゲートの中にそれぞれの活動に必要な処理時間が設定されている。各活動の処理時間の中で、特に移動の処理時間は、平常時においても一定の時間ではなく、ある程度のばらつきを持っている。地震時には通行経路の被災や渋滞等で平常時以上の時間を必要とし、ばらつきも大きくなる。これまでの研究では、ネットワーク表現を優先し、このような処理時間については、仮定した関数を用いていた。しかし、実際の体制評価に用いるには、実態のばらつきに則した関数を設定する必要がある。表1に、ネットワークに用いる処理時間を持つゲートとその処理時間設定法について示す。地震時の活動時

キーワード：地震、震災対策体制、緊急点検、ネットワーク、シミュレーション

連絡先：〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地(TEL)0298-64-2211 (FAX)0298-64-0598

間は、平常時の各活動の標準時間を基本とし、その値に、地震の影響を加味して設定することが妥当であると考えている。

(2) 処理時間の設定

活動の処理時間の設定方法の例として、ここでは移動の処理時間について取り上げ、設定法について示す。震災直後の神戸市内の走行所要時間については調査結果が示されており、その分布は図2に示すとおりである²⁾。この分布に基づく、移動時間の震災時の平常時に対する所要時間の増加係数は平均値で6倍程度である。図3の分布に基づき、確率分布形状を同定すると、平常時の移動所要時間を用いて、関数を設定することができる。ただし、同じような調査で中規模の地震である昭和62年の千葉県東方沖地震では、1.3倍程度との結果もあり³⁾、地震規模、発生場所等の差を考慮する必要がある。

表1 ゲートの処理時間の設定法

ゲート	影響する事象	処理時間の設定法
参集装置	連絡手段の輻輳	連絡手段の不通確率 p を設定し、それより遅延時間を設定する。
職員参集	通勤路の被災、渋滞等	平常時の通勤時間に、被災事例から求めた増加係数とばらつきを適用し、関数を設定する。
点検準備	なし	平常時の点検準備時間を設定を用いる。
地上移動	点検路の被災、渋滞等	平常時の移動時間に、被災事例から求めた増加係数とばらつきを適用し、関数を設定する。
地上点検	被災箇所の詳細点検による時間増	被災度に応じた点検時間の増加係数とばらつきを調査より求め、適用する。
情報集約	連絡手段の輻輳	報告手段の不通確率 p を設定し、それより遅延時間を設定する。

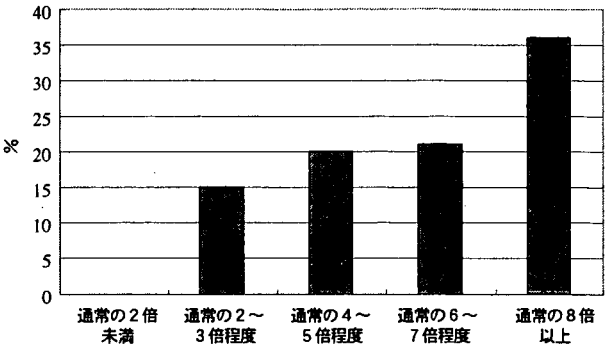


図3 神戸市における震災時の走行所要時間

4. ネットワーク表現方法の改良

3. においては、地震時に想定される事象の中で、平常時に比べて時間を要する事象について検討した。しかし、実際には、表2に示すような事象が震災対策体制において起こりうる。このような事象は、活動そのものができなくなる事象であり、2. で示したネットワークでは表現できない。そこで、例として移動経路の閉塞に対応したネットワーク改良案を図4に示す。(a)は2. で示したネットワーク表現であり、つながりが1つしかないため、移動が不能になった場合、シミュレートできなくなる。(b)は移動経路が閉塞した場合に備えて、迂回路を移動するゲートを追加して、ネットワークを作成したものである。このネットワークは、本来の移動経路を利用できる場合には(確率 $1-p$) これを利用し、移動経路が閉塞した場合は(確率 p) 迂回路を通ることを表している。実際にシミュレートする場合には、乱数により、スイッチングを行う。

5. おわりに

本報告では、以下の2点について報告した。

- ・震災対策体制のネットワークモデル化手法におけるゲート内の処理時間の評価手法の考え方と設定法について対象とする事象を明らかにし、具体的な設定方法について紹介した。
- ・震災対策体制で生じうる不測の事態を明らかにし、それを表現するネットワークの改良手法について示した。

参考文献

1)土木研究所、「震災対策体制のパフォーマンス評価手法に関する基礎的研究」、土木研究所資料第3587号,1998.6
2)阪神・淡路大震災兵庫県災害対策本部、「阪神・淡路大震災－兵庫県の1ヶ月の記録」1995.7
3)土木研究所、「地震時の被災調査及び情報連絡体制-昭和62年千葉県東方沖地震の場合-」、土木研究所資料第3587号,1998.6

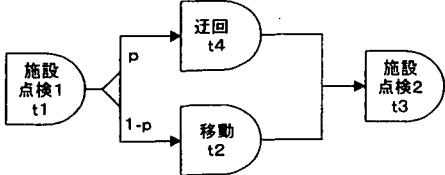
表2 震災時に発生しうる不測の事態

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

(a)H10に提案した方法



(b)スイッチングを用いた方法



※ t_i は活動に要する時間を示す。
 p は移動経路が閉塞する確率を示す。

図4 ネットワーク表現手法の改良

第 23 回土木計画学研究発表会
(平成 12 年 11 月 23 日～25 日・栃木県足利市)

幹線系道路の地震時交通状況に関する検討

幹線系道路の地震時交通状況に関する検討*

A study on the estimation method of traffic situation after the earthquake

大谷康史**, 杉田秀樹***

By Yasushi OHTANI, Hideki SUGITA

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」が行われている。

本報告では、まちづくりにおける防災評価技術の一環として、幹線系道路の信頼性評価手法に関する取り組みを紹介するものである。兵庫県南部地震等の既往地震による被災事例に基づく幹線系道路の被災特性および都市特性を踏まえた幹線系道路の信頼性評価手法の枠組みについて検討した結果を報告する。

2. 幹線系道路の地震時機能障害の特徴

(1) 既往地震による幹線系道路の被害

(a) 既往地震

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）に発生する機能障害は、幹線系道路における通行規制の原因となる。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実態調査を行った。

調査対象地震は、近年に発生し被害が大きかった

*keywords 地震防災, 防災計画, 地域計画, 交通制御

**正会員,建設省土木研究所防災技術課研究員

(茨城県つくば市旭1番,TEL0298-64-3245,FAX0298-64-0598)

***正会員,工博, 同上 防災技術課長

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、阪神淡路大震災については道路管理者に対するヒアリングを行い、その他の地震については被害調査事例によった。

(b) 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、その区間で行われた通行規制は232カ所にのぼった。

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%)

道路管理者が行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

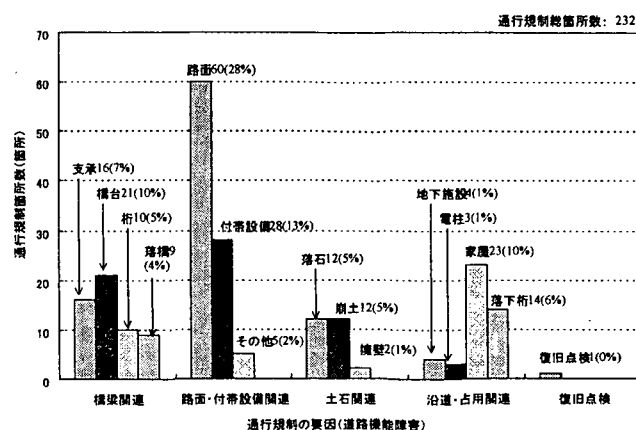


図1 通行規制の原因となった道路機能障害

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。
- 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、通行規制をもたらした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は以下の通りである。

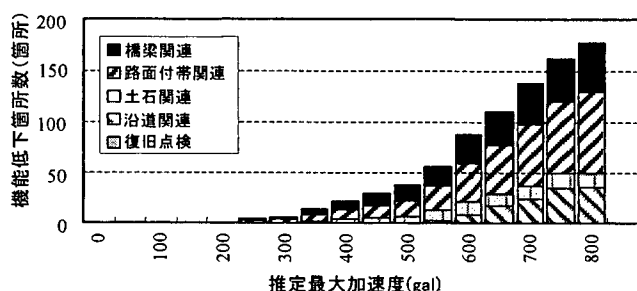


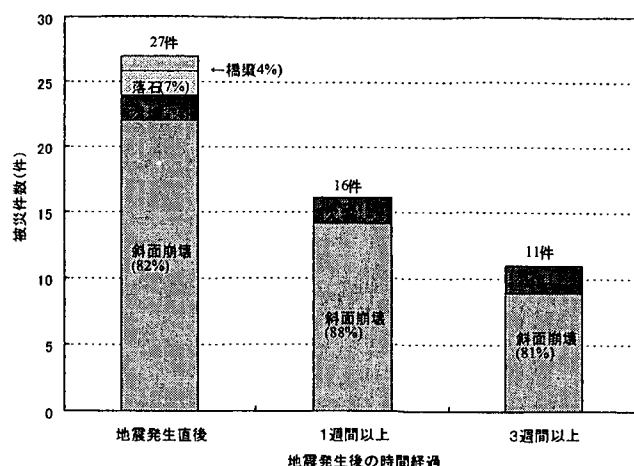
図2 地表面最大加速度と機能障害箇所数

- ①全体的には、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・占用関連の被害による機能障害は、概ね500galを下回る地域では見られない。

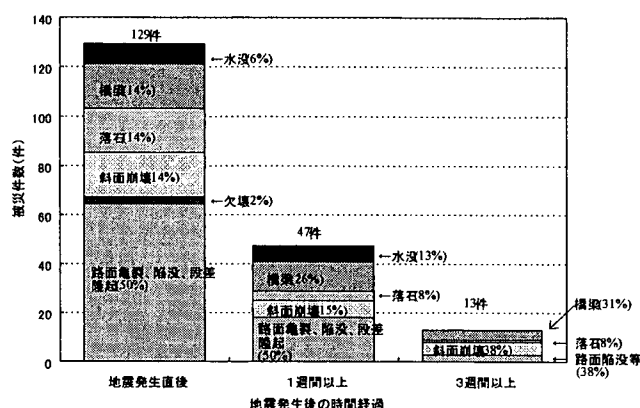
(c) 既往地震における道路機能障害の復旧

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、①山間部の地震、②市街地の地震、③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。

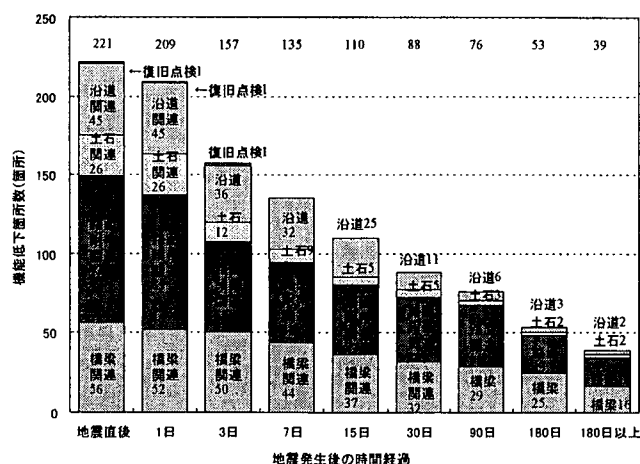
- ①山間部の地震においては、土石関連被害が多く、市街地の地震に比べて道路機能障害の解消に時間を要する。
- ②施設被害が多岐にわたる市街地の地震と大都市直下の地震では、施設被害件数や被害程度が異なるため定量的な比較は難しいが、道路機能障害を概ね9



① 山間部の地震 (伊豆大島近海地震)



② 市街地の地震 (新潟、宮城、日本海中部)



③ 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

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日以内に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。

(d) 道路機能障害評価時の留意事項

本評価手法は、主に市街地を対象としており、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) 道路機能障害と交通規制

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。調査結果は表2に示通りで、兵庫県南部地震は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モジュールの作成にあたっては、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。

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・車高規制	夜間通行規制	走行速度規制	一方通行・車線制限
1.欠陥			●		●		
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、駆対の亀裂、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

3. 地震時の交通状況推計

(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。

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、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ミクロな検討により評価を行う。

(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

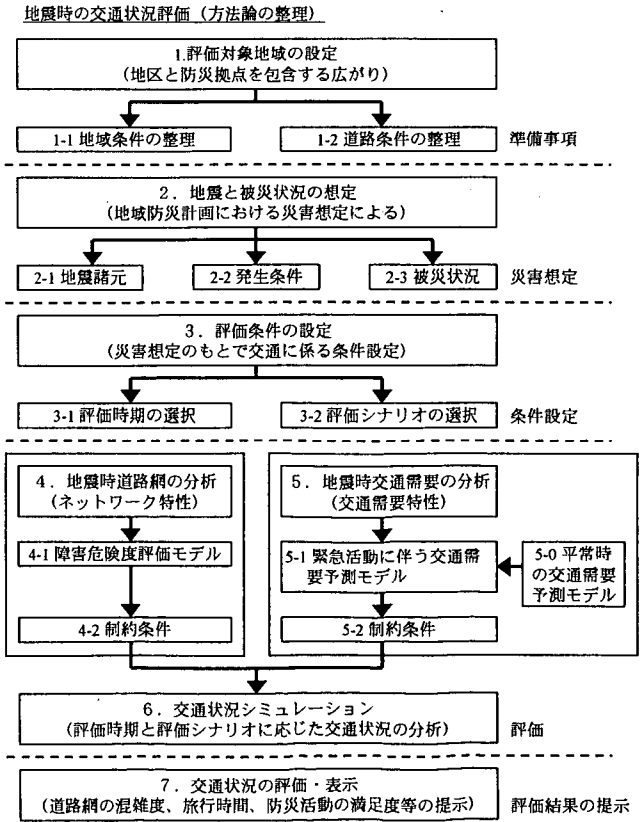


図4 地震時交通状況評価の全体フロー

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について、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つの項目から成り立っている。

本交通状況推計の特徴は、以下の通りである。

- 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が可能である。
- ②地域防災計画と整合しており、一貫した検討を行うことが可能である。
- 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) 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。緊急活動の調査結果(表3)を基に、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、混乱が収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輛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。

表3 交通状況の評価時期

評価時期 (場面区分 (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: 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	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: 復旧行動、物資搬送 組織的活動: 復旧活動、瓦礫処理			
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	

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など、被災特性が明らかとなった。
- (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) 地震時の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。

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「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: 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
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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

第 23 回土木計画学研究発表会
(平成 12 年 11 月 23 日～25 日・栃木県足利市)

道路ネットワーク耐震性能指標を用いたケーススタディ

道路ネットワーク耐震性能指標を用いたケーススタディ Evaluation of Highway Network Performance against Earthquake

杉田秀樹**・野崎智文***

by SUGITA Hideki** and NOZAKI Tomofumi***

1. はじめに

大規模地震に対する道路ネットワークのリスクマネジメントでは、新設構造物の耐震性能を向上する一方で、限られた諸資源の制約の下で膨大な既設道路を効果的に強化するための戦略が重要である。このためには、種々の道路施設が組み合わされたネットワークとしての耐震性能を客観的に評価し、耐震補強が必要な道路区間の選定や耐震補強の優先度設定を合理的に行うための計画学的アプローチが必要である。

本稿では、まず、道路ネットワークの耐震性能評価を客観的・実務的に行うための方法論について考察する。次に、既に著者らが提案したネットワーク耐震性能指標を実地域に適用し、路線・区間の重要性や耐震補強優先度の意思決定への適用性を検討した結果を報告するものである。

2. 耐震性能評価の方法論

道路ネットワークの耐震性能は、一般に、想定地震に対して地域で要請される交通機能の満足度合と考えることができる。このため、耐震性評価の方法論は、想定地震に対する道路ネットワークの被災状況を想定し、任意の道路区間が通行不能となった場合の道路交通への影響を計測することが基本となる。

耐震性能評価の方法論に関する種々の取り組みは、道路交通への影響をどのような指標で計測するかに応じて、迂回路の数で評価する方法、迂回や渋滞を考慮した道路交通の旅行時間の増加で評価する方法、及び、旅行時間の増加による防災活動や経済活動の損失で評価する方法等に分類することができる。迂回路の数や旅行時間の増加を指標とする方法は、計算が比較的簡便で実務に適用しやすい反面、道路被害の地域

活動に対する影響が直接的には表現されないことに注意が必要である。これに対して、防災活動や経済活動の損失を指標とする方法は、地域活動に対する影響を直接的に表現できる反面、道路交通モデルに加えて防災活動に伴う交通需要予測や経済波及効果に関する分析モデルが必要とされる。地震時の緊急交通需要や経済的損失の波及過程には未解明な点も多く残されているが、災害経験を通じて知見を蓄積するとともに、実務的には複数のシナリオを用意するなどの工夫により、より説明性が高い指標を用いた方法論の構築に向けて研究を進める必要がある。

3. ネットワーク耐震性能指標

上述した取り組みの一環として、著者らは、道路ネットワークの耐震性能指標 *SP*(Seismic Performance Index)、道路区間の重要性評価指標 *LI*(Link Importance)、及び、背景交通1台あたりの走行時間 *TTPV*(Travel Time Per Vehicle)を提案している¹⁾。これらの指標は、道路ネットワークの被災状況を与件として、防災活動の損失を定量評価するものである。道路ネットワークの耐震強化を、ハード対策としての耐震補強とソフト対策としての地震時交通規制を組合せて計画する際に、定量的な判断材料を得ることができる。

(1) 耐震性能指標 *SP*

救急・消防・避難等の防災活動の目的を k で表わし、ネットワーク上のノード i から j に向かう目的 k のOD交通分布 T_{ij}^k 、ルート r 、ルート r 上の交通量 T_{ijr}^k 、及び所要時間 t_r が与えられているとする。目的 k の防災活動交通が時間 t_0 以内に到着すれば目的を達成でき、 t_{max} 以上の時間を要した場合には目的を達成できないと考え、単位防災活動効果量 $E^k(t)$ を定義すれば(図1)、防災活動交通の効果量 E_{ij}^k は式(1)で与えられる。

$$E_{ij}^k = \sum_r E^k(t_r) T_{ijr}^k \quad (1)$$

防災活動効果量の全てのODペアに対する総和を、ネットワーク中の総交通量 T で無次元化した値をネッ

* キーワード：地震防災計画、道路ネットワーク、信頼性評価、防災活動交通

** 正会員、工博、建設省土木研究所防災技術課

(茨城県つくば市旭1番, TEL/FAX 0298-64-3244/ 64-0598)

*** 正会員、工修、同上(現 建設省道路局道路防災対策室)

トワーク耐震性能指標 SP と定義すれば、防災目的 k に対する耐震性能指標 SP^k は式(2)で与えられる。 SP^k は 0 ~ 1 の値をとり、全ての防災活動交通トリップが目標時間 t_0 以内に完了すれば SP^k は 1 となる。一方、旅行時間が t_0 を超える交通が増加するに従って、 SP^k は 1 より小さくなる。

$$SP^k = \frac{\sum_i \sum_j E_{ij}^k}{T} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_r E^k(t^r) T_{ijr}^k}{\sum_i \sum_j \sum_r T_{ijr}^k} \quad (2)$$

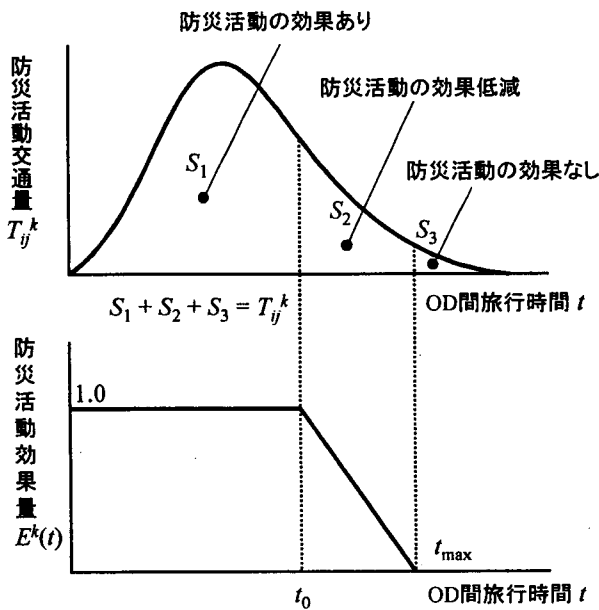


図1 防災活動効果量

(2) 道路区間の重要性評価指標 LI

防災活動目的 k に対する道路区間 l の重要性 LI_l^k は、被災後のネットワーク耐震性能指標 SP^k と、道路区間 l のみ復活させた場合の耐震性能指標 SP_l^k を比較することにより、式(3)で与えられる。

$$LI_l^k = SP_l^k - SP^k \quad (3)$$

すなわち区間重要性 LI_l^k は、想定される被災パターンの中で、ネットワーク耐震性能に対する道路区間 l の感度を表現する指標と言うことができる。

(3) 背景交通 1 台あたりの旅行時間 $TTPV$

防災活動交通の確保を目的とした耐震補強や交通規制は、地震時の背景交通にも影響を与える。ハード／ソフト対策の優劣比較では、防災活動に対する機能提供度合だけでなく、背景交通への影響も総合的に勘案する必要がある。ここに、各種対策が背景交通に与える影響は、背景交通 1 台あたりの旅行時間の変化で

評価できる。 $TTPV$ は、ネットワーク全体での総走行時間をネットワーク上に配分された総交通量（孤立 OD を除く）で除することにより、式(4)で与えられる。

$$TTPV = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij} T_{ij}}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \quad (4)$$

すなわち、 SP の向上は防災活動交通に対するネットワーク耐震性能の向上を表わし、 $TTPV$ の減少は背景交通に対する耐震性能の向上を表わす。

4. 実地域に対するケーススタディ

(1) 道路ネットワーク

ケーススタディの対象地域として静岡県を選定し、静岡市内の救急輸送活動に対する道路ネットワークの耐震性能を評価した。道路ネットワークは通過交通の影響を考慮するために県道以上の道路網とし、救急輸送活動 OD は地震直後の一次医療活動を想定して消防署→被災地、被災地→病院拠点とした。

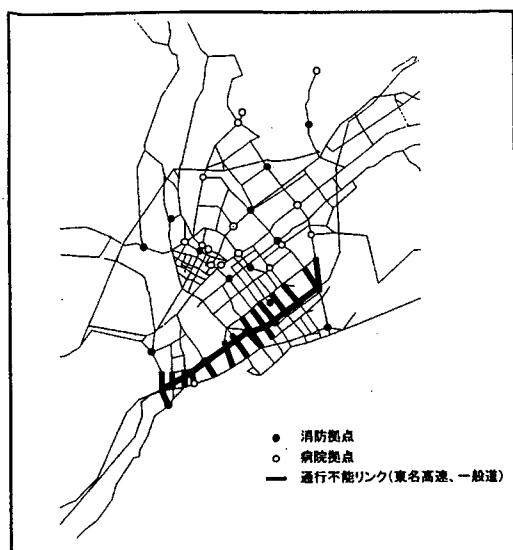
背景交通は静岡県全域の各ゾーン間を行き来し、背景交通の影響を受ける道路交通状況の下で、静岡市内の消防拠点（13 箇所）、被災各ゾーン（24 の B ゾーン）、病院拠点（19 箇所、診療所を除く）の間の救急輸送活動の効果量を評価することとした。ここに、背景交通 OD 設定には、道路交通センサス（1994）B ゾーン OD 表を用いた。また、救急輸送交通量の設定に際しては、阪神淡路大震災の実態データ等に基づいて死傷者率と死傷者あたりトリップ数を仮定し、これを被災各ゾーンに対して付与した。

表1 被災状況のシナリオ設定

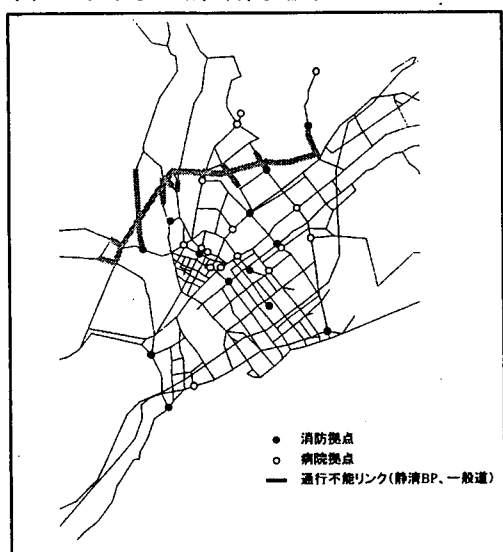
	被災箇所	目的地選択	主眼
シナリオ A	東名高速道路のオーバーパス部分で、東名と一般道が通行不能	固定、変動	路線被害の影響
シナリオ B	静清 BP のオーバーパス部分で、静清 BP と一般道が通行不能	固定、変動	路線被害の影響
シナリオ C	安倍川を横断する部分で通行不能（耐震補強、交通規制）	固定、変動	ハード／ソフト対策の影響

(2) 被災状況のシナリオ設定

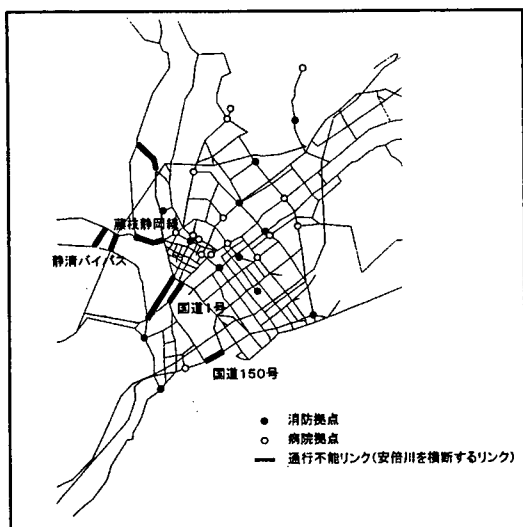
ケーススタディでは、路線被害による耐震性能の変化、目的地の選択方法による耐震性能の変化、及び、ハード／ソフト対策による耐震性能の変化を検討する



(a) シナリオ A(東名高速部分が通行不能)



(b) シナリオ B(静岡BP部分が通行不能)



(c) シナリオ C(安倍川横断部分で通行不能)

図2 ネットワークの被災状況

ため、被災状況に関して3種類のシナリオを想定した

(表1)。3種類のシナリオに対応するネットワークの被災状況を示すと図2の通りである。なお、これらの被災状況は静岡県における被害想定ではなく、ネットワーク耐震性能を試算するための仮定したものであることに注意を要する。図中の●印は消防署拠点、○印は病院拠点(診療所を除く)であり、このほかに負傷者が発生する被災地(Bゾーン)のセントロイドを設定している。

なお、救急輸送に関する図1の単位効果量関数のパラメータは、心肺停止時間と蘇生率の関係(ドリンカー曲線)に基づき、蘇生率が0%となる10分を t_0 とした。また、防災活動目的を達成するための上限 t_{max} は t_0 の3倍の30分と仮定した。

(3) 路線被害による耐震性能の変化

シナリオA及びシナリオBについて、静岡市内の緊急輸送交通の旅行時間別頻度分布を示すと図3の通りである。この場合の旅行時間は、消防署拠点～被

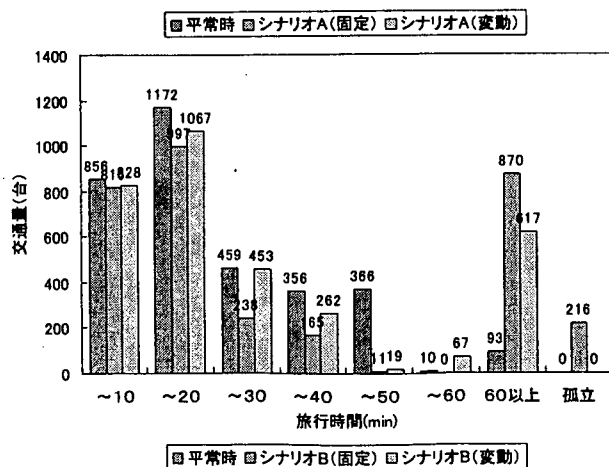
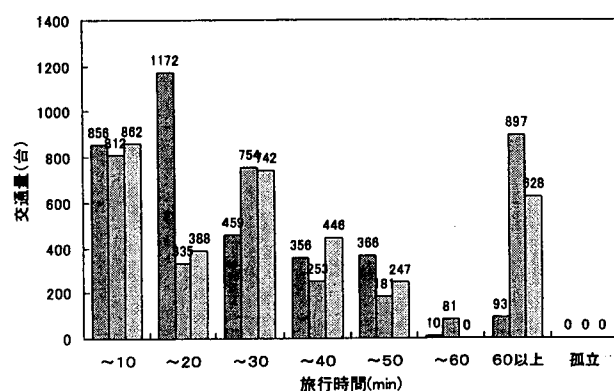


図3 救急輸送活動の旅行時間別の交通量分布

災地～病院拠点の旅行時間である。両シナリオとも旅行時間の分布が右側にシフトしており、被災の影響によって緊急輸送に長時間を要することがわかる。

シナリオ A とシナリオ B について、耐震性能指標 SP を計算した結果を示すと図 4 の通りである。図中には、背景交通 1 台あたりの旅行時間 $TTPV$ も併せて示している。図 3 では旅行時間の頻度分布として表現されていた救急輸送活動の状況が、ネットワークの被災状況毎に単一の指標で表現されている。シナリオ A と B を比較することにより、路線被害による耐震性能の変化に関して、以下の点が指摘される。

- 1) 東名高速断面や静清 BP 断面の被災により、救急輸送活動に対するサービスレベルは低下する。
- 2) 東名高速断面の方が静清 BP に比較して救急輸送活動に大きな影響を与える。
- 3) 背景交通に対しても、東名高速断面の方が静清 BP 断面に比較して大きな影響を与える。

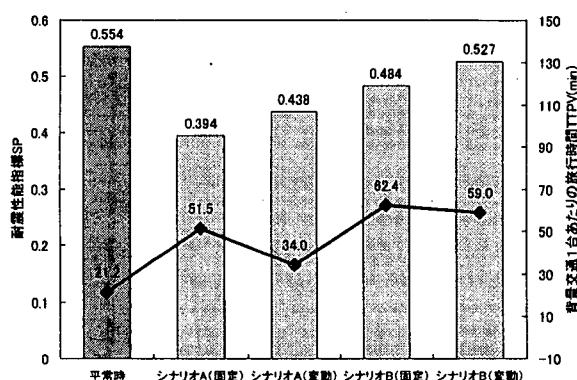


図 4 路線被害による耐震性能の変化

(4) 目的地の選択方法による耐震性能の変化

目的地の選択方法を固定／変動とした場合について、各々耐震性能指標 SP を計算した結果を図 4 中に併せて示している。ここに「目的地固定」では、病院拠点を平常時のネットワークと旅行時間に基づいて選択し、救急輸送交通に対して被災情報が知られない状況が表現される。また「目的地変動」では、病院拠点を被災したネットワークと旅行時間に基づいて選択し、被災状況が既知である状態が表現される。

図 4 によれば、シナリオ A と B とも、目的地変動の方が目的地固定の場合に比較して耐震性能指標 SP が大きい。これは、地震後の混乱した状況下において、道路ネットワークの被災状況や交通状況に関する情報把握と情報提供が重要であることを示すものである。

(5) ハード／ソフト対策による耐震性能の変化

シナリオ C について、耐震性能指標 SP 及び背景交通 $TTPV$ の計算結果を示すと図 5 の通りである。シ

ナリオ C では、安倍川を横断する主要道路が全て通行不能となった場合をベースに、震前の耐震補強により静清断面、藤枝静岡線断面、国道 1 号断面、国道 150 号断面が各々被災しないと想定した場合の比較、及び、地震後の交通規制により静岡市内への背景交通の流入を規制した場合の比較を行っている。図 5 によれば、ハード／ソフト対策による耐震性能の変化に関して、以下の点が指摘される。

- 1) 耐震補強によりネットワーク耐震性能は向上する。耐震性能の向上効果は、国道 1 号断面、藤枝静岡断面、静清断面、国道 150 号断面の順で大きい。
- 2) 背景交通の流入規制を実施した場合も、ネットワーク耐震性能は向上する。流入規制による耐震性能の向上効果は耐震補強に対して同等以上であり、地震後の適切な交通規制の有効性を示唆している。
- 3) 震前の耐震補強は、救急輸送活動だけでなく、背景交通に対しても有効である。また、震後の流入規制は静岡市内に起終点を持つ背景交通に対して有効に作用するが、市外を起点とする流入交通を排除している点に注意が必要である。

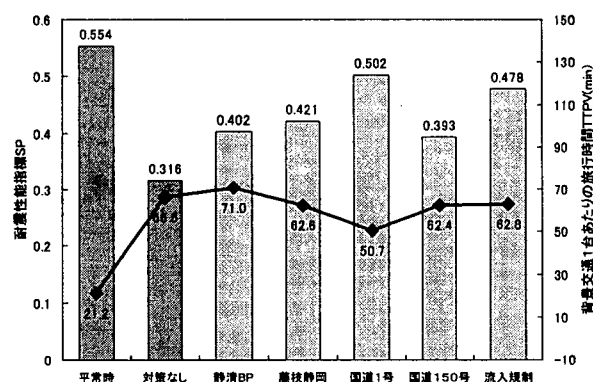


図 5 ハード／ソフト対策による耐震性能の変化

5. まとめ

本稿では、道路ネットワークの耐震性評価を客観的・実務的に行う方法論の方向性について考察した。また、著者らが提案した防災活動効果に基づく耐震性能指標を実地域に対して適用し、耐震補強や交通規制等を組合せてネットワークの耐震強化を計画する際の定量的な判断指標として利用可能であることを確認した。

【参考文献】

- 1) 杉田秀樹、野崎智文、矢野和彦(1999)、道路ネットワークの耐震性評価手法の提案、土木計画学研究・講演集 22、pp.179-182