

道路及び河川施設における地震防災システムの現状

杉田 秀樹

建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課長、工博

(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

阪神・淡路大震災では、地震直後における被災地域の特定や被災状況の把握が、道路・河川等公共土木施設管理者の初期対応に極めて重要であることが強く指摘された。建設省では、災害対策用ヘリコプターの拡充や防災無線網のデジタル化などを通じて、地震直後の情報収集体制の改善に取り組んでいるところである。本文では、道路・河川の地震防災システムに関係する一連の取り組みのうち、被災地域の迅速な特定を支援する建設省地震計ネットワークと、道路・河川の被害を地震後即時に予測して応急復旧対策の意志決定を支援する即時震害予測システムについて紹介する。

Key Words: Road Facility, River Facility, Disaster Information System, Accelerograph Network, and Earthquake Damage Estimation

1. はじめに

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だけでなく、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。このため公共土木施設の危機管理では、施設自体の耐震性の向上を主体とした震前のリスク管理と、施設被害が生じた場合の影響を最小化する震後対応を適切に組み合わせて実施する必要がある。

建設省では1987年から5箇年間で総合技術開発プロジェクトを実施し、施設管理者の震後対応を情報面から支援するための「災害情報システム・ガイドライン(案)」¹⁾をとりまとめている。道路・河川等公共土木施設の地震防災システムは本ガイドライン(案)等を参考に整備が進められてきたが、1995年阪神・淡路大震災を契機に一層の高度化が求められている。

阪神・淡路大震災では、地震直後における被災地域の特定や被災状況の把握が、公共土木施設管理者の初期対応に極めて重要であることが強く指摘された。建設省では、災害対策用ヘリコプターの拡充や防災無線網のデジタル化などを通じて地震直後の情報収集体制の改善を実施してきた。本文では、地震防災システムに関係する一連の取り組みのうち、初期対応の効率化を支援する建設省地震計ネットワークと、道路・河川の被害を地震後即時に予測して応急復旧対策の意志決定を支援する即時震害予測システムについて紹介する。

2. 建設省地震計ネットワーク

建設省地震計ネットワークは、直轄道路及び河川に沿った地表面の地震動を検知して、施設管理者に即時伝送する仕組みである。関東・中部・近畿地域で約20km間隔、その他の地域で約40km間隔を目途に平成7年度より整備が進められ(図1、図2参照)、平成10年4月現在全国で791点の観測点が稼働している。地震計ネットワークの整備により、施設管理者の初期対応に以下の効果が期待できる。

- 1) 管理施設近傍における定量的な観測情報に基づき、施設被害の可能性が高い地域を迅速に推定できる。
- 2) 点検優先区間の判断が可能となり、緊急点検の効率化に資する。
- 3) 施設被害の可能性が低い近隣地域からの支援体制を迅速に確立できる。

地震計ネットワークのシステム構成を示すと図3の通りである。施設管理者の初期対応を支援するためには、強震地域全体を網羅する地震動情報を地震後数分以内に集約し、信頼性の高い伝送路で関連部署に提供することが重要である。各観測局で観測された地震動情報は、全国10地域(北海道、東北、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州、沖縄)ごとの中枢局に自動的に集約され、地域内の施設管理者にフィードバックされるとともに、建設本省と土木研究所に伝送される(図4参照)。伝送路としては建設省専用無線回線網を基本とし、観測

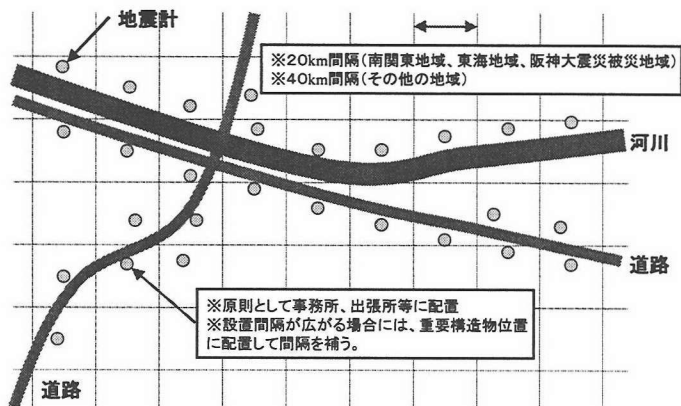


図1 強震計配置の考え方

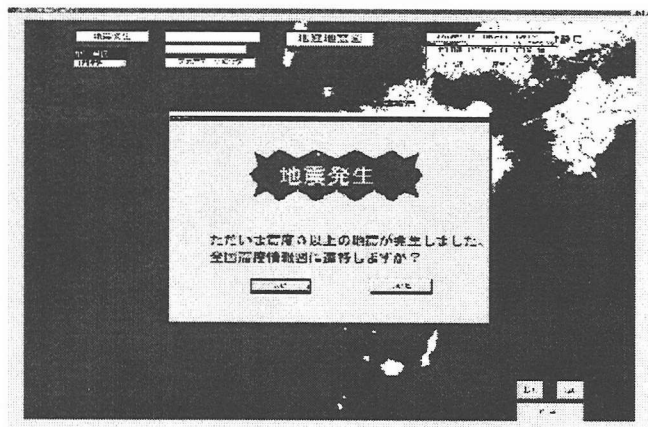


図4 地震発生の通報（建設本省）

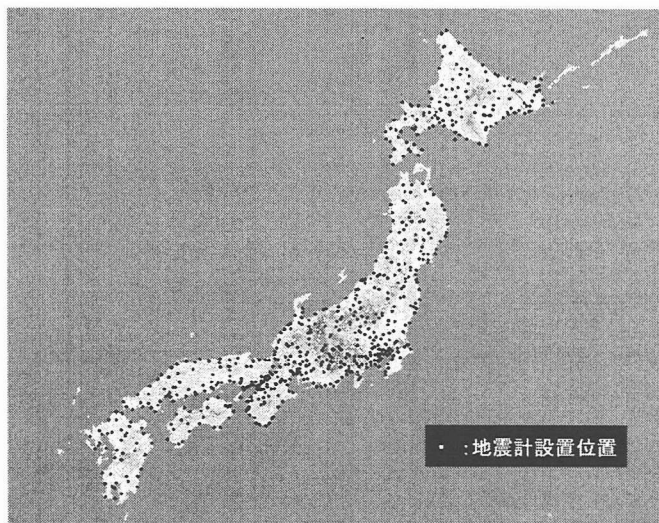


図2 強震計の全国配置（791観測点）

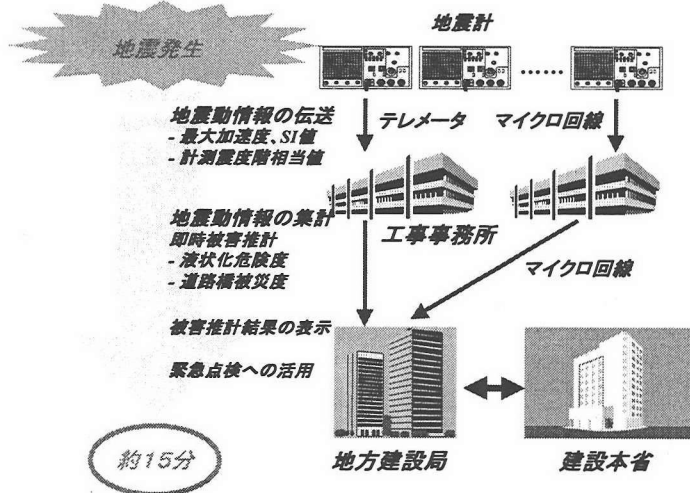
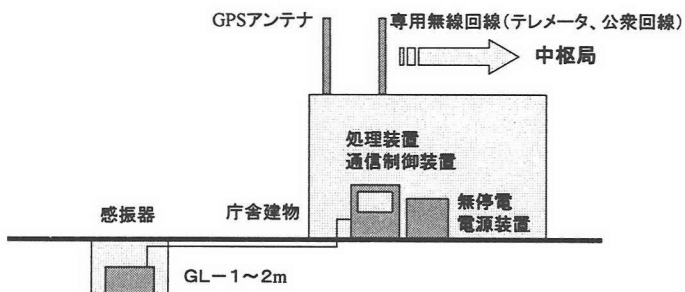
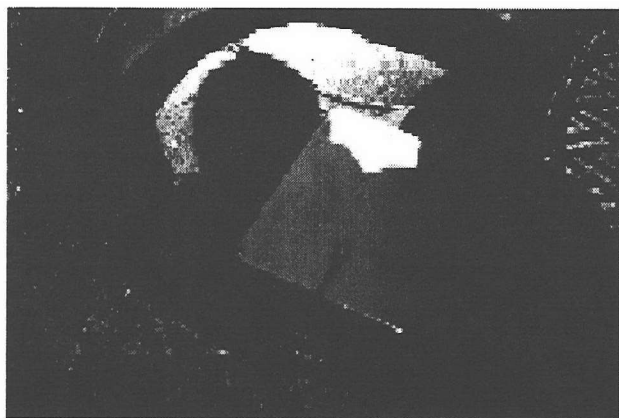


図3 地震計ネットワークのシステム構成

局と中枢局の接続に一部テレメータ回線や公衆回線を利用している。限られた回線容量のもとで迅速な情報伝送



(a) 観測局の構成



(b) 感振器の設置

図5 観測局の整備

3. 地震計ネットワークの活用

地震計ネットワークの施設管理への活用方策を、今後の構想も含めて整理すると以下の通りである。

3. 1 地震発生直後の初期対応期

初期対応期の活用構想を示すと図6の通りである。地震動情報（最大加速度、S I 値、計測震度階相当値）は、地震発生と同時に工事事務所経由で地方建設局に集約される。関係部局で必要な体制を確立（気象庁計測震度階が基本であり必要に応じて計測震度階相当値を活用）するとともに、各工事事務所では点検基準案（図7参照）に基づいて重要施設の点検を実施する。

地方建設局では即時震害予測システムを用いて被害予測を行い、予測結果に基づいて点検の優先性等を判断する。地震被害の予測結果は速やかに工事事務所等に配信して点検活動に反映する。

地方建設局に集約された地震動情報（最大加速度、S I 値、計測震度階相当値）は、建設本省と土木研究所に配信する。数値波形情報については、観測局からオンラインに土木研究所に送信する。土木研究所では、これらの情報に基づいて被災原因の分析や復旧仕様の作成を行い、地方建設局及び本省の震災復旧活動を支援する。

なお現状では、関東地方建設局を除いて即時震害予測システムが整備されていないため、当面は地震動情報のみを用いて、点検基準により初期点検を実施する。また、数値波形情報のオンライン回収は今後の課題であり、当面は工事事務所等の地震計担当者が記録媒体を個別に回収する。

する。

- 1) 管理地域内で点検が必要な地域を面的に判断する。
- 2) 当該地域の点検要否は、それぞれ地域の揺れを代表すると考えられる観測点（地盤上に設置した強震計）の観測情報に基づいて判断する。
- 3) 判断指標は最大加速度とS I 値を基本とし、計測震度階相当値を補完的に用いる。
- 4) 個別施設の点検要否については、さらに当該施設の特徴や施設上に設置した強震計の観測情報を勘案して、管理者ごとに別途判断する。
- 5) 即時震害推計システムの結果を反映させる。

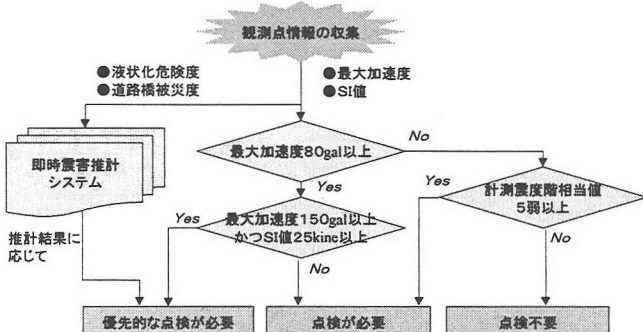


図7 管理施設の点検基準案

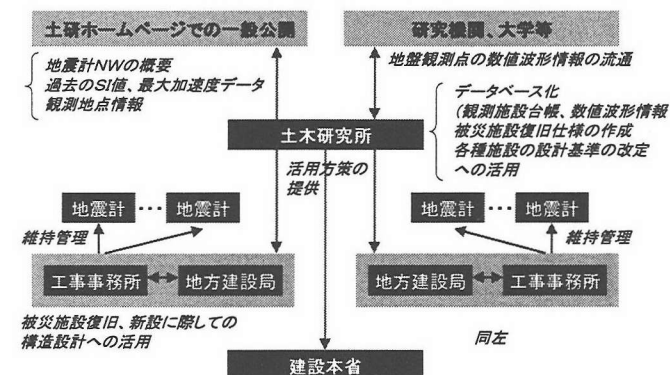


図8 復旧時または平常時の活用構想案

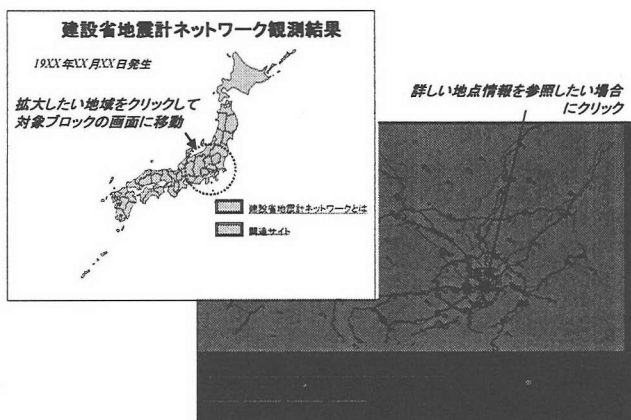


図9 公開用ホームページのイメージ

なお、地震計ネットワークで観測された地表面の地震動情報は、インターネット等を通じて防災関係者や一般へ速やかに公開できるように、また地震調査研究を目

図6 初期対応期の活用構想

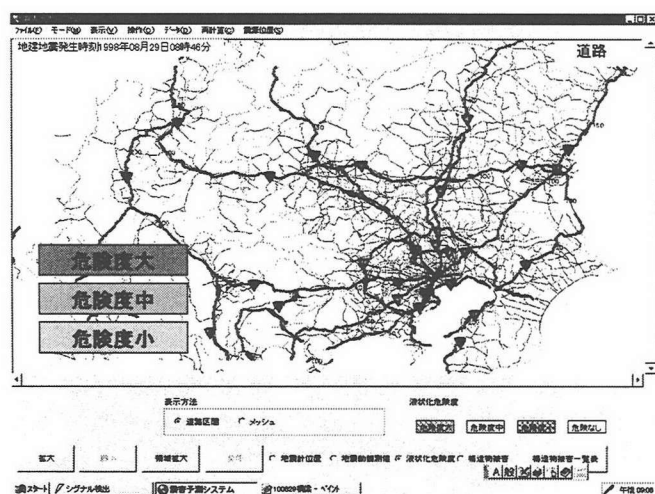
3. 2 復旧時または平常時

復旧時または平常時の活用構想を示すと図8の通りである。平常時から観測施設台帳と観測記録のデータベース化を進めるとともに、土木研究所では被災施設の復旧・新設に用いる耐震設計基準の改定に観測記録を活用

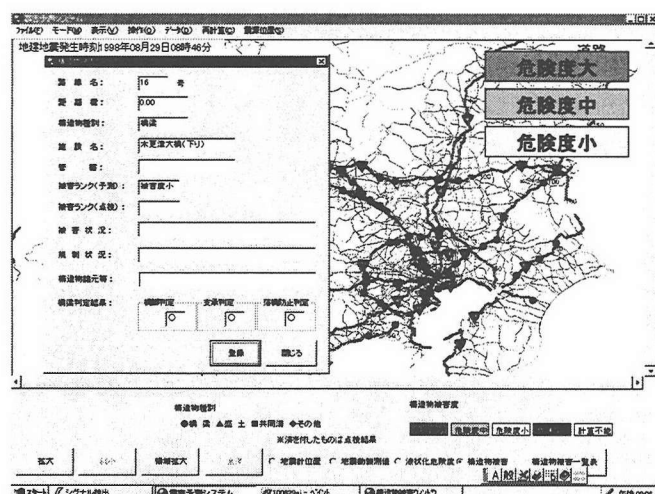
的としたデータ流通の一環として、研究機関や大学に提供できるように検討を進める（図9参照）。



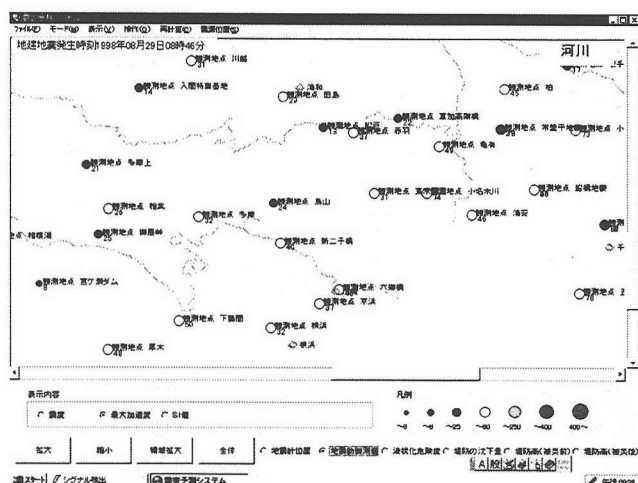
図10 即時震害予測システム



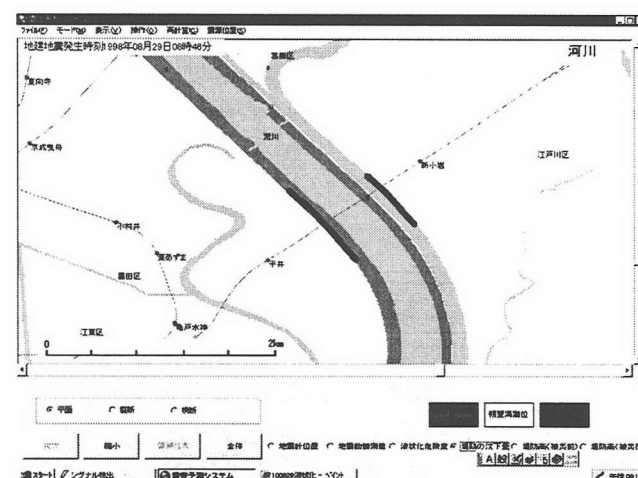
(a) 地盤の液状化危険度の推計



(b) 道路橋被害の推計



(c) 河川流域画面



(d) 堤防沈下量の推計

図11 管理施設の被害予測例

4. 即時震害予測システム

土木研究所と関東地方建設局が共同で開発を進めている即時震害予測システムは、地震計ネットワークで観測される地震動情報に基づき、管理施設の被災可能性や分布を短時間で推計する仕組みである。関東地方1都8県を対象に開発したプロトタイプシステム（図10参照）では、約100箇所の地震計の観測データ（最大加速度、SI値）を活用して、道路沿い約600箇所の液状化危険度と約400箇所の道路橋被害を推計できる。システム開発の基本的な考え方は、以下の通りである。

- 1) 推計対象とする地震被害は、施設被害に及ぼす影響が大きい地盤の液状化、道路橋被害、及び、河川堤防の沈下とする。
- 2) 地震計ネットワークの観測情報と、震前に蓄積した地盤・構造物情報を組み合わせることで被災可能性を推計する。

3) 推計計算は、防災担当職員が本務地に参集して緊急点検の準備を整えるまでの約15分間で行う。

図11には、地盤の液状化危険度、道路橋被害、及び堤防沈下量の推計例を示している。本システムによる地震被害の推計は、図12に示すように、地盤振動分布の解析、液状化危険度の推計、道路橋被害の手順で行う。推計の基本的な考え方は以下の通りである。

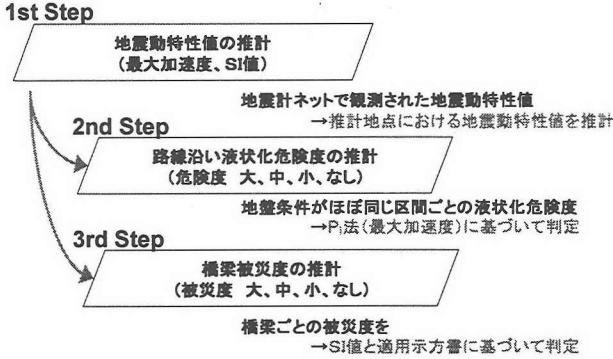


図12 地震被害の推計手順

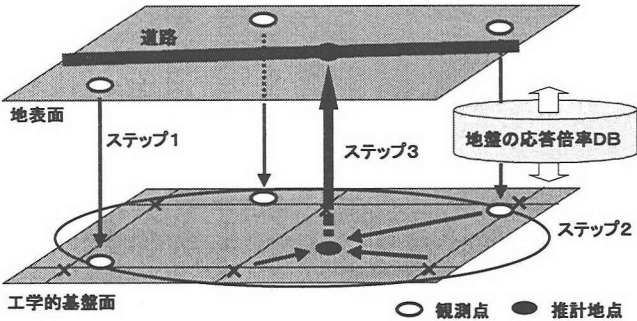


図13 地盤振動分布の解析

- 1) 地盤振動分布の解析 (図13参照) : 地震計の観測データ(最大加速度、SI値)から、液状化危険度と道路橋被害の推計を行う地点の地盤振動を解析する。
- 2) 液状化危険度の推計 : 道路沿いの土質縦断図から土質構成がほぼ均一と考えられる道路区間をあらかじめ分割し、道路区間ごとの液状化危険度を最大加速度に基づいて推計する (表1参照)。
- 3) 道路橋被害の推計 (表2参照) : 平常時の施設点検で蓄積された構造データを用いて、施設ごとの被災可能性をSI値に基づいて推計する。道路橋としての被災可能性の推計は、橋脚、基礎、支承などの主要部材の被災可能性を総合的に勘案することにより行う。

表1 液状化危険度判定に用いるマトリクス

路線液状化危険度	大	中	小	なし
P_L	-----	$P_L > 15$	$15 \geq P_L > 5$	$5 \geq P_L$

表2 橋梁被災度判定に用いるマトリクス
(a) 主要部材の被害～橋梁全体系の被害

主要部材の被災度	橋梁被災度			
	大	中	小	なし
RC橋脚の曲げ破壊	終局状態	終局前	降伏状態	降伏前
RC橋脚のせん断破壊	破壊	破壊前	せん断クラック	せん断クラックなし
鋼製橋脚の座屈	座屈	座屈前	微小な面外変形	面外変形なし
支承の破壊	破壊	破壊(支承高大)	破壊(支承高小)	軽微な破壊
流動化による基礎の移動	—	大きな移動	中程度の移動	軽微な移動

(b) 主要部材の被災度判定

適用示方書	降伏震度	主要部材の被災度			
		終局状態	終局前	降伏状態	降伏前
1979	-----	$SI > 50$	$SI > 30$	$SI > 10$	$10 \geq SI$
1990	-----	$SI > 50$	$SI > 30$	$SI > 10$	$10 \geq SI$
1995	$0.6 > k_{hy}$	$SI > 50$	-----	-----	$50 \geq SI$
	$k_{hy} \geq 0.6$	$SI > 100$	$SI > 50$	-----	$50 \geq SI$

上記の手順で推計された被災可能性は、“大(復旧に数週間を要する)”、“中(復旧に数日間を要する)”、“小(復旧に数時間を要する)”、“なし”の4段階で画面に表示する (表3参照)。推計結果は施設点検の優先度の判定や、近隣部署からの応援体制の確立に関する意志決定に活用する。

表3 被災可能性の分類 (道路系)

被災可能性	道路交通機能	必要な対応
大	長期通行不可となる可能性あり	本復旧
中	ある程度の期間で通行可	応急復旧
小	比較的短期間で通行可	応急復旧
なし	通行に支障なし	必要なし

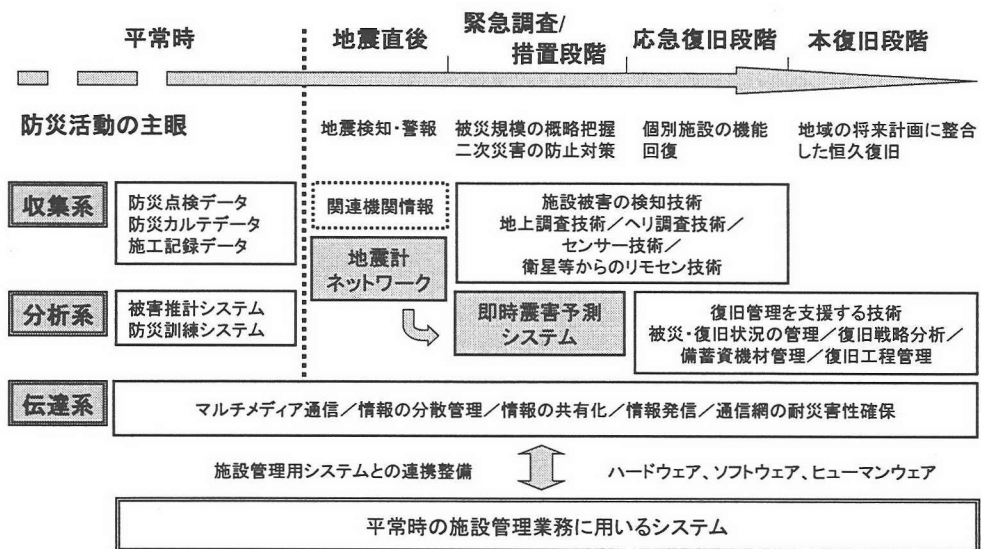


図14 震後の時間経過に応じた地震防災システム

5. 今後の課題

道路及び河川の地震防災システムに関連する建設省の取り組みのうち、特に地震発生直後の初期対応を支援するための地震計ネットワークと即時震害予測システムについて紹介した。地震防災システムを防災実務に導入していくために、今後検討すべき課題を整理すると以下の通りである。

1) 震後の時間経過に応じた地震防災システムの構築

道路・河川施設管理者の防災活動は、地震直後における地震動情報の把握、管理施設の緊急点検・緊急措置、施設機能を確保するための応急復旧、及び、地域の将来計画を考慮した本復旧の手順で実施される。防災活動に必要な情報は各段階で異なるため、時々刻々と変化する状況に合わせて“各段階におけるリアルタイム情報”を収集・伝達・分析できる柔軟かつ総合的な防災システム（図14参照）の構築が必要である。

2) 国土管理技術の災害検知への活用

一連の防災活動を効率的に進めるためには、施設被害の全体像をいかに迅速に把握できるかが大きな課題である。即時震害予測システムは施設被害を“予測”する技術であるが、一方で施設被害を効率的に“検知”する技術の開発が望まれている。環境分野や豪雨・土砂害などの自然災害分野では衛星を利用し

た国土管理技術の検討が進められており、地震被害の広域検知への適用可能性について検討する必要がある。

3) 平常時システムとの連携

地震向けに整備された仕組みを地震時に効果的に運用するためには、平常時からの十分な準備が不可欠である。このためには、地震防災システムは独立に整備するのではなく、平常時の施設管理業務に用いるシステムと連携を図るのが望ましい。平常時システムと地震防災システムとの連携は、単にデータベースの共用だけでなくハードウェア、ソフトウェア、ヒューマンウェアの視点から総合的に検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 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、1992.4
- 2) 杉田秀樹：リアルタイム地震対応を目指した地震計ネットワークの整備、地震工学振興会ニュース、No.157、1997.11
- 3) 杉田秀樹、濱田禎：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、1998.11
- 4) H.Sugita and T.Hamada: Development of Real-time Earthquake Damage Estimation System for Road Facilities, UJNR 7th Lifeline Workshop, 1997.11