

◆ 21世紀の新技術特集 ◆

地震時危機管理の近未来像

— リアルタイム地震防災 —

杉田秀樹* 大谷康史**

1. はじめに

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

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

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

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

2. 我が国の地震災害

(1) 田園災害から都市型災害へ

国土の都市化に伴って地震災害が変化する様子

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

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

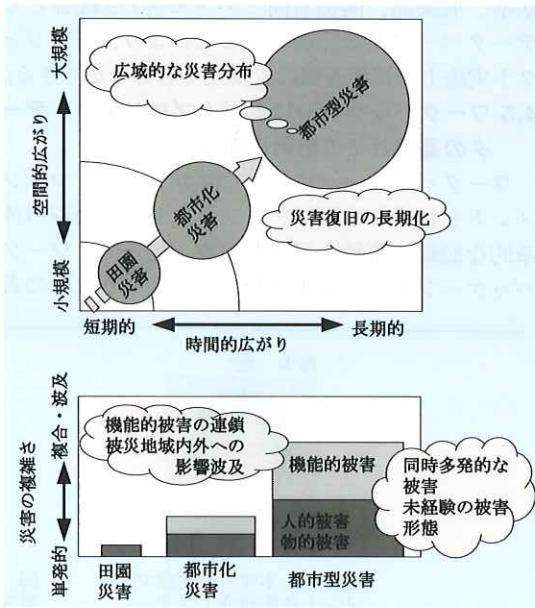
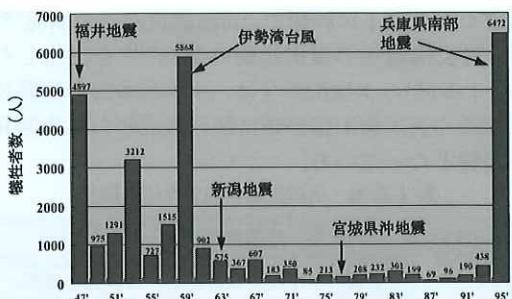


図-1 地震災害の性質の変化

図-2 自然災害による犠牲者数の経緯²⁾

自然災害が都市型災害に繋がりやすい状況にあることを示唆するものである。

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

1) 新潟地震 (1964年6月16日、M7.5)³⁾

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



写真-1 新潟地震による昭和大橋の落橋

2) 宮城県沖地震 (1978年6月12日、M7.4)⁴⁾

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

3) 兵庫県南部地震 (1995年1月17日 M7.2)⁵⁾

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

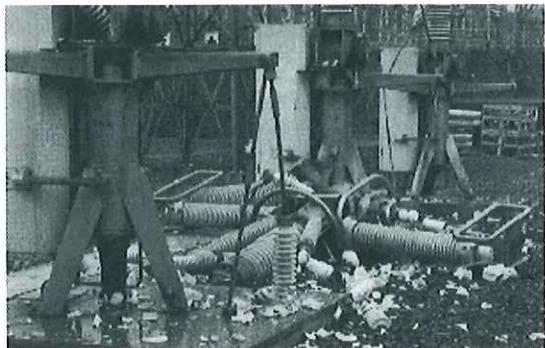


写真-2 宮城県沖地震による変電所設備の被害



写真-3 兵庫県南部地震による高架道路の倒壊

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

(2) 都市型災害と危機管理

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

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

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

図-3 新しい構造物・機能の現出と地震災害

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. 危機管理と地震防災技術開発

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

1) 事前防災技術と事後防災技術

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

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

表-1 事前・事後防災に関する技術開発

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

2) 最中防災技術

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



写真-4 建設省地震計ネットワークの観測点

3) 直後防災技術

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

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

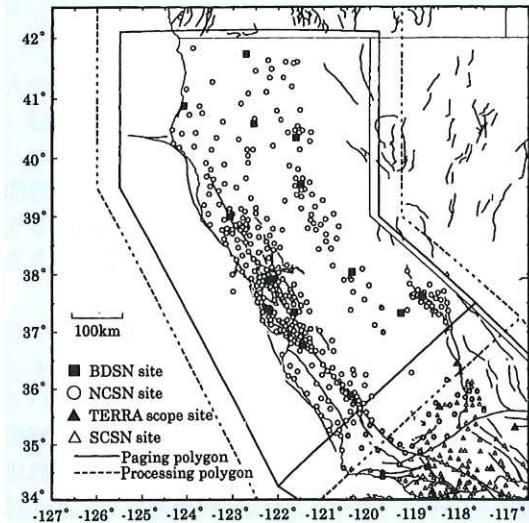


図-4 米国カリフォルニア州北部の地震観測点 (REDI システム)¹¹⁾

表-2 直後防災に関する技術開発

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

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

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

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

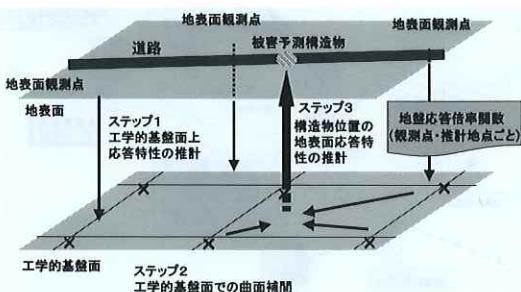
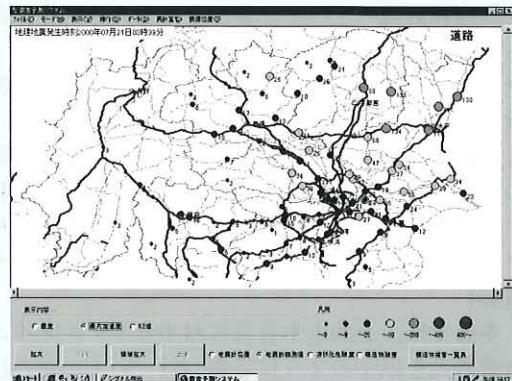


図-5 予測施設位置の地震動の推定方法



(a) 地震動分布 (最大加速度)



(b) 道路橋の被害予測 (画面の一部)



(c) 液状化危険度の予測 (画面の一部)

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

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

4. 危機管理の近未来像～リアルタイム地震防災

(1) リアルタイム地震防災とは何か

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

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

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

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

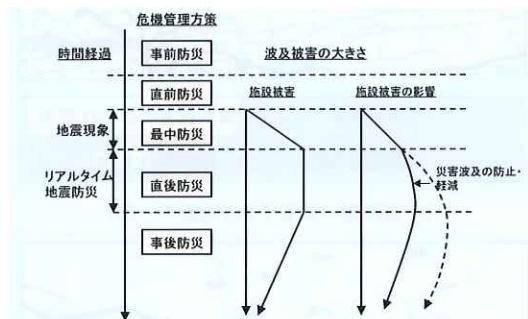


図-7 リアルタイム技術による被害軽減のイメージ

(2) 地震モニタリングから被害モニタリングへ

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



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

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

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

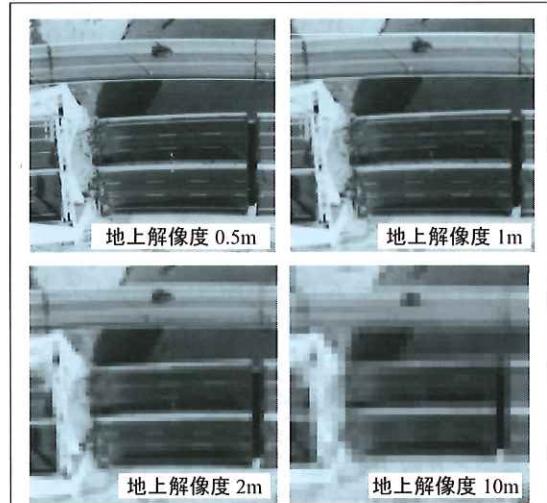


図-9 衛星画像による施設被害の識別の可能性

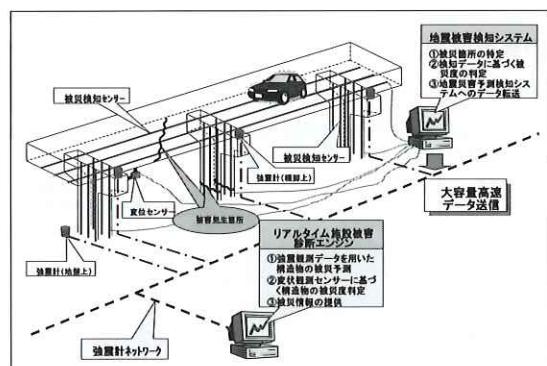


図-10 現位置センサーによる道路橋の被災診断

(3) “空白時間帯”のない情報提供へ

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

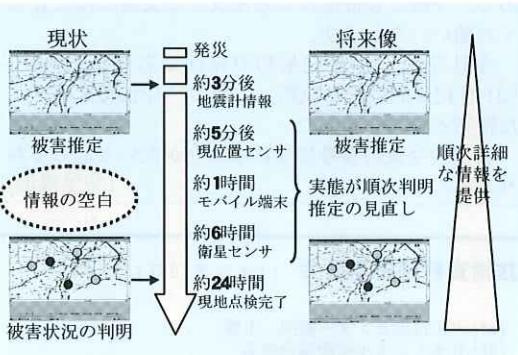


図-11 防災関係機関・住民等への情報提供

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

5. まとめ

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

- 1) 都市型災害の特徴を、災害多発化と災害予測の困難性、人的被害の増加、災害の連鎖的拡大の側面で整理した。
- 2) 地震災害に対する危機管理を、事前防災、直前防災、最中防災、直後防災、事後防災に分類し、各段階の留意事項と関連する地震防災技術開発の現状を紹介した。
- 3) 公共土木施設のリアルタイム地震防災を、情報技術を積極的に活用した直後防災と位置づけ、被害モニタリング技術と情報提供技術により実現可能な危機管理の近未来像を考察した。

参考文献

- 1) 河田恵昭：都市大災害, 1995.11
- 2) 建設省 IDNDR 推進室監修：日本の防災～国際防災の10年に寄せて(パンフレット)
- 3) 建設省土木研究所：新潟地震調査報告、土木研究所報告, Vol.125, 1965.6
- 4) 建設省土木研究所：1978年宮城県沖地震災害調査報告、土木研究所報告, 第159号, 1983.3
- 5) 建設省土木研究所：平成7年(1995年)兵庫県南部地震災害調査報告、土木研究所報告, 第196号, 1996.3
- 6) 鹿島都市防災研究会編著：地震防災と安全都市, 1996.8
- 7) 地震調査研究推進本部：地震調査研究の推進について, 1999.4
- 8) 建設省土木研究所：新耐震設計法(案), 土木研究所資料, 第1185号, 1977.3
- 9) 建設省土木研究所：土木構造物の震災復旧技術マニュアル(案), 土木研究所彙報, 第45号
- 10) 土木学会リアルタイム地震防災研究小委員会：リアルタイム地震防災シンポジウム論文集(第1回、第2回), 1999.1, 2000.5
- 11) 山崎文雄：リアルタイム地震防災のための地震動モニタリング、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, pp.5-12, 1999.1
- 12) 建設省土木研究所：基幹施設の災害情報システム・ガイドライン(案), 土木研究所彙報, 第58号
- 13) 濱田禎、杉田秀樹、金子正洋：公共土木施設における即時震害予測システム、第10回日本地震工学シンポジウム, pp.3419-3424, 1998.11
- 14) 中村豊：リアルタイム地震動モニタリング、1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, pp.37-41, 1999.1
- 15) 清水善久：東京ガスの新リアルタイム防災システム-SUPREME-, 第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集, pp.13-18, 1991.1
- 16) 建設省道路局道路防災対策室監修：新時代を迎える地震対策～地震に強いみちづくりへの提言, 1996.10

杉田秀樹*



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

大谷康史**



同 防災技術課研究員
Yasushi OTANI