

都市基盤施設の被害検知体制に関する研究

野崎智文¹・杉田秀樹²・遠藤和重³

¹正会員 工修 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課 主任研究員 (〒305茨城県つくば市旭1番)

²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 (〒305茨城県つくば市旭1番)

³工修 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課 研究員 (〒305茨城県つくば市旭1番)

大規模な地震が発生した場合、道路・河川等の都市基盤施設には広域にわたって被害が発生する可能性がある。これらの都市基盤施設は、例えば緊急輸送道路ネットワークなど、連続性が確保されてはじめて全体系としての機能を発揮するものが多い。このため基盤施設の管理者は、地震発生直後に管理施設全体の被災規模や被災分布を迅速に把握し、緊急対応に向けた初動体制を確立することが特に重要となる。本文は、地震直後の初動体制整備に有効な都市基盤施設の被害検知技術および被害検知から復旧開始までの人間行動を含めた作業の流れを被害検知システムとして捉え、確率論的手法により被害検知の迅速性を評価する手法を検討した結果を報告するものである。

Key Words : Earthquake, disaster prevention, disaster prevention system, simulation

1 序 論

地震が発生し、道路施設等地域の緊急活動を支える都市基盤施設が被災した場合、避難・救急・救援といった地域の緊急活動に大きな影響が生じる。したがってこれら基盤施設の被害を把握し、必要に応じて震後対応を行うことはきわめて重要である。本稿では、これらの震後対応を迅速に行うための施設・設備・技術・人などを含めた震災対策システムの効率性を評価する方法を提案する。

一般に地震発生以降のこのような対策は、地震の検知→被害の予測・被害の検知→応急対策活動の順で行われるが、阪神淡路大震災の経験からリアルタイム地震防災の気運が高まり、地震発生の検知と即時の被害予測を支援する情報システム等の技術開発が各方面で進行中である。一方被害検知についてはヘリコプターやセンサー等を用いた検知システムの技術開発が進められている。

ところがこれら各種のセンサーや即時予測のシステムには各々の処理・伝達に関する遅延時間があり、またその結果を結果を受けて人・組織が情報の解釈、意思決定を行ってから活動に入るまでもに遅延時間がある。時間のみならず、これらの各々の段階において機器の故障、参集・出動の可能性に関するリスクが存在し、場合によっては一個所の問題が全体的な活動に影響を及ぼすこと

もありうるほか、各種の技術を導入するためにはそれぞれにコストが生じる。したがって、震後対応を効率的に行うための設備・人のありかたについては、個々の技術のパフォーマンスのみならず、それらが全体の体制の中に位置づけられた状態での有効性、影響の度合いなどが十分検討されなければならない。

本稿では、上記のような観点から、①各種の被害検知システムを活用した場合の震後対応にいたるまでの迅速性、②体制によって変化する震後点検の効率性について、簡単な確率モデルにより定量的に評価する手法を紹介する。

なお本稿では、地震・被害を検知する設備や情報を伝達する設備のみならず、これらによる情報を活用して震後対応を行う人・組織・活動方針を含めた総体を「震災対策システム」として捉える。また、今回の手法は主として被害を検知する技術・体制について検討しているが、被害の即時予測に関する技術・体制も同じ形で含め、その全体的な効率性を評価することが可能である。

2 検知システムによる被害検知の迅速性評価

(1) 被害検知システムの特徴

地震による都市施設の被災状況を把握する方法には、被害を現位置で検知するのか離れた地点から把握するの

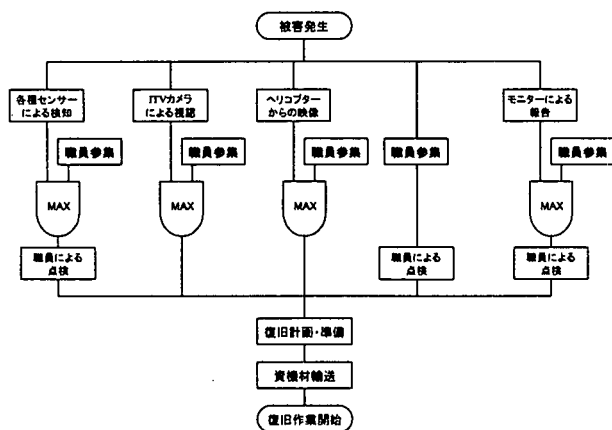


図 1 被災検知から震後対応までのモデル化

か、あるいは受動的に検知情報が取得されるのか検知を行うための能動的な活動が必要なのか、といった条件によって様々な種類のものが考えられる。これらの中には、施設に直接取り付けられその変状を計るデバイス、遠隔より施設の変状を検知するリモートセンシングのほか職員や一般のモニター等により実際に変状が確認され連絡される方法などが含まれるが、ここではそれらの方法を一括して施設被害の「検知方法」と呼ぶことにする。本章では、施設に取り付けられたセンサーやヘリコプターによる被害状況把握などの検知方法によって被害を検知し、震後の活動が開始されるまでの時間を計測する手法を提案する。

(2) 評価モデルの設定

評価モデルに関する設定を説明する。基盤施設を管理する機関（工事事務所等）を考え、地震発生直後に複数の検知方法が並行して活動を開始すると仮定する（図 1）。ここでは検知方法として次の五つを選んだ。それらは①施設に直接、あるいは施設の付近に設置されたセンサー・デバイスにより施設の変状を検知し、管理機関にその情報を伝送するもの（センサー）、②施設の状況を画像により撮影・伝送するもの（ITV カメラ）、③ヘリコプターにより上空から施設の被災状況を撮影・伝送するもの、④施設を管理する機関の職員による点検・報告、⑤あらかじめ依頼しておいたモニターによる報告である。

各々の検知方法は、その活動内容によってその内容が更に分けられている。たとえばヘリコプターによる上空からの被害把握を例示すると図 2 のとおりである。図中、出動の意思決定、現場上空での撮影や職員の参集といった一定の時間を要する単位を「処理ノード(execution node)」、施設や機器が仕様不能になる場合の分岐点を「分岐ノード(branch node)」そして前段のすべての条件がそろった場合に始めて後段の処理が開始されることを表す

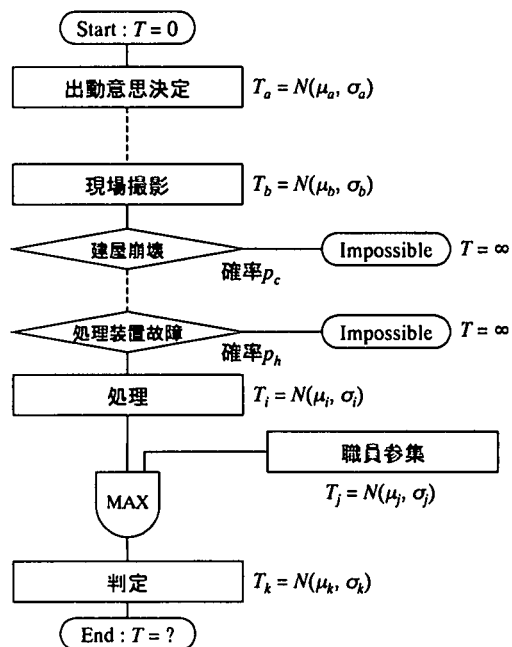


図 2 ヘリコプターによる上空からの被害把握

ゲート（最遅ゲート）を用いて処理を記述している。

処理ノードにはその処理に必要な時間が確率分布によって与えられ、分岐ノードには分岐が発生する確率値が与えられている。ここで仮にこれらの分布、確率がすべて与えられているとすれば、多数の乱数を発生させて試行を重ねることにより（モンテカルロ法）、処理全体に要する時間の確率分布を得ることができる。なお異なる時間帯に地震が発生した場合を表現するには、これらの確率分布や確率値を変化させて対応できる。

本研究の目的はこのような形でシステムを記述するための枠組みを検討するものであるため、個々の処理ノードの確率分布、分岐ノードの確率値については、経験上非現実でない値を任意に設定した。

(3) 迅速性評価の例

上記のようなモデル設定に基づき、シミュレーションを行った結果の一例を示す（図 3）。前節の方針でモデル化した体制に対して 1,000 回の乱数を発生させ、五つの検知方法のうち最も早く被害を把握できたルートを検知時間を被害把握に要する時間とし、その後復旧活動が開始可能となるまでに要した時間を表している。時間帯によってセンサーの利用できる確率、参集等に要する時間が異なるため、所用時間は夜間で長く、中間で短くなっている。

上記のように、時間帯によって被害把握に要する時間が異なるが、各時間帯ごとに利用される検知方法の割合を示したものが図 4 である。各段階で必ずしも現位置のセンサーのみが有利とはならず、ヘリコプター、人手による点検・報告も含まれるが、これは確率的に施設・機

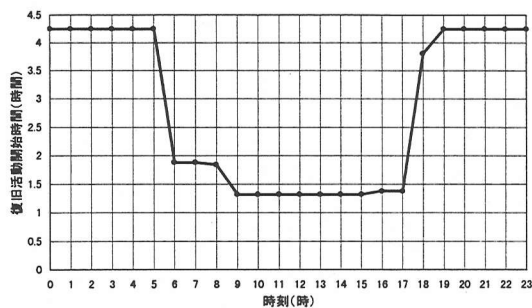


図 3 時間帯別、被災状況把握時間

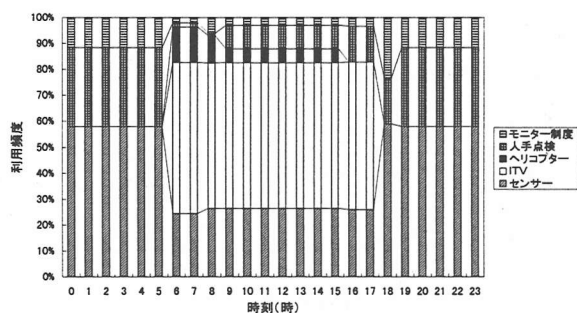


図 4 時間帯別、最速検知方法

器等が地震により使用不可能となる場合もあるからである。当然のことながら、ITV は夜間は使えないが、昼間におけるその割合は高い。また、夜間は現位置のセンサーおよび職員やモニターによる点検のみが可能となるが、図 3 からわかるように被害把握に要する平均的な時間は長くなる。

(4) 今後の課題

これらの結果は直感的な予測と変わらないが、実際の震災対策体制を考えると、異なる箇所にある複数の現場、それらの被害把握に対応する複数の部署・担当が存在し、また情報集約、意思決定に際しても、関係する部署や機器が前後してつながっており、それらには固有の処理時間がある。したがって本手法は、実際の複雑な問題をモデルとして記述するための一つの有効な方法を与えるものである。

また今回のシミュレーションにおいては、各処理ノードの処理時間に関する確率分布、分岐ノードにおける分岐確率を任意に設定したが、今後これらを実際の問題について計測する方法を開発する必要がある。この場合の「計測」とは、必ずしも機器等を用いたものとは限らず、ヒアリング、アンケートなどの主観的な情報を得てそれらを適切に処理することで各パラメータを設定すること

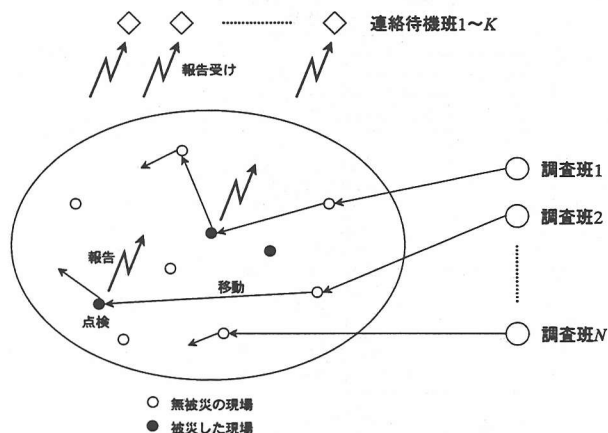


図 5 震後対応における調査・点検のモデル化

も含まれる。

3 震後点検による被害把握の効率性評価

(1) 被害把握の効率性

前章では、複数の検知方法の間で地震発生後の被害把握の迅速性を、一つの箇所について複数の検知方法を適用したモデルでシミュレートした。ここでは、ある事務所管内に複数の調査対象箇所があり、それらの箇所を複数の調査班によって調査する場合の効率性について評価する手法を提案する。

一般に震災調査の体制としては、調査班およびそれらの連絡を受ける連絡窓口の数が多いほど早期に被害を把握できるが、必ずしもその関係は線形ではなく、調査班の数の増加に対して被害把握に要する時間の低減率は減少することが推察される。本章で提案する手法では、調査班と連絡窓口の数を変化させた場合の被害把握に要する時間をモデルにより計測し、震災対策体制の効率性として評価する。

(2) 評価モデルの設定

ある区域内の施設を管理する一つの事務所を考える。地震発生により区域内の施設のいくつかが被災し、事務所においては、被災箇所を調査点検するための調査班および調査班から連絡を受けその情報を集約する連絡待機班が複数組織される(図 5)。ただし本モデルでは区域内の現場の空間的な位置を仮定しておらず、抽象的に表現されている。

調査班は区域内の施設を点検し、施設に被害がなければそのまま次の現場へ移動し、被害が発見された場合にはその箇所を調査・報告した後に次の未調査の現場へと移動する(図 6)。報告にあたって、すべての連絡窓口が他の調査班と交信中で連絡が取れない場合、ここでは窓口空きが出るまで待つこととしている。またエリア

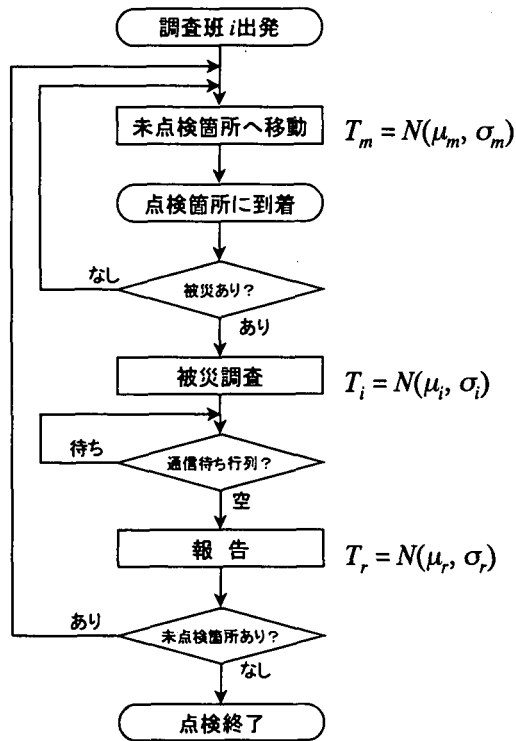


図 6 連絡窓口数の変化と点検所用時間

内の被災箇所は、あらかじめ設定された被災率に基づき乱数を発生させて定めておくとともに、各調査班の処理のうち所用時間を持つノードの処理時間については正規乱数を発生させて時間を経過させる。

(3) 効率性評価の例

活動開始からすべての箇所の調査・点検が終了した時点までの時間を点検の所用時間として、調査班数などのパラメータを変更してシミュレートした。

たとえば 1,500 の調査対象箇所のうち 20% が被災し、調査班からの報告を 2 組の連絡待機班で受けるとして、調査する班の数を変化させていった場合の全体調査の所用時間を示したものが図 7 である。箇所数を大きく設定したため全体的に所用時間が長い。それでも班数が 15 付近からは班数を増加させても所用時間はあまり低下しない。また調査班数を一定として連絡待機班の数を変化させた場合の所用時間の例を図 8 に示す。先のシミュレーションの設定に比べてここでは報告に要する時間を長めに取っているが、それでも連絡待機班の数が 5 班程度以上では所用時間にあまり大きな変化はない。

(4) 今後の課題

今回のシミュレーションでは、調査対象箇所に関する空間的な区別は考えず、調査班の移動時間を確率的に変動させたのみであったが、調査箇所間のネットワーク・トポロジーを導入することで、実際の問題に対応することができる。

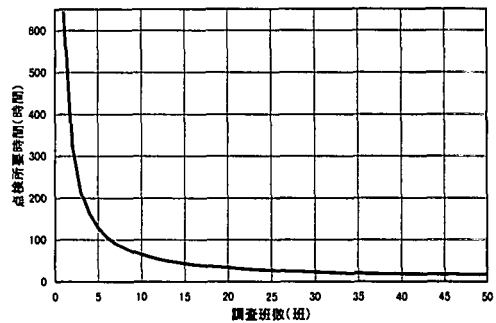


図 7 震後点検の移動・調査の流れ

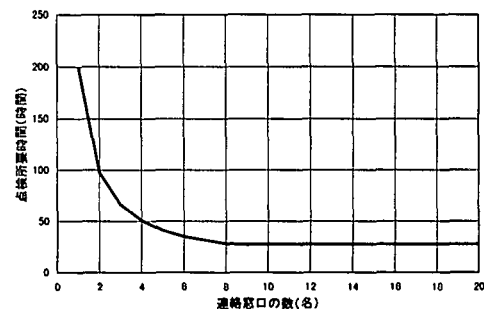


図 8 調査班数の変化と点検所用時間

また前章の迅速性に関するモデル同様、ここでも移動、調査、報告の所用時間については任意に設定しているが、これらを実在の現場において計測・特定する方法を今後開発する必要がある。

4 結論

本稿においては、地震発生直後における基盤施設の被災情報の収集・把握における震災対策システム（機器・人・行動様式）のパフォーマンスを定量的に評価する手法の枠組みについて紹介した。今回のシミュレーションの過程で得られた結果は直感的な予測と大きくは変わらないが、実在の現場においてより複雑な構造を持つ震災対策システムを評価する場合に、今回の手法を拡張することによって有効な指標が得られる。

最終的には、このような手法をインタラクティブなアプリケーションとして開発することにより、現場における震災対策システムの評価・向上に資するものである。

¹⁾ 川島一彦、杉田秀樹、加納尚史ら、ヘリコプター等を用いた上空からの即時・広域震災情報の収集技術の開発に関する研究、土木研究所報告第 192 号、pp.1-76、1994.1