

ISSN 1346-7328

国総研資料 第66号

平成14年12月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land Infrastructure Management

No.66

December 2002

平成13年度地震防災研究室調査研究成果概要報告書

地震防災研究室

Annual Report of Research Activities, Earthquake Disaster Prevention Division, 2001

Earthquake Disaster Prevention Division

国土交通省 国土技術政策総合研究所

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

平成 13 年度地震防災研究室調査研究成果 概要報告書

日下部毅明
村越 潤 *
真田 晃宏
大谷 康史
上原 浩明
片岡正次郎
中尾 吉宏
吉澤勇一郎
松本 俊輔

概要

地震防災研究室において平成 13 年度に実施した調査研究の成果をまとめたものである。道路網の地震時リスク・防災性評価、リアルタイム災害情報技術の調査、地震動の工学的特性の解明と設計地震動の設定、強震計の点検調査等の調査研究成果の概要、及び学会などでの口頭発表論文及び雑誌などへの投稿論文を含んでいる。

キーワード：地震防災、防災計画、リアルタイム災害情報、設計地震動、地震ハザードマップ、強震観測

* 現 独立行政法人土木研究所構造物研究グループ上席研究員（橋梁構造）

Annual Report of Research Activities, Earthquake Disaster Prevention Division, 2001

Takaaki KUSAKABE
Jun MURAKOSHI *
Akihiro SANADA
Yasushi OHTANI
Hiroaki UEHARA
Shojiro KATAOKA
Yoshihiro NAKAO
Yuichiro YOSHIZAWA
Shunsuke MATSUMOTO

Synopsis

This note is the annual report of research activities of the earthquake disaster prevention division in 2001. This includes researches such as: method of evaluation of seismic safety or seismic risk of road networks against earthquakes; research on real-time disaster information technology; investigation into engineering characteristics of earthquake motions and evaluation procedure for seismic design ground motions; maintenance of strong-motion observation sites. In addition, this also includes accepted papers at congresses.

Key Words : earthquake disaster prevention, disaster prevention planning, real-time disaster information, seismic design ground motion, seismic hazard map, strong-motion observation

* Currently, Principal Researcher of Bridge Structure Research Team, Structures Research Group, Independent Administrative Institution Public Works Research Institute

目 次

調査研究

試験研究費

1. 震災対策体制の評価技術に関する研究…………… 9
2. 地震動の局所的な変動特性に関する研究…………… 11
3. 強震計管理費…………… 13
4. 公共土木施設に対する地震防災投資効果に関する研究…………… 17
5. リアルタイム災害情報技術の高度化に関する研究…………… 19

技術研究開発調査費

6. まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発
地区施設等の救出・救護への効果分析
地区施設等の避難問題への効果分析
幹線系道路の防災評価に関する研究…………… 21
7. 先端技術を活用した国土管理技術の開発
宇宙・情報技術を活用した震災対策支援システムに関する研究…………… 27

道路事業調査費

8. 大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査…………… 29
9. 地震ハザードマップの作成手法の開発に関する調査…………… 31
10. マルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法に関する試験調査…………… 33
11. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発…………… 35
12. 大規模地震を想定した長大橋梁の耐震設計法の合理化に関する試験調査…………… 37

河川総合開発事業調査費

13. サイトの地震動特性に基づく設計地震動の設定手法に関する調査…………… 39

地方整備局等依頼経費

14. 河川施設の強震計の点検調査…………… 41

平成 13(2001)年度
調査研究
概要報告書

1. 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：室長：村越潤、主任研究官：大谷康史

要 旨： 地震発生直後に所管施設に関する被害状況を迅速に把握することは、震災対策にとって必須の事項であり、不測の事態を想定し、初動対応を迅速かつ確実にを行うための体制整備が重要である。また、情報技術が進展する一方で、これを取り扱う体制組織のパフォーマンス（情報収集活動・情報処理の効率性）を総合的に把握することが必要である。このような体制の実働性、効率性の確保・評価にあたっては、シナリオに従った実地訓練も重要な方法であるが、様々なシナリオや不測の事態に対して検討を繰り返すのは難しい。本研究では工事事務所の地震直後の震災対策体制をプログラム内で表現し、体制システム全体としての情報収集・処理・集約に関するパフォーマンスを定量的に評価するツールを開発し、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。13年度においては、過年度の検討結果を基に、体制評価シミュレーションプログラムのプロトタイプを作成し、仮想のモデル事務所を例に各事象の影響分析を行った。また、来年度行う予定の实在の工事事務所ケーススタディーに使用する入力データ作成支援のプリプロセッサおよび結果表示用のポストプロセッサを作成した。

2. 地震動の局所的な変動特性に関する研究

研究期間：平成 10 年度～平成 14 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：中尾吉宏

要 旨： 我が国では、人口・資産の密集地である平野部において、洪積層・沖積層が複雑な地盤を構成している事例が、数多く見られる。このような地点においては、複雑な地盤構成が地震動特性の分布に影響を与えていることが考えられる。また、既往の高密度強震観測記録の解析結果等によれば、概ね一様な地盤においても、地震動特性は箇所ごとに変化していることが知られている。しかしながら、このような地震動の変化の定量的な評価手法は確立されていない。ここでは、これらの地震動の局所的な変動特性について体系的に評価するとともに、それらを構造物の耐震設計に反映させる手法について研究する。13年度は、高密度強震観測記録の解析結果に基づいて評価した地震動の地点ごとの変動特性を表すコヒーレンスを考慮して、任意の地点における地震動を基本に、それ以外の地点の地震動を作成する手法を暫定提案した。

3. 強震計管理費

研究期間：昭和 56 年度～平成 15 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：上原浩明

要 旨： 国土技術政策総合研究所では、局所的な地形・地盤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の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、国土技術政策総合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・蓄積及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している。

平成 13 年度は、高密度強震観測（9 地区 95 観測点）の保守点検及び 92 回の地震観測記録の回収とデータ処理、小田原、幕張・習志野、松崎地区で発生した機器の故障の修理、全観測所の無停電電源装置の蓄電池交換、研究所内の観測所集中制御用サーバーの 2 重化を実施した。また、一般強震観測施設では、国総研所有分 14 箇所の保守点検と観測記録集の作成（地方整備局・県所有分を含む）、観測施設及び観測記録データベースの拡充を行った。

4. 公共土木施設に対する地震防災投資効果に関する研究

研究期間：平成 13 年度～平成 15 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：吉澤勇一郎

要 旨： 阪神大震災以後、道路橋示方書の改定等耐震設計基準の高度化が進められる一方で、地震防災投資のアカウンタビリティ確保に関する社会的要請が高まっている。土木学会提言では、重要度に応じた目標耐震性能の妥当性について社会的合意を得ることの重要性が指摘されており、公共事業評価と同様に費用対効果に基づいて妥当性を評価するための客観的・実務的な方法論の構築を目指した研究的取り組みが求められている。本研究は、公共土木施設に対する地震防災投資効果の評価手法、及び費用対効果の視点から公共土木施設の目標耐震性能を選択する方法論について、検討を行うものである。13 年度は、既往地震における土木施設に起因する損失を調査し整理するとともに、公共事業評価や地震被害想定において用いられる損失評価手法について地震損失評価への適用性と適用上の留意事項を調査した。その結果、既存の事業評価指針では防災に関する損失・投資効果項目として、人的被害、施設被害、一般資産被害といった直接被害に加

え、安心感向上、営業停止被害、応急対策費用などが考慮されていること、その算定法が地震防災投資効果の算定にも非常に参考になること、また地震防災に特有のものとして生起確率の希少性、激甚災害における損失増幅効果、地震時交通などの算定が必要であることがわかった。

5. リアルタイム災害情報技術の高度化に関する研究

研究期間：平成 13 年度～平成 14 年度

担当者：室長：村越潤、主任研究官：真田晃宏

要 旨： 災害時には現場、災害対策本部、他機関や自組織内での迅速・確実な情報連絡・情報管理が、円滑な災害対応を遂行する上で重要である。本研究は、地震動情報をもとに判定した所管施設の被害推定結果や点検結果、通行規制情報等を、携帯端末を通じて現場パトロール員へ提供し現場における災害対応を効率化するとともに、現場パトロール員からの点検結果等の情報を携帯端末へ入力することにより、災害対策本部への報告、他機関との間での情報共有を確実化・迅速化するためのシステムを開発することを目的としている。

13年度においては、災害対応下での情報のやりとりに関する現場における現状、課題、情報通信技術の災害対応への活用状況を調査するとともに、現場パトロール員へ携帯端末を通じて被害推定結果を提供する際の模擬画面を作成し使用が想定される現場へのヒアリング調査を実施した。今後、本調査結果をもとに、携帯端末で取り扱う情報、入力・出力方法等を試験的に携帯端末へ搭載し、現場でのフィールド実験を実施する予定である。

6. まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発

地区施設等の救出・救護への効果分析

地区施設等の避難問題への効果分析

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：室長：村越潤、主任研究官：大谷康史

要 旨： 本研究は、「地区の防災対策技術の開発」をテーマに、救出・救護・避難問題に対する幹線系道路の信頼性評価手法の検討を行うものである。5 箇年計画の 4 年度目である 13 年度は、3 種類の評価対象時期（主として地震発生 3 時間後を対象とする短期評価、主として地震発生から 3 日目を対象とする中期評価、主として地震発生から 1 月後を対象とする長期評

価)のうち、短期評価について検討を行った。具体的な検討内容は、神戸市の中央区・灘区・東灘区の市街地部をケーススタディーの対象と設定し、この地域における評価対象幹線系道路を選定し、昨年度に提案した機能障害危険度評価手法に基づき、評価対象地域内の幹線系道路について、各区間の閉塞確率、交通容量期待値を算出した。その後、パーソントリップ調査結果のODデータを基に、阪神・淡路大震災後のアンケート結果を用いて、背景交通ODを作成した。また、阪神・淡路大震災時の調査結果に基づく原単位と人口データ等より、緊急活動ODを作成し、両者を合わせて短期評価用ODとした。最後に、短期評価用幹線系道路ネットワークモデル上に短期評価用ODを発生させて、シミュレーションを行った。

7. 先端技術を活用した国土管理技術の開発

宇宙・情報技術を活用した震災対策支援システムに関する研究

研究期間：平成11年度～平成14年度

担当者：室長：村越潤、主任研究官：真田晃宏

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

13年度は地方整備局に対するヒアリングを行い、リモートセンシング技術の災害対応への導入イメージを作成した。また、リモートセンシング技術導入によるメリットを抽出するとともに、現場へのリモートセンシング技術の導入にあたって考慮すべき事項について検討した。導入メリットとしては、同一エリアの他機関所管施設の被害概要も把握できること等が挙げられた。また、円滑な導入・利用のためには、リモートセンシング技術の利用効果が明確である大規模災害時だけでなく、頻度の高い規模の災害時や平常時業務においても活用できることが必要であること等を把握した。

8. 大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査

研究期間：平成10年度～平成13年度

担当者：室長：村越潤、研究官：中尾吉宏、研究員：松本俊輔

要旨：地中地震動の分布特性は、従来、観測記録が限定されていたこともあり、十分に明らかにされておらず、特に、兵庫県南部地震で生じたような非常

に強い地震動が生じた場合の地震動の分布特性については未解明の部分が多い。また、立地条件の制約、施工技術の進歩等により、従来に比べ深い位置に地中構造物が設置されるようになってきており、工学的基盤以深の地震動特性についても把握することが必要となってきた。本研究では、地中構造物の耐震設計の高度化・合理化を図るために、非常に強い地震動が生じた場合の地中地震動の分布特性及び工学的基盤以深の地震動特性について検討することを目的とする。13年度は、平成7年兵庫県南部地震により生じた地中地震動の特性を考慮して、工学的な基盤面における設計用の速度応答スペクトルを暫定提案するとともに、その速度応答スペクトルに合致した設計用の動的解析用波形を作成した。

9. 地震ハザードマップの作成手法の開発に関する調査

研究期間：平成10年度～平成14年度

担当者：室長：村越潤、研究官：中尾吉宏

要旨：合理的な地震防災計画の策定や設計地震動の設定のためには、地震動特性の地域性を適切に考慮する必要がある。現行の各種耐震設計基準類では、既往のハザードマップにより地震動特性の地域性を考慮し、設計地震動を定めている。既往のハザードマップ作成には、過去千数百年程度の地震記録が用いられてきたが、数百年から数千年以上とされる活断層の地震発生間隔を考慮すれば、十分な期間の記録が用いられてきたとは言えない。本課題は、このような過去の地震の記録期間に関する実状を踏まえ、過去の地震記録とともに、近年、蓄積されつつある活断層及びプレート境界地震の情報を考慮した合理的なハザードマップ作成手法を開発することを目的としている。13年度は、過去の地震記録とともに、活断層やプレート境界で発生する地震の発生履歴やマグニチュードを考慮できる地震危険度解析手法を開発し、全国を対象とした地震ハザードマップの試算を行った。その結果、プレート境界地震や地震発生確率の比較的高い活断層が試算結果に支配的な影響を及ぼすこと、また、活断層の分布密度が高い中部地方や近畿地方においては、地震発生確率が高い活断層を中心として比較的広い範囲で活断層が試算結果に影響を及ぼすことが認められた。

10. マルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法に関する試験調査

研究期間：平成10年度～平成14年度

担当者：室長：村越潤、研究官：中尾吉宏、研究員：松本俊輔

要旨：兵庫県南部地震において生じたような非常に強い地震動に対しても、道

路橋等の構造物の安全性を確保するためには、構造物の塑性化を考慮した耐震設計を行う必要がある。本研究は、免震支承を採用した橋など、複数箇所に塑性化が生じる可能性のあるマルチヒンジ構造物の非線形応答に影響を及ぼす地震動特性を明らかにし、そのような地震動特性を考慮した設計地震動の設定手法を開発することにより、マルチヒンジ構造物の耐震設計の合理化に資することを目的とするものである。13年度は、プレート境界型地震及び内陸直下型地震による地震動の工学的特性を考慮して作成した種々の模擬地震動を用いて免震支承を有する橋脚を対象とした非線形動的解析を行い、2つのタイプの地震による地震動の工学的特性がマルチヒンジ構造物の塑性化に及ぼす影響について検討した。その結果、短い固有周期帯の橋脚に免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、内陸直下型地震による地震動に対してより大きくなることが示唆された。また、長い固有周期帯の橋脚については、内陸直下型地震及びプレート境界型地震の双方に対して、橋脚基部における履歴エネルギー吸収が増大するため、免震支承の採用による地震力の低減効果は小さくなること、更に、そのような傾向は内陸直下型地震に対してより強いことが示唆された。

1 1. 道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

研究期間：平成 12 年度～平成 14 年度

担当者：室長：村越潤、主任研究官：真田晃宏

要 旨： 震前の防災計画の立案や、地震直後における適切かつ迅速な対応を図る上で、想定又は実地震動に対する構造物・施設等の被害状況の推定を行うことは施設管理者に有用な情報を与えるが、推定に当たっては、地震動に対する構造物の被害程度やその発生のし易さを評価しておくことが必要となる。

被害程度やその発生確率は、地震動の大きさだけでなく、構造物の形式、寸法、設計に適用した基準など様々な要因によって異なる。例えば、道路橋の場合、その耐震基準である道路橋示方書は逐次改訂されており、適用道示により、地震動に対する耐震性能は異なってくる。本研究は、過去の地震において道路通行障害を引き起こす要因となった道路施設、占用施設、沿道施設を対象として、地震動と被害程度及びその発生確率の関係（被害関数）を調査するものである。今回は、被災により通行障害要因となる諸施設のうち、RC 橋脚、道路擁壁、道路路面を対象として、過去の地震の被害事例や数値解析により、施設の耐震性の違いについて支配的な要因を

抽出し、その影響度合いを把握したところである。今後、これらの成果を踏まえ被害関数を開発する予定である。

1 2. 大規模地震を想定した長大橋梁の耐震設計法の合理化に関する試験調査

研究期間：平成 10 年度～平成 14 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：片岡正次郎、研究員：松本俊輔

要 旨： 東京湾口、伊勢湾口等において超長大橋の建設が計画されているが、これらの地域は過去の大地震の震源近傍に位置し、極めて厳しい地震環境下にあるため、大規模地震を想定して設計地震動を設定する必要がある。一方、震源断層の破壊過程をモデル化して強震動を合成する、断層モデルを用いた地震動推定手法が提案されてきており、大規模地震の震源近傍で発生する強震動についてもその有効性が認識されつつある。本課題は、断層モデルを用いた地震動推定手法の実用性を高め、その推定地震動に基づく設計地震動の設定手法を提案することを目的としている。13年度は、提案している断層モデルを用いた地震動推定手法をさらに高度化し、将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法とともに、その具体的な手順をとりまとめた。また、この提案手法によって推定した地震動に基づいて、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡において計画されている超長大橋の試設計のための動的応答解析用入力地震動を提案した。

1 3. サイトの地震動特性に基づく設計地震動の設定手法に関する調査

研究期間：平成 12 年度～平成 16 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：片岡正次郎、研究員：松本俊輔

要 旨： 河川技術五計で提唱されている性能規定型設計技術を促進するためには、従来の震度法だけでなく、動的解析を活用したダムの健全性に対する照査を可能とし、耐震設計法の自由度を向上させる必要がある。その場合、入力としては設計震度ではなく、地震動を与えることになるが、合理的な設計地震動を設定するためには、サイト周辺における地震の発生特性を含めた、各サイトにおける地震動特性を反映する必要がある。本調査は、このようなサイトの地震動特性を反映した設計地震動の設定手法を開発し、動的解析による耐震性照査に基づくダムの耐震設計の高度化に資することを目的とするものである。13年度は、新しく昨年度にとりまとめられたダムサイトでの強震記録データベースをもとに、岩盤上で観測される地震動の最大加速度および加速度応答スペクトルの距離減衰式を提案した。また、一般的に、岩盤上における地震動は土質地盤上における地震動よりも

振幅が小さいこと、ダム底部における地震動はダムサイト周辺岩盤における地震動よりも振幅が小さいことを示すとともに、その原因について考察した。

1 4 . 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：昭和 60 年度～平成 15 年度

担当者：室長：村越潤、研究官：上原浩明

要 旨： 国土交通省が所管する河川・道路等の公共土木施設の一般強震観測は、昭和 3 2 年に近畿地方建設局（当時）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 1 3 年 3 月現在、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局が所管する河川、道路、ダム、砂防施設に設置された 8 8 0 箇所の地震観測施設で観測が実施されており、観測された地震記録は各種構造物の耐震設計基準や地震動特性などの研究に活用されている。本課題は、一般強震観測のうち国土交通省が河川施設に設置した観測施設を対象として、動作確認としての保守点検、地震観測記録の回収及び数値化処理、観測記録の処理・蓄積、河川施設における地震計設置に関する技術的指導などを目的としている。

平成 1 3 年度は、各地方整備局が所管する 9 3 箇所の観測施設の保守点検と平成 1 3 年 3 月に発生した芸予地震をはじめとした 1 2 1 回の地震観測記録の回収及びデータ処理、平成 1 2 年度分の観測記録集の作成を行った。

試験研究費

震災対策体制の評価技術に関する研究

Study on an evaluation method of efficiency of Earthquake disaster management activity

(研究期間 平成 11~14 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室 主任研究官 大谷 康史
Senior Researcher Yasushi Ohtani

Damage detection and urgent response are quite important for the earthquake countermeasure on infrastructures. Counter earthquake activities must be considered rare accident. In the year there were made a simulation model of damage information detecting measure immediately after an earthquakes by object orientation and results of calculation by simulation program developed using c++.

[研究目的及び経緯]

地震発生直後に所管施設に関する被害状況を迅速に把握することは、震災対策において必須の事項であり、不測の事態の発生も想定した初動対応を迅速かつ確実に行うための体制整備が重要である。また、情報技術が進展する一方で、これを取り扱う体制組織のパフォーマンス（情報収集活動・情報処理の効率性）を総合的に把握することが必要である。今年度は、地震直後における震災情報の収集体制の評価に資することを目的として、これまでの研究に基づいた、震災情報収集体制のモデル化及びそのモデルを用いた地震時の情報収集能力評価のためのシミュレーションについて、試算を行った。

[研究内容]

1. 震災情報収集体制のモデル化

図1に震災情報収集体制とモデル化の考え方を示す。地震発生から対策を検討するまでの間は、その活動の質から、大きく地震検知、参集、点検、情報収集の4つのフェーズに分類することができる。この中に含まれる活動を、オブジェクト指向を用いて、図1に示す、実際の役割に応じて設定した地震検知、要員、点検箇所、情報収集の4種類のオブジェクトによりモデル化

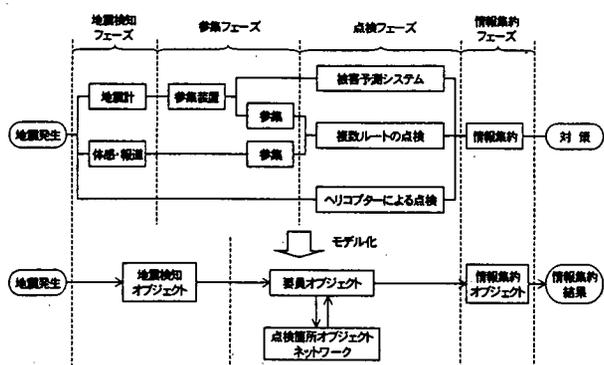


図1 震災情報収集体制とモデル化

する。各オブジェクトの概要は表1に示すとおりである。例を示すと、要員オブジェクトとは、地震検知オブジェクトより地震検知の情報を受けて活動を開始し、震災情報を収集し、震災情報を情報収集オブジェクトに送るものの総称である。そのため、このオブジェクトには、名称となっている要員を初めとして、上空から点検を行うヘリコプターや、地震計データから被害予測を行う、震害予測システムも含まれる。オブジェクトの内、地震検知と点検箇所はそれぞれネットワークを構成する。地震検知オブジェクトのネットワークを図2に示す。また、試算に用いる図3に示すモデル事務所の点検箇所オブジェクトネットワークを図4に示す。

表1 オブジェクトの概要

オブジェクトの種類	地震検知	要員	点検箇所	情報収集
入力元	(地震発生)	地震検知	要員	要員
入力内容	(地震発生)	地震検知	情報要請	震災情報
出力先	要員	情報収集	要員	-
出力内容	地震検知	震災情報	箇所情報	情報収集結果
主な表現物	地震計 報道 体感	点検要員 ヘリコプター 被害予測システム	点検場所 自宅(参集) 事務所	情報収集
役割	要員に対して地震発生を知らせる。	震災情報を収集し、情報収集に情報を送る。	要員に対し、移動先、所要時間等の情報を提供する。	震災情報を集約する。

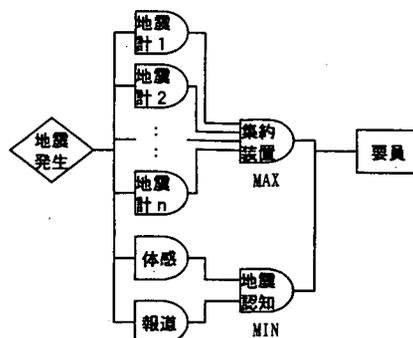


図2 地震検知オブジェクトネットワーク

2. シミュレーション結果

1示したモデルについて、C++を用いて、地震時の被害情報の収集状況を評価するシミュレーションプログラムを作成した。作成したプログラムにより、震災情報の収集状況を試算した。試算結果は、班編制変更の影響評価を目的として行った、表2の3ケースについて示す。点検ルート上の被害状況については、表3のとおりとした。ここでは、夜間に地震が発生し、職員が自宅より事務所に参集するケースをシミュレートしている。ケース1はルート間の被害分布が一般的な基本ケース、ケース2はルートにより被害分布が異なり情報収集期間が伸びることを想定したケース、ケース3はケース2の被害分布に対し、被害程度に応じて班編制を変更して情報収集期間の短縮を図ったケースである。

シミュレーションの実施のためには各行動に要する時間の設定が必要であり、ケーススタディーでは表4に示す値を仮設定した。移動や点検等に必要時間に

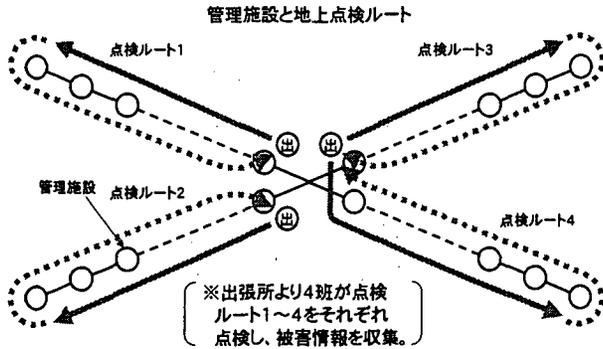


図3 モデル事務所の点検ルート

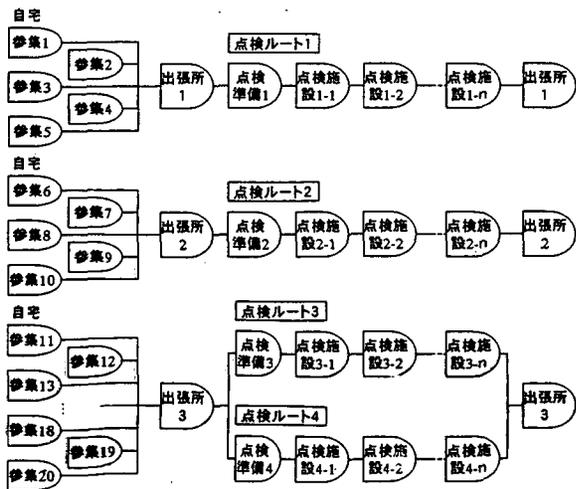


図4 点検箇所オブジェクトネットワーク

表2 ケーススタディーの条件設定

ケース	職員参集	1ルート中の点検箇所数	ルート被害区分(表3)	点検班編制人数(ルートについては図3参照)
ケース1	必要	20	一般	全ルート: 5
ケース2	必要	20	傾斜	全ルート: 5
ケース3	必要	20	傾斜	ルート1: 2, 5, ルート3: 4, ルート4: 6

対しては、表4の値で正規分布させている。

モンテカルロ法による1000回の計算の平均を図5に示す。ケース1は各ルートの被害が同じため、点検時間にばらつきはない。ケース2は、全体の被害が同じでも被害に偏りがあるため、被害が大きいルート4の点検時間がかかり、情報収集が終了するまでに、ケース1の約14%増の時間を要する。ケース3では、点検に時間がかかるルート4に、被害の少ないルート3から要員を移したために、効率的な情報収集が可能となり、情報収集に要する時間をケース1の4%増に押さえることができています。

3. 今後の方針

今後実際の工事事務所のケーススタディーを通じて、各オブジェクトの処理時間等について実用的な値を設定していくとともに、実用的現在検討されている被害情報把握手段の導入効果の評価方法について検討を進める。

表3 点検ルートの被害設定

被害区分	ルートNo.	被害大	被害小	被害なし	合計
一般	全ルート	20%	30%	50%	100%
	1	10%	20%	70%	100%
	2	20%	40%	40%	100%
	3	0%	10%	90%	100%
	4	50%	50%	0%	100%
全体平均		20%	30%	50%	100%

表4 各オブジェクトの処理時間の設定

項目	処理時間	標準偏差	備考
地震計	2.0	0.5	
集約装置	5.0	0.0	
体感	3.0	0.0	
報道	5.0	0.0	
職員参集	50.0	20.0	夜間
点検準備	30.0	10.0	
各施設間の移動(一律)	7.0	3.0	夜間
地上点検・被害大	20.0	7.0	夜間
地上点検・被害小	13.0	5.0	夜間
地上点検・被害なし	10.0	3.0	夜間
報告	1.0	0.0	

※単位はすべて【分】
*は、5人で点検した場合

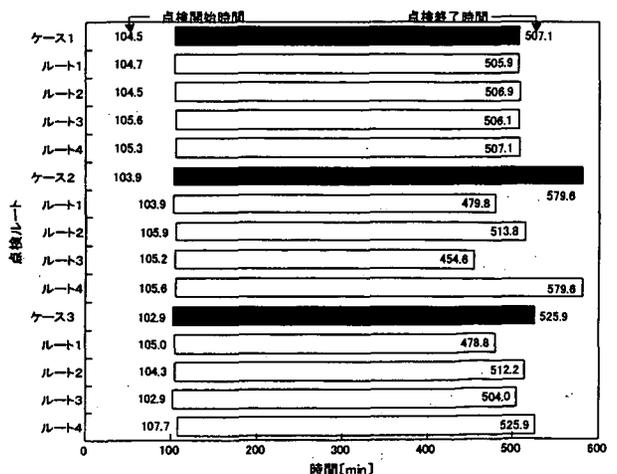


図5 被災情報の収集シミュレーション結果

地震動の局所的な変動特性に関する研究

Study on Variation Characteristics of Ground Motions in Time and Space

(研究期間 平成 10～14 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室

研究官(Researcher)

中尾 吉宏(Yoshihiro Nakao)

研究員(Research Associate)

松本 俊輔(Shunsuke Matsumoto)

Time and spatial variation of ground motions have effects on earthquake responses of civil engineering structures. In the present study, procedure for incorporating those ground motion characteristics into seismic designs are developed.

[研究目的及び経緯]

我が国では、人口・資産の密集地である平野部において、洪積層・沖積層が複雑な地盤を構成している事例が数多く見られる。このような地点においては、複雑な地盤構成が地震動特性の分布に影響を与えることが考えられる。また、既往の高密度強震観測記録の解析結果等によれば、概ね一様な地盤においても、地震動特性は箇所ごとに变化していることが知られている。しかしながら、このような地震動の変化の定量的な評価手法は確立されていない。本研究では、これらの地震動の局所的な変動特性を体系的に評価するとともに、構造物の耐震設計に反映させる手法について研究している。13年度は、高密度強震観測記録の解析に基づいて地震動の局所的な変動特性を体系的に評価するとともに、その結果を考慮して地点ごとに变化する地震動を算定する手法を暫定提案した。また、当該手法に基づいて地点ごとに算定した地震動を多点入力した場合と、地点ごとに実際に観測された地震動を多点入力した場合について、2点支持系の動的解析を行い、その結果を比較することにより、地震動が構造物に及ぼす影響という観点から提案手法の妥当性を検討した。

[研究内容]

1. 地震動の局所的な変動特性の体系的な評価

国土技術政策総合研究所の構内に設置されている高密度強震観測施設によりマグニチュード6以上の地震で得られた160[gal]程度までの強震記録を用いてコヒーレンス $Coh(x_{ij}, \omega)$ を算定した。ここで、 $Coh(x_{ij}, \omega)$ は、地点間距離 x_{ij} の地点 i 及び j において観測された地震動の振動数 ω ごとの相関性を表す指標である。本研究では、震央距離が最短となる観測点とそれ以外の観測点における地震動の $Coh(x_{ij}, \omega)$ を算出し、 $Coh(x_{ij}, \omega)$ が x_{ij} 及び ω の増加に伴い減少する特性を

体系的に評価した。表-1 に $Coh(x_{ij}, \omega)$ の算出対象とした地震の情報を示す。 $Coh(x_{ij}, \omega)$ は、一般に、 x_{ij} 及び ω の増大に伴って小さくなる特性を有するが、 $\omega > 5[\text{Hz}]$ ではそのような定性的な性質が認められなくなるため、ここでは、 $\omega \leq 5[\text{Hz}]$ を対象として $Coh(x_{ij}, \omega)$ を体系的に評価した。

表-1 $Coh(x_{ij}, \omega)$ の算出対象とした地震の情報

震央地名	発生年月日	マグニチュード	震源深さ [km]	最短の震央距離 [km]
茨城県沖	1982.7.23	7.0	30	168.3
茨城県南部	1983.2.27	6.0	72	21.7
茨城県南部	1985.10.4	6.1	78	29.1
九十九里浜	1987.12.17	6.7	58	91.6

2. 地点ごとに变化する地震動の算定

本研究では、1. で体系的に評価した地震動の局所的な変動特性を考慮して、任意地点の地震動を基本に、それ以外の地点の地震動を算定する手法について検討している。ここでは、これまでに開発した手法に基づいて、地点間距離 x_{ij} が 50[m] の2地点を対象に、地点ごとに变化する地震動を算定した結果を示す。対象とした2地点は、研究所構内の高密度強震観測地点である。当該2地点のうちの1地点(以下、地点1とする)において、1982年7月23日の茨城県沖の地震の際に観測された地震動を基本として、他の地点(以下、地点2とする)における地震動を算定した。地点ごとに变化する地震動の算定方法の理論的な背景は文献1)に譲り、ここでは、具体的な地震動の算定手順を示す。

- ①地点 i ($=1 \sim 2$)、時間 t における地震動を、互いに相関を有する確率過程 $U_i(t)$ で表す。
- ②1. で体系的に評価した $Coh(x_{ij}, \omega)$ を用いて、(1)式より、地点 i 及び j における地震動 $U_i(t)$ 及び $U_j(t)$ のクロススペクトル $S_{ij}(\omega_n)$ を求める。ここに、(1)式の $S_T(\omega_n)$ は、地点ごとに变化する地震動の算定において基本とする地点1の地震動 $U_1(t)$ のパワースペクトル、 c は地震動の地表面に沿った見かけの伝播速

度（ここでは1000[m/s]を仮定）。

$$S_{ij}(\omega_n) = S_T(\omega_n) \exp(-i\omega_n x_{ij}/c) \text{Coh}(x_{ij}, \omega_n) \quad (1)$$

$$\text{ここに、 } \omega_n = n\Delta\omega = \frac{2n\pi}{T} \quad (n=1 \sim N)$$

③②で求めた $S_{ij}(\omega_n)$ を要素とするクロススペクトルマトリックス (2)式左辺) を分解し、 $H_{ip}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega}$ を求める。また、(3)式より $\theta_{ip}(n)$ を求める。

$$\begin{bmatrix} S_{11}(\omega_n)\Delta\omega & S_{12}(\omega_n)\Delta\omega \\ S_{21}(\omega_n)\Delta\omega & S_{22}(\omega_n)\Delta\omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} & 0 \\ H_{21}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} & H_{22}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_{11}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} & H_{12}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} \\ 0 & H_{22}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\theta_{ip}(n) = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Im}\{H_{ip}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega}\}}{\text{Re}\{H_{ip}(\omega_n)\sqrt{\Delta\omega}\}} \right) \quad (3)$$

④地点1における観測記録のフーリエ係数 a_n 及び b_n ($n=1 \sim N$) から(4)式により ϕ_{1n} を求める。(これにより、(5)式により算定される地点1の地震動 $U_1(t)$ を、観測記録と同一なものとする事ができる。)

$$\phi_{1n} = \tan^{-1} \left(-\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (n=1 \sim N) \quad (4)$$

⑤ ϕ_{2n} を、独立、一様な乱数として発生 ($n=1 \sim N$)。

⑥(5)式より地震動 $U_i(t)$ を求める。

$$U_i(t) = \sum_{p=1}^N \sum_{n=1}^N |H_{ip}(\omega_n)| \sqrt{2\Delta\omega} \cos\{\omega_n t + \theta_{ip}(n) + \phi_{pn}\} \quad (5)$$

3. 地震動の局所的な変動が構造物に及ぼす影響

地震動が構造物に及ぼす影響という観点から、(5)式で算定された地震動の妥当性を検討するため、次の①及び②の地震動の入力方法で2点支持系を対象とした動的解析を行い、その結果を比較した。

①図-1(a)に示すように、支点1及び2に地点1及び2で実際に観測された地震動を多点入力

②図-1(b)に示すように、支点1には地点1で実際に観測された地震動を入力し、支点2には(5)式で算定した地震動を入力

比較したのは、質点の最大加速度応答と支点1の最大せん断力である。動的解析は、種々の固有周期、バネ定数比の2点支持系を対象に行った。

【研究成果】

高密度強震観測記録に基づいて体系的に評価した $\text{Coh}(x_{ij}, \omega)$ を図-2に示す。また、図-2の $\text{Coh}(x_{ij}, \omega)$ を考慮して、研究所構内の地点1及び2を対象に、地点ごとに変化する地震動を算定した結果を図-3に示す。地点1及び2の地点間距離は50[m]である。同図は、地点1及び2における地震動 $U_1(t)$ (=当該地点の強震記録) 及び $U_2(t)$ の相関性が、図-2に示した地点間距離 $x_{ij}=50$ [m]相当の $\text{Coh}(x_{ij}, \omega)$ と同等なものとなるよ

う算定された地震動の Coh を示したものである。図-3から、地点間距離50[m]相当の $\text{Coh}(x_{ij}, \omega)$ と、(5)式で算定した地震動の Coh は、耐震設計上特に重要な $\omega \leq 5$ [Hz]で概ね同様なものとなっており、目標の相関性を持った地震動が算定されている。

また、図-4には、[研究内容]の3.の①及び②の方法で地震動を入力して算定した2点支持系の応答値の比較を示した。2通りの地震動の入力方法で算定した最大加速度応答の比(支点2に算定した地震動を入力/支点2に強震記録を入力)は、固有周期や2点支持系のバネ定数比に応じて変動するが、概ね1程度であるため、(5)式で算定される地震動は、最大加速度応答に及ぼす影響という観点では、自然荷重として観測された地震動に比較的近い特性を持ったものであることが認められる。それに対し、支点1の最大せん断力の比(支点2に算定した地震動を入力/支点2に強震記録を入力)については、多くの計算結果が固有周期やバネ定数比によらず1を下回っており、最大せん断力に及ぼす影響という観点では、観測記録に比べて弱い強度の地震動の算定がなされる場合があることが認められる。

【成果の活用】本研究により提案される「地点ごとに変化する地震動の算定方法」は、地震動の局所的な変動特性を考慮した入力地震動の設定法として、各種構造物の耐震設計基準に反映されることが期待される。

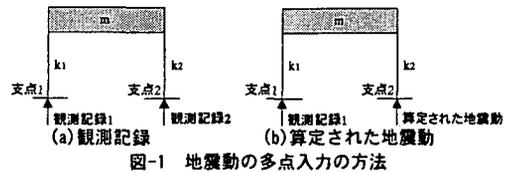


図-1 地震動の多点入力の方法

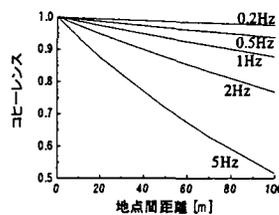


図-2 体系的に評価された $\text{Coh}(x_{ij}, \omega)$

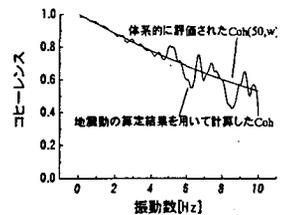


図-3 地震動の算定結果

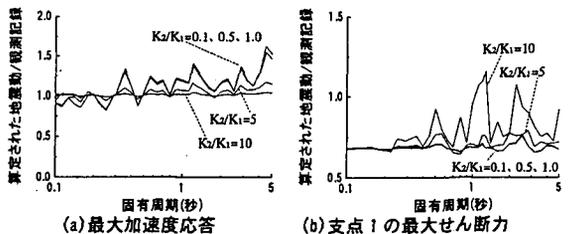


図-4 入力地震動の影響比較

【参考文献】 1) 川上他、一地点での観測記録を用いた時空間地震波形のシミュレーション、土木学会論文集、No. 441/1-18、1992

強震計管理費

Observation of Strong Ground Motion

(研究期間 昭和56年～平成15年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室 研究官 上原 浩明
Researcher Hiroaki Uehara

[研究目的及び経緯]

国土技術政策総合研究所では、局所的な地形・地盤条件が地震動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強震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の挙動を把握するための一般強震観測を実施している。

本課題は国土技術政策総合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・蓄積及び地震動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13年度は、①高密度強震観測施設の保守点検と観測記録の処理及び整理・とりまとめ ②一般強震観測施設(国総研所有分14観測所)の保守点検 ③観測施設・観測記録のデータベース作成を行った。

表-1 高密度強震観測実施地点一覧表

観測地域	観測地区	観測所数	地震計設置数		平均観測点間距離(m)	地中部埋設深度(m)
			地表	地中		
駿河湾	相良	10	10	6	200	-8~-36
	焼津	12	11	6	200	-10~-112
	沼津	14	12	8	300	-9~-32
	松崎	8	11	9	300	-5~-52
神戸	神戸西	12	10	12	500	-7~-102
	神戸東	9	9	11	400	-8~-100
相模湾	小田原	11	11	25	400	-7~-90
東京湾	幕張・習志野	11	11	15	300	-6~-100
房総半島	館山	11	12	10	200	-7~-47
総計	9地区	98	97	102		

[研究内容]

1. 高密度強震観測施設の保守点検

高密度強震観測施設の設置状況は表-1のとおりである。各観測所は公立学校の校庭などの土地を借用しての観測機器は電話回線を通じて国総研と結ばれており、観測記録の伝送や遠隔操作によるメンテナンスが可能であるため、維持管理作業の効率化に大きく寄与している。ただし、良好な観測体制を維持するため、現地での動作確認及び観測所周辺の状況把握は当初から実施している。

2. 国総研管理強震観測施設の保守点検

表-2に示した国総研管理の強震観測施設についても保守点検及び記録の回収を実施した。国総研管理の強震観測施設は昭和39年～昭和50年代半ばにかけて橋梁などの構造物に設置された観測機器がほとんどで、6割強にあたる観測機器が設置後20年以上が経過して老朽化が著しく、また14観測所のうち約9割弱にあたる12観測所がペンで記録紙に地震の波形を記録するアナログタイプの機器を使用している。

観測所名	感震器設置箇所
平大橋	橋台
西新井橋	地盤、橋脚2
八重洲地下街	地盤
天津跨線橋	地中(-30m)、地中6
袖ヶ浦地中管	地盤2
落合橋	橋脚
昭和大橋	地盤、橋脚
新天竜川橋	橋脚
駿河大橋	地盤
朝比奈川橋	橋台
御前崎	地盤
雲見橋	地盤、橋脚
福井大橋	地盤、橋脚
小浜維持出張所	地盤

※数字は設置感震器数

表-2 国総研管理強震観測施設一覧表

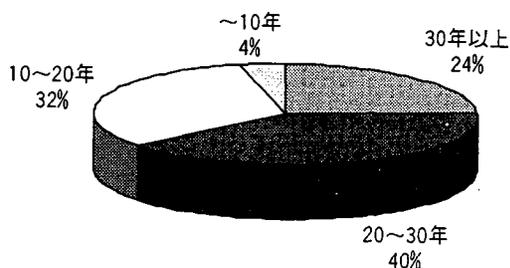


図-2 国総研管理強震観測施設 供用年数状況

[研究成果]

1. 高密度強震観測施設の保守点検結果

平成13年度に実施した保守点検で観測所の機器に何らかの故障または障害などの異常や観測停止が発見された観測所は199感震器のうち23感震器で、全体の約12%であった。このうち、観測停止状態だったり、その場で対応できず持ち帰っての修理や部品交換が必要となったのは12感震器で、異常または観測停止が確認された感震器の約半分強、感震器全体では6%であった。

異常または観測停止の内容別内訳、対応状況を表-3にまとめた。

表-3 異常または観測停止の内容別内訳、対応状況

異常の内容	件数	観測可否	対応
機器の時刻同期不良	7	可	時刻調整
停電補償電源装置不良	1	否	修理
停電補償電源装置不良	1	可	修理
A/D変換器故障	1	否	ユニット交換
停電補償電池不良	1	可	バッテリー交換
モデム不良	1	可	要調査 オンライン接続断。観測は可能
ブレーカー不調	6	否	ブレーカー補修または再投入で復旧
処理装置チャンネル設定異常	1	否	機器の精密検査
PCカード異常	2	可	カードを初期化
感震器異常	1	否	センサー交換必要
原因不明ノイズ	1	否	機器の精密検査
計	23		

異常の発生部位別内訳は図-1に示すとおりである。原因については、付近への落雷等による異常電流が考えられる。落雷時の異常電流はブレーカーなどの保護装置を作動させ観測が停止するほか、電話線、感震器からのケーブル線、アース線からも侵入して機器を損傷させることがある。

このため避雷器の設置などの対策は実施しているが、影響をなくすことは困難であるため、遠隔診断等によりブレーカー断などの障害を早期に発見し、障害を除去する方法を検討する必要がある。

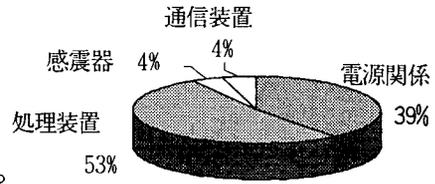


図-1 異常発生部位内訳

このほか、観測機器に影響はなかったが、観測所のドアやガラスの破損がそれぞれ1観測所で確認されたため、補修を実施した。また、観測所周辺の環境改善のため、1観測所で除草作業を実施した。

一方、平成8年の観測機器更新から5年が経過し、停電時のバックアップ用蓄電池のメーカー推奨期限となったことから、全観測所で蓄電池を交換した。

今後、より一層の維持管理経費削減を図るため観測体制及び観測システム、データ伝送方法の見直し等を検討する必要がある。

2. 国総研管理強震観測施設の保守点検

保守点検結果は表-4とおりであり、約5割弱にあたる6観測所に設置されている機器で不調が確認された。このうち機器の動力部の不調など観測に重大な支障が懸念される不調が4観測所、刻時機能の不調など観測記録に対する信頼性の低下が懸念される不調が2観測所で確認された。これらの不調の原因は老朽化によるものがほとんどであるが、機器は既に製造中止となり、修理するために必要な交換部品もないことから良好な観測体制を維持するために早急な機器更新が必要である。

3. 観測記録

平成13年度に実施した保守点検業務では2001年1月から2002年3月までに発生した30地震による観測記録を回収した。記録が回収できた地震諸元を表-4に示す。

表-4 観測記録取得地震一覧表¹⁾

発生日時 年月日 時刻	震 央 地 名	北緯		東経		深度 km	地震規模 M	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
		度	分	度	分												
2001年01月12日 08時00分	兵庫県北部	35	27.8	134	29.5	10	5.4	4					○	○			
2001年02月02日 08時10分	神奈川県西部	35	29.8	139	04.8	18	4.2	3			○						
2001年02月23日 07時23分	静岡県西部	34	44.6	137	33.8	40	4.9	4	○	○							
2001年02月25日 14時05分	伊豆大島近海	34	46.0	139	35.6	28	4.3	3							○		○
2001年03月24日 15時27分	芸予地震	34	07.2	132	42.5	51	6.4	6-					○	○			
2001年03月30日 04時50分	京都府南部	35	00.4	135	32.0	16	3.7	2						○			
2001年04月03日 23時57分	静岡県中部	34	59.7	138	06.5	33	5.1	5+	○	○	○	○			○		
2001年04月03日 23時58分	静岡県中部	34	59.9	138	05.7	30	--	1	○	○					○		
2001年04月04日 00時04分	静岡県中部	34	59.5	138	06.1	33	4.0	2		○							
2001年04月10日 10時03分	千葉県南部	35	17.9	140	22.0	98	4.5	3							○		○
2001年05月31日 08時59分	茨城県南部	36	11.0	139	48.8	55	4.5	4								○	
2001年06月01日 00時41分	静岡県中部	34	58.3	138	07.2	32	4.8	3	○	○		○					
2001年06月01日 11時16分	静岡県中部	34	59.2	138	06.8	32	4.0	3		○							
2001年06月03日 11時33分	静岡県中部	34	58.9	138	07.0	32	4.2	3	○	○							
2001年06月03日 21時01分	静岡県中部	34	59.1	138	07.2	31	3.9	2		○							
2001年07月20日 06時02分	茨城県南部	36	10.0	139	49.5	56	4.8	4								○	
2001年08月25日 22時21分	京都府南部	35	08.8	135	39.6	10	5.1	4					○	○			
2001年09月18日 04時23分	東京湾	35	25.2	139	48.7	45	4.2	4								○	
2001年09月25日 04時57分	茨城県南部	36	18.3	140	06.0	71	4.5	3								○	
2001年11月13日 08時48分	山梨県東部	35	28.8	138	55.9	24	3.8	2			○						
2001年11月17日 01時31分	千葉県北西部	35	36.9	140	04.9	73	4.4	3								○	
2001年12月02日 22時01分	岩手県内陸南部	39	23.7	141	16.0	122	6.4	5-								○	
2001年12月03日 17時58分	駿河湾	34	53.3	138	23.3	12	3.0	1									
2001年12月08日 04時07分	神奈川県西部	35	32.2	139	08.9	24	4.5	5-			○				○		○
2001年12月09日 13時06分	新島・神津島近海	34	21.6	139	09.4	7	4.5	4	○	○							
2002年01月04日 14時00分	静岡県中部	34	59.2	138	17.1	16	3.7	2		○	○						
2002年01月10日 00時41分	三宅島近海	34	13.8	139	43.7	117	4.8	2									○
2002年01月18日 16時46分	伊豆大島近海	34	44.6	139	37.5	20	4.0	3				○					
2002年02月05日 19時57分	茨城県南部	36	10.6	140	06.5	69	4.4	3								○	
2002年02月12日 22時44分	茨城県沖	36	35.1	141	05.1	48	5.5	5-								○	

※ 震度の強、弱は、それぞれ+、-で表した(例:震度6強は6+,5弱は5-)

○ 観測記録例

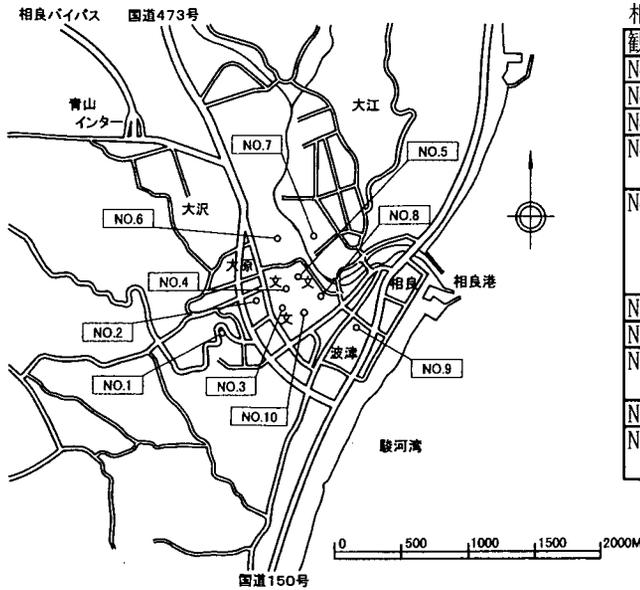
観測記録の例として、平成13年4月3日に発生した静岡県中部を震源とする地震における相良地区の各観測所における加速度値及び観測地区平面図、地盤条件を以下に示す。

地震諸元¹⁾ 発生日時 平成13年4月3日23時57分

震源：静岡県中部 震源の深さ：3.3km 観測最大震度：震度5強

最大震度観測市町村：静岡市

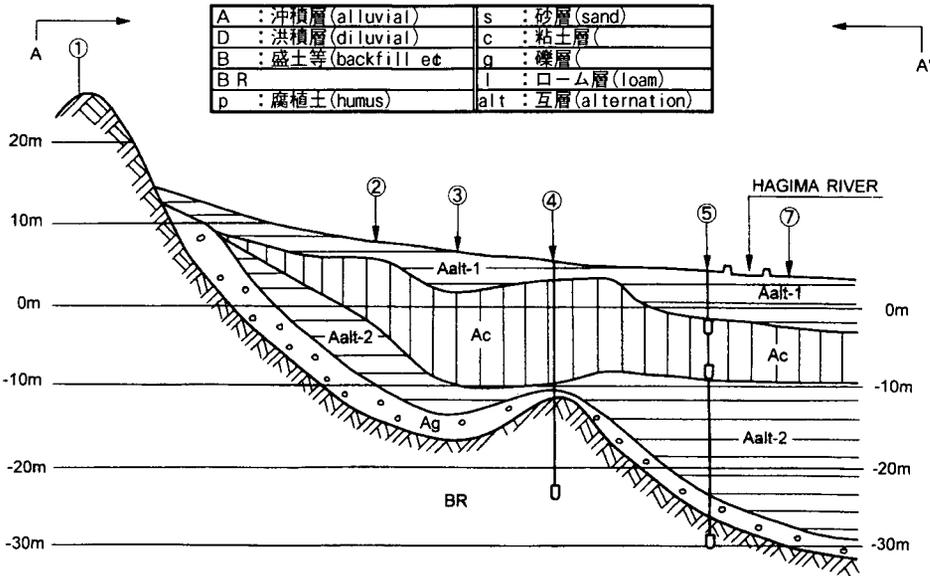
相良地区観測所配置平面図



観測加速度 (単位:gal)

相良地区				
観測点	観測位置	X成分	Y成分	Z成分
No.1	GL-2.0m	56.9	80.6	42.5
No.2	GL-2.0m	118.2	81.3	23.4
No.3	GL-2.0m	145.3	103.8	33.7
No.4	GL-2.0m	129.9	61.8	29.5
	GL-30.1m	56.4	23.7	16.4
No.5	GL-2.0m	134.8	71.5	34.7
	GL-8.2m	126.7	50.8	27.8
	GL-12.0m	83.5	59.6	22.7
	GL-32.3m	57.1	26.4	19.0
No.6	GL-2.0m	130.9	75.0	35.4
No.7	GL-2.0m	213.4	87.6	40.8
No.8	GL-2.0m	182.6	90.4	42.2
	GL-36.3m	49.1	31.3	14.7
No.9	GL-2.0m	77.6	65.2	17.8
No.10	GL-2.0m	153.3	75.4	40.3
	GL-30.3m	54.9	25.4	19.8

相良地区 地盤条件



参考文献

1) 地震・火山月報 (防災編) 気象庁

公共土木施設に対する地震防災投資効果に関する研究

Study on effects of earthquake disaster prevention investments for civil infrastructures

(研究期間 平成 13～15 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室 研究官 吉澤 勇一郎
 Researcher Yuichiro Yoshizawa

【研究目的及び経緯】

阪神大震災以後、道路橋示方書の改定等耐震設計基準の高度化が進められる一方で、地震防災投資のアカウントビリティ確保に関する社会的要請が高まっている。土木学会提言では、重要度に応じた目標耐震性能の妥当性について社会的合意を得ることの重要性が指摘されており、公共事業評価と同様に費用対効果に基づいて妥当性を評価するための客観的・実務的な方法論の構築を目指した研究的取り組みが求められている。本研究は、公共土木施設に対する地震防災投資効果の評価手法、及び費用対効果の視点から公共土木施設の目標耐震性水準を選択する方法論を提案することを目的としている。

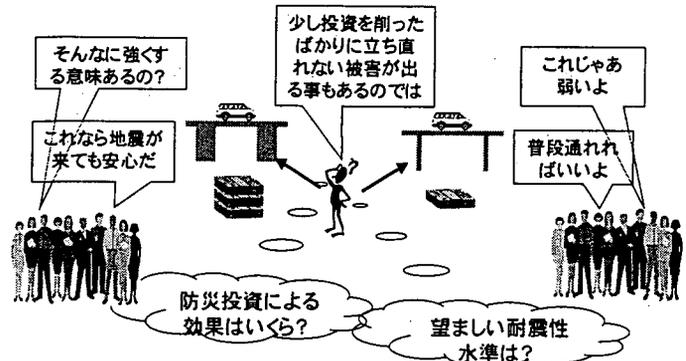


図-1 地震防災投資に対する社会的要請

13年度は、公共土木施設の地震被害による損失の評価手法のための基礎として、既往地震における土木施設に起因する損失を調査し整理するとともに、公共事業評価や地震被害想定において用いられる損失評価手法について地震損失評価への適用性と適用上の留意事項を調査した。また、橋梁と道路盛土を対象として、施設の地震被害による期待損失の試算、及び初期建設費用と期待損失の和であるトータルコストの試算を行った。

【研究内容】

1. 既存手法の損失評価手法の整理、適用性調査

公共土木施設の地震被害による損失の評価手法のための基礎として、既往地震における土木施設に起因する損失を調査し整理した。また、公共事業評価や地震被害想定において用いられる損失評価手法について、損失又は便益項目と各項目の計測手法を整理し、地震損失評価への適用性と適用上の留意事項を調査した。

2. 期待損失及びトータルコストの試算

橋梁と道路盛土を対象として、複数の耐震性水準に対する試設計（図-2 参照）およびその地震時性能の評価をもとに、地震被害による期待損失の試算を行った。また、初期建設費用と期待損失の和であるトータルコストを各耐震性水準に対し算出し、耐震性水準とトータルコストとの関係について検討を行った。

道路施設の地震被害に伴う損失項目としては、①損傷した構造物を復旧するための復旧費用、

	耐震性水準I	耐震性水準II	耐震性水準III
橋梁	<p>2100×2100 (橋軸2D22, 直角D22)</p>	<p>3900×2500 (橋軸2D29, 直角D29)</p>	<p>4300×2800 (橋軸2D29, 直角D29)</p>
盛土	<p>1:1.8 0m 0m 0m</p>	<p>DJMで地盤改良</p>	<p>DJMで地盤改良 セメント安定処理盛土</p>

場所打ち杭の杭径は1200(鉄筋はD25, n=20本) 単位:mm

図-2 各目標耐震性水準に対する試設計

②施設を通行中の利用者が被災することによる人的損失、③地震後の交通規制に伴う通行車両の迂回損失、の3つを考慮した。各損失項目の計量化及び貨幣換算は以下の通りとした。①復旧費用に関しては、工事実績等をもとに算出した。②人的損失に関しては、各施設の損傷状態と交通量をもとに被害者数を概略設定し、その貨幣換算については保険料等を参考に設定した。③迂回損失に関しては、交通止めの場合60分のロス、交通規制(片側通行)の場合20分のロスと仮定し、この迂回時間に、一日の交通量と交通規制期間、車種毎の時間価値原単位(道路投資の評価に関する指針より)を乗じることにより算出した。また、これらの損失額に地震動発生確率を乗じることにより期待損失を算出、さらに初期建設費用との和をとることによりトータルコストの算出を行った。地震動の年間発生確率は既存文献を参考に仮定した。

【研究成果】

表-1,2、図-3に橋梁と盛土の各耐震性水準に対するトータルコストの試算結果を示す。表中の網掛け部分は各交通量に対してトータルコストが最も低い耐震性水準を示している。橋梁については、交通量が5,000台/日の場合は耐震性水準Ⅱ(A種の橋相当)、交通量が10,000台/日以上の場合は耐震性水準Ⅲ(B種の橋相当)がトータルコストが最も低くなった。盛土については、交通量5,000台/日、10,000台/日の場合は耐震性水準Ⅰ、50,000台/日の場合は耐震性水準Ⅱがトータルコストが最も低くなった。

また、表-3に各地震動に対する期待損失の内訳を示す。耐震性水準Ⅱ,Ⅲにおいて、1100galと700galの地震動による期待損失はそれぞれ同程度となっている。複数の地震による期待損失を考えると、現行の設計地震動よりも大きな地震力を受けた場合の損失が耐震性水準の設定に影響することを意味しており、可能性のある全ての地震動を考慮することが重要と考えられる。

さらに、表-4に損失項目別の期待損失の内訳を示す。迂回損失が他項目に比べ相対的に大きく、迂回損失の大きさがトータルコストに大きく影響を与えることがわかった。

このように、施設の地震被害による期待損失を貨幣ベースで表現することができ、これを各耐震性水準で比較することにより地震防災投資効果を算出することが可能である。また、複数の耐震性水準に対して、初期建設費用を考慮しつつ期待損失を比較することにより、費用対効果の観点から妥当な耐震性水準を設定することが可能である。今後は、緊急車両の通行障害による損失の評価手法、地震時交通を考慮した迂回損失の評価手法、カタストロフィックリスクの評価手法等、施設の地震被害による損失の定量化手法についてより一層の検討を進める予定である。

【成果の発表】

・吉澤、村越：公共土木施設の耐震性水準の設定に関する基礎的検討，第57回土木学会年次学術講演会講演概要集，2002.9

表-1 橋梁のトータルコスト試算結果(単位:百万円)

	耐震性水準Ⅰ	耐震性水準Ⅱ	耐震性水準Ⅲ
交通量5千台/日	2,342	526	533
交通量1万台/日	4,128	539	536
交通量5万台/日	18,413	644	555

表-2 盛土のトータルコスト試算結果(単位:百万円)

	耐震性水準Ⅰ	耐震性水準Ⅱ	耐震性水準Ⅲ
交通量5千台/日	147	539	978
交通量1万台/日	217	542	978
交通量5万台/日	777	560	978

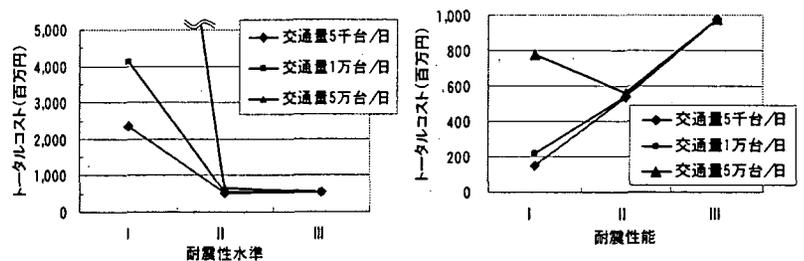


図-3 橋梁、盛土のトータルコスト試算結果

表-3 地震動別の期待損失内訳
(橋梁で交通量5000台/日の場合、単位:百万円)

	耐震性水準Ⅰ	耐震性水準Ⅱ	耐震性水準Ⅲ
初期建設費用	475	512	531
各地震動による期待損失	110gal	0	0
	250gal	1,792	0
	700gal	67	6
	1100gal	7	7
トータルコスト	2,342	526	533

表-4 損失項目別の期待損失内訳
(橋梁で交通量5000台/日の場合、単位:百万円)

	耐震性水準Ⅰ	耐震性水準Ⅱ	耐震性水準Ⅲ
初期建設費用	475	512	531
各損失項目の期待損失	迂回損失	1,462	12
	復旧費用	81	0.4
	人的損失	323	1.4
トータルコスト	2,342	526	533

リアルタイム災害情報技術の高度化に関する研究

Development of Mobile Disaster Information Unit for Arrangement of Disaster Information

(研究期間 平成 13～14 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室 主任研究官 真田晃宏
Senior Researcher Akihiro SANADA

【研究目的】

災害時には現場、災害対策本部、他機関や自組織内での迅速・確実な情報連絡・情報管理が、円滑な災害対応を遂行する上で重要である。本研究は、地震動情報をもとに判定した所管施設の被害推定結果、緊急点検結果、通行規制情報等を、携帯端末を通じて現地職員へ提供し現場における災害対応を効率化するとともに、現地職員の点検結果等の情報を携帯端末へ入力することにより、災害対策本部への報告、他機関との間での情報共有を確実化・迅速化するためのシステムを開発することを目的としている。

【研究方法及び結果】

平成 13 年度においては、災害対応下での情報のやりとりに関する現場における現状、課題、情報通信技術の災害対応への活用状況を調査するとともに、現地職員へ携帯端末を通じて被害推定結果を提供する際の模擬画面を作成し、使用が想定される現場へのヒアリング調査を実施した。

さらに、ヒアリング調査や鳥取県西部地震等における施設管理者の災害対応上の課題等を踏まえ、災害対策本部や現地職員が必要とする情報、携帯端末に求められる機能についてとりまとめた。得られた結果を以下に示す。

1. 災害対応上必要な情報

(1)災害対策本部において必要とされる情報

工事事務所・出張所、また、災害対策本部等災害対応の指示、取りまとめを行う部署においては以下の情報が必要とされている。

①通行・啓開可否, 緊急点検進捗状況, 復旧時期等の情報

これらの情報は、被災地への物資輸送ルートの設定や一般利用者への情報提供に必要であり、通行不可時はその原因（災害発生規模や概要）と復旧期間に関する情報が必要である。

②「音声のみ」「文字のみ」ではないわかり易い情報

音声だけではなく見て確認できる文字情報、文字だけではなく地図上へ表示した情報や画像を含めた情報は理解しやすく有効である。

③時点を明らかにしたリアルタイムな情報

様々な機関等から入ってくる情報の整理上、時点を確認できることが必要である。

(2)現地職員に必要とされる情報

災害発生後、施設点検、応急措置等実施のために派遣された職員が必要とする情報は以下のとおりである。

①初期情報（地震動強度情報）

体制の立ち上げ・施設の緊急点検・橋梁詳細点検実施の有無を規定するために必要である。

②地震による施設被害予測結果

現地職員にとって地震直後の緊急点検の際に参考となるため必要である。

③リアルタイムな周辺道路情報

現場にとって迅速な情報収集と状況報告は不可欠であり、迂回路決定等の際の判断材料として有効となる。

④防災点検データや施設台帳等の施設関連情報

平常時に実施されている防災点検データや施設台帳には、施設諸元や施設補修記録が記載されており、緊急調査時に参照するために必要である。

2. 携帯端末に付与すべき機能とその効果

1. で示された必要情報を取り扱うなどのために携帯端末に求められる機能、またそれによる効果は次の通りである。

(1) 災害対策本部の立場から付与すべき機能とその効果

①時刻機能

効果：情報入力時点の時刻を属性として有する情報となり時点整理がしやすくなる。

②画像取込機能

効果：文字だけでなく画像情報を使用した報告を本部が入手でき、現地状況を把握しやすくなる。

③資料表示・活用機能

効果：施設関連情報（防災点検結果や施設台帳）を携帯端末へストックし、報告時にそれらの情報を添付した形で災害対策本部が情報を入手できるようになり、現地情報を把握しやすくなる。

④共有化機能（被害状況・災害対応状況などの共有化機能）

効果：現地で収集された情報を共有化することにより、被害状況・災害対応状況を災害対策本部はもとより職員全員が把握することが可能となる。また、情報の錯綜をなくし情報伝達が確実になる。

⑤GPS 機能

効果：現地点検の進捗などをリアルタイムに災害対策本部が把握できる

⑥GIS 機能

効果：災害現場において各種情報を入力する際に位置情報と関連させられることで、災害対策本部において情報の整理・状況の把握が迅速化・的確化することが可能となる。

(2) 現地職員の立場から付与すべき機能とその効果

①地震動情報の表示機能

効果：地図上に広範囲の地震動情報が表示されるため、地震規模等を把握しやすい。

②被害予測結果表示機能

効果：被害予測結果を表示することで点検開始前に被害状況を概略把握できるようになる。

③画像取り込み機能

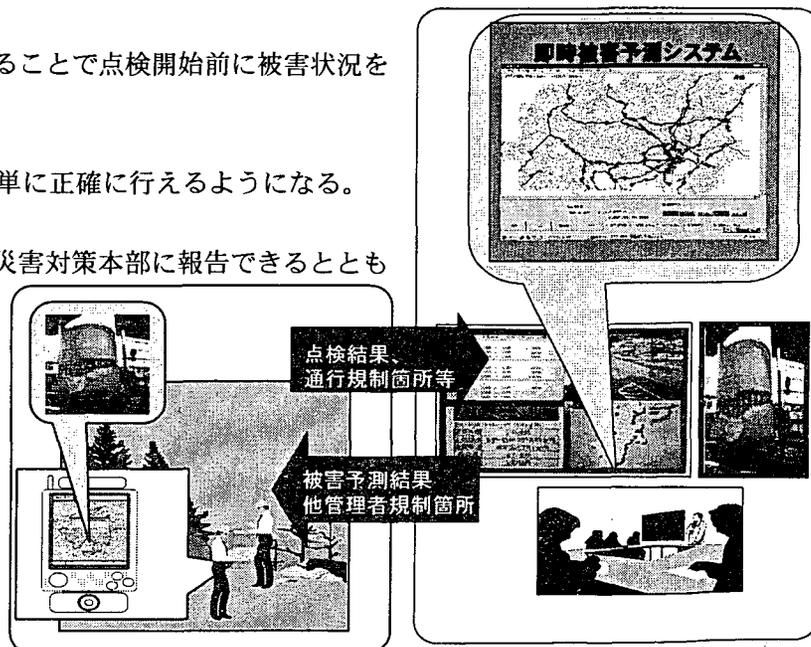
効果：現地の状況の報告が簡単に正確に行えるようになる。

④双方向通信機能

効果：現場の情報をその場で災害対策本部に報告できるとともに、周辺道路状況を随時入手することができるようになる。

⑤保存・蓄積機能

効果：施設関連情報を携帯端末へストックし、緊急点検時に参照できるようになる。



技術研究開発調査費

まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発

地区施設等の救出・救護への効果分析

地区施設等の避難問題への効果分析

(幹線系道路の防災評価に関する研究)

Development of Assessment and Countermeasure Technologies
for Disaster Prevention in Town Planning

Analysis of the effectiveness of facilities in the area for rescue and relief efforts

Analysis of the effectiveness of facilities in the area for evacuation problems

(Study on an Evaluation of Seismic Safety of Highway Networks against Earthquakes)

(研究期間 平成 11～15 年度)

主任研究官 大谷 康史

Senior Researcher Yasushi Ohtani

In the theme, I study about an evaluation of seismic safety of highway networks against earthquakes. Contents of study are as follows.(1)A evaluation method of Highway Networks against an earthquake (2).An estimation method of traffic volume after an earthquake.(3) A evaluation method of traffic situation after an earthquake.

〔研究目的及び経緯〕

1. 研究目的

避難活動・救出救護活動・緊急輸送活動に対する地区の防災活動に際しては、地区内街路はもとより、地区と防災拠点間を結ぶ幹線系道路までを視野に含めた検討が必要である。本課題では、地区内街路との連続性に配慮しながら、被災地区を起終点とする各種緊急活動を支える幹線系道路の防災評価手法(図1)を構築することを目的とし、以下に示す検討を行い、成果のとりまとめを行う。

(1) 幹線系道路の機能障害危険度の評価手法

道路施設(橋梁等)や道路占用・沿道施設(沿道建築物等)の地震被害に起因する道路機能障害の事前評価手法を構築する。

(2) 地震時の交通需要の予測手法

地震時の緊急活動に伴う交通需要を含めた地震時の交通需要の事前予測手法を構築する。

(3) 地震時の交通状況の評価手法

上記(1),(2)の手法を組み合わせた交通状況シミュレーションにより、評価時期や評価シナリオに応じて、幹線系道路の交通状況を分析し、評価・表示するための交通状況評価手法を提案する。評価内容とは、

①地震に対して脆弱な道路区間の把握、②地震発生後交通が集中する道路区間の把握、③各地区への緊急活動に対する道路機能の把握、④各種防災対策の効果の評価等である。

(4) 幹線系道路の防災評価マニュアルの作成

上記(1)～(3)について、評価・予測に必要なパラメータ設定の考え方や被害想定を基にした交通に係る条件設定等をマニュアル形式にとりまとめる。

2. 研究経緯

平成13年度は、主に短期評価における交通需要予測、交通状況シミュレーション(図1の網掛け部分)について、神戸地域をケーススタディーの対象として取り上げ、以下の検討を行い手法の枠組み構築を行った。

(1) ケーススタディーにおける評価対象地域・道路の設定

ケーススタディーにおける評価対象地域・道路の設定を行うとともに、設定の考え方を整理した。

(2) 幹線系道路の機能障害危険度評価

昨年度に提案した機能障害危険度評価手法に基づき、評価対象地域内の幹線系道路について、各区間の閉塞確率、交通容量期待値を算出した。

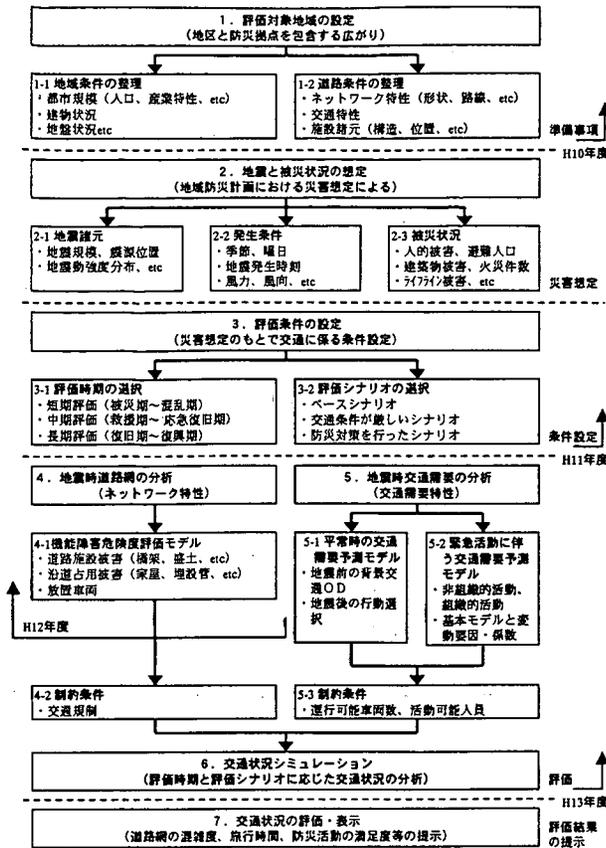


図1 地震時の交通状況評価の全体フロー

(3) 地震時の交通需要予測

パーソントリップ調査結果のODデータを基に、阪神・淡路大震災後のアンケート結果を用いて、背景交通ODを作成した。また、阪神・淡路大震災時の調査結果に基づく原単位と人口データ等より、緊急活動ODを作成し、両者を合わせて短期評価用ODとした。

(4) 交通状況シミュレーション

短期評価用幹線系道路ネットワークモデル上に短期評価用ODを発生させて、シミュレーションを行った。

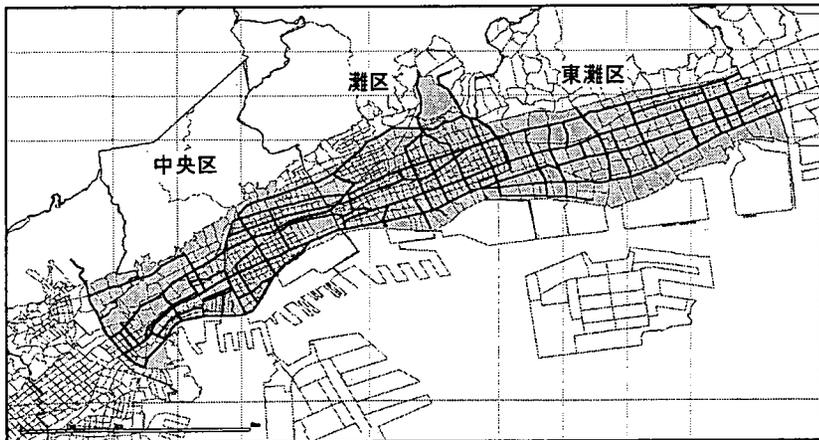


図2 評価対象道路区間の設定

【研究内容】

1. ケーススタディの評価対象地域・道路の設定

(1) 評価対象地域

神戸地域のケーススタディーにおいては、対象地域を地区施設評価の検討対象である神戸市東灘区「深江駅東地区」、「深江西地区」、「深江本山第3小地区」の3地区を含む東灘区及び隣接する灘区、中央区の3区の都市部とした。

(2) 評価対象道路

道路区間は、以下の基本方針により図2のとおりとした。

- ・都市計画法による都市計画道路の幹線街路を基本ネットワークとする。
- ・幹線街路であっても、2車線以上の道路幅員を有していない場合は、対象外とする。
- ・都市計画道路以外の道路でも交通状況上重要と考えられる2車線以上の道路は対象として加える。
- ・高速道路については、地震直後に通行規制（通行止め）を実施するため今年度の検討対象である短期評価（発災後3時間）では対象外とする。

2. 幹線系道路の機能障害危険度評価

図3に道路区間の機能障害危険度評価の全体フローを示す。神戸地域におけるケーススタディーでは、1995年の阪神・淡路大震災時の評価を行うために、道路施設や沿道施設の条件は、地震前の神戸市のGISデータを用いて設定している。

(1) 被災関数と施設被害時の影響の設定

今回のケーススタディーでは、閉塞要因として現時点で被災関数が明らかにされている橋梁、高層・低層建築物のみを考慮することとした。路上放置車両の影響については3.4(2)で述べる。

1) 橋梁の被災時の影響

橋梁が検討対象区間に含まれる場合は山崎ら¹⁾の被災関数において、被害ランクA(被害大)およびAs(落橋)のとき完全閉塞を起こすものとした。また、跨道橋の場合は被害ランクAsの場合のみ、完全閉塞するものとした²⁾。

2) 高層建築物の被災時の影響

高層建築物が、被災し幹線系道路に倒れてきた場合は、完全閉塞するものとした。被災関数としては、林らの関数³⁾を用いることとした。ここで、被災した高層建築物が幹線系道路に倒れ

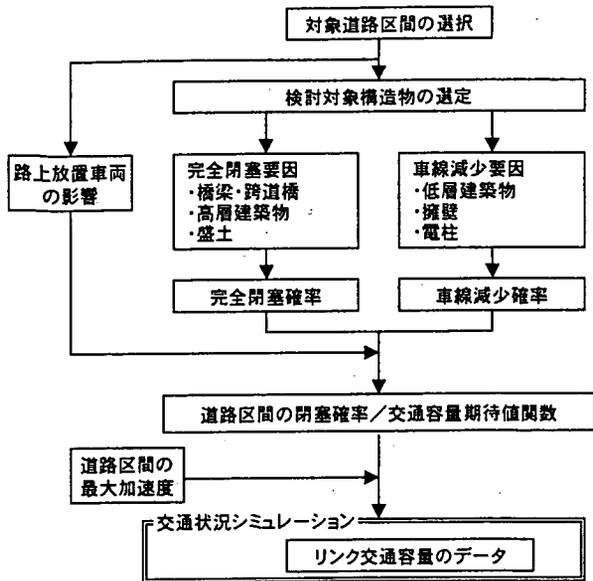


図3 道路区間の機能障害危険度評価全体フロー

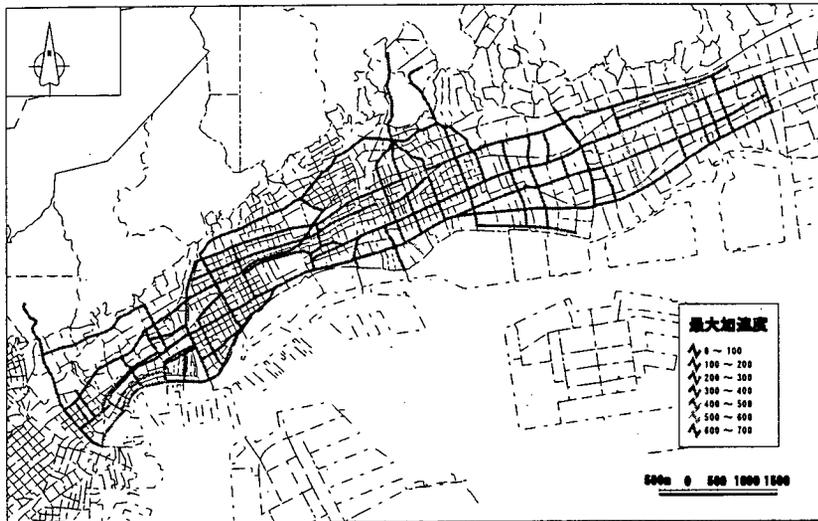


図4 対象リンクの最大加速度

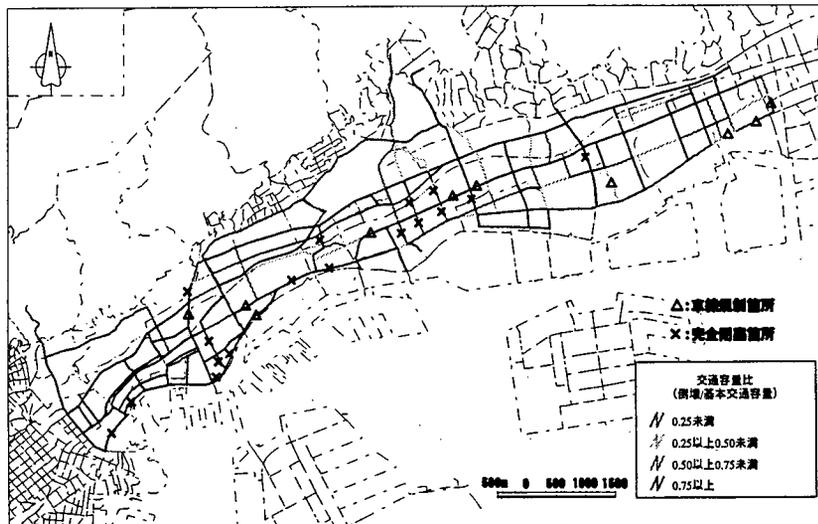


図5 施設被害による各道路区間の交通容量の低下

込む確率については、神戸市中央区の被災事例において、被災高層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、最終的に完全閉塞を起こす確率は、「被災確率×0.03」とした。

3) 低層建築物の被災時の影響

低層建築物の被災関数として、高層建築物と同様に、林らの関数³⁾を用いた。被災時に幹線系道路にガレキがはらみ出す確率は、阪神・淡路大震災調査報告⁴⁾より、0.482とした。また、低層建築物被災時にガレキが敷地より道路にはらみ出す量については、同報告書を参考に決定した。

(2) 計算結果

図4に阪神・淡路大震災時における地盤上の強震記録から推定した最大加速度を示す。その最大加速度が作用した場合の交通容量の平常時比（地震時の交通容量期待値/基本交通容量）を図5に示す。図

5中には、被災調査による機能障害発生箇所（手法で考慮している、橋梁、沿道建築物の被害による閉塞）を合わせて示している。評価結果と被災調査結果を比較すると、被災箇所と交通容量の平常時比の小さい道路区間に違いも見られるので、今後、詳細検討を行っていく予定である。

3. 地震時の交通需要予測

地震後のOD予測においては、基本となる背景交通量を予測するとともに、地震時に発生する緊急活動に伴う交通量を予測する必要がある。表1に阪神・淡路大震災時の実態を踏まえて整理した緊急活動とその発生時期を示す。緊急活動ODは、組織的緊急活動（消防活動など官公庁が行う活動や、公共インフラの復旧に関する活動）と非組織的緊急活動（個人による負傷者の搬送や、避難など）の2つに大きく分けられる。

本研究では、発生時期に応じて、これら2種類の活動を考慮することとした。ここでは、短期評価（発災後3時間経過後）を行うためのODマトリクス（地震後3時間のOD）を作成する。短期評価用ODの構成は、図6に示すとおりである。

(1) シナリオ設定

本ケーススタディでは、発災時刻を

表1 地震時の緊急活動と発生時期

緊急活動等の種類	緊急活動等の内容	活動発生時期		
		短期	中期	長期
救急・救助	消防署の救助活動及び救急車による傷病人の搬送を対象とする。	○	△	
物資調達・物資供給	域外から物資倉庫等配送拠点までの移動と配送拠点から避難所等への移動の2種類の移動を対象とする。		○	○
電力	電力復旧における応急復旧活動と本格復旧活動を対象とする。		○	△
ガス	ガスの修理、点検等の活動のための交通を対象とする。		○	△
水道	水道管の修理、点検等の活動のための交通を対象とする。		○	○
道路・交通系復旧	交通系の復旧処理として応急措置と復旧措置の2種類を対象とする。		○	△
建築物系解体・がれき処理	道路上のがれきや倒壊建物のがれき処理等の作業対象とする。			○
避難(広域・域外)	広域・域外への避難に伴う、車輛による避難を対象とする。	△	○	
人の搬送	病院等への個人による搬送を対象とする。	○		
家族的安否確認	勤務先等出先からの帰宅行動や、親戚等の安否確認行動等を対象とする。	○		
物資搬送	個人的な支援物資の輸送や物資調達に伴う移動を対象とする。		○	

注) ○は、活動の主たる発生時期を示す。△は、従たる発生時期を示す。

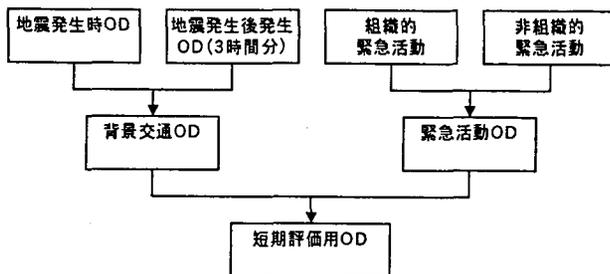


図6 短期評価用ODの構成

表2 短期評価のための平常時ODから地震後のODへの置き換えの考え方

対象	地震前の目的	地震後発生後の行動
地震発生時OD	通勤	帰宅80% 行動継続20%
	通学	帰宅80% 行動継続20%
	自由	帰宅80% 行動継続20%
	業務	帰宅80% 行動継続20%
	帰宅	帰宅100%
地震発生後発生OD	通勤	通常時の25%が発生
	通学	通常時の25%が発生
	自由	通常時の0%が発生
	業務	通常時の0%が発生
	帰宅	通常時の55%が発生

夕方18時に設定し、発災後3時間経過した時点での交通状況について評価を行った。交通推計については、発災時から3時間経過時点までの3時間分のODを想定し交通推計を行った。

(2) 短期評価用背景交通ODの推計

1) 地震後の背景交通ODの考え方

短期評価用背景交通ODは、第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査結果(1990年)より求めた。この調査では活動目的を5種類(通勤、通学、自由、業務、帰宅)に区分しているが、地震後の

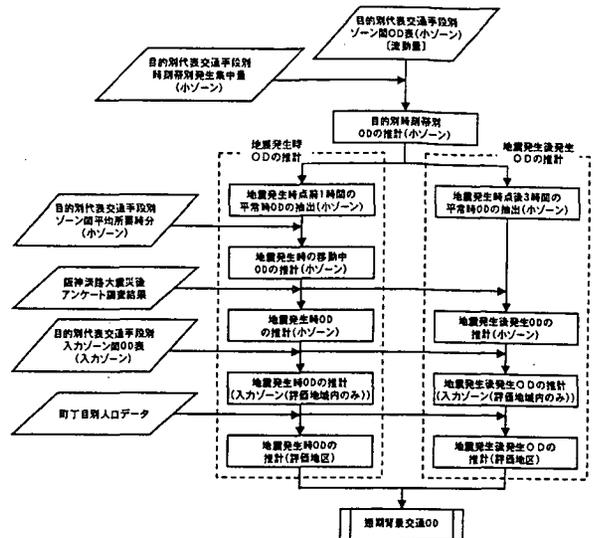


図7 短期評価用背景交通ODの推計フロー
背景交通ODは、これら平常時ODに対して地震時に地震後に行われた京阪神都市圏交通計画調査(京阪神都市圏交通計画協議会、1995年7月実施)のアンケート結果を基に、活動の変更を考慮して表2に示すとおり設定した。

具体的には、地震発生時に行っている活動については、地震が発生したらどう行動するかという想定質問の回答を基に地震後の行動を設定した。また、地震発生後に行われる予定であった活動(地震発生時には未だ当該活動を行っていない)は、地震発生日における実際の行動調査結果を基に地震後の行動を設定した。以下、これら2つの地震発生による活動変更後のODについて、前者を地震発生時OD、後者を地震発生後発生ODと区分して呼ぶこととする。

2) 短期評価用背景交通ODの推計

短期評価用の背景交通ODの推計フローを図7に示す。パーソントリップ調査結果を基に地震発災時ODと地震発生後発生ODを推計し、両者を合わせて短期評価用背景交通ODとする。

(3) 組織的緊急活動ODの推計

1) 組織的緊急活動OD

組織的緊急活動ODとしては、主として消防署の行う活動としての救急・救助および消火・消防を取り扱い、阪神・淡路大震災時のデータから求められた発生原単位を基に推計する。

ただし、本ケーススタディーにおいては、救急・救助活動ODについては、緊急車両の出動件数の実データにより消防署一地区、地区一一次医療機関のODを設定した。消火・消防活動ODについては、震災直後に当該対象地域で発生した火災18件に対して消防署から火災箇所へのODを設定し

表3 短期評価用OD

目的	内々		内外		外内		外々		合計	
	交通量	割合	交通量	割合	交通量	割合	交通量	割合	交通量	割合
地震発生時OD	6,607	33.1%	3,533	17.7%	2,245	11.3%	7,563	37.9%	19,948	22.7%
地震発生後発生OD	2,033	3.3%	22,561	36.3%	9,031	14.5%	28,602	46.0%	62,227	70.8%
救急・救助活動OD	354	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	354	0.4%
消火・消防活動OD	31	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	31	0.0%
避難活動OD	3,468	87.0%	517	13.0%	0	0.0%	0	0.0%	3,985	4.5%
搬送活動OD	1,315	100.0%	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	1,315	1.5%
合計	13,808	15.7%	26,611	30.3%	11,276	12.8%	36,165	41.2%	87,860	100.0%

た。

2) 非組織的緊急活動OD

非組織的緊急活動ODとしては、避難（広域・域外）、人の搬送を取り扱い、阪神・淡路大震災時のデータから求められた発生原単位を基に推計する。

避難活動ODは、広域避難場所及び域外への避難を想定し、人口、人口に対する避難トリップの発生原単位、地震発生後3時間以内の避難者の実績調査結果より求める。

搬送活動ODは、個人による傷病者の最も近い一次医療機関への搬送を想定し、人口、人口に対する避難トリップの発生原単位（3時間内に集中すると仮定）より求める。

(4) 短期評価用OD推計結果

表3に短期評価用ODを示す。なお、表3に示す“内”とは図2の青色部分を指し、“外”とはそれ以外の部分を指す。また、外々ODは対象地域内の通過ODのみを抽出している。

4. 交通状況シミュレーション

交通状況シミュレーションの条件を以下に示す。

(1) 道路区間速度の設定

道路区間速度は道路交通センサスの箇所別基本表に記載されている指定最高速度を用いる。

(2) 道路区間交通容量の設定

道路区間の交通容量については、前述の地震被害による容量低下の他に、交差点と路上車両の影響を考慮することとした。

1) 交差点を考慮に入れた交通容量

平常時における交差点の交通容量は文献⁵⁾を踏まえて設定した。交差点の容量は、概ね2車線道路で平常時の道路区間の交通容量の80%、4車線以上の道路で道路区間の交通容量の40%程度となる。解析では、被災時の道路区間の交通容量と、その道路区間の両端の交差点の平常時交通容量の3つを比較し、最も少ない値をリンクの交通容量に用いることで、交差点による交通容量の低下の影響を反映した。

2) 路上駐車による交通容量への影響

地震前からの路上駐車、地震発生に伴う車両の

路上への放置は、いずれの道路区間でも発生する可能性があり、過年度の検討によれば両者を合わせた放置車両による道路占有率は高い場合で15%程度である結果を得ている。そこで、ある程度の延長の道路区間では路上駐車車両の存在は避けられないものと考えられる。ただし、極短い距離では車両が無い場合も考えられるため、今回のケーススタディーでは便宜上区間長が50m以下のリンクでは路上駐車は起きないものとしている。それより長い道路区間については、路上駐車が存在するものとして、道路幅員を考慮して交通容量を低減している。

3) 地震時の道路区間交通容量

地震時の道路区間の交通容量は、地震被害による容量低下および1)~2)を踏まえ交差点の交通容量と、被災および路上駐車の影響を考慮した道路区間の交通容量の内、最も少ない交通容量とすることとした。

(3) 交通量配分手法

交通量配分手法としては分割配分を用い、各リンクの距離、交通量-走行速度の条件(Q-V式)により設定した所要時間より最短時間となるOD間の経路を探索し、各リンクに交通量を累加した。Q-V式を図8に示す。各パラメータは、以下のように設定する。

①交通容量

・Q2(可能交通量、台/時)：地震被害、交差点および路上駐車の影響を考慮した交通容量を設定

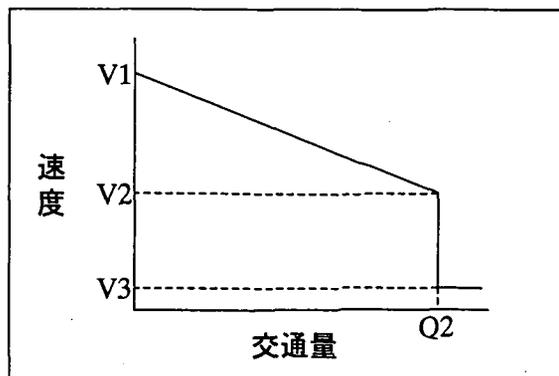


図8 Q-V式

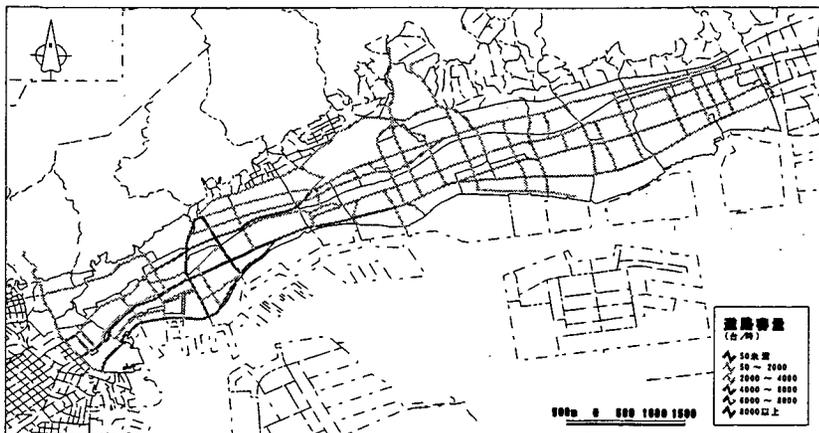


図9 地震時解析用ネットワークの交通容量

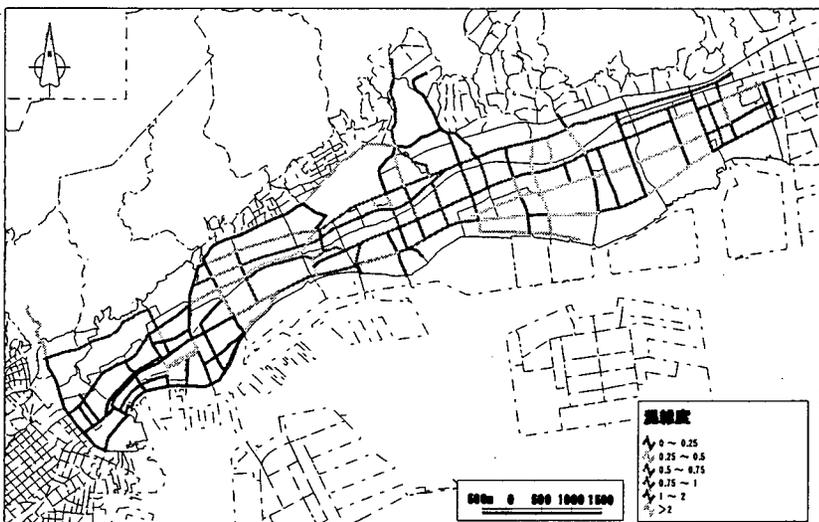


図10 地震時混雑度

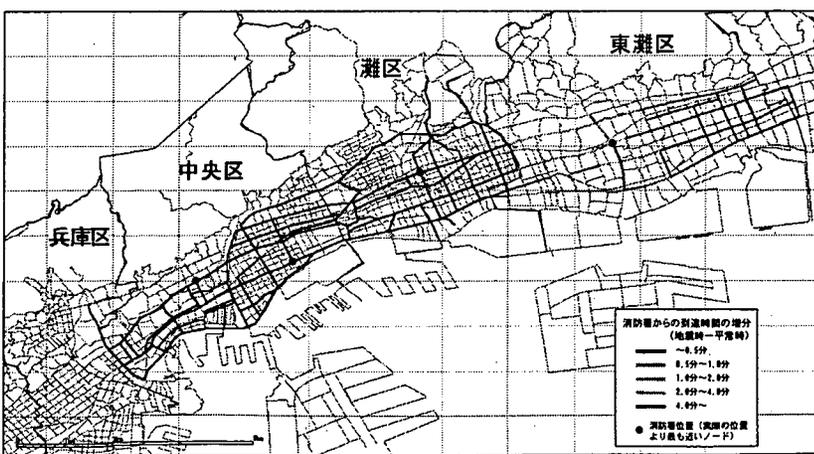


図11 消防署からの到着時間の地震時と平常時の差

する。

②走行速度

- ・V1 (自由流速度、km/時)：規制速度
- ・V2 (限界速度、km/時)：V1の2分の1
- ・V3 (渋滞速度、km/時)：V1の10分の1

(4) シミュレーション結果

神戸市のケーススタディーとして、図9に示す地震時解析用ネットワークに、表3に示すODを発生させて、シミュレーションを行った。シミュレーション結果の一例として、図10に混雑度を示す。施設被害が多く、交通容量が低下した対象地区の東側において、混雑度が高くなっている。また、図11には、対象地区にある4箇所の消防署からの各道路区間(各区間の中心)までの地震時と平常時における所要時間の差を示している。混雑度が高い東部地区において到着時間の増加が推定されている。なお、到着時間計測の起点は実際の消防署位置から最も近いノード(交差点位置)としており、図にはそれぞれの消防署に対応した、4カ所の●で示している。

5. 今後の検討方針

来年度は、本ケーススタディ結果を検討し、問題点・課題を抽出して、評価手法に改良を加えるとともに、改めて評価条件の設定を行い、手法の適用事例として提示できるよう再試行を行うこととする。

参考文献：

- 1)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
- 2)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
- 3)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
- 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.

- 5)社団法人日本道路協会:道路の交通容量,1984.9
- 6)建設省建築研究所・土木研究所:防災まちづくり技術開発における個別技術課題に関する調査報告書,2000.3

危機管理技術研究センター地震防災研究室

Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management

宇宙・情報技術を活用した震災対策支援システムに関する研究 Study on Application of Remote Sensing Technologies and Advanced Information Technologies for Earthquake Disaster Prevention

(研究期間 平成 11 ~ 14 年度)

主任研究官 真田 晃宏
Senior Researcher Akihiro SANADA

[研究目的及び経緯]

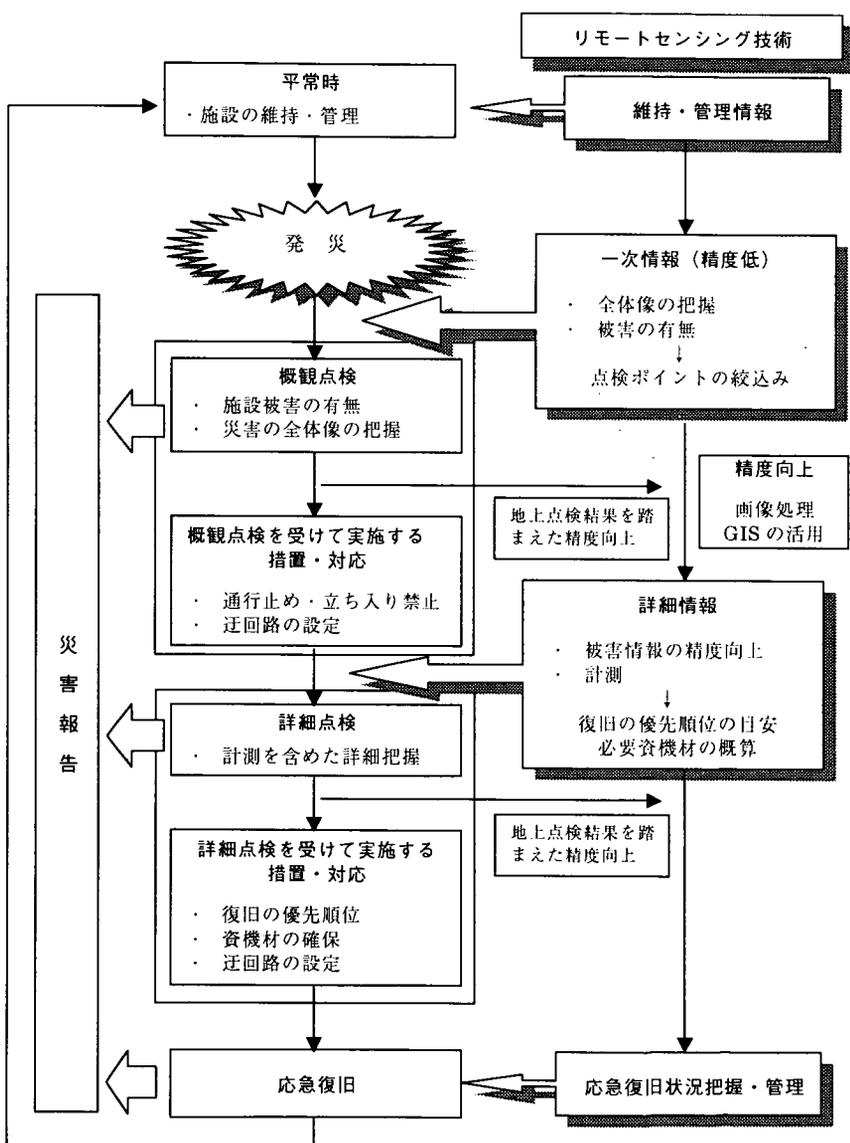
広域のかつ甚大な災害では、地上での情報収集だけでは、各施設管理者が必要とする情報を提供することが容易ではないことが明らかである。一方、近年、震災対策に利用可能あるいは有効とされる新しい宇宙・情報技術が非常に速いペースで開発、提供されている。本研究は、それらの先端的な技術を調査し、これらの技術を応用することによって震前・震後の対策活動を支援する効果的な震災対策支援システムを整備するための、留意事項、導入方策、各種技術に要求される機能等を取りまとめるものである。

[研究方法及び研究成果]

平成 13 年度は地方整備局に対するヒアリングを行い、リモートセンシング技術の災害対応への導入イメージを作成した(右図参照)。ヒアリング調査および過年度の検討結果より、大規模な災害対応においてリモートセンシング技術は、以下のような利用が考えられる。

①施設の被災状況の把握およびその省力化

- 1) 現地に行かなくても、取得した画像から被害の概要を把握できる。また、地上の観測機器、センサ、各種の情報を総合して、より正確な情報収集が可能となる。
- 2) 上空画像・映像は、広域性があり位置把握が容易であることから、被災施設候補を抽出し、現地点検・調査ポイントの絞り込みへの活用が期待できる。これにより被災状況の把握の省力化が期待できる。



3)被害箇所等の抽出については、目視による判読のほか、画像処理による方法がある。画像処理を用いることにより、広範囲の画像データであっても迅速に被害抽出が可能である。

②計測

1)これまで航空写真が地図の作成に利用されてきたように、上空画像・映像は、位置同定に優れていることから、被災規模（長さ、面積）の計測に利用可能である。また、使用するセンサによっては、3次元計測が可能であり、量的な計測（例えば、土砂災害時の崩壊土量）ができる。

③地図・背景図

1)地形図等が整備されていない地域の場合、撮影された画像を写真地図・背景図として活用できる。

以上、①から③に示すリモートセンシング技術の利用可能性を踏まえ、災害対応の時系列上での各ステージにおける、リモートセンシング技術導入時の災害対応を示す。

①初動期

施設点検職員の点検結果、ITVカメラ等地上系の情報に加えて、上空画像・映像から簡易な画像処理手法によって抽出した被害情報を一次情報として提供し、被害の全体像の把握および外観点検時の点検ポイントの絞り込み（災害対応に緊急を要する可能性のある地域の絞り込み）に活用する。

《簡易的な画像処理手法》

以下のものが簡易手法として想定される。

- ・災害発生前に、あらかじめ定められている被害の特徴量にもとづき画像処理を行う方法（画像・映像データの取得条件（季節・太陽の位置・天候等）により、被害の特徴量は変化するため抽出精度は低くなる。）
- ・目視により、大局的に被害の大きい地域を判読する方法 等

②緊急対応期

初動期には時間的な制約があり実施できなかった画像処理手法やGISを活用するとともに、外観点検結果を踏まえて、一次情報として提供した被災情報の精度を向上させる。また、被災箇所の定量的な計測（画像処理や、3次元計測可能なセンサのデータを活用）を実施する。これらの情報を詳細点検のための基礎データとして提供する。

《初動期に実施できなかった画像処理手法》

以下のものが該当する画像処理手法として想定される。

- ・取得された画像・映像データに基づき被害の特徴量を設定し、画像処理を行う方法
- ・複数の画像処理を組み合わせる方法
- ・画像処理による抽出結果を、人が確認・判断する方法 等

③応急復旧期

広域的かつ複数の施設で同時並行して復旧作業が実施されることから、上空画像・映像により得られる情報をもとに、復旧作業の状況把握・管理を行う。

13年度には、また、リモートセンシング技術導入によるメリットを抽出するとともに、現場へのリモートセンシング技術の導入にあたって考慮すべき事項について検討した。

導入メリットとしては、同一エリアの他機関所管施設の被害概要も把握できること等が挙げられた。また、円滑な導入・利用のためには、リモートセンシング技術の利用効果が明確である大規模災害時だけでなく、頻度の高い規模の災害時や平常時業務においても活用できることが必要であること等を把握した。

現状ではリモートセンシング技術を活用した災害対応には、取得データの精度・リアルタイム性・画像処理による被害抽出精度の向上など多くの問題点・課題が挙げられる。しかし、このような問題点・課題をクリアすることにより、リモートセンシング技術は、広域的な被害等の状況を迅速に把握するために非常に有効な手段となる。今後は、平常時の施設管理等における活用方策及び画像処理の自動化手法の検討を行う予定である。また、これまでの検討成果を踏まえリモートセンシング技術の災害対応への活用方策を分かりやすくとりまとめる予定である。

道路事業調査費

大規模地震を考慮した地中構造物の耐震設計法に関する試験調査

Study on Seismic Design Method for Underground Structures Against Large-scale Earthquakes

(研究期間 平成 10～13 年度)

研究官 (Researcher) 中尾 吉宏 (Yoshihiro Nakao)
研究員 (Research Associate) 松本 俊輔 (Shunsuke Matsumoto)

There are many unresolved points in ground motion amplification within soil deposits exposed to extremely strong ground motions. In the present study, based on ground motion amplification in the 1995 Kobe Earthquake, seismic design ground motions for underground structures are proposed.

〔研究目的及び経緯〕

地中地震動の分布特性は、従来、観測記録が限定されていたこともあり、十分に明らかにされておらず、特に、兵庫県南部地震で生じたような非常に強い地震動が生じた場合の地震動の分布特性については未解明の部分が多い。また、立地条件の制約、施工技術の進歩等により、従来に比べ深い位置に地中構造物が設置されるようになってきており、工学的基盤以深の地震動特性についても把握することが必要となってきている。本研究では、地中構造物の耐震設計の高度化・合理化を図るために、非常に強い地震動が生じた場合の地中地震動の分布特性及び工学的基盤以深の地震動特性について検討することを目的とする。13年度は、平成7年兵庫県南部地震により生じた地中地震動の特性を考慮して、工学的な基盤面における設計用の速度応答スペクトルを暫定提案するとともに、その速度応答スペクトルに合致した設計用の動的解析用波形を作成した。

〔研究内容〕

1. 工学的な基盤面における暫定的な設計用の速度応答スペクトルの算定

平成7年兵庫県南部地震により観測された加速度強震記録に基づいて工学的な基盤面における地震動の速度応答スペクトルを算出し、それらに基づいて設計用の速度応答スペクトルを暫定的に提案した。工学的な基盤としては、せん断波速度 $V_s=300$ (m/s) 程度以上の地層を用いた。対象とした強震記録は、神戸海洋気象台、猪名川、JR 鷹取駅、葺合の計4地点で観測された地表面記録及び東神戸大橋の地中記録である。地表

面で得られた4記録については、一次元重複反射理論による地震応答解析によりそれぞれの地点における工学的な基盤面まで地震動を引き戻した。その際には、地盤のせん断ひずみレベルが地震応答解析手法の適用範囲内であることを確認した。東神戸大橋における地中記録は、GL-33mの $V_s=280$ (m/s) の土層中で得られたものであるため、工学的な基盤における記録と見なすこととした。工学的な基盤面まで引き戻した地震動及び工学的基盤において観測された強震記録の速度応答スペクトルはばらつきを有するため、工学的に速度応答スペクトル値が一定と見なすことが可能な $0.8\sim 5$ (sec) の固有周期帯における速度応答スペクトル値について確率分布への当てはめを行った。確率分布としては速度応答スペクトル値の分布がよく当てはまる対数正規分布を用いることとし、暫定的に非超過確率が70%となる速度応答スペクトル値を $0.8\sim 5$ (sec) の固有周期帯における設計用の速度応答スペクトル値として算定した。

2. 動的解析用波形の作成

工学的な基盤面において1.の方法により算定した設計用の速度応答スペクトルに近い特性を有するように、JR 鷹取記録のNS成分及びEW成分を工学的な基盤面まで引き戻して算出した地震動及び東神戸大橋における地中記録 N78E 成分を振動数領域で振幅調整した。ここで、1.の方法により算定した速度応答スペクトルに近い特性を有するようにしたのは、 $0.05\sim 10$ (sec) の固有周期帯である。

〔研究成果〕

工学的な基盤面における設計用の速度応答スペクトル

ルは、工学的な基盤以浅の表層地盤を固有周期 T 及び減衰定数 h の 1 質点系にモデル化し、地震時に当該 1 質点系に生じる最大速度応答として設定されるものである。兵庫県南部地震で地盤に生じたせん断ひずみの深さ方向分布は、地震応答解析により図-1 のように得られており、同図のせん断ひずみレベルに対する地盤の減衰定数は 15%程度であるため、設計用の速度応答スペクトルの減衰定数 h は $h=15\%$ とすることとした。図-2 に、兵庫県南部地震による強震記録に基づいて算出した工学的な基盤面における減衰定数 $h=15\%$ の速度応答スペクトルと、それらに基づいて暫定的に設定した設計用の速度応答スペクトルを示す。

また、JR 鷹取記録の NS 成分及び EW 成分を工学的な基盤面まで引き戻して算出した地震動及び東神戸大橋における地中記録 N78E 成分を、図-2 に示した暫定的な設計用の速度応答スペクトルに近い特性を有するよう振動数領域で振幅調整した動的解析用波形を図-3 に示す。ここで作成した動的解析用波形は、工学的な基盤における上昇波と下降波の和に相当するものである。

【成果の発表】

工学的基盤面における設計地震動の暫定提案、東京外環自動車道（掘割構造）耐震設計基準検討委員会

【成果の活用】

本研究により暫定提案された速度応答スペクトル及び動的解析用波形は、共同溝設計指針等の地中構造物の耐震設計基準に反映されることが期待される。

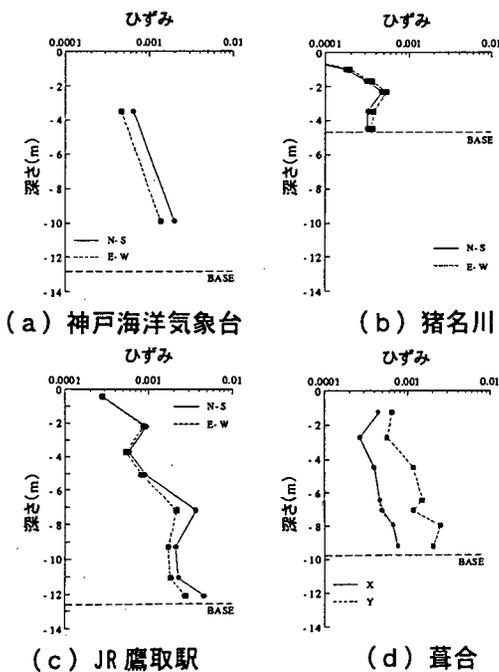


図-1 地盤のひずみ分布

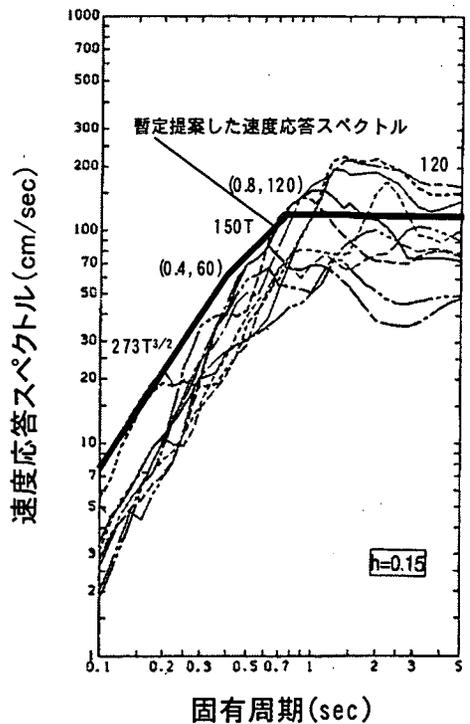


図-2 設定した速度応答スペクトル

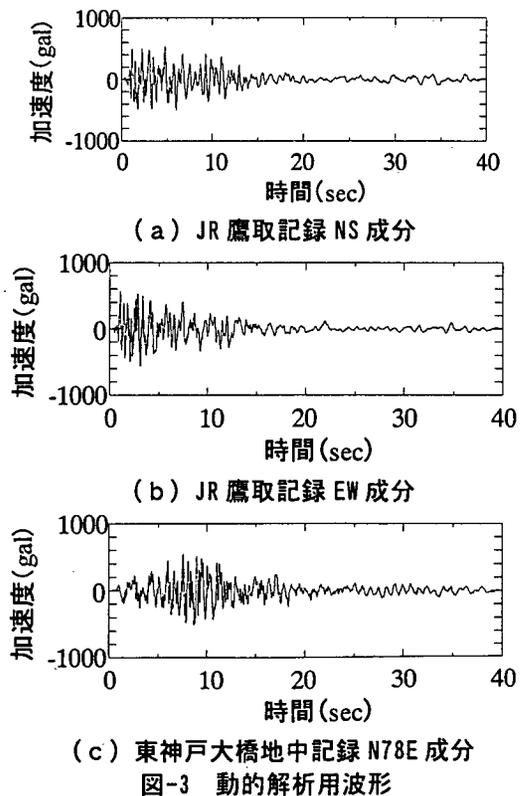


図-3 動的解析用波形

危機管理技術研究センター地震防災研究室

Research Center for Disaster Risk Management Earthquake Disaster Prevention Division

地震ハザードマップの作成手法の開発に関する調査

Study on Probabilistic Seismic Hazard Analyses Based on Historical Earthquake Records, Active Faults and Inter-plate Earthquakes

(研究期間 平成 10～14 年度)

研究官 中尾 吉宏
Researcher Yoshihiro Nakao

Probabilistic seismic hazard maps are applied to incorporate regional seismicity into seismic design for various civil infrastructures. In the present study a procedure for probabilistic seismic hazard analyses based on historical earthquake records, active faults and inter-plate earthquakes is developed.

〔研究目的及び経緯〕

我が国では、過去千数百年程度の地震記録が整理されており、それらの記録に基づいて作成された地震ハザードマップが、耐震設計基準における地域性を考慮した設計地震動の設定に活用されている。しかし、活断層に起因する地震の発生間隔が数百年から数千年以上であることを考慮すれば、十分に長い期間の地震記録が地震ハザードマップの作成に用いられてきたとは言えない。また、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析では、様々なマグニチュードの地震がランダムな位置及び時間に発生することが想定されるが、活断層やプレート境界では、固有のマグニチュードの地震が固有の場所及び発生間隔で発生するとされている。

本研究は、このような過去の地震の記録期間に関する実状や、活断層及びプレート境界における地震の発生特性を踏まえ、過去の地震記録とともに、近年、蓄積されつつある活断層及びプレート境界地震の情報を考慮した合理的なハザードマップ作成手法を開発することを目的としている。

13年度は、過去の地震記録とともに、活断層やプレート境界で発生する地震の発生履歴やマグニチュードを考慮できる地震危険度解析手法を開発し、全国を対象とした地震ハザードマップの試算を行った。

〔研究内容〕

本研究では、活断層において、固有の発生間隔及び固有のマグニチュードで繰り返し発生する地震については、活断層を考慮した地震危険度解析で危険度評価を行い、プレート境界の特定の位置において、固有の

発生間隔及び固有のマグニチュードで繰り返し発生する地震については、プレート境界地震を考慮した地震危険度解析で危険度評価を行う。また、地震の発生位置、マグニチュード、発生間隔を特定できない地震については、過去の地震記録を考慮した地震危険度解析において危険度評価を行う。地震危険度の評価では、はじめに、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震のそれぞれを考慮した解析を行う。次に、過去の地震記録を用いた解析において考慮するランダムな位置で発生する地震と、活断層及びプレート境界で発生する地震は、それぞれが独立に発生するものとして、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮した解析結果を組み合わせることにより、それらを同時に考慮した地震ハザードマップの試算を行う。

1. 過去の地震記録を考慮した地震危険度解析

我が国周辺の地震地体構造等に基づき、地震の発生状況が一様とみなすことが可能な地域ごとにバックグラウンドゾーンを設定し、過去の地震記録を用いてバックグラウンドゾーン内の年平均地震発生確率やマグニチュードの分布特性を評価した。地震動強度の推定には、地震の規模、距離等から最大加速度を推定する距離減衰式を用い、平均値回りのばらつき ($\pm 2\sigma$ 、 σ は標準偏差) を考慮した。

2. 活断層を考慮した地震危険度解析

地震危険度解析では、長さ10km以上の活断層を考慮することとした。活断層の平均活動間隔やマグニチュードは、活断層に関する最近の調査結果を参考に設定したが、調査結果のない活断層については、活断層の

長さ等のパラメータを用いて平均活動間隔やマグニチュードを推定した。活断層の地震発生確率の算定では、最新活動時期が特定されている場合は活動間隔がBrownian Passage Time 分布に従うものとし、最新活動時期が未特定の場合は地震の発生がポアソン過程に従うものとした。また、地震動強度は1. と同じ距離減衰式により推定し、平均値回りに $\pm 2\sigma$ のばらつきを考慮した。距離減衰式の距離の指標としては、活断層と試算地点の最短距離を用いた。

3. プレート境界地震を考慮した地震危険度解析

プレート境界地震としては、図-1に示す地震を考慮した。詳細は、[成果の発表]に示した①の検討会資料に譲るが、プレート境界地震の平均発生間隔、最新発生時期及びマグニチュードは、過去の地震を参考に仮定した。地震の発生確率は、仮定した地震の発生間隔及び最新発生時期を用いて、地震の発生間隔がBrownian Passage Time 分布に従うものとして評価した。また、プレート境界地震の断層の幾何的な条件は、過去の地震を参考に、図-1のように仮定した。関東地震及び十勝沖南地震の断層の幾何的な条件及びマグニチュードについては、過去の地震の発生パターンを想定し、いずれのパターンが発生するかという確率は均等として地震危険度の評価を行った。地震動強度は1. と同じ距離減衰式により推定し、平均値回りに $\pm 2\sigma$ のばらつきを考慮した。距離減衰式の距離の指標には断層面と試算地点の最短距離を用い、プレート境界地震の断層面が複数ある場合には、複数の断層面と試算地点の最短距離の中で最も小さい最短距離を距離の指標として用いることとした。

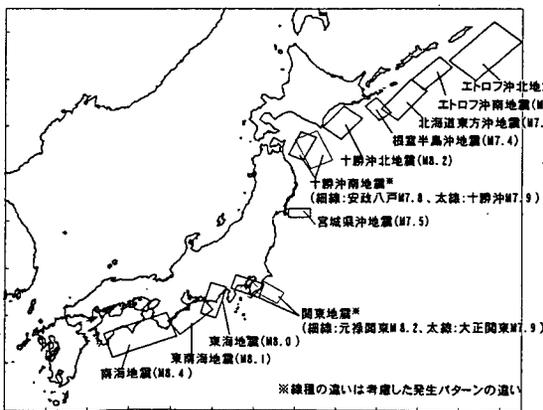
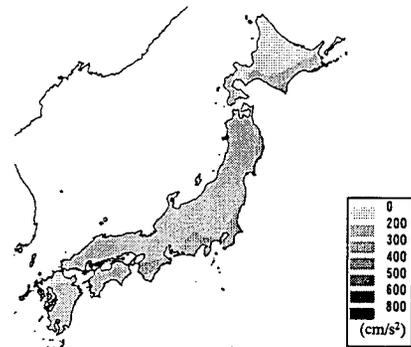


図-1 断層の幾何的な条件

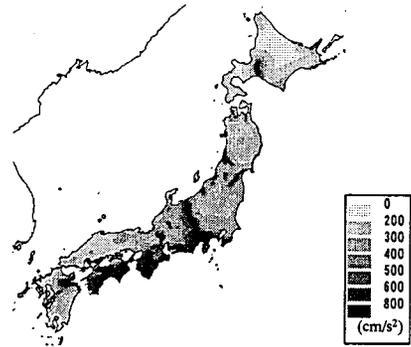
[研究成果]

過去の地震記録のみを考慮した場合と、過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を同時に考慮した場合について、2002年1月1日より100年間の超過確率が5%となる最大加速度の試算結果を、それぞれ、図-2(a)及び(b)に示す。これらの図の比較から、活断層

を別途考慮した地震危険度解析を行うことにより、糸魚川-静岡構造線活断層系等の地震の発生確率が比較的高い活断層が支配的な影響を及ぼす結果が得られている。また、活断層の分布密度が高い中部地方や近畿地方においては、地震発生確率が高い活断層を中心に比較的広い範囲で活断層の影響が認められる。さらに、プレート境界地震を考慮した地震危険度解析を行うことにより、北海道東部、四国地方、紀伊半島南部及び中部地方南部において、プレート境界地震の支配的な影響が認められるようになっている。上記以外の地域では、過去の地震記録を考慮した解析結果が支配的となっている。



(a)過去の地震記録のみ考慮



(b)過去の地震記録、活断層及びプレート境界地震を考慮

図-2 最大加速度の地震ハザードマップの試算結果

[成果の発表]

①レベル2地震動の設定手法に関する技術検討会(第6回、7回) ②中尾、村越、田村: 全国を対象とした地震ハザードマップの試算、第11回日本地震工学シンポジウム(投稿中)、2002、③Tamura and Nakao: Seismic Hazard Map Based on Active Faults and Past Earthquakes, Thirty-third Joint Meeting U.S.-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, 2001

[成果の活用]

本研究により開発される地震ハザードマップ作成手法は、耐震設計や防災計画における地域性の考慮に活用されることが期待される。

マルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法に関する試験調査

Study on Seismic Design Ground Motions for Highway Bridges with Multi Plastic Hinges

(研究期間 平成 13~17 年度)

研究官/ Researcher 中尾 吉宏/ Yoshihiro Nakao
研究員/ Research Engineer 松本 俊輔/ Shunsuke Matsumoto

It is rational to allow predetermined allowable ductility for highway bridges against extremely strong ground motions. The present study explores the effects of ground motion characteristics on nonlinear behavior of highway bridges with multi plastic hinges in order to develop a procedure for setting up seismic design ground motions for ductile structures.

【研究目的及び経緯】

兵庫県南部地震において生じたような非常に強い地震動に対しても、道路橋等の構造物の安全性を確保するためには、構造物の塑性化を考慮した耐震設計を行う必要がある。本研究は、免震支承を採用した橋など、複数箇所に塑性化が生じる可能性のあるマルチヒンジ構造物の非線形応答に影響を及ぼす地震動特性を明らかにし、そのような地震動特性を考慮した設計地震動の設定手法を開発することにより、マルチヒンジ構造物の耐震設計の合理化に資することを目的とするものである。13年度は、プレート境界型地震及び内陸直下型地震による地震動の工学的特性を考慮して作成した種々の模擬地震動を用いて免震支承を採用した橋を対象とする非線形動的解析を行い、地震動の工学的特性がマルチヒンジ構造物の塑性化に及ぼす影響について検討した。

【研究内容】

本研究では、はじめに、地震動の振幅特性及び位相特性を種々変更し、プレート境界型地震及び内陸直下型地震による地震動の工学的特性を反映した模擬地震動を作成した。次に、橋脚のみが塑性化する橋と、免震支承を採用することにより支承と橋脚の双方が塑性化することを許容した免震橋とを対象に、作成した模擬地震動を入力地震動とする非線形動的解析を行った。非線形動的解析の結果に基づき、プレート境界型地震及び内陸直下型地震の地震動特性が、免震支承の採用による地震力の低減効果に及ぼす影響について検討した。免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、橋脚のみが塑性化する橋と免震橋の橋脚が同一の

応答塑性率で非線形応答する場合について、2つの橋の橋脚の所要降伏水平震度を比較することにより評価することとした。

1. 模擬地震動の作成

プレート境界型地震及び内陸直下型地震により得られた既往の強震記録の位相特性の統計的な性質に基づき、位相特性を変化させた地震動を種々作成した上で、振幅特性を振動数領域で調整し、道路橋示方書に規定されるタイプⅠ及びタイプⅡの地震動の標準加速度応答スペクトルに適合した模擬地震動を作成した。模擬地震動は、プレート境界型地震及び内陸直下型地震のそれぞれについて、地盤種別ごとに9波形を作成した。

2. 非線形動的解析

免震橋は、支承及び橋脚を、それぞれ、上バネ及び下バネとする2質点系弾塑性型せん断バネモデルによってモデル化した。橋脚のみが塑性化する橋については、橋脚をせん断バネとする1質点系弾塑性型せん断バネモデルによってモデル化した。非線形動的解析では、2質点系及び1質点系の双方について、橋脚の降伏耐力を変更した解析を繰り返し行うことにより、橋脚の応答塑性率 μ が $\mu=2$ 又は 4 となる場合の橋脚の所要降伏水平震度を算定した。免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、初期固有周期が等しい1質点系と2質点系の橋脚の所要降伏水平震度を比較することにより評価した。2質点系の初期固有周期は、上バネの下バネに対する剛性比を 0.2 又は 0.4 に固定したそれぞれのケースについて、上バネと下バネの剛性の組み合わせを変更することにより、1次モードの初期固有周期が1質点系の初期固有周期と同一となる

ように調整して設定した。橋脚の非線形履歴モデルとしては、1質点系及び2質点系の双方について、修正武田モデルを仮定し、免震支承についてはパイリニアモデルを仮定した。また、2質点系の減衰には、初期剛性比例型のレーリー減衰を用いることとし、2質点系の1次モードの減衰定数と1質点系の減衰定数は共に5%とした。

【研究成果】

プレート境界型地震及び内陸直下型地震の地震動特性を考慮して種々作成した模擬地震動を入力地震動とする非線形動的解析の結果として、入力地震動としては1種地盤の模擬地震動9波形を用い、2質点系としては上バネと下バネの剛性比が0.2となる系を用いた場合の例を図-1に示す。同図は、2質点系と1質点系の橋脚が同一の応答塑性率 $\mu=2$ 又は4で非線形応答する場合における、橋脚の所要降伏水平震度の比 $r(=1$ 質点系の所要降伏水平震度/2質点系の所要降伏水平震度)を、模擬地震動9波形を用いて算定した結果の平均値を示している。ここで、2質点系の橋脚の応答塑性率 μ_{2p} と、式(1)により算定される2質点系の全体系としての応答塑性率 μ_{2s} との関係を表-1に示す。

$$\mu_{2s} = \delta_u^{\max} / \delta_u^{Py} = \delta_u^{\max} / (\delta_p^{Py} + \delta_b^{Py}) \quad (1)$$

ここに、 μ_{2s} : 2質点系の全体系の応答塑性率、 δ_u^{\max} : 2質点系の上部質点の最大応答変位、 δ_u^{Py} : 下バネが降伏したときに桁に生じる変位、 δ_p^{Py} : 下バネの降伏変位、 δ_b^{Py} : 下バネの降伏耐力に相当する力が上部質点に作用したときに上部質点に生じる変位

μ_{2p} 及び μ_{2s} は作成した模擬地震動ごとに算定することができるが、同表には、上バネと下バネの剛性比が0.2となる2質点系を対象に、 μ_{2p} 及び μ_{2s} を1種地盤の模擬地震動9波形を用いて算定した結果の平均値を表している。表-1から、 μ_{2s} は μ_{2p} に比べて小さいため、1質点系と所要降伏水平震度の比較を行った2質点系は、全体系としては、1質点系よりも小さい応答塑性率を持つことが認められる。応答塑性率が小さくなると、一般に、履歴エネルギー吸収も小さくなるため、所要降伏水平震度は大きくなるが、図-1では、免震支承の採用による地震力の低減効果により、固有周期1秒程度を中心とする周期帯においては2質点系の所要降伏水平震度が1質点系に比べて小さくなっていることが認められる。図-1から、固有周期1秒程度を中心とする固有周期帯の橋に免震支承を採用することによる地震力の低減効果は、プレート境界型地震に比べ、内陸直下型地震による地震動に対してより大きくなることが認められる。また、図-2に示し

たように、固有周期1秒程度よりも長い周期帯の免震橋については、内陸直下型地震及びプレート境界型地震の双方に対して、免震支承の履歴エネルギー吸収の分担率が減少しており、そのような傾向はプレート境界型地震に比べて内陸直下型地震で強い。このため、図-1では、免震支承の採用による地震力の低減効果は、固有周期1秒程度以上の周期帯で内陸直下型地震及びプレート境界型地震の双方に対して小さくなること、更に、そのような傾向は内陸直下型地震に対してより強いことが認められた。

【成果の発表】

- ①中尾、村越、田村、吉田：構造物の塑性化を考慮した設計地震動の設定、第1回日本地震工学研究発表会・討論会、2001年11月、②吉田、田村、中尾：地震動特性を考慮した非線形応答の推定とその応用、第5回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム、2002年1月、③中尾、田村、吉田：構造物の塑性化を考慮した設計地震動、土木技術資料、2001年12月

【成果の活用】

本研究により開発されるマルチヒンジ構造物の設計地震動の設定手法は、道路橋示方書における設計地震動の設定に反映されることが期待される。

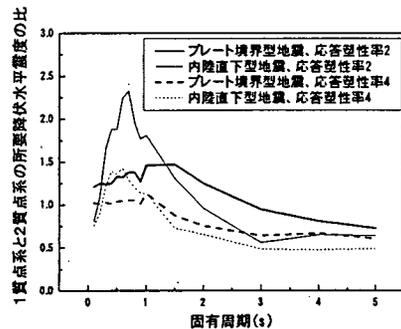


図-1 2質点系と1質点系の橋脚の所要降伏水平震度 (1種地盤における地震動入力の場合)

表-1 2質点系の橋脚と全体系の応答塑性率

橋脚の応答塑性率 μ_{2p}	全体系の応答塑性率 μ_{2s}
2	0.93
4	1.22

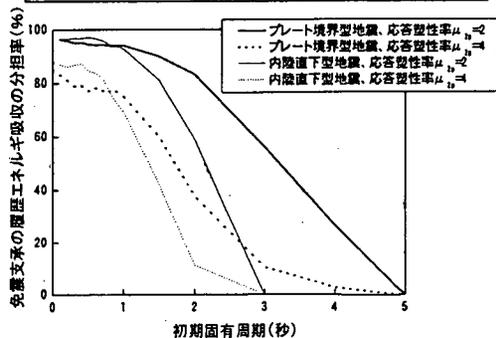


図-2 免震支承の履歴エネルギー吸収の分担率 (免震支承の履歴エネルギー吸収/免震支承と橋脚の履歴エネルギー吸収)

道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

Development of A Risk Assessment Tool for Road Network at an Earthquake

(研究期間 平成 12～14 年度)

主任研究官 真田 晃宏

Senior Researcher Akihiro SANADA

It is effective to estimate the damage situation on infrastructure for executing pre-earthquake countermeasure and the suitable and rapid management after an earthquake. This is the reason why it is necessary to develop the relationship among seismic ground motion, damage level and probability of its occurrence. Therefore, It is executed to develop fragility curves for each seismic design code version.

[研究目的及び経緯]

震前の防災計画の立案や、地震直後における適切かつ迅速な対応を図る上で、想定又は実地震動に対する構造物・施設等の被害状況の推定を行うことは施設管理者に有用な情報を与えるが、推定に当たっては、地震動に対する構造物の被害程度やその発生の危険性を評価しておくことが必要となる。

被害程度やその発生確率は、地震動の大きさだけでなく、構造物の形式、寸法、設計に適用した基準など様々な要因によって異なる。例えば、道路橋の場合、その耐震基準である道路橋示方書は逐次改訂されており、適用道示により、地震動に対する耐震性能は異なってくる。本研究は、過去の地震において道路通行障害を引き起こす要因となった道路施設、占用施設、沿道施設を対象として、地震動と被害程度及びその発生確率の関係（被害関数）を調査するものである。今回は、動的解析により、RC 橋脚を対象として適用基準別の耐震性の違いを分析した。

[研究内容]

RC 橋脚を対象として、動的解析により適用基準別に耐震性能の相互比較を行った。

(1)橋脚の選定

まず、適用基準別（5分類：昭和 55 年以前、昭和 55 年、平成 2 年、平成 7 年復旧仕様、平成 8 年）に、RC 橋脚の試設計データ（昭和 55 年以降の道示）、又は実橋脚データ（昭和 55 年以前の道示）を収集し、その耐震性能を比較した。ここで、昭和 55 年以前の

道示適用のデータについては、浦河沖地震、釧路沖地震、北海道東方沖地震及び兵庫県南部地震の際に被災した橋脚データを、また、昭和 55 年以降の道示適用のデータについては、各基準毎に橋脚高さ、設計水平震度、柱形状等をパラメトリックに変化させて試設計したものを用いた。

これらのデータを、適用基準別、固有周期帯別（4 区分：0.3 秒～0.4 秒以降 0.1 秒ピッチで 0.6～0.7 秒まで）の計 20 分類し、それぞれの区分の中で、終局塑性率及び降伏水平震度が平均的な橋脚を動的解析の対象として選定することとした。図-1 に、例として、固有周期 0.6～0.7 秒で昭和 55 年道示に基づく橋脚の降伏水平震度及び終局塑性率と選定した橋脚を示す。

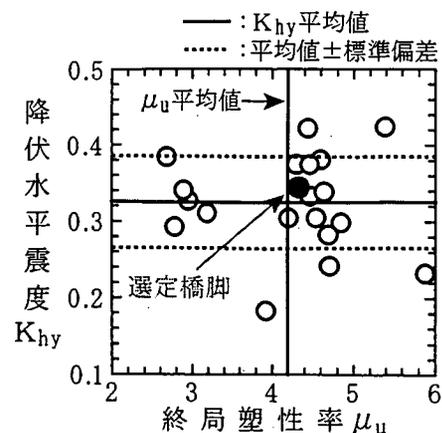


図-1 解析対象橋脚の選定例
(固有周期 0.6～0.7 秒)

(2)動的解析モデル

動的解析に当たっては RC 橋脚を 1 自由度非線形せん断バネ振動系に置き換えた。非線形履歴復元力モデルには、ひび割れの影響を無視し、剛性低下についてはこれを考慮できる武田モデルを用いた。また、減衰定数は 5% を基本とした。

(3)入力地震動

動的解析に用いる入力地震動としては、我が国の地盤上で得られた 197 組 394 成分の水平成分強震記録²⁾にその後発生した最大加速度 300gal 以上の地震から得られた強震記録を、地震動タイプ(プレート境界型、内陸直下型)、及び地盤種別により 6 分類し、各区分において SI 値の大きい波形で、加速度応答スペクトルの特性の異なる波形(各ケースにつき 2 波形を基本)を選定した。今回の解析に用いた波形を表-1 に示す。これら 11 波の SI 値が 50, 90, 120, 150 及び 180cm/sec となるように振幅調整を行い入力地震動とした。

【研究成果】

以下、固有周期 0.6~0.7 秒の RC 橋脚に対する動的解析結果について述べる。

図-2 は、基準別に SI 値と μ_{max}/μ_u (ここで、 μ_u : 終局塑性率、 μ_{max} : 最大応答塑性率) の関係を示したものである。SI 値が大きくなるに従い全体的に μ_{max}/μ_u の値が大きくなる傾向にある。図-3 は、各 SI 値に対して、 $\mu_{max}/\mu_u > 1.0$ となる確率を基準別に示したものである。適用基準の年代が古くなるに従い μ_{max}/μ_u が 1.0 を超える確率が高くなる傾向がわかる。また、平成 8 年道示適用の橋脚については 1.0 を超えるケースは見られなかった。

【成果の発表】

土木学会平成 14 年度全国大会第 57 回年次学術講演会(投稿中)

【成果の活用】

今後、本研究成果を適用道路橋示方書別等の被害関数の検討に活用する予定であり、さらに、被害関数については、被害想定やリスクマネジメント計画策定に用いられる予定である。

表-1 解析で使用了観測地震波

地盤種別	タイプ	地震名・観測所名	SI 値 (cm/sec)	地表面最大加速度 (gal)
I	プレート境界型	釧路沖地震・釧路気象台	76.21	922
II	プレート境界型	北海道東方沖地震・温根沼大橋	53.52	392
III	プレート境界型	日本海中部地震・津軽大橋	43.69	275
I	プレート境界型	標準加速度波形 I - I - 2	61.98	324
II	プレート境界型	標準加速度波形 I - II - 2	90.03	382
III	プレート境界型	標準加速度波形 I - III - 1	109.21	431
I	内陸直下型	兵庫県南部地震・神戸海洋気象台	112.65	814
I	内陸直下型	鳥取県西部地震・江府	47.81	726
II	内陸直下型	兵庫県南部地震・大阪ガス葛合供給所	148.19	804
II	内陸直下型	芸予地震・大野	38.56	441
III	内陸直下型	兵庫県南部地震・東神戸大橋	75.80	324

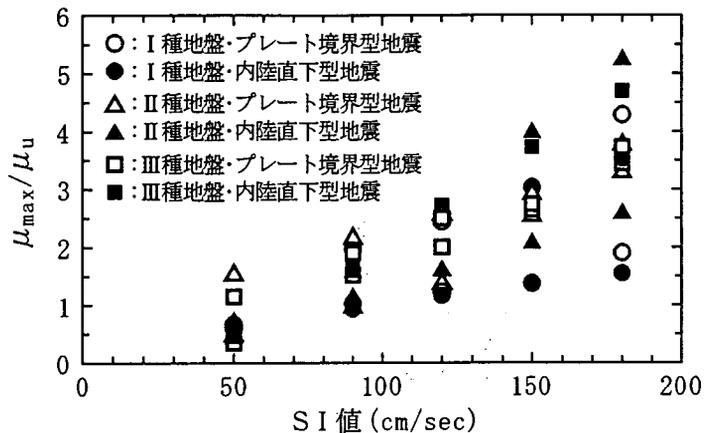


図-2 基準別 SI 値 - μ_{max}/μ_u

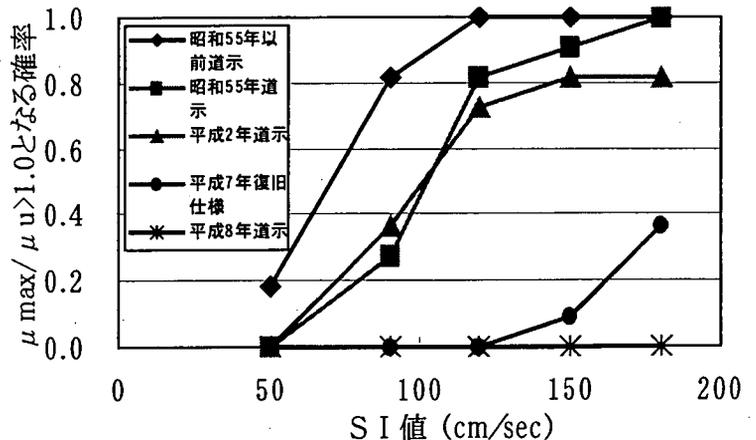


図-3 $\mu_{max}/\mu_u > 1.0$ となる確率

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002.3
- 2) 川島, 相沢, 高橋：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告第 166 号, 1985

大規模地震を想定した長大橋梁の耐震設計法の合理化に関する試験調査

Study on Seismic Design Method for Long-span Bridges against Major Earthquakes

(研究期間 平成 10～14 年度)

危機管理技術研究センター地震防災研究室

研究官 片岡 正次郎

研究員 松本 俊輔

Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management

Shojiro Kataoka, Researcher

Shunsuke Matsumoto, Research Engineer

A procedure for formulating design earthquake motions for long-span bridges has been studied utilizing strong motion simulation methods. A stochastic Green's function method is developed and applied to the simulation. Design earthquake motions for the strait-crossing bridges are proposed based on the simulated earthquake motion.

〔研究目的及び経緯〕

東京湾口、伊勢湾口等において超長大橋の建設が計画されているが、これらの地域は過去の大地震の震源近傍に位置し、極めて厳しい地震環境下にあるため、大規模地震を想定して設計地震動を設定する必要がある。一方、震源断層の破壊過程をモデル化して強震動を合成する、断層モデルを用いた地震動推定手法が提案されてきており、大規模地震の震源近傍で発生する強震動についてもその有効性が認識されつつある。本課題は、断層モデルを用いた地震動推定手法の実用性を高め、その推定地震動に基づく設計地震動の設定手法を提案することを目的としている。13年度は、提案している断層モデルを用いた地震動推定手法をさらに高度化し、将来発生する地震を想定した断層モデルの設定手法とともに、その具体的な手順をとりまとめた。また、この提案手法によって推定した地震動に基づいて、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡において計画されている超長大橋の試設計のための動的応答解析用入力地震動を提案した。

〔研究内容〕

内陸活断層による地震(内陸地震とよぶ)と海溝などのプレート境界で発生する地震(海溝型地震とよぶ)では、例えば断層面積と地震モーメントの関係など、各断層パラメータ間関係が異なる。そこで、内陸地震と海溝型地震に分けて、それぞれの地震が将来に発生する場合を想定した断層モデルの設定手法を提案した。

地震動の推定には、比較的必要なデータが少なく任意の地点に適用できる、統計的グリーン関数法を用いる。この手法は、地震記録の統計解析を行うことにより、中小規模の地震による地震動(統計的グリーン関数)を地震規模と震源距離等から推定し、それらを大規模地震の断層モデルに従って重ね合わせることによって大規模地震の地震動を合成するものである。

内陸地震と海溝型地震では、例えば、同じ規模の地震でも地震動の特性が異なることから、本研究ではこれら2種類の地震に分けて統計解析を行うことにより、中小規模の地震による工学的基盤(S波速度700m/s相当)における地震動の推定式を地震の種類別に新たに作成した。それらの推定式から作成した小地震による地震動を合成し、大規模地震による地震動を推定する手法を開発した。

1923年関東地震の再来を対象として、提案手法を用いて断層モデルを設定した。ただし、破壊開始点とアスペリティ(断層面の中でも特にくい違い量が大きい領域)の位置については事前に想定することが困難なため、断層面内で系統的に設定した。また、設定した断層モデルに基づき、観音崎地点における地震動の試算を行った。1923年関東地震に対して推定されている断層モデルと観音崎地点の位置を図-1に示す。

〔研究成果〕

断層の走向、傾斜角、断層長さ、断層幅は図-1に示した1923年関東地震の断層モデルと同一にしているが、その他のパラメータについては海溝型地震につい

ての平均的な関係式に基づいて設定した。また、図-3に示す5ケースの破壊開始点位置、9ケースのアスペリティ位置、3ケースの破壊伝播速度を用い、計135ケースの断層モデルを設定した。

これらの断層モデルを用いて地震動の試算を行った結果、得られた地震動の加速度応答スペクトルを図-3に示す。この図には、10年度に1923年関東地震の際の観音崎地点における地震動を経験的グリーン関数法で試算した結果も示してある。図によると、同じ固有周期で比較すれば、統計的グリーン関数法で試算した結果は5倍程度変動しており、断層モデルの設定が推定地震動に大きな影響を及ぼすことが分かる。また、経験的グリーン関数法で試算した結果は、統計的グリーン関数法で試算した結果の変動幅にはほぼ含まれている。

これら2つの手法により試算した結果をもとに、図-3に示すような3つの直線からなる設計用加速度応答スペクトルを暫定案として仮設定した。これは、工学的基盤(S波速度700m/s相当)において定義されたものであり、周期0.1[s]~1.2[s]では2000[cm/s²]の応答加速度をもっている。

統計的グリーン関数法で試算した地震動から、加速度応答スペクトルが全固有周期においてある程度大きいもの一つを選択し、仮設定した加速度応答スペクトルにフィッティングすることで、動的応答解析用入力地震動の暫定案を提示した。この入力地震動の加速度波形と速度波形を図-4に示すが、最大加速度1100[cm/s²]、最大速度150[cm/s]の非常に大きな振幅をもっており、継続時間が長く、海溝型巨大地震による地震動の特徴を示していることが分かる。

ここでは東京湾口の例を示したが、伊勢湾口、紀淡海峡についても同様の検討を行い、動的応答解析用入力地震動の暫定案を提示した。

[成果の発表]

K-net 強震記録を用いた加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.397-400, 2001.

想定地震に基づくレベル2地震動の試算, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.401-404, 2001.

想定地震に基づくレベル2地震動の設定手法について, 第26回地震工学研究発表会講演論文集, pp.405-408, 2001.

[成果の活用]

本研究で暫定案として提示した動的応答解析用入力地震動は、現在、東京湾口、伊勢湾口、紀淡海峡横断道路等の試設計のための耐震安全性検討に用いられている。

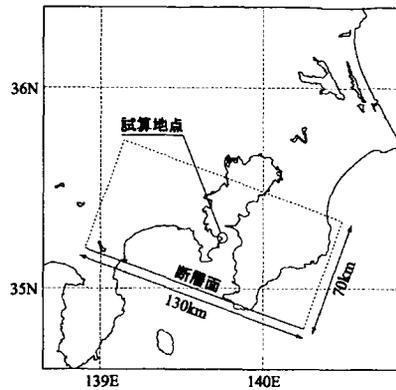


図-1 対象地震の断層面と観音崎の位置

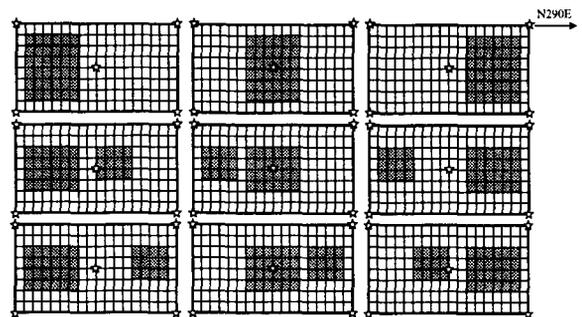


図-2 アスペリティ位置を変更した断層モデル (☆:破壊開始点)

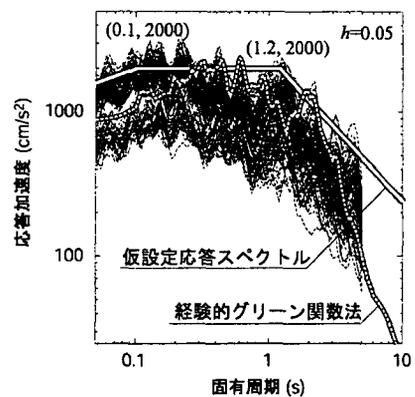


図-3 試算結果とそれをもとに仮設定した動的解析用入力地震動の加速度応答スペクトル

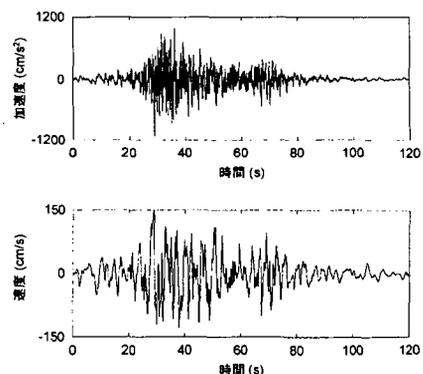


図-4 動的応答解析用入力地震動の暫定案

河川総合開発事業調査費

サイトの地震動特性に基づく設計地震動の設定手法に関する調査

Study on Procedures for Formulating Site-specific Design Ground Motion

(研究期間 平成 12～16 年度)

研究官(Researcher) 片岡 正次郎(Shojiro Kataoka)

研究員(Research Associate) 松本 俊輔(Shunsuke Matsumoto)

[要旨]

河川技術五計で提唱されている性能規定型設計技術を促進するためには、従来の震度法だけでなく、動的解析を活用したダムの健全性に対する照査を可能とし、耐震設計法の自由度を向上させる必要がある。その場合、入力としては設計震度ではなく、地震動を与えることになるが、合理的な設計地震動を設定するためには、サイト周辺における地震の発生特性を含めた、各サイトにおける地震動特性を反映する必要がある。本調査は、このようなサイトの地震動特性を反映した設計地震動の設定手法(図-1 参照)を開発し、動的解析による耐震性照査に基づくダムの耐震設計の高度化に資することを目的とするものである。13年度は、新しく昨年度にとりまとめられたダムサイトでの強震記録データベースをもとに、岩盤上で観測される地震動の最大加速度および加速度応答スペクトルの距離減衰式を提案した。

[研究目的]

距離減衰式は地震動の強さを推定する簡便かつ有用な手法であるが、ダムが建設されるような堅硬な岩盤については、観測記録が少ないことなどの理由により、距離減衰式に関する研究事例が限られている。13年度は、ダムサイト岩盤における最大加速度、及び加速度応答スペクトルの距離減衰式を提案することを目的とする。

[研究方法]

最大加速度及び加速度応答スペクトルの距離減衰式の導出に用いた強震記録は、土木研究所資料第3780号「ダムの地震加速度記録による岩盤の地震動とフィルダムの地震応答特性」に掲載された強震記録のうち、以下の条件を満たす記録である。

- 1) ダム堤体基礎・底部、地山、地表面で観測された記録
- 2) 成分の方向が明らかな記録
- 3) 地震の気象庁マグニチュード M_j が 4.5 以上の記録

強震記録は、強震計のトリガーレベルよりも大きい地点でのみ記録が得られるため、採取された強震記録を無条件に回帰に用いると、遠距離で本来の距離減衰式の傾きよりも小さな傾きが得られることになる。したがって、平均的最大加速度がトリガーレベルより小さいと予測される遠距離の強震記録を除外するため、上記の記録から地震の気象庁マグニチュード M_j と震源距離 X [km]が(1)式の条件を満たす記録のみを使用する¹⁾。

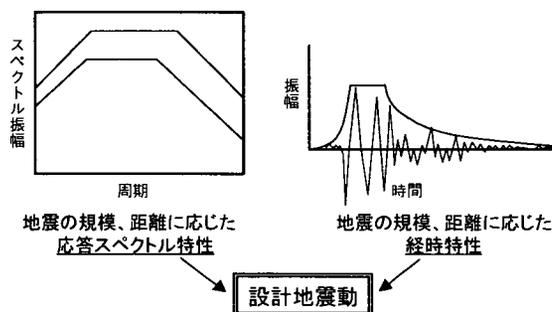


図-1 設計地震動の設定手法の例

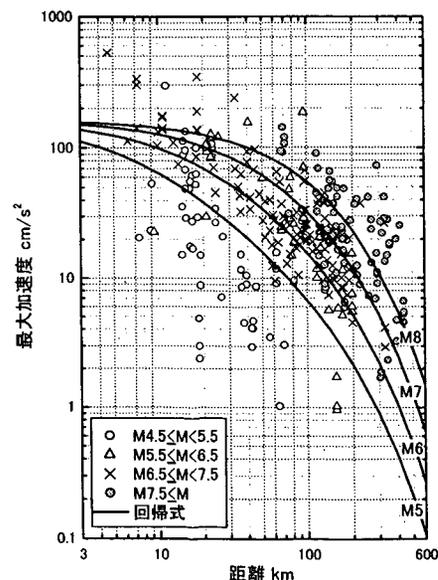


図-2 導出した最大加速度の距離減衰式と強震記録との比較

$$0.40M_j - \log_{10}X - 0.00164X + 1.18 \geq \log_{10}10 \quad (1)$$

提案する距離減衰式は(2)式に示す回帰モデルとし、福島¹⁾の収束計算の方法に従い回帰係数を求めた。

$$\log_{10}A = aM_j - \log_{10}(R + d \times 10^{eM_j}) + bR + c \quad (2)$$

ここで、 A は最大加速度[cm/s²] または加速度応答スペクトル値[cm/s²]、 a, b, c, d, e は回帰係数、 M_j は気象庁マグニチュード、 R は断層面までの最短距離[km]である。断層面までの最短距離 R は、地震の断層モデルが求められている 10 地震については断層面までの最短距離を計算し、その他については震源距離で代用した。

【研究結果】

水平 2 成分の最大加速度の平均値を説明変数として導出した最大加速度の距離減衰式を次式に示す。

$$\log_{10}A = 0.41M_j - \log_{10}(R + 0.065 \times 10^{0.41M_j}) - 0.0021R + 1.02 \quad (3)$$

導出した最大加速度の距離減衰式と導出に用いた強震記録の最大加速度を図-2 に示す。図より、導出に用いた強震記録の最大加速度は、対応するマグニチュードの距離減衰式の値に概ね一致していることが分かる。また、導出した最大加速度の距離減衰式は、特にマグニチュードが大きい場合には、震源近傍において値が飽和する傾向が見られる。

次に、最大加速度の距離減衰式と同様に、加速度応答スペクトル(水平 2 成分合成、減衰定数 0.05)の距離減衰式を導出した。断層面までの最短距離 R を 10km、100km とした場合の加速度応答スペクトルを、それぞれ図-3、4 に示す。最大加速度と同様に、震源近傍において応答スペクトル値が飽和する傾向が見られる。

現在のダム構造物の耐震設計において、地域やダムの型式によって異なるものの設計震度は 0.1~0.3 と定められている²⁾。一般的にダム構造物の基本固有周期が 0.1~1.0sec の範囲にあることを考えれば、例えばマグニチュード 6 以上の地震が距離 $R=10$ km 以内に発生した場合、ダムに作用する慣性力が設計で想定した慣性力を上回る危険性があることが分かる。

ダムの計画地点周辺において将来発生の子測されている地震が存在する場合、ここで得られた最大加速度及び加速度応答スペクトルの距離減衰式を用いることにより、その地震動強さを推定し、設計地震動の設定に活用することができる。

【主な研究成果物】

- ・松本、村越、片岡：ダムサイト岩盤における地震動の距離減衰特性、第 57 回土木学会年次学術講演会講演概要集、2002.9

参考文献

- 1) 福島美光：震源近傍まで適用可能な最大加速度の距離減衰式の導出と改訂、清水建設研究報告 第 63 号、PP75-88、1996
- 2) 社団法人日本河川協会：改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編[1]、1997

(村越、片岡、松本)

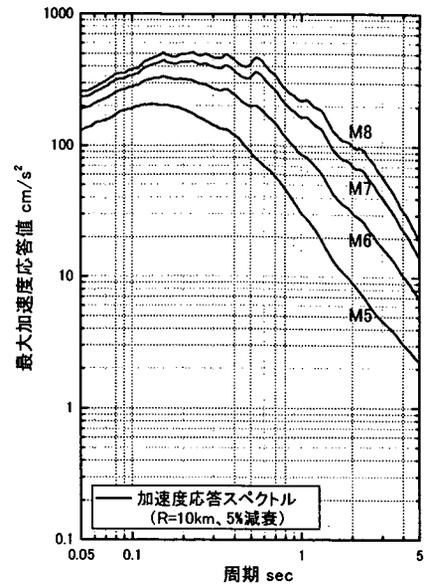


図-3 距離減衰式より求めた加速度応答スペクトル ($R=10$ km)

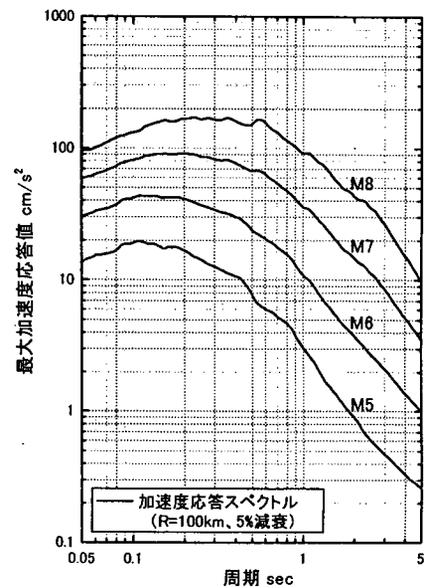


図-4 距離減衰式より求めた加速度応答スペクトル ($R=100$ km)

地方整備局等依頼経費

河川施設の強震計の点検調査

Observation of Strong Ground Motion at River management facilities

(研究期間 昭和60年～平成15年度)

研究官 上原 浩明

Researcher Hiroaki Uehara

[研究目的及び経緯]

国土交通省が所管する河川、道路等の公共土木施設における一般強震観測は、昭和30年代前半に開始され、観測された地震記録は各種の耐震設計基準や地震動特性の研究に活用されている。

平成7年に発生した兵庫県南部地震における公共土木施設の被害を踏まえて、河川管理施設の耐震点検及び耐震化技術の検討が実施された。これらによれば、河川管理施設の耐震性向上に資するために継続的な調査研究が必要であり、実地震による河川管理施設の挙動を把握できる強震観測施設の一層の充実が求められている。

本課題はこうした背景の下、一般強震観測のうち河川施設に設置した観測施設を対象として、観測機器の年一回の動作確認としての保守点検、観測記録の回収及び記録の解析・処理及び蓄積、河川施設における地震計設置に関する技術的指導なども目的としている。

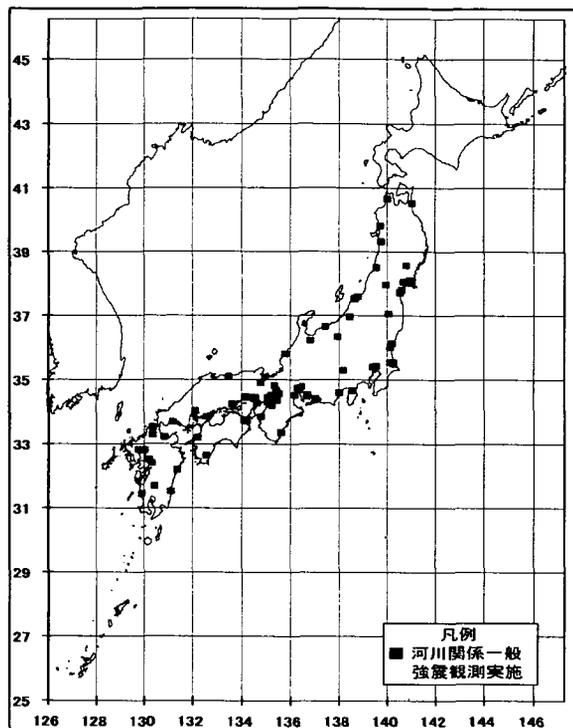


図-1 河川施設の強震計設置状況

[研究方法]

1. 観測施設の保守点検

一般強震観測は昭和40年代はじめから実施されてきたが、機器の特殊性や観測記録が直接的に当該施設の維持管理に反映されないことから、保守管理上、様々な問題が生じてきた。そこで保守点検及び記録回収作業における確実性及び効率化を図るため、旧土木研究所において保守点検を行い、同時に記録を回収することとなり、現在に至っている。

平成14年3月現在、国土交通省が直轄管理している河川に設置されている強震計は表-1のとおりであり、このうち平成13年度は故障による修理が未完了や工事により一時撤去している観測施設を除

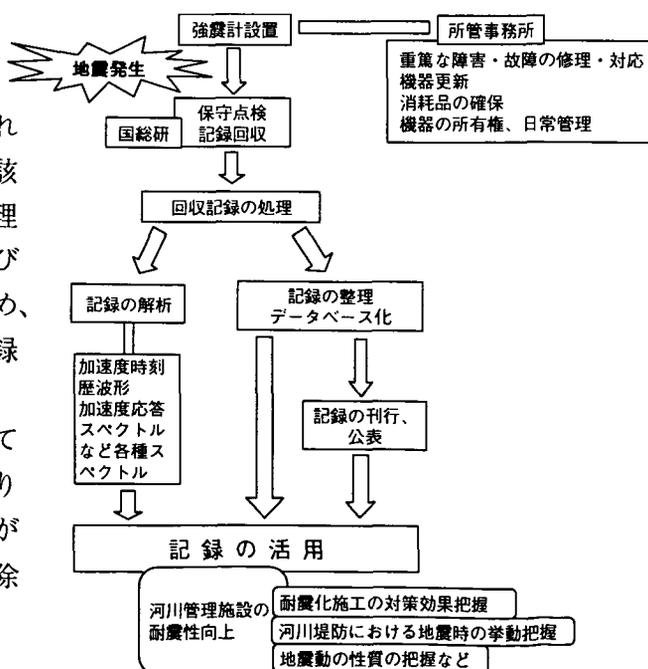


図-2 強震計点検、記録利用に関するフロー

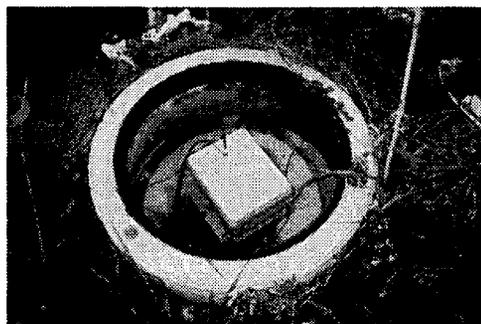
〈 8 1 観測所 2 8 8 感震器（間隙水圧計含む）の保守点検を実施した。

表- 2 点検実施観測所一覧表

地方整備局	事務所名	観測所名	地方整備局	事務所名	観測所名		
東北	青森工事事務所	岩木川堤防観測所	近畿	琵琶湖工事事務所	瀬田川洗堰		
	高瀬川総合開発工事事務所	高瀬川地震観測所		淀川工事事務所	枚方		
	岩手工事事務所	一関堤防観測所			大淀		
	仙台工事事務所	阿武隈大堰観測局			阿武隈大堰観測所	淀川大堰	
					阿武隈川堤防観測所	上黒田	
					関上観測所	木津	
	北上川下流工事事務所	中下震動観測所			中下震動観測所	西島	
					小塚震動観測所	西島	
					山崎震動観測所	本庄	
					新田町震動観測所	毛馬	
	秋田工事事務所	雄物川堤防観測局			和歌山工事事務所	湊中州	
	能代工事事務所	米代川堤防観測所				紀南工事事務所	餅田
	山形工事事務所	河川防災ステーション観測所				福井工事事務所	片川
	酒田工事事務所	最上川堤防観測所				倉吉工事事務所	田後(たじり)
福島工事事務所	郡山観測所	岡山河川工事事務所	百間川右岸(沖元)				
関東	利根川下流工事事務所	佐原出張所	太田川工事事務所	太田川堤防			
	利根川下流工事事務所	小見川出張所	山口工事事務所	佐波川堤防(植松)			
	霞ヶ浦工事事務所	鶴川観測所	徳島工事事務所	徳島			
	常陸工事事務所(太田)	内川水門 水戸出張所	久慈川堤防	石井堤防			
			松戸出張所(江戸川堤防)	四国		中村工事事務所	四万十川堤防
江戸川工事事務所	鹿浜橋	遠賀川工事事務所	川島観測所				
北陸	阿賀野川工事事務所	阿賀野川堤防	遠賀川工事事務所	遠賀川河口堰			
		やすらぎ堤(白山)	筑後川工事事務所	大授観測所			
		信濃川水門	熊本工事事務所	紅粉屋観測所			
		やすらぎ堤(関屋大川前)	菊池川工事事務所	白川(小島)観測所			
		新潟大堰	大分工事事務所	菊池川堤防地震計			
		信濃川工事事務所	妙見堰	山国川ダム堰統管理事務所	中津大堰		
中部	木曾川下流工事事務所	木曾川堤防(木曾岬)	宮崎工事事務所	大淀川堤防観測所			
		木曾川堤防(新所)	延岡工事事務所	浜砂観測所			
		木曾川堤防(西川)	川内川工事事務所	高江地震観測所			
		本簗川堤防(福原)	武雄工事事務所	京町地震観測所			
		伊豆長岡出張所	六角川河口堰				
	沼津工事事務所	安倍川堤防	六角川堤防強震計				
	静岡河川工事事務所	鈴鹿川強震観測所					
	三重工事事務所	庄内川強震観測所					
	庄内川工事事務所	加古川大堰					
	近畿	姫路工事事務所	大島				



強震観測施設全景



地上型感震器



地上型感震器の点検



処理装置の点検

[研究結果]

1. 点検結果

平成13年度に実施した保守点検で観測所の機器に何らかの異常が発見された観測所は20観測所で全体の約25%であった。また、機器故障により影響を受けた感震器及び感震器自体の故障の合計は54感震器で全体の約20%であった。

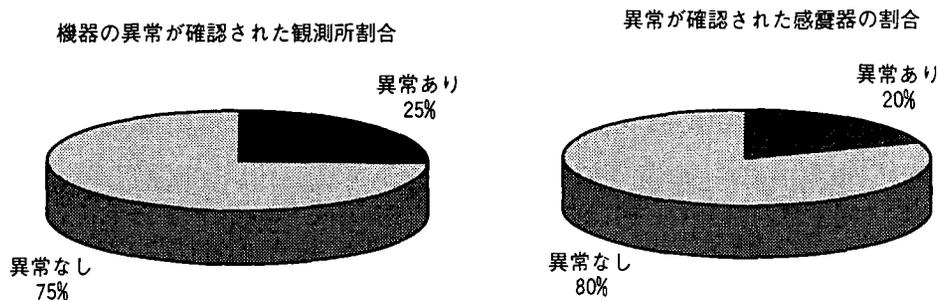


図-3 機器故障の発生状況

機器故障や障害の内訳であるが、次の4つのケースに分類した。

- A 電源の再投入やケーブルコネクタの脱落を直すなどその場で簡単に直せる故障・障害
- B その場では修理できず、後日、部品の交換
- C 持ち帰って本格的な修理を行ったものまたは感震器などの交換が必要
- D 動作が不安定であるが修理するにも機器が古く修理不能で機器の更新が必要

ケース毎の内訳は表-2及び図-4のとおりである。

表-2 分類別障害発生数
(感震器ベース)

分類	発生数
A	16
B	5
C	32
D	1

現在、観測で使用している観測機器のほとんどはデジタル式の機器で精密電子機器であるが、機器の性格上、過酷な気象条件での観測を前提として設計されている。しかしながら観測所付近での落雷や急な温度や湿度の変化、塵や埃、機器への影響は避けられず、毎年、障害や故障が発生している。

一方、強震計は複数の感震器（地震の揺れを電気信号に変換するセンサー）を1台の処理装置で制御する多チャンネル型が主流となっており、処理装置は感震器からのデータ受取りやデータ処理・保存、感震器の制御や感震器への電源供給などの役割を担っていることから落雷等の影響で処理装置がダウンすると感震器が正常であるにもかかわらず観測ができない、といった事態に陥り影響が大きい。このため、落雷時の異常

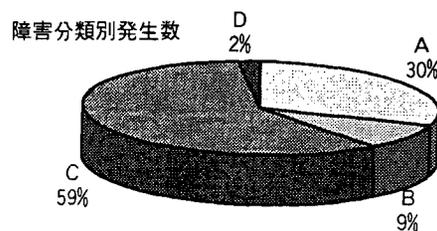


図-4 障害分類別発生状況

電流を検知してこれをカットする避雷装置などによる対策が取られているが、障害や故障を完全になくすのは困難な状況である。今後、いつ、どこで、どんな規模で起こるかわからない地震を確実に捉えるため、故障や障害の発生を極力抑え、また故障や障害の早期発見及び除去・復旧を可能にし、かつ維持管理の効率化を図り維持管理費用を低コストに抑えられるような機器の改良及び観測体制を検討する必要がある。

2. 観測記録

平成13年度に実施した保守点検業務では2000年1月から2002年3月までに発生した121地震による観測記録を回収した。記録が回収できた地震の最大震度別の内訳を表-3に、震度4以上を記録した地震の一覧を表-4に示す。前述のように保守点検時に記録を回収するため、保守点検直後に地震が発生した場合は、最大で約1年、記録が回収されないことになる。震度4以上の地震発生後は記録を直ちに回収することとなっている[※]。ことや規模が大きく被害が甚大な地震が発生した後は現場が混乱し、記録の回収も円滑に行われぬ可能性が高いことから、今後、記録の回収を効率的に行う体制やシステムについて検討する必要がある。

表-3 観測記録の最大震度別内訳

最大震度	地震数
震度6強	1
震度6弱	1
震度5強	0
震度5弱	6
震度4	24
震度3	39
震度2	34
震度1	16

※) 平成8年7月23日付事務連絡 建設省道路局企画課防災対策室課長補佐、建設省河川局河川計画課長補佐から各地方建設局企画部企画課長、北海道開発局道路維持・河川管理課長、沖縄総合事務局道路管理課長、各都道府県道路・河川管理担当課長、各公団道路・河川管理課長あて「強震計の維持管理について」

表-4 震度4以上を記録した地震のうち地震記録が取得できた地震一覧¹⁾

発生日時		地名	震 央				深度 km	地震 規模 M	最大 震度	記録取得観測所数
			北緯		東経					
年月日	時刻		度	分	度	分				
2000年10月06日	13時30分	鳥取県西部地震	35	16.5	133	20.9	11	7.3	6+	枚方 他 17
2001年03月24日	15時27分	芸予地震	34	07.2	132	42.5	51	6.4	6-	太田川 他 18
2000年07月21日	03時39分	茨城県沖	36	31.3	141	5.8	49	6.0	5-	郡山
2000年10月31日	01時42分	三重県中部	34	17.0	136	20.7	44	5.5	5-	枚方 他 15
2001年01月04日	13時18分	新潟県中越地方	36	57.5	138	45.7	14	5.1	5-	やすらぎ堤白山他 1
2001年04月03日	23時57分	静岡県中部	34	59.7	138	6.5	33	5.1	5-	岩淵 他 7
2001年12月02日	22時01分	岩手県内陸南部	39	23.7	141	16.0	122	6.4	5-	中下 他 8
2002年02月12日	22時44分	茨城県沖	36	35.1	141	5.1	48	5.5	5-	郡山 他 1
1999年07月16日	02時59分	広島県南東部	34	25.0	133	12.0	20	4.4	4	八多喜
1999年10月30日	06時25分	瀬戸内海中部	34	02.9	133	30.4	13	4.5	4	八多喜
2000年04月15日	02時41分	和歌山県南部	33	37.3	135	23.2	46	4.8	4	徳島
2000年07月23日	01時46分	徳島県南部	33	53.0	134	20.2	10	4.0	4	石井
2000年08月27日	13時13分	奈良県地方	34	31.9	135	39.0	11	4.1	4	西島 他 1
2000年11月16日	18時31分	福島県沖	37	28.8	141	36.3	51	5.0	4	阿武隈 他 1
2000年12月22日	19時13分	択捉島付近	44	28.7	147	22.5	141	6.5	4	岩木川堤防 他 2
2001年01月06日	11時48分	岐阜県美濃東部	35	22.5	137	5.9	48	4.6	4	豊川 他 4
2001年01月09日	13時37分	伊予灘	33	35.1	132	22.1	50	4.6	4	八多喜
2001年01月12日	08時00分	兵庫県北部	35	27.8	134	29.5	10	5.4	4	豊川 他 17
2001年02月08日	14時11分	徳島県南部	33	54.2	134	30.0	14	4.2	4	徳島 他 1
2001年02月23日	07時23分	静岡県西部	34	44.6	137	33.8	40	4.9	4	豊川出張所 他 6
2001年04月03日	04時54分	青森県東方沖	40	36.2	141	54.0	62	5.4	4	岩木川堤防 他 1
2001年04月25日	23時40分	日向灘	32	47.1	132	21.2	42	5.6	4	浜砂 他 1
2001年04月27日	02時48分	根室半島南東沖	43	01.2	145	52.8	83	5.9	4	高瀬川堤防 他 1
2001年05月31日	08時59分	茨城県南部	36	11.0	139	48.	55	4.5	4	久慈川堤防 他 1
2001年07月20日	06時02分	茨城県南部	36	10.0	139	49.5	56	4.8	4	岩淵
2001年08月10日	15時42分	紀伊水道	34	08.8	135	7.1	9	4.3	4	大島 他 1
2001年08月14日	05時11分	青森県東方沖	41	00.3	142	25.4	43	6.2	4	岩木川堤防 他 2
2001年08月25日	22時21分	京都府南部	35	08.8	135	39.6	10	5.1	4	豊川 他 17
2001年09月18日	04時23分	東京湾	35	25.2	139	48.7	45	4.2	4	佐原 他 1
2001年09月27日	18時14分	愛知県西部	34	52.0	137	7.0	15	4.3	4	豊川 他 5
2001年10月15日	01時53分	和歌山県南部	33	49.6	135	25.4	23	4.3	4	湊中州 他 1
2002年02月11日	10時09分	茨城県沖	35	46.9	141	5.5	35	5.0	4	岩淵

※ 震度の強、弱は、それぞれ+、-で表した(例:震度6強は6+, 5弱は5-)

○地震波形記録及び間隙水圧計記録

観測記録の例として、東北地方整備局北上川下流工事事務所管内の中下震動観測所（宮城県桃生郡鳴瀬町中下地先）で観測されたサンドコンパクションパイル施工箇所と未施工箇所の間隙水圧の時刻歴波形を掲載する。

発生日時	平成13年12月2日22時2分
震央及び震源	岩手県内陸南部 深さ130km
地震の規模	マグニチュード 6.3
最大震度	震度5弱 古川、涌谷（宮城県）

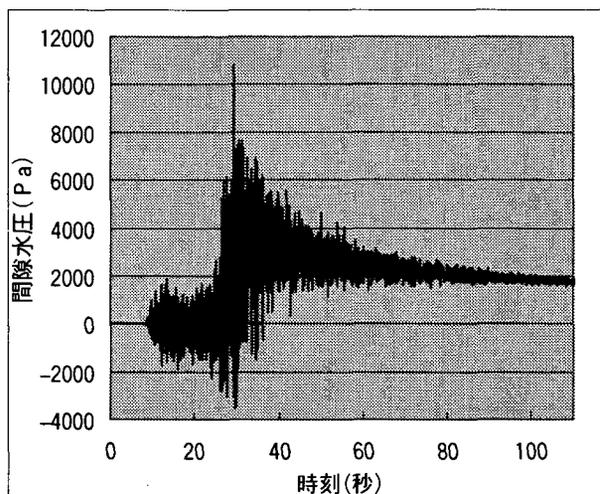


図-5 間隙水圧時刻歴変化（サンドコンパクションパイル未施工）

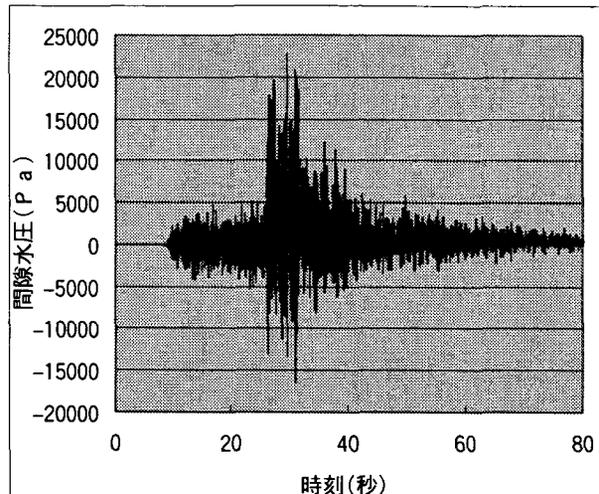


図-6 間隙水圧時刻歴変化（サンドコンパクションパイル施工）

3. 観測記録及び観測所情報のデータベース化

保守点検により回収された観測記録は、データベース化のためのデータ処理を実施した後、データベース化を行っている。今年度はデータベースシステムの構築を行い、観測所情報に関してもデータベース化を行うための基礎調査及び資料収集・整理を行った。

[主な研究成果]

- 1) 国土技術政策総合研究所彙報（仮称）：土木構造物における加速度強震記録（No25）（平成14年度刊行予定）

参考文献

- 1) 地震・火山月報（防災編） 気象庁

.....
国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 66 DECEMBER 2002

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

.....
本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675