

調查研究

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 risk management right after earthquake. Counter earthquake activities must be considered rare accident. In the study model is developed to simulate damage information detecting measure immediately after an earthquakes by object orientation. Simulation program was also 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。本研究では、地震直後における震災情報の収集体制をシミュレーションするシステムを作成し、事務所レベルにおける情報収集体制の効率的な実施を支援することを目的とする。

〔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概念を示す。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、オブジェクト指向の考え方を用いて、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、

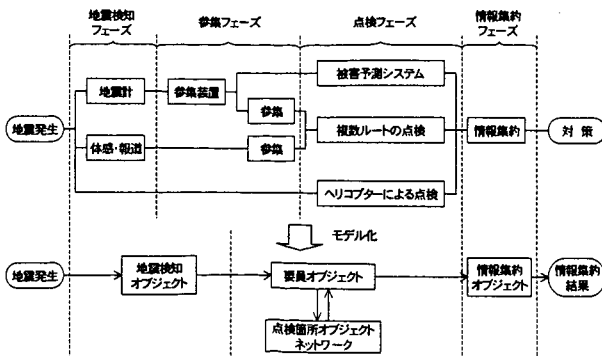


図1 震災情報収集体制とモデル化

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、震災情報を収集して、その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。

2. モデルのプログラム化

前項に示したモデルに基づいて、オブジェクト指向言語であるC++を用いて、地震時の被害情報の収集状況をシミュレーションするプログラムを作成した。プログラム内では、表1に示すオブジェクトに対応したクラスが設定されている。クラスとは、オブジェクトが持っている情報と、動作を記述した単位であり、点検箇所のクラスの概要を示すと、表2のとおりであり、地点名称などの場所固有の情報と、点検要員の行動に対応する動作から成り立っている。

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。

表2 点検箇所のクラスの概要

情報	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地点名称 ・ 点検に要する時間 ・ 次に行く地点 ・ 被害情報 	等
動作	<ul style="list-style-type: none"> ・ 点検要員が到着した場合、点検状況を渡す。 ・ 点検要員が点検を開始する場合、点検時間を渡す。 ・ 点検が終了した場合、被害情報を渡す。 ・ 点検要員が移動行き先と所要時間を渡す。 	等

表3 工事事務所の管理区間

事務所名	総管理延長(km)	出張所数	出張所	出張所管理延長(km)	国道数	国道名	延長(km)			
工事事務所	308.6	5	A 国道	78.9	3	6号	33.5			
						50号	28.0			
						51号	17.4			
						B 国道	59.3	1	6号	59.3
						C 国道	50.1	1	6号	50.1
D 国道	57.1	1	50号	57.1						
E 国道	63.1	1	51号	63.1						

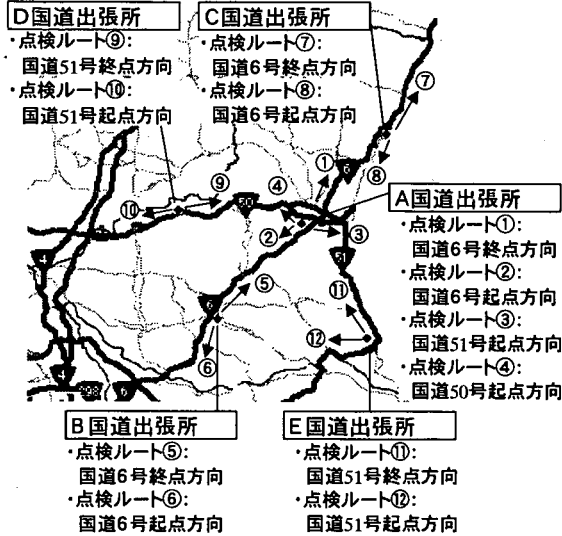


図2 各出張所の点検ルート

3. 現場事務所に活動を用いたケーススタディー

ケーススタディーとして、作成したプログラムを用いて、実際の現場事務所の活動をシミュレートした。対象としたのは、国土交通省の工事事務所であり、その管理対象は表3および図2に示すとおり3本の国道、総延長約309kmである。この管理区間を5出張所で管理しており、地震等の災害時には各出張所より、合計12の班が点検に出発し、異常の有無を確認する。実際には、被害がほとんど発生しない震度4の地震の点検は、75分程度で往路の概略点検を終了している。

そこで、ケーススタディーとしては、極めてまれにしか起きない状況を考え、前提条件として、勤務時間内に、対象地域に阪神・淡路大震災規模の地震が発生し、各国道とも同程度の交通渋滞（平均で通常の約5倍、分布は対数正規分布の所要時間）が生じたと設定した。以上の設定の基にモンテカルロ法による1000回の計算結果を基にした、最早、平均、最遅を図3に、各点検ルートごとの平均時間を図4に示す。なお、対象は往路のみのため、復路に点検するバイパスに対応する旧道は対象外であり、合計キロ数には差がある。

【研究成果】

本研究では、現場事務所の地震時に想定される活動を調査し、その活動体制をシミュレーションできるネットワーク表現方法を作成すると共に、実際に計算を行うシステムを開発した。また、既存の調査事例をも

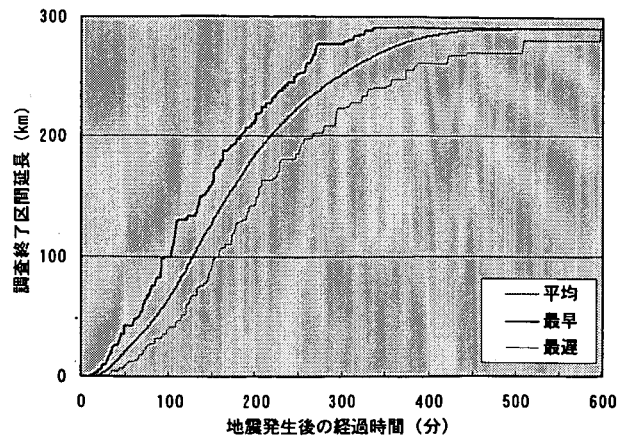


図3 調査終了区間延長

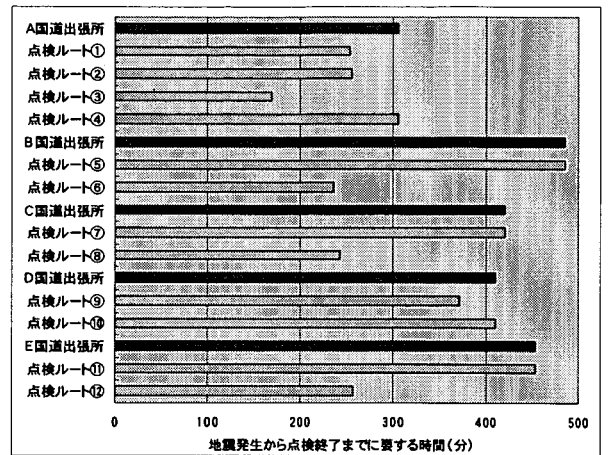


図4 各出張所及び点検ルートごとの調査終了に要する平均所要時間（1000回の平均値）

とに、各活動の不確実性を簡易に再現する方法を構築し、被災時の行動を簡易にシミュレーションできるようにした。

【成果の発表】

- 1)大谷, 杉田, 野崎: 震災情報の収集体制の効率性評価に関する検討, 土木学会第55回年次学術講演会, 2000,9
- 2)大谷, 村越: 地震時の被害情報収集体制の評価手法に関する基礎的検討, 土木学会第57回年次学術講演会, 2002,9

【成果の活用】

現場事務所の地震時に想定される活動をシミュレートでき、参集や点検条件等の現場の組織体制の変化に伴う、情報収集状況を示すことができるツールを開発した。また、シミュレーションツールの使用方法を、手順を手引きとしてまとめた。

本ツールを各現場事務所で用いることにより、効率的な情報収集体制の構築を支援する。また、実施現場における震災対策訓練への活用や要員の災害時のイメージ作りへの使用も可能である。

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)

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。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。14年度は、これまでに提案した箇所毎の地震動の算定手法に基づいて算定される地点ごとの地震動を2点支持系に対して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動的解析を行い、それら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適用性を把握し、最終成果として取りまとめた。

〔研究内容〕

1. 地点ごとに变化する地震動の算定

本研究では、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をこれまでに提案している¹⁾。ここでは、当該手法に基づいて、地点間距離が50、70、100[m]の地点を対象に、地点ごとに变化する地震動を算定した。地震動の局所的な変動特性として考慮することとしたのは、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強震記録に基づいてモデル化した図-1のコヒーレンスであ

る。同図のコヒーレンスは、地点間の地震動の相関性が、地点間距離及び振動数の増加に伴って小さくなる特性を体系的に評価したものである。地点ごとに变化する地震動の算定対象としたのは、国土技術政策総合研究所の構内において高密度強震観測が行われている地点であり、表-1に示す地震の震央に最も近い観測点を基準点（以下、地点1とする）として、当該地点で観測された地震動を基本に、地点間距離が50、70、100mの観測点（以下、地点2とする）における地震動を算定した。このような地震動の算定は、地震動のEW成分及びNS成分を対象として行った。

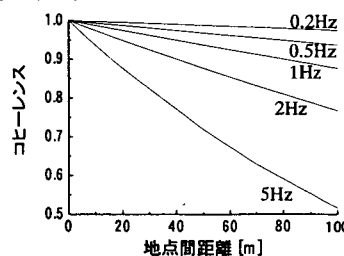


図-1 体系的に評価されたコヒーレンス

表-1 地震動の算定対象とした地震と観測点

発震時刻	マグニチュード	震源深さ [km]	震央距離 [km]	基準点	基準点からの地点間距離		
					50m	70m	100m
1983/2/27 21:14	6.0	72	21.7	A9	A1	A8, A14	A7
1985/10/4 21:25	6.1	78	29.1	A9	A1	A8, A14	A7
1987/12/17 11:08	6.7	58	91.6	A9	A1	A8, A14	A7
1989/2/19 21:27	5.6	54	19.6	A14	A1	A7, A9	A8

2. 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、これまでに提案している地点毎の地震動の算定手法の

適用性を検討するため、図-2(a)及び(b)の方法で地震動を多点入力して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。

図-2(a)の方法: 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

図-2(b)の方法: 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には提案手法¹⁾により算定した地震動を入力

図-2(a)及び(b)の動的解析の結果を比較する際には、質点の最大加速度応答と支点1の最大せん断力に着目し、結果の整理に当たっては、支点1及び2の双方に支点1で観測された地震動を同一入力した場合の解析結果(質点の最大加速度応答又は支点1の最大せん断力)で、図-2(a)及び(b)の結果を基準化して表されるマルチ応答スペクトルを算定した。マルチ応答スペクトルは種々の固有周期及びバネ定数比の2点支持系を対象に算定した。

【研究成果】

図-2(a)及び(b)の方法で地震動を多点入力した場合のマルチ応答スペクトルの算定結果として、地点間距離50mの場合の例を図-3及び4に示す。図-3及び図-4には、それぞれ、質点の最大加速度応答及び支点1の最大せん断力に着目した場合のマルチ応答スペクトルの算定結果を示している。また、これらの図の(1)及び(2)には、それぞれ、支点1に対する支点2のバネ定数比を1及び2とした場合のマルチ応答スペクトルを示している。マルチ応答スペクトルは、地点間距離及びバネ定数比が同一でも、地点1及び地点2における地震動の観測記録又は地震動の算定結果ごとに算定されるため、図-3及び4にはマルチ応答スペクトルが複数示されている。図-3及び4の(a)及び(b)を比較することにより、図-2(a)の方法で地震動を多点入力して算定されるマルチ応答スペクトルは、図-2(b)の方法に比べて、ばらつきが大きいことが認められる。また、最大せん断力に着目したマルチ応答スペクトルは、図-2(b)の方法に比べて図-2(a)の方法で大きく算定される場合がある。このように図-2(a)及び(b)の方法で地震動を多点入力した場合のマルチ応答スペクトルには差異が認められるが、最大加速度応答に着目したマルチ応答スペクトルが短い固有周期で小さくなる特徴や、最大せん断力に着目したマルチ応答スペクトルが短い固有周期で大きくなる特徴については両者で一致している。このような特徴の一致は地点間距離が100m程度まで確認されたことから、提案手法は、反力分散支承を有する橋梁など、多点入力をする必要がある100m程度の広がりを持つ構造物の設計地震動の設定に活用できるものと考えられる。

【成果の活用】

本研究により開発された箇所毎の地震動の算定手法は、道路橋等の地上構造物や共同溝等の地中構造物の設計地震動の設定に活用されることが期待される。

【参考文献】

1)中尾、松本：地震動の局所的な変動特性に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、2002

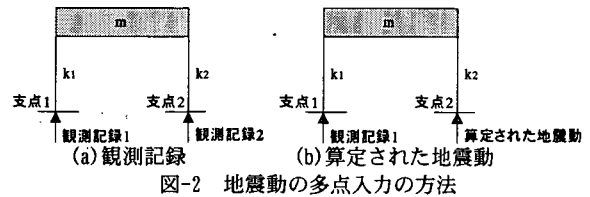
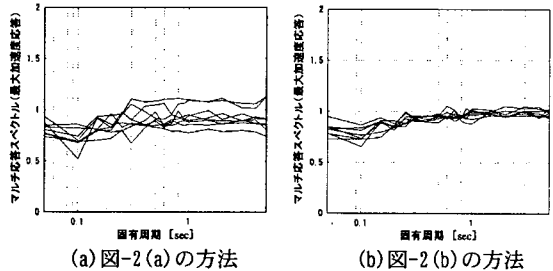
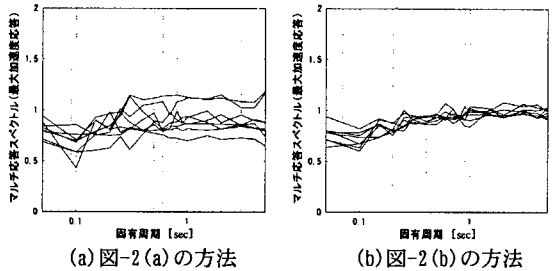


図-2 地震動の多点入力の方法

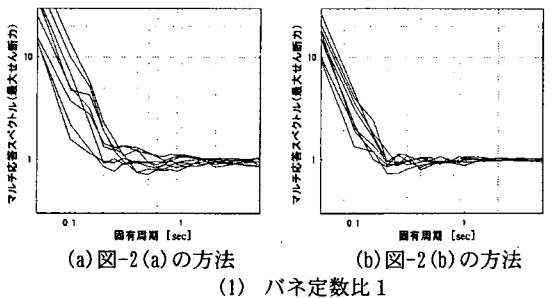


(a) 図-2(a)の方法 (b) 図-2(b)の方法
(1) バネ定数比1

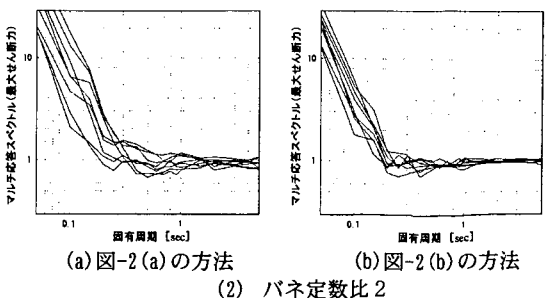


(a) 図-2(a)の方法 (b) 図-2(b)の方法
(2) バネ定数比2

図-3 入力地震動の影響比較 (最大加速度応答)



(a) 図-2(a)の方法 (b) 図-2(b)の方法
(1) バネ定数比1



(a) 図-2(a)の方法 (b) 図-2(b)の方法
(2) バネ定数比2

図-4 入力地震動の影響比較 (最大せん断力)

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：日下部毅明 主任研究官：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14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		

表-2 国総研管理強震観測施設一覧表

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
新天童川橋	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

1. 研究方法

1-1 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公共用地を借用して設置され、観測機器は電話回線（NTT ISDN 通信速度 64kbps）を通じて国総研と結ばれている。このため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、保守点検などの維持管理作業の効率化に大きく寄与している。ただし、良好な観測環境を維持するため、現地での機器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。

1-2 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年以上が経過していて老朽化が著しく、また14観測所のうち12観測所がペンで記録紙やフィルム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。

2 研究結果

2-1 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13感震器で、全体の約7%であった。このうち、感震器の異常が確認され交換が必要となったのは2感震器、何らかの原因で電源供給が停止し観測停止状態だったのが9感震器、処理部の異常による障害発生が2感震器であった。他に観測局舎に異常が発見された観測所が4箇所であった。処理部の異常はその場で修理するのは困難であるため、後日、部品交換を行った。また、交換が必要な感震器については1箇所は後日交換したが、残る1箇所については平成15年度に交換を行う。

2-2 国総研管理強震観測施設の保守点検

国総研管理強震観測施設の保守点検結果は、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。

2-3 観測記録

平成14年度に実施した高密度強震観測施設の保守点検業務では2002年3月から2003年2月までに発生した13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-3に示す。

表-3 観測記録取得地震一覧表¹⁾

発生日時		震央 地名	北緯		東経		震源 深さ (km)	M	最大 震度	観測地点										
			度	分	度	分				相良	焼津	沼津	松崎	神戸 西	神戸 東	小田 原	幕張・ 習志野	館山		
2002年03月28日	15時51分	神奈川県西部	35	27.4	139	07.6	17	4.0	3											
2002年04月28日	10時34分	三重県中部	34	42.3	136	04.7	56	4.3	2						○					
2002年05月04日	20時35分	千葉県北東部	35	27.6	140	24.5	32	4.6	4											○
2002年05月19日	05時00分	千葉県北西部	35	38.5	140	12.8	72	4.6	3											○
2002年05月23日	19時23分	神奈川県西部	35	13.0	139	06.3	10	3.1	2											○
2002年06月14日	11時42分	茨城県南部	36	12.7	139	58.8	57	4.9	4											○
2002年07月13日	21時45分	茨城県南部	35	59.7	140	07.6	65	4.8	4											○
2002年07月24日	05時05分	福島県沖	37	13.7	142	19.1	30	5.7	4											○
2002年08月03日	08時11分	鳥島近海	29	20.1	139	35.3	449	6.2	2											○
2002年09月02日	03時00分	相模湾	35	07.5	139	30.4	101	3.7	2											○
2002年10月21日	01時06分	茨城県沖	36	21.9	141	07.6	50	5.2	3											○
2002年11月03日	12時37分	宮城県沖	38	53.6	142	08.5	46	6.1	5弱											○
2002年12月01日	23時37分	東京湾	34	57.0	139	49.0	56	3.6	2											○

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 investment 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
Research Center for Disaster Risk Management,
Earthquake Disaster Prevention Division

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タピ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。

14 年度は、緊急車両の通行傷害による損失の定量化手法として、内閣府地震被害想定支援マニュアルの考え方に基づいた消防車両通行障害の損失定量化手法、及びそれに準じた救急車両通行障害の損失定量化手法を提案するとともに、モデルケースにおいて手法を用いた試算を行った。また、カタストロフィックなリスクの評価手法の基礎として、災害リスクの証券化 (CAT BOND) の事例調査を行い、リスクプレミアムを算出した。

リアルタイム災害情報技術の高度化

Application of Palmtop/Laptop for Natural Disaster Risk Management

(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
Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk
Management, Senior Researcher Akihiro SANADA

Immediately after earthquake, personnel in charge of maintaining infrastructure dispatch to their field to detect and recover facilities damages. In this situation, communications between field inspectors and headquarter are now intermittent and very limited information are provided for field inspectors. In order to solve these difficulties, we study the introduction of palmtop/laptop.

[研究目的及び経緯]

災害時には、現地、災害対策本部（庁舎）、自組織内、及び他機関との間での迅速かつ確実な情報連絡・情報共有が、円滑な災害対応を遂行する上で重要である。本研究は、災害対応の効率化・最適化のために現地に派遣された職員の災害対応業務に携帯端末を導入することを目的として、携帯端末にて扱うべき情報項目に関する検討を行うものである。

平成 13 年度においては、地方整備局へのヒアリングを実施し、災害対応に関する現状の分析を行うとともに、携帯端末を使用し、現地に派遣された職員と災害対策本部（庁舎）との間で交換することが適切な情報項目の抽出を行った。また、携帯端末導入後の災害対応イメージを作成した。

[研究内容]

研究最終年度にあたる平成 14 年度には、過年度検討結果を踏まえ、実証実験を行い、災害対応への携帯端末導入の効果を検証するとともに、平常時施設管理目的で既に導入されている携帯端末を改良し、携帯端末にて扱うことが望ましいとされた情報項目を取り扱えるようにした。

1. 実証実験

(1) 実験概要

実証実験では、地震が発生したという想定のもと、工事事務所出張所の現地職員においては、現地へ施設点検に向かい、災害対策本部（庁舎）へ施設点検結果を携帯端末によって報告するとともに、携帯端末を通じ各種情報を庁舎及び庁舎内データベースから受信する、また、庁舎在庁職員は、携帯端末を通じ施設点検結果や現地画像を現地から取得する、というシナリオを設定した。

(2) 実験地点及び実験参加者

実験のうち、携帯端末を所持した現地職員に関するものについては、木曾川上流工事事務所管理施設である掛斐川及び岐阜国道工事事務所管理施設である国道 21 号が交差する掛斐川右岸河川敷にて実施した。また、庁舎在庁職員に関わる実験については、災害時に災害対策本部にて指揮する人員を想定し、岐阜国道工事事務所庁舎、木曾川上流工事事務所庁舎において、現地からの施設点検結果等の報告を受けて頂いた。

(3) 携帯端末にて取り扱う情報項目

本研究情報基盤研究室にて開発した携帯端末において次の情報項目が扱えるようにした。

①地震計観測値の表示

実験地点周辺に地震計を複数台想定し、地震により観測された地震動強度を携帯端末に表示した。

②地震被害予測結果の表示

関東地方整備局と当研究室との共同開発したの即時震害予測システム（SATURN）は、道路橋梁、河川堤防等所管施設の地震による被害を、地震発生後 15 分以内に予測するシステムである。本システムによる予測結果を携帯端末へ提供し、震後の施設点検時に参照することとした。

③震後施設点検結果の入力

震後施設点検結果を庁舎へ報告するために必要な項目を携帯端末へペンタッチにより入力できるようにした。

④他機関管理施設の地震被害状況の表示

携帯端末には、同一機関の他の点検パーティーや他機関（例：県であれば市、国）の被害報告を携帯端末上に表示した。

⑤協力会社情報の表示

災害時等緊急対応時の業務支援協定・契約を締結している協力会社の位置を携帯端末画面地図上にアイコン

ンにて表示するとともに、アイコンをクリックすると会社名、連絡先電話番号を表示することとした。

⑥資機材備蓄場所・備蓄量の表示

災害復旧用に資機材を備蓄している場所を携帯端末画面地図上にアイコンにて表示するとともに、アイコンをクリックすると備蓄資機材名及び備蓄量を表示することとした。

⑦現地写真の取得

デジタルカメラで取得した現地静止画像を携帯端末へ取り込み伝送できることとした。

[研究成果]

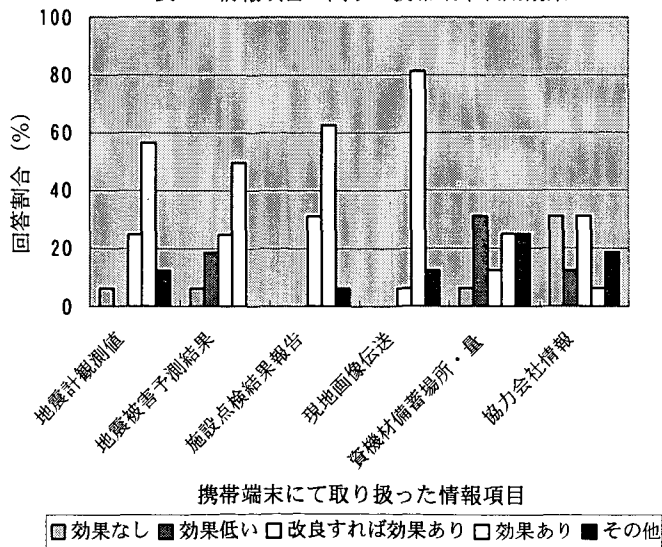
1. 実証実験

実証実験終了後アンケート調査を実施し、携帯端末を災害対応に導入するにあたっての効果、携帯端末にて扱った情報項目の妥当性について意見を伺った。

実証実験にて携帯端末上にて取り扱った情報項目別に効果の程度を伺った結果を表-1に示す。地震計観測値、地震被害予測結果、現地状況に関連する施設点検結果及び現地画像については、携帯端末を通じ現地から庁舎へ報告、または、庁舎から現地へ提供する効果が高いことが確認できた。協力会社に関する情報や資機材備蓄場所・備蓄量については、携帯端末上で現地にて確認できることの効果は低いことが分った。これは、資機材備蓄量については、災害対応時にリアルタイムに更新していなければ意味がないこと、また、資機材や協力会社の配分については現地ではなく災害対策本部等において総合的判断のもとに実施されることなどのためであった。

現地職員の意見として、入力の手簡易化に対するニーズが強いことが確認できた。本実験においては、

表-1 情報項目に関する携帯端末利用効果



ペンによる書き込み入力の必要のないプルダウンメニューからの選択入力方式を出来る限り採用したが、入力項目の絞り込み、音声入力の採用等の要望があった。

庁舎在庁職員からは、随時現地から状況報告が入ってくることから、施設点検の進捗、現地被害状況がリアルタイムに把握でき対策方針立案などにおいて有効である等の意見を頂いた。また、情報共有が迅速化することは、誤った情報・未確認の情報まで即時に共有化されることとなるので、確認済み、未確認等の信頼度を付加して伝達する必要があるとの意見も頂いた。

今回は、現地職員の所持する携帯端末と庁舎との間の通信手段についてはPHS一般回線を用いた。実験後のアンケートでも指摘されたが、災害時には電話回線が輻輳することから、携帯端末の通信手段を適切に確保することが必要であるとともに、サーバ等各種機器の信頼性を高めておくことが必要である。

さらに、携帯端末の導入にあたっては、災害対応に目的を限ったものは予算面から困難であること、頻度の低い災害時に操作を円滑にできるか不安であること等の指摘があった。これらの指摘を踏まえ、本研究では次の取り組みを行った。

2. 平常時施設管理用携帯端末への災害対応メニュー追加

災害対応に限った携帯端末のデメリットとしては、実証実験における前述の指摘事項とともに、いつ発生するか分からない災害に対し常時携帯しなければならないという煩雑性等も挙げられる。これらのことから、平常時から使用されている携帯端末に災害対応機能を付加することが適切である。現在、河川・道路管理においては、試行を含め平常時施設管理を目的として、既に携帯端末が導入されている。そこで、本研究においては、道路管理用に既に導入されている道路巡回システム（(財)道路保全技術センターと関東地方整備局との共同開発）を改良し、災害対応機能を追加した。追加にあたっては、平常時業務用メニューから災害対応業務用メニューへは1クリックで遷移できること、平常時業務での使用にあたって災害対応メニュー・機能が障害にならないことに配慮した。

[成果の活用]

災害対応メニューを搭載した道路巡回システム携帯端末については、今後、関東地方整備局にて防災訓練等の場を通じ試行される予定である。また、情報共有等に関する各種取り組みに連動し、災害情報連絡・共有の一連の情報フローの最も現地側のデバイスとして使用されるよう働きかけていく予定である。

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 10~14 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 天谷 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】

大地震発生時における避難活動・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)を構築し、以下の検討を行った成果を取りまとめた。

(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した。

(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した。

(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进行分析し、評価・表示するための交通状況評価手法をの提案した。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

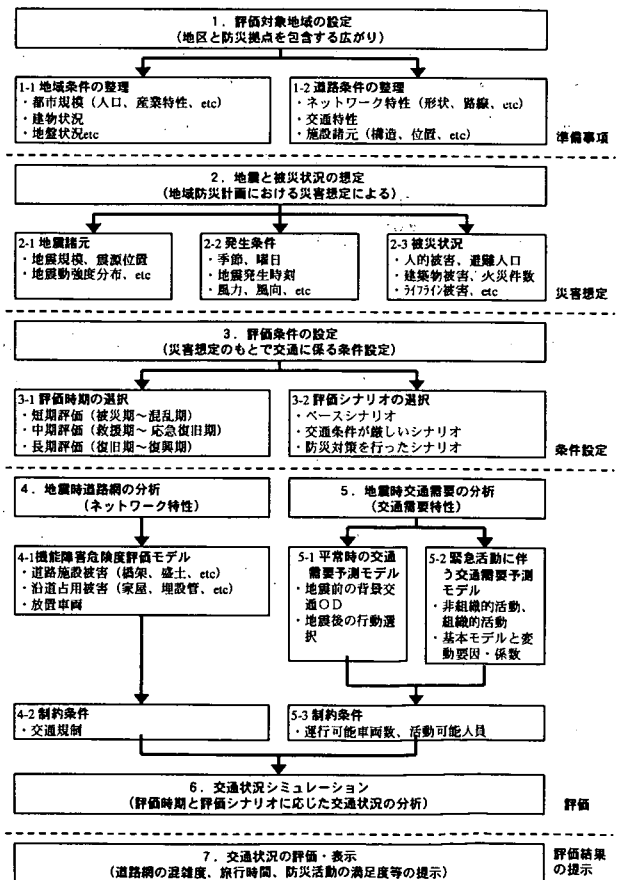


図1 地震時の交通状況評価の全体フロー

評価時期 (時間目安)	短期的評価		中期的評価		長期的評価	
	被災期 ～30分	混乱期 ～3時間	救援期 ～3日	応急復旧期 ～1週間	復旧期 ～3箇月	復興期
場面の区分	被災期	混乱期	救援期	応急復旧期	復旧期	復興期
時期の特徴	非組織的活動: 状況確認と安全確保 組織的活動: 人命救助と災害拡大防止	非組織的活動: 生活環境の仮確保 組織的活動: 被災者支援と緊急措置	非組織的活動: 生活環境の再構築 組織的活動: 災害復旧と被災者ケア			
道路を利用する主要な活動	非組織的活動: 安否確認、救出、帰宅 組織的活動: 救急・救助、消火・消防	非組織的活動: 避難、見舞、物資搬送 組織的活動: 医療・救護、物資搬送、緊急措置	非組織的活動: 復旧行動、物資搬送 組織的活動: 復旧活動、互換処理			
交通評価の視点	地域住民の視点: 地域の状況想定、各種防災対策の検討 交通管理の視点: 規制効果の確認・明示			交通管理の視点: 交通管理方策の検討		

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取りまとめた。

[研究内容]

1. 交通状況評価の時期区分の設定

被災者が必要とする緊急活動は地震後の時間経過に応じて変化していくが、あらゆる時期において評価を行うことはケース数が多すぎて現実的でないため、時間経過においても緊急活動内容の変化により、状況が厳しくなると考えられる主要な場面を表1のとおり、3種類選定した。

(1) 短期 (被災期～混乱期)

地震直後3時間程度までの混乱した時期の評価を行う。地震による1次被害が収まったころ、被災状況が不明なまま、外出先から自宅へ向かう車輛等で渋滞が起こる時期と考えられる。代表的な時間は、地震発生後3時間とする。

(2) 中期 (救援期～応急復旧期)

地震発生後3時間から1週間の間の、混乱が収拾し応急復旧が行われている時期の評価を行う。道路の応急復旧時に、緊急物資輸送車両、個人の物資輸送等により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1週間とする。

(3) 長期 (復旧期～復興期)

地震発生後1週間以降の復旧が行われている時期の評価を行う。道路が完全に復旧しきらない状況で、復旧のための建設車輛と回復した日常交通により、交通状況が悪化する可能性がある。代表的な時間は、地震発生後1箇月とする。

2. 道路区間の機能障害危険度の評価

(1) 短期評価

図2に道路区間の機能障害危険度評価の全体フローを示す。完全閉塞要因と車線減少要因より、道路区間の閉塞確率を算出し、これに放置車両の影響を考慮することにより、道路区間のフラジリティを算出する。なお、走行速度低下要因の扱いについては検討課題であるが、路面損傷による走行速度への

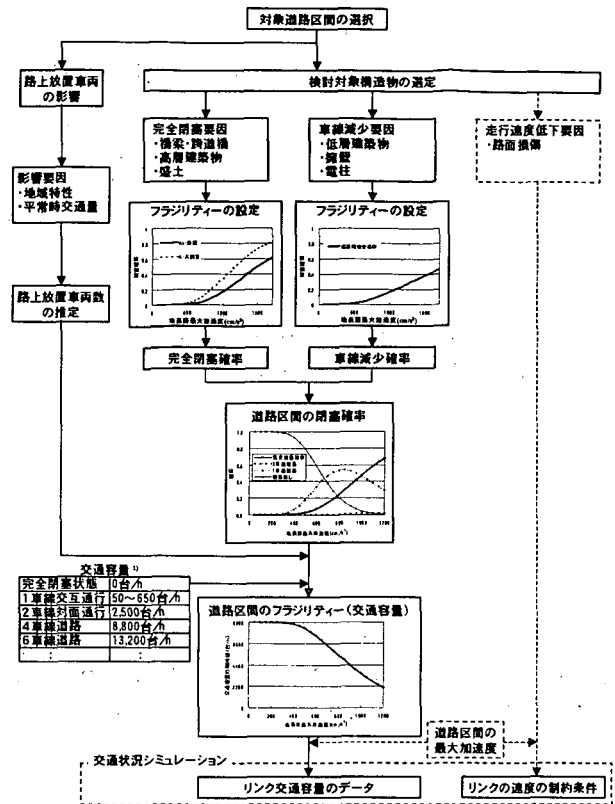


図2 道路区間の機能障害危険度評価の全体フロー

影響が明らかになれば、道路ネットワーク解析を行う際のリンクパラメータとして用いることとする。また、本研究では、道路区間の状態別閉塞確率から交通容量の期待値を算出し、評価の指標とするとともに、ネットワーク解析に用いる。

(2) 中・長期評価における道路ネットワークの作成手法について

中・長期評価に用いる道路ネットワークについては、短期評価における被害想定を基本として、そこから復旧状況を設定することにより作成する。

1) 幹線系道路の交通容量に影響する被災施設の復旧について

幹線系道路の交通に影響を与えた被災施設の復旧については、各道路管理者の持つ復旧能力、施設の被害程度、被災施設が影響を与えている道路の性質(緊急輸送道路か否か等)、被災箇所の位置関係など、多様な要素が関係する。また、制限はあるものの、ある程度政策的判断で、優先的にどこから着手するか決定でき、また逆に沿道施設の場合、所有者との合意が得られない場合、着手できない場合もある。このような現象を一義的に決めることは困難であり、また適切ではない。

しかし、何らかのデータがないと、目処が立たない場合もあるので、参考として、阪神大震災の

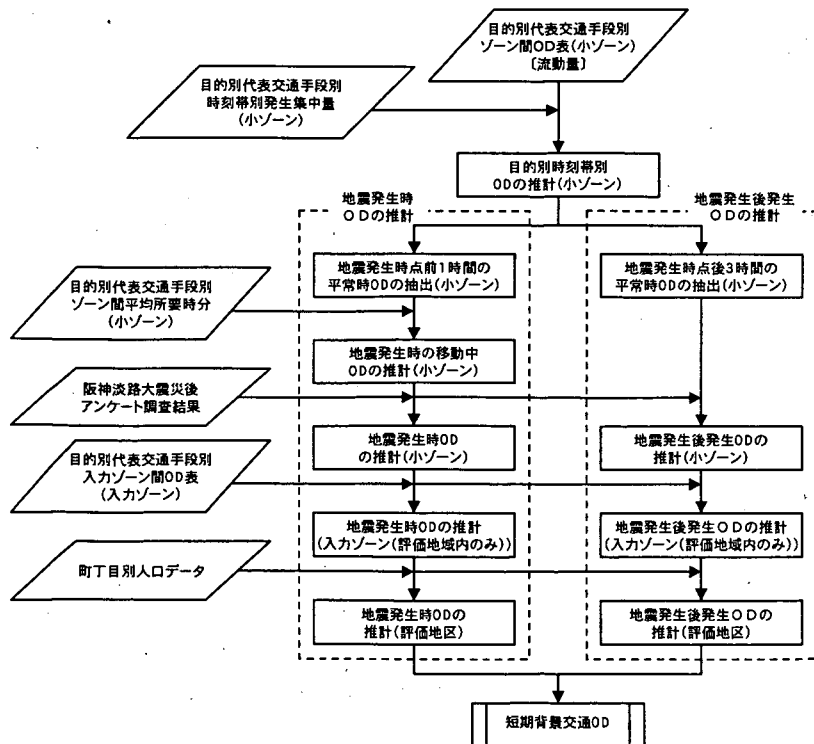
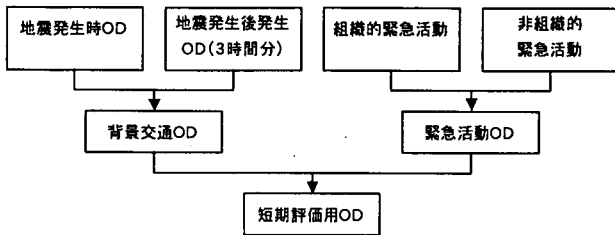
復旧状況の調査結果²⁾より得られた結果を表2に示す。表2の基となったデータも、国道、県道、市道などが混在しているものであり、また当時の優先判断が作用していることは、考慮しておく必要がある。橋梁の被害程度は、道路震災対策便覧

表2 阪神・淡路大震災における施設被害の復旧状況

被害程度	応急復旧率	
	1週間後	1月後
橋梁被害 (As) : 落橋	0%	0%
橋梁被害 (A) : 大被害	40%	55%
高架橋被害 (As) : 落橋	15%	75%
高層建築物	50%	100%
低層建築物	55%	88%

表3 高速道路の通行設定

被害程度	1週間後	1月後
D, C	制限無し	制限無し
B	緊急車両のみ	制限無し
A	通行不能	緊急車両のみ
As	通行不能	通行不能



(震災復旧編)³⁾の表記法である。

また、表2の用い方として、被災箇所が決定されていれば、復旧箇所を決めればよいが、本手法においては、被災の影響は期待値で算出されているため、優先的に復旧する場所を検討する場合は、対象箇所の交通容量を回復させればよく、最初に全体的な傾向を把握したい場合は、各道路区間の被災確率を表の応急復旧率で減じれば大まかな傾向が把握できる。

2) 高速道路の設定について

高速道路は短期評価時には用いないが、中・長期評価にはその影響を考慮する。阪神・淡路大震災時の高速道路の被災程度と、1週間及び1月後の通行状況より⁴⁾、傾向として、多少とも通行可能な状況になると、まず緊急車両のみの利用とし、その後復旧して一般利用となっている。被害程度と各期間の通行状況の関係をまとめると表3の通りである。

3. 地震時の交通需要の予測手法

(1) 短期評価

短期評価用ODの構成は、図3に示すとおりである。以下に各ODの作成概要を示す。

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4に示すとおり設定した。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。

2) 短期評価用背景交通ODの推計

短期評価用背景交通ODの推計フローを図4に示す。パーソントリップ調査結果を基に地震発生時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

組織的緊急活動ODとしては、表5に示すように主として消防署の行う活

表4 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

表5 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。		○	○	
組織的活動	電力		○	△	
	ガス		○	△	
	水道		○	○	
	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・道路上のガレキや倒壊建物のガレキ処理等の作業	対象とする。			○
非組織的活動	避難(広域・域外)人の搬送		△	○	
	家族等の安否確認		○		
	物資搬送			○	

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。

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。

4) 非組織的緊急活動OD

非組織的緊急活動ODとしては、表5に示すとおり、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。

(2) 中・長期評価におけるODの作成手法について

中・長期評価におけるODは、短期評価と同様に、背景交通と緊急活動に伴う需要を合わせて作成する。背景ODの作成フローを図5に示す。

背景ODは、平常時のODに対する、中期及び長期評価対象時期におけるODの発生比率をもとに、概略推計する。ここでは、ODの発生比率として、阪神淡路大震災時の調査結果を基にした値を表6に示す。

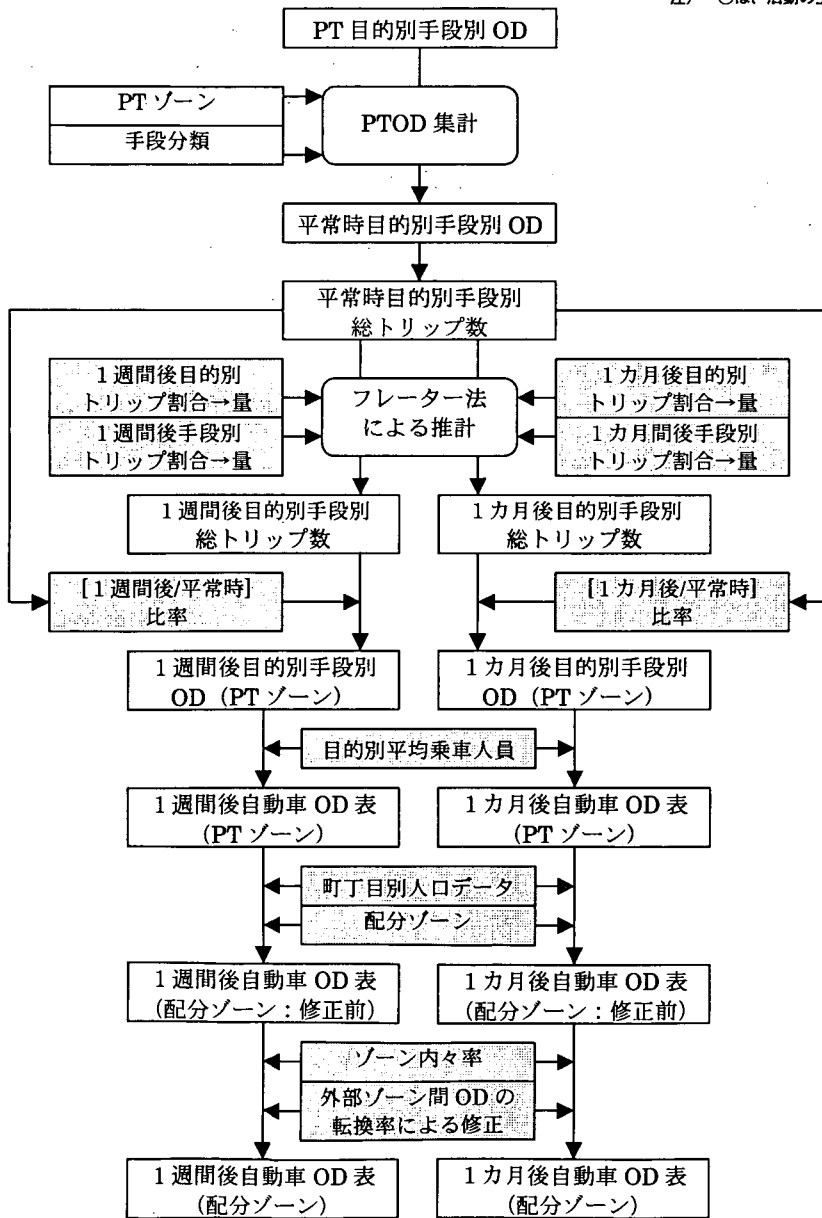


図5 中期・長期評価における背景OD算出フロー

表6 阪神・淡路大震災時における交通の平常時比

目的種別	1週間後	1カ月後
通勤	60%	80%
通学	60%	80%
業務(勤務業務を含む)	60%	80%
私事(その他私事を含む)	10%	35%
帰宅	各目的の裏行動	

また、各評価時期において考慮すべき緊急活動は、表5に示す通りである。

4. 地震時の交通状況の評価手法

(1) 短期評価

1) ケーススタディー地区における幹線系道路と内部セントロイドの設定

機能障害危険度を評価する幹線系道路については、以下の基本方針により設定する。

- ・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。
- ・都市計画道路以外であっても、交通状況から判断して重要と考えられる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)を実施するため対象外とする。

また、内部セントロイド(幹線系道路を利用したODの発着の単位となる地区)の設定については、以下の考え方に従って、地区分割を行う。

- ・一つの地区は、幹線系道路に囲まれた区域を基本とする。
- ・地域住民の移動の障害となる河川、地上および高架の鉄道の区域については、地区の区切りとする。

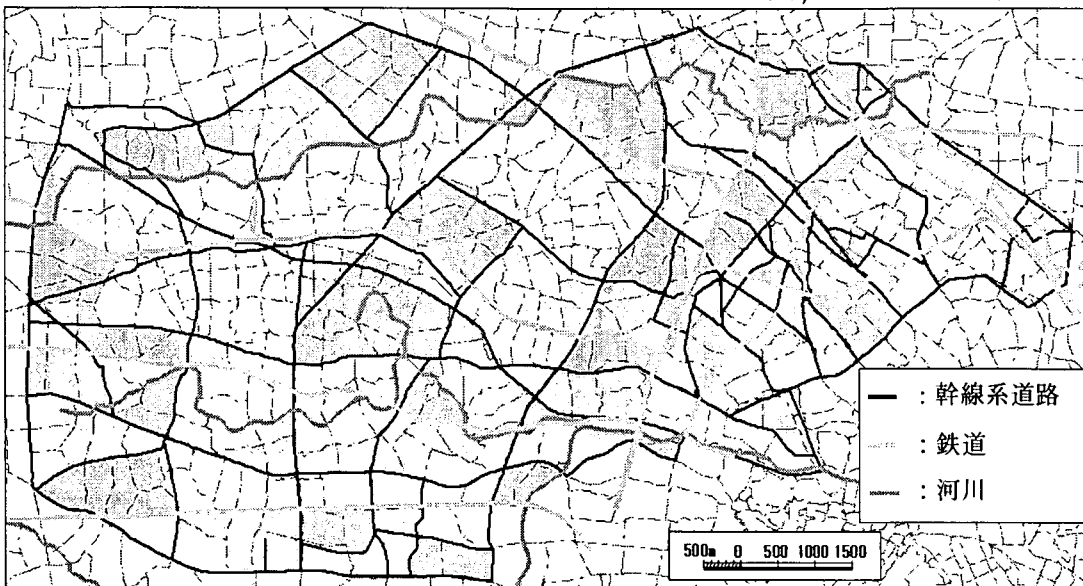


図6 対象幹線系道路と評価地区の設定

表7 リンク速度設定条件

道路種別	車線数	設定速度
一般国道	4車線以上	60km/h
	4車線未満	50km/h
一般県道・主要地方道・その他道路	4車線以上	40km/h
	4車線未満	30km/h
全路線共通	1車線	30km/h

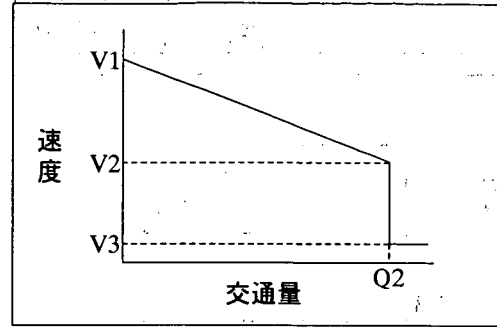


図7 QV条件図(短期評価(時間単位)用)

する。

- ・一つの地区は、概ね小学校区程度を基本とする。
 - ・町丁目は最小単位とし、分割しない。
- 東京都豊島区周辺の設定例を、図6に示す。

2) 入力地震動と地震時の交通容量

入力地震動は、地域防災計画に基づいて設定し、2に基づき道路の交通容量を計算する。

3) 交通配分シミュレーション手法

リンク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。なお、道路交通センサスにおいて記載が無く不明なリンクは、表7の条件の通り設定する。

交通量配分手法は、OD表の交通量を分割(5分割均等)して各リンクの距離、QV条件により設定

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する方法を用いた。

本ケーススタディーで用いるQVモデル式を図7に示す。短期評価では、時間単位の評価を行うため、

表8 道路のリンク速度設定条件

車線数	種別	地形	級別	Q1	Q2	V1	V2	V3
				自由流 限界 交通量 pcu/日	可能 交通量 pcu/日	自由流 速度 km	臨界 速度 km	渋滞 速度 km
多車線道路 (1車線当たり)	第4種	都市部	第1級	8,200	16,300	60	30	5
			第2級	7,100	14,200	60,50,40	30,25,20	5
			第3級	7,100	14,200	50,40,30	25,20,15	5
2車線道路 (2車線当たり)	第4種	都市部	第1級	10,300	20,600	60	30	5
			第2級	9,000	17,900	60,50,40	30,25,20	5
			第3級	9,000	17,900	50,40,30	25,20,15	5
1車線道路	第4種	都市部	第4級	3,100	6,100	40,30,20	20,15,10	5

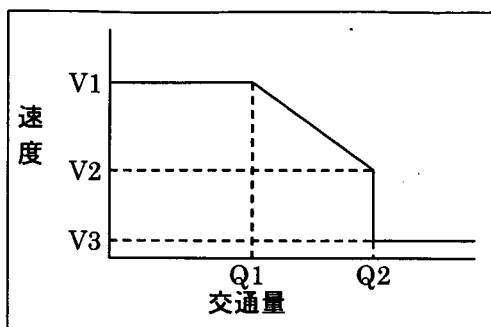


図8 QV条件図(中・長期評価(日単位)用)

のQVモデルがもっとも適していると考えた。図6の各パラメータは、以下のように設定する。

①交通容量

・Q2(可能交通量、台/時)：交差点および路上駐車を考慮した交通容量を設定する。

②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) 評価方法

本手法の評価の仕方について、以下に示す。

- ・地震時の各道路区間の交通容量が示されるため、その値により危険性を示すことが可能となる。道路構成に違いが大きい場合は、交通容量の平常時比を用いることも有効である。
- ・各道路区間の混雑度が分かるため、各地区に対する緊急活動が必要とする時間の目安を得ることができる。また、やむを得ず車を用いて避難しなければならない場合の目安ともなる。各評価地区ごとに具体的に所要時間の算出も可能であり、他の評価結果と合わせる場合に、この時間を用いることが可能である。

(2) 中・長期期評価のシミュレーションの解析方法

中・長期評価は、1日単位での評価になるため、時間交通容量を基本とした短期評価とは異なる。道路区間の1日の交通容量は近畿地方建設局の交通量配分マニュアル(案)⁶⁾に示されている表8の値を用いる。日単位の評価に用いるQ-V図は図8のとおりであり⁶⁾、図中の各記号は表8と

対応している。

また、短期評価用の道路ネットワークを基に、地震による被害とその応急復旧を考慮した、中・長期評価用道路ネットワークを作成する。作成方法は、前述のとおりである。なお、この段階で道路啓開が終了している想定であれば、放置車両は無いものとして扱う。交通配分手法は、短期と同方法で問題ない。

参考文献：

- 1) 社団法人日本道路協会：道路の交通容量,1984.9
- 2) 杉田秀樹, 濱田禎：占用施設・沿道施設の耐震性評価に関する調査(その1)平成7年兵庫県南部地震における被災調査,土木研究所資料第3557号,1998.3
- 3) 社団法人日本道路協会：道路震災対策便覧(震災復旧編),2002.4
- 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) 東京都における直下地震の被害想定に関する調査報告所(H9.8)より
- 6) 近畿地方建設局：交通量配分マニュアル(案),1994.4

[研究成果]

本研究では、被災地区を起終点とする各種緊急活動(避難、消火、救出・救護等)を支える幹線系道路の交通状況評価手法を提案した。本手法により、幹線系道路の耐震性評価、交通需要を考慮した交通状況評価が可能であり、各地区に対する各種緊急活動の程度が把握できる。

[成果の発表]

- 1) 杉田秀樹,大谷康史：幹線系道路の信頼性評価に関する検討,第55回土木学会年次学術講演会,1-B pp.530-531,2000.9
- 2) 大谷康史,村越潤：幹線系道路の耐震性評価に関するケーススタディー,第26回地震工学研究発表会講演論文集,pp.1465-1468,2001.8
- 3) 大谷康史,村越潤：幹線系道路の地震時交通状況評価手法,2001年地域安全学会梗概集, pp.1465-1468,2001.11

[成果の活用]

まちづくりにおける防災評価・対策技術の開発の一環として、他の技術とともに都市における防災性の向上に資することが期待される。

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 年～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
Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk Management, Senior Researcher Akihiro SANADA

[研究目的及び経緯]

リモートセンシング技術を活用した災害対応手順の具体化を検討するとともに、被害把握に必要なリモートセンシング技術に対する要求性能等に関する検討を行った。

14年度においては、災害時にプラットフォームの運用について設けられている特例も考慮し、人工衛星、航空機等について、地震発生時刻を複数設定し、地震発生からリモートセンシングデータを元にした防災担当者の被害概要の把握までを時系列的にシミュレーションし、活用パターンを具体的に検討・作成した。

また、災害対応への導入上必要な解像度等リモートセンシング技術に対する要求性能、災害形態別の画像処理手法の適用性を明らかにした。さらに、これまでの検討成果をとりまとめ、地方整備局等におけるリモートセンシング技術導入の支援ツールを作成した。

原子力試験研究費

6 3. 想定地震の特性を考慮した設計用地震動に関する研究

国土交通省

国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室 室 長 日下部 毅明
主任研究官 片岡 正次郎
研究官 松本 俊輔

研究期間 平成13年度～平成17年度

I 緒言

現在、原子力施設の耐震設計基準では、敷地に重大な影響を及ぼすと考えられる地震を想定して基準地震動を作成し、それをもとに設計用地震動を設定することとされている。しかし、基準地震動はマグニチュードと震央距離のみから作成される場合が多く、想定地震が発生した場合に敷地で生じる地震動の特性が必ずしも十分には反映されていない。このような背景から、本研究は想定地震の特性を取り入れることにより、従来よりも地震動の特性を適切に反映した設計用地震動の設定手法を開発することを目標として実施するものである。

今年度は、主に中小規模の地震を対象として、震源特性が異なる内陸地震と海溝性地震、伝播特性が異なる東日本と西日本の地震のそれぞれについて、応力降下量と短周期レベルをパラメータとした加速度応答スペクトルの評価式を作成した。作成した評価式はこれまでに提案されているものよりもばらつきが小さく、精度の高い地震動の推定が可能となった。

II 試験研究の概要

1. 研究方法

(1) 強震記録：距離減衰式の作成に用いた強震記録は、1996年5月～2002年6月のK-NET及びKiK-net強震観測データ（地表）からマグニチュード、震源深さ、震源距離などの条件で選択した。

既往の研究により、海溝性地震と内陸地震、あるいは同じ海溝性地震でも東日本と西日本では伝播特性がかなり異なるという結果が得られていることから、上記の強震記録を海溝性地震と内陸地震に分類し、さらにそれぞれを糸魚川－静岡構造線を境に東日本と西日本に分類して、4つのデータセットについて距離減衰式を作成した。

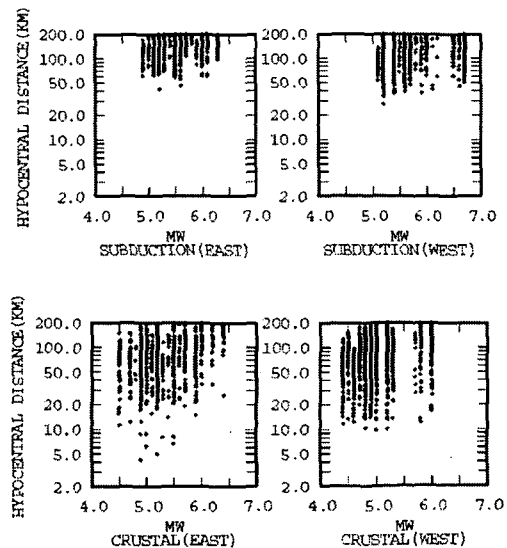
PS検層データから地盤種別⁽¹⁾がI種地盤となる

観測点822点での強震記録を用いているため、I種地盤における地震動を対象とした距離減衰式が得られる。また、深さ20[m]までのPS検層データにS波速度 V_s が600～800[m/s]の範囲にある層があり、その最上層上面から地表までの地盤の特性値⁽¹⁾（基本固有周期）が0.05[s]以下となるような観測点を工学的基盤の観測点とした。工学的基盤の観測点は38点ある。後述のように、工学的基盤の観測点での地点補正值により、工学的基盤における地震動を対象とした距離減衰式が得られる。

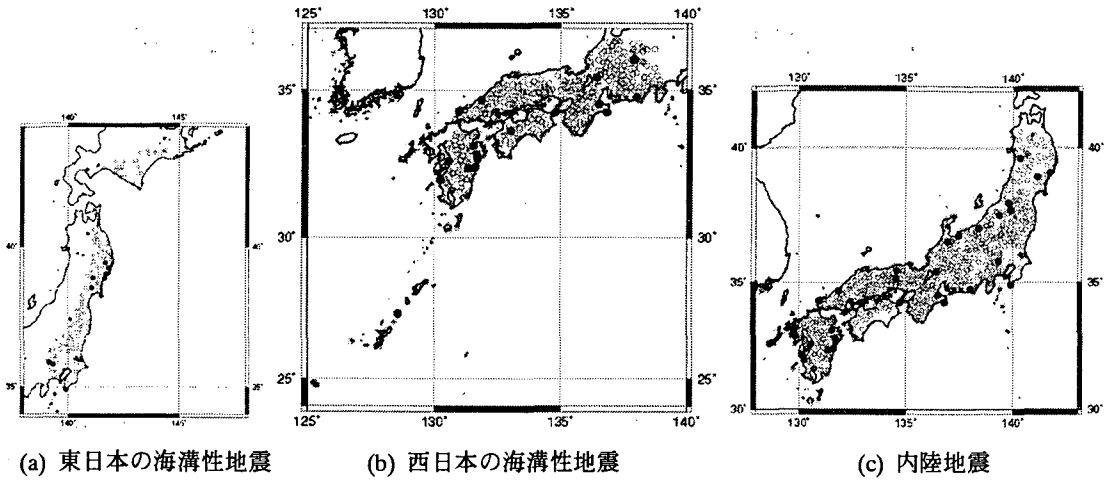
回帰分析には、震源深さ60[km]以下、海溝性地震は気象庁マグニチュード M_j 5.0以上6.9（モーメ

	海溝性地震		内陸地震		合計
	東日本	西日本	東日本	西日本	
地震数	52	30	62	24	168
波形数	2044	2198	2030	3464	9736

第1表 地震数及び波形数



第1図 データセットの M_w と震源距離の関係



第2図 強震記録を用いたI種地盤の観測点(○)と工学的基盤の観測点(●)の位置

ントマグニチュード M_w 6.7)以下、内陸地震は M_w 4.5以上6.5以下の地震で得られた震源距離200[km]以下の強震記録を用いた。全データ数は168地震の約10,000波である。第1表に地震タイプと地域別の地震数と波形数を、第1図に4つのデータセットごとに M_w と震源距離の関係を示す。また、I種地盤と工学的基盤の観測点の位置を第2図に示す。

(2) 回帰モデル：上記の強震記録からS波部以降の全継続時間(ただし最大120秒)を用いて計算される減衰定数 $h = 0.05$ の加速度応答スペクトルを対象とした。加速度応答スペクトルは、固有周期 $T = 0.05 \sim 10.0$ [s]を対数軸で等分割した115ポイントで計算を行った。各固有周期 T の加速度応答スペクトル $S_A(T)$ を次の(1)~(4)式の4つの回帰モデルでモデル化し、ダミー係数を用いた2段階回帰分析手法で回帰分析を行った。

$$\log S_{A_i}(T) = a(T)M_w - \log X + b(T)X + c_0(T) + \sum_k \delta_{ij} c_k \pm e(T) \quad (1)$$

$$\log S_{A_i}(T) = a_1(T)M_w + a_2(T)D - \log X + b(T)X + c_0(T) + \sum_k \delta_{ij} c_k \pm e(T) \quad (2)$$

$$\log S_{A_i}(T) = a_1(T)M_w + a_2(T) \log \Delta\sigma - \log X + b(T)X + c_0(T) + \sum_k \delta_{ij} c_k \pm e(T) \quad (3)$$

$$\log S_{A_i}(T) = a_1(T)M_w + a_2(T) \log A - \log X + b(T)X + c_0(T) + \sum_k \delta_{ij} c_k \pm e(T) \quad (4)$$

(1)式と(2)式は従来用いられているモデルであり、マグニチュードと震源距離をパラメータとし

た場合と震源深さを追加した場合である。また、(3)式と(4)式はそれぞれスペクトルインバージョンで推定した応力降下量、短周期レベルをパラメータとして追加した場合である。なお、内陸地震については、幾何減衰項は $X_r = 80$ [km]以下では $\log X_r$ 、 X_r を超えると $\log X$ の代わりに $\log(X_r \cdot X)^{0.5}$ を用いた。これらの式で、 $S_{A_{ij}}(T)$ は i 番目の地震の j 番目の観測点における加速度応答スペクトル[cm/s^2]、 X は震源距離[km]、 D は震源深さ[km]、 $\Delta\sigma$ は応力降下量[MPa]、 A は短周期レベル[$\text{dyne} \cdot \text{cm/s}^2$]、 $c_k(T)$ は k 番目の観測点の地点補正值、 $e(T)$ は標準偏差である。 $a(T)$ 、 $a_1(T)$ 、 $a_2(T)$ 、 $b(T)$ 、 $c_0(T)$ 、 $c_k(T)$ は回帰係数であり、 $c_0(T)$ は $c_k(T)$ の平均が0となるように求められている。したがって、 $c_k(T) = 0$ の場合は、I種地盤での加速度応答スペクトル $S_{A_i}(T)$ の距離減衰式とみなすことができる。

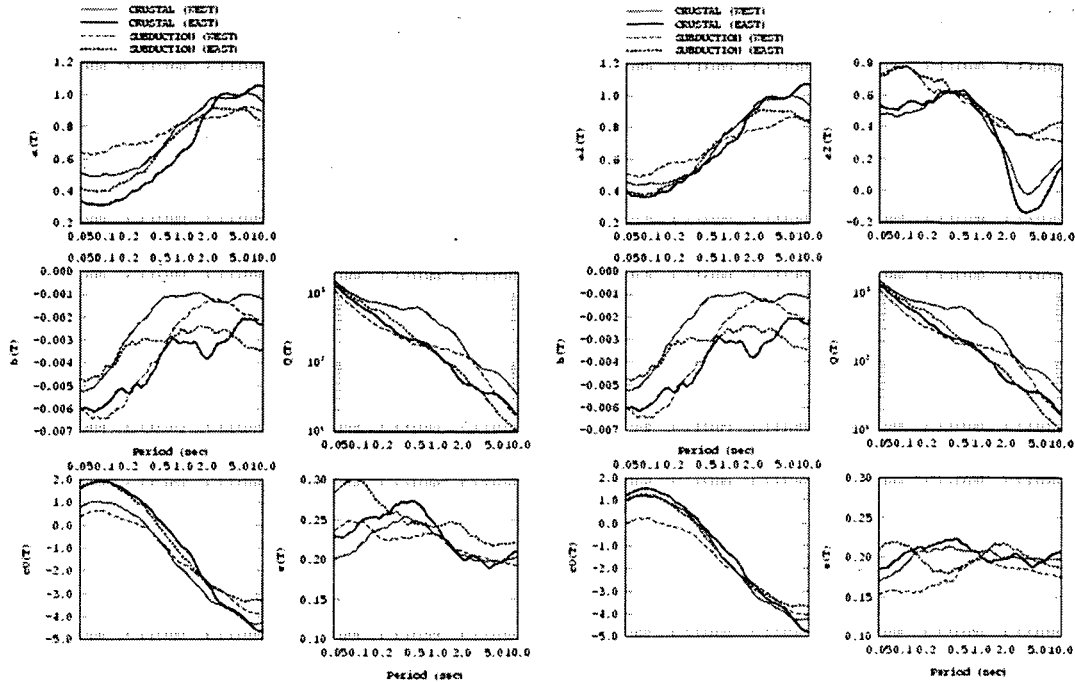
工学的基盤での応答スペクトル $A_E(T)$ の評価式は、工学的基盤として選択された観測点での地点補正值 $c_k(T)$ の平均値 $c_{Eav}(T)$ と標準偏差 $c_{Esd}(T)$ を用いて、次式で算出する。

$$\log A_E(T) = \log A_i(T) + c_{Eav}(T) \quad (2)$$

2. 研究の結果

(1) 回帰係数：作成した距離減衰式の回帰係数を、標準偏差及び粘性減衰項の回帰係数 $h(T)$ から換算したQ値である $Q(T)$ とともに第3図に示す。ここでは例として、(1)式と(3)式による回帰結果を示した。

この図によると、2段階回帰分析の1段階目で計算される $b(T)$ 及び $Q(T)$ は全く同じであり、(2)



(a) M_w, X をパラメータとした場合 - (1)式 (b) $M_w, X, \Delta\sigma$ をパラメータとした場合 - (3)式
第3図 作成した距離減衰式の回帰係数、標準偏差及び換算したQ値

式や(4)式でも同様であった。前述のように、伝播経路の影響を受ける $b(T)$ は、地震のタイプ及び地域によってかなり異なる値をとっている。また、 $Q(T)$ は西日本の内陸地震で大きく、スペクトルインバージョンで求められたQ値と整合する結果となった。

マグニチュード依存性を示す係数 $a(T)$, $a_1(T)$ についてみると、(1)式の回帰係数 $a(T)$ は短周期領域で地震のタイプ及び地域によるばらつきが大きい。しかし、(2)式では応力降下量をパラメータとして地震のタイプ及び地域による応力降下量の違いを考慮することにより、 $a_1(T)$ のこのようなばらつきは小さくなっていることが分かる。

応力降下量の係数 $a_2(T)$ は、地域による違いは小さいものの、地震のタイプでは異なる値となっている。海溝性地震の $a_2(T)$ は長周期領域で0.4程度であり、長周期領域での加速度応答スペクトルが応力降下量に依存することを示しているが、内陸地震ではその依存性は小さい。これは海溝性地震の応力降下量が、平均的に内陸地震の10倍程度と大きいこと、加速度応答スペクトルのレベルの小さい長周期領域の成分が、レベルの大きい短周期領域の成分の影響を受けやすいためと考えられる。

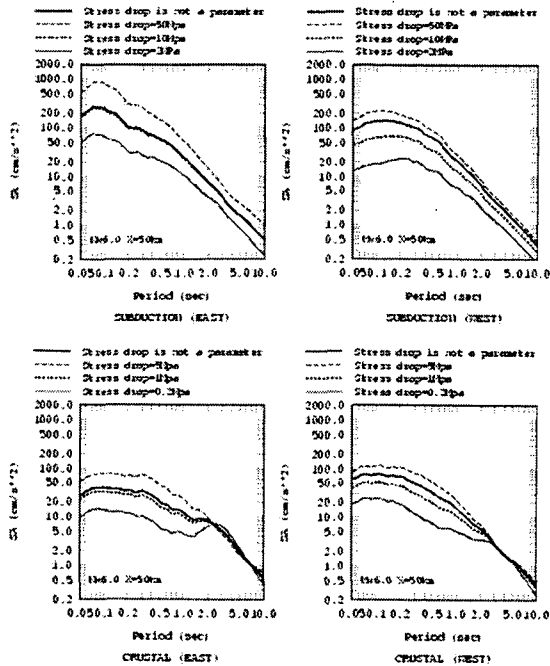
(2) 距離減衰式のばらつき：第3図において回帰誤差の標準偏差 $e(T)$ を比較すると、 M_w と震源距離 X のみをパラメータとした(1)式の場合と比較して、応力降下量もパラメータとした(3)式の場合

の回帰誤差は小さいことが確認できる。

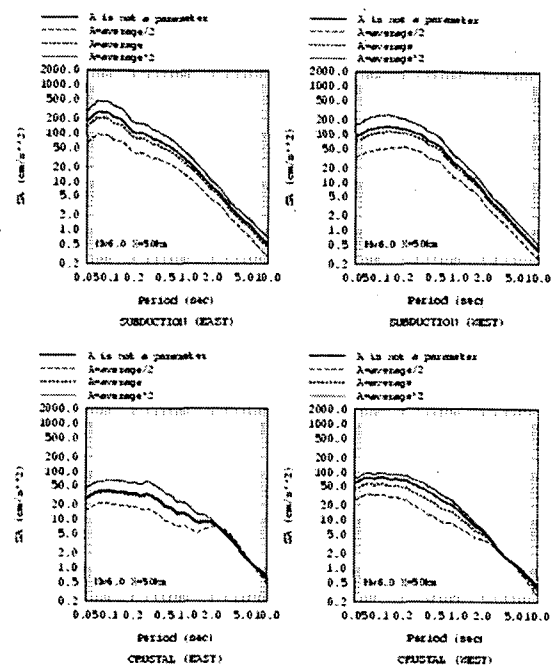
周期 1 [s] 以下の短周期領域でみると、この標準偏差 $e(T)$ の値は、(1)式と(3)式の場合にそれぞれ0.25程度、0.20程度となっている。したがって、(1)式に含まれる応力降下量のばらつきによる回帰誤差の標準偏差を概算すると、 $(0.25^2 - 0.20^2)^{0.5} = 0.15$ 程度となる。これは、既往の研究⁽²⁾で最大加速度や最大速度の距離減衰式について推測されている0.10という値よりもやや大きい。マグニチュードの小さな地震ほど応力降下量のばらつきが大きいという指摘⁽²⁾もあり、本研究が中小地震を対象としていることを考慮すれば、整合する結果と考えられる。

(3) 応力降下量の影響：得られた距離減衰式のうち、 M_w と X 及び応力降下量をパラメータとした距離減衰式(3)式と、 M_w と X のみをパラメータとした距離減衰式(1)式により推定した加速度応答スペクトルを第4図に示す。応力降下量をパラメータとした距離減衰式については、海溝性地震は応力降下量が50, 10, 2[MPa]の場合、内陸地震は5, 1, 0.2[MPa]の場合について示した。

内陸地震では周期 2[s] 以上の長周期領域の加速度応答スペクトルは応力降下量に依存しないのに対して、海溝性地震では長周期領域でも応力降下量に依存している。海溝性地震では内陸地震



第4図 M_w と X をパラメータとした距離減衰式(1)式と応力降下量を追加した距離減衰式(3)式で推定した加速度応答スペクトルの比較



第5図 M_w と X をパラメータとした距離減衰式(1)式と短周期レベルを追加した距離減衰式(4)式で推定した加速度応答スペクトルの比較

と比較して平均的に応力降下量が大きいため、短周期領域の応答スペクトルが大きく、この影響が長周期領域まで及んでいる可能性が考えられる。

東日本についてみると、海溝性地震では応力降下量が10[MPa]のケースが、内陸地震では1[MPa]のケースが応力降下量をパラメータとしない場合と同レベルである。

(4) 短周期レベルの影響：同様に、 M_w と X 及び短周期レベル A をパラメータとした距離減衰式(4)式と、 M_w と X のみをパラメータとした距離減衰式(1)式により推定した加速度応答スペクトルを第5図に示す。短周期レベル A をパラメータとした距離減衰式(4)式については、 A と M_0 の関係式の平均値と平均値±標準偏差のケースを示した。短周期レベルと応力降下量は従属関係にあるため、第5図は第4図と同様の特徴を示している。

III 結言

今年度は、震源深さ、地震のタイプ、地域による応力降下量の違いを直接的に考慮するために、

応力降下量と短周期レベルをパラメータとした加速度応答スペクトルの距離減衰式を作成した。得られた距離減衰式はばらつきが小さく、地震動強さの推定精度向上に資するものと考えられる。

今後は、本研究と同様の手法により、大地震の観測記録も含めた距離減衰式を作成して適用範囲を広げるとともに、応力降下量や短周期レベルの地域性についてもより詳細な検討を行い、将来発生する地震について、これらのパラメータの予測精度を高める必要がある。

また、地震動の位相特性のモデル化や合成した大地震の模擬地震動に基づく設計用地震動の設定手法について研究を進める予定である。

参考文献

- (1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，2002。
- (2) 翠川三郎，大竹雄：地震動強さの距離減衰式にみられるパラツキに関する基礎的分析，日本地震工学会論文集，Vol. 3，pp. 59-70，2003。

道路事業調査費

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

道路施設の防災事業の優先度評価手法に関する試験調査

Study on Prioritization of Road Components for Disaster Prevention Countermeasures

(研究期間 平成14～17年度)

研究官 中尾 吉宏
Researcher Yoshihiro Nakao

Loss of certain road components will have a greater impact on the system performance (e.g., post-earthquake traffic flow) than will other components. The present study develops a measurement for prioritizing road components for disaster prevention countermeasures based on their importance and vulnerability.

〔研究目的及び経緯〕

兵庫県南部地震以降、防災総点検結果に基づいて要対策箇所に対する防災対策が進められており、一定の進捗が見られるが、依然として要対策箇所は残されている。また、公共事業の効果を分かりやすいアウトカム指標で説明することが求められており、防災対策事業についても、厳選された要対策箇所に対して合理的な基準で対策事業に優先順位付けすることにより、明快なアウトカム指標の効率的な向上を図ることが必要とされる。そこで、本研究では、地震災害及び斜面災害の発生可能性や、個々の道路施設の防災上の重要度を考慮し、防災ニーズに関する地域特性も踏まえて防災対策事業の優先度を合理的に評価する手法を開発することを目的としている。

14年度は、地震防災関係者を対象としたアンケート調査結果を基本としながら、震災対策事業の優先度評価に関わる国内外の文献調査結果も参考にして、道路施設の震災対策の優先度評価にあたって考慮すべき評価項目を抽出するとともに、これらの評価項目の定量的な評価法、評価精度に関する課題、及び実用への課題等について検討し、整理した。

〔研究内容〕

本研究では、地震防災の専門家を対象としたアンケート調査を実施し、対策事業の優先度評価にあたって考慮すべき評価項目をKJ法により抽出・整理した。KJ法は、ブレイン・ストーミングなどで出されたアイデアや意見、または各種の調査の現場から収集された雑多な情報を1枚ずつ小さなカードに書き込み、それらのカードの中から類似のもの同士を2、3枚ずつ

集めてグループ化していき、それらを小グループから中グループ、大グループへと組み立てて図解するものであり、アンケート調査結果が系統的に整理される。ここでは、このようなKJ法による評価項目の抽出・整理に加え、最近の優先度評価に関する国内外の研究成果も参考にして、表-1に示す評価項目を、防災対策の事業優先度の評価に考慮する項目として抽出した。同表に示される評価項目には、例えば、被害想定や構造的な脆弱性など、内容が重複するものもあるが、ここでは、優先度評価に当たって考慮する対象となり得る評価項目を広く抽出したものである。本研究では、防災対策事業の実務に用いることができる実用的な優先度評価手法を開発することを目的としているため、評価項目の具体的な評価方法や実際の評価にあたって必要となる情報源について整理するとともに、評価精度に関する課題についても取りまとめた。今年度の成果例として、抽出・整理された評価項目、評価項目を評価する際に着目する評価指標、評価に当たって必要となる情報源を表-1に示す。今後、実務的な優先度評価に考慮する評価項目を表-1より絞り込み、防災対策の優先度評価手法の開発に結びつける。

〔成果の発表〕

①大谷、日下部、村越：既設道路橋の耐震補強優先度に対するAHPの適用性の検討、既設構造物の耐震補強に関するシンポジウム、2003

〔成果の活用〕

本研究により開発される道路施設の防災対策の優先度評価手法は、道路震災対策便覧の補足マニュアルとして取りまとめる予定であり、道路の防災対策の立案、

評価及び合理化に活用されることが期待される。

表-1₁ 優先度評価に考慮する評価項目

評価項目	評価の観点	評価指標	情報源
大分類 中分類 小分類			
社会的価値評価			
道路利用			
走行時間短縮	道路利用からみたネットワークとしての	走行時間短縮効果	交通量推計結果、時間費用原単位
走行費用短縮	ネットワークとしての	走行費用短縮効果	交通量推計結果、走行費用原単位
交通事故減少	構築の社会的価値の評価	交通事故減少効果	交通量推計結果、道路交通センサデータ
走行快適性の向上		評価が困難であり手法が確立されていない	
歩行の安全性・快適性の向上			
環境			
大気汚染	環境からみたネットワークとしての構築の社会的価値の評価	環境改善効果	道路交通センサデータ、貨幣評価原単位
騒音		評価が困難であり手法が確立されていない	
景観			
生態系			
地球環境		環境改善効果	道路交通センサデータ、貨幣評価原単位
住生活			
道路空間の利用			
災害時の代替確保	住生活からみたネットワークとしての構築の社会的価値の評価	評価が困難であり手法が確立されていない	
生活圏、交流圏の拡大			
公共サービスの向上			
人口の空乏			
地域経済・財政			
建設費による産出			
新築立地に伴う生産増加	地域経済・財政からみたネットワークとしての構築の社会的価値の評価	評価が困難であり手法が確立されていない	
雇用・所得増大			
防災・7種の低下			
資産価値の向上			
財政の空乏			
経済価値評価			
資産評価			
取得原価による評価	構築の資産としての評価(資産価値が高い構築は優先順位が高い)	取得原価による評価額	工事設計書
再調達原価(デフレートを利用)		再調達原価(デフレートを利用)	工事設計書、建設デフレート
再調達原価(単価換上げ)		再調達原価(単価換上げ)	工事設計書、単価
新旧費用	構築が被災した場合の復旧費の評価	復旧費用	構築の部材内訳数量、単価
被害想定			
火災被害			
出火点数	火災被害に関する脆弱性の評価(火災危険度が高い地域への構築を優先)	出火点数	被害想定結果(ハザードマップ)
焼失棟数		焼失棟数	被害想定結果(ハザードマップ)
建物被害			
木造建物全壊率	建物被害に関する脆弱性の評価(建物被害が多い地域への構築を優先)	木造建物全壊率	被害想定結果(ハザードマップ)
非木造建物全壊率		非木造建物全壊率	被害想定結果(ハザードマップ)
木造建物全壊率		木造建物全壊率	被害想定結果(ハザードマップ)
非木造建物全壊率		非木造建物全壊率	被害想定結果(ハザードマップ)
交通被害			
道路被害箇所数	交通被害に関する脆弱性の評価(交通被害が多い地域への構築を優先)	道路延長1km当たりの被害箇所数	被害想定結果(ハザードマップ)
道路被害箇所数		年代別道路被害箇所数	被害想定結果(ハザードマップ)
鉄道不通率		鉄道不通率	被害想定結果(ハザードマップ)
上水道被害			
上水道被害箇所数	上水道被害に関する脆弱性の評価(上水道被害が多い地域への構築を優先)	被害箇所数	被害想定結果(ハザードマップ)
上水道供給支障人口		上水道供給支障人口	被害想定結果(ハザードマップ)
人的被害			
木造建物死者数	人的被害に関する脆弱性の評価(人的被害が多い地域への構築を優先)	木造建物死者数	被害想定結果(ハザードマップ)
非木造建物死者数		非木造建物死者数	被害想定結果(ハザードマップ)
火災死者数		火災死者数	被害想定結果(ハザードマップ)
負傷者数		負傷者数	被害想定結果(ハザードマップ)
重傷者数		重傷者数	被害想定結果(ハザードマップ)
死者数		死者数	被害想定結果(ハザードマップ)
避難者数		避難者数	被害想定結果(ハザードマップ)
避難者数		避難者数	被害想定結果(ハザードマップ)
避難者数		避難者数	被害想定結果(ハザードマップ)
地震のゆれ			
地震最大加速度	地震のゆれに関する脆弱性の評価(地震のゆれが大きい地域への構築を優先)	地震動特性値(地震最大加速度など)	被害想定結果(ハザードマップ)
震度・加速度		地震動特性値(地震最大加速度など)	被害想定結果(ハザードマップ)
復興対策			
建物被害額	復興に関する脆弱性の評価(建物被害額が多い地域への構築を優先)	建物被害額	被害想定結果(ハザードマップ)
建物がれる量	復興に関する脆弱性の評価(建物がれる量が多い地域への構築を優先)	建物被害による廃棄物量	被害想定結果(ハザードマップ)
復旧期間		復旧期間	被害想定結果(ハザードマップ)
ネットワークとしての耐震性			
第1次緊急輸送道路	第1次緊急輸送道路のネットワークとしての耐震性の評価	震源所在地との連絡道路	緊急輸送道路ネットワーク図
地方中心都市との連絡道路		地方中心都市との連絡道路	緊急輸送道路ネットワーク図
重要港湾との連絡する道路		重要港湾との連絡する道路	緊急輸送道路ネットワーク図
重要空港との連絡する道路		重要空港との連絡する道路	緊急輸送道路ネットワーク図
第2次緊急輸送道路	第2次緊急輸送道路のネットワークとしての耐震性の評価	震源所在地との連絡道路	緊急輸送道路ネットワーク図
第1次緊急輸送道路と市町村境との連絡道路		第1次緊急輸送道路と市町村境との連絡道路	緊急輸送道路ネットワーク図
第1次緊急輸送道路と主要防災拠点		第1次緊急輸送道路と主要防災拠点	緊急輸送道路ネットワーク図
多量化・代替性			
迂回路の有無		迂回路の有無	道路防災拠点検(地震編)データ
他の交通機関の有無		他の交通機関の有無	交通機関の路線図
DID地区の2車線以下		DID地区の2車線以下	道路台帳
長大橋		長大橋	管内図
長大トンネル		長大トンネル	管内図
大規模トンネル		大規模トンネル	管内図
道路交差点の近傍の構築		道路交差点の近傍の構築	管内図
路線の方向・現状・放射状		路線の方向・現状・放射状	管内図
河川横断		河川横断	管内図
主要河川の横断		主要河川の横断	管内図
他橋との接続		他橋との接続	管内図
主要幹線		主要幹線	管内図

表-1₂ 優先度評価に考慮する評価項目

評価項目	評価の観点	評価指標	情報源
大分類 中分類 小分類			
路線・区間の重要性(道路利用者の利便性・安全性向上)			
平常時の利用			
交通容量	交通容量の大きい道路の確保	道路幅員	道路防災拠点検(地震編)データ
交通状況	大型車の交通を確保	金車両交通量	道路交通センサデータ
	歩行者がよって利用する交通を確保	大型車交通量	道路交通センサデータ
	公共交通の交通路を確保	通行歩行者数	道路交通センサデータ
		公共交通利用度合い	道路交通センサデータ
地震時の輸送機能			
沿道状況	DID地区、商業地区など、被災者の発生が高いと予測される場所への交通を確保	地域区分	用途区分図
防災上の路線区分(緊急輸送道路)	緊急輸送道路や確保間接路との交通の確保	火災発生危険度が高い場所への交通を確保	火災発生危険度分布図(ハザードマップ)
代替性	代替性が無い交通路や、あっても時間がかかる場合を優先	迂回路の有無	道路防災拠点検(地震編)データ
二次災害波及性			
橋下閉鎖	橋下の鉄道の被害軽減	鉄道の橋下交差条件	道路防災拠点検(地震編)データ
	橋下の道路の被害軽減	道路との橋下交差条件	道路防災拠点検(地震編)データ
添架物件	添架物件への被害軽減	添架物件の有無	道路防災拠点検(地震編)データ
橋脚の傷			
良好な景観性	良好な景観の保全	景観に優れた構築	
歴史的価値	歴史的構築の保全	建設年代が昭和初期以前の構築	道路防災拠点検(地震編)データ
構造上の耐震性(構造物としての耐震性の向上)			
適用基準	適用道路階層方式による耐震性の評価	適用道路階層方式制定年度	道路防災拠点検(地震編)データ
上部構造			
構造形式	桁形式による耐震性の評価	桁形式	道路防災拠点検(地震編)データ
平面線形	平面線形による耐震性の評価	平面線形	道路防災拠点検(地震編)データ
下部構造			
材料種類	材料種類による耐震性の評価	材料種類	道路防災拠点検(地震編)データ
構造形式	橋脚形式による耐震性の評価	橋脚形式	道路防災拠点検(地震編)データ
	鉄筋配置による耐震性の評価	鉄筋配置	道路防災拠点検(地震編)データ
	基礎形式による耐震性の評価	基礎形式	道路防災拠点検(地震編)データ
落橋防止構造	落橋防止構造による耐震性の評価	落橋防止構造	道路防災拠点検(地震編)データ
支保構造			
種類	支保種類による耐震性の評価	支保種類	道路防災拠点検(地震編)データ
地盤条件			
地盤種別	地盤種別による耐震性の評価	地盤種別(1種~4種)	道路防災拠点検(地震編)データ
液状化の可能性	液状化危険度による耐震性の評価	液状化危険度	道路防災拠点検(地震編)データ
地震切迫度	地震発生危険度の考慮	地震切迫度の危険性	地震発生危険度分布図(ハザードマップ)
活断層			
活断層の有無	大規模地震を引き起こす可能性のある活断層の評価	確度	活断層詳細デジタルマップ
長期的な地震発生確率	地震発生確率が高い箇所を優先	地震発生確率	地震調査研究推進本部報告書
構造効果性(事業の効果性の向上)			
耐震補強工事の難易度			
耐震補強工事施工に伴う制約条件	耐震補強工事施工に伴う制約条件の程度(対策効果の信頼性)	補強工事時の周辺環境	道路防災拠点検(地震編)データ
耐震補強工事施工の特殊性		耐震補強作業の難易度	工法種別
復旧工事の難易度			
復旧工事施工に伴う制約条件	復旧工事施工に伴う制約条件の程度(対策効果の信頼性)	復旧工事時の周辺環境	道路防災拠点検(地震編)データ
復旧工事施工の特殊性		復旧作業の難易度	道路防災拠点検(地震編)データ
ライフサイクルコスト			
耐震補強費用	耐震補強に要する費用が安い構築を優先	耐震補強費用	費算工事費
復旧費用	被災時の復旧費用が高い構築を優先	被災時の復旧費用(橋長)	道路防災拠点検(地震編)データ
構築の維持管理計画	構築の架け替え・耐震補強以外の補修・補強工事との同時実施による工費削減の高い構築を優先	構築の供用年数	道路防災拠点検(地震編)データ

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できる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。

14年度は、これまでに提案した地震ハザードマップ作成手法により、一定の期間において各地域に生じる震度を過去の特定の時点に遡って予測した結果と、気象庁により実際に観測されてきた震度の蓄積情報とを比較することにより、提案手法の予測精度について検証し、最終成果として取りまとめた。

〔研究内容〕

本研究では、これまでに、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できる地震ハザード

ドマップ作成手法を提案している。ここでは、提案手法に基づき、各地域において今後 75 年間に生じる震度を 1926 年 1 月 1 日時点に遡って予測し、1926 年 1 月 1 日以降に気象庁により観測された震度の蓄積情報と比較することにより、提案手法の予測精度を検証した。

〔研究成果〕

1. 地震ハザードマップ作成手法に基づく震度予測

提案手法により、気象庁で震度観測が行われている地点を対象として、1926 年 1 月 1 日より 75 年間に生じる震度予測を行った。提案手法の詳細は〔成果の発表〕の①に譲るが、当該手法では、活断層及びプレート境界地震を考慮することにより、特定の位置で固有の発生履歴・マグニチュードで繰り返し発生する大規模地震が地震動予測に反映される。また、過去の地震記録を考慮した解析を行うことにより、発生位置を予め詳細に特定することが困難な地震の発生位置の概略や規模別の発生頻度が地震動予測に反映される。活断層及びプレート境界地震を考慮した解析では、1926 年 1 月 1 日以前の最新の地震の発生時期が特定されているものについては、地震の発生確率が最新の発生時期からの経過時間に伴って増加することを考慮した解析を行い、それ以外のものについては、地震の発生がポアソン過程に従うものと仮定して解析を行った。また、過去の地震記録を考慮した解析では、地震の発生がポアソン過程に従うものと仮定した。地震危険度解析における地震動予測では、気象庁において震度観測が行われている図-1 に示した地点を対象に、当該地点の地盤条件を考慮して既往の距離減衰式¹⁾により最大加速

度を予測した上で、最大加速度と計測震度との関係式²⁾等を活用して、旧気象庁震度を予測した。予測対象として旧気象庁震度を選定したのは、地震動の記録として最も長期間にわたって整理されているためである。

2. 気象庁の震度情報との比較

図-1に示した地点において1926年1月1日より75年間に観測された震度情報に基づいて、当該期間中における震度と年平均超過確率の関係を算定した。次に、提案手法に基づく解析により得られた1926年1月1日より75年間に生じる震度と超過確率の関係に基づき、当該期間中における震度と年平均超過確率の関係を算定した。震度と年平均超過確率との関係の算定結果を図-2に示す。同図から、震度と年平均超過確率の関係は、稚内を除く地域では、提案手法に基づく解析と震度情報の両者で概ね同一の関係が得られており、提案手法による震度予測は、全国的に一定の精度が確保されていることが認められる。これに対し、稚内における震度と年平均超過確率の関係には、提案手法と震度情報に差異が認められる。これは、提案手法に基づく過去の地震記録を考慮した解析では、地震の発生特性が同一と見なせる地域に対して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ゾーン内の平均的な地震の発生頻度等を評価して地震動を予測するが、実際にはゾーン内で地震の発生頻度が地域毎に変動しているために、提案手法に基づく解析結果と気象庁による震度情報に差異が生じたものと考えられる。北海道の周辺地域は、太平洋沿岸の地域を除き、地震記録が少なく局所的に発生した地震の記録に起因して地震発生頻度が地域的に大きく変動するため、このような差異が生じたものと考えられ、札幌市や浦河町でも同様の差異が認められた。提案手法では、同一のバックグラウンドゾーン内で地震の発生頻度が大きく変動する地域については、同様の予測精度の問題を抱えているが、全国的には一定の精度で地震動予測が可能となった。

3. 全国を対象としたモデルマップの試算

予測精度を検証した地震ハザードマップ作成手法により、全国を対象として、2003年1月1日より75年間に生じる地震動の超過確率が10%となる計測震度を予測した結果を図-3に示す。同図では、全国の表層地盤がⅡ種地盤相当であると仮定している。活断層の分布密度が高い中部地方及び近畿地方では大きな計測震度が予測され、地震の発生確率が高い活断層やプレート境界地震の近傍では特に強い地震動が予測された。

【成果の発表】

①日下部他、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地震ハザードマップの作成手法、国

土技術政策総合研究所研究報告、2003、②中尾他：地震ハザードマップ作成手法の開発、土木技術資料、Vol.44、No.8、2002...

【成果の活用】

本研究により開発された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。

【参考文献】1) Takahashi T., et al.: A Spectral Attenuation Model..., Proc. 6th International Conference of Seismic Sonation, 2000, 2) 翠川他、計測震度と旧気象庁震度...、地域安全学会論文集、Vol.1、1999-

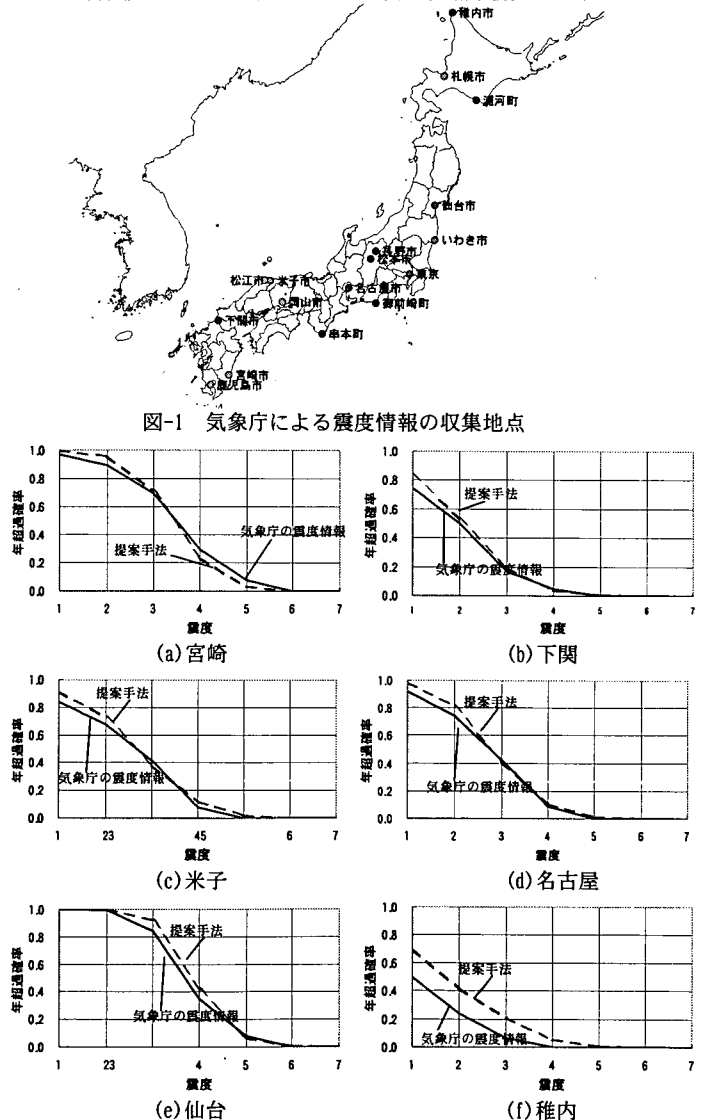


図-2 提案手法に基づく解析と震度情報の比較例

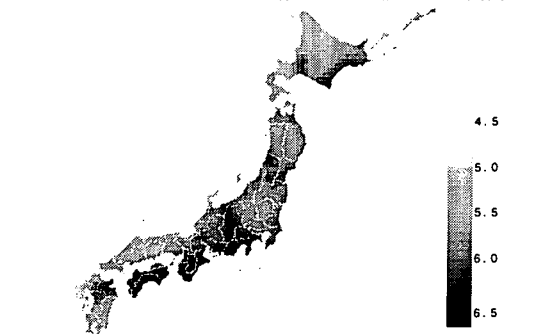


図-3 今後75年の超過確率が10%となる計測震度の試算

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

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 13~14 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。14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種々の模擬地震動を作成し、免震支承を有する橋脚を対象とした非線形動的解析を多数行うことにより、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明らかにするとともに、その結果に基づき、マルチヒンジ構造物を対象とした設計用の非線形加速度応答スペクトルを提案した。

〔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、免震橋を対象として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マルチヒンジ構造物の非線形応答に及ぼす影響について検討し、その結果に基づき、マルチヒンジ構造物を対象とした設計用の非線

形加速度応答スペクトルを提案した。

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。既往の強震記録の位相特性に関する解析結果¹⁾によれば、地震動の長周期成分波の強度が大きくなる時刻 t_l は、短周期成分波の強度が大きくなる時刻 t_s に比べて遅延する。また、どの程度 t_l が t_s に比べて遅延するかは強震記録ごとにばらつきが認められる。模擬地震動の作成では、既往の強震記録の解析結果¹⁾を参考に、時刻 t_l が t_s に比べて遅延する程度が大中小となる位相特性を持つ模擬地震動を作成した。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位相特性として、1質点系の非線形応答に特に大きな影響を及ぼす位相特性を持つ模擬地震動を作成し、2質点系の非線形応答に及ぼす影響について予備的な検討を行った。これらの模擬地震動は、 t_l が t_s に比べて遅延する程度が小さいものであった。これに対し、14年度は、これらの模擬地震動が2質点系に対しても影響が大きいとは限らないことから、 t_l が t_s に比べて遅延する程度が大きいものと、中程度の模擬地震動を、地震のタイプごと及び地盤種別ごとに作成した。模擬地震動の例として、プレート境界型地震のⅠ種地盤を対象に作成した模擬地震動を図-1に示す。

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。非線形動的解析では、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 となる場合の上部工慣性力作用位置における非線形加速度応答スペクトルを算定した。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を種々変更した非線形動的解析を行った。橋脚の非線形履歴モデルとしては修正武田モデルを仮定し、免震支承についてはバ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は 5% とした。

【研究成果】

1. 2質点系に影響を及ぼす地震動特性

プレート境界型地震と内陸直下型地震の地震動の工学的特性を考慮して作成した模擬地震動を入力地震動として用い、非線形動的解析を行った結果を図-2に示す。同図は、解析結果例として、I種地盤の模擬地震動を用いた場合に算定された上部工慣性力作用位置における非線形加速度応答スペクトルを示したものである。図-2では、1質点系の非線形応答に最も大きな影響を及ぼす位相特性を持った模擬地震動の解析結果については太線で、それ以外の位相特性を持った模擬地震動の解析結果については細線で非線形加速度応答スペクトルを示している。同図から、太線で示された非線形加速度応答スペクトルはその他のスペクトルに比べて大きく、1質点系の非線形応答に最も大きな影響を及ぼす模擬地震動は、2質点系の非線形応答に対しても最も大きな影響を及ぼすことが認められる。

2. 非線形加速度応答スペクトルの提案

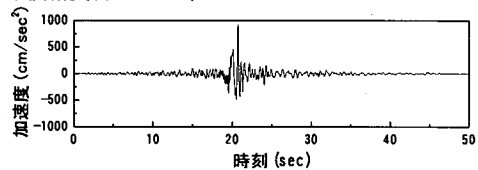
2質点系に最も大きな影響を与える位相特性を持った模擬地震動を入力地震動とした場合の非線形動的解析結果に基づき、図-3に示す設計用の非線形加速度応答スペクトルを提案した。ここで、上バネの下バネに対する剛性比が 0.2 と 0.4 の場合については、解析結果に大きな差異が認められなかったことから、提案スペクトルは剛性比が 0.2 の解析結果に基づいている。現行の道路橋示方書では、エネルギー一定則に基づき応答塑性率のみを考慮して設計用の非線形スペクトルを算定しているため、固有周期の長い構造物が塑性化した場合に特に地震力が低減する効果は考慮されない。

これに対し、提案スペクトルは、図-3でスペクトルがフラットな固有周期帯から認められるように、固有周期が長い構造物については、固有周期が短いものよりも設計用の非線形加速度応答スペクトルが小さく算定されており、免震支承を採用して長周期化を図った構造物が塑性化した場合の地震力の低減効果を反映した結果が得られている。

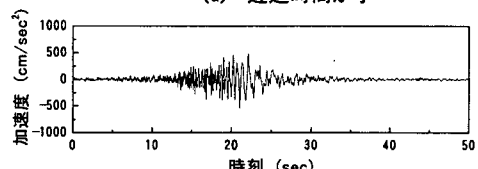
【成果の発表】 ①中尾ほか：等価減衰定数によるリダクションファクタースペクトル、第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム、2003

【成果の活用】 提案した非線形加速度応答スペクトルは、免震橋脚が塑性化した場合に作用する地震力を精度良く与えるものであり、動的照査法で耐震性を照査する橋脚断面の設計を合理化・効率化することができる。また、提案スペクトルは、道路橋示方書に反映されることも期待される。

【参考文献】 1)中尾他：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

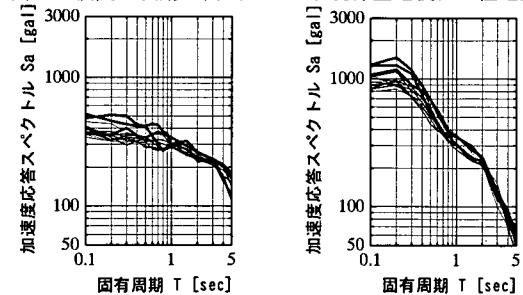


(a) 遅延時間が小



(b) 遅延時間が大

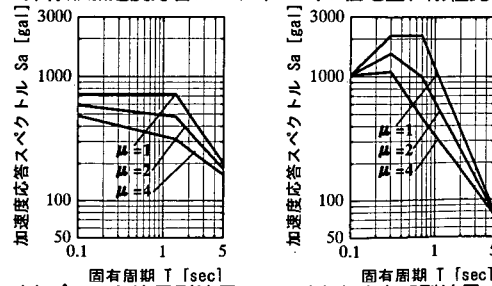
図-1 模擬地震動の例（プレート境界型地震、I種地盤）



(a) プレート境界型地震

(b) 内陸直下型地震

図-2 非線形加速度応答スペクトル（I種地盤、剛性比0.2）



(a) プレート境界型地震

(b) 内陸直下型地震

図-3 設計用の非線形加速度応答スペクトル（I種地盤の例）

道路網の合理的な地震時リスク評価技術の開発

Development of Fragility Curves for RC Piers on Highway

(研究期間 平成 12~14 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
Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk
Management, Senior Researcher Akihiro SANADA

The fragility curves of reinforced concrete piers were developed only for bending failure type. However, not only bending failure but also bending damage to shear failure transfer type is also occurred. Therefore, we develop the fragility curves of RC piers considering three types of failures.

〔研究目的及び経緯〕

地震時の緊急物資輸送計画等を事前に検討するための地震後の利用可能な道路網状況の推定、震後の迅速かつ適切な対応を行うための地震発生直後における構造物に関する被害推定等を行うためには、想定される地震動強度又は観測された実地震動強度と構造物・施設等の被害程度及びその発生確率との間の関係（被害関数）を評価する必要がある。

そこで、本研究では、その被災により道路通行機能に著しい影響を及ぼす構造物を対象に被害関数の開発を行ってきた。対象とした構造物は、RC 橋脚、道路路面、道路擁壁である。道路路面、道路擁壁については、兵庫県南部地震時の被災データと観測された地震動強度をもとに、被害関数を検討した。RC 橋脚については、過去の地震時の被害データを活用するとともに試設計を行い、解析的に被害関数を検討した。

RC 橋脚については、道路橋示方書に準拠し設計がなされる。道路橋示方書については、逐次改訂されており、適用された示方書により地震動に対する耐震性能が異なってくる。本研究では、適用示方書の違いを踏まえた上で、地震動特性値と RC 橋脚に発生する被害程度との関係を動的解析により検討した。昨年度においては、曲げ破壊に対する適用示方書別被害関数を開発した。しかし、RC 橋脚の被害形態は、「曲げ破壊型」だけでなく、曲げ変形が生じた後にせん断損傷により破壊する「曲げせん断破壊型」、「せん断破壊型」も存在する。そこで、平成 14 年度においては、過年度に検討した曲げ破壊を考慮した被害関数をベースに、これら 3 つの異なる破壊型を考慮した被害関数を開発することとした。

〔研究内容〕

せん断破壊に関する照査を新たに追加した点を除いては、以下に示す昨年度と同一手法に従った。

(1) 橋脚の選定

橋脚については、適用示方書年次の違いにより 5 分類（昭和 55 年より前、昭和 55 年、平成 2 年、平成 7 年復旧仕様、平成 8 年）するとともに、RC 橋脚の固有周期の違いにより 4 分類（0.3 秒～0.4 秒以降 0.1 秒ピッチで 0.6 秒～0.7 秒まで）し、合計 20 分類とした。これら 20 分類それぞれにおいて、適用示方書が昭和 55 年以降のものについては試設計データをもとに、また、昭和 55 年より前の示方書を適用したものについては実橋脚データをもとに、降伏水平震度及び終局塑性率が平均的な橋脚を 1 基ずつ合計 20 基選定した。

(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た武田モデルを用い、減衰定数は 5% を基本とした。

(3) 入力地震動

動的解析に用いた入力地震動としては、国内の地盤上で得られた 197 組 394 成分の水平成分強震記録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（3 種別）の合計 6 分類し、各区分において加速度応答スペクトル特性の違いを考慮し、6 分類合計で 11 波形を選定した。その後、11 波形それぞれについて、SI 値が 50、90、120、150 及び 180cm/sec となるよう振幅調整を行い入力地震動とした。

(4) 破壊形態の照査方法

破壊形態は、次のとおりとした。

① $P(t) \leq P_y$ のケース

$P(t) > S(Cc=1.0)$ でせん断破壊が生じる。

② $P_y < P(t) \leq P_u$ のケース

プレート境界型地震動 $P(t) > S(Cc=0.6)$

内陸直下型地震動 $P(t) > S(Cc=0.8)$

の場合に曲げせん断破壊が生じる。

③ $P(l) > P_u$ のケースでは曲げ破壊が生じる。

ここで、 $P(l)$: 発生水平力、 P_y : 降伏耐力、 P_u : 終局耐力、 S : せん断耐力、 C_c : 道路橋示方書に示される補正係数 (以下に補足)。

ここで、今年度新たに考慮することとしたせん断破壊について、コンクリートの負担するせん断応力は荷重の正負交番繰り返し効果により低下することが模型実験等で明らかにされている。このため、道路橋示方書では、正負交番繰り返しの影響を考慮するための補正係数 C_c を繰り返し特性が異なる地震動タイプ別に定めている (タイプ I 地震動 : 補正係数 0.6。タイプ II 地震動 : 補正係数 0.8)。本研究では、この補正係数の考え方を導入し上述の照査方法とした。

(5) 被害程度の判定方法

曲げ破壊型橋脚については、昨年度と同一 (最大応答塑性率の大きさに基づく 4 段階。表-1 参照) の判定方法とした。せん断破壊及び曲げせん断破壊型橋脚については、いずれの場合についても、曲げ破壊型における被害程度 A に相当するとした。これはせん断破壊においては、脆性的に破壊が生じるためである。また、曲げせん断破壊型においては、曲げ変形が先行して生じその後せん断破壊が生じることからある程度の変形は期待できるものの定量的には評価が困難であるため変形を見込まない安全側の判定としたためである。

表-1 被害程度の判定方法

	曲げ破壊型橋脚の被害程度の評価	せん断・曲げせん断破壊型橋脚の被害程度の評価
Aランク	$\mu_u < \mu_{max}$	せん断損傷、曲げせん断損傷が生じる場合はすべて A ランク
Bランク	$\mu_a < \mu_{max} \leq \mu_u$	
Cランク	$1.0 < \mu_{max} \leq \mu_a$	
Dランク	$0 < \mu_{max} \leq 1.0$	

(6) 被害関数形

被害関数形については、発生確率が標準正規分布の累積確率を用いて対数正規分布で表せると仮定した。

【研究成果】

昭和 55 年より前及び昭和 55 年の道路橋示方書について曲げ破壊に加えせん断破壊を考慮し被害関数を作成した。平成 2 年以降の道路橋示方書準拠の RC 橋脚については曲げ破壊のみ考慮することで十分であることから昨年度に作成した被害関数が生かせることを確認した。以下、成果の詳細を述べる。

昨年度解析対象とした RC 橋脚の水平力-水平変位関係とせん断耐力の大きさから、平成 2 年以降の道路橋示方書に準拠した橋脚については、曲げ破壊のみ生じることが確認できた。このことから、せん断損傷を考慮すべきは、昭和 55 年より前及び昭和 55 年の道路橋示方書となった。このうち、”道路橋示

方書昭和 55 年より前のせん断破壊を考慮した被害関数を図-1 に示す。図中には曲げ損傷のみ考慮した場合の被害関数も併せて示した。

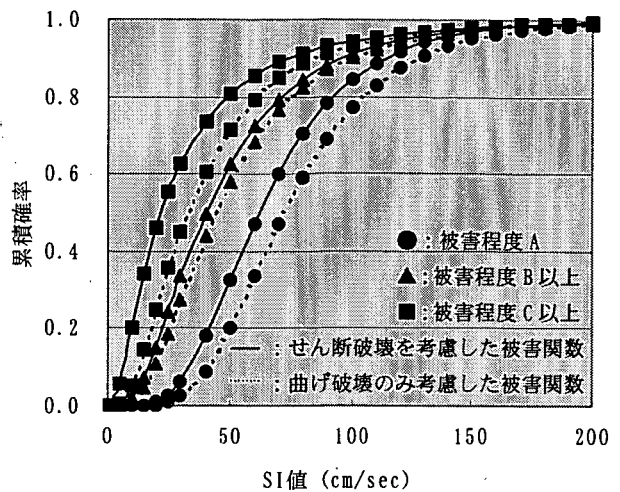


図-1 せん断破壊を考慮した被害関数

次に曲げ破壊及びせん断破壊を考慮した道路橋示方書年次別の被害関数のうち被害程度 A について図-2 に示す。示方書年次が新しくなるに従い被害発生程度が抑制される傾向が現れた被害関数を開発できたことが確認できる。ここでは被害程度 A の被害関数を示したが、被害程度 B 以上及び C 以上についても同様に被害関数を作成することができた。

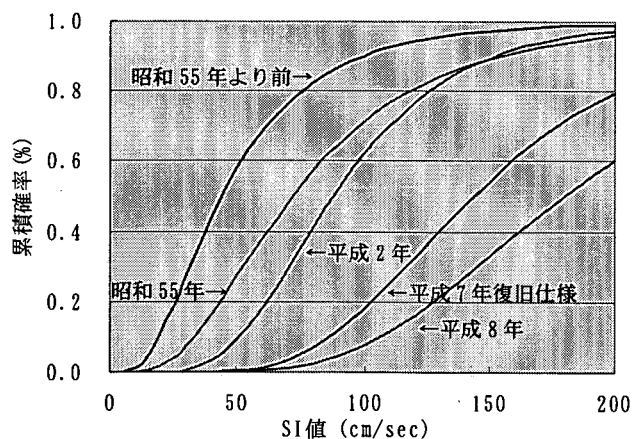


図-2 道路橋示方書年次別被害関数 (被害程度 A)

【成果の発表】

動的解析を用いた RC 橋脚の被害関数に関する基礎的検討, 土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集, pp1509-1510, 2002.9

【成果の活用】

近畿地方整備局京都国道工事事務所における管内被害想定を作成において本研究成果が利用された。また、今後は、国、地方自治体等における被害想定を作成にあたって活用されるよう働きかけていく予定である。

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
Research Center for Disaster Risk Management
Earthquake Disaster Prevention Division

主任研究官 片岡 正次郎
Senior Researcher Shojiro KATAOKA
研究員 松本俊輔
Research Engineer Shunsuke MATSUMOTO

A stochastic Green's function method is developed and applied to the simulation. The near-field ground motions caused by the 1923 Kanto and the 2000 Tottori-ken Seibū earthquakes are simulated by the proposed method. The synthetic earthquake motions are in good agreement with the observed records and simulated waves obtained by different methods in earlier studies.

〔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。14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するとともに、1923年関東地震及び2000年鳥取県西部地震の震源近傍における強震動のシミュレーションを行い、既往の研究や強震記録と比較することで、手法の妥当性を検証した。

〔研究内容〕

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新たに作成し、それらの推定式から作成した地震動を合成することにより、大規模地震の地震動を推定する手法を開発した。

本手法により、1923年関東地震（気象庁マグニチュード $M_J = 7.9$ ）によって生じた地震動のシミュレーションを行った。

測地学的データと遠地の地震記録から逆解析で求められた断層モデルから、内陸地震について提案されている手順により矩形アスペリティ（特にすべり量の大きい領域）を抽出した。

図-1に1923年関東地震の断層モデルと抽出した矩形アスペリティを示す。この断層モデルを用いて本手法により1923年関東地震の地震動を推定し、距離減衰式及び既往の研究と比較した。

〔研究成果〕

図-1に示した範囲について、緯度・経度とも0.10°間隔に地震動の推定を行い、その最大速度と距離減衰式を比較したものが図-2である。ここでは等価震源距離を距離の指標とし、プレート間地震を対象とした距離減衰式と比較している。この図によると、震源距離が大きくなるにしたがって推定値は距離減衰式よりも小さくなる傾向があるが、震源近傍では推定値と距離減衰式はよく一致している。

既往の研究では、統計的グリーン関数法により図-1

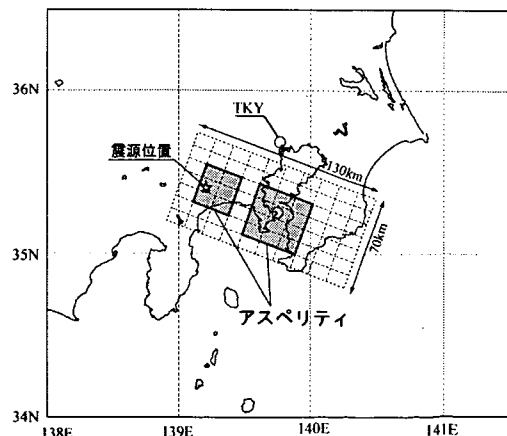


図-1 対象地震の断層面とTKYの位置

のTKY (東京気象官署: 35.687N, 139.758E) の工学的基盤における地震動が推定されており、最大加速度 $242[\text{cm/s}^2]$ 、最大速度 $30.9[\text{cm/s}]$ の推定地震動が得られている。また、経験的グリーン関数法により、TKY がら約 1.5km の地点での工学的基盤における地震動が推定された例もあり、最大加速度 $351[\text{cm/s}^2]$ 、最大速度 $42.9[\text{cm/s}]$ の推定地震動が得られている。

本手法により TKY の位置での工学的基盤における地震動を推定した結果、推定地震動の最大加速度は $227[\text{cm/s}^2]$ 、最大速度は $38.9[\text{cm/s}]$ となった。これらは、上記の既往の研究による結果と調和的である。

また、TKY 地点直下の地盤構造モデルを用いて、工学的基盤における地震動から地表面の地震動を試算した。図-3(a) にその加速度波形と速度波形を示す。また、図-3(b) は、その速度応答スペクトルを既往の研究による地表面での推定地震動と比較したものである。図中のSGMとEGMが既往の研究結果を示しており、SGMは統計的グリーン関数法による結果、EGMは1990年神奈川県西部地震 ($M_j = 5.1$) のTKYにおける加速度記録を用いた経験的グリーン関数法による結果である。この図によると、本手法による推定地震動は既往の研究と比較して、固有周期 $0.2[\text{s}]$ 付近でやや小さいが、全体的にはよく一致していることが分かる。

以上のように、距離減衰式や既往の研究結果とよく一致する結果が得られていることから、ここで用いた統計的グリーン関数法は、海溝性地震の地震動を推定する有効な手法であるといえる。

ここでは1923年関東地震を対象とした結果を示したが、2000年鳥取県西部地震について同様の検討を行い、強震観測記録と比較することによって内陸地震に対する本手法の妥当性も検証した。

[成果の発表]

統計的グリーン関数法を用いた震源近傍における強震動のシミュレーション, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.561-566, 2002.

K-Net 強震記録に基づく工学的基盤における加速度応答スペクトルと経時特性の推定式の検討, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.615-620, 2002.

加速度応答スペクトルの放射特性補正係数の経験的モデルに関する研究, 構造工学論文集, Vol.49A, 2003.

[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。また、開発した地震動推定手法は個別橋梁の設計地震動の設定にも活用されている。

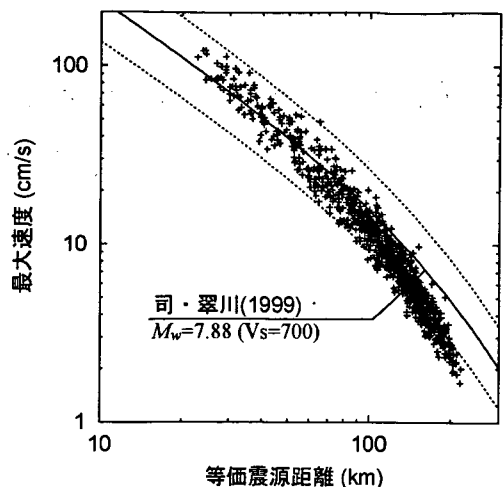
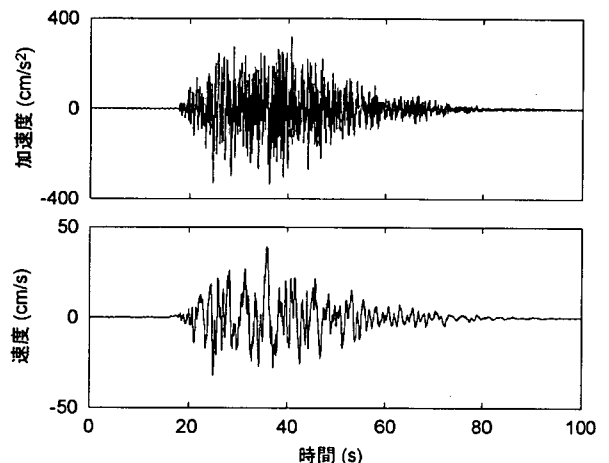
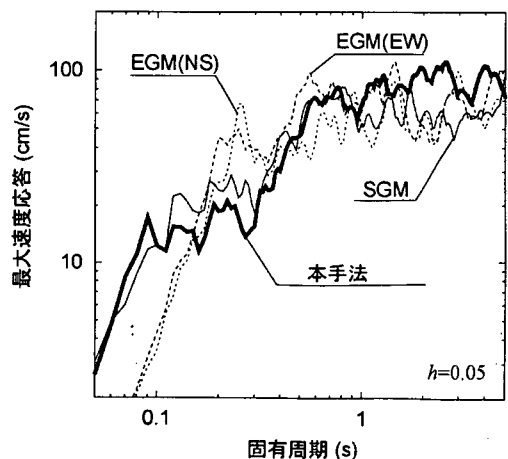


図-2 推定地震動の最大速度 (+) と距離減衰式の比較



(a) 加速度・速度波形



(b) 速度応答スペクトル

図-3 TKY における地震動の推定結果

交通基盤整備方策の評価に関する研究

Study on the method to evaluate effects of road disaster prevention projects

(研究期間 平成 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
Earthquake Disaster Prevention Division, Research Center for Disaster Risk
Management, Senior Researcher Akihiro SANADA

In executing public works, it is necessary to explain why this project is needed and what is the effect for local citizen. In addition, recent limited budget demands most suitable prioritization to do many projects. Therefore, as the first step this study is conducted to develop the method to judge the importance of each route among road network with consideration of regional characteristics.

【研究目的及び経緯】

公共事業の実施にあたり、事業効果を国民に分かりやすく提示することが近年益々強く求められている。道路防災事業においても、これまで防災総点検の結果に基づき対策が必要とされた箇所について事業が実施されてきたが、当該事業の実施がどのような便益を道路利用者へもたらすか、に関する幅広い観点から効果を明確にした上で事業を進める必要が非常に高まっている。”TURN 道の新ビジョン”では、この流れに対しアウトカム指標を設定し施策の結果を公表することとしており、道路防災事業に関しては災害時救援ルート確保率が設定されている。本研究課題では、全国一律的な尺度である本指標（災害時救援ルート確保率）を補助し、地域の状況、道路への依存度をきめ細かく反映した、道路網の重要ルートを選定する尺度を設定することを旨とする。

【研究内容】

「災害時救援ルート確保率」においては、災害時における緊急支援の実施という観点から指標が対象とするルートを選定しており、日常活動圏間を連絡する最短時間ルート及びその迂回ルートを重要ルートとしている。本指標を補助し、地域の道路に対するニーズを反映したルートを選定するために、本研究では、まず、平常時及び大雨、大雪等の異常気象時、地震による被害が発生するなどの災害発生時においても道路の通行が確保されていることによる効果を網羅的に抽出・整理した。次に、抽出した効果を表現するための指標の検討を行った。さらに、これらを踏まえ、地域ごとに道路網の中から重要ルートを防災面から抽出するための評価スキームスケルトンを検討した。

【研究成果】

最初に道路が通行できること、存在することによる

効果を網羅的に抽出した。効果については、直接的効果と間接的効果に大別した。ここで、直接的な効果とは、道路が通行止めされることで道路ユーザーに生じる移動時間・距離の増大などの不利益を減じること、道路を通行できることによる移動時間・距離等を減少させることにより、ユーザーに生じる利益が増大する効果とした。例えば、道路通行が確保されていることによる燃料等移動コストの低減、交通事故の減少等移動時の安全性の向上等が挙げられる。また、間接的な効果とは、直接的効果に伴い派生的に生じる効果とし、例えば、道路ユーザーである企業の収益の増大、交通事故の減少に伴う事故渋滞等の時間損失の軽減等が挙げられる。さらに、直接的・間接的効果に加え、道路が通行できる・存在することによる心理的效果、地域にあたるイメージの向上等の面を考慮するため、オプション効果についても把握することとした。オプション効果とは、例えば「いつでも通行できる」というイメージがあることにより、観光ルートに指定されやすい、企業誘致がしやすいことなどが事例として挙げられる。

まず、平常時における道路の有する効果については、産業面と生活面に分類し検討した。産業分野に関しては、産業関連表に示される主要 13 分野別に検討した。金融・保険、不動産、通信・放送を除く分野において迅速性、安全性等の効果を抽出した。生活面に関しては、パーソントリップ調査等において用いられている交通目的（通勤、通学、帰宅、私用目的及び業務目的）別に道路交通の効果について検討した。次に、災害発生時における道路整備効果については、災害発生後のフェーズ（緊急対応期、災害復旧期及び災害復興期）別に道路の担う機能を検討した。また、特に阪神・淡路大震災における全国からの広域支援時の道路利用状

例) 事前通行規制区間が解消され観光ルートとしての活用が高まるオプション効果計測の可能性

- 本オプション効果は交通量により表現できると仮定し、例えば以下の値とする。
 - 観光目的以外の交通需要量 ⇒ 規制なし3万台/日、規制有り1万台/日
 - 観光交通需要量 ⇒ 観光ルート2万台/日、観光ルートでない0万台/日 (観光ルートに規制がある場合は0万台/日)
- 当該ルートが規制ルートまたは観光ルートである確率
 - 規制の有無について ⇒ 規制ルートでない確率 α 、規制ルートの確率 $(1-\alpha)$ 。ここで、 α =規制区間延長/管理総延長
 - 観光ルートについて ⇒ 観光ルートの確率 β 、観光ルートでない確率 $(1-\beta)$ 。
ここで、 β =観光地■km圏内道路延長/管理総延長

3. 期待値 (交通量単位 万台/日)

		規制ルート	
		なし	有り
観光ルート	有り	・交通量=3+2=5 ・観光ルートかつ規制なしの確率= $\alpha \times \beta$ ・期待値= $5\alpha\beta$	・交通量=1+0=1 ・観光ルートかつ規制有りの確率= $(1-\alpha) \times \beta$ ・期待値= $1(1-\alpha)\beta$
	なし	・交通量=3+0=3 ・観光ルートでなく規制なしの確率= $\alpha \times (1-\beta)$ ・期待値= $3\alpha(1-\beta)$	・交通量=1+0=1 ・観光ルートでなく規制有りの確率= $(1-\alpha) \times (1-\beta)$ ・期待値= $1(1-\alpha)(1-\beta)$

4. オプション効果

= $5\alpha\beta - 1(1-\alpha)(1-\beta) = -1 + \alpha + \beta + 4\alpha\beta$ 。本計算方法をベースに、他の条件も併せて定式化し定量化する。

図-1 オプション効果算出可能性に関する試算例

況について、全国の消防本部が被災地へ移動する際に緊急ルートとして高速道路が活用された事例を分析した。平常時及び災害発生時の道路の整備効果を網羅的に抽出した結果のうち平常時の結果を表-1に示す。抽出した効果について、さらに、災害時にも維持する必要性に基づき3段階に分類した。今後、これらの結果をもとに各効果項目への重み付け等がなされ統合評価手法の確立に反映する予定である。また、オプション効果算出手法について検討し、観光ルートにおける通行規制の有無の影響を交通量を基に試算した(図-1)。

以上の検討結果を踏まえ、道路網の重要ルートを抽出する評価指標を検討した。平常時・災害時それぞれにおいて直接、間接及びオプション的な効果を検討してきたことから、評価指標として特定の1つの指標を利用するのではなく、複数の評価指標を組み合わせた重要ルート判定シナリオとすることとし、そのシナリオスケルトンを作成した(図-2)。今後このスケルトンに対し表-1から適切に評価指標を付与し具体的手法としていく予定である。

表-1 道路の効果及び各効果の災害時における効果維持の必要性

効果区分	道路を通行できる・道路が存在する効果			
	直接効果	間接効果	オプション効果	
平常時の道路の効果	低廉性	輸送コストの低減	収益の増加	企業等の立地
	迅速性	輸送時間の短縮	サービス価値・価格の保全・向上	サービスの信用、人気の上昇
	安定性	サービスの恒常的提供	輸送ロス(渋滞など)の減少	サービスの信用、人気の上昇
		ライフライン等の収容		企業、住宅等の立地
	安全性	交通事故損失の減少	収益の増加	サービスの信用、人気の上昇
		輸送コストの減少	事故の時間損失の減少	教育施設等の立地
	効率性	輸送コストの減少	収益の増加	住宅立地、地価の上昇
		快適性	運搬負担の減少	事故等の削減
			都市空間の確保	住宅立地、企業立地

凡例：災害時にも平常時の道路の効果をも維持する必要 最も高い：■ 高い：□ 他を優先する：□

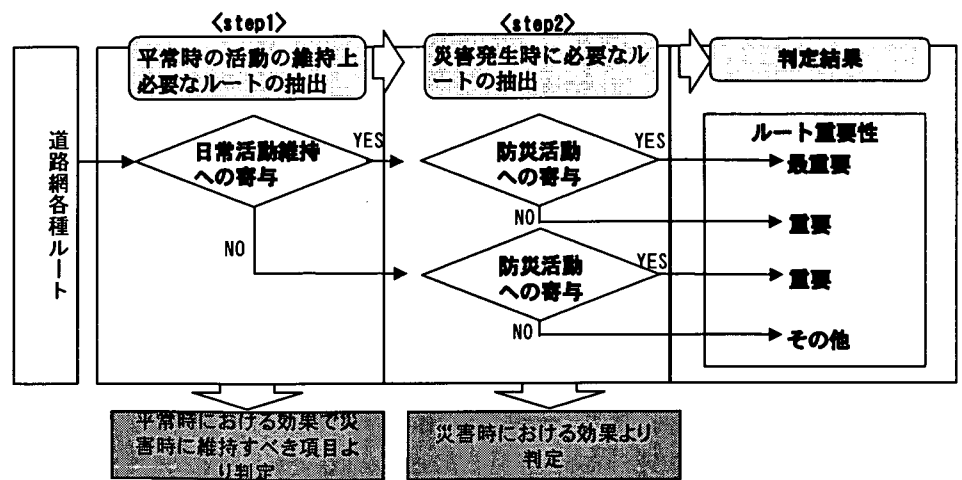


図-2 防災重要ルートの抽出シナリオ

【成果の活用】

阪神淡路大震災時の広域支援を支えた道路網の分析結果は社会資本整備審議会道路分科会部会にて示された。今後は、本検討結果をルート重要度や事業優先度評価手法に反映していく予定である。

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)

危機管理技術研究センター地震防災研究室	主任研究官	片岡 正次郎
Research Center for Disaster Risk Management	Senior Researcher	Shojiro KATAOKA
Earthquake Disaster Prevention Division	研究員	松本俊輔
	Research Engineer	Shunsuke MATSUMOTO

〔研究目的及び経緯〕

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。14年度は、兵庫県南部地震の際に神戸大学及び神戸海洋気象台で得られた強震記録をもとに、当該地点における基盤層以浅の地盤構造の影響を取り除く逆解析を実施し、ダムサイト岩盤に相当する堅い基盤層における震源近傍の地震動を推定した。推定した基盤地震動の最大加速度は $300\sim 400\text{cm/s}^2$ 程度であり、兵庫県南部地震の際にダムサイト岩盤で観測された最も大きな最大加速度 (183cm/s^2) よりもかなり大きいことが分かった。

地方整備局等依頼経費

1.6. 河川施設の強震計の点検調査

研究期間：平成14年度

担当者：室長：日下部毅明 主任研究官：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。

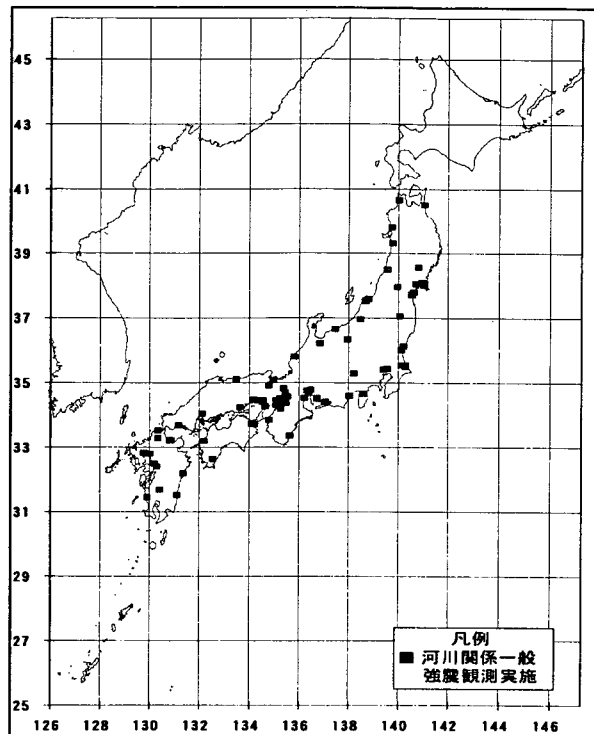


図-1 河川施設の強震計設置状況

1. 研究方法

1-1 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14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く81観測所288感震器（間隙水圧計含む）の保守点検を実施した。

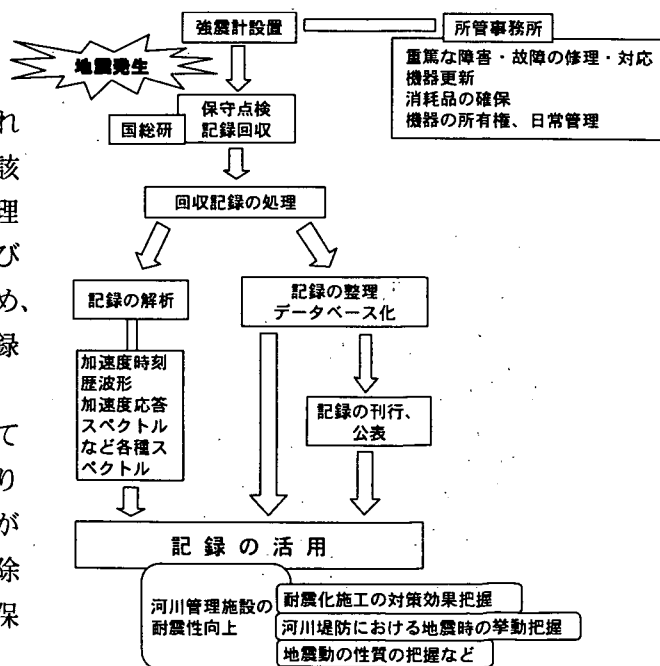


図-2 強震計点検、記録利用に関するフロー

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			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			阿武隈川堤防観測所	淀川大堰
					関上観測所	上黒田
					中下震動観測所	木津
	北上川下流工事事務所	小塚震動観測所			山崎震動観測所	西島
					新田町震動観測所	西島
					雄物川堤防観測局	本庄
	秋田工事事務所	米代川堤防観測所			毛馬	
	能代工事事務所	河川防災ステーション観測所			木屋	
	山形工事事務所	最上川堤防観測所			伊加賀西	
	酒田工事事務所	郡山観測所			山崎	
福島工事事務所	佐原出張所	藤ノ木				
関東	利根川下流工事事務所	小見川出張所	榎島			
	利根川下流工事事務所	鶴川観測所	大山崎			
	霞ヶ浦工事事務所	内川水門 水戸出張所	伝法			
	常陸工事事務所(太田)	久慈川堤防	久慈川堤防	大和川		
			松戸出張所(江戸川堤防)	渡中州		
	江戸川工事事務所	鹿浜橋	紀南工事事務所	鮎田		
	荒川下流工事事務所	阿賀野川堤防	福井工事事務所	片川		
	阿賀野川工事事務所	やすらぎ堤(白山)	倉吉工事事務所	田後(たじり)		
	北陸	信濃川下流工事事務所	信濃川水門	岡山河川工事事務所	百間川右岸(沖元)	
			やすらぎ堤(関屋大川前)	太田川工事事務所	太田川堤防	
新潟大堰			山口工事事務所	佐波川堤防(植松)		
信濃川工事事務所		妙見堰	徳島工事事務所	徳島		
富山工事事務所		姫川堤防	石井堤防	石井堤防		
千曲川工事事務所		神通川堤防	中村工事事務所	四方十川堤防		
中部	木曾川下流工事事務所	赤沼	遠賀川工事事務所	川島観測所		
		豊川地震観測所	遠賀川工事事務所	遠賀川河口堰		
		木曾川堤防(木曾岬)	筑後川工事事務所	大授観測所		
		木曾川堤防(新所)	熊本工事事務所	紅粉屋観測所		
	木曾川堤防(西川)	木曾川堤防(福原)	熊本工事事務所	白川(小島)観測所		
	木曾川堤防(伊豆長岡出張所)	伊豆長岡出張所	菊池川工事事務所	菊池川堤防地震計		
	沼津工事事務所	安倍川堤防	大分工事事務所	中津出張所		
	静岡河川工事事務所	鈴鹿川強震観測所	山国川ダム堰統合管理事務所	中津大堰		
三重工事事務所	庄内川強震観測所	宮崎工事事務所	大淀川堤防観測所			
庄内川工事事務所	加吉川大堰	延岡工事事務所	浜砂観測所			
近畿	姫路工事事務所	大島	川内川工事事務所	高江地震観測所		
			武雄工事事務所	京町地震観測所		
				六角川河口堰		
				六角川堤防強震計		

2. 研究結果

2-1 取得記録

平成14年度に実施した保守点検では点検作業と同時に2002年から2003年2月までに発生した109地震による観測記録を回収した。記録を取得した観測所は延べ222観測所である。記録が回収できた震度4以上の地震諸元を表-3に示す。

表-3 震度4以上を記録した地震のうち記録取得地震一覧¹⁾

発生日時		震央地名	震源					最大震度	記録取得観測所数	
年月日	時刻		北緯		東経		深度			
			度	分	度	分	km	M		
2002年01月27日	16時09分	岩手県沖	39	18.9	142	24.9	46	5.3	4	阿武隈大堰 他 4箇所
2002年02月11日	10時09分	茨城県沖	35	46.9	141	05.5	35	5	4	佐原 他 2箇所
2002年02月12日	22時44分	茨城県沖	36	35.1	141	05.1	48	5.5	5弱	高瀬川堤防 他 8箇所
2002年04月06日	01時57分	愛媛県南予地方	33	25.5	132	31.9	42	4.5	4	四方十川堤防
2002年05月04日	20時35分	千葉県北東部	35	27.6	140	24.5	32	4.6	4	佐原 他 1箇所
2002年05月12日	10時29分	岩手県内陸南部	39	08.9	141	09.4	96	5.1	4	阿武隈大堰 他 5箇所
2002年06月14日	11時42分	茨城県南部	36	12.7	139	58.8	57	4.9	4	中下 他 4箇所
2002年07月13日	21時45分	茨城県南部	35	59.7	140	07.6	65	4.8	4	中下 他 3箇所
2002年07月24日	05時05分	福島県沖	37	13.7	142	19.1	30	5.7	4	阿武隈大堰 他 6箇所
2002年08月18日	09時01分	福井県嶺北地方	36	07.5	136	10.8	11	4.5	4	木曾川新所 他 2箇所
2002年09月08日	01時45分	宮城県北部	38	36.2	141	08.8	8	3.8	4	山崎
2002年09月16日	10時10分	鳥取県中・西部	35	22.0	133	44.5	10	5.3	4	舞鶴
2002年10月13日	19時06分	豊後水道	33	20.7	132	21.5	43	4.7	4	四方十川堤防 他 1箇所
2002年11月03日	12時37分	宮城県沖	38	53.6	142	08.5	46	6.1	5弱	阿武隈大堰 他 6箇所
2002年11月04日	13時36分	日向灘	32	24.5	131	52.3	35	5.7	5弱	紀ノ川堤防 他 3箇所

2-2 点検結果

保守点検により28観測所において何らかの異常または障害が発見された。

参考文献

- 1) 地震・火山月報(防災編) 気象庁

地震計ネットワーク情報の活用

Utilizing grand motion characteristics obtained by the seismograph network

(研究期間 平成 13 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
Research Center for Disaster Risk Management Senior Researcher Yasushi Ohtani
Earthquake Disaster Prevention Division

[研究目的及び経緯]

国土交通省では、地震直後における河川・道路等の所管施設の被災地域の特定や被災状況の把握を目的として、全国的な地震計ネットワークを設置している。この地震計ネットワークは、国土交通省の事務所、出張所あるいは道路、橋等の所管施設近傍の地盤（地表面）上に、20～40 km間隔で全国約 700 箇所の観測点を整備し、無線回線などによりオンライン化を図っている。このネットワークにより収集される地震情報は、各現場における地震後の初動体制を支援することを主目的としているが、地震計の観測情報が有益であることから、その活用の一環として、平成 12 年 6 月以降の観測情報を、国総研のHPで公開している。観測情報の公開対象地震は、地震計ネットワークで 4 以上の震度階相当値が観測された地震についてであり、公開している地震動観測情報は、最大加速度と S I 値の 2 種類である。

平成 14 年度に公開対象となった地震は、全国で 12 回発生している。最も多く地震を検知したのは関東地方整備局管内の 5 回であった。逆に北陸地方整備局および中部地方整備局管内では、公開対象となる地震の検知は無かった。また、平成 14 年度に観測データを公表しているHPへのアクセス数は約 900 件であった。