

サステナブル都市システム研究委員会（RC-39）

防災 WG 報告書

平成 19 年 3 月

東京大学生産技術研究所

都市基盤安全工学国際研究センター

まえがき

都市基盤安全工学国際研究センター(ICUS)では、都市の安全問題のみならず、地球環境問題の視点から膨大な社会資本ストックへの対応および環境破壊問題への対応など、今後、持続的な社会の構築のために必要となる事項を都市基盤に携わる技術者・研究者の視点から検討することを目的として、(財)生産技術研究奨励会の特別研究会として、平成 14 年から 2 年間、「サステナブル構造システム研究委員会」(RC-39)を発足し、活動を行った。この委員会では、①老朽化構造物 WG、②防災 WG、③都市環境 WG、④地球環境 WG、⑤モニタリング WG のそれぞれの立場から、サステナブルな都市構造とは何か、また現在の都市が内包している問題点は何かを抽出することを一応の活動成果とした。

平成 16 年度から新たに 2 年間の予定で「サステナブル都市システム研究委員会」(RC-39)として衣替えを行い、前研究委員会の成果を引継ぎつつ、サステナブルな都市を実現するためのより具体的なアクションについて模索することをその目的としている。WG も①老朽化構造物 WG、②防災 WG、③環境 WG の 3 つに絞り、更に具体性を高めた研究テーマに取り組んできた。老朽化構造物 WG では老朽化構造物の管理システムに関する研究、防災 WG では災害情報データベースの構築、耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品の開発、環境 WG では環境・災害の評価・予測シミュレーションのためのデータベース作成をターゲットとし、活動成果を報告書としてまとめた。

これらの研究成果が今後、この分野における発展の一助となれば幸いである。最後に本研究委員会は、平成 19 年 3 月をもって活動を終えるが、終始熱心なご協力をいただいた委員諸氏ならびに関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 19 年 3 月

サステナブル都市システム研究委員会
委員長 魚本健人

サステナブル都市システム研究委員会 (平成 18 年度)
委員会名簿

委員長	魚本 健人	東京大学生産技術研究所 教授
委員	安岡 善文	東京大学生産技術研究所 教授
	目黒 公郎	東京大学生産技術研究所 教授
	林 省吾	東京大学生産技術研究所 客員教授
	天野 玲子	東京大学生産技術研究所 客員教授 (* 鹿島建設株 土木管理本部)
	桑野 玲子	東京大学生産技術研究所 助教授
	沖 大幹	東京大学生産技術研究所 助教授
	大岡 龍三	東京大学生産技術研究所 助教授
	加藤 佳孝	東京大学生産技術研究所 助教授
	宮崎 早苗	東京大学生産技術研究所 客員助教授
	須崎 純一	東京大学生産技術研究所 講師
	遠藤 貴宏	東京大学生産技術研究所 助手
	吉村 美保	東京大学生産技術研究所 助手
	マヨルカ パオラ	東京大学生産技術研究所 特任助手
	今村 遼平	アジア航測(株) 技術統括部
	滝川 正則	アジア航測(株) システム開発部 情報システム課
	永井 正和	アジア航測(株) 東北コンサルタント部 施設構造課 (橋梁グループ)
	野田 浩二	アジア航測(株) 新規事業部 システムインテグレートプロジェクト
*	三富 創	アジア航測(株) 防災地質部 防災地質課
*	副島 紀代	(株)大林組 技術研究所 土木構造研究室
	松田 隆	(株)大林組 技術研究所 土木構造研究室
	渡辺 哲	(株)大林組 技術研究所 土木構造研究室
	岡本 卓慈	(株)計測リサーチコンサルタント 代表取締役
*	松井 義昌	(株)計測リサーチコンサルタント 東京事業部 保全技術担当
*	肥田 研一	(有)K&T こんさるたん と 代表取締役
*	藤田 久和	(株)建設企画コンサルタント 東京事業本部 技術センター
*	石田 辰英	(株)建設技術研究所 東京本社 社会システム部 アセットマネジメント室
	北村 隆理	(株)建設技術研究所 東京本社 社会システム部 アセットマネジメント室
	山根 立行	(株)建設技術研究所 東京本社 社会システム部 アセットマネジメント室
	河合 剛匡	国際航業(株) 技術センター
	河合 雅己	国際航業(株) デジタルセンシングセンター 地球環境グループ
*	瀬戸島 政博	国際航業(株) 技術センター
	寺田 晃	国際航業(株) 道路計画部
	船橋 学	国際航業(株) デジタルセンシングセンター 地球環境グループ
	山崎 淳	国際航業(株) 防災部
*	小松 正典	三協(株) 技術営業部
	佐藤 登	三協(株) 代表取締役

	岡田 敬一	清水建設(株) 技術研究所 インキュベートセンター
*	栗田 守朗	清水建設(株) 技術研究所 社会基盤技術センター
	柴 慶治	清水建設(株) 技術戦略室 企画部
	高橋 郁夫	清水建設(株) 技術研究所 施設基盤技術センター 計画技術グループ
	田中 博一	清水建設(株) 技術研究所 社会基盤技術センター
	平間 敏彦	清水建設(株) エンジニアリング事業本部
*	志波 由紀夫	大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 防災・耐震チーム
*	安藤 慎一郎	(株)竹中土木 技術本部 技術グループ
	田中 芳行	(株)竹中土木 技術本部 企画グループ
	松本 由美子	(株)竹中土木 技術本部 技術グループ
	和田 直也	(株)竹中土木 技術研究所 建設技術開発部 材料部門
	高田 励	TEPCOトレーディング(株)出向
*	中井 秀信	東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター 都市土木技術グループ
	中嶋 まどか	東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター 建築設備技術グループ
	貫井 泰	東京電力(株) 建設部 土木・建築技術センター 建築構造技術グループ
*	福島 誠一郎	東電設計(株) 技術開発本部 防災プロジェクト部 防災技術グループ
	玉置 一清	三井住友建設(株) 技術研究所 土木研究開発部 PC 構造研究室
*	山田 哲也	三井住友建設(株) 技術研究所 研究開発管理部 知的財産室
事務局	金田 尚志	東京大学生産技術研究所 特任助手

*印:幹事

防災WG 平成18年度報告書

目次

まえがき

委員会の構成

研究目的

1. 研究概要	1
1. 1 研究目的	1
1. 2 研究内容	1
1. 2. 1 SWG-1(災害情報データベースの構築法)の活動概要	1
1. 2. 2 SWG-2(耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品の開発)の活動概要	2
2. 災害情報データベースの構築に関する研究	3
2. 1 水道局の地震時対応業務に関する調査と考察	3
2. 1. 1 新潟県中越地震を例にしたKJ 法による検討	4
2. 1. 2 兵庫県南部地震における水道局の対応と情報の流れ	8
2. 2 兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応の事例研究	12
2. 2. 1 はじめに	12
2. 2. 2 神戸市水道局の概要	13
2. 2. 3 兵庫県南部地震時の被害の概要	15
2. 2. 4 兵庫県南部地震時の神戸市水道局の対応記録に基づく災害情報データベースの構築	18
2. 3 災害情報データベースに関する提案	30
2. 3. 1 外部組織との連携	30
2. 3. 2 画像の共有化	32
2. 3. 3 情報の収集・仕分け	37
2. 3. 4 リモートセンシング技術の活用	39
2. 3. 5 災害対応の履歴の残るシステム	44
2. 3. 6 SCP(Service Continuity Program)を目指して	46
2. 4 まとめと課題	48
3. 耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度	49
3. 1 はじめに	49
3. 1. 1 第3章の構成	49
3. 1. 2 耐震補強推進の必要性和課題	49
3. 1. 3 リスクファイナンス技術	51

3. 2 個別建物に対する提案制度モデルの適用(スタディⅠ)	52
3. 2. 1 提案制度モデルの概要	52
3. 2. 2 設計手順	53
3. 2. 3 パラメトリックスタディ	55
3. 2. 4 考察	70
3. 3 複数建物に対する提案制度モデルの適用(スタディⅡ)	71
3. 3. 1 適用の分類	71
3. 3. 2 検討手順	72
3. 3. 3 検討事例	73
3. 4 シナリオ地震に対する提案制度モデルの適用	76
3. 5 地震リスクマネジメント制度の比較	79
3. 5. 1 はじめに	79
3. 5. 2 地震リスクマネジメント制度の分類	80
3. 5. 3 ゲーム理論に基づく耐震補強推進制度の分析	83
3. 5. 4 提案制度モデルと耐震補強保証制度(吉村モデル)の比較検討	90
3. 5. 5 まとめ	96
3. 6 まとめ	98
参考文献	100
4. まとめ	101
5. 活動経過	102
謝辞	110
付録1. 専門家による講義	111
A1-1. 村尾修氏(筑波大学)の講義	111
A1-2. 平山修久氏(人と防災未来センター)の講義	112
A1-3. 坪川博彰氏(防災科学技術研究所)の講義と意見交換	115
付録2. 神戸市水道局ヒアリング概要	116
A2-1. 奥平野浄水管理・工事事務所の神田敏一主幹へのヒアリング調査	116
A2-2. 神戸市水道局技術部配水課の松下眞主幹へのヒアリング調査	118
付録3. 第1回防災計画研究会論文及び発表用資料	122

研究目的

20 世紀の我国は欧米諸国に追いつくことを最大目標に、産業の育成、設備の拡充、新製品の製造等に全力を尽くしてきた。その結果、経済は高度に成長し、我国は世界的に見ても裕福な国に変貌した。都市基盤設備のストック状況として、橋梁を例にとると、1950 年からピーク時の 1970 年頃まで年平均約 2500 の橋梁が新設され、現在約 13.6 万橋のストックが存在しているといわれている。これは、日本の全人口で考えれば、約 1000 人に 1 橋の割合で存在していることとなる。年平均 2500 橋が新設されてきたということは、今後、同程度の割合で維持管理(長寿命化)あるいは更新をすることを物語っており、更新は大量の建設廃棄物が発生することに直結してくる。更に、高度経済成長の代償として地球温暖化に代表される環境破壊が問題視され、温室効果ガス的大幅な削減、最終処分場の逼迫や天然資源の消費抑制のために循環型社会形成が急務であるとされている。今後、日本の人口が減少していく状況で、これまでの大量生産・大量消費型から脱却し、全く異なる視点で膨大な社会資本ストックを管理していかなければならない。

都市基盤設備は、大量の資源(天然、リサイクル)が投入され、製造・施工過程を経て建造されるサービスを開始する。このとき、全ての場面において環境負荷が発生すると考えられる。例えば、天然資源を利用すること、製造・施工時の環境汚染、都市基盤設備を利用することによる環境負荷、更新時に発生する産業廃棄物など。また、都市基盤設備は、供用期間中に様々な環境作用(荷重、炭酸ガス、塩化物イオンなど)を受けることにより、構造性能が低下し、社会情勢の変化に伴いユーザーニーズに合致しなくなるなど、その機能は経時的に変化する。更に、地震、洪水、火災などの突発的に発生する環境作用によって、その機能が著しく低下することがある。

このように、都市基盤の観点から考えると、「都市基盤設備自体に関する問題」とそれが与える「環境インパクトに関する問題」を解決していくことが、持続的な生存を可能とするためには必要不可欠であるといえる。そこで、本委員会では、都市基盤設備自体の問題として「老朽化構造物」、「防災」、「環境」を取り上げ、検討している。都市基盤設備自体の問題は、膨大な社会資本ストックの有効活用および災害に強い社会システムの形成により、常時・非常時への対策を検討し、環境インパクトは、都市基盤設備のライフサイクルにおける環境への影響を検討している。平成 16 年度から「老朽化構造物 WG」、「防災 WG」、「環境 WG」の 3 つワーキングを軸に以下の研究テーマに取り組んできた。

- ①老朽化構造物の管理システムに関する研究
- ②災害情報データベースの構築、耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品の開発
- ③環境・災害の評価・予測シミュレーションのためのデータベース作成

今年度のそれぞれの分野における研究成果をまとめ、各 WG 別冊で報告書を発行する。

防災 WG 名簿

氏名	会社名	所属
目黒 公郎	東京大学生産技術研究所	ICUS 教授
天野 玲子	東京大学生産技術研究所	ICUS 客員教授
桑野 玲子	東京大学生産技術研究所	ICUS 助教授
吉村 美保	東京大学生産技術研究所	ICUS 助手
今村 遼平	アジア航測(株)	技術統括部
野田 浩二	アジア航測(株)	サステイナブル空間情報事業部 新規事業部
三富 創	アジア航測(株)	関東支社 関東防災地質部
副島 紀代	(株)大林組	技術研究所 土木構造研究室
深沢 哲也	鹿島建設(株)	土木管理本部 土木技術部
山崎 淳	国際航業(株)	防災部
高橋 郁夫	清水建設(株)	技術研究所 施設基盤技術センター
平間 敏彦	清水建設(株)	エンジニアリング事業本部
志波 由紀夫	大成建設(株)	土木技術研究所 土木構工法研究室
田中 芳行	(株)竹中土木	技術本部 企画グループ
松本 由美子	(株)竹中土木	技術本部 技術グループ
高田 励	東京電力(株)	建設部 海外事業グループ
貫井 泰	東京電力(株)	建設部 土木・建築技術センター
福島 誠一郎	東電設計(株)	技術開発本部 防災プロジェクト部
山田 哲也	三井住友建設(株)	技術研究所 研究開発管理部 知的財産室

RC39 防災WG 平成18年度報告書

編集担当者

1. 研究概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 高橋
 1. 1 研究目的
 1. 2 研究内容
 1. 2. 1 SWG-1（災害情報データベースの構築法）の活動概要
 1. 2. 2 SWG-2（耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品の開発）の活動概要
2. 災害情報データベースの構築に関する研究・・・・・・・・・・（総合編集）野田
 2. 1 水道局の地震時対応業務に関する調査と考察・・・・・・・・ 高橋
 2. 2 兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応の事例研究
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 吉村・貫井・高橋
 2. 2. 1 はじめに
 2. 2. 2 神戸市水道局の概要
 2. 2. 3 兵庫県南部地震時の被害の概要
 2. 2. 4 兵庫県南部地震時の神戸市水道局の対応記録に基づく災害情報データベースの構築
 2. 3 災害情報データベースに関する提案
・・・・・・・・・・・・・・・・ 松本・田中・吉村・野田・志波・高橋・貫井・三富
 2. 3. 1 外部組織との連携
 2. 3. 2 画像の共有化
 2. 3. 3 情報の収集・仕分け
 2. 3. 4 リモートセンシング技術の活用
 2. 3. 5 災害対応の履歴の残るシステム
 2. 3. 6 SCP(Service Continuity Program)を目指して
 2. 4 まとめと課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 野田
3. 耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度・・・・・・・・（総合編集）山田
 3. 1 はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 山田
 3. 1. 1 第3章の構成
 3. 1. 2 耐震補強推進の必要性和課題
 3. 1. 3 リスクファイナンス技術
 3. 2 個別建物に対する提案制度モデルの適用（スタディⅠ）・・・・ 山田・福島
 3. 2. 1 提案制度モデルの概要
 3. 2. 2 設計手順

3. 2. 3	パラメトリックスタディ	
3. 2. 4	考察	
3. 3	複数建物に対する提案制度モデルの適用（スタディⅡ）	山田
3. 3. 1	適用の分類	
3. 3. 2	検討手順	
3. 3. 3	検討事例	
3. 4	シナリオ地震に対する提案制度モデルの適用	山田
3. 5	地震リスクマネジメント制度の比較	山田・吉村
3. 5. 1	はじめに	
3. 5. 2	地震リスクマネジメント制度の分類	
3. 5. 3	ゲーム理論に基づく耐震補強推進制度の分析	
3. 5. 4	提案制度モデルと耐震補強保証制度（吉村モデル）の比較検討	
3. 5. 5	まとめ	
3. 6	まとめ	山田
	参考文献	
4.	まとめ	志波
5.	活動経過	松本
	謝辞	
付録 1.	専門家による講義	高橋・山田
A1-1.	村尾修氏(筑波大学)の講義	
A1-2.	平山修久氏(人と防災未来センター)の講義	
A1-3.	坪川博彰氏(防災科学技術研究所)の講義と意見交換	
付録 2.	神戸市水道局ヒアリング概要	高橋・野田・志波
A2-1.	奥平野浄水管理・工事事務所の神田敏一主幹へのヒアリング調査	
A2-2.	神戸市水道局技術部配水課の松下眞主幹へのヒアリング調査	
付録 3.	第1回防災計画研究会論文及び発表用資料	山田

1. 研究概要

1.1 研究目的

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震は、阪神地域に甚大な被害をもたらし、また多くの人々の命を奪った。今日に至っても、この大地震は大きな爪痕を残し、改めて地震災害の脅威を知らされることとなった。また、その後も日本では大きな地震がたびたび発生し、近年では平成16年10月に新潟県中越地震が発生し、今なお震災対応は続いている。

地震国日本においては地震災害の問題を避けることは不可能であり、今後発生する可能性が高いと指摘されている東海・東南海・南海地震、宮城県沖地震などが現実起こってしまう前に、可能な限りの対策を施すことが急務となっている。兵庫県南部地震や新潟県中越地震では数々の地震対策に関する課題が浮き彫りとなり、日本の地震対策のあり方に関してにわかに議論が活発になってきたものの、具体的な対策が急ピッチで進められているという状況にはない。

このような地震災害の現状を鑑み、「RC-39 サステナブル都市システム研究会」の防災WGは、地震発生後の二次災害防止や早期復旧の観点から災害情報データベースのあり方に関する問題点の抽出と提言、および都市における地震被害を低減させるための建物の耐震化促進に関する提案を行うことを目的として研究を行う。

1.2 研究内容

平成14年度および15年度にわたり、「RC-39 サステナブル構造システム研究委員会」の防災WGでは、「テロなどをはじめとする人為災害」および「地震防災上の最重要課題である既存不適格建物の耐震補強を推進させる制度」の2つの課題に対して検討を行ってきた。

平成16年度から新たに始まった「RC-39 サステナブル都市システム研究委員会」では、防災に関するWGを継続し、このWGでは地震災害を中心とした二つの研究テーマを扱うことにした。一つは、災害情報を有効に活用するためのデータベースの構築に関する検討であり、もう一つは、耐震補強を促進する新たな考え方を導入した制度の検討である。

なお、本報告書は、主として平成17年度および18年度の研究内容をまとめたものである。活動全体の流れの理解を助けるため、平成16年度の活動内容も記述の一部に含めた部分がある。

1.2.1 SWG-1(災害情報データベースの構築に関する研究)の活動内容

地震災害が発生した場合には、刻々と変化する災害対応では、災害の発生状況や復旧状況、他の組織の活動状況等の災害に関する様々な情報を効率的に活用することによって、災害の拡大や2次災害の防止、災害復旧の効率化や迅速化が可能になる。しかしながら、これまでに発生した大地震では、詳細な対応の記録が残っていないこともあり、災害情報がどのように活用され、災害対応が行われてきたか、またどのような問題点がそこに存在したかに関して、必ずしも十分な検討がなされているわけではない。

このような現状を踏まえ、国が進める防災情報システムのプロジェクトでは、災害情報を空間精度、時間精度、数量精度の視点から整理を行っている。本 SWG-1 では、この検討内容を参考にしながら、災害情報データベースの構築に関する研究を進めていくことにした。

具体的には、以下のような手順によって検討を行った。

①災害に対する危機管理に関する情報収集

進行中の関連研究テーマ（科学技術振興調整費の研究テーマなど）について、有識者を招いて研究概要について講義を受け、国や研究機関の研究動向を把握し、災害情報データベース構築の位置付けや方向性を明確にする。

②災害イメージネーションに関する体験的学習

本 WG のメンバーである目黒教授が提唱する目黒メソッドを用いて、各委員が地震発生時に時間経過と共に発生する事象を体験的に学習する（平成 16 年度）。これは各自のイメージネーション能力の把握や災害情報の整理の試行といった前段階的な検討として位置付けられる。また、KJ 法を用いて、新潟県中越地震時の長岡市水道局の対応を例に、理想的な対応と災害対応に必要な情報についてのブレインストーミングを行い、災害対応のイメージをふくらませるための検討を行う。

③災害データベースの構築法に関する事例研究

兵庫県南部地震における神戸市水道局の災害対応を、災害情報の流れに着目して時間経過に沿って整理する。基本的な検討方法としては、被害調査報告書に書かれた災害対応記録を時間軸に沿って整理する方法を採る。また、十分な情報がない部分については、当時の対応に当たった神戸市水道局の職員へのヒアリングを実施する。整理作業の中で、災害情報はどの部署からどのようなタイミングでどの部署に対して伝達され、それによってどのようなアクションが取られているか、災害情報はどのような形や手段で伝わっているかなどに着目する。また、ヒアリング調査では、当時の災害対応の他に、地震発生当時の災害対応が現在ではどのように改善されてきているかも併せて調査を行う。

この神戸市水道局の災害対応の事例研究を通して、災害情報データベースの構築に関する課題抽出を行う。

④災害情報データベースの構築法に関する提案

以上の検討を踏まえ、SWG-1 の成果として、災害情報データベースの構築法に関する提言をまとめる。

1.2.2 SWG-2(耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度の開発)の活動概要

地震災害における減災の基本は都市における住宅の耐震性を高めることであるが、兵庫県南部地震から 10 年を経た今日においても、未だに既存不適格建物は存在し、具体的かつ有効な地震リスクマネジメントが行われている状況にはない。地震リスクマネジメントは、耐震補強を推進するリスクコントロールと保険などで被害を補填するリスクファイナンスに大別され、それぞれにおいて様々な取り組みがなされているが、耐震補強・保険制度の普及の程度を見ると十分な成果が得られているとは言えない。

既存不適格建物の耐震補強が十分に進まない理由として以下の要因が考えられる。

①地震リスクを実感できない。

②耐震補強の効果を実感できないため、費用対効果を考えた場合、優先順位が低くなる。

これらより、耐震補強は、建物オーナーにとって、地震が発生した場合のリスクは低減できるが、逆に地震が発生しなかった場合の経済的負担のリスクが発生していると考えることができる。すなわち、耐震補強のために投じる費用は、建物の供用期間中に地震が発生しなかった場合には、無駄な投資になる可能性がある。これは一種の投資リスクと考えられ、この耐震補強投資リスクと地震リスクを比較した場合、前者のリスクが大きいと考えるオーナーは耐震補強を実施しないことになる。

このような状況を鑑み、SWG-2では、現状ではなかなか進まない住宅の耐震補強を促進するためのビジネスモデルを提案し、その効果や妥当性に関して検証を行う。そのために、耐震補強を推進するための各種制度を地震リスクマネジメント手法の観点から分析し、リスクファイナンス技術としてデリバティブを活用した制度を提案する。例として、建物所有者が必要とする耐震補強費用を、マグニチュードを指標としたデリバティブのオプションで賄う手法を提案し、地震ハザード特性・建物の耐震性・ペイオフ曲線等に関するパラメトリックスタディを実施する。また、本提案の制度上の特性を把握するために、既存の制度との相対的關係を、ゲーム理論などの社会科学分野の手法により比較検討する。

具体的な検討項目を示すと、以下のようになる。

- ①既存不適格建物の耐震補強に関する社会的環境
- ②耐震補強推進のためのリスクファイナンスモデルの提案
- ③個別建物に対する提案制度モデルの適用
- ④複数建物に対する提案制度モデルの適用
- ⑤シナリオ地震に対する提案制度モデルの適用
- ⑥地震リスクマネジメント制度の比較

2. 災害情報データベースの構築に関する研究

2.1 水道局の地震時対応業務に関する調査と考察

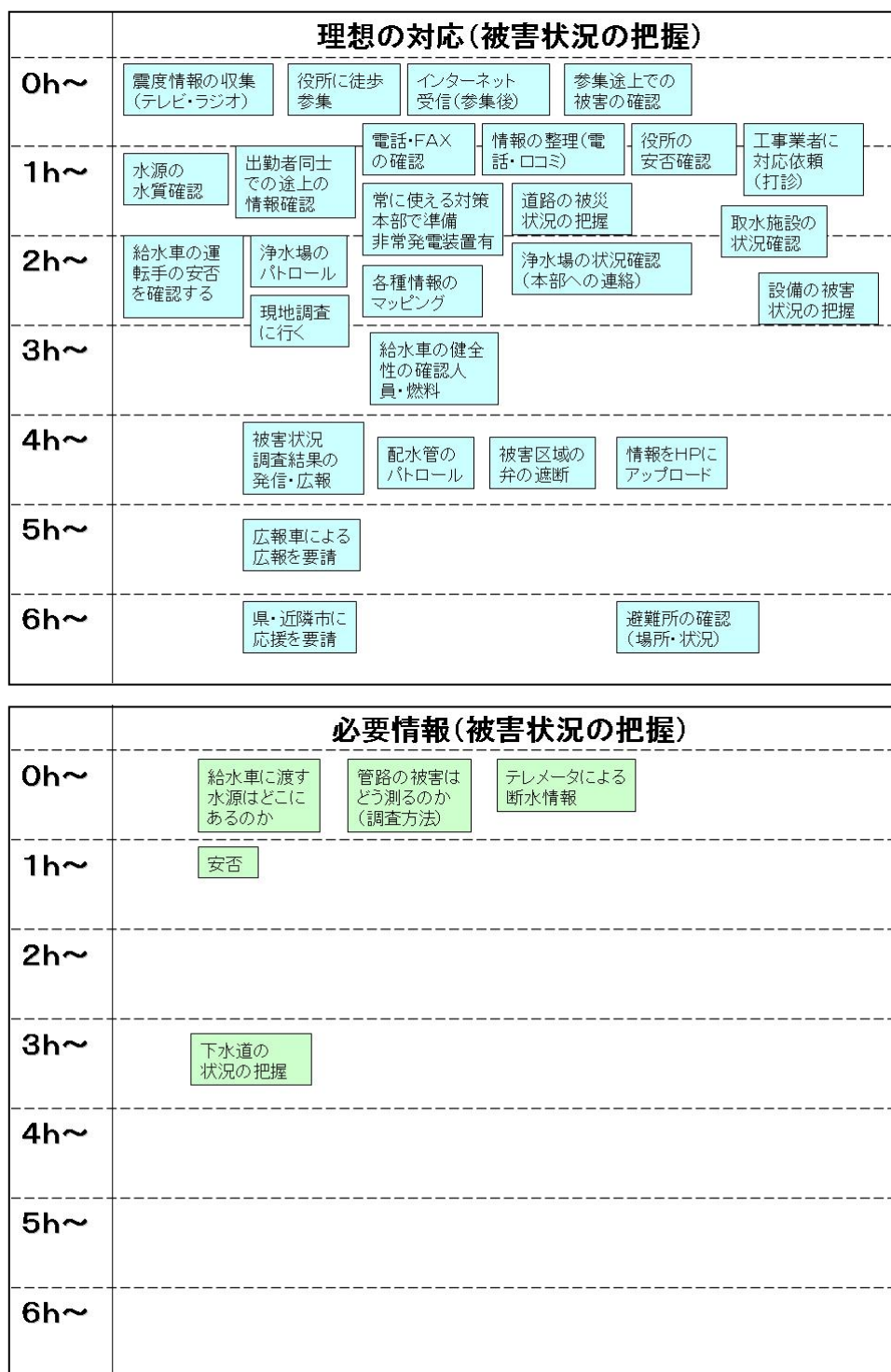
2.1.1 新潟県中越地震を例にした KJ 法による検討

新潟県中越地震の長岡市を例にとり、水道局の主な仕事である「被害状況の把握」、「応急給水」、「応急復旧」に関して、理想的な対応と行動に必要な情報を3班に分かれて KJ 法(*)により検討した。水道局の対応を本 SWG の検討の対象とした理由は、地震災害時には様々な関連部署や外部機関とのやりとりが発生するが、水道局は比較的他の組織とは独立した対応が多いと考えられ、基本検討を行う上で適切だったこと、我々の生活の身近なテーマであり、考えやすいと思われた点などにある。図 2.1-1(a)～(c)に水道局の対応に関する「理想の対応」と「必要な情報」について検討した結果を示す。

この整理結果を、兵庫県南部地震で実際に水道局といっしょに対応に当たった平山修久氏(人と防災未来センター専任研究員)に見てもらい、実際の対応や課題について議論を行った(議論の詳細は付録 1.に示す)。

(*) KJ 法 ～生涯職業能力開発促進センターHP¹⁾より～

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(紙キレ)に書き込み、それらのカードの中から近い感じのするもの同士を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していく。こうした作業の中から、テーマの解決に役立つヒントやひらめきを生み出していこうとするもの。



(a) 被害状況の把握

図2.1-1 水道局の対応に関する「理想の対応」と「必要な情報」

	理想の対応(応急給水)				
0h～	役所に向かいながら水道施設の被災状況を確認する	役所に向かいながら周辺状況を把握する(徒歩)(目視)			
1h～	自分の周りの通信施設電気等が使えるかを確認する	上司に確認できた範囲での被災状況を報告する(様式に記入する)	水道局内で収集している被災情報を知る		
2h～	備蓄している応急復旧資機材の実数を確認し各班間の在庫調整を行う	余震による浄水場配水施設及び道路などの被災状況を知る(口頭・電話聴き取り)	浄水場・配水施設の機能に支障が無いか確認する		
3h～	医療・福祉・老人施設等の被災状況から運搬給水の必要性を確認する(拠点給水)				
4h～	地震による水道の断減水の状況及び配水池等の緊急遮断弁の作動状況について消防本部に連絡する				
5h～	周辺の自治体に給水車・人の応援要請を行う	給水車・人の準備をする	「給水を開始する」という連絡を行う(防災行政無線)(給水車)	<拠点給水>浄水器を稼働し給水基地を設営し給水する	水をくみに行く
6h～	医療・福祉・老人施設・避難場所などに給水する※第1局面	飲料水・生活用水等の給水を行う※第2局面	飲料水が適切に消毒されてるかを確認する	<拠点給水>配水池・避難所等に給水施設を設けて給水する	

	必要情報(応急給水)				
0h～	水道施設の被害状況(近くにある配水場など)	断水の状況 家族の被災状況	テレビ・ラジオで地震の規模(震度)を知る		
1h～	配水場の被害状況	役所での通信手段の状況(電気・電話)	職員の被災状況(対応できる人の確保)	断水戸数 断水地域	余震後の被災状況(水道施設)
2h～					
3h～	給水車を必要としている場所(地域・避難所)	給水車の必要台数	給水車の応援が可能な自治体		
4h～	どこで飲料水が確保できるか(浄水場・配水施設)	飲料水の水質(給水可能か)			
5h～	給水にあたる人がいるか(運転手)	給水車の給水ルートの道路状況(通行止など)			
6h～					

(b) 応急給水

図2.1-1 水道局の対応に関する「理想の対応」と「必要な情報」

	理想の対応(応急復旧)			
0h～	TV・ラジオで 地震の情報収集	担当者や家族 自宅の安全の確認		
1h～	役所に行く	応急処置が必要な 箇所への対応		
2h～				
3h～				
4h～				
5h～				
6h～	被害復旧 能力の把握	シナリオマッチング の作業	水道関連の協会に業者の 復旧への参加可能性の 調査を依頼する	

	必要情報(応急復旧)			
0h～	地震の規模 震源位置			
1h～	停電の状況 (停電に依存した 断水か否か)	水道管の破損状況 (箇所・規模)	浄水場の 被害状況	緊急対応が必要な 箇所の情報
2h～				
3h～				
4h～				
5h～				
6h～	事前の被害 (復旧)シナリオ (被害復旧の優先度)	被害復旧能力 の把握	復旧資源の在庫 (人・機械)	

(c) 応急復旧

図2.1-1 水道局の対応に関する「理想の対応」と「必要な情報」

2.1.2 兵庫県南部地震における水道局の対応と情報の流れ

本SWGでは、災害情報データについて検討を行っているが、検討では地震災害発生時の水道局の対応を「(災害)情報」の流れとそれによる「対応」に着目している。

2.1.1では、新潟県中越地震を例にし、「被害状況の把握」「応急給水」「応急復旧」の3つの長岡市の水道局の役割を想定してKJ法を用いて自由に討議してその結果を整理した。さらに、次の段階として、この結果を踏まえた上で、兵庫県南部地震の際の神戸市の水道局の対応を既往の報告書の記述を追いながら時間軸に沿って整理を行った。兵庫県南部地震の対応となったのは、新潟県中越地震の水道局の対応に関してはまだまとまった資料を作成されていないことによる。

兵庫県南部地震時の神戸市水道局の対応に関しては、様々な「情報」をどこ(どの組織)からどのように収集し、それに基づいてどのような行動をしているのかに着目して整理を行う。地震発生時の水道局の仕事を「被害把握」「応援要請」「応急給水」「応急復旧」の4つ(「応援要請」を追加)に大別し、それぞれの段階で(ある時間フェーズで)の情報の流れに着目して整理を行う。この整理結果のチャートを「被害状況の把握」「応急給水」について各々図2.1-2、2.1-3に示す。また、写真2.1-1には検討の様子を示す。

既往の被害対応に関する報告書に記載された内容だけでは実際の対応を詳細に追うことは不可能であるため、神戸市水道局に出向き、実際の対応について再度ヒアリングを実施し、今度はより時間を追ってどのような情報がどのような経路で流れ、その結果としてどのような対応が取られたかを再整理した。「被害把握」「応急給水」「応急復旧」に関して整理した結果の一例を各々図2.2-4～2.2-6に示す。それぞれの対応は、資料やヒアリングの結果に基づくものであるが、十分な記録が残っていない部分があるため、推察による整理も含まれている。

兵庫県南部地震における神戸市水道局の特徴は以下ようになる。

①地理的特徴

- ・自己水源に乏しいため、企業からの送水に頼っているため主体的に水源確保(浄水場の復旧)ができなかった。
- ・土地の高低差が激しいため、自然流下、管路被害により配水池の水量を維持できなかった。

②対応の特徴

- ・運搬給水から仮設給水への移行に一考すべき点があった(運搬給水だと一度に給水できる量に限りがある点を考慮すべきであったとの反省がある)。
- ・管路復旧の優先順位決定に一考すべき点があった(まず被害の小さいエリアから復旧すべきだったとの反省がある)。

③時代の特徴

- ・テレメータシステムが当時は十分に発達していなかった(データを直接入手できるのは、浄水管理事務所のみ)。

兵庫県南部地震における水道局の対応については、情報の流れとそれによる対応が時間経過とともに整理できたと考えられる。

●被害状況の把握

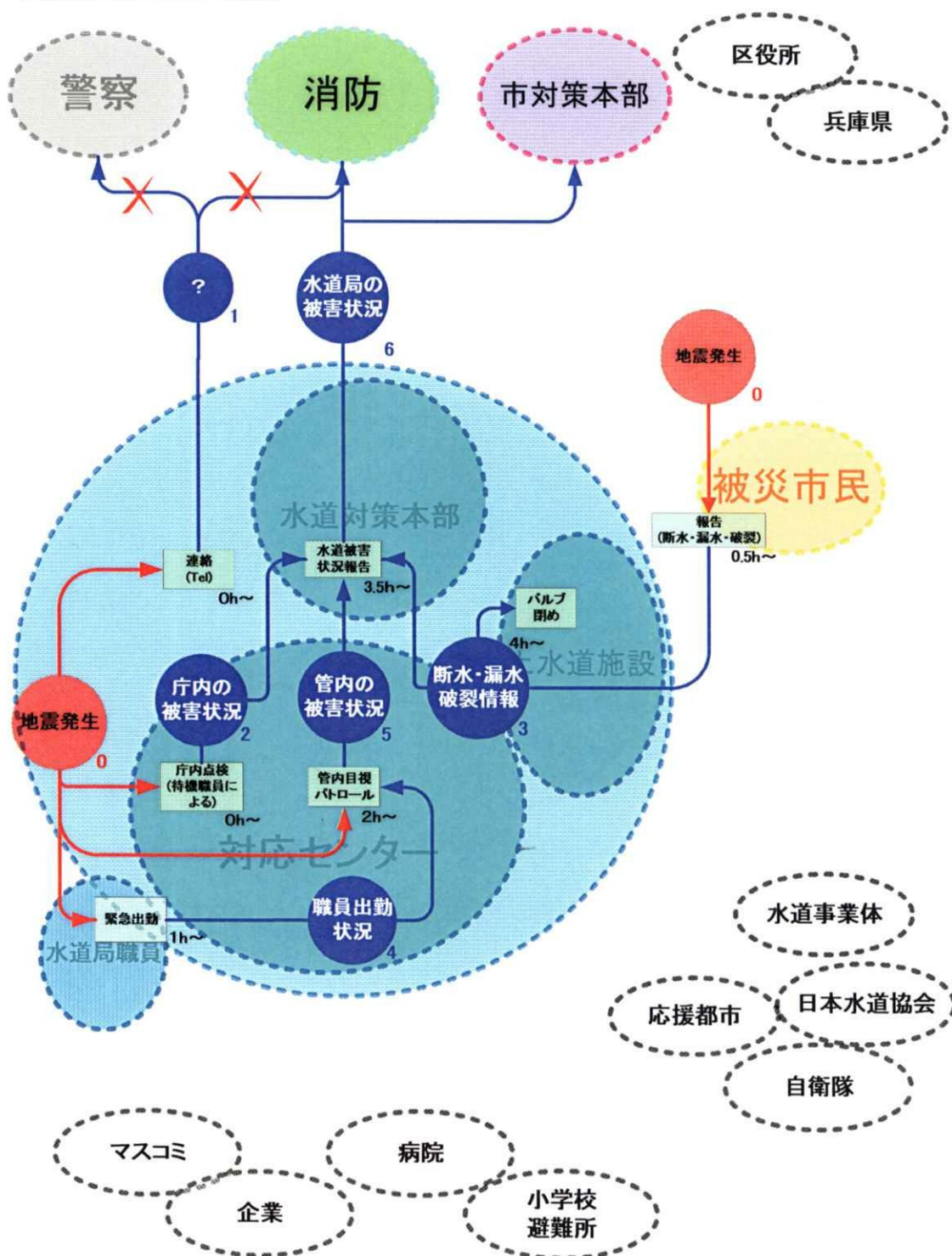


図 2.1-2 「被害状況の把握」に関する水道局と他の組織との情報の流れと対応

[illegible]



写真 2.1-1 水道局の対応に関する討議の様子

【参考文献】(2.1)

- 1) 生涯職業能力開発促進センターHP <http://www.ab-garden.ehdo.go.jp/index.html>

2.2 兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応の事例研究

2.2.1 はじめに

前節の 2.1 では、新潟県中越地震における長岡市水道局を例にとり、災害情報の流れに着目して地震時災害対応の整理を行った。さらに、水道局の地震時対応を理解するために、文献調査によって兵庫県南部地震における神戸市水道局の対応の概要の整理を行った。

本節では、これらの調査検討を踏まえ、神戸市水道局の地震時対応をより詳細に調査し、災害対応と災害情報の流れを明らかにする。この検討では、時間とともに刻々と変化する災害対応において、災害情報がどの組織からどの組織に対して伝達されどのようなアクションに繋がっていったのか、災害情報はどのような形や方法で伝えられたのか、組織間で、情報の共有はどのように行われていたのかを文献および災害担当者のヒアリングに基づいて行う。そして、水道局の災害時対応から、災害情報データベースの構築のあり方に関する課題の抽出を行う。

2.2.2 神戸市水道局の概要

神戸の水道は明治 33 年(1900 年)4 月に日本で 7 番目の近代水道として誕生し、以来世紀を超えて水の供給を続けてきた。水道施設および水道局の組織の概要について以下に記す。

(1) 水道施設の概要

神戸市は水源となる大きな川や湖に恵まれていないため、布引・烏原・千苅に貯水池(ダム)を建設し水を確保してきたが、市域の拡大や人口の増加にともない水源が不足したため、昭和 17 年より琵琶湖・淀川水系を水源とする「阪神水道企業団」から水を購入している。神戸市での1日の水の供給能力は 90 万 m^3 であるが、そのうち自己水源によるものは 20 万 m^3 である。水量の約4分の3にあたる 67.2 万 m^3 は阪神水道企業団から購入しており、他、残りの 2.8 万 m^3 は「兵庫県水道用水供給事業」から購入している。神戸市の水源別水量と水の供給経路を図 2.2-1、図 2.2-2 に示す。

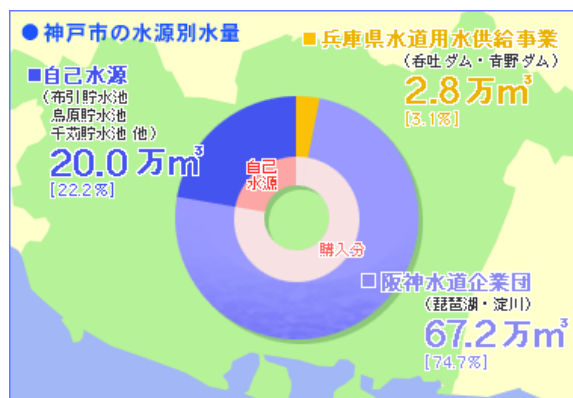


図 2.2-1 神戸市の水源別水量



図 2.2-2 市内への水の供給経路

貯水池から取水された水は、図 2.2-3 に示した通り、浄水場、ポンプ場、配水池、配水管を經由して各家庭へと供給される。神戸市は六甲山の南側の市街地部分では非常に坂が多く、対して北側は非常に広大な西北神地域が広がるという地形的特性をそなえている。このため、ポンプ場や配水池などの施設が数多く必要であり、配水池の数は坂の少ない大阪市の約 15 倍にあたる。高さを約 30 メートル間隔で区切って送水する層別給水を行っており、一旦それぞれの高さの配水池で水圧を開放した後、分割された給水区域に水圧を 0.4MPa で配水している。神戸市内の配水管の総延長は約 4,520km(H16 年 4 月現在)である。配水管から分岐して各家庭まで引き込まれている管は給水管と呼び、市民の私有財産である。なお、本検討にあたっては、図 2.2-3 に示す一連の水道施設の見学を行った。各施設の写真等は巻末付録 2. として掲載する。



図 2.2-3 関連する水道施設

(2) 水道局の組織

地方自治体の水道事業者は、上水道システムを管理し水量・水質など調整を行い、市民への水道用水に関する営業サービスを行っている。水道局全体は、「総合的な運営を行う部門」「水を作る部門」「水を配ってサービスをする部門」に大別される。

水道局本庁内の組織は「総合的な運営を行う部門」であり、市役所内で水道事業全体に関わる指揮をとっている。「水を作る部門」としては、奥平野浄水管理・工事事務所や上ヶ原浄水管理事務所があり、テレメータシステム(図 2. 2-4)による配水池水量の一括管理や貯水池・浄水場等の維持管理を行っている。また、この事務所が阪神水道企業団と連絡を取り合い、神戸市内への日々の送水量を決めている。「水を配ってサービスをする部門」としては「対応センター」がある。神戸市は政令指定都市であるため、市が九つの区によって構成されているが、神戸市水道局の内部組織である 5 つの対応センター(東部・中部・北・西部・垂水)が担当する区に事業所を構え、業務を行っている。直接的に水道を利用するお客様に対する営業サービスや、地区内の配水管路の維持管理などを担当している。

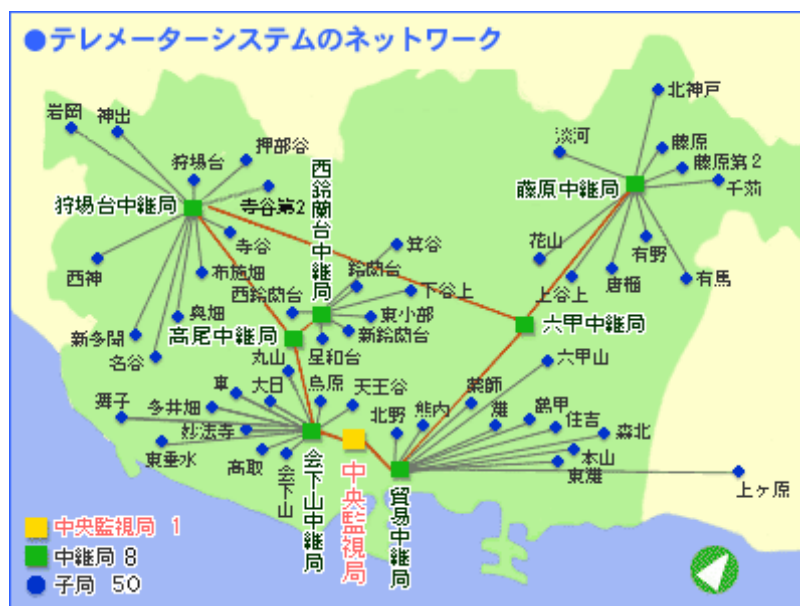


図 2.2-4 現行のテレメータシステム

2.2.3 兵庫県南部地震での被害の概要

(1) 兵庫県南部地震での水道施設の被害

1995 年 1 月 17 日の兵庫県南部地震では、死者 6,433 人、負傷者 43,792 人、全壊住家 104,906 棟、半壊住家 144,274 棟、一部損壊住家 263,702 棟という甚大な被害が発生した。地震は、市民生活に不可欠なライフラインも直撃し、神戸市内の水道施設にも大きな被害を与えた。表 2.2-1 は平成7年 4 月 5 日に発表された兵庫県の被害総額の内訳である。総被害額約9兆 9,268 億円に対して、水道施設の被害額は541 億円となっている。上水道供給施設は配水施設の管路や導水施設、給水施設、浄水施設等に被害が発生し、県内で約 127 万戸が断水した。ライフライン施設被害の構成比は、図 2.2-5 に示す通り、上水道が 8.4%、電気が 46.8%、電話が 6.1%、ガスが 38.7%となっている。

表 2.2-1 兵庫県南部地震による兵庫県の被害総額の状況

被害総額の状況（推計） （Breakdown list of amount of damages）	
項 目	金額
建築物	約58,000億円
鉄道	約3,439億円
高速道路	約5,500億円
公共土木施設（高速道路を除く）	約2,961億円
港湾	約1兆円
埋立地	約64億円
文教施設	約3,352億円
農林水産関係	約1,181億円
保健医療・福祉関係施設	約1,733億円
廃棄物処理・し尿処理施設	約44億円
水道施設	約541億円
ガス・電気	約4,200億円
通信・放送施設	約1,202億円
商工関係	約6,300億円
その他の公共施設等	約751億円
合計	約9兆9,268億円

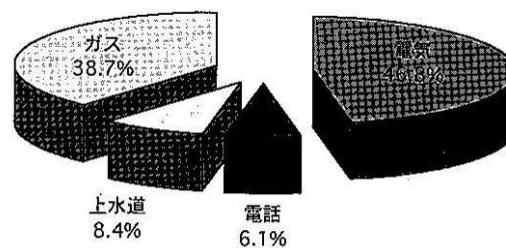


図 2.2-5 ライフライン施設被害の構成比

水道施設の中で特に被害が大きかったのは、配水管・給水管である。橋梁の被害の影響を受け、橋梁に添架した水道管が破損したり、臨海部や旧河川敷などの地盤条件の悪いところで継手が抜け出したりといった被害が多数発生した。配水管被害は 1,757 箇所が発生し、内訳は管の被害が 304 箇所、継ぎ手の被害が 960 箇所、空気弁や消火栓などの被害が 493 箇所であった。給水管の被害も 89,584 箇所が発生した。

水道局では、水道局本庁が圧潰したのをはじめ、センター庁舎等も被害を受けた。そのため地震直後の情報の収集・発信が困難な状況になった。これらの被害の詳細を表 2.2-2 および表 2.2-3 にまとめた。

表 2.2-2 水道施設の被害の概要

被害場所	被害内容
貯水池	●布引貯水池 堤体天場歩廊の手すり部クラック ●鳥原貯水池 管理用道路コンクリート土留壁一部崩壊等 ●千苧貯水池 左岸側管理用道路の壁一部崩壊
浄水場	●上ヶ原浄水場 導水路トンネル履工コンクリート一部損壊とクラック ・緩速ろ過池：集水渠破損、躯体クラック ・急速沈殿池：伸縮ジョイント部損傷 ・洗浄水槽：入水管と洗浄管から漏水、被覆モルタル剥離 ・排水処理施設：濃縮槽等損傷 ・法面・石積崩壊、場内各所陥没 ●本山浄水場 洗浄水槽への入水管・洗浄管破損、洗浄水槽(RC)にクラック、原水取水管漏水
送水施設	●送水トンネル 送水トンネルには大きな漏水はなく、被害は軽微 ●ポンプ場 鳥原坑内送水ポンプ水没 ●テレメータ施設 奥平野浄水管理事務所鉄塔一部座屈 ●送水管 上ヶ原浄水場内送水管、会下山中層、十文字特1、甲南特1送水管漏水、本山送水管路トンネル1部圧潰、湧水送水管亀裂等
配水池	会下山低層配水池 ・接合井離脱、躯体にクラック漏水、配水池伸縮ジョイントクラック、場内舗装・石積沈下 ・各所配水池の伸縮ジョイントクラック(熊内低層配水池等)
配水管	・神戸大橋、六甲大橋、御影大橋、深江大橋添架部分損傷 その他68橋について要修復 ・被害件数の態様別集計(平成17年11月現在) ①管(折れ等) 304ヶ所(17%) ②継手(抜け等) 960ヶ所(55%) ③属具(空気弁、消火栓等) 493ヶ所(28%) 計 1,757ヶ所
給水管	・給水管被害件数 道路上給水管 14,561ヶ所 宅地内給水管 75,023ヶ所 計 89,584ヶ所

表 2.2-3 水道局本庁・対応センターの被害概要

被害場所	被害内容
市役所2号館6階水道局本庁	圧潰
東部営業所	上部(3階)の市営住宅圧潰により解体撤去
西部センター	一部類焼
垂水センター	増築部分破壊
中部センター	一部破壊
資材事務所	一部破壊

2.2.4 兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応記録に基づく災害情報データベースの構築

来るべき大災害時に迅速に災害情報を収集し、組織内外での適切な情報共有を行うためには、事前に収集すべき災害情報の内容やタイミング、情報共有先を整理した災害情報データベースを構築しておくことが重要である。本節では災害情報データベースの構築方法に関する検討と過去の災害時の対応記録に基づくデータベース化の実践を行った。

(1) 災害情報データベースの検討の流れ

将来発生する災害に対応するための災害情報データベースを検討する際には、組織の既存の防災マニュアルの記述内容が基本情報となる。しかし、既存の防災マニュアルは必ずしも災害情報の流れを明記しながら記述していないため、記述されている災害対応によりどのような災害情報が得られるか、災害対応はどのような災害情報に基づき行われるか、等の災害情報の詳細な流れが理解できない場合が多い。

そこで、より実際の災害状況に即した災害情報データベースを構築するために、ここでは過去の災害時の対応記録の一つとして、兵庫県南部地震時の神戸市水道局の対応に着目し、災害情報データベースの構築を目指した。近年の災害としては新潟県中越地震もあるが、この地震に対する災害対応はまだ十分に記録・記述されていないため、今回は対応記録が豊富に出版されている兵庫県南部地震を対象とした。また、組織内外での情報のやり取りを比較的多く必要とすることから、ライフライン関係部署を対象とし、中でも自治体独自の対応組織を有する水道局を選んだ。

具体的な検討の流れを図 2.2-6 に示した。まずは、当時の災害対応を記録している文献を収集し、実際に行われた災害対応業務と業務の遂行に必要とされた情報を抽出した。災害対応業務は文献に記載されていても、その対応に用いられた情報が記述されていない場合も多かったため、ワーキングメンバーが当時の災害状況をイメージするワークショップを重ねながら、災害対応業務に必要とされたであろう情報の想定も行った。災害情報データベースに記載すべき内容の検討を踏まえて、災害情報データベースの構築を行った。

次に、これらの災害対応業務・情報一覧を元に、被害状況の把握・通水率の算出・応急給水・応急復旧工事などのいくつかの時間的フェーズにおいて、ある情報が取得され部署間でやり取りされるまでの流れを整理しなおし、災害情報フロー図として図式化した。

しかし、これらの情報の流れの中には、前述の通り、文献に掲載されていないためにワーキングメンバーが想定した部分も含まれている。よって、当時の状況を適切に反映させた災害情報フロー図とするために、当時の災害対応関係者へのヒアリング調査を行い、文献に記載されていなかった部分の聞き取り、およびフロー図の確認を行った。ヒアリング調査では、震災時に水道局に所属し災害対策本部で対応にあたった松下眞氏（現・神戸市水道局技術部配水課主幹）、震災時に奥平野浄水管理・工事事務所で対応にあたった神田敏一氏（現・水道局技術部奥平野浄水管理・工事事務所主幹）を訪問した。ヒアリング調査から得られた知見は災害情報フロー図に反映させ、修正を行った。震災後の耐震化対策などにより当時の災害情報の流れと現在の状況が著しく異なる場合については、現状での災害対応を想定した災害情報フロー図も作成し、当時と比べてどのように災害対応の円滑化

が図られたかも検討した。

災害情報フロー図を作成する中で、組織内外での情報共有方法について改善すべき点をいくつか指摘することができた。具体的な改善方法は次章にて提案を行う。

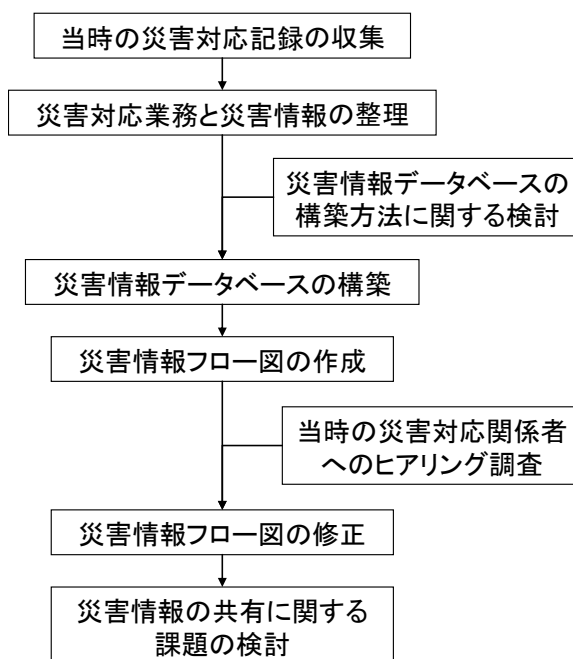


図 2.2-6 災害情報データベースの検討の流れ

(2) 災害情報データベースの内容に関する提案

災害対応業務は、一連の業務全体の目的となるような「大業務」、大業務より下位の業務である「中業務」、さらに具体的業務を示した「小業務」、詳細な手順レベルまで示した「アクション業務」に分類されることが考えられる。これらの構成を図 2.2-7 に示した。最も下位のアクション業務には、その業務を遂行するために必要となる情報を対応付けることができ、これらの情報は下記の表 2.2-4 に列挙する属性を有していると考えられる。

よって、各々の部署についての災害対応業務を業務レベル別に記述し、最も下位のアクション業務に関わる災害情報を記述し、それらの属性を表 2.2-4 に従って明示したものを災害情報データベースとして提案する。この災害情報データベースに基づき、ある災害情報が取得・伝達・加工される一連のプロセスを追跡することにより、図 2.2-7 に示したように、災害情報が災害対応においてどのように活用されるかを分析することができる。このような視点で災害情報の流れを整理することにより、より効率的な災害情報の活用方法を検討することができると考えられる。

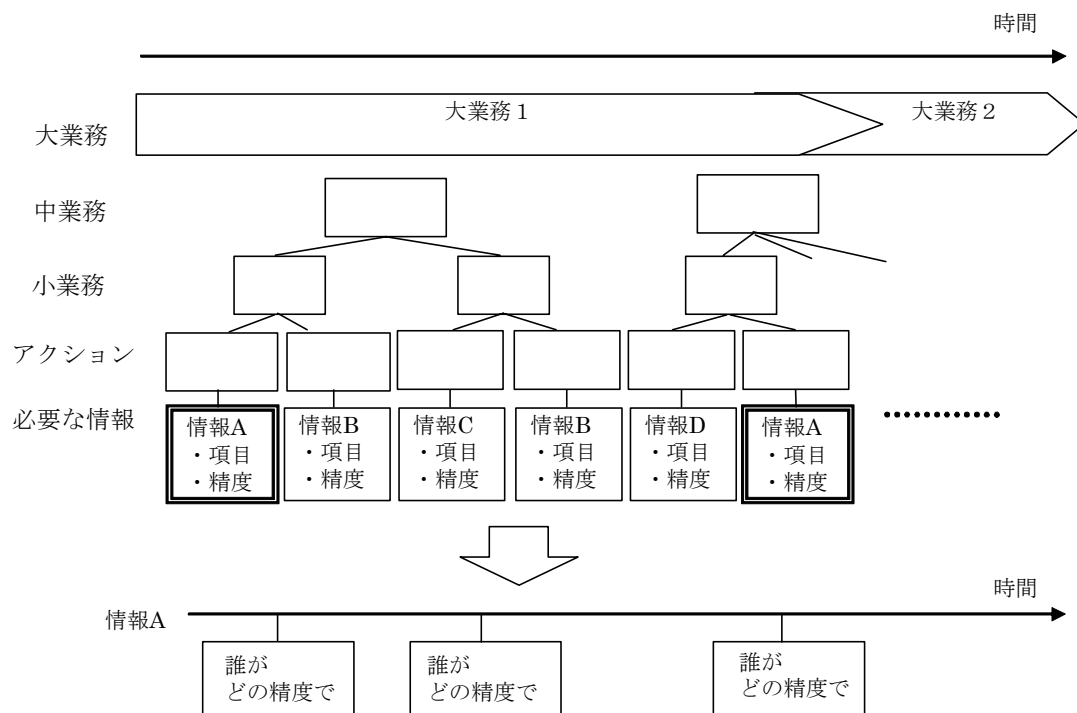


図 2.2-7 災害情報データベースの検討の流れ

表 2.2-4 整理すべき災害情報の属性

属性内容	項目
情報の方向性	- 対応業務により取得される情報（インプット情報） - 対応業務により伝達される情報（アウトプット情報） - 対応業務により取得・伝達される情報（インプット&アウトプットされる情報）
やり取りする相手	- 取得先（インプット情報の場合） - 伝達先（アウトプット情報の場合）
やり取りの手段	電話・FAX・テレメータ・メール・口頭
情報の内容	テキスト・方針・数量・位置・
情報の形態	図面・デジタルデータ（ラスタ・ベクタ・テキスト）・写真・言葉・GIS
逐次性	- 新規に取得または伝達される情報 - 更新するための情報
空間的広がり	- 点の情報 - 線の情報 - 面の情報
加工の有無	- 対応業務により情報更新される情報 - 対応業務により集計（または計算）される情報 - 対応業務により加筆される情報（図面など）
時間	対応業務が行われた時間帯

(3) 兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応記録に基づく災害情報データベース

(2)において提案した手法に基づき、兵庫県南部地震の神戸市水道局の対応記録に基づく災害情報データベースを構築した。水道局の各部署について、「大業務」、「中業務」、「小業務」、「アクション業務」を整理し、それぞれのアクション業務について表 2.2-4 に従って属性をそれぞれ記述し、災害情報データベースとした。表 2.2-5 は災害対策本部について、水道局外との情報共有を大業務として、災害情報データベースを作成した結果である。同様の災害情報データベースを災害対策本部の全ての業務および浄水管理事務所・センターについて作成した。

表 2.2-5 災害対策本部での災害情報データベースの抜粋

大業務	中業務	小業務	やりとり相手	情報の方向性		内容	インプット情報														加工状況	内容	アウトプット情報																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				イン ア ウ ト	ア ウ ト		手段		内容		形態		点	面	点	面	点	面	点	面			点	面																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
							電話	FAX	メール	口頭	方針	位置													図面	写真	GIS	逐次性	電話	FAX	メール	口頭	方針	位置	図面	写真	GIS	逐次性																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
水道局外との情報共有	神戸市内の被害を報告する	県 阪神水道企業団 阪神水道企業団 日本水道協会 日本水道協会	災害対策本部内	○	○	火災発生件数 火災発生エリア 消火活動エリア	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	被害状況一覧 配水可能エリア図 被害状況一覧 配水可能エリア図 被害状況一覧 配水可能エリア図	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

次に、これらの災害情報データベースに基づき、いくつかの災害情報について、情報が取得・伝達・加工される一連のプロセスを追跡し、異なる組織間で災害情報が活用される流れを分析した。様々な災害情報の中から、活用頻度の多さと災害対応における重要度の観点から、通水率、応急給水の応援人数、応急復旧工事箇所を選び、災害情報の活用プロセスを図式化した。これらは各々、被害情報の収集・応急給水・応急復旧という災害対応における3つのフェーズを代表する情報である。

① 通水率

災害対策本部が「通水率」を算出し、一般向けに公表し、復旧工事の進展に応じて値を更新するプロセスに着目した。災害情報データベースに基づいて通水率が活用されるプロセスのフロー図を作成し、当時災害対応に携わった神戸市水道局の松下氏へのヒアリング調査に基づいて加筆修正をした。図 2.2-8 は、文献1のデータから作成した通水率の推移と活用プロセスを示したフロー図である。

神戸市では、地震発生後2日目の1月19日以降から通水率が公表され始め、通水率が100%に達したのは3月末であった。災害対策本部ではマスコミを通して毎日市民向けにライフラインの復旧率を公表した。災害対策本部に常駐していた水道局本庁職員にとっては、センター等からの連絡に応じて毎日の通水率を更新することが重要な日課となった。

地震発生直後は、水道局本庁も入っていた市役所 2 号館の建物が圧潰したため、災害対策本部では図面を閲覧することが全くできなかった。別建物の会議室を仮の災害対策本部として災害対応を開始し、被害状況の把握に努めた。貯水池から配水池までの水道施設の水量等はテレメータにより浄水管理・工事事務所が把握している。よって、本庁職員を浄水管理・工事事務所に派遣し、水道施設の被害状況の把握を行った。配水池から配水管により一般家屋向けに配水までは、東部・中部・北・西部・垂水の 5 箇所にあるセンターが管轄する。ヒアリング調査によれば、災害対策本部では、各センターが算出した通水戸数を A4 サイズの家庭用 FAX 機により FAX してもらい、この値と地震前の供給戸数との割合から市全域での通水率を算出し公表した。この際、センターにおいては 1/6000 の縮尺の配管図上に配水可能なエリアをプロットして、担当区域の通水戸数を把握した。

1 月末から 2 月上旬にかけての復旧工事が開始された頃は、復旧工事済み箇所を反映してセンターで通水戸数を修正した後、災害対策本部で集計していた。また、センターから災害対策本部へ図面を A4 サイズで FAX してもらい、災害対策本部でも 1/6000 の縮尺の配管図上に配水可能なエリアを記録した。通水率は一般向けに毎日公表されたため、前日夜の 22-23 時までにセンターから通水戸数を送ってもらい、翌朝 6 時までに集計していた。図面には復旧した管路が赤線で表示された。災害対策本部でも配水可能エリアの記録を開始したのは、ガス部門より水道の復旧状況を知りたいというニーズがあったためである。本部内に図面を掲示することで情報を共有していた。

2 月中旬以前は配水可能なエリアは主としてセンターで把握されており、災害対策本部ではセンターごとの通水戸数や通水率の把握が中心となっていたと言える。一方、2 月中旬以降になると、本庁の若手職員がバイクで巡回し、センターが作成している 1/6000 の配水可能エリア図を同縮尺の図面に書き写し、災害対策本部としても 3 月の復興計画会議に向けて全体状況の把握に努めた。

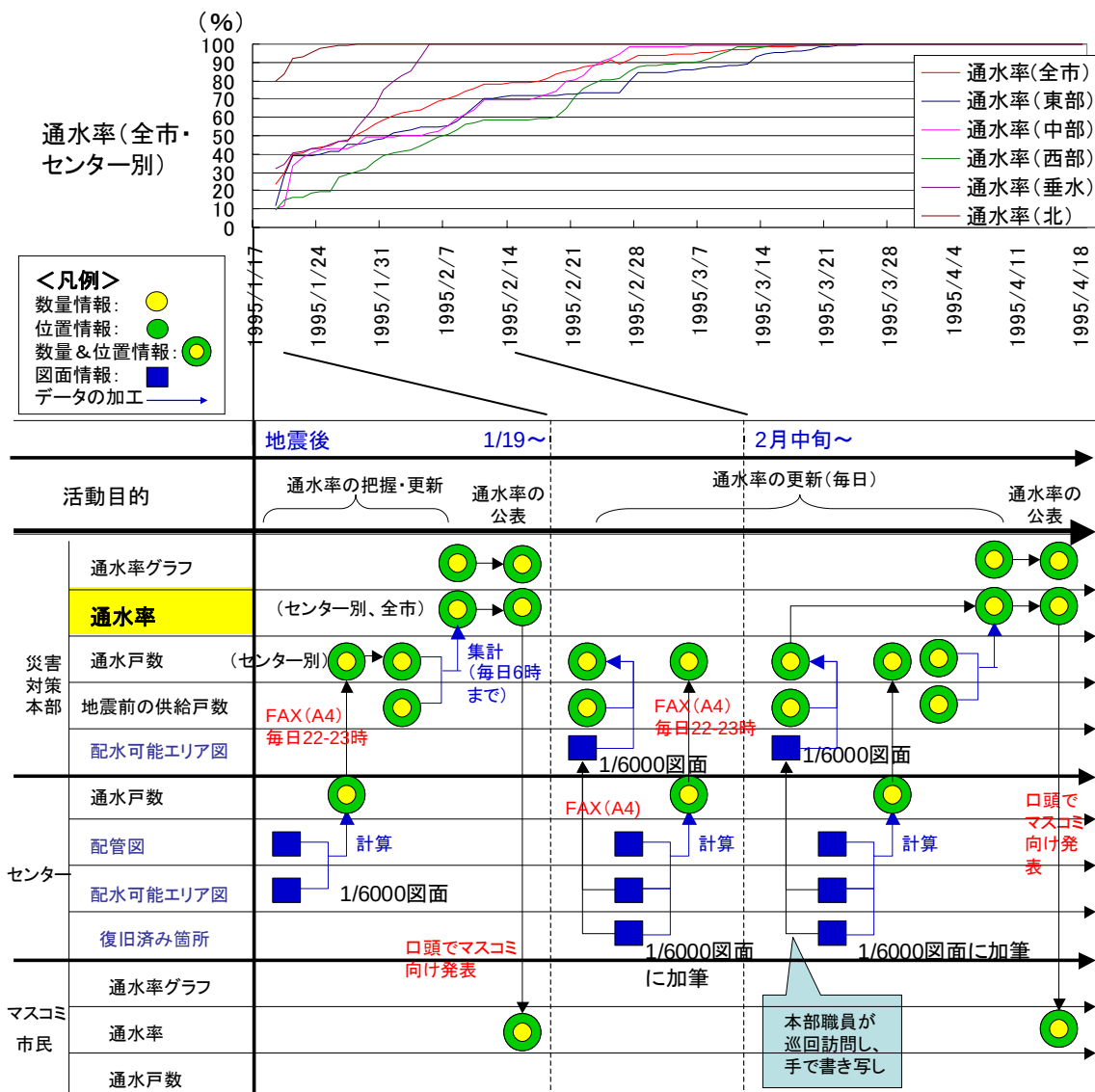


図 2.2-8 通水率に着目した災害情報フロー図

これらの記録からは、震災当時は本部庁舎建物が圧潰したこともあり、センターと災害対策本部での配水可能エリアの情報共有がうまく進まなかったことがわかる。このため、2月中旬以降には本庁の職員の巡回訪問による図面の書き写しが行われ、情報の共有化が図られた。これらの経験も踏まえて、現在、神戸市ではセンター・本庁での情報共有を可能とするインターネット掲示板システムを使用している。掲示板では報告の他、数字や写真・図も掲載することができる。また、配管図のマッピングシステムも開発されており、配水管の経路や管の情報を閲覧することができる。配管図の図面はデータで出力することができるが、マッピングシステム上で図面や管路データを加工することはできない。これらのシステムを利用した場合に想定される通水率算出・更新のフローを図2.2-9に示す。センターからは通水戸数や配水可能エリア図を掲示板にアップロードし、災害対策本部では集計を行う。震災当時はA4サイズのFAXにより図面を送付していたため、結果的に巡回

訪問で正確な図面情報を入手するしかなかった。これに対して、掲示板を使った情報共有では災害直後から正確な図面情報の共有が可能になると考えられる。しかし、ヒアリング調査によれば、現行のシステムでは今後、マッピングシステムから出力した図面に被災箇所・復旧箇所を加筆してメール等に添付することはできるが、システム上で直接状況をデータ入力することができない。今後、災害時のさらなる情報共有を図るには、図面上に被災した管路・復旧した管路をプロットでき、センターと災害対策本部で同時に情報共有できるシステムが有益であると考えられた。また、これらの配水可能エリア図の情報をガス部門・電力部門・通信部門なども閲覧できれば、お互いの災害復旧対応を円滑に進めることができると考えられる。

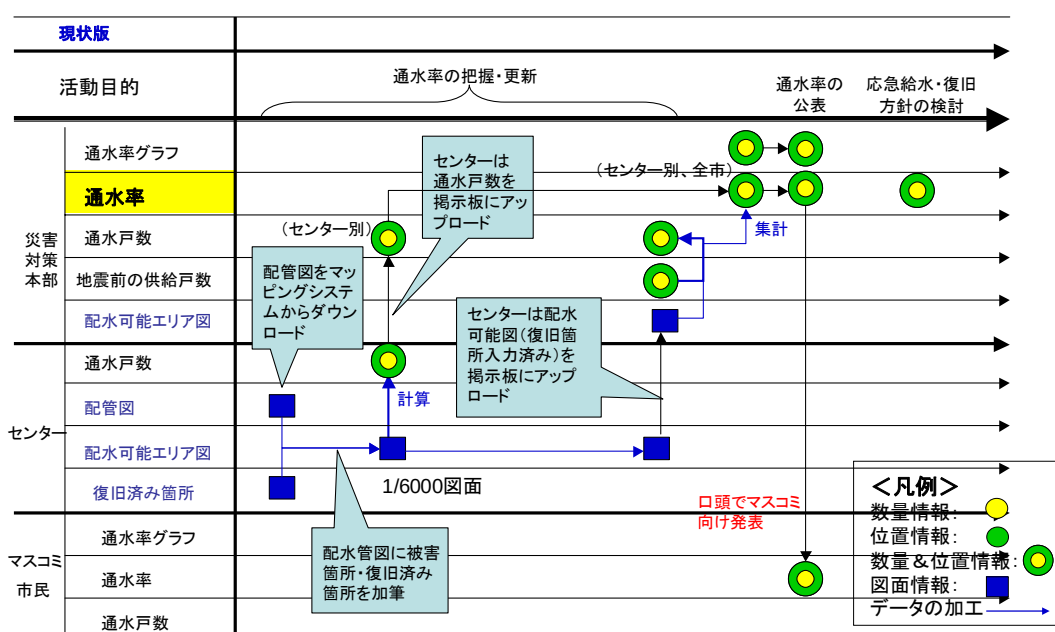


図 2.2-9 通水率に着目した災害情報フロー図 (現状のシステム版)

② 応急給水の応援人数

応急給水の応援人数に着目し、災害情報データベースに基づいて、災害対策本部が他都市や自衛隊・日本水道協会等からの応援を受け入れ、ニーズに応じて地域に応援部隊を配分するまでの応援人数情報の使われ方をフロー図にした。図 2.2-10 に、文献 1 のデータから作成した応急給水のための応援人数と給水車数の推移の図と災害情報フロー図を示す。

神戸市水道局では、地震発生後1月17日13時に大都市に対して応急給水の応援要請を行い、その日中に応援第一陣が到着し、給水車による応急給水を開始した。自衛隊へは市全体の対策本部を通じて応援要請を行った。応急給水は地震発生当日から3月末にかけて実施された。他都市等からの応援部隊の受け入れに際しては、まず水道局の災害対策本部にて連絡を受け、応急給水状況に応じて市内の各センターに応援部隊を配分した。応援部隊は災害対策本部からの指示を受け、各センターに直接参集した後、各センターからの指示に従い給水・復旧活動に従事した。図 2.2-10 によれば、応急給水の応援人数は他都市からは最も多く、続いて自衛隊・民間となっている。1月下旬の応援部隊の給水車数は、神戸市水道局所有の4倍程度になっており、応援部隊が応急給水の大きな力になっていたことがわかる。当時の災害対策本部関係者へのヒアリン

グ調査によれば、水道局の災害対策本部では他都市からの連絡を受けて応援を配分するためのマンパワーの余力がなかったため、1月末からは日本水道協会職員1名が災害対策本部内に常駐し、他都市等からの連絡受付・応援部隊の配分を担当した。震災後は本庁職員も浄水管理事務所やセンターなどに派遣され、本庁の職員数は十数人程度であったため、このような外部からのマンパワーのサポートは非常に助かったとの感想であった。

以上より、応援受け入れに際しては、各種の応援部隊からの連絡を一括して受け、応急復旧状況と照らし合わせながら適切に応援部隊を配分する仕組みが有効であることがわかった。今後、被害や復旧工事の進展状況を一元管理し、WEBにより同時に情報共有できるシステムが実現されれば、協会等の職員が常駐することなく、水道局外の組織や他都市が応援部隊配分作業を代行して担当することが可能になると考えられる。WEBシステムを利用すれば、被災自治体内ではなく、被災地域外の自治体・組織においてもこのような業務を代行することが可能であると考えられる。

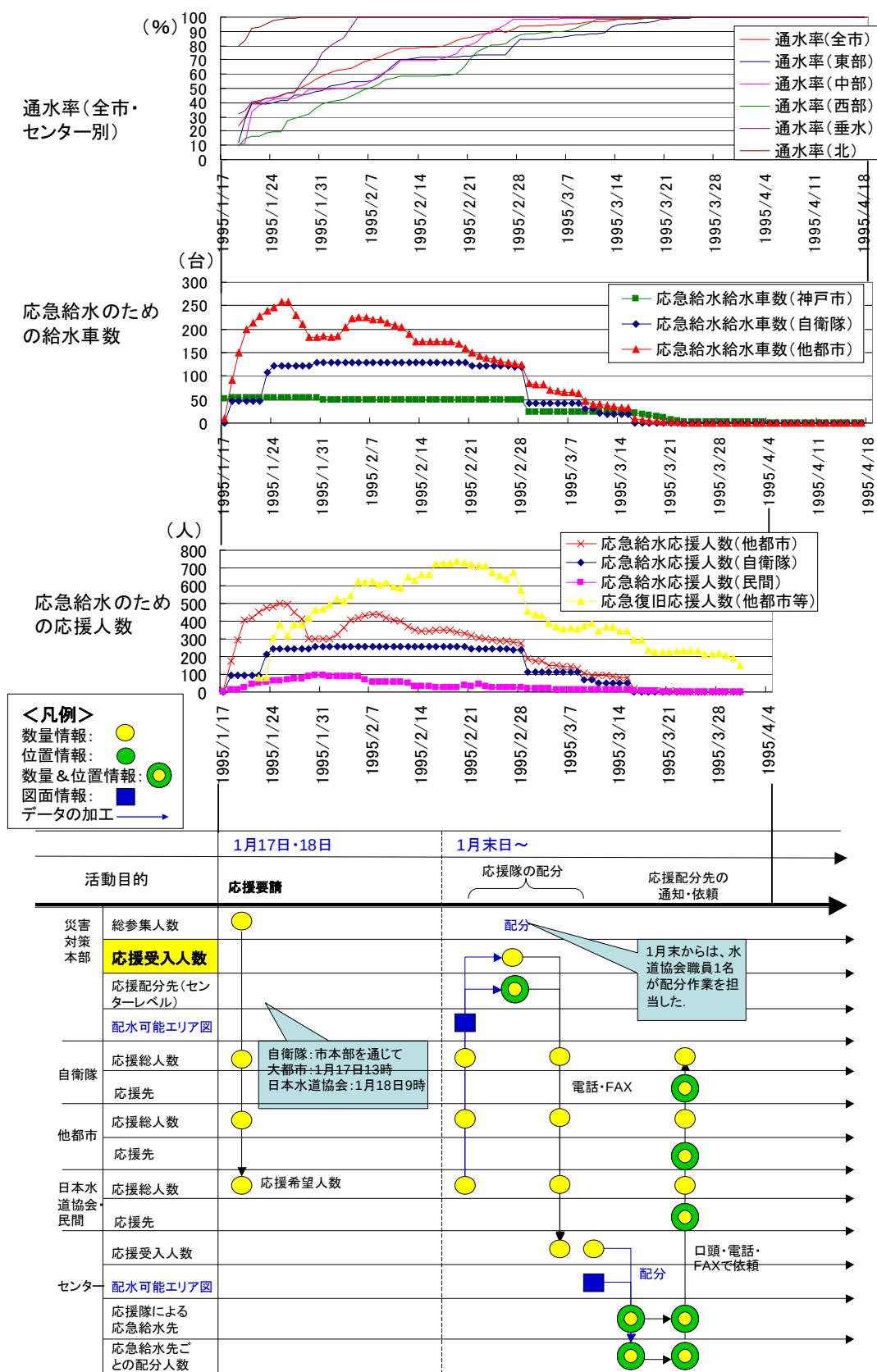


図 2.2-10 応急給水の応援人数に着目した災害情報フロー図

③ 応急復旧工事箇所

応急復旧工事箇所に着目し、災害情報データベースから災害情報フロー図を作成した。図 2.2-11 には、文献 1 のデータから作成した配水管の漏水修繕箇所と災害対策本部で受け付けた電話問い合わせの推移とともに、応急復旧工事箇所に関する災害情報のフロー図を示す。

配水管の応急復旧工事は、2 月上旬から 3 月末にかけて実施された。修繕工事は、通常は契約業者が行っていたものの、広域かつ多発的な被災により契約業者だけでは対応が不可能と判断され、日本水道協会を窓口として 18 日 9 時に他都市への応援要請を行った。また、土木協力会から一般土木業者の斡旋も受けた。配水管からの漏水箇所は各センターで漏水調査を行い把握した他、市民からも多数の通報があった。応急復旧工事の計画立案は災害対策本部ではなく各センターが担当した。センターでは配水管の幹線網・被害箇所数の多い箇所・配水池の水量の多い地域を優先的に抽出して、復旧工事の計画を立案した。14,000 件の道路上の修繕には延べ 55,000 人の人員が作業にあたり、そのうち 31,000 人は他都市の職員や水道関連業者の応援によるものであった。

応急復旧工事の立案に際しては、道路の被災状況や閉塞状況が重要な情報となる。ヒアリング調査によれば、道路の被災・閉塞エリアの情報は道路局でも収集し、1/500 の図面にプロットしていた。しかし、水道局での使用目的とは縮尺や記載している情報内容が異なっていたため、災害対策本部では各センターに道路局の被災・閉塞エリア図を配布することはしなかった。センターには渡していなかった。一方、災害対策本部では 3 月になってコンサルタントに依頼して道路の情報（写真）を収集してもらい、センターで復旧工事計画を立案する際に活用した。道路の情報収集を行う際に、道路局・水道局の双方で利用できる形態でデータを収集・共有化することにより、より効率的に災害情報を利用できたと考えられる。

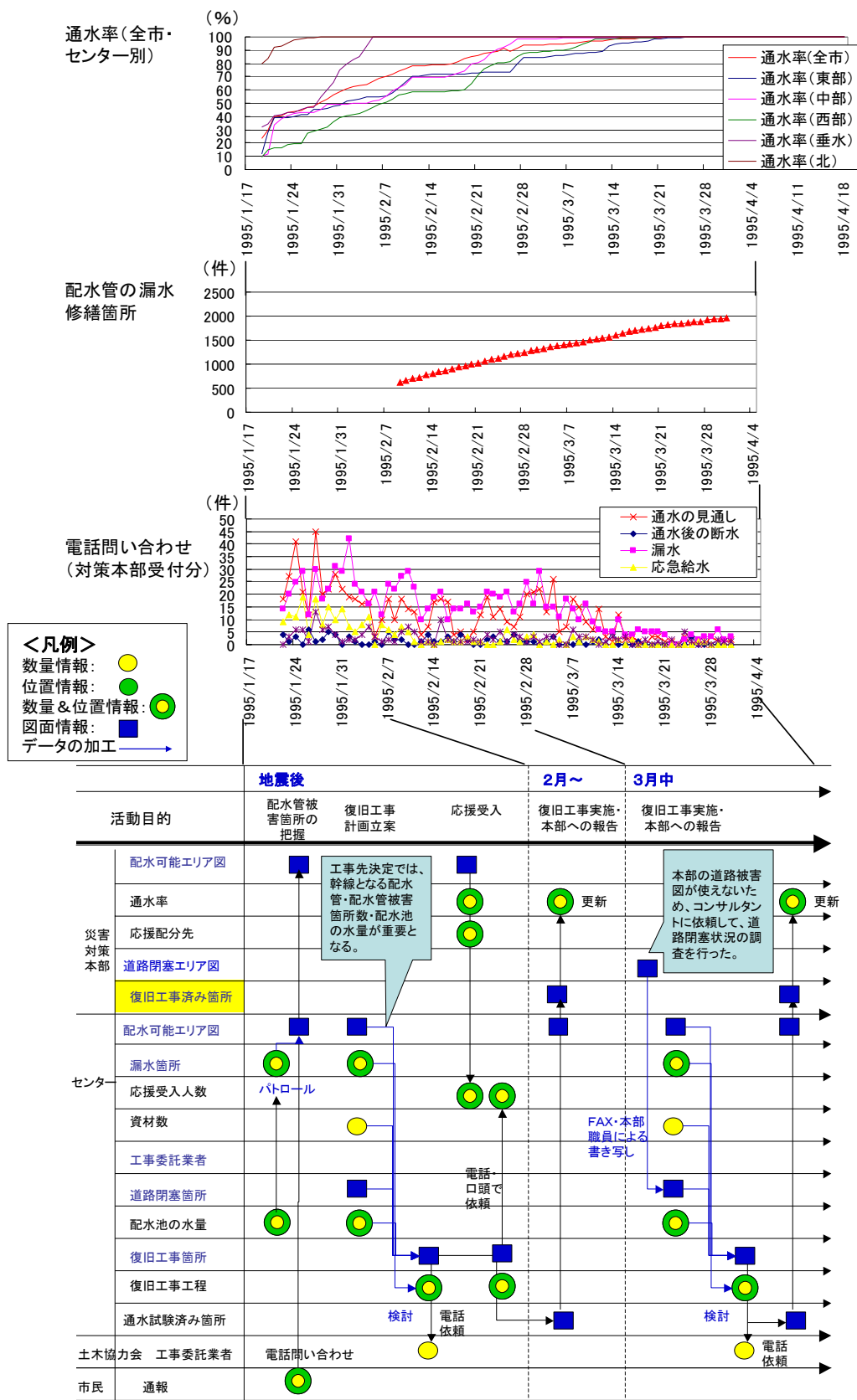


図 2.2-11 応急復旧工事箇所に着目した災害情報フロー図

【参考文献】(2.2)

- 1) 神戸市水道局:阪神・淡路大震災 水道復旧の記録、1996.2.
- 2) 神戸市水道局:1・2・3でよく分かる神戸の水道、2006.4.
- 3) 日本建築学会:阪神・淡路大震災調査報告 総集編, 2000. 3

2.3 災害情報データベースに関する提案

2.3.1 外部組織との連携

神戸市水道局による災害対応の事例分析から、水道局は、同じ市役所内の道路局、自衛隊、他自治体から派遣される応援部隊、民間企業からの応援部隊など、様々な組織と連携しながら応急給水・復旧にあたることがわかった。応援要請についての要請経路と要請先は表 2.3-1 の通りである。水道局による当時の災害対応の記録¹⁾によれば、当時は12大都市間で水道局相互援助に関する覚書を、隣接市(芦屋市・西宮市・三田市)との間に協定書を締結していた。神戸市水道局からは、地震発生後1月17日13時に大都市に対して応急給水の応援要請を行い、その日中に応援第一陣が到着し、給水車による応急給水を開始した。自衛隊へは市全体の対策本部を通じて応援要請を行った。

配水管の修繕については、通常は契約業者が行っていたものの、広域かつ多発的な被災により契約業者だけでは対応が不可能と判断され、(社)日本水道協会を窓口として18日9時に他都市への応援要請を行った。また、各事業者に対して一般土木業者への応援要請を行うように指示し、協力回答があった団体から順次受け入れた。14,000件の道路上の修繕には延べ55,000人の人員が作業にあたり、そのうち31,000人は他都市の職員や水道関連業者の応援によるものであった。応援隊には区域を分割して弁・栓の操作・掘削・配管・漏水調査などの作業を受け持ってもらった。しかし、神戸市での機材と持参した機材の規格が違うなど、作業上の混乱も一部で生じた。

宅地内の給水装置については、神戸市管工事業協同組合に応援を依頼した他、神戸市の指定業者だけでは間に合わなくなり、その後全国の管工事業者への応援も求めた。25日には宅地内漏水の修繕に、29日には漏水調査に応援部隊が加わった。

応援要請はまず口頭で行い、その後に要請文を送付するという方法であったが、大半は事後に要請文を送付することになった。他都市等からの応援部隊の受け入れに際しては、まず水道局の災害対策本部にて連絡を受け、応急給水・復旧状況に応じて市内の各センターに応援部隊を配分した。応援部隊は災害対策本部からの指示を受け、各センターに直接参集した後、各センターからの指示に従い給水・復旧活動に従事した。当時の災害対策本部関係者へのヒアリングによれば、水道局の災害対策本部では他都市からの連絡を受けて応援を配分するためのマンパワーの余力がなかったため、1月末からは(社)日本水道協会職員1名が災害対策本部内に常駐し、他都市等からの連絡受付・応援部隊の配分を担当した。このような人的サポートは大変助かったとのことである。なお、応援部隊に受け入れに際しては、応援部隊のための食事や宿泊施設の確保などの問題も生じた。

以上の事例分析より、応援受け入れに際しては、各種の応援部隊からの連絡を一括して受け、応急復旧状況と照らし合わせながら適切に応援部隊を配分する必要があることがわかった。ヒアリング調査からは、自治体の水道局では職員数が限られていることもあり、長期にわたって応援部隊からの連絡・配分作業に職員を割り当てるのが難しいことが指摘された。神戸市の事例ではこの作業を(社)日本水道協会職員がサポートすることにより水道局職員への作業負荷の軽減が図られた。今後、被害や復旧工事の進展状況を一元管理し、WEBにより同時に情報共有できるシステムが実現されれば、協会等の職員が常駐することなく、水道局外の組織や他都市が応援部隊配分作業を代行して担当することが可能になると考えられる。

災害直後には、消火活動に対しても水が使われるため、消防署との連携も必要になると考えられる。神戸市でのヒアリング調査では、当時、消防署からの問い合わせも数件あったが、密な連携は取られていなかったことが明らかとなった。本来ならば消防署と連携することでさらに効果的な消火活動が可能になったかもしれないが当時は余力がなかった。水道関係で消防署に有用な情報としては、消火活動を行うに十分な水が貯留されている配水池と貯水量ではないかとの意見が挙げられた。阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて、神戸市ではその後、消火栓を水道管の支線ではなく幹線に設置し、災害時のより水圧の高い消火用水を確保するための取り組みがなされた。しかし、いざ災害が起きた場合にどのようにして、消火活動可能に利用可能な配水池に関する情報を消防署側と連携するかについては、備えが行われていないことがわかった。今後は、これらの情報を消防側と情報共有するシステムも有効であると考えられる。

表 2.3-1 応援の要請経路と要請先(文献1より)

対応	要請経路	要請先
応急給水	神戸市水道局から	大都市水道事業体、地元業者(運輸・造園)
	神戸市・県を通じて	自衛隊
	厚生省・県を通じて	各水道事業体
	日本水道協会を通じて	各水道事業体
	自主的	各水道事業体、ボランティア
道路下修繕	神戸市水道局から	国(建設省等)、各自治体、地元土木・配管業者、漏水調査会社、配管資材メーカー
	日本水道協会を通じて	各水道事業体
	自主的	各水道事業体(日本水道協会の調整に組み込む)
宅地内修繕	神戸市水道局から	神戸市管工事業協同組合、全国管工事業共同連合会、各水道事業体、給水資材メーカー
	近隣府県を通じて	各水道事業体
	自主的	ボランティア、(他都市管工事組合)

2.3.2 画像情報の共有化

本研究では、災害情報データベースの構築にあたり、より容易かつ効果的な情報の共有のあり方について検討を行い「画像情報の共有化」に着目した。

情報の共有化は、業務全体の最適モデルが形成された際に最大の効果を生むが、実際に情報の共有化の作業に取り組む部署単位の作業効果を見ると、一般的に情報を共有化するための作業自体が負荷となることから、部署単位で見ると一時的に非効率となる場合が多い²⁾。そのため部署主導による情報の共有化への取組は積極的に行われていない。このことが情報共有化を導入する上での最大の課題と考えられる。情報の共有化を導入・促進する際は、情報共有化が間接的に生む全体最適モデルの効果に対するコンセンサスを得ると同時に、情報共有化が直接的に生む導入部署自体への具体的効果を提示することが重要になる。本研究では、調査対象とした神戸市水道局において、唯一情報共有化の直接効果が期待できるとされた「道路の被災画像」に代表される画像情報の共有化の直接効果についての検討を行った。

(1) 画像情報の共有化の効果

画像情報を共有化することにより「画像情報」と「共有化」の相乗効果を見込むことができる。

表 2.3-2 画像情報の共有化により期待される効果

画像情報共有化	同一条件による広域情報の一時取得	同一画像からの様々な情報の取得	観察による一般的な情報の取得	画像判読による専門的見地の取得	データ分析による専門情報の取得	画像諸元の統一が容易	様々なPFを用いた情報取得が可能	位置情報との組合せによる空間情報の一元管理
生産性（作業効率）の向上	同一条件の広域情報の一時取得による生産性の向上	同一画像の利用による生産性の向上	観察による一般的な情報取得の効率化	判読による専門的見地の効率的な取得	データ分析による専門情報の効率的な取得	容易に画像諸元が統一できることを利用した生産性の向上	様々なPFから効率的に情報取得が可能	空間情報の一元化による生産性の向上
重複業務の回避（削減）	同一条件の広域情報の取得による重複業務の回避	同一画像の利用による重複業務の回避	観察による一般的な情報取得済み同一画像に対する観察作業の回避	判読による専門的見地取得済み同一画像に対する判読作業の回避	データ分析による専門情報取得済み同一画像に対する分析作業の回避	統一が容易な画像諸元を利用した重複業務の回避（削減）	様々なPFからのデータ取得による重複業務の回避	空間情報の一元化による重複業務の削減
リエンジニアリングの実現	同一条件の広域情報の取得にリエンジニアリングの実現	同一画像から得られる様々な情報を利用したリエンジニアリングの実現	観察による一般的な情報取得プロセスを利用したリエンジニアリングの実現	判読による専門的見地取得プロセスを利用したリエンジニアリングの実現	データ分析による専門情報取得プロセスを利用したリエンジニアリングの実現	容易に画像諸元が統一できることを利用したリエンジニアリングの実現	様々なPFを利用した情報取得プロセスを利用したリエンジニアリングの実現	空間情報の一元化プロセスを利用したリエンジニアリングの実現
顧客満足度の向上	同一条件の広域情報の顧客満足度の向上	同一画像から得られる様々な情報を利用した顧客満足度の向上	観察から得られる一般情報を利用した顧客満足度の向上	判読から得られる専門的見地情報を利用した顧客満足度の向上	データ分析から得られる専門情報を利用した顧客満足度の向上	容易に画像諸元が統一を利用した顧客満足度の向上	様々なPFを用いて得られる情報を利用した顧客満足度の向上	空間情報の一元化を利用した顧客満足度の向上
ビジネスチャンスの取得	同一条件の広域情報の利用したビジネスチャンスの取得	同一画像から得られる様々な情報を用いたビジネスチャンスの取得	観察から得られる一般情報を利用したビジネスチャンスの取得	判読から得られる専門的見地情報を利用したビジネスチャンスの取得	データ分析から得られる専門情報を利用したビジネスチャンスの取得	容易に画像諸元が統一できることを利用したビジネスチャンスの取得	様々なPFを用いて得られる情報を利用したビジネスチャンスの取得	空間情報の一元化を利用したビジネスチャンスの取得
意思決定の迅速化	同一条件の広域情報の利用した意思決定の迅速化	同一画像から得られる様々な情報を利用した迅速な意思決定	観察から得られる一般情報に基づく意思決定の迅速化	判読から得られる専門的見地に基づく迅速な意思決定	データ分析から得られる専門情報に基づく迅速な意思決定	容易な統一が可能な画像諸元を利用した迅速な意思決定	様々なプラットフォームからの情報に基づく迅速な意思決定	一元管理された空間情報に基づく迅速な意思決定
フラット化による組織活性化	同一条件の広域情報を利用したフラット組織野活性化	様々な情報を有する同一画像の水平展開による組織の活性化	観察から得られる一般情報に基づくフラット化された組織の活性化	判読から得られる専門的見地に基づくフラット化された組織の活性化	データ分析から得られる専門情報に基づくフラット化された組織の活性化	容易な統一が可能な画像諸元を利用したフラット化された組織の活性化	様々なプラットフォームからの情報に基づくフラット化された組織の活性化	一元管理された空間情報に基づくフラット化された組織の活性化

※PF：プラットフォーム

表 2.3-2 は、「画像情報の効果」と「共有化の効果」を組み合わせることで期待される相乗効果の可能性を整理したものである。この表から「画像情報の共有化」することで次のような効果が期待できるものと考えられる。

- 同一画像の利用による、生産性の向上、重複作業の回避、リエンジニアリングの実現、顧客満足の向上、ビジネスチャンスの取得、迅速な意思決定の支援、フラット化による組織の活性化などの期待
- 同一画像からの比較的簡単な目的別情報の取得
- 同一画像の分析方法の違いによる専門的見地や専門情報の取得
- 同一画像を利用した他部門間での同時かつ多目的な情報利用
- 様々なPFを用いた同一対象物からの多視点情報の取得
- 画像諸元の統一の容易性を活かしたデータ品質の確保
- 統一諸元を利用した既存画像の合成利用
- 位置情報との組合せによる空間情報の一元管理
- 他の空間情報との組合せの容易性
- 観察による他部門における同一情報の同時取得
- 判読、分析を通した他部門における多目的情報の同時取得
- 広域情報の同時多目的利用
- 同一地域に対する多時期情報のオーバーレイ解析
- 同一地域の時系列解析

災害時において画像情報の共有化を実施するための「検討条件」と「構成要素」を図 2.3-1 の様に整理した。この図から災害時における画像情報の共有化のため条件は次のように整理することができる。

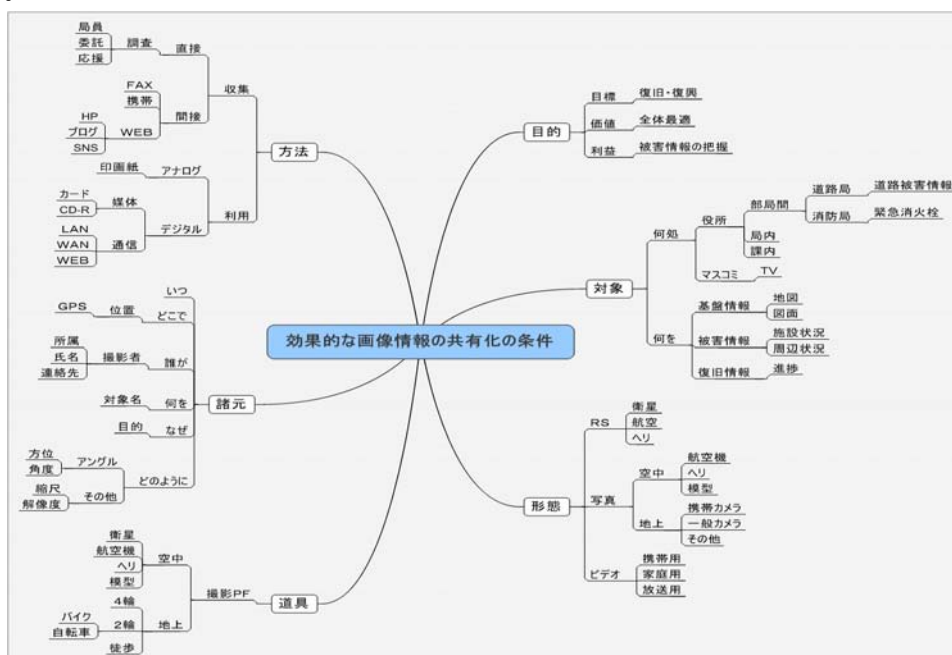


図 2.3-1 画像情報の共有化のための条件要素

①画像共有目的の明確化(何のために画像情報を共有化するのか?)

初めに共有化の目的を設定する必要がある。災害情報データベースの構築においては、被害の全体像を共有して把握することにより、広義的には「復旧・復興に関する全体業務の最適化を図る」ことが、狭義的には「復旧・復興に必要な個別業務を支援する」こととなる。

②提供先の明確化(共有化情報はどこに提供するのか?)

共有化情報の提供先としては、行政向けと報道向けとがある。また、共有化する情報としては、基盤情報、被害情報、復旧情報がある。

③共有化情報の形態(どのような画像形態で共有化するか?)

撮影プラットフォームや撮影機器の違いにより様々な画像形態となる。撮影対象範囲の違いから表 2.3-3 のように分類できる。撮影プラットフォーム(以降、PF)は、空中 PF と地上 PF に分類でき、空中 PF としては、衛星・航空機・ヘリ・模型、地上 PF としては 4 輪・2 輪(バイク・自転車)・徒歩などがある。

表 2.3-3 災害時における撮影形態

画像形態	R/S(リモートセンシング)			写真					ビデオ				
ポジション	空中			空中			地上		空中		地上		
機器	セサ	セサ	セサ	航空カメラ・セサ	カメラ・DC	カメラ・DC	カメラ・DC	携帯DC	ヘリVC	放送用VC	放送用VC	家庭用VC	携帯VC
プラットフォーム	衛星	航空機	ヘリ	航空	ヘリ	模型	地上PF	地上PF	ヘリ	模型	地上PF	地上PF	地上PF
撮影範囲レベル	複数県	県	市町村	県	市町村	街区	地点	地点	市町村	街区	地点	地点	地点
撮影時間	時点	時点	時点	時点	時点	時点	時点	時点	数時間	数十分	数十分	数時間	数分
撮影アングル	垂直	垂直	垂直	垂直	斜め	斜め	自由	自由	斜め	斜め	自由	自由	自由
利用方法	解析計測	解析	解析	計測半読	半読	半読	半読	半読	状況把握	空中観察	放映	観察	簡易観察
主な制約	軌道	天候	天候	天候	天候	天候飛行区域	視野	視野	天候	天候飛行区域	視野	視野	視野

* DC:デジタルカメラ、VC:ビデオカメラ、地上 PF:4 輪・2 輪(バイク・自転車)・徒歩

④共有画像の諸元(画像情報で共有化すべき諸元とは?)

画像共有化を図る際、次に示す諸元を共通仕様として持つ必要がある。

[いつ]:撮影年月日、撮影時刻

[どこで]:GPS 座標>住所番地>

[誰が]:撮影者の氏名、所属、連絡先

[何を]:撮影対象物の名前、施設名称、箇所名称

[なぜ]:撮影の目的(例)交通遮断状況、水路破損状況など

[どのように]:撮影アングル(方位・角度)、撮影縮尺

特にデジタル撮影の際については、画像データの設定諸元について留意する必要がある。

「どのような設定で」:画像解像度、画像圧縮の有無(画像フォーマット)

一般的なデジタルカメラで撮影されたデジタル画像は圧縮フォーマットで記録される(標準設定となっている)ようになっているが、画像解析や形状計測などを目的とする場合は、非圧縮フォーマットで記録することが望ましい。また、撮影された画像を拡大利用する場合は、必要に応じた解像度で撮影する必要がある。このように、デジタル画像の撮影の際には、利用目的に応じた解像度や記録フォーマットの設定を行う必要がある。

⑤画像情報の収集方法

画像情報を収集する方法としては、直接的に収集する方法と、間接的に収集する方法がある。

直接的に収集する方法としては、画像を利用する部門で、職員や外部委託、又は応援員に依頼して行う現地調査による撮影がある。間接的に収集する方法としては、利用部門の意思に係らず、別部門で所有する既存画像情報のファックス、携帯電話、インターネット、メール等による画像データ転送がある。直接的に収集する方法では、目的の仕様で情報収集が行えるメリットがあるものの、取得費用が掛かるというデメリットがあり、間接的に収集する方法では、取得費用は掛からないメリットがあるものの、目的の仕様の情報が得られるとは限らないというデメリットを持つ。画像情報を収集する際には、これらの特徴を考慮して、目的に応じて組合せながら情報収集を効率的に行うことが望ましいものとする。

⑥画像情報の共有方法

アナログ媒体として共有する方法とデジタル媒体に保存して共有する方法がある。アナログ媒体としてはプリント画像などが、デジタル媒体で保存するものとして、ICカード、CD-R、HDなどの媒体に保存として、LAN、WAN、WEBなどの通信環境で利用するがある。

アナログ共有法では、特別な共有媒体を必要としないものの、加工や再利用などが困難となる。また、デジタル共有法では、特別な共有媒体が必要であるものの、加工や再利用が容易に出来る。という特徴を持つ。

※画像情報の利用事例

参考までに本研究の検証フィールドとした神戸市水道局で提示された道路局との画像情報の共有化を図った場合の共有化効果の可能性を表 2.3-4 に示す。また、表 2.3-5、表 2.3-6 にパソコンで使用される主要な画像フォーマットと動画フォーマットの例を提示する。

表 2.3-4 災害時における撮影形態

		共有化画像	水道局	道路局	その他
目的		道路被害状況	敷設管の破損状況	道路閉塞状況	道路被害状況
提供先		部局内外	部局内	部局内	道路閉塞状況が必要な部署
形態	画像形態	写真・ビデオ	写真・ビデオ	写真・ビデオ	R/S・写真・ビデオ
	ポジション	地上	地上	地上・空中	空中
	機器	DC・家庭用VC	カメラ・DC・家庭用VC	カメラ・DC・家庭用VC	航空カメラ・ヘリ・放送用
	PF	地上PF	地上PF	地上PF・ヘリ・航空	衛星・航空・ヘリ・模型
	撮影範囲	地点	地点	県・市町村・街区・地点	複数県・県・市町村・が行く
	撮影時間	時点	時点	時点	数時間・数十分・数分
	撮影アングル	自由	自由	自由・斜め・垂直	斜め
	利用方法	判読	判読・計測	判読	状況把握
主な制約		天候・視野	天候・視野	天候・視野	天候・飛行区域
諸元	いつ	必須	必須	必須	必須
	何処で	必須	必須	必須	必須
	誰が	必須	必須	必須	任意
	何を	必須	必須	必須	必須
	どのように	方向	原則	任意	任意
		角度	原則	任意	任意
		縮尺	原則	任意	任意
	設定	解像度	判読レベル or 計測レベル	判読レベル	判読レベル
		静止画	非圧縮 TIFF or JPEG	JPEG	非圧縮 TIFF or JPEG
		動画			

表 2.3-5 PC上でよく使われる主要な画像フォーマット

拡張子	説明	英字スペル
EPS	ベクトル画像のため拡大縮小に関係なくシャープな直線、曲線を描ける。	Encapsulated PostScript File
gif	256色までの画像を扱うことができ、Web 上で簡単なイラストやアイコンなどに使われる。	Graphic Interchange Format
jpg	ISO に設置された組織の名称がそのまま使われている、画像圧縮方式。フルカラーなどで写真などの自然画に有効。	Joint Photographic Experts Group
png	Web 上で使われる画像フォーマット。劣化することなく、フルカラーの自然画を圧縮保存できるなどの特徴がある	Portable Network Graphics
pdf	Adobe Systems 社により開発された、電子文書フォーマット。PDF 文書を作成するには、Acrobat というソフトが必要。表示の場合は、Acrobat Reader が必要	Portable Document Format
bmp	Windows 標準の画像形式ファイル。白黒からフルカラーまで扱う事ができるが、無圧縮のためファイルサイズは大きい。	Bit Map
pict	MacOS がサポートする画像形式。ラスター画像と簡単なベクトル画像とテキストデータを混在して扱うことができる	

表 2.3-6 PC上で使われる主要な動画フォーマット

フォーマット	拡張子	帯域	再生用プラグイン	特徴
DV	—	25MB	DV Codec	
MPEG-1	mpg/mpeg	1.5~1.8Mbps	Windows Media Player	フレーム単位の編集は不可
MPEG-2	mpg	4~15Mbps 最大	各種 DVD Player	高品質・高圧縮
RealVideo	rm	~500Kbps	RealPlayer	Netscape Navigator に標準添付
Video for Windows (AVI 形式)	avi	~非圧縮	非圧縮はプラグイン不要圧縮は Microsoft Video 1、Microsoft RLE 等	規格が緩やかであるため、非圧縮、圧縮など複数のフォーマットが存在する
MotionJPEG	avi	~108Mbps	BUZ、Media100 等いろいろ (特定のフォーマットを指すものではないため、特定のプラグインもない)	フレーム単位で圧縮をかきける動画形式の総称。AVI のコーデックの1つとして使われることもある
QuickTime Movie	mov	~500Kbps	QuickTime	Macintosh 用、MPEG-4 再生機能を準備
Macromedia shockwave Flash	spl/sw	—	shockwave	Web サイト用動画フォーマット
MPEG-4	asf	~384Kbps (QCIF) ~2Mbps (CIF)	Windows Media Player	ネット動画用フォーマット。狭帯域が特徴
nancy				MPEG-4 と同様ネット動画がターゲット
Windows Media	wmv	~500Kbps	Windows Media Player	Windows 標準のマルチメディアファイル形式

2.3.3 情報の収集・仕分け

兵庫県南部地震で、神戸市水道局では、被害が深刻かつ広範囲であったこと、当時としては IT の高度利用が進んでいなかったことなどのほか、庁舎が大破し震災対応に必要な図面・資料を直ちに取り出せなかった事情も重なり、災害情報の収集と分析、そしてその結果に基づく意思決定といった面で、非常に苦慮した。例えば、毎日の通水率の進捗状況を把握するために、各センターからのファックスによる連絡を待って集計作業をしたり、災害対策本部結めの職員が各センターを巡回したりして、そこの図面に書き込まれた通水済みエリアなどを書き写して持ち帰り、整理・集計するという方法で対応した。震災のように被害が広範囲で短時間のうちに発生し、逆に復旧には相当な時間を要する災害では、関係する情報の効率的な収集・処理を行う必要がある。

ここでは、震災時に、次々に入ってくる情報を仕分けして有効に活用するにはどのような仕組みが必要かについて考えてみる。

水道事業を例にとれば、震災時の「情報」に関して次のような特性を挙げることができよう。

- ・被害に関する情報、水の需給状況、復旧の進捗状況など、広い範囲の場所からの多種・多様な情報を扱う。情報の量も非常に多い。
- ・寄せられる情報の中には、誤情報や使えない情報も混じることが考えられる。
- ・類似した情報を他の部局などでも収集したり利用したりするが、利用する部局ごとに、必要とする内容、詳しさ、精度等が異なる。
- ・時間の経過とともに、必要な情報の内容や要求精度が変化する。例えば、発災直後は施設の被害状況、断水エリア、各所の貯水量の大略を即時に必要とするが、復旧の後期には、通水状況の詳細や応援部隊に関する情報などが必要になる。
- ・非常時の混乱の中であるにもかかわらず、情報の収集、分析および判断、指示・伝達の、スピードと内容の正確さが求められる。

こうした特性を考えると、震災時の情報収集・処理を完璧に行うシステムを構築するのは非常に難しいが、ある程度の効果が期待できる仕組み作りとして、以下を提案したい。

①集めるべき情報を、事前に洗い出しておく：

震災時に対応業務を遂行するのに必ず要る情報、集めるべき情報を、事前にリストアップしておく。各部署が、「その時に自分達が必要とする情報」の仕様を明確にしておくことで、事前に対策を講ずることができる。

②情報収集担当者、外部協力者を決めておく：

発災時に情報収集をする担当者を事前に決めておく。また、外部に情報収集協力者を依頼しておく。情報を実際に集めに行く担当者を決めておくことで、発災時に情報収集体制が早期に立ち上がる。また、正確で要領を得た情報を迅速に集めるには、予め、必要な情報の仕様(5W1H 等の構成項目など)を決めておくとともに、部局外にも協力者を得て、組織的に集める仕組みを用意しておくのが有効である。そうすることによって、誤った情報の混入が少なくなるし、不正確や不完全なために有効に使えない情報、重複した情報、などといった無駄も少なくなると考えられる。なお、こうした仕組みを動かすための訓練も定期的に行う必要がある。

③情報処理担当者および情報処理手順を決めておく：

寄せられた情報を、整理・分析・加工する処理を行う担当者および業務手順も決めておく。例えば施設の被害や断水箇所、道路の被害箇所などの情報は、GIS(地理情報システム)をベース

とした登録システムなどを構築しておき、そこに記入することで、他部署でも参照する道が開け、情報の共有化ができる。このような IT 的な処理を効率的に行うためにも、①②に述べたような情報の仕様の明確化が必要である。

また、多くの情報の中から、その時点時点で必要とされる情報を、必要とする部署に直ちに知らせることが重要であるが、そうした優先度の高い情報の選り分け作業（「情報のトリアージ」とでもいう作業）を、この情報処理担当者が担うことになる。

④IT による情報処理システムを活用する：

災害情報を記録する上で、また、情報を部局横断的に共有化する上で、IT 技術の利用は有効である。上記の GIS 以外にも、様々な情報システムの活用が考えられる。被害情報の通報手段として、従前の電話（口頭）や紙・ファックスだけでなく、カメラ付きあるいは GPS 付き携帯電話での電子メール通信により、情報を人手によらずに自動入力する仕組みを構築することも可能であろう。こうした情報システムでは、通報項目として、被災場所、施設名、被害内容、デジタル映像などの必要事項を定め、外部協力者も含めて情報収集担当者に周知させておく。

ほかにも、インターネットを通じて、所定の窓口に電子メールで通報したり、部局のホームページ上の掲示板などに書き込んだりする方法なども考えられる。ただし、こうした一般に開かれた、自由記述式の情報収集システムとした場合には、誤情報の混入やイタズラ情報に対するリスクの問題があるほか、多種・多様・多量な情報を自動仕分けしたり有効な情報を自動的に拾い上げたりする方法（検索やいわゆるデータ・マイニング）なども合わせて考えておく必要がある。このようなことも含めて、IT による自動化が難しい部分や、想定外の事項への対応など、災害時には臨機応変な情報処理業務が必要になると考えられる。このため、現状では情報の収集・処理に、上述③の情報処理担当者のような人による仕分けや判断を無くすのは難しいと思われる。

⑤情報収集・処理は個別に分散化して行い、他所と共有化できる形に整理・蓄積する：

大都市では、これまでに挙げてきた情報収集・処理業務は、センター・浄水場などの拠点単位で分散して行いながら、それらの情報を統合して共有化できる仕組みとなった情報システムとする。需要家や水道施設が広域に展開する都市では、一次通報などの原情報まで、災害対策本部などで一元化処理するのは、場所的にもマンパワー的にも無理がある。一定エリアを所管し、そのエリアの状況を最もよく知るセンターや浄水場ごとに、その担当エリアに関わる情報を収集・処理するのが適切であろう。災害対策本部としては、個々のエリアにおける細部にわたる状況のリアルタイム情報までは、業務上必要ない。各部署が、それぞれ必要とする情報を必要なだけ取り出せるように、情報共有化のシステム設計ができるとうい。

2.3.4 リモートセンシング技術の活用

兵庫県南部地震の際に、水道局は道路下にある配管の破損状況と関係の深い道路の損傷状況を職員が歩いて調査したことがヒアリング調査から明らかになった。道路が地盤から圧力を受け、盛り上がった状態であれば配管は圧縮によって座屈等の被害が考えられ、逆に、引っ張りによって道路に亀裂が生じて開いた状態であれば、配管の接合部の抜け等の被害が想定されるというものである。しかしながら、道路状況に関しては、道路局は独自に道路の破損状況や通行の可否に関して調査を行ったということであった。両者が別々に調査を行なう理由としては、調査情報の内容が異なるために共通して使う情報がなく、そのために、情報共有は意味をなさないという話であった。役所の縦割り型の組織構造も少なからず関係があるものと推察される。

しかしながら、地震災害という緊急の対策が必要となる局面では、人手をかけずに効率的に被害状況やその変化に関する情報を素早く獲得することは非常に重要である。さらに、一度得た源情報を分析し、様々な種類の情報を抽出し、災害対策に活用できれば一挙両得である。このうち、被害情報を素早く獲得する一手段にリモートセンシング技術が挙げられる。

人工衛星や航空機をプラットフォームとしたリモートセンシングは、ほぼ同一時刻の広範囲な情報や同一地域の経時変化を現地に直接立ち入ることなく取得できる。また、人の目でとらえられる可視光領域の反射光だけでなく、赤外領域の反射・放射、マイクロ波による観測も可能である。このような技術は農業、林業、水産、環境、地質・資源、空間データ作成など、多岐にわたる分野で活用されている。地震災害では、既に兵庫県南部地震で応用され³⁾、このときには兵庫県南部地震の際の現地調査に基づく被害データと地震前後の ERS/SAR 画像とを用いて、被害地域における後方散乱特性について検討し、大被害地域の抽出の可能性を示している。一度、撮影した画像から様々な種類の情報を引き出し、これを一カ所で管理し、情報を必要とする組織がデータベースにアプローチでき、必要な情報だけを得られる仕組みを構築しておけば、各組織が足繁く少しずつ異なる情報を獲得するために奔走する必要はなくなる。現状の縦割りの官公庁の組織では、災害発生時に誰がこの情報分析から管理を行うかは技術論とは別の検討の余地がある。

以下では、リモートセンシングデータの特徴と道路被害の情報ニーズを簡単に整理するとともに、道路被災状況把握の可能性について考察する。

(1) 道路被害に関する情報のニーズ

道路被害の要求精度は、地震発生からの経過時間により変化する。災害対応の初動期の道路被害把握にリモートセンシングデータを活用するためには、個々の道路被害判読に必要とされる時間的・空間的な精度にみあった手法を検討しなければならない。

震災時における建設行政の対策活動と必要な情報は表 2.3-5 のように整理できる。地震発生からの経過時間にもとない建設行政の対策活動も変化し、把握すべき被害情報ニーズも変化する。

被害の現象は、幅・長さ・面積等の平面的なものと、陥没・沈下等高さ情報を含む三次元的な変状を示すものがある。また、鉛直方向から把握できる被害、道路法面のように斜め撮影が効果的な被害、トンネルのように地上調査が必要な被害がある。

表 2.3-5 をもとに、各時期において必要となる道路被害調査の点検項目、精度の詳細、およびこれら各々に対する上空からの調査可能性を、表 2.3-6 のように整理して示す。この表から、道路被害の情報ニーズに関して以下のことが言える。

①施設の重要度により時間的な優先度が異なる

震災後直ちに被害を把握する必要がある道路施設は、道路路面・法面、トンネル、橋梁である。
数日後は全ての施設について被災箇所や被災程度の把握が必要となる。

②調査対象とする被害規模と施設の重要度により時間的な優先度が異なる

表 2.3-6 に示す程度の規模をもつ被害情報を収集することが求められる。災害直後の概要把握段階では被害の有無を確認することに重点が置かれ、数日後の被害状況把握段階では正確に被害規模を計測することが重要となる。

表 2.3-5 地震発生時の建設行政における対策活動と必要情報

震災発生後の 時期区分	建設行政の対策活動	必要情報
直後 (発生後～3 時間)	初動体制の確立	被災状況の概略把握
数日 (3 時間～3 日)	救援活動支援のための道路交通確保	被害状況、道路交通状況
	二次災害防止	被害状況
復旧 (3 日～3 ヶ月)	応急措置と復旧対策	道路交通状況、迂回路の情報、 重機の通行可能道路の情報

表 2.3-6 震災時における道路施設被害の情報ニーズ

情報ニーズ			時期区分			被害規模	現象		最適な検知方向		
施設	対象	項目	直後	数日	復旧		二次元	三次元	鉛直上空	斜め上空	地上
路面	路面性状	クラック		○		幅、長さ 数 10cm	○		○		
		崩壊	○	○		幅、長さ 数 m 四方	○	○	○		
		陥没	○	○		面積 数 m 四方	○	○	○		
		隆起		○		高さ 数 10cm		○	○		
		段差	○	○		段差量 数 10cm		○	○		
		路上障害物	○			幅、長さ 数 m	○	○	○		
法面	切土部、盛土	クラック	○	○		幅、長さ 数 10cm	○			○	
		崩壊	○	○		幅、長さ 数 m	○	○		○	
		落石	○	○		幅、長さ 数 m	○	○		○	
擁壁工護岸	擁壁	亀裂		○		幅、長さ 数 10cm	○			○	
		はらみ出し		○		はらみ量 数 10cm		○		○	
		滑動		○		移動量 数 10cm	○			○	
	護岸	沈下		○		沈下量 数 10cm		○		○	
		流動化		○		移動量 数 10cm	○			○	
横断施設	歩道橋	落橋		○		長さ 数 10m	○	○	○		
		傾斜		○		傾斜角 数度(数 m)		○	○		
		ずれ		○		移動量 数 10cm	○		○		
	地下道	沈下		○		沈下量 数 10cm		○	○		
道路付属物	照明、標識	倒壊		○		長さ 数 m	○		○		
		落下		○		長さ 数 m	○		○		
共同溝	路面性状 マンホール 地下埋	沈下		○		沈下量 数 10cm		○	○		
		蓋の落ち込み		○		直径 数 m	○		○		
		路面への突出		○		高さ 数 10cm		○	○		
占用物件	電柱等	倒壊		○		長さ 数 m	○	○	○		
沿線施設	建物	倒壊		○		幅、長さ 数 m	○	○	○		
		火災		○		沿道距離 数 m	○		○		
	土塀等	倒壊		○		幅、長さ 数 m	○	○	○		
	樹木	倒壊		○		径、長さ 数 m	○	○	○		
トンネル	壁面	亀裂	○	○		幅、長さ 数 10cm	○				○
	坑口付近	崩壊	○	○		幅、長さ 数 m	○	○	○		
橋梁	全体	落橋	○	○		長さ 数 10m	○		○		
		倒壊	○	○		長さ 数 10m	○		○		
	下部工	傾斜	○	○		傾斜角 数度(数 m)		○			○
		沈下		○		沈下量 数 10cm		○			○
		大規模な被害		○		面積 数 m 四方		○			○
	上部工	遊間の開き	○	○		幅 数 10cm	○		○		
		路面段差	○	○		段差量 数 10cm		○	○		
道路交通	交通渋滞			○	○	渋滞長、速度 数 km/h	○	○	○		
	道路閉鎖				○				○		

(2) リモートセンシング活用の課題

以下では、リモートセンシングによって道路の被害状況を把握し、災害対応を行う上での課題を述べる。

① 空間と時間のスケールのバランス

道路被災状況の空間スケールと、被害把握の際に求められる時間スケールとのバランスをどこに置かである。被災状況把握にリモートセンシングを活用する場合は、観測したい被災状況の空間スケール(現象の大きさ)、およびその情報に対してニーズの高い時間スケール(発災からの経過時間)をあらかじめ分析しておき、適切なプラットフォームおよびセンサの組み合わせを選択しなければならない。また、センサには曇天時、雨天時、夜間時には効果的な観測ができないものがあること、全天候型として期待されているセンサであっても、生成される画像は目視判読が困難なものであり、かつ必要な情報の抽出技術が未達のため、判読に時間を要することがあることも考慮しなければならない。

例えば、人工衛星 Landsat における可視・近赤外バンドの地上解像度は 30m であるが回帰日数は 16 日である。1 回の撮影範囲は約 185km 四方と広大であるため、広域的なモニタリングに適する。台湾集集地震や新潟県中越地震で多数発生した大規模な斜面崩壊、洪水氾濫にともなう大規模な浸水被害であれば判読可能である。しかし、地上解像度 30m では路面の細かな亀裂などは目視でも判別できない。また、条件がよくて月 2 回の観測しかできず、可視・近赤外のバンドを用いるとすれば、曇天時、雨天時、夜間時における地上の様子モニタリングはきわめて厳しい。

高解像度衛星画像 IKONOS や QuickBird は可視・近赤外の観測バンドをもち、パンシャープンの地上解像度は、それぞれ約 80cm と約 60cm、1 回の撮影範囲は、それぞれ約 11km と約 16km である。これくらいの解像度であれば、橋落、大規模な路面亀裂、盛土崩壊にともなう路線被害などの判読が可能である。しかし、地上解像度が高い分、画像ファイル自体のファイルサイズがきわめて大きく画像のハンドリングが容易でない場合がある。

航空機やヘリコプターをプラットフォームとしたリモートセンシングは機動力に富み、取得される画像の地上解像度は一般に人工衛星画像よりも高い。しかし、1 回の撮影でカバーできる撮影範囲は人工衛星画像に及ばないため、観測対象範囲を飛行しながら複数枚の航空写真や映像情報を取得する。スキャナ型のセンサであれば飛行しながらデータ取得が可能である。最近では航空写真やカメラ映像にとどまらず、スリーラインスキャナ(TLS)、ハイパースペクトラルセンサ、合成開口レーダ(SAR)、レーザスキャナなどを航空機やヘリコプターに搭載して森林計測、農業、火山砂防、都市モデリングなどの分野で活用している。

今回のヒアリング調査で明らかとなった水道局と道路局の個別の調査の事例に関して言えば、災害時には、水道局は道路の盛り上がりやひび割れ、道路局は損傷の有無や通行の可否の情報、両者では情報を引き出すための解像度に差がある。すなわち、道路の被害や通行の可否の情報の獲得であれば 1m 程度の解像度でも可能かも知れないが、道路の盛り上がりやひび割れは少なくとも 10cm 程度の解像度が必要とされるかも知れない。

② コスト

衛星画像は、決して安い買い物ではなく、特に高解像度衛星画像は高価である。航空写真についても、衛星画像でないにしても、数十枚単位の購入となると、相当の額になる。一般には、災害対応に多額の費用が必要であり、その中でどれだけ被害把握のために費用を避けるかが

問題であるが、リモートセンシングによる情報被害状況の効率的な把握、そして得られた情報の共有化によって、必要な人的資源の削減や復旧の迅速化をどのように図ることができるかを検討する必要がある。

(3) 道路被害状況の把握の方法

(1)(2)のような状況を踏まえ、道路被災状況把握の手法としては、下記のような手法がひとつの案として考えられる。このような手順を踏めば、即対応可能なプラットフォームの運用、逐次判読精度を上げた観測および処理が可能となると考えられる。

- ① 航空機またはヘリコプターをプラットフォームとする。あらかじめ運用会社と災害時撮影のための契約を結んでおく。
- ② 一次的にはヘリテレ(ヘリコプター搭載テレビカメラ)による映像を取得し、重大な被災箇所の把握に努める。
- ③ 二次的には航空写真(または高解像度衛星画像)を用いて、二次元画像処理により路面亀裂、道路盛土被害、崖崩れなどを抽出する。
- ④ 三次的には航空機レーザスキャナを用いて被災箇所の定量的な計測を行うとともに、前に撮影した画像情報とのマッチングにより三次元モデルを作成し、被災箇所の把握を行う。

2.3.5 災害対応の履歴の残るシステム

自治体において災害対応業務を効率化するためには、現状を分析し、課題の抽出を行うことが必要である。そのためには、復旧時と事後の災害対応の履歴を残すことが重要であると考えられる。

災害対応の履歴を、災害情報が活用される時間帯別に短期と長期に分けて考えることにする。ここで短期的な履歴とは、災害対応渦中の情報のやり取りであり、当事者間の情報の共有化とも言い換えられることができる。その場にいない人に状況を伝えたり、指示・命令を伝えたり、災害の復旧状況を支援者に伝達する事を意味する。長期的履歴とは、災害対応終了後に次の災害に備えて災害対応分析に役立つもので、時間的な余裕がある場合に役立つ。

短期的な履歴システムに求められることは、第一に共同作業者の意思統一であり、作業の効率化となる。またこうした履歴をマスコミなどを通じて随時周辺に発信することにより、住民へのアカウンタビリティに役立つことになる。

兵庫県南部地震時の神戸市水道局の対応を例にとると、水道の復旧状況がどのように進められているかという情報が伝わりにくかったことで、「復旧はいつか」「隣の家水道が復旧されたのに自分の家は復旧されてない」などの問い合わせや苦情が多く寄せられたという。隣接する地域で復旧時期が異なることは各戸が接続している水道経路が異なることなどから起こりえることだが、復旧工事の状況や水道経路などの情報がリアルタイムで発信されれば、ある程度住民自ら情報を得ることができるのではないだろうか。また、問い合わせに対する対応業務も低減できると考えられる。神戸市では現在、イントラネット上の掲示板システムが導入されている。このようなシステムを利用して災害対応の履歴を残す方法も考えられる。

短期的履歴システムは現在 IT を活用したものがいろいろと提案されている。大きくはテキスト情報と音声を組み合わせたものと、地理情報と時系列情報を組み合わせたものの二つに分けることができる。テキスト情報と音声を組み合わせたものに、従来からの技術を組み合わせたインターネット掲示板やクレーム処理用管理ソフトがある。最近商品化されたもののひとつに「災害ナビゲーションシステム」⁴⁾がある。一方の地理情報と時系列情報を組み合わせたものの代表例としては、消防庁の「緊急支援情報システム」⁵⁾がある。これは消防関係組織と都道府県とをコンピューターシステムで結び、大規模災害発生時の消防応援活動を応援することを目的としている。このほか、京都大学防災研究所を中心に「リスク対応型自治体情報管理システム」⁶⁾が提案されており、また、京都府中丹東土木事務所では WEB と GIS を組み合わせた「中丹安心くん」が産学協同研究対象として開発されている。

長期的な履歴システムの活用の効果としては、失敗(あるいは成功)事例の共有により反省点・課題を見出すことで、災害体制の見直し、インフラの維持管理、予防保全への活用が図れることにある。災害対応の当事者間だけに暗黙知としてしか残されなかった知識を形式知にするには、履歴を残すことが欠かせない。こうした長期的の履歴を残すことだけに特化したシステムに、最近犯罪捜査にも活用されている防犯(監視)カメラがある。災害対応の状況を映像で残すことにより、対応状況の履歴を確実に残すことが出来る。

しかしながら、こうした長期的履歴を残すことだけを目的としたシステムを新たに導入することは、設置に伴う工事や費用を考えると、現実的とは言えない。それよりもむしろ、短期的な履歴を残すシステムの履歴媒体を残すことが大切である。従来に比べて IT を活用した情報システムは、記録

媒体がコンパクトに出来ており長期保存にも適している。災害対応中での保存・整理作業は時間的余裕がなく難しいだろうから、とにかく上書きなどせずに、とにかく全て残すことを心がけ、その後に整理するようにすることが必要である。



図 2.3-2 緊急支援情報システム中の広域応援支援システムの操作画面⁵⁾

2.3.6 SCP(Service Continuity Program)を目指して

本項では、災害情報データベースの今後およびそのあるべき姿について論じる。

施設やインフラストラクチャーが建設されてから寿命をむかえるまで、つまりライフサイクルで多種・多様・多量のデータがかかわる。ここでデータとは情報を構成する最小単位と考える。これらのデータは、ライフサイクルの一場面では使われるものからライフサイクルにわたり使われ、更新されるものなど種々である。そしてデータは、ライフサイクルの特定のフェーズでは、例えば工事や維持管理で図面や見積書などの帳票という形、情報で利用、共有、交換される。製図や見積だけでなく施設やインフラストラクチャーに関わるデータをライフサイクルにわたって利用、共有、交換のためワンパッケージで扱えれば都合が良いことがわかる。地震などによる被災も、施設やインフラストラクチャーのライフサイクルの一場面となる。しかし、施設やインフラストラクチャーの場合、多くの人、組織などが長いライフサイクルにわたって関わるため共通のデータモデルの構築は難しかった。近年、製造業やエンジニアリング業では、ライフサイクルをサポートする製品情報モデル、プロダクトデータモデル(製品構成モデル)が使われている。これは製造図面や部品表などの情報だけでなく使用履歴やメンテナンス情報を一つの情報モデルで表現し、製品のライフサイクルにわたり情報を共有しようとするものである。

建設分野でも、この取り組みは始まっている。本分野では、製造業などのプロダクトデータモデルに対して、ファシリティデータモデル(施設構成モデル) TANAKA et al.1997⁷⁾と呼ぶこともある。具体的には、国土交通省が推進している CALS/EC の中では、NEXCO の JHDM⁸⁾など、また国際的な動きでは、IAI の IFC があり、形状モデルだけでなく、プロセスモデルとオブジェクトモデルが統合されている⁹⁾。これによりデータおよび情報利用者の役割、場面の变化などや時間経過があってもアプリケーションに依存しないデータモデルはサステナビリティを持つことになる。ライフサイクルにかかわることであるので、これらを被災時の情報交換のプラットフォームにやるようにデータモデルを構築しておけば状況把握だけでなく多数がかかわる復興に有効である。

製品などでは事故や故障にあたるものが、土木施設では、地震などの災害にあたる。したがってファシリティデータモデルの活用は、復旧、さらに企業でいえば BCP(ビジネス・コンティニュイティ・プログラム)にあたる SCP(サービス・コンティニュイティ・プログラム)に対して有効であると考ええる。また、ひとつの情報モデルに統合しておけば種々の機関に関わる公共施設について常時から異常時、被災時まで対応が楽になるのは当然である。実装にオブジェクト指向技術を用いればデータモデル間の通信、相互参照だけでなく情報入力も容易になると考えられる。

【参考文献】(2.3)

- 1) 神戸市水道局:阪神・淡路大震災 水道復旧の記録, 1996.2
- 2) 東大生産技術研究所目黒研究室:実証実験記録に基づく全体評価, 科学技術振興調整費重要課題解決型研究「危機管理対応情報共有技術による減災対策」平成 18 年度報告書
- 3) 松岡・山崎:1995 年兵庫県南部地震での建物被害地域における人工衛星 SAR 強度画像の特徴, 日本建築学会構造系論文集, No.546, pp.55-61, 2001.8
- 4) <http://www.ntt-at.co.jp/index.html>
- 5) <http://www.isad.or.jp/>
- 6) <http://rmsl.dpri.kyoto-u.ac.jp>
- 7) Yoshiyuki TANAKA et al. DEVELOPMENT OF ADVANCED CONSTRUCTION TECHNOLOGIES USING CALS CONSTRUCTION, OPERATION AND MAINTENANCE PHASE, Proceedings of CALS Expo INTERNATIONAL, 1997
- 8) <http://www.kensetsu21.com/calsjapan/lectures/cadgis/004.pdf>
- 9) <http://www.iai-japan.jp/index.html>

2.4 まとめと課題

本 SWG-1 では、平成 16 年度から平成 18 年度の 3 年間「災害情報データベースの構築」をテーマに神戸市水道局を調査フィールドと設定しながら様々な検討を通し、災害情報データベースの構築に対し6つの提案することに至った。

平成 16 年度では、まずメンバーのイメージネーション能力を高めることを目的に目黒メソッドを用いて地震発生時の発生事象の洗い出しと分析を行った。これにより、メンバー各自が今後の地震への対応を考える上での共通認識を持つことを図った。

次に、平成 17 年度では、地震発生時における情報の流れ対応の関係を検討することを目的に、本SWGの調査対象を神戸市水道局に設定し、水道局を中心とした組織間の情報と対応の流れに関して「被害状況の把握」「応急給水」「応急復旧」の3つのフェーズから整理を行った。また、平山修久氏(人と防災未来センター専任研究員)を講師として招き、調査対象に設定した神戸市水道局の兵庫県南部地震時の対応と課題について討議を行い、水道局における地震時の対応と課題について概要を把握した。そして、これまでの地震時の水道局の情報の流れと対応を時間軸に沿って再整理を行うことで、災害データベースの構築法というテーマに対し「情報の共有化」という方向性を得ることができた。

平成 18 年度では、データベースのあり方と構築法に関して、文献調査によって震災時の神戸市水道局の対応と情報の流れを整理して議論を深めるとともに、神戸市水道局を訪ねて当時の対応者に対してヒアリングを実施し、現状分析と課題の抽出に関する議論を行った。災害情報データベースの構築に当り、キーとなる共有すべき情報を抽出するため、災害対応業務を大業務・中業務・小業務・アクションなどの枠組みにより再分類した業務分類表を作成し、各対応に必要な情報抽出を行った。この業務分類表の検証、ならびに図面情報の扱い方、部署ごとの役割分担など、文献からはわからなかった点を明らかにすることを目的とし、12 月 12-13 日にかけて、当時災害対応に当たった神戸市水道局本部、奥平野浄水管理事務所に対してヒアリング調査を行った。このような一連の研究より災害情報データベースの構築に関する提案は以下の通りである。

- ①外部組織との連携
- ②画像情報の共有化
- ③情報の収集・仕分け
- ④リモートセンシング技術の活用
- ⑤災害対応の履歴の残るシステム
- ⑥SCP(ServiceContinuity Program)を目指して

本研究により、水道局における災害情報の流れと業務対応プロセスに関して、アクションレベル分析による業務分類表に基づくあるべき手続きのフローチャートとして体系化し整理することが出来た。災害情報データベースの構築に関する今後の課題としては、災害情報データベースの構築に関する標準化を図るため、災害情報データベース構築の要求仕様書などに記載すべき項目、災害情報データベースの仕組み、仕様、備わっているべき機能などについて具体的に整理する必要があると考える。

3. 耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度

3.1 はじめに

3.1.1 第3章の構成

本章は、6 節によって構成されている。

第 1 節(3.1)では、耐震補強を今後更に進めるための必要性とそのための課題を述べ、リスクマネジメントの手法をリスクコントロールとリスクファイナンスに分け、特に後者の今日における役割についてまとめた。

第 2 節(3.2)では、本章の中心テーマである耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度の提案内容と本制度を個別建物に適用した場合について報告している。これによって、本提案制度の概要及び特徴を把握することができる。

第 3 節(3.3)では、本提案制度を、第 2 節と異なり、複数の建物を対象として適用した場合の考え方及び検討例を示している。これによって、本提案制度に基づいて設計される金融商品の大規模な市場における展開例を想定することが可能になる。

第 4 節(3.4)では、本提案制度の核になる地震発生確率の予測方法として震源断層を特定した地震動予測(シナリオ地震)の場合の考え方及び特徴を説明している。第 2,3 節で想定している地震発生確率は、一定領域内の全ての地震(バックグラウンド地震)を対象にして算定しているという違いがある。

第 5 節(3.5)では、地震リスクマネジメントの各種制度を分類整理し、特に公共と個人の役割に着目して各制度をゲーム理論などにより比較した結果について説明している。さらに、確率的な思考を主とする本提案制度と既存の耐震補強推進制度と比較してその特徴をまとめている。

第 6 節(3.6)では、本章の検討結果をまとめている。

3.1.2 耐震補強推進の必要性と課題

リスクの制御を図るリスクマネジメントとして、リスクを回避・軽減・移転・保有するなどの手段が検討されている。地震リスクマネジメントにおいて、リスクを回避・軽減する方法は、リスクコントロールに分類され、耐震性能が高い構造(免震・制震など)を採用したり、耐震補強の実施、そして構造技術以外では、窓ガラス対策・昇降機の安全対策・室内家具の固定などの検討が考えられる。また、リスクを移転・保有する方法は、リスクファイナンスに分類され、地震保険・再保険制度を始めとし、高度な金融工学を用いた金融オプションや証券化の手法を用いたり、金融機関と被災時の融資に関する特別な契約を締結する方法などがある。さらにリスクコントロールとリスクファイナンスの組み合わせといえる、自治体による各種補助金制度・減税制度・TIF(Tax Increment Financing)などが知られている。

兵庫県南部地震(1995 年)後、10 年以上を経て、その間にも鳥取県西部地震(2000 年)、芸予地震(2001 年)、十勝沖地震(2003 年)、新潟県中越地震(2004 年)、福岡県西方沖(2005 年)など全国で地震被害が発生し、更に 2005 年には耐震偽装問題が発覚し、近年地震リスクや構造物の耐震性についての関心は極めて高い状況にある。

兵庫県南部地震の建物被害を年代別に分析した結果、1981 年以前に建築された新耐震設計基準以前の建物の被害が大きいことが報告されている。これら既存不適格建物の存在は、今後発生する地震の被害を考えた場合、大きな社会問題として捉えられている。

兵庫県南部地震後、耐震補強を推進する目的で、1995 年 12 月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」が施行された。しかしながら、既存不適格建物の耐震改修は未だ十分に進んでおらず、2006 年 1 月には建築物の耐震改修の促進に関する法律の一部を改正する法律が施行された。本改正は、平成 17 年に国土交通省で開催された「住宅・建築物の地震防災推進会議」で提言された「既存建物の耐震化率を現状の 75%から 10 年後には 90%に引き上げ」の推進力になることを期待されている。更に本会議の提言では、自治体による促進事業として、ローン、税制、助成制度などの支援策の必要性を示しており、各種地震リスクマネジメント手法の有機的活用が期待されている。

「住宅・建築物の地震防災推進会議」資料によると、耐震改修促進法の対象となる特定建物（3 階以上かつ 1,000m² 以上で多数の者が利用する用途のもの）で耐震改修が必要なものは 9 万棟（平成 15 年時点推定値）存在し、住宅に関しては 1150 万戸（平成 15 年時点推定値）の既存不適格建築物の存在が示されている。平成 15 年度までに、住宅に関して、地方公共団体が自ら実施又は補助等を行った耐震診断は約 17 万戸あるのに対し、耐震改修に至ったものは約 3500 戸と少ない。補助によらないものを含めると平成 10 年から平成 15 年までの 5 年間で約 32 万戸の耐震改修を実施していると推計されている。上記「住宅・建築物の地震防災推進会議」の提言では、今後 10 年間で、約 100 万戸の住宅の耐震改修を目標においており、従来の 2～3 倍のペースが要求されるとしている。

2006 年 6 月 8 日に住宅の量的拡大から安全性や品質の向上に重点を置いた政策の推進のため住生活基本法が公布・施行された。この中で、上記検討項目が、良質な住宅ストックの形成と将来への継承のための目標として掲げられている。このように、既存不適格建物の耐震性の向上は、目標を定めた後、具体的な実施が求められる段階に来ているといえる。

最近の地震被害や行政による被害予測発表から地震リスクに対する社会的な認識は高まっているものと思われる。今後 10 年間で耐震化率を増加するためには、リスク意識を高めると同時にそれを具体的な行動に移行するための様々な制度が必要になる。このためには、行政の意識と個々の居住者の意識を分析し、その特性を把握することが重要である。

過去に耐震改修が十分に進んでこなかった理由を、居住者の意識調査結果（文献 1）から認識することができる。この調査によると、耐震補強費用に対する資金の不足が耐震補強の推進を妨げていることが具体的に分かる。これが、リスクを認識した後にも現実の行動として繋がらない主要因である。また、他の金銭的支出との比較においてその優先順位が低い位置付けになっている。将来に備える幾つかの支出要因の内、耐震補強の動機になる巨大地震の発生確率は、他の要因の発生確率に比べ認知しにくい面があり、支出に備える効果を比較した場合、優先度が低くなっていると考えられる。

今回の促進法改正は、特定建物の耐震化に対して行政側が指導・助言に努め、指導に従わない場合は公表するなどの規定が盛り込まれている。また、これらの規定の強化に合わせて、政府は、耐震改修に対する税の優遇措置などを行い、耐震改修を今後促進することを図っている。

これらの制度変更により耐震改修が促進されることを期待するものであるが、資金的問題に関しては、税の優遇制度のみで解決するかは検討の余地があると思われる。建物所有者にとっては、

耐震補強に資金を投じることが、過大な負担にならないような仕組みを更に提案していくことが必要と考えられる。

3.1.3 リスクファイナンス技術

地震リスクマネジメントの 1 つの方法として、リスクを移転・保有する方法としてリスクファイナンス手法がある。これは、主に地震後の復旧のための資金を調達する手段として位置付けられている。

その代表的なものが、地震保険である。「住宅・建築物の地震防災推進会議」においても、地震保険の活用推進策を提言している。しかし、その加入率は、損害保険料率算定機構の調査の結果、平成 14 年度末で 16.39%に留まっている。加入率の増加のため、耐震診断結果に基づく耐震等級割引制度や地震保険料の所得控除制度などが提案されている。しかし、地震リスクは、巨大被害の可能性、発生時期・頻度の予測の困難性、広域災害の可能性などの特性を持つため、民間の力だけでは保険として成立しない面があり、政府の力や再保険などによる更なるリスクの分散が必要になると言われている。経済の仕組みが複雑かつ高度化している今日において、住宅のみならず産業施設に被害が生じると、経済に与える影響は更に拡大し、保険制度だけでは金額的にも時間的にも満足のいく復旧資金を調達できないことが推測される。

これらの問題を解決するために生まれたものが、金融工学を活用した代替的リスク移転(ART)である。その代表的なものとして、リスクの証券化(キャットボンド)・デリバティブ取引などが挙げられる。金融工学の発達により、契約に基づき機動的に巨額の資金を確保することが可能になってきている。

リスクの証券化とは、地震発生時に事業の復旧継続に必要となる資金調達額を設定し、その資金の原資を証券化により多数の投資家に分散する方法である。災害が発生しない場合は債権の額面と利息分を償還し、発生した場合には償還されずに復旧費用として没収される仕組みであり、投資家にとってはハイリスクハイリターンの商品に位置付けられる。

デリバティブを活用した金融技術として、よく知られている例は、株価や為替のオプション取引、そして最近では天候デリバティブが良く聞かれる。これらは、ある将来時点での価格や気温・降水量・積雪量などを指標として、想定した価格や物理値を基準として売側と買側の間で取引契約を結ぶものである。金融工学を駆使することにより、各種のデリバティブ商品の開発が可能になってきている。

リスクファイナンス技術は、今日のような高度な経済社会においてのみ活用可能なものであり、また開発可能なものといえる。このような技術を、耐震補強という従来からのリスクコントロール技術と組み合わせることにより、新しいリスクマネジメントモデルの構築の可能性があると思われる。

3.2 個別建物に対する提案制度モデルの適用(スタディ I)

3.2.1 提案制度モデルの概要

本制度は、リスクコントロールとリスクファイナンスを組合せた地震リスクマネジメント手法に位置付けられる。リスクコントロールとしては、耐震補強を実施し、リスクファイナンスとして金融工学の技術の一つであるデリバティブの手法を活用し、両手法を融合している点に特徴がある。デリバティブは金融投資商品の1つであり、その商品の買い手と売り手が存在する。両者の間には契約に基づく状況に応じた権利義務の行使が行われる。デリバティブの買い手はプレミアムという価格を売り手に支払い、金銭の授受に関する契約上の権利を購入する。この仕組みを活用して、耐震補強を必要とする者(通常、建物所有者)はデリバティブの売り手になり、買い手からプレミアムを受け取る。そして、建物所有者はこのプレミアム耐震補強費用に充当する点が、本制度の大きな特徴である。

図3.2-1に本制度の概要を示す。上部の図の上枠にオプションの買い手になる投資家を示し、下枠にオプションの売り手になる建物所有者を示している。この両者の間で、契約時に投資家から建物所有者へのプレミアムの支払及び建物所有者は将来のペイオフに対する担保として耐震補強の対象になる建物に対して抵当権を設定する。プレミアムを受け取った建物所有者は、それを利用して耐震補強工事を行うことができる。

ペイオフとは、図3.2-1右部に示すような、オプションの買い手と売り手の間の将来の支払額に対する契約上のルールを表す。本図の例は、横軸にハザード指標を縦軸に売り手の支払額を表すものである。ハザード指標として地震規模を表すマグニチュードを用いた場合には、契約に基づく特定期間内に特定の地域に発生したマグニチュードの大きさに応じて売り手から買い手に支払われる額を示すことになる。

契約期間内に契約に関わる地震が発生した場合、建物所有者は投資家にペイオフの支払を行

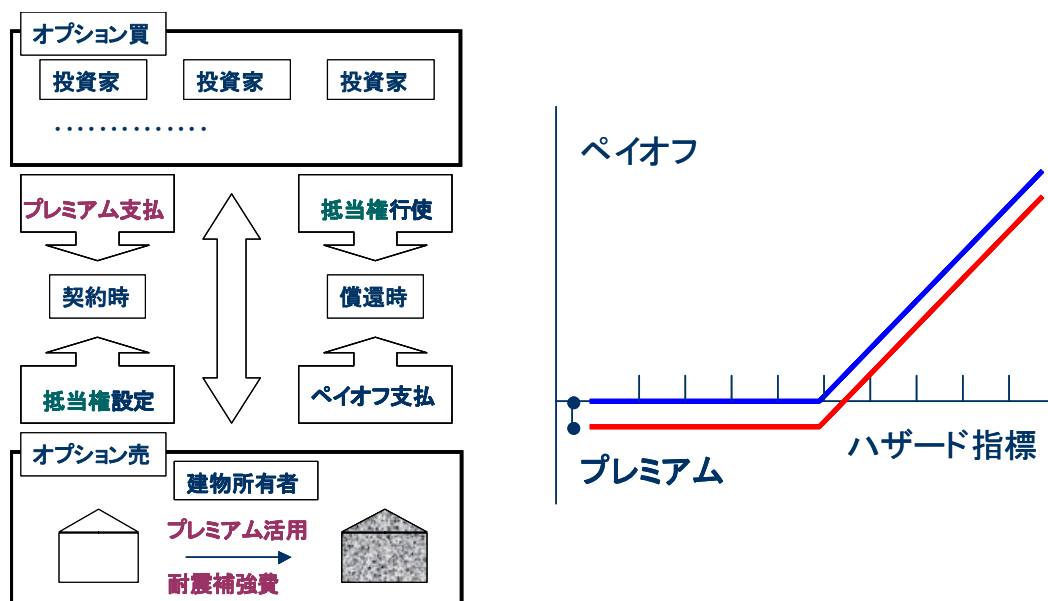


図 3.2-1 本制度の概念図

う必要がある。この場合、建物所有者が支払い困難な状況にある場合には、抵当権を行使してペイオフ相当額を受け取ることになる。

この仕組みは、耐震補強費を補強時に負担する者を、建物所有者自身から投資家に変換することを意図したものである。デリバティブという手法を適用することにより、ペイオフのルールに基づき、建物所有者は地震規模が比較的小さい場合には耐震補強の費用負担を投資家に転嫁することができ、逆に大規模な地震が発生した場合には、プレミアム(耐震補強費用の全部又は一部)よりも高い支払をする義務が生じることになる。建物の立地条件である地震リスクを確率的に扱い、デリバティブの考え方を活用して、建物所有者が保有すると考えられる、地震が発生しなかった場合の耐震補強に対する投資リスクを軽減することが可能になる。ペイオフのルールは、建物の立地や補強性能などの諸条件によって変わるため、建物毎に設計することになる。

3.2.2 設計手順

本制度を設計・活用するに当り、建物毎に地震リスクや耐震補強に関する特性を把握する必要がある。ここでは、本制度実現のために必要になる分析検討項目と手法を手順に沿って示す。図3.2-2に設計の流れを表す設計手順を示す。

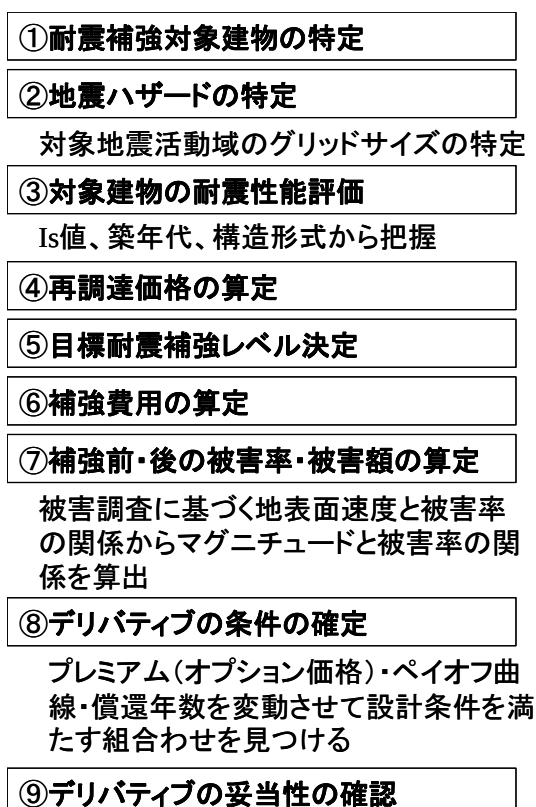


図3.2-2 本制度設計手順

(1)耐震補強対象建物の特定

本制度を適用する建物の立地、建築年、構造、用途、所有者、権利関係等を特定する。

(2)地震ハザードの特定

立地条件に基づき、当該建物の地震リスクを評価する。地震リスクは、一般に震度、地表面速度、地表面加速度、マグニチュードなどを確率的に表現することによって示される。本制度における地震ハザードは、建物の被害率の算定のみならずペイオフの指標として重要な意味を持つ。特にペイオフの支払条件に直接影響を与えるため、できる限り客観性が高く把握しやすい指標にする必要がある。ここでは、一定の地域内に発生する地震のマグニチュードレベルで地震リスクを評価する方法を示す。

図3.2-3に評価方法の説明図を示す。立地点(対象建物)を中心に一定の範囲を定め、その範囲に含まれる各地震活動域の諸元に基づきマグニチュードレベル毎の頻度分布を求め、その結果から当該範囲内のマグニチュードと年発生確率を求める方法である⁴⁾。立地点を中心とした範囲は任意であるが、各活動域が対象建物の地震被害に与える影響を考慮して設定する必要がある。

(3)対象建物の耐震性能評価

既存建物の耐震性能は、一般に財団法人日本建築防災協会出版の耐震診断基準によって評価される。一般に耐震補強をするためには、まず耐震診断を行い、その結果に基づいて耐震補強の設計を行う。診断の結果、「要補強」と判定された建物が、本制度適用の対象候補となる。耐震性能は、先の耐震診断基準に基づき、耐震構造指標(Is値)で評価されることが多い。Is値は、想定される地震に対して必要な耐力・エネルギー吸収量に対する、現建物の耐力・エネルギー吸収量の比を表すものである。この数値が、0.6以上であれば、現行の設計基準に対して安全であると判断されるが、それ以下の場合、不適格と判断される。Is値が0.6以下の建物は、0.6以上になるように何らかの補強をすることになる。

(4)再調達価格の算定

再調達価格とは、現在同じ効用の建物を建設しようとした場合の要する費用の総額のことである。

再調達価格の求め方は、要求される精度に応じて種々あるが、最も正確な方法は、対象建物の見積書から算定する方法である。見積書が無い場合は、再度見積もりを取るか、一般的な同規模

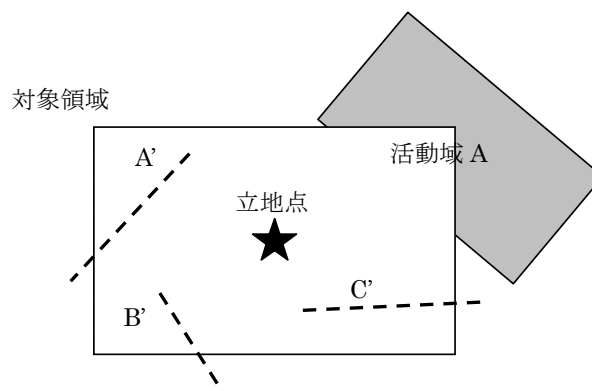


図 3.2-3 地震ハザード評価方法

の建物から類推して算出する。地震リスク評価を行う場合の再調達価格は、被害レベルを個別に把握できる部位別(躯体・設備・内装・外装・基礎など)に分けて考える方法がある。それぞれに要する費用を算出して、総和を取ることで再調達価格を求める。

(5) 目標耐震補強レベルの決定

(3)で述べたように、 I_s 値が 0.6 以下の建物は補強のレベルを検討する必要がある。耐震診断基準によれば、 $I_s=0.6$ を満足すれば耐震性を有することになるが、所有者の要求に応じて任意の耐震レベルを設定する方法(性能設計)をとる場合がある。建物の補強レベルは、必要な耐震性能を設定し、補強費用・使い勝手の変化・施工方法・施工期間などを考慮して決定されるものである。

(6) 補強費用の算定

(5)の目標耐震補強レベルを満足するための補強費用を算定する。この費用を基準として本制度のプレミアムを設計する。

(7) 補強前・後の被害率・被害額の算定

建物の被害率は、過去の震害調査結果から、築年、構造形式、階数などに基づき算定される。被害率は、各立地の地表面加速度や速度との関係で示されているが、本制度では、(2)に示したように地震ハザードとしてマグニチュードを用いているため、設定域内のマグニチュードと被害率の関係を求める必要がある。

このためには、各活動域のマグニチュードと対象構造物立地点での地表面加速度(又は速度)の関係を、距離減衰式から推定し、各マグニチュード毎(例えば 0.1 毎)に、設定域内の全ての活動域を考慮した対象構造物立地点での地表面加速度(又は速度)の確率分布形を特定する必要がある。この確率分布により示される地表面加速度(又は速度)と被害率は震害調査結果から関連付けることができ、その結果、設定域内のマグニチュードと被害率の関係を把握することが可能になる。被害額は、各部位の再調達価格に各被害率を乗じて計算する。

被害率は、補強前と補強後の耐震性能のレベルに基づき算定し、被害額に換算した場合の差額を把握しておく必要がある。

(8) デリバティブの条件の確定

(7)までの情報に基づき、必要な耐震補強費用をプレミアムで賄うことを前提に、補強前後の被害額の差額の幅を考慮して、ペイオフの関係(ペイオフ曲線の形状)、償還年数を変動させ設計条件を満たす組合せを確定する。

(9) デリバティブの妥当性の確認

デリバティブは金融商品の1つであり、売り手と買い手が存在して初めて市場性を有するものである。上記の設計手順は、売り手である建物所有者の立場で説明したものである。金融商品として成立するためには、買い手の立場から、他の投資対象や金融商品と比較して一定の妥当性を有することを確認する必要がある。

3.2.3 パラメトリックスタディ

本制度の設計に影響を与えられ種々のパラメータに付いて、その特性を分析した。建物固有のパラメータとして、立地点、被害率、被害額について、本制度上の固有のパラメータとして、地震発生対象領域、ペイオフ曲線の形状、償還期間について検討した。パラメトリックスタディを行うに当たり、変動因子以外の条件に付いては、以下のものを標準として扱っている。

- i 立地点:立地K
- ii 地震発生対象領域:100km四方
- iii 対象建物(被害額、被害率)
 - 耐震構造指標 ($I_s=0.2$ レベル)
 - 被害率曲線は文献 5 による(林)
 - 被害レベルと被害額の関係は地震保険の評価に準拠する(3.2.3(4)被害額 参照)
- iv 補強レベル
 - 耐震構造指標 ($I_s=0.6$ レベル)
 - 被害率曲線は文献 5 による(林)
 - 被害レベルと被害額の関係は地震保険の評価に準拠する(3.2.3 (4)被害額 参照)
- v 償還年数(10 年)
- vi ペイオフ曲線
 - トリガーマグニチュード 5
 - 勾配 0.08(単位マグニチュード当たりの被害額(再調達価格比換算)の割合)

(1)立地点

立地点が異なれば、影響を受ける地震活動域が変わるため地震ハザードは変化する。また各立地点の地盤の状況の違いから工学的基盤と地表面の間の増幅率によっても異なる。

図3.2-4に今回検討した東京都内の立地Kと立地Sの場所を示す。図中の直線や四角形は、文献2に基づく関東地域に存在する活断層及びプレート境界に沿った大地震発生活動域を示している。各立地の地表面増幅率は、地震ハザードステーション³⁾によればそれぞれ1.77、1.33である。立地Kは約30m厚の沖積層上にあり比較的柔らかい地盤の上に位置するのに対し、立地Sが洪積台地上にあることが数値の違いとして表れている。

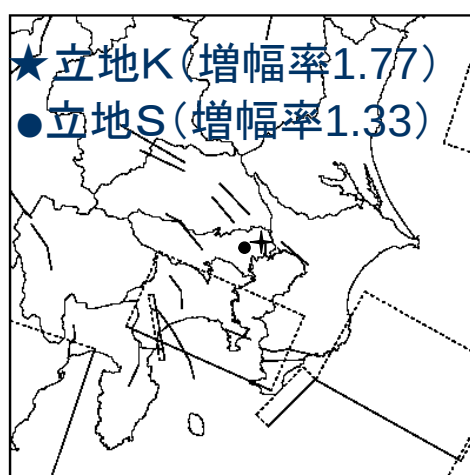


図3.2-4 立地と地震活動域の関係

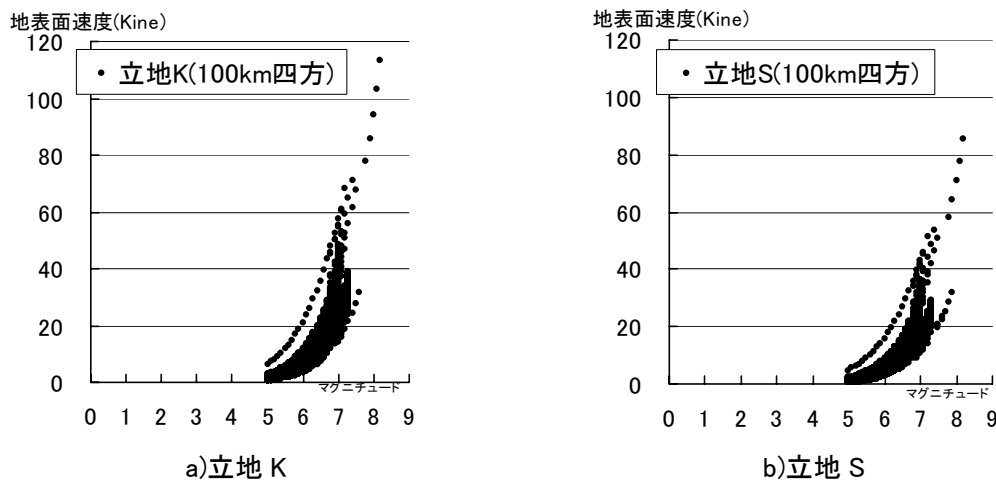


図3.2-5 マグニチュードと速度の関係

図3.2-5に各立地を中心に100km四方の範囲内にある全地震活動域を考慮して、発生マグニチュードと各立地の地表面速度の関係をプロットしたものを示す。マグニチュード5以下については、被害に対する影響が少ないものとして分析対象から除外している。

図3.2-5より両立地のマグニチュードと地表面速度の関係の分布状況は比較的類似している。また、同レベルのマグニチュードの地表面速度は、立地Kの方が大きくなっている。これは、両立地点の距離が10km程度の差であるため影響を受ける地震活動域はほぼ同じであり、各地における地表面増幅率の違いが顕著に現れた結果である。

本制度の適用に当り、立地毎に図3.2-5に示す発生マグニチュードと地表面速度の関係を把握する必要がある。この関係と地表面速度と被害率の関係を結合することにより、発生マグニチュードと被害率の関係を得ることができる。

また、この関係を用いて地震発生対象領域内のマグニチュードと発生確率を算定することができる。この地震発生確率とペイオフの支払い条件からプレミアムが決定される。本ケーススタディは立地の違いがプレミアムにどのような影響を与えるかを検討するものである。図3.2-6に各立地の違いによる建物オーナーの支出を示す。立地の違いは、地震発生確率と被害率の違いに具体的に現れるものであるが、本スタディの場合、立地が比較的近い(10km程度)ため、地震発生確率には差はなく、増幅率の違いに基づく地表面速度の大きさに差が生じ、その結果被害額に若干差が出た程度である。解析の結果、立地Kのプレミアムは0.049、立地Sのプレミアムは0.047になった。立地Kが僅かに大きくなったのは、トリガーマグニチュードである5.0以上の地震発生確率がやや大きかったためと思われる。プレミアムの値は、地震発生確率の分布によって一意に決まるものであり、地表面速度や被害率の違いは影響を与えない。

本スタディの2つの立地間では、プレミアムに顕著な差は見られなかった。また、建物オーナーの支出に付いても差が明確でなかったが、ペイオフ曲線の妥当性は、ペイオフによる支払額と補強後の被害額の和と補強前の被害額を比較して、前者が小さい場合には、本提案制度を活用するメ

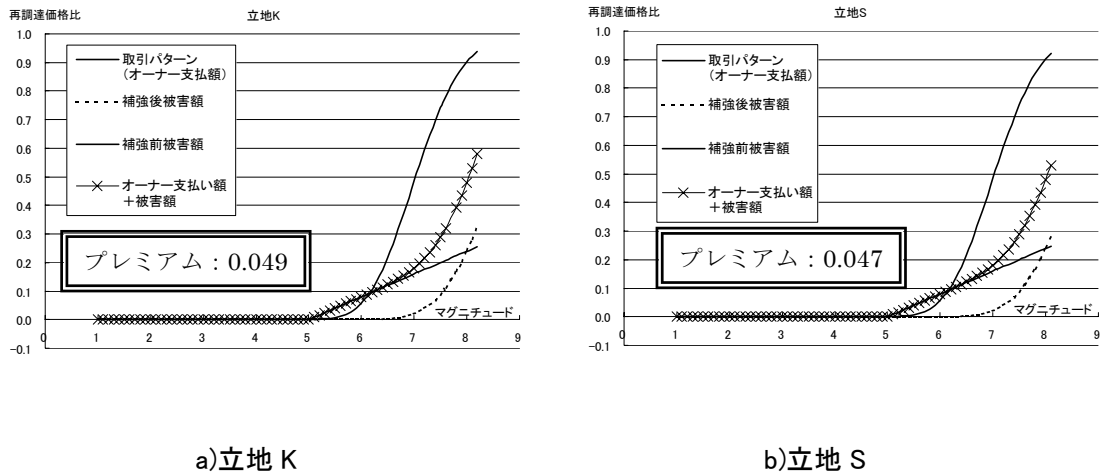


図3.2-6 建物オーナーの支出の比較(立地の違い)

リットを説明することができる。図3.2-6の両ケースともマグニチュード5～6の範囲で、本提案制度を活用した場合(×マーク)の支出が多くなっているため、制度採用の妥当性に欠ける面がやや見られる。ただし、ペイオフ曲線は任意に設定可能であるため、ペイオフ曲線を変動させることにより妥当な条件を満足することは可能といえる。

(2)地震発生対象領域

本制度固有の項目として、ペイオフの契約の対象になる震源が存在する領域(地震発生対象領域)がある。文献4に、この領域の大きさ(文献4の表現:グリッド)はリスク移転の妥当性に影響を与

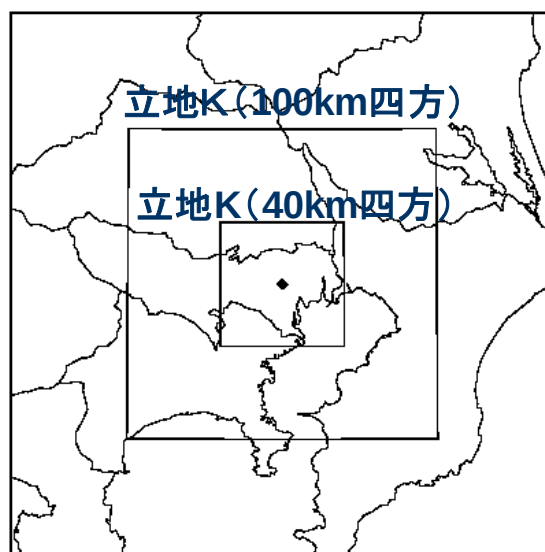


図3.2-7 地震発生対象領域

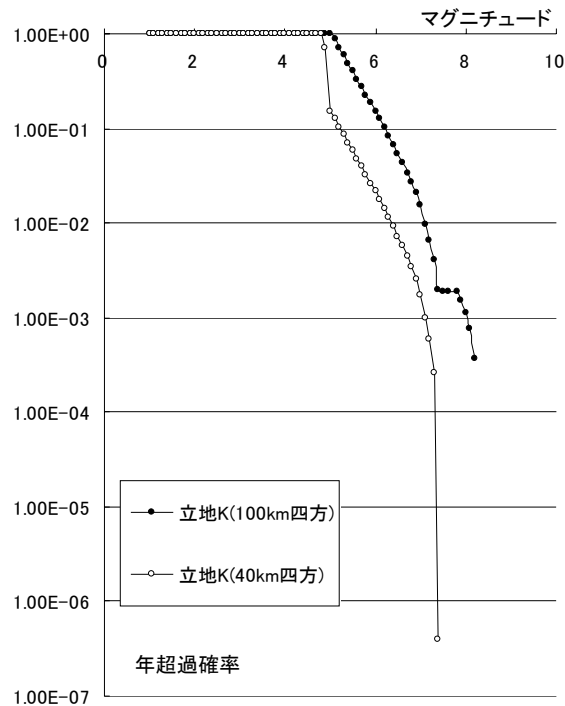


図3.2-8 地震発生確率

えるという認識で検討を行っている。ここでは、図3.2-7に示すように立地点Kに対する地震発生対象領域を100km四方と40km四方と想定した場合、発生確率がどのように変化するかという観点でのみ比較している。

図3.2-8に解析結果を示す。この結果、領域が大きくなると対象となる活動域が多くなるため発生マグニチュードに対する年超過確率は大きくなることがわかる。

ただし、立地点から離れた活動域が含まれるため距離減衰により立地点での加速度(又は速度)は小さくなる傾向も有する。

図3.2-9に100km四方と40km四方の場合を比較したものを示す。両者のプレミアムは、それぞれ0.049、0.010である。100km四方の方が、対象領域が大きいいため同じマグニチュードレベルが発生する確率は大きくなる。その結果、プレミアムも狭い範囲を対象にした場合よりも大きくなる。被害額を比較すると、100km四方の方が被害額は大きくなっている。本スタディの場合、領域を拡大した場合、大規模地震の原因となる活動域が含まれたものと考えられる。

また、両ケースとも、補強前の被害額と比較した場合、マグニチュード5～6の範囲で提案制度を適用した場合(×マーク)の支出が大きくなっており、この部分で妥当性に欠ける部分がある。ただし、ペイオフ曲線は任意に設定可能であるため、ペイオフ曲線を変動させることにより妥当な条件を満足することは可能といえる。

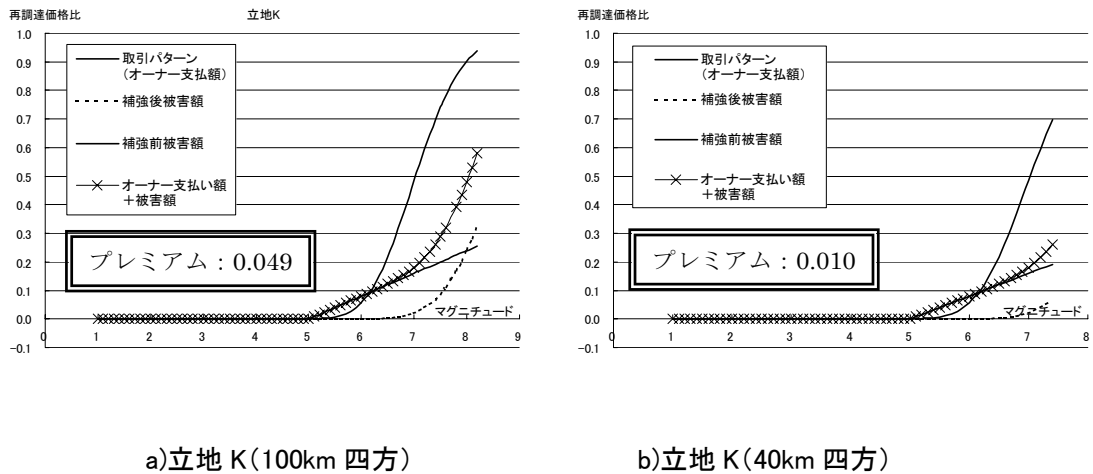


図3.2-9 建物オーナーの支出の比較(地震発生対象領域の違い)

(3) 被害率

本制度の適用の妥当性を判断する上で、建物の被害率の予測は重要な問題になる。補強効果は被害率と次節に示す被害額と合わせて貨幣額で表される。地震発生時に生じる建物所有者の支出は、ペイオフと補強後の被害額であるため、ペイオフの額が補強による被害低減額を下回っていれば本制度の適用は妥当であるといえる。

建物の耐震性能と被害率の関係は、震害調査に基づく既往の文献によるのが一般的といえる。文献によって、調査対象とした地震や構造物が異なる場合があるため、適用する建物の特性を踏まえて適切な被害率を利用する必要がある。ここでは、文献5、6を比較することとする。

文献5、6は、共に兵庫県南部地震の被災調査結果に基づいたものであるが、調査対象とした文献は異なる。文献5は、兵庫県都市住宅部計画課による建築物被災度調査結果(中高層集合住宅16703棟)と日本建築学会近畿支部RC 部会による灘区・東灘区の震度Ⅶ相当地域を対象としたコンクリート系建物の全数調査結果(3911棟)に基づいている。一方文献6は、神戸市によって実施された灘区の建物被害調査データ(30000棟)に基づくものである。調査の違いに伴い被害レベルの表現も異なっており、文献5では2種の調査結果を整合させ軽微、小破、中破、大破、倒壊の5分類で表現しているのに対して、文献6は全壊と半壊の2分類である。

建物耐震性能を表現する方法については、文献5は研究目的から年代別階数別の情報をIs値に置き換えているのに対し、文献6では調査建物の建築日付を目安に分類されている。

図3.2-10に両文献から新耐震規準を満足していると考えられるRC構造物の各被害レベルにおける地表面速度と被害率の関係の比較を示す。両文献の耐震レベルを同一とするため、文献5によるIs値0.6の場合と文献6による建築年1982-94の場合を比較している。その結果文献6の全半壊は、文献5の小破と中破の間に位置する。文献5の中で用いられた2つの調査結果の表現の整合性に関して、「小破」は「中破程度の損傷」、「中破」は「全壊または大破」とみなしても大きな違いはないという記述がある。また、文献6の全壊は文献5の大破とほぼ一致している。これらより、文献5と6の被害率はほぼ整合が取れていると思われる。

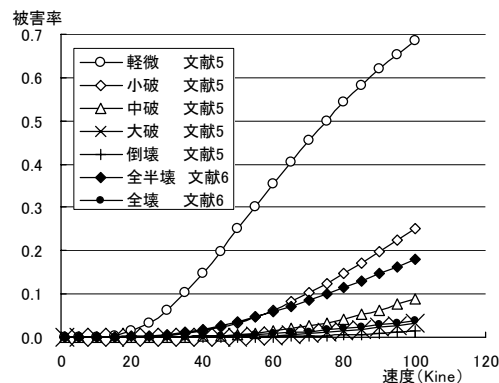


図3.2-10 被害率曲線

(4)被害額

本制度の妥当性を判断する上で、被災後の損傷の程度に応じた復旧費用を適切に評価する必要がある。ここでは、復旧費用として2つの方法を比較する。1つは、地震保険の保険金の評価に基づくものである。2つ目は、文献5で示されている方法で、これは文献7の調査結果を根拠にしている。

地震保険の契約によると、保険金は全損、半損、一部損によって支払額が変わる。全損は損害割合が50%以上、半損は20%以上50%未満、一部損は3%以上20%未満と定義されており、それぞれの支払額は、100%、50%、5%である。この関係を参考に、図3.2-11に示すように、全損を全損に、半損を半壊に、半壊以下を一部損に対応させて再調達価格に対する比を定めた。

文献7に基づき文献5で採用している被害額は、再調達価格の比で表すと、軽微、小破、中破、大破、倒壊に対しそれぞれ0.05、0.1、0.2、0.3、1.0としている。図3.2-12のケース2にその関係を図示する。そして、この5分類を地震保険の3分類に対応させた例を図3.2-12のケース1に示す。この場合、中破以上を損害割合50%と判断して全損と同等とし、再調達価格比を100%とした。

被害額と(3)で検討した被害率を乗じることにより、地表面速度と被害率×被害額(再調達価格比)の関係を得ることができる。

図3.2-13、14、15に地表面速度と被害率×被害額(再調達価格比)の関係を被害率と被害額の種類の組合せ毎に示す。図3.2-13は、文献5に基づく各破壊レベルの被害率と図3.2-12のケース1(地震保険に基づく)の被害額から算定したものである。この結果、地表面速度が大きくなると、小破～中破、中破～大破の占める割合が大きくなる事が分かる。図3.2-14は、文献5に基づく各破壊レベルの被害率と図3.2-12のケース2(文献5に基づく)の被害額から算定したものである。この例では、小破～中破、中破～大破、大破～倒壊の被害額がケース1に比べ小さいため、図3.2-13に比べ被害率×被害額(再調達価格比)も小さくなっている。図3.2-15は、文献6に基づく各破壊レベルの被害率と図3.2-11のケース1(地震保険に基づく)の被害額から算定したものである。この結果、地表面速度が大きくなると半壊～全壊、全壊の占める割合が大きくなる事が分かる。

被害額(再調達価格比)

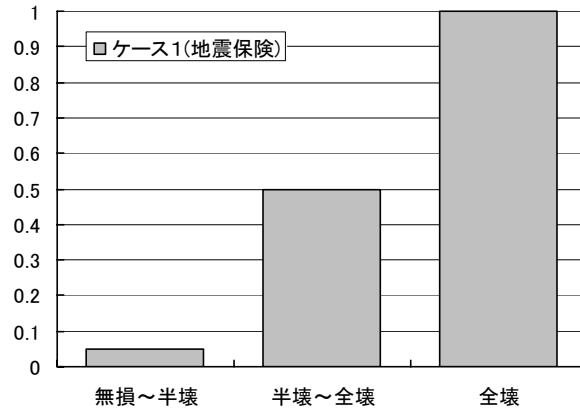


図 3.2-11 被害額の想定(文献 6 の被害分類)

被害額(再調達価格比)

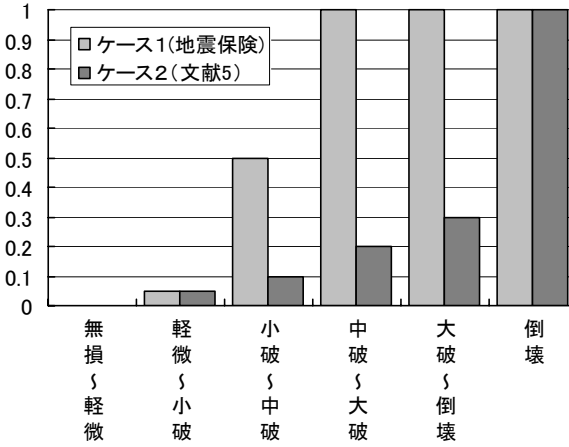


図 3.2-12 被害額の想定(文献 5 の被害分類)

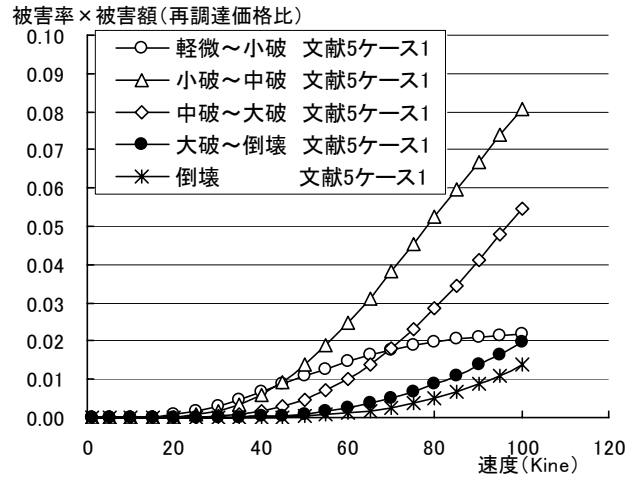


図3.2-13 地表面速度と被害率の関係(文献5と地震保険に基づく場合)

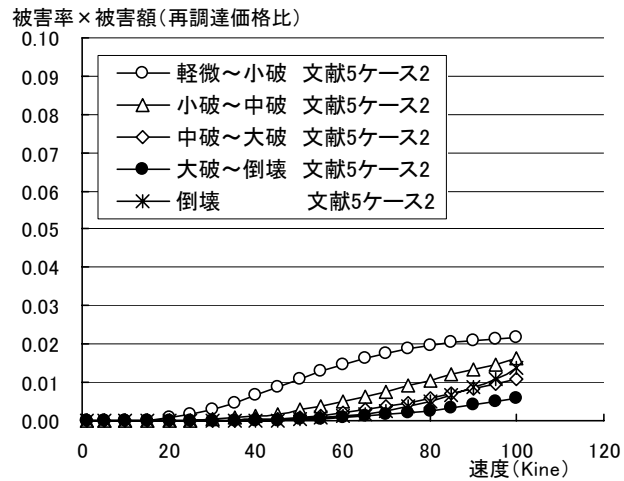


図3.2-14 地表面速度と被害率の関係(文献5に基づく場合)

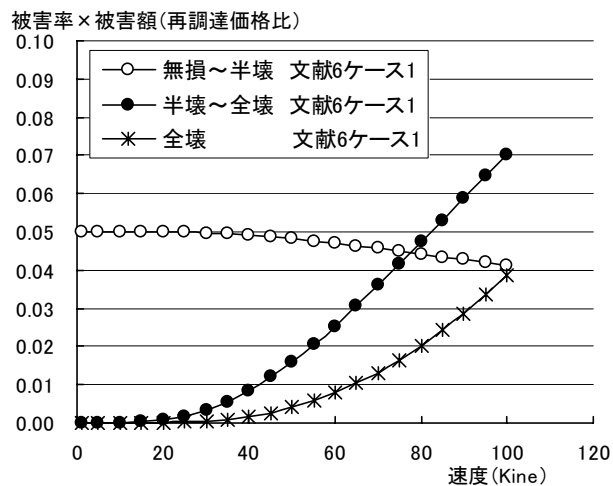
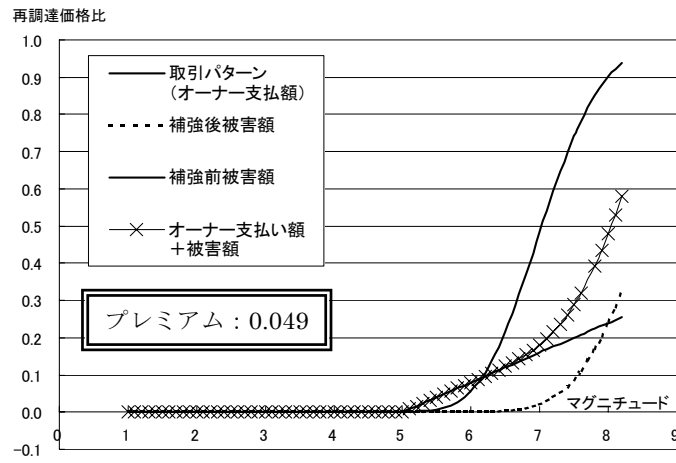


図3.2-15 地表面速度と被害率の関係(文献6と地震保険に基づく場合)

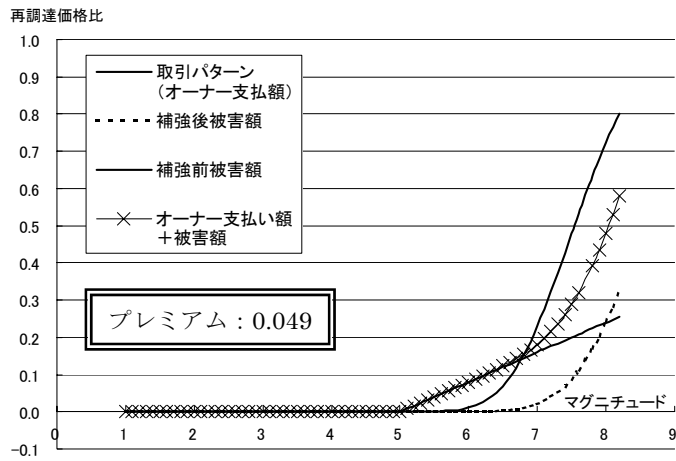
以上より、被害率と被害額は、その想定によって大きな影響を受けることが分かる。従って、検討する建物の被害率、被害額を適切に評価できる信頼性のあるデータに基づき判断する必要がある。

図3.2-16に図3.2-13,14,15の被害率・被害額の組合せに基づき解析した結果を示す。本ケーススタディでは、地震発生確率は全て共通であるためプレミアム値(0.049)は同じである。図3.2-16の各図に示される補強前と補強後(×マーク)の被害額を比較すると、a) 文献5と地震保険に基づく場合には、マグニチュード5～6の範囲でのみ、補強後(×マーク)の支出が補強前に予想される支出を上回っているのに対し、b)、c)の場合は、マグニチュード5～7の範囲で上回っている。

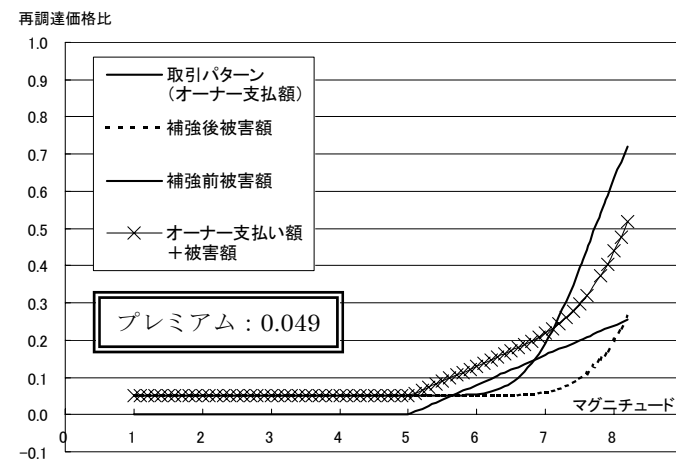
本提案制度モデルを妥当性のある範囲で設計するためには、全てのマグニチュードレベルで補強前の予想支出を本提案制度適用後の予想支出が下回っている必要がある。本スタディで分かるように、建物の被害率をどのように評価するかによりその妥当性は変動することが分かる。建物の被害率の予測は、過去の限られた震災被害結果に基づいているので、不確実性が高いものである。従って、本提案制度モデルの設計に当り、建物の被害率のばらつきを考慮に入れて検討する必要がある。



a) 文献 5 と地震保険に基づく場合



b) 文献 5 に基づく場合



c) 文献 6 と地震保険に基づく場合

図3.2-16 建物オーナーの支出の比較(被害率と被害額の違い)

(5)ペイオフ曲線

ペイオフ曲線とは、デリバティブの売り手と買い手の間で結ぶ支払条件に関する契約を図化したものである。本制度の場合、図3.2-17に示すように横軸をマグニチュード(以下、Mと表す)、縦軸を支払金額(対象建物の再調達価格比)で表しており、発生Mに応じて支払い金額が変わる条件としている。このペイオフ曲線はデリバティブを考える上で各種のものが考えられるが、ここでは、トリガーマグニチュード(以下、TMと表す)を境界値として、それ以下の場合には買い手の投資金額は没収され、それ以上の場合には、償還金を得る場合に限定して説明する。

図3.2-17では、ペイオフ曲線を特定する2つのパラメータ(トリガーマグニチュード、勾配)を定義している。TMは、先に述べたように、投資金額を没収される場合と償還を受ける場合の境界値を表すMである。図3.2-17の例では、TMが4.0と5.0の場合を示している。契約期間中に発生した最大規模MがTM以下の場合に投資金額は没収される。

勾配とは、TM以上の地震が発生した場合の規模に応じた償還額を決定付けるペイオフ曲線の傾きを表す。図3.2-17の例では、勾配が急なタイプBは、緩やかなタイプAに対して地震規模の増加に対して支払額の増加割合が大きくなる。

ペイオフ曲線は、売り手と買い手の期待値を一致させるように定義される。横軸を発生マグニチュードにした場合、マグニチュードが大きくなるに従い発生確率が小さくなるという特性を考慮して決定される。プレミアムを一定とした場合、TMが大きくなるほど、ペイオフの勾配は大きくなる傾向を持つ。また、TMを小さくし、勾配を上げると高いプレミアムを設定することが可能になる。この特性に基づき、必要な耐震補強費用を得るためのプレミアムを決定し、TM、勾配を変化させて適切なペイオフ曲線を設計し、本制度に基づくデリバティブ金融商品が開発されることになる。

図3.2-18にTM4.0と5.0にした場合の建物オーナーの支出の比較を示す。この場合のそれぞれのプレミアムは、0.124と0.049である。TMが小さいほうが、建物オーナーがペイオフを支払う可能性が高いため、それを受け取る投資家の支払うプレミアムも大きくなる。建物オーナーは受け取ったプレミアムを耐震補強費用として用いるのが本提案制度モデルの特徴である。TMを小さくすれば、

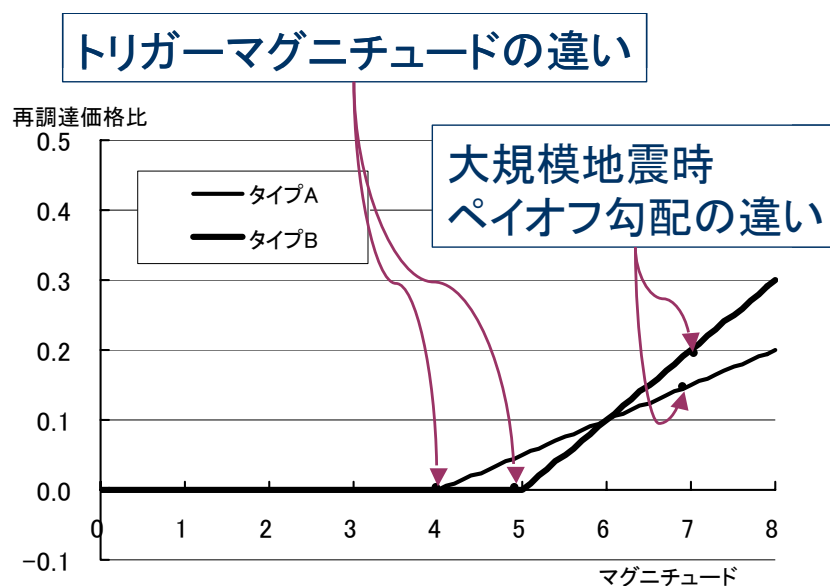
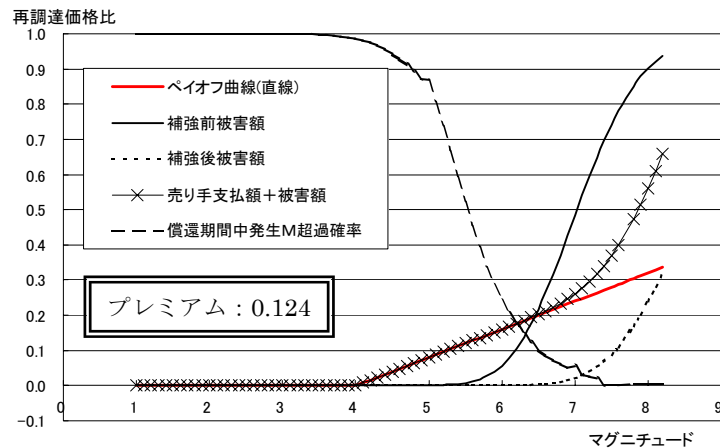
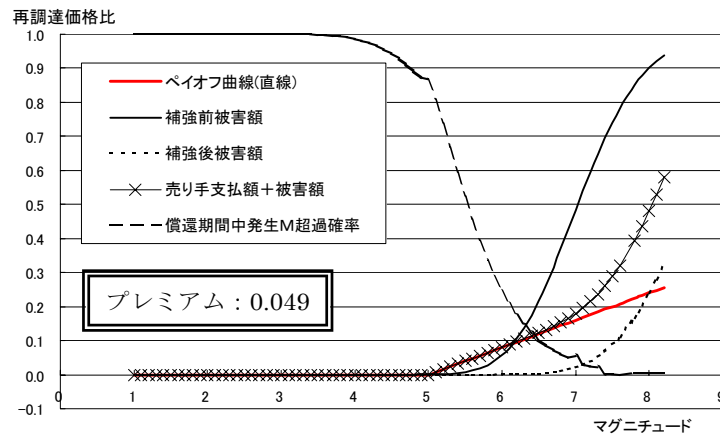


図3.2-17 ペイオフ曲線



a)トリガーマグニチュード 4.0



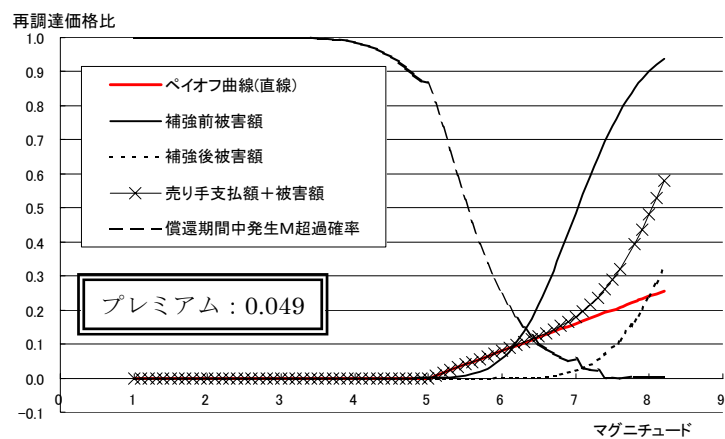
b) トリガーマグニチュード 5.0

図3.2-18 建物オーナーの支出の比較(ペイオフ曲線トリガーマグニチュードの違い)

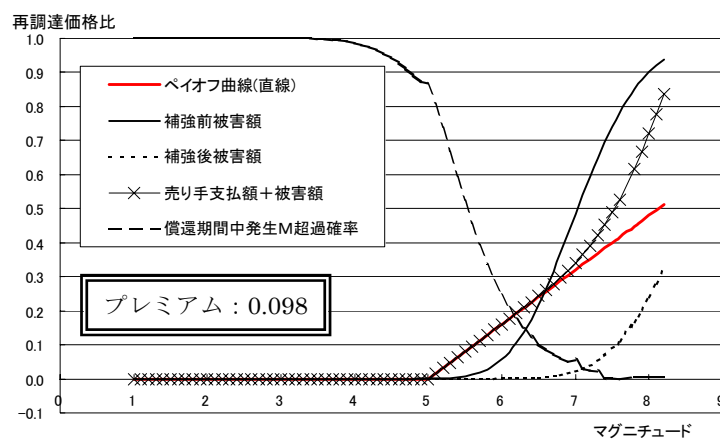
地震発生時の支払は大きくなるが、より高額耐震補強費用を得ることができることが分かる。

図3.2-19にペイオフ曲線の勾配を変化させた場合の建物オーナーの支出の比較を示す。勾配は、b)はa)の2倍にしている。この場合のプレミアムはそれぞれ0.049と0.098であり、勾配の比率と比例してプレミアムも増加する。

ペイオフ曲線のTMと勾配は、プレミアムと補強前の被害額との関係に大きく影響を与える。TMを小さくし、勾配を大きくすれば、プレミアムは大きくなり、より多くの耐震補強費用を期待することができるが、逆にTM以上の地震が発生した場合には、より多くのペイオフの支払が生じることになる。プレミアムと耐震補強による被害の低減割合及びペイオフを勘案しながら提案制度を設計する必要がある。



a)勾配(0.08)



b) 勾配 2 倍 (0.16)

図3.2-19 建物オーナーの支出の比較(ペイオフ曲線勾配の違い)

(6)償還期間

本制度のハザード指標は、一定期間内に一定範囲の場所で発生する最大マグニチュードを用いている。償還期間とは、契約上の一定の期間であり、その期間に発生する最大マグニチュードからペイオフ曲線に基づく権利行使が行われる。図3.2-20に償還期間と最大マグニチュードの関係を模式的に示す。ここでは、例として10、20、30年の償還期間を設定し、最初の10年間は地震が発生せず、10年～20年目の間にマグニチュード5が発生し、20年目～30年目の間にマグニチュード7は発生した場合を仮定する。この場合、償還期間10年の場合、地震が発生していないので、図中

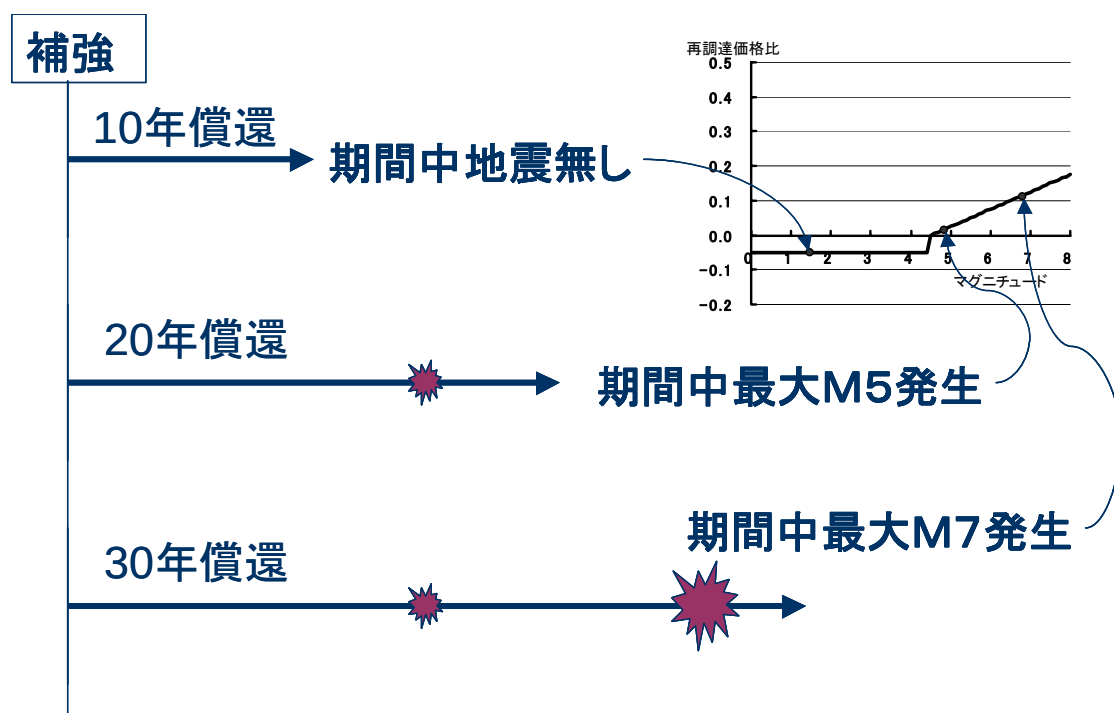


図3.2-20 償還期間とペイオフの関係

のペイオフ曲線のマグニチュード0の場合の支払額の償還になる。すなわち、その場合は投資額は没収されることを意味する。また、償還期間が20年の場合、M5が最大マグニチュードになるため、ペイオフ曲線のM5の支払額（再調達価格の0.01）が償還されることになる。また、償還期間が30年の場合、M7が最大マグニチュードになるため、ペイオフ曲線のM7の支払額（再調達価格の0.1）が償還されることになる。なお、本例では、各償還期間に対して同じペイオフ曲線を用いて説明しているが、実際にはペイオフ曲線も変動する点に留意する必要がある。

一般的に償還期間が長くなるほど、大規模な地震が発生する可能性は高まるため、プレミアムは大きくなる傾向を示す。

3.2.4 考察

地震リスクマネジメントの手法として、リスクコントロールに当たる耐震補強をデリバティブ金融商品を用いたリスクファイナンスによる資金調達で推進する制度を提案した。本制度の構造と影響因子について分析し活用の可能性を検討した。本制度によるデリバティブ金融商品は、種々のパラメータの設定により、売り手(建物所有者)は必要な耐震補強費用を買い手(投資家)からプレミアムとして受け取ることが出来るが、一般的な傾向として、地震リスクが高く、耐震性が低い建物、すなわち耐震補強を必要とする建物に対して設計するほど、より大きな耐震補強費用を調達することが可能になる。

より多額の補強費用を必要とする建物所有者は、耐震補強をしなかった場合、地震発生時には多額の被害に直面するリスクを保有し、一方、耐震補強を自ら実施した時、地震が発生しなかった場合、耐震補強費用が無駄になるという投資リスクに直面することになる。これらのリスクを本デリバティブ金融商品を活用することにより平準化することが可能になる点が、本制度の効果(費用対便益)の本質といえる。図 3.2-21 に本制度による費用対効果の平準化の概念を示す。縦軸は、建物所有者の効果を表し、マイナス側は、損失(負の効果)を意味する。横軸はマグニチュードで、地震規模を表す。図中、直線と破線の 2 種類の折れ線が表記されている。実線は、無補強の場合、破線は補強した場合の被害関数を模式的に示したものである。無補強の場合は、マグニチュード M_{nr} 以上になると被害が増加する。補強した場合は、マグニチュード M_r 以上になると被害が増加することを表す。それぞれ、 M_{nr} 、 M_r 以下の場合、無補強の時は損失は 0 であるが、補強している場合は、補強費用分が損失と認識される。比較的規模の大きい地震が発生した場合は、耐震補強が有効に機能して、図中右側にあるように被害の低減分が補強の効果として認識される。また、小規模の地震しか発生していない場合は、本制度の活用により、補強費用の自己負担が投資家に転嫁されるため、本制度の効果が認識されることになる。このように、本制度を活用することにより、マグニチュードのレベルによる損失額の変動を抑制してリスクを平準化できることが分かる。

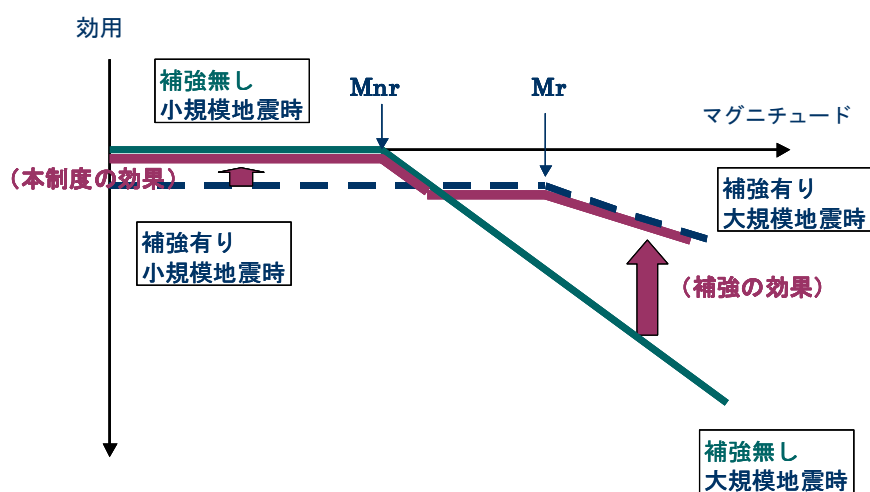


図3.2-21 費用対便益の標準化の概念

3.3 複数建物に対する提案制度モデルの適用(スタディⅡ)

前節では、個別の建物に対する提案制度モデルの適用を検討した。本節では、提案制度モデルを複数建物に展開した場合の設計方法について検討する。

3.3.1 適用の分類

複数建物を対象にする場合、各建物と地震発生対象領域の位置関係によって次のようなケースが考えられる。

- ① 地震発生対象領域内に複数建物が比較的散在している場合(図 3.3-1)
- ② 地震発生対象領域内に複数建物が比較的集中している場合(図 3.3-2)

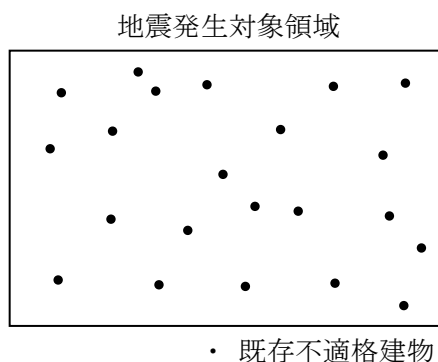


図 3.3-1 複数建物が比較的散在している場合

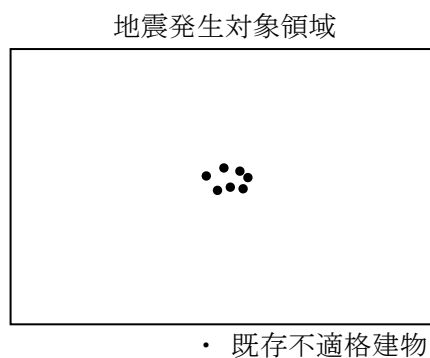


図 3.3-2 複数建物が比較的集中している場合

①の場合、地震発生対象領域内の各活動域と各建物の距離が異なるため、距離減衰の効果が個々に異なるため、個別に被害率を評価する必要がある。②の場合には、建物が一定の範囲に集中しているため、各活動域から各建物との距離の違いの影響は少ないと思われる。①のケースがより一般的であり、それを②に適用することは可能である。しかし、①の問題として、地震発生対象領域の際にある建物は、現状の領域では偏りがあるため対象建物の被害率を適正に評価していない点が挙げられる。すなわち、際に存する建物は、領域以外の活動域の影響を大きく受けると考えられるため、①のように建物が散在している場合は、個別に地震発生対象領域を定義する必要がある(図 3.3-3)。従って、本提案制度を複数建物に適用する場合の一般的手法は、3.2 で説明した個別建物に対する手法を各建物に適用した結果を単純に加算すれば良いことになる。

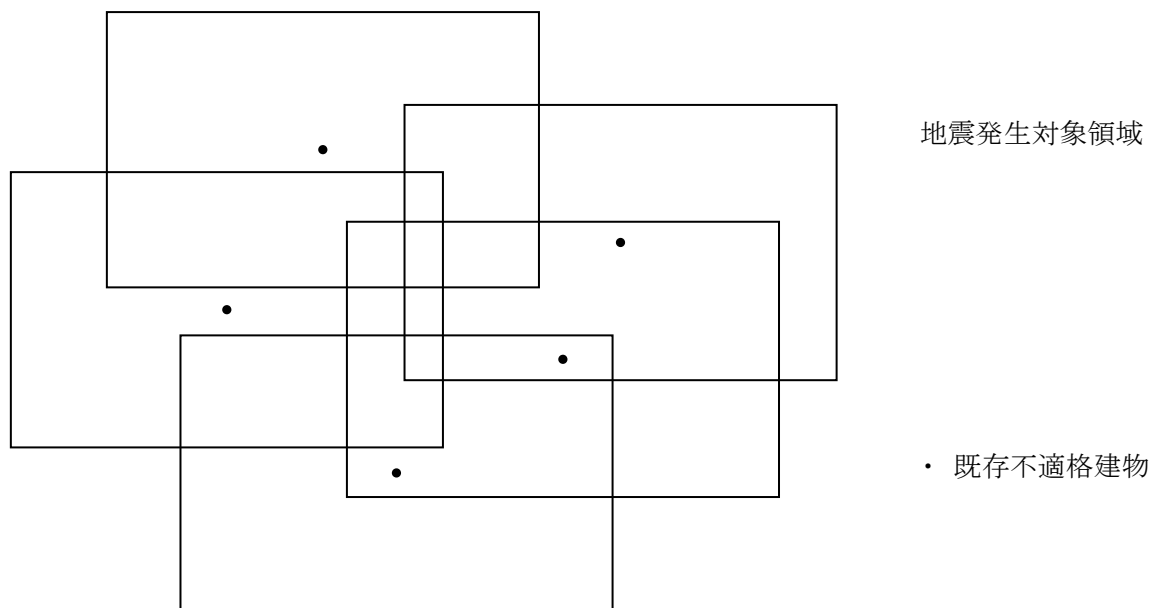


図 3.3-3 地震発生対象領域の定義(建物が散在している場合)

3.3.2 検討手順

3.3.1 で示したように、複数建物の場合も、基本的には 3.2 で示した手法を適用することになる。複数建物の場合は、本制度を適用した場合の建物オーナーと投資家の関係をどのように設計するかという契約上の問題が主になると考えられる。建物オーナー(すなわち建物)と投資家の関係が 1 対1、多対1、1 対多、多対多の 4 通りが考えられるが、複数建物の場合は、多対1又は多対多において、建物オーナー側の権利義務が共有され、投資家側の権利義務が単独又は共有される場合がある。建物側が複数になると大数の法則が寄与し、制度としてはより安定したものになると考えられる。

以下に、複数建物を想定した場合の本制度設計手順を示す。

① 複数建物の選択

- i 単独の地域を対象にした場合、市町村又は一定の地域に属する複数の既存不適格建物を対象にする。(例えば半径 1km 以内)
- ii 比較的広域に散在する複数の既存不適格建物(例えば半径 10km 以内)
- iii 離れた地域にあり、地震リスクが独立している複数の既存不適格建物(例えば半径 100km 以上離れている)

② 対象となる複数の既存不適格建物の耐震性能の把握

個別に耐震診断を行い耐震性能を把握する必要があるが、何百、何千、何万棟を対象にして、本制度を適用することを考えた場合、個別に短期間に評価することは困難を伴う。この場合には、国勢調査や住宅土地統計調査の結果を用いて、築年毎・構造毎・階数毎の棟数を推定し、建物諸元毎の過去の侵害調査結果による被害率を比較して、複数建物全

体の耐震性能を把握することも必要になる。

③ 地震発生対象領域の設定

①で選択した建物毎に地震発生対象領域を設定する。理想的には、図 3.3-3 に示すように個々の建物毎に設定して被害率を計算することが必要になるが、建物群が図 3.3-2 のように比較的集中して分布している場合には、1 種類の地震発生対象領域を設定すれば良い場合もある。また、各建物の立地場所と地震発生対象領域の関係は、3.2 のスタディでも分かるように地震ハザードや被害率に大きな影響を与える。理論的には、各建物個別のリスクを保有しても制度の適用は可能であるが、多数の建物を同時に扱う場合には、各建物のリスクレベルを均等にしておいた方が制度の設計は容易と考えられる。

④ 耐震補強費用の算定

②で把握した耐震性能を下に、対象となる既存不適格建物を既存適格建物にするための費用を算出する。複数建物の場合には、各費用を合計して全体の費用を把握する。

⑤ リスクプレミアムの計算

対象建物と地震発生対象領域が確定した後、本提案制度のリスクプレミアムが④で算定した耐震補強費用又はその一部になるようにペイオフ曲線を調整する。ペイオフ曲線は想定した地震発生対象領域毎に設定する必要がある。

⑥ 契約条件の明確化

複数建物を 1 つの契約の下で処理する場合は、冒頭に示したように建物数と投資家の関係は多対1又は多対多の契約者になる。この場合、各建物毎の投資家の構成割合を明確にしておく必要がある。すなわち、1 棟の建物の耐震補強を複数の投資家の出資によってなされたことになるので、その建物に契約上帰属する地震発生対象領域における発生マグニチュードによりペイオフが確定し、それを投資家の持分に応じて受け取ることになる。

3.3.3 検討事例

本提案制度モデルを複数建物に適用した例として、図 3.3-2 の状況を想定し、下記仮定の元に試算し、適用の可能性を検討した。

仮定条件

① 住戸平均面積 120 m²

② 耐震指標 (Is) と補強費用の関係

Is 値が小さいほど、補強費用は大きくなる。

③ 投資家一人当たりの投資額 100 万円

④ 耐震指標 (Is) とペイオフ倍率の関係

Is 値が小さいほど、ペイオフ倍率は大きくなる。本提案制度モデルでは、プレミアムを耐震補強費用に使用するため、Is 値が小さいほど多くのプレミアムを設定する必要がある。プレミアムを大きく設定するためには、ペイオフ倍率を大きくする必要がある。ペイオフ倍

率とは、契約上の地震が発生した場合に、建物オーナーが投資家に支払うペイオフとプレミアムの比率をいう。本検討のペイオフの額は、契約上のマグニチュード以上の地震が領域内で発生した場合、マグニチュードの大きさに関わらず一定とする。

- ⑤ プレミアムを一定とした場合、発生確率が高いエリアの方が、ペイオフ倍率は小さくなる。ペイオフ曲線(トリガーマグニチュードとペイオフ倍率)が同一の場合、発生確率の大きいとプレミアムは大きくなる。よって、プレミアムを一定にした場合には、発生確率の大きいほどペイオフ倍率を小さくすることができる。

図 3.3-2 の第 1 のケースとして、半径 1km 程度の範囲に、既存不適格建物が複数(100 戸)存在し、地震発生対象領域が 1 種類の場合を想定した結果を表 3.3-1 に示す。このエリアにある 100 戸の既存不適格建物を更に I_s 毎に戸数を仮定する。1 戸当たりの平均面積 120 m^2 より、 I_s 毎のエリア内総面積を計算し、対応する補強費用を乗じて、必要総補強費用を計算する。その結果、本エリア内の既存不適格建物の耐震補強工事費として 5 億 7,600 万円必要になることが分かる。この費用を投資家から集めることを想定し、一人当たり 100 万円を投資すると仮定すると、576 人の投資家が必要になることになる。地震発生後、 I_s 毎に設定されたペイオフ倍率に応じて、投資家が受け取るペイオフを算定し、全ての既存不適格建物について合計すると 181.2 万円になる。この結果、本エリア内の既存不適格建物の補強に 100 万円投資した者は、地震発生後約 1.8 倍の利得を得ることになる。しかし、契約期間内に地震が発生しなかった場合、投資した 100 万円は没収されることになる。逆に、建物オーナー側から見ると、地震が発生した場合には、各建物の I_s 値に応じたペイオフ倍率の支払が生じることになり、地震が発生しなかった場合には、補強費用相当分は発生しないことになる。

表 3.3-1 1 種類の地震発生対象領域の場合(耐震性能レベル 5 段階)

耐震性(I_s 値)	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	備考
戸数	10 戸	20 戸	30 戸	20 戸	20 戸	計 100 戸
総面積 m^2	1,200	2,400	3,600	2,400	2,400	平均面積 120 m^2
補強費用平米当り単価 万円	7	6	5	4	3	
必要総補強費用 万円	8,400	14,400	18,000	9,600	7,200	計 57,600
比率	14.5%	25.0%	31.3%	16.7%	12.5%	
一口当たりの投資額 万円 投資家数 576 人と仮定	14.5	25.0	31.3	16.7	12.5	計 100
ペイオフ倍率	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	
ペイオフ 万円	29.0	47.5	56.3	28.4	20.0	計 181.2

図 3.3-2 の第 2 のケースとして、100 戸の既存不適格建物を 30 戸、30 戸、40 戸毎のまとまりとして、それぞれに地震発生対象領域 A,B,C を設定した場合の検討結果を表 3.3-2 に示す。各エリアの既存不適格建物の I_s 値は 0.2 と 0.5 に分けられる。第 1 のケース(表 3.3-1)と同様に、総面積と仮定した耐震補強費用より、必要総補強費用として 9 億 6,000 万円が必要になる。一人の投資家

の投資額を 100 万円とすると、960 人の投資家が必要になる。仮定条件にあるように、地震発生確率が高い A,B,C の順に、ペイオフ倍率は小さく設定している。また耐震性能が小さい方がペイオフ倍率は大きく設定している。この結果、ペイオフの受け取り総額は、投資額 100 万円に対して 213.2 万円になることが分かる。第 1 のケースと同様に、契約期間内に地震が発生しなかった場合、投資した 100 万円は没収されることになる。逆に、建物オーナー側から見ると、地震が発生した場合には、各建物の Is 値に応じたペイオフ倍率の支払が生じることになり、地震が発生しなかった場合には、補強費用相当分は発生しないことになる。

表 3.3-2 3 種類の地震発生対象領域の場合(耐震性能レベル 2 段階)

地震発生対象領域	エリア A (発生確率大)		エリア B (発生確率中)		エリア C (発生確率小)		備考
耐震性(Is 値)	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0.5	
戸数	20	10	20	10	20	20	計 100 戸
総面積 m ²	2,400	1,200	2,400	1,200	2,400	2,400	平均面積 120 m ²
補強費用平米当り単価 万円	10	5	10	5	10	5	
必要総補強費用 万円	24,000	6,000	24,000	6,000	24,000	12,000	計 96,000
比率	25%	6.25%	25%	6.25%	25%	12.5%	
一口当たりの投資額 万円 投資家数 960 人と仮定	25	6.25	25	6.25	25	12.5	計 100
ペイオフ倍率	1.7	1.3	2.2	1.8	2.7	2.3	
ペイオフ 万円	42.5	8.13	55.0	11.3	67.5	28.8	計 213.2

3.4 シナリオ地震に対する提案制度モデルの適用

前節までの地震リスクは、地震発生対象領域内の全ての地震（バックグラウンド地震）の発生確率を評価した地震ハザードに対して本モデルを適用した。本節では、特定の地震（シナリオ地震）による地震ハザードを本モデルに適用した場合の考え方を示す。

シナリオ地震の評価とは、過去に地震歴を有する特定の地震の特性や活断層の分布などの情報から将来発生しそうな地震の物理的な諸元を設定し、将来の発生確率を算定することをいう。この確率を用い、対象シナリオ地震が発生した場合をトリガーとして建物オーナーと投資家の間でペイオフの契約を結ぶことになる。前節までのバックグラウンド地震ハザード評価では、理論的には全てのマグニチュードレベルの発生確率を算定することができるのに対して、シナリオ地震の場合には、その地震の特性よりマグニチュードの範囲がほぼ確定し、その発生確率は再現期間の中で最後の地震発生時からの経過時間によって変動する特徴がある。

表 3.4-1 に、4 つ（南海地震・東南海地震・想定東海地震・宮城県沖地震）のシナリオ地震の諸元及び発生確率を示す。各地震の諸元は、防災科学技術研究所による地震ハザードステーション（J-SHIS <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>）を参考にしている。但し、情報が記載されていない部分に関しては、仮定値を設定して算定している。想定東海地震の 10 年及び 20 年以内に発生する確率は、地震発生確率分布として更新過程を考慮した BPT 分布を仮定して算定した（文献 8）。

最新の地震からの経過年数を T とした時、時刻 T から ΔT 年後までに次の地震が起こる確率は式(3.4-1)で表される。

$$P(T, \Delta T) = \frac{\int_T^{T+\Delta T} f(t) dt}{\int_T^{\infty} f(t) dt} \quad (3.4-1)$$

ここで

$$f(t) = \{\bar{T} / (2\pi\alpha^2 t^3)\}^{1/2} \exp\{-(t - \bar{T})^2 / (2\bar{T}\alpha^2 t)\}$$

$\bar{T}$: 地震発生間隔の平均値（平均発生年数）

α : 発生間隔のばらつきを表すパラメータ

想定東海地震の α は、参考値として掲載されている 30 年及び 50 年以内の発生確率から逆算して求めた。その結果 $\alpha = 0.200$ を得て、表 3.4-1 に示すように、平均発生年数 118.8 年、最新の地震からの経過年数 $T=150$ 年、評価時点 2007/1/1 として、10 年及び 20 年以内に発生する確率を算定した。

このように、シナリオ地震の場合、評価時点における将来の対象期間毎の発生確率は更新過程を考慮して算定される。この対象期間と本提案制度モデルの償還期間を合わせ、その発生確率よりリスクプレミアムを計算することができる。シナリオ地震の場合は、その地震が発生したか否かでペイオフが決定するため、プレミアムと地震発生確率とペイオフの関係は下式のように表される。

$$\text{プレミアム} = \text{地震発生確率} \times \text{ペイオフ} \quad (3.4-2)$$

本式より、プレミアムを一定にした場合、地震発生確率とペイオフの関係は、図 3.4-1 のように示される。

表 3.4-1 各種シナリオ地震諸元及び発生確率

	南海地震	東南海地震	想定東海地震	宮城県沖地震
マグニチュード	M8.4	M8.1	M8	M7.5～M8.0
平均発生間隔	90.1 年	86.4 年	118.8 年(参考値)	37.1 年
最新活動時期	1946 年 12 月	1944 年 12 月	150 年前(参考値)	1978 年 6 月
活動間隔のばらつき α	0.367	0.240(仮定値)	0.200(仮定値)	0.177
評価時点	2001/1/1	2001/1/1	2007/1/1	2007/1/1
地震後経過率	0.60	0.65	1.26	0.78
10 年以内の発生確率	10%未満	10%程度	46%(仮定値)	60%
20 年以内 "	20%程度	30%程度	72%(仮定値)	90%
30 年以内 "	40%程度	50%程度	86%(参考値)	99%
40 年以内 "	60%程度	70～80%程度		
50 年以内 "	80%程度	80～90%程度	97%(参考値)	

注1) 発生確率は BPT 分布に基づく

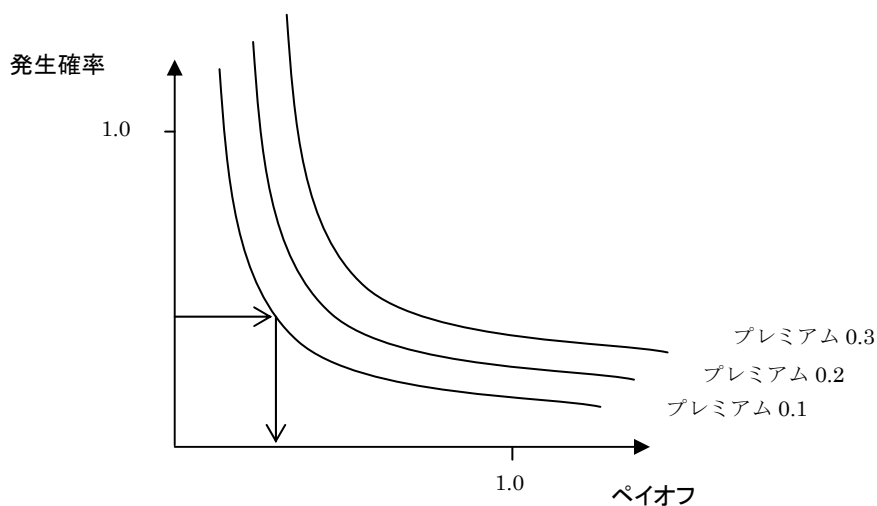


図 3.4-1 地震発生確率とペイオフの関係

本提案制度モデルでは、プレミアムは耐震補強費として使用されるので、耐震補強費用として再調達価格の 0.1 倍が必要な場合、プレミアム 0.1 の曲線を用いて、対象としているシナリオ地震の償

還期間内の発生確率(縦軸)から、ペイオフの額が決定する。仮にペイオフが 0.3 であるとする、シナリオ地震が発生した場合、投資家はプレミアム 0.1 の 3 倍の支払を受け取ることになる。

図 3.4-2 にシナリオ地震時の建物オーナーの被害額・費用の比較を示す。契約期間中にシナリオ地震が発生した場合の状況をグレー領域で示している。シナリオ地震の想定マグニチュードは、地震の諸元から把握できているため、それ以上の地震がシナリオ地震の領域で発生した場合、建物オーナーにペイオフの支払義務が生じる。それに補強後の被害額(細曲線)を加算(太曲線)し、地震後の費用を推定することができる。この線が、補強前被害額(無補強時に推定される被害額)を下回っている限り、本提案制度モデルに基づくリスクマネジメントは妥当といえる。

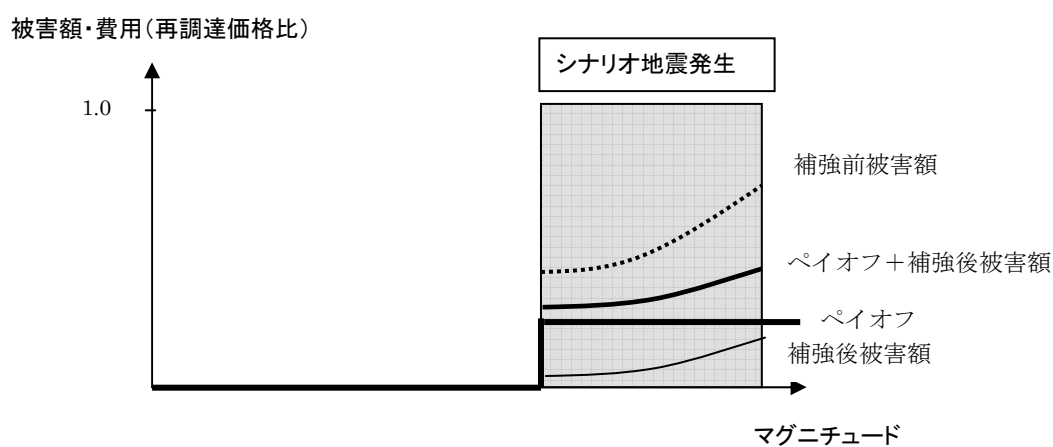


図 3.4-2 建物オーナーの被害額・費用(シナリオ地震の場合)

3.5 地震リスクマネジメント制度の比較

3.5.1 はじめに

地震リスクマネジメント制度として、政府・自治体・学会・民間企業から多数のものが提案されている。これらは、耐震補強技術の開発、自治体による支援制度や地震保険など実際に採用されているものから、提案の段階で留まっているものまで実現性において幾つかの段階がある。今後 10 年の間に、住生活基本法の施行に基づき、既存不適格建物を改修又は建替えにより新耐震基準適合率を 75%から 90%にするという目標に向けて、更に各種制度を充実させる必要がある。その際に、各制度の特質を比較し、その効果を分析する手段が必要になると思われる。

耐震補強を推進する制度を設計することは、単に耐震設計法や耐震補強技術を開発することではなく、その技術を普及するための社会的に仕組みを考えることである。このためには、耐震技術や施工技術などの工学的な検討だけでは不十分であり、法律・経済などの知識を融合させて判断する必要がある。

本節では、特に耐震補強推進制度を設計する上で、関連が深い社会科学分野を整理し、それらの知見が本制度分析にどのように活用可能であるかを検討した。社会科学上の種々の研究は、制度設計上の次のような疑問に適正な方向を示唆してくれることを期待している。

- ① 自治体が用意する耐震補強推進制度として適切なものはどのような範囲までか。
- ② 財政(資金)が不足する中、不確定性の高いリスクに対して最適な投資方法は何か。
- ③ 私財である既存不適格建物の耐震補強を公共事業として(または市場メカニズムの中で)進めることが可能であるか否か。
- ④ 建物の公的部分と私的部分をどのように資産評価するか。
- ⑤ 不確定性の高い地震リスクに対して、耐震補強の効用が高いと判断されるための条件は何か。

社会科学の分野も多岐にわたるが、当研究会で参考にした分野は、リスクマネジメント／比較制度分析／公共経済学／ゲーム理論／行動経済学／金融工学などである。

当研究会では、既存不適格建物の耐震補強が進まない状況を、純粋な工学的手法以外の制度的工夫(社会科学的手法)により改善する方法を模索してきた。耐震補強を地震リスクマネジメントの一つと捉え、さらに広域のマネジメント手法としてリスクファイナンスを検討した。その際にデリバティブなどの金融商品を開発するために金融工学の知識を活用してきた。金融商品の活用は、市場の原理のみで耐震補強推進することを前提としていたが、自治体が投資家になるという形態(公の協力)を本提案制度に組み込むことにより、より耐震補強が推進する可能性があるとの印象を得た。そこで、公共と個人の協働システムを合理的に構築する必要性を認識した。既往の研究(文献 1)でも、地震リスクマネジメントを公助、共助、自助という観点から把握し、各手法の望ましいあり方について分析している。地震被害の影響の大きさを考えると、公共の役割をどのように捉えるかは重要な課題であるといえる。

公共の役割を検討するに当たり、公共経済学(文献 9)という分野の研究は有用と思われる。特に地震リスクに関連する安全・安心を提供する分野における公共の役割は、安定化機能や将来世代

への配慮や個人の努力と関係なく運・不運によって変動するリスクの分散(リスクシェアリング)を図る上で重要と考えられる。具体的に政策を考えていく段階においては、私財といわれている建物の補強を進めるための公共財や準公共財としての意義付けや必要な費用の調達手段に係る財政の継続性を考慮した税制のあり方など公によって検討されるべき課題は多い。公共の制度の優劣は、社会便益の最大化が図られているか否かで判断される費用便益分析によって決まる。地震リスクに対しては、被害損失を最小化する問題に置き換えることができ、防災に関する制度評価分析については、文献 10 に防災投資の便益評価について詳述されている。

各種制度には、政策当局、利益団体、官僚、有権者など常に利害が対立するプレーヤーが存在し、それぞれが利己的な行動をする中でどのように制度が機能するかを考える必要がある。経済学の一分野として位置付けられるゲーム理論(文献 11)は、相手方の行動を読みつつ自己の利益の最大化を図るための思考方法を体系化したものであり、制度設計を検討する上で有用な指標となると思われる。

ゲーム理論を更に進化させ、実情に合わせようとする行動経済学(文献 12)の分野が有効になる。ゲーム理論は、完全に合理的な人間の行動を説明するためには適切であるが、実際の人間は非合理的な面を持つ(合理的な判断は不可能)ものであるという認識に立ち「限定合理的」という特性を前提とした行動経済学(文献 12)の知見に基づき制度設計を検討する必要性があると思われる。

以下の内容は、上記の社会科学の知見を反映させ各種制度の比較を試みたものであるが、各学問分野に蓄積された知識を十分に咀嚼し活用できているわけではなく、各種地震リスクマネジメント制度について、初歩的な社会科学的思考方法を加味して比較検討した報告である。

3.5.2 地震リスクマネジメント制度の分類

地震リスクマネジメント制度を分析するに当たり、既存の各種制度を幾つかの基準で分類することにより、各制度の特性を適切に抽出することが可能になると思われる。特性の抽出により、その効用・効果の定性的な把握を経て、個別制度間の定量的な比較が可能になる。

分類の基準として、以下の 3 種類に着目した。

(1) リスクコントロール(RC)とリスクファイナンス(RF)

リスクコントロールはリスクを回避・軽減する方法であり、リスクファイナンスはリスクを移転・保有する方法といわれている。既存の地震リスクマネジメント手法をこの基準で分類したものを表 3.5-1 に示す。

リスクコントロールは、現実には生じる可能性のあるリスクそのものを低減するものであり、本テーマの課題である耐震補強はリスクコントロールに属するものといえる。また、被害を低減するための事前の対策(政府防災投資、地域防災事業など)もリスクコントロールといえる。また、これら対策のための資金の調達手段は、間接的にリスクコントロールをサポートするものといえ、表 3.5-1 ではリスクファイナンスに分類することとした。リスクファイナンスの本来の目的は、リスクそのものを保有する代わりに、その被害を金銭的補償などの代替手段によって対処することである。その例として、保険・支援金・ART(Alternative Risk Transfer)などの金融商品を上げることができる。

また、本報告で提案している制度は、耐震補強に必要な費用を投資家が負担するという形態を

デリバティブ金融商品を用いて実現しようとするものである。リスクコントロールに分類される耐震補強を実施し、かつその資金調達手段として金融工学技術を用いるという特徴があるため、リスクコントロールとリスクファイナンスの両者を融合させた提案と位置付けている。同じく耐震補強を推進する制度として耐震補強保証制度(吉村モデル)が文献 1 に紹介されている。この制度は、耐震補強を実施した者が被害を受けた場合、補強費用の一定倍の支援金を自治体が支払う制度である。この制度も、補強を進め、かつ被害の代替手段として支援金を支払うため RC と RF を融合した制度といえる。

表 3.5-1 地震リスクマネジメント制度の分類(その1)

リスクコントロール (RC)	リスクファイナンス (RF)
耐震診断	地震保険・再保険
耐震補強	自治体による補助金・支援金(税金・公社債)
政府防災投資	防災格付け融資(政策投資銀行)
立地計画(立地分散化)	災害保険証券化
緊急地震速報の活用	ART 商品(CAT ボンドなど)
防災訓練	TIF(Tax Increment Financing)
地域防災事業(TIF 関連)	貸付(リフォームローン)
	貯金(金融資産)
本提案制度 耐震補強保証制度(吉村モデル) 文献 1	

(2)公共と個人(市場)

地震による被害は、他の災害に比べ、不確実性が大きく、巨大化かつ集中する傾向がある。その影響は、公有財産から私有財産に亘り、公共と個人の被害負担の境界が明確でない一面がある。そのような状況で公共と個人がどのように地震リスクに対処すべきかなど、その役割分担を検討することは、地震リスクマネジメント制度の設計あたり有用なことと考える。

既存の制度を、公共が対応する制度と個人が対応する制度という基準で分類したものを表 3.5-2 に示す。公共の制度としては、補助金、税金控除、自治体による復旧費負担や保険の加入などが上げられる。また、個人の制度としては、各私有財産に対して自己資金による補強、保険や ART 商品の購入などが上げられる。

また、本報告で提案している制度は、建物オーナーと投資家の間で売買されるデリバティブによって特徴付けられるものである。この投資家の役割を公共部門が担うことも可能であり、その場合、本制度は公共と個人の協働によって成り立つことになる。公共部門が投資家になることにより、当初の耐震補強費は公共部門が負担することになるが、地震が契約期間内発生すると、建物オーナーは公共部門に当初の補強費用以上の額を支払うことになる。公共部門は通常時に余計な費用が発生することになるが、被災時には補強による被害低減とデリバティブのペイオフ(利得)を受け取ることができるため、その他の被害額を埋め合わせることができ、費用を平準化することが可能になる。一方、個人は、通常時には費用負担が無く、地震発生時には当初の補強費以上を支払う義

務が発生するが、その費用と被害額の和が、無補強時の被害と比べ小さい場合には本制度を活用する動機付けが生まれると思われる。このように本制度を公共と個人が共有することによって地震リスクマネジメントを進めることができると考えられるため、表 3.5-2 では、両者に該当する制度と位置付けた。

また、文献 1 による耐震補強保証制度(吉村モデル)も、個人による個人のための耐震補強と公共の支援を関連付けているため、両者に関連した制度と位置付けることができる。

表 3.5-2 地震リスクマネジメント制度の分類(その 2)

公共	個人（市場原理）
診断・補強（補助金） 税金控除 支援金（災害見舞金） TIF（Tax Increment Financing） 被災後復旧費 自治体による保険	保険 診断・補強（自己資金） 貯金（金融資産） ART 商品の購入
<u>本提案制度（投資家が公共の場合）</u> 耐震補強保証制度（吉村モデル） 文献 1	

公共の制度と個人の制度の組合せ如何により、社会全体の地震リスクの低減の程度は変わると思われる。最適な組合せは、社会の損失を最小化するものであり、その際の費用を考慮した便益評価によって選択されることになる。

地震の被害の広範さから、仮に個人の私有財産の被害であってもその被害は公共にも影響を与える場合がある。例えば、地震によって倒壊した建物が道路を塞いだ場合、単に建物被害だけでなく、交通を遮断することにより被害は公共に及ぶことになる。このように地震の被害の公共への影響を考えると、その被害を低減する耐震補強は個人のみの費用を負担させるのではなく、公共による負担を一部考慮することは全く非合理なこととはいえない。

公共経済における公共(政府)の機能として、資源配分・所得再配分・安定化・将来世代への配慮が考えられる(文献9)。耐震補強を推進する上でも、個人の制度によって不足する部分を、被害の再配分(分散化)、安全な地域造り、将来の世代に対する先行投資と考え、公共の制度を適切に組み合わせることが必要と考えられる。

(3)確率的評価か確定的評価か

地震の発生は、他の事象に比べ不確実性が極めて高いといえる。何時、何処で、どのような規模の地震が発生するかを予測することは現状では困難なことである。しかし、我々はこのような特性を有する地震リスクに直面しているのは事実であり、何らかの対応が迫られている。

不確実性の高いリスクにどのように対処するかを考える時、その対象となる事象を確率的に捉えるのか確定的に捉えるかにより、その設計手法は異なると考えられる。ここでは、既存の制度についてその設計手法が主に何れに依存しているかという基準で分類した(表 3.5-3)。

地震発生の確率を考慮した制度として、典型的なものはリスクファイナンス技術である地震保険

がある。その他には、金融工学を活用した ART 商品及び本制度は、地震発生確率をある確率分布に基づくと仮定して設計されている。

一方、地震は発生するものと確定して設計する場合がある。地震が発生した場合の状況を想定して制度を設計するものであり、補助金・税制・政府防災投資が上げられる。但し、それぞれの必要な量を決定する際には、確率的評価が介在している可能性はある。また、文献 1 の吉村モデルでは、シナリオ地震として想定東海地震を仮定し、静岡県内に適用した例が示されている。この場合、シナリオ地震が発生したものとして各種スタディを実施しており、発生確率そのものが制度設計に反映されていない。但し、発生した場合の被害確率は制度の中に取り込まれている。従って、吉村モデルは確定的評価に分類している。

表 3.5-3 地震リスクマネジメント制度の分類(その3)

確率的評価	確定的評価
地震保険 ART 商品 (CAT ボンドなど) <u>本提案制度</u>	補助金 税金控除 政府防災投資 耐震補強保証制度 (吉村モデル) 文献 1

3.5.3 ゲーム理論に基づく耐震補強推進制度の分析

(1)ゲーム理論の導入

ゲーム理論(文献 12)は、経済学の一分野として位置付けられ、近年、企業の理論、金融論、政治学など多種多様な分野でその応用が試みられている。ここでは、ゲーム理論の思考方法が耐震補強推進制度を設計するに当たり、有用な手段となり得るか否かについて検討した結果について報告する。

ゲーム理論を展開する上で、戦略ゲームと展開ゲームという表現様式が利用される。戦略ゲームは各プレイヤーの戦略の組合せと利得の関係を示し各プレイヤーの得失を判断して、ある均衡を見つける手法である。展開ゲームは、ゲームにおける手番の系列をゲームの木を用いて、ゲームの行方を左右する時間構造や情報構造を明示する手法である。

3.5.2 で示した各種分類を用いて戦略ゲームの表現を活用すると、表 3.5-4 のパターンが考えられる。(a)はリスクコントロールとリスクファイナンスによるマネジメントの組合せを表すもので、単独で活用する場合と組み合わせる場合があり、それぞれ純粋戦略、混合戦略という。リスクコントロールのみに頼るのが良いのか、リスクファイナンスのみに頼るのが良いのか、又は両者を組み合わせるのが良いのか分析することになる。当然、何れも適用しないという戦略も純粋戦略として位置付けられる。(b)は、公共と個人が耐震補強制度を適用するか否かの組合せを表すものである。この場合個人が保有する既存不適格建物に対し地震リスクマネジメントを考えるに当たり、個人が単独で行う場合、公共が単独で行う場合、両者がある比率で協働する場合、何れも実施しない場合が考えられる。各組合せの利得を評価する必要がある、そこが最も難しく重要なところでは有るが、このよう

な組合せと利得の関係が与えられると、選択される組合せを、ゲーム理論のナッシュ均衡によって見つけ出すことができる。

表 3.5-4(a) リスクコントロールとリスクファイナンスの組合せ(戦略型ゲーム)

		リスクコントロール	
		適用する	適用しない
リスク ファイナンス	適用する	混合戦略	純粋戦略
	適用しない	純粋戦略	—— (純粋戦略)

表 3.5-4 (b) 公共と個人の役割の組合せ(戦略型ゲーム)

		公共	
		適用する	適用しない
個人	適用する	混合戦略	純粋戦略
	適用しない	純粋戦略	—— (純粋戦略)

次に展開型ゲームによる表現様式を耐震補強推進制度の分析に活用する場合を考える。展開型ゲームでは、戦略型ゲームで考慮されなかった時系列による利得構造の違いを表示することができる。本例では、地震が発生した場合と発生しない場合によってその利得が変動することを表示できることになる。地震の発生の有無と耐震補強の有無をゲームの木で表現すると図 3.5-1 のようになる。それぞれの展開の効用を分析して、確率を考慮した期待効用が最も大きくなるように戦略を選択または構築することになる。そのためには、着目すべき戦略分岐の種類・効用の評価・選択の方法について研究する必要がある。

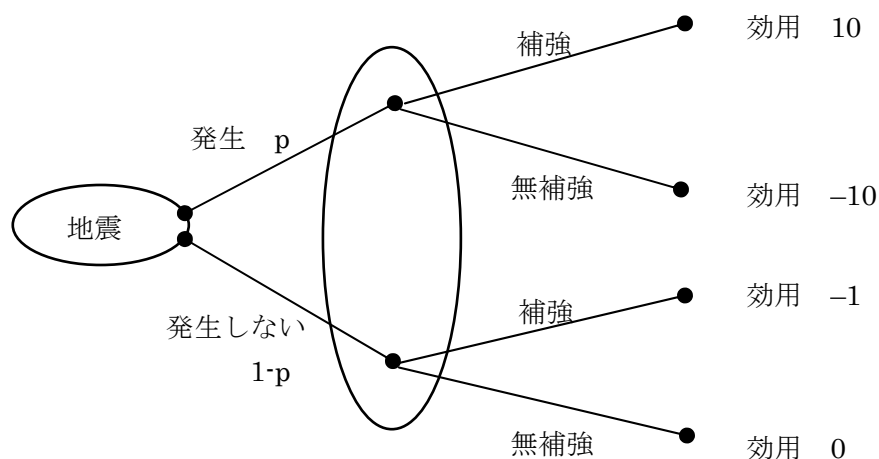


図 3.5-1 地震発生と耐震補強の有無の組合せ

(2)ゲーム理論の活用

表 3.5-1(マネジメント手法の選択)及び表 3.5-2(公共と個人の役割)の選択を加味した展開型ゲームを図 3.5-2 に示す。図中の左から右に向けての流れは、

① 地震発生の有無

② 耐震補強を「個人」が自らの費用で実施するか否か。

ここで、 q は「個人」の費用負担率を示し、 $0 < q < 1$ の範囲で変動する。すなわち、 $q=1$ の場合は、費用全額を負担することになる。また $q=0$ の場合は、「しない」に分岐し、 $q=1$ の場合は、③で「公共」が「しない」に分岐することになる。

③ 耐震補強を「公共」が公の費用で実施するか否か。

「個人」が負担した残りを負担するため、負担率は $1-q$ で表現できる。

④ ファイナンスを「個人」が自らの費用で活用するか否か。

ここで、 r は「個人」の費用負担率を示し、 $0 < r \leq 1$ の範囲で変動する。すなわち、 $r=1$ の場合は、費用全額を負担することになる。また $r=0$ の場合は、「しない」に分岐し、 $r=1$ の場合は、⑤で「公共」が「しない」に分岐することになる。

⑤ ファイナンスを「公共」が公の費用で活用するか否か。

「個人」が負担した残りを負担するため、負担率は $1-r$ で表現できる。

となる。

上記の展開は、「個人」と「公共」が、「リスクコントロール RC」及び「リスクファイナンス RF」を「適用する」又は「適用しない」という判断を組合わせ、可能性のある行動戦略を表現したものである。

これを、混合戦略表で表すと表 3.5-5 のように示される。この表には具体的な利得が記載されていないが、この利得の評価が可能と仮定した場合、公共と個人の間で相手方がどのような戦略を取るのが最も有利かを分析することにより、ゲーム理論上の「ナッシュ均衡」を見つけることができるものである。「ナッシュ均衡」とは、二人ゲームの場合、他方の戦略を固定した場合、一方の利得が最大になる戦略を選択することを双方が実施した場合、双方の選択が一致する組合せをいう。「ナッシュ均衡」は唯一のものでなく、また相手方の戦略に左右されるため、各人にとって最高の利得になるとは限らないといわれている(一般に、囚人のジレンマといわれている)。

また、表 3.5-6 に 3.5.2 で示した各種制度を混合戦略表上に分類したものを示す。本提案制度は投資家が市場の場合と公共の場合の二通りが考えられる。投資家が市場の場合は、表 3.5-6 の個人(戦略1)と公共(戦略4)の組合せに属する。個人の戦略1はリスクコントロールとリスクファイナンスの混合戦略であり、公共の戦略4とは RC、RF 何れの対応もしないというものである。また、投資家が公共の場合、個人(戦略1)と公共(戦略3)の組合せに属する。これは、公共が本提案制度に基づくデリバティブを購入するので、公共がリスクファイナンスを活用しているからである。また、吉村モデルは、個人(戦略2)と公共(戦略3)の組合せに属する。これは、リスクコントロールの1つである耐震補強を個人が負担し、公共が震災後の支援金をリスクファイナンスという形でサポートするためである。

表 3.5-5 において、利得表を完成させるためには、各戦略組合せ時の公共・個人の期待効用を評価する必要がある。地震リスクマネジメントの期待効用(社会厚生又は社会的余剰)に影響を与える変数として、地震発生確率・地震の規模・建物の特性を考慮した物理的被害額(私的損害と公

的損害の割合)・所定耐震性能を満足する補強費用(私費負担と公的負担の割合)・ファイナンス組成費用(私費負担と公的負担の割合)・市場参加者の金融資産の利得関係などが考えられる。

表 3.5-7 に、個人の戦略として補強費を自己負担するか否かの 2 通り、公共の戦略として補強費用を負担するか又は／及び支援金を負担するかの4通りを想定し、公共と個人の利得を仮定してナッシュ均衡を探したものを示す。(○, ○)の内、左側が個人の支出で、右側が公共の支出である。支出は、費用と被害額に分け、被害額は被災前と被災後に分けて標記した。各場合の費用と被害額を加算して支出合計を求めている。本計算の仮定を如何に示す。

- ① 地震時の被害を公共、個人とも受けることを仮定して、共に補強無しの場合は-5、補強有りの場合は-1 とした。
- ② 補強費用は-1 とし、公共と個人で負担する場合は、それぞれ-0.5、-0.5 と折半とした。
- ③ 耐震補強した場合の地震後の支援金は、耐震補強費用と同じ-1 とする。

まず、個人側の戦略を固定した場合を検討する。個人が「補強費を負担する」という戦略を選んだ場合、公共側の最大利得(=最小損失)は、被災時には 4 番目の【補強費負担しない、支援金負担しない】のときに現れる(二重下線で表示、以下同様)。無災時も同様である。また、個人が「補強費を負担しない」という戦略を選んだ場合、公共側の最大利得(=最小損失)は、被災時には 3 番目の【補強費負担する、支援金負担しない】のときに現れる。無災時は、4 番目の【補強費負担しない、支援金負担しない】のときに現れる。

次に、公共側の戦略を固定した場合を考える。公共が 1 番目の戦略【補強費負担する、支援金負担する】を選んだ場合、個人の最大利得(=最小損失)は、被災時には下段の「補強費負担しない」に現れる。無災時も同様である。また、公共が 2 番目の戦略【補強費負担しない、支援金負担する】を選んだ場合、個人の最大利得(=最小損失)は、被災時には上段の「補強費負担する」に現れる。無災時は、下段の「補強費負担しない」に現れる。以下、3 番目、4 番目の戦略を選択した場合も同様の結果が得られる。

以上の検討の結果、ナッシュ均衡は(個人、公共)とも二重下線の戦略の組合せ時に生じる。本例の場合、被災時には上段の 4 番目と下段の 3 番目、無災時には下段の 4 番目に現れる。これは、各プレーヤーが合理的に判断した場合、相手方が補強する場合には、本人は負担しないことが最も支出が少なく、その選択が合理的という結果になる。すなわち、片方が補強すると宣言してしまうと相手方は補強する動機を失うことを意味する。この傾向は、公共が手厚く支援しすぎると自助努力をしなくなるという状況を説明しているといえる。また、地震が発生しない場合には、公共も個人も何もしないことが最も合理的という結果を導くことが分かる。

分析の結果、今回の仮定の下では、耐震補強を推進する上では好ましくない均衡点を導くことが判明した。すなわち、公共と個人の間では相手方に期待する面が大きく、協働することによって双方の利益が最大化することにならないという結果になった。したがって、理想とする均衡点に導くためには、仮定条件を変える必要があると考えられる。それは、ルールの変更を意味するものであり、プレーヤーが合理的な判断に基づき行動した場合、自然に理想的な均衡点になるような制度設計の開発にゲーム理論の思考方法を活用すべきであると考ええる。

表 3.5-5 戦略利得表

		公共の戦略			
		戦略1 RC:1-q RF:1-r	戦略2 RC:1-q	戦略3 RF:1-r	戦略4 いずれも対応しない
個人の戦略	戦略1 RC:q RF:r	A (bprA, bpuA)	B (bprB, bpuB)	E (bprE, bpuE)	F (bprF, bpuF)
	戦略2 RC:q	C (bprC, bpuC)	D (bprD, bpuD)	G (bprG, bpuG)	H (bprH, bpuH)
	戦略3 RF:r	I (bprI, bpuI)	J (bprJ, bpuJ)	M (bprM, bpuM)	N (bprN, bpuN)
	戦略4 いずれも対応しない	K (bprK, bpuK)	L (bprL, bpuL)	O (bprO, bpuO)	P (bprP, bpuP)

注: RC(リスクコントロール)、RF(リスクファイナンス)

(bprA, bpuA)は、組合せ A の場合の(個人の利得, 公共の利得)を表す。

表 3.5-6 既存の各種制度と戦略表での対応

		公共の戦略			
		戦略1 RC:1-q RF:1-r	戦略2 RC:1-q	戦略3 RF:1-r	戦略4 いずれも対応しない
個人の戦略	戦略1 RC:q RF:r			<u>本制度(公共参加)</u>	耐震補強(借入金) <u>本制度(市場のみ)</u>
	戦略2 RC:q			耐震補強(補助金) 税金控除 吉村モデル(支援金)	耐震補強(自己資金)
	戦略3 RF:r			政府再保険	保険 CAT ボンド ART
	戦略4 いずれも対応しない	TIF	公共防災政策 緊急地震速報	自治体による保険 災害復旧費 公債発行	無対策

表 3.5-7 公共と個人の利得表(吉村モデル)(公共の支出, 個人の支出)

			公共の戦略【補強費負担：支援金負担】							
			【する：する】		【しない：する】		【する：しない】		【しない：しない】	
個人 の 戦 略	す る	費 用	(-0.5,-0.5)		(-1,-0)		(-0.5,-0.5)		(-1,0)	
		被 害 額	被災 (-1,-1.5)	無災 (0,0)	被災 (-1,-1.5)	無災 (0,0)	被災 (-1,-1)	無災 (0,0)	被災 (-1,-1)	無災 (0,0)
		計	(-1.5,-2)	(-0.5,-0.5)	(-2,-1.5)	(-1,-0.5)	(-1.5,-1.5)	(-0.5,-0.5)	(-2,-1)	(-1,0)
	し な い	費 用	(0,-1)		(0,0)		(0,-1)		(0,0)	
		被 害 額	被災 (-1,-1)	無災 (0,0)	被災 (-5,-5)	無災 (0,0)	被災 (-1,-1)	無災 (0,0)	被災 (-5,-5)	無災 (0,0)
		計	(-1,-2)	(0,-1)	(-5,-5)	(0,0)	(-1,-2)	(0,-1)	(-5,-5)	(0,0)

仮定：地震時の被害 補強なし-5, 補強後-1

補強費用 -1(公と私で分割する時は, 1/2 づつとした)

地震後支援金 -1

3.5.4 提案制度モデルと耐震補強保証制度(吉村モデル)の比較検討

提案制度モデルと文献 1 による耐震補強保証制度(吉村モデル)の制度比較を行う。両モデルの共通点は、耐震補強を実施する点と公共側の何らかの関与が有る点である。提案制度モデルでは、行政が投資家として参加することを想定している。

表 3.5-8 に提案制度モデルと吉村モデルのプレーヤー(住民と行政)の支出・収入の一覧を示す。支出・収入を被災前と被災後に分けて表示している。被災後の総計は、被災前の支出・収入に被災後の支出・収入を累加して算定される。グレーに網掛けしてある箇所が、各モデルの特徴を表す支出・収入である。

提案制度モデルでは、住民は耐震補強費用を投資家である行政からプレミアムとして受け取るため収入が発生する。一方、そのプレミアムは行政にとっては支出になる。地震が発生して被災すると、住民は、被害額・復旧額に加え、契約に基づくペイオフの支払が生じる。そのペイオフを行政が受け取り、被災後の行政の収入になる。

吉村モデルでは、当初の耐震補強費は住民が自費で行うため住民の支出になる。被災後、行政は、被害を受けた住民(補強した者のみ)に対して支援金(耐震補強費の 2~6 倍程度)を支払う。この被災後の支援金は行政にとっては支出であり、住民にとっては収入になる。

表 3.5-8 提案制度モデルと吉村モデルのプレーヤーの支出・収入一覧

		提案制度モデル		吉村モデル	
		支出	収入	支出	収入
住民	被災前	無し	プレミアム (補強費用に充てる)	補強費用	無し
	被災後	被害額 復旧額 ペイオフ支払	その他の公助	被害額 復旧額	支援金 (補強費用の X 倍) その他の公助
行政 自治体 (投資家)	被災前	プレミアム	無し	無し	無し
	被災後	その他の公助 仮設住宅費 建物解体費	ペイオフ受取	支援金 (補強費用の X 倍) その他の公助 仮設住宅費 建物解体費	無し

両モデルの顕著な違いは、行政側の支出の時期の違いとすることができる。すなわち提案制度モデルでは、地震発生前に支出するのに対して、吉村モデルでは、地震発生後に支出するという点である。この違いを図で示すと、図 3.5-3 のようになる。提案制度モデルの支出・収入の推移を実線で示す。シナリオ地震の発生を境にして、提案制度モデルの場合、地震前にはプレミアムの支出があり、地震発生後にペイオフの収入が生じる。吉村モデルでは、地震発生後に支援金を支払うために支出が生じる。

次に、住民の支出・収入の推移を図 3.5-4 に示す。提案制度モデル(実線)では、地震発生前の支出・収入がゼロに対して、地震発生後はペイオフの支払のため、吉村モデル(破線)に見られる自己負担による耐震補強費よりも大きな額の支払いが発生する。

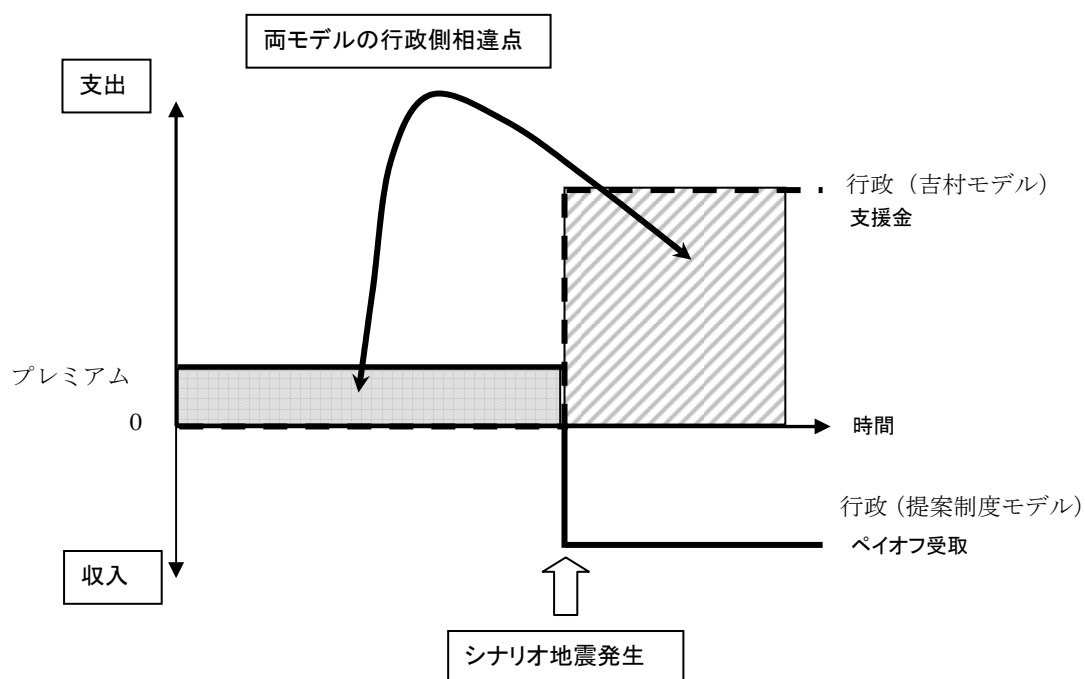


図 3.5-3 行政の支出・収入の時期の違い

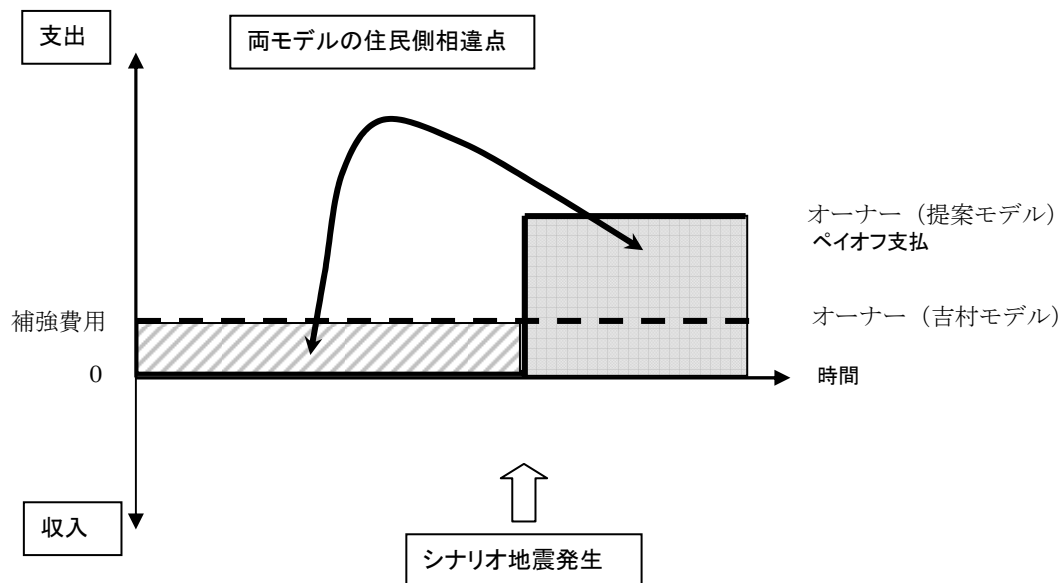


図 3.5-4 住民の支出・収入の時期の違い

次に、両モデルを文献 1 による想定東海地震の場合に当てはめ、具体的な比較を行う。

○両モデルの共通条件

文献 1 の第 6 章の静岡県下の既存不適格木造戸建住宅 548,373 棟を対象とした制度運用シミュレーションの条件に基づくものとする。

- ・ 想定地震規模 想定東海地震
想定東海地震の諸元及び発生確率は 3.4 節に示す。
- ・ 住民側負担額
文献 1 の図 6-7 により、住民側被害項目として、家屋被害額・家財被害額・家屋復旧費用・家財復旧費用を考慮し、無補強時と補強時の負担額を以下のように設定した。

無補強時負担額: 制度加入率 0% 時の負担額の合計

21,000 億円

補強時負担額 : 制度加入率 100% 時の負担額の合計

5,000 億円 (負担額から耐震補強費用を控除)

- 耐震補強費用

また、耐震補強工事を実施した場合の住民側の支出として、1棟当たりの平均費用183万円を用いて算定しているとあり、図6-7より、100%耐震補強した場合約6,000億円の支出になる。

補強費用 : 制度加入率100%時の耐震補強費用の合計
6,000億円

提案モデルのプレミアムの価格は、本耐震補強費用を100%填補するものとして仮定する。

- 行政側負担額

文献1の図6-12より、震災時の行政側負担額として、建物解体費用・仮設住宅費用・公助による支援金を考慮する。無補強時と補強時の負担額を以下のように設定した。

無補強時負担額: 制度加入率0%時の負担額の合計
2,800億円
補強時負担額 : 制度加入率100%時の負担額の合計
1,000億円(負担額から保証による支援金(400億円)を控除)

○両モデルの検討時変動パラメータ

- 吉村モデルの保証による支援金

支援金額(補強費用の α 倍)

- 提案制度モデルの地震発生時のペイオフ

提案制度モデルのプレミアムの β 倍

β は、式(3.4-1)を変形し、想定した地震の一定期間内の発生確率 p から、下式より決まる。
ことが分かる。

$$\text{ペイオフ} = (1/\text{地震発生確率}) \times \text{プレミアム} = \beta \times \text{プレミアム} \quad (3.5-1)$$

$$\beta = 1/p$$

○ケーススタディ

ケーススタディでは、上記の変動パラメータを、 $\alpha=2$ 、 $\beta=2$ として検討する。すなわち、吉村モデルを適用した場合、行政側は震災後の支援金として、全壊の場合耐震補強費用の2倍を支払うことを仮定する。また、提案モデルを適用した場合、住民側(建物オーナー)は、地震発生時に耐震補強費用の2倍のペイオフを自治体(投資家)に支払うことを仮定する。この関係は、地震発生確率 q が50%に対応するものである。表3.4-1より、想定東海地震の10年以内の発生確率は46%にほぼ近い値と捉えることができる。この場合の住民側と行政側の支出及び収入を表3.5-9及び図3.5-5に示す。

現状のまま補強をしない状態で、想定地震が発生した場合(本ケースでは、 $\beta=2$ としているので、地震発生確率は50%となる)、住民側の支出は21,000億円、行政側の支出は2,800億円と推定される。

これに対し、吉村モデルによると住民側は耐震補強費用を自ら負担するため、地震発生前に補強費用 6,000 億円を負担する。地震発生後、補強により住民側の負担は 21,000 億円から 5,000 億円に減少する。この被害額に補強費用を加算すると地震発生前後の支出総額は 11,000 億円になる。一方、行政側は補強により被害額は、2,800 億円から 1,000 億円に減少し、補強した建物が被害を受けた場合の支援金として 400 億円が加算され、行政側の総支出額は 1,400 億円になる。

次に提案制度モデルを適用した場合の収入・支出を検討する。住民側は、本提案制度モデルを用いることにより、地震発生前は支出を負担することなく耐震補強を行うことができる。その費用は、行政側が提案制度モデルに基づく金融商品を購入する投資家の立場で支払うプレミアム 6,000 億円を活用ことになる。

地震が発生した場合、住民側は補強後の被害額 5,000 億円で金融商品(デリバティブ)の契約に基づきプレミアムの 2 倍になる 12,000 億円を行政側に支払う必要が生じる。行政側は、12,000 億円を収入として受け取ると共に、行政側の補強後の被害額 1,000 億円の支出が発生する。地震発生前に支払をしたプレミアム分を考慮すると、地震発生後の行政側の総収入は 5,000 億円になる。

この比較から、本提案制度モデルは、吉村モデルに比べ、地震発生前と後での収支の変動が極めて大きいといえる。

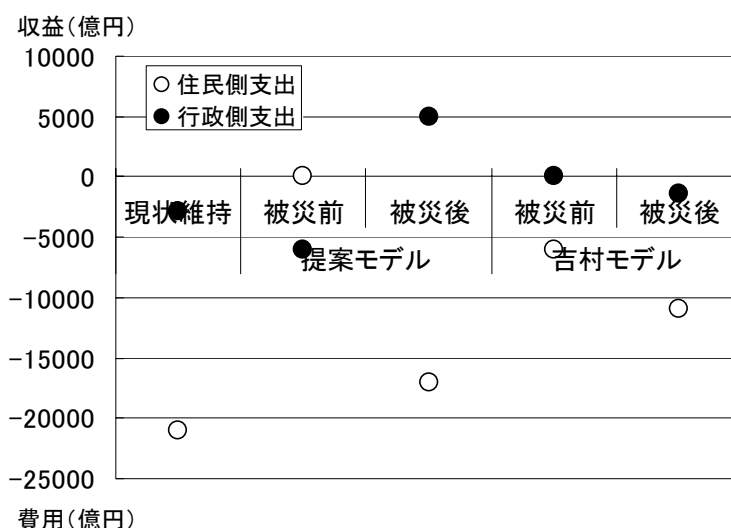


図 3.5-5 想定東海地震時の支出・収入比較

表 3.5-9 想定東海地震時の支出・収入比較

		無補強時	提案制度モデル	吉村モデル
		▲支出	▲支出・収入	▲支出・収入
住民	被災前	0 億円	0 億円	補強費用 ▲6,000 億円
	被災後	被害額 復旧費 ▲21,000 億円	被害額 復旧費 ▲5,000 億円 ペイオフ支払 ▲12,000 億円	被害額 復旧費 ▲5,000 億円
行政 自治体 (投資家)	被災前	0 億円	プレミアム ▲6,000 億円	0 億円
	被災後	その他の公助 仮設住宅費 建物解体費 ▲2,800 億円	その他の公助 仮設住宅費 建物解体費 ▲1,000 億円 ペイオフ受取 12,000 億円	支援金 (補強費用の 2 倍) ▲400 億円 その他の公助 仮設住宅費 建物解体費 ▲1,000 億円

提案制度モデルと耐震補強保証制度(吉村モデル)の比較検討の結果、両モデルの以下のような特徴が明確になった。

提案制度モデルは、地震発生確率を積極的に制度に反映しているため、地震発生の前後でその収支関係が大きく変動する。一方、吉村モデルは、住民側と行政側の収支の変動率は提案制度モデルよりも小さく、被災後の住民の支出額も小さい。よって、吉村モデルのほうが、安定性のある制度であると見ることができる。この違いは、シナリオ地震の発生確率を制度の中でどのように評価しているかによるものである。地震リスクマネジメントを考える場合、発生確率を積極的に判断に反映させるか否かで、選択の結果は変化すると思われる。そのような場合、確率を反映した収支の期待値で比較する方法がある。

本検討では、想定東海地震の発生確率が 10 年間で約 50%として比較した。この発生確率を用いて、両モデルの住民と行政の収支を比較すると表 3.5-10 のようになる。各モデルの平均を比較すると、両モデルの差はあまり無いことが分かる。

表 3.5-10 想定東海地震時の収支期待値

(億円)

	現状維持	提案制度モデル			吉村モデル		
	被災後	被災前	被災後	平均	被災前	被災後	平均
発生確率	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	
住民収支	▲10,500	0	▲8,500	▲4,250	▲3,000	▲5,500	▲4,250
行政収支	▲1,400	▲3,000	2,500	▲250	0	▲700	▲350

提案制度モデルは、被害と別に住民側から行政側にペイオフの支払が生じる。この支出は、地震発生確率に関連しているため、被害の有無と関係なく支払いが生じる。しかし、被害額は、両モデルで共通に生じる支出であるが、これは大数の法則に基づき、過去の震災調査結果から判明している被害率が考慮される特性を持つものである。吉村モデルは、大数の法則による被害額が住民や行政の支出額を支配しているのに対し、提案制度モデルは、地震発生確率に基づく支出及び収入(ペイオフ)が支配的であるという特徴があるといえる。

3.5.5 まとめ

我々は、耐震補強を推進するためには、従来のように耐震診断や耐震補強技術の開発などのように純粋に工学的なアプローチのみでは限界があるとの認識の下、制度的な工夫により実現を早めることが可能ではないかと考え、本章の制度の提案を行った。耐震補強を推進するための制度は既に存在しているが、それら制度は実際に使われなければ補強は進まない。使われる制度の開発のためには、制度そのものの特性、その制度を使うプレイヤーの属性などを相互に比較分析する必要がある。

各種地震リスクマネジメント手法の得失を客観的に比較する方法として、経済学等の社会科学分野の学識を活用する方法を模索した。経済学の中には、各種制度を、ゲームの理論、情報の理論、契約の理論に基づき比較分析する分野(比較制度分析)が形成されているようである。この比較制度分析の手法は、国の経済システムや企業の組織の比較に貢献している。

本節では、耐震補強を推進するプレイヤーとして公共と個人の関係に着目して、ゲーム理論の手法を中心に、それぞれが直面している状況を把握することを試みた。ここで採用した手法は、初歩的なものであり、また大胆な仮定の元に検討されたものであり、公共と個人の役割について明確な結論を得ることができたわけではない。今回の分析により、耐震補強は、公共が支援するとアナウンスすることにより、個人の動機は減少することを認識した。これは逆に、個人に自主的に補強を勧めてもらうためには、公共は「支援しない」と宣言することが重要であることを示唆している。被害が広範で公共に与える影響が大きい地震リスクについて、公共の関与を一切否定することは難しいと思われるので、個人の動機付けを導き出せるような制度の必要性を改めて認識させる結論である。

今回の検討では、公共と個人の役割の最適な形態を導くまでには至っていない。各種制度の下で、公共と個人がどのような比率で貢献するのが最適であるかを定量的に導くためには、それぞれの得失に影響を与える条件や変動割合を定量的に評価し定式化する必要がある。また、地震リス

クのように不確実性が高い自然現象を扱う場合には、制度そのものに確率的思考を取り入れるか否かで制度の受け入れられ方が異なると思われる。制度を実際に活用する主体がどのような認識を有しているかを把握することも制度普及のためには重要なことといえる。

3.6 まとめ

サステナブルな都市システムの構築を目指し、地震に強い都市にするために今、検討すべきこととして、1981年に建築基準法に定められた耐震設計基準(新耐震設計基準)を満足しない既存不適格建物の補強の推進の重要性に着目した。2005年に、国土交通省の下で、住宅・建築物の地震防災推進会議が設置され、建物の耐震化促進のための提言がなされ、2006年6月に住宅の量的拡大から安全性や品質の向上に重点を置いた政策の推進のため住生活基本法が公布・施行された。同法に基づき「良質な住宅ストックの形成及び将来世代への承継」を目標とした「住宅の品質又は性能の維持及び向上」のための具体的な施策として、平成27年までに新耐震設計基準適合率を75%から90%にする目標を上げている。このような行政的な背景からも、耐震補強を従来以上に推進するための制度の開発の社会的意義は大きいと認識し、本WGの研究活動を進めた。

研究内容は、耐震補強の推進の阻害要因を、地震リスクの不確実性に伴う資金調達の変動の減退と捉え、資金調達手段として金融工学を適用したリスクファイナンス手法の開発に主眼を置いた。本手法のポイントは、建物オーナーがデリバティブを投資家に売却し、その際に投資家から受け取るプレミアムを耐震補強費として利用できる点である。本手法を、個別建物又は複数建物を対象とした場合、バックグラウンド地震又はシナリオ地震を想定した場合に適用し、本制度の特性を検証した。

本制度は、耐震補強に必要な額に相当するプレミアムを設定した場合、耐震補強をしない場合の被害額が、耐震補強済の場合の被害額とデリバティブのペイオフを加えた額を下回るという条件下で成立する。検証の結果、この条件は、建物の立地や耐震性という個別の要因の下、デリバティブを設計する際の契約上のペイオフ曲線の形状を調整することによって満足されることが分かった。但し、被害率の予想曲線の形により、部分的にマグニチュードのレベルによって上記条件を満たさない場合もある。しかし、本論では、2本の直線で定義されたペイオフの形状のみを示したが、理論上、任意の曲線で定義することが可能であり、部分的に条件を満たさないという問題は解決できるものと考えている。

複数建物に適用した場合、基本的には個別建物への適用方法を単純に重ねることによって設計することが可能である。複数の建物の分散状態によって、地震発生領域を個々に設定する場合と1つの地震発生領域で代表させる場合があり得る。何れの場合も、建物オーナーと投資家が複数になると償還日においてペイオフの計算が複雑になる可能性があるため、想定される契約上の権利関係について整理しておく必要がある。

地震発生確率の評価手法には、バックグラウンド地震又はシナリオ地震に基づく場合が考えられる。前者は、地震発生対象領域に属する全ての断層や活動域を対象にして、全マグニチュードレベルに対して発生確率を算定している。一方、シナリオ地震の場合は、歴史的にマグニチュードの規模や発生間隔が比較的明らかになっている特定の1つの震源域を対象としているため、特定の範囲のマグニチュードの発生確率だけを算定することができる。この違いはペイオフ曲線の形状の違いに現れる。前者の場合は、任意の形状が可能であるが、後者の場合は、当該地震が発生したか否かで決定するため、階段状のペイオフ曲線になる。後者の場合のプレミアムの計算は、設定期間内の地震発生確率が分かると一意に決まるため、前者に比べ比較的単純になる。

耐震補強を推進するためには、工学的な手段である耐震補強技術の開発のみでなく、社会科学分野の学識を活用した制度作りが重要であるという認識の下、各種制度を評価する手法について調査した。既存の各制度を幾つかの区分で分類し、特に公共と個人の役割に付いて着目し、ゲーム理論の基礎的手法による分析を試みた。ある仮定に基づき、公共と個人がどのように耐震補強費用を負担することが合理的な解決策になるかを検討したところ、地震が発生した場合には、両者とも耐震補強の有用性を認識するが、費用負担に付いて、相手方が負担の意思を明確にすると、他方はあえて協力するという意思は働かず、相手任せにすることが分かった。この状態は、必ずしも理想的な状態とはいえず、公共と個人が有る割合で協働する形を誘引するためには、ゲーム理論に基づき、ルール(制度)を変更する必要があることが分かった。

また、制度比較の例として、本提案制度モデル(行政が投資家になるケース)と吉村モデル(文献1)の比較をした。両者は、公共と個人の協働を前提にしている点で共通しているが、公共と個人が支出する時期(地震発生の先か後か)が異なる。また、前者は、制度の中に地震発生確率を積極的に導入しているのに対し、後者は地震発生を確定的に捉えている違いがある。この違いによる制度上の特性は明確になったが、何れの制度がより妥当かについては、その制度を受け入れる主体(建物オーナーや行政)の地震リスクに対する考え方に依存すると考えられる。主体がリスクを確率的に把握することに慣れている場合には、本提案制度モデルが受け入れられやすい環境にあり、普及すると思われる。そのためには、確率的評価の根拠などの情報開示を積極的に実施していく必要があると思われる。

本WGでは、本提案制度モデルを第1回防災計画研究発表会(2006年10月20日、京都大学宇治キャンパス内、主催:防災計画研究発表会実行委員会)で発表した。発表資料を付録3に掲載する。同発表会は、防災計画に携わる土木、建築、心理学、社会学などの研究者および実務者が一同に集い、実践的・理論的な研究発表を行い、それらについて様々な視点から討議するとともに、防災計画に関する今日的課題や今後の展開について議論する場という趣旨で開催された。本WGの活動内容は、防災の1テーマである耐震改修促進制度を、工学の分野のみでなく、他分野の成果を組合せながら構築する必要性を意識した研究であり、同発表会の趣旨に沿うものであった。会議場および懇親会で広範な分野の研究者の方々と触れ、意見交換の場が持てたことは、本研究を推進する上で有意義であった。

【参考文献】(3.)

- 1) 吉村美保:脆弱建物の耐震化対策へのインセンティブ導入方法に関する研究,東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター(ICUS),2005年9月.
- 2) 建築物荷重指針・同解説 2004,日本建築学会,pp.651.
- 3) 地震ハザードステーション,<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>.
- 4) 福島誠一郎,矢代晴美:地震リスクの証券化における条件設定に関する解析,日本建築学会計画系論文集,第555号,pp.295-302,2002年5月.
- 5) 林康裕:耐震診断結果を利用した地震リスク表示の試み,シンポジウム「耐震診断・耐震補強の現状と今後の課題」,pp.37-42,建築学会関東支部,2000.
- 6) 村尾 修,山崎文雄:自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第527号,pp.189-196,2000年1月.
- 7) 平川倫生,神田順:終局限界状態以前に発生する破壊時費用の評価,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.69-70,1997年,9月.
- 8) 長期的な地震発生確率の評価手法について,地震調査研究推進本部 HP,平成13年6月8日 <http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/01b/chouki020326.pdf>.
- 9) 井堀利宏著:ゼミナール公共経済学入門,日本経済新聞社,2005.
- 10) 多々納裕一／高木朗義編著:防災の経済学,勁草書房,2005.
- 11) 友野典男:行動経済学,経済は「感情」で動いている,光文社,2006.
- 12) 佐々木宏夫:入門 ゲーム理論 戦略的思考の科学,日本評論社,2003.

4. まとめ

防災WGは、平成16年度から18年度までの3年間、「災害情報データベースの構築法」と「耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度」の2つをテーマとして採り上げ、検討してきた。前二章の各々のまとめと重複する部分もあるが、本年度の活動成果について、主なところを以下にまとめる。

(1) 災害情報データベースの構築に関する研究

災害情報データベースのあり方と構築法に関して、阪神・淡路大震災時の神戸市水道局の対応を事例研究の対象に選び、当時の情報の流れを整理した。文献調査のほか、当時災害対応に当たった神戸市水道局の関係者を訪ねてヒアリング調査を行った。これにより、災害対応現場から対策本部へ伝わっていく災害情報の内容や手段、また、それらが時間的に変化していく過程などの概要がつかめた。

こうした事例研究を通じて、災害情報データベースのあり方に関して、次のことがらを提案した。

- ①外部組織との連携について
- ②画像情報の共有化
- ③情報の収集・仕分け
- ④リモートセンシング技術の活用
- ⑤災害対応の履歴の残るシステム
- ⑥SCP(Service Continuity Program)を目指して

(2) 耐震補強推進のための地震リスクファイナンス制度

既存不適格建物の耐震補強の推進を阻害している要因が、地震リスクの不確実性に伴う資金調達の動機の減退と捉えた上で、金融工学の技術の一つであるデリバティブの手法を活用した地震リスクファイナンス制度を提案した。本制度のポイントは、耐震補強を必要とする者(建物所有者)がデリバティブを投資家に売却し、その際に投資家から受け取るプレミアムを耐震補強費として利用できる点である。本制度について、以下の観点から検証し、本制度がもつ特性を明らかにした。

- ①個別建物を対象とした場合
- ②複数建物を対象とした場合
- ③確率論的地震ハザード評価を考えた場合とシナリオ地震を考えた場合とでの違い

また、耐震補強の推進には、社会科学分野の学識を活用した制度作りが重要ではないかという認識の下、公共と個人がどのように耐震補強費用を負担することが合理的な解決策になるかを、ゲーム理論を用いて検討した。

本提案制度モデルについては、WGの外へも発表した。発表の場は、2006年10月20日に京都大学宇治キャンパスで開催された第1回防災計画研究発表会であり、そこで防災計画に携わる土木、建築、心理学、社会学など広範な分野の研究者の方々と意見交換をすることができた。

われわれのWGが取り組んできた2つのテーマは、まだまだ研究途上にあり、さらに検討しなければならない課題が山積している。ここに取りまとめた報告とこの3年間の活動成果が、この方面の研究の進展に少しでも役に立つことを祈る。

5. 活動経過

【平成 17 年度】

第 1 回 WG

- ・日 時:2005 年 4 月 19 日(火) 12:30～13:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 プレハブ棟 2 階
- ・議 題:新年度メンバーの顔合わせ

第 2 回 WG

- ・日 時:2005 年 5 月 17 日(火) 10:00～12:30
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS センター長室
- ・議 題:災害情報 SWG に関連した情報提供、今後の活動
- ・議事内容:
 - (1)災害情報データベースの構築
 - ①危機管理対応情報データベースに関する話題提供(目黒研究室・近藤)
 - ②今後の方針に関する討議
 - ・適切な災害対応するには、どんな情報がいつのタイミングで必要なのかを知り、そこから理想とする対応を検討する必要がある。そのための第一段階として、新潟県中越地震での自治体(長岡市)の行動を例にとり、KJ 法を使って対応のあり方を討議することにした。

第 3 回 WG

- ・日 時:2005 年 7 月 5 日(火) 15:00～17:30
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:新潟県中越地震の水道局の対応、制度設計の進捗状況(説明)
- ・議事内容:
 - (1)災害情報データベースの構築
 - ・長岡市の水道局の仕事を例に取り、理想的な対応と行動に必要な情報を KJ 法により検討した。
 - (2)耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品
 - ・提案する金融商品が、建物オーナー側及び投資家側双方にとって、成り立得るものであるか否か、幾つかのパラメータについて検討した結果に関する報告を山田幹事より受けた。

第 4 回 WG

- ・日 時:2005 年 8 月 31 日(水) 14:00～17:15
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:KJ 法の結果説明、水道事業や兵庫県南部地震の水道局の対応(レクチャー)
- ・議事内容:
 - (1)制度設計 SWG
 - ・本防災 WG の活動の趣旨説明(高橋)

- ・前回 KJ 法によりまとめた結果の説明(目黒研・近藤)
- ・平山修久氏(人と防災未来センター専任研究員)によるコメント
- ・全体討議

第 5 回 WG

- ・日 時:2005 年 10 月 6 日(木) 10:00～12:30
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:SWG の進捗状況(説明)と今後の活動方針
- ・議事内容:
 - (1)制度設計 SWG:耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品の開進捗状況の説明(山田)、今後の方針に関する討議、フォーラム(意見交換会)の開催案について
 - (2)災害情報 SWG:今後の方針に関する討議

第 6 回 WG

- ・日 時:2005 年 11 月 1 日(火) 9:30～12:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS センター長室
- ・議 題:兵庫県南部地震における水道局の対応、制度設計の活動方針
- ・議事内容:
 - (1)災害情報 SWG:兵庫県南部地震における水道局の対応
 - ・水道局と他の機関との情報伝達に関する報告(目黒研・鈴木さん)
 - ・水道局、自衛隊、日本水道協会、消防、電力などの各機関の対応に関する討議や疑問点の洗い出し
 - ・SWG における検討モデルとの比較
 - (2)制度設計 SWG:前回の質疑への回答と今後の検討について

第 7 回 WG

- ・日 時:2005 年 12 月 1 日(木) 13:00～15:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 プレハブ食堂棟2F 第 7 会議室
- ・議 題:地震リスクファイナンスに関する現状、今後の活動方針
- ・議事内容:
 - (1)制度設計 SWG:耐震補強推進のための地震リスクファイナンス金融商品に関する専門家との意見交換
 - ・防災科学技術研究所の坪川博彰氏を招き、本 SWG で検討している金融商品に関するコメントとメンバーとの意見交換を実施。
 - ・現在の保険業界の動向についての話題提供
 - (2)災害情報 SWG:今後の方針に関する討議

第 8 回 WG

- ・日 時:2005 年 12 月 13 日(火) 15:30～17:30
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議 題:地震時の水道局の対応

・議事内容:

- (1) 災害情報 SWG:兵庫県南部地震における水道局の対応の情報の流れを中心とした整理
 - ・水道局と他の機関との情報伝達に関する整理結果の報告(目黒研・鈴木さん)
 - ・被害把握、応援要請、応急給水、応急復旧の各活動での情報の流れと対応に関して討議
 - ・討議結果の対応シートへの反映(KJ 法的な整理法)

第 9 回 WG

・日 時:2006 年 3 月 14 日(火) 10:00～12:00

・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議 題:地震時の水道局の対応に関するまとめ、WG のまとめと報告書作成について

・議事内容:

- (1) 災害情報 SWG:兵庫県南部地震における水道局の対応
 - ・これまでの兵庫県南部地震における水道局の対応のまとめの報告(東大・鈴木)
 - ・水道局の対応のまとめ方と今後の活動の方向に関する審議
- (2) 制度設計 SWG:今年度報告書案の説明

【平成 18 年度】

第 1 回 WG

・日 時:2006 年 7 月 11 日(火) 15:00～17:30

・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議 題:平成 18 年度の活動計画

・議事内容:

- (1) 災害情報 SWG の活動計画
- (2) 制度設計 SWG の活動計画
- (3) 「脆弱建物の耐震化対策へのインセンティブ導入方法に関する研究」概要説明(吉村)

第 2 回 WG

・日 時:2006 年 8 月 2 日(水)13:30～15:30

・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議 題:昨年度の WG での水道局の対応に関する整理の議論

・議事内容:

- (1) 水道局の対応の整理の仕方
 - ・時間経過とともに刻々と変化する発生事象とその対応が不十分。
 - ・不足情報の補足調査の必要性。
 - ・水道事業における受忍レベルと受容レベルに対する考え方の整理。
 - ・情報項目を抽出し、DB 項目の流れ(組織間、時系列)と量による多次元分析／評価結果から、時系列を考慮したあるべき DB 構築法について検討すべき。
 - 成果としては DB 要求仕様書のイメージの作成。DB の仕組み、仕様、備わっているべき機能

を整理すべき。(目黒先生)

第3回 WG

- ・日 時:2006 年 9 月 1 日(金)15:00～17:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:今後の進め方についての議論
- ・議事内容:
 - (1)水道局の「被害状況の把握」に関する情報と対応の補足情報説明
 - (2)今後の災害対応の情報整理の進め方について
 - ・案 1:水道の通水率を高めるための情報を洗い出して整理する方法(水道局の中での情報伝達と対応の整理)
 - ・「通水率」の定義の明確化。
 - ・水道がどうあってほしいのか、そのためにはどんな情報が必要なのかの検討。
 - ・今得られている情報をまとめ、次に不足していると考えられる部分を再度ヒアリングして補充し、ネックとなっている情報を見つけて、復旧率を早期に回復させることにつながる情報基盤を議論。
 - ・案 2:水道局に関係するほかの組織(消防、警察、各インフラなど)との情報連携を検討する方法
 - ・水道だけに限らないあるべきインフラ全体としての姿を提示(広い視野に立った検討)。
 - ・具体的な「DB 要求仕様書」の作成に結びつかない(一般論しか提示できない)懸念。

第4回 WG

- ・日 時:2006 年 9 月 27 日(水)15:00～17:50
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:「通水率」の算出方法について
- ・議事内容:
 - ・「通水率」の定義に関する報告
 - ・通水率の算出に関わる情報の整理(案1に沿った検討)
 - ・通水率を算出するのに必要な情報について整理作業
 - ・約 60 件挙げた項目をピックアップし、各項目について文献調査を行い、どこ(誰)がどういう手段で情報を入手していったのか、時系列にしてまとめる。

第5回 WG

- ・日 時:2006 年 10 月 6 日(金)14:30～16:40
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:「通水率」に着目した情報の流れについて
- ・議事内容:
 - (1)通水率の算出に関わる情報の整理結果の説明(目黒研:川村さん)
 - ・通水率を求めるための情報は、地震発生 3 日目以降(19 日以降)の記録(関西ライフライン協会資料など)に登場してくるので、これらを元に必要な情報を整理し、それらをいつどこから得

ていたかを分析していくことが可能と思われる。

- これらの分析から情報の流れを時系列に整理できる。

第 6 回 WG

- 日 時:2006 年 10 月 17 日 (火)16:00～18:30
- 場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- 議 題:「通水率」に着目した情報の流れについて
- 議事内容:

(1)通水率の算出・更新に必要な情報の流れの整理。

- 蛭間さんによる分析資料に基づき、通水率の算出や更新がどのような情報に基づいて行われているかを議論。
- 現場調査の結果報告では、どんな情報がやりとりされていたかをヒアリング調査することの提案。

<目黒先生からの提案>

- 災害情報プラットフォームの業務分析を、浄水管理事務所の各部署での業務について分析する(浄水管理事務所が行う業務を大業務、中業務、小業務、アクションと分類して挙げている、各アクションにおいて必要な情報と必要な精度を示す)。:図 5-1 参照

(2) 報告書提出までのスケジュールの確認

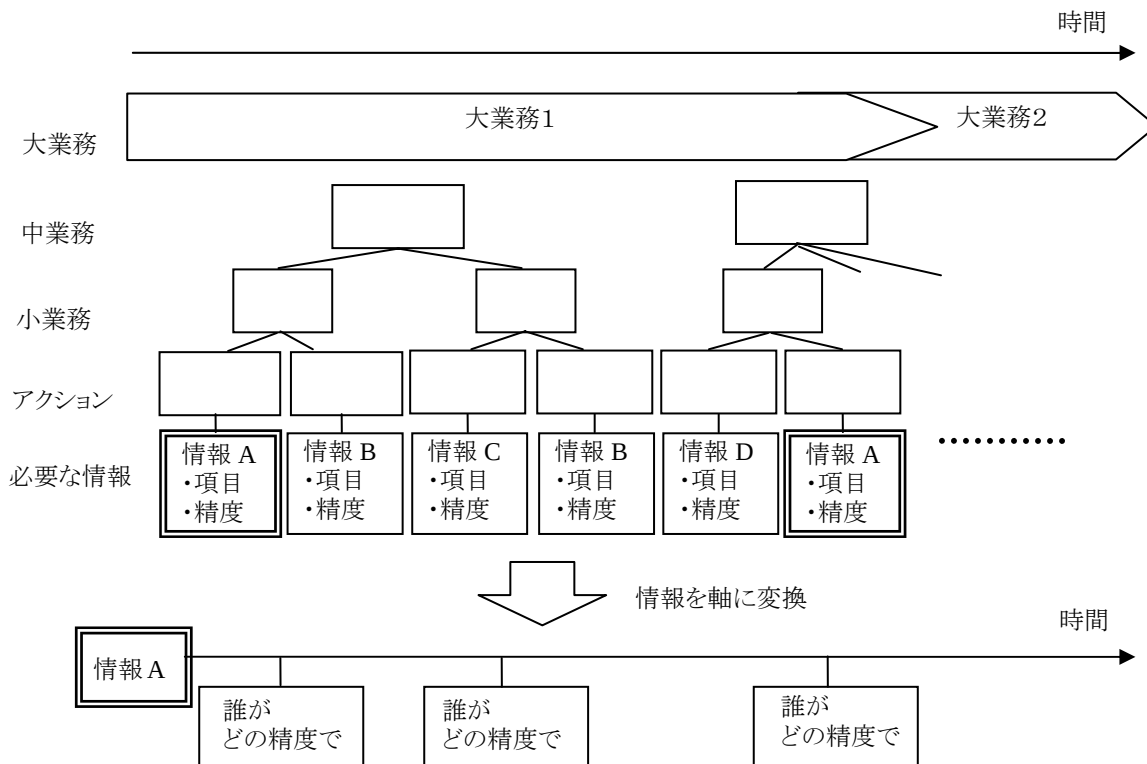


図 5-1 業務分析(業務の分類)と必要な情報

第7回 WG

- ・日 時:2006 年11月1日(火)9:00～11:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:水道局の災害対応における業務分析
- ・議事内容:

(1) 水道局業務の整理

- ・水道局の業務分類とその業務に必要な情報の整理結果(災害対策本部:蛭間さん、お客様センター:川村さん)について議論。
- ・整理方法に関する提案:大々業務や個々の情報の共有先に関する詳細な整理、業務分類に関する提案、整理の時間軸に関する提案、情報のアクセス可能性(共有性)という観点からの分類の提案、情報の共有先(イン・アウト)に関する整理の提案など。

(2) 神戸市水道局のヒアリングについて

第8回 WG

- ・日 時:2006 年 11 月 8 日(火)9:00～11:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:水道局の災害対応における業務分析、ヒアリング事項の確認
- ・議事内容:

(1) 水道局業務・情報の再分類

- ・前回資料に基づく業務の細分化、及び情報分類の結果報告。
- ・主な修正(追加・変更)点:①業務分類追加項目:大業務、アクション業務、②情報分類:アウトプット情報、元情報、発災前後、数・場所・方針、③情報連携(情報のやり取り):取得先、伝達先、④時間:文献、推定など。
- ・分類一覧表の課題抽出:加工情報と元情報の区別など。
- ・分類一覧表の再修正:情報分類指標(インプットとアウトプット、情報形態による細分化、時系列の判断)、アクション業務(被害情報の細分化、アクションの細分化)、情報のやり取り(=情報連携)など。

(2) 神戸市水道局のヒアリングについて(段取りの確認)

(3) 今後の予定の確認

第9回 WG

- ・日 時:2006 年 12 月 1 日(金)16:00～18:00
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・議 題:ヒアリング事項の確認
- ・議事内容:

(1) 災害情報データベース・フロー図の説明(改良版)の説明と議論。

- ・質疑と議論の中で、神戸市水道局のヒアリングを行う際の質問事項をピックアップ。
- ・質問事項の例:通水率の発表頻度、通水率の算出手段、配管図等や通水戸数のデータの形態や現状、被害状況まとめ図の実際、データの共有化による対策時間の短縮化の程度、テレメータのデータの送信の内容、本部・センター・管理事務所の図面の共有化

- ・フロー図の改良点:キーとなる情報の明確化、縦軸と横軸の表現方法、伝達手法の表現、所要時間の表現。
- ・フロー図に追加した方がよいもの:被害把握のプロット図、水量、資材、道路管理者への伝達図、運搬給水・応急給水・拠点給水の図など。

(2)ヒアリングの段取り(確認)、見学の申し入れ

神戸市水道局ヒアリング

・日時:12月12日(火)、13日(水)

(1)布引ダムの視察

(2)奥平野浄水場でのヒアリング(神田氏)、浄水場見学

(3)神戸市水道局でのヒアリング(松下氏)

第10回 WG

・日時:2006年12月26日(火)13:00～15:00

・場所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議題:ヒアリング結果のまとめ

・議事内容:

(1)神戸市水道局のヒアリング結果と災害情報に関する課題の議論

＜災害情報システムに関する目黒先生の指摘＞

- ・情報システム運用の改善後の体制の改善、空間設計の重要性、情報のトリアージが重要性、個々の業務よりは全体業務の効率化の志向、災害対応アクションの履歴が残るシステム作り、人材育成の観点に立ったマニュアル作り、当事者ヒアリングの限界など。
- ・出された課題:道路局との道路に関する情報共有、画像の共有化、水道局の掲示板のシステムの使い方、IT技術への進歩への追従、職員の情報システム活用のモチベーションの高揚、先が見える公開情報、資材の規格統一など。

第11回 WG

・日時:2007年1月24日(水)17:00～19:00

・場所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム

・議題:平成18年度報告書のまとめ方

・議事内容:

(1)災害情報データベースの提案(SWG-1)

①災害情報の共有化

- ・外部組織との連携:災害情報フロー図の説明、自治体における災害応援体制の問題
- ・画像の共有化:画像で対応不可能な条件や制約、画像の対応の可能性の提示

②IT技術の活用

- ・情報のトリアージ:仕分け(取捨選択)する方法の提案
- ・リモートセンシングの活用:リモートセンシングによってどのような情報を共有化するか

③災害対応の履歴が残るシステム

- ④その他(ファシリティーモデルなど)
- (2)制度設計(SWG-2):目次案の説明
- (3)報告書執筆の分担

第 12 回 WG

- ・日 時:2006 年 2 月 9 日(金)15:00～17:00.
- ・場 所:東京大学生産技術研究所 ICUS センター長室
- ・議 題:報告書のまとめ方・分担
- ・議事内容:
 - (1)目次案に対する審議
 - (2)原稿案に対する審議
 - (3)最終的な原稿のとりまとめ方法や提出スケジュールの確認

謝 辞

防災 WG の活動では、専門領域の知識の吸収や活動に対する専門家からの意見をいただくために、講師の方を招き、講義と議論を行っていただいた。村尾修氏(筑波大学)には、「日本社会に適した危機管理システム基盤構築」と題して防災マニュアル作成に関する知見、インターネットによる情報発信システムについて熱心に講義していただいた。平山修久氏(人と防災未来センター)には、「兵庫県南部における神戸市水道局の対応」と題して当時の水道局の対応を現場に立ち会った視点から詳細な講義をしていただき、また、メンバーの様々な質問に快く応えていただいた。坪川博彰氏(防災科学技術研究所)には「耐震補強を促進させる金融商品」と題して、保険の専門家の立場から話をしていただき、また、本 WG で検討中の制度について貴重な意見をいただいた。多忙の中、専門家の立場から我々の議論に参加していただいた講師の方々に深く感謝する。

兵庫県南部地震における神戸市水道局の災害対応事例の研究においては、文献調査では詳細な対応がわからない部分が多かったため、当時現場で対応に当たられた神戸市水道局技術部配水課の松下眞主幹、および奥平野浄水管理・工事事務所の神田主幹には、ご多忙の中、時間を割いて我々の質問に快く対応していただいた。両氏の協力に深く感謝する。

本 WG では、巻頭に示したメンバーで活動を行ってきたが、文献調査や資料の作成には学生諸氏に多大な協力を頂いた。近藤伸也氏(阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター 専任研究員)には、新潟県中越地震における水道局の対応に関する資料の整理ならびに災害対応に関する説明をしていただいた。鈴木僚氏(東京大学大学院工学系研究科修士課程 2 年)には、兵庫県南部地震における神戸市水道局の災害対応の文献調査と対応の図式化を担当していただいた。阿部真理子氏(東京大学大学院工学系研究科修士課程 2 年)には、ブレインストーミングや議論に熱心に参加していただいた。蛭間芳樹氏と川村理史氏(ともに中央大学理工学部 4 年)には、兵庫県南部地震における神戸市水道局の対応を、災害情報とそれに基づくアクションという観点から短時間で整理していただいた。ここに記して感謝する。

付録1. 専門家による講義

本WGでは、検討がある程度進んだ段階で専門家を招き、専門領域の最新の情報やWGでの活動に関する意見を提供してもらい、また質疑応答を行って知識の獲得と検討の方向性の妥当性の確認を行ってきた。以下のその概要を示す。

A1-1. 村尾修氏(筑波大学)の講義

- ・日時：平成 16 年 7 月 28 日（水）（平成 16 年度第 2 回 WG 開催時）
- ・場所：東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・内容：日本社会に適した危機管理システム基盤構築
 - 東大在籍時に生産技術研究所における防災マニュアル作成を行った際に得られた知見等について説明があった。
 - ・防災マニュアル作成では、具体的に記述すれば情報量がどんどん増えてしまうため、どこで終わらせるかの判断が難しい。
 - ・危機管理体制がしっかりしていないと防災マニュアルは作成できない。
 - ・行動基準の設定：人命第一、被害拡大の抑止、状況把握、安否確認、報告義務、災害復旧、避難者対応
 - ・防災マニュアルは一つの側面であって、危機管理体制の確立が重要である。
 - インターネットによる情報発信システムについて
 - ・危機管理、コンテンツ、組織の 3 つのテーマ（柱）で研究を推進する。
 - ・これまでに、諸外国の危機管理 WEB の整理や、FEMA と日本の内閣府の WEB の比較、自治体の WEB や防災組織の現状把握、危機管理 WEB デザイン設計手法の検討を行った。
 - ・WEB での情報発信を考える際に、以下の 7 つの視点は重要である。
 - ① 危機管理の理念の明確化
 - ② 組織内の危機管理体制の明確化
 - ③ 組織内の危機管理すべき対象
 - ④ 受信者（対象者）
 - ⑤ 情報フロー
 - ⑥ コンテンツの分類
 - ⑦ 運営と管理

A1-2. 平山修久氏(人と防災未来センター)の講義

- ・日時:平成 17 年 8 月 31 日(水)(平成 17 年度第 4 回 WG 開催時)
- ・場所:東京大学生産技術研究所 ICUS レクチャールーム
- ・内容:兵庫県南部地震における神戸市水道局の対応
 - 水道事業は、地方自治体の水道事業体によって、独立採算制で運営されている。
 - ・災害対応も、水道事業体の規模に依存する。
 - ・長岡市のような人口 20 万人規模となれば、対応マニュアルをもっている。
 - 水道法では、水道事業者は平時には給水義務を課せられているが、災害時には免除される。
 - 震災時に応急給水業務に当たらなくても法的には問題ない。但し、地域防災計画には盛り込まれることが多い。
 - ・発災から6時間程度までは、「応急復旧班」の活動としては多くは無く、被害上場把握が中心となろう。
 - 水道の被害情報は、水道の本局に設置される災害対策本部(自治体全体の災害対策本部が設置される場所でもある)に集められる。
 - ・重要施設である浄水場には、常駐職員が1〜2名はいて、そこから情報が入ってくる。
 - ・配水池には常駐職員がいないことが多い。→状況調査に職員を派遣するか、流量・水質データのテレメータシステム*を通して状況を知る。
 - *規模の小さな事業体であっても、少なくとも浄水場と配水地には設置されている。“設計上は”、停電対策がなされている。
 - 断水エリアが見えてくるのは、配水池の流量を調べて、そこから下流の管網での断水がわかってくる。
 - ・配水管は、法律で地下埋設されることになっており、直ぐには被害(漏水)がわからない。
 - ・市民からの通報も、被害把握に取り入れられる。
 - ・配水管網の正確な被害状況を6時間以内に把握するのは非常に困難。
 - ・重要施設の状況把握については、6時間以内でないと、次の手を打てなくなる。
 - SWG のKJ法の結果に、「火災情報の収集」が入っていない。
 - ・消防の用水は、一般には水道に頼っている(東京都は例外)。→水道被害が消火活動に影響する。
 - ・火災情報は、全市の災害対策本部に入ってくる。→水道の災害対策本部にも伝わる。
 - ・消防局と水道局のコミュニケーションが有事には大切。
 - 配水池では、発災直後に、完全には配水を遮断しない。
 - ・遮断弁で止める部分と、流れるに任せる部分の両方となる。
 - ・復旧作業の過程で水を使う(通水性確認)し、消防でも水を使うため。
 - ・水道は、上流側から復旧していく(ガス管と異なり、ネットワークの最適化手法がうまく適用できない)。

- 「協会への応援要請」は、日本水道協会の支部へ。
 - ・被害状況の連絡と支援要請を、一般には発災から数時間以内に行っている。
 - ・自分達の事業体でどれだけ対応できるのかを判断するために、被害状況を把握することが重要である。
 - ・日本水道協会が、広域応援の手配をしてくれる。
- 応急給水の必要数量(被災者数)は、避難所の開設時から徐々にわかってくる。
 - ・避難所生活が解消するのは、各戸の水道とガスの復旧が終わってから。
 - ・給水の目標は、発災から3日後で3L/人日、1週間後で20L/人日、2週間後で50L/人日、1ヶ月後で100L/人(これで復旧)。
 - ・自治体で復旧の方針を事前に決めておくことが大切。
- 被害状況・復旧状況の情報共有化は、今後も重要なテーマ。
 - ・上水道と下水道とは、所管官庁の違いが有り、一体化は難しい(横浜市が上下水道局をつくったのは画期的)。しかしながら、関連性を考えなくてはいけない時代に来ている。
 - ・下水の復旧前に上水を流した事例もある。
 - ・ガス管への「さし水」は復旧を遅らす。
 - ・普段の業務で情報共有にメリットがなければ相互の乗入れは実現しないので、平常時と災害時の両方につかえる情報共有システムが必要。
- 個々の対応業務は平時でも行っているが、震災時にはそれらがいっぺんに大量に生じる。
- 災害対策本部が解散した時点で災害状況は終了したと考える。
- 水道施設の耐震化を進めるにしても、水道メーターから先の部分については、建物の所有者の問題になる。
- 震災対応する上で最悪と考えられるケース：
 - ・職員が被災すること。
 - ・水道部局の庁舎が潰れるような被害を受けること。→マッピングの情報が取り出せなくなる。
- 新潟県中越地震の被害報告を水道局も残すと思われる。



写真 A1-1 平山氏による講義の様子

A1-3. 坪川博彰氏(防災科学技術研究所)の講義と意見交換

・日時:平成 17 年 12 月 1 日(木)(平成 17 年度第 7 回 WG 開催時)

・場所:東京大学生産技術研究所 ICUS 食堂棟 2F 第 7 会議室

・内容:耐震補強を促進させる金融商品

○損害保険料率算出機構で勤務されていた保険の専門家の立場から、本 WG で検討中の制度について意見交換を行った。

○討議内容

- ・最近の地震リスクマネジメントはリスクファイナンス(保険による控除)とリスクコントロール(耐震補強による控除)の制度的融合を図る方向にある。
- ・リスクファイナンスモデルを考える場合、その対象物を何にする(住宅か事業所かなど)かで適切な仕組みが変わる。
- ・日本の地震リスクを対象にした金融商品を海外で売る場合には、高利回りを要求される。
- ・賃貸住宅を先行して補強を進めていくことが必要ではないか。自用の建物に対し、事業用不動産のほうが、耐震補強の動機付けは大きい。
- ・耐震リスクを国民がイメージできる環境作りが必要である。
- ・地域内の地震リスクを低減することを目的として、地域の企業が耐震補強の受け皿になるようなシステムは考えられないか。
- ・保険対象を限定し耐震性レベルごとグルーピングして保険を販売する方法もある。(自動車・医療などの分野では進んでいる。)

○坪川氏からの希望

- ・地震リスク検討用ハザードを統一して欲しい。
- ・被害を貨幣価値で表現できるようにして欲しい。



写真 A1-2 坪川氏による講義の様子

付録 2. 神戸市水道局のヒアリング概要

A2-1. 奥平野浄水管理・工事事務所の神田敏一主幹へのヒアリング調査

■緊急遮断弁

- ＜震災前＞・18ヶ所確保／21ヶ所中(震災当時は3箇所から水が流出)。
- ＜震災後＞・45ヶ所→47ヶ所整備中(39箇所が稼動中)、54824m³貯水可能。
 - ・公園地下にタンク型緊急貯水槽を整備(6ヶ所、工事は震災前に始まっていた)。
 - ・半径2キロ／1ヶ所をカバー。
- ・緊急遮断弁は、3台の地震計によりトリガーをかける。このうちの2台以上が250Galを超えた時、遮断弁を閉める仕組み。

■通信環境

- ＜震災前＞・多重400MHz…中継局少なくて可。30ヶ所で全域をカバーしていた。
 - ・バックアップ回線無し。
- ＜震災後＞・デジタルマイクロ波、10.5～7.5GHz、96ch。…多数の中継局が必要な仕様に変更、H16移行。
 - ・バックアップ回線有り。
 - ・多極データの集約する(回線効率化)ため10回線／1chとしている。
 - ・音声は多回線、データは少回線。
 - ・50局あるため、5局単位を交換機で制御。
 - ・多くの施設(配水池128ヶ所、ポンプ場48ヶ所)を結ぶ専用通信手段として、テレメータシステムに神戸市と阪神水道事業団で個別に無線回線網を導入している。
 - ・別の場所でもコントロール可能なように通信回線網をループ化している。
 - ・FAXからWebに移行し画像伝送を実施。
 - ・FAXは一般回線、イントラは専用回線。現状、NTT回線は全て光回線化。

■阪神水道事業団からの導水と連絡

- ・導水管の途中で3市(西宮、尼崎、芦屋)が水を抜くため自動化できない。
- ・第3の導水管:2400mmの大容量送水管。東西の幹線道路地下26～50mに敷設中。H22完成予定。圧力管としたため必要なとき必要なだけ取水可能となる。現状(開水路管)は8時間の送水ギャップがある。
- ・現在進めているこの大容量送水管整備事業は、阪神水道企業団からの送水ルートの危険分散をすることを目的に、既存2本のトンネルから離して海側に建設している。大深度地下法の第1号適用になる予定であり、浄水場内の到達地点でボーリング調査を実施中。

- ・通信:阪神水道企業団と4市(神戸、西宮、尼崎、芦屋)を専用の電話回線で接続。

■その他

- ・貯水池の貯水量:設計 12h、約 1 日分を貯水。
- ・送水調整…一定容量としている。貯水池～配水池で調整。

■災害対策本部との連絡

- ・毎日会議に参加、情報を送っていた。(2 輪車使用)
- ・重要データ:「水位:どのくらい溜まっているか?」「流量:そのくらい流れているか?」

■FAX通信

- ・送信内容:水位、流量、水質(残留塩素、色度、濁度)・・・震災前後で同様な内容
- ＜震災前＞・文書書式なし。図面…配水図、配管図など。
- ＜震災後＞・マッピングシステムで一本化(MAP サーバによる一括管理)。配管図は CAD(平面図ではなく、模式図的系統図)化。

■停電対応

- ＜震災後＞・主要施設は多重線化。(予備線)

■職員数

- ・送配水システム管理…＜震災前＞20 人、＜震災後＞17 人(昼間は 4 名、夜間は 3 名)。オンライン化 88%。…システム操作からシステム監視に業務内容が変化(監視操作室では、コンピュータが最大 38 時間先の水需要予測をしている)。
- ・応援人数の把握…本部が把握し、応急給水、復旧作業へ役割分担。1 月末より阪神水道事業団が代理対応。
- ・現地管理…前後:事務職 105 人、本庁職員を現地各センターへ配置。

■被害状況の取りまとめ

- ・写真、図面を災対本部へ送付。
- ・貯水タンク…大規模被害でないとテレメータデータでは判断できない。
- ・初期被害状況の把握…市民通報により現地調査。

A2-2. 神戸市水道局技術部配水課の松下眞主幹へのヒアリング調査

■参集状況

- ・1034 人中、07:00 まで 3 名、08:00 まで 9 名～というような状況で西高東低にて参集。
- ・本部に 2 名、局本部に 30 名。
- ・末端組織はセンター。

■通水率

- ・基本的には、対マスコミの情報。市民の関心はいつ自宅に水が来るかという点。
- ・3～4 日目から発表。配水管の通水時点を通水率の算出判断。
- ・最後は各センター別に通水戸数を把握。後日本数により概略戸数を算出。
- ・本部役割はセンターの報告取りまとめが主体。
- ・当初は政府、マスコミ向けのみに利用、復旧時には通水率の向上の指標に利用。
- ・2 輪車で各センター図面(1/6000×4～5 枚、東部、中部、西部 3 部全域で 10 枚程度)を収集する。コピー図上に FAX 情報を元に復旧管路にマーキング、復旧戸数を把握、取りまとめた。毎朝 06:00(2 月末まで)にマスコミ向け報告会議。
- ・被害甚大地域(臨海部)から復旧着手したが、層別給水のため高層域(山間部)で漏水し、復旧に手間取ってしまった。
- ・地下の漏水被害箇所の把握は困難。757 箇所とされているが、大規模被害箇所は 1 箇所に集約されている。現在も漏水継続の可能性大
- ・3 月末までにはほぼ復旧(通水率 100%)。

■被害状況のまとめ

- ・被害状況はお客様センターの状況を書き写して情報の共有化。
- ・2 月中旬くらいから、若手は各地を回って被害情報を収集。
- ・浄水部門と配水部門を分けて被害把握。
- ・配水管の被害箇所数⇒マスコミ向け発表。
- ・東部(宅地多:断水調査後、上流から順次復旧)と中部(オフィス多:断水困難なため、漏水箇所を探索し随時復旧)で復旧方法に違い。
- ・復旧管路は色分け線で表示分類。
- ・通水確認は現場主導で職員立会い。
- ・情報共有方法…現地本部の掲示板への書き込み(数値・画像など)。
- ・図面作成…センターが作成後、PDF化。
- ・復旧の実感…「自宅でフロ」:ガスと水道のセット復旧が必要。
- ・現行のマッピングシステム…基図の紙出力が目的。地震が起こったら、各センターが図面を作成。マッピングシステム(管路情報含む)はシステムそのものが共有化されているわけではない。
- ・水量まとめ図…特に取りまとめ無し。

■管路の再構築

- ・管路は昭和40年を境に被害の様相が異なる(s40:材質変更、s55:継手改良)。そのため、復旧でなく新管に交換が原則。
- ・均質なサービスを目指して、ネットワークの健全性を重要視。200m メッシュ単位で地震被害想定を実施。震災当時の被害状況をほぼ再現(1100 カ所の被害)。現在は 700 カ所と被害予測。
- ・データチャートから優先順位付け。
- ・古地形>土壌>管材質で新管敷設対象地域の絞込み。
- ・予算:1億(30km)/年。
- ・200m メッシュ単位で地震被害想定。震災当時の被害状況をほぼ再現(1100 カ所の被害)。現在は 700 カ所と被害予測。
- ・高層地区:被害小…更新無し。低層地区:被害大…更新実施

■情報共有の長短所

- ・長所…広報、住民対応、短所…外野雑音が多くなる点。

■復旧戦略

- ・直後…貯水 > 1次…主幹線の復旧 > 2次…配水管の復旧
- ・拠点給水(緊急栓)>運搬給水(タンク給水車:30t)
- ・阪神水道企業団とは電話で連絡。
- ・応援部隊の参集人数は、本部で把握し、ボードに人数を記入。後(1月末~2月初め)には、水道協会が把握。
- ・自衛隊とは本部がやりとり。

■運搬給水

- ・本庁で給水地区の決定。センターは日々の給水方法、ボランティア指示、タンク車調整を決定。
- ・運搬給水箇所の発表は困難…数箇所を回るので時間通りに場所にいける保証がない。固定箇所(3~4ヶ所)のみ新聞発表。後は広報車などで随時発表。時間発表は不可能。

■拠点給水

- ・センター…拠点給水地点(公園、消火栓)を決定、発表。
- ・現在、小学校は耐震管化。マンホールや給水設備も整備。

■復旧工事

- ・センター主導で実施。本部は情報の集約を担当。
- ・2~3月は道路情報が大切だった。コンサルを使って道路情報を収集(道路の亀裂や盛り上がり⇔管路の被害)。現状でも管路の被害を把握する仕組みはない。
- ・ガスと水道の情報共有:ガスは水道の復旧工事の結果をヒアリングしていた。
- ・消防との連携:紙として消火栓の位置は共有可能。
- ・データをオンラインで共有することはない(必要ない)。

■道路調整会議

- ・閉塞箇所の把握。バイク隊で被害状況撮影。(圧縮か? 開放か?)

- ・コンサルに調査図作成委託。

■情報共有について

- ・現状の道路情報システム(1/500)との連携は考えていない。
- ・有効な情報:被害「位置」+「画像」、「復旧消火栓」、
- ・情報共有基図縮尺レベル:1/500、1/2500、1/6000～1/10000
- ・情報共有方法…調査結果の張り出し図。
- ・地震直後は各組織の(完結した)システムで対応可能で、あまり共有するものはない。

■資材

- ・一括購入し、現場ごとへ支給した。応援隊の資材は使えなかった(規格の違い)。
- ・使えた応援資材…ポリタンク、重機、業者(人員)

■被災後の変化、その他

- ・5km 及び 200m メッシュ構造による管網配置。
- ・タンク車から管路給水へ。
- ・給水管の耐震管化の推進…材料コスト増は全体から見ると微々たるもの。
- ・早く配るのが安全
- ・情報提供:出せる情報は出す…分かりやすく提供。ピンポイント以外の一般的なものは可能(ニーズが高いピンポイントの情報は新たな作成が必要なので提供できない)。
- ・情報共有:道路閉塞情報ぐらい。しかし、独自の調査は必要。

神戸市水道局のヒアリングおよび施設見学



写真 A2-1 布引ダムの視察



写真 A2-2 奥平野浄水場でのヒアリング



写真 A2-3 浄水場の監視操作室



写真 A2-4 浄水場に配備された給水ポンプ



写真 A2-5 浄水施設(太陽光パネルの利用)



写真 A2-6 神戸市庁舎でのヒアリング

第 1 回防災計画研究発表会
—様々な視点から地域防災力を考える—

2006 年 10 月 20 日[金]、21 日[土]、22 日[日]
京都大学 生存圏研究所・木質ホール(京都大学宇治キャンパス内)

防災計画研究発表会実行委員会

耐震補強推進のための 地震リスクファイナンス制度

山田 哲也¹・福島 誠一郎²・高橋 郁夫³・吉村 美保⁴・目黒 公郎⁵

¹ 三井住友建設(株) 技術研究所 (〒270-0132 千葉県流山市駒木 518-1)
E-mail: tetsuyayamada@smcon.co.jp

² 東電設計(株) 技術開発本部防災プロジェクト部 (〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3)
E-mail: fukushima@tepsco.co.jp

³ 清水建設(株) 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)
E-mail: ikuo@shimz.co.jp

⁴ 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター
(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
E-mail: yosimura@iis.u-tokyo.ac.jp

⁵ 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター
(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)
E-mail: meguro@iis.u-tokyo.ac.jp

住生活基本法の施行を受け、新耐震基準適合率を上げるため、既存不適格建物の耐震補強の推進が求められている。本研究では、耐震補強を推進するための各種制度を地震リスクマネジメント手法の観点から分析し、リスクファイナンス技術としてデリバティブを活用した制度を提案する。例として、建物所有者が必要とする耐震補強費用を、マグニチュードを指標としたデリバティブのプレミアムで賄う手法を提案し、地震ハザード特性・建物の耐震性・ペイオフ曲線に関するパラメトリックスタディを実施した。その結果、不確定性の高い地震リスクを、デリバティブによるマネジメント手法により平滑化・分散化できることを示した。

Key Words : seismic risk management, risk control, risk finance, earthquake-proof reinforcement, derivatives

1. はじめに

(1) 耐震補強推進の必要性

兵庫県南部地震（1995 年）後、10 年以上を経て、その間にも鳥取県西部地震（2000 年）、芸予地震（2001 年）、十勝沖地震（2003 年）、新潟県中越地震（2004 年）、福岡県西方沖（2005 年）など全国で地震被害が発生し、更に 2005 年には耐震偽装問題が発覚し、近年地震リスクや構造物の耐震性についての関心は極めて高い状況にある。

兵庫県南部地震の建物被害を年代別に分析した結果、1981 年以前に建築された新耐震設計基準以前の建物の被害が大きいことが報告されている。これら既存不適格建物の存在は、今後発生する地震の被害を考えた場合、大きな社会問題として捉えられている。

兵庫県南部地震後、耐震補強を推進する目的で、1995 年 12 月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」が施行された。しかしながら、既存不適格建物の耐震改修は未だ十分に進んでおらず、2006 年 1 月には建築物の耐震改修の促進に関する法律の一部を改正する法律が施行された。本改正は、平成 17 年に国土交通省で開催された「住宅・建築物の地震防災推進会議」で提言された「既存建物の耐震化率を現状の 75%から 10 年後には 90%に引き上げ」の推進力になることを期待されている。更に本会議の提言では、自治体による促進事業として、ローン、税制、助成制度などの支援策の必要性を示しており、各種地震リスクマネジメント手法の有機的活用が期待されている。

「住宅・建築物の地震防災推進会議」資料によると、耐震改修促進法の対象となる特定建物（3 階以上かつ

1,000m²以上で多数の者が利用する用途のもの)で耐震改修が必要なものは9万棟(平成15年時点推定値)存在し、住宅に関しては1150万戸(平成15年時点推定値)の既存不適格建築物の存在が示されている。平成15年度までに、住宅に関して、地方公共団体が自ら実施又は補助等を行った耐震診断は約17万戸あるのに対し、耐震改修に至ったものは約3500戸と少ない。補助によらないものを含めると平成10年から平成15年までの5年間で約32万戸の耐震改修を実施していると推計されている。上記「住宅・建築物の地震防災推進会議」の提言では、今後10年間で、約100万戸の住宅の耐震改修を目標においており、従来の2~3倍のペースが要求されるとしている。

2006年6月8日に住宅の量的拡大から安全性や品質の向上に重点を置いた政策の推進のため住生活基本法が公布・施行された。この中で、上記検討項目が、良質な住宅ストックの形成と将来への継承のための目標として掲げられている。このように、既存不適格建物の耐震性の向上は、目標を定めた後、具体的な実施が求められる段階に来ているといえる。

(2) 耐震補強工事に対する居住者意識調査

最近の地震被害や行政による被害予測発表から地震リスクに対する社会的な認識は高まっているものと思われる。今後10年間で耐震化率を増加するためには、リスク意識を高めると同時にそれを具体的な行動に移行するための様々な制度が必要になる。どの様な制度が必要かを考える上で、地震リスクに対する意識構造、特に耐震補強制度に関しては、耐震補強工事に対する居住者の意識構造を把握することが重要である。吉村¹⁾は、この観点からインターネットアンケート調査を実施し、以下の様な調査結果をまとめている。

旧耐震住宅に居住する388人に対する調査結果のうち、巨大地震発生に関する認識と耐震補強への相関関係について、地震の可能性が「非常に高い」という回答者の60%は補強意欲があるのに対し、「非常に低い」という回答者は補強意欲があると思われるのは25%に留まっている。

建物被害予測と補強意欲の関係については、旧耐震住宅の所有者(388人)の7割以上が、巨大地震発生時には全半壊被害を予想しており、その内、耐震補強に賛同しているのは5割程度という結果が報告されている。これより、被害を認識しているにも関わらず耐震補強意欲を阻害する要因の存在を示唆し、耐震化を促進する上での課題としている。

上記阻害要因を把握するため、耐震補強の意思決定への影響因子について報告している。この結果、意思決定のマイナス要因として、「補強よりも建替えた方が特

だ」、「今は金銭的余裕が無い」、「生活を乱されると困る」、「地震でも何とかなるだろう」が主たるものとして挙げられている。この内、最初の要因は建替え志向に基づくものであり、結果的に耐震性が高まると思われるので、速やかに建替えが実施される限りは、プラス要因と考えることができる。しかし、現実には2番目の要因である「今は金銭的余裕が無い」が支配的になり、資金不足が建替えの阻害要因になることが推測される。

金銭的な余裕に関して、さらに、耐震補強工事の妨げになる金銭的支出の予定についてアンケートを実施している。その結果、「子供の教育費」、「老後のための貯蓄」、「新築時のローン」、「リフォーム費用」、「医療介護費用」が挙げられている。文献1では、「リフォーム費用」が4番目に挙げられている点に着目し、耐震補強をリフォームの一貫として実施するための情報提供の重要性を指摘している。

以上の意識調査を踏まえると、耐震補強費用に対する資金の不足が耐震補強の推進を妨げていることが具体的に分かる。これが、リスクを認識した後にも現実の行動として繋がらない主要因であり、他の金銭的支出との比較においてその優先順位が低い位置付けになっている。いずれの支出要因も将来に備えるためのものであるが、耐震補強の動機になる巨大地震の発生確率は、他の要因の発生確率に比べ認知しにくい面があり、支出に備える効果を比較した場合、優先度が低くなっていると考えられる。

2. 地震リスクマネジメントの分類

地震リスクとして取り扱う範囲は近年大きくなってきている。建造物の崩壊から生命を守るという本質的なリスクから、財産を守ることや事業を継続するなど、より守るべき範囲が拡大してきている。それに伴い、リスクマネジメント手法も多様なものが求められ、その手法は多岐に亘っている。

地震リスクに適切に対応するためには、これら多種多様な手法の特性を理解して、対処すべきリスクの性格に即し、最適なリスクマネジメントを行う必要がある。ここでは、種々の地震リスクマネジメント手法を幾つかの観点から分類し、本論文で提案する制度の特性を明らかにする。

(1) リスクコントロールとリスクファイナンス

リスクマネジメントには、リスクを回避・軽減・移転・保有する手法が考えられる。リスクを回避・軽減する方法は、リスクコントロールによって実現され、また、リスクを移転・保有する方法は、リスクファイナンスによって実現される。

既存の地震リスクマネジメント手法を、リスクコントロールとリスクファイナンスに分類したものを表-1に示す。地震リスクマネジメントにおいて、リスクを回避・軽減するためには、耐震性能が高い構造（免震・制震など）を採用したり、耐震補強の実施、そして構造技術以外では、窓ガラス対策・昇降機の安全対策・室内家具の固定などの検討が考えられる。これらは、リスクコントロールに分類される。また、リスクを移転・保有する方法として、地震保険・再保険制度を始めとし、高度な金融工学を用いた金融オプションや証券化の手法を用いたり、金融機関と被災時の融資に関する特別な契約を締結する方法などがある。これらはリスクファイナンスに分類される。さらにリスクファイナンスの中にはリスクコントロールをサポートする目的で制度化されているものもある。例えば、自治体による各種補助金制度・減税制度・TIF（Tax Increment Financing）などが知られている。

(2) 公共と私

地震は自然災害であり、その被害対象も多岐に亘るため、そのリスクの社会的影響を考えると公共性が大きいといえる。従って、既存の地震リスクマネジメント手法の実施主体は、国、地方公共団体、市場（損害保険会社、建設会社、設計コンサルタント等）、企業、個人に亘り、それらが対処できる範囲を見極め、全体として合理的な制度が構築されることが望まれる。これらの主体は、大

表-1 地震リスクマネジメント制度の分類¹

リスクコントロール	リスクファイナンス
耐震診断	地震保険・再保険
耐震補強	補助金・支援金
政府防災投資	防災格付け融資
立地分散化	災害保険証券化
緊急地震速報の活用	ART 商品 ^{*1}
防災訓練	TIF ^{*2}
地域防災事業	減税制度

^{*1} Alternative Risk Transfer

^{*2} Tax Increment Financing

表-2 地震リスクマネジメント制度の分類²

公	私（市場原理）
診断・補強（補助金）	保険
税金控除	診断・補強（自己資金）
支援金（災害見舞金）	貯金
TIF ^{*2}	ART 商品 ^{*1}
被災後復旧費	
自治体による保険	

^{*1} Alternative Risk Transfer

^{*2} Tax Increment Financing

きく「公」と「私」に分類することができ、被害の公共性を考えた場合、この分類はそれぞれの役割を分析するうえで有用と思われる。ここで「私」とは、「公」以外を意味し、市場原理で実施される制度を位置付けるものとする。

表-2は、既存の制度を公私の観点から分類したものである。兵庫県南部地震後、自治体による耐震診断や耐震補強に対する支援制度は、補助金の増額や適用範囲の拡大などが見られる。また、私（市場原理）の分野においても、地震保険制度の改定や地震リスクの認識の高まりに伴う自主的な耐震補強・金融工学に基づく各種手法の適用などが実施されている。

しかしながら、先に示した地震防災推進会議の提言に見られる耐震化率の増加を実現するに当たり、従来の2～3倍の耐震補強を進めるためには、現在の公、私（市場原理）による制度を更に充実させる必要があると考えられる。公私の機能の特徴を把握し本提言を実現するための制度を設計していく必要がある。

3. 提案制度の仕組み

(1) 概要

本制度は、2章で示したリスクコントロールとリスクファイナンスを組合せた地震リスクマネジメント手法に位置付けられる。リスクコントロールとしては、耐震補強を実施し、リスクファイナンスとして金融工学の技術の一つであるデリバティブの手法を活用し、両手法を併用している点に特徴がある。デリバティブは金融投資商品の1つであり、その商品の買い手と売り手が存在する。両者の間には契約に基づく状況に応じた権利義務の行使が行われる。デリバティブの買い手はプレミアムという価格を売り手に支払い、金銭の授受に関する契約上の権利を購入する。この仕組みを活用して、耐震補強を必要とする者（通常、建物所有者）はデリバティブの売り手になり、買い手からプレミアムを受け取る。そして、建物所有者はこのプレミアムを耐震補強費用に充当する点だが、本制度の大きな特徴である。

図-1に本制度の概要を示す。上部の図の上枠にオプションの買い手になる投資家を示し、下枠にオプションの売り手になる建物所有者を示している。この両者の間で、契約時に投資家から建物所有者へのプレミアムの支払及び建物所有者は将来のペイオフに対する担保として耐震補強の対象になる建物に対して抵当権を設定する。プレミアムを受け取った建物所有者は、それを利用して耐震補強工事を行うことができる。

ペイオフとは、図-1下部に示すような、オプションの買い手と売り手の間の将来の支払額に対する契約上のルールを表す。本図の例は、横軸にハザード指標を縦軸に

売り手の支払額を表すものである。ハザード指標として地震規模を表すマグニチュードを用いた場合には、契約に基づく特定期間内に特定の地域に発生したマグニチュードの大きさに応じて売り手から買い手に支払われる額を示すことになる。

契約期間内に契約に関わる地震が発生した場合、建物所有者は投資家にペイオフの支払を行う必要がある。この場合、建物所有者が支払い困難な状況にある場合には、抵当権を行使してペイオフ相当額を受け取ることになる。

この仕組みは、耐震補強費を補強時に負担する者を、建物所有者自身から投資家に変換することを意図したものである。デリバティブという手法を適用することにより、ペイオフのルールに基づき、建物所有者は地震規模が比較的小さい場合には耐震補強の費用負担を投資家に転嫁することができ、逆に大規模な地震が発生した場合には、プレミアム（耐震補強費用の全部又は一部）よりも高い支払をする義務が生じることになる。建物の立地条件である地震リスクを確率的に扱い、デリバティブの

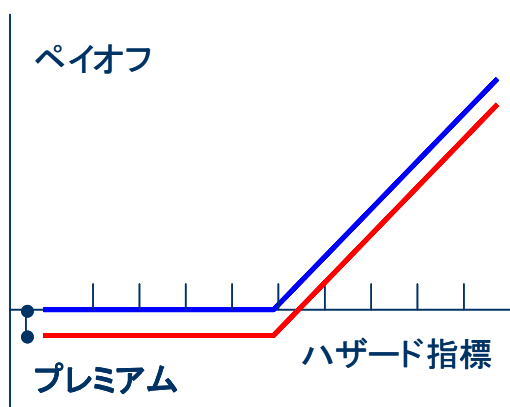
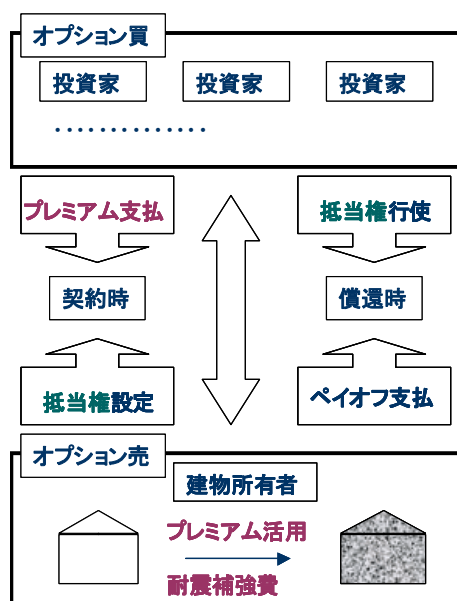


図-1 本制度の概念図

考え方を活用して、建物所有者が保有すると考えられる、地震が発生しなかった場合の耐震補強に対する投資リスクを軽減することが可能になる。ペイオフのルールは、建物の立地や補強性能などの諸条件によって変わるため、建物毎に設計することになる。

(2) 設計手順

本制度を設計・活用するに当たり、建物毎に地震リスクや耐震補強に関する特性を把握する必要がある。ここでは、本制度実現のために必要になる分析検討項目と手法を手順に沿って示す。図-2に設計の流れを表す設計手順を示す。

①耐震補強対象建物の特定

本制度を適用する建物の立地、建築年、構造、用途、所有者、権利関係等を特定する。

②地震ハザードの特定

立地条件に基づき、当該建物の地震リスクを評価する。地震リスクは、一般に震度、地表面速度、地表面加速度、マグニチュードなどを確率的に表現することによって示される。本制度における地震ハザードは、建物の被害率の算定のみならずペイオフの指標として重要な意味を持つ。特にペイオフの支払条件に直接影響を与えるため、

①耐震補強対象建物の特定

②地震ハザードの特定

対象地震活動域のグリッドサイズの特定

③対象建物の耐震性能評価

Is値、築年代、構造形式から把握

④再調達価格の算定

⑤目標耐震補強レベル決定

⑥補強費用の算定

⑦補強前・後の被害率・被害額の算定

被害調査に基づく地表面速度と被害率の関係からマグニチュードと被害率の関係を算出

⑧デリバティブの条件の確定

プレミアム（オプション価格）・ペイオフ曲線・償還年数を変動させて設計条件を満たす組み合わせを見つける

⑨デリバティブの妥当性の確認

図-2 本制度設計手順

できる限り客観性が高く把握しやすい指標にする必要がある。ここでは、一定の地域内に発生する地震のマグニチュードレベルで地震リスクを評価する方法を示す。

図-3に評価方法の説明図を示す。立地点（対象建物）を中心に一定の範囲を定め、その範囲に含まれる各地震活動域の諸元に基づきマグニチュードレベル毎の頻度分布を求め、その結果から当該範囲内のマグニチュードと年発生確率を求める方法である¹⁾。立地点を中心とした範囲は任意であるが、各活動域が対象建物の地震被害に与える影響を考慮して設定する必要がある。

③対象建物の耐震性能評価

既存建物の耐震性能は、一般に財団法人日本建築防災協会出版の耐震診断基準によって評価される。一般に耐震補強をするためには、まず耐震診断を行い、その結果に基づいて耐震補強の設計を行う。診断の結果、「要補強」と判定された建物が、本制度適用の対象候補となる。耐震性能は、先の耐震診断基準に基づき、耐震構造指標(Is値)で評価されることが多い。Is値は、想定される地震に対して必要な耐力・エネルギー吸収量に対する、現建物の耐力・エネルギー吸収量の比を表すものである。この数値が、0.6以上であれば、現行の設計基準に対して安全であると判断されるが、それ以下の場合は、不適格と判断される。Is値が0.6以下の建物は、0.6以上になるように何らかの補強をすることになる。

④再調達価格の算定

再調達価格とは、現在同じ効用の建物を建設しようとした場合の要する費用の総額のことである。

再調達価格の求め方は、要求される精度に応じて種々あるが、最も正確な方法は、対象建物の見積書から算定する方法である。見積書が無い場合は、再度見積もりを取るか、一般的な同規模の建物から類推して算出する。地震リスク評価を行う場合の再調達価格は、被害レベルを個別に把握できる部位別(躯体・設備・内装・外装・基礎など)に分けて考える方法がある。それぞれに要する費用を算出して、総和をとることにより再調達価格を求める。

⑤目標耐震補強レベルの決定

③で述べたように、Is 値が 0.6 以下の建物は補強のレベ

ルを検討する必要がある。耐震診断基準によれば、 $I_s=0.6$ を満足すれば耐震性を有することになるが、所有者の要求に応じて任意の耐震レベルを設定する方法(性能設計)をとる場合がある。建物の補強レベルは、必要な耐震性能を設定し、補強費用・使い勝手の変化・施工方法・施工期間などを考慮して決定されるものである。

⑥補強費用の算定

⑤の目標耐震補強レベルを満足するための補強費用を算定する。この費用を基準として本制度のプレミアムを設計する。

⑦補強前・後の被害率・被害額の算定

建物の被害率は、過去の震害調査結果から、築年、構造形式、階数などに基づき算定される。被害率は、各立地の地表面加速度や速度との関係で示されているが、本制度では、②に示したように地震ハザードとしてマグニチュードを用いているため、設定域内のマグニチュードと被害率の関係を求める必要がある。

このためには、各活動域のマグニチュードと対象構造物立地点での地表面加速度(又は速度)の関係を、距離減衰式から推定し、各マグニチュード毎(例えば 0.1 毎)に、設定域内の全ての活動域を考慮した対象構造物立地点での地表面加速度(又は速度)の確率分布形を特定する必要がある。この確率分布により示される地表面加速度(又は速度)と被害率は震害調査結果から関連付けることができ、その結果、設定域内のマグニチュードと被害率の関係を把握することが可能になる。被害額は、各部位の再調達価格に各被害率を乗じて計算する。

被害率は、補強前と補強後の耐震性能のレベルに基づき算定し、被害額に換算した場合の差額を把握しておく必要がある。

⑧デリバティブの条件の確定

⑦までの情報に基づき、必要な耐震補強費用をプレミアムで賄うことを前提に、補強前後の被害額の差額の幅を考慮して、ペイオフの関係(ペイオフ曲線の形状)、償還年数を変動させ設計条件を満たす組合せを確定する。

⑨デリバティブの妥当性の確認

デリバティブは金融商品の1つであり、売り手と買い手が存在して初めて市場性を有するものである。上記の設計手順は、売り手である建物所有者の立場で説明したものである。金融商品として成立するためには、買い手の立場から、他の投資対象や金融商品と比較して一定の妥当性を有することを確認する必要がある。

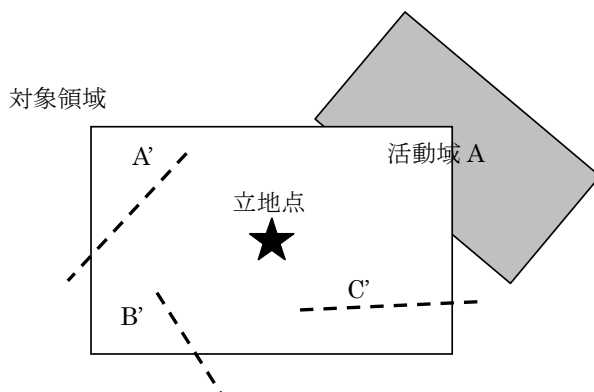


図-3 地震ハザード評価方法

4. パラメータの検討

本制度の設計に影響を与えると考えられる種々のパラメータについて、その特性を分析した。建物固有のパラメータとして、立地点、被害率、被害額について、本制度上の固有のパラメータとして、地震発生対象領域、ペイオフ曲線の形状、償還期間について検討した。

(1) 立地点

立地点が異なれば、影響を受ける地震活動域が変わるため地震ハザードは変化する。また各立地点の地盤の状況の違いから工学的基盤と地表面の間の増幅率によっても異なる。

図-4に今回検討した東京都内の立地Kと立地Sの場所を示す。図中の直線や四角形は、文献2に基づく関東地域に存在する活断層及びプレート境界に沿った大地震発生活動域を示している。各立地の地表面増幅率は、地震ハザードステーション³⁾によればそれぞれ1.77、1.33である。立地Kは約30m厚の沖積層上にあり比較的柔らかい地盤の上に位置するのに対し、立地Sが洪積台地上にあることが数値の違いとして表れている。

図-5に各立地を中心に100km四方の範囲内にある全地震活動域を考慮して、発生マグニチュードと各立地の地表面速度の関係をプロットしたものを示す。マグニチュード5以下については、被害に対する影響が少ないものとして分析対象から除外している。

図-5より両立地のマグニチュードと地表面速度の関係の分布状況は比較的類似している。また、同レベルのマグニチュードの地表面速度は、立地Kの方が大きくなっている。これは、両立地点の距離が10km程度の差である

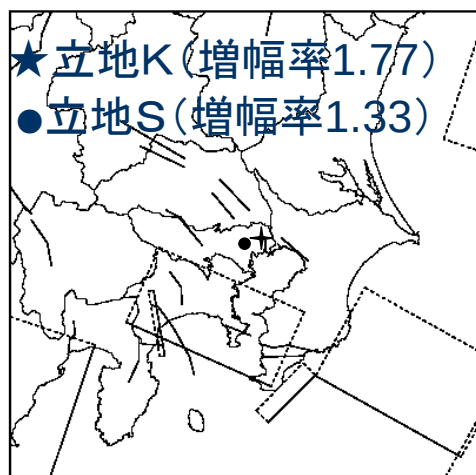


図-4 立地と地震活動域の関係

ため影響を受ける地震活動域はほぼ同じであり、各地における地表面増幅率の違いが顕著に現れた結果である。

本制度の適用に当たり、立地毎に図-5に示す発生マグニチュードと地表面速度の関係を把握する必要がある。この関係と地表面速度と被害率の関係を結合することにより、発生マグニチュードと被害率の関係を求めることができる。

(2) 地震発生対象領域

本制度固有の項目として、ペイオフの契約の対象になる震源が存在する領域（地震発生対象領域）がある。文献4に、この領域の大きさ（文献4の表現：グリッド）はリスク移転の妥当性に影響を与えるという認識で検討を行っている。ここでは、図-6に示すように立地点Kに対する地震発生対象領域を40km四方と100km四方と想定した場合、発生確率がどのように変化するかという観点でのみ比較している。

図-7に解析結果を示す。この結果、領域が大きくなると対象となる活動域が多くなるため発生マグニチュードに対する年超過確率は大きくなることがわかる。

ただし、立地点から離れた活動域が含まれるため距離減衰により立地点での加速度（又は速度）は小さくなる傾向も有する。

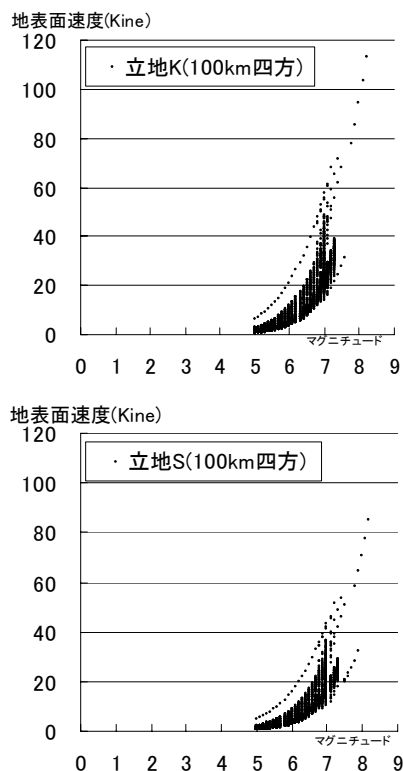


図-5 マグニチュードと速度の関係

(3) 被害率

本制度の適用の妥当性を判断する上で、建物の被害率の予測は重要な問題になる。補強効果は被害率と次節に示す被害額と合わせて貨幣額で表される。地震発生時に生じる建物所有者の支出は、ペイオフと補強後の被害額であるため、ペイオフの額が補強による被害低減額を下回っていれば本制度の適用は妥当であるといえる。

建物の耐震性能と被害率の関係は、震害調査に基づく

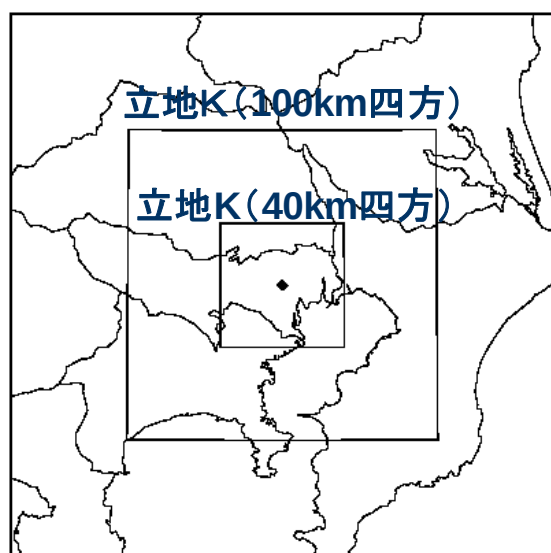


図-6 地震発生対象領域

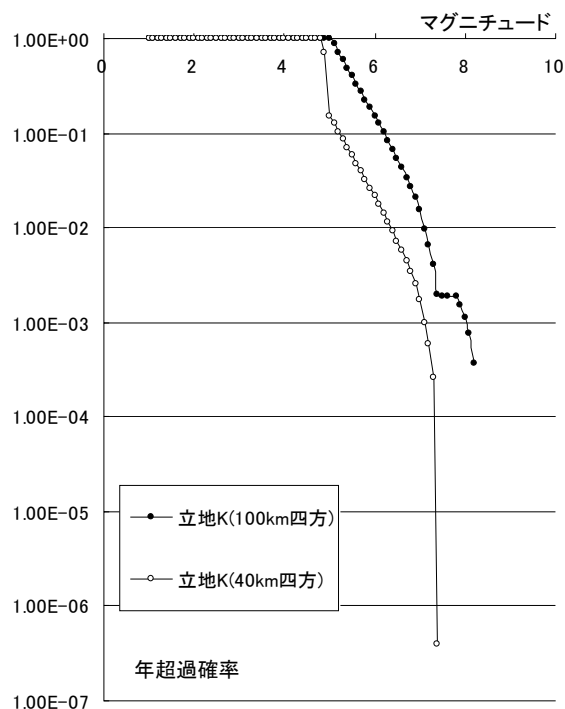


図-7 地震発生確率

既往の文献によるのが一般的といえる。文献によって、調査対象とした地震や構造物が異なる場合があるため、適用する建物の特性を踏まえて適切な被害率を利用する必要がある。ここでは、文献5,6を比較することとする。

文献5,6は、共に兵庫県南部地震の被災調査結果に基づいたものであるが、調査対象とした文献は異なる。文献5は、兵庫県都市住宅部計画課による建築物被災度調査結果（中高層集合住宅16703棟）と日本建築学会近畿支部RC部会による灘区・東灘区の震度Ⅶ相当地域を対象としたコンクリート系建物の全数調査結果（3911棟）に基づいている。一方文献6は、神戸市によって実施された灘区の建物被害調査データ（30000棟）に基づくものである。調査の違いに伴い被害レベルの表現も異なっており、文献5では2種の調査結果を整合させ軽微、小破、中破、大破、倒壊の5分類で表現しているのに対して、文献6は全壊と半壊の2分類である。

建物耐震性能を表現する方法については、文献5は研究目的から年代別階数別の情報をIs値に置き換えているのに対し、文献6では調査建物の建築日付を目安に分類されている。

図-8に両文献から新耐震規準を満足していると考えられるRC構造物の各被害レベルにおける地表面速度と被害率の関係の比較を示す。両文献の耐震レベルを同一とするため、文献5によるIs値0.6の場合と文献6による建築年1982-94の場合を比較している。その結果文献6の全半壊は、文献5の小破と中破の間に位置する。文献5の中で用いられた2つの調査結果の表現の整合性に関して、「小破」は「中破程度の損傷」、「中破」は「全壊または大破」とみなしても大きな違いはないという記述がある。また、文献6の全壊は文献5の大破とほぼ一致している。これらより、文献5と6の被害率はほぼ整合が取れていると思われる。

(4) 被害額

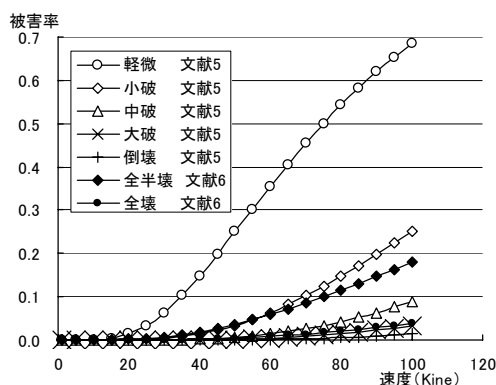


図-8 被害率曲線

本制度の妥当性を判断する上で、被災後の損傷の程度に応じた復旧費用を適切に評価する必要がある。ここでは、復旧費用として2つの方法を比較する。1つは、地震保険の保険金の評価に基づくものである。2つ目は、文献5で示されている方法で、これは文献7の調査結果を根拠にしている。

地震保険の契約によると、保険金は全損、半損、一部損によって支払額が変わる。全損は損害割合が50%以上、半損は20%以上50%未満、一部損は3%以上20%未満と定義されており、それぞれの支払額は、100%、50%、5%である。この関係を参考に、図-9に示すように、全損を全損に、半損を半壊に、半壊以下を一部損に対応させて再調達価格に対する比を定めた。

文献7に基づき文献5で採用している被害額は、再調達価格の比で表すと、軽微、小破、中破、大破、倒壊に対しそれぞれ0.05、0.1、0.2、0.3、1.0としている。図-10のケース2にその関係を図示する。そして、この5分類を地震保険の3分類に対応させた例を図-10のケース1に示す。この場合、中破以上を損害割合50%と判断して全損と同等とし、再調達価格比を100%とした。

被害額と(3)で検討した被害率を乗じることにより、地表面速度と被害率×被害額（再調達価格比）の関係を導くことができる。

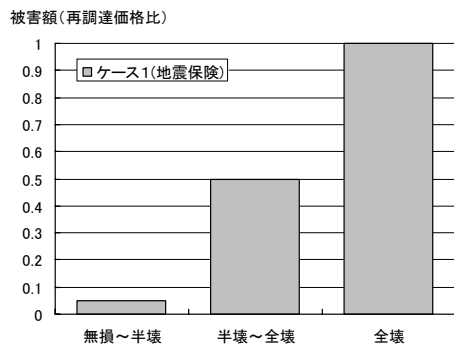


図-9 被害額の想定 (文献6の被害分類)

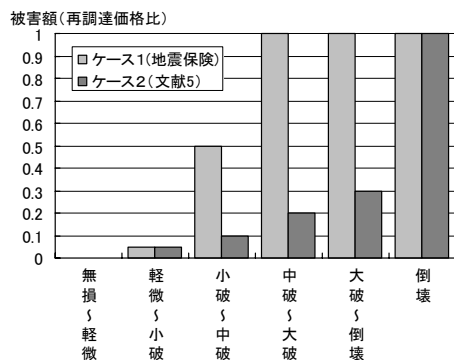


図-10 被害額の想定 (文献5の被害分類)

図-11, 12, 13に地表面速度と被害率×被害額（再調達価格比）の関係を被害率と被害額の種類の組合せ毎に示す。図-11は、文献5に基づく各破壊レベルの被害率と図-10のケース1（地震保険に基づく）の被害額から算定したものである。この結果、地表面速度が大きくなると、小破～中破、中破～大破の占める割合が大きくなること分かる。図-12は、文献5に基づく各破壊レベルの被害率と図-10のケース2（文献5に基づく）の被害額から算定したものである。この例では、小破～中破、中破～大破、大破～倒壊の被害額がケース1に比べ小さいため、

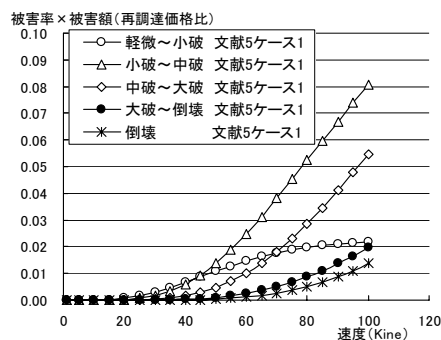


図-11 地表面速度と被害率の関係
(文献5と地震保険に基づく場合)

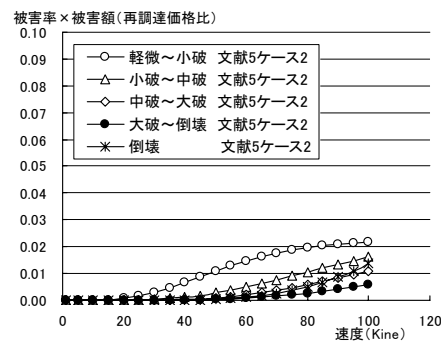


図-12 地表面速度と被害率の関係
(文献5に基づく場合)

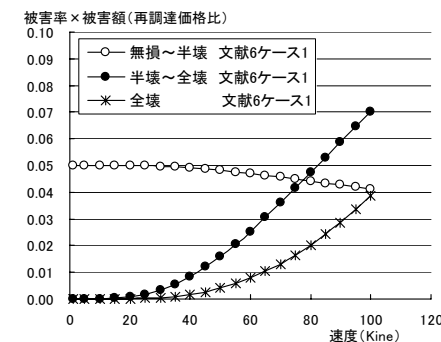


図-13 地表面速度と被害率の関係
(文献6と地震保険に基づく場合)

図-11に比べ被害率×被害額（再調達価格比）も小さくなっている。図-13は、文献6に基づく各破壊レベルの被害率と図-9のケース1（地震保険に基づく）の被害額から算定したものである。この結果、地表面速度が大きくなると半壊～全壊、全壊の占める割合が大きくなること分かる。

以上より、被害率と被害額は、その想定によって大きな影響を受けることが分かる。従って、検討する建物の被害率、被害額を適切に評価できる信頼性のあるデータに基づき判断する必要がある。

(5) ペイオフ曲線

ペイオフ曲線とは、デリバティブの売り手と買い手の間で結ぶ支払条件に関する契約を図化したものである。本制度の場合、図-14に示すように横軸をマグニチュード（以下、Mと表す）、縦軸を支払金額（対象建物の再調達価格比）で表しており、発生Mに応じて支払い金額が変わる条件としている。このペイオフ曲線はデリバティブを考える上で各種のものが考えられるが、ここでは、トリガーマグニチュード（以下、TMと表す）を境界値として、それ以下の場合には買い手の投資金額は没収され、それ以上の場合、償還金を得る場合に限定して説明する。

図-14では、ペイオフ曲線を特定する2つのパラメータ（トリガーマグニチュード、勾配）を定義している。TMは、先に述べたように、投資金額を没収される場合と償還を受ける場合の境界値を表すMである。図-14の例では、TMが4.5と5.0の場合を示している。契約期間中に発生した最大規模MがTM以下の場合に投資金額は没収される。

勾配とは、TM以上の地震が発生した場合の規模に応じた償還額を決定付けるペイオフ曲線の傾きを表す。図-14の例では、勾配が急なタイプBは、緩やかなタイプAに対して地震規模の増加に対して支払額の増加割合

が大きくなる。

ペイオフ曲線は、売り手と買い手の期待値を一致させるように定義される。横軸を発生マグニチュードにした場合、マグニチュードが大きくなるに従い発生確率が小さくなるという特性を考慮して決定される。プレミアムを一定とした場合、TMが大きくなるほど、ペイオフの勾配は大きくなる傾向を持つ。また、TMを小さくし、勾配を上げると高いプレミアムを設定することが可能になる。この特性に基づき、必要な耐震補強費用を得るためのプレミアムを決定し、TM、勾配を変化させて適切なペイオフ曲線を設計し、本制度に基づくデリバティブ金融商品が開発されることになる。

(6) 償還期間

本制度のハザード指標は、一定期間内に一定範囲の場所で発生する最大マグニチュードを用いている。償還期間とは、契約上の一定の期間であり、その期間に発生する最大マグニチュードからペイオフ曲線に基づく権利行使が行われる。図-15に償還期間と最大マグニチュードの関係を模式的に示す。ここでは、例として10、20、30年の償還期間を設定し、最初の10年間は地震が発生せず、10年～20年目の間にマグニチュード5が発生し、20年目～30年目の間にマグニチュード7は発生した場合を仮定する。この場合、償還期間10年の場合、地震が発生していないので、図中のペイオフ曲線のマグニチュード0の場合の支払額の償還になる。すなわち、その場合は投資額は没収されることを意味する。また、償還期間が20年の場合、M5が最大マグニチュードになるため、ペイオフ曲線のM5の支払額（再調達価格の0.01）が償還されることになる。また、償還期間が30年の場合、M7が最大マグニチュードになるため、ペイオフ曲線のM7の支払額（再調達価格の0.1）が償還されることになる。なお、本例では、各償還期間に対して同じペイオフ曲線を用いて説明しているが、実際にはペイオフ曲線も変動する点に留意する必要がある。

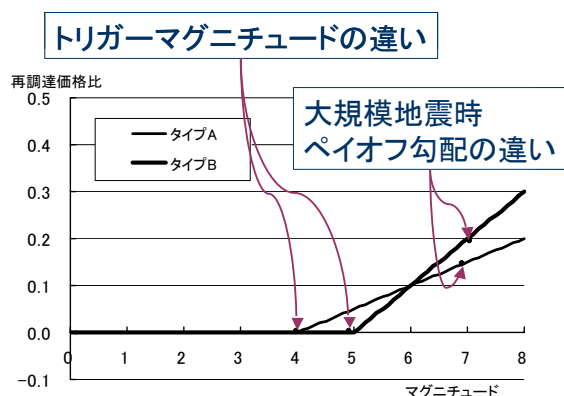


図-14 ペイオフ曲線

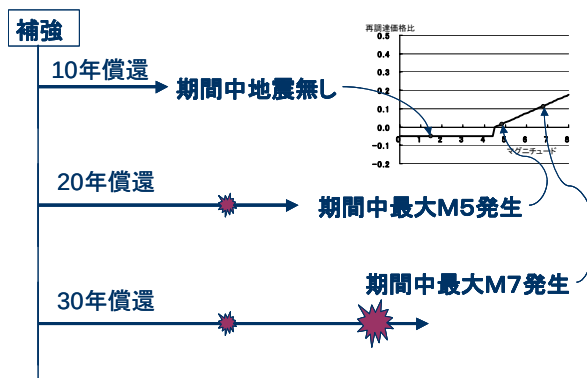


図-15 償還期間とペイオフの関係

一般的に償還期間が長くなるほど、大規模な地震が発生する可能性は高まるため、プレミアムは大きくなる傾向を示す。

5. 提案制度の設計例及び特性

(1) 設計例

4章で検討した各種パラメータについて、以下のような設定を想定した場合の本制度に基づくデリバティブ金融商品の設計例を示す。

対象既存不適格建物は、 I_s 値0.2のRC構造の建物を想定し、耐震補強により I_s 値を0.6まで上げる場合について検討する。

- | | |
|-------------------------|---------|
| ① 立地点 | 立地K |
| ② 地震発生対象領域 | 100Km四方 |
| ③ 被害率 | 文献5に基づく |
| ④ 被害額 | 文献5に基づく |
| ⑤ ペイオフ曲線 | |
| トリガーマグニチュード | 5.0 |
| 勾配0.08 (再調達価格比/マグニチュード) | |
| ⑥ 償還期間 | 10年 |

以上の条件に基づき解析すると、プレミアムが0.05 (再調達価格比) と算定され、このプレミアムを用いて耐震補強を実施することになる。

本解析の結果を、図-16に示す。図-16は、耐震補強前後の被害額とペイオフ曲線を併記することにより、設計の妥当性を検討するためのものである。ペイオフ曲線は、マグニチュード5.0をトリガーマグニチュードとしているため、そこで折れ線を形成し、5.0を境としてマグニチュードが大きくなるに従い、デリバティブの売り手が買い手に支払う金額は増加する。また、マグニチュードが5.0を下回る場合、買い手の投資額は全額没収されることになる。このペイオフ関係に地震発生対象領域における償還期間中発生M (マグニチュード) 超過確率を考慮することによってプレミアムを計算することができる。

また、想定される被害額 (再調達価格比) を補強前後で比較すると、M7の場合、補強前の0.5に対し補強後は0.02に改善されることが分かる。本デリバティブ金融商品の売り手である建物所有者は、M7が発生した時、補強後の被害額0.02とこの時のペイオフである0.17の合計を支出として見込むことになる。図-16で補強前被害額 (太曲線) と (売り手支払額+被害額) (×マーク) を比較した場合、後者が前者を下回っている状態であれば本デリバティブ金融商品を活用する効果があるといえる。それは、本制度によりトリガーマグニチュード以上の地震が発生した場合、建物所有者は被害額に加えてペイオフ契約に基づく支払義務が生じ、その合計額が、無補強の場合の被害額を下回っていれば、建物所有者は、本デ

リバティブ金融商品の売り手になる動機が生じると考えられるからである。

(2) 各種パラメータの特性

4章で示した各種パラメータについて、本制度に基づくデリバティブ金融商品に与える影響を定性的に検討する。

4章(1)で示した立地点の違いにより、地震ハザードが異なるため、マグニチュードの発生確率および被害率×被害額 (再調達価格比) (以下被害再調達価格比という) が変動する。他の設計条件が同じ場合、大規模地震発生確率が高いほど、デリバティブの買い手は売り手から受け取るペイオフが大きくなる傾向になり、プレミアムは大きくなる。その結果、耐震補強費用に充当できる額が大きくなる。また、被害再調達価格比が大きくなる立地条件 (地震リスクが大きい) の場合、補強前の被害再調達価格比曲線が左にシフトするため、ペイオフ曲線の設定に当たりトリガーマグニチュードを小さくしたり、勾配を増加するなどの設計変更が可能になる。

4章(2)で示した地震発生対象領域は、領域が大きくなると検討すべき地震活動域が増えるため地震発生確率は増加する。その結果、ペイオフ曲線に従って買い手側が受け取る確率が高まるため、そのプレミアムは増加する傾向にあると考えられる。ただし被害率に与える影響は必ずしも大きくなるわけではないので、ペイオフ曲線への影響は物件毎に異なる。

4章(3)被害率及び(4)被害額は、デリバティブ金融商品に直接影響を与えるものではないが、図-16にあるように被害再調達価格比曲線に影響を与えるため、建物所有者の立場での本制度の妥当性の判断に関連するパラメータといえる。無補強の場合の被害再調達価格比に比べ、補強後の被害再調達価格比とペイオフを加算した額が、小さい場合には本制度は妥当であるといえる。従って、耐震性の低い建物の場合 (被害再調達価格比が大きい場合) にはトリガーマグニチュードは小さく (勾配一定と仮定) なり、逆に耐震性が比較的高い建物の場合 (被害

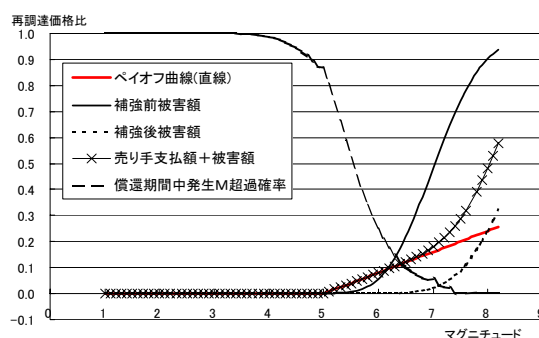


図-16 本制度による売り手 (建物所有者) の想定費用

再調達価格比が小さい場合)にはトリガーマグニチュードを大きく(勾配一定と仮定)設定したペイオフ曲線になることを意味する。

4章(5)ペイオフ曲線と(6)償還期間がプレミアムに与える定性的な傾向は既に4章で示しているのここでは省略する。

6. まとめ

地震リスクマネジメントの手法として、リスクコントロールに当たる耐震補強をデリバティブ金融商品を用いたリスクファイナンスによる資金調達で推進する制度を提案した。本制度の構造と影響因子について分析し活用の可能性を検討した。本制度によるデリバティブ金融商品は、種々のパラメータの設定により、売り手(建物所有者)は必要な耐震補強費用を買い手(投資家)からプレミアムとして受け取ることが出来るが、一般的な傾向として、地震リスクが高く、耐震性が低い建物、すなわち耐震補強を必要とする建物に対して設計するほど、より大きな耐震補強費用を調達することが可能になる。

より多額の補強費用を必要とする建物所有者は、耐震補強をしなかった場合、地震発生時には多額の被害に直面するリスクを保有し、一方、耐震補強を自ら実施した場合、地震が発生しなかった場合、耐震補強費用が無駄になるという投資リスクに直面することになる。これらのリスクを本デリバティブ金融商品を活用することにより平準化することが可能になる点が、本制度の効果(費用対便益)の本質といえる。図-17に本制度による費用対効果の平準化の概念を示す。縦軸は、建物所有者の効果を表し、マイナス側は、損失(負の効果)を意味する。横軸はマグニチュードで、地震規模を表す。図中、直線と破線の2種類の折れ線が表記されている。実線は、無補強の場合、破線は補強した場合の被害関数を模式的に示したものである。無補強の場合は、マグニチュード M_{nr} 以上になると被害が増加する。補強した場合は、マグニチュード M_r 以上になると被害が増加することを表す。それぞれ、 M_{nr} 、 M_r 以下の場合、無補強の時は損失は0

であるが、補強している場合は、補強費用分が損失と認識される。比較的規模の大きい地震が発生した場合は、耐震補強が有効に機能して、図中右側にあるように被害の低減分が補強の効果として認識される。また、小規模の地震しか発生していない場合は、本制度の活用により、補強費用の自己負担が投資家に転嫁されるため、本制度の効果が認識されることになる。このように、本制度を活用することにより、マグニチュードのレベルによる損失額の変動を抑制してリスクを平準化できることが分かる。

リスクを平準化できたのは、地震発生を確率的に取扱いデリバティブの考え方を取り入れたからである。これによって1章で述べた耐震補強の意思決定のマイナス要因である「金銭的余裕が無い」の背景にある、その他の将来の支出予定と比較した場合の地震リスクの持つ相対的不確実性を低減しているといえる。すなわち、より大きな地震が発生した場合にはより大きな支出を、逆に小さな地震の場合には支出を小さくすることにより、地震の規模に関わらず耐震補強の費用対効果を一定にすることが可能になったといえる。

参考文献

- 1) 吉村美保:脆弱建物の耐震化対策へのインセンティブ導入方法に関する研究,東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター(ICSUS),2005年9月.
- 2) 建築物荷重指針・同解説 2004,日本建築学会,pp.651.
- 3) 地震ハザードステーション,<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 4) 福島誠一郎,矢代晴美:地震リスクの証券化における条件設定に関する解析,日本建築学会計画系論文集,第 555 号,pp.295-302,2002年5月.
- 5) 林康裕:耐震診断結果を利用した地震リスク表示の試み,シンポジウム「耐震診断・耐震補強の現状と今後の課題」,pp.37-42,建築学会関東支部,2000.
- 6) 村尾 修,山崎文雄:自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数,日本建築学会構造系論文集,第 527 号,pp.189-196,2000年1月.
- 7) 平川倫生,神田順:終局限界状態以前に発生する破壊時費用の評価,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.69-70,1997年,9月.

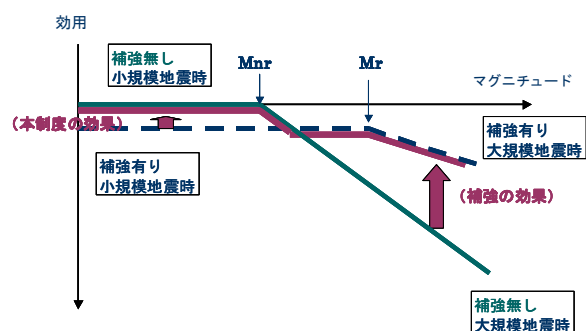


図-17 費用対便益の平準化の概念

耐震補強推進のための 地震リスクファイナンス制度

山口 晋也 三井住友建設株式会社
堀島 誠一郎 東電設計株式会社
高橋 紀夫 清水建設株式会社
高村 典康 東京大学大学院経済学研究科
川島 公昭 東京大学大学院経済学研究科

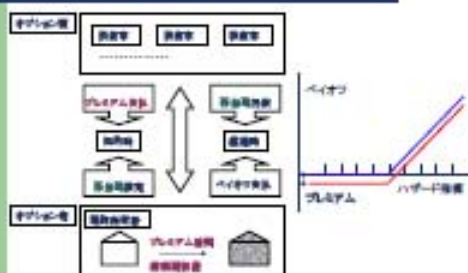
耐震補強の必要性

- 住生活基本法の成立(H18年6月施行)
2003年度の新耐震適合率75%を
2015年度までに90%まで高める。

	2003年度	※	2015年度
住宅	1150万戸	地震550万戸 地震100万戸(総数の2~3割ペース)	500万戸
特定 建築物	9万棟	減色2万棟 地震2万棟(総数の2~3割ペース)	4万棟

地震防災の基礎知識より

提案制度の概要



地震リスクマネジメント制度の分類

リスクコントロール	リスクファイナンス
耐震診断 耐震補強 政府防災投資 緊急地震速報の活用 防災訓練 地域防災事業(TIF関連)	地震保険・再保険 自治体による補助金・支援金(税金・公債) 災害保険証券化 AIGT商品(GAT/ボンドなど) TIF(Tax Increment Financing)

図 1 制度分類

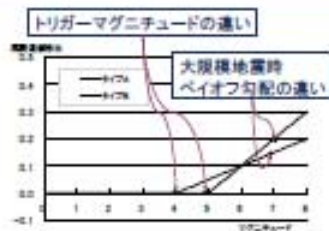
提案制度の設計手順

- ① 耐震診断対象建物の特定
 - ② 地震ハザードの特定
 - ③ 対象建物の耐震性評価
 - ④ 震害速報等の活用
 - ⑤ 耐震診断結果レベル別
 - ⑥ 耐震費用の算定
 - ⑦ 耐震前・後の被害率・被害額の算定
 - ⑧ 割引率の算定の算定
 - ⑨ 割引率の算定の算定
- ② 対象地震動の特定
③ 耐震性評価
⑤ 耐震費用の算定
⑦ 耐震前・後の被害率・被害額の算定
⑧ 割引率の算定の算定
- 対象地震動の特定
③ 耐震性評価
⑤ 耐震費用の算定
⑦ 耐震前・後の被害率・被害額の算定
⑧ 割引率の算定の算定
- 耐震費用に基づき地震動強度と被害率の算定からマグニチュードと被害率の算定を算出
- 割引率(オプション価値)・ペイオフ曲線・償還率を算出して設計条件を満たす算出値を算出

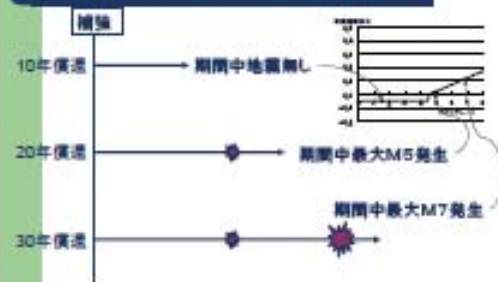
提案制度の設計条件5(ペイオフ曲線)



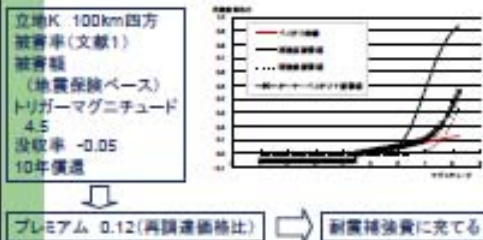
提案制度の設計条件5 (ペイオフ曲線修正)



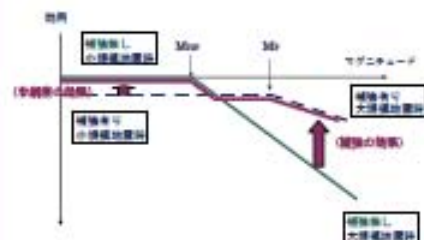
提案制度の設計条件6(償還期間)



設計例



費用対便益の平準化の概念



提案制度の特性のまとめ

- 耐震補強を投資家の費用で実施
オーナーは補強のための初期費用が不要
- オーナーは投資家の投資に対し抵当権を設定
- 抵当権の価値が償還期間中に発生した最大M
(マグニチュード)に応じて変動
- オーナーの耐震補強投資の費用対便益を平準化
- 投資家を複数に小口化してリスクを分散化

提案制度の展開

- 地震保険との併用
補強前と補強後の被害率は、既往の文献によってもばらつきが大きく予測は困難と考えられる。
地震保険を活用して被害額の平準化を図るのが合理的。
- 自治体との連携
自治体が投資家になることにより、事前のデリバティブの活用により、当該地域の防災レベルが上がり、かつ被災時に災害復旧費の原資を得ることができる。