

土木研究所資料

大都市圏における震災波及構造に関する研究 ～(その1) 震災波及構造モデルの解析～

Interaction of Functional Damage Due to An Earthquake in Urban Area
～ (Part 1) Development of Structural Model for Evaluating
Propagation of Functional Damage ～

平成5年7月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

「Copyright © (1993) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

大都市圏における震災波及構造に関する研究

～(その1) 震災波及構造モデルの解析～

土木研究所地震防災部

耐震研究室	室長	川島 一彦
	研究員	杉田 秀樹
	研究員	中島 燈

要 旨

大都市圏に大規模な地震が発生した場合には、都市の機能が高度・複合化して構造的な損傷よりも機能的な損傷の重要性が増した結果、従来の震災とは大きく異なる都市型震災が生じると考えられる。本文は、従来の震災とは異なり未経験の災害である都市型震災に対するインフラストラクチャーの震災対策の重要性を明らかにするため、震災波及の構造モデルを解析した結果を報告するものである。

本解析の結果、都市の機能低下に最も影響を及ぼしやすいのは道路施設の被害であること等が明らかにされた。

キーワード：都市型震災、波及構造、震災波及、機能損傷、震災対策、インフラストラクチャー

目 次

1. まえがき	1
2. 都市型震災の特徴	2
3. 大都市域で生じ得る機能損傷の抽出	3
3.1 大都市を構成する基盤施設の分類	3
3.2 基盤施設に生じ得る機能損傷の抽出	3
4. 都市型震災の波及構造モデル	14
4.1 機能損傷の集約・分類	14
4.2 震災波及構造モデルの作成	15
5. 都市の機能低下に影響を及ぼしやすい基盤施設	19
6. 震災の影響を受けやすい都市の機能	24
7. まとめ	26
参考文献	27

1. まえがき

近年、大都市圏に大規模な地震が発生した経験はないが、こうした地震が起こった場合には、戦後経験してきた震災とは大きく異なる都市型の震災が発生すると考えられる。これは、都市機能が高度化・複雑化し、構造的な損傷よりも機能的な損傷の重要度が増したこと、交通・ライフライン・経済・金融等非常に多種多様な機能が複雑に相互依存しあっており、特定の施設被害や機能損傷が次々に他の機能損傷を生み出すこと等によるものである。都市機能を構成する各種システムどうしの相互依存性が増したため、どの機能損傷がどの程度他の機能損傷に波及し、相互の影響度がどのようなものであるかを見通すことは一般に非常に困難である。

本文は、このような観点から、従来の震災と異なる未経験の災害である都市型震災に対するインフラストラクチャーの震災対策の重要性を明らかにするために、ブレンストーミング手法を用いて、震災波及の構造モデルを検討したので、この結果を報告する。

2. 都市型震災の特徴

我が国の首都圏周辺地域には、大正12年の関東地震以後大規模な地震は生じていない。この間に首都圏は高度経済成長を経験し、24時間都市、高度情報化都市として、国内は言うに及ばず世界各国の経済・社会活動に大きな影響を及ぼすまでに至っている。このような首都圏に大規模な地震が発生した場合には、以下の理由により、従来の震災とは異なった未経験の震災になると考えられる。

- (1)都市の規模が拡大した。長時間通勤に代表されるように、活動圏の拡大は交通、運輸、情報システムの飛躍的な向上で初めて可能となっており、これらのシステムが一度狂うと、都市の機能を根底から支えきれなくなる。
- (2)高度情報化社会に移行する中で、業種の多様化が進み、コンピュータ依存性も進んだ。このため、大規模な震災に対する社会システムの脆弱性が増した。
- (3)ライフライン施設への依存性が飛躍的に高まり、この面でも震災に対する脆弱性が増した。
- (4)都市の機能が高度・複合化し、構造的な損傷よりも機能的な損傷の重要性が増した。
- (5)交通、ライフライン、経済、金融など都市を支える機能どうしの相互依存性が増した。

以上の観点から、都市型震災の特徴を整理すると、以下のようになる。

- (1)特定の施設被害や機能損傷が、他の施設被害や機能損傷を引き起こす。
- (2)機能損傷の波及が、大量かつ一斉に発生する。
- (3)どの機能損傷がどの機能損傷に波及するか、また、どの程度の影響を及ぼすかの見通しが極めて困難である。

3. 大都市域で生じ得る機能損傷の抽出

3.1 大都市を構成する基盤施設の分類

震災波及の大筋を捉えるために、まず、都市を構成する基盤施設を分類した。基盤施設を分類する方法としては、産業連関分析に用いられる産業分類がある。産業分類には、解析に必要とされる精度に応じて、産業大分類、統合大分類、統合小分類があり、それぞれ、第1次～第3次産業が14、31、164部門に分類されている。本検討では、産業大分類を基本として、震災の影響を適切に評価できるように基盤施設を細分化もしくは集約した。

すなわち、図-3.1に示すように、震災の影響が大きい、「運輸・通信業」、「電気・ガス・水道業」、「公務」は基盤施設を細分化した。反対に、「農業」～「建設業」は、物資を生産するという点では共通しているため、「生産関連施設」として集約した。また、「金融業」と「不動産業」は、資金を運用するという点では共通しているため、「金融関連施設」として一つに集約した。さらに、産業分類には含まれていないが、震災が都市生活者に及ぼす影響を解析に反映できるように、「住宅施設」を加えた。この結果、都市を構成する基盤施設を19施設に分類した。

なお、これらをさらに集約すると、図-3.1の右に示すように、「交通運輸施設」、「供給処理施設」、「卸売・金融施設」、「サービス・公共施設」、「その他の施設」の5種類に分類される。

3.2 基盤施設に生じ得る機能損傷の抽出

以上の5種類19施設の基盤施設に対して、大規模地震によりどのような被害が考えられるか、また、これが波及するとどのような機能損傷が生じるかを、ブレインストーミングにより抽出した。ブレインストーミングは4名～6名の土木施設の計画・設計に携わる実務者及び耐震工学の専門家により行った。特に、供給処理施設(ガス、電力、電話)及び金融関連施設に対しては、別途、関係者との面談調査を行い、ブレインストーミングの結果を補完した。

ブレインストーミングに際しては、震災の波及をできるだけ広範囲かつ時系列的にとらえるため、機能損傷を物的被害、直接機能損傷、1次波及による機能損傷、及び、2次波及による機能損傷の4段階に分類した。これら機能損傷の定義は、以下の通りである。

- a)物的被害:地震による施設本体及び内部施設の被害
- b)直接機能損傷:物的被害が生じることにより直ちに失われる当該施設の機能
- c)1次波及による機能損傷:直接機能損傷が波及することにより直ちに失われる都市機能
- d)2次波及による機能損傷:1次波及による機能損傷が波及することにより失われる都市機能

19 種類の基盤施設に対して、予想される機能損傷を抽出した結果を示すと、表-3.1の通りである。例えば、道路施設では、「路面陥没」や「斜面崩壊」等の物的被害が「道路の通行不能」や「道路の通行制約」等の直接機能損傷を引き起こす。これが「消防車の通行障害」等の1次波及による機能損傷を引き起こし、さらに「火災延焼」や「死傷者発生」等の2次波及による機能損傷を引き起こす。また、金融施設では、「銀行建物損壊」といった物的被害が「業務遂行機能障害」等の直接機能損傷を引き起こす。これが「預貯金データ入出力不能」や「預金引出し不能」等の1次波及による機能損傷を引き起こし、さらに「手形決裁不能による連鎖倒産」等の2次波及による機能損傷を引き起こす。

19 種類の基盤施設に予想される物的被害、直接機能損傷、1次波及による機能損傷及び2次波及による機能損傷は、それぞれ、148 件、121 件、138 件、120 件となる。

なお、以上の解析では直接機能損傷を独立に取り扱ったが、直接機能損傷とは施設が本来有している機能の損傷を表している場合が大部分であり、震災波及の大きな流れを解析するためには、直接機能損傷を物的被害に含めて解析した方が区分が簡単ですっきりすることがわかった。例えば道路施設でいえば、物的被害の「ガードレール損傷」と直接機能損傷の「歩道防護機能障害」は、ガードレールを施設という観点からと機能という表裏の観点からとらえたものである。したがって、以後では、直接機能損傷は物的被害に含めて解析するものとする。このようにすると、上述した機能損傷は、物的被害 148 件(直接機能損傷を含む)、1次波及による機能損傷 138 件、2次波及による機能損傷 120 件、計 406 件となる。

産業連関分析に用いる産業大分類

本検討における基盤施設の分類
小分類 大分類

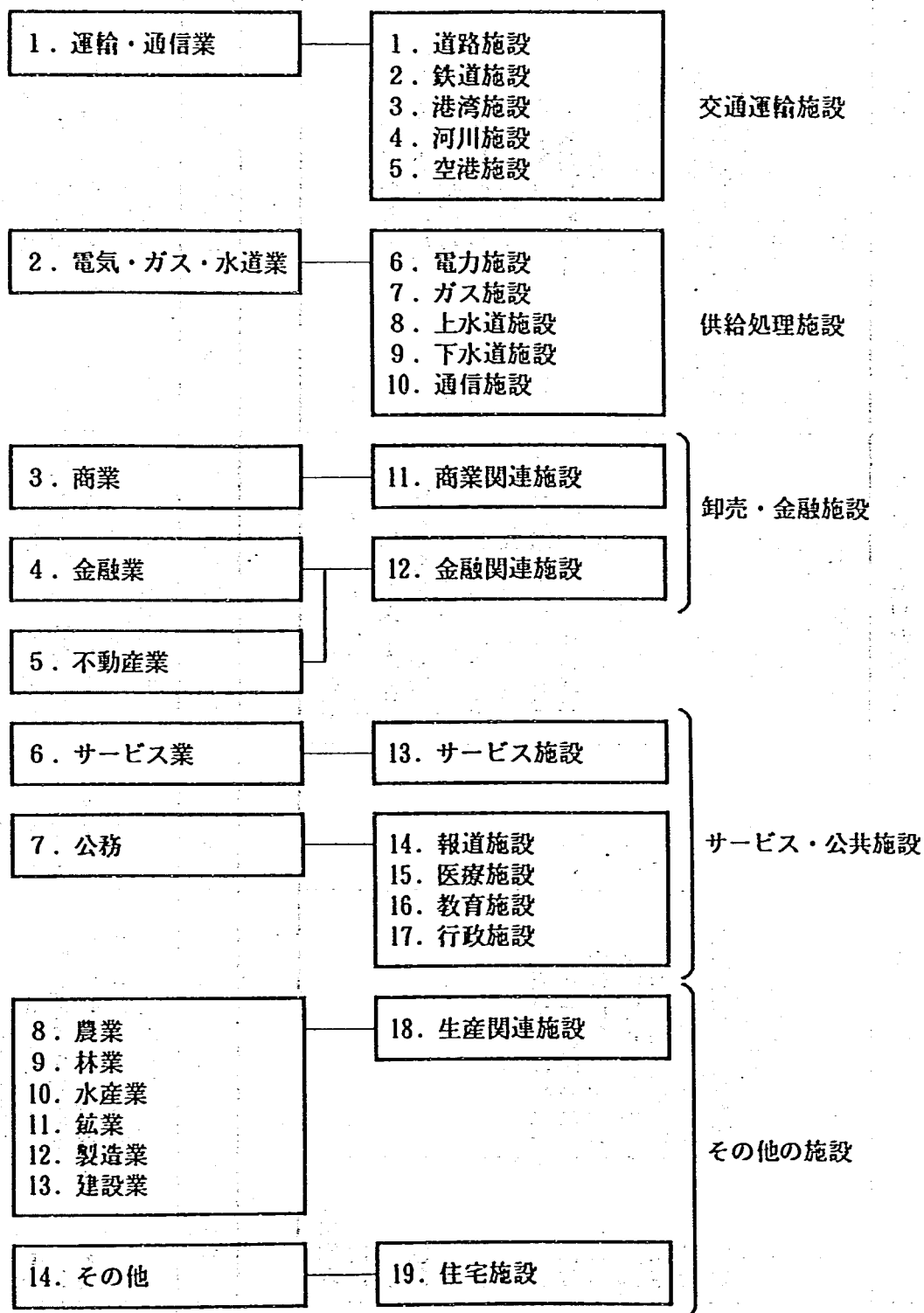


図-3.1 都市を構成する基盤施設の分類

表-3.1 基盤施設ごとに見た機能損傷の波及

(a) 道路施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)路面陥没	1)2)	1)道路の通行不能	(a)~(1)	(a)消防車の通行障害	7)イ)	7)火災延焼
(2)斜面崩壊	1)2)	2)道路の通行制約	(a)~(1)	(b)救急車の通行障害	イ)カ)	イ)死傷者発生
(3)橋梁損傷	1)2)	3)延焼遮断機能障害		(c)パトカーの通行障害	ウ)	ウ)警備活動障害
(4)トンネル閉塞	1)2)	4)交通制御機能障害	(a)~(m)	(d)トラックの通行障害	エ)コ)	エ)生活用品の不足
(5)信号機損傷	4)7)	5)雨水流下機能障害		(e)自家用車の通行障害	サ)シ)ス)	オ)救援物資の不足
(6)横断歩道損傷	6)9)	6)歩道防護機能障害	(i)(j)(m)	(f)バスの通行障害	サ)シ)セ)	カ)救急医療活動遅延
(7)ガードレール損傷	6)9)	7)事故防止機能障害	(m)	タクシーの通行障害		キ)災害復旧活動遅延
(8)照明設備損傷	7)	8)駐停車機能障害	(1)	バイクの通行障害		ク)情報伝達時間遅延
(9)パーキングメーター損傷	8)11)	9)歩行路機能障害	(i)(j)	自転車の通行障害		ケ)情報伝達量減少
(10)交通標識損傷	4)7)	10)休憩機能障害	(k)	(g)災害復旧車両通行障害	イ)オ)キ)	コ)工業活動停滞
(11)街路樹転倒	3)	11)集金機能障害		(h)報道関係車両通行障害	ク)ケ)	商業活動停滞
(12)側溝損傷	5)			行政車両通行障害		サ)帰宅時間遅延
(13)地下道損傷	9)			(i)避難者通行障害	イ)ソ)	シ)通勤通学時間遅延
(14)料金所損傷	11)			(j)帰宅者通行障害	サ)	ス)路上放置車両増加
(15)歩道橋損傷	6)9)			通勤通学者通行障害	シ)	セ)新聞・郵便配達遅延
(16)マンホール損傷	5)			(k)リッター通行障害		ソ)避難時間遅延
(17)歩道損傷	6)9)			(1)乗降・積み下ろし障害	コ)セ)	
(18)サービスエリア損傷	8)10)11)			(m)事故	7)イ)	

(b) 鉄道施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)鉄道軌道損壊	1)	1)軌道通行制約	a)~c)	a)旅客列車通行障害	7)~キ)	7)食料品不足
(2)送電変電設備損傷	4)	2)列車制御機能損傷	a)~c)	b)貨物列車通行障害	7)~キ)	イ)救援物資不足
(3)列車制御装置損傷	2)3)	3)無線通信機能損傷	a)~c)e)	c)保線作業列車通行障害	7)~キ)	ウ)帰宅所要時間増加
(4)踏切信号機損傷	6)	4)変電送電機能損傷	a)~c)	d)自動改札券売機使用障害	ウ)エ)ク)	エ)通勤通学所要時間増加
(5)駅施設損傷	5)7)	5)駅機能損傷	d)e)	e)予約システム使用障害	ク)	オ)工業製品生産流通障害
		6)踏切機能損傷	a)~c)			カ)加工食品生産流通障害
		7)列車整備機能損傷				キ)農産物生産流通障害
						ク)サービス機能障害

(c) 港湾施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)防波堤損壊	1)	1)防波機能損傷	b)～d)	a)船舶安全航行障害	ウ)	7)工業活動停滞
(2)防砂堤損壊	2)	2)防砂機能損傷	b)～d)	b)客船出入港障害	ウ)	イ)商業活動停滞
(3)護岸損壊	3)	3)護岸機能損傷	b)～d)	c)フェリー出入港障害	7)イ)	ウ)出入国者減少
(4)埠頭損壊	4)	4)埠頭機能損傷	e)j)	d)貨物船出入港障害	7)イ)エ)オ)カ)	エ)工業製品輸出入減少
(5)係留施設損壊	5)	5)船舶係留機能損傷	e)j)	e)上下船障害	ウ)	オ)農水産物輸出入減少
(6)旅客ターミナル損壊	6)	6)旅客ターミナル機能損傷	f)～h)	f)出入国障害	ウ)	カ)木材輸出入減少
(7)荷さばき施設損壊	7)	7)荷さばき機能損傷	j)	g)税関障害	7)～カ)	キ)水産資源汚染
(8)漁業関連設備損壊	8)	8)漁業関連機能損傷	j)	h)検査障害	ウ)	ク)疫病
(9)航路標識損壊	9)	9)航路指示機能損傷	a)～d)	i)貨物輸送障害	7)イ)エ)オ)カ)	
(10)貯木場損傷	10)	10)貯木機能損傷	k)	j)水産物水揚げ障害	キ)	
				k)木材供給障害	カ)	

(d) 河川施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)堤体沈下	1)2)	1)堤防機能損傷	a)～f)	a)住宅地冠水	7)イ)ク)ス)	7)外出障害
(2)堤体亀裂	1)2)	2)河川交通機能損傷	k)	b)農地冠水	ウ)キ)	イ)家財消失
(3)堤体損壊	1)2)	3)流量制御機能損傷	a)～f)	c)商業施設冠水	ク)	ウ)農産物生産減少
(4)護岸倒壊	1)8)	4)水流制御機能損傷	k)	d)工業施設冠水	エ)	エ)工業製品生産減少
(5)護岸滑動	1)8)	5)取水排水機能損傷	g)～j)	e)道路冠水	7)オ)カ)～サ)	オ)帰宅所要時間増加
(6)護岸損壊	1)8)	6)流下促進機能損傷	a)～f)	f)鉄道冠水	オ)カ)～サ)	カ)通勤通学所要時間増加
(7)水門損壊	5)	7)船舶係留機能損傷	k)	g)水道水供給障害	ス)	キ)食料品不足
(8)水制損壊	3)4)	8)親水機能損傷	l)	h)工業用水供給障害	エ)	ク)生活必需品不足
(9)樋門樋管破損	5)			i)農業用水供給障害	ウ)	ケ)救援物資不足
(10)取水排水口破損	5)			j)排水障害	ス)	コ)救急医療滑動遅延
(11)床固め破損	4)6)			k)船舶輸送障害		カ)災害復旧滑動遅延
(12)船舶係留施設破損	7)			l)河川敷活動障害		シ)情報伝達所要時間増加
						ス)衛生状態悪化

(e) 空港施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)滑走路損傷	1)2)	1)航空機離着陸不能	a)b)h)	a)航空機運行障害	ウ)エ)	7)工業活動停滞
(2)誘導路損傷	3)	2)航空機離着陸制約	a)b)h)	b)貨物機運行障害	7)イ)ウ)カ)	イ)商業活動停滞
(3)管制塔損傷	4)	3)航空機誘導機能損傷	a)b)h)	c)搭乗手続き障害	ウ)エ)	ウ)帰宅所要時間増加
(4)計器着陸装置損傷	1)2)	4)航空機管制機能損傷	a)b)h)	d)出入国障害	エ)	エ)出入国者数減少
(5)旅客ターミナル損壊	5)	5)旅客ターミナル機能損傷	c)～g)	e)税関障害	エ)	ウ)工業製品輸出入減少
(6)貨物ターミナル損壊	6)	6)貨物ターミナル機能損傷	e)f)	f)検疫障害	エ)	カ)農水産物輸出入減少
(7)エプロン損傷	7)	7)駐機機能損傷	h)	g)社会心理学的混乱	エ)	
(8)整備施設損傷	8)	8)航空機整備機能損傷	a)b)h)	h)航空機安全維持障害	7)イ)エ)ウ)カ)	
(9)給油施設損傷	9)	9)燃料供給機能損傷	a)b)h)	i)ヘリコプター運行障害	ウ)エ)	
(10)ヘリポート損傷	10)	10)ヘリコプター離着陸制約	i)			

(f) 電力施設

物的被害	波及先	物的機能損傷	波及先	第1次機能損傷	波及先	第2次機能損傷
(1)発電所破損	(1)	1)発電機能障害	(a)	a)電力供給障害	7)～7)	7)道路交通運輸機能障害
(2)送電線破損	(2)	2)送電機能障害	(a)			イ)鉄道交通運輸機能障害
(3)地中送電線破損	(2)	3)配電機能障害	(a)			ウ)河川交通運輸機能障害
(4)引き込み線破損	(2)	4)変電機能障害	(a)			エ)港湾交通運輸機能障害
(5)電柱破損	(3)					ウ)上水供給機能障害
(6)配電設備破損	(3)					カ)下水処理機能障害
(7)架空電線破損	(3)					キ)ガス供給機能障害
(8)配電線破損	(3)					ク)電話・通信機能障害
(9)変電所破損	(4)					ケ)農工業生産機能障害
						コ)商業取引運輸機能障害
						サ)金融取引機能障害
						シ)サービス機能障害
						ス)報道機能障害
						セ)医療機能障害
						ソ)教育機能障害
						タ)行政機能障害
						チ)警察機能障害
						ツ)消防機能障害

(g) ガス施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)ガス製造所損壊 (2)中高圧ガス導管破損 (3)低圧ガス導管破損 (4)ガスハナステーション損壊 (5)整圧機破損 (6)ガスボンベ破損	1) 2) 2) 2) 3) 3)	1)ガス製造機能損傷 2)ガス供給機能損傷 3)ガス貯蔵機能損傷	a) a) b)	a)都市ガス供給障害 b)爆発	7)～エ) ホ)	7)ガスコンロ使用障害 イ)工業施設操業障害 ウ)商業施設操業障害 エ)冷暖房機器使用障害 ホ)火災発生

(h) 上水道施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)浄水場損壊 (2)増圧ポンプ破損 (3)送水管破損 (4)配水管破損	1)2) 2) 2) 2)	1)浄水機能損傷 2)水道供給機能損傷	b)c) a)～d)	a)断水 b)飲料水供給障害 c)工業用水供給障害 d)消火活動遅延	7)～カ) 7)エ) ホ) カ)	7)生活用水不足 イ)公衆浴場操業障害 ウ)プール操業障害 エ)飲食店操業障害 ホ)工業施設操業障害 カ)火災延焼

(i) 下水道施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)下水管破損 (2)目地ずれ (3)下水管閉塞 (4)下水処理場損壊	1) 1) 1) 2)	1)下水流下機能損傷 2)下水処理機能損傷	d) a)～d)	a)家庭排水処理障害 b)工業排水処理障害 c)商業排水処理障害 d)汚水の河川への放流	ウ)～カ) 7)ホ)カ) イ)ホ)カ) ホ)カ)	7)工業活動停滞 イ)商業活動停滞 ウ)河川水質汚染 エ)トイレ使用障害 ホ)悪臭 カ)衛生悪化

(j) 通信施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)電話局損壊 (2)交換機損傷 (3)基幹回線切断 (4)電柱損傷 (5)支線切断 (6)電話ボックス損傷	1) 2) 1) 3) 1) 4)	1)通話機能損傷 2)電話交換機能損傷 3)電線支持機能損傷 4)公衆電話機能損傷	a)b) a)b) a)b) a)b)	a)通話障害 b)通話輻輳	7)～7) 7)～7)	7)FAX使用不能 イ)安否確認不能 ウ)情報通信不能 エ)報道制約 オ)パソコン通信不能 カ)銀行オンライン不能 キ)予約用オンライン不能 ク)郵便物増加

(k) 商業関連施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)小売店建物倒壊 (2)陳列棚倒壊 (3)市場建物倒壊 (4)市場内搬送機損傷 (5)市場内道路損傷 (6)市場内駐車場損傷 (7)市場アクセス道路損傷 (8)オンラインシステム損傷	1) 2) 4) 4) 4) 4) 4) 3)	1)小売機能損傷 2)商品価値低下 3)オンライン機能損傷 4)市場機能損傷	a)～c) a) d)e) f)g)	a)販売不能・制限 b)生鮮食料品供給不足 c)生活用品供給不足 d)仕入・在庫管理障害 e)顧客との連絡障害 f)農産物流通障害 g)水産物流通障害	7)～7) イ)7) 7) 7)～7) イ) ウ)	7)生活用品価格高騰 イ)農産物価格高騰 ウ)水産物価格高騰

(1) 金融関連施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)銀行建物損壊 (2)オンラインシステム破壊 (3)証券会社建物倒壊 (4)保険会社建物倒壊	1)3)4) 2)	1)業務遂行機能障害 2)オンライン機能障害 3)CD機能障害 4)ATM機能障害	(c)(e) (a)(b)(d) (a)(b) (d)	(a)預貯金データ入出力不能 (b)預金引出し不能 (c)社会心理学的混乱 (d)現金準備高不足 (e)支払制限令発令 (f)証券取引情報不足 (g)株価大幅変動 (h)保険料払出し増加 (i)被保険者情報不足	7)イ) ウ) イ) イ)ウ) ウ)	7)手作業による窓口業務 イ)業務遅延 ウ)手形決裁不能による連鎖 倒産 エ)株価情報入手遅延

(m) サービス施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)一般建築施設倒壊 (2)民間オンラインシステム損傷	1)2)6) 3)～5)	1)宿泊制約 2)映画娯楽等制約 3)情報サービス機能損傷 4)事業サービス機能損傷 5)専門サービス機能損傷 6)研究開発機能損傷	g)h) a)～c) d)～f)	a)工業製品生産流通障害 b)加工食品生産流通障害 c)農産物生産流通障害 d)銀行取引機能障害 e)証券取引機能障害 f)保険取引機能障害 g)食料品不足 h)生活用品不足	7) 7) 7) 7) 7) 7) 7) 7)	7)経済停滞

(n) 報道施設

物的被害	波及先	物的機能損傷	波及先	第1次機能損傷	波及先	第2次機能損傷
(1)放送局破壊 (2)スタジオ破壊 (3)送信施設破壊 (4)新聞・出版社破壊 (e)印刷所破壊	1)2) 1) 3) 4)5) 6)	1)番組製作機能障害 2)番組放送機能障害 3)伝播送信機能障害 4)新聞発刊機能障害 5)出版物発刊機能障害 6)出版物印刷機能障害	a) a) a) b) c) b)c)	a)番組放送制限 b)新聞発刊制限 c)出版物発刊制限	7)～エ) 7)ウ)エ) 7)ウ)エ)	7)災害情報の不足 イ)安否情報の不足 ウ)生活情報の不足 エ)心理的不安の増大

(o) 医療施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)病院倒壊 (2)医療設備損傷 (3)オンラインシステム損傷	1) 2)5) 3)4)	1)病院機能損傷 2)医療機能損傷 3)通信機能損傷 4)オンライン機能損傷 5)患者保護機能損傷	a) b) b) c) d)	a)医療機器使用障害 b)患者との連絡障害 c)患者データ不足 d)患者増加	7)ウ) イ)ウ) イ)ウ) 7)イ)	7)死傷者増加 イ)診療業務混乱 ウ)患者の容体悪化

(p) 教育施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)学校倒壊 (2)教育設備損傷 (3)民間オンラインシステム損傷	1)2)3) 1)2) 1)2)	1)学校授業制約 2)専門教育制約 3)生徒保護機能損傷	a) b) d)	a)学力低下 b)専門技能低下 c)避難所不足 d)死傷者増加	7)	7)経済停滞

(q) 行政施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)建築施設倒壊 (2)情報連絡システム損傷	1)4)5) 2)3)	1)行政機能損傷 2)行政通信機能損傷 3)広報機能損傷 4)消防署機能損傷 5)警察署機能損傷	a) b)d)～f) c) g) h)	a)災害復旧障害 b)役所間情報連絡制約 c)広報不足 d)消防署間連絡制約 e)火災情報収集制約 f)警察署間連絡制約 g)消防障害 h)交通制御障害	7)キ)ケ) 7)エ)オ) ク)ケ) イ)エ)カ) エ)カ) ウ)オ)ク) エ)カ)キ) 7)～オ)ケ)	7)災害復旧活動遅延 イ)消防車不足 ウ)救急車不足 エ)消防活動制約 オ)救急搬送活動制約 カ)火災延焼 キ)死傷者増加 ク)治安悪化 ケ)避難障害

(r) 生産関連施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)生産工場損壊 (2)農地浸水損壊 (3)一般建築施設損壊 (4)オンラインシステム損傷	1)～7)10) 6) 8)9) 9)	1)研究開発機能損傷 2)半導体生産機能損傷 3)電気製品生産機能損傷 4)化学製品生産機能損傷 5)加工食品生産機能損傷 6)農産物生産機能損傷 7)水産物生産機能損傷 8)金融機能損傷 9)サービス機能損傷 10)危険物取扱機能損傷	b) b) b) b) a) a) a) a)b) c)d)	a)食料品不足 b)生活用品不足 c)火災発生 d)環境汚染	7) 7) 7)7) 1)7)	7)死傷者増加 1)呼吸器系疾患増加 7)経済停滞

(s) 住宅施設

物的被害	波及先	直接機能損傷	波及先	1次波及による機能損傷	波及先	2次波及による機能損傷
(1)一般建築物倒壊 (2)火災発生	1) 2)	1)住居制約 2)避難制約	a)～e) e)	a)ストレス増加 b)衛生悪化 c)労働力低下 d)学力低下 e)死傷者増加	7) 7)	7)経済停滞

4. 都市型震災の波及構造モデル

4.1 機能損傷の集約・分類

都市型震災の全体像を明らかにするため、機能損傷相互の関連に着目して、ブレーストローミングにより震災の波及構造モデルを作成した。ここに、上述した機能損傷の相互関連を全て表現すると構造モデルが非常に煩雑になるため、構造モデルでは、406件の機能損傷を集約・分類して表現することとした。例えば、後述する「道路施設の物的被害」と「道路交通運輸障害」は、それぞれ、18件の物的被害と13件の機能損傷を集約した表現である。「道路施設の物的被害」と「道路交通運輸障害」が関連するかどうかは、18件の物的被害と13件の機能損傷の間の関連を検討することにより決定することとした。

ここで、機能損傷の集約・分類は、VE(Value Engineering)手法により行った。VE手法は、ブレーストローミングを主体とした一種の会議方式である。VE手法による会議は、一つの問題について複数の人間が自由奔放にアイデアを出し合うことにより進められる。会議に際しては、集団の連鎖反応効果を最大限に引き出すため、以下の5つの規則が設けられる。

- (a)自由奔放なアイデアを歓迎する
- (b)アイデアに対して良い悪いの判断はしない
- (c)アイデアの質より量を求める
- (d)他人のアイデアの改善、結合を求める
- (e)アイデアの表現方法は、「名詞+動詞」とする

VE手法の特徴は、上記e)に示すアイデアの表現方法である。一般に、ものごとを名詞で表現することはイメージを喚起する上で極めて有効であるが、逆に固定観念に縛られることにもなりかねない。発想の転換を阻害しないためには、名詞に代わり、ものごとが果たしている目的や働き、すなわち機能で捉えることが重要となる。例えば、会議のメンバーが地震計を発想した場合には、これを「地震計」ではなく、「地震の揺れを検知する」として表現することになる。

VE手法による機能損傷の集約・分類は、以下の基本方針に基づいて行なった。

- a)物的被害は、19種類の基盤施設ごとに、それぞれ1項目に集約する。例えば、「路面陥没」や「斜面崩壊」等道路施設に係わる全ての物的被害は「道路施設の物的被害」と集約する。この結果、物的被害は19項目に集約される。
- b)1次波及による機能損傷についても、基盤施設ごとに1項目に集約する。例えば、「消防車の通行障害」や「救急車の通行障害」等道路施設に係わる全ての機能損傷は「道路交通運輸障害」と集約する。

ただし、このようにすると、商業関連施設、金融関連施設、サービス施設等の1次波及による機能損傷は、それぞれ、「商業制約」「金融制約」「サービス制約」等に集約される。これらの機能損傷は、交通運輸施設及び供給処理施設の2次波及による機能損傷と同じものになる。このため、ここでは、「商業制約」「金融制約」「サービス制約」等は2次波及による機能損傷として位置づけることとし、卸売・金融施設、サービス・公共施設、その他の施設の物的被害は、直ちに2次波及による機能損傷を引き起こすものと考えた。

この結果、1次波及による機能損傷は、交通運輸施設及び供給処理施設の物的被害に起因する2種類9項目に集約される。

c)2次波及による機能損傷の集約に際しては、まず、都市の基本的な機能障害を社会機能障害、生活機能障害及び公共機能障害の3種類に区分した。ここで、社会機能は産業大分類に示される都市の生産に係わる機能であり、「農業」、「商業」、「金融業」、「サービス業」等がある。本検討では、産業大分類を参考に、社会機能障害を生産制約、商業制約、金融制約及びサービス制約の4項目に集約した。

また、生活機能及び公共機能は産業大分類には含まれていないが、都市生活者に対する震災の影響を検討する上で重要な機能である。本検討では、都市の生産的な側面だけでなく、都市生活者の立場からも、同じ重みで震災の影響を検討できるように、生活機能障害として住居制約、物資制約、行動制約、情報制約を、また、公共機能障害として医療制約、教育制約、行政制約、報道制約を、それぞれ考慮することとした。この結果、2次波及による機能損傷は、3分類12項目に集約される。

4.2 震災波及構造モデルの作成

以上の検討によって得られた震災波及構造モデルを図-4.1に示す。ただし、図-4.1に示す震災波及構造モデルは、機能損傷相互の基本的な関連を表現したものであり、関連の程度や波及に要する時間はまだ考慮されていない。

図-4.1によれば、機能損傷の波及の形態には、物的被害から1次波及による機能損傷を経て2次波及による機能損傷に至る形態が普通である(これを、順方向波及と定義する)が、この他に、物的被害ならば物的被害の中で、また、1次波及による機能損傷ならば1次波及による機能損傷の中で、ある施設の影響が他の施設に波及する形態がある。これをここでは同一レベル波及と定義する。例えば、道路施設の物的被害が、道路占用物である電力施設・ガス施設・上下水道施設・通信施設の物的被害に波及する場合、あるいは、港湾施設・河川施設・上水道施設の物的被害が冠水・流出など、道路施設及び鉄道施設の物的被害に与える影響がこれに相当する。この場合には、ある物的被害が他の物的被害に影響を与える。さらに、電力供給機能の損傷が、交通運輸機能及び供給処理機能に与える影響は、1次波及による機能損傷の中での波及である。このように、物的被害、1次波及による機能損傷、2次波及による機能損傷のように、同一レベルの中で影響を及ぼしあう形態を同一レベル波及と定義する。

また、波及の中には、2次波及による機能損傷が1次波及による機能損傷や物的被害にはねかえってくる場合もある。例えば、行政制約に伴う震災復旧の遅延が、交通運輸機能や供給処理機能の損傷の拡大に与え

る影響がこれである。これをここでは、逆方向波及と定義する。

図-4.2 は、以上に示した順方向波及、同一レベル波及、逆方向波及を模式的に示したものである。

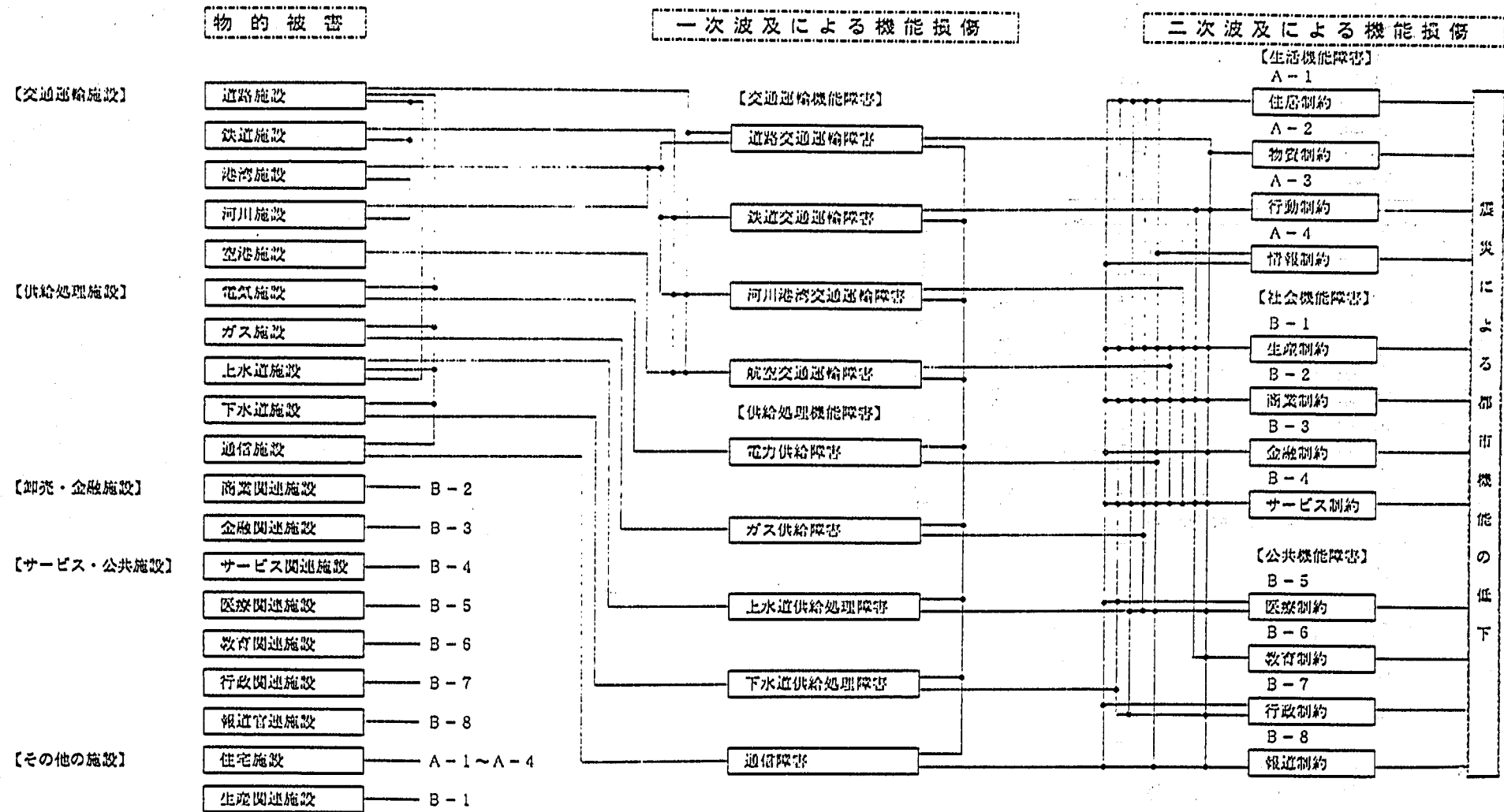


図-4.1 都市型震災における機能損傷の波及構造モデル

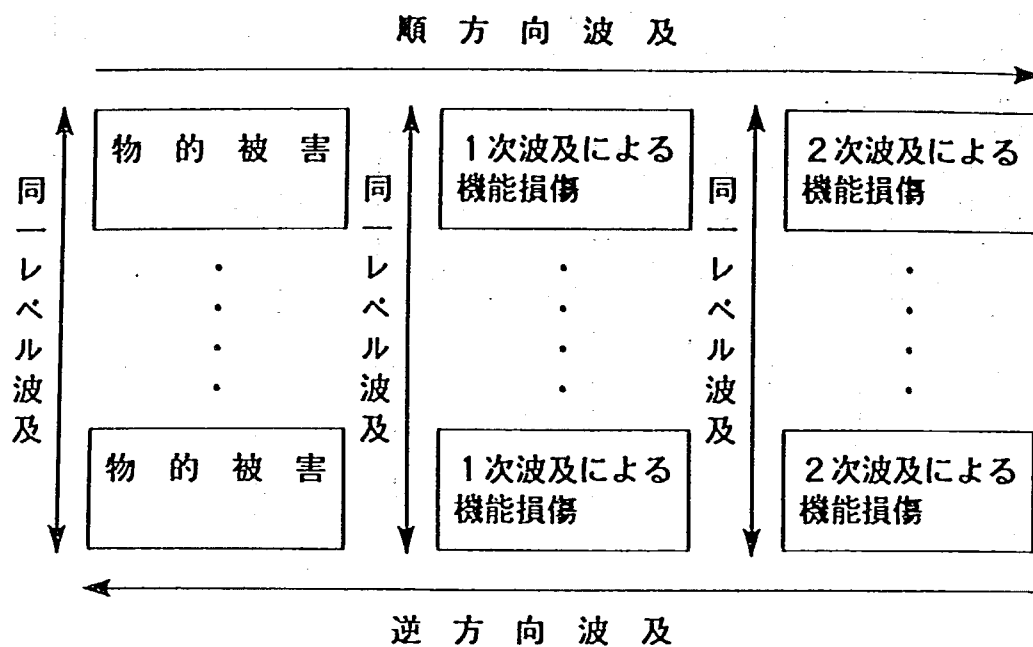


図-4.2 機能損傷の波及の形態

5. 都市機能低下に影響を及ぼしやすい基盤施設

基盤施設のうち、何が都市機能に大きな影響を及ぼすかを評価するためにはいろいろな方法が考えられるが、ここでは一つの方法として、図－4.1に示した機能損傷の波及構造モデルをもとに、2次波及による機能損傷に至る波及経路の数に着目する。すなわち、図－4.1に示した19種類の基盤施設のそれぞれが、何本の経路によって2次波及による機能損傷につながっていくかを評価するものである。2次波及による機能損傷を多数引き起こす基盤施設が、都市震災対策上重要ではないかを見なすわけである。ただし、図－4.1に示した12の2次波及による機能損傷のうち、どれがどれだけ都市震災対策上大きな影響を与えるかの評価は別に行わなければならないから、上記のような波及経路数の大小は一つの目安に過ぎない。

以上の点を念頭においた上で、19種類の基盤施設ごとに、これが何本の経路によって2次波及による機能損傷を引き起こすかを示したのが図－5.1である。図－5.1を見ると、全体としては交通運輸施設及び供給処理施設からの波及経路数が多く、卸売・金融施設、サービス・公共施設、及び、その他の施設からの波及経路数は少ない。これは、後者が特定の用途に利用されることが多い施設であるのに比較して、前者は利用者の性格によって様々な用途を持ち、公共性が高いためである。

波及経路数が最も多いのは道路施設であり、次いで電力施設、河川施設の順となっている。もし、道路施設に対する震災対策を十分に実施し、これに対する物的被害を100%防止できるとすれば、2次波及による機能損傷を生じる全波及経路数のうちの約36%を遮断できる。また、上記3種類の施設の物的被害が防止できれば、全波及経路数のうちの約62%を遮断できる。

2次波及による機能損傷に至る波及経路数を、基盤施設ごとに示すと図－5.2の通りである。例えば、道路施設と空港施設は同じ交通運輸施設であっても、空港施設のように同一レベル波及を生じない施設では、波及の範囲が狭く、波及経路数も小さい。これに対して、道路施設のように同一レベル波及を生じる施設では、波及の範囲が広く、波及経路数も多くなるため、相対的に十分な震災対策が必要と見ることができる。

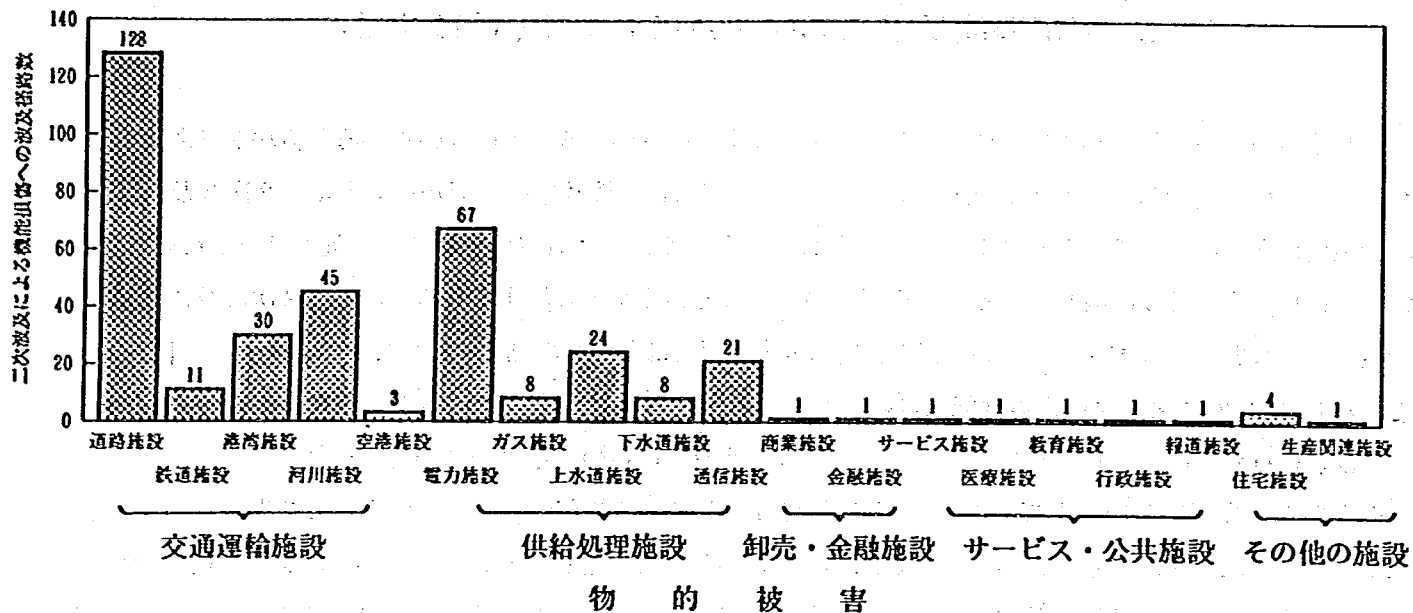
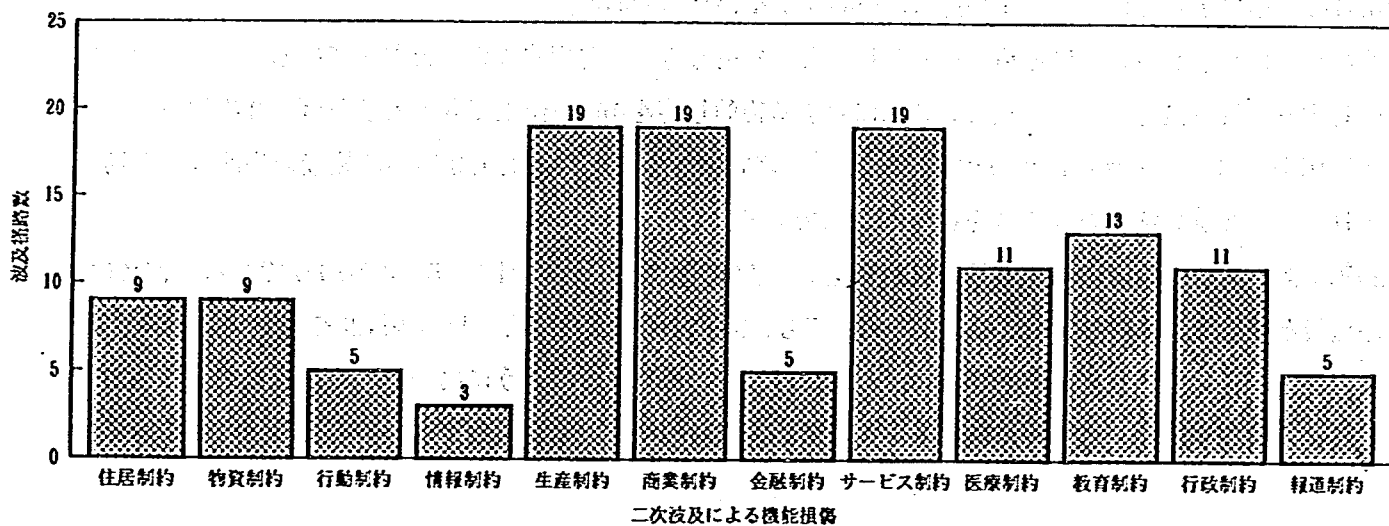
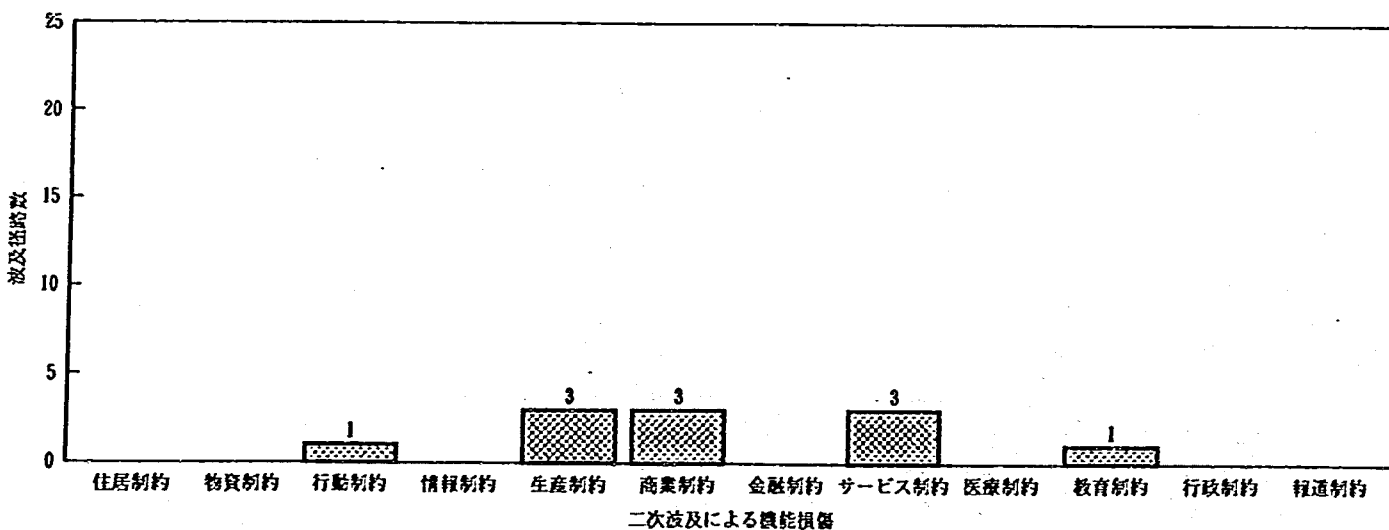


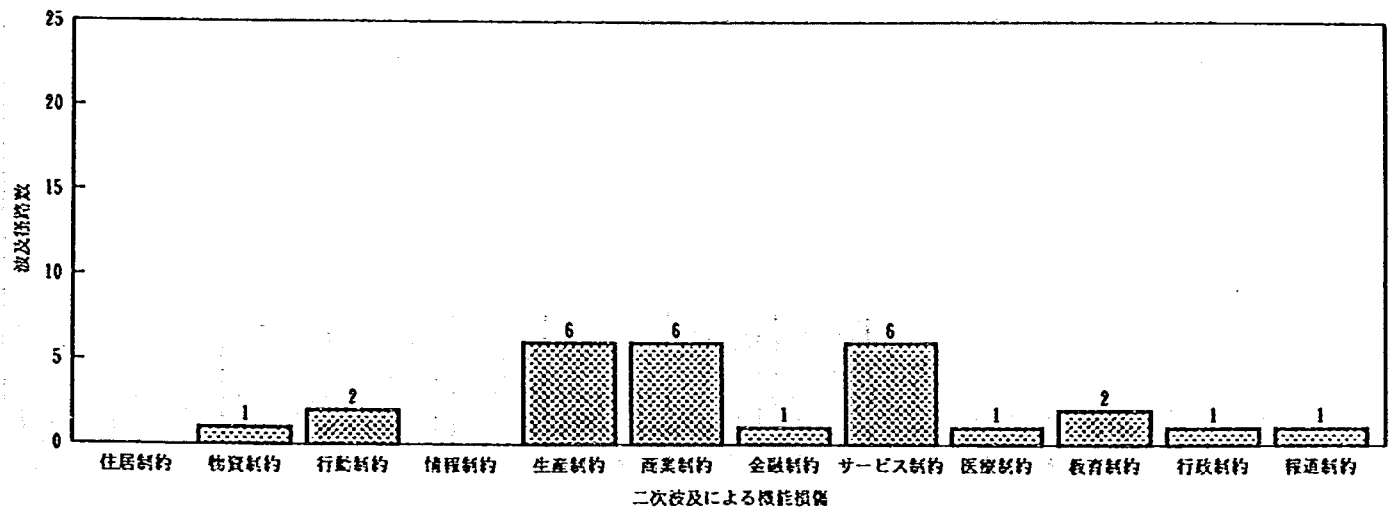
図-5.1 基盤施設の物的被害からの波及経路数



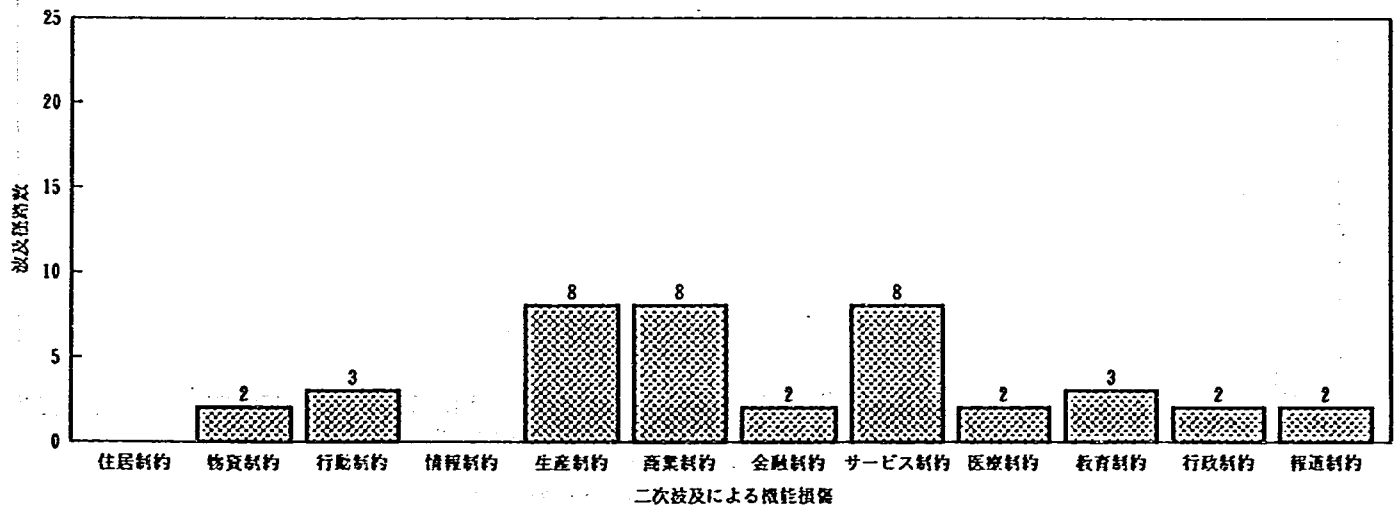
(a) 道路施設からの波及経路数



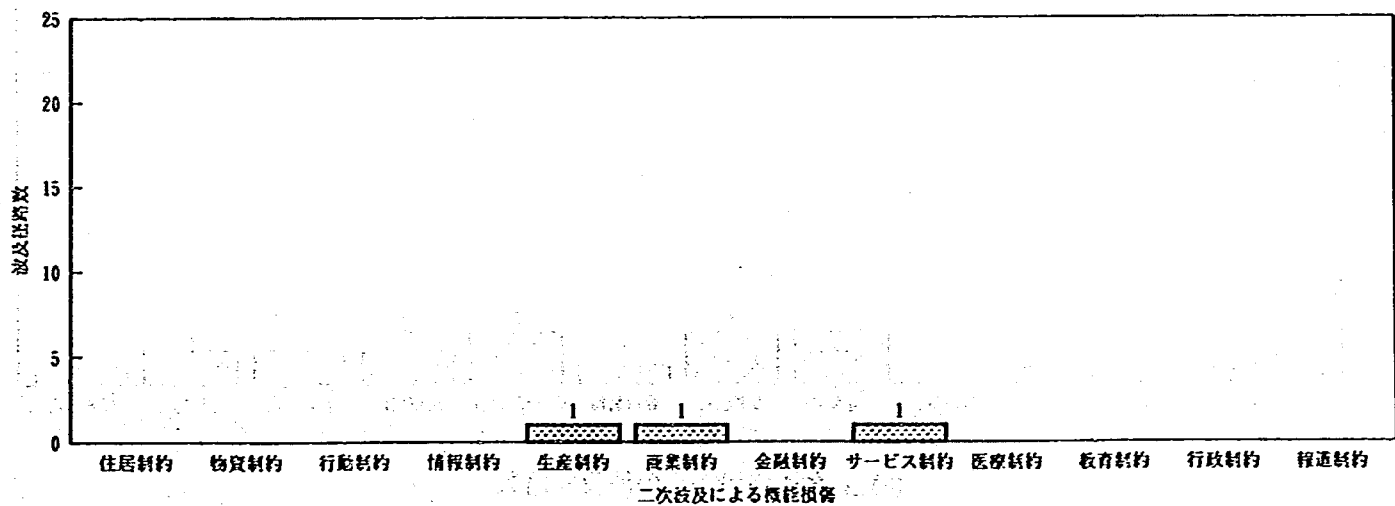
(b) 鉄道施設からの波及経路数



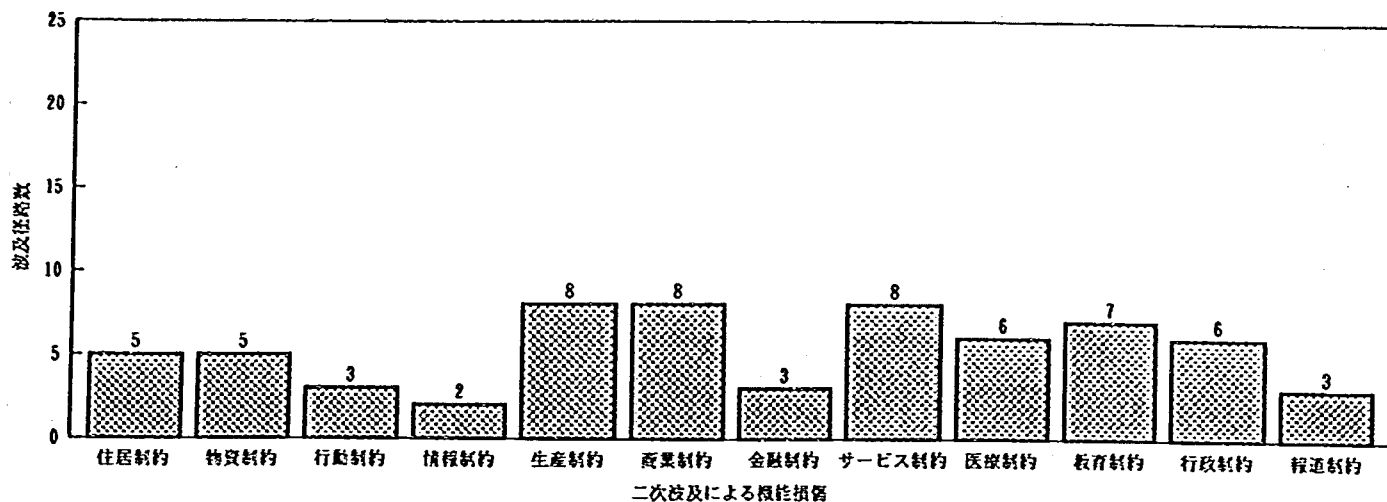
(c) 港湾施設からの波及経路数



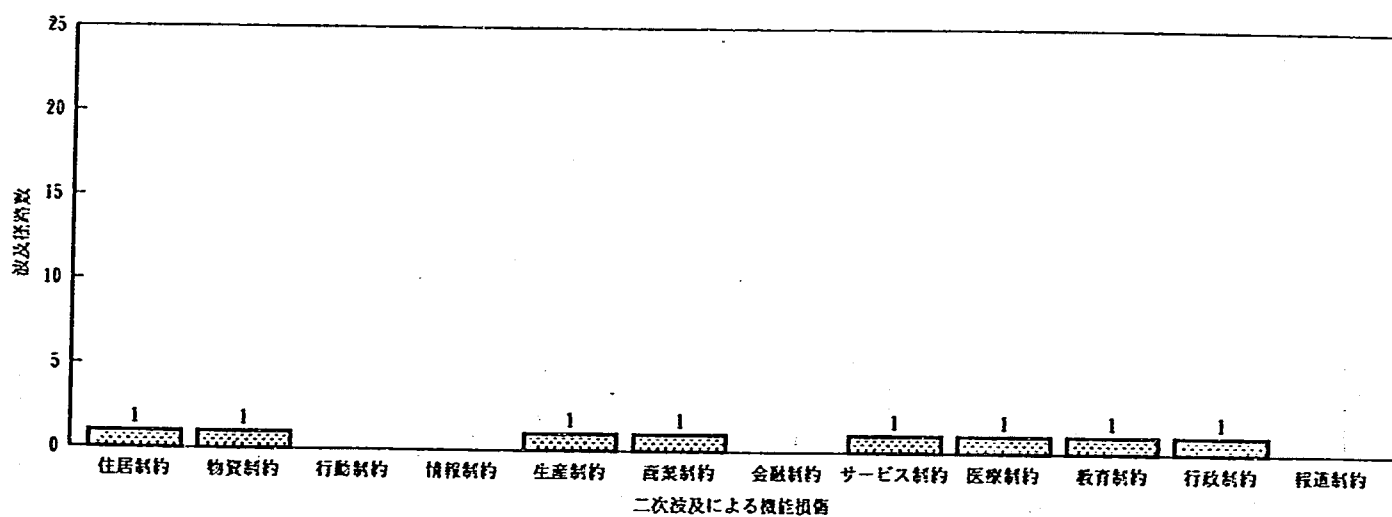
(d) 河川施設からの波及経路数



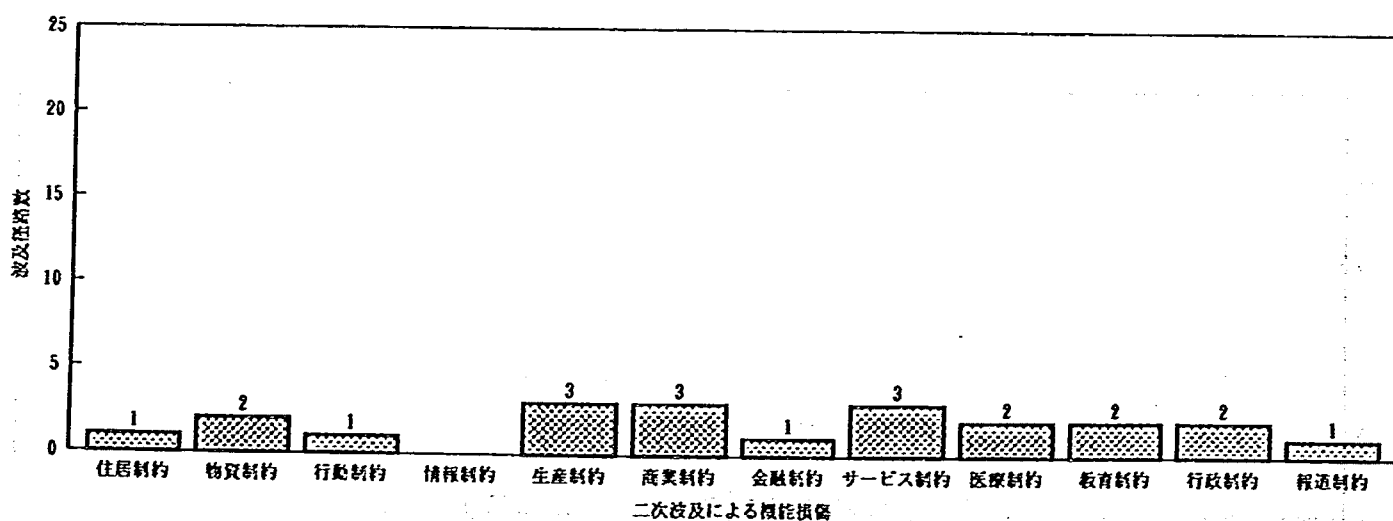
(e) 空港施設からの波及経路数



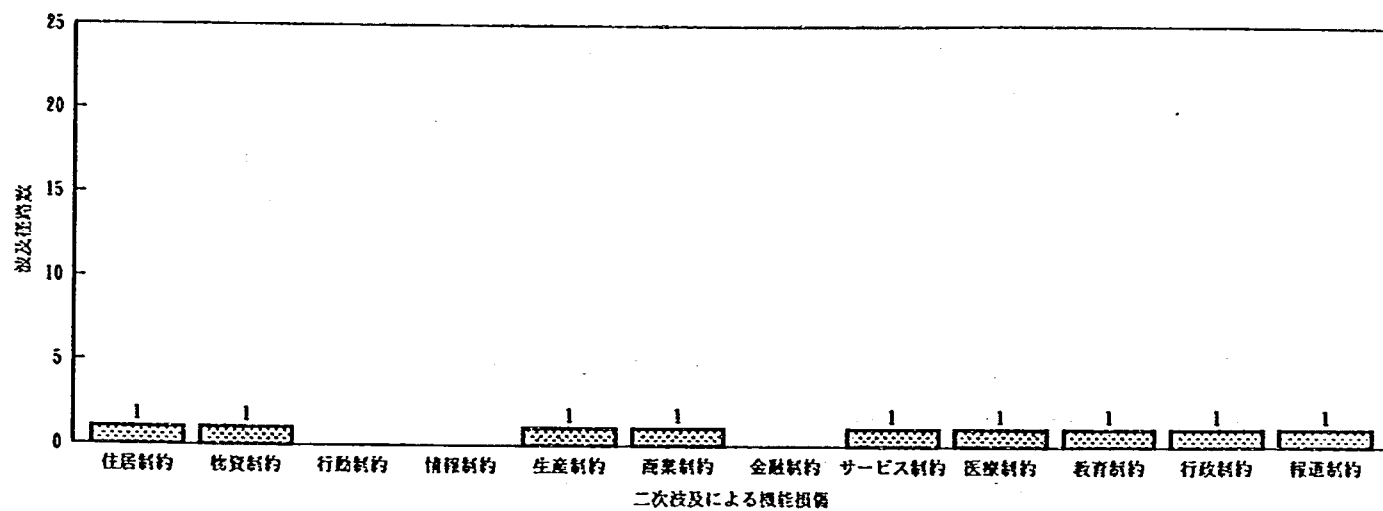
(f) 電気施設からの波及経路数



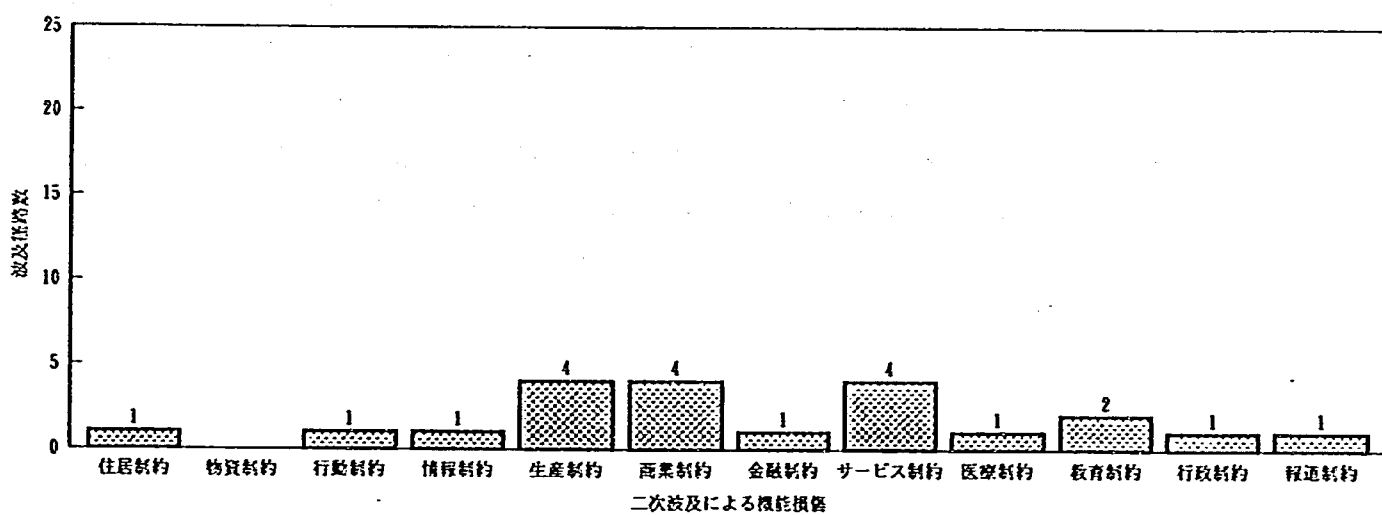
(g) ガス施設からの波及経路数



(h) 上水道施設からの波及経路数



(i) 下水道施設からの波及経路数



(ii) 通信施設からの波及経路数

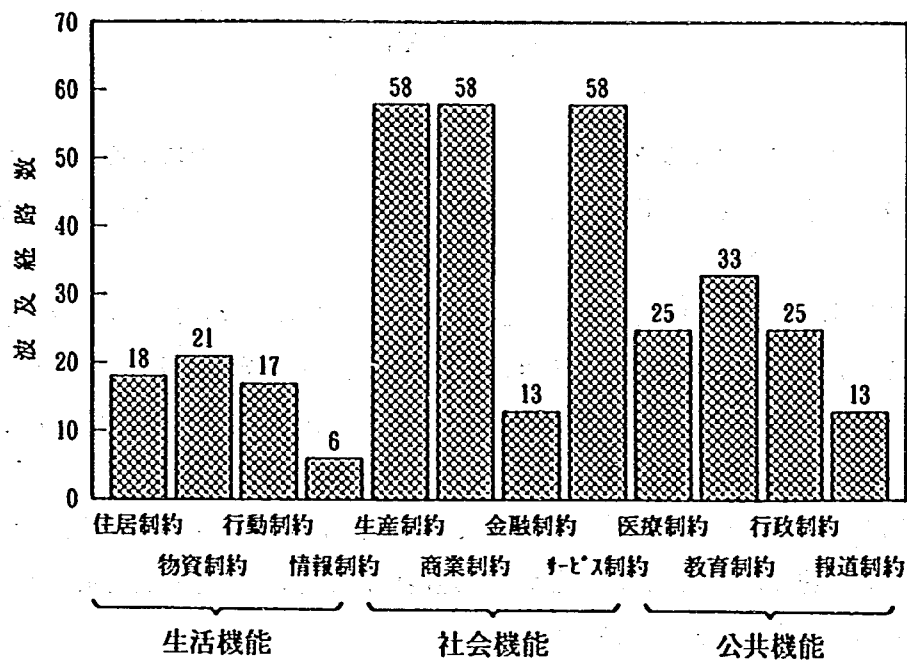
図-5.2 2次波及による機能損傷に至る波及経路数

6. 震災の影響を受けやすい都市の機能

上記を逆に考えて、ある特定の2次波及による機能損傷を引き起こす波及経路数に注目すると、これが多いほど、その2次波及による機能損傷は基盤施設の物的被害の影響を受けやすいことを示している。このような観点から、図-4.1に示した12項目の2次波及による機能損傷ごとに、これを生じる波及経路数を求めた結果が図-6.1である。

図-6.1によれば、これを引き起こす波及経路数が最も多い2次波及による機能損傷としては、生産制約、商業制約、及び、サービス制約であり、次いで教育制約、医療制約、行政制約の順となっている。したがって、波及の経路数から見ると、都市の生産機能、商業機能及びサービス機能といった社会機能は震災の影響を最も受けやすく、反対に、住居機能、物資機能、行動機能及び情報機能といった生活機能は、社会機能と比較すれば震災の影響を受けにくいと見ることができる。

図-6.1の中では、生産制約がこれにつながる波及経路数が59と最も多く、基盤施設の物的被害の影響を最も受けやすいと見ることができる。そのため、これを例にとって、生産制約という2次波及による機能損傷がどのような基盤施設の物的被害によってもたらされるかを示すと図-6.2のようになる。これによれば、生産制約は、交通運輸施設及び供給処理施設に含まれる10種類の施設、及び、生産関連施設の物的被害から引き起こされることがわかる。したがって、生産制約を抑えるためには、波及経路数の多い道路施設、電力施設、河川施設に対する耐震対策を施すことが重要である。



2 次波及による機能損傷

図-6.1 2次波及による機能損傷に至る波及経路数

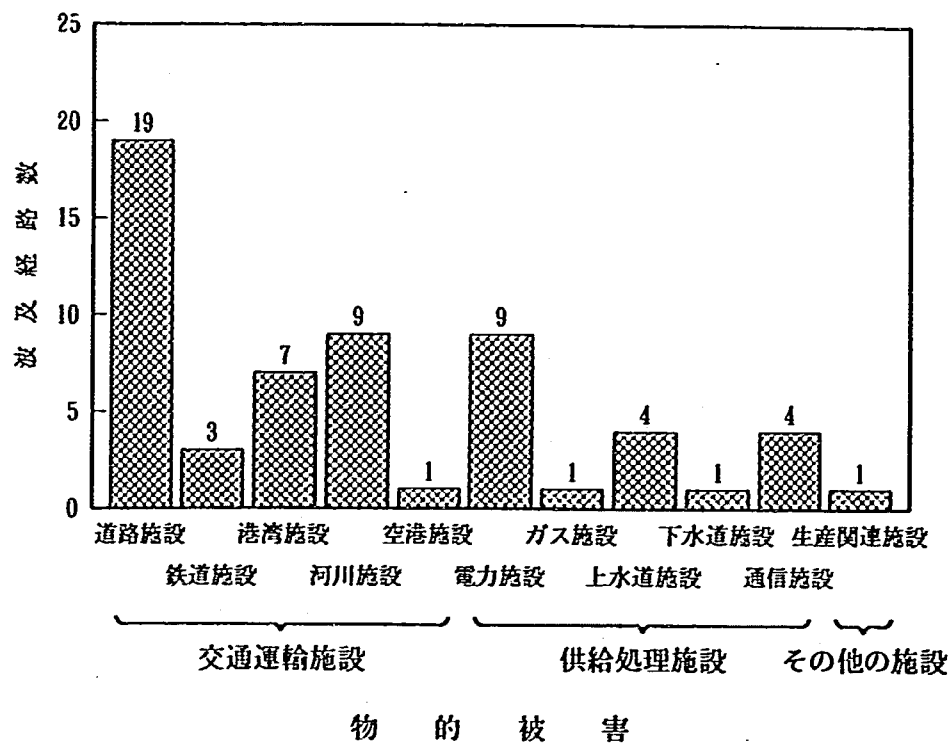


図-6.2 生産制約に至る波及経路数

7. まとめ

都市型災害に対するインフラストラクチャーの震災対策の重要性を明らかにするため、震災波及の骨格を表現できる震災波及メンタルモデルを作成した。本検討により、以下の点が明らかにされた。

- (1) 震災により大都市圏に生じ得る機能損傷を、1次波及による機能損傷及び2次波及による機能損傷の2つに分け、これらをもたらし物的被害を加えた3層の震災波及構造モデルを図-4.1のように提案した。
- (2) 機能損傷の波及の形態には、順方向波及、同一レベル波及、逆方向波及の3種類がある。順方向波及が一般的ではあるが、同一レベル波及及び逆方向波及も重要である。
- (3) 都市の機能低下に影響を及ぼしやすい基盤施設を、2次波及による機能損傷に至る波及径路数から検討すると、道路施設、電力施設、河川施設の順となる。道路施設の物的被害を震災対策により100%防止できれば、全波及径路数のうちの約36%を遮断できる。
- (4) 震災の影響を受けやすい都市の機能を、これを生じる波及径路数によって検討すると、生活機能、社会機能、公共機能といった都市の機能の中で、社会機能に含まれる生産機能、商業機能及びサービス機能が最も震災の影響を受けやすい。

参考文献

- 1)川島一彦、杉田秀樹、加納尚史:地震による間接的な経済被害に関する研究、土木研究所所報、Vol.186、1992.12
- 2)片山恒雄:都市震災の連関及び波及構造の解明とその震災想定調査への利用に関する研究、東京大学生産技術研究所、耐震防災工学研究室報告、No.89-1(11)、1989.3
- 3)能島暢呂、亀田弘行、岩井哲、北原昭男:都市震害のシステム分析モデルに関する基礎的研究、京都大学防災研究所、都市耐震センター研究報告、No.E1、1988.4
- 4)河喜多二郎:KJ法、中央公論新書、1972

大都市圏における震災波及構造
に関する研究
～(その1) 震災波及構造
モデルの解析～

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第3199号

平成5年7月 (1993)

川島一彦、杉田秀樹、中島 燈

要 旨

大都市圏に大規模な地震が発生した場合には、都市の機能が高度・複合化して構造的な損傷よりも機能的な損傷の重要性が増した結果、従来の震災とは大きく異なる都市型震災が生じると考えられる。本文は、従来の震災とは異なり未経験の災害である都市型震災に対するインフラストラクチャーの震災対策の重要性を明らかにするため、震災波及の構造モデルを解析した結果を報告するものである。
本解析の結果、都市の機能低下に最も影響を及ぼしやすいのは道路施設の被害であること等が明らかにされた。

キーワード：都市型震災、波及構造、震災波及、機能損傷、震災対策、
インフラストラクチャー

郵便はがき

41円切手を
はって下さ
い

3 0 5 -

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

耐震研究室 行

No 3

No 3

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第 3 1 9 9 号

部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印