

8. 1 総 論

今回の地震により、ライフライン施設は多大な損壊を受け、被災地域の住民の生活に深刻な影響を及ぼした。本章では、上水道、下水道、通信、ガス、電力の各施設別に被害調査を行い、施設及び被害の概要、被害の特徴、調査結果の分析についてとりまとめた。また、機能被害よりも、地盤との関連を中心にライフラインの構造被害の状況の調査・考察を行うことを基本方針とした。各担当者は多大のデータを集め、被害の全体像を把握すべく調査を行ったが、本報告において重点的に取り上げる地域として地盤特性の差異などを考慮し以下の4箇所を設定した。

- ・六甲アイランド（比較的建設年代の新しい人工島・液状化地域）
- ・ポートアイランド（比較的建設年代の古い人工島・液状化地域）
- ・甲陽断層周辺とその南東区域（断層地形）
- ・神戸市灘区（激震地域）

なお、管路・マンホール等の地中構造物についての記述が主であるが、地上施設のうち、鉄塔、水処理施設などライフライン特有の施設についても言及した。共同溝・とう洞などのトンネル構造物については第9章地下空間を参照されたい。各ライフライン施設毎の被害の詳細は以降の各節を参照されたいが、本節では被害の全体的な傾向について述べる。今回のライフライン施設の被害の特徴は、古い施設に被害が集中したこと、液状化と活断層地域での被害が多かったことである。以下にその概略を示す。

・旧式な設備の被害

低圧ガス管用継手、変電施設、人工島の配水管路、通信用れんが造マンホールなどに顕著であるが、地質・地盤変状の種類に関わらず、耐震性を考慮していない、あるいは最新の基準に準拠していない施設の被害が多かった。例えば激震地域で記録された約100kineの地盤速度と波動の伝播速度100m/secを仮定すれば、地盤ひずみは1%となる。それがそのまま地中管路に伝達されたとしても、溶接管路、GMⅡ継手管路などのいわゆる耐震管路であれば今回の波動に耐え得たと判断される。

・液状化による被害

今回の地震では国道43号線より南側の埋め立て地を中心に、液状化に伴う沈下や側方流動により管路被害が発生した。これらの地盤変状による永久変位を弾性変位とみなした場合、ポートアイランドの被害箇所では軸ひずみが7%におよぶこともあり1)、耐震継手を使用しても対処できるものではない。実際にポートアイランドにおいては継手部の被害の割合が高い。しかしながら、配水管の耐震性継手と液状化対策工法の併用された六甲アイランドにおける被害は少なく、それらの被害を低減できる可能性を示す結果となった。

・活断層による被害

今回は、活断層の周辺では、管路の口径に関わらず、多くの地中管路が被害を受けたが、その被害モードは多様で、そのメカニズムの解明は容易ではない。既存活断層の周辺においては、地質が複雑に分布していること、傾斜地形が多いこと、断層運動に伴った基盤岩の傾動地形による地震動の増幅現象の可能性などから直接的な地表面ずれを生じていなくても大きな地盤変状が生じた可能性もある。これらの変状が予測される箇所では、地上配管、路線の迂回、バックアップルートの建設なども視野に入れて対処する必要がある。

現在、ライフラインの事業者は、旧式の施設が被害を受けたとの認識のもとに、それらの更新を早急の課題として挙げている。しかしながら、膨大な数の新旧の地中構造物を含むシステムを

更新するのは容易ではないため、対策は適切にかつ迅速に行われなければならない。そのためには、例えば、液状化地域においては地中管路への影響を防ぐために周辺の地盤に対策を施すか、液状化の影響にも耐えられるように管路・継手を行うか、あるいは併用するかの的確な判断が必要となる。今回の報告をまとめる時点ではそれらを判断するための提言するまでには至らなかったが、今回収集された被害データをより詳細に分析・考察し今後の耐震対策を適切に行えるようにする必要がある。また、活断層への対処のため、既存の未確認の断層についての調査も急がれる課題である。

以下、下記の各施設別に被害の調査報告を行う。

- 8.2 水道施設
- 8.3 下水道施設
- 8.4 通信施設
- 8.5 電力施設
- 8.6 ガス施設

参考文献) 1) 高田至郎：ライフラインの被害と耐震設計，関西ライフライン研究会，第18回定例研究会資料、p35-37、平成7年12月19日

ライフラインの被害調査に関するワーキンググループの構成メンバー

氏 名	所 属・部 局・役 職	担当施設
高田 至 郎	神戸大学 工学部 建設学科 教授	通 信
北 浦 勝	金沢大学 工学部 土木建設工学科 教授	上水道
東 田 淳	大阪市立大学 工学部土木工学科 助教授	下水道
宮 島 昌 克	金沢大学 大学院 自然科学研究科 助教授	上水道
建 山 和 由	京都大学 工学部 土木工学教室 講師	電 力
池 田 忠 幸	神戸市 水道局 技術部 配水課長	上水道
前 阪 進 二	神戸市 下水道局 工務課長	下水道
鈴 木 雅 夫	N T T 関西設備総合センター 土木技術部 土木技術部長	通 信
松 本 正 毅	関西電力株式会社 土木建築室 副部長	電 力
中 島 一 夫	大阪ガス株式会社 生産部生産技術センター 建設第一チームマネージャー	ガ ス
小 川 安 雄	大阪ガス株式会社 供給部供給技術センター 基礎技術チーム課長	ガ ス
上 野 淳 一	株式会社 鴻池組 土木本部第一技術部	ガ ス
吉 村 洋	株式会社 鴻池組 技術研究所	下水道
李 黎 明	大阪市立大学 工学部土木工学科 博士課程学生	下水道
会 田 武 彦	住友金属工業株式会社 プラントエンジニアリング事業本部 エネルギー導管技術部 大阪導管技術室長	ガ ス

8. 2 水道施設

8. 2. 1 施設の概要

本章では、阪神水道企業団、神戸市、芦屋市、西宮市を取り上げて水道施設の被害を報告する。

(1) 阪神水道企業団

琵琶湖・淀川水系を水源とし、尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市などに供給しており、給水人口は2,470,888人、平均給水量は726,274m³/dayである。水道統計資料によれば、送配水管の延長距離は約163kmであり、管種別の敷設延長距離の割合は図8-2-1に示すとおりである。

(2) 神戸市

布引、烏原、千刈の3箇所にダムを築いて水源を確保しているが、供給能力833,000m³/dayの約1/4にあたる200,000m³/dayしか自己水源で賄うことができないので、約3/4にあたる619,000m³/dayを阪神水道企業団から、また約14,000m³/dayを兵庫県から受水している。市街地は東西に細長く、かつ標高0mから300mを越える丘陵地帯まで広がっているため、119箇所という多くの配水池を有し、層別配水システムを採用している。ポンプ場44箇所、浄水場7箇所を有し、自然流下を原則としている。給水人口は約150万人、1日平均給水量は約600,000m³/dayである。

配水管の延長距離は約4,000kmであり、管種別の敷設延長距離の割合は図8-2-2に示すとおりである。管路の90%近くがダクタイル鋳鉄管（DCIP）であるのが特徴的である。さらに、埋立地や高盛土地区、地滑り地区、φ400mm以上の幹線など、敷設延長の約6%は耐震継手を有するダクタイル鋳鉄管が用いられている。

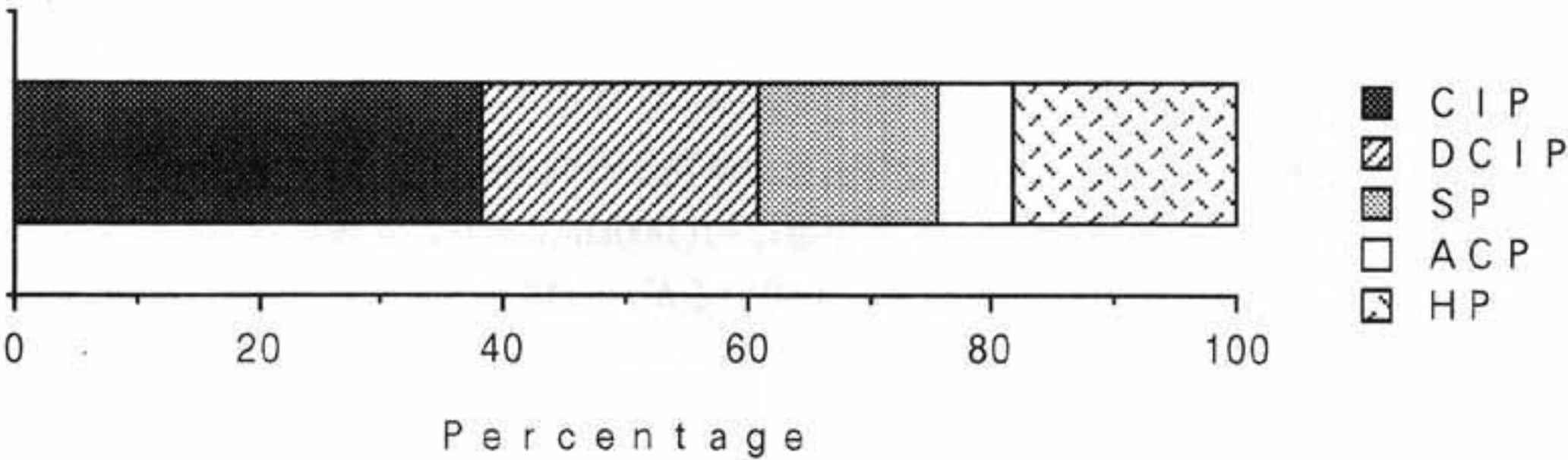


図8-2-1 阪神水道企業団における管種別敷設延長の割合

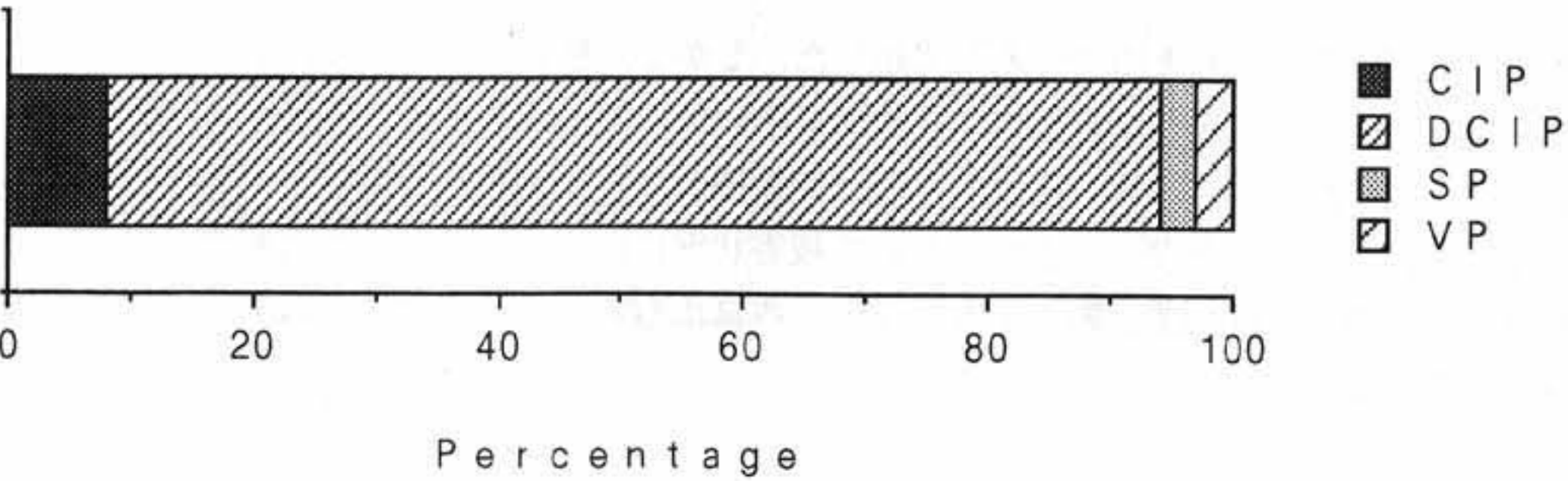


図8-2-2 神戸市における管種別敷設延長の割合

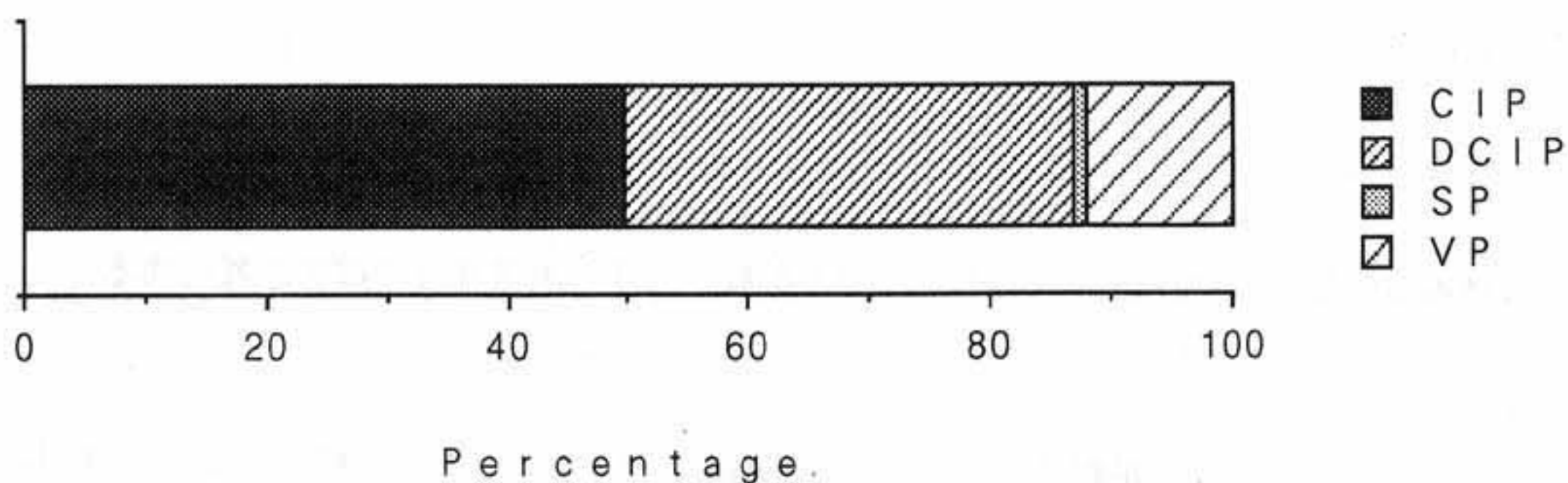


図8-2-3 芦屋市における管種別敷設延長の割合

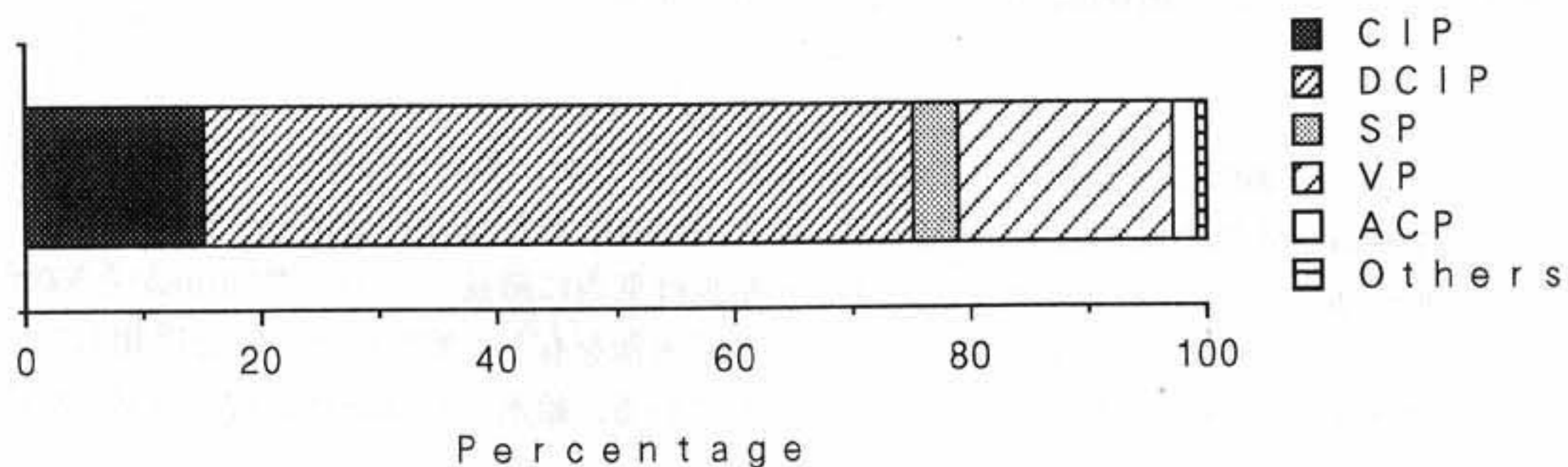


図8-2-4 西宮市における管種別敷設延長の割合

(3) 芦屋市

供給能力は $50,610\text{m}^3/\text{day}$ であり、その内の $10,670\text{m}^3/\text{day}$ を自己水源で賄っているが、残りの $39,940\text{m}^3/\text{day}$ を阪神水道企業団から受水している。給水人口は86,640人、1日平均給水量は $33,107\text{m}^3/\text{day}$ である。配水管の延長距離は約183kmであり、管種別の敷設延長距離の割合は図8-2-3に示すとおりである。

(4) 西宮市

供給能力は $294,038\text{m}^3/\text{day}$ であり、その内の $120,550\text{m}^3/\text{day}$ を自己水源で賄っているが、残りは、 $153,488\text{m}^3/\text{day}$ を阪神水道企業団から、また $20,000\text{m}^3/\text{day}$ を兵庫県から受水している。給水人口は422,335人、1日平均給水量は $169,953\text{m}^3/\text{day}$ である。配水管の延長距離は約1,000kmであり、管種別の敷設延長距離の割合は図8-2-4に示すとおりである。DCIPが約60%を占めているが、石綿セメント管（ACP）がまだ約2%残っている。

8. 2. 2 調査方法と調査区域

地震発生直後、直ちに現地に入り調査活動を開始した。しかし、被害地域が広範囲に亘ること、道路崩壊などによる交通渋滞などから復旧作業が捗らない状況が続いたので、関係機関へのヒアリングは当分の間見合わせ、現場での被災状況の把握に務めるとともに、関係機関から提供される資料の収集を行った。全域で通水が可能になった後に、神戸市役所水道局において被害状況に関するヒアリングと関連資料の収集を行った。調査区域は神戸市のみではなく、隣接する芦屋市、西宮市も含まれるので、今後ヒアリングと関連資料の収集を行う予定である。

8. 2. 3 被害の概要

(1) 阪神水道企業団

導水管、送水管、配水管合わせて120箇所被害が生じた。ただし、道路崩壊のように管路が連続して被害を受けている箇所については1箇所の被害としている。

導水管の被害としては、神崎川の左・右岸の軟弱地盤でφ1,200mmのヒューム管（HP）が23箇所に亘り継手で引き抜けた。送水管の被害としては、甲東送水路のφ1,500mmのDCIPのメカニカル継手5箇所が活断層付近で引き抜けた。また、西宮送水路のφ1,200mmのCIPのメカニカル継手も活断層付近で1箇所引き抜けた。芦部谷送水路においては、φ2,100mmの水管橋が橋台の変位によって継手部で破損した。

これらの被害を管種別にまとめたものが図8-2-5、8-2-6である。図8-2-6は、水道統計資料に示されている平成6年3月現在のそれぞれの管路延長で被害数を除し、敷設延長1kmあたりの被害箇所数を被害率と定義し、整理したものである。同図によれば、被害数、被害率ともにCIPが大きい値を示しているが、これは主に印籠継手、メカニカル継手の引き抜けによるものである。図8-2-7、8-2-8は同様に管径別に示したものである。全体として見ると、管径が小さいほど被害率の高いことがわかる。

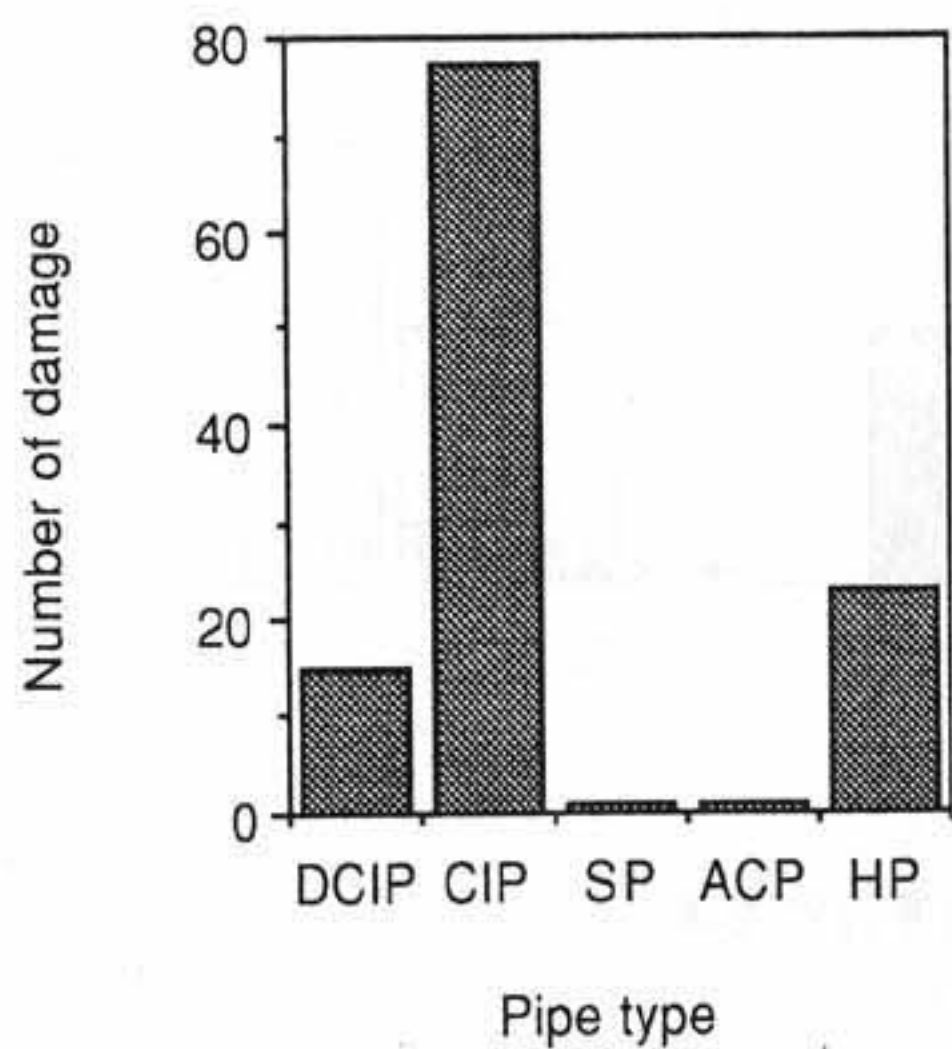


図8-2-5 阪神水道企業団における管種別被害数

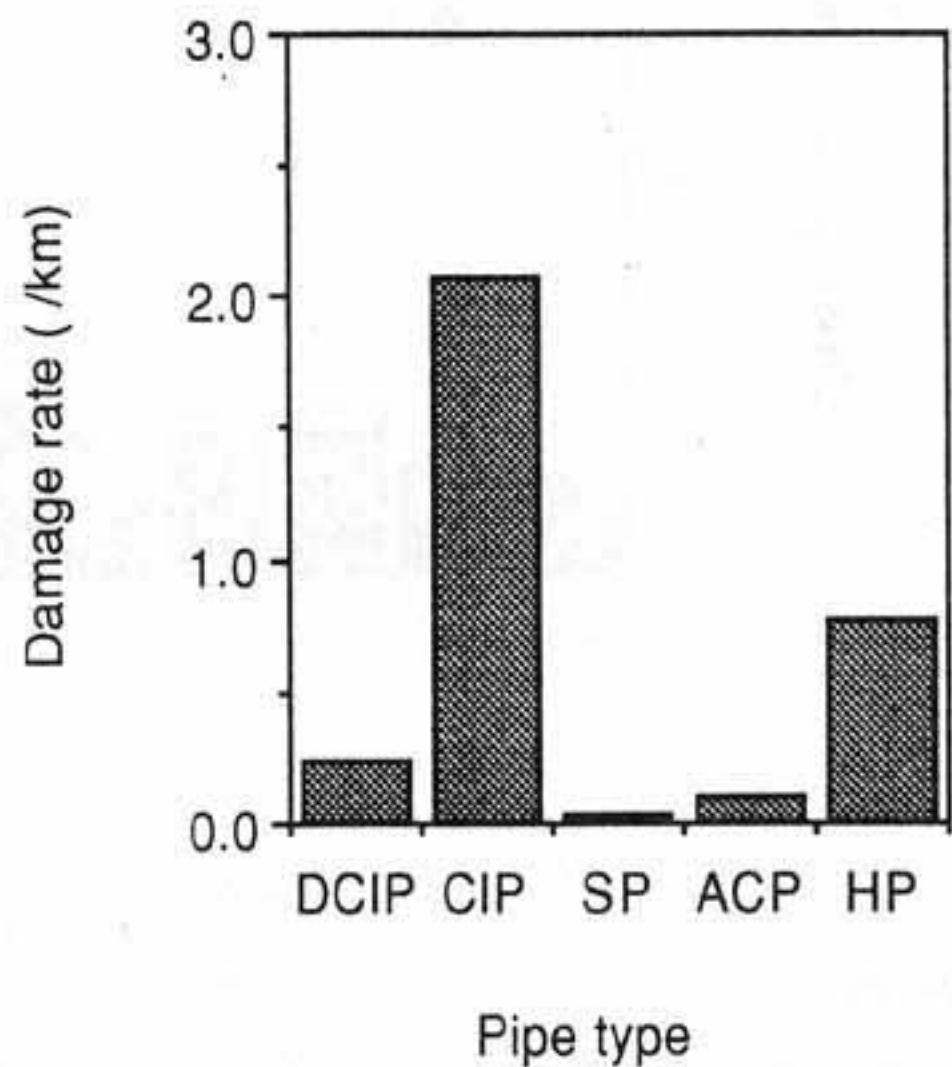


図8-2-6 阪神水道企業団における管種別被害率

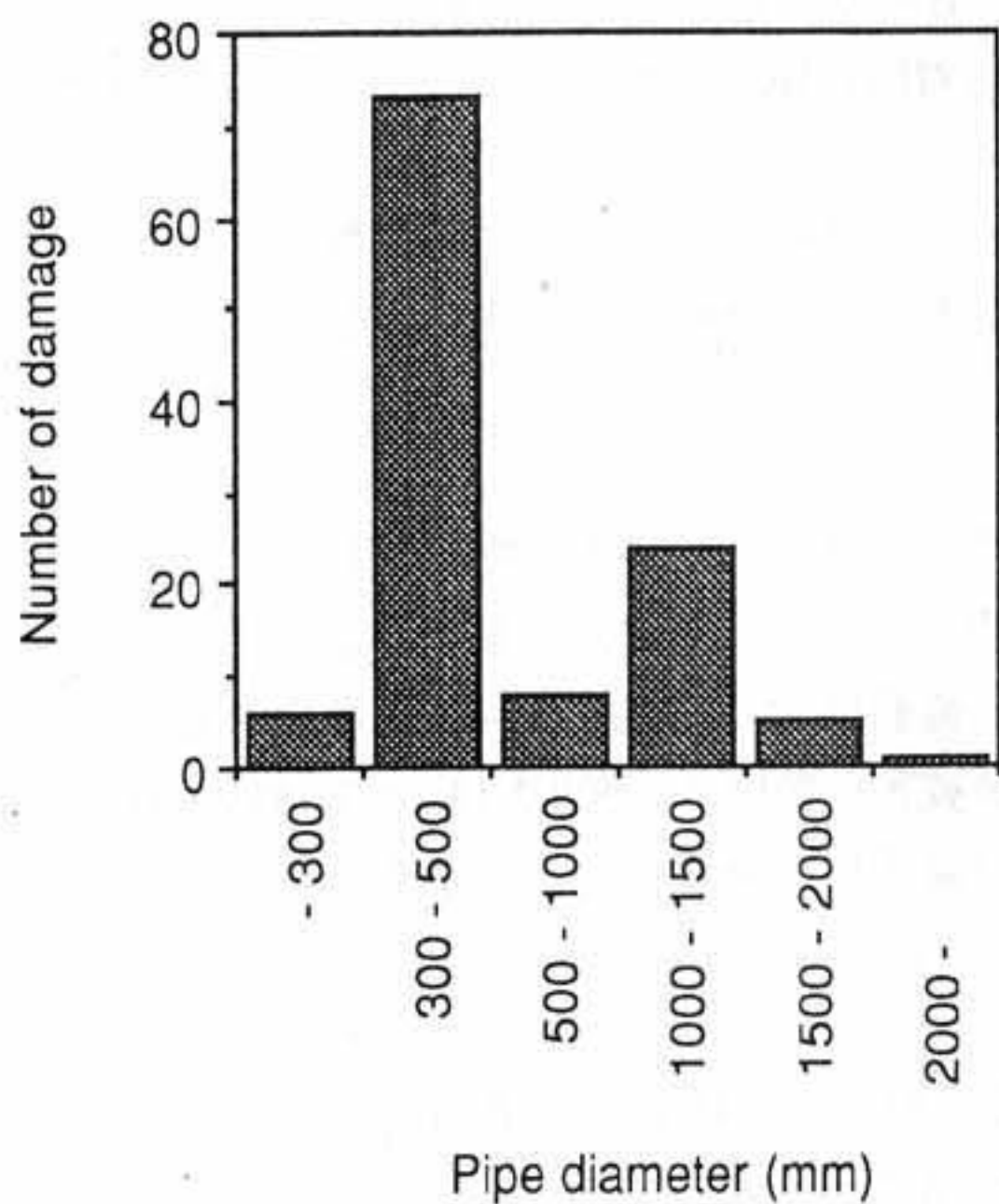


図8-2-7 阪神水道企業団における管径別被害数

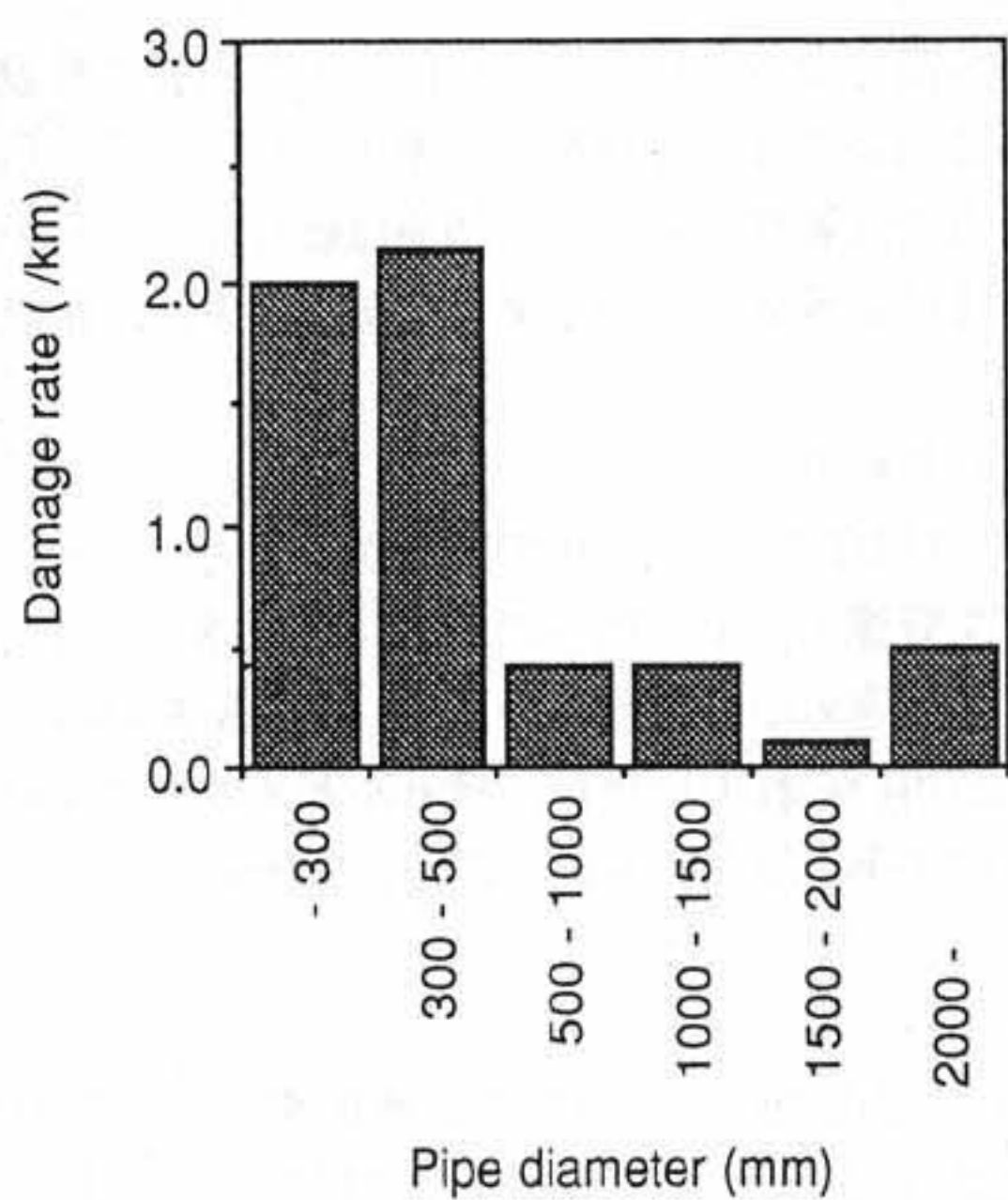


図8-2-8 阪神水道企業団における管径別被害率

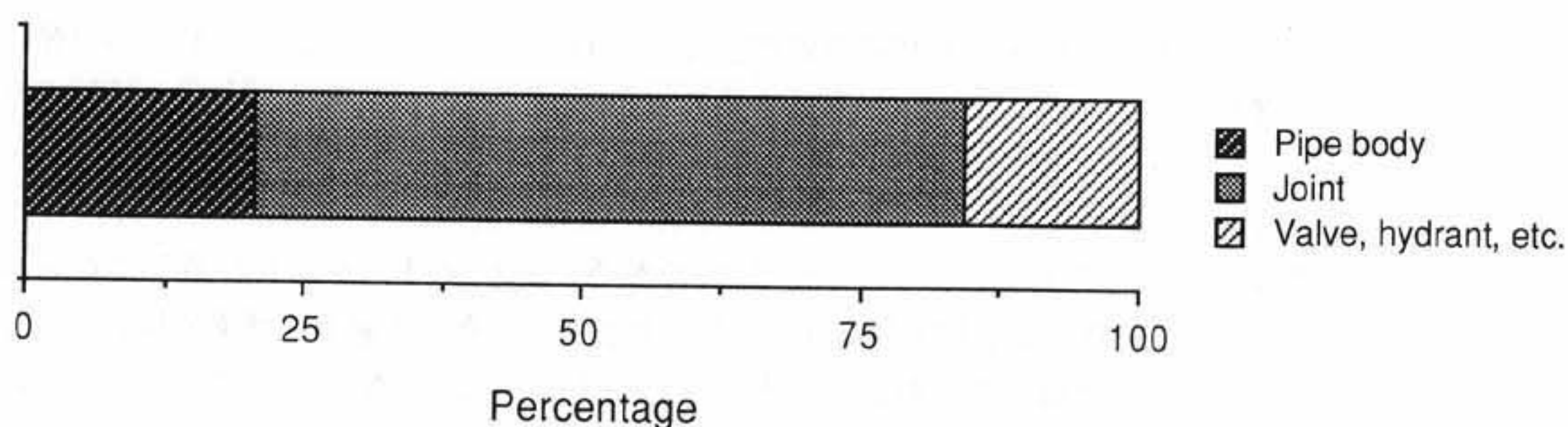


図8-2-9 神戸市における被害形態の割合

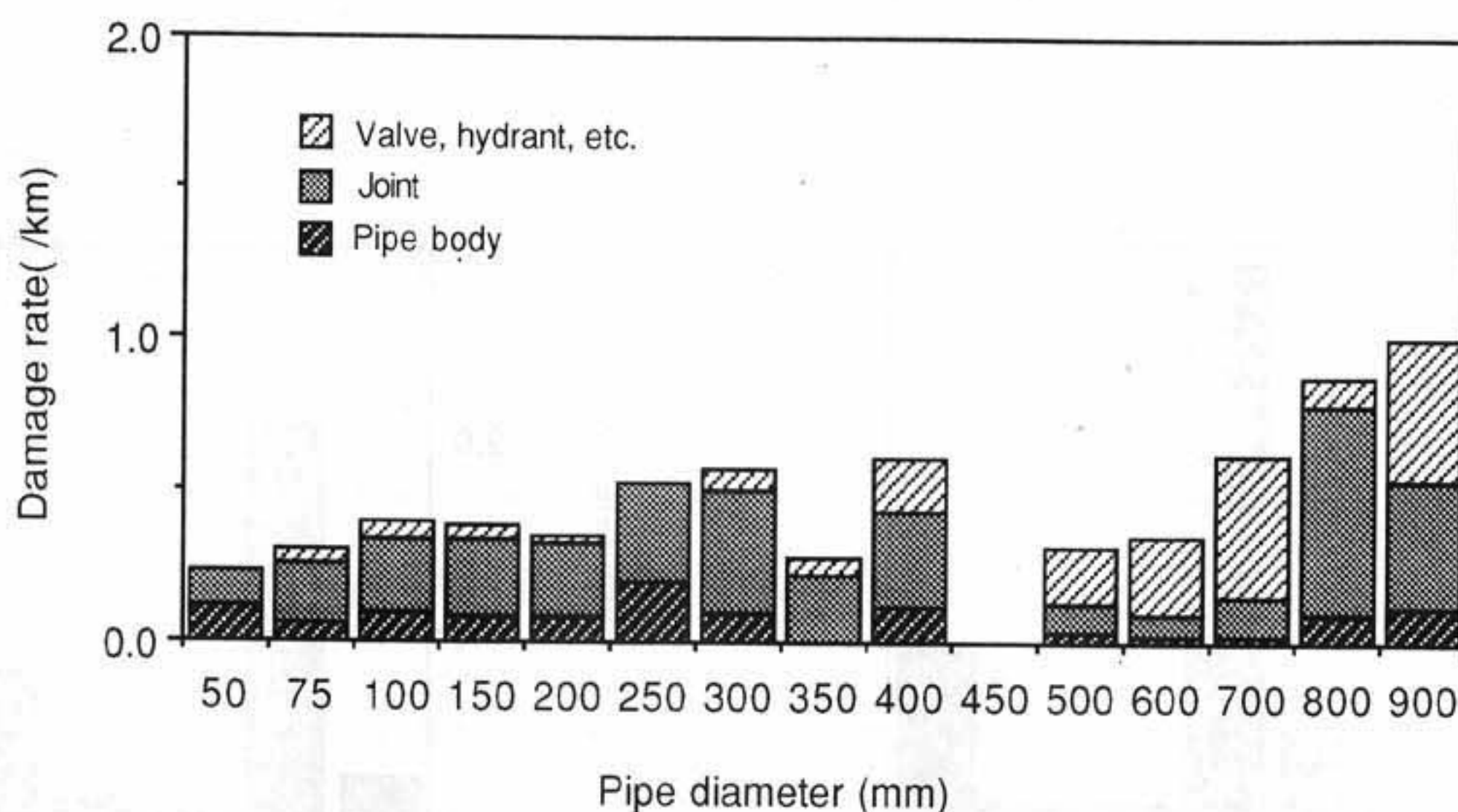


図8-2-10 神戸市における管径別被害率

(2) 神戸市

4月末日までにまとめられた各区の管径別の被害数、被害率を表8-2-1に示す。神戸市水道局では、被害形態を管体部の被害、継手部の被害、弁や消火栓、その他の属部の被害の3つに分類し整理している。表8-2-1をまとめると、神戸市全体の被害形態の割合は図8-2-9のようになる。すなわち、全体の約64%が継手部の被害で、約20%が管体部の被害となっており、継手部の被害が多いことが特徴的である。

図8-2-10は、これらの被害を管径別に被害率として示したものである。同図によれば、大口径管の属部の被害率が高くなっている。これは、大口径管の敷設延長が相対的に短いためであるが、空気弁などの属部の耐震性については、今後検討を要するものと考えられる。

現時点では管種と被害との関係は統計的に明らかではないが、全体的にDCIPのメカニカル継手における引き抜けが目立っているようである。また、耐震継手の引き抜けは全く報告されていない。

(3) 芦屋市

2月末日現在で、340箇所被害が確認されている。その内の112箇所が属部の被害である。管体、継手部の被害を管種別に示したものが図8-2-11、8-2-12である。塩化ビニル管(VP)の被害率が最も大きい。DCIPの被害も小さいとはいえない。芦屋浜の埋立地では、直管部では耐震継手が、異形管部ではメカニカル継手が用いられていたが、ほとんどメカニカル継手のみが被害を受けた。図8-2-13、8-2-14は、管径別に被害数、被害率を示したものである。200mm以下の小口径管の被害率の高いことがわかる。

(4) 西宮市

2月末日現在において資料の比較的整っている市北西地域、中央南部地域、中央南東部地域の配水管の被害総数は530箇所である。これを管種別に表すと、図8-2-15、8-2-16のようである。図8-2-15ではACPの被害箇所数が少ないが、敷設延長距離が短いので図8-2-16に示すように被害率で整理すると、ACPの被害率が極めて高い値となっている。これはACPが老朽化しており、強度も低いためと考えられる。図8-2-17、8-2-18は、管径別に被害数、被害率を示している。管径が小さくなるほど被害数が増えることがわかる。

表8-2-1 神戸市における行政区・被害形態別の被害数、被害率

(4月末現在)

口径	東 灘 区		灘 区(制塩)		中 央 区		兵 庫 区		長 田 区		須 磨 区		垂 水 区		西 区		北 区		合 計	
	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率	事故件数	事故率
	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長	A B C	管延長
50	0件	0.00	1件	0.34	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	3件	0.41	2件	0.12	9件	0.69	15件	0.24
	0 0 0	2.576	1 0 0	2.984	0 0 0	0.221	0 0 0	5.864	0 0 0	4.316	0 0 0	6.654	0 3 0	7.368	0 2 0	16.843	6 3 0	13.027	7 8 0	63.143
75	11件	0.44	5件	0.77	0件	0.00	1件	0.22	3件	0.45	6件	0.47	8件	0.23	6件	0.20	9件	0.24	49件	0.30
	4 5 2	24.986	1 1 3	6.464	0 0 0	6.047	0 0 1	4.580	2 1 0	6.734	0 6 0	12.719	0 8 0	35.253	1 5 0	29.588	1 7 1	37.384	9 33 7	163.755
100	59件	1.00	29件	0.73	29件	1.33	35件	1.29	63件	1.38	29件	0.33	41件	0.33	12件	0.07	16件	0.07	313件	0.40
	18 24 17	58.848	8 17 4	39.953	16 11 2	21.770	6 26 3	27.035	15 42 6	45.552	2 21 6	88.133	4 33 4	122.724	1 8 3	165.443	3 11 2	214.754	73 193 47	784.212
125	0件	0.00	—件	—	1件	0.91	1件	1.64	0件	0.00	—件	—	0件	0.00	—件	—	0件	0.00	2件	0.23
	0 0 0	1.293	—	—	1 0 0	1.905	1 0 0	609	0 0 0	3.956	—	—	0 0 0	150	—	—	0 0 0	697	2 0 0	8.610
150	177件	1.04	59件	0.63	72件	0.62	80件	0.80	67件	0.69	20件	0.16	39件	0.20	15件	0.06	34件	0.12	563件	0.39
	53 105 19	170.283	10 45 4	93.117	25 38 9	115.615	9 64 7	99.939	9 51 7	96.697	4 12 4	126.732	4 29 6	196.042	0 7 8	254.437	3 27 4	288.623	117 378 68	1,441.485
200	55件	0.71	45件	1.01	69件	1.00	18件	0.46	36件	0.92	10件	0.15	16件	0.18	6件	0.04	8件	0.05	263件	0.35
	21 32 2	77.639	14 29 2	44.368	16 50 3	68.940	3 14 1	39.308	4 27 5	39.223	0 8 2	68.317	1 14 1	89.241	1 2 3	166.593	2 5 1	147.990	62 181 20	741.619
250	5件	0.69	7件	1.09	4件	2.04	0件	0.00	1件	0.08	0件	0.00	2件	0.36	0件	0.00	2件	0.53	21件	0.53
	2 3 0	7.254	2 5 0	6.432	2 2 0	1.965	0 0 0	911	0 1 0	11.878	0 0 0	1.986	2 0 0	5.495	0 0 0	11	0 2 0	3.774	8 3 0	39.706
300	48件	0.84	18件	0.99	92件	1.78	19件	0.70	19件	0.68	10件	0.24	7件	0.15	2件	0.03	7件	0.13	222件	0.58
	10 32 6	56.969	4 12 2	18.209	15 67 10	51.780	4 13 2	27.269	1 15 3	27.921	1 8 1	41.197	1 4 2	47.696	0 0 2	61.148	0 6 1	53.565	36 157 29	385.774
350	0件	0.00	0件	0.00	1件	15.87	0件	0.00	2件	0.33	0件	0.00	0件	0.00	—件	—	2件	0.95	5件	0.27
	0 0 0	24	0 0 0	53	0 1 0	63	0 0 0	91	0 1 1	5.979	0 0 0	5.084	0 0 0	4.791	—	—	0 2 0	2.110	0 4 1	18.195
400	7件	0.93	10件	50.25	10件	1.15	3件	0.73	5件	4.63	7件	0.68	3件	0.36	1件	0.05	2件	0.15	48件	0.60
	3 3 1	7.551	4 5 1	199	1 8 1	8.720	0 2 1	4.090	0 1 4	3.072	1 4 2	10.358	0 2 1	8.326	0 0 1	21.564	0 0 2	13.471	9 25 14	79.700
450	—件	—	—件	—	—件	—	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	—件	—	0件	0.00	0件	0.00
	—	—	—	—	—	—	0 0 0	105	0 0 0	371	0 0 0	2.468	0 0 0	102	—	—	0 0 0	28	0 0 0	3.082
500	7件	0.70	3件	0.79	1件	0.16	2件	0.19	7件	0.67	1件	0.11	1件	0.11	5件	0.22	1件	0.15	28件	0.32
	2 0 5	10.058	0 1 2	3.812	0 0 1	6.337	0 0 2	10.639	0 5 2	10.376	0 1 0	9.387	0 0 1	8.856	1 0 4	22.481	0 1 0	6.512	3 8 17	88.450
600	0件	0.00	0件	0.00	6件	1.51	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	5件	0.73	3件	0.25	2件	0.21	16件	0.35
	0 0 0	2.044	0 0 0	928	1 3 2	3.986	0 0 0	3.515	0 0 0	1.666	0 0 0	4.761	0 0 5	6.869	0 0 3	11.798	0 0 2	9.657	1 3 12	45.224
700	6件	0.60	12件	4.13	3件	0.74	0件	0.00	0件	0.00	0件	0.00	1件	0.06	6件	1.62	1件	1.04	29件	0.62
	0 2 4	9.992	1 0 11	2.906	0 2 1	4.070	0 0 0	2.297	0 0 0	5.312	0 0 0	422	0 1 0	17.188	0 1 5	3.707	0 0 1	963	1 6 22	46.857
800	0件	0.00	1件	2.35	5件	1.85	2件	1.96	0件	0.00	0件	0.00	1件	1.09	0件	0.00	—件	—	9件	0.88
	0 0 0	186	0 0 1	426	0 5 0	2.708	0 2 0	1.023	0 0 0	725	0 0 0	41	1 0 0	919	0 0 0	4.236	—	—	1 7 1	10.264
900	5件	0.86	2件	1.33	10件	1.66	2件	3.25	4件	1.10	0件	0.00	3件	0.69	0件	0.00	—件	—	26件	0.99
	0 2 3	5.800	0 0 2	1.507	2 6 2	6.031	1 1 0	615	0 2 2	3.632	0 0 0	1.810	0 0 3	4.345	0 0 0	2.391	—	—	3 11 12	26.131
1000	—件	—	0件	0.00	1件	2.33	—件	—	—件	—	0件	0.00	—件	—	—件	—	—件	—	1件	2.01
	—	—	0 0 0	43	0 0 1	430	—	—	—	—	0 0 0	25	—	—	—	—	—	—	0 0 1	498
合計	380件	0.87	192件	0.86	304件	1.00	163件	0.72	207件	0.77	83件	0.22	130件	0.23	58件	0.08	93件	0.12	1,610件	0.41
	113 208 59	435.523	45 115 32	223.750	79 193 32	303.738	24 122 17	227.890	31 146 30	267.410	8 60 15	380.094	13 94 23	555.365	4 25 29	760.380	15 64 14	792.555	332 1027 251	3,946.705

単位：口径（mm），事故率（箇所/km），管延長（km） 被害形態：A（管体部），B（継手部），C（属具）

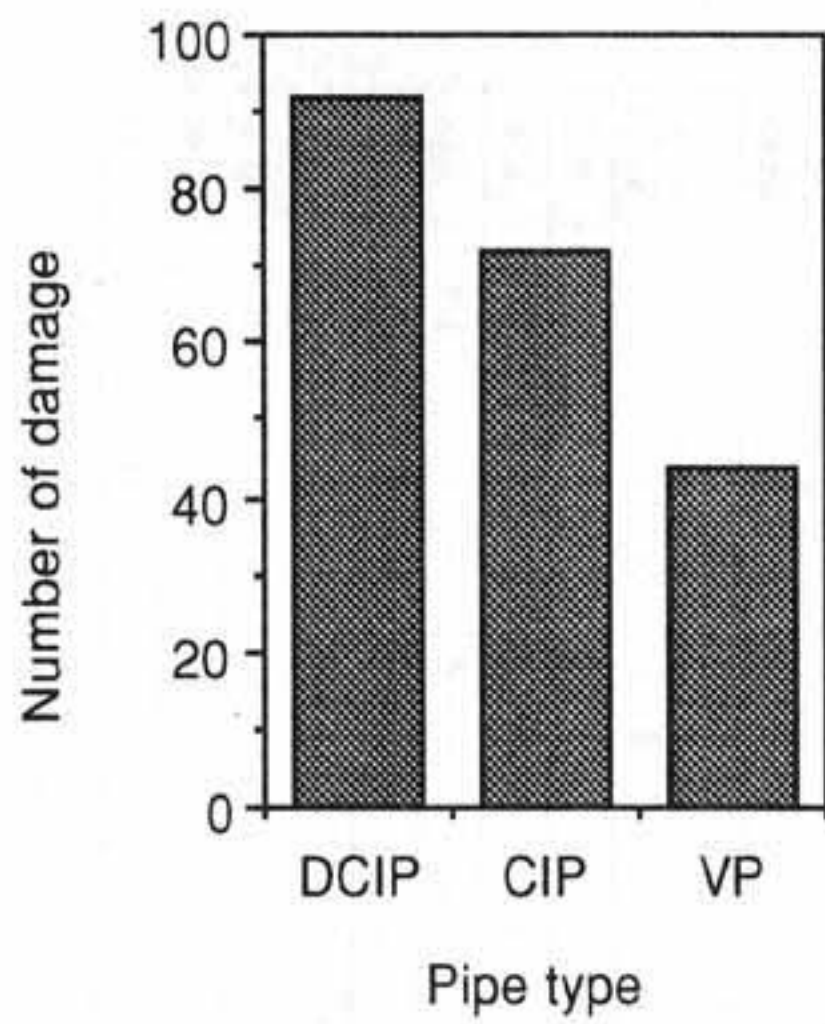


図8-2-11 芦屋市における管種別被害数

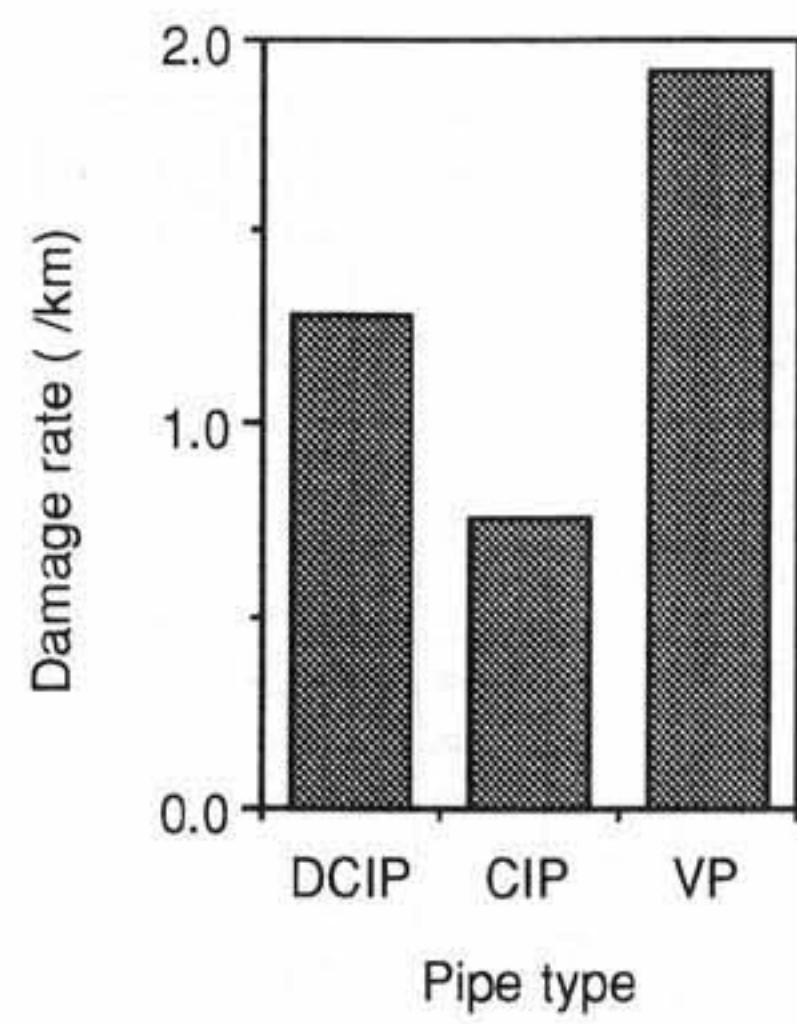


図8-2-12 芦屋市における管種別被害率

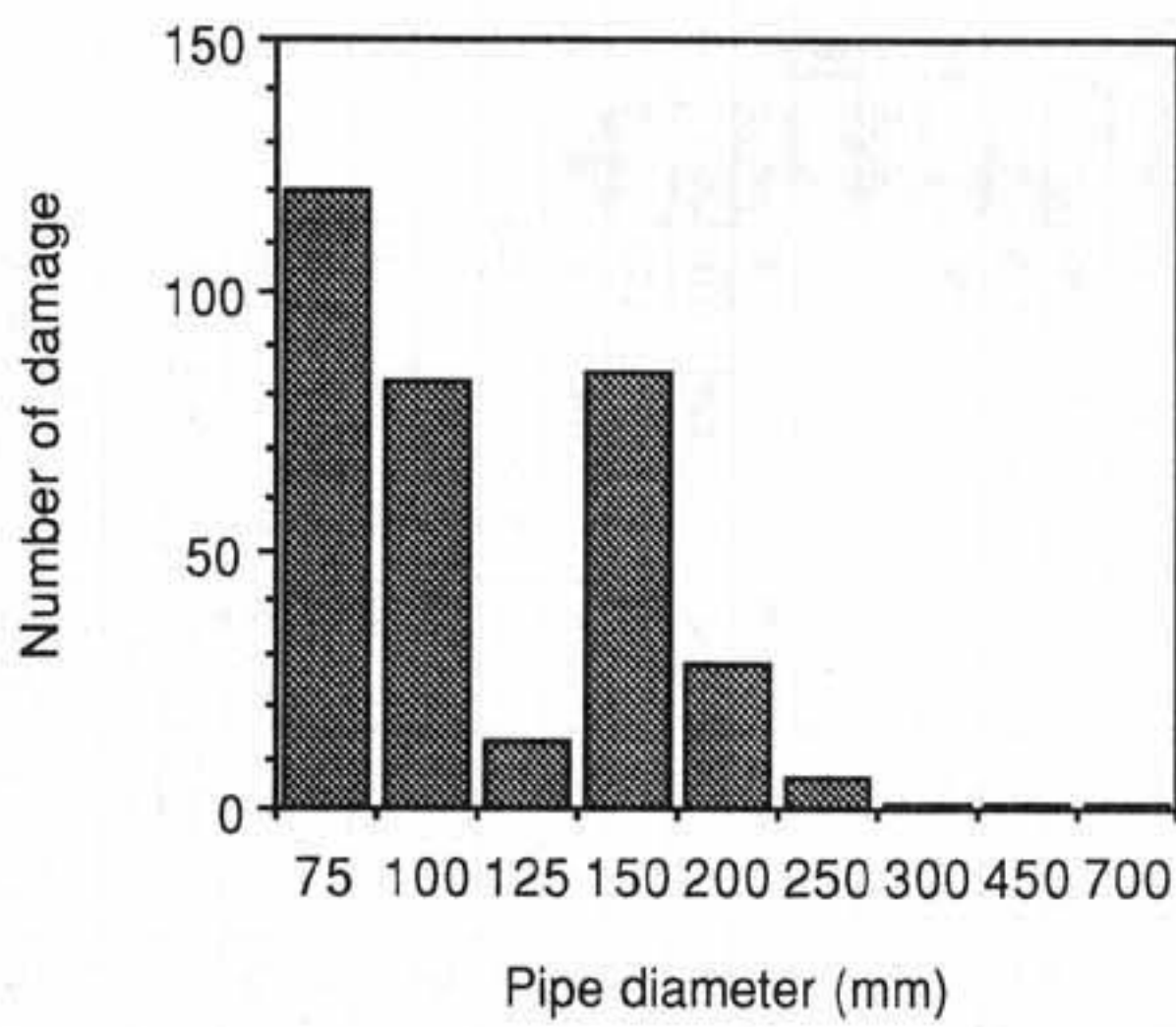


図8-2-13 芦屋市における管径別被害数

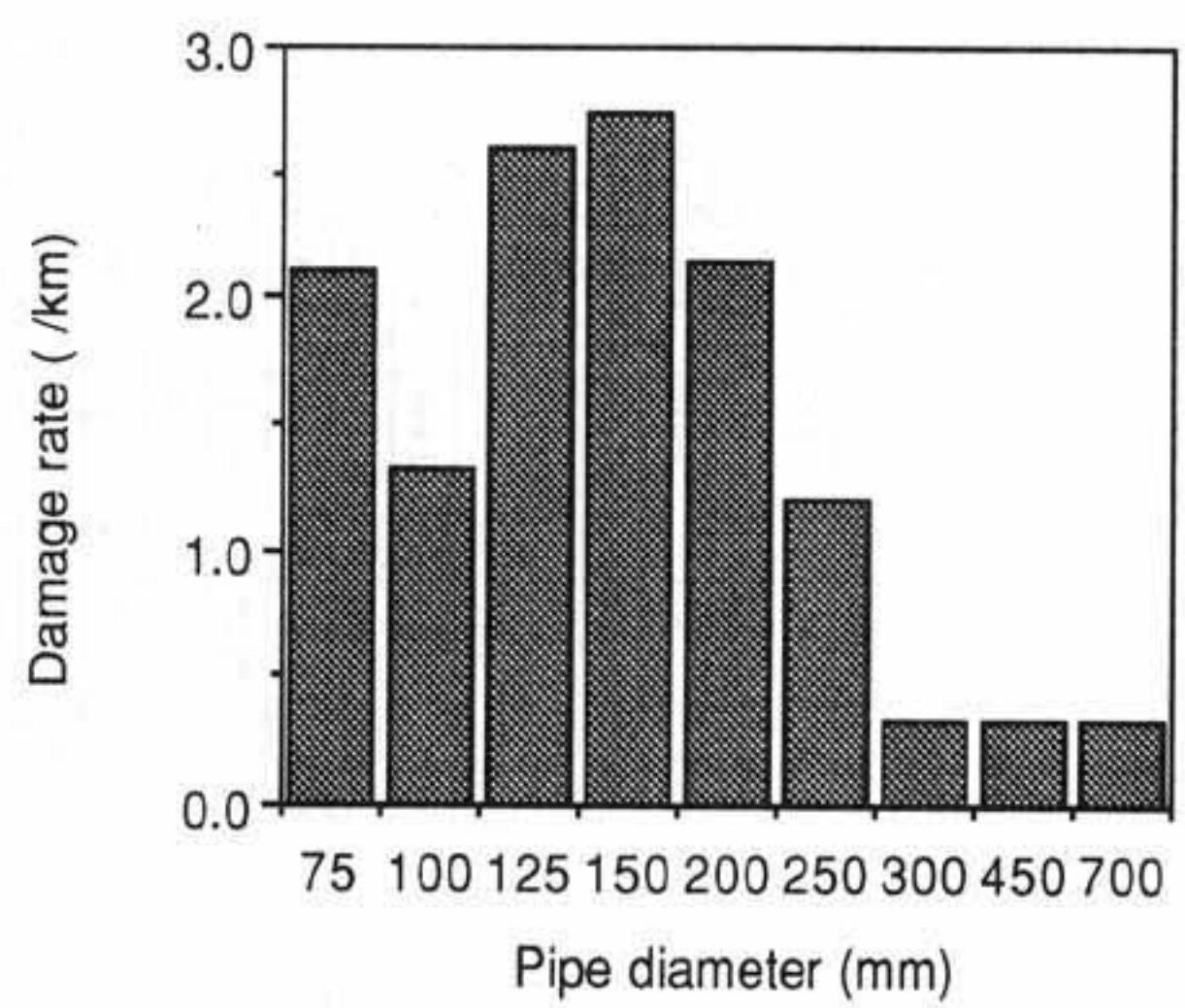


図8-2-14 芦屋市における管径別被害率

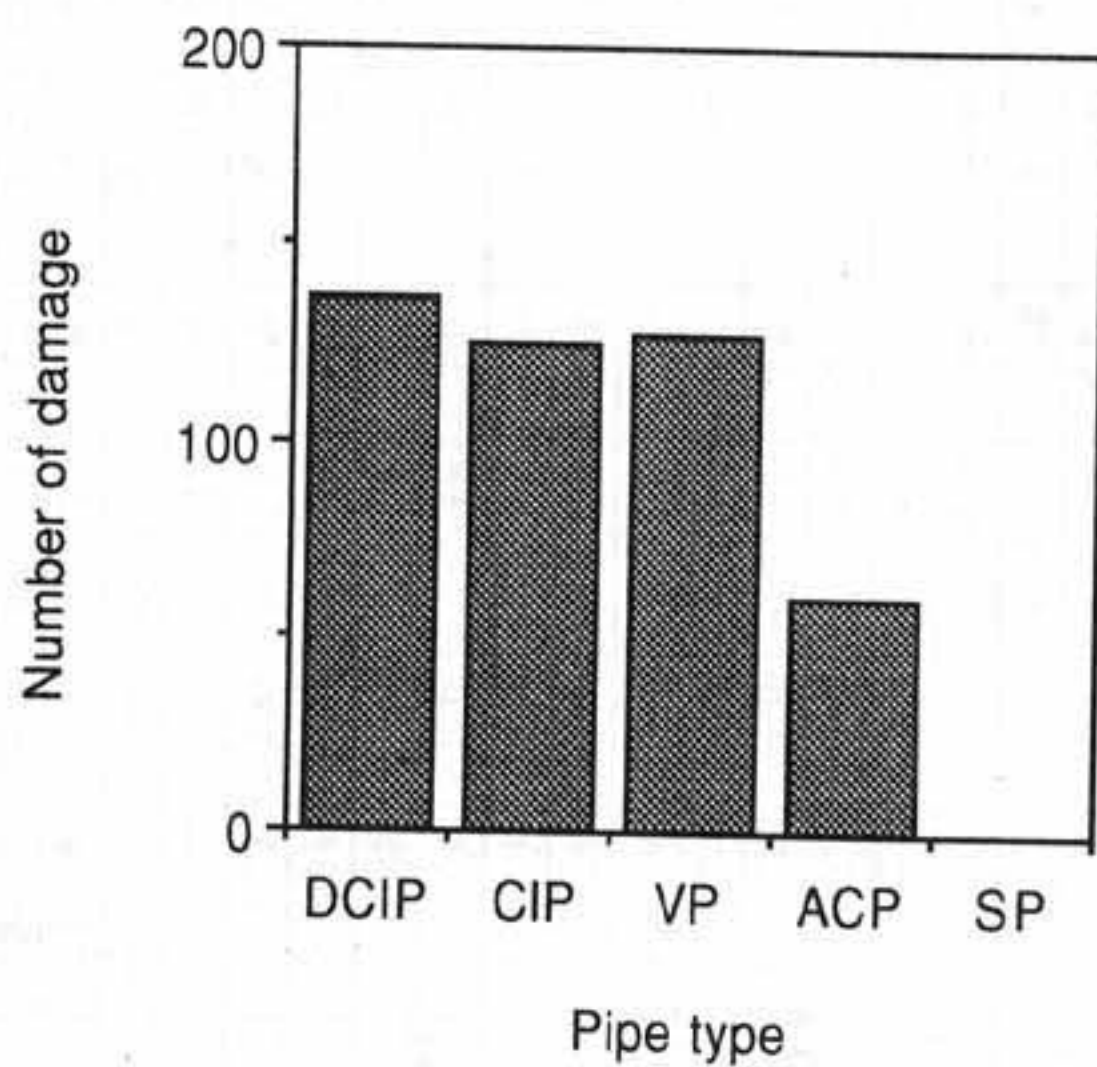


図8-2-15 西宮市における管種別被害数

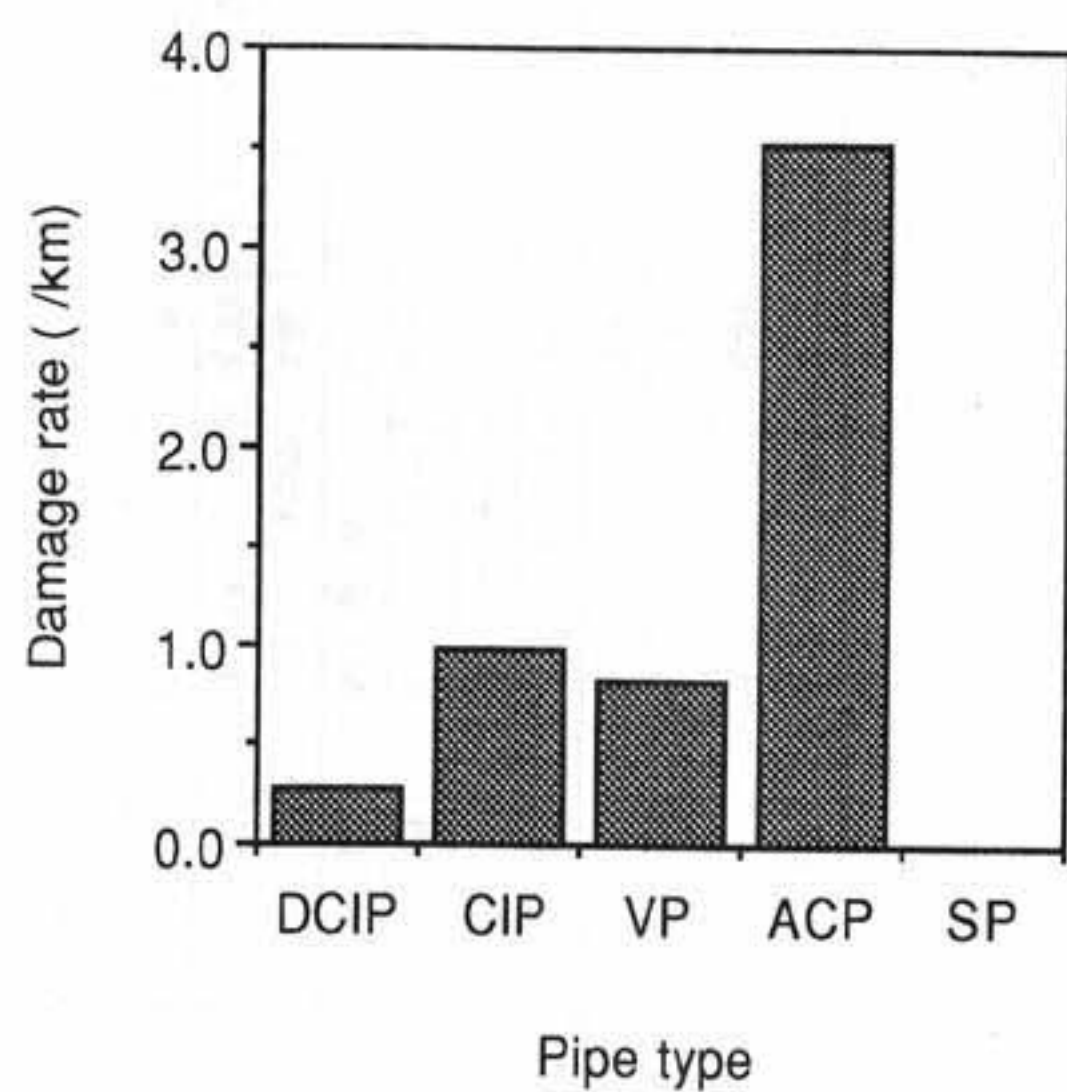


図8-2-16 西宮市における管種別被害率

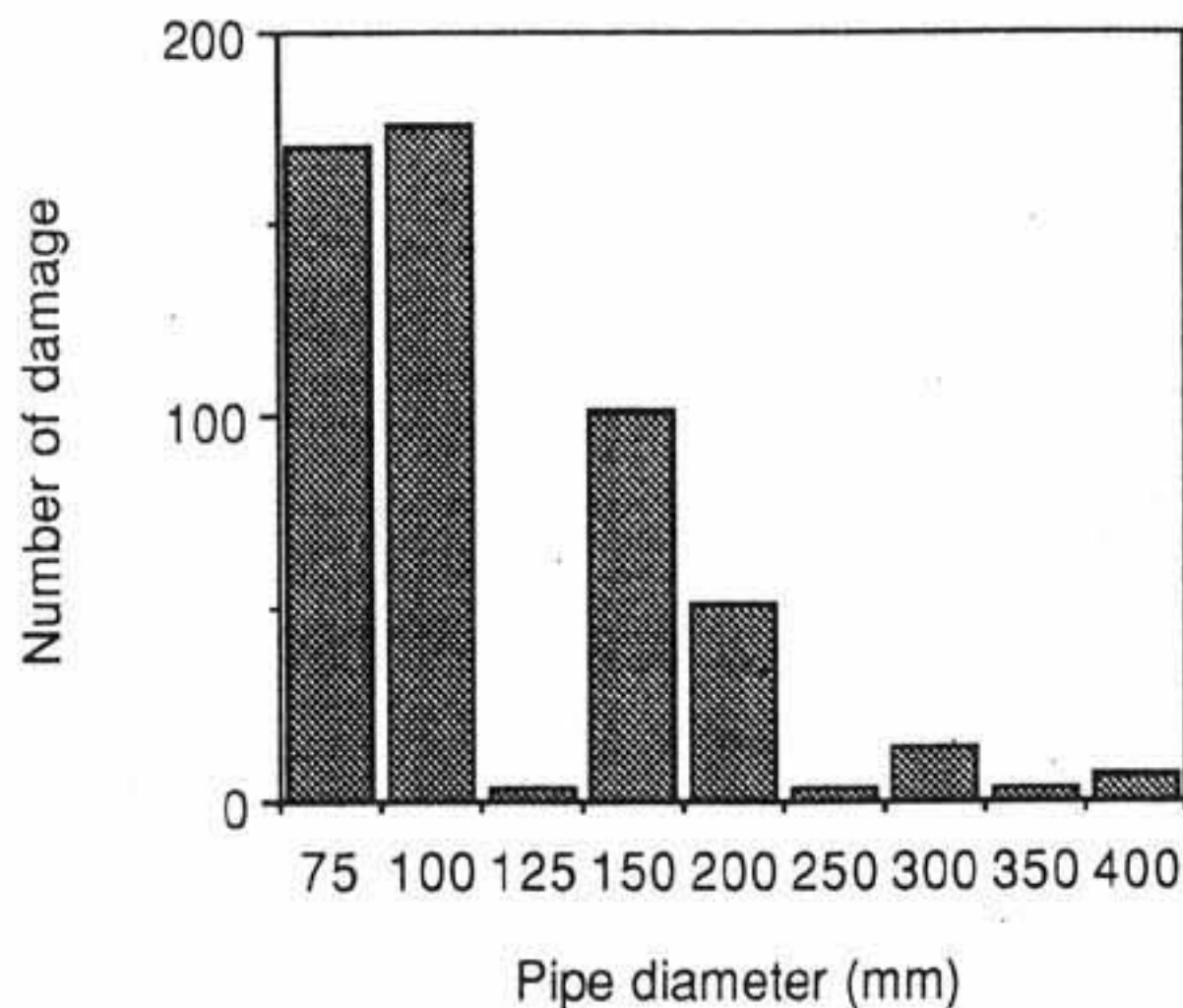


図8-2-17 西宮市における管径別被害数

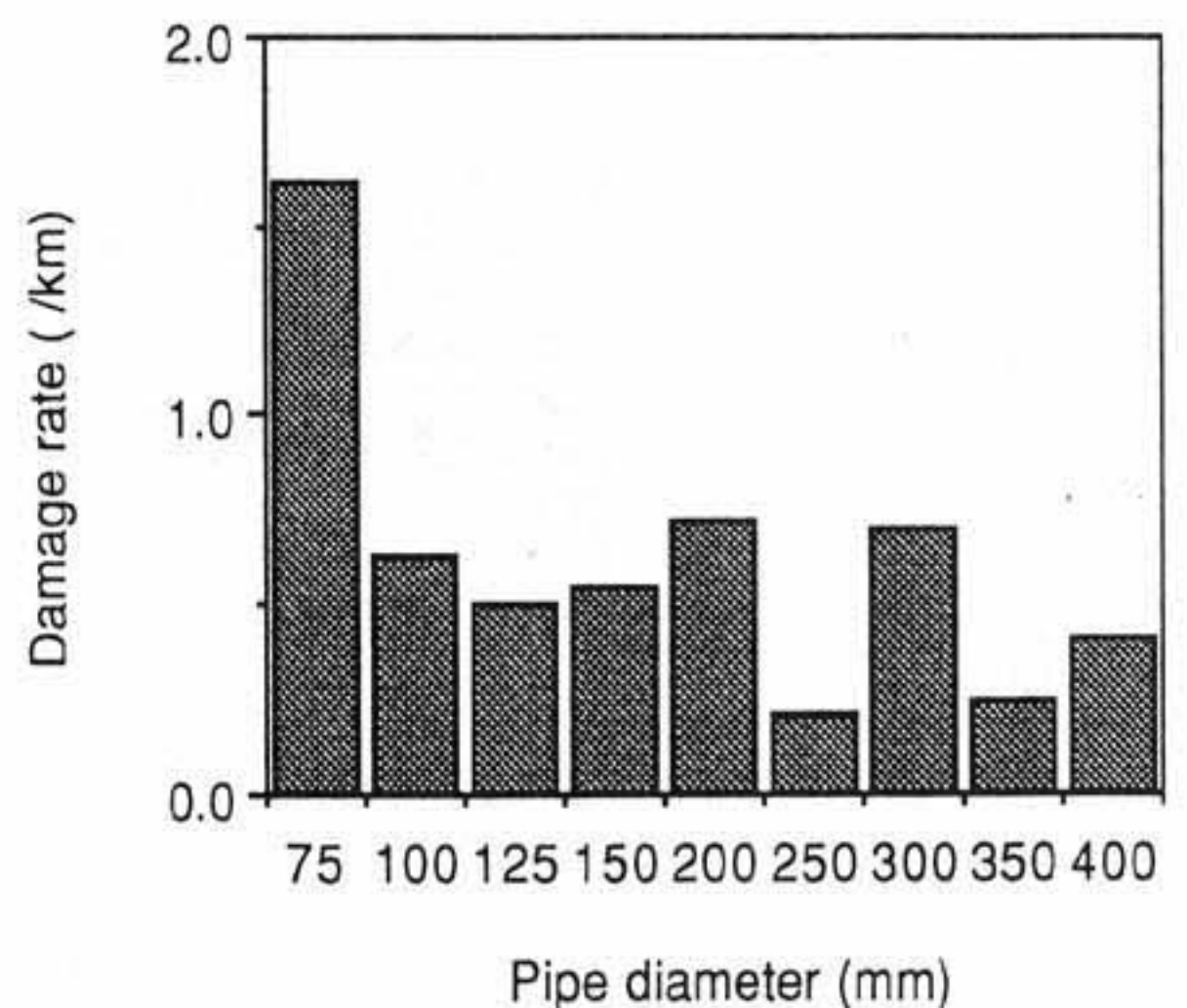


図8-2-18 西宮市における管径別被害率

8. 2. 4 被害の特徴

(1) 地質と管路被害との関係

神戸市の被害に注目し、地質と被害の関係について検討する。図8-2-19は被害の分布図と神戸市街地質図¹⁾を比較し、地質ごとの被害数を示したものである。それぞれの地質区域に敷設されている管路延長が明らかではないので定量的な考察はできないが、埋立地、沖積層での被害数が多い。また、六甲山麓の基盤岩においても少なくはない被害が生じている。これについては、活断層との関係についてさらに検討する必要がある。

それぞれの地質における被害形態の割合を示したものが図8-2-20である。いずれも継手の被害が最も多いが、埋立地、大阪層群においては特にその割合が大きくなっている。一方、基盤岩においては属部の被害の割合が大きい。基盤岩には大口径管が埋設されている割合が高いため、前述した大口径管において属部の被害が卓越していることと対応している。このような属部の被害が構造的な問題なのか、地盤あるいは活断層に関連しているものであるのか、検討を要する。

(2) 建物被害と管路被害との関係

現地調査に基づいて、建物の被害程度の分布図が図8-2-21のように示されている²⁾。ここで、レベル5とは木造住宅の倒壊率が50%以上で、コンクリート建物の倒壊の多い地域を、レベル4とは木造住宅の倒壊率が30%以上、50%未満の地域を、レベル3とは木造住宅の倒壊率が30%以下の地域を、レベル2とは木造家屋の壁に割れ目が入る程度の地域を、レベル1とはそれよりも被害程度の小さい地域をそれぞれ示している²⁾。同図と管路被害の分布図を比較し、建物の被害程度別の管路被害数を示したものが、図8-2-22である。なお、レベル1については、山側と海側に分けて整理した。ここでも、それぞれの区域に敷設されている管路延長が明らかではないので定量的な考察はできないが、レベル1の海側の被害数が最も多くなっている。これを、それぞれの区域における被害形態の割合で示したものが図8-2-23である。レベル1の海側で継手部の被害の割合が最も高くなっている。地盤の液状化に起因する継手の引き抜けと密接に関連しているものと考えられる。

(3) 人工島における管路被害

神戸港内の人工島であるポートアイランドと六甲アイランドの被害状況を比較し、検討する。両島ともに大規模な液状化が発生し、平坦部では地盤沈下、沿岸部では港湾施設の被害、橋脚の損傷など大きな被害を受けた。ポートアイランドでは神戸大橋下でφ600mmの鋼管が破断した(写真8-W-16)。また、六甲アイランドでは、六甲大橋のφ700mmの鋼管の添架管が落下した(写真8-W-13)。

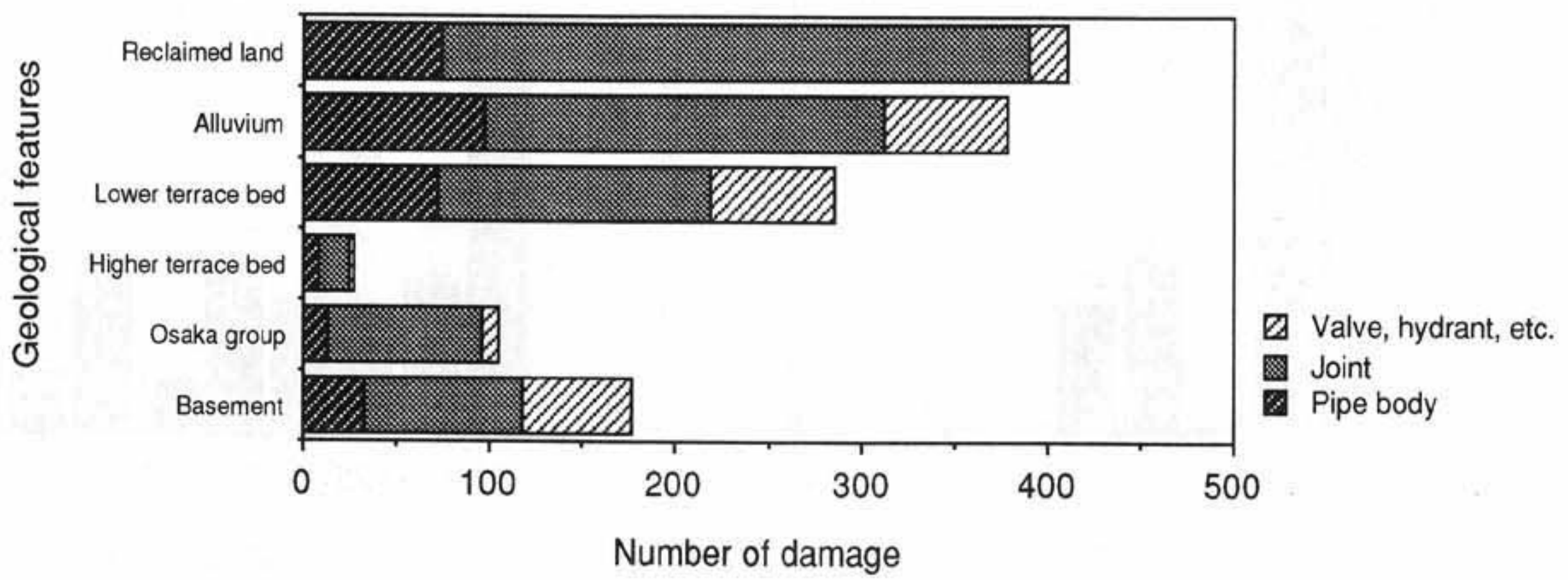


図8-2-19 神戸市における地質区分ごとの被害数

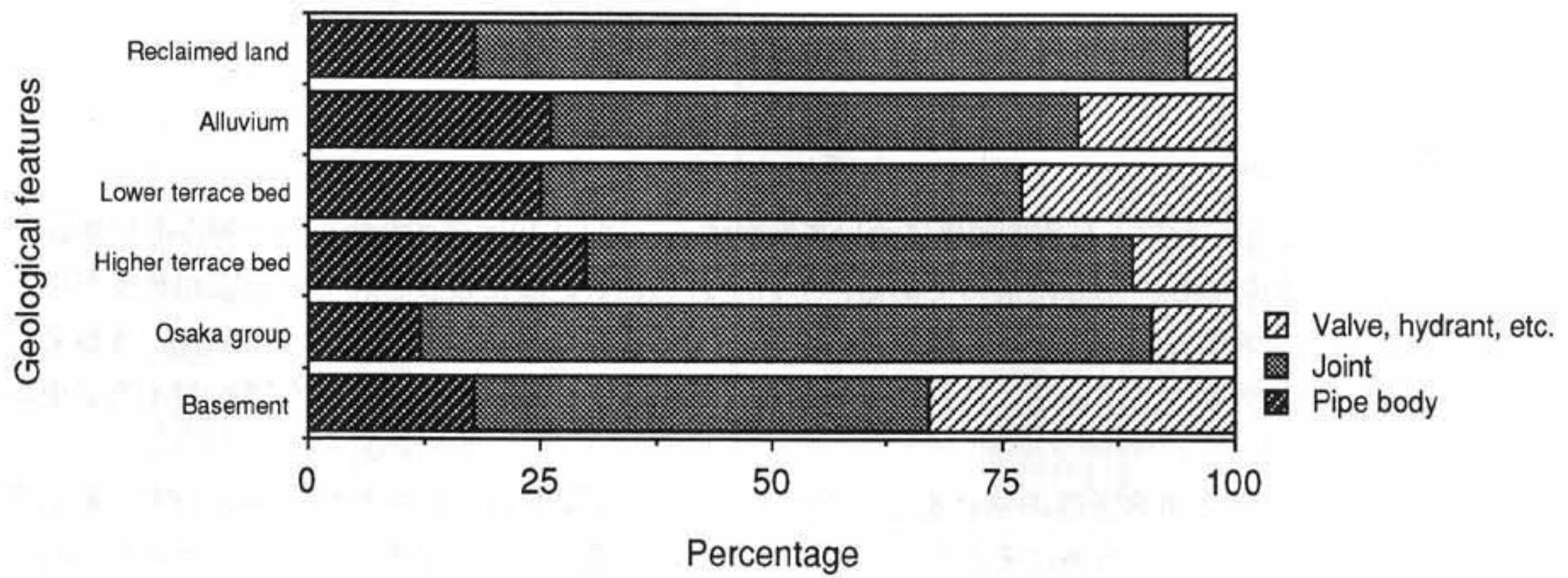


図8-2-20 神戸市における地質区分ごとの被害形態の割合

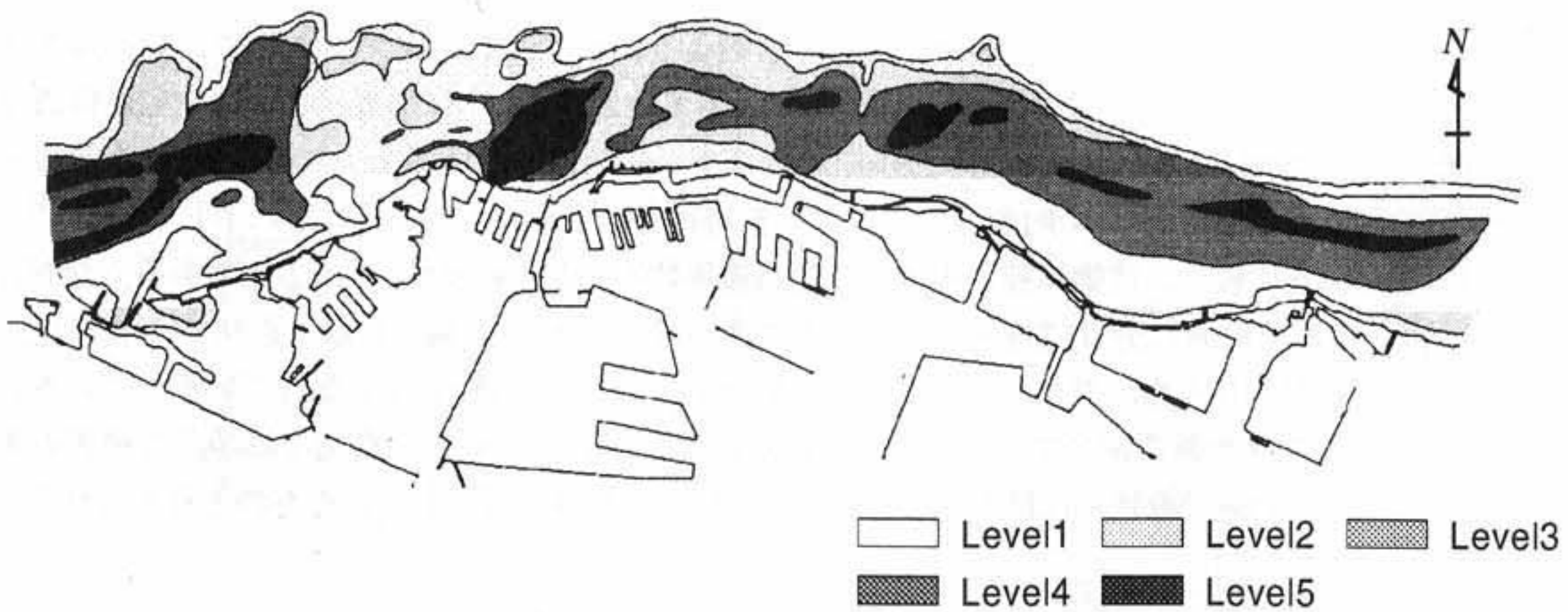


図8-2-21 神戸市における建物被害の分布

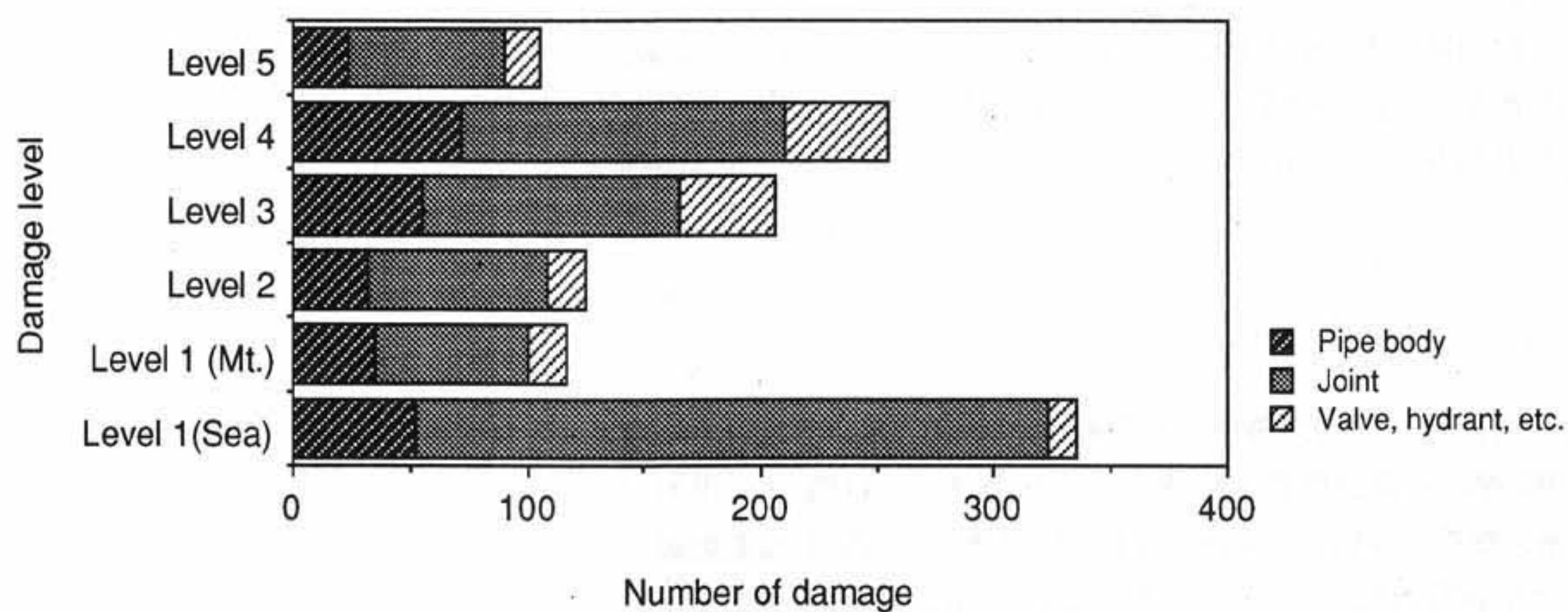


図8-2-22 神戸市における建物被害レベルごとの被害数

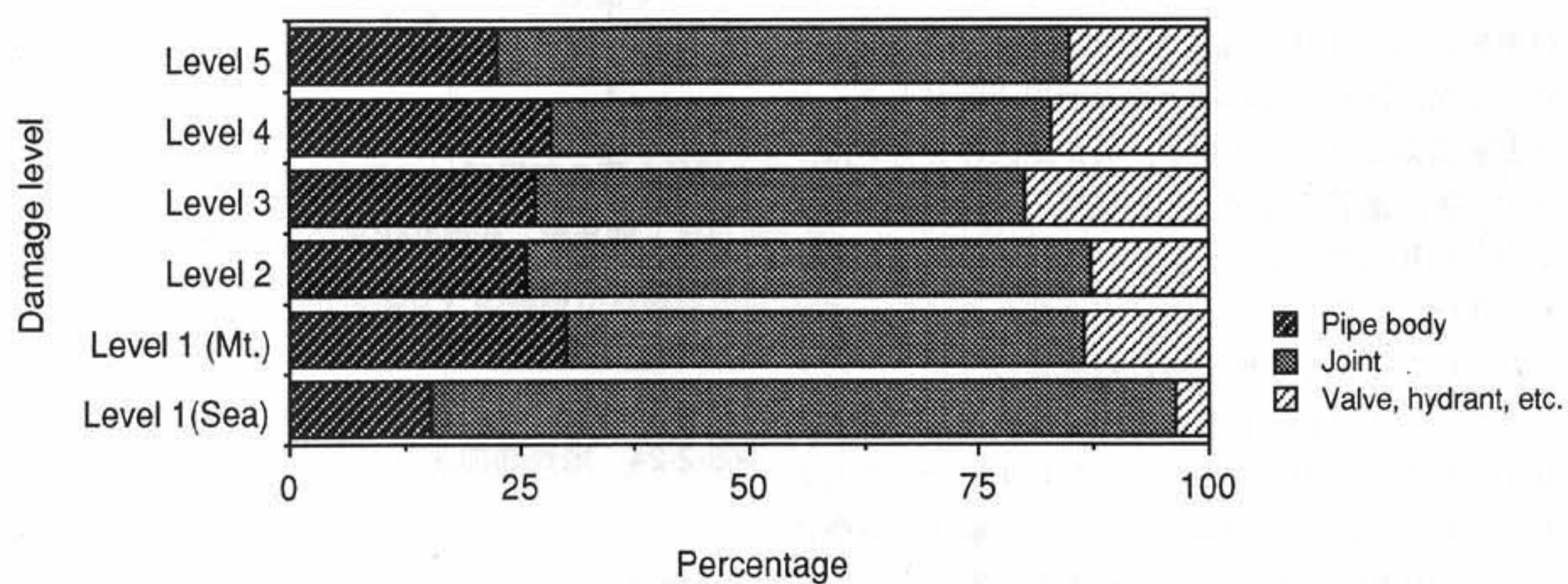


図8-2-23 神戸市における建物被害レベルごとの被害形態の割合

表8-2-2 ポートアイランドと六甲アイランドの被害率の比較

	Piping length (km)	Number of failure	Damage rate (/km)
Port island	44	43	0.98
Rokko island	47	5	0.11

人工島全体の被害数は、ポートアイランドでは管体3箇所、継手37箇所、属部3箇所の合計43箇所であるのに対して、六甲アイランドでは継手4箇所、属部1箇所の合計5箇所である。配管図からそれぞれの敷設延長を読みとるとポートアイランドでは約44km、六甲アイランドでは約47kmであるので、被害率は表8-2-2に示すように、ポートアイランドでは0.98箇所/kmであるのに対して六甲アイランドでは0.11箇所/kmとなる。このような明確な違いの原因としては、六甲アイランドの方が建設年代が新しく、管路の敷設年代も新しいこと、したがって耐震継手も多く用いられていること、ポートアイランドの方が液状化の規模が大きかったこと、などが考えられる。

8. 2. 5 まとめ

神戸市においては、敷設延長距離3,963kmに対して1,610箇所の被害が生じているので、被害率は0.41箇所/kmとなる。同様に、芦屋市では1.83箇所/km、西宮市では0.68箇所/kmとなる。これらと、これまでの被害地震における被害率を地表面加速度との関係で示したものが図8-2-24である。同図には1989年ロマブリエタ地震における各都市の上水道配水管の被害率³⁾、1994年三陸はるか沖地震における八戸市の被害率、液状化が広範囲に発生し上水道被害が拡大した1964年新潟地震における新潟市、1983年日本海中部地震における能代市の被害率もプロットされている⁴⁾。なお、阪神地区における地表面加速度を300galから800galとして示した。同図によれば、地表面加速度が大きくなるほど被害率は増大しており、阪神地区の被害率は、液状化が特に顕著ではなかった各都市の被害率の増加の傾向と調和的であるといえる。これらの地区においても液状化は発生しているが、市全域が液状化しているわけではなく、全市的にみれば地盤の良いところと悪いところが混在しており、その平均値として被害率が算出されているので、このような結果になったものと考えられる。液状化地域のみにおける被害の特徴について、今後検討を加えていく必要がある。

管種、管径と被害との関係では、ACPやVPにおける被害が多いこと、小口径管の被害が多いことなど、これまでの被害地震におけるそれと同様な傾向が見られた。また、大口径管の属部の被害については今後検討していかなければならない問題である。一方では、耐震継手の効果が顕著に示されたといえる。

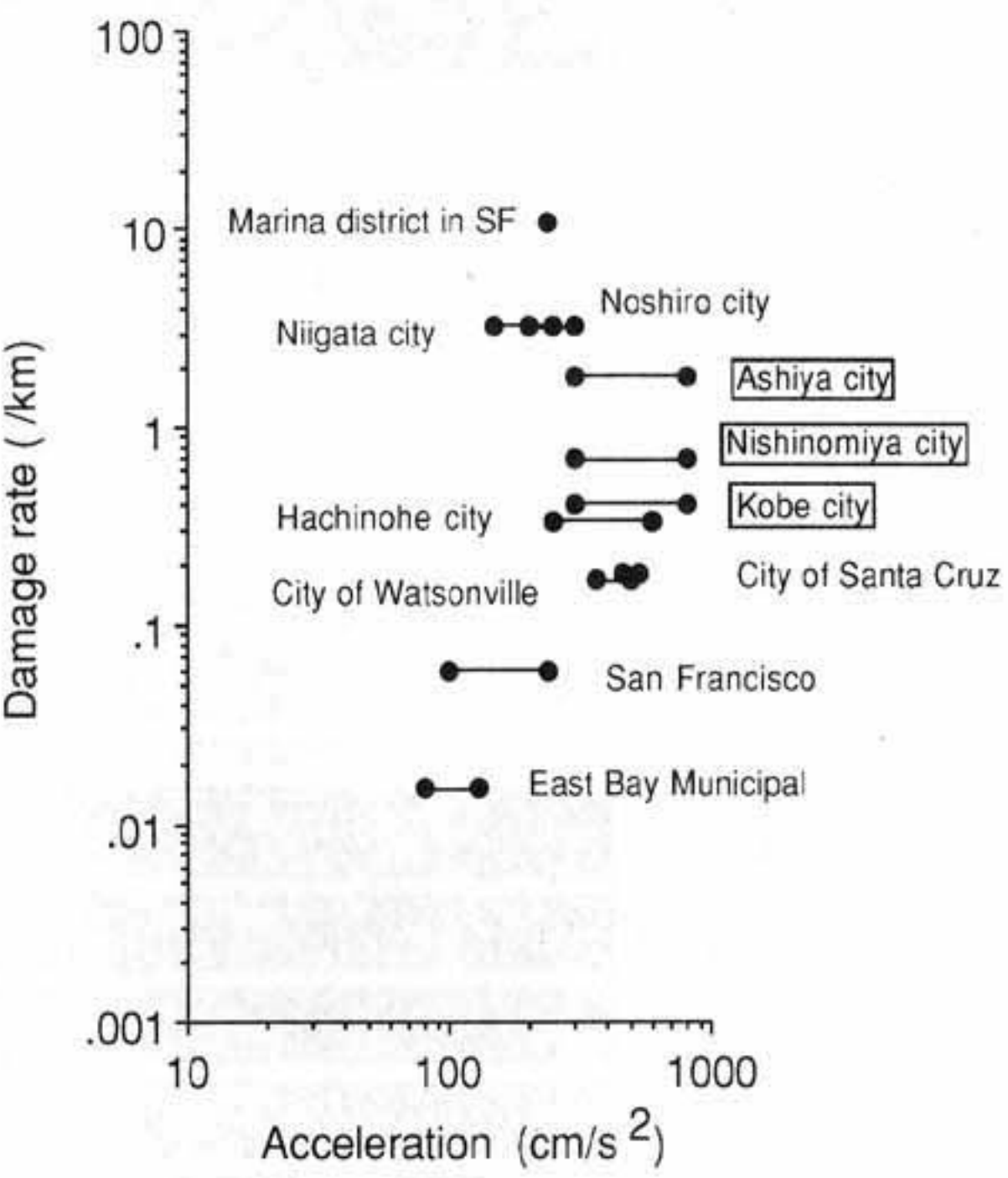


図8-2-24 地表面加速度と上水道管の被害率との関係

参考文献

1) 神戸市企画局総合調査課編：神戸市街地地質図，神戸の地盤。
2) 中央開発株式会社阪神大震災災害調査団：阪神大震災災害調査報告書（速報），平成7年1月31日。
3) Miyajima, M.: Performance of Water Supply Pipelines due to the Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989, Journal of Japan Society for Natural Disaster Science, Vol. 10, No. 1, pp. 145-157, 1991.
4) Miyajima, M. and Kitaura, M.: Earthquake Performance of Water Supply Pipelines During the Recent Earthquakes in Japan, Proc. of Pacific Conf. on Earthquake Engineering '95, Vol. 2, pp. 87-96, 1995.

8.3. 下水道施設

8.3.1 施設の概要

表8-3-1は阪神間の6都市の公共下水道施設の概要である。下水の排水方式には分流式と合流式があるが、今回の震災地域のうち神戸市・宝塚市は分流式、西宮市・芦屋市は分流式と合流式の併用、大阪市・尼崎市は合流式をそれぞれ採用している。分流式では汚水は污水管渠によって、雨水は雨水管渠と開渠(水路)によってそれぞれ排水されるのに対して、合流式では汚水・雨水が同じ管渠によって排水される。6市の管渠施設の総延長は10,834 km、処理場は29箇所、ポンプ場は181箇所である。

以下、下水道施設の概要を説明する。下水(汚水と雨水)は、各家庭に設置された私設枳と道路に設けられた公共枳から取り付け管(接続管)を通して人孔から管渠へ、または直接管渠へと導かれ、管渠内を自然流下して処理場へ集められ、処理された後、河川や海に放流される。管渠は枝線と幹線から構成される管網を形成する。下流側の幹線になるほど管径と埋設深度は大きくなり、勾配は小さくなる。取り付け管は内径100mmから200mmで、塩化ビニル管・コンクリート管・陶管が用いられる。枝線・幹線の管径は、分流式污水管では内径200mm～250mmが枝線、300mm～350mm以上(20hr以上の流域面積に対応)が幹線と呼ばれ、分流式雨水と合流式では内径250mm～900mmが枝線、1000mm～3000mmが幹線と一般に呼ばれている。いずれも塩化ビニル管(100mm～900mm)とコンクリート管(250mm～3000mm)が用いられている。大口径で埋設深度が大きい場合には推進工法用の特厚コンクリート管(内径600mm～3000mm)、およびシールドトンネル(仕上がり内径1500mm以上)が多用される。管径の変化は20mから30mごとに1箇所設けられる人孔を利用して行われる。人孔には種々のタイプがあり、コンクリート円筒を縦に積み重ねるもの(神戸市など)、コンクリートブロック8個を組み合わせて円筒とし、これを順次縦に積み重ねるもの(大阪市など)、現場打ち鉄筋コンクリート製のもの(管渠が大口径の場合)、などがある。主要幹線には埋設深度が過大な場合にヘッドを再確保するため、あるいは降雨時の雨水排除のために下水をポンプアップするポンプ場が設けられる。処理場は、汚水処理用の最初沈殿池・曝気槽・最終沈殿池、污泥処理用のタンク類、これらを連絡する送水管、処理水を放流する放流渠などの施設から構成される。

表8-3-1 阪神地域の6都市の下水道施設の概要

市	処理面積 (ha)	処理方式と管渠延長 (km)	処理場 (箇所)	ポンプ場 (箇所)
神戸	16,029	分流式: 汚水 3315, 雨水 484	7	25
大阪	18,246	合流式: 4481	12	63
西宮	3,240	分流式: 汚水 451, 雨水 106 合流式: 320	5 (2)	80 (45)
尼崎	3,980	合流式: 1018	4 (1)	10 (7)
宝塚	2,663	分流式: 汚水 321, 雨水 118	0 [#]	0
芦屋	887	分流式: 汚水 190, 雨水 30 合流式: -	1	3
計		10,834	29 (3)	181 (52)

* 括弧内は流域下水道に含まれる箇所数、# 流域下水道に接続。

8.3.2 調査方法

各市ともまず道路の陥没によって判明した管渠の破損箇所や人孔が破損した箇所、あるいは液状化した土砂の流入によって閉塞した管渠の浚渫などの応急復旧を1～3週間かけて行くと同時に、地盤や路面の変状が激しい箇所を目安として人孔からの目視により第1次の被害調査を実施した。この調査結果に基づいて、人が入れない800mm未満の管渠についてはテレビカメラによる調査地点を決定し、ビデオ録画により破損状況を把握した。また、800mm以上の管渠については人孔からの目視や職員が管渠内に入ることによって被害を確認したが、河川を横断する伏せ越し管・処理場からの放流渠・水量が多い幹線管渠については調査のために潜水夫や水中カメラが必要であった。調査には他都市の下水道担当部局からの応援部隊も多数参加した。管渠の被害調査には1～3カ月の日数を要したが、これは被害の発生した6市の下水管渠の総延長が表8-3-1にも示したように10,834kmにも及んでいること、地中に埋設されていること、幹線管渠では大量の下水が流速を持って流れているので調査自体が危険を伴い困難なこと、また漏水によって破損箇所がすぐに特定できる水道管と異なって詳細に調査しなければ被害箇所が特定できないこと、などが重なったためである。

8.3.3 被害の概要

表8-3-2と表8-3-3に各市の管渠、および処理場・ポンプ場の被害概要を示す。また、図8-3-1に管渠の被害分布を、図8-3-2に被害を生じた処理場・ポンプ場ならびに幹線管渠・シールドトンネルの位置を示す。

管渠の延長に対する被害率は、神戸市(污水管のみ)で1.6%、西宮市(污水管と合流管)で3.3%、尼崎市(合流管)で4.6%、宝塚市(污水管のみ)で0.9%である。以上を平均した延長に対する被害率は2.4%となる。ちなみに宮城県沖地震における下水道管渠の被害(総延長・被害延長・被害率は750km・4km・0.53%)と比べると、今回の地震による下水道管の被害率は各市で1.7～8.7倍の範囲にあり、平均では4.5倍となる。

管渠の被害形態は、コンクリート管では継ぎ手の損傷・管軸方向のクラック・管体の周方向クラックと破断、塩化ビニル管では管体の破断(割れ)・継ぎ手の抜けとずれ・周方向クラック・取り付け管の突出、陶管では割れ、などであり、勾配と線形の変化も多く見られた。また、管渠に流入した液状化土砂の浚渫延長は、尼崎市南部の臨海地帯で30km、大阪市の北西部で24kmに及んでおり、神戸市・西宮市でも南部の埋め立て地や人工島での浚渫延長はかなり長かったようである(4市で総延長は100km程度と推定される)。人孔の被害形態はブロックのずれや破断、ベースコンクリートの破損、管の突出と周方向の破断、鉄蓋の移動が多く見られた。柵と取り付け管の破損もかなりの数に及んでいる。現在、管渠施設の機能は、応急復旧により基本的に回復しているが、本格的な復旧には2～3年を要する模様である。

処理場・ポンプ場では図8-3-2に示したように、29処理場のうち19箇所、181ポンプ場のうち32箇所被害が生じ、一時的に機能がストップした。土木・建築構造物の被害として共通するものは、流入渠・放流渠・送水管の構造物との接続部でのせん断による破断、ならびにこれらの目地の開口による漏水と土砂の堆積であり、流入渠からの土砂の大量流入によるポンプ機能の停止も多く見られた。特に、東灘処理場の被害は後述するように甚大で、汚水処理用の沈殿池・曝気槽のクラックや基礎杭の破損、污泥処理タンク類の傾斜と基礎杭の破損、管廊の水没、流入渠・放流渠・送水管の破損によって3カ月にわたって機能が停止した。また、尼崎市東部第2浄化センターでも、沈殿池にクラックが発生したため、溢水を生じた。なお、宮城県沖地震では2処理場のうち1箇所、35ポンプ場のうち11箇所が被害を受け、今回の地震で見られたのと同様に管渠が構造物との接続部でせん断破壊した例が多かった。

表8-3-2 管渠施設の被害概要

市	被害の内容
神戸	污水管渠の応急処理件数24,544件： 管渠284件、人孔1,516件、取り付け管5,504件、排水設備15,135件、閉塞1,899件、その他206件。污水管渠の被害延長： 枝線48.5km、幹線4.5km。雨水管渠(開渠を含む)の応急処理件数417件：閉塞50件、損傷354件、その他13件。
大阪	管渠の被害延長： 枝線 ¹⁾ 1.7km、接続管1.8km。樹破損400箇所以上。人孔破損30箇所以上。 1) コンクリート管(口径300～500mm)
西宮	枝線管渠(污水・合流)の被害延長25.2km： コンクリート管 ¹⁾ 14.7km、塩化ビニル管 ²⁾ 10.0km、FRPM管 ³⁾ 0.5km。合流幹線の被害延長 ⁴⁾ 1.9km。雨水管渠：データなし。 1)口径200～1950mm、総延長304.1km、延長に対する被害率4.8%、2)口径200～600mm、総延長452.2km、被害率2.2%、3)口径500～900mm、総延長1.5km、被害率33.3%、4)口径1,650～2,400mm、総延長49.9km、被害率3.8%。
尼崎	幹線 ¹⁾ ： 管渠の被害延長26.9km、クラックの箇所数265件。枝線 ²⁾ ： 管渠の被害延長20.1km、クラックの箇所数728件、入れ替え延長9.4km。人孔破損280件。接続管破損982件。 1)シールドトンネル二次覆工のクラック(仕上がり内径2,000～4,200mm)、コンクリート管(口径1,650～3,000mm)、ボックスカルバート(2,150 x 2,700mm～3,800 x 3,800mm)、2)口径250～800mm。
宝塚	污水管渠： 被害延長2.9km(主として塩化ビニル管)、人孔損傷166件、人孔蓋の切り下げ147件、污水樹破損241件。雨水管渠(開渠を含む)の破損： コンクリート管(口径900mmの短管)102m、護岸(コンクリートブロックと張りコンクリート)2.1km、U型水路4km、L型水路0.2km。
芦屋	データなし。

表 8-3-3 処理場・ポンプ場の被害概要

市	被害内容
神戸	東灘処理場： 図8-3-4参照。中部処理場： 場内舗装大破、エアレーションタンク覆蓋スラブ破損、最終沈殿池壁クラックと不同沈下、連絡通路破損、管廊大量漏水。西部処理場： エアレーションタンク流入水路・エキスパンション部破損、放流渠破損、場内舗装大破、次亜塩素酸室傾斜。スラッジセンター： 場内舗装大破、機械トラブル。ポートアイランド処理場： 放流渠破損、エキスパンション部目開き。垂水処理場： 護岸ケーソン滑動、エキスパンション部目開き。ポンプ場：主として水没により6ポンプ場で機能停止。ポンプ場の被害内容： エキスパンション部クラック2、送水管破断2、水間橋破損1、擁壁破損3、放流渠損傷1。
大阪	5処理場、3ポンプ場で被害。放流渠・送水管・ポンプ室の漏水が目立つ。放流渠は断面方向クラック多発。
西宮	3つの処理場全てで被害。鳴尾浜浄化センター：流入渠の縦断のたるみ。甲子園浜浄化センター：塩素混和池の配管類損傷。枝川浄化センター：汚泥焼却炉2機が損傷、流入渠・最初沈殿池に大量の土砂堆積。ポンプ場被害： 南部の16箇所中、12箇所で被害。大浜・浜・真砂・上田の各ポンプ場で防潮堤の移動に引きづられて流入渠・放流渠が破損、エキスパンションジョイントの切断もあり。
尼崎	東部第2浄化センターにて沈殿池にクラック・溢水、流入渠・放流渠に軽微なクラック。北部浄化センターにて800mm連絡管の可とう性ジョイントが構造物との接続部でせん断破壊。大庄ポンプ場で放流渠のジョイント部欠損。
芦屋	放流渠の目地開口。ポンプ場送水管が構造物との取合い部で継手開口。

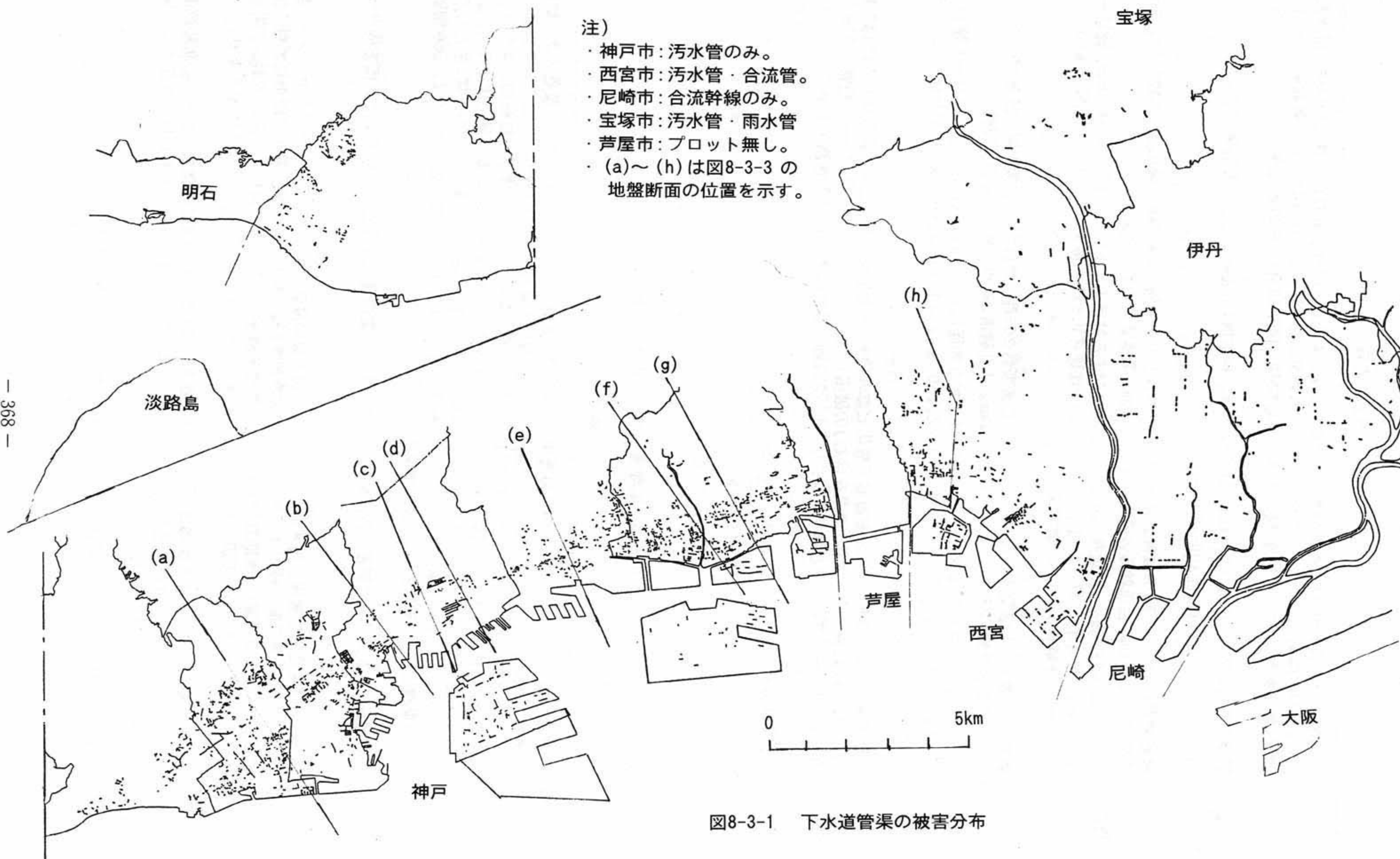


図8-3-1 下水道管渠の被害分布

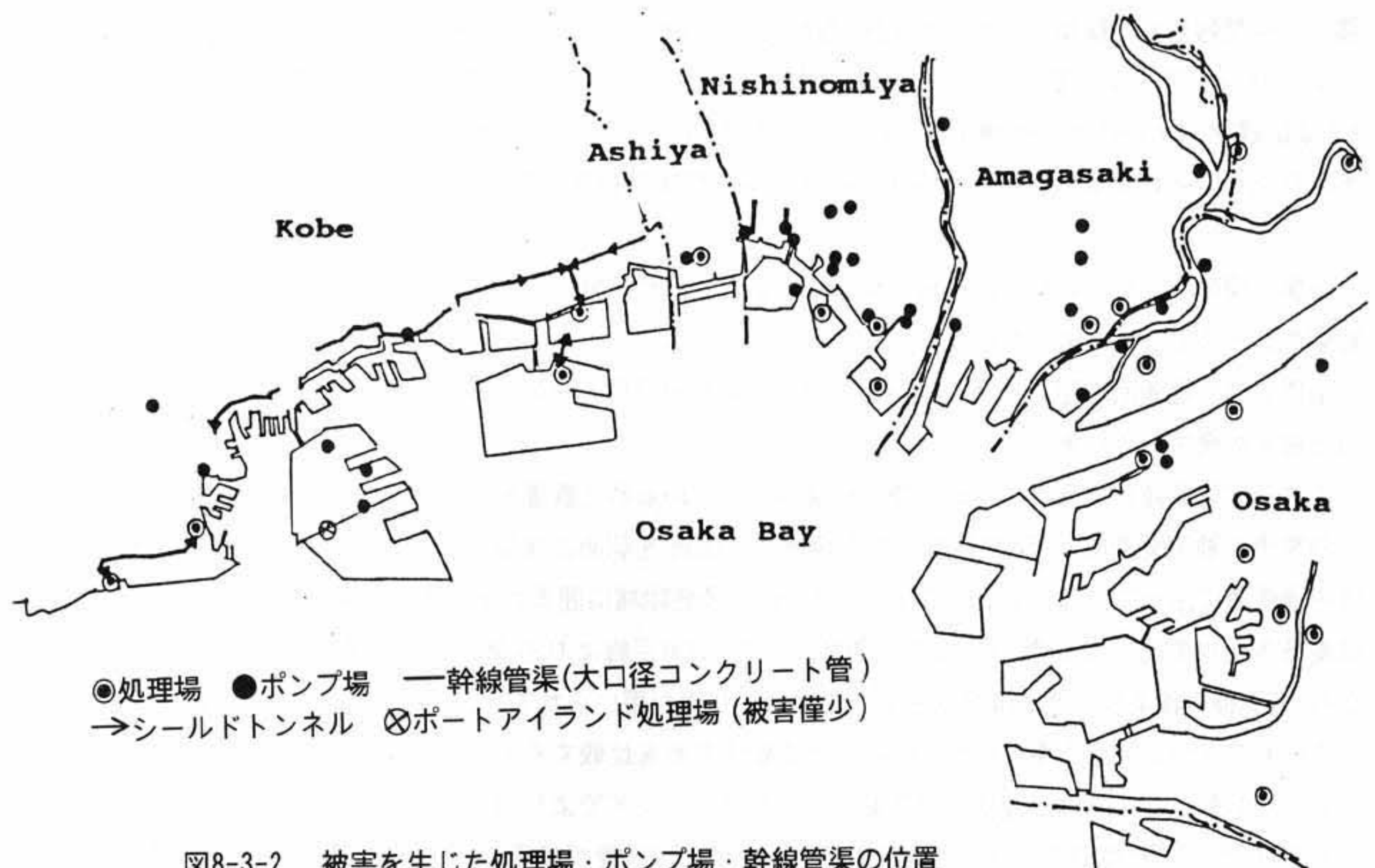


図8-3-2 被害を生じた処理場・ポンプ場・幹線管渠の位置

8.3.4 被害の特徴

(1) 管渠施設(管渠、人孔、取り付け管、枺)

過去の地震被害と比べて今回の地震で生じた特徴的な管渠被害は以下の通りである。

- ・ 幹線管渠の被害多発により流下機能が一時的に低下した。
- ・ 従来の地震ではほとんど報告されていないコンクリート管の管軸方向クラックの発生が、口径・埋設深度に関わらず多数見られた。クラックの位置は、管頂から $\pm 60^\circ$ 、管底から $\pm 30^\circ$ 付近が多かった。
- ・ 従来、安全とされていたトンネル工法によって築造された推進管とシールドトンネルの二次覆工(無筋コンクリート)の被害がかなりの延長にわたって見られた。被害状況は両者とも管軸方向クラックの発生であり、クラックの発生位置は上記のコンクリート管の場合とほぼ同じであった。推進管では継ぎ手部のコンクリートの剥離、シールドトンネルでは周方向クラックも見られた。
- ・ 水路を横断する伏せ越し管の大多数が破断した。
- ・ 人孔部ではブロック・鉄蓋・管がそれぞれ異なる動きをしており、ブロックのずれ・鉄蓋のずれ・人孔への管の突出が数多く見られた。液状化による極端な人孔の地上への浮上がりは見られず、周囲の地盤が沈下した分だけ突出した例が多かった。
- ・ 液状化土砂の流入が多量で、浚渫延長が相当距離に上った。
- ・ たわみ性管である塩化ビニル管とFRPM管にかなりの被害を生じた。表8-3-2に示した西宮市の被害によれば、塩化ビニル管の被害率はコンクリート管の被害率の約1/2と低いもののかなりの被害を生じており、また埋め立て人工島で用いられていたFRPM管も1.5kmの敷設延長のうち0.5kmで被害が生じた。

次に、図8-3-1に示した(a)～(h)の各断面における地盤断面、震度、被害管渠の位置、噴砂を認めた区域を示したものが図8-3-3である。このうち、図(a)～(g)の地盤断面と震度は日本応用地質学会「阪神大

震災」中間報告会予稿集に中央開発(株)石川浩次氏が示したもので、図(h)の地盤断面と震度は大阪地盤図のボーリングデータに基づいて作成した地盤断面と中央開発(株)の調査による震度である。図中の震度で>7は超震度7(木造住宅の倒壊率が50%以上・鉄筋コンクリート建物の倒壊が多い)を表わす。これらの図、および図8-3-1の管渠被害分布と図8-3-2中の幹線管渠の被害分布から以下のことが分かる。

- ・海側で噴砂を認めた地域では被害が大きく、また液状化に伴って護岸が側方に移動した場所では深い幹線管渠やシールド立坑も被害を受けている。
- ・山側では、地表面勾配が変化している地点、および沖積層とその下の段丘層の境界が地表面に現われる地点で被害が発生している。
- ・これらの管渠被害の分布は木造家屋の倒壊率から定められた震度分布とは必ずしも一致していない。
- ・西宮市の被害分布は、JR神戸線よりも南側では噴砂を認めた地域と一致し、またJR神戸線よりも北側では甲陽断層に沿って生じている。これら二つの被害多発地域に囲まれた三角形の地域では管渠被害は少なく、震度分布とは対応していない。なお、西宮市ではJR神戸線よりも南側は合流式で、コンクリート管が使用され、JR神戸線よりも北側は分流式で、塩化ビニル管が用いられていた。
- ・ポートアイランドと六甲アイランドにおける管渠被害を比較すると、ポートアイランドの方が六甲アイランドよりも多い。これは、液状化の程度がポートアイランドでより激しかったためと推察される。なお、ポートアイランドでは円形・卵形の塩化ビニル管とFRPM管が使用され、埋め戻し方法は掘削敷きに碎石10cmを敷いた上で、土被り高が3m以上では管周囲をソイルセメントで管頂の30cm上部まで囲い、土被り高が3m未満では砂で埋め戻しがなされた。また、六甲アイランドでは卵形の塩化ビニル管とFRPM管が使用され、碎石10cmを敷いた上で、管周囲を水硬性水砕スラグで管頂の30cm上部まで埋め戻している。そのためか、両島とも管体の破損は比較的少なく、縦断勾配が変化した路線が多かった。

(2) 処理場・ポンプ場施設

処理場・ポンプ場の立地条件はいずれも海岸線や河川に面し、液状化の発生しやすい軟弱地盤上にある。今回の地震では、処理場・ポンプ場の被害はいずれも液状化の発生によって生じており、特に護岸の側方移

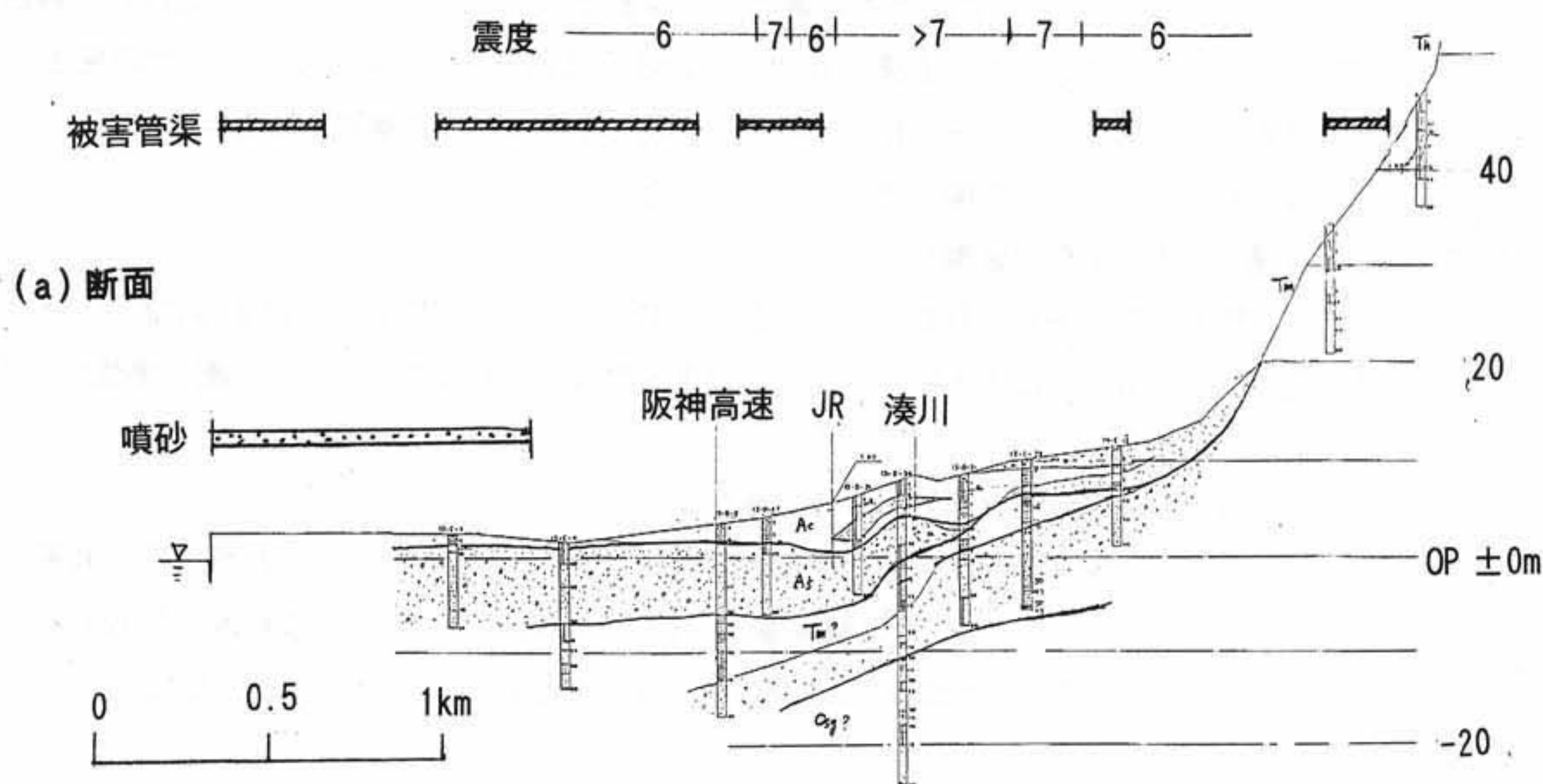


図8-3-3(a) 地盤・地形・震度と管渠被害の関係

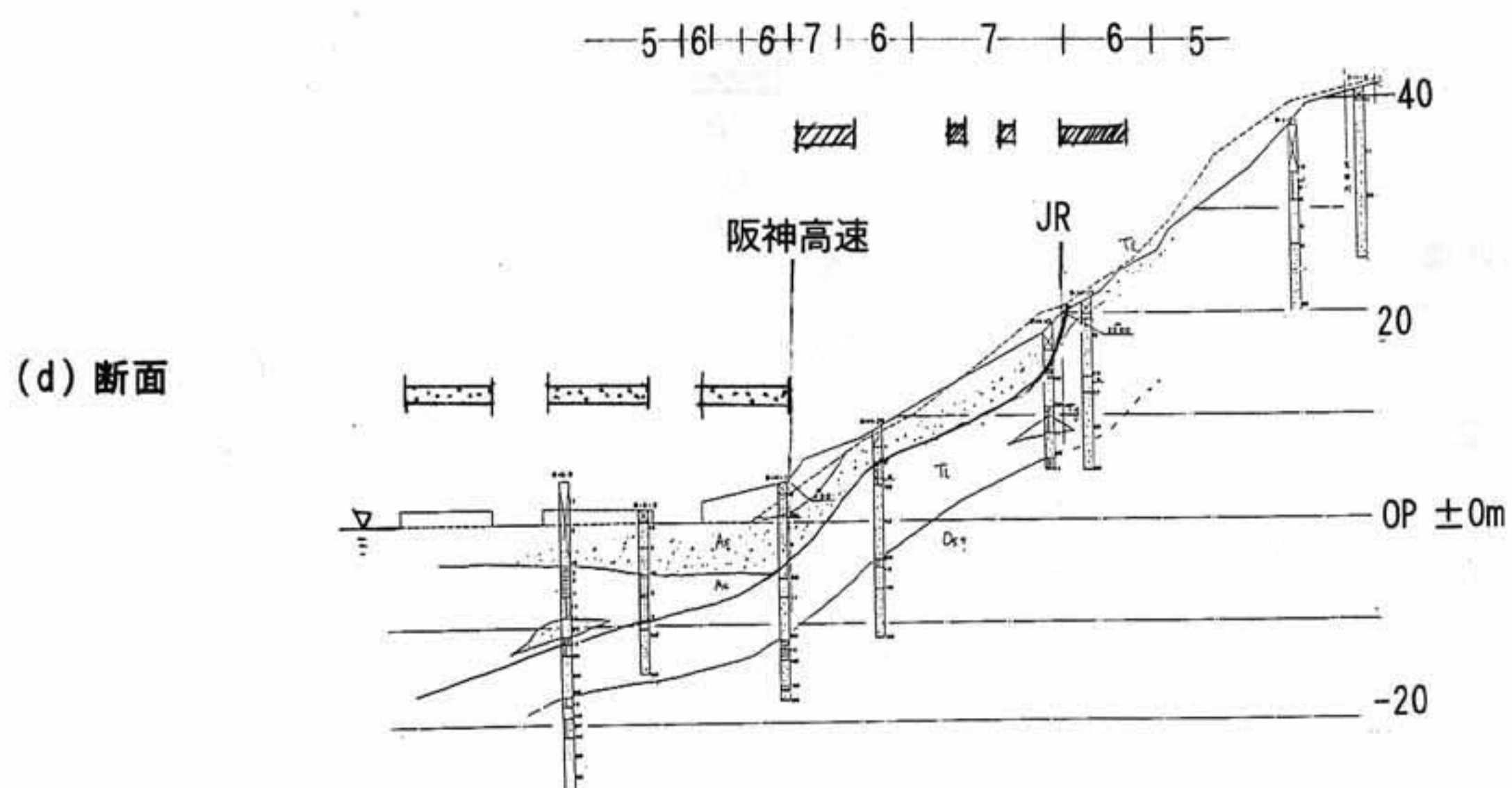
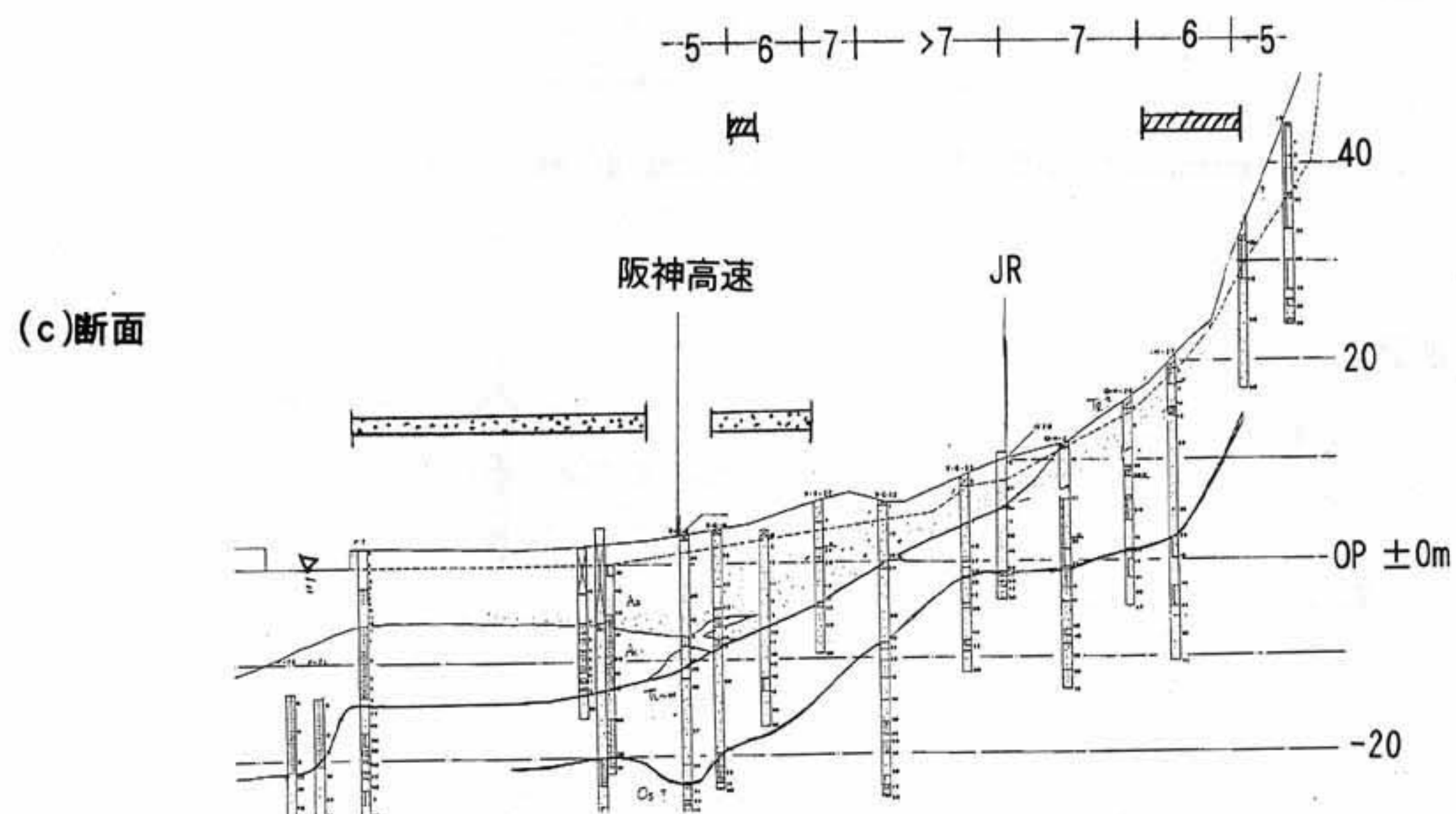
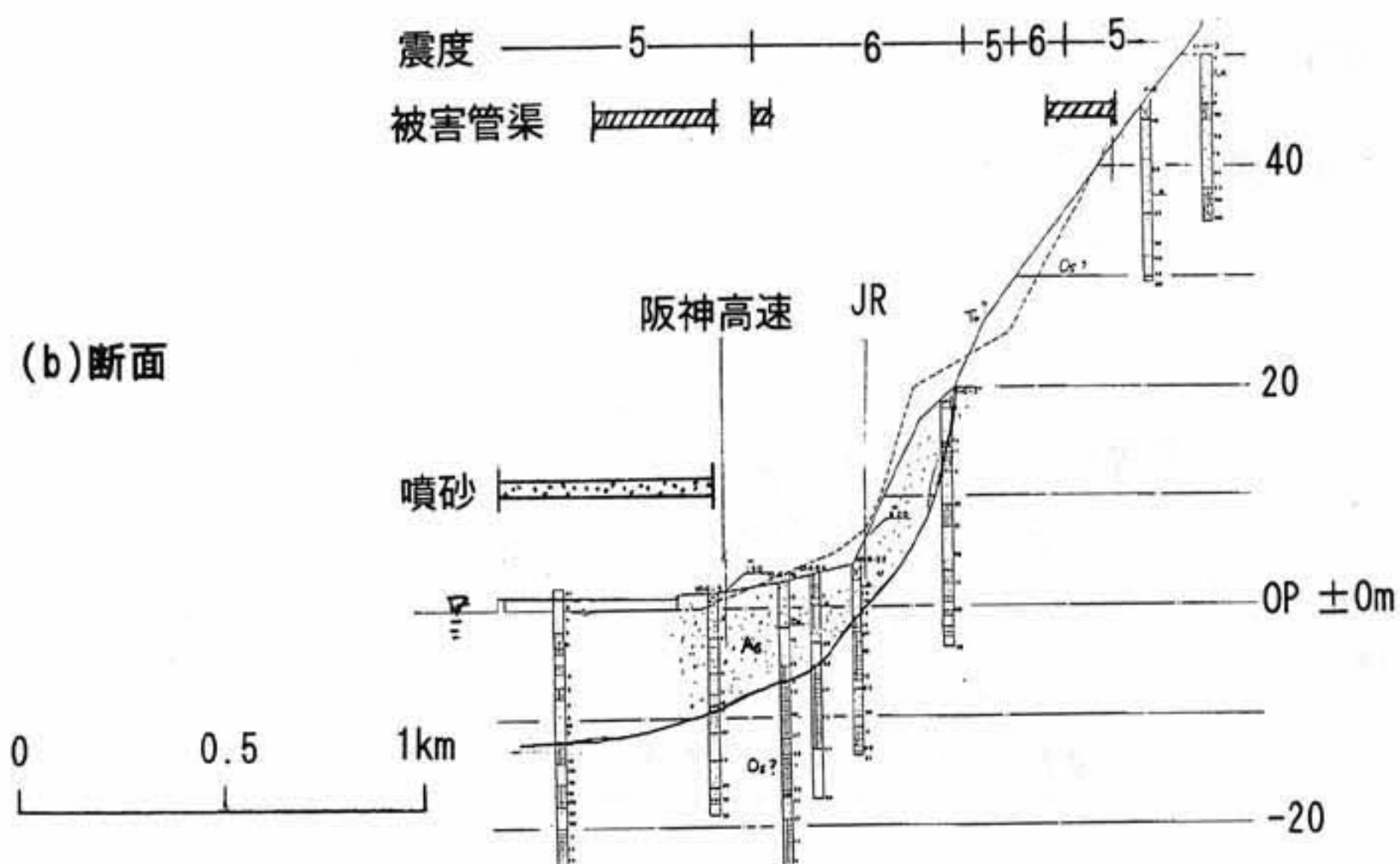


図8-3-3(b) ～(d) 地盤・地形・震度と管渠被害の関係

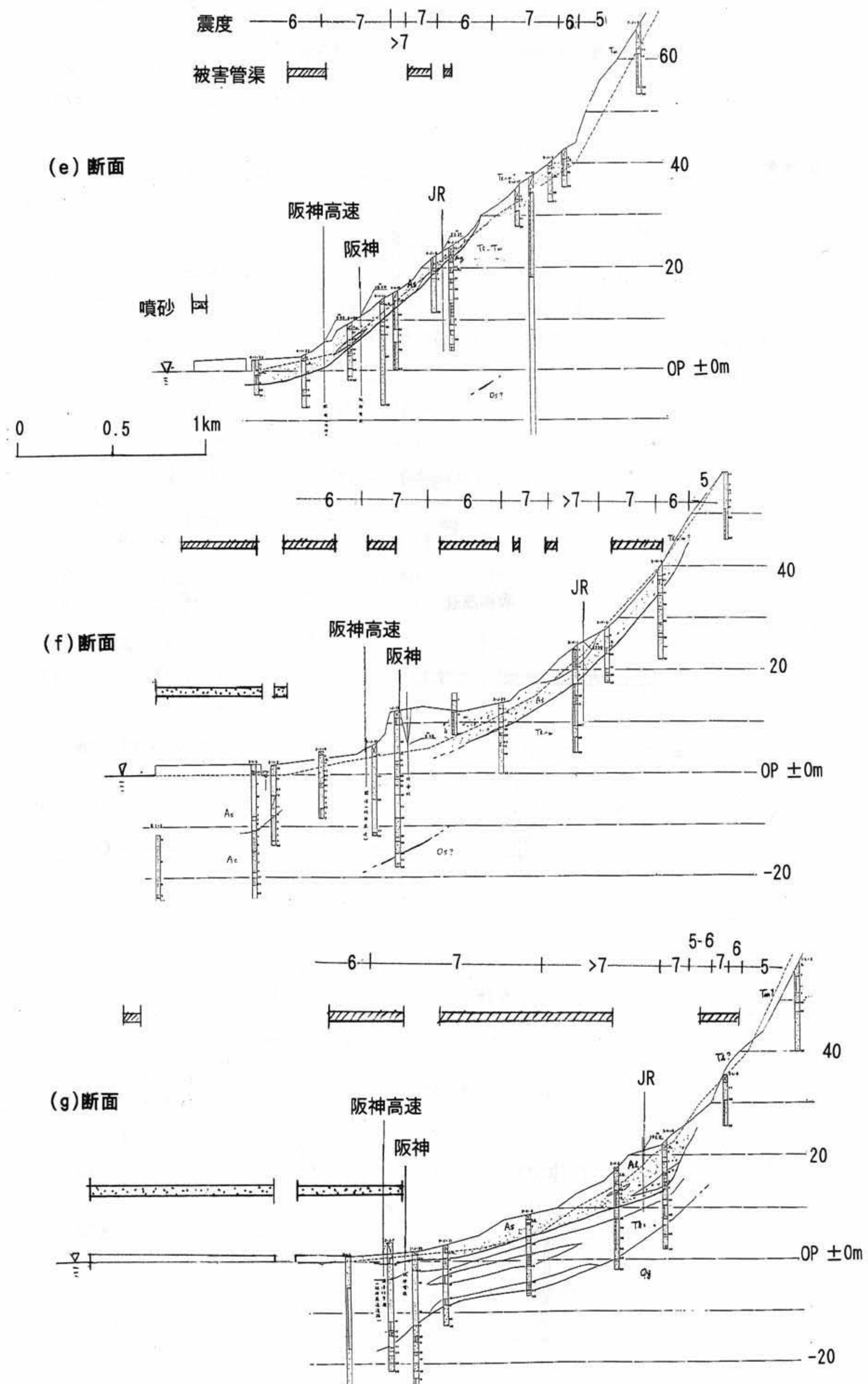


図8-3-3(e) ～(g) 地盤・地形・震度と管渠被害の関係

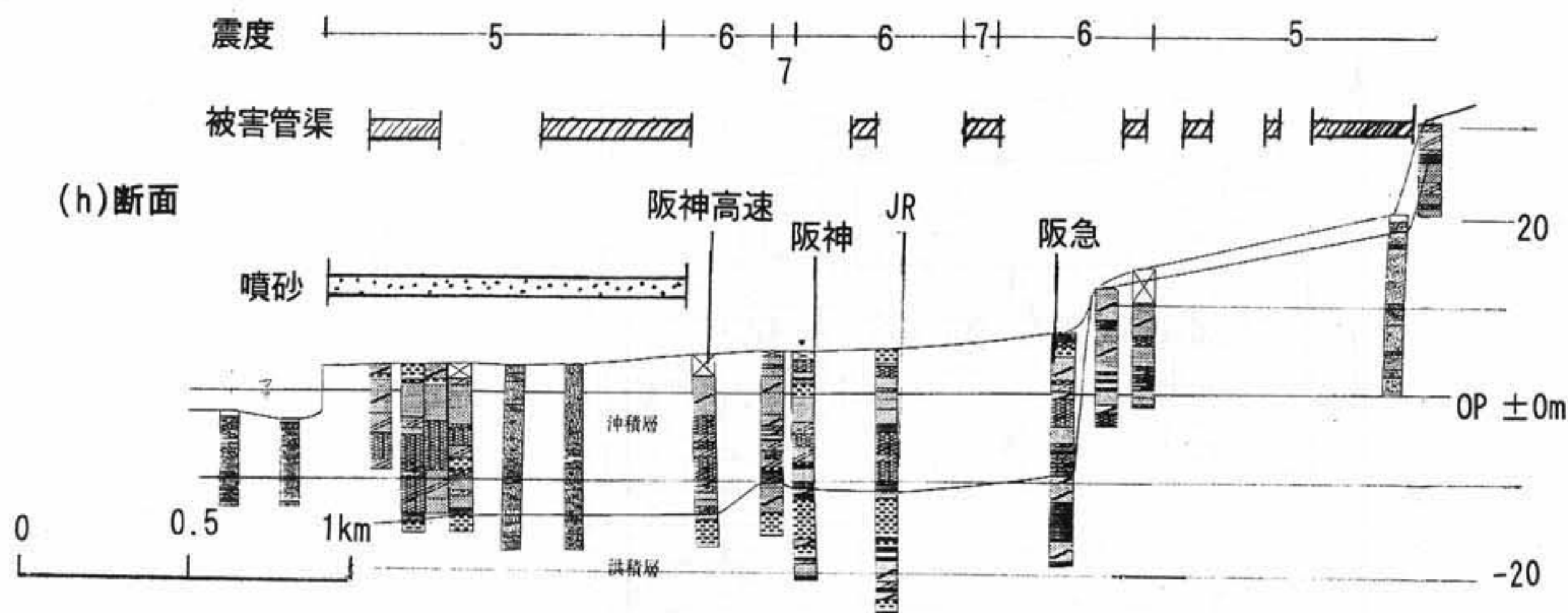
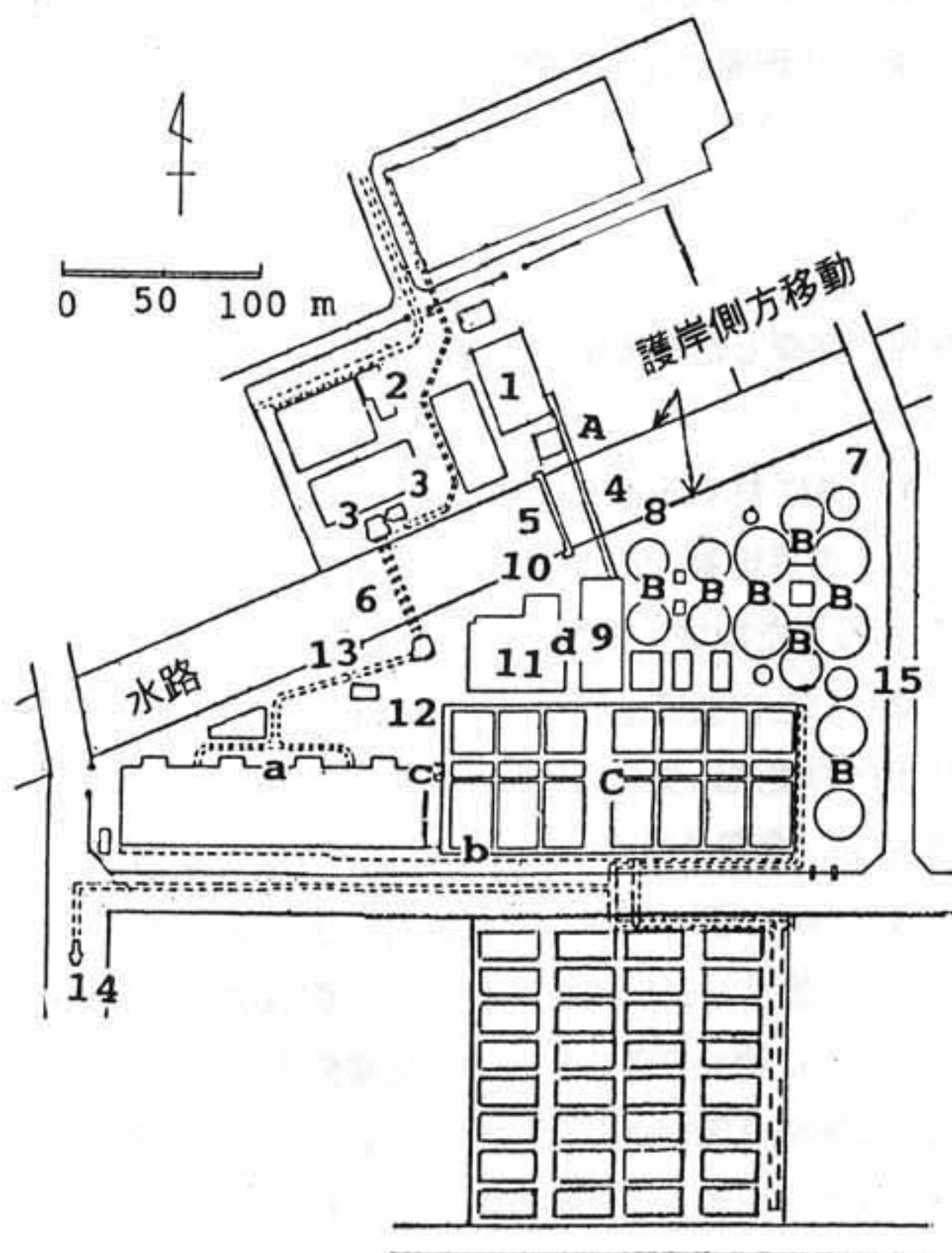


図8-3-3(h) 地盤・地形・震度と管渠被害の関係

動に引きずられたために被害が拡大した例が多かった。

典型的な例として東灘処理場の被害状況を図8-3-4に示す。基本的には液状化によって処理場の中央にある水路の南北護岸がそれぞれ2m、1m水路側に移動し、南側護岸背面で最大1.5mの沈下を生じた。地盤条件は、地表面から15～20mがN値5～10のゆるい埋め土、その下に3～5m厚の沖積粘土層(N=5)、5m厚の洪積砂層、2m厚の洪積粘土層、洪積砂レキ層という層序になっている。この処理場は昭和37年に築造され、地盤改良が行われていなかった。

一方、昭和55年に供用を開始したポートアイランド処理場では放流渠破損などの被害は生じたものの、処理機能の低下はなかった。地盤状況は図8-3-5に示すように、地表面から12mが埋め土(須磨区名谷の凝



破損

1: スクリーン洗浄棟、2: 沈砂池擁壁、3: 吐き出し管、4: ケーブル橋、5: 水管橋、6: 伏せ越し管、7: ガスタンク、8: 濃縮槽、9: 脱水機棟、10: 発電機室、11: 管理棟、12: 砂濾過池、13: 最初沈殿池流入管、14: 放流渠、15: 配管類

躯体傾斜・杭破損

A: 分水槽、B: 汚泥処理タンク、C: エアレーションタンク・最終沈殿池

破損・ジョイント開口・管廊水没 a-d

図8-3-4 東灘処理場の被害状況

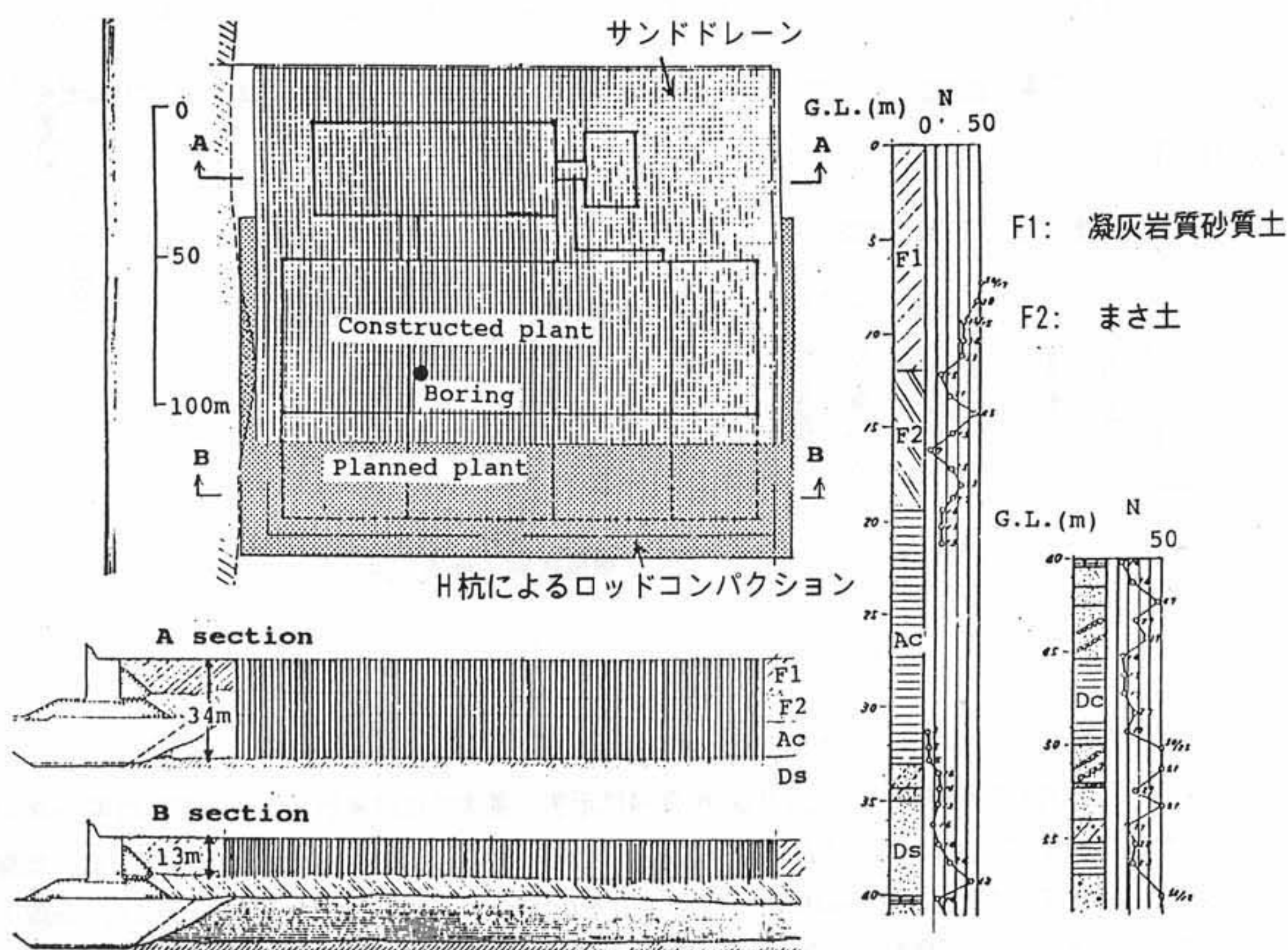


図8-3-5 ポートアイランド処理場の地盤改良工と改良前の土層断面

灰岩質砂質土)、その下が8m厚の埋め立まさ土、14m厚の沖積粘土層、洪積砂層という層序になっている。処理場築造時には図に示すように、サンドドレーン、およびH杭とバイブロハンマーによるロッドコンパクションによる地盤改良が施工されており、そのため東灘処理場に比べて被害が少なかったと推定される。

8.3.5 まとめ

今回の地震はこれまでの地震と異なり、下水道施設が完備した都市域で発生した直下型地震であったため、下水道施設の被害の特徴と弱点が明らかとなった。

まず、管渠施設の被害の特徴をまとめると、敷設延長に対する被害延長の割合は阪神間の5市で0.9%～4.6%の間にあり、平均被害率は2.4%であったが、この平均被害率は宮城県沖地震の下水道管渠被害率の4.5倍に相当すること、管渠の被害分布は噴砂が認められた地域・地盤条件と地形の急変部で大きく、家屋倒壊率から算定された震度分布とは必ずしも一致しないこと、被害は管渠本体・管渠の継ぎ手部・人孔と管との接続部・人孔に発生したこと、流入した液状化土砂の浚渫延長が相当長かったこと、たわみ性の大きなプラスチック管(塩化ビニル管とFRPM管)も被害を生じ、今回の地震に対して万全ではなかったこと、などとなる。また、過去の地震被害では見られなかった被害例は、深い幹線管渠の被害発生、コンクリート管の管軸方向のクラックの大量発生、推進用特厚コンクリート管とシールドトンネル二次覆工の被害発生である。

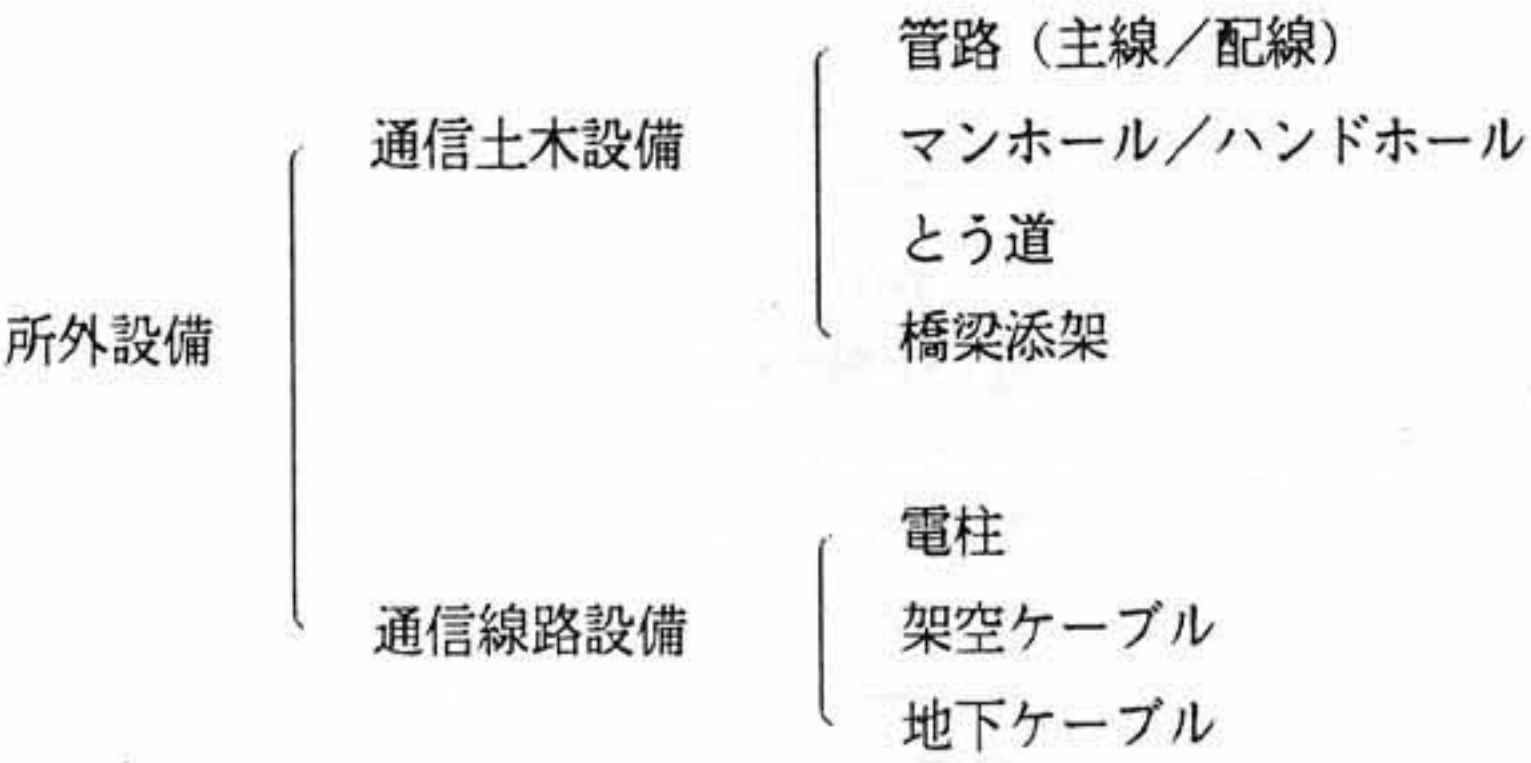
処理場・ポンプ場の被害は深刻で、施設の多くが一時的に機能を停止したが、地震発生が雨量の少ない冬季であったことは幸いであった。処理場・ポンプ場の被害の原因は地盤の液状化であり、護岸の移動によって被害が拡大された例が多く、中でも地盤改良を施さなかった東灘処理場は長期にわたって機能低下を引き起こした。一方、地盤改良を施したポートアイランド処理場の被害が小さかったことは、今後の処理場・ポンプ場の地震対策を考える上で貴重な教訓を与えるものである。

8. 4 通 信 施 設

8. 4. 1 設 備 概 要

(1) 設 備 構 成

N T Tの所外設備の構成は以下に示すようにいわゆる通信土木設備と通信線路設備から成っている。



本報告で対象とした設備は通信土木設備であり、かつとう道を除く設備とする。一方、一般的な通信土木設備の構成概要は図8－4－1に示すとおりである。

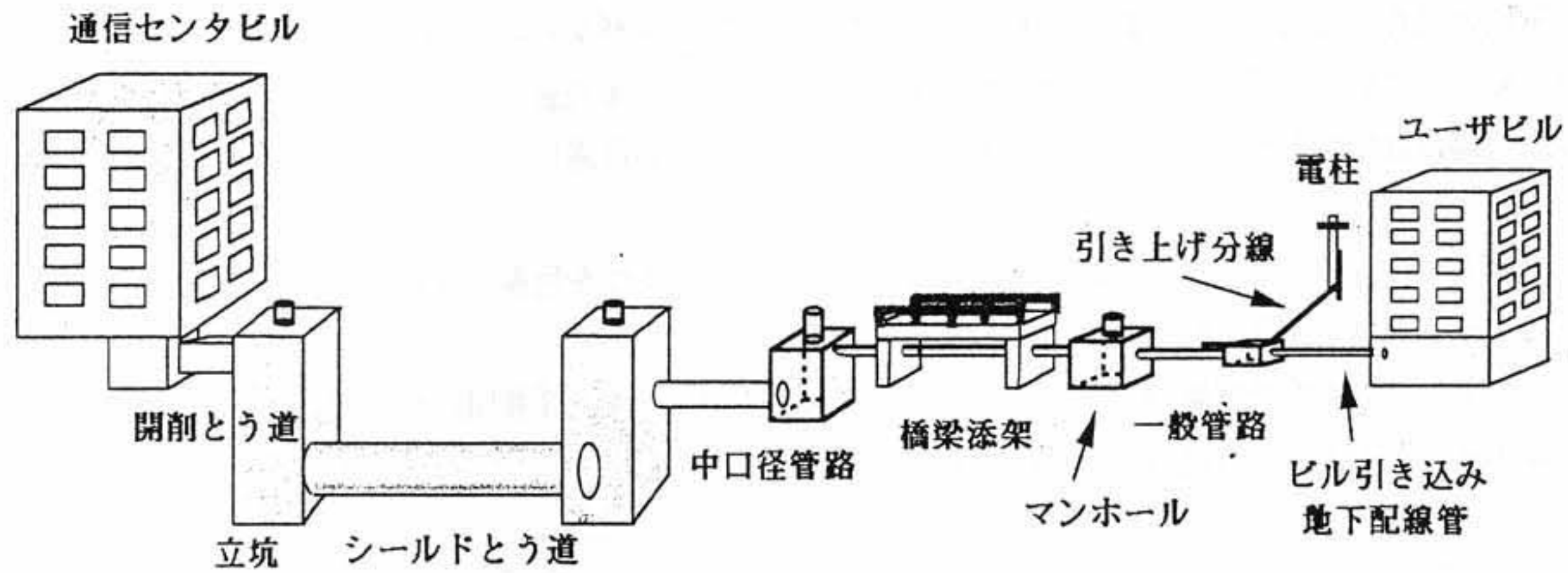
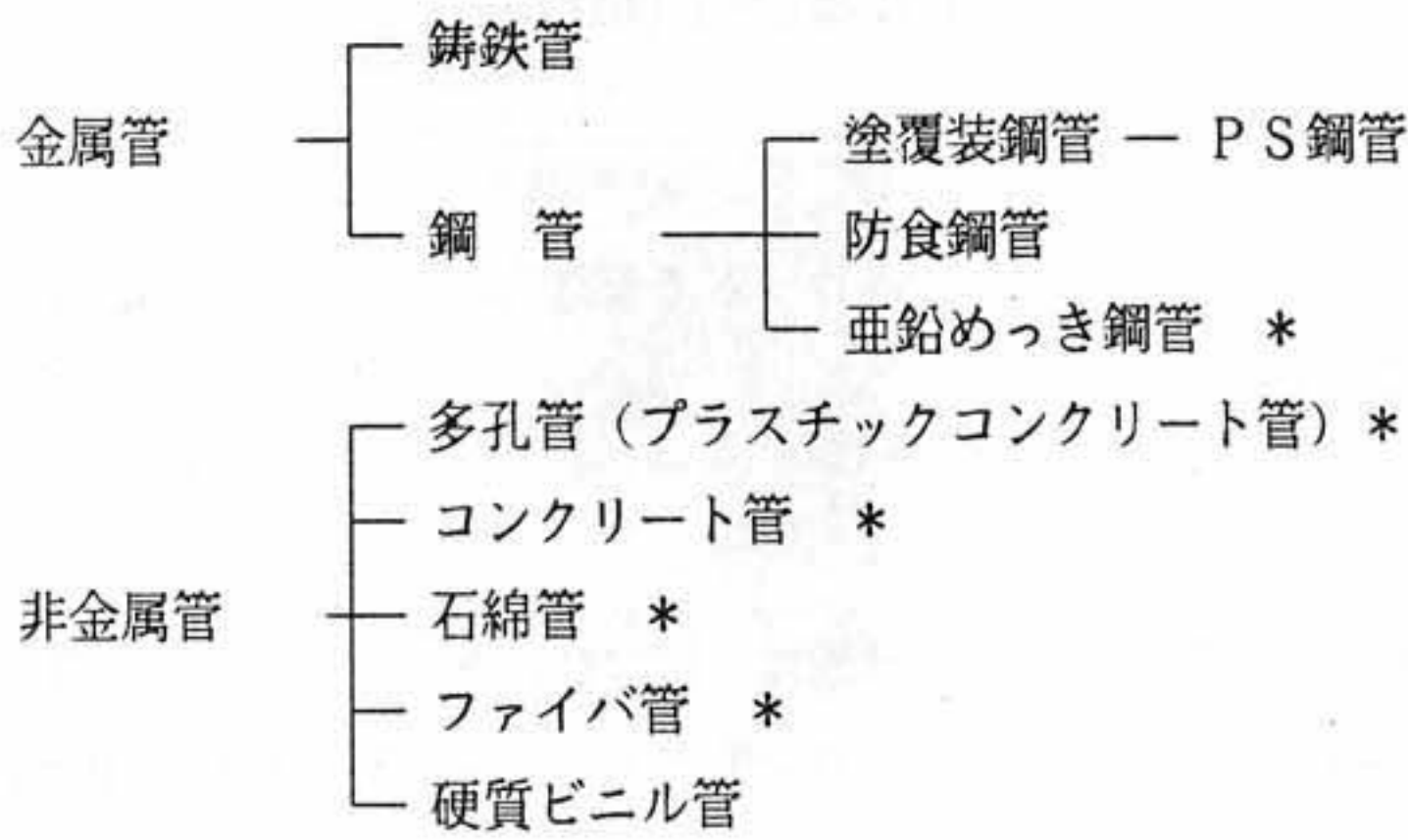


図8－4－1 通信土木技設備の構成概要

(2) 管路の構造と変遷

管路は主として内径75mmのものを使用し、その材質は過去の規格のものも含めて分類すると以下のとおりである。一方、管長は5.5mである。



注 *印は現在使用されていない

また、管の使用に関する変遷と管の接続方法及び管とマンホールとの接続方法の変遷を示すと図8－4－2のとおりである。

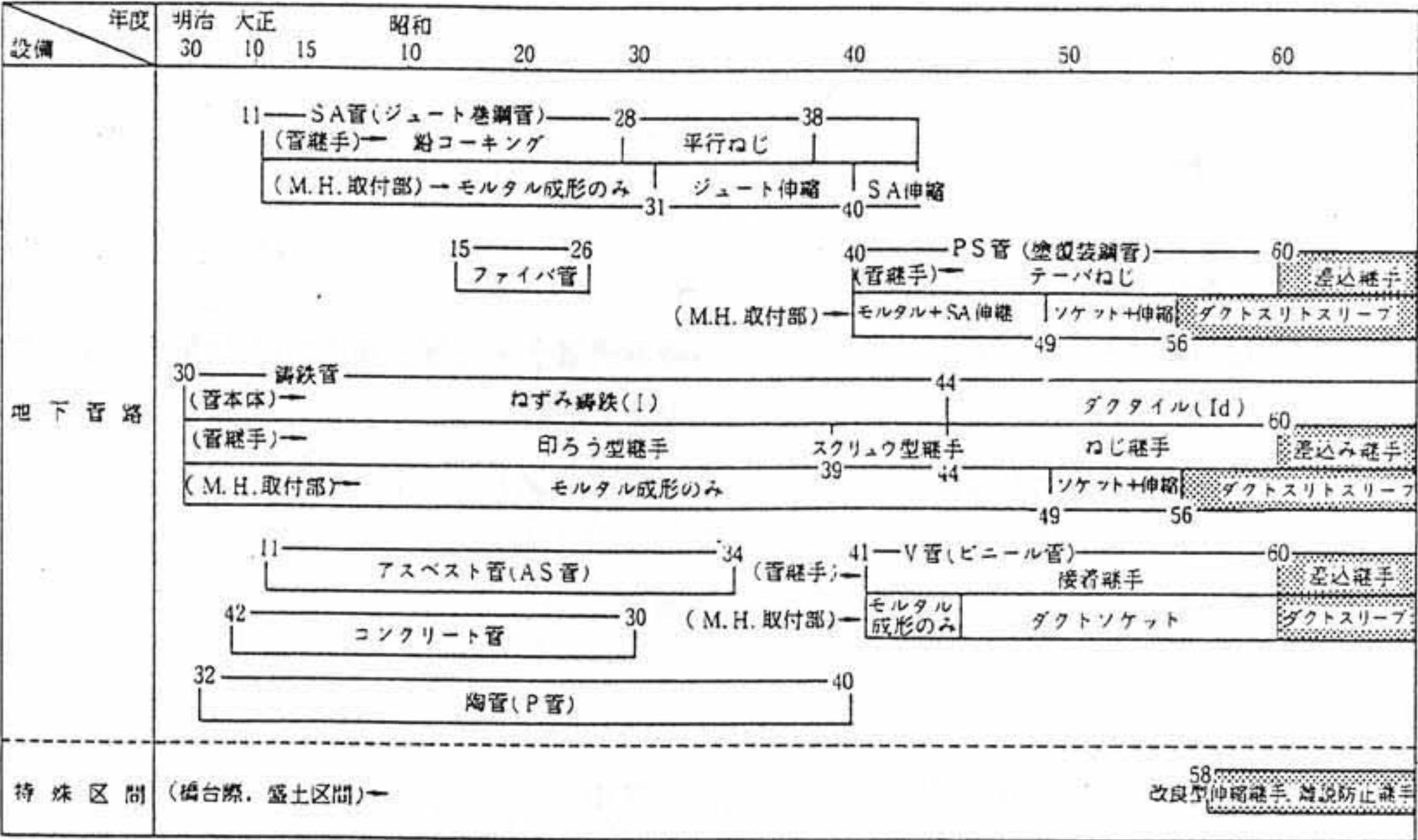


図 8-4-2 地下管路の変遷 : 耐震性を考慮

8. 4. 2 調査方法、調査区域

(1) 調査方法

管路の調査に当たっては、調査対象区域のマンホール間（スパン）の総ての管路を対象にスパン毎にケーブルの入っていない管路を2管ランダムに抽出して、マンドレル通過試験を実施する。ただし、空き管が2以下の場合は全数とした。マンドレル通過試験の結果、不通過管路については適宜パイプカメラによる点検を実施した。

マンホール、ハンドホールの調査は調査対象区域の可能な総てを目視点検した。

① マンドレル通過試験の概要

NTTの管路性能試験の一つであり、マンドレル（図 8-4-3 参照）がスムーズに通過するか否を試験することによって管路の性能を評価する。

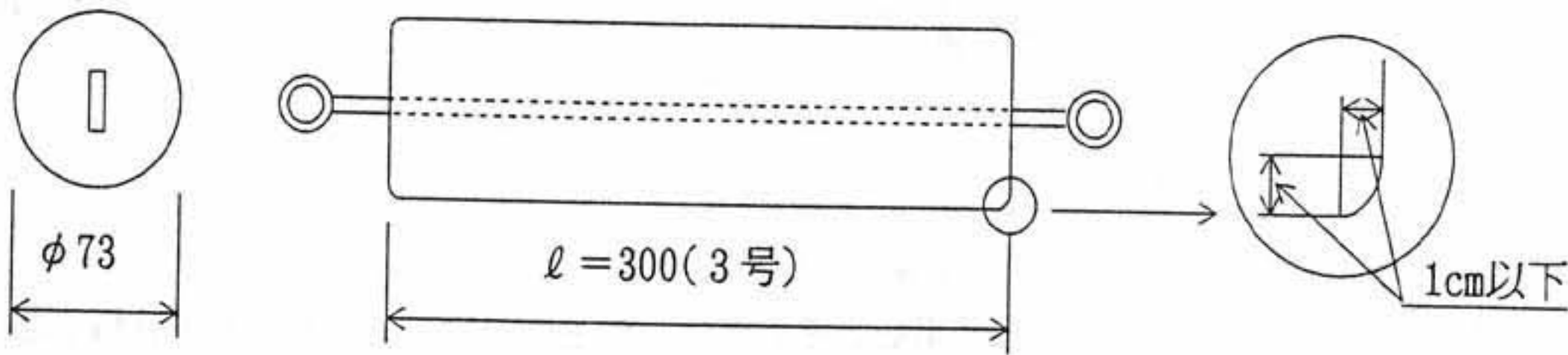


図 8-4-3 マンドレル構造図（単位mm）

② パイプカメラ点検の概要

直径 60 mm、長さ 274 mm のカメラヘッドを押し込みロッドで管路内に挿入して管路内部の状況をモニタテレビで診断、記録するものである。

(2) 調査区域

この報告の取りまとめ期限内に上記の調査が完了した地域は、被害が大きいと想定される神戸西、神戸、西宮支店管内の六甲山より海側の地域で、以下に示す 25 の交換ポイント（NTTで呼ぶ建物名）に収容されているユーザ地域を主として対象とした。

- 神戸西支店（神戸西、兵庫、湊川、須磨、舞子、福田、塩谷）
- 神戸支店（東灘、御影、灘、港島、葺合、三宮、神戸駅前）
- 西宮支店（西宮、甲子園、芦屋、瓦木、夙川、仁川、宝塚、宝塚別館、山本、川西、伊丹）

8. 4. 3 被害の概要

(1) 総括

被害の総括は8. 4. 2の(2)の区域以外に地表状況等から判断した調査結果も含めてとりまとめた。それが、図8-4-4で、マクロ的には管路設備は約6%、マンホールは約10%、さらに橋梁添架管路は約28%の被害が発生した。

調査対象ビル 8支店（神戸・神戸西・西宮・尼崎・明石・洲本・加古川・豊中）

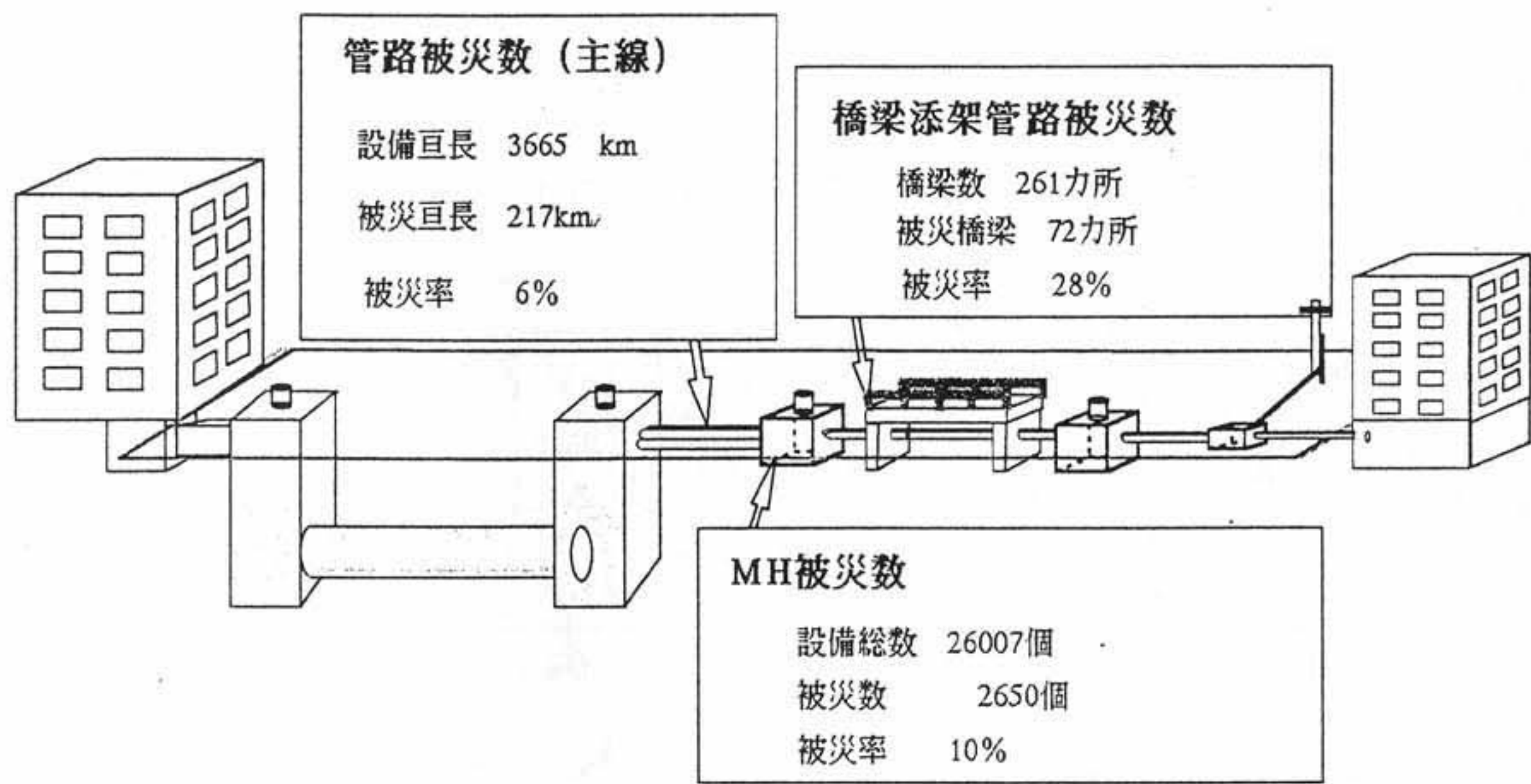


図8-4-4 通信設備の被害総括

(2) マンホール、ハンドホールの被害概要

マンホール、ハンドホールの主な部位毎の被災状況は図8-4-5、図8-4-6に示すとおりで、地表面にある蓋及び首部の被災が多かった。このことは地中と地表面との変位量の違いに起因するとともに、構造的にも首部はマンホール本体のボックス上にリングブロックを積み重ねて路面との高さ調整が出来ることを目的としており、マンホール本体と緊結ないしは剛結されていない。すなわち、変位に対してフリーである。しかしそれ故に補修も容易である。

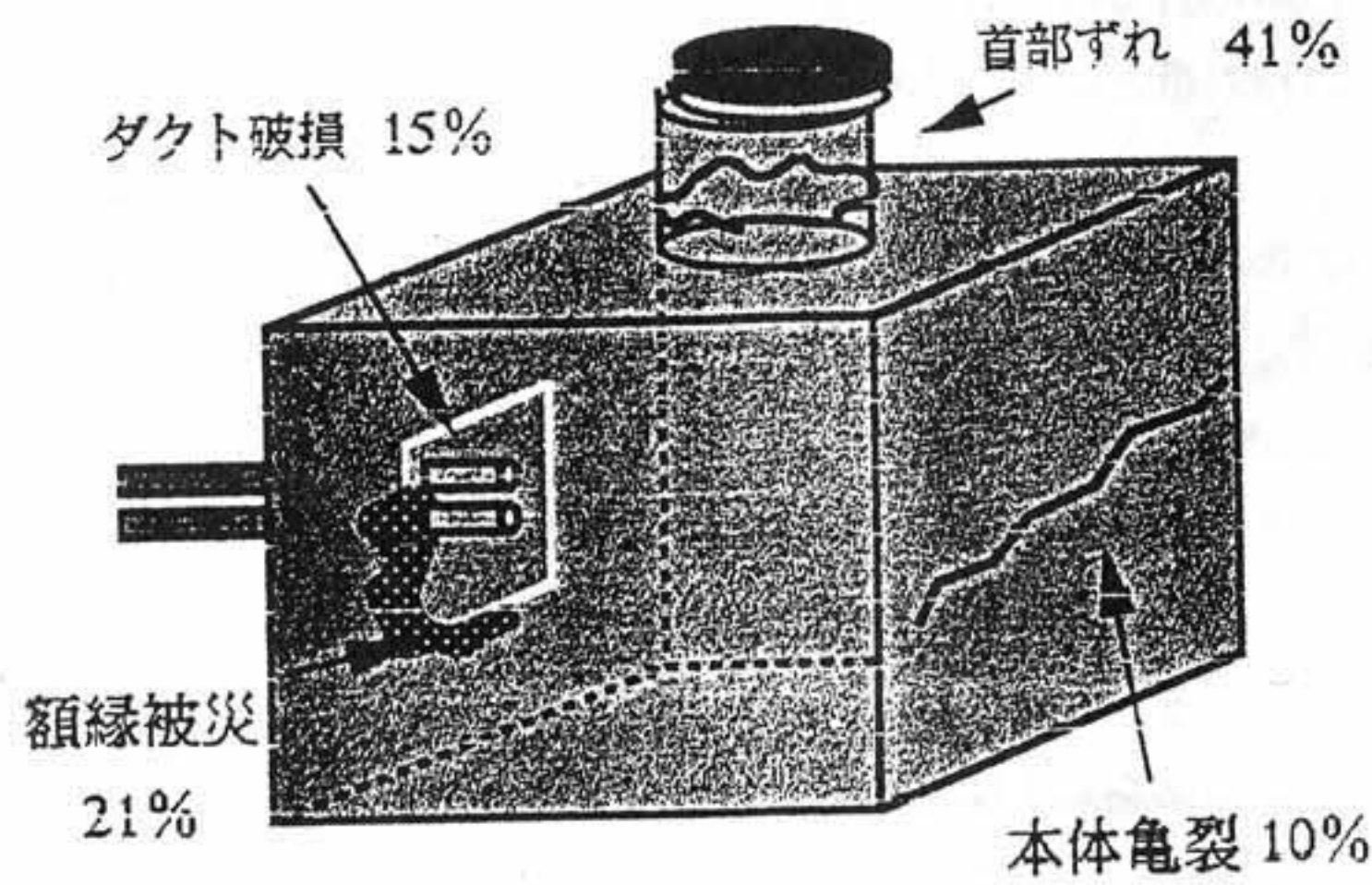


図8-4-5 マンホールの被害概要

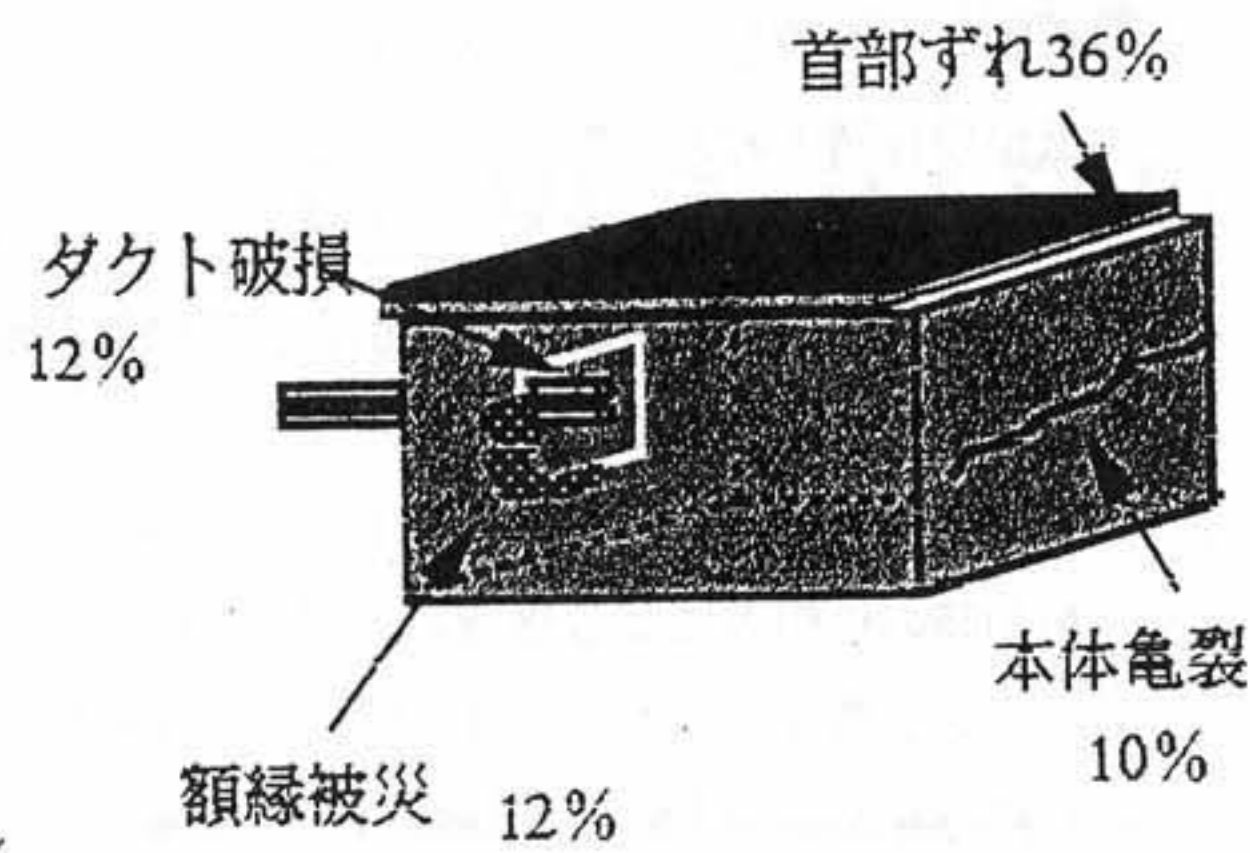
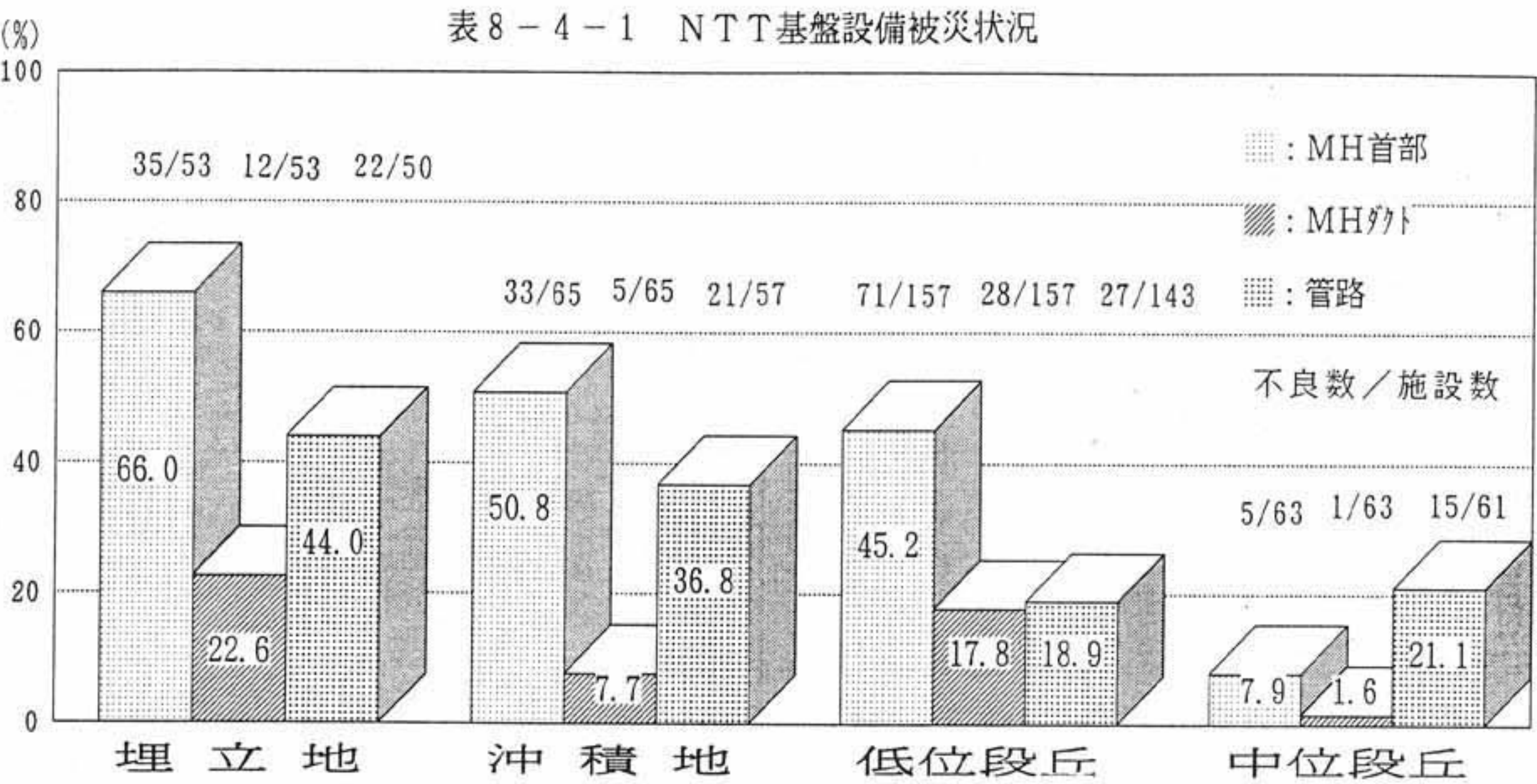


図8-4-6 ハンドホールの被害概要

8. 4. 4 被害の特徴

(1) 神戸支店管内灘ビルエリアでの考察

灘ビルエリアにおける管路の被災マップとマンホールの首部および管路とマンホールとの取り付け部（ダクト部）の被災マップをもとに考察を行うこととする。これらのマップに表層地盤状況を転記したものが、図8-4-7、図8-4-8、図8-4-9である。これらのマップを基に各表層地盤毎に被災発生率を計算した結果が表8-4-1である。



このことから以下のことが分かる。

① マンホールの首部の移動について

マンホール首部はいわゆる地表面の動きに追随していると考えられることから地表変位が大きかったのは

埋立地＞沖積層＞低位段丘＞中位段丘 (マンホール首部)

の順であったと推定される。

② マンホールダクト部と管路の被害発生率の比較について

ダクト部と管路の土被はほぼ同じであるが、被害発生率は以下の様に差異が生じている。

埋立地＞低位段丘＞沖積層＞中位段丘 (マンホールダクト)

埋立地＞沖積層＞中位段丘＞低位段丘 (管路)

いずれも埋立地盤が一番発生率が高いが、その他の地盤では差異がある。マンホール首部の動きが地表の動きを反映していると仮定すると、地表変位の相対量と比してこれらの部位での被害の特異な地盤は低位段丘層と考えられる。

また低位段丘ではダクトと管路の被害発生率がほぼ同等であることは管路の被害がほとんどダクト部に集中したと考えられる。しかし、その他の地盤ではダクトの被害発生率が管路のそれに比べて著しく低いので管路が主にマンホール間で被災していると考えられる。

管路の被害がダクト部に集中するメカニズムを考える時、地盤の変位量よりもマンホール・管路系の振動時の位相差による構造系の弱点に被害が発生したと考えられる。

一方、震度7のエリアはほぼ低位段丘に相当している。マンホールダクト部及び管路が同一土被にあるにもかかわらず低位段丘地盤のみで被害発生率に異常を来す理由は地盤特性から類推するよりも震度7が発生した地域として考えた方が特異な現象の手掛かりになるのではないかと、また管路そのものは震度7という地表での家屋等の被害発生率、ないしは加速度等を基準とした震度階に追随していないようであった。しかし、このことは更に多くのデータ分析ならびに他の観点からの考察も必要と考える。

管路不通過状況

神戸支店
灘ビル

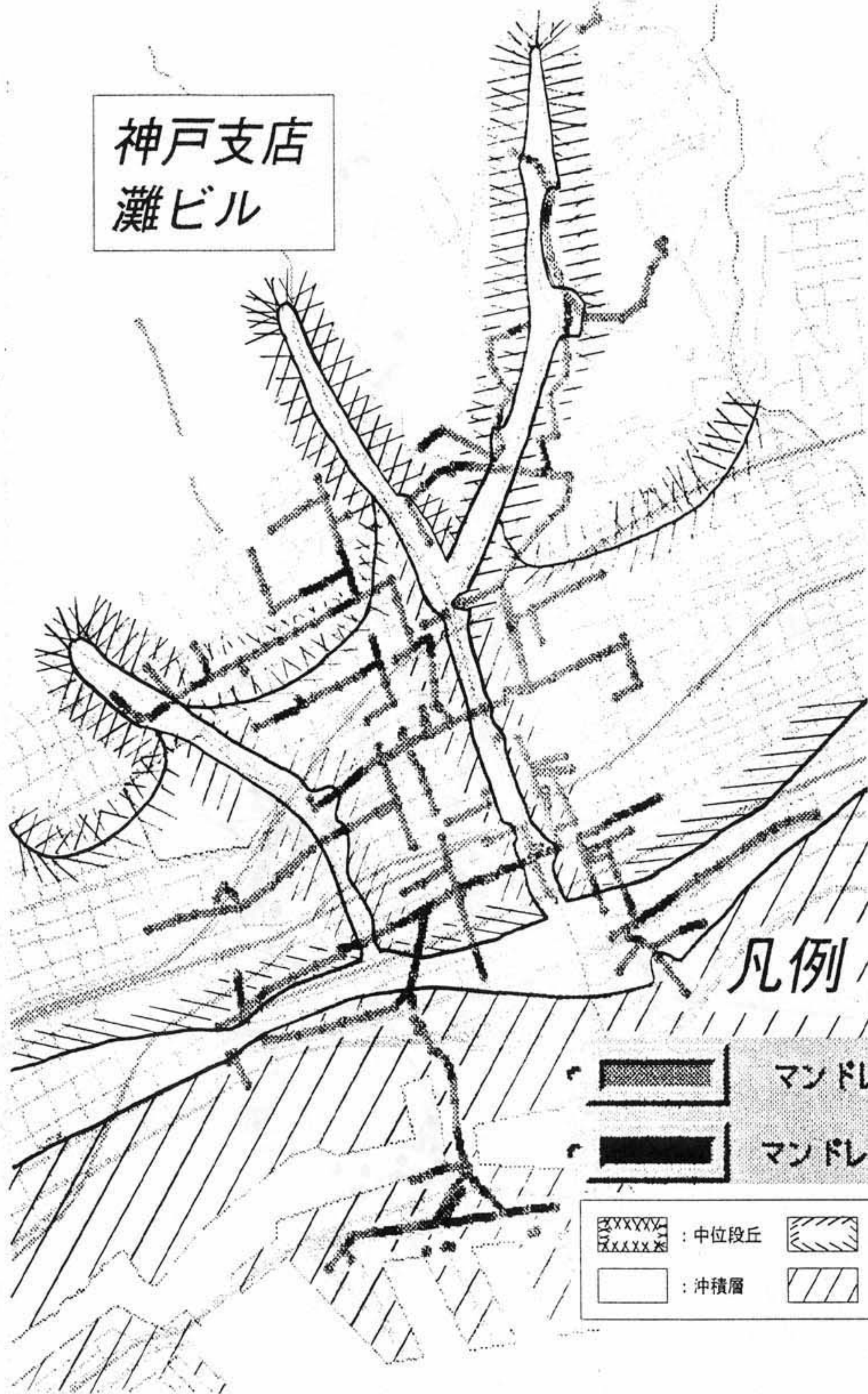


図8-4-7

MH首部被災状況

神戸支店
灘ビル

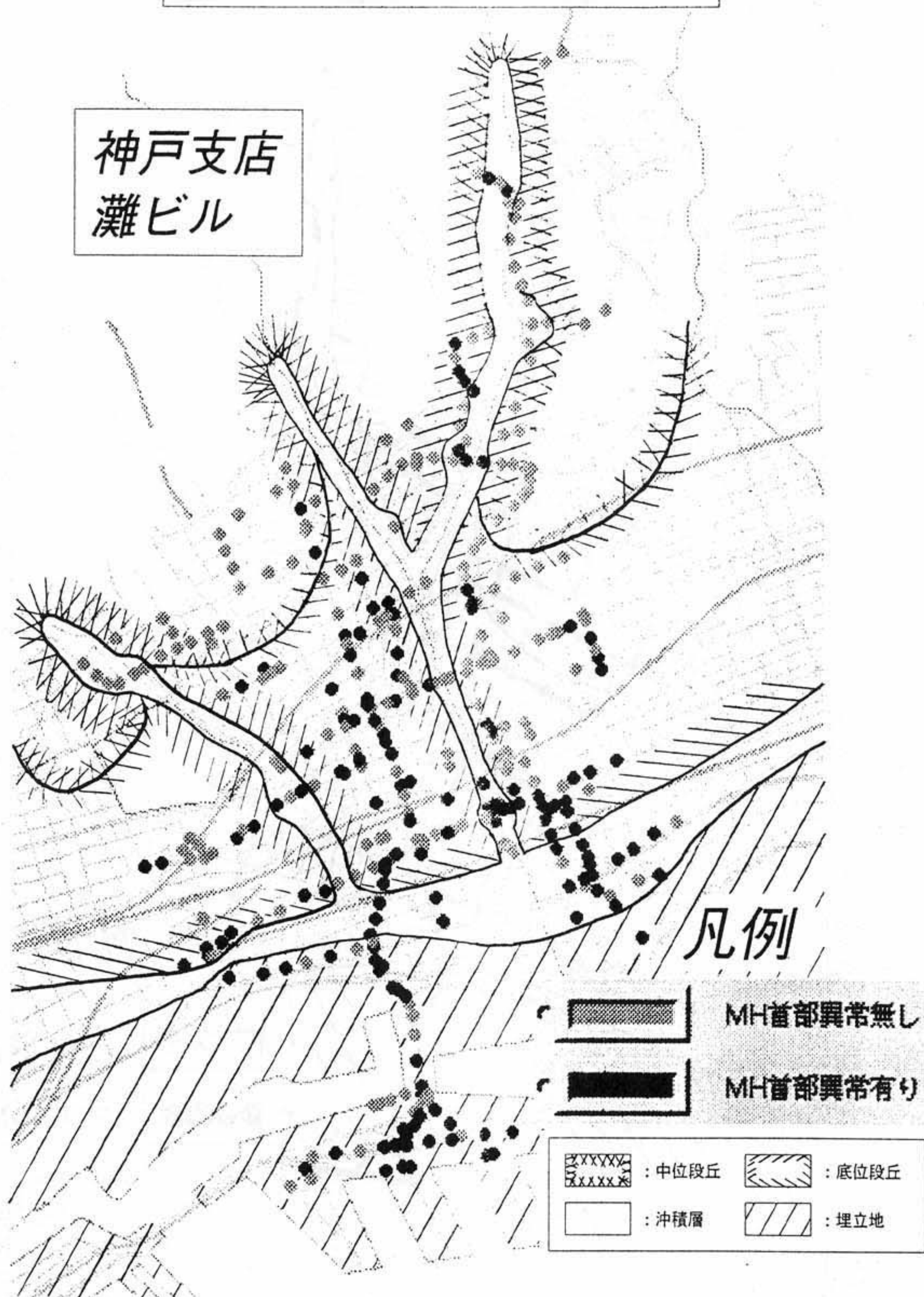


図8-4-8

MHダクト被災状況

神戸支店
灘ビル

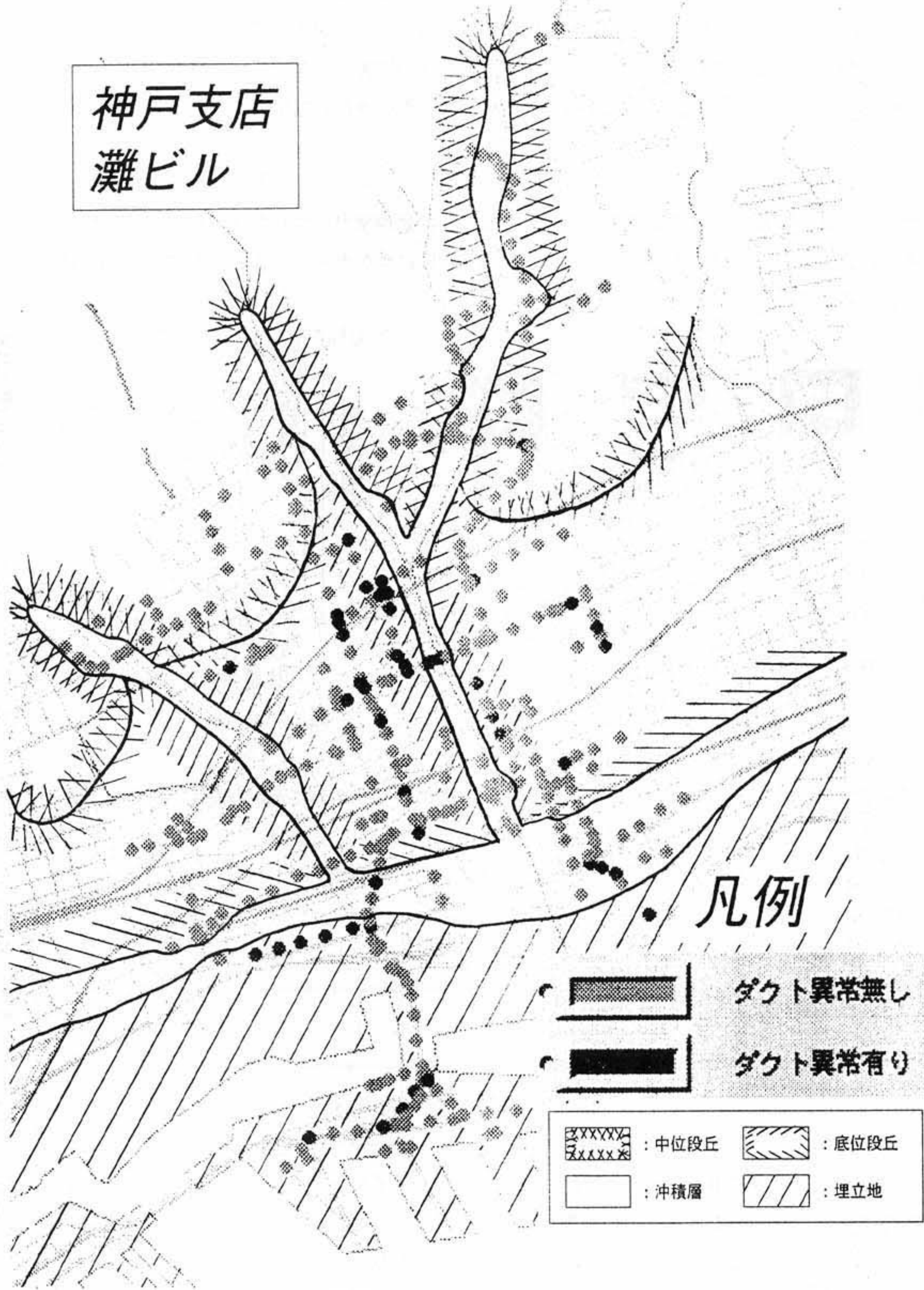


図8-4-9

③ 総論

ダクト破損は管路がスパン間で管軸方向に移動するために生じ、管路そのものの破損は管軸及び管軸面内の変位によって、継ぎ手部が破損したと考えられるが、面内移動が主要因であろう。このことから埋立地は地盤の不均質及び軟弱さの要因で管軸、面内ともに変位が大きかった。沖積地では地盤の層厚分布の影響で管軸面内移動が大きかった。低位段丘は管路が軸方向に剛体変位をしたような結果となっているので地盤の変位量が大きく、かつ、マンホールと管路の構造上の変化点で位相差を生じダクト部で破断したと考えられ、他の地盤と異なって、地盤そのものや土質の特徴というよりも地震動が非常に大きかったためと考えられる。中位段丘は管軸方向の影響が少ないことから地盤の変位量は少なく、地盤が急傾斜である影響を受けて管軸面内の変位が大きかったと推定できる。

(2) 液状化地域とその他地域との比較

マンホールと管路について全調査地域を対象に、液状化現象が発生した地盤か否かで分類したものが図8-4-10、図8-4-11である。このことから、一般的にマンホール、管路ともに液状化が発生した地域ほど被害が多いことが分かった。

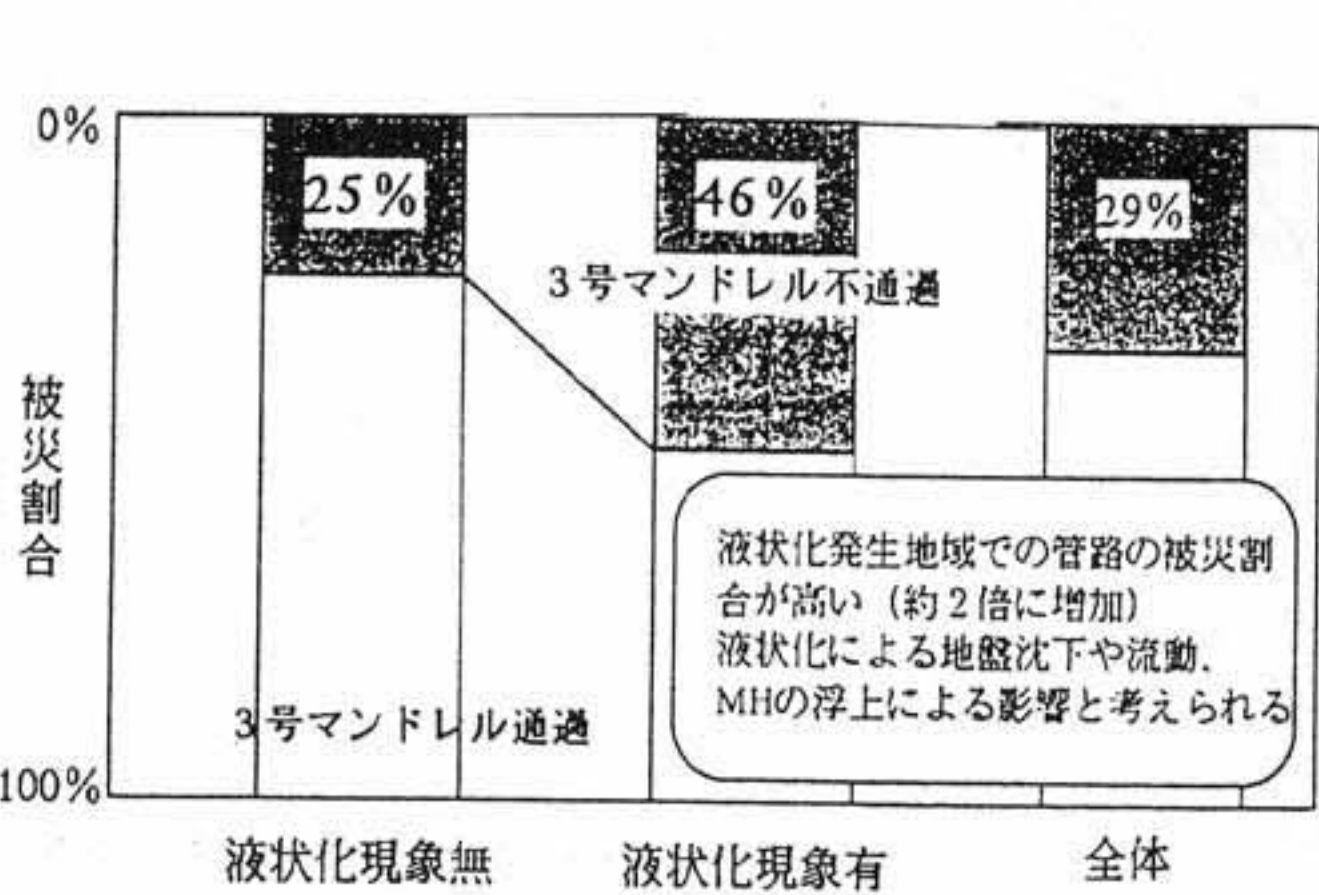


図8-4-10 管路の被災状況

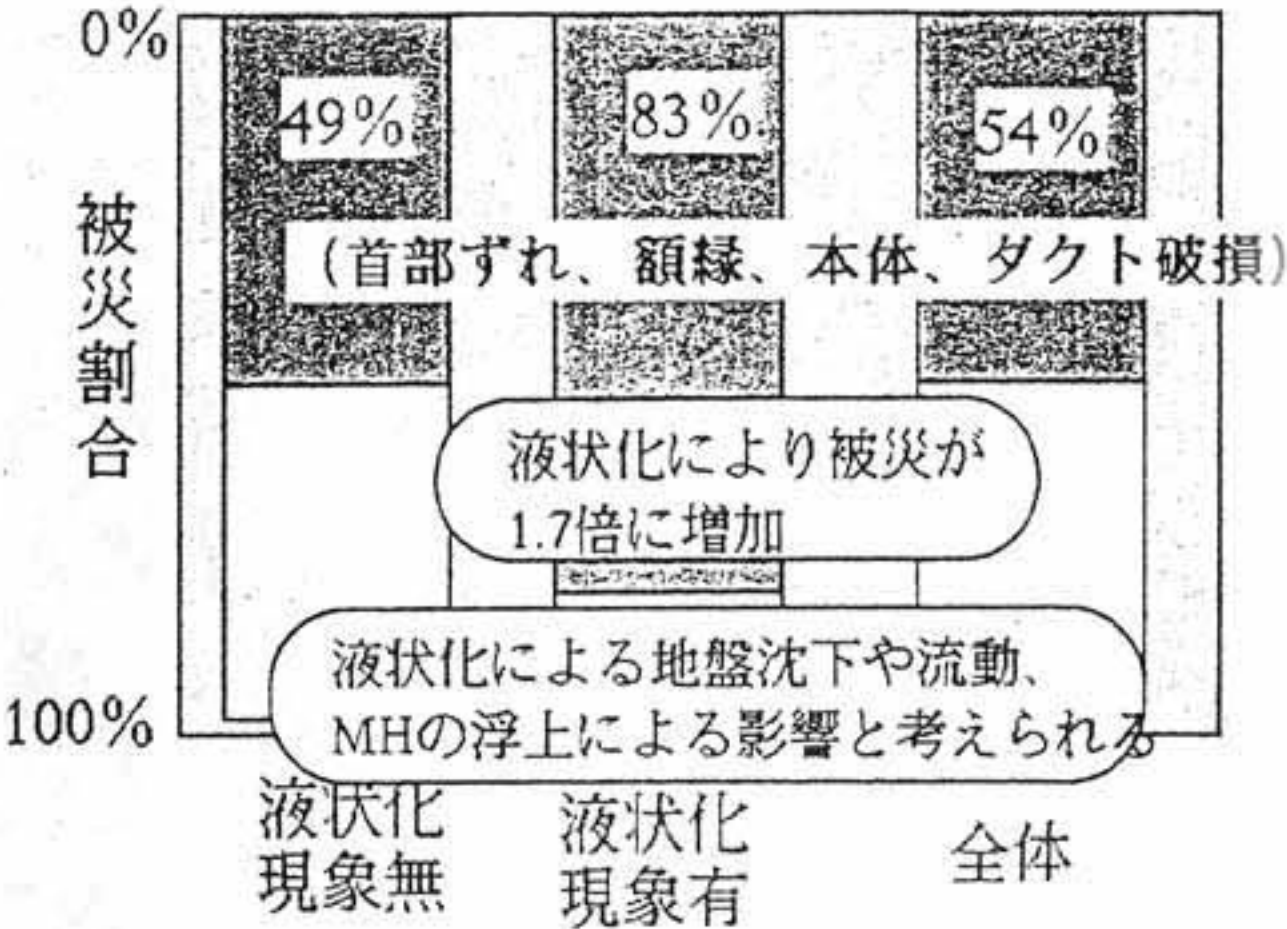


図8-4-11 マンホールの被災状況

(3) ポートアイランドと六甲アイランドの比較

ポートアイランドと六甲アイランドの通信土木設備の被害率を表に示したものが、表8-4-2である。

表8-4-2 ポートアイランドと六甲アイランドの設備被害率の比較

	管 路	ハンドホール	マ ン ホ ー ル
ポートアイランド	38.1%	41.6%	66.1%
六甲アイランド	8.8%	16.1%	17.2%

この結果だけでは六甲アイランドの地盤の方がポートアイランドに比較してNTTの設備には良好な地盤状態であったように見受けられるが、設備の構築状況を調べたところ表8-4-3に示したように設備そのものの耐震性に大きな差異があることが判明した。すなわち、ポートアイランドではマンホールのダクト部分には一部ダクトスリーブが導入されているものの大半は耐震性のないダクトソケットであった。一方、管種に注目するとSA管の継ぎ手はネジ継ぎ手であり、ダクトソケットに取り付けたSA管と隣接するSA管との継ぎ手のみに伸縮継ぎ手が挿入されている。V管においては継ぎ手は接着方式である。このようにポートアイランドの設備は基本的に耐震性に乏しい設備形態であった。六甲アイランドにおいては、ダクトはほ

表 8－4－3 ポートアイランドと六甲アイランドの管路設備の相違

	建設年度	管 種	ダクト	管種の割合
ポートアイランド	S 59年以前87%	S A、V	ジャケット/スリーブ	S A:51.5% V:48.3% その他:0.2%
六甲アイランド	S 59年以前9%	P S、P V	スリーブ	P S:6.1% P V:93.9%

ばダクトスリーブが用いられ、管路については差し込み継ぎ手が用いられていた。管路とスリーブの伸縮性能は表 8－4－4 に示すとおりである。

表 8－4－4 管路性能（単位mm）

	差し込み継ぎ手の伸縮長	ダクトスリーブの伸縮長
P L－P S	0	+ 1 4 0 - 1 2 0
P－V	± 5 0	+ 1 6 0 - 1 1 2

このように設備の耐震性能に大きな差異があるため、設備被害率の相違の原因を地盤の差異に求めることは難しく、両人口島の地盤的な評価はできなかった。

8. 4. 5 まとめ

（1） 通信土木設備の耐震性評価

前章で述べたように被害は液状化現象が発生した地域、言い換えると主に埋立地での発生が著しく、その他の地盤では設備そのものの被害である、マンホールダクトや管路の被害発生に差異があった。このことは震度、表層厚、微地形および地震波の伝播メカニズムに関連しているものと考えられるが、十分な考察には到らなかった。以下ではN T Tの設備が過去の震災の被害を契機に種々耐震対策を施してきた設備が、今回の震災でどのように評価できるかについて考察を行った。

① マンホールの評価

マンホール材質別の被災状況を図 8－4－12 に示した。これによると現在建設していないレンガ作りの被害率が大きかったが、その他の材質には特に顕著な差異はなかった。R C 構造で率が高いのは、設備の絶対量が圧倒的に多いためで、材質的な違いによるものではないと考えられる。

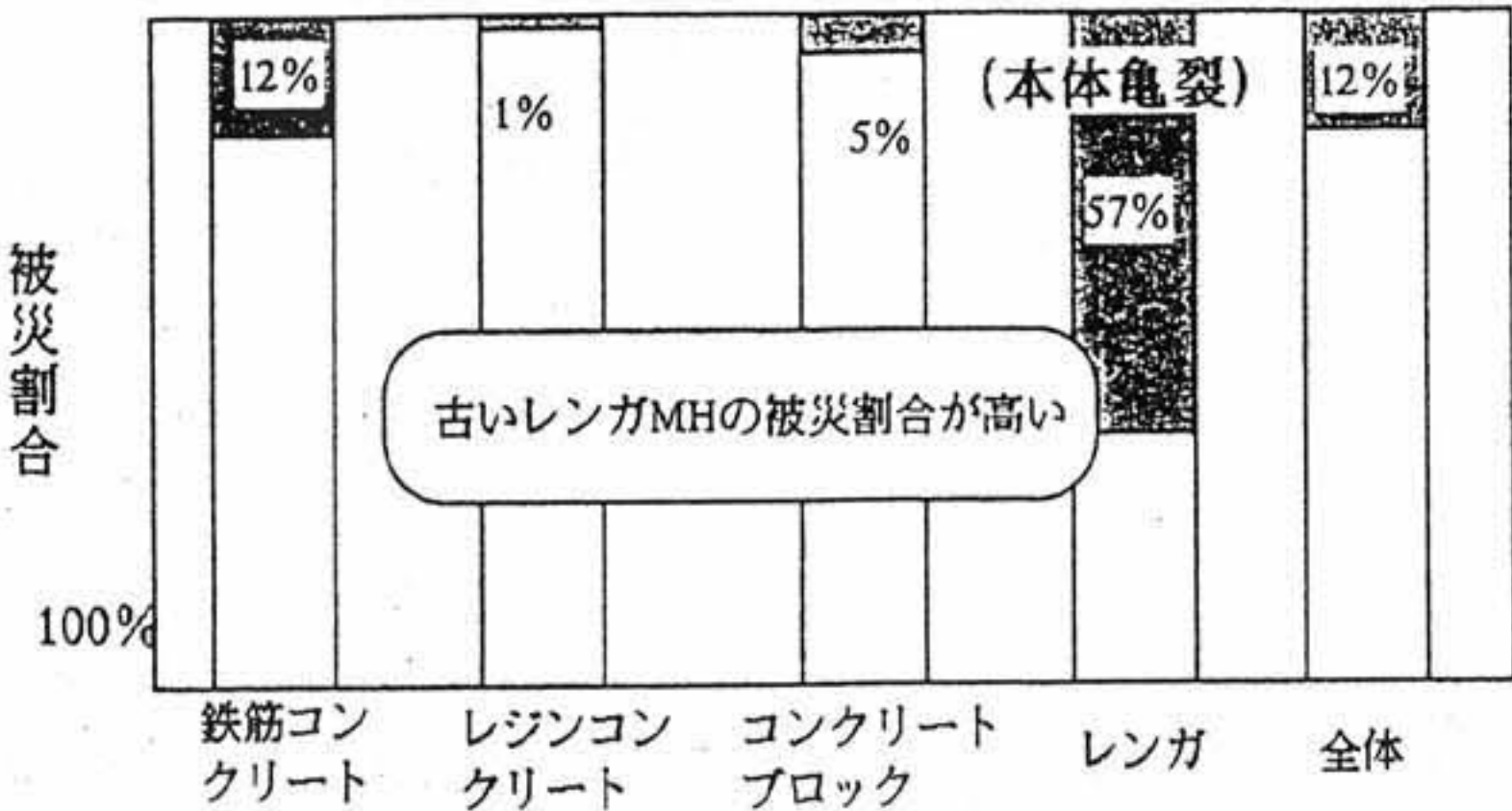


図 8－4－12 マンホール構造別被災状況

② 管路の評価

管路設備の建設年度別分類を図8-4-13に示した。これによると1981年以降ダクトスリーブや差し込み継ぎ手等の耐震対策を施した設備を導入することによって従来の工法と比較して著しく耐震性が向上したと言える。この基本的な考えは、部材間に移動しろ、すなわち適当な伸縮余長を持たせる設備構造とすることが効果的であったと推測される。

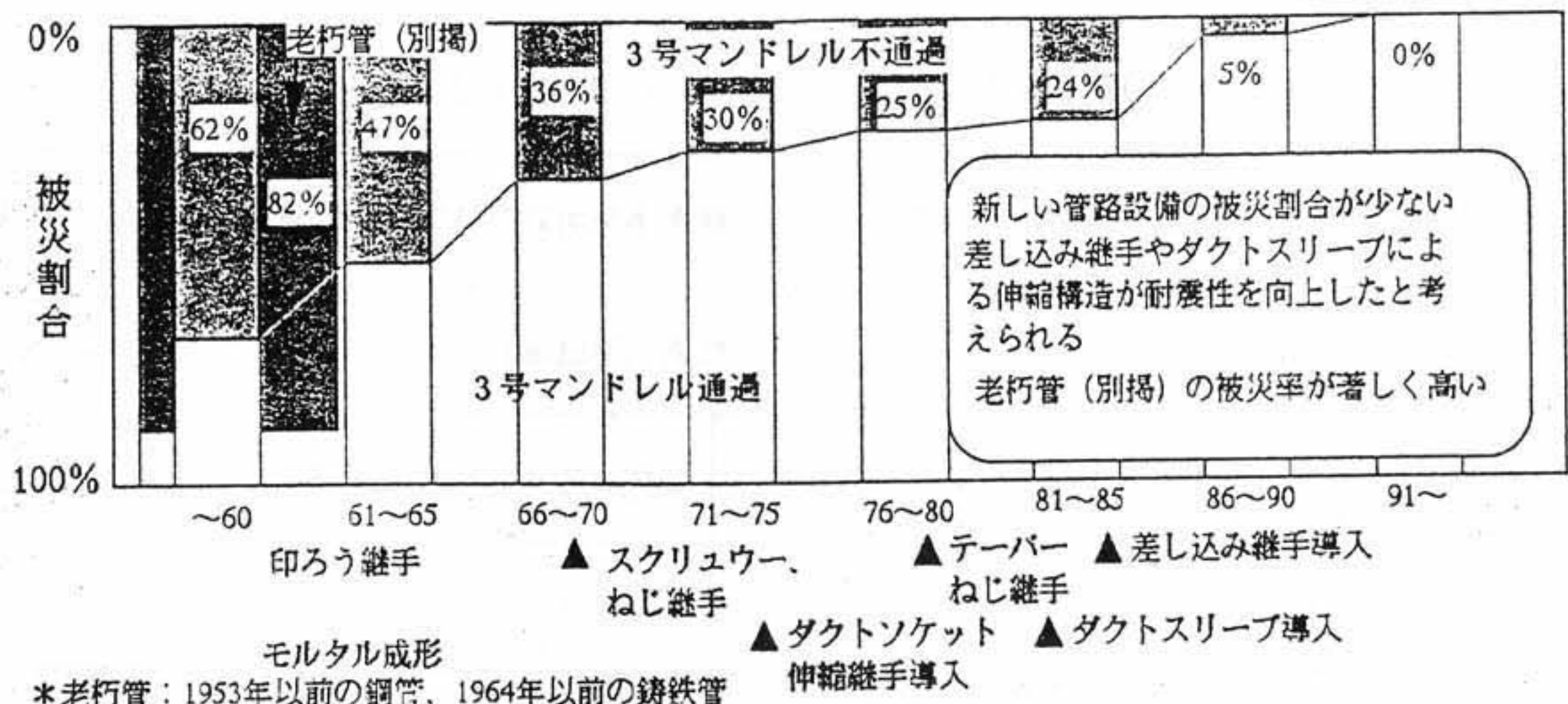


図8-4-13 管路の建設年度別被災状況

(2) 過去の震災との比較

過去の地震の被害は今回ほどに定量的な資料がないため数量的な比較はできないが、過去の代表的な被害現象と比較して設備形態が類似のものはほぼ同様な被害現象が報告され、かつ被害数が多かったため、過去報告されている全ての被害状況が発生した。しかし、液状化現象によるマンホール等の浮上現象はほとんど見受けることができなかったことは特筆すべきことではないかと思う。このことは液状化の発生メカニズムが過去の地震と多少違うのではないかと想像される。

(3) 屋外設備全体の被災について

NTTの屋外設備全体の被災率を図8-4-14にまとめた。これから通信土木設備の被害は電柱に比べて大きかったが、ケーブルに与える影響は地下設備の方が少なかった。すなわち通信土木設備はケーブルの器の役目を果たし、通信の確保に貢献することができた。しかしながら、震災時に通話が確保出来ない事態がかなり長時間にわたり発生した。このことは、お客さま各戸へのケーブルの切断、全国からの震災地へのコールが膨大であり交換機的能力を遙に上回った、またバックアップ電源の被災等の原因によるものである。ライフライン事業者として今後屋外設備の復興・改善だけでなくトータルとして地震に更に強い設備作りに励む所存です。

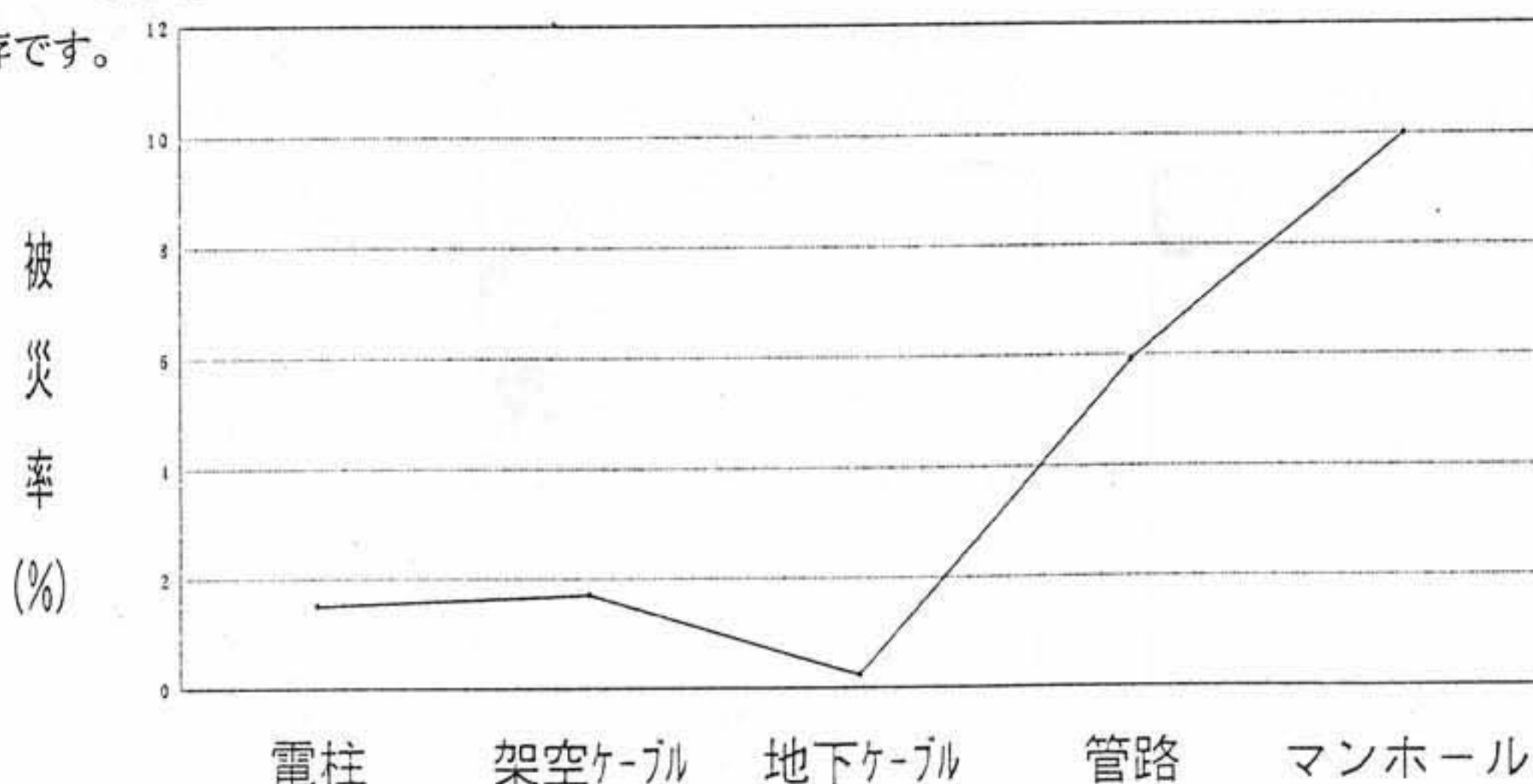


図8-4-14 屋外設備の被災率

8. 5 電力施設

8. 5. 1 施設の概要

関西電力（株）では近畿2府4県および三重、岐阜、福井県の一部に供給区域をもち、その面積は28,668 km²、約1,165万口の需要家に年間約1,233億kWhの電力を供給している。発電設備としては、平成5年度末現在165箇所の設備を有し、合計3,504万kWの供給能力がある。電源構成別についてみると火力発電が50%以上を占めている。

今回の地震被害が集中した神戸支店管内は、兵庫県東部域および大阪府の一部を供給区域にもち、約202万口の需要家に年間約186億kWhの電力を供給している。管内には3火力発電所（東灘、尼崎第三、尼崎東）および1水力発電所（羽束川）の発電設備を有している。送電設備については、架空、地中併せた電線路亘長が全社の約10%程度であり、支持物に関しては約93%が鉄塔である。変電設備については、154kV以上のいわゆる一次変電所（一次側電圧が154kV以上の変電所）を12箇所有し、その大部分が阪神地区に位置している。配電設備に関しては、電線路亘長、変圧器、支持物数とも全社の約15%程度であり、地中化率に関しては他支店に比べてやや高い。また、支持物に関しては約96%がコンクリート柱である。表8-5-1に送電・変電設備概要を、表8-5-2に配電設備概要を示す。

表8-5-1 送電・変電設備概要
(H6. 3末)

送電設備	電線路 亘 長 (km)	架 空	10,819 (1,013)
		地 中	1,740 (273)
		計	12,559 (1,286)
	支持物数		36,836 (3,396)
変電設備	箇 所		868 (131)
	出力 (MVA)		125,978 (20,604)

() 内は神戸支店管内分再掲

表8-5-2 配電設備概要
(H6. 3末)

配電設備	電線路 亘 長 (km)	架 空	87,143 (12,286)
		地 中	5,040 (997)
		計	92,183 (13,283)
	変圧器	台 数 (台)	1,574 (216)
		容 量 (MVA)	49,172 (7,282)
支持物数 (千基)		2,388 (350)	

() 内は神戸支店管内分再掲

8. 5. 2 調査方法と区域

震災直後に管内全域における電力関連設備について巡視、点検、調査を行った。特に被害が大きかった神戸支店・大阪北支店管内では以下の調査を実施した。

・拠点設備（発電所・変電所）

機器設備についてはまず設備所管箇所の所員が臨時巡視を実施して確認を行った。その後、設備の健全性確認のため、協力会社にも巡視を依頼した。巡視にあたっては、被害が比較的大きく、復旧を急ぐ発電所・変電所を優先して行った。

土木設備については、まず当該設備の所員が臨時巡視を実施して確認を行い、その後、土木技術者が臨時点検を実施した。また、建物については緊急点検を実施した後、建築技術者により、全ての建物点検を実施した。

・ライン設備（送電線・配電線）

送電線（架空）については、ヘリコプターによる設備被害箇所の確認を実施、その後、基別巡視・点検による設備被害程度の把握を行った後、比較的高い震度エリアにある線路等については臨時昇塔点検を実施した。

送電線（地中）については、液状化が原因と思われる陥没地割れ等の被害が発生している道路に布設されている線路を対象に調査を実施した。管路については導通試験を実施し、不導通箇所についてはTVカメラにて状況確認を行った。また、人孔、ケーブルについては、異常状況について目視確認を行った。

配電線についても、被害が発生した地域全てにおいて支持物、電線、変圧器、人孔、管路、ケーブル等の点検、調査を実施した。

8. 5. 3 被害の概要

地震発生時には、送変電設備、配電設備の被害により約 260万戸の需要家で停電（約 284万kWに相当）したが、直ちに被災設備を系統から分離し、健全箇所から順次切り替え送電を行い、約2時間後には約 100万戸に低減させた。配電線の復旧にあたっては、道路事情の悪化、家屋の倒壊、不在家屋の状況確認等のため時間を要したが、地震発生6日後の1月23日15時に全戸への応急送電を完了した。

以下に各電気設備の被害状況について述べる。

(1) 発電所

原子力発電所、水力発電所には被害がみられなかった。火力発電所においては21箇所のうち大阪湾沿岸の埋立地盤上に建設されている10箇所の発電所で被害を受けた（図8-5-1）。震源地に最も近い東灘ガスタービン発電所では強力な地震動や液状化の影響を受け護岸継ぎ目のずれ・開口、構内道路・地盤の沈下・亀裂等の被害を受けるとともに電気工作物にも被害を受けた。地震直後には運転及び起動中の12ユニットが自動停止し、176万kWの発電支障が生じた。

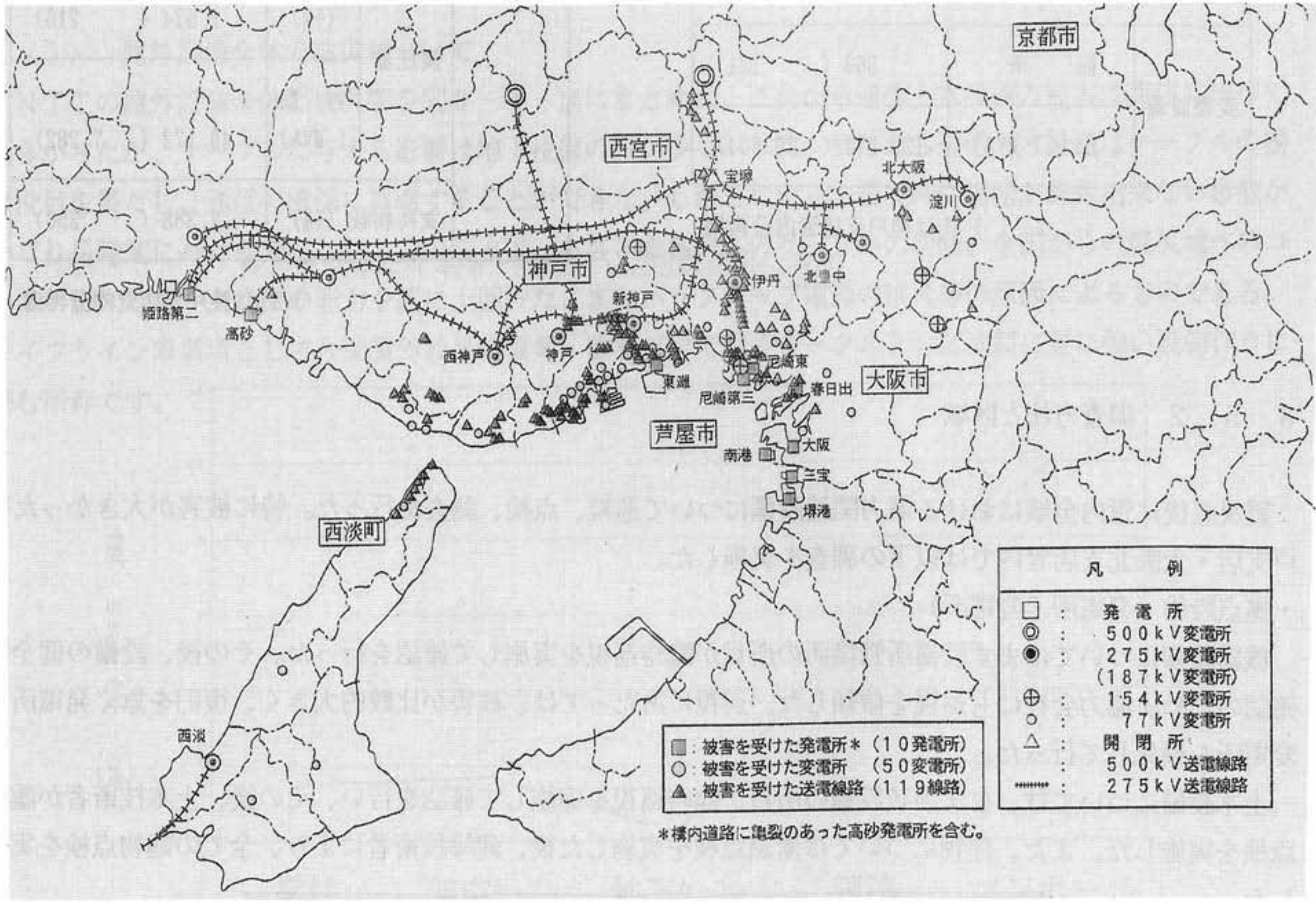


図8-5-1 被害を受けた発電所・変電所・送電線路の位置図

(2) 変電所

全変電所 861箇所のうち軽微な被害を含めて50箇所で被害を受けた（図8－5－1）。その大部分が阪神地区に集中しており、伊丹変電所、新神戸変電所など17箇所の変電所においては主要変圧器、主要遮断器等の主要電気工作物にも被害を受けた。これらの地区では埋立地、沖積層、段丘層、岩盤すべての地盤域で被害を受け、埋立地にある変電所の大部分においては液状化による噴砂現象がみられた。地震直後に供給支障が発生した変電所は 189変電所あったが、負荷を隣接変圧器または他系統へ切り替えるなどにより1月18日 AMまでには応急復旧を行った。

(3) 送電線

A) 架空送電線

架空送電線路は総線路数 1,065線路のうち、23線路に被害を受け（図8－5－1）、11線路で鉄塔、電線、がいしの主要電気工作物に被害を受けた。このうち、鉄塔被害は軽微なものも含めて20基発生したが、いずれも地崩れ等の地盤変位に伴う基礎不同変位による2次的被害であり、地震動による直接的被害はなかった。

B) 地中送電線

地中送電線路は総線路数 1,217線路のうち、102線路にケーブル損傷、管路不導通等の被害を受けた（図8－5－1）。被害状況の調査の結果、地盤的には、沖積層、埋立地に被害が多く分布していることがわかった。

神戸支店管内における管路について、液状化、道路陥没・隆起がみられる地域を中心に点検した結果、点検数 965径間のうち異常数は 192径間（被害率20%）あった。被害のあった 192径間中 176径間がAP（石綿セメント管）管路（AP管路の調査数の24%）であり、PFP（強化プラスチック複合管）管路の16径間（PFP管路の調査数の6%）を上回り、可とう性を有していないコンクリート巻管路の方が被害率が高いことがわかる。

次にAP管路について、液状化の有無で被害率をまとめたものを図8－5－2に示す。沖積層、埋立地ともに液状化地域の被害率が非液状化地域に比べて高く、特に、埋立地においては液状化地域の被害が約2.4倍になっている。また、液状化地域における被害の様相としては段差（管路の一断面で管路に破断が発生し、断面方向にずれているもの）の被害が多かった。同様にPFP管路についてまとめたものを図8－5－3に示す。埋立地の液状化地域での被害率が60%と非常に高くなっていることがわかる。

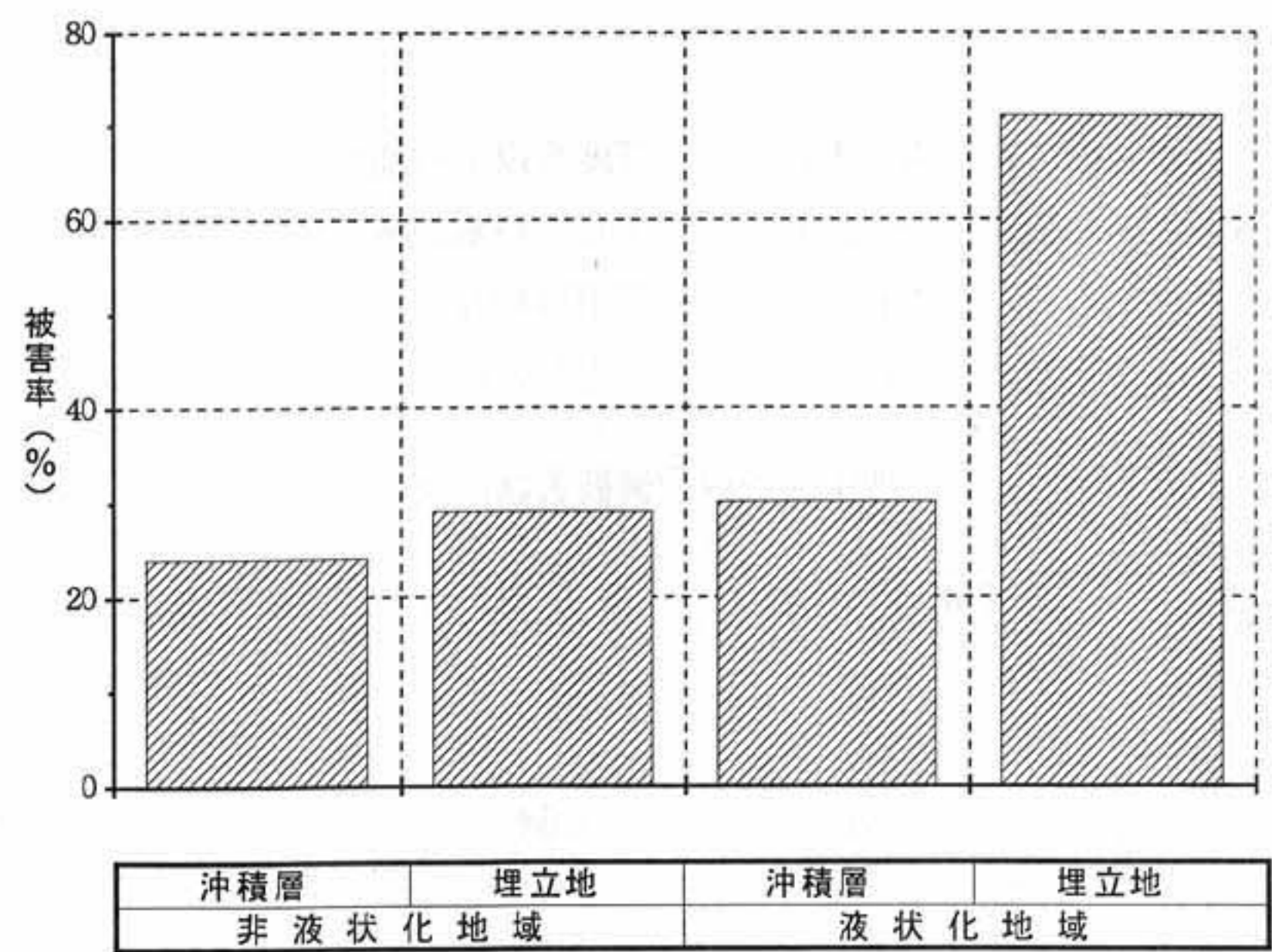


図8－5－2 AP（石綿セメント管）管路の被害率

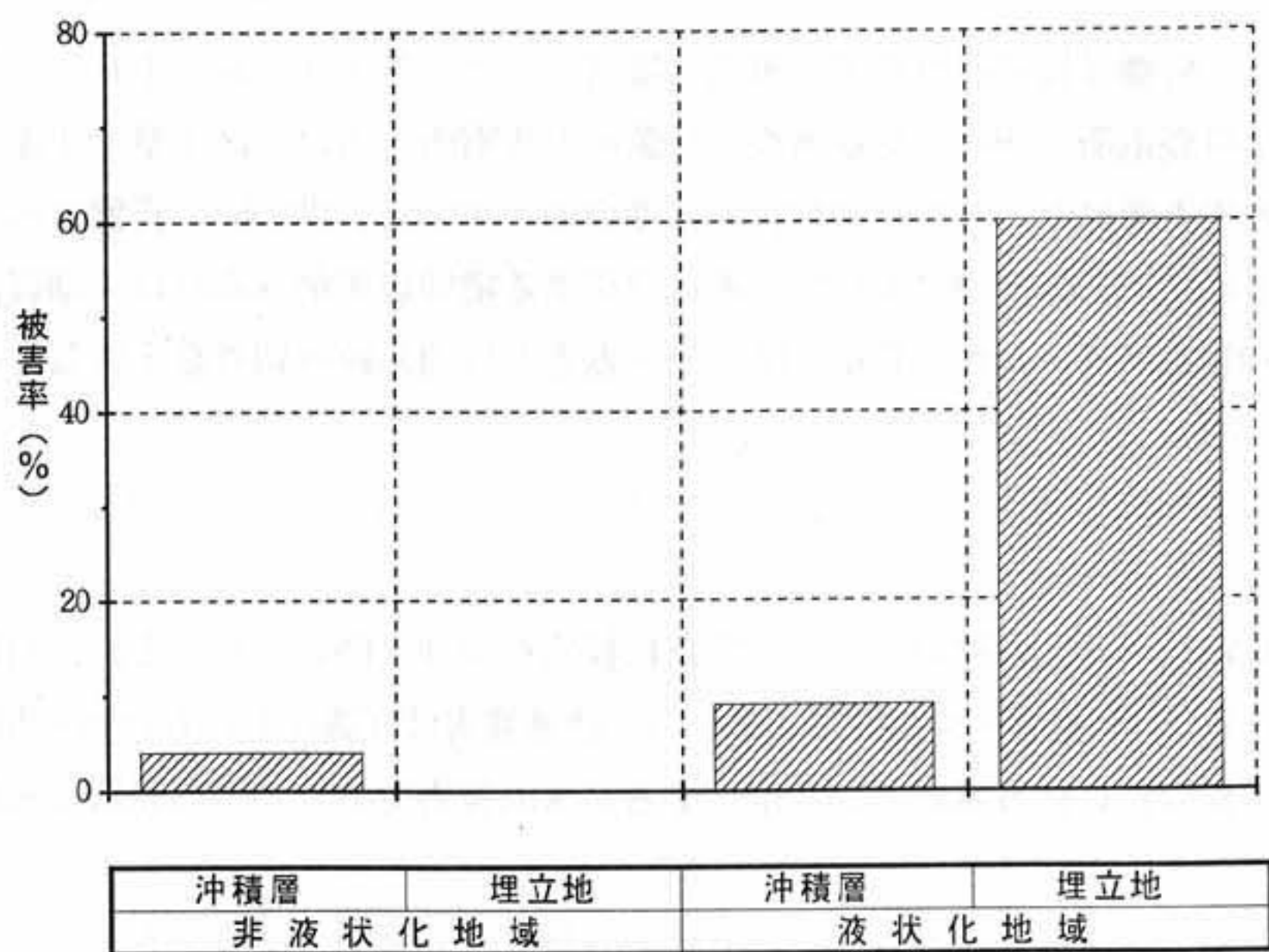


図8－5－3 PFP（強化プラスチック複合管）管路の被害率

（参考）

1. AP（石綿セメント管）管路は昭和62年まで使用導入
2. PFP（強化プラスチック複合管）管路は昭和45年以降導入

（4）配電線

配電設備においては、高圧総回線数12,109のうち 649回線に被害（被害率5％）を受けた。神戸支店管内でみると総回線数 1,795回線のうち 551回線に被害（被害率31％）を受け、特に三宮営業所管内においては被害率 100％であった。

A）架空配電線

支持物の被害総数は11,289基（被害率 0.5％）であり、その内訳は折損・倒壊 3,295基、傾斜・沈下 5,625 基、焼失 1,239基、ひび割れ 1,130基である。神戸支店管内では、支持物被害総数10,274基（被害率 2.9％）であり、その内訳は折損・倒壊 3,286基、傾斜・沈下 4,665基、焼失 1,239基、ひび割れ 1,084基である。

B）地中配電線

神戸支店の三宮、兵庫、西宮営業所管内における震度6以上の地域で調査した結果を表8－5－3に示す。これを大阪市域西部の建物損壊や道路被害が発生している地域を中心に震度5以下の地域でサンプル調査を行った結果と比べてみると、人孔・管路の異常率は約5倍となっている。

詳細については8. 5. 4被害の特徴で述べることにし、ここでは概要のみにとどめておく。

表8－5－3 地中配電線設備被害状況調査結果

設備名称	3所の施設数	調査数	異常数	異常率
ケーブル （条）	12,716	6,383	1,913	30％
管 路 （径間）	3,936	1,856	437	24％
人孔・手孔 （箇所）	2,683	1,519	294	19％

※異常数――改修が必要な設備被害を受けた箇所数

8. 5. 4 被害の特徴

この項では、被害の特徴として、(1) 変電所建物、(2) 配電線、(3) 地域別被害をとりあげ、主に地盤等の関連を中心に考察を行う。

(1) 変電所建物

図8-5-4に神戸支店管内全域における変電所建物の被害状況を示す。

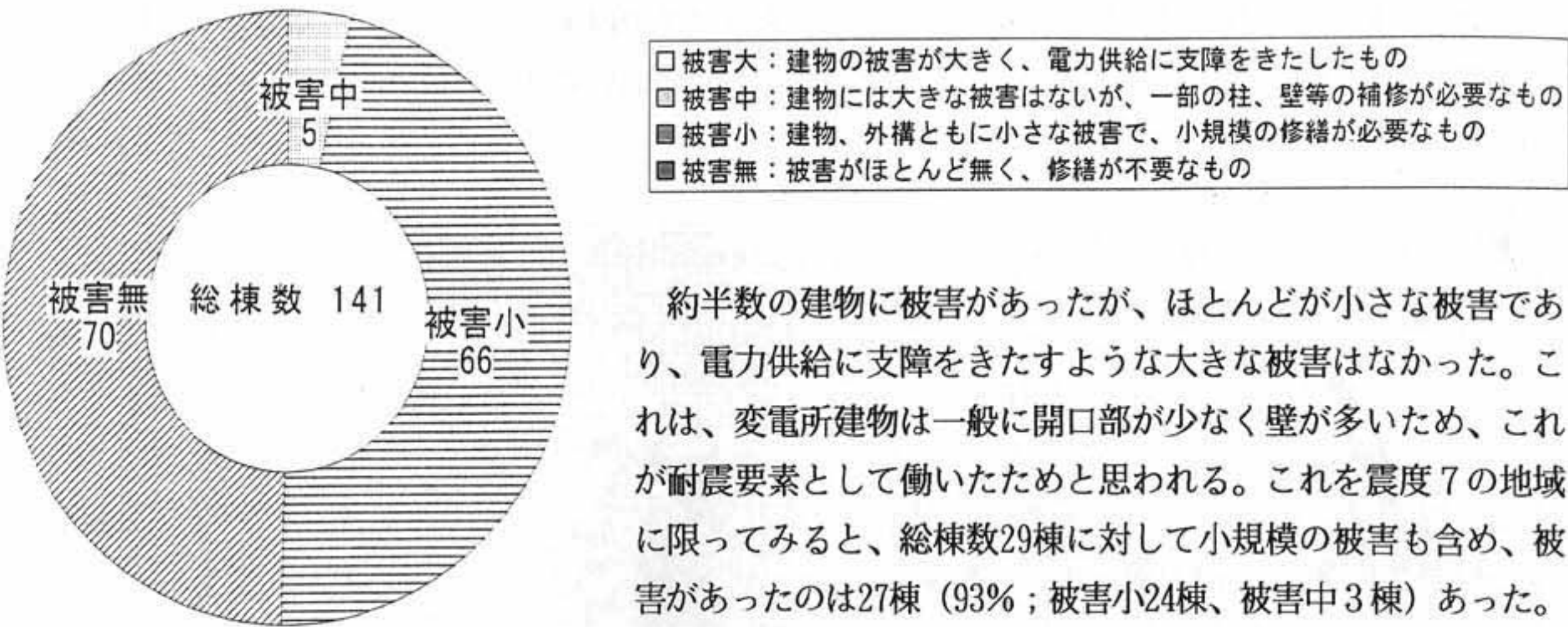


図8-5-4 神戸支店管内全域における変電所建物被害状況

約半数の建物に被害があったが、ほとんどが小さな被害であり、電力供給に支障をきたすような大きな被害はなかった。これは、変電所建物は一般に開口部が少なく壁が多いため、これが耐震要素として働いたためと思われる。これを震度7の地域に限ってみると、総棟数29棟に対して小規模の被害も含め、被害があったのは27棟(93%；被害小24棟、被害中3棟)あった。さらに竣工年度別に調べた結果が図8-5-5である。建築基準法改正後(S56～)の建物についてはほとんど被害がなかった。また、被害が中規模の建物5棟についてみると、魚崎、千歳町、甲南の3変電所についてはいずれも震度7の地域にあり、

杭基礎ではなかった。また、湊川変電所については、埋立地盤上の液状化地域にあり、レンガ造で杭基礎ではなかった。同じ液状化地域については、ポートアイランド変電所では液状化により変電所敷地が沈下し杭頭が露出するなどの被害(上部躯体には被害なし)があったが、六甲アイランド内にある六甲アイランド変電所での被害はほとんどなかった。この2つの変電所は、構造、基礎型式(杭基礎)等がほぼ同じであり、被害程度の差異については、六甲アイランド変電所のほうは建築基準法改正を見込んだ耐震設計を行った建物であったこと、およびポートアイランド、六甲アイランドの埋立材料特性、地盤改良などが考えられる。

被害が小規模の建物は埋立地、沖積層、段丘層、岩盤と多岐にわたっており、特に地盤との関連は明らかではない。

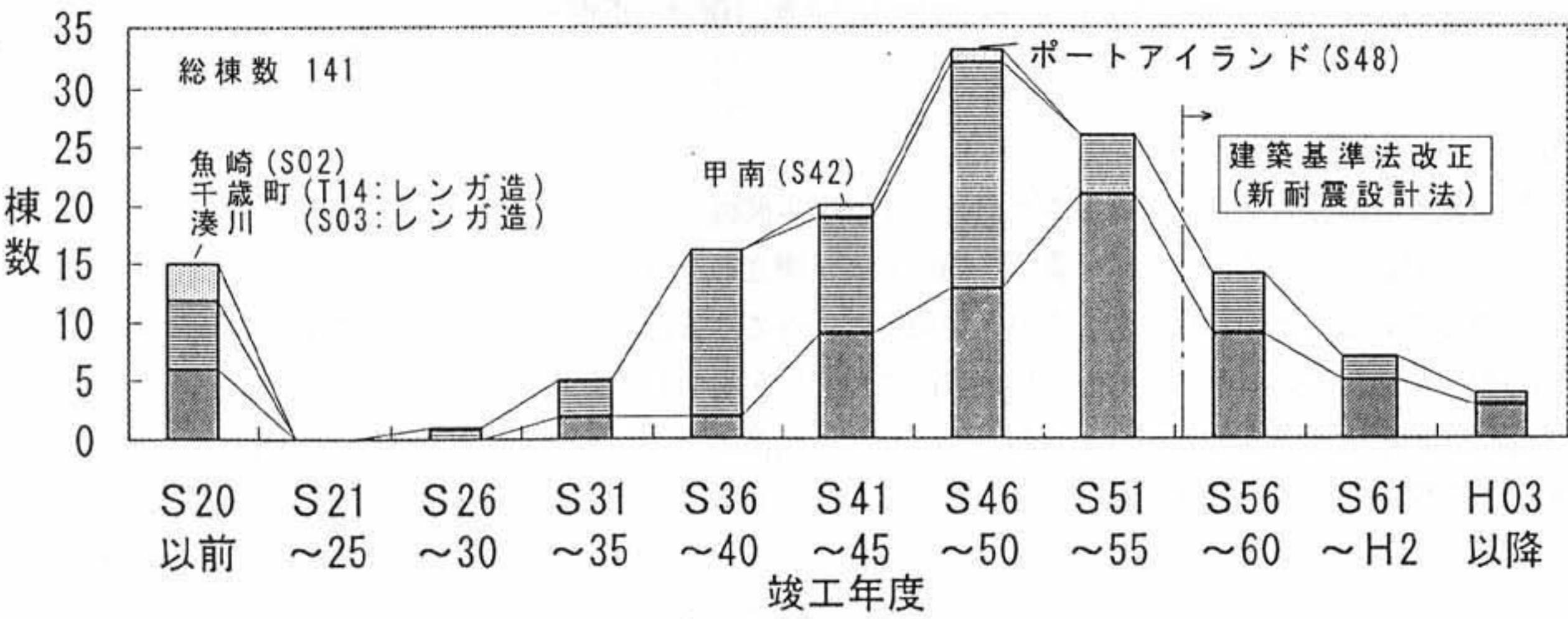


図8-5-5 神戸支店管内における竣工年度別被害状況

(2) 配電線

A) 架空配電線

図8-5-6に支持物の被害分布図を示す。支持物の被害としては震度7の地域で特に被害が大きいことがわかる。この地域において詳細に調べた結果、支持物被害（折損・倒壊）については、家屋やその他工作物の倒壊等に巻き込まれたものが約80%をしめていることがわかった。これは、中央開発（株）が行った建物の被害状況調査¹⁾のうち超震度7地域（木造住宅の倒壊率が50%以上で鉄筋コンクリート建物の倒壊が多い地域）ともよく対応していることから被害の大部分はこれらの二次災害が原因と思われる。このことは、一般の都市構造物に被害があった箇所、例えば高速道路倒壊地点や陥没した地下鉄駅付近の路線（道路）沿い（いわゆる支持物のみが独立している箇所）においては被害がほとんどないことからわかる。

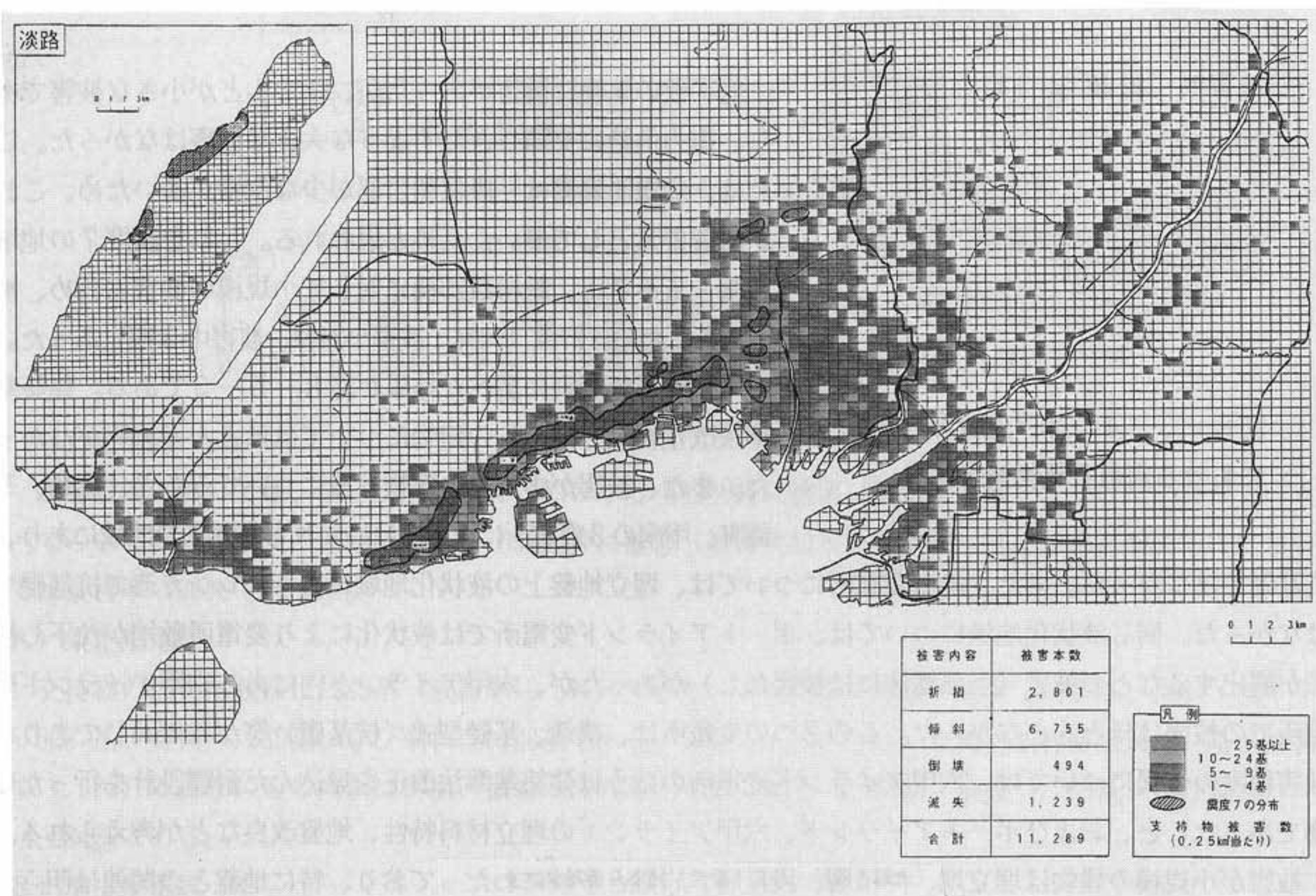


図8-5-6 支持物被害分布図（倒壊・折損・傾斜・滅失）（グラビア参照）

B) 地中配電線

地中配電設備の損傷（配電線事故となったケーブル被害）は震度6以上の地域において多いことは先にも述べたが、さらに調べてみると震度7地域および埋立地において噴砂や地盤沈下がみられた液状化地域に集中していることがわかった。これを設備ごとにみると、人孔・手孔については、全体の被害の約86%が、また、管路については、全体の被害の約78%が集中している。

また、地中配電設備被害の主な特徴としては、①損傷のケーブルの約66%が家屋倒壊等による電柱の損壊、お客さま設備の損壊に起因するものであり、設備そのものに起因して送電不能となったケーブル被害は少ない、②施設年の古いコンクリート巻管路や、ヒューム管の被害が多く、現在使用しているプレハブ管や亜鉛めっき鋼管の被害は少ない、③人孔・手孔についても施設年の古い現場打人孔の被害率が高く現在使用しているプレハブ人孔は、比較的被害率が低く被害程度も軽微である、などがある。

(3) 地域被害別

ここでは、比較的被害の集中した①灘区・東灘区、②甲陽断層東側地域〔伊丹周辺〕について述べる。

①灘区・東灘区

灘区・東灘区周辺の変電所、架空送電線、地中送電線を表層地質図^{2) 3)}に重ねてみたものを図8-5-7に示す。この地域には、変電所が12箇所あり、主要電気工作物に被害を受けた新神戸変電所は岩盤上にあるが、近くに断層の存在が確認されている。同じく主要電気工作物に被害を受けた葺合変電所および建物に中程度の被害がでた魚崎変電所や甲南変電所はいずれも沖積層地盤である。また、これらの変電所周辺の地中送電線も管路や人孔を中心とした被害が多数でている。

架空送電線は岩盤上に設置されているが、新神戸変電所北側において鉄塔被害が発生（部材損傷 他）している。このあたりは、大月断層近くであり、周辺では自然斜面の崩壊も多数あったことが報告されている⁴⁾。

架空配電線は甲南変電所、南灘変電所周辺において支持物の倒壊、折損が多いがこのあたりは建物の倒壊率も大きい場所である。また、一般の被害も大きく、阪神電鉄石屋川～西灘区間やJR六甲道駅周辺では高架橋の被害もでている。

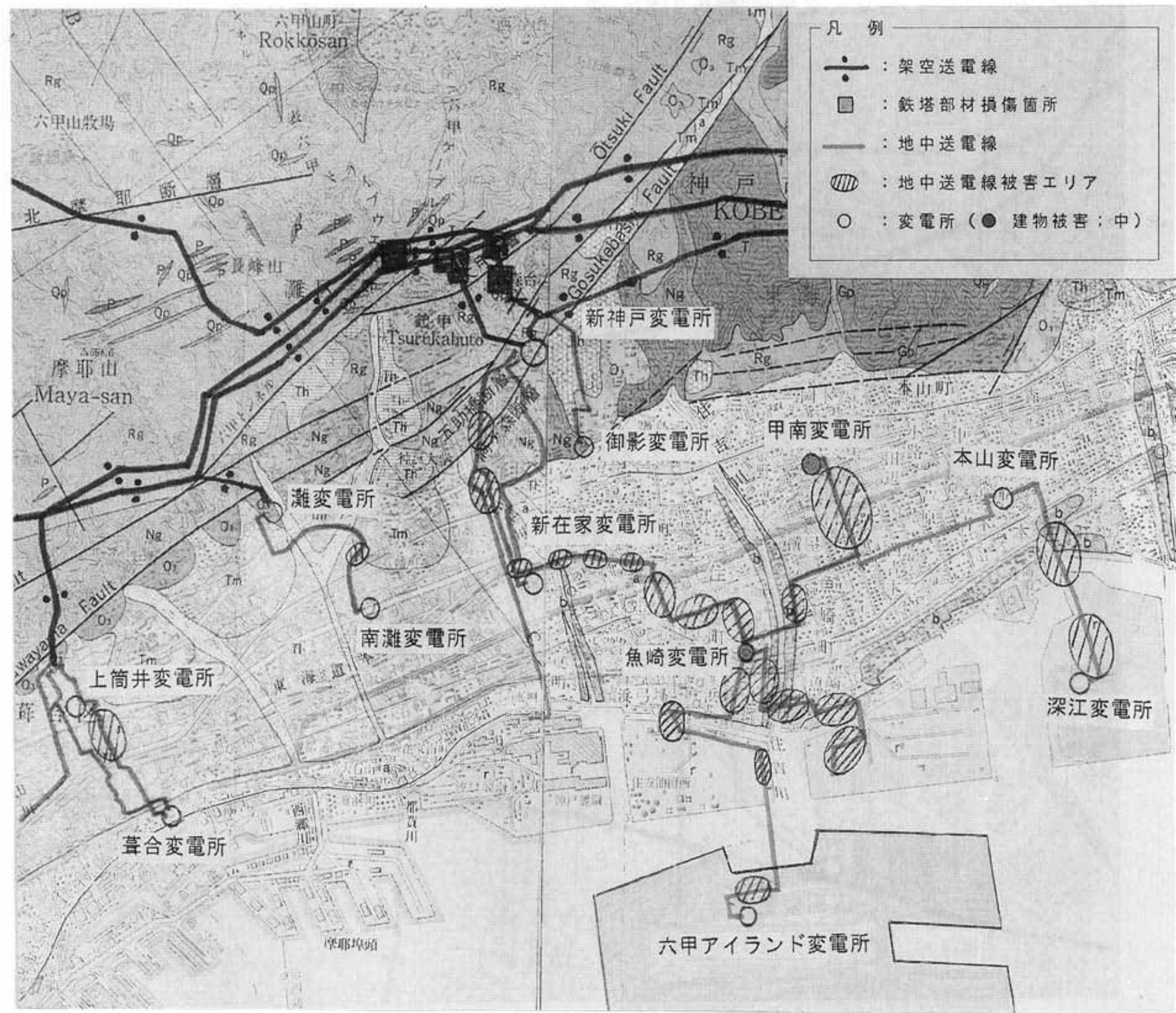


図8-5-7 灘区・東灘区における被害図^{2) 3)}に追加 (グラビア参照)

②伊丹周辺

甲陽断層東側の伊丹・宝塚周辺地区周辺の変電所、架空送電線、地中送電線を表層地質図³⁾に重ねてみたものを図8-5-8に示す。このあたりは震度6の地域であるが各種設備に被害が多数でている。

この地域では武庫川をはさんで被害の様相に特徴がみられる。まず、左岸側については主要電気工作物に被害がでた伊丹変電所とその周辺の架空送電線鉄塔に被害が発生(部材損傷 他)した。この南側では新幹線の高架橋にも大きな被害がでている。原因については明確でないが伊丹変電所およびその周辺の鉄塔は低位段丘層と沖積層の地質境界上にあり、このような境界部において構造物に被害がでているということも報告⁵⁾されており、なんらかの関係も考えられる。

右岸側については、架空送電線に被害はなく、地中送電線のみ被害がでている。また、この周辺南側では配電線支持物の倒壊・折損も多くみられる。これらの原因についても詳細な調査が必要であるが、武庫川左岸側にくらべて、右岸側のほうが堤防の被害が大きかった(武庫川が存在により左岸側が波動の減衰効果がみられた)ということも報告⁶⁾されており、地盤との関連からもさらに調査する必要がある。



図8-5-8 甲陽断層東側における被害図³⁾に加筆

8. 5. 5 まとめ

今回の地震は都市域における直下型地震であったということから、各設備に様々な被害が起きた。詳細な原因については今後の調査によるところも大きいですが、例えば、変電所建物については昭和初期の頃に建てられたものに中程度の被害が多く、建築基準法改正以降については、ほとんど被害はなかった。また、変電設備についても現行耐震設計以降の設備についてはほとんど被害はなかった。配電支持物に関しては、現行の基準である風圧荷重に基づいた強度設計を行えば、0.5Gの水平加速度（震度6に相当）に耐えるようになっている。実際、配電支持物の倒壊・折損の原因としては建物の倒壊や道路・排水溝の破壊による二次災害に起因するものが大部分をしめ、現行の基準で設計されている設備についての被害は小さかったことがわかった。また、特徴としては、震度7や埋立地で液状化したと思われる地域において被害が集中しており、地中送電線や地中配電線において顕著であった。

今後は、各設備ごとに定められている耐震基準や一般構造物に関する耐震基準等の見直し状況を踏まえながら、必要な箇所については、補強等を行うなどして設備の信頼性を向上させていくことが重要課題である。

以上、ライフラインのうち電力設備関係の被害概要について述べてきたが、さらに調査を行い原因を究明していくことにより、今後の耐震に関する設備設計のあり方や地震に強いシステムづくりの検討を行っていく必要がある。

参考文献

- 全般) 関西電力株式会社：阪神・淡路大震災復旧記録 1995. 6.
- 1) 中央開発株式会社：阪神大震災 災害調査報告書 1995. 3.
- 2) 藤田和夫・笠間太郎：神戸地域の地質、地質調査所、1983.
- 3) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部の地質、地質調査所、1982.
- 4) (財) 建設工学研究所：阪神大震災被害状況調査報告書（概要版）、pp62 1995. 4.
- 5) 那須誠：地震による構造物変形への地盤の影響、第30回土質工学研究発表会、pp75-78 1995. 7.
- 6) 塩月隆久・永井哲夫・孫建生・池尻建：1995年兵庫県南部地震における河川の影響における被害状況、第30回土質工学研究発表会、pp79-80 1995. 7.

8.6 ガス施設

8.6.1 設備の概要

大阪ガス(株)は近畿2府4県の約570万戸の顧客にガスを供給しており、年間のガス販売量は平成6年度の実績で約55億 m^3 である。顧客数では、家庭用が全体の95%を占めるが、販売量では家庭用以外の工業用、業務用が全体の63%を占めている。図8-6-1に大阪ガス(株)の供給エリア、製造所及び主要導管等を示す。

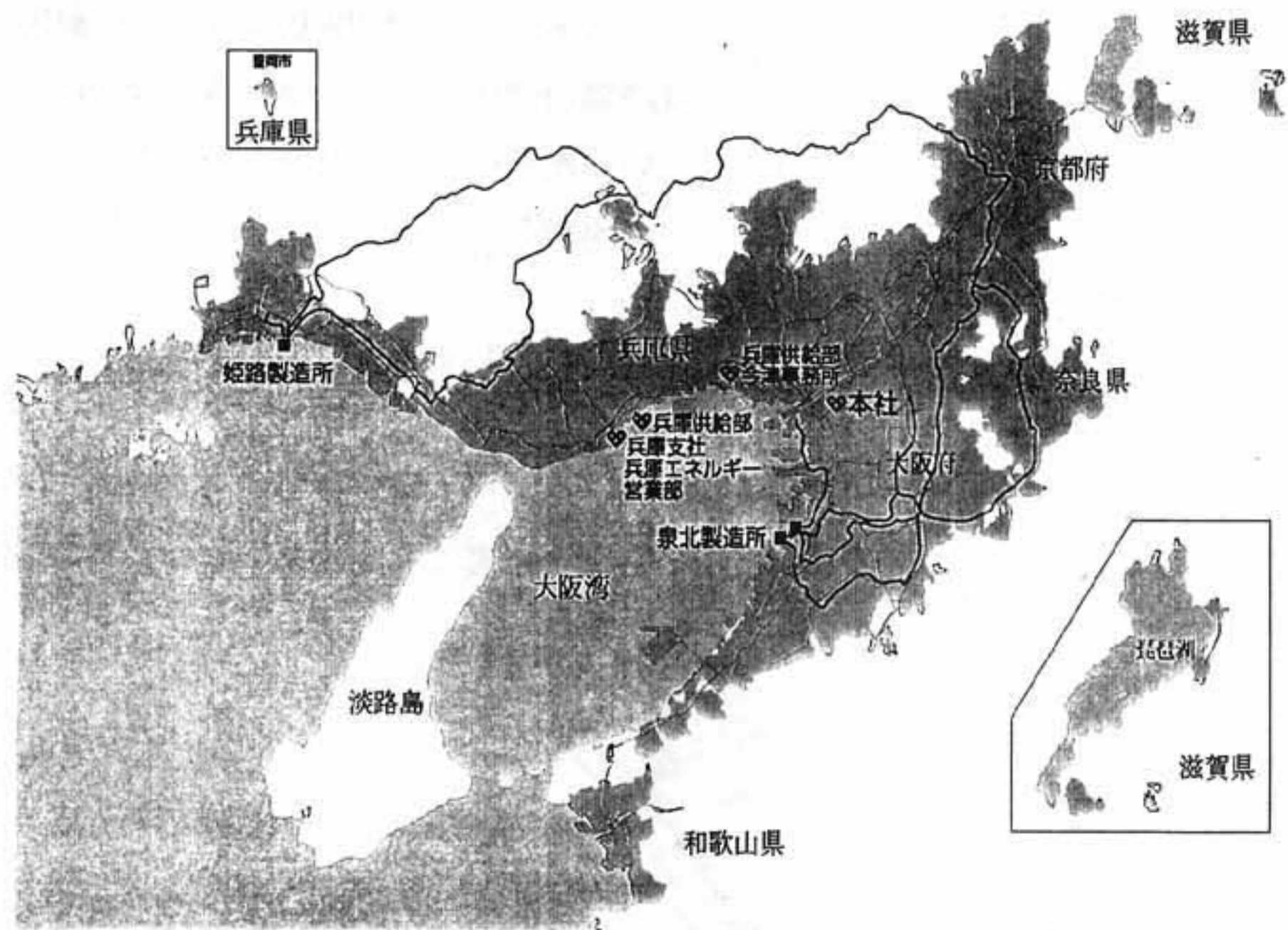


図8-6-1 大阪ガス(株)の供給エリア、製造所及び主要導管

製造所で作られたガスは、高圧、中圧、低圧の導管網を経て各家庭へ供給される。高圧の導管網は通常、1~4MPaの圧力で運用され、主として長距離輸送や発電所への燃料輸送に用いられている。高圧導管で輸送されたガスは、ガバナで圧力を下げられた後、中圧導管網に送出される。中圧導管網は圧力に応じて中圧A、中圧Bの2段階があり、中圧A導管網は0.3~1MPa、中圧B導管網は0.1~0.3MPaの圧力で運用される。中圧導管網は、中圧A、Bともに各都市へのガス輸送や大規模な病院、ホテル、工場等への供給に用いられている。1日の需要ギャップを調整するガスホルダーも中圧供給設備の一部である。各家庭や中小規模の商工業用の顧客へは、中圧導管網からガバナによってさらに減圧され低圧導管網を通じて供給される。現在使用している導管材料としては、表8-6-1に示すように溶接鋼管やダクタイル鋳鉄管、ポリエチレン管等である。

表8-6-1 大阪ガスの供給システム

圧力区分	運用圧力	使用材料	主な用途
高圧	1.0~4.0 MPa	鋼管(溶接)	長距離のガス輸送 発電所へのガス供給
中圧A	0.3~1.0 MPa	鋼管(溶接)	中距離のガス輸送 病院、工場等の大口顧客へのガス供給
中圧B	0.1~0.3 MPa	鋼管(溶接) ダクタイル鋳鉄管	
低圧	1.0~2.5 MPa	鋼管(溶接、機械接合) ダクタイル鋳鉄管 ポリエチレン管	家庭用、中小業務用・産業用顧客へのガス供給

8.6.2 調査方法

ガス導管のガス漏洩修繕については、仮修繕はなくすべて本修繕が行われる。地震発生後、供給を停止した地区においては2000戸~4000戸のブロック毎にガス管の気密テストを行い、漏洩箇所の発見・修繕を実施した。また供給を継続した地域では、顧客からの通報、あるいは独自の漏洩検知調査等によって漏洩箇所を修繕した。従ってガス管の被害の調査は修繕時にすべて完了しており、被害の状況が明らかになっている。

8.6.3 被害の状況

(1)製造設備等の状況

製造所においては、主要設備には被害はなく、操業を継続した。しかし、地盤の液状化により荷役設備、道路や周辺空き地、その他に次のような軽微な被害が発生した。

- ・計装ボックスに傾斜が発生
- ・計装空気配管にフランジ部から空気が漏洩
- ・工業用水配管や海水配管のフランジ部から水が漏洩 等

ガスホルダーでは、葺合供給所で地表面の最大加速度833galを記録したが2基のホルダーに被害はまったくなかった。その他、震源に近い場所にあるガスホルダーとして、西宮供給所(4基)、神戸供給所(1基)、明石供給所(1基)、北神戸供給所(1基)、神崎川供給所(2基)、千里供給所(3基)があるが、これらのいずれでも被害の発生はなかった。

また、供給区域内の3212基の整圧器についても、震度7地区を含むすべての地区で被害はなかった。

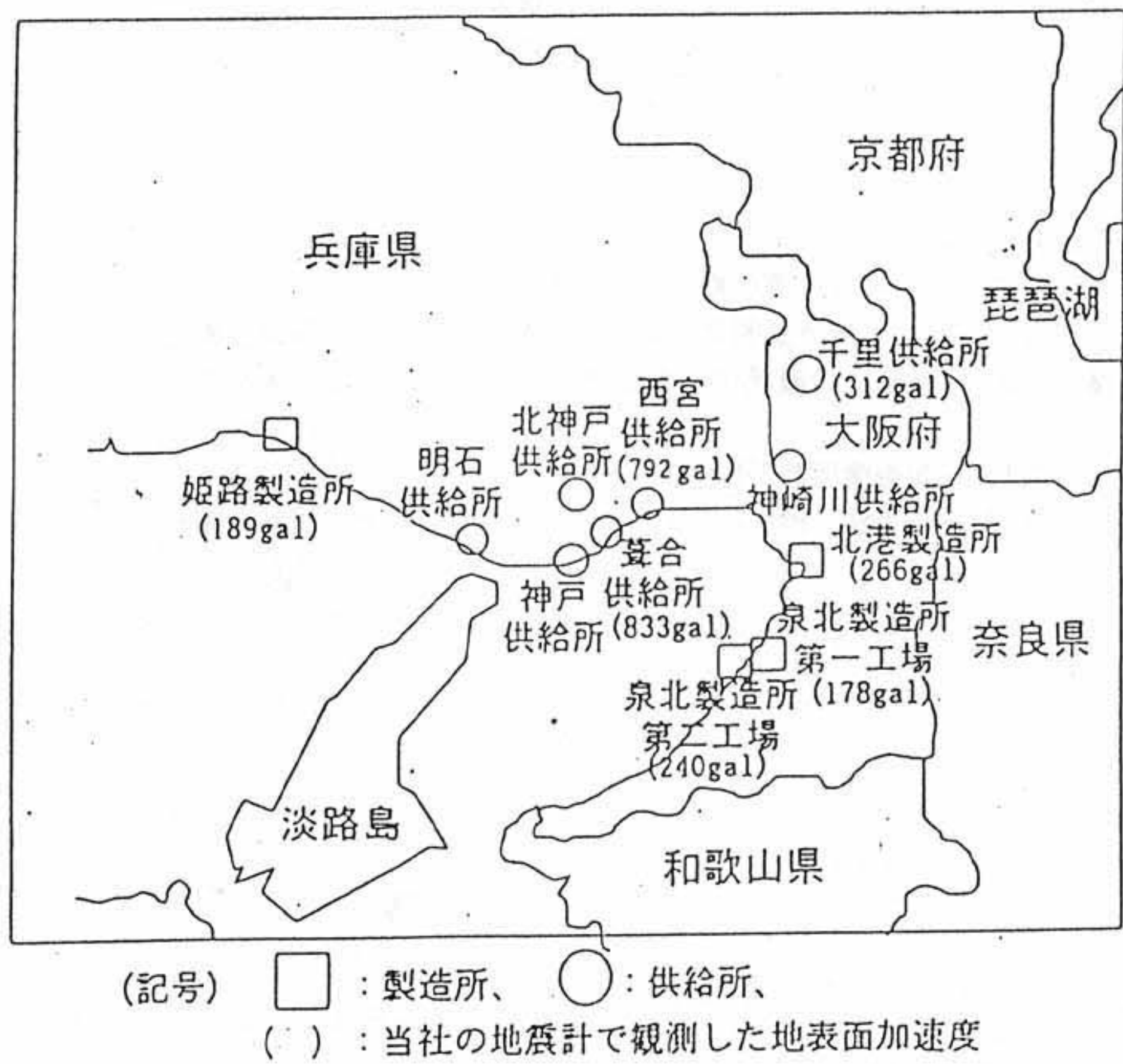


図8-6-2 製造所及びガスホルダーを有する供給所
(供給所は、震源に近いもののみ)

(2)高圧導管

高圧導管(総延長490km)の被害はなかった。特に400galを超える地表面加速度を記録した兵庫県明石地区においても、高圧導管の被害はなかった。

(3)中圧導管

中圧導管は106箇所被害が生じた。供給停止地区及び供給継続地区の被害箇所数を表 8-6-2に示す。又供給停止地区の中圧導管の被害率を表 8-6-3に示す。

表8-6-2 中圧導管の被害箇所数

	供給停止地区	供給継続地区	合 計
導 管	1 4 件	0 件	1 4 件
ドレッサー	5 1 件	9 件	6 0 件
フランジ等	3 0 件	2 件	3 2 件
合 計	9 5 件	1 1 件	1 0 6 件

表8-6-3 供給停止地区の中圧導管の被害率

	供給停止地区	供給継続地区
導 管	0.01%	0%
ドレッサー	8.03%	0.25%
フランジ等	0.07%	0.001%

被害状況は以下の通りである。

- ・被害は、バルブ部ドレッサー継手等のゆるみ漏れが大半(図8-6-3)
- ・神戸高速地下鉄大開駅崩壊に伴う延長約27m、最大沈下量約2.5mの陥没、第2神明道路での約100mにわたる道路盛土崩落、苅藻橋での液状化による護岸崩壊等の地盤変状箇所での導管からの漏洩なし。(図8-6-4)
- ・橋梁管での漏洩なし。(調査箇所数370箇所)
- ・更生修理工法(反転シール工法、PVCフィットパイピング工法)を適用した鋳鉄管路での漏洩なし。

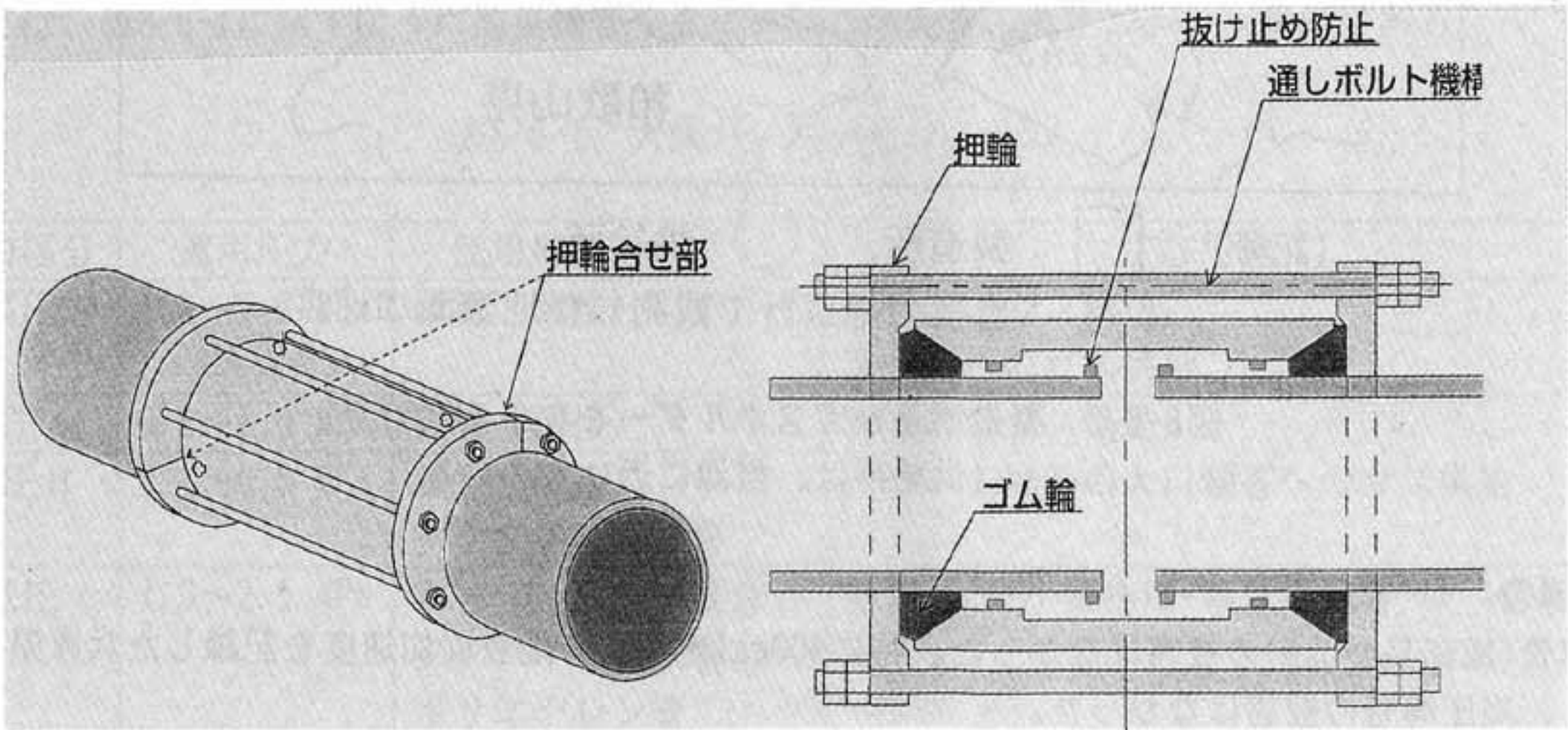
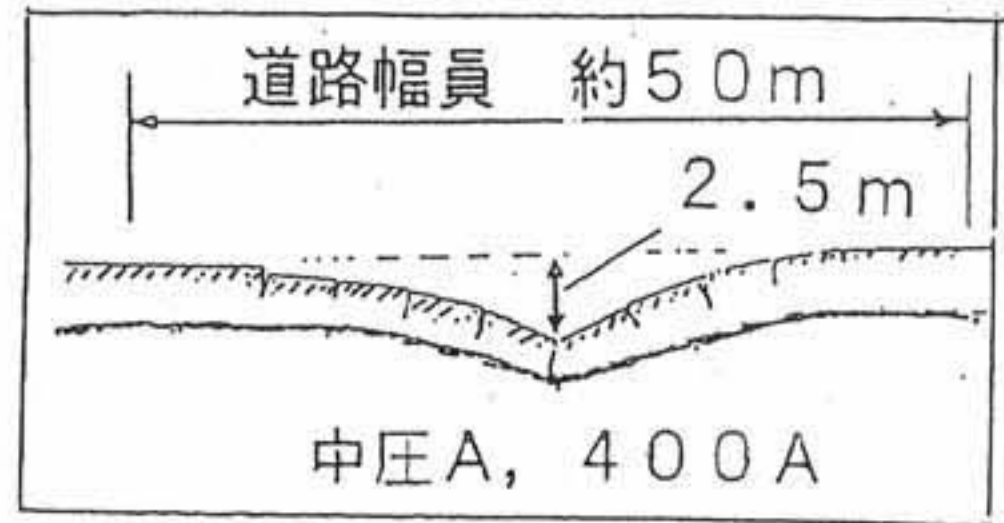


図8-6-3 ドレッサーの構造

大開駅



(ガス漏れなし)

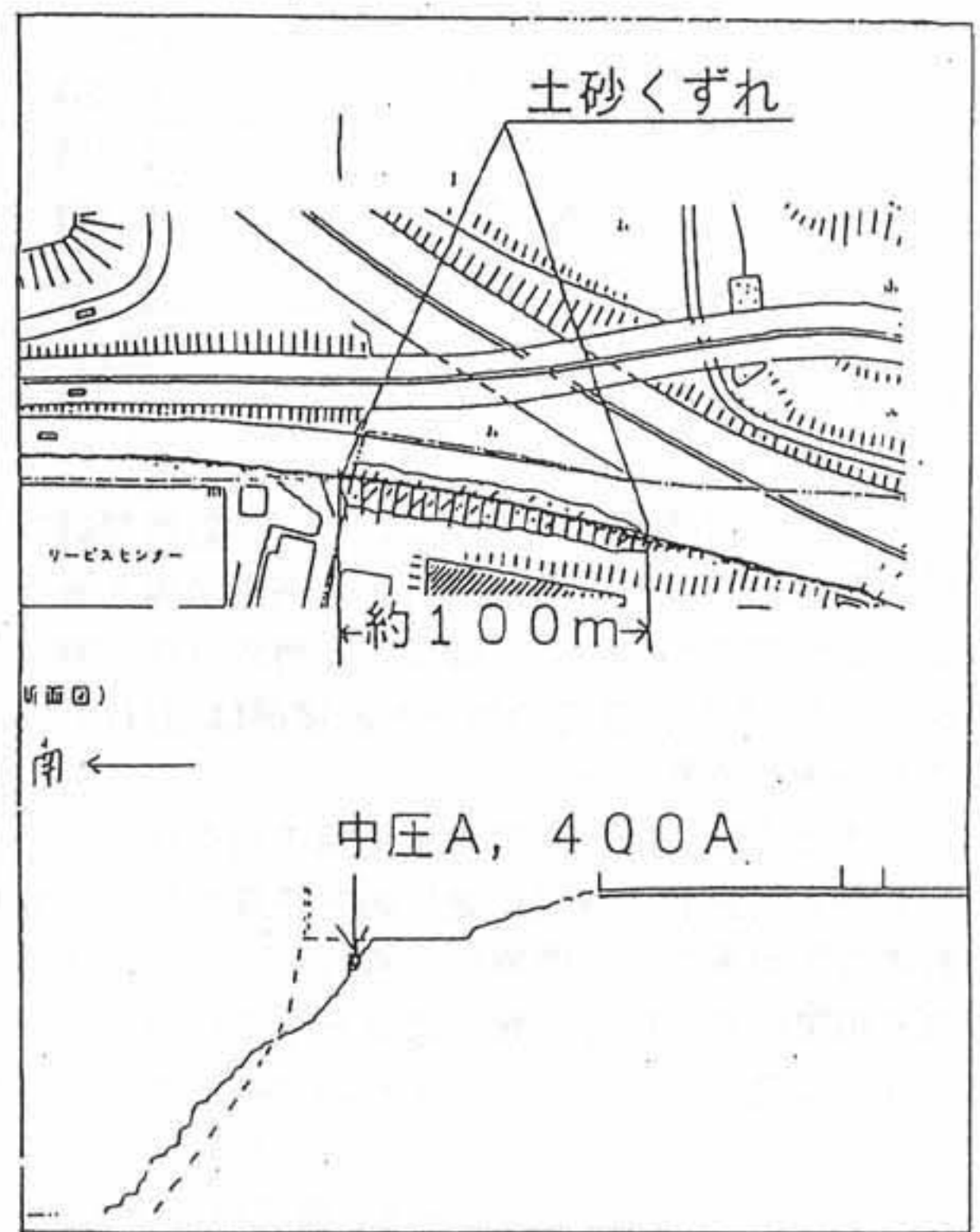


神戸市兵庫区大開通

大蔵谷 (第2神明道路)



(ガス漏れなし)

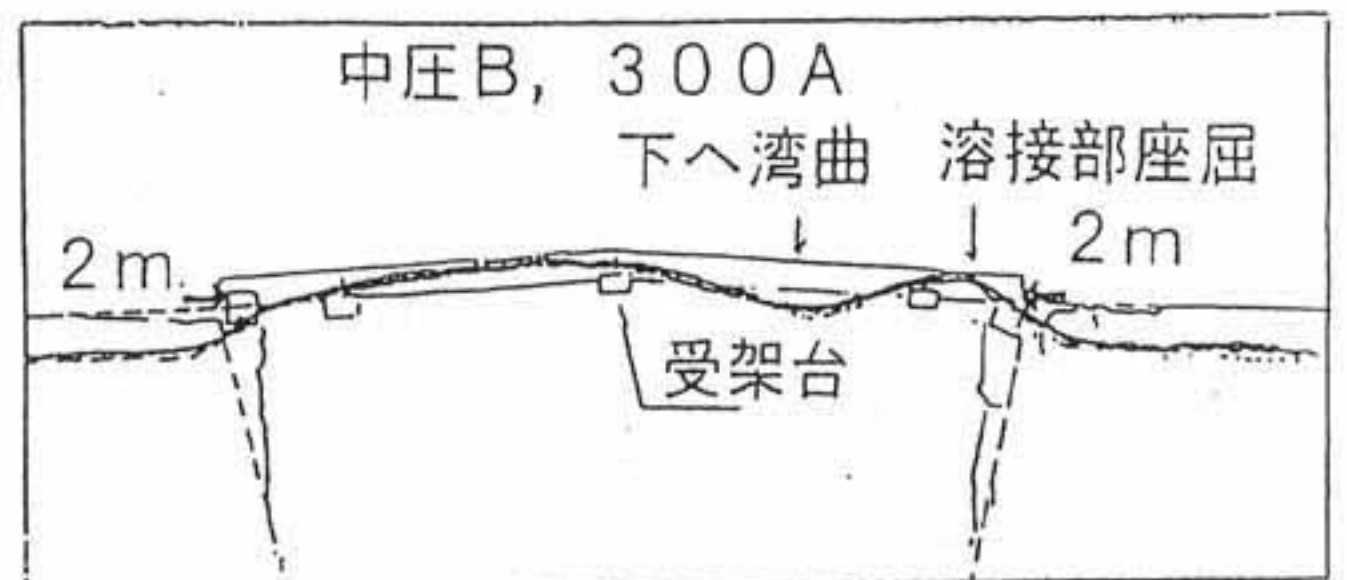


明石市松が丘北町

荻藻橋



(ガス漏れなし)



神戸市長田区

図8-6-4 地盤の大変状をうけたがガス導管が健全であった事例

(4)低圧導管の被害

低圧導管については26,459箇所で被害が生じた。供給停止地区及び供給継続地区の被害箇所数を表8-6-4に示す。又供給停止地区の低圧導管の被害率を表8-6-5に示す。

表8-6-4 低圧導管の被害箇所数

	供給停止地区	供給継続地域	合 計
本 支 管	4,440件	748件	5,188件
供 給 管	5,309件	861件	6,170件
灯外内管	3,178件	778件	3,956件
灯内内管	8,720件	2,323件	11,043件
合 計	21,647件	4,710件	26,357件

表8-6-5 供給停止地区の低圧導管の被害率

	供給停止地区	供給継続地区
本 支 管	0.26%	0.03%
供 給 管	1.36%	0.07%
灯外内管	0.81%	0.06%
灯内内管	1.24%	0.09%

8.6.4 被害の特徴

(1)中圧導管

中圧鋼管の溶接部の被害については、湾岸部9件、山側部 5 件に限られていた。湾岸部の被害発生箇所では噴砂、微地形の境界近傍、河川・水路近傍等大きな地盤変状を発生させると考えられる要因が複数重なっている。山側部についても同様に活断層の存在、路面の傾斜、池の近傍といった要因が複数重なっている(表8-6-6)。また、被害のあった溶接部は現行の溶接方法である裏波溶接法が採用されていない古い年代に敷設されたものであった。

以上のように、中圧鋼管の溶接部の被害は現行の溶接法（裏波溶接法）を用いていない古い年代の溶接部で、しかも活断層、液状化地区の内特殊な地形・地盤条件（微地形境界、傾斜地、河川、水路、池近傍）の複数の要因が重なった箇所に限られているということが明らかになった。

裏波溶接法を採用した鋼管はまったく被害はなく、図8-6-4で示すように地盤の大変形が発生した地区でもガス漏洩は発生していない。現行の溶接鋼管は十分な耐震性を有していることが実証されたと言える。

表8-6-6 鋼管溶接部の被害箇所における地形・地盤状況

No.	圧 力	口 径	地 形 の 状 況			地盤・地質の状況	
			微 地 形 分 類	傾斜の有無	河川・水路の有無	噴砂の有無	活断層の有無
①	中圧 A	4 0 0 A	扇状地／氾濫平野			○	
②	中圧 A	4 0 0 A	扇状地／氾濫平野			○	
③	中圧 A	3 0 0 A	氾濫平野		○	○	
④	中圧 A	3 0 0 A	自然堤防／氾濫平野		○	○	
⑤	中圧 A	3 0 0 A	氾濫平野		○	○	
⑥	中圧 A	3 0 0 A	氾濫平野／砂洲			○	
⑦	中圧 A	3 0 0 A	氾濫平野／砂洲		○	○	
⑧	中圧 A	3 0 0 A	氾濫平野		○	○	
⑨	中圧 B	4 0 0 A	自然堤防／氾濫平野		○*1	○	
⑩	中圧 B	2 0 0 A	山地／扇状地	○			○
⑪	中圧 B	2 0 0 A	山地／段丘	○			○
⑫	中圧 B	2 0 0 A	山地／段丘	○			○
⑬	中圧 B	1 5 0 A	扇状地	○	○*2		○
⑭	中圧 B	1 5 0 A	山地／扇状地	○			○

* 1 : 旧河道 * 2 : 池近傍

(2)低圧導管

a)管種別の状況

低圧導管については表8-6-4に示すように被害の大半は各家庭への引き込み管(供給管)、屋内管で発生しており、管種としてはねじ継手に集中している。

一方、現在導入を促進しているポリエチレン管については被害がなかった。

また、ガス導管耐震設計指針を満足するいわゆる耐震メカニカル継手(GM継手、SGM継手)はねじ継手と比較すると被害率が1桁以上小さく十分な耐震性を有することがわかった。

表8-6-7に供給停止地区における被害率を示す。

表8-6-7 低圧導管の供給停止地区における被害率

継手の種類		
GM	被害継手数	71
	全継手数	328455
	被害率(%)	0.02
SGM	被害継手数	123
	全継手数	425908
	被害率(%)	0.03
ねじ	被害継手数	3712
	全継手数	710024
	被害率(%)	0.52
ねじ (参考:釧路沖地震 供給停止地区)	被害継手数	52
	全継手数	12166
	被害率(%)	0.43

b)液状化地区での状況

メカニカル継手(GM、SGM継手)について代表的な液状化地区として芦屋浜シーサイドタウン、六甲アイランド及びポートアイランドをあげて分析した。その結果を表8-6-8に示す。また図8-6-6にそれぞれの地域での被害位置を示す。

芦屋浜シーサイドタウンでの被害率が他の地区に比べて大きな値を示している。

芦屋浜シーサイドタウンではガス管が護岸近くまで敷設されており、側方流動の影響を受けたと考えられ、一方六甲アイランド、ポートアイランドではガス管は島の中心地区に敷設されており、護岸部での側方流動を直接受けなかったと考えられる。このことが被害の差の理由としてあげられる。

なお、六甲アイランド、ポートアイランドでは最大20～50cmの地盤沈下が見られたが、建物への引き込み管については建物へ貫通する直前に不等沈下を吸収するためのメカニカルタイプの伸縮継手が設けられており、建物引き込み管の被害はなかった。(図8-6-5)

表8-6-8 液状化地区におけるGM、SGM継手の被害状況

地区名		芦屋浜 シーサイドタウン	六 甲 アイランド	ポ ー ト アイランド	その他	合計
継手の種類	被害継手数	14	0	1	15	30
	全継手数	4818	7709	4960	46259	63746
	被害率(%)	0.29	0	0.02	0.03	0.05
SGM	被害継手数	7	0	-	17	24
	全継手数	4701	1280	0	31247	37228
	被害率(%)	0.15	0	-	0.05	0.06

神戸税関出張所



図 8-6-5 地盤沈下を吸収したSGM伸縮継手 (グラビア参照)

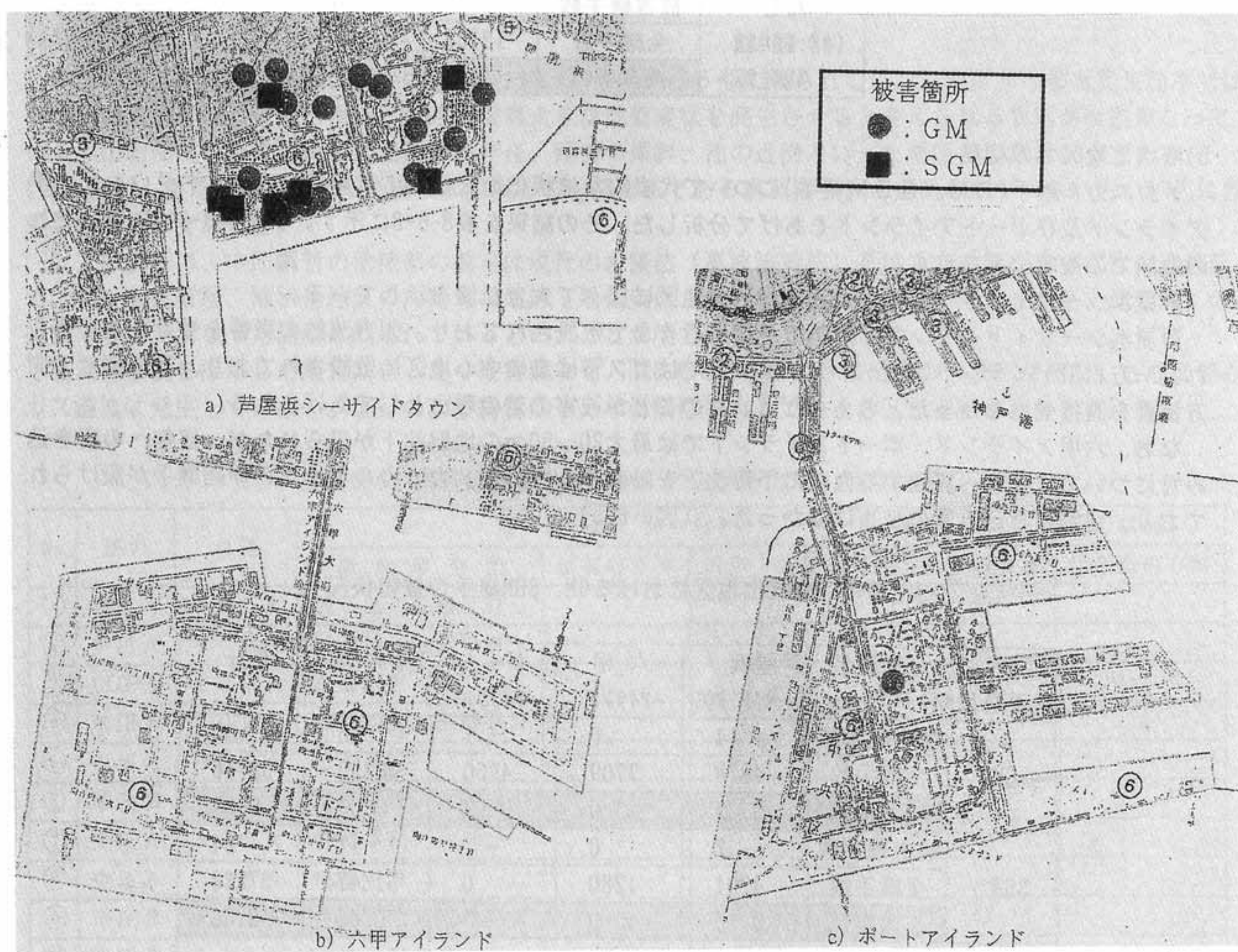


図8-6-6 液状化が発生した代表的な埋立地におけるGM、SGM継手の被害発生位置 (グラビア参照)

次に供給停止地区におけるねじ支管の被害3712件の継手の抜け出し量から地盤変位量を推定する。

地盤変位量は「ねじ継手の地盤変位吸収能力 $\Delta u=3\text{cm}$ +継手の抜け出し量」として求めた。なおねじ継手の地盤変位吸収能力 $\Delta u=3\text{cm}$ はガス導管耐震設計指針に規定されている計算手法を用いて算出されたものである。

従って、ここでは地盤変位量 $U=3\text{cm}$ 以下は被害なしということになる。また、ガス導管耐震設計指針では、標準設計地盤変位 $U=5\text{cm}$ と規定されている。

以上より① $U\leq 3\text{cm}$ 、② $3\text{cm}<U\leq 5\text{cm}$ 、③ $5\text{cm}<U$ の3つの区分で継手数の累積比率を表8-6-9に示す。この結果より液状化地区、非液状化地区いずれも発生する地盤変位量の99.9%は5cm以下になっている。このことから次のことが示唆される。

- ・ガス導管耐震設計指針に規定されている標準設計地盤変位 $U=5\text{cm}$ は妥当である。
- ・ガス導管耐震設計指針には液状化に関する記述はないが、湾岸地区での護岸部で見られるような大規模地盤変状地区は別として、噴砂が見られる程度の液状化地区では十分に適用できる。言い換えれば、液状化の発生が即被害に結びつくものではなく、液状化によってガス管の敷設されている地表面付近の地盤がどのように変状するのかが被害の発生に密接に関わっている。

表8-6-9 供給停止地区における地盤変位比率

地震	区分		地盤変位U (cm)			
			$U\leq 3$	$3<U\leq 5$	$5<U$	計
阪神・淡路大震災	液状化地区	継手数	75281	585	82	75948
		比率 (%)	99.12	0.77	0.11	100
		累積比率 (%)	99.12	99.89	100	—
	非液状化地区	継手数	631031	2538	507	634076
		比率 (%)	99.52	0.40	0.08	100
		累積比率 (%)	99.52	99.92	100	—
	計	継手数	706312	3123	589	710024
		比率 (%)	99.48	0.44	0.083	100
		累積比率 (%)	99.48	99.92	100	—
釧路沖(参考)	供給停止地区	継手数	5358	19	4	5381
		比率 (%)	99.57	0.35	0.07	100
		累積比率 (%)	99.57	99.93	100	—

c)不整形地盤での状況

神戸市須磨区、垂水区、明石市東部に位置する神戸第4ミドルブロック内全復旧ブロック(ブロック数28)について、切土・盛土がなされた造成地と在来の地盤の地区に分けてねじ継手、SGM継手(耐震メカニカル継手)の被害率を図8-6-7に示す。また図8-6-8に切土・盛土の分布を示す。

ガス導管耐震設計指針では地盤条件として以下の通り区分している。

I : 主として次の3つの地盤のいずれかにより構成されている地域もしくはそれらの地盤が混在している地域

(1)第三紀以前の地盤(2)洪積層の地盤(3)沖積層の厚さが10m未満または軟弱層の厚さが5m未満の地盤

II : 主として10m以上の沖積層または5m以上の軟弱層からなる地盤の地域

IIIa : 条件Iに相当する地盤と条件IIに相当する地盤とが相互に入り組み合いまたは混在している地域

IIIb : 条件IIに相当する地盤の中に建設された堅固な構造物と地盤の境界部、その他明らかに不連続な変位が予想される場所

切土・盛土がなされた造成地はIIIaに区分され、それ以外の地区はIかIIに区分される。

図8-6-7に示す通り、ねじ継手はI、IIの地区に比べてIIIaの地区で明らかに大きな被害率を示しており、耐震性の低いねじ継手には大きく影響していることがわかる。

またねじ継手でもI、II地区ではそれほど大きな被害率にならないことがわかる。

一方耐震メカニカル継手であるSGM継手についてはI、IIあるいはIIIaいずれの場合でも被害率は極めて小さく、切土・盛土の混在に起因する地盤変状には十分対応できることが明らかになった。

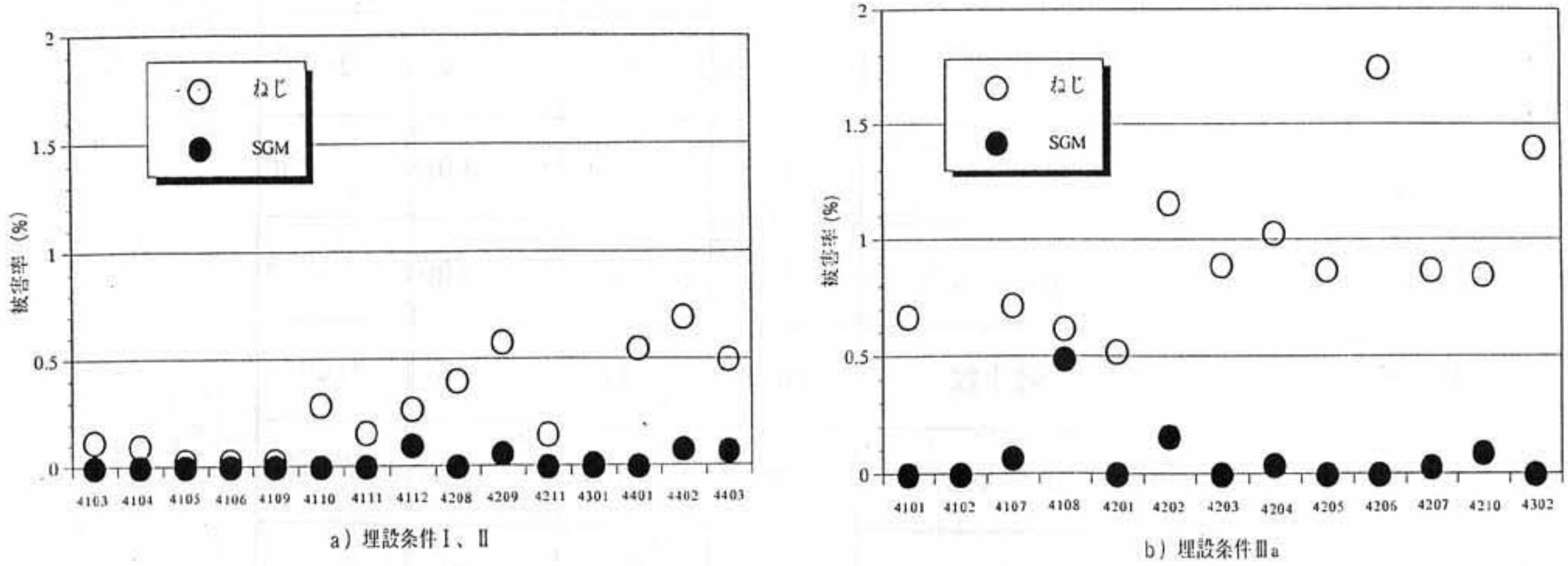


図8-6-7 埋設条件別のねじ、SGM継手の被害状況

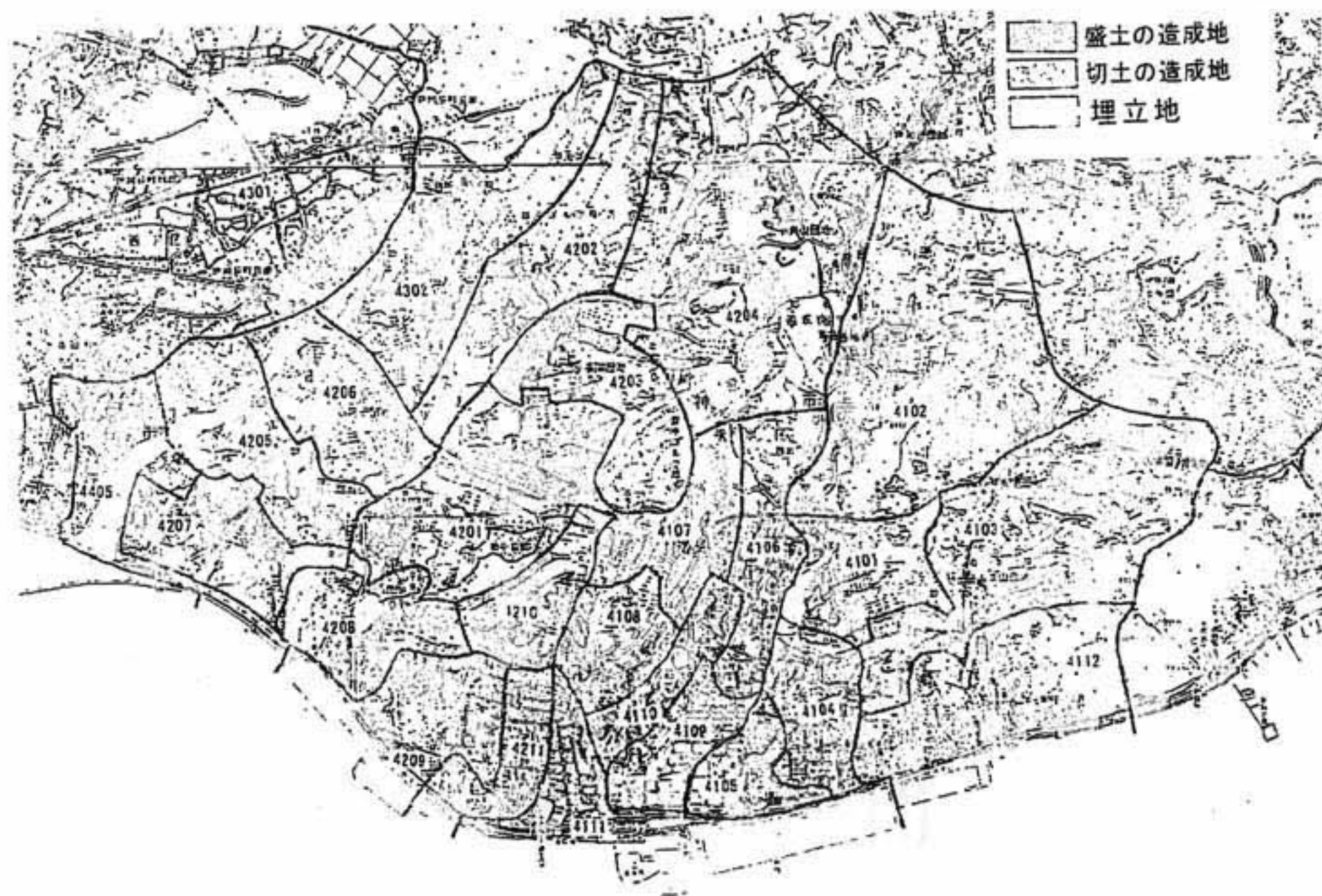


図8-6-8 切土・盛土の分布図(神戸ブロック4)

8.6.5 まとめ

1978年の宮城県沖地震でねじ継手に多数の被害が発生した。この地震を契機としてガス導管耐震設計指針が策定され、溶接鋼管、耐震メカニカル継手、ポリエチレン管が積極的に用いられるようになった。今回の地震で、これらの管種、接合方法は全く被害なし、あるいは極めて被害の程度が小さく、十分に耐震的であるということが実証されたといえる。