

9-1 はじめに

1995年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震は、社会資本の集中した大都市直下で発生したもので、土木構造物ならびに各種都市機能、市民生活に甚大な被害をおよぼした。

従来、地下構造物は耐震性に優れていると考えられていた。実際に、周辺地上構造物が目覆うような被害を受けているのに対し、地下構造物の大きな被害は報告されていないケースがほとんどである。また、山岳トンネルの被害も軽微であった。非常に激しい直下型の地震ではあったが、地下構造物は比較的耐震性に優れていると考えられる。しかし一方で、“安全神話”の崩壊と新聞などで大きく報じられた神戸高速の大開駅、あるいは市営地下鉄上沢駅および三宮駅のように、かなりの被害を受けた個所も見られる。これらの個所に共通することは、開削工法で施工したもので、被害はRCの柱に集中しているものである。今後は被災の有無にかかわらず、地形・地質、内陸型も考慮に入れた地震動、地下構造物の形状・寸法・材質、施工法（山岳工法、開削工法、シールド工法等）を考慮に入れた総合的な分析を行い、地下構造物の耐震性について考えていく必要がある。

本報告は、表9-1-1に示す構成にしたがって、各項目毎にワーキンググループのメンバーが被害の状況を取りまとめたものである。

表9-1-1 地下空間部会報告書の構成と担当者一覧

1	はじめに	櫻井春輔（主査）、大西有三（主査）
2	山岳トンネルの被害	
2-1	概説	田村 武、朝倉俊弘
2-2	山岳トンネル（鉄道）の被害	朝倉俊弘、中山 学
2-3	山岳トンネル（道路）の被害	田村 武、嶋村貞夫、霜上民生、 竹脇尚信、瀬在 武
3	都市トンネル（地下鉄）および地下街・地下駐車場の被害	
3-1	概説	志波由紀夫、岸田 潔
3-2	神戸市地下鉄の被害	志波由紀夫、青柳計太郎、田尻 勝、中村 晋
3-3	地下街・地下駐車場の被害	岸田 潔、田中 誠、出羽克之、水戸義忠
4	ライフライン幹線の被害	
4-1	概説	小林範之
4-2	地下河川の被害	芥川真一、兼島方昭
4-3	上下水道の被害	橋本 正、小林範之
4-4	電力・ガス・通信基幹幹線の被害	鎌田敏正、中島一夫、松本正毅、堀田 光
5	まとめ	櫻井春輔（主査）、大西有三（主査）

9-2 山岳トンネルの被害

9-2-1 概説

1995年兵庫県南部地震の被災地域内には100を超える山岳工法により施工されたトンネルがあり、このうち、軽微なものも含めて20余本のトンネルが地震の影響を受け、補強・補修を要するような被害を受けたトンネルは、約10本であった。全体的には、地上部の甚大な被害に比較して、トンネルの被害は軽微なものであった。また、トンネルに生じた被害箇所の位置は、断層破砕帯に多いことがわかった。

トンネルは、従来より耐震性に富む構造物であるといわれているが、吉川⁹⁻¹⁾の日本の鉄道トンネルの震災事例分析によれば、1)地震規模が大きく、2)地震断層面からの距離が近く、3)特殊条件が介在すれば、トンネルも地震の被害を受けている。特殊条件とは、坑口部で斜面災害のもらい災害を受けるケース、トンネルを横切る地震断層がずれた場合、トンネルや周辺地山に何らかの欠陥があった場合等が挙げられている。

- ① : Arima-Takatsuki Kouzousen F.
- ② : Koyo F.
- ③ : Ashiya F.
- ④ : Gosukebashi F.
- ⑤ : Otsuki F.
- ⑥ : Nunobiki F.
- ⑦ : Egeyama F.
- ⑧ : Yokooyama F.
- ⑨ : Takatsukayama F.
- ⑩ : Nojima F.

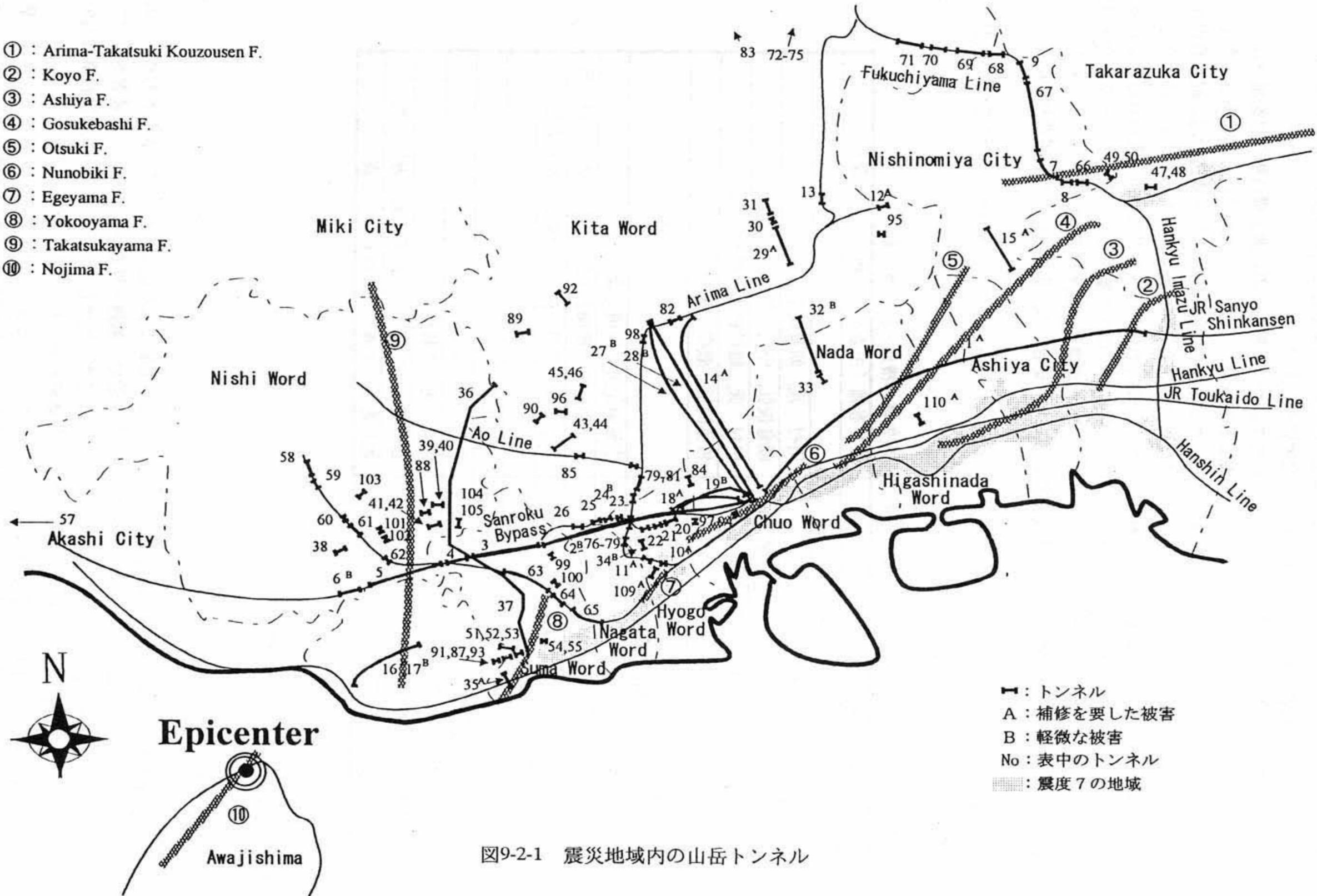


図9-2-1 震災地域内の山岳トンネル

表9-2-1 震災域の山岳トンネル一覧(A)

No	被害 程度	トンネル名	企業体	種類1	種類2	単複別	長さ (m)	土被り (m)	覆工 (t=cm)	幅、高さ(m)	地形、地質、[著名断層]	被害状況
1	A	六甲	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	16250	460	C	9.6, 8.7	六甲型花崗岩類、[甲陽F、 芦屋F、五助橋F、大月F、布 引F]	アーチ天端のせん断クラック・ 剥落、側壁・7-F打継部の圧ざ・ 剥落、中央通路壁の前傾、イン パート隆起
2	B	神戸	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	7970	272	C	9.6, 8.1	布引花崗閃緑岩が基盤を なし、須磨工区から神戸層 群、[布引F]	アーチ肩部のクラック、湧水 量増加、打継ぎ目の軽微な剥 離
3		須磨	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	2388	45	C	9.6, 8.1	神戸層群-砂岩、泥岩、礫 岩	被害報告なし
4		奥畑	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	363	90	C	9.6, 8.1	神戸層群-凝灰岩	被害報告なし
5		高塚山	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	3264	85	C	9.6, 8.1	神戸層群-砂岩、泥岩、礫 岩、凝灰岩 大阪層群-礫 岩、[高塚山F]	被害報告なし
6	B	長坂	JR西日本	鉄道	山陽新幹線	複線	625	20	C	9.6, 8.1	大阪層群-砂岩、泥岩、礫 岩	打継ぎ目の軽微な剥離
*7		第1名塩	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	1470	150	C	8.5, 7.2	一部分神戸層群-角れき凝 灰岩、大部分は有馬層群- 流紋岩～石英安山岩質角 れき凝灰岩	被害報告なし
*8		生瀬	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	1430	250	C	8.5, 7.2		被害報告なし
*9		第1武田尾	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	570	95	C	8.5, 7.2	有馬層群-流紋石英安山岩 ～角れき凝灰岩	被害報告なし
10	A	東山	神戸電鉄	鉄道	有馬線	複線	141	4～8	CB, C	8.4, 6.5	大阪層群-泥岩、[会下山 F]	7-F肩部トンネル軸方向剥離、トン 坑口面壁の既往クラック開口
11	A	会下山	神戸電鉄	鉄道	有馬線	複線	253	2～ 12.5	CB, C	8.1, 6.2	大阪層群-砂岩、泥岩、礫 岩、[会下山F]	坑口上部道路面にクラック
12	A	有馬	神戸電鉄	鉄道	有馬線	単線	450	6～ 43.5	CB, C	4.6, 5.8	有馬層群-流紋岩	既往クラック(引張クラック)の伸び
13		五社	神戸電鉄	鉄道	三田線	単線	115	40	C	4.6, 5.8		被害報告なし
*14	A	北神	北神急行	鉄道	北神急行線	複線	6983	350	RC(35)	8.4, 6.93	花崗岩[布引F]	覆工コンクリートが圧縮破壊により 剥離、クラック幅増大
*15	A	盤滝	県道路公社	道路	西宮北有料道 路	2車線	1743	20～ 250	C(30) RC(35)	8.8, 6.3	六甲花崗岩[五助橋F、F1 断層]	鉄筋露出・圧ざ、コンクリート剥離、 路盤浮き上がり、輪切りクラック 多数
*16	B	舞子(上り)	本四公団	道路	本州四国連絡 道路	3車線	3293	4～50	C	14.7, 9.9	大阪層群(礫質層)-花崗 岩	クラック、天端沈下、仮インパ ートにクラック、切羽吹付け一部剥 離
*17	B	舞子(下り)	本四公団	道路	本州四国連絡 道路	3車線	3250	4～50	C	14.7, 9.9	大阪層群(礫質層)-花崗 岩	クラック、天端沈下、仮インパ ートにクラック、切羽吹付け一部剥 離
18	A	布引(上り)	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	3032	260	C(75)	9.5, 7.6	破砕花崗岩	SL付近の覆工コンクリートの剥離、 輪切り状ひび割れ
*19	B	第2布引	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	3032	240	C	9.5, 7.4	花崗岩	一部の両側監査路が沈下
20		平野	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	622	85	C	9.9, 7.4	花崗岩	被害報告なし
21		菊水山第1	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	85	32	C	10.4, 7.4	花崗岩	被害報告なし
22		菊水山第2	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	116	25	C	10.1, 8.2	花崗岩	被害報告なし
23		鶴越第1	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	101	29	C	10.4, 7.6	花崗岩	被害報告なし
24	B	鶴越第2	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	207	40	C	10.4, 7.6	花崗岩	目地に浮き、剥離
25		鶴越第3	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	388	47	C	10.4, 7.6	花崗岩	被害報告なし
*26		ひよどり台	市道路公社	道路	山陽パ イパス	2車線	240	40	C(50)	9.3, 7.2	花崗岩	被害報告なし
27	B	新神戸	市道路公社	道路	新神戸トン ネル有料 道路	2車線	6910	330	C(50)	9.3, 7.5	花崗岩[布引F]	目地の浮き、剥離あり
*28	B	第2新神戸	市道路公社	道路	新神戸トン ネル有料 道路	2車線	7175	330	C(60)	9.5, 7.2	花崗岩	目地の浮き、剥離あり、リ ング状のひび割れ
29	A	唐櫃	市道路公社	道路	六甲北有料道 路	2車線	1245	145	C	9.7	流紋岩質凝灰岩	目地の浮き、剥離、ひび割れ
30		有野第1	市道路公社	道路	六甲北有料道 路	2車線	118	25	C	9.7, 8.1	流紋岩質凝灰岩	被害報告なし
31		有野第2	市道路公社	道路	六甲北有料道 路	2車線	369	35	C	9.7, 8.1	流紋岩質凝灰岩	被害報告なし
32	B	六甲山	市道路公社	道路	六甲有料道 路	2車線	2843	280	C	10.1, 6.7	花崗岩	目地の浮き、剥離、リ ング状のひび割れ

表9-2-1 震災域の山岳トンネル一覧(B)

No	被害程度	トンネル名	企業体	種類1	種類2	車線別	長さ(m)	土被り(m)	覆工(t=cm)	幅、高さ(m)	地形、地質、[著名断層]	被害状況
33		糠原	市道路公社	道路	六甲有料道路	2車線	23	15	C	10.7, 6.7	花崗岩	被害報告なし
34	B	ひよどり	市道路公社	道路	西神戸有料道路	2車線	452	67	C	9.0, 7.0	花崗岩	目地の浮き, 剥落
*35	A	塩屋谷川	市土木局	水路	河川		1705	4~80	C		大阪層群, 六甲花崗岩	覆工コンクリートの施工ジョイントの目開き, クラック, 断層部で8cmのずれ
*36		須磨	市開発局	トンネル			6000	140	C	5.6, 4.0	六甲花崗岩, 神戸層群	被害報告なし
*37		須磨(延伸)	市開発局	トンネル			7451		C			被害報告なし
38		井吹	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	195	20	C(80)	10.2, 8.3	大阪層群	被害報告なし
39		太山寺第1(東行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	283	53	C(60)	10.6, 7.8	花崗岩, 神戸層群	被害報告なし
40		太山寺第1(西行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	257	37	C(60)	10.6, 7.7	花崗岩, 神戸層群	被害報告なし
41		太山寺第2(東行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	78	25	C(60)	10.6, 7.8	花崗岩, 神戸層群	被害報告なし
42		太山寺第2(西行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	66	17	C(60)	10.6, 7.7	花崗岩, 神戸層群	被害報告なし
43		藍那(東行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	1176	68	C(60)	10.4, 7.8	神戸層群	被害報告なし
44		藍那(西行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	1175	65	C(60)	10.4, 7.8	神戸層群	被害報告なし
45		長坂山(東行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	745	68	C(40)	10.6, 7.8	丹波層群, 粘板岩	被害報告なし
46		長坂山(西行)	阪神高速道路公団	高速道	7号北神戸線	2車線	715	68	C(40)	10.6, 7.8	丹波層群, 粘板岩	被害報告なし
47	B	宝塚東(上り)	日本道路公団	高速道	中国自動車道	3車線	364	62	C(80)	13.2, 8.2	チャート	打継ぎ目に剥落
48	B	宝塚東(下り)	日本道路公団	高速道	中国自動車道	3車線	362	59	C(80)	13.2, 8.2	チャート	打継ぎ目に剥落
49	B	宝塚西(上り)	日本道路公団	高速道	中国自動車道	3車線	347	42	C(80)	13.2, 8.2	花崗岩	打継ぎ目に段差, 剥落
50	B	宝塚西(下り)	日本道路公団	高速道	中国自動車道	3車線	244	42	C(80)	13.2, 8.2	花崗岩	打継ぎ目に段差, 剥落
51		高倉山第一(上り)	日本道路公団	高速道	第二神明	2車線	530	97	C(50)	9.3, 7.3	花崗岩	被害報告なし
52	B	高倉山第二(上り)	日本道路公団	高速道	第二神明	2車線	538	86	C(50)		花崗岩	打継ぎ目に剥落, 肩部にひび割れ
*53	B	高倉山(下り)	日本道路公団	高速道	第二神明	2車線	579	87	C(30)	10.2, 7.5	六甲花崗岩	剥落, ひび割れ
54	B	月見山(上り)	日本道路公団	高速道	第二神明	2車線	236	43	C(80)	9.1, 7.7		左右肩部に縦断方向ひび割れ
55	B	月見山(下り)	日本道路公団	高速道	第二神明	2車線	228	34	C(80)	9.1, 7.7		左右肩部に縦断方向ひび割れ
56		的形	山陽電鉄	鉄道	山陽電鉄本線	複線	196		BR(57)		流紋岩	被害報告なし
57		妻鹿	山陽電鉄	鉄道	山陽電鉄本線	複線	181		BR(57)			被害報告なし
58		西神第2	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	585	7	RC		大阪層群	被害報告なし
59		西神第1	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	100	3	RC Box		大阪層群	被害報告なし
60		表山第2	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	100		RC Box		大阪層群	被害報告なし
*61		表山第1	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	770	41	C(30)	8.6, 7.1	大阪層群	被害報告なし
62		小寺	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	425	7	RC Box		大阪層群	被害報告なし
63		落合	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	1274		C	8.4	神戸層群	被害報告なし
64		第1横尾	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	247		C	8.4	六甲花崗岩	被害報告なし
65		第2横尾	神戸市交通局	地下鉄	市営地下鉄西神線	複線	1802		C	8.4, 6.8	六甲花崗岩	被害報告なし

表9-2-1 震災域の山岳トンネル一覧(C)

No	被害程度	トンネル名	企業体	種類1	種類2	単複別	長さ(m)	土被り(m)	覆工(t=cm)	幅、高さ(m)	地形、地質、[著名断層]	被害状況
*66		城山	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	65		C	8.5, 7.2	有馬層群-流紋岩	被害報告なし
*67		第2名塩	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	2960		C	8.5, 7.2		被害報告なし
*68		第2武田尾	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	705		C	8.5, 7.2	有馬層群-流紋岩質溶結凝灰岩	被害報告なし
*69		第1道場	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	1235		C	8.5, 7.2	有馬層群-流紋岩質溶結凝灰岩~凝灰岩質頁岩	被害報告なし
*70		第2道場	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	150		C	8.5, 7.2	有馬層群-凝灰岩質頁岩~泥質凝灰岩の互層	被害報告なし
*71		第3道場	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	475		C	8.5, 7.2	同上及び角れき凝灰岩	被害報告なし
72		日出坂	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	380		C	8.5, 7.2		被害報告なし
73		第1古市	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	200		C	8.5, 7.2		被害報告なし
74		第2古市	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	120		C	8.5, 7.2		被害報告なし
75		丹南	JR西日本	鉄道	福知山線	複線	475		C	8.5, 7.2		被害報告なし
76		鶴越	神戸電鉄	鉄道	有馬線		70		C			被害報告なし
77		中山	神戸電鉄	鉄道	有馬線		236		C			被害報告なし
78		角山	神戸電鉄	鉄道	有馬線	複線	46		C	7.7, 6.1		被害報告なし
79		烏原(下り)	神戸電鉄	鉄道	有馬線	単線	59		C			被害報告なし
80		烏原(上り)	神戸電鉄	鉄道	有馬線	単線			C			被害報告なし
81		菊水山(上り)	神戸電鉄	鉄道	有馬線	単線	1184		C			被害報告なし
82		谷上	神戸電鉄	鉄道	有馬線		240		RC			被害報告なし
83		有井	神戸電鉄	鉄道	都市公園線		890		C			被害報告なし
84		小部	神戸電鉄	鉄道	粟生線		79					被害報告なし
85		藍那	神戸電鉄	鉄道	粟生線		78					被害報告なし
86		小部	市土木局	道路	428号	2車線	482	50	C	8.62, 6.3	花崗岩	被害報告なし
87		鉄拐山	市土木局	道路	神戸明石線	2車線	466	20	C	9.06, 6.0	神戸層群	被害報告なし
88		太山寺	市土木局	道路	明石宝塚線	2車線		50	C	8.48, 5.9	花崗岩[高塚山F]	被害報告なし
89		衝原	市土木局	道路		2車線	249	20	C	8.0, 6.15	有馬層群	被害報告なし
90		藍那	市土木局	道路	小部明石線	2車線	209	2	C	8.74, 6.3	花崗岩	被害報告なし
91		下畑	市土木局	道路	神戸明石線	2車線	163	20	C	8.2, 6.0	神戸層群	被害報告なし
*92		福地	市土木局	道路	428号	2車線	149	20	C	8.8, 6.1	有馬層群	被害報告なし
93		須磨寺	市土木局	道路	神戸明石線	2車線	121	15	C	8.45, 7.0	神戸層群	被害報告なし
94		再度	市土木局	道路		2車線	98	20	C	5.42, 5.0	花崗岩	被害報告なし
95		新有馬	市土木局	道路		2車線	78	20	C		神戸層群	被害報告なし
96		東藍那	市土木局	道路	小部明石線	2車線	75	10	C	7.96, 6.3	神戸層群	被害報告なし
97		服山	市土木局	道路	428号	2車線	44	15	C		花崗岩	被害報告なし
*98		箕谷	市土木局	道路	428号	2車線	330	20	C		花崗岩	被害報告なし
99		岩山東	市土木局	道路		2車線	125	30	C	10.89, 6.1	花崗岩	被害報告なし
100		玉坂	市土木局	道路		2車線	200	10	C	8.25, 5.0	神戸層群	被害報告なし
101		吹上	市開発局	道路	西神中央線	2車線	252	30	C	9.4, 6.4	大阪層群	被害報告なし
102		前開	市開発局	道路	西神中央線	2車線	64	10	C	8.0, 5.3	大阪層群	被害報告なし
103		西神2号線	市開発局	道路	西神2号線	2車線	105	20	C	9.0, 6.0	大阪層群	被害報告なし
*104		布施畑上	市開発局	道路		2車線	227	30	C	11.0, 6.0	神戸層群	被害報告なし
*105		布施畑下	市開発局	道路		2車線	321	30	C	9.0, 6.0	神戸層群	被害報告なし
106		送水	市水道局	上水道								被害報告なし
107		隧道配水池	市水道局	上水道								被害報告なし
108		管路隧道	市水道局	上水道								被害報告なし
109	A	会下山		河川	新湊川		670	37	BR, ST	6.7, 7.6	花崗岩, [会下山F]	煉瓦の剥離, 剥落, 亀裂, 坑口崩壊
110	A	本山横坑			共同坑		344	96		3.0, 3.0	花崗岩	天端, 側壁, 肩部の損傷

・被害程度

A: 補強, 補修を必要とした被害 B: 補強, 補修を必要としなかった軽微な被害

・覆工

C: コンクリート CB: コンクリートブロック RC: 鉄筋コンクリート BR: レンガ ST: 石造

・No

*: NATMIによる施工

図9-2-1および表9-2-1に調査を行った震災地域に存在する山岳トンネルの位置を表すが、これらのデータは、著者が直接現地調査を行ったものだけでなく、トンネル管理者からの情報提供を受けただけのものも含まれているため、情報の精度には若干のばらつきもあるものと考えられ、調査対象から漏れているトンネルも若干ながらあるものと思われる。

9-2-2 山岳トンネル(鉄道)の被害

(1) 山陽新幹線

山陽新幹線六甲トンネル(図9-2-1中のNo. 1)は、中生代の花崗岩中に建設された、延長16kmを超える長

大トンネルで、建設時には被圧水を伴う多くの断層破碎帯に遭遇し、難工を余儀なくされた。

被害は、1)アーチクラウン部のせん断ひび割れとその先端部の剥落(写真9-2-1), 2)アーチ・側壁の打ち継ぎ目部での圧縮性のひび割れに伴う剥落(写真9-2-2), 3)トンネル横断方向のリング状の打ち継ぎ目部の剥落, に代表される。図9-2-2にこれらの被害を模式的に、1枚の図に重ねて示した。主な被害箇所は12箇所に表示される。いずれの箇所も覆工に強い圧縮力が作用したもので、被害の形態の差異は、地震力の作用方向、地質条件、及びトンネル覆工の構造条件によるものと推定される。その位置は、施工時に遭遇した断層破碎帯の位置に一致している(図9-2-3)。なお、これらの被害

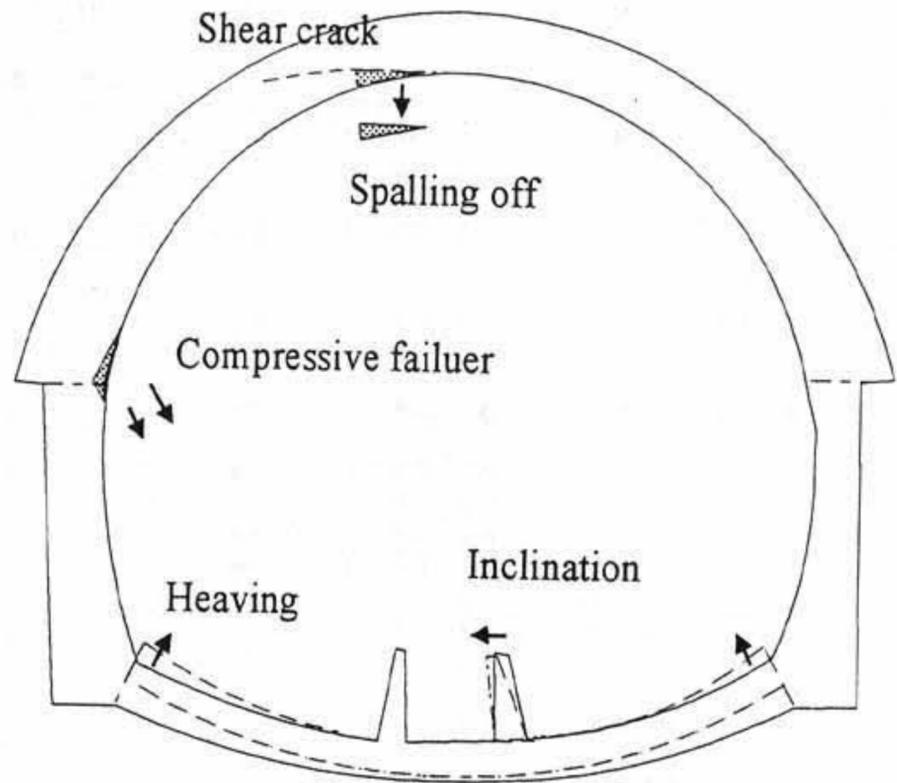


図9-2-2 六甲トンネル被害の模式図

箇所は、無収縮モルタルによる断面修復、ロックボルト工、炭素繊維シートにより補修された。他の新幹線トンネル(No. 2~6)については、六甲トンネルよりも震央に近いにも関わらず、被害はほとんどなかった。

(2) JR在来線

JR在来線(福知山線)のトンネル(No. 7~9, No. 66~75)には、地震の影響による被害は生じなかった。

(3) 神戸電鉄

神戸電鉄の東山トンネル(No. 10)は、67年前に建設されたコンクリートブロック造のトンネルで、上部地山、切り取りにより土被りは10m以下と浅い。ここでは坑口部面壁の既往クラックが開口し(写真9-2-3), アーチ肩部にトンネル軸方向のクラックが数本生じた。隣接する会下山トンネル(No. 11)は、軽微なクラックが生じた程度であった。両トンネルおよび有馬トンネル(No. 12)は、老朽トンネルなので覆工改築がなされた。

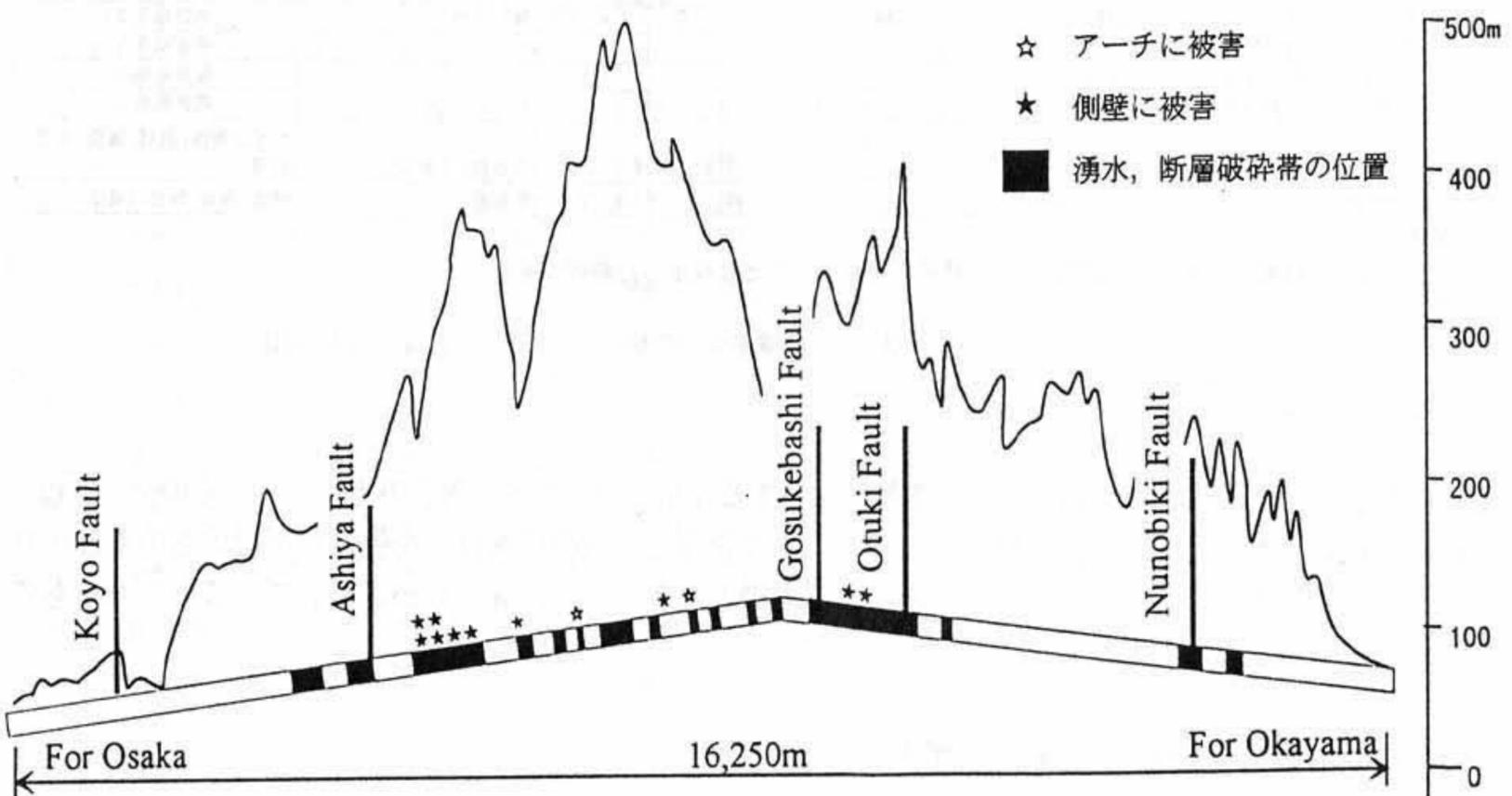


図9-2-3 六甲トンネルの被害位置(縦断図:湧水,断層破碎帯の位置は文献9-2)による)

(4) 北神急行電鉄

北神急行の北神トンネル(No. 14)には、アーチに小規模なクラックが生じ、一部剥落が生じたのみであり、軽微な被害であった。

(5) 神戸市営地下鉄

神戸市営地下鉄の山岳トンネル(No. 58, 61, 63, 64, 65)には、全く被害は生じなかった。

(6) 山陽電鉄

山陽電鉄の2トンネル(No. 56, 57)についても、地震による被害は生じなかった。

9-2-3 道路トンネルの被害

神戸市近辺のトンネルは、大きく分けると六甲山系の山岳トンネルと、土被りの小さい大阪層群、神戸層群の都市型トンネルに分類される。道路トンネルについては前者の山岳トンネルがほとんどであるが、後者には施工中の舞子トンネルなどが含まれる。

全体を通して兵庫県南部地震による道路トンネルの被害は軽微であったといえる。とくに供用中のトンネルのなかで長期間にわたって道路交通を阻害するほどの被害は皆無であった。被害といえる事例の多くは覆工コンクリートの剥落と目地の目開きであり、トンネル断面の閉塞や人身事故につながるようなものは1件も報告されていない。しかもそれら軽微な被害箇所の大半は断層とトンネルが交差する部分で発生している。つまりトンネルとしての構造力学的な被害は供用中の道路トンネルについてはまったくなかったといえる。

(1) 道路公団⁹⁻³⁾

道路公団管轄の4トンネルについて調査が実施された。その結果、トンネルの構造上の問題となる震害は見られなかった。若干に被害のあったものについて以下に示す。

宝塚東トンネル(No.47, 48, 中国自動車道)では数カ所で覆工コンクリートの打ち継ぎ目で軽微な剥落があった。

宝塚西トンネル(No.49, 50, 中国自動車道)は有馬・高槻構造線の近く位置し、近辺の震害が甚大であったにもかかわらず覆工コンクリート打ち継ぎ目のわずかのひび割れと剥落が見られた程度であった。

高倉山トンネル(No.53, 下り線, 第2神明)は調査したトンネルのなかで唯一、NATMで施工されたものであるが、矢板工法のトンネルと比べて、覆工コンクリートの剥落、ひび割れは少ないようである。

月見山トンネル(No.54, 55, 第2神明)では上下線ともに神戸側坑口から160mの区間にわたり覆工コンクリートの左右肩部に縦断方向のひび割れ(最大1mm)が発生。これについては調査を継続の予定。(写真9-2-4参照)

(2) 兵庫県道路公社⁹⁻⁴⁾

盤滝トンネル(No.15, 大沢西宮線)はNATMにより施工されたトンネルであるが、ここには五助橋断層から派生した断層が数本走っている。このうちF-1断層周辺の施工時には切り羽の押し出しがあり、鏡吹き付けコンクリートおよびウレタン注入、水抜きボーリングあるいは注入式フォアパイリングを併用した経緯がある。STA.98+3.0付近において西側の天端から側壁にかけて二次覆工コンクリートが剥離し、その周辺に多数のクラックが発生した。また、STA.102付近では、西側側壁のスプリングライン付近にて、二次覆工コンクリートが圧壊し、補強筋が露出し座屈した。最大12cmの路面の浮き上がりや、インバートのひび割れ等も見られた(写真9-2-5, 6, 7参照)

(3) 神戸市道路公社⁹⁻⁵⁾

管轄内のトンネルのうち、地震による被害が考えられる11トンネルについて調査がなされ、そのうち下記の4トンネルに軽微な被害が見られた。

新神戸トンネル(No.27)では、アーチコンクリートと側壁コンクリートの打ち継ぎ目の目地モルタルおよび覆工コンクリート打ち継ぎ目の浮き、剥落があった。また、一部で漏水があった。

第2新神戸トンネル (No.28) では、目地の浮き、剥落、リング状のひび割れがあった。

布引トンネル (No.18) 覆工コンクリートの剥落、クラックの発生があった。山陽新幹線交差部は凍結工法を補助工法として側壁導坑先進上半リングカット工法で施工された。その一部には諏訪山断層が走っているが、被害箇所は断層線と一致する (写真9-2-8参照)。

第2布引トンネル (No.19) では最大2cmの監査路の沈下が見られた。

(4) 本四公団⁹⁻⁶⁾

舞子トンネル (No.16, 17) は土被りの小さい施工中の都市型トンネルであって、最新の技術をもって工事が進められている。舞子トンネルにおいては、本体構造物への被害はなく、施工中の切り羽周辺部の吹き付けコンクリートに剥落があったのみである。これは、大阪層群にある上り線の上半部に切り羽鏡吹き付けコンクリート ($t=5\text{cm}$) の剥落および下り線上半の切り羽核部吹き付けコンクリート ($t=10\text{cm}$) の剥落である。トンネルで構造的にもっとも不安定な応力状態にあるのは施工中の切り羽周辺部であり、完成したトンネル構造はほとんど地震の被害を被らないことを示しているといえよう。

9-3 都市トンネル (地下鉄) および地下街・地下駐車場の被害

9-3-1 概説

図9-3-1は神戸市内の地下鉄トンネルおよび地下街・地下駐車場の位置を示したものである。地下鉄として、営業キロ数7.6kmの神戸高速鉄道と、同22.7kmの神戸市営地下鉄の2つの営業線がある。神戸高速鉄道には東西線と南北線の2路線があり、東西線 (営業キロ数7.2km) は山陽電鉄本線の接続駅である西代から新開地を経て高速神戸の先で2つに分岐し、一方は元町に至って阪神電鉄本線に接続し、他方は三宮に至り阪急電鉄神戸線に接続する。南北線は新開地・湊川間の0.4kmの区間であり、湊川で神戸電鉄線に接続する。神戸市営地下鉄は、新神戸・新長田間の山手線 (営業キロ数7.6km)、新長田・名谷間の西神線 (同5.7km)、および名谷・西神中央間の西神延伸線 (同9.4km) よりなる。これら地下鉄路線の大部分が地下を走っているほか、阪神電鉄本線の岩屋・元町間約3.4kmも地下トンネルである。

神戸市内の地下街は、主なものとしてハーバーランド (延床面積: $10,870\text{m}^2$)、さんちかタウン (延床面積: $17,998\text{m}^2$)、メトロ神戸 (延床面積: $10,198\text{m}^2$) が挙げられる。また、地下駐車場は、さんちかタウンに隣接する三宮駐車場をはじめ神戸市内に10ヶ所存在する。地下駐車場は、規模は異なるが構造形式はいずれも地下2階建て (1ヶ所3階建て) の鉄筋コンクリート造であり、道路下または公園下に位置する。

これらの大規模地下構造物の大部分は、地表近くの比較的浅い深さに開削工法によって構築されていた。これまで、こうした地下構造物は地震に対して安全であろうという一般的認識があり、また、その設計段階で耐震検討を行うことも少なかったのであるが、都市内大規模地下構造物が実際に大地震を経験したのは、

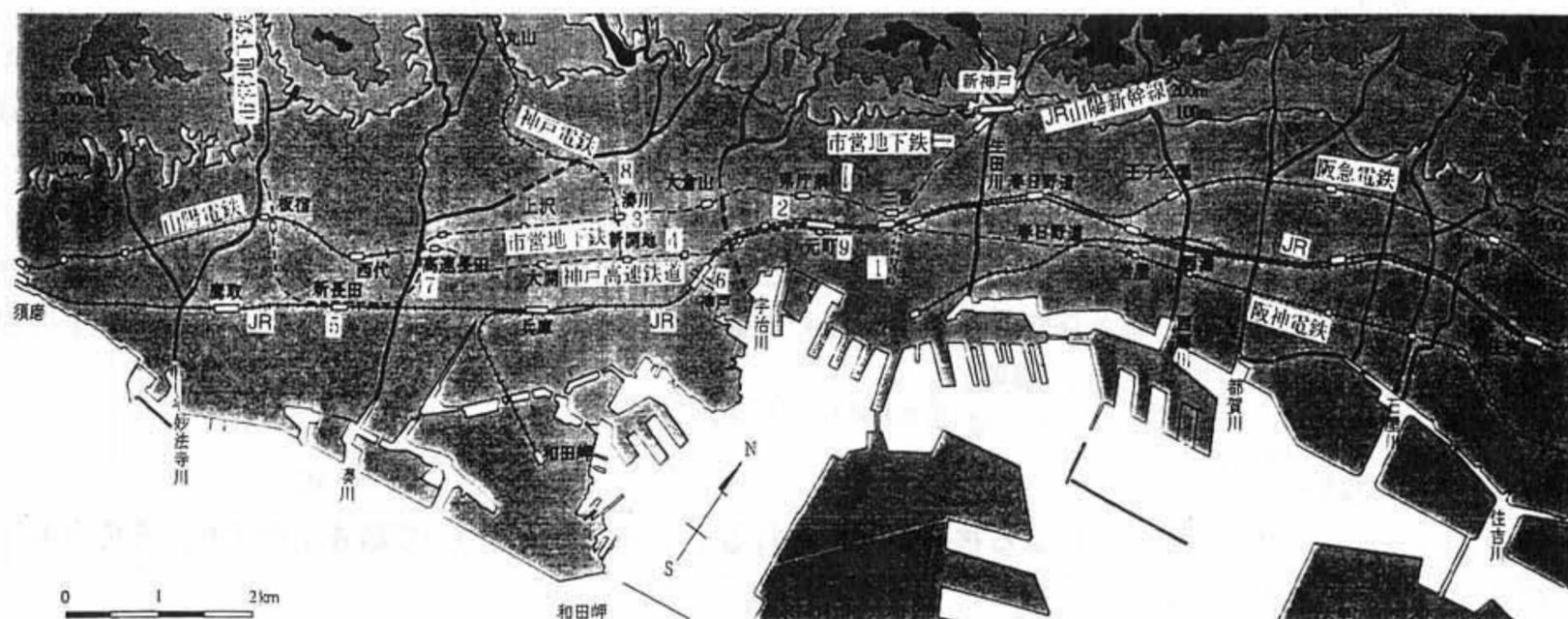


図9-3-1 神戸市内の地下鉄トンネルおよび地下駐車場の位置

今回が初めてであった。結果としては、市内に合計20ある地下鉄の駅舎のうち6箇所と、それらに接続する地下トンネルの一部において、函型断面の中間で上下スラブ間を支える鉄筋コンクリート支柱が多数破損するなど、予想外の大きな被害が生じた。中でも神戸高速鉄道の大開駅は、支柱が完全に破壊し天井スラブが崩落して壊滅した。ただし、幸いにも、人的被害はいずれの被災箇所についても全く報告されていない。

地下鉄構造物に大きな被害が生じたのに対し、同じ開削工法により施工された地下街および地下駐車場においては、その周辺の地上建築物の損壊状況から地表面の地震動はかなり大きかったものと考えられるのであるが、被害は極めて軽微であった。

9-3-2 神戸市地下鉄の被害

(1) 地下鉄の被害の概要

神戸市内には、図9-3-1に示したように、神戸高速鉄道と神戸市営地下鉄の2つの地下鉄営業線がある。神戸高速鉄道の東西線と南北線は、西代・高速長田間の一部と花隈・阪急三宮間の一部が地上区間であるほかは、全線地下トンネルを走る。建設時期は1950年代の終わりから1960年代で、全て開削工法によっている。神戸市営地下鉄は1972年から1987年の間に建設され、山手線の全区間7,606mと西神線の新長田・板宿間1,431mの区間が開削工法による函型断面トンネルと地下駅舎、板宿駅の北側363mの区間がシールドトンネル、この先の235mが再び開削工法による函型断面トンネルである。さらにその先から名谷までもほとんど地下区間であるが、ここは山岳トンネルとなる。西神延伸線においても地下を走る部分が断続的にあり、2つの山岳トンネル（合計延長1,355m）のほかに、函型断面トンネルの部分が4箇所（合計延長1,209m）ある。これら2つの地下鉄営業線以外に、阪神電鉄本線の岩屋・元町間約3.4kmが1930年代に開削工法で建設された地下トンネルであり、また、神戸電鉄線の湊川駅の北側が、わずかな距離ではあるが地下区間となっている。これらの各路線中には、下記のように合計20の地下駅舎がある。

神戸高速鉄道の地下駅：花隈，西元町，高速神戸，新開地，大開，高速長田，湊川

神戸市営地下鉄の地下駅：新神戸，三宮，県庁前，大倉山，湊川公園，上沢，長田，新長田，板宿

阪神電鉄本線の地下駅：春日野道，三宮，元町

山陽電鉄本線の地下駅：西代（地下駅）

こうした地下鉄施設のうち、特に大きな被害が生じたのは、次の地下駅舎およびトンネル部分である。

神戸高速鉄道：大開駅，高速長田駅，両駅に接続するトンネル部

神戸市営地下鉄：三宮駅，上沢駅，新長田駅，上沢駅西側のトンネル部，新長田駅東側のトンネル部

阪神電鉄本線：岩屋駅西側のトンネル部

山陽電鉄本線：西代地下駅

被災した施設はいずれも開削工法で施工されており、構造的には、鉄筋コンクリート造の函型断面であること、比較的幅広断面で中間に支柱（中柱）を有すること、土被りが数メートルの厚さであること、などが共通している。被災形態としては、地下駅舎においてもトンネル部においても、鉄筋コンクリート造の中柱の損壊が圧倒的に多い。神戸高速鉄道の大開駅では、駅舎の上スラブが崩壊して壊滅的狀態に至ったが、これも、上スラブおよび上載土の重量を支えていた中柱が広範囲にかつ完全に破壊したためと考えられる。このほかの被災形態として、横断面側壁のひび割れや隅角部のハンチの破損などが見受けられた。

被災した施設は、神戸市営地下鉄の三宮駅と阪神電鉄本線の岩屋付近トンネルを除けば、兵庫区から長田区にかけての比較的狭い範囲に集中して分布している。この一帯は震度階7と判定された地域にも当たるが、地質的には、縄文時代の海岸線と沿岸に形成されていた砂堆に挟まれた低湿地帯であったところで⁹⁻⁷⁾、沖積粘土が比較的厚く見られ、全般に地盤の硬い神戸の中にあっては比較的軟らかい地域である。

(2) 神戸高速鉄道における被害

神戸高速鉄道の路線においては、大開駅と高速長田駅の2つの地下駅舎と、それらに接続するトンネル部に顕著な被害があった。中でも大開駅の被害は、阪神・淡路大震災における地下構造物の被害全体を通じて最大のものである。

大開駅は、兵庫区大開通8丁目の大開通（国道28号線）の下を占用する形で、ほぼ南西・北東方向に造られている。開削工法による鉄筋コンクリート造で、竣工は1964年1月31日であった。延長120mの駅舎の一般

部は幅17m、高さ7.17mの複線函型断面であるが、一部分は、改札のあるコンコース階を加えた2層構造となっていた。対向式ホームであり、上下線の軌道間に幅0.4m、奥行き1.0m、高さ3.82mの鉄筋コンクリート柱が、3.5mの等間隔で計35本建て込まれていた。土被り厚さは、一般部で約4.8m、2層構造部分で約1.9mであった。埋め戻しには、まさ土が用いられた。周辺地盤は、N値50以上の砂礫層の上に、N値4～13の砂質土と粘性土、およびN値18～41の礫混じり砂の互層が、合計15～17mの厚さに堆積している。震災後に実施された周辺地盤の常時微動観測の結果によると、大開駅周辺の地盤の1次卓越周期は0.4～0.6秒である^{9,8)}。図9-3-2は、大開駅の被災状況を駅舎縦断方向に見たものである。Aゾーンは1層構造の一般部のうち高速長田側の部分であるが、このゾーンにおいては大部分の中柱がほぼ完全に圧壊し、それに伴って上スラブが中柱から左右それぞれ1.75～2.00mの位置（主鉄筋の折曲げ位置）で折れ曲り最大2.5m沈下した。左右の側壁も、それぞれ上部ハンチの下の位置が破壊したほか、プラットホームから上の部分が内空側にわずかに倒れ込んだ。写真9-3-1, 2はその状況の一部を示したものである。中柱のコンクリートは一部が原形を残しているがかなりの部分が破碎して、35cm間隔で配置されていた9mm丸鋼の帯鉄筋と共に脱落し、軸方向鉄筋が鉛のように大きく座屈・湾曲した。こうした圧壊の様子は縦断方向に一定ではなく、柱の上端または下端に近い部分のいずれかが破壊したもの、両端部が共に破壊したもの、また、軸方向鉄筋が提灯をつぶしたようにほぼ左右対称に座屈したもの、左右どちらかに偏って座屈したものなど、種々の壊れ方があった。中柱の圧壊の度合ならびに上スラブの沈下量は、Aゾーンの中央よりやや西寄りの位置で最も大きかった。この上スラブの沈下形状にほぼ対応した形で、直上の大開通の路面が写真9-3-3のように長さ90m、幅23mにわたって陥没した。陥没の最大深さは2.5mであった。2層構造となっているBゾーンでは、地下2階の6本の中柱のうちAゾーン側の2本とCゾーン側の1本に被害が生じたが、他の3本は軽微な被害に留まった。Aゾーンの上スラブに引きずられる形で、地下1階コンコースの床がAゾーン側に傾いた。地下2階には山側に電気室、海側に開閉所があるが、これらの室の線路直角方向に配置された壁にX字状に斜めひび割れが発生した。写真9-3-4は電気室の壁のひび割れ状況である。Cゾーンにおいては、写真9-3-5から分かるように、中柱の下部がせん断破壊して軸方向鉄筋が座屈し、上スラブが5cm程度沈下した。被害状況を駅舎全体として見ると、細長い函型の駅舎躯体が地震動によってせん断剛性の相対的に小さい線路直角方向に変形したために、中柱が上下端で強制変位を受けて破壊したように見受けられる。その中でもAゾーンは、線路直角方向の壁が他のゾーンに比較して少なくせん断変形がより大きく生じたと考えられ、また土被りが厚いために中柱に常時から大きな上載荷重が生じていたことから、中柱が大きく破壊して耐荷力を失い、これに支えられていた上スラブが上載土の重量によって崩落したものと推定される^{9,8)}。

大開駅の西隣りの高速長田駅では、全長120mのうちの大開寄りの区間で、連続する16本の中柱に曲げ・せん断ひび割れなどの損傷が生じ、このうちの5本は写真9-3-6に示したように上部で線路直角方向にせん断破壊した。せん断破壊面は北から南へ向かって下がる勾配であり、これは下スラブに対して上スラブが相対的に南側へ大きく変位したことを伺わせる。この駅舎の基本的な構造・寸法は大開駅とよく似ているが、中柱に関しては、高さが4.44mとせん断スパン比がやや大きくなっていることと、建込み間隔が3.0mと密になっていることに大開駅との違いがある。

高速長田駅から西代へ向かうトンネル部では、駅の西端から約100mの区間で、中柱8本に被害が出ている。

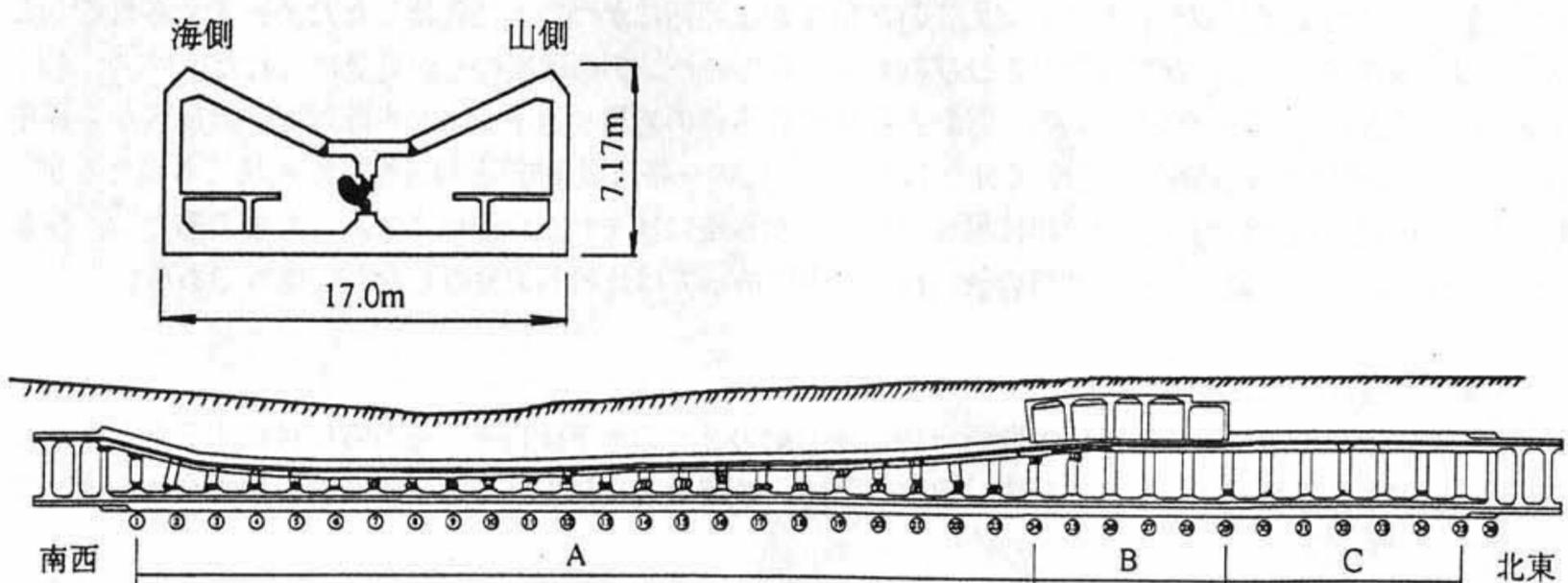


図9-3-2 神戸高速鉄道・大開駅の被災状況

大開・高速長田間の長さ940mのトンネル部も、大きな被害を受けた。トンネル部も複線函型断面であり、この区間では幅が8.9～10.2m、高さが6.25～6.46m、また土被りが2.5～5.5mの範囲でそれぞれ変動する。中柱が2.5m間隔で375本あるが、その約2/3の249本が損傷を受けた。損傷の主な形態は、曲げによる柱上下端部の被りコンクリートの圧壊・剥落、軸方向鉄筋の座屈、せん断による斜めひび割れや破壊、などである。軽微なひび割れから深刻なせん断破壊まで損傷度に幅があるが、大開寄りの方の損傷度が相対的に高い。被りコンクリートが圧壊・剥落した柱面の向きなどは概ね一定しており（写真9-3-7参照）、高速長田駅の場合と同じくトンネル横断面の上スラブが南側により大きく相対変位した形跡がある。南側の側壁においては、写真9-3-8に示したように、下部ハンチと側壁間のコンクリート打継目に水平ずれが生じ、主鉄筋でつながれたまま側壁下端が内空側に押し出された。大開寄りのかなり長い区間で断続的に発生しており、その合計延長は495mに達した。ずれ量は、高速長田側では2cm未満のところが多いが、大開駅端から西へ100mの地点付近を中心とする約140mの範囲では6cm以上、最も大きいところで20cmであった。南北両側壁にはトンネル軸方向のひび割れが生じた。壁高さの中央付近やその上下に数本発生し、ひび割れ幅が5mmを超えるものも多かった。北側の側壁では、上部ハンチに沿ってトンネル軸方向のひび割れが生じたが、このひび割れ幅は大きくはない。上下スラブには変状が見られなかった。

大開・新開地間のトンネル部での主な被害は、左右側壁に生じたトンネル軸方向のひび割れである。これはトンネル全長900mのうち、新開地駅直近を除く約790mの区間で生じた。やはり壁高さの中央付近やその上下に数本発生するパターンである（写真9-3-9参照）。単独のひび割れとしては幅17mm程度のものが最大であり、数本のひび割れの合計幅が15mmを超えるような箇所が、大開駅東端から130m地点と391m地点とに挟まれた区間の中に断続的にあり、その延長の合計は100mであった。こうした箇所では、側壁が内空側に最大で24mmはらみ出していたほか、中柱の上下端部分にも損傷が生じていた。写真9-3-9には構造目地部分のコンクリートが欠け落ちている状況も見られる。トンネル横断方向の地震力による被害が支配的である中で、これはトンネル軸方向の地震力による数少ない被害形態の一つである。

なお、本震発生当時、特急列車が高速長田から新開地方面へ向かって走行中であった。大開駅（特急通過駅）を通過した直後に震動により脱線・停止したが、人的被害は全くなかった⁹⁾⁹⁾。

(3) 神戸市営地下鉄における被害

神戸市営地下鉄における被害は、ほとんどが鉄筋コンクリート造函型トンネル（開削工法）の中柱の損壊である。中柱の被害を表9-3-1に総括する。ここで、被災の程度を次のようにランク付けしている。ランクⅠは破壊であり、写真9-3-10、13がその例である。ランクⅡは破損しているが破壊には至っていない程度であり、写真9-3-11、12がその例である。ランクⅢはせん断クラックが発生しているもの、また、ランクⅣは軽微なクラックが発生しているものである。被災した施設の中でも、被災柱の数・程度が共に最大であったのは上沢駅であり、三宮駅の被害がこれに次ぐ。新長田駅および駅東線路部の被害と、長田～上沢駅間線路部の被害も比較的大きかった。

上沢駅は、神戸高速鉄道・大開駅の北西約400mの地点、兵庫区上沢通8丁目の上沢通の直下に築造されている。駅近傍の地盤は、N値50以上の砂礫層（大阪層群相当）上に、段丘相当層である砂礫層、砂質土層および粘性土層の互層と、地表近くに数m厚の沖積粘性土層が、合計25～30mの厚さに堆積している。駅舎の上半

表9-3-1 神戸市営地下鉄函型トンネルの中柱の被害

場 所	ランク				計	
	I	II	III	IV		
新長田駅 及び 駅東西線路部	板宿～新長田 間線路部	—	—	—	4本	4本
	新長田駅	—	—	9本	39本	48本
	新長田～長田 間線路部	—	6本	55本	13本	74本
長田駅	—	—	2本	3本	5本	
上沢駅 及び 駅東西線路部	長田～上沢 間線路部	—	1本	34本	—	35本
	上沢駅	10本	23本	59本	19本	111本
	上沢～湊川 公園間線路部	—	—	1本	58本	59本
大倉山駅 及び 駅東西線路部	湊川公園～大 倉山間線路部	—	—	1本	—	1本
	大倉山駅	—	—	—	11本	11本
	大倉山～県庁 前間線路部	—	—	—	2本	2本
三宮駅 及び 駅東線路部	三宮駅	8本	14本	23本	33本	78本
	三宮～新神戸 間線路部	—	—	24本	—	24本
被災柱 総数*	駅 部	18本	37本	93本	105本	253本
	線路部	—	7本	115本	77本	199本
	計	18本	44本	208本	182本	452本

*板宿～新神戸間の柱総数：駅 部 1,609本（内388本は鋼管柱）
線路部 1,961本

部付近の深さの砂質土（段丘相当層の上部層）はやや緩い。駅舎は全長400m、プラットフォーム長は125mである。横断面は基本的に2層構造の区間と3層構造の区間とからなり、それぞれの断面が線路方向に複雑に変化する。土被り厚は3～5mである。2層構造の種々断面の中で中柱の被災度が高かった代表的な断面は、幅16.68m、高さ13.25mで、上階と下階の内空高さはそれぞれ5m余りである。鉄筋コンクリート造の中柱が両階にあるが、引込み線を含めて3線ある関係で、断面中央ではなく全幅の1/3程度の位置でスラブを支える。中柱の断面寸法は、上階では幅0.7m、奥行き1.4m、下階では幅0.6m、奥行き1.5mと異なるが、建込み間隔はいずれも5mである。また、3層構造の代表的な断面は幅17.22m、高さ14.48mで、中間階は高さが2mと上階・下階よりも低い。中柱は幅の中央にあり、上階と中間階は幅0.5m、奥行き1.3mの矩形断面の鉄筋コンクリート柱、下階は直径0.65mの鋼管柱で、これらが5m間隔で建て込まれている。中柱の被害が顕著であったのは駅の西側半分であり、2層・3層構造ともに上階の被災度が著しく高かった。それらの柱には、写真9-3-10, 11に見られるような典型的なせん断破壊または斜めひび割れが生じた。線路直角方向（北西・南東方向）に交番繰返しせん断を受けたことによるものと考えられるが、大きな破壊面には一定の方向性が認められ、上床が下床に対して南東側により大きく相対変位したことが推定される。これは前述の高速長田駅および隣接トンネル部での変位方向と一致する。中柱の被災程度が高い箇所においては、上床スラブおよび側壁のクラックが生じた箇所もあった。

三宮駅における被害の状況も、上沢駅の状況と同様であった。三宮駅舎は全長が約306mで基本的に3層構造である。駅舎の地下1階部分の深度までは概ね沖積砂礫層であるが、特に東側部分には、ここが明治初頭まで旧生田川の河道であった経緯から、玉石が多く出る。土被り厚は3.0～4.0mである。駅舎中央よりやや西寄りの位置を中心とする100m程度の区間において、中柱の被災度が高かった。この区間は幅約15.1m、高さ約21.0mの縦長の函型断面となっている。中柱は断面幅の中央ではなく左右比が約4：6の位置にあり、地下1階が鉄筋コンクリート柱、地下2階と3階が鋼管柱である。地下1階の中柱の被災状況（写真9-3-12, 13参照）から、やはり線路直角方向にせん断されているが、ここでは上床が下床に対して北側により大きく相対変位したようである。

駅舎以外の一般トンネル部で比較的大きな被害が生じたのは、長田区神楽町3丁目付近で、新長田駅端部から東へ約250mの地点から延長150m前後の区間である。この区間の代表断面は幅10.1m、高さ7.0mの複線函型で、断面中央に幅0.4m、奥行き0.8m、高さ4.3mの鉄筋コンクリート柱が2.5m間隔で建て込まれている。土被りは7m前後である。破壊に至ったものはないが、上端付近で損傷した中柱が多い。

(4) その他の地下鉄の被害

阪神電鉄本線は、岩屋から元町まで開削トンネル（1933年～1936年の建造）となるが、特にトンネル入口付近から約400mにわたり、写真9-3-14に示すように上部ハンチのコンクリートが剥落して鉄筋が露出したほか、上下線の線路間にあるコンクリート柱も損傷した。この付近の土被りの厚さは約3mである。

山陽電鉄の西代地下駅は、連続立体交差化事業として地上駅の前地下に構築され供用目下であった。駅舎全長は180m、開削工法による幅16.8m、高さ7.75mの複線函型断面で、一部は上にコンコース階が乗るやや幅広の2層構造となっている。地盤は砂質土、粘性土、および砂礫土の複雑な互層で、1層構造部分の土被りは約9mである。駅舎深度付近に厚さ3～5mの非常によく締まった砂礫層があるが、その上部にはやや緩い砂層がある。被害が出たのは1層構造部分の線路間の中柱17本と、2層構造部分における地下2階のホーム間柱11本および地下1階のコンコース間柱8本である。また、主に1層構造部分の上スラブに、線路直角方向のひび割れが20本余り生じた。これらの被害のうち線路間の中柱15本については、損傷度が他よりも高かった。この柱は幅0.4m、奥行き2.5mの壁状で、中心間隔5mで配置されているが、写真9-3-15に見られるように、上部が南側へ相対変位する方向にせん断を受けたものが多い。

9-3-3 地下街・地下駐車場

地下街・地下駐車場の被害は、他の地下構造物や地上構造物に比べて総じて被害は軽微であったが、三宮第2駐車場では本体部の損傷は見られなかったものの、給排気塔等の付属構造物との接続部において軽微ながら損傷が見られた。表9-3-2に神戸市内の地下駐車場の構造形式・延床面積・施工法を示す。

被害が報告されている第2駐車場は東遊園地の地下に位置し、開削工法により施工された鉄筋コンクリー

ト構造の地下2階の駐車場である。平面図および断面図を図9-3-3, 4に示す。駐車場本体部の長手方向は120.4m, 短手方向は66.6m, 地下1階, 地下2階の階高はそれぞれ4.05m, 3.45mであり, 土被りは1.5mとなっている。基礎部は厚さ40cmの底床スラブと格子状に配置された梁高140cmの基礎梁により構成されており, 厚さ15cmのスラブを載せた二重スラブ構造である。上床, 中床は, それぞれ厚さ25cm, 20cmのスラブを有し, 長手方向に5.1~7m, 短手方向に7~8mの間隔で格子状に配置された梁高80~140cmの大梁が70×100cmの柱により支持された梁・柱構造である。また, 本体部の外壁の壁厚は40cmであり, 長手方向には17.2m毎に壁厚30cm, 短手方向には21~24m毎に壁厚40cmの沖壁を有しており, かなり剛性の高い構造となっている。

表9-3-2 神戸市内の地下駐車場一覧

駐車場名	構造形式	延床面積	施工法	図9-3-1
三宮第1	RC造 地下2階2層	10,384 m ²	開削工法	1
三宮第2	RC造 地下2階2層	14,726 m ²	開削工法	
三宮第3	RC造 地下2階2層	19,348 m ²	開削工法	
花隈	RC造 地下3階3層	8,977 m ²	開削工法	2
湊川公園	RC造 地下2階2層	11,469 m ²	開削工法	3
神戸駅北	RC造 地下2階2層	8,419 m ²	開削工法	4
新長田	RC造 地下2階2層	9,414 m ²	開削工法	5
神戸駅南	RC造 地下2階2層	10,593 m ²	開削工法	6
長田北町	RC造 地下2階2層	5,662 m ²	開削工法	7
鈴蘭台	RC造 地下2階2層	3,939 m ²	開削工法	
荒田公園	RC造 地下2階2層	12,980 m ²	開削工法	8
元町東	RC造 地下2階2層	14,969 m ²	開削工法	9

一方, 隣接する第3駐車場は, 版桁構造であり, 第2駐車場と若干構造の違いはあるが, 被害はほとんど報告されていない。

第3駐車場建設工事に伴う土質調査報告書では, フラワーロードは旧生田川河川敷にあたり, 氾濫原堆積物が広く分布している地域である。三宮周辺は旧生田川の氾濫によって形成された扇状地地形で, 扇状地お

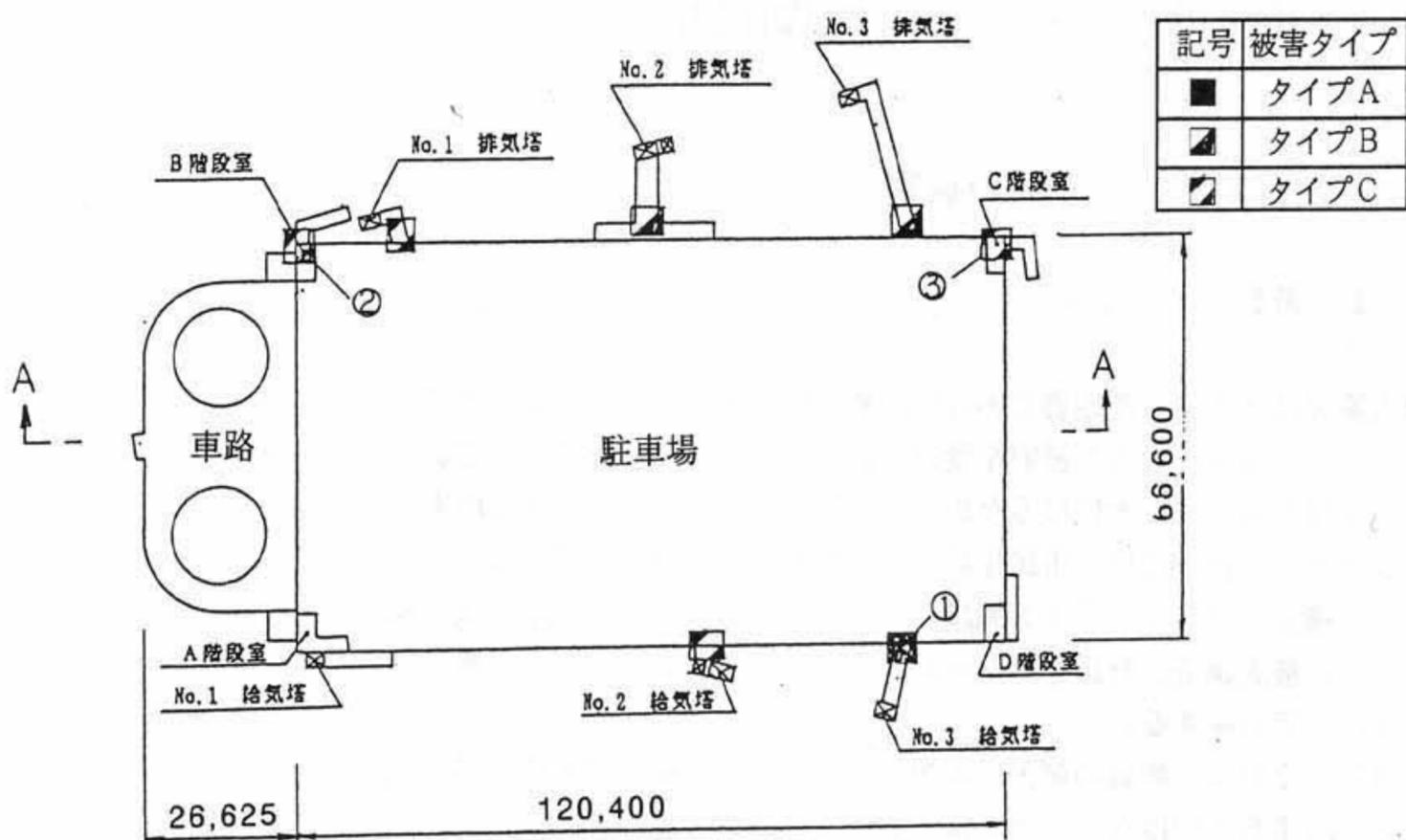


図9-3-3 三宮第2駐車場の平面図と損傷箇所

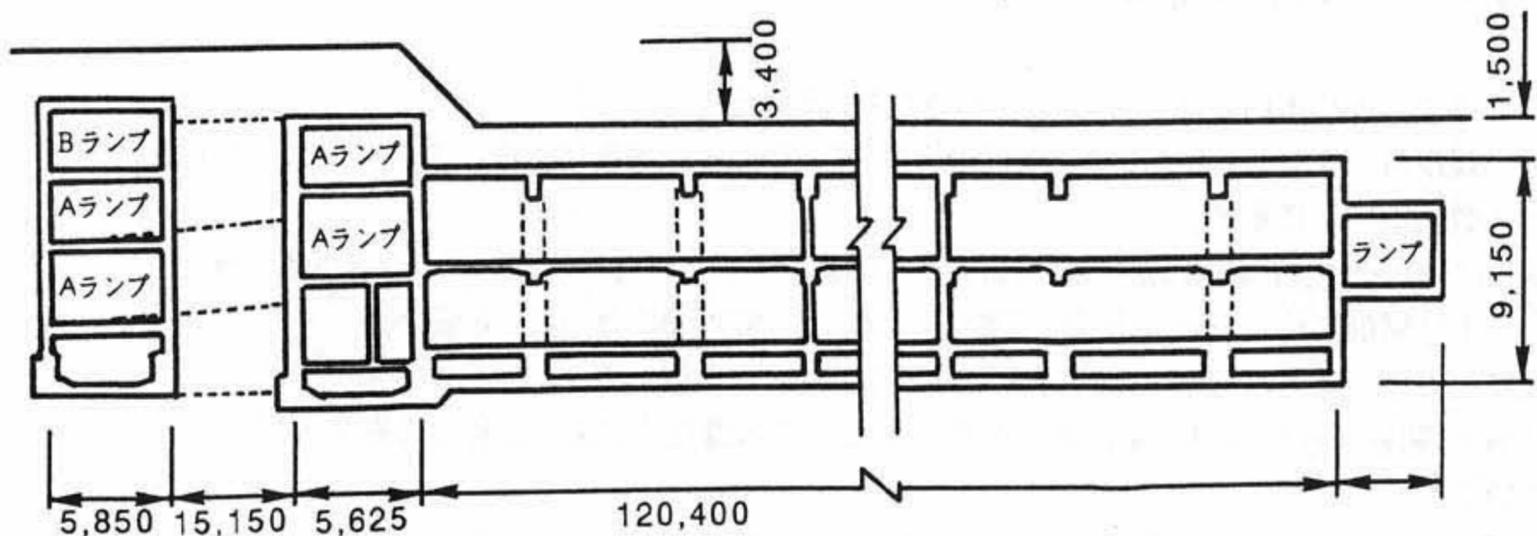


図9-3-4 三宮第2駐車場の断面図 (A-A断面)

よび河川敷では、玉石層、砂礫層および砂層からなるが、扇頂から扇端に向かって次第に粒径が小さくなっている。玉石層の分布はJR三宮駅より上流部に見られ、下流部は礫質土～砂質土である⁹⁻¹⁰⁾。三宮駅の南側に縄文海岸線が位置し、神戸市役所周辺は砂州地帯である⁹⁻¹¹⁾。

第2駐車場の被害状況の概略は以下のとおりである。駐車場の本体構造には変状はほとんど見られないが、図9-3-3に示すように給排気塔および階段室において駐車場本体構造との接合部でコンクリートの剥落・ひびわれが生じた。最も大きな損傷は、No.3給気塔において生じており、壁の一部と天井スラブのコンクリートが剥落して鉄筋が露出している（写真9-3-16, 17）。一部の鉄筋は変形しているものの破断にはいたっておらず、4δy程度の曲げ変形が生じたものと推定される。No.2およびNo.3排気塔では、壁の一部およびスラブのコンクリートが剥落し、ひび割れも多数見られる（写真9-3-18）。No.3排気塔と駐車場本体との接合部において5～25cm程度ずれていることが確認できた。No.2給気塔、No.1排気塔およびB, C階段室では壁に1～8mm程度のひび割れが見られた（写真9-3-19）。

これらの損傷は、剛性の高い駐車場本体と比較的剛性の低い給排気塔および階段室とでは動的応答特性が異なるため、接合部において相対変位が生じたことに起因しているものと推定される。これら詳細な被災状況に関する検討は、地質状況、地震動特性を明確にして今後検討することになるであろう。また、ほぼ隣接する第3駐車場に被害が見られなかった（写真9-3-20, 21参照）ことを考慮した比較検討も必要となると考える。

三宮駐車場に隣接するさんちかタウンは、昭和40年に建設された比較的古い地下街であるにもかかわらず、ガラスが破損した程度の被害にとどまっている。隣接する地下鉄三宮駅や三宮駐車場に被害が見られたのに対し、さんちかタウンが無傷であったのは、柱が全て直径約60cmの鋼管柱でコンクリートが中詰めされていたこと、水平震度0.1で設計されていたこと等が挙げられる⁹⁻¹²⁾。

9-4 ライフライン幹線の被害

9-4-1 概説

阪神大震災は都市直下型地震であったため、地下河川・上下水道・ガス・通信など生活になくてはならないライフライン施設が大きな被害を受けた。ライフラインの被害は、広範囲かつ長期にわたって人々の生活に大きな支障をきたすことになるため、ライフライン施設には十分な地震対策が必要であると考えられる。

ライフラインの被害に伴う市民生活への影響や復旧の状況の詳細は、ライフライン部会の報告にゆずる。ここでは、被災したライフライン施設のうち、シールド工法や開削工法で構築された比較的規模の大きい幹線についての被害調査と分析を行なった。なお、ガス施設における被害については、対象となる幹線が被災していないので省略する。

調査結果によれば、幹線の被害は末端の管路に比べて軽微なものが多く、施設が持っている機能に大きな影響をおよぼすものではないことが確認されている。

9-4-2 地下河川の被害

ここでは、神戸市内の地下河川における被害の概要を述べる。神戸市はその地形上、南北方向に流れる多くの小規模河川を有し、その一部は地下河川となっている。地震による被害が調査されたもののうち、特筆すべき数例を以下に示す。

鯉川は神戸市中央区山本通から鯉川筋に沿ってメリケン波止場へ至るルート付近が地下構造となっている。本ルートは開削工法、シールド工法（φ=3,250mm）の両区間に分かれているが、シールド工法の区間については特に被害は見られなかった。開削工法の区間においては、コンクリートボックスのセグメント継手部に5～10mmの開き（写真9-4-1）が確認された。また、潜水調査の結果、同程度の継手の開きが数ヵ所で認められている。

千森川放水路は神戸市須磨区須磨寺町から、ほぼ南方向に海岸まで通じる、延長約840mのシールドトンネル（φ=3,900mm）である。本トンネルの北端付近には須磨断層がほぼ東西方向に走っている（図9-4-1参照）。

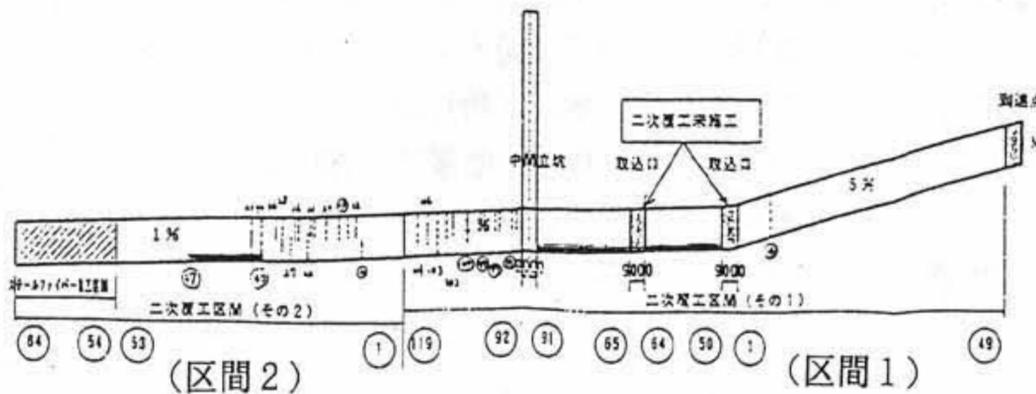
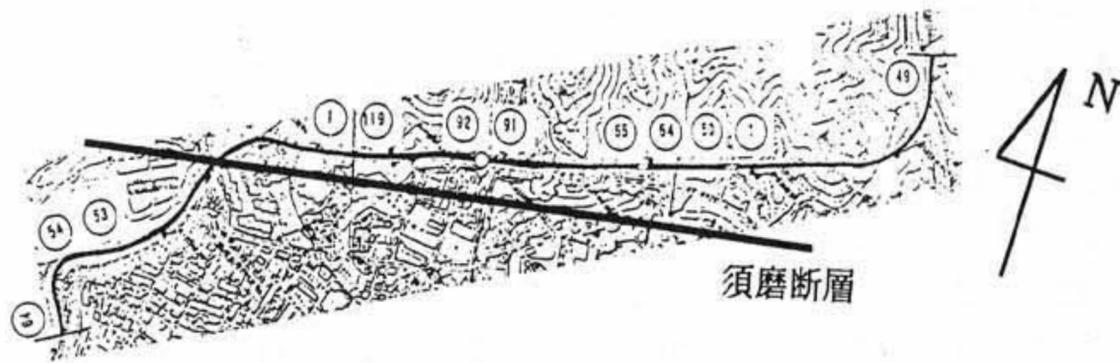


図9-4-1 千森川放水路の位置と被害の概要

本トンネルにおいては、各所においてさまざまな形態の損傷が認められた。まず、区間1のNo.50（二次覆工打設番号）よりNo.91（中間立坑）付近ではトンネル底部に幅0.5~2.0mm程度の軸方向クラックが約400mにわたって認められた（写真9-4-2）。この軸方向クラックは軟岩(II)の区域に多数発生しており、トンネル底部中心線からややどちらかの方向にずれたところに生じているところに特徴がある。次に、中間立坑より南の区間2にはトンネルの横断面におけるリング状のクラック（幅1~5mm程度）が発生し、これらは漏水の原因となった。これらのリング状クラックはトンネル横断面において上下左右どの部分にも発生し、その方向性に関する特殊性は認められない。また、この区間では覆工打継目のジョイント部において破損が認められた（写真9-4-3）。これらの破損・クラックはジョイント部の全周にわたって閉じたリングを形成することは極めて少なく、左右どちらかに片寄るものが多かった。また、この種の破損は目地部のコンクリートが剥離・飛散したものが多く、目地が完全に開いている箇所は少なかった。さらに、本トンネルにおいてはジョイント部付近の天端両側に亀甲状のクラック群が認められる箇所（No.102付近）があった（写真9-4-4）。このようなクラックは軟岩(I)及び断層部付近に

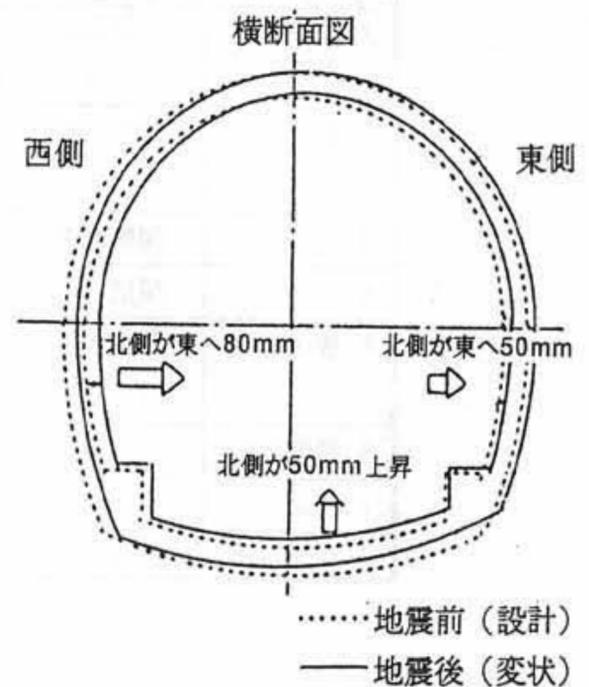


図9-4-2 塩屋谷川放水路トンネルの破壊状況図（No.38地点）

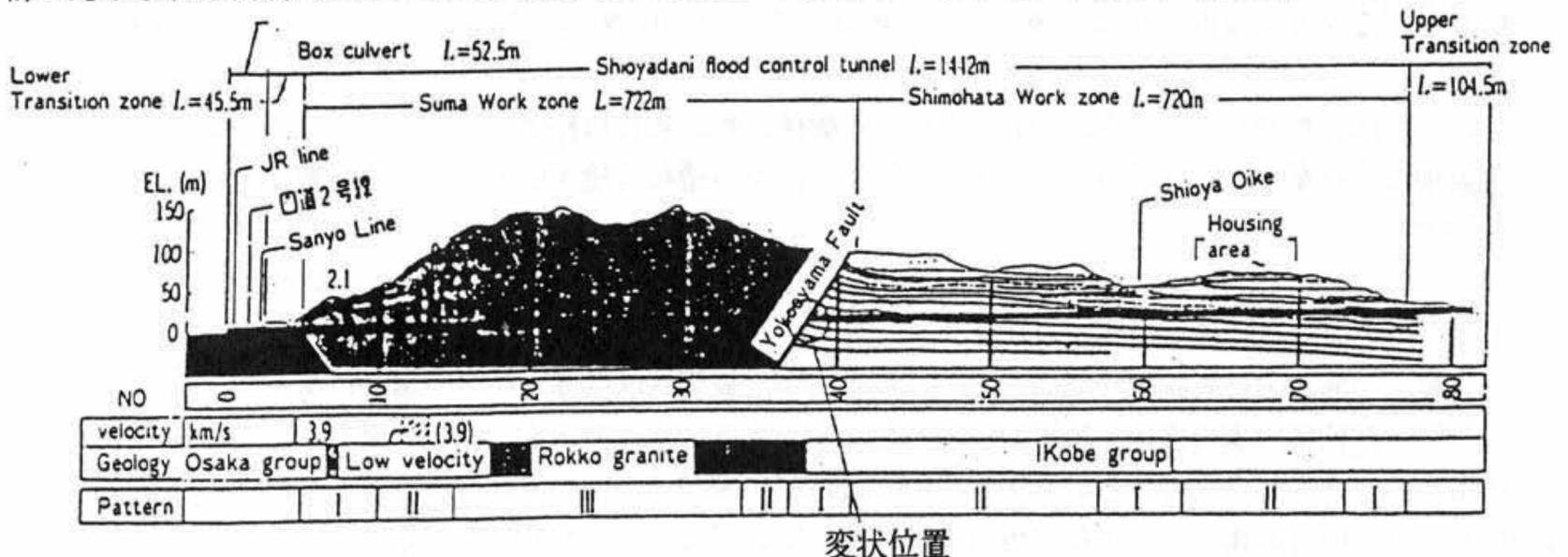


図9-4-3 塩屋谷川放水路トンネル縦断方向の地質と変状位置

発生し、漏水が認められた。また、図9-4-1からも分かるように、本トンネルの被害は区間1の底板の軸方向クラックと区間2の横断面のリング状クラックとに大別されるが、それらは別々の場所で発生し、両者が同一の区間に発生していないことは特筆すべきであろう。

塩屋谷川放水路は、神戸市垂水区から須磨区にまたがる全長1,442mの水路トンネルであり、NATMによって掘削されたものである。トンネルは、ほぼ中央で横尾山断層と直交しており、その箇所を挟んで上流側（北側）と下流側（南側）（約10m間）のトンネル覆工に図9-4-2に示すような変状が生じている。これにもなって発生したクラック群を写真9-4-5~8に示す。また、トンネル縦断方向の地質と変状位置を図9-4-3に示す。

横尾山断層に沿う地表面踏査⁹⁻¹³⁾によると、断層の位置が推定される線上に地表変位が認められると報告されている。また、地表面に現われた亀裂や、その変位量から北西側隆起の右ずれ断層であり、その変位量は数cm~10cmであろうと結論づけられている。この地表面踏査の結果は、トンネル内で確認された変位量の方向と大きさとほぼ一致している。このことから、横尾山断層は地震断層であると推定される。

これらの他にも覆工コンクリートの剥離、クラック、継ぎ目部の損傷などをうけた地下河川があるが、総合的にはそれらの被害は軽微であったと報告されている。これらをまとめて表9-4-1に示し、その位置を図9-4-4に示す。

表9-4-1 神戸市内の地下河川被災状況

河川名	工法	平均土被り	被災状況
1.天神川	・開削工法 ・シールド(φ=4,050mm)	約2.0m	・開削部 継手部(BOX)のずれ ・シールド部(工事中)無し
2.観音寺川	・開削工法	約2.0m	・開口部のバラベット部にクラック ・継手部(BOX)のコンクリート剥離
3.狐川	・開削工法	約2.0m	・被災軽微
4.北野川	・開削工法	約2.0m	・継手部(BOX)の剥離クラック
5.鯉川	・開削工法 ・シールド(φ=3,250mm)	約3.0m	・継手部(BOX)の開き(5~10mm) ・シールド部は被災無し
6.細沢谷川	・シールド(φ=2,200mm)	約6.0m	・被災無し
7.千森川	・シールド(φ=3,900mm)	約30.0m	・打設目地にクラック
8.塩屋谷川	・NATM	約75.0m	・トンネル内で約80mmの変位

9-4-3 上下水道の被害

(1) 調査対象としての上下水道の地下構造物とその被害状態

上下水道に関する地下施設として、地下空間W.G.が取上げ調査を行ったのは、主にシールド工法による管路（直径が約2m以上）と立坑および地下の処理場・ポンプ場である。小口径の管はライフラインW.G.の方で取り上げている。また、調査対象とした地域は、神戸市から西宮市に至る震度6~7の範囲とその周辺である。

これらの調査を行った上下水道における地下幹線構造物の被害は軽微であるといえる。ここでは上水道として阪神水道企業団の送水管路、下水道として神戸市下水道局の鳴尾御影汚水幹線を例にとって、被害実態を説明する。

(2) 阪神水道企業団送水路施設の被害状況

当事業団の施設の被害状況一覧表を表9-4-2に示すが、被害状況は漏水箇所の調査結果としてまとめられている。第5期拡張工事の園田~甲山間は殆どがシールドトンネルである。また、甲山~芦屋間は六甲山を東西に山岳トンネルが走っている。直接管路内の調査が出来ないのは、地震前後で通水を停止できなかったからであるが、地震前後での通水量が地震直後半減してから直ちに地震前の通水量に回復できたことから、構造物に致命的な被害を受けていないことが判断される。

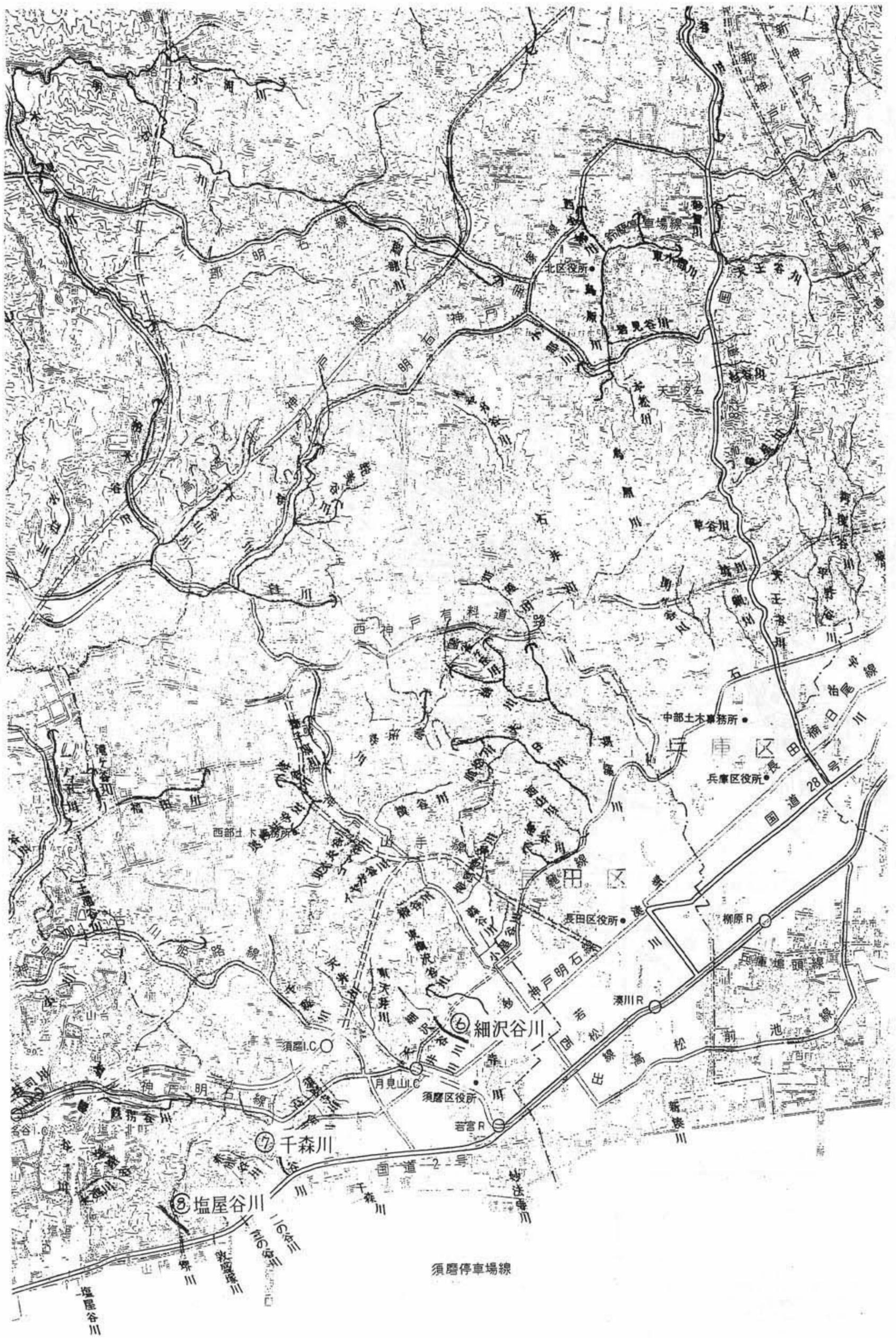


図9-4-4(a) 神戸市内の地下河川位置図(A)

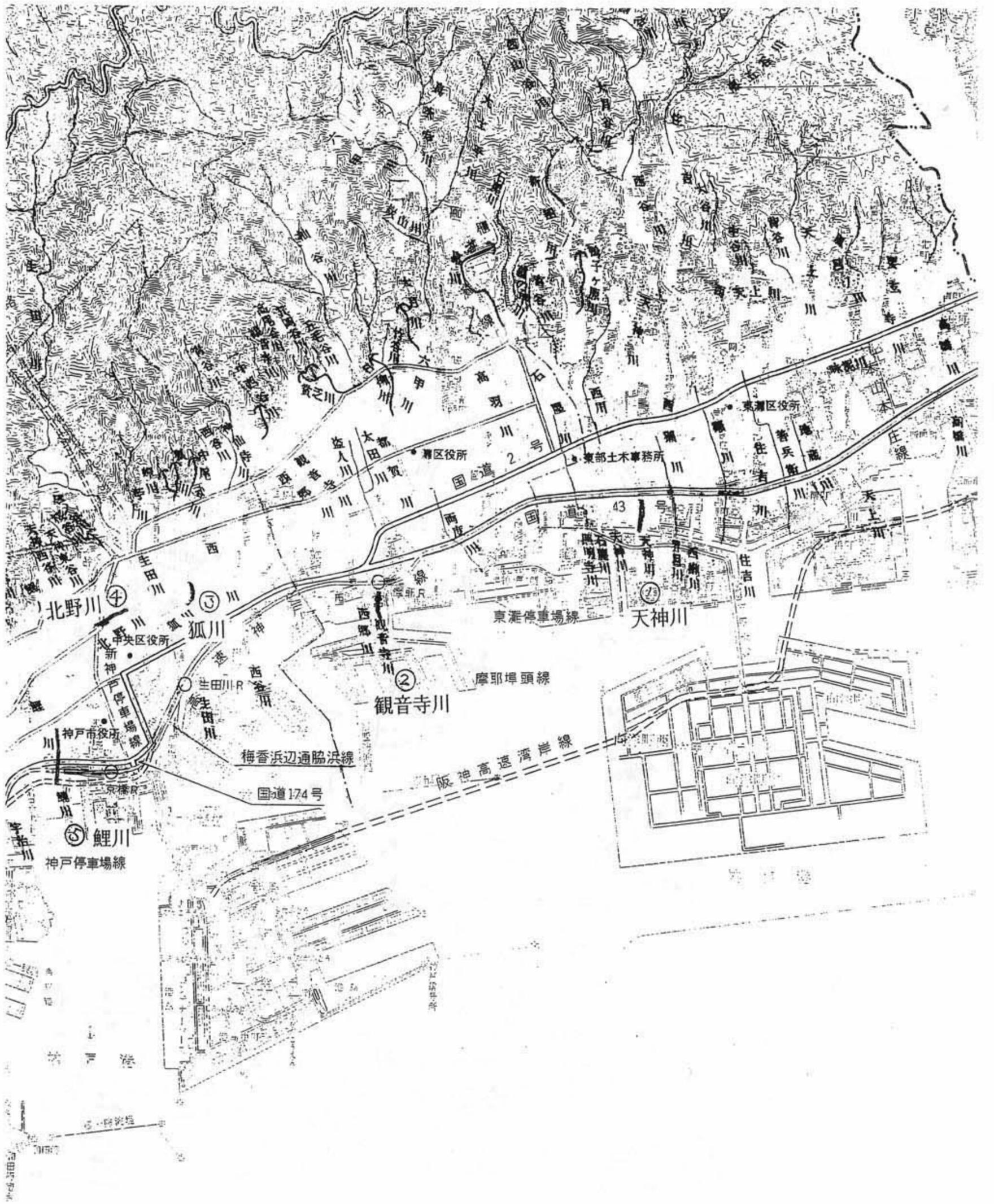


図9-44(b) 神戸市内の地下河川位置図(B)

(3) 鳴尾御影污水幹線

ここでは、工事の概要、被害状況および変状に対するまとめおよび考察を記す。また、鳴尾御影污水幹線以外の主な下水道幹線施設の被害を表9-4-3にまとめる。

・工事概要

1) 場所 阪神電鉄御影駅～深江駅付近に至る東西管路とその中間点より南（東灘処理場）へ至る南北管路よりなる。（図9-4-5）

2) 工法 立坑：RC連壁
管路：気泡シールド

管径 $\phi 1,500\sim 2,400\text{mm}$ 延長 約6km

トンネル構造：1次覆工は鋼製セグメント（ $t=103\text{mm}$ ）

（仕上内径2,000mmの場合）2次覆工は場所打コンクリート（ $t=277\text{mm}$ ）

3) 土質 東西管路：沖積砂質土（ $N=10\sim 25$ ），沖積砂礫土（ $N>50$ ），洪積砂礫土（ $N>50$ ）
南北管路の南部：沖積砂質土（ $N=5\sim 24$ ），沖積粘性土（ $N=2\sim 3$ ）

表9-4-2 阪神水道企業団送水路被害状況

送水路名	被害状況
1期尼崎送水路	・被害なし
3期猪名川送水路	・ $\phi=1,600$ 継ぎ手5ヶ所漏水
5期猪名川送水路	・被害なし
3期甲東送水路	・ $\phi=1,500$ DIP 継ぎ手5ヶ所漏水
5期甲東送水路	・被害なし
4期西宮送水路	・ $\phi=1,200$ DIP 継ぎ手1ヶ所漏水
1期越木岩送水路	・被害なし
2期甲山送水路	・被害なし
3期芦部谷送水路	・ $\phi=2,100$ SP 水管橋伸縮管部破損、漏水

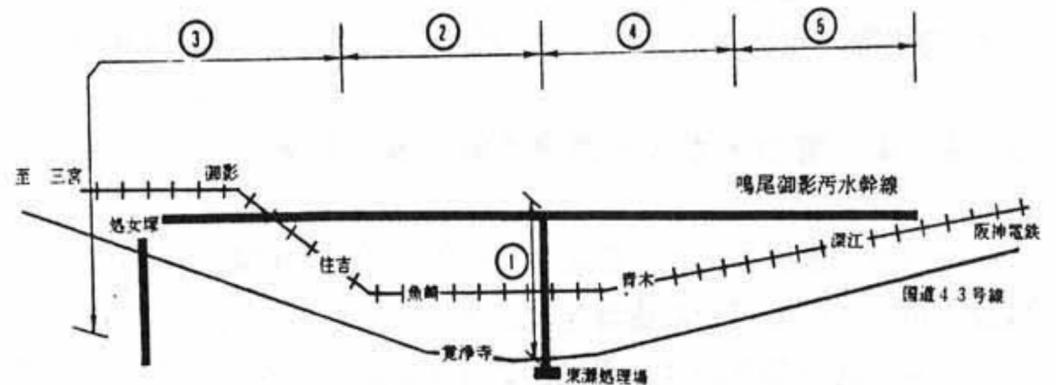
表9-4-3 神戸市内の下水道幹線被害状況

名称	工事概要				被害状況
	セグメント外径	仕上がり内径	延長	シールド工法	
六甲アイランド連絡管	2,750mm (RCセグメント)	2,400mm (一次覆工のみ)	566.40m	泥水加圧式	・立坑（ケーソン）のクラックおよび漏水 2ヶ所 ・漏水 108ヶ所
新生田污水幹線（その1）工区	3,800mm	3,000mm	1738.46m	泥水加圧式	・施工継目剥離 1ヶ所 ・マンホール蓋のずれ 1ヶ所
新生田污水幹線（その1-2）工区	3,800mm	3,000mm	73.39m	泥水加圧式	・周管クラックおよび漏水 1ヶ所
新生田污水幹線（その3）工区	2,150mm	1,500mm	1912.60m	泥水加圧式	・施工継目剥離および漏水 1ヶ所
高松污水幹線（その1）工区	3,800mm	3,000mm	1393.39m	泥漿式	・施工継目剥離および漏水 4ヶ所
高松污水幹線（その2）工区	3,800mm	3,000mm	1974.73m	泥漿式	・施工継目剥離および漏水 2ヶ所
苅藻島連絡管	2,280mm (RCセグメント)	1,800mm (一次覆工のみ)	823.69m	気泡式	・セグメント破損（24リング） 4ヶ所

4) 土被 10~20m
5) 地下水位 GL -2 ~ -5 m

・被害概要

1) 東西管路 コンクリート2次覆工の上下斜め左右に管路軸方向に全線にわたりクラックが発生している（図9-4-6、写真9-4-9、10）。クラック幅は0.2~1.0mm程度で所々でにじむ程度漏水している。



番号	工事名	管径及び延長	竣工時の状況
1	西1	2,400mm 1,000m	工事完了
2	西2	2,200mm 1,220m	工事完了
3	西3	2,000mm 1,770m	1次覆工完了
4	東1	1,500mm 1,130m	工事完了
5	東2	1,500mm 960m	工事完了

図9-4-5 鳴尾御影污水幹線位置図

管路方向クラックより派生した枝状クラックが広がっている所もある。また、所々にリング状クラック（幅0.2~0.3mm）も見られる。2次覆工のない鋼製セグメントだけの区間では、変状は全く見られない（写真9-4-11）。但し、ピースおよびリング間ジョイントでズレはないが、コーキング材が割れた形跡がみられる。

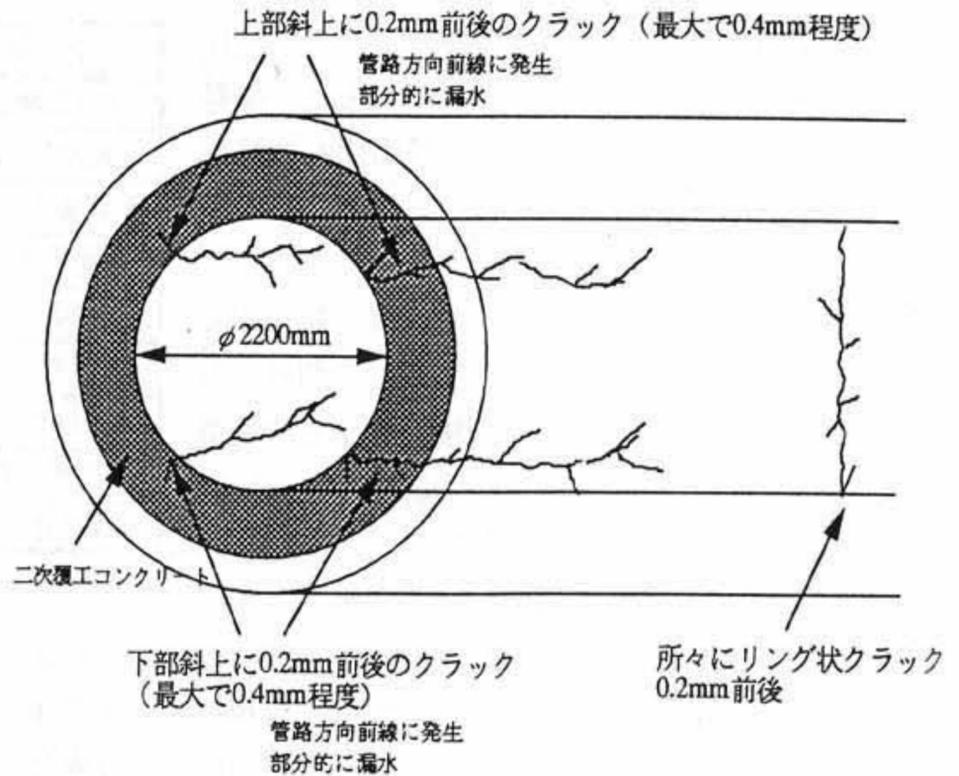


図9-4-6 コンクリート2次覆工の被災状況

2) 南北管路 管路軸方向クラックは東西管路と同じであるがリング方向のクラックの頻度が多く、1m間隔（セグメント幅）に発生している所もある（写真

9-4-12, 13）。また、クラック幅、漏水量が東西より顕著である。東灘処理場の立坑より北へ約200m間は10cm程度の沈下が発生しており、立坑との間で不等沈下が発生している。立坑付近では、R=60mの曲線区間約100mにおいては、リング状クラック（2~5mmの幅）が多数あり、クラックからの漏水が非常に多い。曲線の外周側でクラック幅が大きい。坑口部では2次覆工コンクリートの管路軸方向クラックは鋼製セグメントジョイント（ピース間）位置よりつながっていることが確認された（写真9-4-14）。

・変状に対するまとめと考察

- 1) シールドトンネルの被害は基本的に軽微である。
- 2) 2次覆工コンクリートには、管路軸方向の上下斜め左右に0.2~1.0mm幅のクラックが入っている。このクラックは主にセグメントのピース間ジョイントから発生していると思われる。
- 3) 2次覆工コンクリートには0.2~0.3mm幅のリング状クラックが入っている。このクラックはセグメントのリング間ジョイントおよびコンクリートの打継目に相当する位置と思われる。
- 4) 鋼製セグメント（1次覆工）の変状は、全く見られない。但し、地震時に微小にズレた跡が見られるが、地震後には元に回復している。
- 5) 2次覆工コンクリートのクラックは、地震時にセグメントジョイントが弾性ズレを生じたため、剛な2次覆工にクラックが発生したと考えられる。
- 6) 東西方向より南北方向のクラックが多い。
- 7) 緩い沖積砂および軟弱な沖積粘土中のトンネルは10cm程度不等沈下している。これは液状化が関係している可能性がある。
- 8) 曲線部の変状が大きく、シールド全体が水平方向にも曲げられた形状を示す。

9-4-4 電力・ガス・通信基幹幹線の被害

神戸市内に建設されている電力、ガス、並びに通信の地下構造物は三宮地域に集中し、その被害の程度は、施設の持っている機能に影響を及ぼすようなもので無く軽微なものであった。

中でも、通信の施設は、東灘区から長田区迄（途中一部を除いて）今回の地震で動いたとされる断層に平行し東西に長く構築された“とう道”がある。被害は浅層部に位置している矩形とう道（開削で構築）に多く発生し、円形とう道（シールドで構築）には殆ど被害は無かった。

被害の発生場所は、ビルとの取り付け部或いは断面変換部に設置している伸縮継手部（エキスパンション）に多く、その状況は接続している構造物が横ズレ、縦ズレをお越し、止水機能が著しく低下したことにより地下水がとう道内に流入した。これは、地震動により動くべきところが動いたものであり構造的被害ではな

かった。

ガスの地下構造物は六甲アイランドに熱交換施設があり、被害は全くなかった。

一方、施工中の関電シールドはRCセグメントおよび急曲線部はS Tセグメントにより一次覆工を終え、インバートコンクリートを打設した区間もあったが、大きな被害には至らなかった。

これらのことより、シールドトンネルは、設置場所が深いということよりも線構造物としての曲げ剛性が小さいため、地震動に追従し易いということではなろうか。以下に、各企業の被害状況について記述する。

(1) 通信用トンネルの影響について

平成7年1月17日早朝に発生した阪神・淡路大震災によって、商用電源の供給停止とバックアップ電源の損傷により交換機が停止し約28万5千回線が不通になったが、移動電源車の出動などにより翌1月18日午前中には交換機を復旧させた。通信ケーブルは、約19万3千回線に被害を受けたが約7千人の復旧支援体制により1月31日にサービスの回復をほぼ完了させた。

本報告は、神戸に位置する通信用地下トンネル（以下とう道）の被害状況について比較的被害の大きかった三宮地域を中心として取りまとめたものである。

1) とう道の被害概要

神戸とう道は、図9-4-7に示すように葺合ビルから長田ビルの間で約10km、東灘ビルからQ立坑間で約2kmの合計約12kmの長さを持つ。矩形とう道（開削式とう道）と円形とう道（シールド式とう道）の割合は、4:6で円形とう道が長い。

a) 矩形とう道

比較的浅層部に位置する矩形とう道の被害は、写真9-4-15に示すとおり伸縮継手部にズレが生じ著しく止水機能が低下し、地下水がとう道内に流入し、一時的に満水状態になった場所もあった。

この被害はビルととう道の取り付け部、及び断面形状が変化する部分で発生し、地震動により動くべきところが動いたものでありとう道本体構造物に影響を及ぼす被害ではなかったが、一部の特殊断面部のスラブや側壁にクラック及び写真9-4-16に示すようなストラットに曲げ破壊と見られる構造的被害もあった。

b) 円形とう道

円形とう道においては、立坑との取付部に若干のクラックと写真9-4-17に示すようなコンクリートの剥離が発生したが本体構造物に影響を与える被害ではなかった。また、写真9-4-18に示すとおり一般部においては新たなクラックの発生、潜在クラックの拡大、漏水の増加もなく健全な状態を維持していた。

c) 立坑

C、D立坑付近は液状化現象による地盤沈下、隆起が発生したものの、立坑本体には影響はなかった。

d) マンホール鉄蓋

調査した22個の内12個が水平方向にズレが発生し、その変位量は10cm近くのものもあった。

e) 被害状況のまとめと考察

とう道の被害は、地上構造物の大きな被害に比較するとかなり小さなものであった。被害は、土被りの浅い（約2～3m）矩形とう道に集中したが、通信用ケーブルには一切、障害を出さず、とう道としての機能を大きく損なうものではなかった。これは、地震等の発生に対し局部的に被害をくい止めるよう設置された伸縮継手部が地震動により有効に働いたものであり、伸縮継手の機能を十二分に果たしたものと考えられる。また、土被りの深い（約10～30m）位置に構築している円形とう道にはほとんど被害はなく、今回の地震に

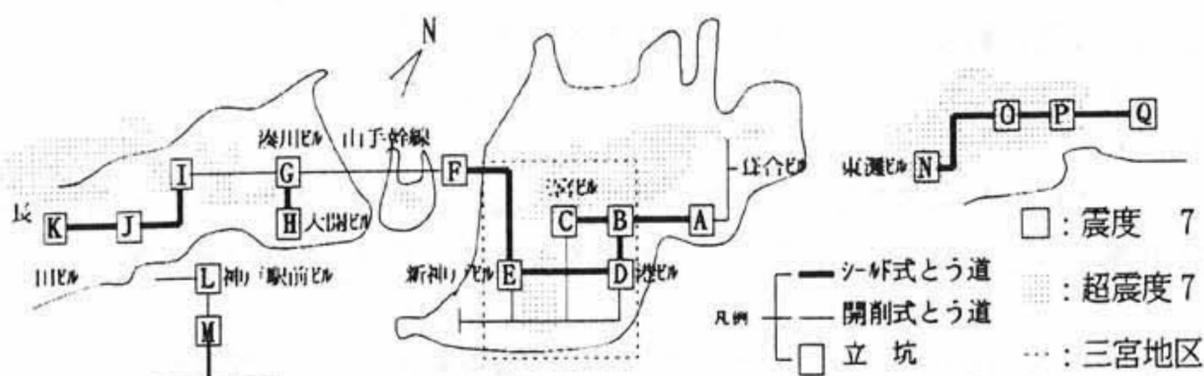


図9-4-7 神戸とう道の位置図

対して十分構造体としての機能を維持・発揮したものと考えられる。

一方、鉄蓋のズレは概ね南北方向にズレているのが多くあった。これは、鉄蓋の傾き、道路構造並びに取付方法等により影響されているものもあるが、地震動の動きが南北方向に卓越していたことを示している。

2) 三宮地域のとう道被害

図9-4-7の三宮地区（中央区内）のとう道における伸縮継手部、シールド坑口部及びマンホール鉄蓋の移動等の被害状況について以下に記述する。この区域の震度階は震度7から超震度7であった。なお、D立坑付近は液状化による周辺地盤の沈下・隆起現象が見られた。

a) 土質概要等

図9-4-8に示すとおり東西方向に位置しているD～E立坑間の矩形とう道は土被り2～3mでN値3～10程度の沖積砂層に位置し、円形とう道は土被り14～19mでN値20～50程度の洪積層中に位置している。

また、南北方向に位置しているD～C立坑間の矩形とう道では、土被り2～3mでN値10～15程度の沖積砂層および砂礫層に位置し、D～B間の円形とう道は土被り7～14mでN値5～10程度の沖積砂層とN値30程度の沖積層の砂混じり礫層の中に位置している。

b) 伸縮継手部への影響

開削式とう道の伸縮継手は図9-4-9に示すカラー式であり土質の変化点、とう道断面の変化点等に設置している。表9-4-4に伸縮継手部のズレ及び開き量を示す。サンプル数19ヶ所の伸縮継手の約68%について東西方向、約21%について南北方向、約37%について上下方向の動きが確認された。

また、最大変位量は東西方向で18cm、南北方向で6cm、上下方向で13cmにも及んだ。

以上のように矩形とう道の伸縮継手部については、東西方向の変位が顕著であり、次に直下型地震によるものと想定される上下方向のズレが多く認められた。

c) シールド坑口部への影響

シールド坑口部では立坑ハンチ部のコンクリートの剥離および円周方向の亀裂が見られた。また、トンネル軸方向の押し出しが立坑内側に数cm発生した。この押し出しは矩形とう道と同じく東西方向のものであり、南北方向の坑口部では見られなかった。また、東西方向であっても土被り19mと深い位置では、コンクリートが少し浮いた程度の被害であった。

d) マンホール鉄蓋

鉄蓋のズレは、その構造からどの方向に対してもズレの抵抗は同じであり、その傾向から地震動の方向を推定することは可能である。表9-4-5に鉄蓋ズレの有無をしめす。また、その方向は南北に多くズレていた。

3) まとめ

地上構造物が南北方向の被害が多いのに対して、今回の調査範囲におけるNTT地下とう道は、東西方向の動きが卓越している調査結果になっているが、更にとう道の被害調査データを検証するとともに、線構造物

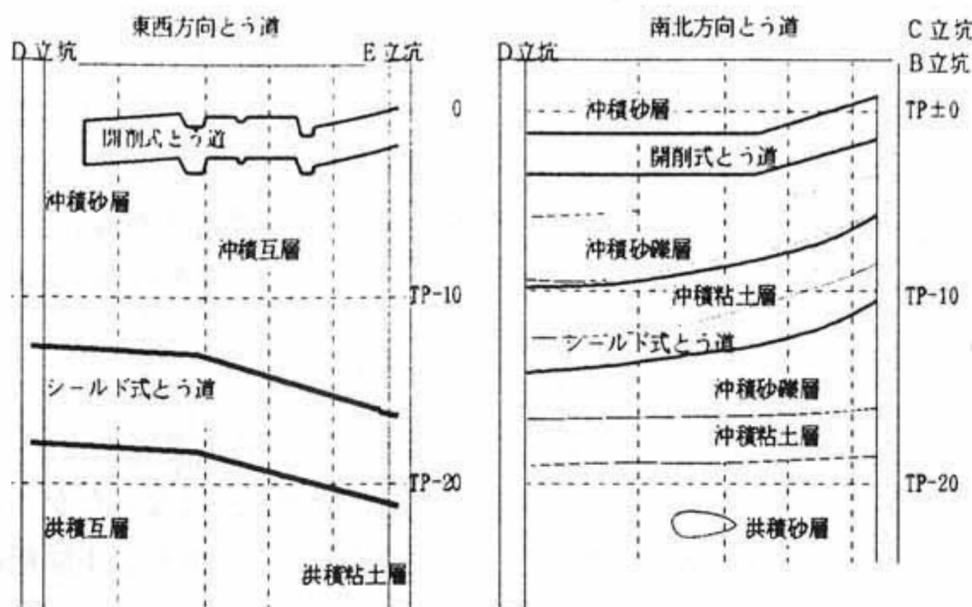


図9-4-8 とう道縦断面図

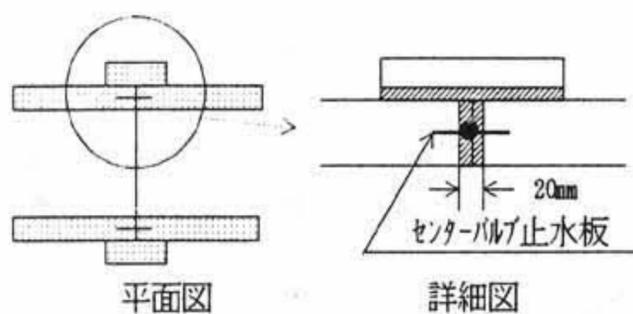


図9-4-9 とう道伸縮継手

表9-4-4 伸縮継手の被害状況（ヶ所）

方向	横ズレ量および開き量 (cm)					合計
	0～1	1～5	5～10	10以上	圧壊	
東西横ズレ		3		1		4
東西開き	1	4	1	1	2	9
南北横ズレ		1	1			2
南北開き		2				2
上下ズレ		3	3	1		7
伸縮継手数 東西向き12ヶ所 南北向き7ヶ所 合計19ヶ所						

の耐震評価手法について研究を重ねていきたい。

表9-4-5 鉄蓋ズレ一覧表(単位 個)

(2) 電力施設の被害

都市域における電力施設の地下利用としては、送電線や変電所施設等がある。ここでは、地震動の大きかった神戸市域における既設および建設中の地中送電線の被害状況について報告する。なお、地中送電線路の被害については第8章ライフライン「電力施設の被害」の中でも記述している。

	調査数	ズレ有り	ズレなし
D~E	10	7	3
D~C	3	3	0
A~葺合	9	1	8
合計	22	11	11

1) 地中送電線路の被害⁹⁻¹⁴⁾

送電線とは、50kV以上の全ての電線路および50kV未満の電線路で変電所等へ送電する電線路のことであり、送電方法としては、ケーブルで地下に埋める地中方式と鉄塔に電線を張る架空方式とがある。

a) 被害概要

地中送電線路については、総線路数1,217線路のうち、沿岸部の平地を中心に、地震による液状化、道路の陥没、地割れ等により、軽微なものも含めて102線路が被害を受けた。そのうち、通電不能に至った主要電気工作物(ケーブル)の損傷が3線路あった。また、軽微な被害としては地中送電線路を構成する人孔、管路、ケーブルの主要設備にクラック、段差、変形などが生じた。

通電不能になった送電線路のうち、新神戸変電所(神戸市灘区)から77kVで神戸製鋼灘浜工場へ送電している神鋼灘浜線については、地震発生後のガス圧低下警報による線路巡視および点検の結果、鋼管割れによる窒素ガス漏れの発生と接続箱でスリーブ抜けが発生していることがわかった。

他の線路についての被害状況も同様で管路の周りを柔軟性に乏しいコンクリートブロックで固定した構造が地盤変位に追従できずにケーブルが断線したもの、あるいは旧護岸と軟弱地盤の間の不同沈下による管路の段差により可とう性のない接続部においてOFケーブルが漏油したものであるが、これらはいずれも他ではほとんど用いられていない構造であった。

b) 復旧状況

送電不能になった線路のうち、神鋼灘浜線については別ルートにより応急復旧し、1月21日に仮送電を行うとともに、管路損傷箇所の修復を行い、4月12日に本復旧を終えた。その他、被害を受けた送電線路については、被害の大きいものについては夏までに復旧を完了させ、その他については道路復旧工事および他企業復旧工事と協調しながら順次復旧を行っている。

c) 被害の分析

先にも少し述べたが、地中送電設備の被害があった地域は、沿岸部の埋立地、沖積層、さらに液状化したと思われる地盤に集中している。これを管路種別ごとに調査した結果を表9-4-6に示す。

表9-4-6 液状化地域における地盤種別、管路種別の被害率

	AP管路	PFP管路
沖積層	30%	9%
埋立地	71%	60%

この表からもわかるように、液状化したと思われる地域については、より沿岸に近い埋立地において被害が多かったこと、可とう性を有していないAP管路のほうが被害率が高かったことなどがわかる。なお、AP管路については現在は新規に採用していない。

注) AP管路・・・石綿セメント管、昭和62年頃まで導入
PFP管路・・・強化プラスチック複合管、昭和45年頃以降導入

今後は、地盤条件と被害状況についてさらに調査・分析を行い、設計上の配慮等について検討していく予定である。

2) 建設中の地中送電線トンネルの被害

a) 工事概要

神戸市中心部(三宮、兵庫地区)における電力需要増加対策として中央区江戸町に三宮変電所(全地下式変電所)を新設し、同変電所へ275kVの地中送電線を導入する工事を計画中であり、これに先立ち、三宮変電所用地から磯上通3丁目まで地中電線路を敷設するため、仕上がり内径4,000mmのシールドトンネルを構築中であった。図9-4-10にトンネルの平面図、縦断面図を示す。

当工事場所の地質は、第四紀の沖積層および洪積層であり、シールドルートの掘進土層は、N値50以上、

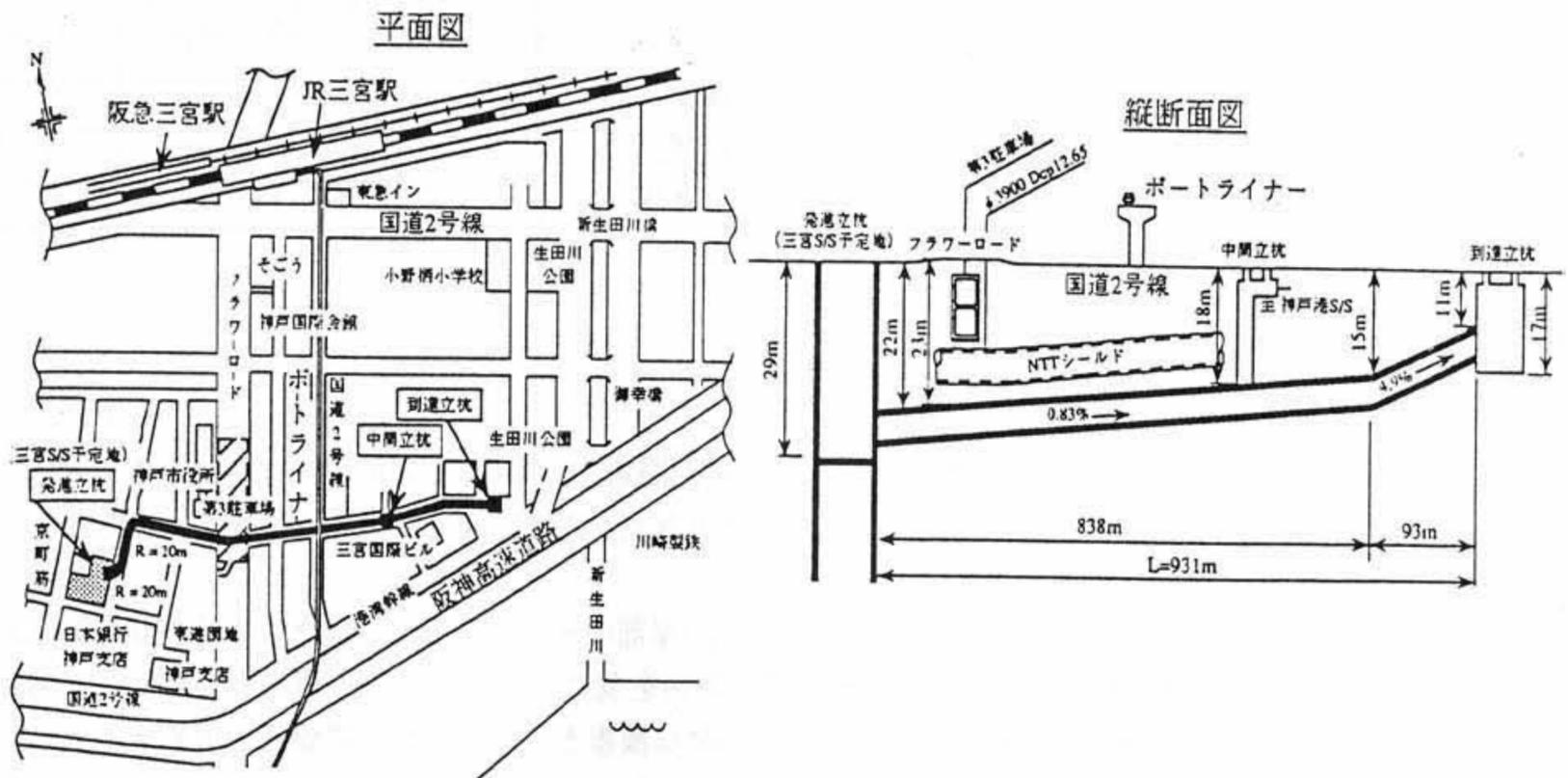


図9-4-10 磯辺通シールドトンネル⁹⁻¹²⁾

透水係数 $2 \sim 3 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の砂レキ層が主体の地盤である。

b) 被害概要⁹⁻¹²⁾

地震発生時におけるトンネル工事進捗状況は、全線掘削・セグメント（一次覆工）の組立を終了し、二次覆工のうちインバートコンクリートの打設を発進側から約450mの区間行っており、また到達立坑側壁は厚さ1mのコンクリートを地表面下5mまで打設した状態であった。

地震発生後の調査結果では、シールドトンネル全体にわたりインバートコンクリート打設区間に0.3～0.5mm程度のクラックがトンネル軸直角方向にほぼ10mピッチに見られた。また、シールドトンネルが南北に布設されている区間においては、地震の圧縮力のためと思われる、一次覆工のコンクリート製セグメントに上部90度の幅で、リング間部のコンクリートエッジが損傷していた。ただし、断面形状の変化等は見られなかった。また、東西方向の区間ではこのような現象は見られなかった。本工事では $R = 20 \text{ m}$ の部分にスチールセグメントを使用しているが、この区間にも異常は見られなかった。

到達立坑については、側壁部にクラックが見られた。

以上のように地下の被害については比較的軽かったが、地上部の到達基地では、門型クレーンの脱線・変形・軌条損壊、地盤亀裂があった他、現場事務所も傾斜するなどの被害があった。

c) 補修方法

シールド部分の漏水部については薬液注入を、インバートクラックについてはVカット後セメントペーストをてん充したのちモルタル仕上げを行い補修する予定である。

地震直後から中断していた工事については、周辺の交通事情等も勘案しながら、2月15日よりインバート施工準備を再開し、3月13日より本格的再開（インバート打設）を行った。

3) 共調溝の被害

ここでは、主にポートアイランドへのライフライン供給を目的とした新港第4突堤ポートターミナル共調溝の被害について述べる。ここで述べる共調溝とは、複数の地下埋設企業が物件を収容するため、共調して道路地下に設ける施設であり、道路管理者が2以上の公益事業者の公益物件を収容するために道路地下に設ける「共同溝」と区別している。

a) 共調溝の概要

本共調溝は、ガス、NTT、水道、電力ならびにOMPの5種類のケーブル、導管を埋設したものである。図9-4-11に第2共調溝（延長900m）、第3共調溝（延長70m）他の敷設ルート図、一般構造図および共同囲

障部の概念図を示す。共調溝の土被りは約2～3 m程度であり、地盤は沖積砂、砂質ロームまたはシルト層、あるいは砂レキ層からなるものと想定される。

b) 被害概要⁹⁻¹²⁾

共調溝のコンクリートボックス自体には特に大きな変状や被害は認められなく、入口付近斜向部ではケー

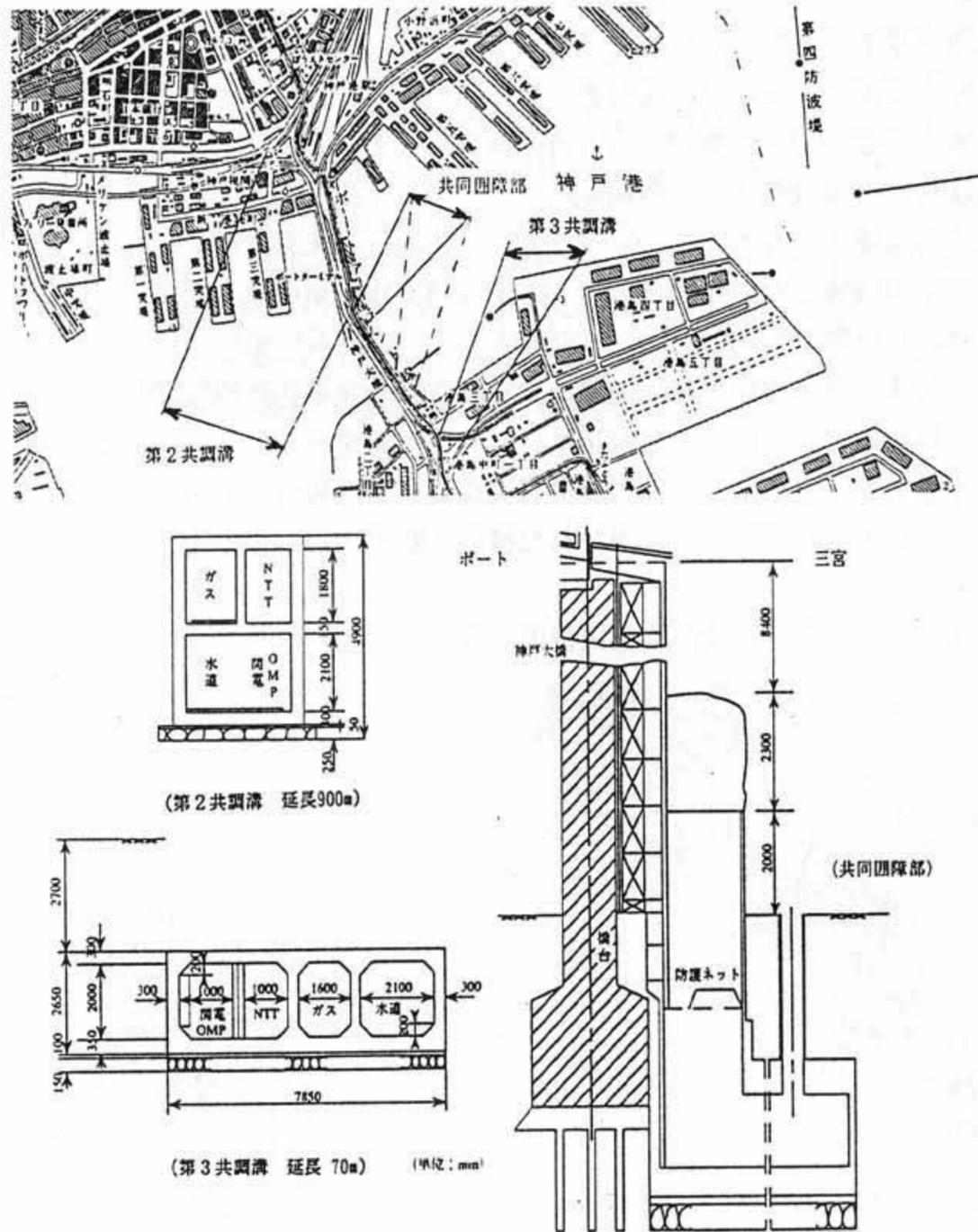


図9-4-11 共調溝敷設ルートおよび一般構造図の概要⁹⁻¹²⁾

ブル固定金具の支持ガイシの一部脱落が認められた程度である。また、共調溝に沿う直上部の駐車場地面や第4突堤内の地面はほとんど変状がなかったが、直上部以外の地表部は、ターミナル駐車場となっていたが、波打つような陥没が見られ、甚大な被害があった。

9-5 まとめ

兵庫県南部地震の被害調査をとりまとめるに当たって、困難の中多くの人々の助力を得たことに感謝の意を表しておきたい。地下構造物の被害は、文中にもあるとおり地表に比べて軽微ではあったが、神戸高速鉄道の大開駅など前例のない被害が生じたところもある。この報告書では、資料の収集を主目的としているので、被害の原因や特徴について詳細な検討や考察は行っていない。地下構造物での被害の程度の差はどのような原因で生じたのかを疑問に思うことは当然であり、それを明らかにすることが調査に当たった委員たちの今後の当然の使命である。地下構造物といえども、地震動や構造物・地盤特性の影響を強く受けることは確かであり、この地震は記録としてその痕跡を強く残してくれた。この報告書の中でも多くのデータが記載されており、今後それをいかに有効に生かすかが問われることになるであろう。

参考文献

- 9-1) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査, 鉄道技術研究報告, No. 1123, 1979.9.
- 9-2) 日本国有鉄道大阪新幹線工事局：山陽新幹線（新大阪～岡山）地質図, 1972.3.15.
- 9-3) 佐野 信夫：トンネルにおける損傷状態, 小特集「阪神・淡路大震災」pp.20-26, ハイウェイ技術 No.2,1995-10.
- 9-4) 県道大沢西宮線盤滝トンネル兵庫県南部地震被災原因に関する検討書, 鴻池組, 平成7年2月.
- 9-5) 阪神・淡路大震災によるトンネル被害, 神戸市道路公社.
- 9-6) 舞子トンネルの設計施工に関する調査研究報告書（その3）, 本州四国連絡橋公団, 平成7年3月.
- 9-7) 神戸市企画局総合調査課：神戸の地盤, 1980年.
- 9-8) 矢的照夫, 梅原俊夫, 青木一二三, 中村晋, 江寄順一, 末富岩雄：兵庫県南部地震による神戸高速鉄道・大開駅の被害とその要因分析, 土木学会論文集投稿中.
- 9-9) 平成7年1月28日付朝日新聞朝刊.
- 9-10) （仮称）三宮第三駐車場建設工事に伴う土質調査調査報告書, 昭和62年1月.
- 9-11) 石見義男：神戸の地盤と地誌, 交友プランニングセンター.
- 9-12) 社団法人土木学会：土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料.
- 9-13) 櫻井孝：兵庫県南部地震によって現われた横尾山断層近傍の地山変状状況, 応用地質 Vol.36, No.2, pp.63-68, 1995.
- 9-14) 関西電力株式会社：阪神・淡路大震災復旧記録, 平成7年6月.

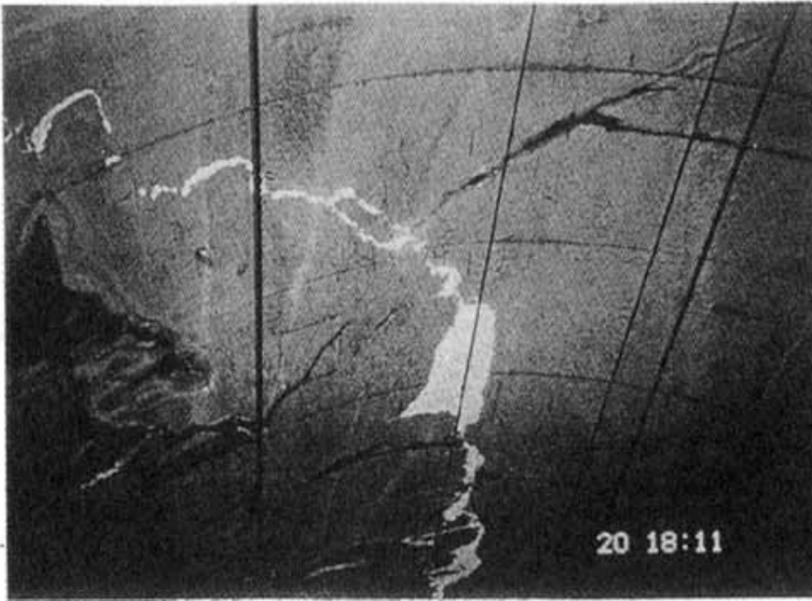


写真9-2-1 六甲トンネルのアーチ部の被害

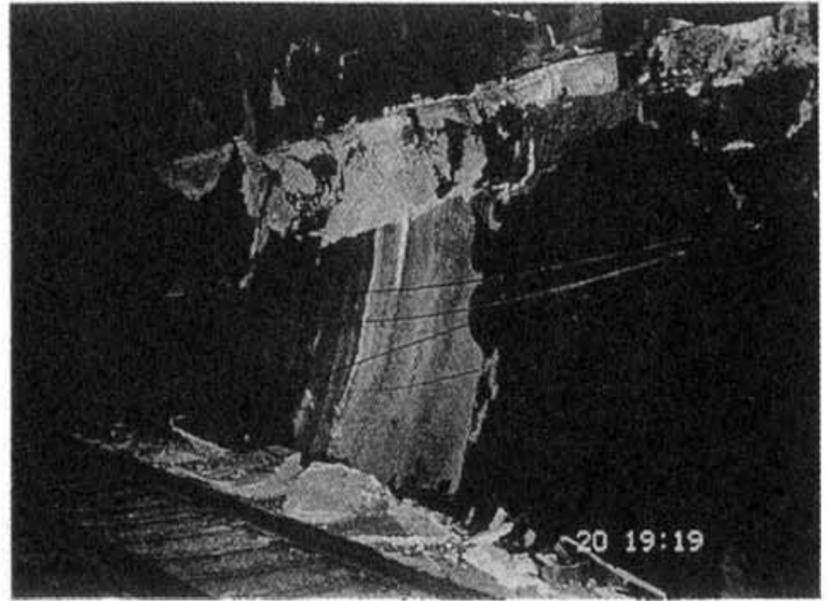


写真9-2-2 六甲トンネルの側壁部の被害

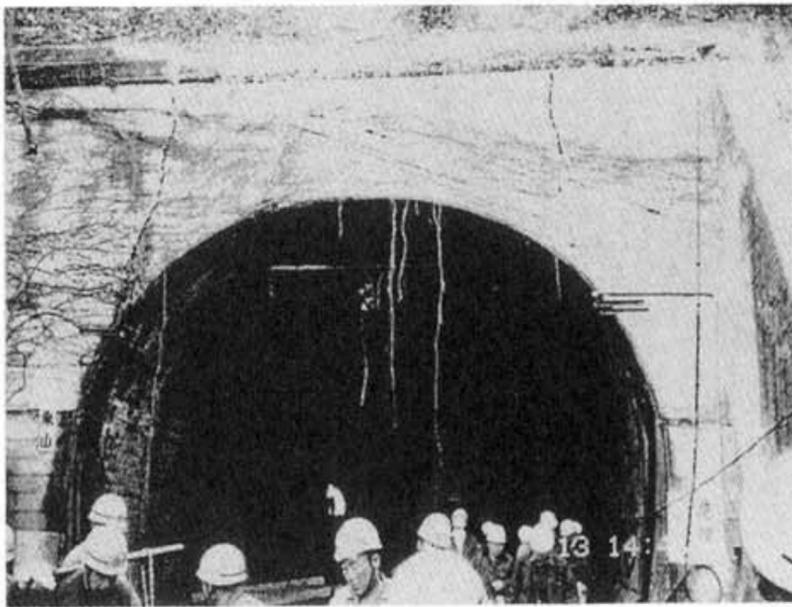


写真9-2-3 東山トンネルに生じた坑口部のひび割れ

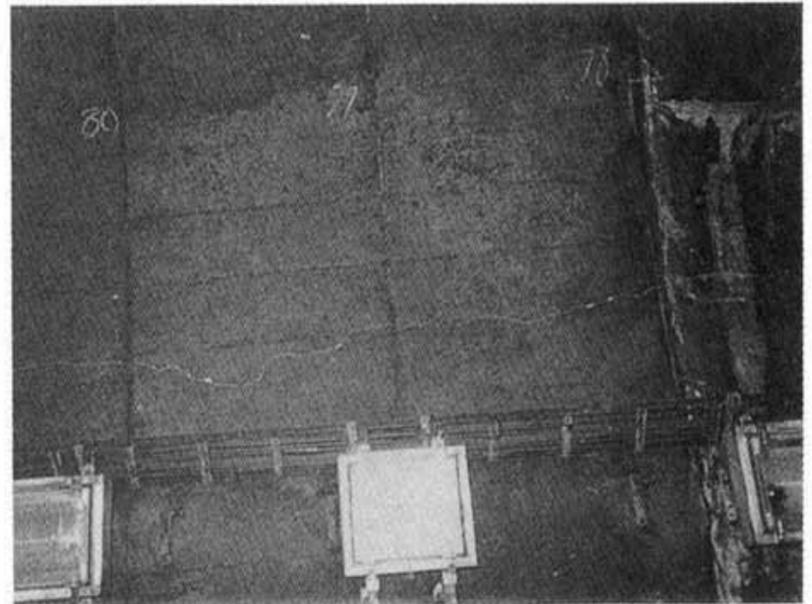


写真9-2-4 月見山トンネル・縦断方向ひび割れ

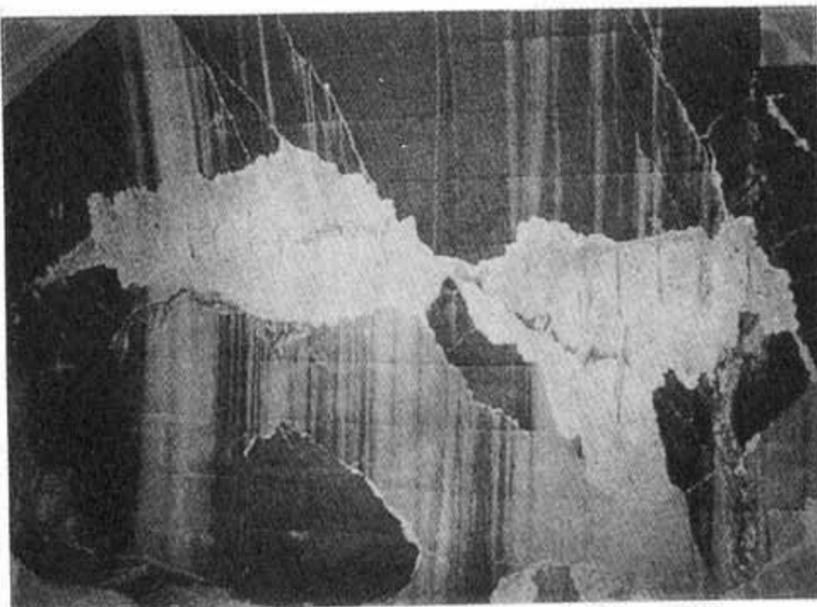


写真9-2-5 盤滝トンネル・2次覆工剥落

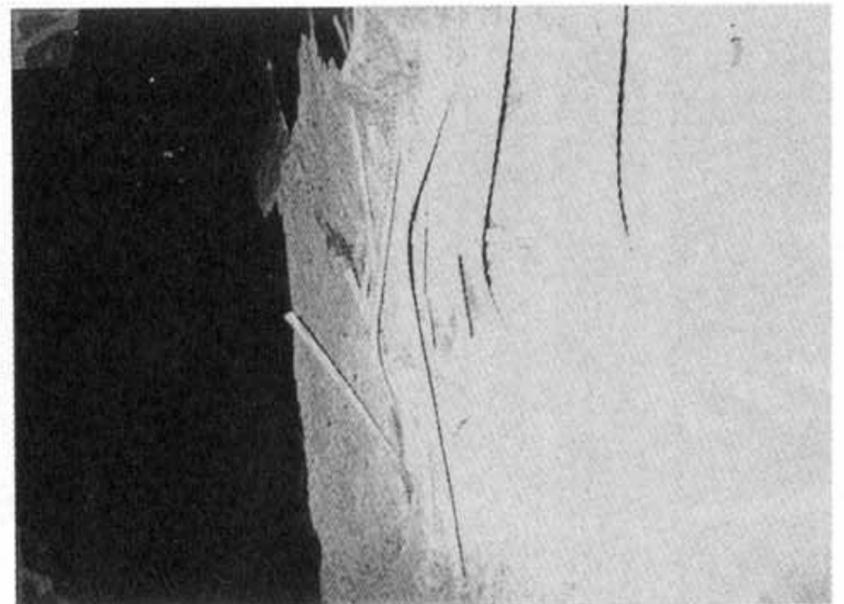


写真9-2-6 盤滝トンネル・鉄筋の露出



写真9-2-7 盤滝トンネル・路盤コンクリートの浮き上がり



写真9-2-8 布引トンネルの覆工コンクリートの剥落



写真9-3-1 神戸高速鉄道・大開駅の被災状況



写真9-3-2 大開駅の中柱の圧壊状況



写真9-3-3 大開駅直上の路面の陥没状況（大開通8丁目交差点付近を長田方向に見る）



写真9-3-4 大開駅の地下2階電気室の壁に生じたせん断ひび割れ（線路鉛直方向の壁）

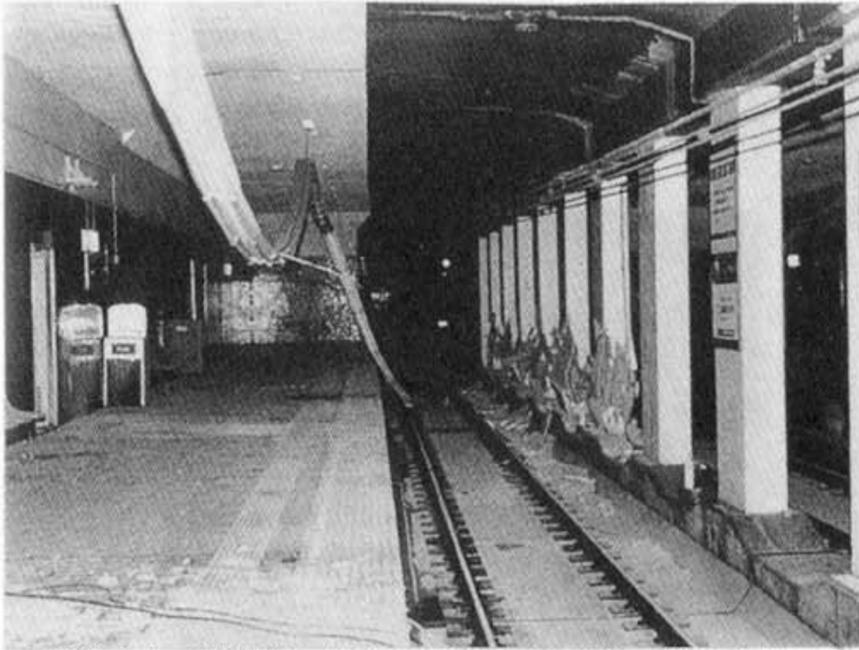


写真9-3-5 大開駅の中柱の圧壊状況（長田側から見る）

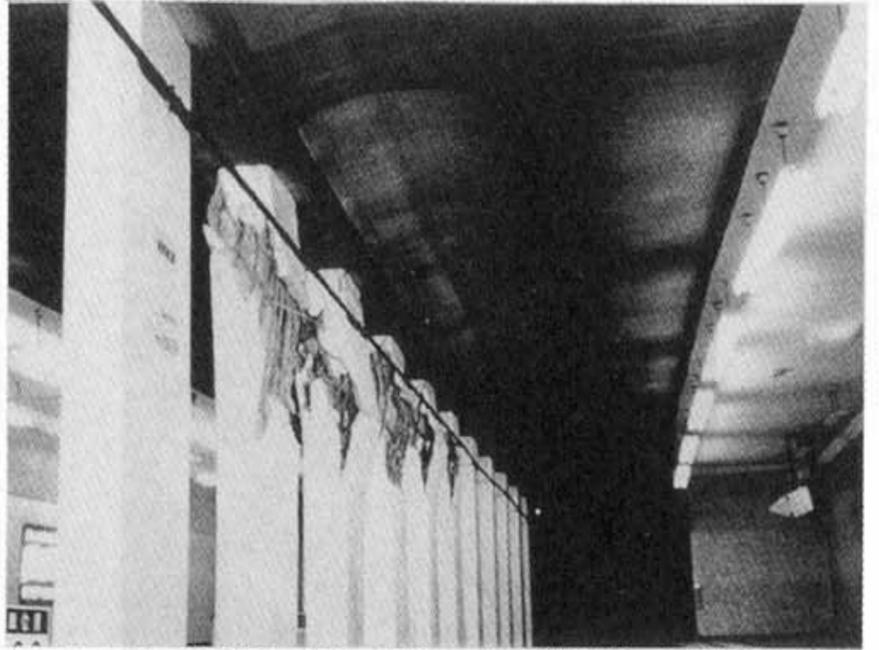


写真9-3-6 高速長田駅の中柱のせん断破壊（下り線ホームより東方・大開方面を見る）

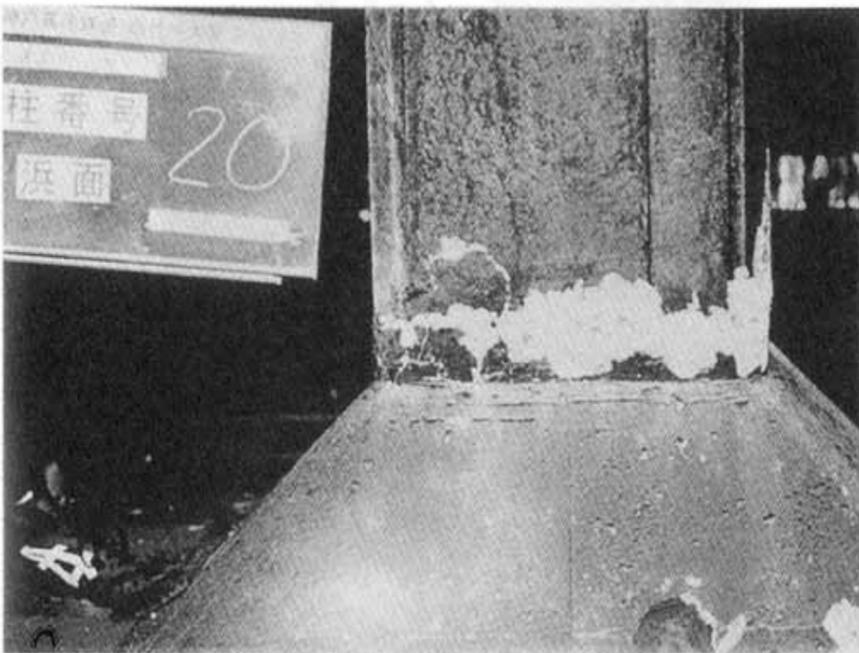


写真9-3-7 大開～高速長田間トンネル部の中柱の被害（高速長田の東50m地点の中柱の南面）

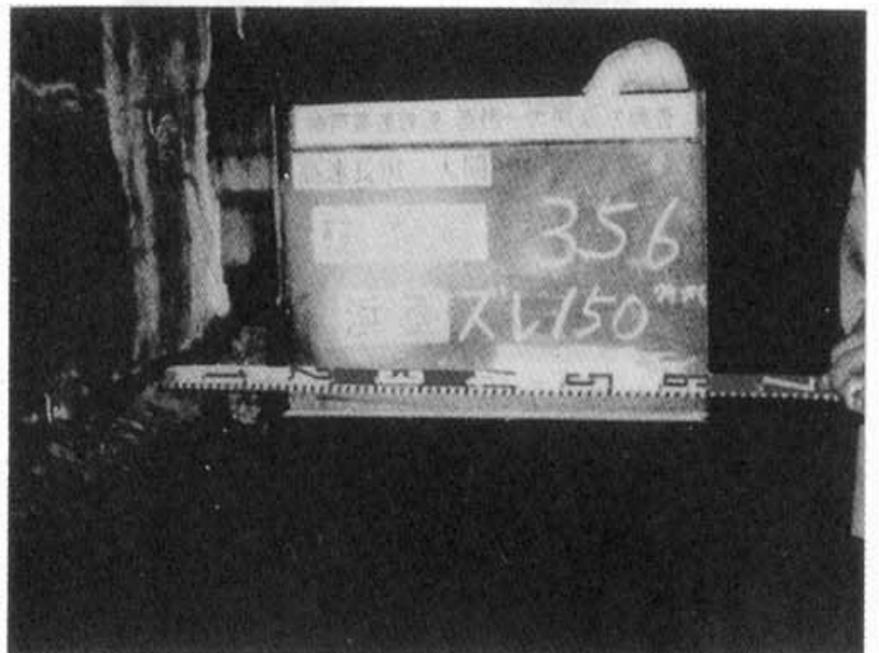


写真9-3-8 大開～高速長田間トンネル部の側壁の押し出し（大開駅の西48m地点の南側壁）

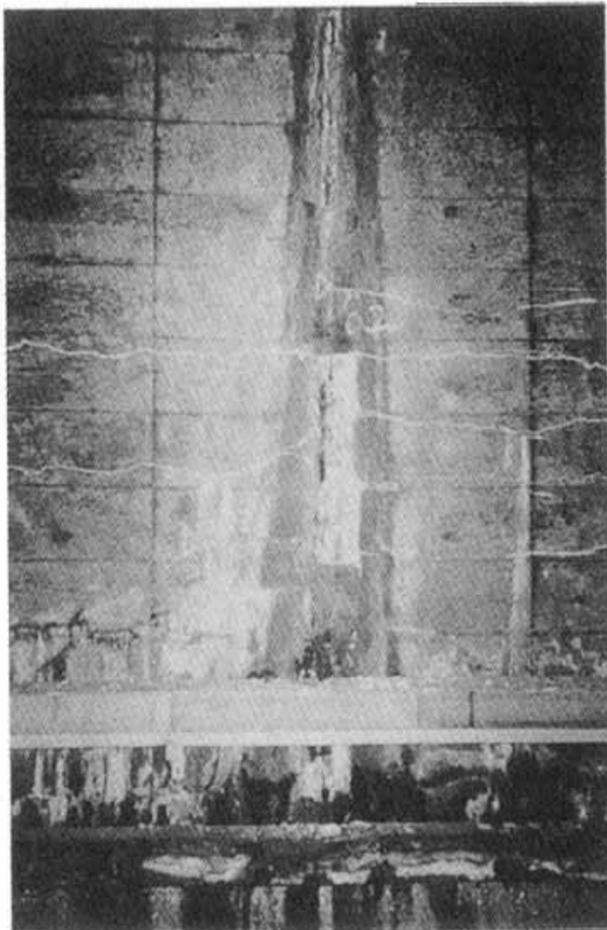


写真9-3-9 大開～新開地間トンネル部側壁のひび割れ（大開駅の東142m地点の北側壁）

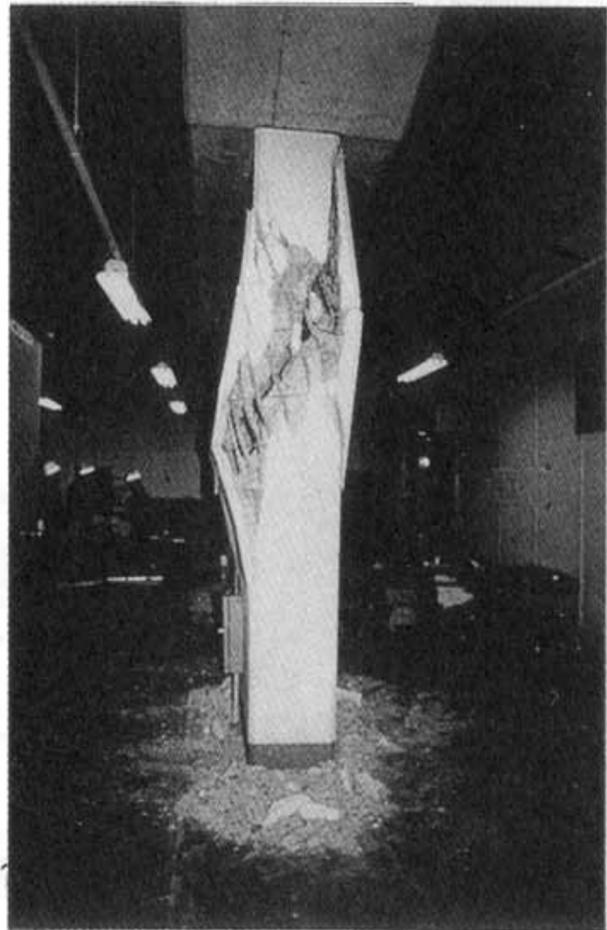


写真9-3-10 神戸市営地下鉄・上沢駅の中柱の被害（B1階No.249柱の東面を見る：被災ランクI）



写真9-3-11 上沢駅の中柱の被害（B1階No.224柱の東面を見る：被災ランクⅡ）

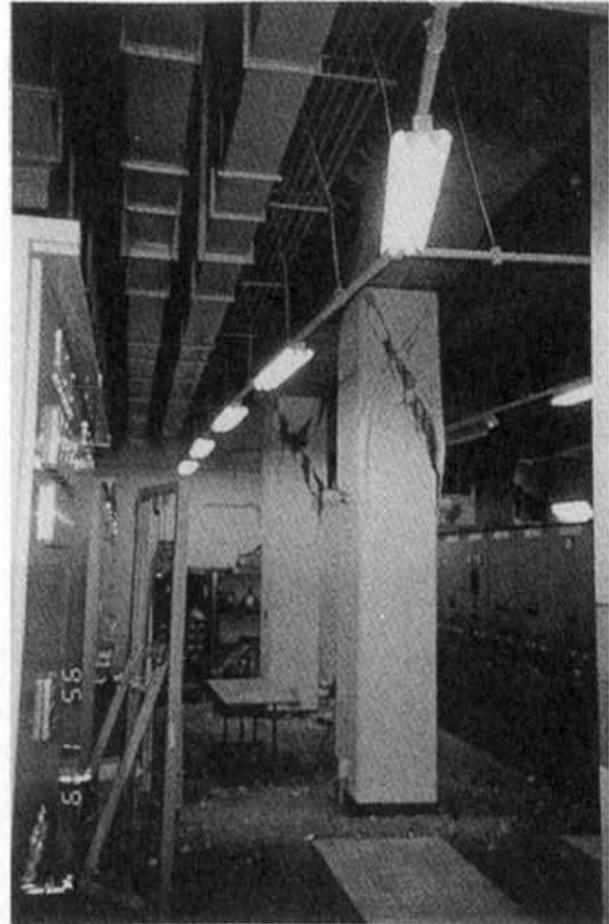


写真9-3-12 神戸市営地下鉄・三宮駅の中柱の被害（B1階No.28柱の東面を見る：被災ランクⅡ）

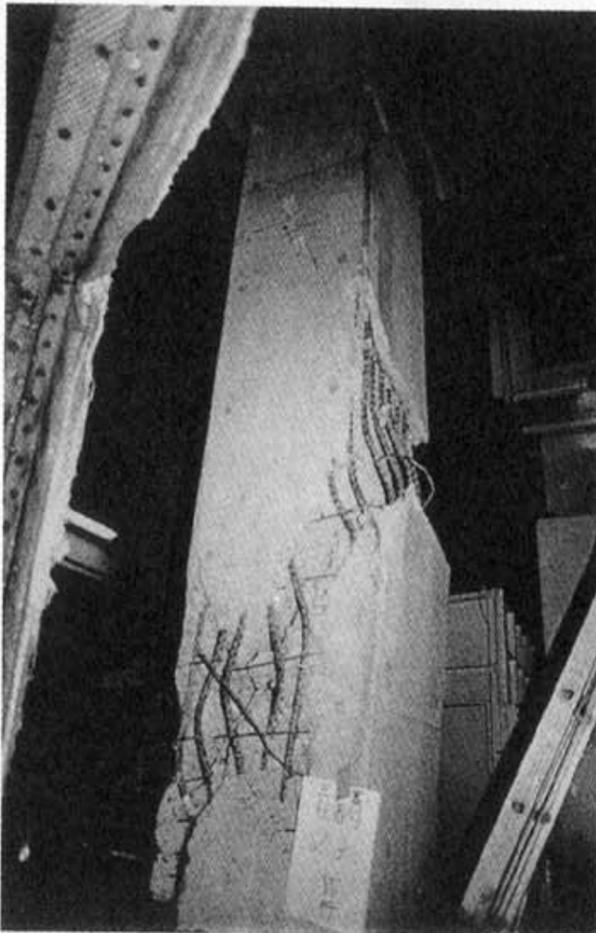


写真9-3-13 三宮駅の中柱の被害（B1階No.23柱の東面を見る：被災ランクⅠ）

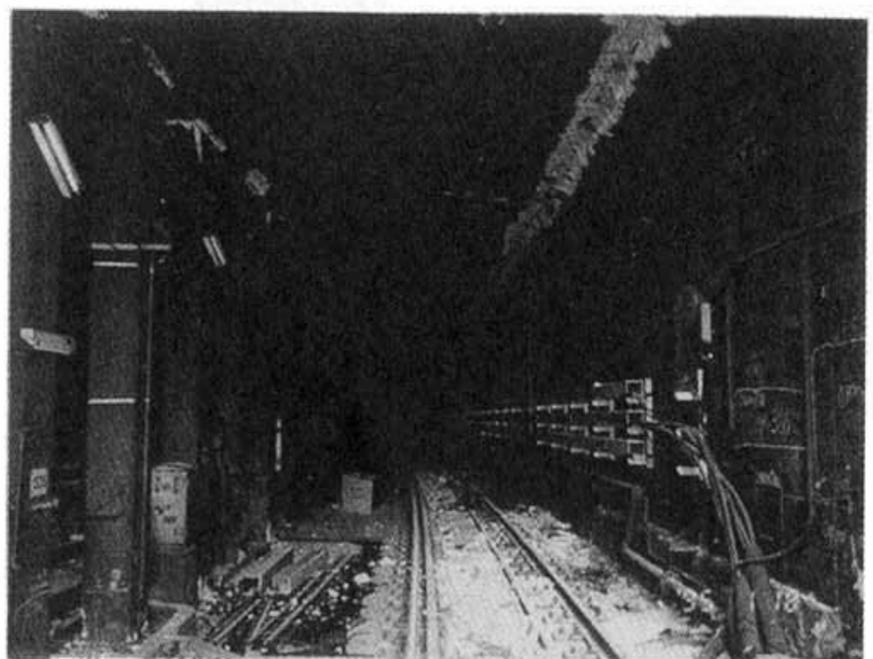


写真9-3-14 阪神電鉄開削トンネルの上部ハンチのコンクリート剥落（トンネル入口付近から約400m）

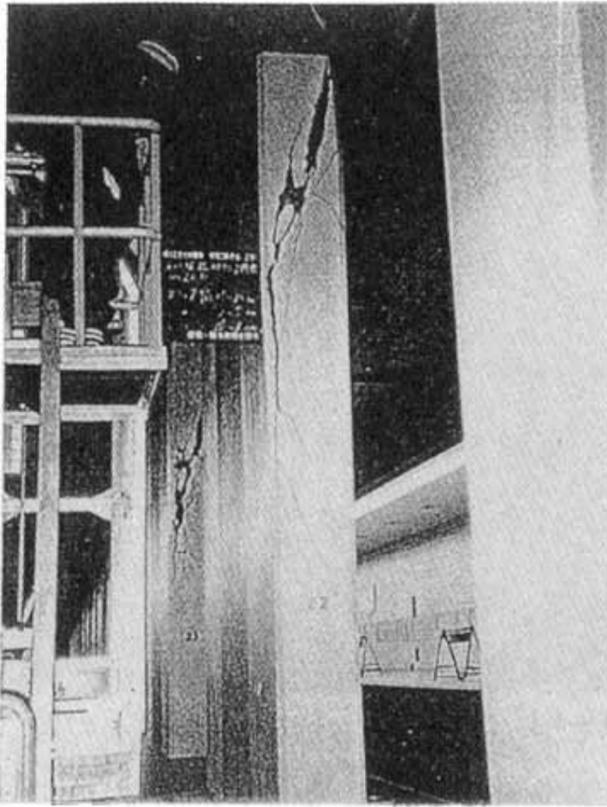


写真9-3-15 山陽電鉄・西代地下駅の中柱の被害
(軌道階No.22柱の東面を見る)

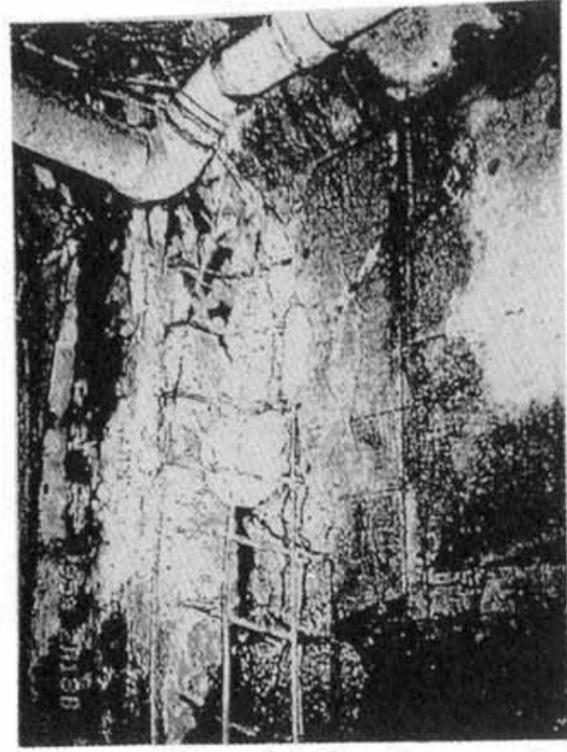


写真9-3-16 三宮第2駐車場・壁のコンクリート剥落・鉄筋露出(被害タイプA)

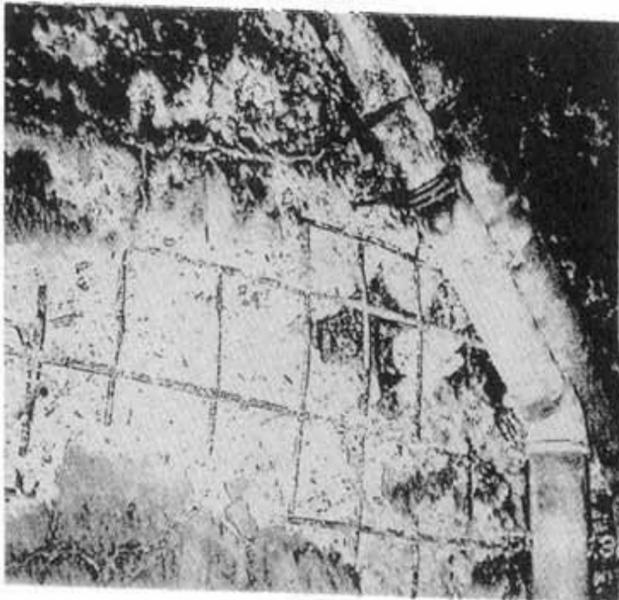


写真9-3-17 三宮第2駐車場・スラブのコンクリート剥落・鉄筋露出(被害タイプA)

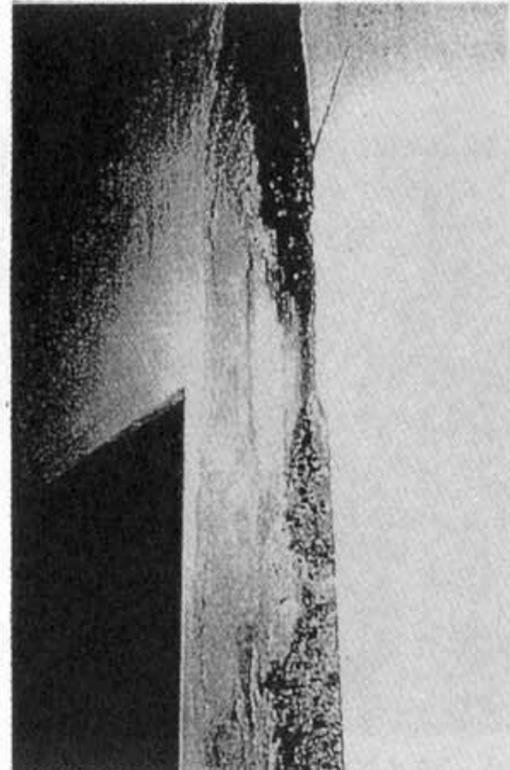


写真9-3-18 三宮第2駐車場・壁のコンクリート剥落(被害タイプB)

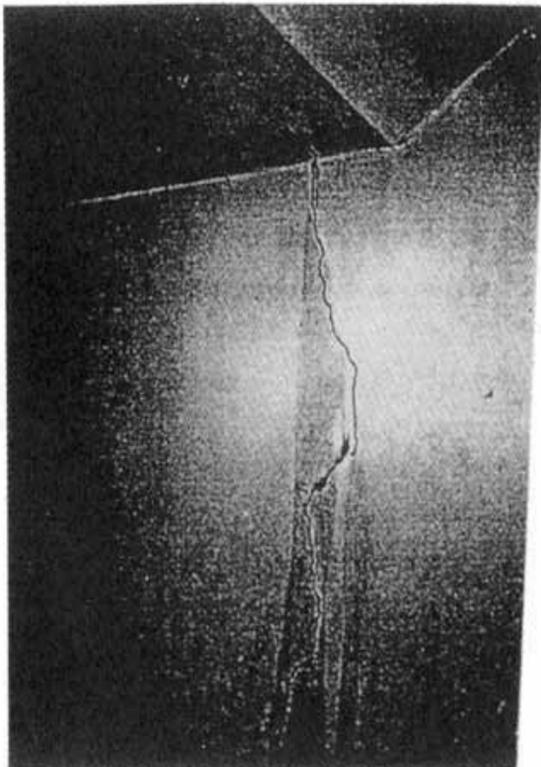


写真9-3-19 三宮第2駐車場・壁のひび割れ(被害タイプC)



写真9-3-20 三宮第3駐車場(被害なし)



写真9-3-21 三宮第3駐車場（被害なし）

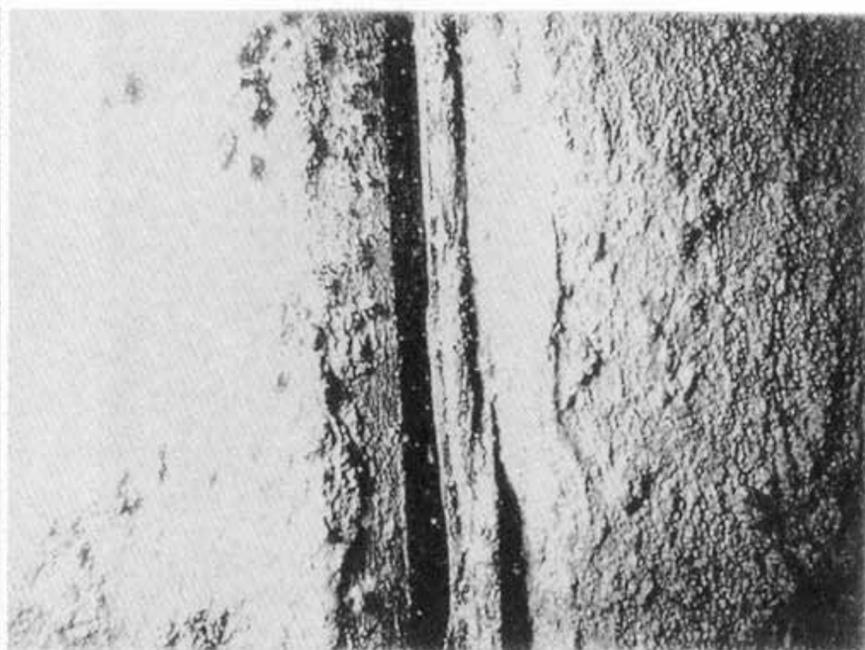


写真9-4-1 コンクリートボックス継手の開口
（鯉川地下河川）



写真9-4-2 トンネル底部に幅0.5～2.0mm程度の
軸方向クラック（千森川放水路）



写真9-4-3 覆工打継目のジョイント部における
破損状況（千森川放水路）

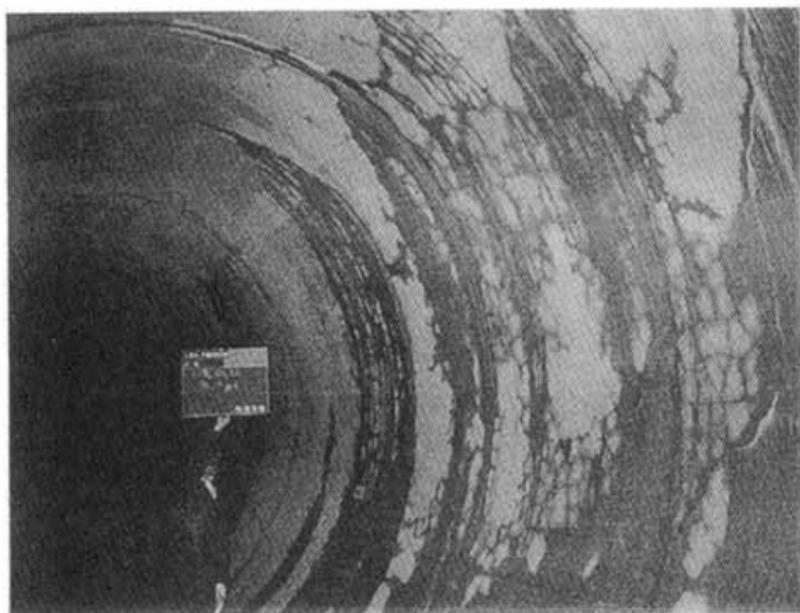


写真9-4-4 ジョイント部付近の天端両側に亀甲状
のクラック群（千森川放水路）

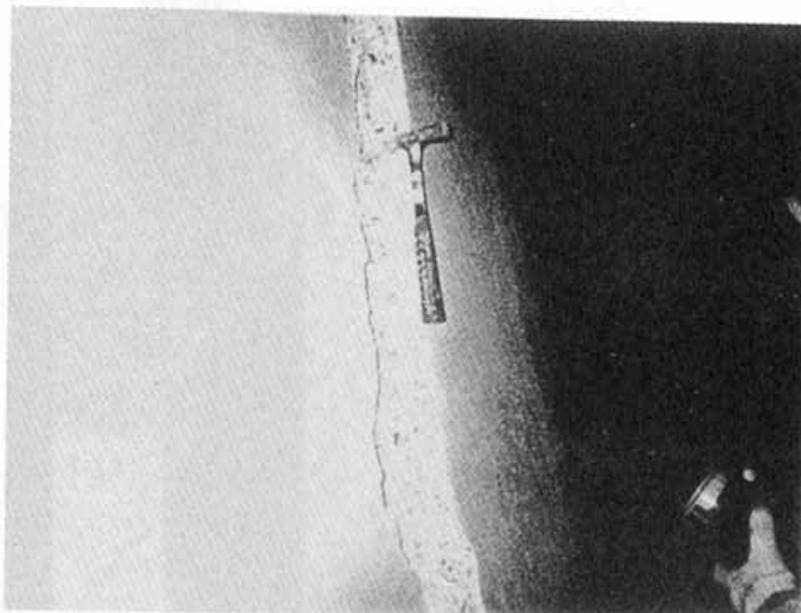


写真9-4-5 西側壁クラックのせん断ずれ
最大84mm（塩屋谷川放水路）

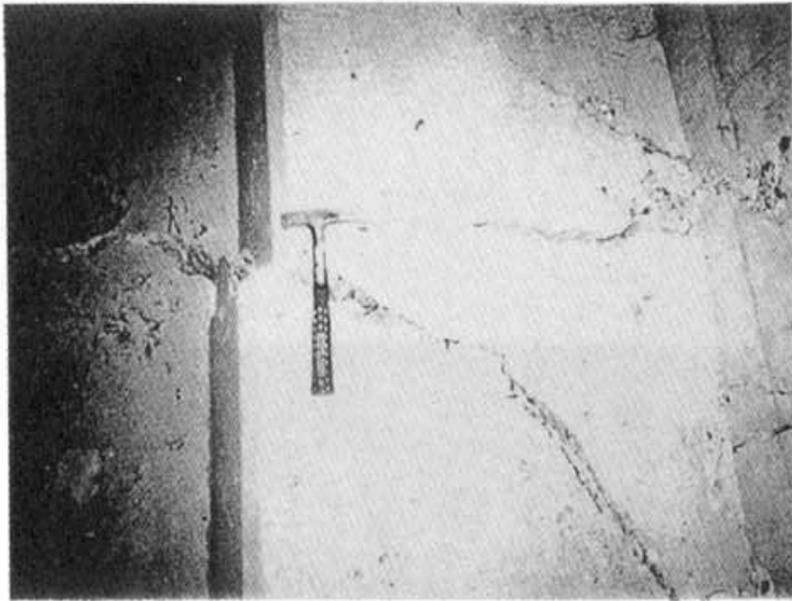


写真9-4-6 西側壁監査路に発生したせん断クラック
(上流側から撮影, 塩屋谷川放水路)

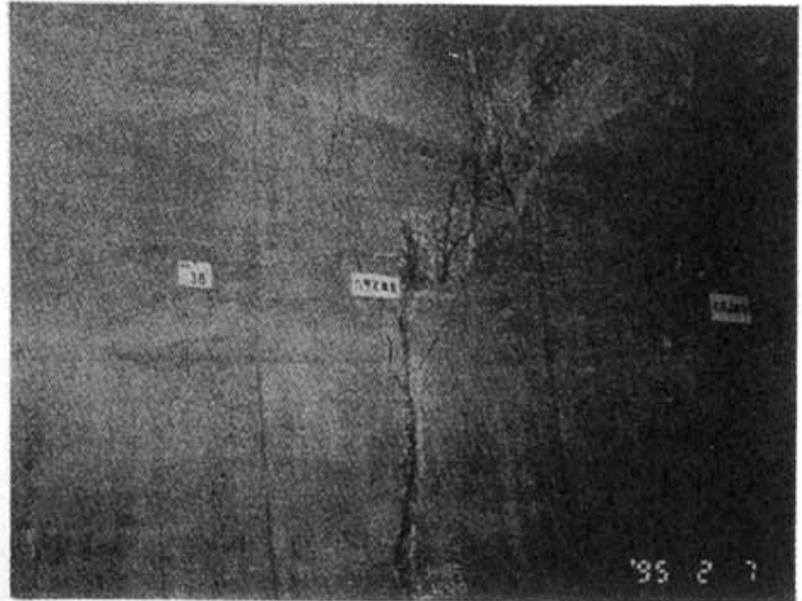


写真9-4-7 被害状況全景 (塩屋谷川放水路)



写真9-4-8 インパート部のクラックと変状
(塩屋谷川放水路)



写真9-4-9 鳴尾御影污水幹線 2次覆工コンクリート管路軸方向クラック

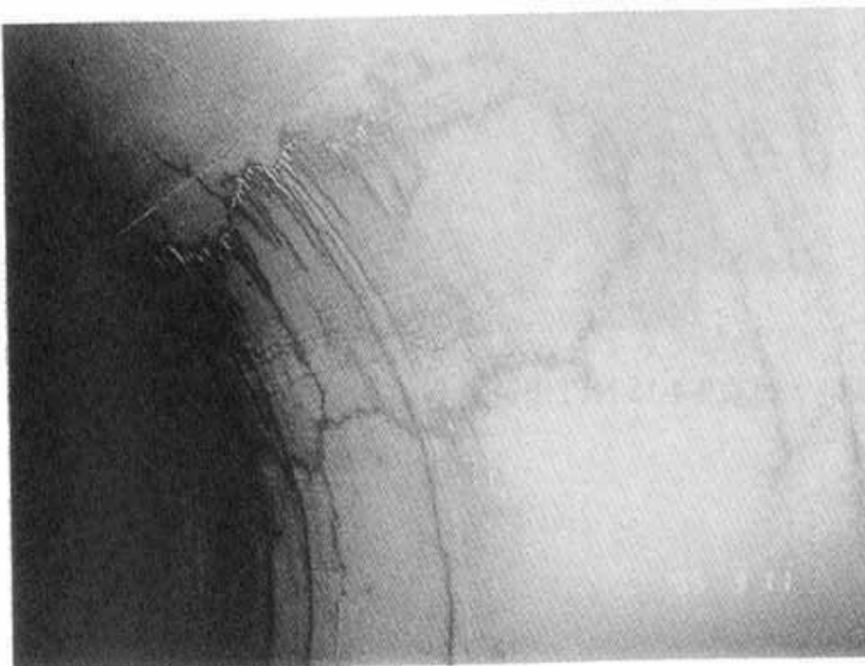


写真9-4-10 鳴尾御影污水幹線 2次覆工コンクリート管路軸方向クラック

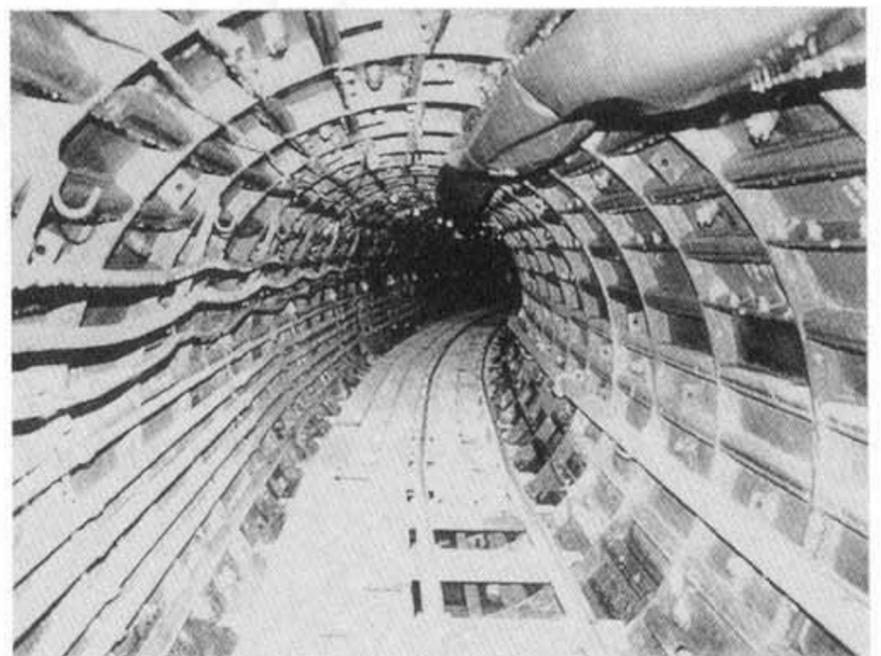


写真9-4-11 鳴尾御影污水幹線鋼製セグメントの状況 (被害なし)

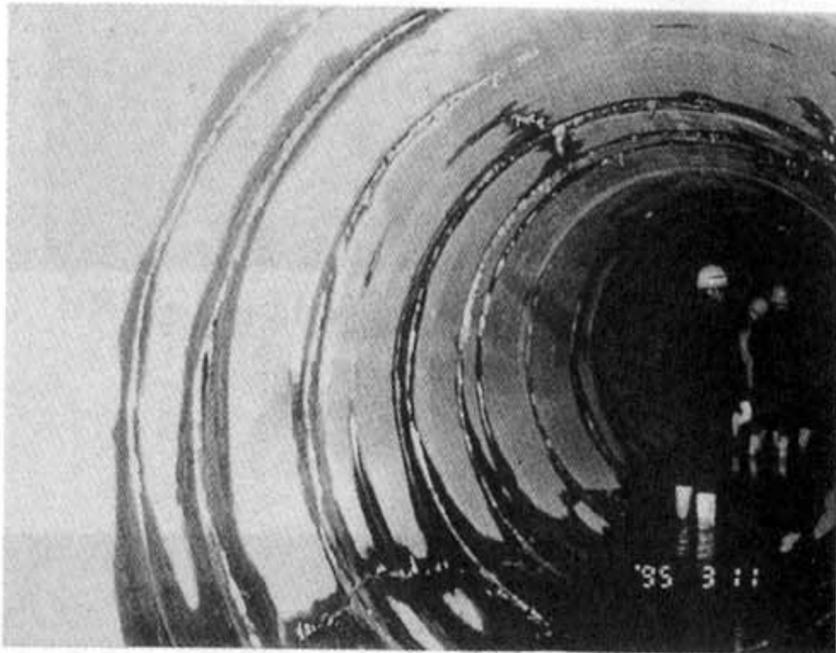


写真9-4-12 鳴尾御影汚水幹線 2次覆工コンクリートのリング方向クラック

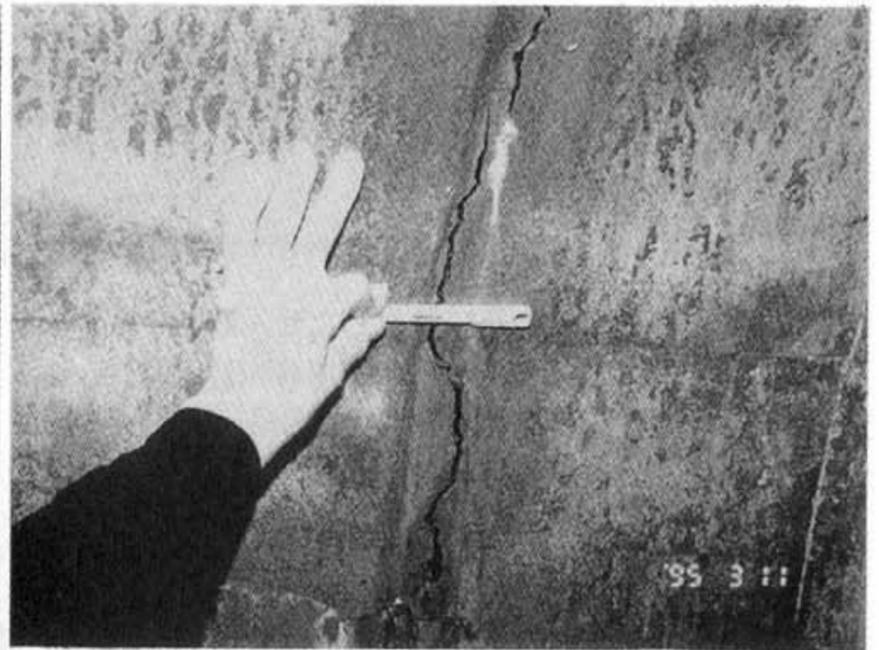


写真9-4-13 鳴尾御影汚水幹線 2次覆工コンクリートのリング方向クラック

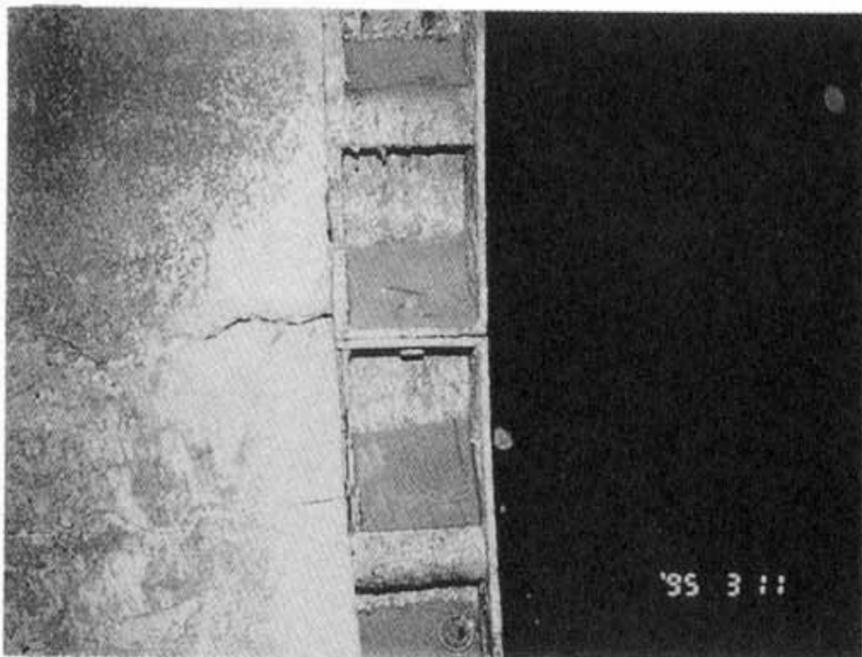


写真9-4-14 鳴尾御影汚水幹線 2次覆工コンクリート管路軸方向クラックと鋼製セグメントジョイント



写真9-4-15 NTT矩形とう道伸縮継手部のずれ



写真9-4-16 NTT矩形とう道ストラットの被災状況

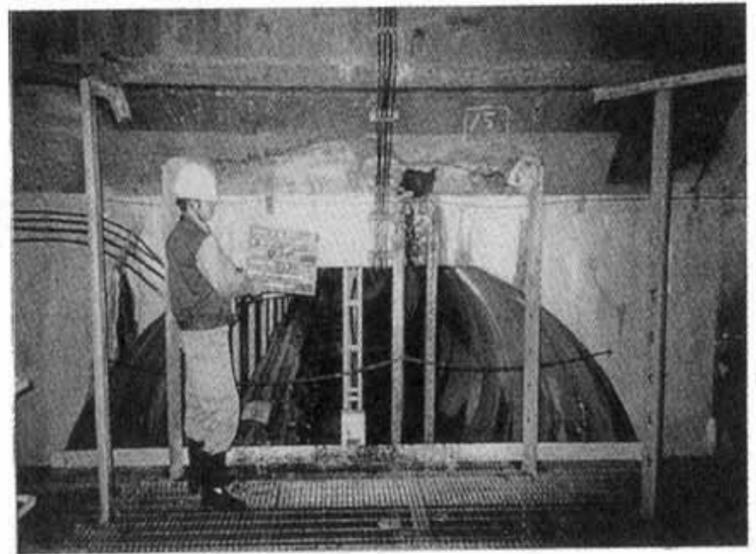


写真9-4-17 NTTシールドとう道坑口被災状況

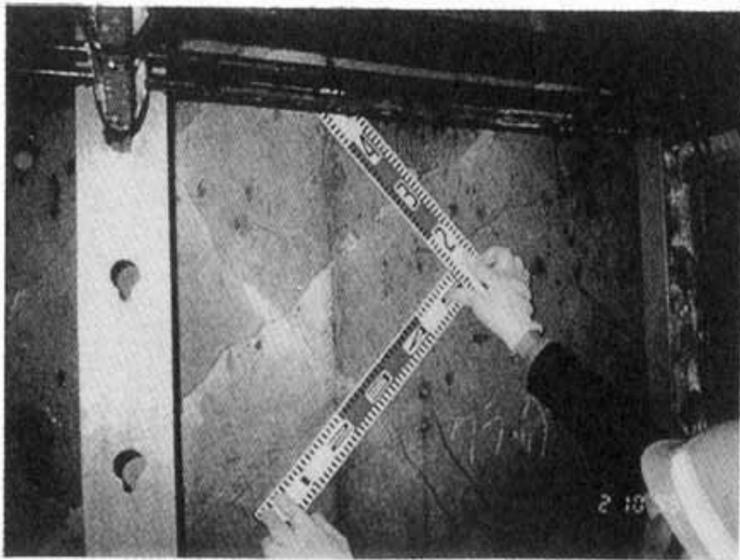


写真9-4-18 NTTとう道側壁のクラック状況