

兵庫県南部地震による宅地擁壁被害の特徴と原因

沖村 孝¹・二木幹夫²・岡本敦³・南部光広⁴

¹正会員 理博 神戸大学 都市安全研究センター (〒657-0013 神戸市灘区六甲台町 1-1)

²工博 建設省 建築研究所 (〒305-0802 茨城県つくば市立原 1)

³建設省 建設経済局 (〒100-0013 東京都千代田区霞が関 2-1-3)

⁴正会員 工修 応用地質(株) 関西事業本部(〒564-0062 大阪府吹田市垂水町 2-36-27)

本論文では、兵庫県南部地震による宅地擁壁の被害実態を述べるとともに、各種要因との関係を分析し、被害原因についての考察を行った。被害のあった代表的な箇所については、被害のあったところとその近傍で被害のなかったところを対比する形で地盤調査を行い、地盤と被害との係わりについて考察を行った。その結果、地震による被害発生の原因と地震時における宅地擁壁の安定性を明らかにすることができた。

Key Words : earthquake, retaining wall, housing lots, seismic intensity, damage, cause.

1. はじめに

宅地を造成して、建物が造られる時には、一般に周辺部に擁壁が築造される。阪神地域においても、神戸市を中心とする周辺部への市街地開発の進展に合わせて、時代に応じた各種擁壁が築造されている。古いものでは、戦前に築造された石積み構造による石垣・土留めと呼ぶに相応しいものから、比較的最近に設置されたものでは、昭和37年に施行された宅地造成等規制法(以下「宅造法」と称す)や昭和45年に施行された都市計画法に基づく許可を受け、一定の技術的基準を満たしたもので、種々な擁壁が混在している。構造的にも、石垣、石積みなどに多く見られる空積み構造、石材をコンクリートで固めた練積み構造、現場打ちコンクリート構造、プレキャスト製品を用いたものなどが存在する。

兵庫県南部地震により各種施設は甚大な被害を受けたが、宅地擁壁も例外ではなく、被害を受けた擁壁は、全体で5,000箇所以上に上っている。そのうち、被害程度の激しいものや、緊急に対策を講ずる必要のあるものについては、宅造法に基づく改善勧告がなされており、その数は全体で約2,300箇所に及んでいる。

本論文は、これら兵庫県南部地震による宅地擁壁の被害実態を明らかにするとともに、その被害原因等の検討を行い、地震時における宅地擁壁の安定性について考察を加えたものである。

2. 被災擁壁の分布状況

兵庫県南部地震により被害を受けた宅地擁壁は、六甲山麓周辺部に広く分布しており、被害程度もひび割れ等の変状は発生したが、宅地擁壁としての機能を維持している軽微なものから、緊急に対策を要するようなものまで様々である。これら被害を受けた擁壁のうち、被害の程度が激しく、宅造法に基づく改善勧告を受けた擁壁の市域別内訳を、表-1に示す。

この中で、神戸市における擁壁の被災箇所は、約1,700箇所と全体の約7割を占めており、被害データが統一された形で整理されていることと併せて、宅造法に基づく許可を行った資料が整理されていたことから、神戸市域を対象として被害の実態調査を行った。なお、同市内のうち、西区については、被害を受けた擁壁が1箇所もなかったことから対象外とした。

図-1は神戸市における宅地造成工事規制区域(以下「宅造規制区域」と称す)を示した図であるが、六甲山南麓地域は、ほとんどがそのエリアに入っている。これら地域の大半は、宅造法の施行された昭和37年より前に宅地が造られており、同法の適用前に造られた擁壁が数多く存在している地域でもある。

神戸市における行政区ごとの宅地擁壁の被害発生状況を図-2に示す。被害を受けた擁壁は、長田区が最も多く、次いで東灘区であった。長田区では六甲山南麓に大阪層群よりなる丘陵地が存在しており、この地域に宅地

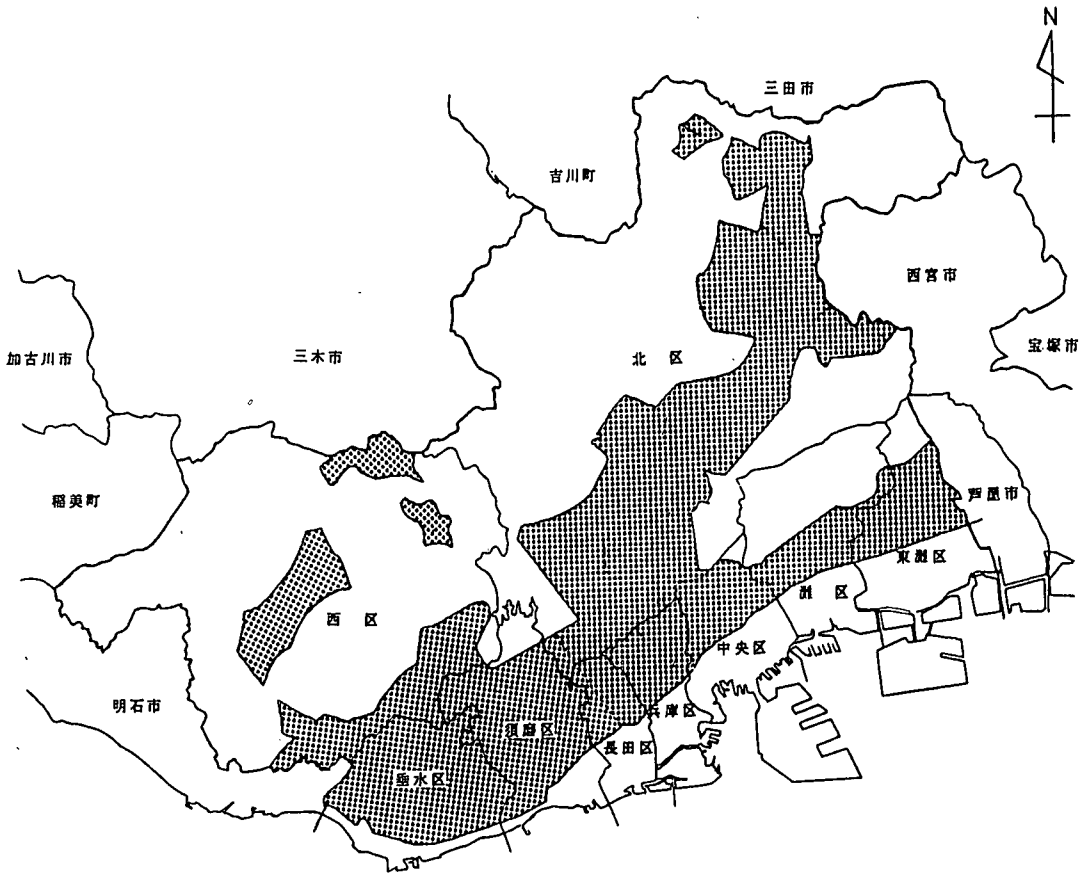


図-1 神戸市宅地造成工事規制区域

表-1 宅地擁壁被害箇所市域別内訳

市域名	改善勧告箇所数
神戸市	1,707
宝塚市	263
西宮市	244
芦屋市	42
明石市	55
合計	2,311

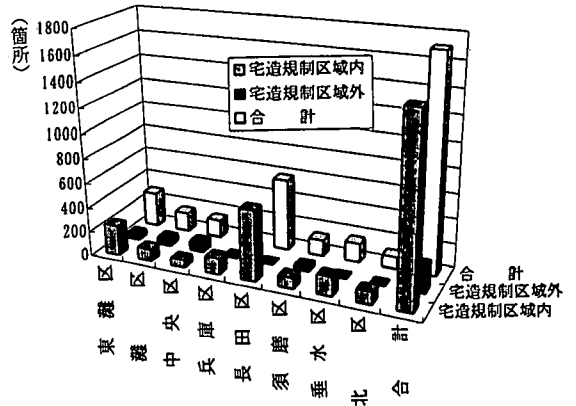


図-2 各別宅地擁壁被災状況

擁壁が密集している。被害の多くはこれら丘陵地に築造された擁壁で発生しており、擁壁数の多さとも関連して被害箇所も多くなっているものと思われる。次に、東灘区は他区に比べると山麓部が地形的に急峻であり、高い擁壁が数多く存在しているため、被害箇所が多くなっているものと思われる。ただ、擁壁数そのものが長田区よりも少ないのと合わせて、宅地化された時期が長田区に比べると新しく、宅造法の適用を受けた擁壁が多かったために、長田区と比べて被害数が少なかったものと思われる。

宅造規制区域は、地盤の傾斜が比較的急であり、宅地化するのに擁壁が必要な区域で、人家が密集していると

ころを対象として指定されている。このようなことより、兵庫県南部地震による擁壁被害も図-2に示すように宅造規制区域内で1478箇所と全体の87%を占めている。これ以外の区域で被害が発生しているところは、主として六甲山南麓の宅造規制区域よりはずれた地域に散在している擁壁であり、局部的に地形勾配が急なところであったために、宅地化にあたって擁壁が築造されていたところである。

表一 神戸市における宅地擁壁被災状況

神戸市の市街化区域 (面積 : 19803ha)			
宅造規制区域内 (面積 : 9887ha, 宅地数 : [203552宅地])			
S. 50年以降		S. 37~S. 49年	S. 36年以前
造成中	造成団地 (115団地)	造成団地 (94団地)	造成団地 (3団地)
面積 : 568ha 完成擁壁数 : 0箇所 被災擁壁数 : 0箇所(0箇所) 被災率 : -	① 面積 : 2014ha 完成擁壁数 : 44937箇所 被災擁壁数 : 3箇所(3箇所) 被災率 : 0.01% (0.01%)	③ 面積 : 3005ha 完成擁壁数 : 35072箇所 被災擁壁数 : 86箇所(47箇所) 被災率 : 0.2% (0.1%)	④ 面積 : 68ha 完成擁壁数 : 1342箇所 被災擁壁数 : 54箇所(13箇所) 被災率 : 4.0% (1.0%)
(既成市街地内でS. 50年以降宅造工事が行われた所)		(既成市街地内宅地+S. 36年以前の造成団地の一部)	
② 面積 : [343ha] 完成擁壁数 : 10732箇所 被災擁壁数 : 4箇所(4箇所) 被災率 : 0.04% (0.04%)	⑤ 面積 : [3567ha] 完成擁壁数 : [111469箇所] 被災擁壁数 : 1331箇所(1207箇所) 被災率 : [1.2% (1.1%)]		
都市計画公園, ゴルフ場	面積 : 322ha		
宅造規制区域外 (面積 : 9916ha)			
⑥ (S. 50年以降都計法による開発許可地) 被災擁壁数 : 0箇所		⑦ 被災擁壁数 : 229箇所	

注1) ()内は地盤変状区域内に存在する被災擁壁を除いた値である。

注2) 既成市街地の擁壁数は道路, 学校, 近隣公園等も含めて1宅地当たり320㎡として求めた。

注3) []内の値は推定値である。

3. データの整理方法

神戸市内における約 1700 箇所の被災擁壁を, 被害調査に基づいて, 擁壁のタイプ, 高さ, 築造年代, 被災形態別に以下のように整理した。なお, 擁壁数については, 後述する完成擁壁数も含めて1宅地当たり1箇所として計上し, マンションに隣接する擁壁については1棟当たり1箇所として計上した。そして, 1宅地に存在する擁壁のすべてもしくは一部に変状が発生している場合に, その宅地擁壁を被災擁壁とした。

(1) 擁壁タイプの分類

被害を受けた宅地擁壁を以下のタイプに分類した。

- ① 石積擁壁(練石積擁壁, コンクリートブロック積擁壁, 空石積擁壁等)。
- ② 無筋コンクリート擁壁(重力式擁壁)。
- ③ 鉄筋コンクリート擁壁(L型, 逆T型擁壁)。
- ④ その他

(2) 擁壁高さ

被害調査書の断面図に記載されている地表からの高さや擁壁高さとした。

(3) 築造年代

現行の宅造法の技術基準に基づき築造された擁壁の

被災状況を把握することは, 宅造法の技術基準に基づく擁壁の安定性を検討する上で重要である。このために, 宅造法の適用を受けて築造された総数と, その中で, 今回の震災により被害が発生した擁壁数より被災率を求め, 擁壁の安定性を検討することとした。

昭和 50 年以降については, 造成団地および既成市街地における宅造法適用擁壁の位置が明確であったため, 被災を受けた擁壁位置と対比することによって, 宅造法適用擁壁総数と被災擁壁数の両方を把握することができた。一方, 昭和 37 年から昭和 49 年に築造された擁壁については, 既成市街地における宅造法適用擁壁数が不明確であったが, 造成団地 94 箇所の資料が整っていたため, これらの造成団地内における宅造法適用擁壁総数と被災擁壁数より被災率を求めることが可能であった。

被災率, 被災形態等の集計に当たっては, 被災した擁壁を築造年代別に以下のように区分した。

- ① 昭和 50 年以降に築造された造成団地内擁壁。
- ② 昭和 50 年以降に既成市街地内で築造された擁壁。
- ③ 昭和 37 年から昭和 49 年の間に築造された造成団地内擁壁。
- ④ 昭和 36 年以前(宅造法施行以前)に築造された造成団地内擁壁(年代の把握できるもの)。
- ⑤ 昭和 36 年以前(宅造法施行以前)に築造された造成団地内および昭和 49 年以前に既成市街地内で築造された擁壁。

表-3 昭和50年以降に完成した宅地擁壁の被災率

区名	完成擁壁数	被災擁壁数	被災率(%)
東灘区	323	3	0.9
灘区	458	1	0.2
中央区	51	0	0
兵庫区	68	0	0
長田区	361	0	0
須磨区	3,635	0	0
垂水区	11,435	2	0.02
北区	39,338	1	0.003
合計	55,669	7	0.01

(4) 被災形態の分類

被災を受けた擁壁の形態を、以下のタイプに分類した。

- ① クラック : クラックが見られるだけで、はらみ出し、傾倒等の変状がないもの。
- ② はらみ出し : 擁壁がはらみ出し、勾配が弓型になっているもの。
- ③ 傾倒 : 転倒、崩壊には至らなかったが、擁壁全体が少し倒れて傾いているもの。
- ④ 上部半壊 : 擁壁高さのほぼ1/2程度より上の部分が崩壊したもの。
- ⑤ 全壊 : 擁壁の大部分が崩壊したもの(転倒を含む)。

なお、ここで掲げている変状については、兵庫県南部地震により新たに生じたものを対象としており、それより前に生じていた軽微なクラック等は対象外としている。

4. 年代別被災率

神戸市における宅地擁壁被害状況の全体を取りまとめたものが表-2である。今回の調査では、神戸市に保存されている資料と対比することによって、被災擁壁がどの時代に造られたかの判定がかなりの部分で可能であった。

表-2中の①～③は宅造法適用擁壁であり、築造された擁壁はその技術基準を満足している。一方、④は宅造法施行前に築造された擁壁である。⑤に属する擁壁は、宅造法施行以前に団地造成が行われた区域のうち、④項を除いた擁壁と、既成市街地内で昭和49年以前に築造された擁壁を合わせたものである。これらの擁壁については資料がなく、場所の判別が不可能であった。既成市街地は古くから宅地化されたところであり、この区域に存在する擁壁は、宅造法が施行された昭和37年より前にほとんど築造されている。ただ、一部、昭和37年以降に宅造法の適用を受けて改築された擁壁が存在している。その数の詳細については不明であるが、②より昭和50年～平成6年の25年間に改築された箇所が10,732箇所、そ

うちの被災擁壁数が7箇所であることより、昭和37年～昭和49年の13年間に改築された箇所を年数の比例配分で求めると約5,600箇所となり、被災擁壁数は4箇所となる。⑤全体の推定完成擁壁数が111,469箇所、被災擁壁数が1,331箇所であるので、先述した推定宅造法適用擁壁数を⑤の擁壁数より差し引くと被災率では $(1,331-4)/(111,469-5,600) \times 100 = 1.25\%$ となり、⑤の被災率とほとんど変わらない値となる。このことより⑤の被災擁壁は、ほとんどすべて宅造法適用前擁壁であると推察される。

一方、①～④の擁壁については場所が明確であったので、現在の住宅地図と対比することによって、擁壁総数の計測が可能であり、正確な被災率を求めることができた。

それぞれの区分における被害状況は以下に示す通りである。

(1) 昭和50年以降に築造された宅造法適用擁壁(表-2中の①および②の擁壁)

宅造法の適用を受けた擁壁総数は、約55,700箇所である。このうち、擁壁が被災したところは、僅かに7箇所であり、被災率は、0.01%と極めて小さな値であった。各区分別の内訳を表-3に示したが、それによると東灘区が3箇所、灘区が1箇所、垂水区が2箇所、北区が1箇所であった。

被災形態については、後述するようにクラック発生が6箇所、鉄筋コンクリート擁壁の傾倒が1箇所であった。被害の程度は全般に軽微であり、家屋の撤去等など、甚大な被害に至っているものはなかった。

(2) 昭和37年～昭和49年間に築造された造成団地内宅造法適用擁壁(表-2中の③の擁壁)

この間の団地造成に伴い、築造された擁壁数は約35,000箇所であり、このうち被災した擁壁は86箇所、被災率では0.2%であった。86箇所の中で、宅地全体が地盤変状している区域内と想定されるものが39箇所あり、それを除いた被災率では0.1%であった。

一方、被災の形態を地盤変状を除いた箇所を集計すると、クラック発生が29箇所、はらみ出しが10箇所、傾倒が6箇所であり、上部半壊、全壊は各1箇所であった。

(3) 昭和36年以前に築造された造成団地内宅造法適用前擁壁(表-2中の④の擁壁)

神戸市における宅造法施行以前の造成団地については、3団地について資料が判明している。この3団地における築造擁壁数は、1,342箇所であり、このうち被災した擁壁は54箇所、被災率では4.0%であった。被災した54箇所のうち、41箇所については、地盤変状区域内と想定され、それを除くと被災擁壁は13箇所、被災率で1.0%であった。

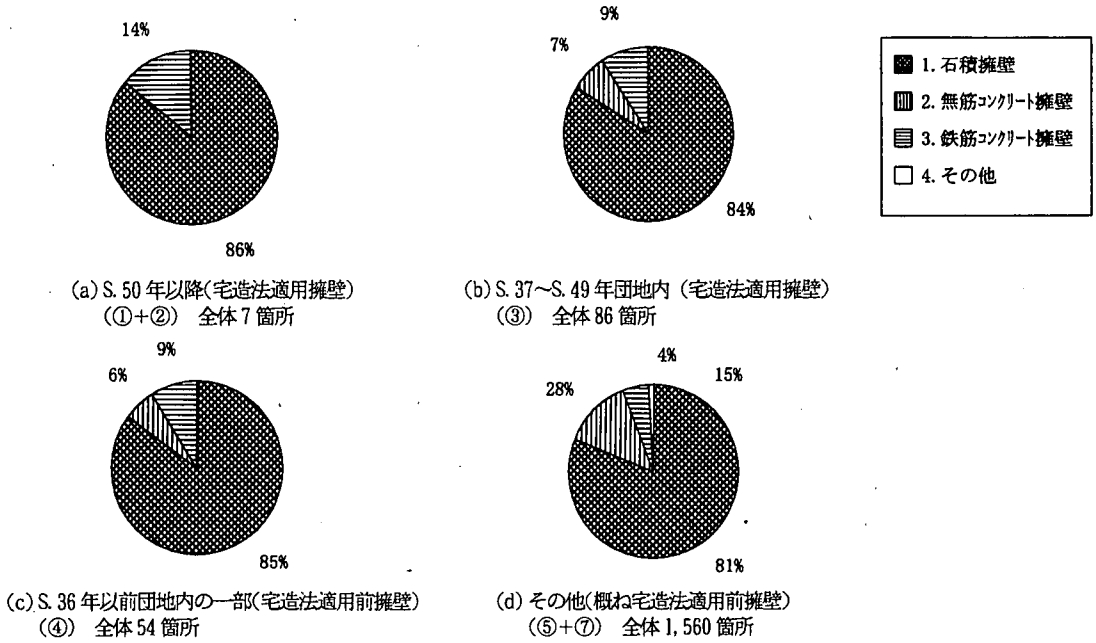


図-3 年代別被災擁壁タイプ別区分 (図中の①~⑦は表-2に示している①~⑦の区域に該当している)

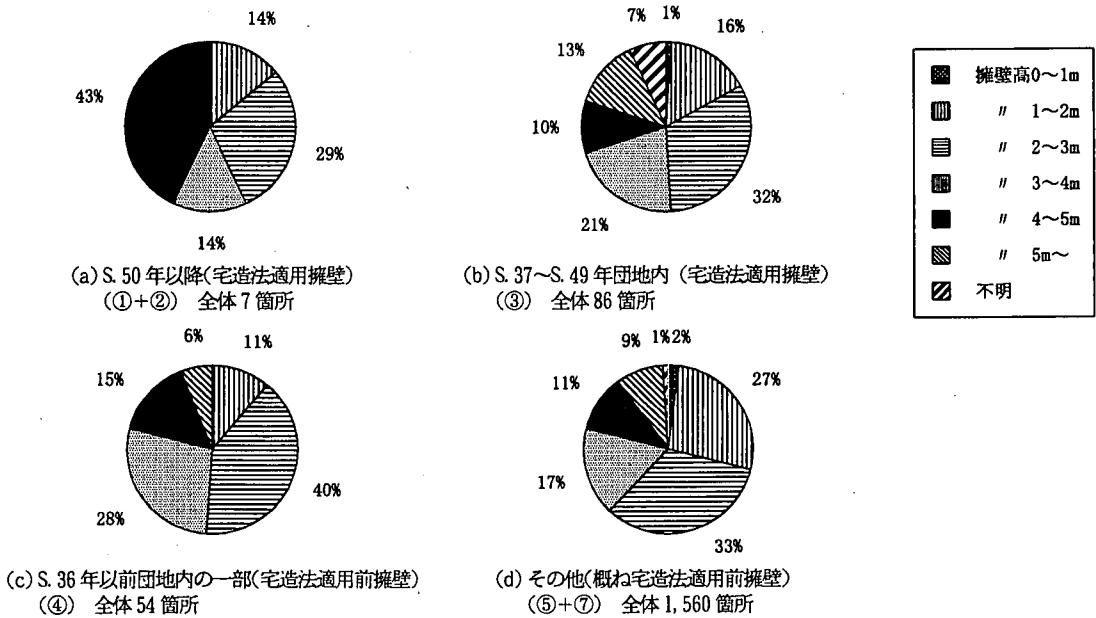


図-4 年代別被災擁壁高さ区分 (図中の①~⑦は表-2に示している①~⑦の区域に該当している)

(4) 宅造規制区域内で築造されたその他の擁壁(表-2中の⑤の擁壁, 概ね宅造法適用前擁壁)

既成市街地における1宅地当たりの平均面積を320㎡として擁壁数を推定すると, 約110,000箇所となる。このうち被災した擁壁数は1,331箇所であり, 被災率では1.2%であった。なお, 地盤変状と想定される区域を除いた被災率では, 1.1%であった。

(5) 宅造規制区域外で昭和50年以降に都市計画法の適用を受けた擁壁(表-2中の⑥の擁壁, 宅造法適用擁壁)

神戸市においては, 昭和45年に施行された都市計画法に基づく開発許可地へ築造される擁壁に対して, その位置するところが宅造規制区域外であっても宅造法の技術基準を満足するように指導がなされてきた。これら開発許可地のうち, 昭和50年以降の宅地については位置

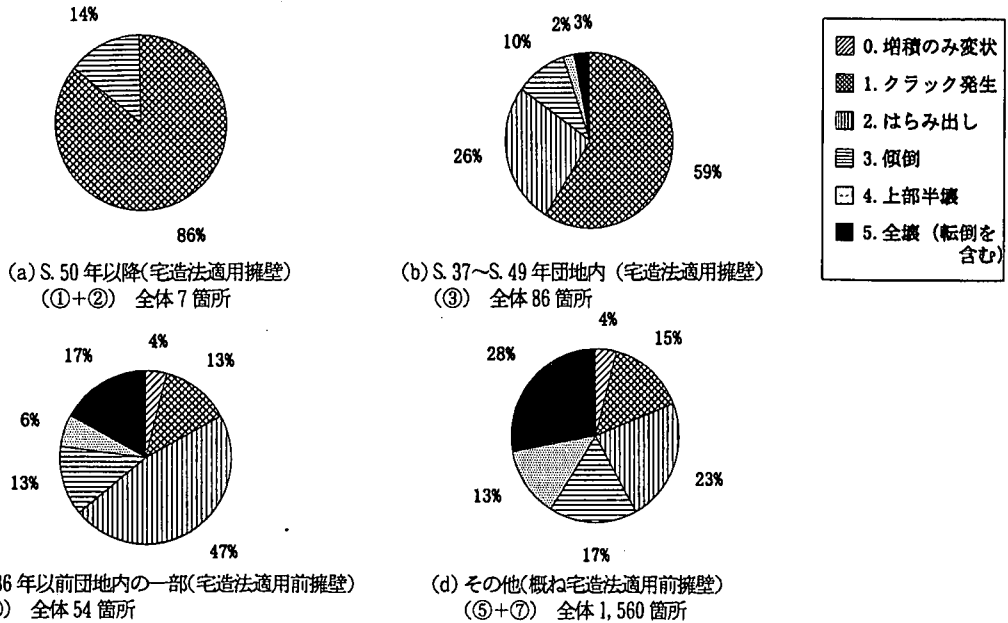


図-5 年代別被災形態区分 (図中の①~⑦は表-2に示している①~⑦の区域に該当している)

が明確であったため、被災擁壁と位置の照合を行うことができた。その結果、開発許可地に存在する被災擁壁数は0であった。ただ、これらの地区は地形が比較的平坦であり、開発許可地すべてに擁壁が存在するとは限らず、完成擁壁数が不明であったため、被災率の計上はできなかった。

(6) 宅造規制区域外擁壁のうち⑥を除くもの(表-2中の⑦の擁壁、概ね宅造法適用前擁壁)

⑥の被災擁壁数が0であったことより、昭和45年から昭和49年の間に宅造規制区域外で開発許可がなされた宅地での被災擁壁数はほとんど0であると推定されるため、⑦の被災擁壁は概ね宅造法適用前擁壁であると推察される。

以上のことより年代別に擁壁の被災率はかなり異なることが判明した。すなわち、宅造法施行以前では、地盤全体が動いた地盤変状区域に存在する被災擁壁を除くと、被災率が1.0~1.1%であり、地盤変状箇所内ものを含めると1.2~4.0%となっている。一方、宅造法が施行された昭和37年以降では、昭和37年~昭和49年の造成団地内が0.1%、昭和50年以降(表-2の①と②の合計)は0.01%とそれぞれ宅造法施行前に比べると1/10、1/100の被災率となっている。

後述するように被災形態も宅造法施行前と施行後ではかなり異なり、宅造法の適用を受けた擁壁の被害は比較的軽微であった。一方、これに対して宅造法適用前に造られた擁壁は、半壊~全壊したものが多く存在していた。

5. 各種要因との関係分析

(1) 年代毎の高さ、タイプ別の被災状況

図-3は、被災擁壁を年代別にタイプ区分を行った図である。いずれも80%以上が石積み擁壁であるが、表-2の(⑤+⑦)に区分される宅造法適用前擁壁では81%と多少比率が少なくなっている。図-4、5も合わせて(a)~(d)図になるにしたがって、概ね擁壁の築造年代が古くなるものと読みかえることができる。

図-4は、被災擁壁を年代別に高さ区分を行った図である。いずれも2~3mもしくは3~4mの擁壁が多い。大きな傾向として、年代が古くなるにしたがって、高さが低いものでも被災を受けている割合が高くなっている。

(2) 築造年代と被災形態

被害を受けた擁壁について、年代別に被災形態区分を行ったものが、図-5である。同図によると昭和50年以降に築造された宅造法適用擁壁のうち、被害を受けた7箇所のうち6箇所がクラック発生、残りの1箇所がL型擁壁の僅かな傾倒であった。昭和37年~昭和49年の間に造成団地内で築造された宅造法適用擁壁では、地盤変状区域内にあるものも含めて、クラック発生が全体の59%に対して、被害の激しい上部半壊と全壊との合計はわずか5%であった。

一方、昭和36年以前に築造された造成団地内の宅造法適用前擁壁においては、クラック発生が13%であるのに対して、上部半壊と全壊と合わせたものが23%であった。

表-4 地質と擁壁被害との関係

(箇所)

区名	被害箇所 総数	地質区分				
		花崗岩類	神戸層群	大阪層群	段丘層	沖積層
東灘区	285(145)	100(69)	0(0)	41(30)	70(39)	74(7)
灘区	159(21)	26(14)	0(0)	5(1)	111(5)	17(1)
中央区	143(7)	2(0)	0(0)	17(1)	120(6)	4(0)
兵庫区	145(56)	5(0)	0(0)	83(35)	42(15)	10(6)
長田区	580(224)	8(8)	39(16)	487(200)	0(0)	46(0)
須磨区	132(18)	3(0)	2(1)	20(3)	40(4)	67(10)
垂水区	160(114)	1(0)	3(0)	142(109)	2(1)	12(6)
北区	103(53)	30(5)	52(41)	0(0)	18(6)	3(1)
合計	1707(638)	175(96)	101(58)	795(377)	403(76)	233(31)

注1) 地質区分は、1/50,000地質図幅(地質調査所発行)^{1)~3)}によって求めた。

注2) ()内の値は、盛土区域内の被災箇所数を示す。

表-5 盛土区域における被災擁壁分布

(箇所)

区名	全体の 盛土区域数	被災擁壁がな い盛土区域数	被災擁壁があ る盛土区域数	盛土区域での 被災擁壁数
東灘区	41	12	29	145
灘区	37	31	6	21
中央区	15	10	5	7
兵庫区	22	11	11	56
長田区	60	36	24	224
須磨区	92	85	7	18
垂水区	236	212	24	114
北区	264	251	13	53
合計	767	648	119	638

同じく、その他のもの(概ね宅造法適用前擁壁と見なせる)は、クラック発生が15%であるのに対して、上部半壊と、全壊とを合わせると41%もあった。

これらのことにより、宅造法による技術基準を満たす擁壁とそうでない擁壁とについては、被災形態についてかなりの違いがある。すなわち、図-5においては、上2つの図は宅造法の適用を受けた擁壁に関するものであり、下2つの図が宅造法適用前擁壁と見なせるが、被災程度が激しい上部半壊、全壊について見ると、前者に対して後者の発生率がかなり高くなっている。すなわち、宅造法に基づく技術基準を満たす擁壁は、建物等にも大きな被害を及ぼす上部半壊や全壊などの形態が極めて少なかったことになる。

(3) 地質と被害との関係

既往の地質図^{1)~3)}を使って擁壁被害が発生した所を、地質別にまとめたものが表-4である。同表には盛土区域の擁壁数を示してあるが、これは明治17年から明治19

年に測量された地形図⁴⁾と現在の地形図とを比較することによって、宅地造成で埋まった旧谷部、池などの区域に存在する擁壁数を示している。

地質別に見ると大阪層群分布域で最も多く発生しており、次いで段丘層、沖積層となっている。一般に大阪層群や段丘層が分布する地域は、花崗岩分布地域に比べると地形勾配が緩く、宅地化されていることが多い。全体の地質別擁壁数が把握できていないので断定的なことは言えないが、大阪層群ならびに段丘層で被災箇所数が多くなっているのは、擁壁数そのものが多いことに起因している可能性が高い。一方、沖積層分布域で被災しているところは、河川沿いや谷沿いの擁壁、年代の新しい扇状地性堆積物の上に築造されている擁壁などであった。

表-4より盛土区域に被災擁壁が数多く存在していたが、盛土区域全体にわたる被害特徴を把握するために、既成市街地、造成団地を含めて、盛土区域を被災擁壁の有無で区分したものが、表-5である。同表によると盛土区域であっても必ずしも被害が発生しているとは限らず、

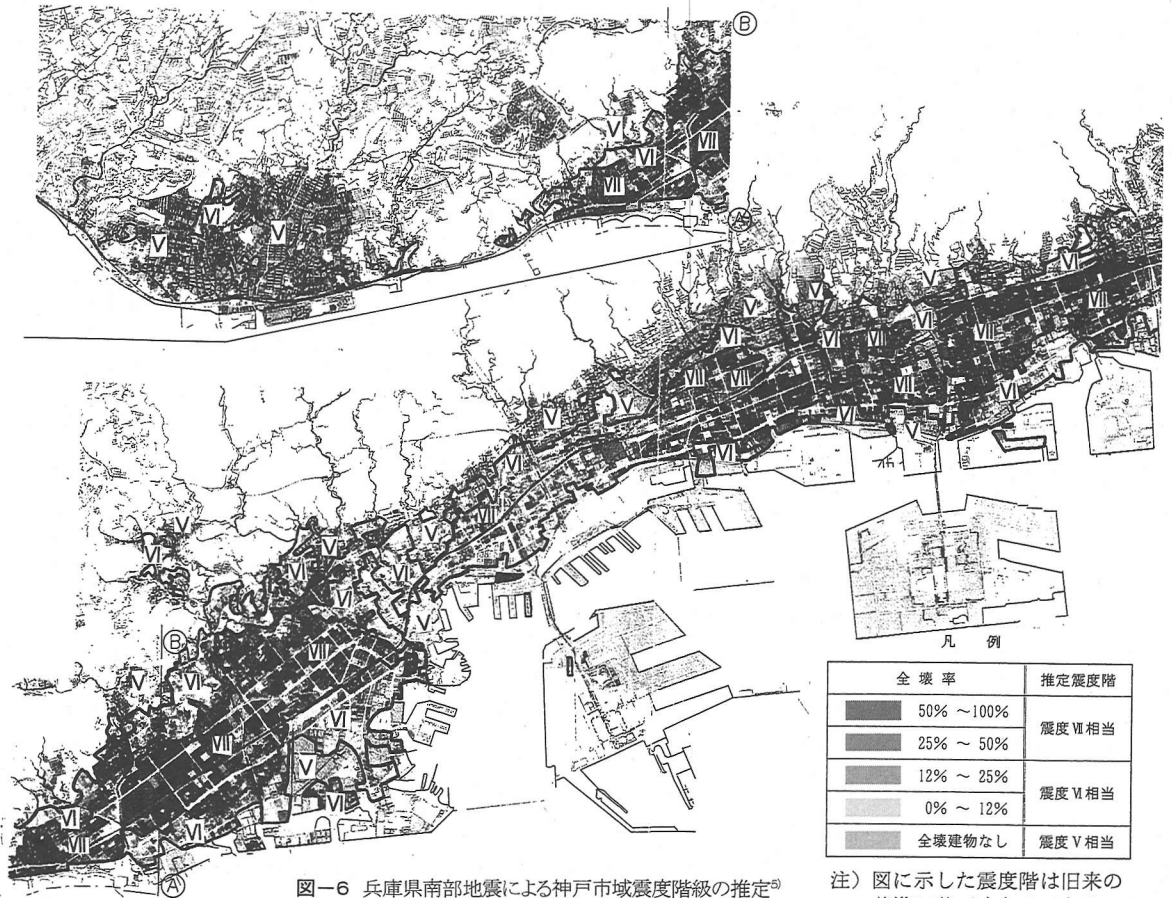


図-6 兵庫県南部地震による神戸市域震度階級の推定⁵⁾

注) 図に示した震度階は旧来の基準に基づくものである。

のである。詳細な面積計上をしていないので断定的なこととは言えないが、上述した3区については、盛土区域での被災率が高くなっている。原因としては、擁壁の大半が宅造法適用前擁壁であること、盛土区域であるために周辺地盤より地震動が増幅されたこと、地盤の支持力が十分大きくなかったことなどが考えられる。

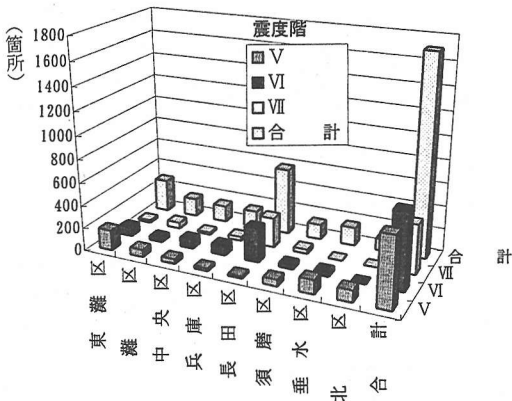


図-7 震度階別の被災状況

東灘区や兵庫区、長田区の盛土区域で被害の発生しているところの多いことがわかる。これらの区においては、宅地造成が宅造法施行前に行われているところが多く、擁壁も宅造法適用前のものが多い。

一方、表-4に示した盛土区域とは、高さ 10 m以上の大きな谷埋めしたところや池を埋めた区域を指しており、面積の比率としては地域全体の 1/2 よりもはるかに狭いも

(4) 震度と被害との関係

兵庫県南部地震における震度階分布の詳細について発表されたものは数少ない。ここでは、建設省建築研究所が作成した兵庫県南部地震建物被災状況図⁵⁾の建物全壊率より震度階分布を推定することとした。

推定した震度階分布図を図-6に示す。なお、ここで示した震度階は、旧来の基準(0~VII震度階)によるものである。同図によると、震度VII区域は、気象庁発表のものよりやや幅広い分布となっている。また、北区においては全壊率に関する資料がないため、建物被害が他の行政区より少なかった点を考慮して、全域を震度Vと想定した。

全被害箇所を対象として、各震度階区域に分布する被災擁壁数を図-7に示した。各震度階区域の被災箇所の構成比は、震度VIが最も多く39%、次いで震度Vが36%、

表一六 昭和50年以降築造擁壁震度階別被災率

区名	震度階	築造擁壁数 (箇所)	被災擁壁数 (箇所)	被災率 (%)
東灘区	VII	0	0	0
	VI	31	0	0
	V	292	3	1.0
灘区	VII	1	0	0
	VI	20	0	0
	V	437	0	0
中央区	VII	2	0	0
	VI	12	0	0
	V	37	0	0
兵庫区	VII	20	0	0
	VI	14	0	0
	V	34	0	0
長田区	VII	7	0	0
	VI	73	0	0
	V	281	0	0
須磨区	VII	8	0	0
	VI	11	0	0
	V	3,616	0	0
垂水区	VII	0	0	0
	VI	82	0	0
	V	11,353	2	0.02
北区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	39,338	1	0.003
合計	VII	38	0	0
	VI	243	0	0
	V	55,388	7	0.01

震度VIIが25%であった。各震度階別の擁壁総数が不明であるため、被災率での評価ができず、断定的なことは言えないが、擁壁総数では震度Vの区域が最も多く、次いで震度VI、VIIの順に少なくなっているものと思われる。一方、被災箇所数では震度VIの区域が最も多く、震度VIIの区域でも全体の25%の箇所数が存在しているので、全体に震度が大きくなるにしたがって被災率も高くなっている可能性が高い。

造成時期および位置の判明している擁壁を対象として、各震度階区域内の擁壁数を求めた。表一六は、昭和50年以降に築造された震度階別の擁壁数と被災率を示したものである。同表によると、昭和50年以降において宅造法の適用を受けた擁壁については、ほとんどが震度V区域に分布しており、被害を受けた擁壁7箇所もすべてが震度V区域であった。表一七は、資料が揃っている昭和37年～昭和49年に築造された造成団地内擁壁数ならびに被災率を示したものである。同表によっても宅造法適用擁壁はほとんどすべて震度Vの区域に分布しており、被害を受けた擁壁86箇所もすべて震度Vの区域であった。

震度V区域での被災率で見ると、昭和50年以降では0.01%、昭和37年～昭和50年では0.2%となっている。宅造法の適用を受けた擁壁は、全体的にそのほとんどが震度V区域に分布し、震度VIおよび震度VIIの区域に分布するものは少なかった。震度VIの区域に分布する宅造

表一七 昭和37年～昭和49年間造成団地内築造擁壁震度階別被災率

区名	震度階	築造擁壁数 (箇所)	被災擁壁数 (箇所)	被災率 (%)
東灘区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	1,592	43	2.7
灘区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	768	11	1.4
中央区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	421	0	0
兵庫区	VII	0	0	0
	VI	2	0	0
	V	44	0	0
長田区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	453	0	0
須磨区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	8,858	1	0.01
垂水区	VII	0	0	0
	VI	16	0	0
	V	6,879	31	0.5
北区	VII	0	0	0
	VI	0	0	0
	V	16,030	0	0
合計	VII	0	0	0
	VI	27	0	0
	V	35,045	86	0.2

法適用擁壁は270箇所、震度VIIは38箇所であった。そしてどちらの区域においても被害を受けた擁壁は存在しなかった。

以上のことより、宅造法の技術基準に基づいて設置された宅地擁壁は、大地震時においても転倒および滑動に対して、かなりの安定度を有しているのではないかと推察される。表一七において昭和37年～昭和49年造成団地内擁壁での被災率が若干大きくなっているが、これは後述するように、転倒および滑動に対するよりも擁壁基礎地盤の問題によっている。

6. 擁壁被災の原因分析

(1) 調査対象

宅造法適用擁壁のうち、被災した擁壁は、昭和50年以降に築造されたものが7箇所、昭和37年～昭和49年間に完成した造成団地内に築造されたものが86箇所であった。このうち、面的な広がりをもって地盤全体が変状したと思われる区域内に存在するものは、昭和50年以降の造成地では存在せず、昭和37年から昭和49年間の造成団地内では39箇所あった。これらの区域に分布している擁壁については、被害の原因がはっきりしているため、これらの擁壁を除いたものについて、被災原因を究明するために追跡踏査を行った。追跡踏査を行ったのは、以下に

表-8 擁壁タイプ別の変状原因

擁壁 タイプ	変 状 の 原 因	S. 37~S. 49年 (箇所)	S. 50年以降 (箇所)
石 積 擁 壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	33	4
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	3	2
	増積擁壁の影響	0	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	0	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	0	0
無り 筋 コト ン擁 ク壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	1	0
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	1	0
	増積擁壁の影響	1	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	2	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	0	0
鉄リ 筋 コト ン擁 ク壁	基礎地盤の支持力不足や基礎沈下によるもの	1	1
	増積擁壁(床版張出し)の影響, 基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの	0	0
	増積擁壁の影響	4	0
	増積擁壁の影響, 施工不良(コンクリートの打継目の処置が不良)	0	0
	施工不良(コンクリート打継目の処置が不良)	1	0
合 計		47	7

表-9 擁壁タイプ別の変状形態

タイプ	変状の形態	S. 37~S. 49	S. 50以降
石 積 擁 壁	クラック発生	23	6
	はらみ出し	10	0
	傾倒	1	0
	上部半壊	1	0
	全壊	1	0
無り 筋 コト ン擁 ク壁	クラック発生	5	0
	はらみ出し	0	0
	傾倒	0	0
	上部半壊	0	0
	全壊	0	0
鉄リ 筋 コト ン擁 ク壁	クラック発生	1	0
	はらみ出し	0	0
	傾倒	5	1
	上部半壊	0	0
	全壊	0	0
合 計		47	7

示す 54 箇所である。

- (a) 昭和50年以降に築造された宅造法適用擁壁のうち、被害を受けた7箇所。
- (b) 昭和37年～昭和49年間に完成した造成団地内築造擁壁(宅造法適用擁壁)で、被害を受けた47箇所。

(2) 被災形態および程度

原因調査に当たっては、被災擁壁ならびに周辺の状況を現地踏査によって詳細に把握するとともに、平面および断面のスケッチ、写真撮影などを行い、被災の形態を把握し、原因を推定した。あわせて既に修復等がなされていた箇所を中心に、直接、住民の方から被災時の状況を詳細にお聞きした。被害箇所の地盤状況については、前述した盛土区域図などより推定するとともに現地の地形状況などより把握した。そして、それらの結果を基に、擁壁被災原因の推定を行った。原因の推定にあたっては、

- ① 擁壁の基礎が沈下したり、傾いたりしていないか。
- ② 擁壁基礎前面地盤が①の現象等によって盛り上がった、表面に張られているコンクリート等が割れていないか。
- ③ 擁壁に入っているクラックがどのような形態であるか。石積擁壁に数多く見られたクラックは①の現象によって擁壁中段～水平方向クラックが連続して生じていた。クラックが大きく開口しているところでは、擁壁にはらみ出しの見られるところがあった。
- ④ 擁壁全体が基礎の沈下や支持力不足等によって傾いたりしていないか。
- ⑤ 増積擁壁の存在によって、擁壁上部を中心にクラックが発生したり、破損していたりしないか。
- ⑥ 擁壁の目地などに遊離石灰が認められ、コンクリート

変状箇所（基礎沈下）

非変状箇所

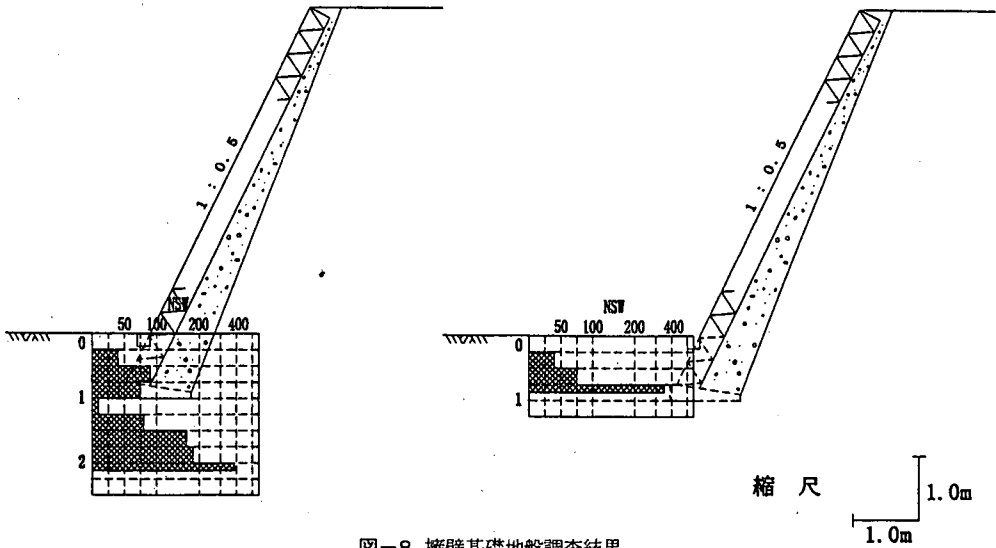


図-8 擁壁基礎地盤調査結果

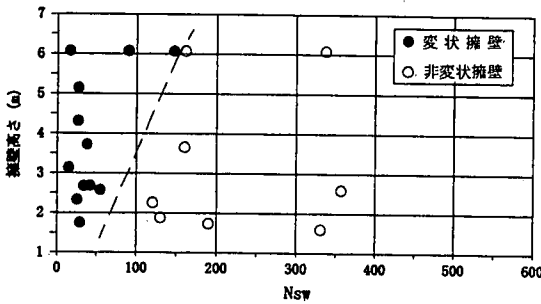


図-9 擁壁基礎底面地盤の N_{sw} 値⁷⁾

が劣化していないか。

などの項目を判定することによって行った。このようにして調べた擁壁のタイプ別の変状原因を表-8に、被災擁壁の変状形態を表-9に示す。剛性の高い鉄筋コンクリート擁壁については、7箇所のうち5箇所が傾倒しているものであり、このうち4箇所は不適切な増積擁壁があった。無筋コンクリート擁壁で被害を受けたものは5箇所であり、このすべてがクラックの発生であった。また、このうちの3箇所では不適切な増積擁壁があった。変状の原因としては、不適切な増積擁壁等、設計を上回る載荷重の影響に起因して、擁壁本体に変状の発生したものが多く、その他では基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるもの、コンクリート打継目の処置が適切でなかったなど施工不良に起因して、擁壁本体に変状が発生しているものなどがあつた。

石積擁壁ではクラック発生が 29 箇所あり、その大半が基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるものであつた。被害の程度はそれ程激しくはなく、ほとんどすべてが軽微

なもので、クラックの修復を行い、現在も使用している状況である。一方、石積擁壁のはらみ出しは10箇所あつたが、これも基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によるものがほとんどであり、擁壁が沈下することによって、水平クラックが発生し、土圧に耐えられなくなってはらみ出したと思われるものが大半であつた。

各擁壁ともコーナー部分を持つものについては、コーナー部分を巻き込む状態で変状しているものが多かつた^{6), 7)}。擁壁のコーナー部分は、二方向の土圧が作用しているため、それらを合成する力が一方向よりも大きくなり、擁壁に過度の力が作用していること、地震時の慣性力も二方向の力を同時に受けるため、それらを合成する力が一方向よりも大きくなり、より一層大きな力が作用するようになることなどによって他の箇所より変状が生じやすい状況下であつたことを反映しているものと思われる。

(3) 擁壁基礎地盤

擁壁基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によって、擁壁本体に変状の発生している箇所が多かつたので、基礎地盤の状態を把握する目的で、変状が発生していた箇所とそれに近接した非変状箇所においてスウェーデン式サウンディング試験を実施した。図-8に結果の一例を示すが、基礎が沈下している所では N_{sw} 値が 10 程度であるのに対して、変状のなかつた所では N_{sw} 値が 200 以上となっている。図-9⁷⁾は調査結果全体をまとめた図であり、根入れ部分も含めた擁壁全高と基礎底面地盤の N_{sw} 値を示している。これによると、地盤の変状が認められる所の N_{sw} 値は、変状がない所の N_{sw} 値に比べて小さいことがわかる。変状が生じている所の N_{sw} 値は、擁壁全高が 6 m のものを除くと概ね 50 以下であるのに対して、変状を起

こしていない所の地盤の N_{sw} 値は120以上である。稲田⁸⁾による N 値と N_{sw} 値との相関式(礫, 砂, 砂質土における相関式)

$$N = 0.02W_{sw} + 0.06N_{sw} \quad (1)$$

により N 値に換算すると、基礎が沈下している所では概ね $N=3\sim5$ であるのに対して、変状のない所では $N=9\sim24$ となっている。

7. まとめ

(1) 擁壁の被災率

昭和50年以降、宅造法の適用を受け造成がなされた約56,000箇所のうち、被災を受けた擁壁は僅かに7箇所、被災率では0.01%であった。同様に、昭和37年から昭和49年に築造された約35,000箇所のうち、被災を受けた擁壁は86箇所、被災率では0.2%であった。これらに対して、昭和49年以前に造成された既成市街地内の約110,000箇所(推計値)では、被災を受けた擁壁が1,331箇所、推定被災率では1.2%であった。これらは概ね宅造法施行前に造られたものであり、同法の適用前擁壁であると推察される。

(2) 被災擁壁の変状形態

被災の形態を見ると、宅造法適用前擁壁では増積部分のみの変状が4%、クラックの発生が15%、はらみ出しが24%、傾倒が17%、上部半壊が12%、全壊が28%であった。これに対して宅造法の適用を受けた擁壁で見ると、クラック発生が60%、はらみ出しが24%、傾倒が11%、上部半壊が2%、全壊が3%であり、宅造法適用前擁壁に比べると上部半壊および全壊などが少なく、被害程度は軽微であった。

(3) 擁壁の被災原因

宅造法適用擁壁で被害を受けた93箇所の擁壁について、その被災原因の究明を行ったところ、すべて次のいずれかに分類され、擁壁本体の設計強度不足のみに起因して、本体に変状が生じたと思われるものはなかった。

- ① 一定区域の地盤変状に起因して、擁壁本体に変状が発生。
- ② 擁壁基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によって、擁壁本体に変状が発生。
- ③ 不適切な増積擁壁等、設計を上回る載荷重の影響に起因して、擁壁本体に変状が発生。

- ④ コンクリート打継目の処置が適切でなかったなど、施工不良に起因して、擁壁本体に変状が発生。

以上のことより、宅造法に規定する技術基準に基づき築造された擁壁は、兵庫県南部地震において特別なものを除き、大きな被災を受けていないことから、当該地震において経験した震度 V に相当する地震に対しては十分な安定性を有しているものと思われる。震度 $VI\sim VII$ の区域については、存在する擁壁が少なかったことから、今後の研究に待つところが大きい。これらの区域においても被災擁壁が認められなかったことより、かなりの耐震性を有しているものと推察される。基礎地盤については個々の問題であるが、兵庫県南部地震による被害でも基礎地盤の支持力不足や基礎の沈下によって変状が発生していたので、十分な締固め等による地盤支持力確保と盛土地盤においては過大な評価を下さないことが必要となる。

謝辞: 本調査の実施に当たって、終始御協力をいただいた、住宅・都市整備公団都市開発事業部工事課をはじめ、兵庫県都市住宅部建築指導課、神戸市建設局総務部宅地開発指導課の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤田和夫, 笠間太郎: 大阪西北部地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 通産省工業技術院地質調査所, 1982.
- 2) 藤田和夫, 笠間太郎: 神戸地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 通産省工業技術院地質調査所, 1982.
- 3) 藤田和夫, 前田保夫: 須磨地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 通産省工業技術院地質調査所, 1984.
- 4) 参謀本部陸軍測量局: 京阪地方仮製貳萬分宅地形図神戸兵庫近傍24面組, 大日本測量(株)資料調査部複製, 1984~1989.
- 5) 建設省建築研究所: 平成7年兵庫県南部地震被害調査中間報告書, 建物被害状況図-全壊率・全建物・街区別-, (社)建築研究振興協会, 1995.
- 6) 二木幹夫: 宅地地盤および擁壁の調査報告, 基礎工, Vol.23, No.10, pp.59-63, 1995.
- 7) 二木幹夫: 住宅基礎と宅地地盤における教訓, 基礎工, Vol.24, No.11, pp.17-21, 1996.
- 8) 土質調査法改定編集委員会編: 地盤調査法, (社)地盤工学会, pp.217-219, 1995.

(1998.12.14 受付)

CHARACTERISTICS AND CAUSE FOR DAMAGE OF RETAINING WALLS ON HOUSING LOTS BY THE HYOGOKEN-NAMBU EARTHQUAKE

Takashi OKIMURA, Mikio FUTAKI, Atsushi OKAMOTO and Mitsuhiro NAMBU

The many retaining walls on housing lots were damaged by the Hyogoken-Nambu earthquake. The characteristics of these damage and the cause for it have been investigated, and the relationship between these damage and various factors has been analyzed. Moreover, on the representatives of the housing lots where retaining walls were damaged, Swedish weight sounding tests have been made in comparison with the housing lots in the neighborhood of them where retaining walls were not damaged. As a result, the cause for damage and the degree of stability to retaining walls of an earthquake occurring have been revealed.