

地震に強い土地、弱い土地

神戸大学都市安全研究センター

教授 沖村 孝

1. 過去の地震による宅地災害

1)宮城県沖地震

昭和 53 年 6 月 12 日 M7.4 震度 5 (大船渡、石巻、仙台、新庄、福島)、27 人死亡

- ・盛土の崩壊：砂質シルト、高さ 30m、16,000m²、130,000m³、死者 1 名
- ・盛土の崩壊：地下水あり、10,000m²、地すべり性
- ・斜面の崩壊：凝灰角れき岩、延長 85m、2,000m³、住宅 4 戸半壊
- ・斜面の崩壊：高さ 43m、延長 110m、6,000m³、全壊 1 戸、半壊 3 戸、重傷者 1 名

2)日本海中部地震

昭和 58 年 5 月 26 日 M7.7 震度 5 (秋田、深浦、むつ)、104 人死亡

- ・秋田市中心部：鉄筋コンクリート建造物に亀裂、出入り口が傾斜等の被害
- ・雄物川筋：地盤液状化に起因する家屋の傾斜、亀裂の被害
- ・男鹿市域：盛土地盤上の建物の傾斜、工業高校グラウンド及び鉄骨実習棟地盤における亀裂、噴砂、沈下ならびにこれによる建物の間仕切壁、天井の破損
- ・能代市域：家屋の倒壊、地盤液状化による鉄筋コンクリート造建物の傾斜、造成地における木造家屋の基礎破壊等の被害
- ・南津軽郡浪岡町：鉄筋コンクリート造 4 階建病院の柱にせん断亀裂、壁面タイルの剥落、窓ガラス破損等の被害

3)釧路沖地震

平成 5 年 1 月 15 日 M7.8 震度 6 (釧路)、死者 1 名、負傷者 93 名、全壊 12 棟、半壊 73 棟

- ・斜面崩壊：緑ヶ丘 6 丁目、幅 70m、長さ 20m、高さ 11m
- ・標茶町：緩斜面末端で地すべり、住宅被害
- ・釧路港：液状化発生、岸壁後背地盤で 50cm 沈下、トラックヤードの亀裂、噴砂 (対策効果もあり)

4)北海道南西沖地震

平成 5 年 7 月 12 日 M7.8 震度 5 (小樽、江差、深浦)、230 人死亡

- ・津波と火災発生
- ・山腹斜面崩壊：奥尻港洋々荘裏山
- ・斜面崩壊：奥尻島、大成町、北檜山町、瀬棚町で多数発生

5)北海道東方沖地震

平成6年10月4日 M8.1 震度6(釧路)

- ・津波：花咲港 173cm
- ・盛土造成地の建物、老朽化した建物、煉瓦造りで耐震性のない建物が被害

6)三陸はるか沖地震

平成6年12月28日 M7.5 震度6(八戸) 死者3名、重傷者66名、
損壊9,522棟

- ・津波：宮古 55cm
- ・ガス、電気、通信のライフライン被害

7)兵庫県南部地震

平成7年1月17日 M7.2 震度7(宝塚、西宮、芦屋、神戸、北淡、一宮、津名)
6,433人死亡

- ・自然がけあるいは切土斜面の崩壊
- ・自然台地上宅地内の亀裂
- ・盛土造成地全体の変状
- ・盛土造成地全体の変状に伴う個々の宅地地盤の崩壊や擁壁の亀裂
- ・宅地地盤の崩壊

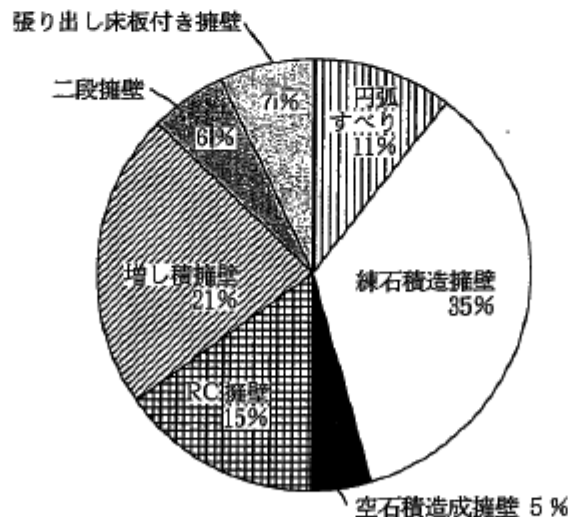


図-1 各種擁壁の被害の状況¹⁾

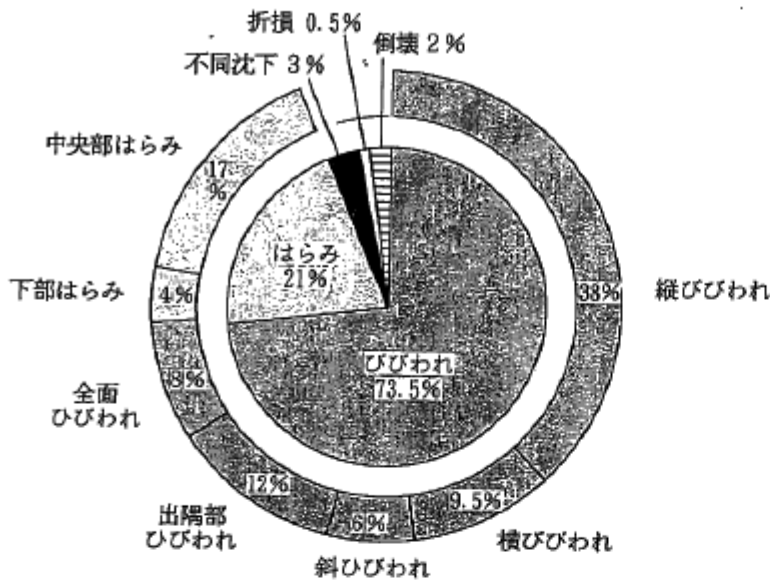


図-2 練り石積み擁壁の被害の状況¹⁾

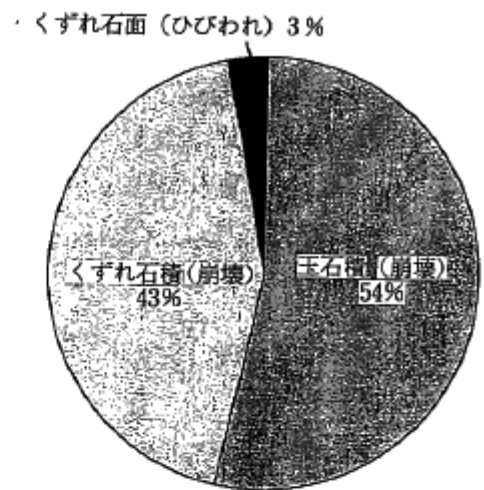


図-3 空石積み擁壁の被害の状況¹⁾

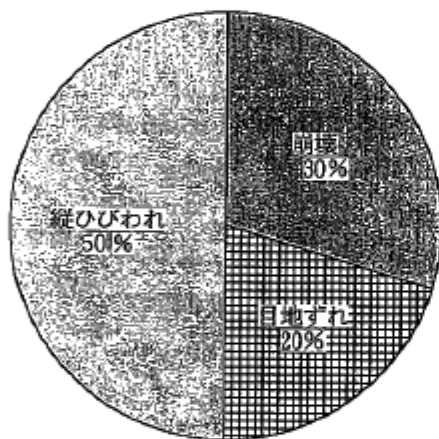


図-4 鉄筋コンクリート擁壁の被害の状況¹⁾

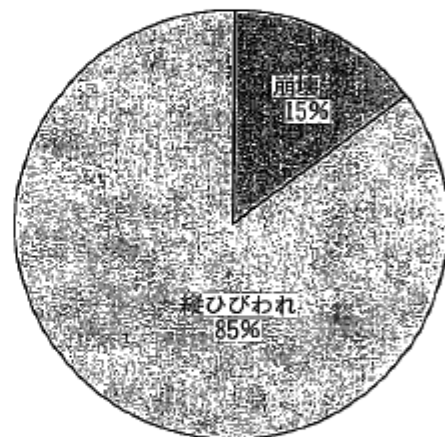


図-5 増し積み擁壁の被害の状況¹⁾

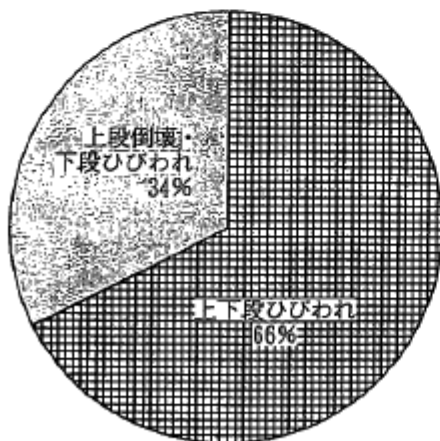


図-6 二段積み擁壁の被害の状況¹⁾

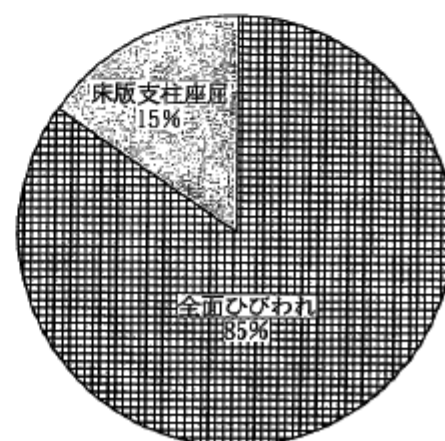


図-7 張り出し床版付き擁壁の被害の状況¹⁾

2. 過去の地震による宅地被害のまとめ

過去の地震による被害の報告はほとんどが盛土である。これらは表-1に示すように4つのパターンに区分されている¹⁸⁾。

表-1 地震による被災形態と特徴²⁾

	模 式 図	特 徴
I		<p>旧の谷筋もしくは山麓部に堆積していた崖錐や崩積土、強風化土上に盛土したために、地震時にこれらがすべり面となって変状、崩壊が発生したケース。宮城県沖地震で多く見られた。盛土材下部の岩塊が地下水の侵入などにより脆弱したことも一因に挙げられる。</p>
II		<p>盛土材が砂質土主体であり、盛土内に地下水が存在していたため、地下水位面下の材料が地震時に液状化を起し、盛土自体が流動性の破壊を起したケース。すべり面が面ではなく厚みを持ったゾーンである可能性が高い。</p>
III		<p>兵庫県南部地震で多く見られた変状パターンである。盛土層およびその下位に分布する緩い崖錐(砂質土主体)が液状化を起し、地盤が傾斜していたために流動性の変状が生じたケース。移動量は大きいところで2~3mに達している。図にはすべり面を破線で記入しているが、明確なすべり面ではなく、崖錐全体もしくは一部が流動を起して下方へ移動したものであると思われる。</p>
IV		<p>軟弱な旧湿地部に盛土されていたため、地震時に地震動の増幅が激しく、盛土自体がそれに耐えきれずすべり破壊を起したケース。盛土部にも地下水水位が存在したために盛土自体の強度が弱かったこと、軟弱な層が側方流動を起したことも原因として考えられる。</p>

3. 兵庫県南部地震による宅地被害の解析

兵庫県南部地震では山腹斜面崩壊のみならず宅地地盤においても変形が発生した。兵庫県南部地震により発生した宅地の地盤変状区域は56区域であるが、このうち1区域に複数のブロックで変状が見られた場所もあったため、箇所数としては65カ所であったと報告されている。兵庫県南部地震ではこのうちパターンⅢの形状で変状が出現した。なおパターンⅢでも区域が小さいものも発生している。65カ所の変状箇所は、変状が発生した場所によって宅盤とのり面に分けるとそれぞれ41カ所と24カ所になる。

3. 1 宅盤とのり面での変状の特徴とその原因

(1)宅盤変状

- ①現地盤の傾斜は 10° 未満の緩傾斜が多い。
- ②地下水位は平均GL-5mと浅く、変状が発生した深さよりも浅いところに地下水位が存在していた。
- ③宅盤変状箇所の盛土厚は平均5mと薄く、変状箇所の約40%は盛土基盤に崩壊性堆積物である崖錐が分布していた。両地層とも変動の可能性がある地層であり、両方の地層を併せて考えると、概ね6~10mの層厚で被災していた。
- ④崖錐は主として旧地盤の谷部に堆積しており、砂質土が主体となっている。これらの地層はほとんど地下水に満たされていた。
- ⑤流動化した層は地下水面下の盛土あるいは崖錐層内に存在している。N値は概ね10以下であった。

以上のことから、宅盤変状箇所の特徴は、変状が緩斜面でしかも盛土厚があまり厚くないところで発生していることである。斜面安定の問題としてとらえると、この条件は安定側で、それよりむしろ危険側の急斜面・高盛土で被害がないのは一見矛盾して見える。これは、今回被災した古い造成地には急な地形が少ないこととも関連しているが、今回分析したように急な地形には、地下水がないことが原因していると考えられる。換言すれば、今回の被害は、地下水位の高い、緩傾斜な場所において、盛土あるいは崖錐の緩い地盤(N値<10)が、激しい地震外力を受けて液状化し、緩くても傾斜があるため、地盤が流動化し、その結果、地すべり的な宅盤変状に至ったところが多かったものと推察される。この状況証拠としては、宅盤変状が生じたところの末端部で噴砂が認められたところ何カ所が存在した。

(2)のり面変状

- ①分析対象の24カ所のうち、9カ所でのり面崩壊が見られ、残りの15カ所ではクラックやのり面の押し出しが見られた。
- ②想定すべり面のN値は概ね10以下であるが、一部でN=12~20を示すところもある。

③変状のあった箇所のうち旧地盤の傾斜角が 20° 以上のところでは盛土内に地下水が存在しないところがほとんどであった。これに対して旧地盤傾斜角が 20° 未満のところでは、ほとんどの斜面で盛土内に地下水が存在しており、地下水の存在と地盤変状との関係が深くなる可能性を示唆している。

④のり高 15m 未満で、のり面の傾斜が 30° 未満のところでは、変状が発生していなかった。これは「宅地防災マニュアル」や「道路土工のり面工・斜面安定工指針」に示されている標準盛土勾配（のり高 15m 以下）の範囲内の形状である。

以上の特徴から、のり面変状については盛土内に地下水位が存在していなくても変状の発生しているところがあり、のり面が高くなって地震動が増幅されたことや、のり面を構成する盛土地盤の強度が小さいことにより変状が発生したものと推察される。

一方、のり高が 15m 以下ののり面については、「宅地防災マニュアル」や「道路土工のり面工・斜面安定工指針」の基準を満たしておれば、兵庫県南部地震による強い地震外力を受けても十分安定は保たれていたと考えられる。

3. 2 安定解析から見た作用震度

ボーリング調査資料を参考にして、土質定数等を設定し、液状化発生の可能性の高い宅盤・のり面と、液状発生の可能性の低い宅盤・のり面の代表的な事例を対象として震度法による安定解析を行った。

(1)宅盤変状

①宅盤変状での実被害形状は、ほとんどが複合すべり面形状である。

②液状化発生の可能性が低いところでの安定計算の結果では、限界震度が $0.22\sim 0.32$ であった。一方、宅盤が変状した場所の地震動推定値は大きくても 0.25 程度であり、限界震度と大きな差は生じていない。このことより実際に作用した水平震度は 0.25 前後と推定された。

③水平震度を 0.25 と仮定して、液状化が発生する可能性が高い宅盤で安全率を求めたところ、 1.0 以上となった。現実に宅盤が変状しているため、この安全率が 1.0 となるためには、せん断抵抗力が $15\sim 30\%$ 低下することが必要と算出された。この値は、すべり面深度を GL-7m、地下水位を GL-3m とすると、 $1.4\sim 2.9\text{m}$ の水頭上昇に相当する。この水頭上昇により噴砂や地盤の盛り上がり起きたものと推定される。

(2)のり面

①実被害の形状はほぼ円弧状であり、計算で求めた最小安全率の円弧とほぼ一致している。

②のり面変状のところは、液状化発生の可能性が低いところが多く、このようなところで限界震度を求めると、 $0.26\sim 0.34$ となった。

4. 建物帯状被害の解析

兵庫県南部地震以降、神戸市街地の深部の構造を把握するために数多くの地盤調査が実施された。これらは深部ボーリングのみならず物理探査も多く実施された。このため地震以前ではほとんど分かっていなかった神戸の地盤が、地震以降は多分世界でも最も詳しく明らかにされることになった。これらの調査結果より明らかになったことは、神戸市街地の基盤である花崗岩は予想以上に深く、六甲山麓近傍で急に落ち込みその深さは 1,000～1,500m にも達することが明らかになった（図-8 参照）。地表から花崗岩までは、沖積層、段丘相当層に続いて、大阪層群厚く分布している。急に花崗岩が落ち込む原因は六甲山地を形成する逆断層に起因する。図から明らかなように神戸市街地は基盤岩が盆地のようになっており、その盆地には堆積層が厚く分布している。しかもこの花崗岩は段差を有する形状で現れている。このような形状では、図-9 に示したように、堆積層内を地表に向かって上昇する波と同時に、盆地の端から新たな回折波や表面波が発生して伝播するために、山麓からある程度離れた地点でこれらが集まるために、帯状になったという説が出されて

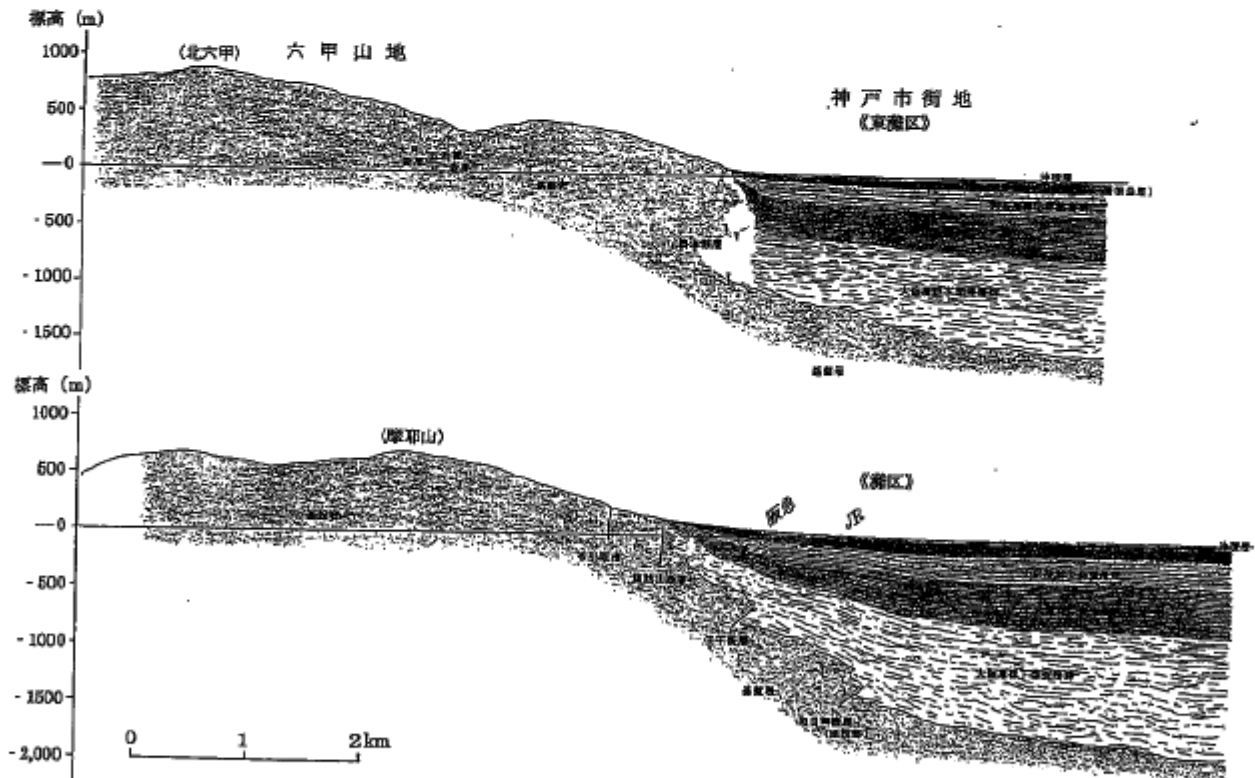


図-8 神戸市街地の深部地盤構造³⁾

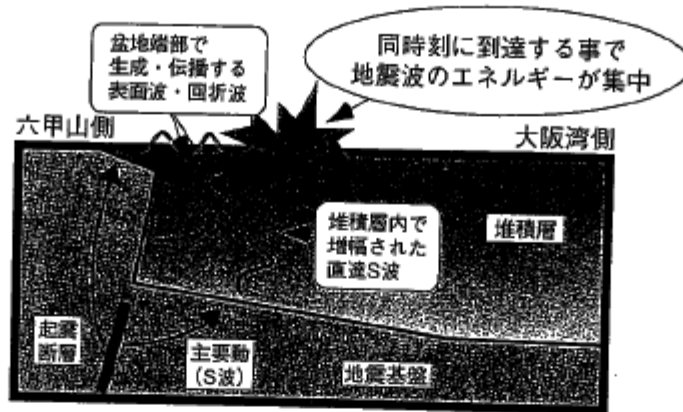


図-9 震災の帯メカニズム概念図⁴⁾

いる。二次元断面で簡単な計算を行ってみると、集中するプロセスは別としても、結果は山麓から離れた場所で、加速度や速度が大きくなる傾向が現れる。これらの結果より、今回の地震で建築構造物の被害分布が帯状になった一因としては、今回新たに明らかになった神戸の深部地盤構造の影響があるものと考えられる。しかし、これ以外に、建築構造物が直接指示されている地表近くの地盤特性や、建築構造物そのものの耐震特性の影響を受けていることも事実である。

地表近くの地盤情報に関しては、神戸市ではボーリング地盤情報を公開し、学識経験者や多くの技術者の協力を得て、神戸地盤情報データベース「神戸JIBANKUN」を構築した。これらの情報を用いて現在多くの研究者が被害の原因の解析を行っている。これらの結果よりその原因が明らかになれば、次には将来予想される地震に対する危険度マップができあがることになり、神戸の地震対策は大いに向上するものと思われる。

しかし、地震の被害を軽減させるには、このような行政からの情報だけでは緊急時にはあまり役に立たないことを神戸市民は知ることができた。被害を少しでも減らすためには、行政の緊急時における対応力の強化とともに、市民自らが「自分の命は自分で守る」ことを日頃から念頭において、自分たちが住む近隣の人との連携や防災に対する心構えを忘れずに持つておくことも大切である。

参考文献

- 1)全国住宅地協会連合会・日本宅地開発協会：宅地造成技術、下巻、489p.、1999.
- 2)沖村孝、二木幹夫、岡本敦、南部光広：兵庫県南部地震による宅地地盤被害と各種要因との関係分析、土木学会論文集、623/IV-43、259-270、1999.
- 3)神戸市：阪神・淡路大震災と神戸の活断層、55p.、1999.
- 4)都市地震防災基盤図検討委員会：地震防災と深部地盤、日本応用地質学会・全国地質調査業連合会、16p.、1999.