

4. 平地・斜面地における地震災害と耐震設計

本章の検討においては、マクロ的に地盤特性と被災状況の関係を把握すること、および木造家屋を被災構造物の主な対象として浅層の地盤特性との関連について検討を進めることにした。

特に平地部分で他の被災地域に比べ地盤状況の把握しやすい西宮地区について詳細な検討を行った。斜面地における被害傾向として、宅地盛土に関する事例が多いことから、その要因分析についても統計的に検討した。

4.1 平地における被災要因の分析

全壊率は丁町目毎に整理された木造家屋の全壊率¹⁾を既存ボーリング地点における全壊率として設定することとした。建物の被害は地盤が一般に軟弱とされている海よりの地区、また地盤は良好であるが推定断層に近い山よりの地区で被害率が少なく、いわゆる「震災の帯」と言われたように中央部に集中する形となっている。

地震発生後に約2万人になされたアンケート調査により得られた体感震度分布²⁾は広範囲に分布しており、構造家屋の全壊率が限定された地域(震災の帯)に集中するのと対称的である。

また、建物被害と同様、二面的な被害状況を示すものとして上水道の被害分布図³⁾との比較を行なった。埋設管の被災状況は、日本水道協会から公表された西宮地域の被害個所を利用して、既存ボーリング地点より半径200m内に存在する被災個所数として評価することとした。

4.1.1 震源断層距離

図4.1.1に木造家屋の全壊率と震源断層距離の関係を示した。木造家屋の全壊率は、震源距離3km付近で80%程度を示し震源から離れると共に急激に減少する傾向が認められ、震源距離7~8km付近では全壊率が10~20%に低下する。このように、木造家屋の全壊率は震源距離により減少する傾向が明瞭に見られる。地震動は震源断層からの対数距離に対して減衰することが知られている。そこで、木造家屋の全壊率と震源距離の関係を、対数距離に対する関数として近似すると図中の破線となる。近似ラインは西宮地域における全壊率と震源距離の全体的な減少傾向を良く表しているようである。このような、木造家屋の全壊率と震源距離の関係は算術距離にほぼ比例しているとの報告¹⁾もあり更に検討の必要がある。図4.1.2に埋設管の被災個所数(既存ボーリング地点より半径200m内に発生した被災個所数)と震源断層距離の関係を示した。埋設管の被害は木造家屋の全壊率に見られるような震源距離による減少傾向は見られず、木造家屋の被災状況と異なる傾向にあることがわかる。

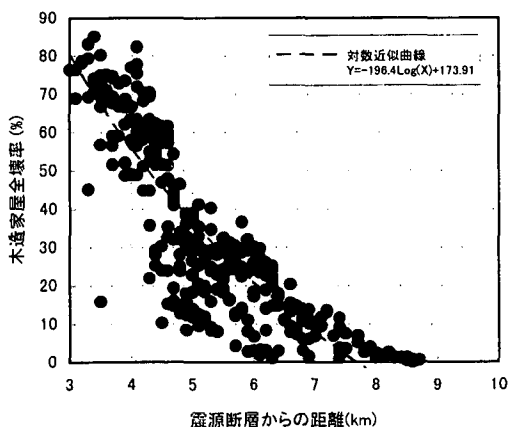


図 4.1.1 木造家屋の全壊率と震源断層距離の関係

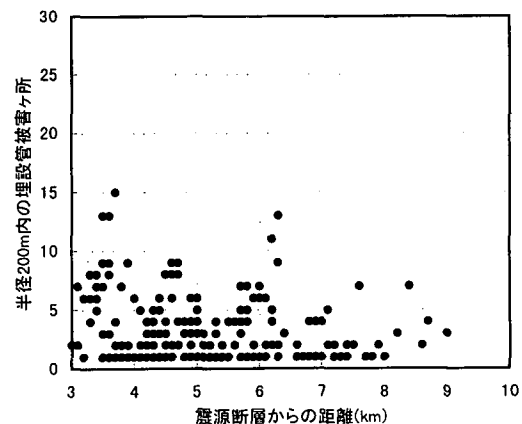


図 4.1.2 埋設管の被災個所数と震源断層距離の関係

4.1.2 微地形区分

図 4.1.3 に微地形区分に対する地盤状況として、地表面から 20m 深度間の平均N値分布を示した。
 また、木造家屋の全壊率、埋設管被害個所および体感震度と震源距離の関係を微地形区分毎に整理すると図 4.1.4、図 4.1.5、および図 4.1.6 となる。

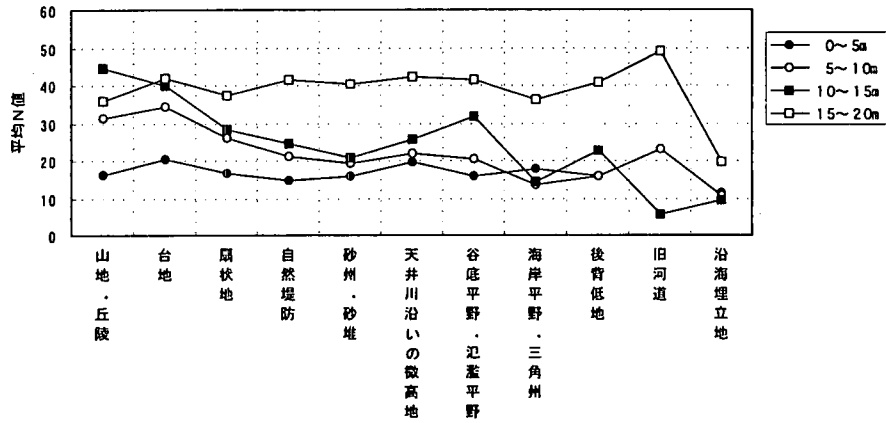


図 4.1.3 微地形区分毎の深度平均N値

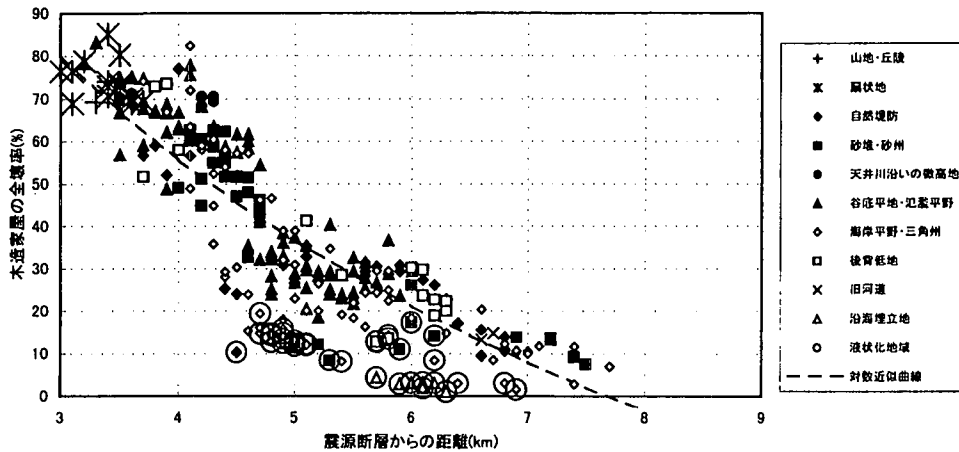


図 4.1.4 木造家屋の全壊率と震源距離の関係（微地形区分）

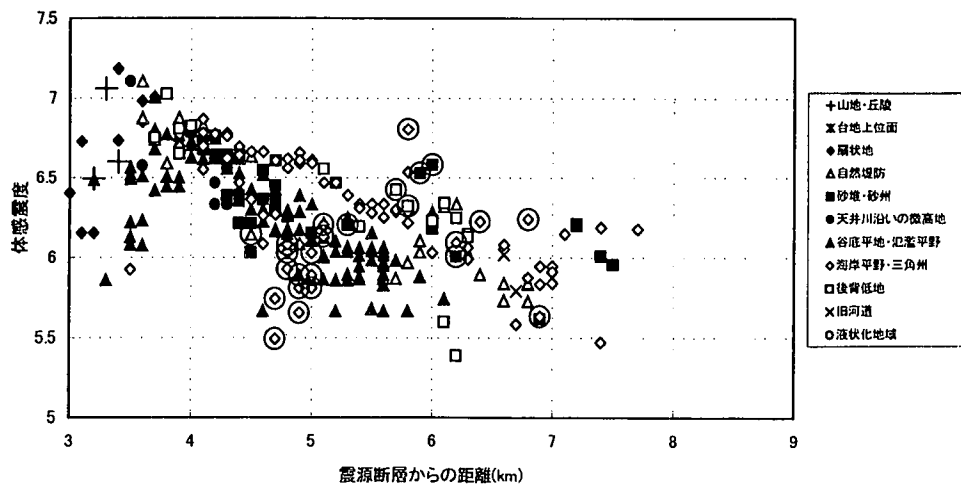


図 4.1.5 埋設管被害個所と震源距離の関係（微地形区分）

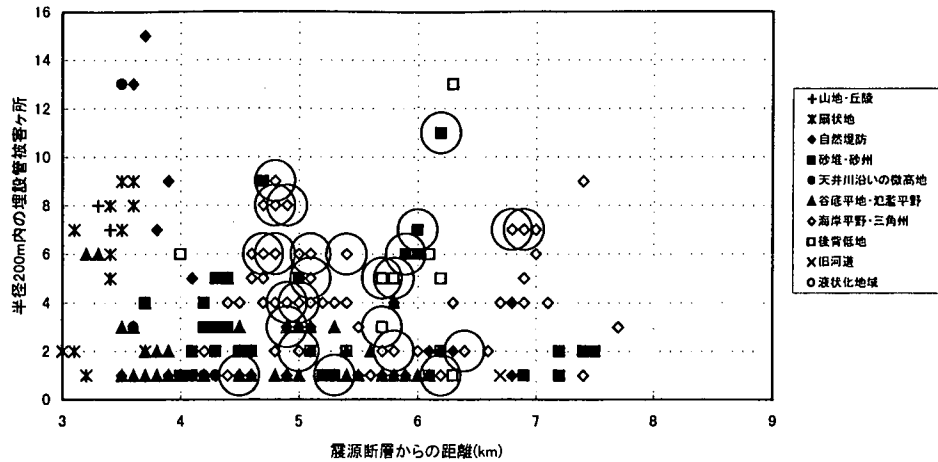


図 4.1.6 体感震度と震源距離の関係（微地形区分）

木造家屋の全壊率は、微地形区分による明瞭な違いはみられない。一方、震源距離 6km 付近の沿岸埋立地および 5km 付近の海岸平野・三角州において平均的値（破線）より小さな値を示している。これらの地域は西宮地域の変状発生域から類推される液状化地域¹⁾に一致する。

埋設管被害個所数は、海岸平野・三角州で高く、谷底平野・氾濫平野で低くなる傾向が見られ、微地形区分によって被災状況が異なるようである。

体感震度は木造家屋の被害と同様に震源距離に伴って減衰する。また、海岸平野・三角州で高く、谷底平野・氾濫平野で低くなる傾向が見られる。この傾向は埋設管被害と同様である。液状化地盤では体感震度が極端に低下する。

微地形の影響は、埋設管の被災および体感震度に顕著であり、海岸平野・三角州で被災および体感震度が高く、谷底平野・氾濫平野で低い傾向がある。このような差は、微地形区分毎の深度平均 N 値（図 4.1.3）に示すように、10～15m 間の平均 N 値が「海岸平野・三角州」では 15 回に対し、「谷底平野・氾濫平野」では 30 回と高いため、「海岸平野・三角州」において埋設管の被害が集中すると共に、体感震度も高い値を示したと考えられる。一方、木造家屋の被災は、埋設管の被災および体感震度に比較して、明瞭な微地形の影響は見られない。

4.1.3 液状化地域

液状化地域における木造家屋の全壊率は平均的な値から 5～20%低く、地震動の減衰等が全壊率の低下をもたらしたと考えられる。一方、埋設管被害は液状化地域で比較的高い値を示し、木造家屋の全壊率が低下するのと逆の傾向を示す。また、体感震度は震源距離 5km 付近で極端に低下する傾向が見られ、震源距離が 6～7km 付近になるとその影響は不明瞭となる。

一方、木造家屋以外の建物に対して実施された被害調査では上部構造と基礎構造の被害に地域差が見られるとの報告がある⁴⁾。これによれば、上部構造と基礎構造の被害は表 4.1.1 にまとめられている。

表 4.1.1 の「埋立地」は、明治海岸線より南の地域であり大半が液状化地域と見なすと、上部構造は木造家屋と同様に液状化地域で被害が小さく、基礎構造は埋設管と同様に液状化地域で被害が多いと言える。木造家屋と木造家屋以外の上部構造、埋設管と基礎構造は、固有振動数など構造物の詳細は異なるものの、液状化地域（埋立地）における被害は類似した特徴がある。

表 4.1.1 上部構造と基礎構造の被害と地形区分⁴⁾

上部構造（大破）	平坦地	36 件	扇状地	18 件
			低地	18 件
基礎構造（被害あり）	埋立地	8 件		
	平坦地	35 件	扇状地	7 件
			低地	28 件
	埋立地	51 件		

4.1.4 地形境界

地形境界付近での被災状況を検討する。微地形分布図から求めた微地形の境界から 100m 以内の地域と、それ以上離れた地域の木造家屋全壊率および埋設管被害個所数を図 4.1.7, 図 4.1.8 に示した。

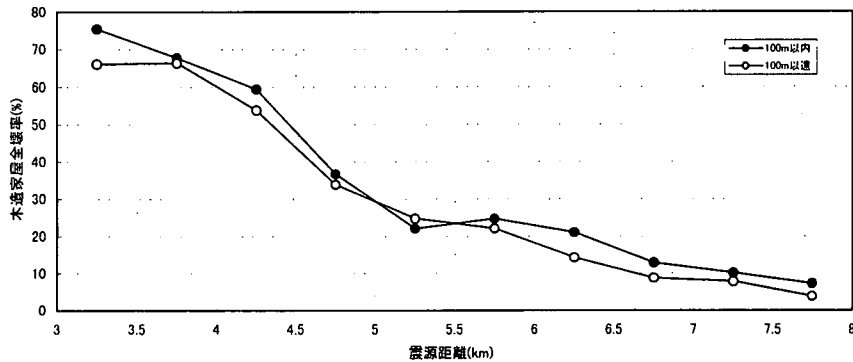


図 4.1.7 地形境界付近の木造家屋全壊率

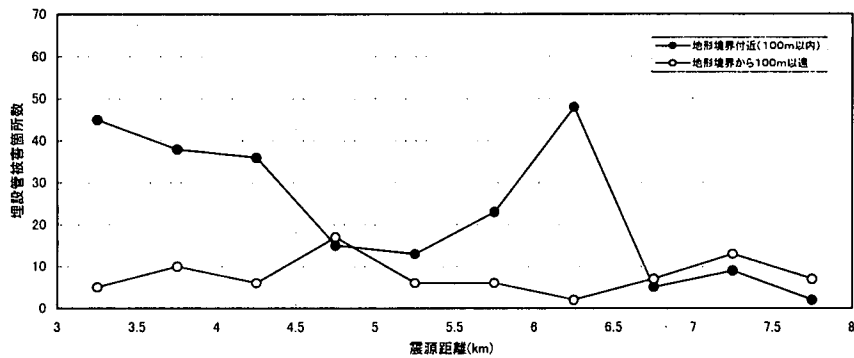


図 4.1.8 地形境界付近の埋設管被害個所数

木造家屋の全壊率は、地形境界から離れた地域より近接した地域（100m 以内）の方が 2~5% 高い値を示す。埋設管の被害個数も同様に、地形境界に近接した地域が多い。地形境界から離れた地域の被害個数は震源距離に関わらず 10 前後であるのに対して、地形境界近傍の地域では 10~30 を示す。ここで、震源距離 5.5~6.5km 区間では地盤の液状化による影響が大きいと考えられる。

地形境界が近傍に位置するか否かは、木造家屋および埋設管の被害に大きく影響するようである。このような地形境界は不整形地盤と見なすことができ、家屋被害が集中する傾向が多く報告されている⁵⁾。

4.1.5 地盤種別

耐震設計上の地盤種別に利用される地盤の特性値 T_g ⁶⁾ を利用して、被災状況との関連性を検討した。地盤の特性値 T_g は次式で評価される。

$$T_g = 4 \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{V_{si}}$$

ここで、 T_g : 地盤の特性値(s), H_i : i 番目の地層の厚さ(m)

V_{si} : i 番目の地層の平均せん断弾性波速度(m/s)

粘性土の場合 : $V_{si} = 100N_i^{1/3}$ ($1 \leq N_i \leq 25$), 砂質土の場合 : $V_{si} = 80N_i^{1/3}$ ($1 \leq N_i \leq 50$)

N_i : 標準貫入試験による i 番目の地層の平均 N 値

既存ボーリングデータにおける N 値の深度分布から、地点毎に T_g を算出した。

図 4.1.9, 図 4.1.10 および図 4.1.11 に T_g と木造家屋の全壊率, 埋設管被害個所数および体感震度の

関係を示した。また、各図には断層距離 5~6km におけるデータの傾向線を破線で示している。

木造家屋の全壊率は、断層距離が 5km 以下では T_g 値に関わらず、大半が 40~90% と高い値を示すが、断層距離が 5km を超えると、 $T_g=0.3$ を境にして T_g の増加と共に低下する傾向にある。

埋設管被害個所数は、震源距離 5km 以下では T_g と有為な関係はないが、震源距離が 5km を超えると T_g が増加するにつれて多くなる傾向が見られる。

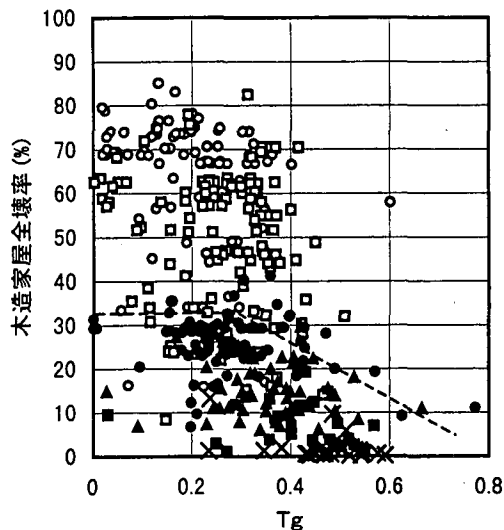


図 4.1.9 地盤の特性値 T_g と木造家屋の全壊率

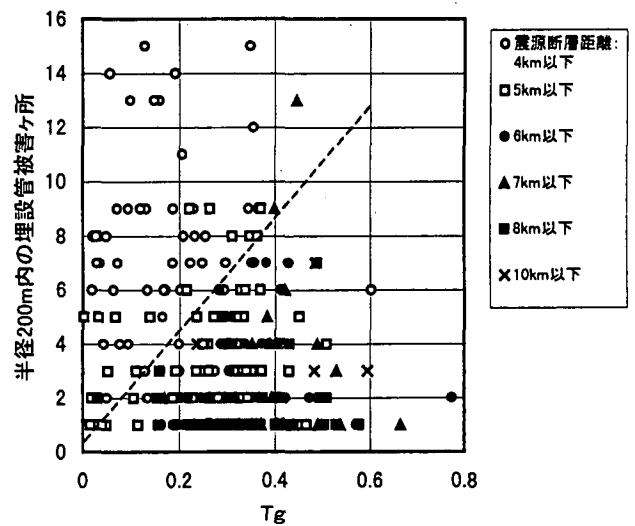


図 4.1.10 地盤の特性値 T_g と埋設管被害個所数

体感震度は家屋被害や埋設管被害と同様に震源距離 5km を境に傾向が異なる。震源距離 5km 以下では体感震度 6~7 に分布するものの、5km を超えると T_g の増加と共に体感震度も大きな値になる傾向が見られる。

地盤の特性値 T_g と木造家屋被害、埋設管被害および体感震度の関係は、震源距離 5km 付近を境に異なる。これは、震源距離が 5km 以下の場合、地震動が大きく T_g の大小による影響が被災状況や体感震度に表れ難い可能性がある。震源距離が 5km 以上になると、 T_g の影響が明瞭となるようである。

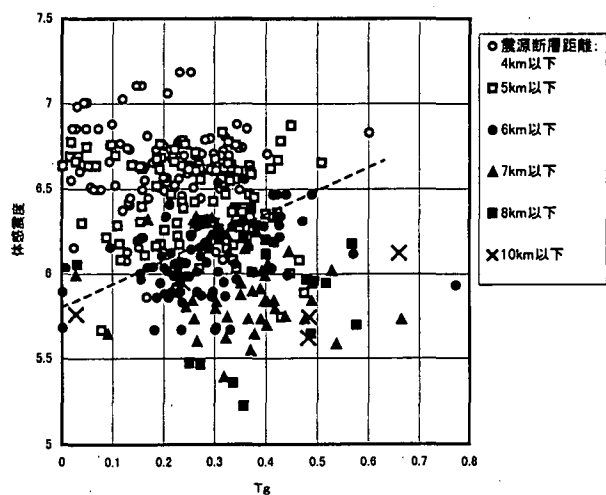


図 4.2.11 地盤の特性値 T_g と体感震度の関係

設管の被害や体感震度からは、 T_g が大きくなるにつれて、すなわち地盤種別では I 種地盤から II 種、III 種地盤へと移るにしたがって、地震動を大きく感じると共に埋設管等の被害も増加する傾向が得られ、従来の知見と一致する。一方、木造家屋では、これとは逆に T_g が大きくなるほど全壊率が低下する傾向が得られた。この原因については、地盤と木造家屋の固有周期の関係や、軟弱地盤における免震効果等の影響をさらに検討する必要がある。また、外力として与えられた基盤地震波の特徴、すなわち短周期地震波等の特性を加味した総合的な評価が必要である。

4.2 斜面地における被災要因の分析

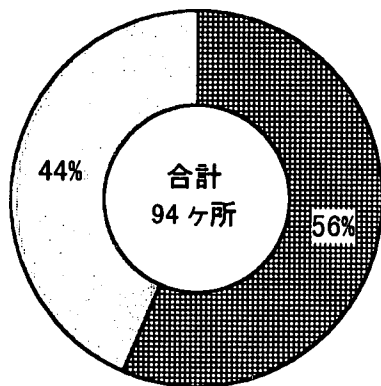
阪神間における丘陵地域の斜面地被害については、日本応用地質学会関西支部・関西地質調査業協会合

同調査団(1995)⁷⁾、釜井ほか(1995)⁸⁾、三田村ほか(1996)⁹⁾などが比較的広い範囲の変状分布調査を行っている。これらをもとに、調査資料が豊富な芦屋・西宮地域の丘陵地周辺部での斜面地の変状(111箇所)をその要因別に区分し示した。

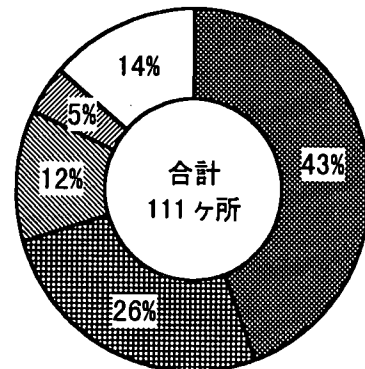
この地域に分布する谷埋め盛土・ため池跡地(94箇所)のうち、斜面変状・噴砂の確認された箇所は全体の56%にも達している、高い被害率を示す(図4.2.1)。斜面被害の要因別割合からみると、厚い谷埋め盛土に関わる変状は43%と最も高く、薄い盛土も合わせた盛土に関わる変状の割合は、70%近くに達している(図4.2.2)。

西宮・芦屋地域の谷埋め盛土について、厚さ、施工時期、周辺地質、方向性、断層距離(地質図に示される既存断層から盛土地の中心までの距離)などの項目を判別し、これらの項目が斜面変状の規模(変状を起こした地域の面積)に対してどの程度寄与しているかを検討するため、数量化I類による多変量解析を行った。

各アイテムのスコアのレンジ、アイテムと被害規模との偏相関係数から、被害規模に大きく関与する要因として地質・厚さ・方向性が挙げられる。地質としては沖積層上の盛土での被害が大きく地震動の増幅効果や液化化が介在している可能性が大きい。盛土厚さは、5mを目安に3カテゴリーに区分したが、5~10mの厚さの盛土で被害が大きくなる傾向がある。盛土厚の厚いものは、造成時期も比較的新しいものが多く、施工管理も良いため被害は軽微であったのではなかろうか。造成時期に関しても、より古いもので被害規模が大きくなる傾向がみられる。断層との位置関係においては、断層近傍から沈降側で大きくなる傾向があり、断層付近での強震動、沈降側での厚い被覆層による増幅効果やフォーカシング効果が介在しているとみられる。また、断層近傍では、地形的にも遷急点があり、この付近に盛土地が並ぶ傾向があり、変状をきたした盛土地も断層線付近に集中している。



■ 地すべり・液化化が確認されたもの
□ 確認されなかったもの



■ 厚い谷埋め盛土に関わるもの
■ 薄い盛土に関わるもの
■ 段丘崖に関わるもの
■ 谷底沖積層に関わるもの
□ 液化化発生箇所

図 4.2.1 谷埋め盛土・ため池跡地変状の割合 図 4.2.2 宅地・斜面地の変状の要因別割合

参考文献

- 1) 岩崎好規, 山本浩司, 越後智雄(1996): 兵庫県南部地震の強震動特性, 阪神・淡路大震災, 東海大学出版会, pp. 58-77
- 2) 神戸大学工学部建設学科土木系教室 耐震工学耐震工学研究室(1996): 兵庫県南部地震に関するアンケート調査集計結果報告書
- 3) 濱田晃之, 岩崎好規(1997): 阪神直下型地震による西宮域の地上および地中構造物被害—地上木造建物と地中水道管の被害, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp. 117-118
- 4) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会 兵庫県南部地震建築基礎被害調査委員会(1996): 兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告, pp. 35-36
- 5) 日本応用地質学会 阪神・淡路大震災調査(1995): 兵庫県南部地震—地質・地盤と災害—一報告書, pp. 186-190
- 6) 日本道路協会(1996): 道路橋示方書・同解説(V耐震設計編) pp. 43-48
- 7) 日本応用地質学会関西支部・関西地質調査業協会合同調査団(1995): 六甲山地東部およびその周辺の地盤変状と地震被害, 「阪神大震災」緊急合同調査報告会資料集, pp. 34-76
- 8) 釜井俊孝, 鈴木清史, 磯辺洋一(1995): 1995年兵庫県南部地震による阪神都市地域の斜面災害, 応用地質, 36巻, pp. 47-50
- 9) 三田村宗樹, 中川康一, 升本真二, 塩野清治, 吉川周作, 古山勝彦他(1996): 1995年兵庫県南部地震による西宮・大阪地域の震災と地盤構造, 第四紀研究, 35巻, pp. 179-188