

1. 概要

1.1 兵庫県南部地震の概要

(1) 地震の諸元と震度分布

気象庁が平成7年1月17日に発表した、兵庫県南部地震の諸元(暫定値)は次のとおりである。

名称	: 平成7年(1995年) 兵庫県南部地震
発震時	: 1995年 1月 17日 (火曜日) 05時 46分 52秒
震源	: 34°36.4' N, 135°02.6' E (淡路島北部)
震源深さ	: 14.3 Km
マグニチュード	: 7.2

気象庁が1月17日に発表した各地の震度分布は、図-1.1.1に示すとおりであるが、気象庁は2月8日に現地調査にもとづき図-1.1.2に示す震度Ⅶ(激震)の分布域を発表した。



図-1.1.1 兵庫県南部地震による各地の震度(気象庁発表)¹⁾



図-1.1.2 現地調査による震度Ⅶの分布(気象庁発表)²⁾

本震に引き続き発生した余震のうち顕著なもの分布を図-1.1.3に示す。余震の分布は淡路島北部から兵庫県宝塚市付近まで、ほぼ北東-南西の方向に集中している。余震分布や地震波形の解析などから、この地震を発生させた震源断層は北東-南西方向に延び、断層面は高角度で、運動方向は右横ずれであったと推定されている。

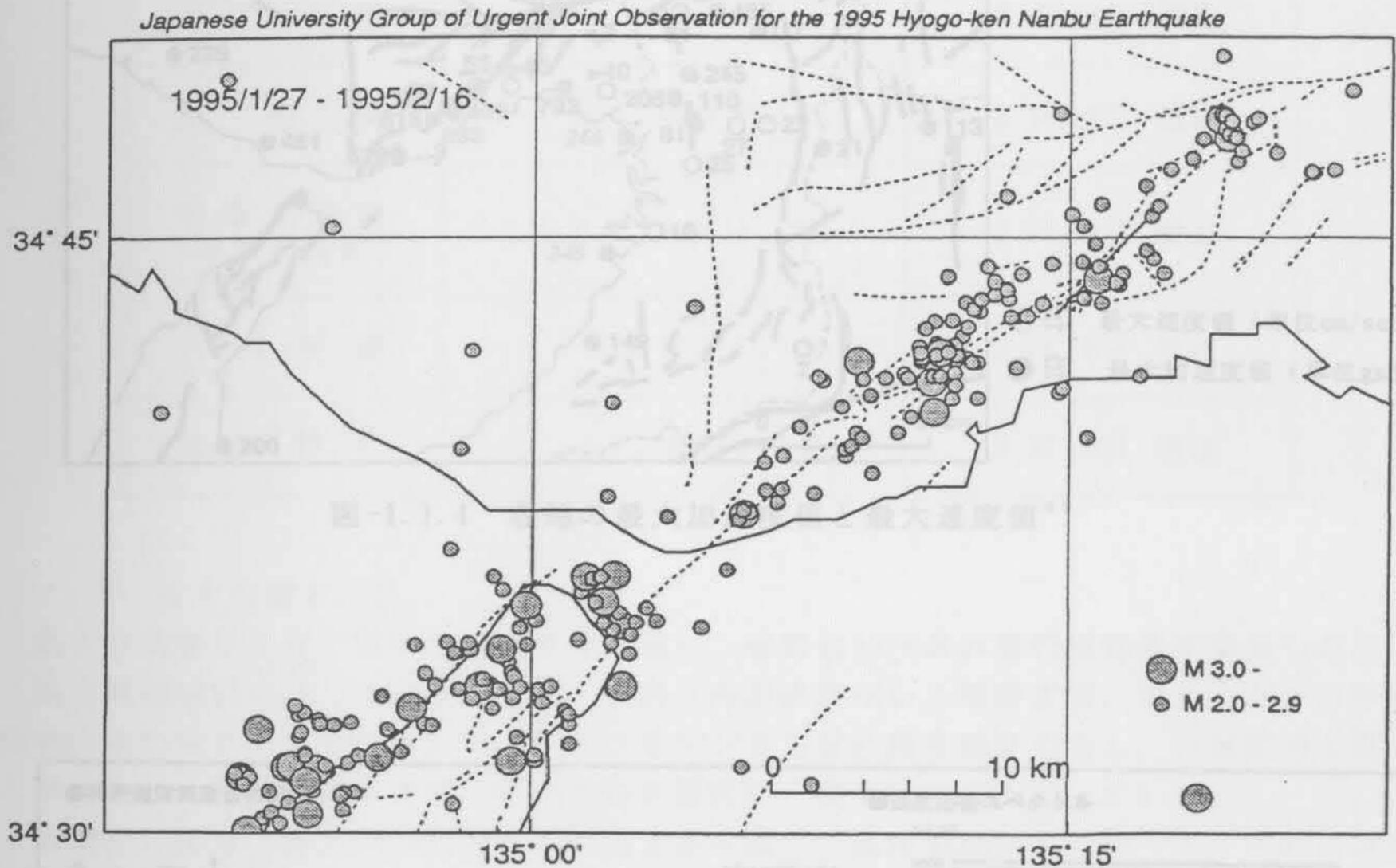


図-1.1.3 兵庫県南部地震に伴う余震の分布(大学緊急合同観測グループ)³⁾

1.1.2 観測された地震動

気象庁をはじめとする各機関が発表した、地震動の最大加速度および最大速度をもとにして作成された地震動の最大値の分布図を図-1.1.4に示す。この図により神戸市須磨区から兵庫県西宮市にかけて、ほぼ500~600ガルの最大加速度が観測され、中には800ガル前後に達している箇所もある。

図-1.1.5に、神戸海洋気象台で観測された地震記録を示す。この図より、主要なゆれは継続時間が10秒弱で周期0.5~1.0秒程度の成分が卓越していること、また上下動も300ガル以上に達していることなどがわかる。

図-1.1.5 神戸海洋気象台における地震記録(気象庁)⁴⁾

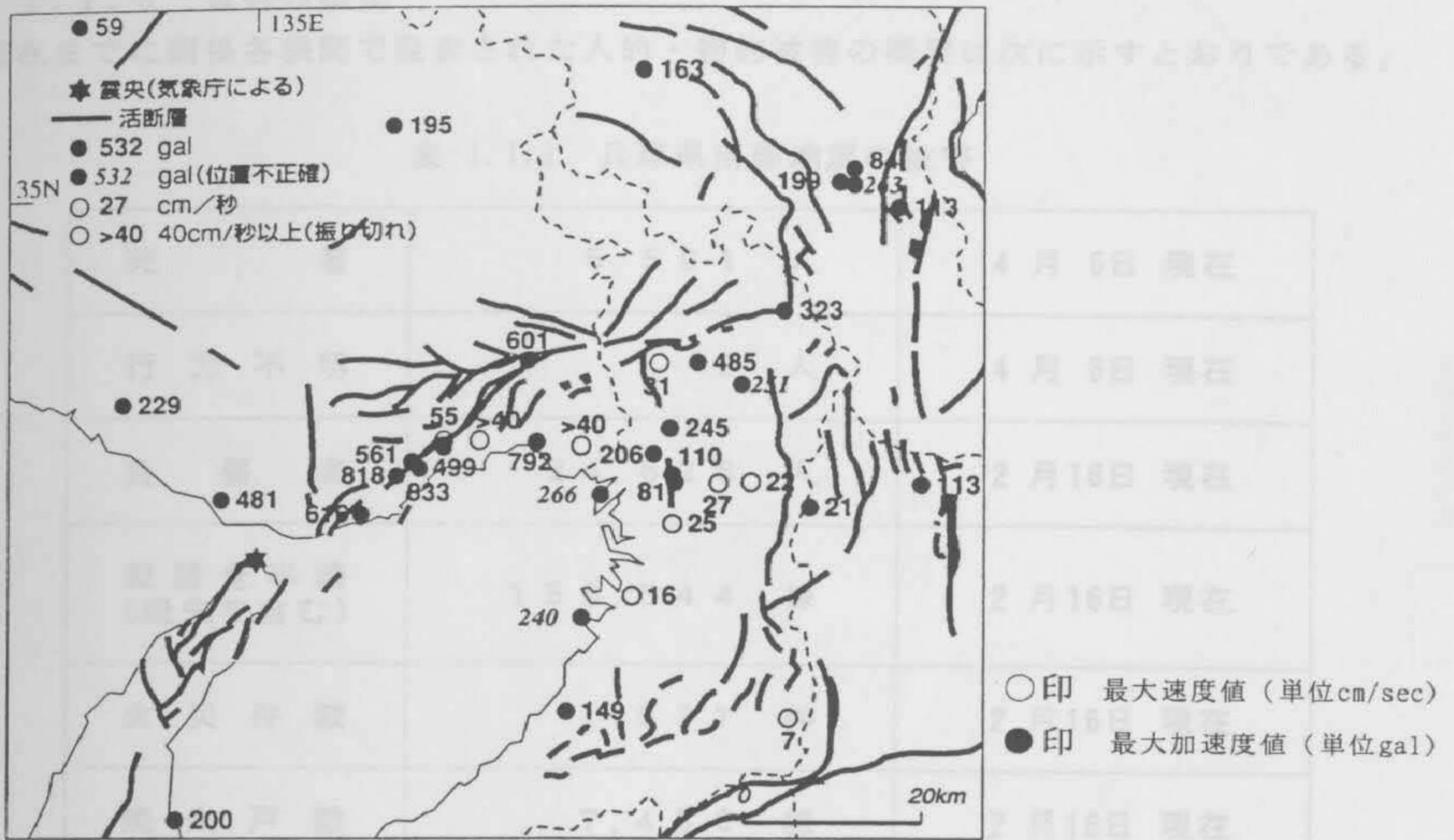


図-1.1.4 各地の最大加速度値と最大速度値⁴⁾

1.2 被害の調査方法

我々の調査は1月下旬から約2ヶ月に渡り、総勢約1500名の専門技術者を動員した。調査範囲は図-1.2.1に示すように、東西方向が武蔵川から飯沼まで、南北方向が六甲山、葛飾山脈からポートアイランド、大塚アイランドも含む両岸線までとし、行政区域で見ると

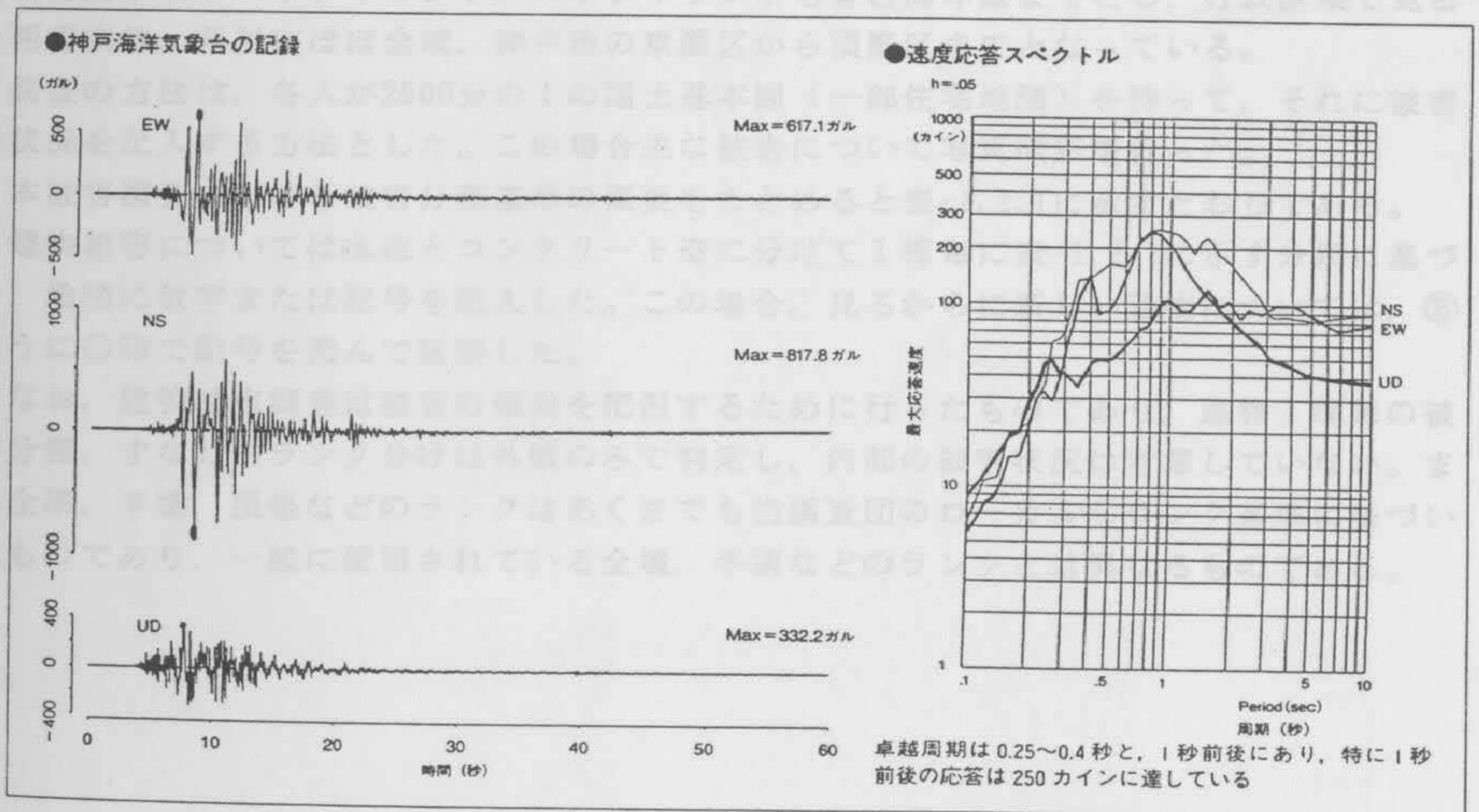


図-1.1.5 神戸海洋気象台における地震記録(気象庁)⁵⁾

1.1.3 被害の概要

現在までに関係各機関で発表された人的・物的被害の概要は次に示すとおりである。

表-1.1.1 兵庫県南部地震の被害

死 者	5,501 人	4月6日 現在
行方不明	2 人	4月6日 現在
負 傷 者	34,626 人	2月16日 現在
家屋全半壊 (焼失を含む)	159,544 棟	2月16日 現在
火災件数	531 件	2月16日 現在
焼失戸数	7,456 棟	2月16日 現在

1.2 被害の調査方法

我々の調査は1月下旬から約2カ月に渡り、総勢約1500名の専門技術者を動員した。

調査範囲は図-1.2.1に示すように、東西方向が武庫川から須磨まで、南北方向が六甲山南側山麓からポートアイランド、六甲アイランドも含む海岸線までとし、行政区域で見ると西宮南部、芦屋市ほぼ全域、神戸市の東灘区から須磨区までとなっている。

調査の方法は、各人が2500分の1の国土基本図（一部住宅地図）を持って、それに被害の状況を記入する方法とした。この場合主な被害について写真撮影を行った。

本被害調査における被害分類基準の概要をまとめると表-1.2.1に示すとおりである。

建物被害については木造とコンクリート造に分けて1棟毎に表-1.2.1に示す分類に基づき、地図に数字または記号を記入した。この場合、見るからに新しい建物については、㊸のように○印で記号を囲んで区別した。

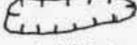
なお、建物被害調査は被害の傾向を把握するために行ったものであり、建物1棟毎の被害分類、すなわちランク分けは外観のみで判定し、内部の被害状況は考慮していない。また全壊、半壊、損傷などのランクはあくまでも当調査団のローカルなランク基準に基づいたものであり、一般に使用されている全壊、半壊などのランクとは異なるものである。



図-1.2.1 被害調査の範囲

被害調査の範囲

表-1.2.1 被害分類基準表

構造物の種類		被害状況	表示方法	
			記号など	色
建	木造家屋	被害なし, または軽微な被害。(Aランク)	被害状況毎に塗色	水
		損傷。 屋根瓦が落ちるなど, 現状で居住可能。(Bランク)		黄緑
		半壊。 家屋が傾斜し, 現状では居住不可。 大規模な修復が必要。(Cランク)		橙
		全壊。 倒壊または1階部倒壊。(Dランク)		赤
		火災による焼失。(Eランク)		茶
物	鉄筋・ コンクリー ト造建物	被害なしまたは壁に少々亀裂あり。(Aランク)	被害状況毎に塗色	水
		柱・梁に少々の亀裂。壁に亀裂あり, 窓が変形。 現状で居住可能。(Bランク)		黄緑
		柱・梁の鉄筋が露出し, 壁・窓に大きい亀裂や変状 あり。大規模な修復が必要。(Cランク)		橙
		倒壊あるいは柱・梁が座屈し, 建物が傾斜する。 (Dランク)		赤
		火災による被害。(Eランク)		茶
道路・ 鉄道	路面	亀裂が見られる。	線で表示	赤
		陥没・隆起または補修跡が見られる。	陥没：  隆起：  補修： 	
	高架橋	落橋, 著しい座屈, 傾斜など。 軽微な座屈など。	被害箇所を塗色	
斜面	自然	崩壊が発生している。		赤
	盛土			
河川	河川敷	亀裂が見られる。	線で表示	赤
	法面	崩壊が発生している。	被害箇所を塗色	
	橋梁・橋台	橋梁の落橋または橋台が損傷する。		
	護岸	転倒および崩壊が発生する。		
港湾	ケーソン および 背面地盤	ケーソンが移動, または背面地盤が大きく陥没。	被害箇所を塗色	赤
		ケーソンの不陸あるが, 背面地盤は亀裂・不陸程度		黄緑
液状化		噴砂現象が見られる。	噴砂範囲を塗色	茶
道路, 鉄道, 宅 地などの擁壁		転倒, 滑動, 破損などが見られる。	被害箇所を塗色	赤

1. 3 地盤災害の概要

今回の地震では、さまざまな地変が現れた。断層運動に直接関係する割れ目や地面の陥没・隆起もあれば、斜面変動に関係した地変もある。また、それらとは区別される地震動による独特の地変も発生しているように思われる。ここでは本調査成果と、公表されている研究成果を踏まえて、今回の地震による地盤災害の特徴を概観し、合わせて今後検討すべき課題をまとめた。

1. 3. 1 割れ目について

今回の地震では、多数の割れ目が地表に発生した(図-1.3.1)。そのひとつに、淡路島の野島断層に沿って現れた地表地震断層や断層変位に伴う地割れがある^{6)~8)}。地表地震断層とは断層破断面が地表に達した断層を言う。本州側では地表地震断層の存在に否定的な意見が多いが、最近の報告では、塩谷川の放水路トンネル内で横尾山断層に最大8.5cm右横ずれが観察され⁹⁾、地表部でも右横ずれの地変が観察されている¹⁰⁾。このほかにも地表地震断層や断層変位に伴う地割れの可能性のある地変が報告されており¹⁰⁾、今後詳細な検討が必要である。

本州側では、地表地震断層の可能性のある割れ目を除いても、なお多数の割れ目が盛土や埋立地など人工地盤を中心に発生している。これらの割れ目は地震動が引き金となった割れ目であるが、産出状況と現在なされている成因的な解釈を考慮すると、便宜的に①液状化と密接な割れ目、②地盤の揺れによって生じた割れ目、③低角度すべり面をもつ地すべりの滑落崖の3タイプに分けることができる。

①液状化と密接な割れ目

海岸部の埋立地では、今回の地震で、護岸の背面の地盤が液状化を起こし、ケーソンが海側に数mも移動して、背面地盤が陥没するという現象が起こった。このような大きな地変以外にも、ケーソンが海側に傾動し、背面地盤にケーソンに平行な割れ目群が形成されるという現象が各所で起こった。ケーソンの傾動角や、平面の割れ目の連続性や開口度はいろいろであり、割れ目に沿う噴砂の量も場所によって異なるが、ケーソンの傾動と背面地盤の平行な割れ目の発達という組合せは共通している。

②地盤の揺れによって生じた割れ目

このタイプの割れ目の多くは、開口を伴う引張割れ目であるが、しばしば開口割れ目が再び閉塞・衝突して形成された圧縮割れ目と共存している。この特徴は地盤の揺れによる引張りと圧縮を現しており、地盤の揺れによって生じた割れ目の証拠と考えられる。今このタイプの割れ目は、地盤と構造物の相互作用によって、強い構造物の揺れがその周囲の弱い地盤を痛めるという形で生じ易い。例えば、高層ビルや高架橋の支柱、電柱など上部構造の揺れの大きい構造物の周囲に発生している割れ目がそれである。同様の割れ目は地中構造物であるマンホールや配管の周辺の地盤にも発生している。また、コンクリート擁壁の背面地盤に擁壁と平行に発達する割れ目群もこのタイプであると考えられる。

③低角度すべり面をもつ地すべりの滑落崖

斜面地に段差をもつ開口割れ目が発達している場合、しばしば地すべりに関係した割れ目という解釈がなされる¹¹⁾。地変が発生したことは間違いのない事実であり、割れ目の形成に重力が作用した可能性も考えられるが、仮に重力の影響があったとして

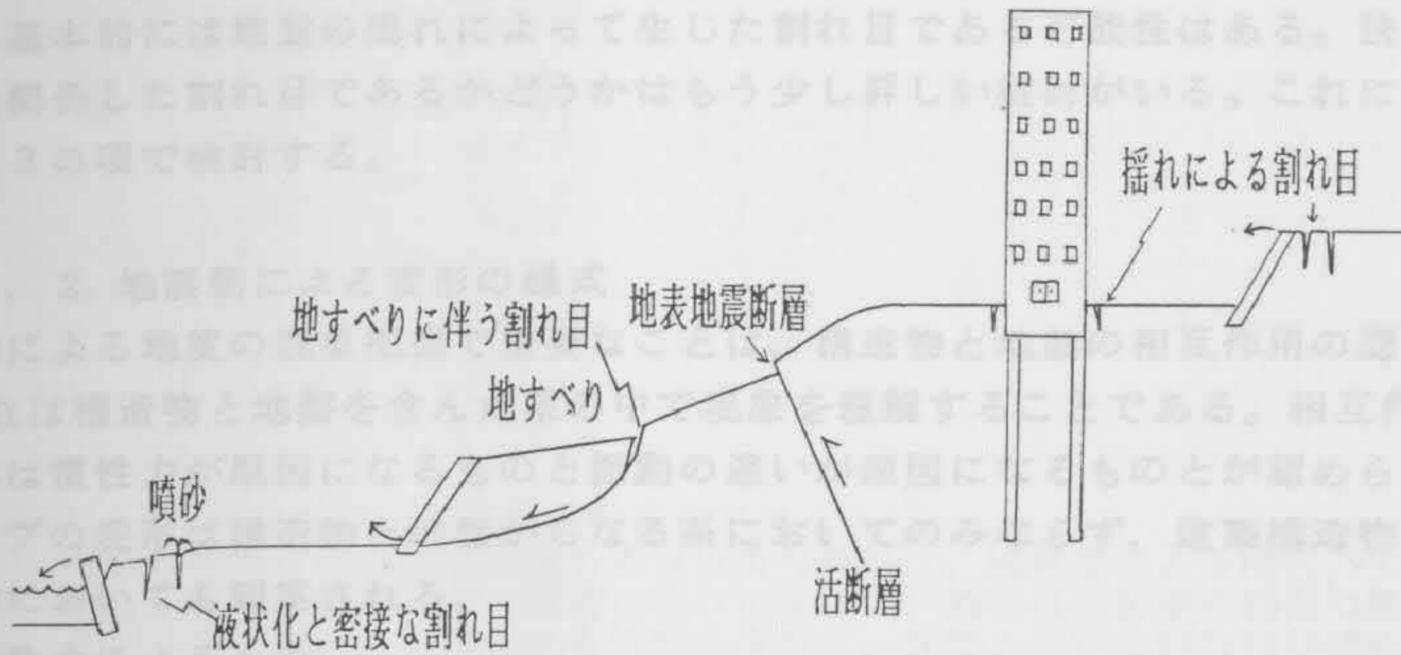


図-1.3.1 1995年兵庫県南部地震で地表に生じた割れ目のタイプ

飛び出しである(図-1.3.2、図-1.3.3)。このほか、比較的新鮮な花崗岩の崩壊や落石においても個々の花崗岩ブロックの移動は滑り現象である。

今回の地震では多くのコンクリート製建物が前方に傾動した。津波が破壊することもあったが、その原因は地震による傾動が主である。傾動の大きい建物は、傾動の大きい建物の揺れが原因である。図-1.3.4にコンクリート製建物の傾動のプロセスを示す。傾動の大きい建物の傾動の発生という組み合わせも、起きている現象は傾動の大きい建物の傾動と傾動の大きい建物の傾動であった可能性もある。ただし、傾動の大きい建物の傾動であったとしても、この現象は傾動の大きい建物の傾動であったことがどのような意味をもち、それがどの程度影響したか、液状化現象とどのような関係があるか、傾動の大きい建物の傾動の発生という組み合わせも、起きている現象は傾動の大きい建物の傾動と傾動の大きい建物の傾動であった可能性もある。ただし、傾動の大きい建物の傾動であったとしても、この現象は傾動の大きい建物の傾動であったことがどのような意味をもち、それがどの程度影響したか、液状化現象とどのような関係があるか、傾動の大きい建物の傾動の発生という組み合わせも、起きている現象は傾動の大きい建物の傾動と傾動の大きい建物の傾動であった可能性もある。

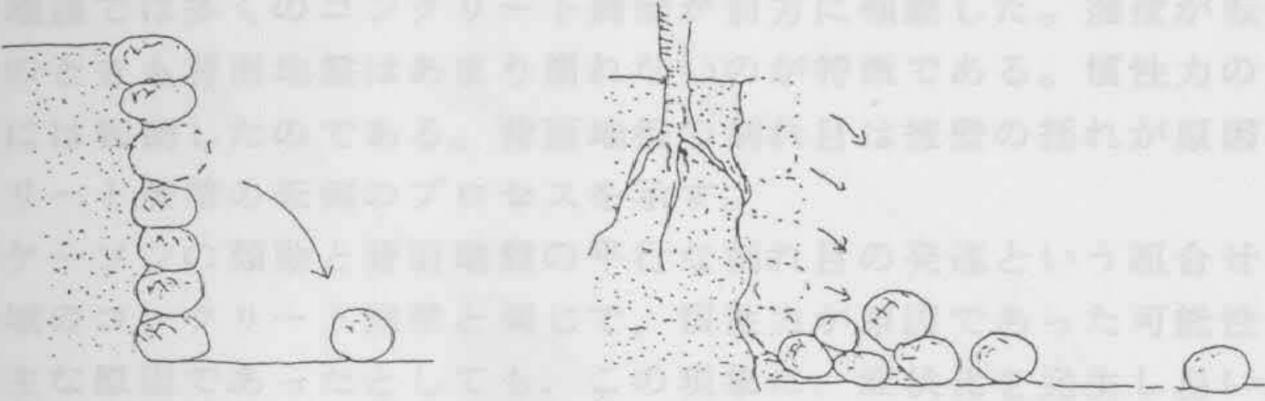


図-1.3.2 空石積みの石の飛び出し¹³⁾

慣性力の大きい石は飛び出すが、背後の土砂は崩れない。

このほか、傾動の大きい建物の傾動の発生という組み合わせも、起きている現象は傾動の大きい建物の傾動と傾動の大きい建物の傾動であった可能性もある。ただし、傾動の大きい建物の傾動であったとしても、この現象は傾動の大きい建物の傾動であったことがどのような意味をもち、それがどの程度影響したか、液状化現象とどのような関係があるか、傾動の大きい建物の傾動の発生という組み合わせも、起きている現象は傾動の大きい建物の傾動と傾動の大きい建物の傾動であった可能性もある。

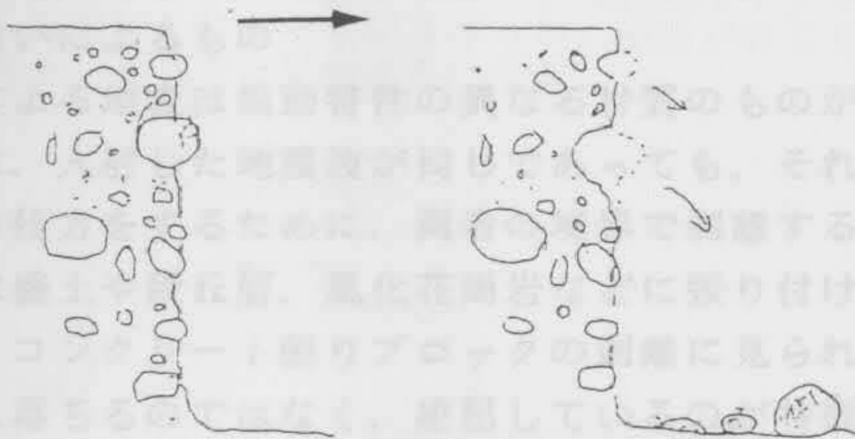


図-1.3.3 段丘堆積物中の巨礫の飛び出し¹³⁾

慣性力の大きい大きな礫ほど飛び出し易い。礫が飛び出しても、マトリックスの土砂がほとんど崩れないのは空石積みの石の飛び出しと同じである。

今回の地震では、表土連動に傾動が集中した。特に、活断層近傍の谷裡め妻土地域では

も、基本的には地盤の揺れによって生じた割れ目である可能性はある。狭義の地すべりに関係した割れ目であるかどうかはもう少し詳しい検討がいる。これについては1.3.3の項で検討する。

1. 3. 2 地震動による変形の様式

地震動による地変の現象把握で重要なことは、構造物と地盤の相互作用の認識である¹²⁾¹³⁾。それは構造物と地盤を含んだ系の中で現象を理解することである。相互作用の結果生じる変形は慣性力が原因になるものと振動の違いが原因になるものとが認められる¹³⁾。二つのタイプの変形は構造物と地盤からなる系においてのみならず、建築構造物においても、自然地盤においても観察される。

(1) 慣性力によるもの

慣性力による地変の典型は空石積みの石の飛び出しや段丘層の巨礫の飛び出しである(図-1.3.2, 図-1.3.3)。このほか、比較的新鮮な花崗岩の崩壊や落石においても個々の花崗岩ブロックの挙動は同じ現象である。

今回の地震では多くのコンクリート擁壁が前方に傾動した。擁壁が転倒することもあったが、そのときも背面地盤はあまり崩れないのが特徴である。慣性力の大きい擁壁だけが傾動さらには転倒したのである。背面地盤の割れ目は擁壁の揺れが原因である。図-1.3.4にコンクリート擁壁の転倒のプロセスを示す。

護岸のケーソンの傾動と背面地盤の平行な割れ目の発達という組合せも、起こっている現象は陸域のコンクリート擁壁と同じで、慣性力が原因であった可能性がある。ただし、慣性力が主な原因であったとしても、この現象に、液状化を発生し易い地盤であったことがどのような意味をもち、それがどの程度影響したか、液状化発生とはどのような時間関係にあったかなど、今後検討すべき課題は残っている。

このほか、前方への傾動は歩道の縁石や側溝の側面のコンクリート板においても観察される。これらの構造物はいずれも高さが低いが、現象的には擁壁の傾動と変わるところがない。これも地震動による慣性力が原因で生じた現象であると考えられる。

(2) 振動の違いによるもの

振動の違いによる地変は振動特性の異なる材質のものが貼り合わさっているところで発生する。これは、入射した地震波が同じであっても、それぞれの材料で別の揺れ方、すなわち別の変形の仕方をするために、両者の境界で剥離する現象である。構造物-地盤系におけるこの例は盛土や段丘層、風化花崗岩などに張り付けたコンクリート吹き付けやモルタル吹き付け、コンクリート張りブロックの剥離に見られる(図-1.3.5)。ここでは構造物が単に剥がれ落ちるのではなく、座屈しているのが特徴である。これは地震動によって構造物が波状に変形したことを示している。自然地盤では芝の剥離や花崗岩ブロックの表面の風化殻の剥離がある。

剥離現象としては道路のアスファルトやコンクリートと地盤との間でも観察される。この現象は慣性力によるすべりという側面をも合わせもっている。

1. 3. 3 地すべりについて

今回の地震では、盛土地盤に地変が集中した。特に、活断層近傍の谷埋め盛土地域では

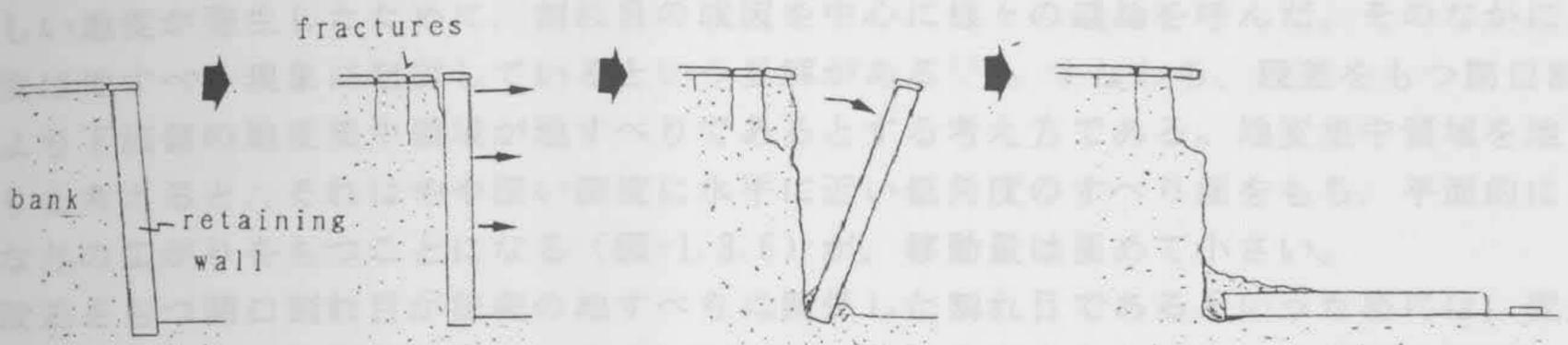


図-1.3.4 コンクリート擁壁の転倒のプロセス¹³⁾

擁壁の転倒は構造物と地盤の相互作用の典型で、地震動による慣性力で擁壁は傾動し、さらに転倒した。擁壁の揺れによって、割れ目は擁壁と地盤の境界で最も発生し易いが、地盤内部にも擁壁の近傍に、擁壁と平行な割れ目が発生する。擁壁が転倒しても地盤の崩壊は少なく、割れ目に挟まれた地盤の崩壊は曲げか座屈によるもので、低角度のすべり面によるものではない。

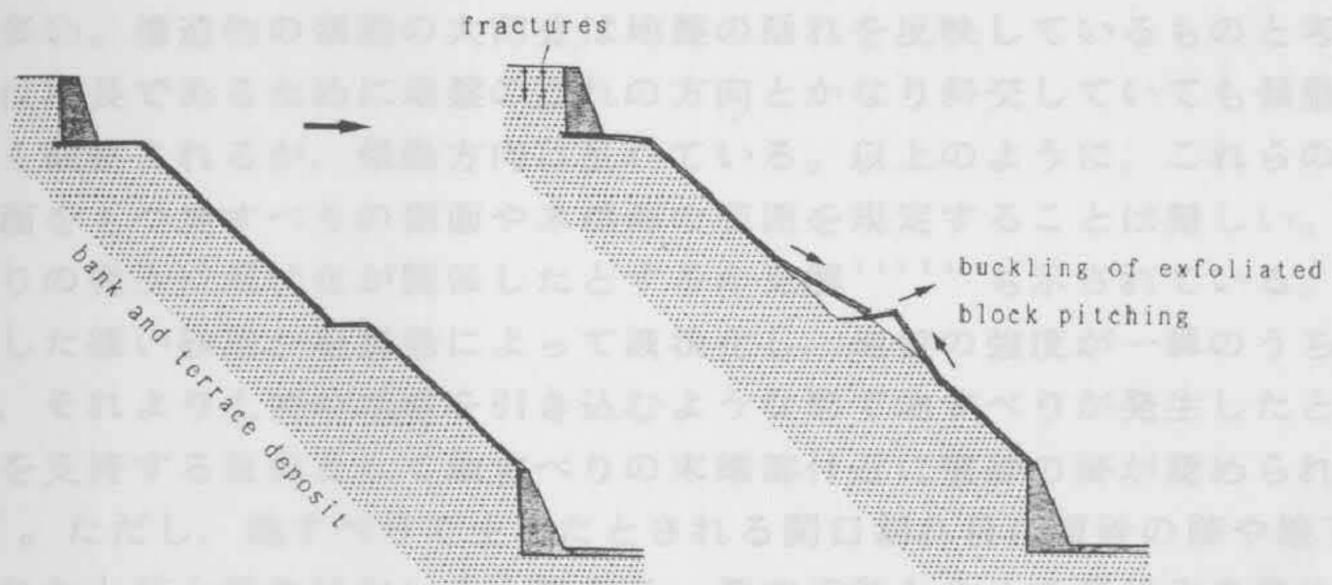


図-1.3.5 地震動による剥離現象の例

段丘堆積物と盛土からなる斜面に施工したコンクリート張りブロックが剥離している。コンクリート張りブロックは剥離しているが、背後の地盤は変形していない。剥離はしばしば座屈を伴うが、座屈が起こり易いのは、小段や階段の踊り場である。そこでは圧縮変形になる。

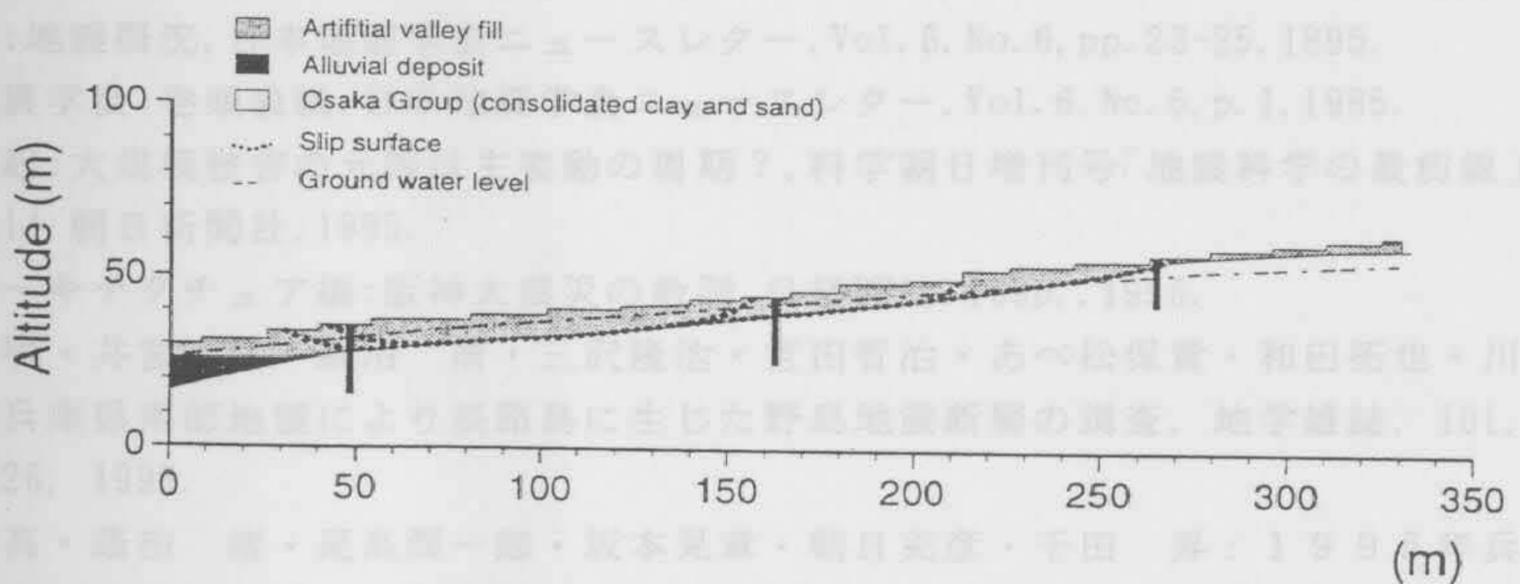


図-1.3.6 谷埋め盛土中に発生した地すべりの例¹¹⁾

激しい地変が発生したために、割れ目の成因を中心に様々の議論を呼んだ。そのなかに、地変は地すべり現象に起因しているという見解がある¹¹⁾。すなわち、段差をもつ開口割れ目より下流側の地変集中領域が地すべりであるとする考え方である。地変集中領域を地すべりと考えると、それはやや深い深度に水平に近い低角度のすべり面をもち、平面的にはかなりの広がりをもつことになる(図-1.3.6)が、移動量は極めて小さい。

段差をもつ開口割れ目が狭義の地すべりに関係した割れ目であるというためには、変形構造としてのすべり面を確認し、垂直に近い割れ目の少なくとも一本は地中の低角度のすべり面あるいは円弧のすべり面に連続していることを確かめる必要がある。

想定されている地すべり地内を歩くと、さまざまな地変が発生しているが、地中のすべり面に沿う滑動を支持する地変の発見は容易でない。地すべり地内でも擁壁は斜面前方に傾動し、深部のすべり面に沿う滑動を反映したものではない。歩道の縁石や側溝の側面のコンクリート板の傾動や、道路のアスファルトやコンクリートと地盤との間の剥離と慣性力によるすべりや乗り上げ・座屈(圧縮)は地表面の地変でしかなく、これらの構造物の移動方向(変位の方向)は構造物の配置に支配され、想定される地すべりの運動方向と一致しないものが多い。構造物の傾動の大部分は地盤の揺れを反映しているものと考えられる。縁石や側溝は横長であるために地盤の揺れの方向とかなり斜交していても傾動するため、傾動は数多く観察されるが、傾動方向は乱れている。以上のように、これらの地変から深部にすべり面をもつ地すべりの側面や末端部の範囲を規定することは難しい。

また、地すべりの発生に液状化が関係したとするの見解^{11) 14)}も示されている。すなわち、谷部に堆積した緩い砂層が地震動によって液状化し、地盤の強度が一瞬のうちに著しく小さくなって、それより上部の地盤を引き込むような形で地すべりが発生したという考えである。それを支持する証拠として地すべりの末端部付近に噴砂の跡が認められる例が示されている¹¹⁾。ただし、地すべりで生じたとされる開口割れ目に噴砂の跡や地下水上昇の痕跡が観察されたと言う報告はないようである。側方流動も含めて液状化の発生を支持する地質学的証拠を得ることと、液状化が地すべりの発生にどの程度影響したかについての検討が重要な課題である。

(参考文献)

- 1) 毎日新聞:平成7年1月18日朝刊,毎日新聞社,1995.
- 2) 気象庁:地震概況,日本地震学会ニュースレター,Vol.6, No.6, pp.23-25,1995.
- 3) 日本地震学会:巻頭表紙,日本地震学会ニュースレター,Vol.6, No.6, p.1,1995.
- 4) 瀬瀬一起:大規模被害の元凶は主要動の周期?,科学朝日増刊号「地震科学の最前線」,pp.11-14,朝日新聞社,1995.
- 5) 日経アーキテクチュア編:阪神大震災の教訓,日経BP社,199p.,1995.
- 6) 林 愛明・井宮 裕・飯沼 清・三沢隆治・吉田智治・あべ松保貴・和田拓也・川合 功一:兵庫県南部地震により淡路島に生じた野島地震断層の調査,地学雑誌,101, pp113-126,1995.
- 7) 中田 高・蓬田 清・尾高潤一郎・坂本晃章・朝日克彦・千田 昇:1995年兵庫県南部地震の地震断層,地学雑誌,101, pp127-142,1995.
- 8) 太田陽子・堀野正勝・国土地理院災害地理調査班:1995年兵庫県南部地震の際に出現した野島地震断層と被害状況,地学雑誌,101, pp127-142,1995.

- 9) 三田村宗樹：1995年兵庫県南部地震における土木構造物被害と阪神地域の地盤構造のいくつかの問題点，「阪神大震災」中間報告会－人工改変と地震災害－予稿集，日本応用地質学会，pp105-111，1995.
- 10) 桜井 孝：神戸側での断層と被害について，「阪神大震災」中間報告会－人工改変と地震災害－予稿集，日本応用地質学会，pp38-54，1995.
- 11) 釜井俊孝・鈴木清文・磯部一洋：兵庫県南部地震による都市地域の斜面変動－人工地形改変に伴う都市型斜面災害－，「阪神大震災」中間報告会－人工改変と地震災害－予稿集，日本応用地質学会，pp112-118，1995.
- 12) 横山俊治・菊山浩喜：兵庫県南部地震による地盤災害の特徴，「兵庫県南部地震」特別ポスターセッション 地震地質に関する調査・計測・研究要旨，p7.
- 13) 横山俊治・菊山浩喜：1995年兵庫県南部地震の地震動による地盤災害，兵庫県南部地震における調査・研究 公開シンポジウム－阪神・淡路大震災と地質環境－論文集，日本地質学会 環境地質研究委員会（印刷中）.
- 14) 川辺孝幸・六甲団体研究グループ：1995年兵庫県南部地震にともなう西宮市仁川百合野町の斜面災害について，「兵庫県南部地震」特別ポスターセッション 地震地質に関する調査・計測・研究要旨，p10.