

地盤災害

調査メンバー：松尾 稔（名古屋大学教授，地盤工学）
 落合 英俊（九州大学教授，地盤工学）
 森川 高行（名古屋大学助教授，交通計画学・土木計画学）
 梅村 順（日本大学工学部，地盤工学）

1.はじめに 平成7年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震では，各種土木構造物や都市施設の被害が大きかったが，地盤に関わる被害も甚大であった。本文は，第三次調査団地盤災害担当班として2月1日～3日に調査した埋立地・人工島，宅地造成地・急傾斜地，鉄道盛土・切土，および河川・貯水池堤防の被害の概要について報告する。

2.調査概要 今回調査を行ったのは，神戸市内5箇所，芦屋市内2箇所，西宮市内2箇所，および大阪市内3箇所である。図-1にこ

表-1 調査地一覧

分類	記号	調査地点
埋立地・人工島	I-1	神戸市ポートアイランド
	I-2	大阪北港ヨットハーバー
	I-3	大阪市港区天保山
宅地造成地・急傾斜地	H-1	神戸市東灘区岡本六丁目
	H-2	神戸市東灘区西岡本七丁目
	H-3	西宮市仁川百合野町
鉄道盛土・切土	R-1	神戸市東灘区岡本町三丁目JR神戸線（東海道本線） （摂津本山駅から住吉駅方向300m付近）
	R-2	神戸市東灘区御影塚町阪神本線石屋川駅西側
	R-3	芦屋市岩園町阪急神戸線 （夙川駅から芦屋川方向1km付近）
河川・貯水池堤防	RL-1	芦屋市業平町JR神戸線（東海道本線）芦屋川トンネル
	L-1	大阪市此花区・西淀川区新淀川河川堤防
	L-2	西宮市満地谷町ニテコ池堤防

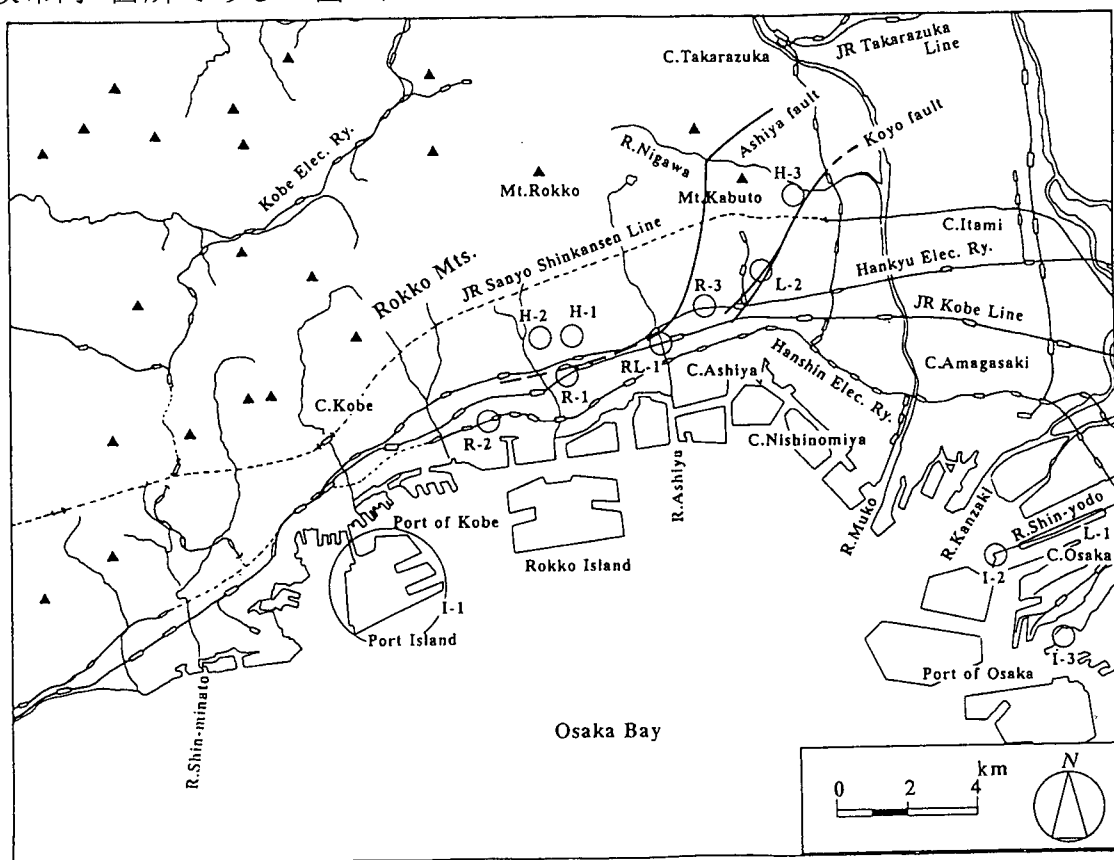


図-1 調査地案内図



写真-1 ポートアイランドでの噴砂痕



写真-2 基礎の浮き上がり

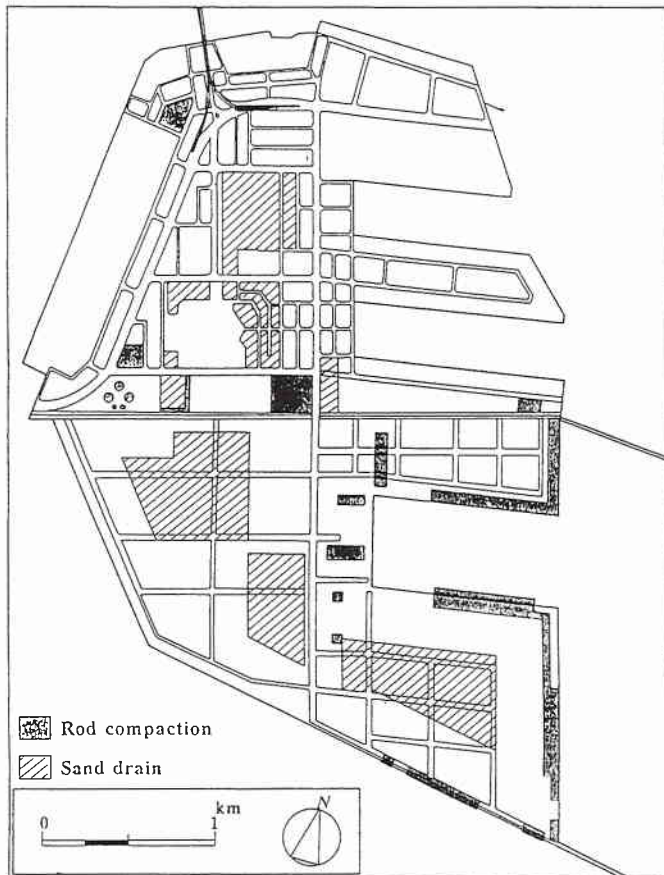


図-2 ポートアイランド案内図

これらの箇所の案内図，表-1にこれらを分類して示した。

3. 埋立地・人工島の被害 埋立地・人工島では，地震時に地盤の液状化の被害が予想されることから，各種液状化対策工が施工されていた。今回の調査では，対策工の種類による液状化被害の差異を調べることに主眼を置いた。

3.1 ポートアイランド ポートアイランドでは報道や第一次および第二次調査団で報告されているように，液状化現象が広

範囲に発生し，かつ，重力式岸壁が移動・沈下して大きな被害を生じており，これらを確認した。

図-2は，ポートアイランドの地盤改良工施工区域の案内図で，北側の一期工事部については全ての施工区域を，南側の二期工事部については把握できた一部の施工区域を示した。調査は主として北側の一期工事部で行ったが，液状化現象は，倉庫・コンテナバース地区で顕著に認められた。液状化が顕著であった地区では，地表部の殆どがアスファルトやコンクリートで覆われているため，噴砂痕は，道路植栽帯や重力式岸壁が移動して生じた隙間等に大規模に認めら

れた。特に重力式岸壁の背後では移動して生じた隙間から、裏込めに用いられていたと考えられる最大径50cm程の礫が多量に噴出しており、液状化時の間隙水圧の凄じさを示している（写真-1）。また、島全体が液状化に伴って沈下したために、支持杭を用いている島内の建造物は浮き上がってしまったように見える状況であった（写真-2）。



写真-3 天保山の地すべり

ポートアイランドの住民の話では、噴砂は約1時間続いたとのことである。

図-2のように、島内では中央部の住宅地を中心に、ロードコンパクション工やサンドドレーン工等の液状化対策工や圧密促進工が施されている。これらの地区では地震動で生じた路面のひび割れや若干の沈下が認められるものの、供用に殆ど差し支えない状態で、被害は外周の港湾施設地区に較べて軽微であった。このように、液状化対策としてロードコンパクション工が施された地区ではその効果が顕著に認められた。また、本来、液状化対策工ではないサンドドレーン工が施された地区でも効果が認められた点は注目に値する。

なお、重力式岸壁についてはほぼ全てのものが海側へ移動すると共に沈下・傾斜しており、耐震性の検討が必要である。

3.2 大阪北港ヨットハーバー この地点は新淀川の河口にあり、1~3km上流側では河川堤防の液状化による被災が認められたが、この地点は無被害であった。この地点の地盤は、サンドコンパクションパイル工で地盤が改良されており、この対策が効果を発揮したことが示唆される。

3.3 大阪市港区天保山 天保山は比高10m程の人工的に築かれた小山で、周囲一帯は公園となっている。この小山の南側斜面に地すべりが見られ、高さ約1.2mの滑落崖が生じていた（写真-3）。すべり土塊の中央部および周囲の公園には噴砂痕、沈下が認められ、このすべりが液状化に伴って生じたことはほぼ確かである。この公園の周辺の道路、家屋等には何等変状が認められず、公園だけに液状化が生じた原因を、今後調査する必要がある。

4. 宅地造成地・急傾斜地の被害 神戸市は平野部が狭く、背後の六甲山山腹まで住宅地が広がっている。従来の震災では、このような山腹部の宅地造成地に多くの被害が見られたが、今回の地震では従来のものに較べて少なかった。

4.1 神戸市東灘区岡本六丁目 取付け道路の崩壊、コンクリート吹付け工の崩壊が見られた。

取付け道路の崩壊は、道路を作るために盛られた土が、その背後の切土との境界面から剥がれて崩落した（写真-4）。このような被災ケースは、従来の震



写真-4 岡本六丁目盛土崩壊

災で多く認められており、切土と盛土を一体化する対策が必要である。また、コンクリート吹付け工を施した斜面ではコンクリートがめっちゃめっちゃに割れたり（写真-5）、崩壊した。コン



写真-5 コンクリート吹付け工の破壊状況



写真-6 西岡本七丁目の斜面崩壊状況

クリート吹付け工はまさ土斜面の侵食防止対策工として設けられたと考えられるが、地震時には効果がないことを示している。

4.2 神戸市東灘区西岡本七丁目 急傾斜地に作られた道路が幅約10m、長さ約100mにわたり崩壊（写真-6）し、路面に無数のクラックが認められた。崩壊した部分は岡本六丁目の場合と同様、道路を取付けるために盛られた部分を主とし、一部地山部も含まれていた。本崩壊地は勾配が大きく、また、写真-6の右下のように崩壊地以外にもすべり面が生じており、原形復旧は困難と考えられるが、梅雨を迎える前に、崩壊防止対策が必要である。

4.3 西宮市仁川百合野町 今回の地震で30数名もの死者を出し、人的被害の大きかった場所である（写真-7）。崩壊した斜面は仁川の右岸部で、残斜面から、崩壊前の斜面の勾配は15~20度程度の緩斜面であったと推定される。斜面上部には阪神水道企業団の浄水場があり、また、斜面先部には、仁川の谷線に沿って延びている住宅地の先端となっていた。

地形図（図-3）によれば、崩壊した斜面を横断するように石積みで作られたクレークがある。また、1932年測量の地形図で上ヶ原浄水場付近は沢沼地であったことから、この斜面周辺では地下水位が比較的高かったと推察される。また、崩壊地の地質は、六甲花崗岩の上位に非海成粘土、砂、礫層からなる大阪

層群が堆積している。一方、崩壊地は今回の地震で動いたといわれている甲陽断層の北西数100mの場所に位置（図-1）しており、しかも、斜面の崩壊方向は、断層の変位方向とされている北東方向とほぼ一致しているため、土塊の滑動方向への加速度が特に大きかったのではないかと推察される。

以上のような崩壊の素因と誘因が絡み合っって今回の崩壊が生じたのではないかと考えられるが、さらに詳細な調査が必要である。なお、崩壊土砂が仁川河道に堆積しており、梅雨や台風時には危険であるので、早急な撤去が必要である。

5. 鉄道盛土・切土の被害 鉄道は高架部が多く、盛土そのものが少なかったため、その被害箇所は少なかった。

5.1 JR神戸線（東海道本線）

摂津本山駅付近 高さ約5mの盛土で、石積みの盛土壁が崩壊しているものの、線路は異常なく、被害は軽微であった（写真-8）。中込土はまさ土で、緻密に締め固められていた。盛土の崩壊は盛土体内に留まっており、地表に変状は認められなかった。

5.2 阪神本線石屋川駅西側

盛土壁がコンクリート製垂直壁であったが、この壁が転倒するような破壊モードで上部が両側を開き、盛土内にすべり破壊が生じ、土砂と共に線路が崩落した（写真-9）。このような変



写真-7 仁川の地すべり崩壊全景

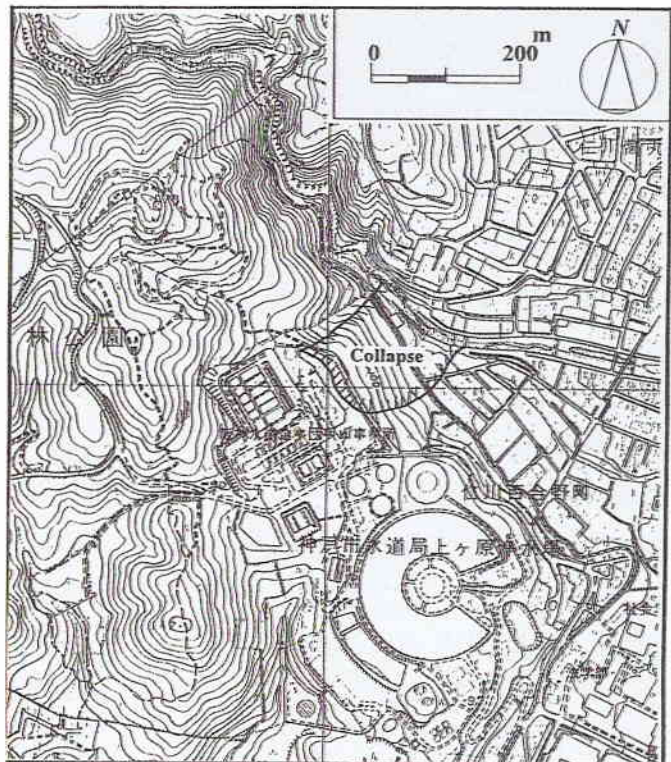


図-3 仁川の崩壊地付近の地形（国土地理院1万分の1地形図から抜粋）



写真-8 摂津本山駅付近の盛土崩壊状況



写真-9 石屋川駅の盛土崩壊

状は、両側のコンクリート垂直壁の上部を連結させておけば防止できたと思われる。タイロッド工やアンカーによる連結工等を利用して、供用しながらの施工法の開発が望まれる。



写真-10 岩園町の地すべり状況

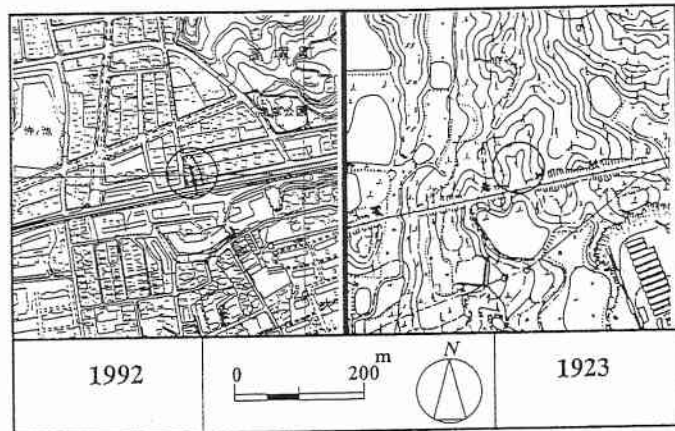


図-4 岩園町の地すべり地と旧地形の関係
(国土地理院1万分の1地形図から抜粋)

5.3 芦屋市岩園町阪急神戸線 住宅地となっている緩傾斜地で切土方向への滑動が生じ、すべり土塊上にある住宅・マンションが傾斜している。切土壁面にははらみが認められ、線路が土塊のすべりによって曲がり、すべり面先端の位置に地盤の膨れが2箇所認められた(写真-10)。1923年の地形図(図-4)によれば、この場所は以前、谷であったことから、この滑動は、住宅地として開発される前の旧地形の影響が大きな原因と考えられる。

5.4 JR神戸線(東海道本線)芦屋川トンネル 芦屋川(天井川)の下を抜けるためのトンネルの入り口付近の切土斜面は、高さ10m、傾斜約60度であるが、今回の地震では被害がなかった。この場所は扇状地堆積物からなると推定され、この堆積物は砂礫が混合した強度の大きい土であるために、地震動に耐えたと考えられる。

6.河川・貯水池堤防の被害

6.1 新淀川河川堤防 左岸堤防が約1.8km、右岸堤防が約200mにわたって潰壊した(写真-11)。堤防周辺には多くの噴砂痕が認められ、堤防基礎地盤が液状化したために、堤体がすべり破壊したと推定される。左岸部では堤防下に12m以上のN値2~3の砂層、右岸部では3m以上のN値が4程度の細粒均質な砂層があり、これらの層で液状化が生じたことはほぼ間違いないと考えられる。堤

防のすべりは、多くの場所で堤外地側に起きているが、左岸堤防の河川敷がある部分や右岸部の堤外地側が消波ブロックで覆われているところ等では堤内地側にすべっており、堤防沿いにある家屋に傾斜、ひび割れ等の被害が認められた。都市部では堤防際まで住宅地となっており、このような堤内地側への堤防のすべりは大きな被害を生じることが予想されるので、堤防基礎地盤の液状化対策を含めた地盤改良対策が必要である。



写真-11 淀川堤防の被災状況



写真-12 ニテコ池堤防の被災状況

6.2 JR神戸線（東海道本線）

芦屋川トンネル 天井川となっている芦屋川の下をJR神戸線が通過する地点では、芦屋川の護岸と芦屋川の跨線橋との接合部に被害を生じた。調査時には接合部分は撤去されていたため、その詳細はわからないが、芦屋川の護岸が煉瓦積み、跨線橋がコンクリート製であったために、それぞれの振動モードが異なり、接合部が破壊したと考えられる。

6.3 西宮市満地谷町ニテコ池

堤防 ニテコ池は2つの中仕切り堤防で分けられた3つの池からなり、今回の地震で、北側から東側にかけての護岸が大規模に崩壊し、中仕切りの堤防が2基とも決壊した（写真-12）。護岸および堤防はまさ土で作られており、いずれも脚部からすくわれたように崩壊し、それぞれの脚部には、まさ土が液状化したような痕跡が残っていた。

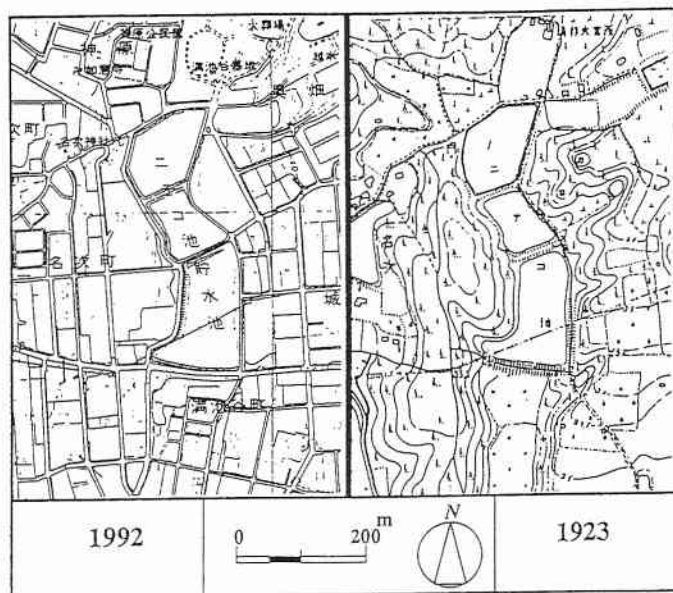


図-5 ニテコ池付近の旧地形
（国土地理院1万分の1地形図から抜粋）

地震動に伴って水位以下の部分が液状化し、そのために崩壊したと推定される。さらに、1923年の地形図（図-5）によれば、以前、北から東側にかけて

池に向かって開いた谷地形が多くあったことがわかる。北から東側の護岸が全面的に崩壊した原因はこの旧地形に起因していると考えられる。

7.まとめ

1)埋立地・人工島

液状化対策工を施した地区とそうでない地区の、液状化被害の差が顕著に現れ、液状化対策工の効果が明らかであった。

2)宅地造成地・急傾斜地

宅地造成地では、切土、盛土境界部での崩壊が多かった。これらの一体化対策の確立が望まれる。また、これら宅地造成地は急傾斜地にあり、原形復旧は困難であるが、雨季には極めて危険な状態になることが予想されるため、早急な対策が必要である。

仁川百合野町の斜面崩壊は、詳細な崩壊メカニズムの解明とともに、断層運動との関係について検討する必要がある。また、仁川河道に堆積している崩壊土砂は、二次災害の恐れがあるので早急な撤去が望まれる。

3)鉄道盛土・切土

都市部では用地の問題から垂直盛土壁とならざるを得ないが、壁の上部が両側に開く形態での崩壊が多く見られた。これら垂直壁の両側上部をタイロッド工やアンカーによる連結工等を利用した、供用しながらの施工技術の開発が望まれる。

緩傾斜地の切土部の崩壊は、旧地形がその一因となっていたと推測される。

4)河川・貯水池堤防

河川・貯水池堤防の被災地では、液状化現象が大きな原因の一つであった。堤防基礎地盤の、液状化対策を含んだ地盤改良が必要である。

なお、仁川百合野町からJR芦屋川トンネルに至る北東－南西方向の一連の地盤災害は、右横ずれ変位をしたといわれている甲陽断層沿いに生じており、この断層の動きによって旧地形の弱点箇所が崩壊したものと推測される。

神戸地方は扇状地が多く、古くは水不足のため、多くのため池が存在した。しかし、都市化に伴って、これらため池の大部分が埋め立てられた。このような埋め立て地盤が多く分布することも、今回の震災を拡大した一因になったと考えられる。このような地域における土木・建築構造物は、地盤を含めた一つのシステムとして構造物を設計することが大切である。また、地盤災害は、地盤に関わる現象が人命、財産、あるいは社会活動を脅かし、損失を与えたときに生じることから、その防止、軽減のためには人文社会科学的施策との相互理解が不可欠である。