

## 1995年兵庫県南部地震による 盛土の地表変状の原因

Origin of ground surface disturbances at reclaimed area by banking,  
caused by the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake

横山俊治\*・菊山浩喜\*\*・田中英幸\*\*\*・海谷叔伸\*\*\*\*  
Shunji Yokoyama\*, Hiroki Kikuyama\*\*, Hideyuki Tanaka\*\*\*  
and Yoshinobu Kaiya\*\*\*\*

**Abstract:** During the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake, a great deal of damage was done to reclaimed area by banking at the foot of the Rokko Mountains. Many types of ground surface disturbances of embankment were closely associated with destruction of surface engineering structures as follows:

①sliding of asphalt pavement, concrete pavement and masonry pavement detached from embankment, ②tilting and toppling of retaining walls, drain ditch and curb of footway, ③falling down with a jump of dry stone masonry, ④exfoliation of concrete block pitching, concrete spraying and mortar spraying, ⑤low angle thrusting in some engineering structures.

The engineering structures were strongly destroyed in brittle form, but most parts of the surrounding embankment were slightly deformed in plastic form. The ground surface disturbances strikingly took place in a superficial zone, under the influence of surface gradient and knick points. These features can be explained from the idea that the ground surface disturbances originated from the force of inertia and exfoliating caused by earthquake vibration.

**Key words:** 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake, earthquake vibration, ground surface disturbance, embankment.

### はじめに

阪神地区は海岸の近くまで六甲山地が迫っていて宅地に適した土地が少ない。そのため、海岸低地はもとより、丘陵を含む山麓の急傾斜地においても、古くから開発が行われてきた。特に昭和30年代中頃以降は、都市への人口集中と土木技術の進歩が自然地盤の掘削と谷部や溜池の埋立てによる大規模な地形改変を伴う造成を加速した。その結果、海岸低地から山地の際ま

で造成と整地によって、都市部の自然地盤はほとんど盛土で覆われてしまった。さらにその盛土も、建築物や道路の舗装で、公園やグラウンド以外の場所ではほとんど見えなくなっている。

都市の地震災害では、盛土の変形挙動が様々な形で建築構造物や土木構造物に被害を及ぼす。兵庫県南部地震では、盛土の表面を覆っている道路のアスファルトやコンクリート舗装、歩道の敷石や公園の煉瓦敷き、歩道の縁石、排水溝、各種擁壁、斜面保護工であるコンクリートやモルタルの吹き付け・張りブロック、斜面の階段通路(石段)などが著しく破壊された。この論文では、これらの盛土の表層部に施工されている土木構造物の破壊形態から、土木構造物の破壊時の運動様式とその直下、背面、周囲の盛土の変形挙動を推定し、地震時における盛土の地表変状の原因を検討する。

1995年10月30日受付。1997年1月30日受理。

\*株式会社 オキコ コーポレーション

Okiko Corporation, 1-3-4 Kokubunji, Kita-ku, Osaka 531, Japan

\*\*川崎地質株式会社

Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., Kanto Branch,

1-11-1 Omorikita, Ota-ku, Tokyo 143, Japan

\*\*\*中央開発株式会社

Chuo-Kaihatsu Co., Ltd., Osaka Branch, 3-34-12 Tarumi-cho,

Suita, Osaka 564, Japan

\*\*\*\*株式会社 東建ジオテック

Token Geotec Co., Ltd., Osaka Branch, 12-19 Miyashita-cho,

Sakai, Osaka 593, Japan

## 土木構造物の破壊形態の特徴と運動様式

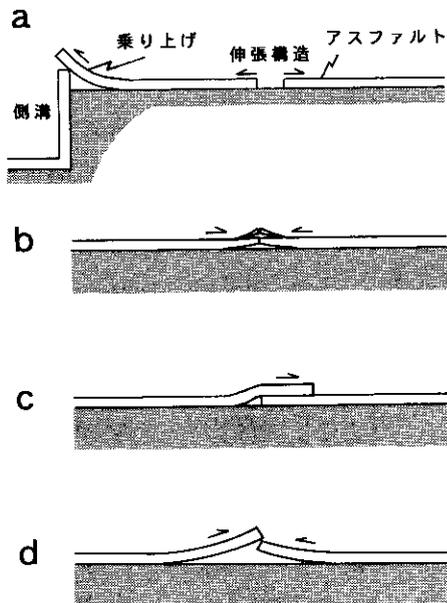
### 1. 破壊形態の特徴

ここでは、土木構造物の種類ごとに破壊形態の特徴を記載する。

#### (1) 道路のアスファルトやコンクリート舗装

道路のアスファルトやコンクリートなどの舗装材は、その直下の盛土(路盤)との境界で剥離し、盛土上を移動しやすい。移動時に引張り破壊によって垂直な破断面をもつクラックが形成されているところも少なくない。舗装材の移動によって形成される変形構造には伸張構造と圧縮構造がある。クラックによって分断された舗装材が互いに離れる方向に移動したのが伸張構造である(第1図a)。反対にクラックを閉じる方向に移動すると圧縮構造が形成される。クラックを境にその両側の舗装材の表面が貝殻状に剥がれている現象はクラックが強く閉じた結果生じた圧縮構造と考えられる(第1図b)。さらに圧縮が進むと、アスファルト板がアスファルト板の上に乗せたり(第1図c)、プレッシャーリッジが形成される(第1図d)。プレッシャーリッジはアスファルトよりコンクリート材で現れやすい。

舗装材の圧縮や伸張とその下の盛土の実質的な伸縮みとは必ずしも一致しない。第2図では、アスファルトと三面張り側溝との間の盛土の露出部分が盛土の実質的な伸張を示している。そして盛土中に道路に平行なクラックが形成されていないことが道路を横切るア



第1図 アスファルト舗装材の変形様式  
a：伸張構造と乗り上げ(圧縮構造)，b：衝突型の圧縮構造，c：乗り上げ(圧縮構造)，d：プレッシャーリッジ(圧縮構造)。

スファルトの伸張構造のところ(第2図bのスケッチの下部)で確認されていることから、盛土の実質的な伸張は塑性変形によるものと考えられる。

#### (2) 歩道の敷石や公園の煉瓦敷き

歩道の敷石や公園の煉瓦敷きでも、移動による破壊が起こっている。第3図では、公園の煉瓦敷きが矢印の方向に移動して緑石の上に乗せられている。ここでは反対側の緑石の上にも乗せ上げが起こっている。その結果、両方の中間付近を中心に煉瓦と煉瓦の隙間が開いている。すなわち、ここでは圧縮構造と伸張構造が同時に形成されている。

移動だけでなく、第4図のように煉瓦や敷石が跳び跳ねている場合もある。

#### (3) 歩道等の縁石

歩道や中央分離帯の縁石には、前傾したり、転倒しているものがある。縁石とその背面の盛土との境界は分離し開口していることが多いが、背面盛土の上端が前方(縁石側)に迫り出していることもある。道路の両側に歩道がある場合、どちらの歩道の縁石も傾動・転倒することがよくあり、その場合の傾動・転倒の方向は正反対になっている(第5図)。

縁石をつくっているブロックのふたつが山形にもち上がってプレッシャーリッジを形成していることもある。プレッシャーリッジの直下の盛土に明瞭な盛り上がりはなく、縁石と盛土は離れている。

#### (4) 排水溝(三面張り側溝・U字溝)

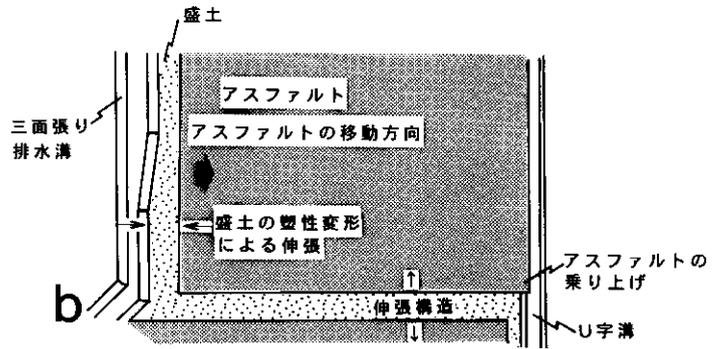
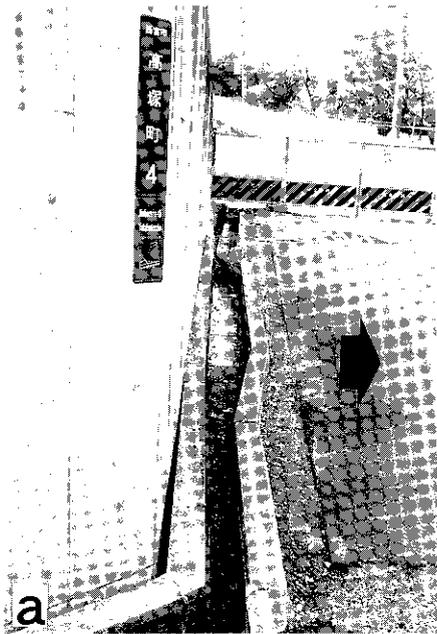
三面張り側溝の場合、側壁が溝側に傾動しているものがある(第5図)。傾動・転倒の方向は背面盛土に拘束されるので、両方の側壁が傾動してつぶれている排水溝もある。U字溝の場合、溝底のコンクリートが破断して側壁が溝側に傾動する。側壁と背面盛土との境界は分離し開口していることが多い。側壁の傾動で鉄の蓋は外れたり、折れ曲がったりしていることがある。排水溝の縦断方向からの圧縮によって、2枚のコンクリート蓋が山形にもち上がって、プレッシャーリッジを形成していることがある。

#### (5) マンホール

マンホールでは、コンクリート管の継ぎ目のところで横ずれしていることがある(第6図)。ずれは最上部のコンクリート管の底面で起こりやすい。盛土は変位したコンクリート管によって圧縮されることがあっても、ずれの位置に水平のせん断面が形成されていない。芦屋市三条町の事例(位置は第14図を参照)では、コンクリート管のずれの方向は、斜面の最大傾斜方向と大きく斜交し、付近の墓石の転倒方向から推定される主要動方向と一致している。

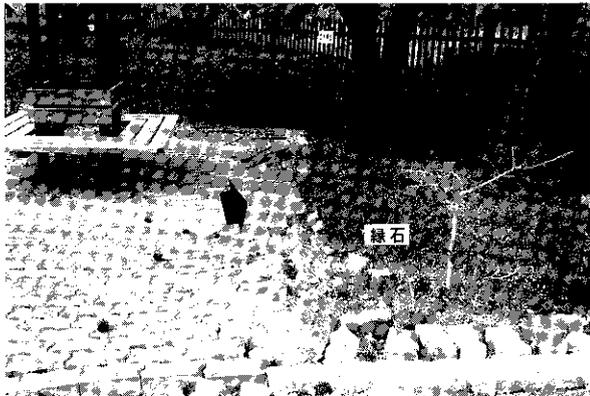
#### (6) コンクリート擁壁とブロック積み擁壁

コンクリート擁壁やブロック積み擁壁は、擁壁内に破断面を生じることなく、一体の構造物として斜面前方に傾動していることが多い(横山・菊山, 1995)(第

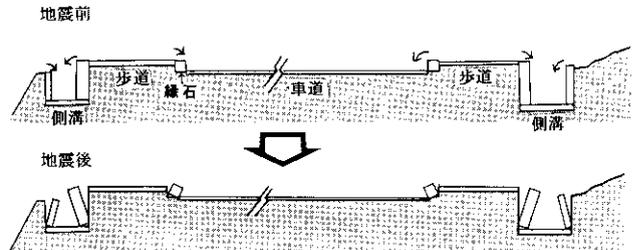


第2図 アスファルト舗装材の移動と盛土の塑性変形(西宮市高塚公園)

- a : 盛土の塑性変形によって、三面張り側溝の溝幅が縮まっている。三面張り側溝の側壁の一部は転倒している。矢印はアスファルトの移動方向を示す。
- b : アスファルトは移動し、U字溝の上に乗っている。



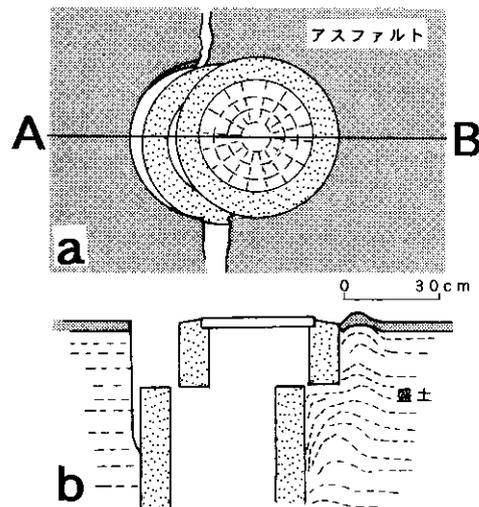
第3図 煉瓦敷きの移動による乗り上げ(矢印：移動方向)(西宮市高塚公園)



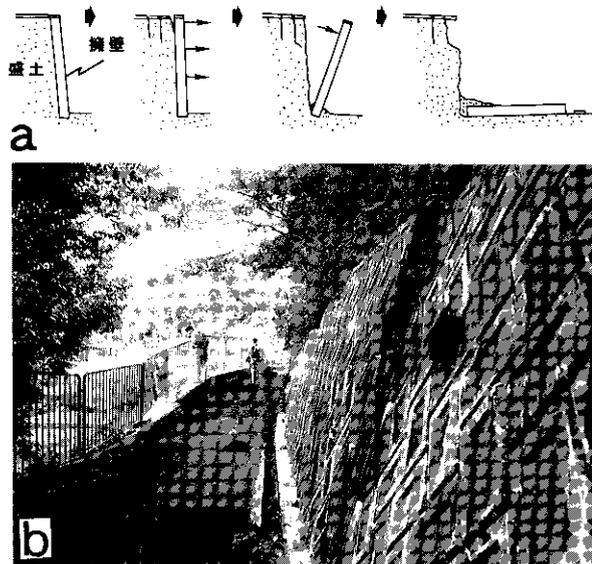
第5図 道路における歩道の縁石・三面張り側溝の配置と傾動・転倒の方向(矢印)を示す概念図



第4図 歩道の石敷きの跳ね上がり(宝塚市売布ヶ丘)



第6図 マンホールのコンクリート管の横ずれ(西宮市仁川旭が丘)  
a : 平面図(A-B : 断面位置), b : 断面図。



第7図 コンクリート擁壁・ブロック積み擁壁の傾動・転倒のプロセス(a)とブロック積み擁壁の傾動(宝塚山宝生ヶ丘)(b) 擁壁の傾動と同時に擁壁と背面盛土との境界および盛土内にクラックが形成される。続いて傾動が大きくなると転倒するが、盛土はほとんど崩壊していない。

7図)、擁壁の前傾に伴って、擁壁と背面盛土との境界は分離・開口し、盛土地盤中にも、しばしば擁壁と平行に開口クラックが形成されている。背面盛土の締め固めが十分でない場合は沈下を起こしている。

### (7)石積み擁壁

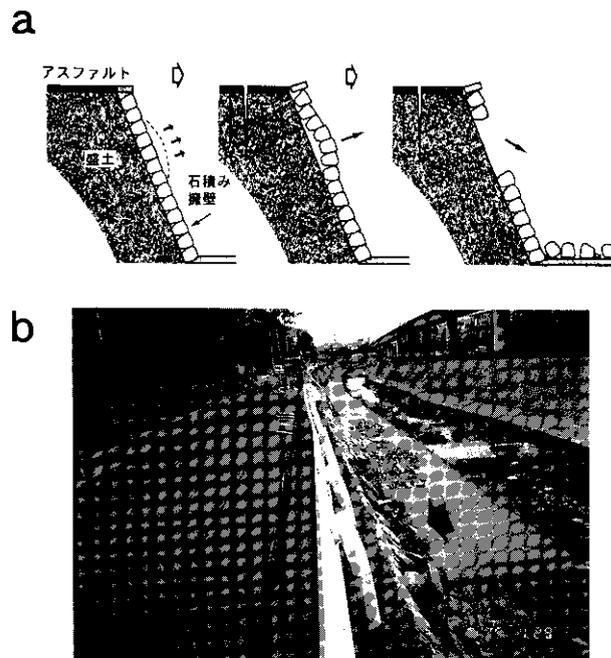
石積み擁壁は整形した石材と石材をコンクリートで接合して積み重ねた擁壁である。接合強度が小さいので、個々の石材はかなり自由に変形している。変形集中領域は擁壁の上端からやや下がった位置に帯状に現れ、そこは、縦断面でみると、擁壁がはらみ出し、擁壁の上端面は背面盛土側に傾動している(第8図)。大きく変形が進んでいるところでは、はらみ出したところの石材が崩落しているが、背面盛土の崩れは少なく、水平の剪断面も存在しない(第8図)。

### (8)空石積み擁壁

空石積み擁壁は数10cmから1m前後の自然石を積み重ねただけの擁壁である。個々の自然石の接合力は小さいので、自然石一個だけが飛び出したり、積んである自然石のすべてが道路に飛び散っている(横山・菊山, 1995)。その場合でも、背面盛土が崩れないのが特徴である(第9図)。石積み擁壁でもまれに石材の飛び出しが観察されることがあるが、空石積み擁壁の方が自然石が固定されていないことと、石が大きいこと(質量大)から遠くまで跳んでいる。

### (9)斜面に施工されたコンクリート吹き付けやモルタル吹き付け

斜面に吹き付けられたコンクリートやモルタルは地盤との間で剥離しやすく、比較的大きな破片に分裂し



第8図 石積み擁壁の変形プロセス(a)と住吉川の河岸壁の石積み擁壁の変形(矢印)(b)

石積み擁壁は斜面の肩からやや下がった位置にはらみ出しを生じる。その結果、擁壁の上部は背面盛土側に傾く。さらに変形が大きくなると石材は崩落するが、背面盛土はほとんど崩れない。

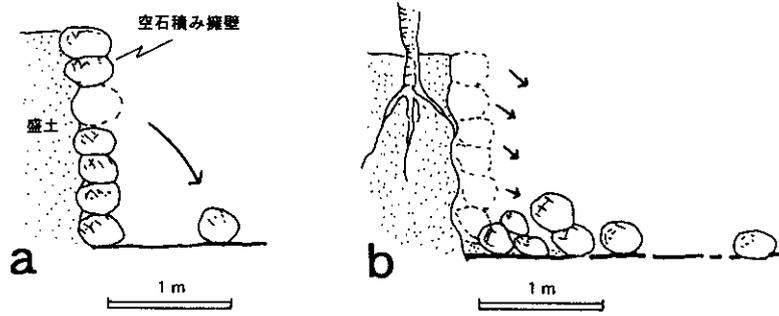
て落下している(第10図)。しばしば破片の一部が山形に持ち上がった座屈構造を形成している(第10図の矢印に注目)。吹き付け工は盛土のほか段丘や大阪層群、強風化花崗岩など表層の崩れやすい地盤に施工されているが、吹き付け工によるコンクリートやモルタルが剥離しても、背面地盤の崩れは少ない。

### (10)斜面の張りブロック

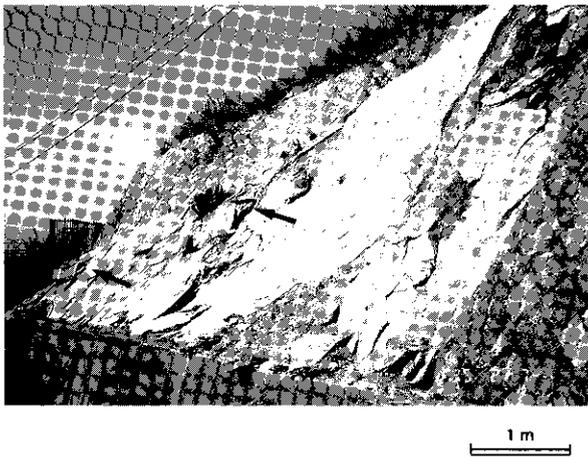
張りブロックではブロック間の連結が弱く、背面の地盤からも剥がれやすいため、破壊した部分はかなり自由に動いている。変形は小段の近傍に集中しやすく、ブロックが持ち上がって座屈構造が形成されている(横山・菊山, 1995)(第11図)。この座屈構造の破壊形態は後述する階段通路の破壊形態と類似している。ここでも地盤の崩れはほとんどない。

### (11)階段通路

神戸は急傾斜地が造成されているため、造成面と造成面を結ぶ斜面上に階段通路(石材製、コンクリート製)を設置した通路が発達している。今回の地震では階段通路が大きな被害を受けた。変形は地形変換点に設置されている踊り場付近に集中している。その典型は、階段の側面で地盤との境界に設置されているコンクリート側壁に発達する座屈構造である(第12図)。コンクリート側壁の部材の継ぎ目で折れて山形に持ち上がる例が多い(第12図a)が、側壁の上面に張られたコ



第9図 空石積み擁壁における自然石の飛び出しを示す概念図(横山・菊山, 1995)  
 a: 1個の自然石が飛び出して抜け落ちている。  
 b: 積んである自然石のほとんどが道路に飛び散っている。

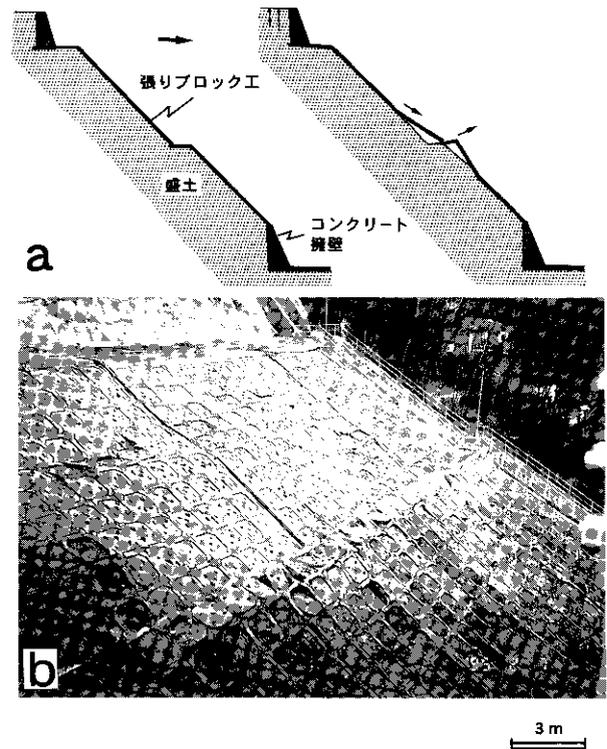


第10図 コンクリート吹き付けの剥離(神戸市東灘区岡本)  
 地盤は盛土と風化花崗岩の破砕帯である。矢印は座屈構造を示す。

ンクリートの化粧板のみが継ぎ目で折れて山形にもち上がっている場合もある(第12図b)。側壁に発生した低角度の破断面に沿って上盤側の部材が前方に衝上していることもある(第12図c)。しかし、背面盛土の中にはこの低角度破断面に連続するクラックが生じているところはない。

第13図は階段直下の床張りコンクリートで観察された押しかぶせ構造である。コンクリート板はその下の盛土から剥離して前面に移動し、コンクリート板に押された一体型排水溝が転倒している。さらに、その排水溝に押されて、その前面の盛土が隆起したり、縁石が側方に折れ曲がったりしている。

なお、上記の土木構造物の破壊には、その近傍の頑丈な建築構造物や土木構造物の影響が認められることがある。たとえば、マンホールや電柱からクラックが放射状に伸びていたり、頑丈なビルディングを囲む道路のアスファルトや排水溝に破壊が集中したり、埋設構造物の形態を型どったクラックがアスファルトに形成されることなどである。



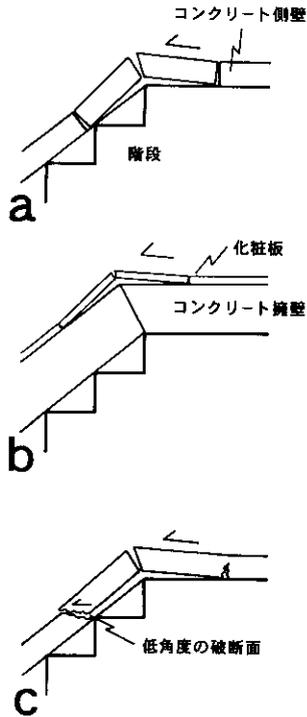
第11図 斜面の張りブロックの剥離と座屈構造の形成プロセス(a)と神戸市東灘区西岡本の事例(b)  
 小段のような地形変換点に変形が集中しやすく、座屈構造を形成する。

## 2. 運動様式

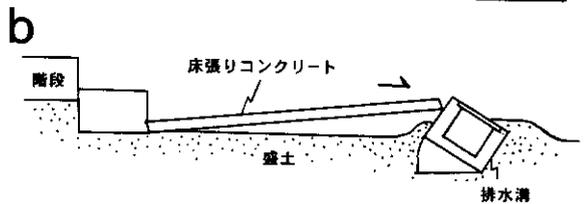
上記で記載した土木構造物の破壊形態から地震時の土木構造物の運動様式を推定すると、以下に述べるように①移動、②傾動・転倒、③横跳び、④剥離、⑤低角度衝上の5タイプに分類される。

### (1) 移動

移動は路面など盛土との境界で剥がれた構造物が盛土上を動く現象で、破壊された部材の分離・開口による伸張構造と、プレッシャーリッジや乗り上げに代表



第12図 階段の踊り場の剥離に伴う圧縮構造の形態  
 a：コンクリート側壁の座屈構造，b：化粧板の座屈構造，  
 c：低角度衝上(低角度の破断面沿う衝上).



第13図 階段の踊り場の床張りコンクリートの押しかぶせ構造(a)と断面図(b)(西宮市高塚公園)

される圧縮構造とが形成される。両者はしばしば共存する。移動の典型はアスファルトやコンクリートの舗装材のような板状の構造物で起こりやすい。歩道の縁石や排水溝のコンクリート蓋ではプレッシャーリッジが、煉瓦敷きでは乗り上げが観察されている。マンホールのコンクリート管の横ずれも地中で発生した一種の移動と考えられる。

(2) 傾動・転倒

傾動・転倒はコンクリート擁壁・ブロック積み擁壁・歩道の縁石・排水溝の側壁などが前面に傾いたり、倒れる現象である。

(3) 横跳び

横跳びは石積み擁壁の一部と空石積み擁壁で起こっている現象で、擁壁から抜けてた石材は単なる落下ではなく、初速を持ってある距離を跳んでいる。

(4) 剥離

剥離は、斜面に施工されているコンクリート吹き付けやモルタル吹き付け、張りブロックが斜面地盤から剥がれ、その一部が落下する現象である。剥離した部材がつくる座屈構造は特徴的な変形構造である。階段通路の踊り場のコンクリート側壁で見られる座屈構造も剥離に伴う現象である。石積み擁壁のはらみ出しも石材の剥離に伴う座屈現象と考えられないこともない。

階段直下の床張りコンクリートの押しかぶせ構造は階段部の剥離に伴う押し出しが原因になっている。

(5) 低角度衝上

低角度衝上は、構造物に生じた低角度の破壊面に沿ってその上盤側が前に迫り出す現象で、地形変換点に設置された構造物で発生している。上記の階段通路の踊り場でみられたコンクリート側壁の例のほか、三面張り側溝の側壁や空石積み擁壁でも観察されている。

破壊した土木構造物の広域的分布特性：  
 東灘区～西宮市西部の場合

本論文で記載した土木構造物の破壊は、淡路島北端部から阪神地区を通り宝塚までの、墓石の転倒率から推定した加速度で約250～300gal以上の地域(菊山・横山, 1995; 菊山ほか, 1996)で広く観察されている。空石積み擁壁の横跳びや縁石の傾動は宝塚よりもさらに東の加速度の小さい地域でも時々観察される。

東灘区の住吉川から西宮市の夙川の左岸にかけての範囲を調査した土木構造物の被害分布図(第14図a-d)をみると、土木構造物の被害が特に集中している地域が存在する。たとえば、①ニテコ池周辺(N)(高位段丘と大阪層群上部の分布地域)、②高塚公園(T)(大阪層群下部の分布地域)、③芦屋霊園とその南部地域(A)(高位段丘と大阪層群上部の分布地域)、④三条

町(S)(大阪層群下部の分布地域), ⑤森北町6丁目(M)(花崗岩の分布地域), ⑥西岡本6丁目(No)(高位段丘と花崗岩の分布地域)などの地域がそれで, 以下のようないくつかの共通する特徴をもっている。いずれも丘陵地内の谷部や溜池を埋立てた谷埋め盛土地盤に被害が集中している。谷埋め盛土地盤は平均地形勾配が大きいだけでなく, 雑壇状に施工されているために, 地形勾配の変化が著しく, 被害は地形勾配の変換点付近に集中する傾向がある。

### 破壊した土木構造物から推定される 盛土の変形様式と変形領域

土木構造物とそれに接する盛土とは一体化したものと考えられる。その土木構造物が地震時に破壊したのであるから, 盛土も何らかの変形を受けたと考えてよい。ここでは, 土木構造物の破壊形態から, 盛土の変形様式と変形領域を推定する。

コンクリート擁壁やブロック積み擁壁では, 背面盛土中にクラックが発生していることがあったが, 多くの土木構造物ではその周辺の盛土の脆性破壊はまれである。むしろ, 土木構造物が脆性破壊によって大きく変位している場合にも, 盛土の変位量は少なく, 第2図で観察されたような塑性変形が起こっている可能性が高い。緑石の転倒や空石積み擁壁の横跳びでは, その背後の盛土で観察される塑性変形による変位量がさらに少なく, 地震時の盛土の変形は弾性変形が主体であったかもしれない。

歩道の緑石や排水溝の傾動・転倒, 舗装材や煉瓦敷きの移動は, 地震時の変位量(必ずしも永久ひずみでなくてもよい)が地表付近で大きかったことを示唆している。コンクリート擁壁やブロック積み擁壁の背面盛土中のクラックの分布から背面盛土の変形領域を推定すると, それは擁壁から1~2mの範囲である。しかも, 破壊時の擁壁の運動様式や背面盛土中のクラックの開口形態は地表ほど変位量が大きいことを示している。マンホールのコンクリート管の横ずれから推定される盛土の変形領域の深さは地表から約1~2mの範囲である。

### クラック(地割れ)の形成深度から 推定される盛土の変形領域

兵庫県南部地震時に発生した盛土の斜面変動で土砂移動量の大きなものは数えるほどしかない。宝塚ゴルフ場のフェアウェイを取り巻く斜面で発生した崩壊はそのひとつである。崩壊はクラック形成に引き続いて発生し, クラック群の発達領域の一部分が崩壊頭部になっている(横山ほか, 1995)。崩壊跡の崖に出現したクラックの断面は地表ほど開口幅が広く深部に向かっ

て狭くなり, 基盤の大阪層群には達していない。多くの崩積土の地すべり地で観察されるすべり面(鏡肌と条線の発達した薄い粘土層)は発見されていない。

仁川百合野町や東灘区西岡本の崩壊でも, クラックの発生は崩壊に先行し, 崩壊した土塊は既に形成されているクラックを横切って移動している。いずれのクラックも盛土内で尖滅している。これらの崩壊現場でクラックの形成深度から推定される盛土の変形領域の深さは最大約5mである。

横田・仲津(1996)は盛土中の比較的規模の大きなクラックの産状をトレンチで観察している。クラックは基盤の大阪層群との境界に沿っているものもあるが, 大阪層群中には発達していない。クラックの形成深度は約4mである。地表部に生じたクラックの段差は約15cmで, 深部に向かって変位量は減少するので, クラック形成に伴う土砂移動量は極めて小さい。

クラック形成深度から推定される盛土の変形領域は, 土木構造物の破壊と密接に関係している盛土の塑性変形領域と比較すると深い。盛土直下の基盤に及ぶものではなく, その深度は浅い。

## 盛土の地表変状の原因

### 1. 盛土の地表変状の特徴(まとめ)

土木構造物の破壊形態から推定した, 土木構造物の破壊時の運動様式と盛土の変形挙動を整理すると, 盛土の地表変状には以下のような特徴がある。

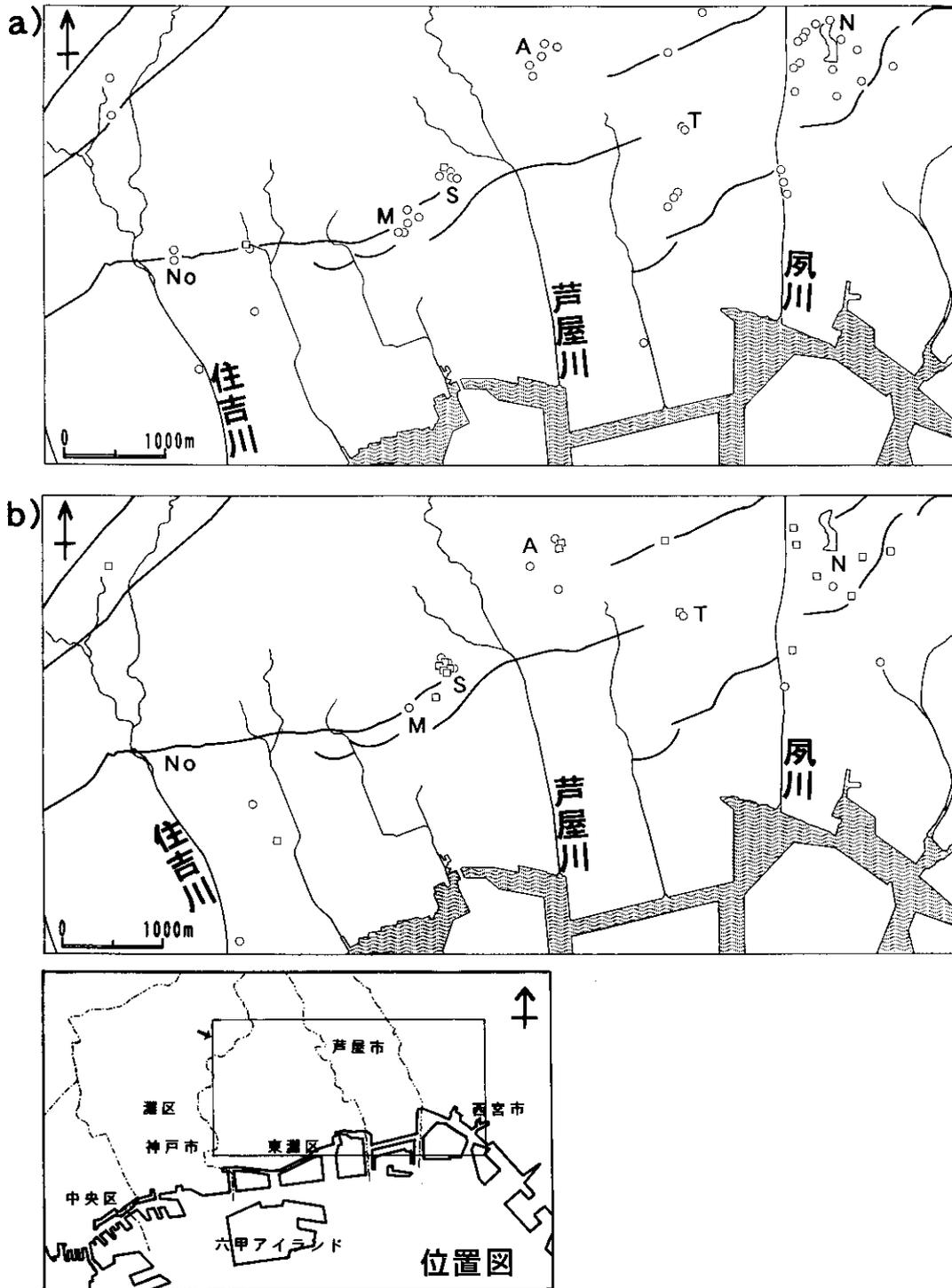
- ①破壊した土木構造物の運動様式は移動, 剥離, 傾動・転倒, 横跳び, 低角度衝上が認められる。
- ②土木構造物の破壊に関係した盛土の変形領域の深度は浅く, 変位量は地表部ほど大きい。
- ③土木構造物の破壊は地形の影響を受けやすい。すなわち, 平地よりも傾斜地で破壊が顕著であるが, 特に地形変換点に変形が集中する傾向がある。
- ④ビルディングや電柱, マンホール, 橋脚などの頑丈な構造物の近傍では, アスファルトや排水溝などの破壊が顕著になる傾向がある。

盛土の地表変状の原因は上記の①~④までの特徴を合理的に説明できるものでなければならない。

### 2. 地表地震断層説の検討

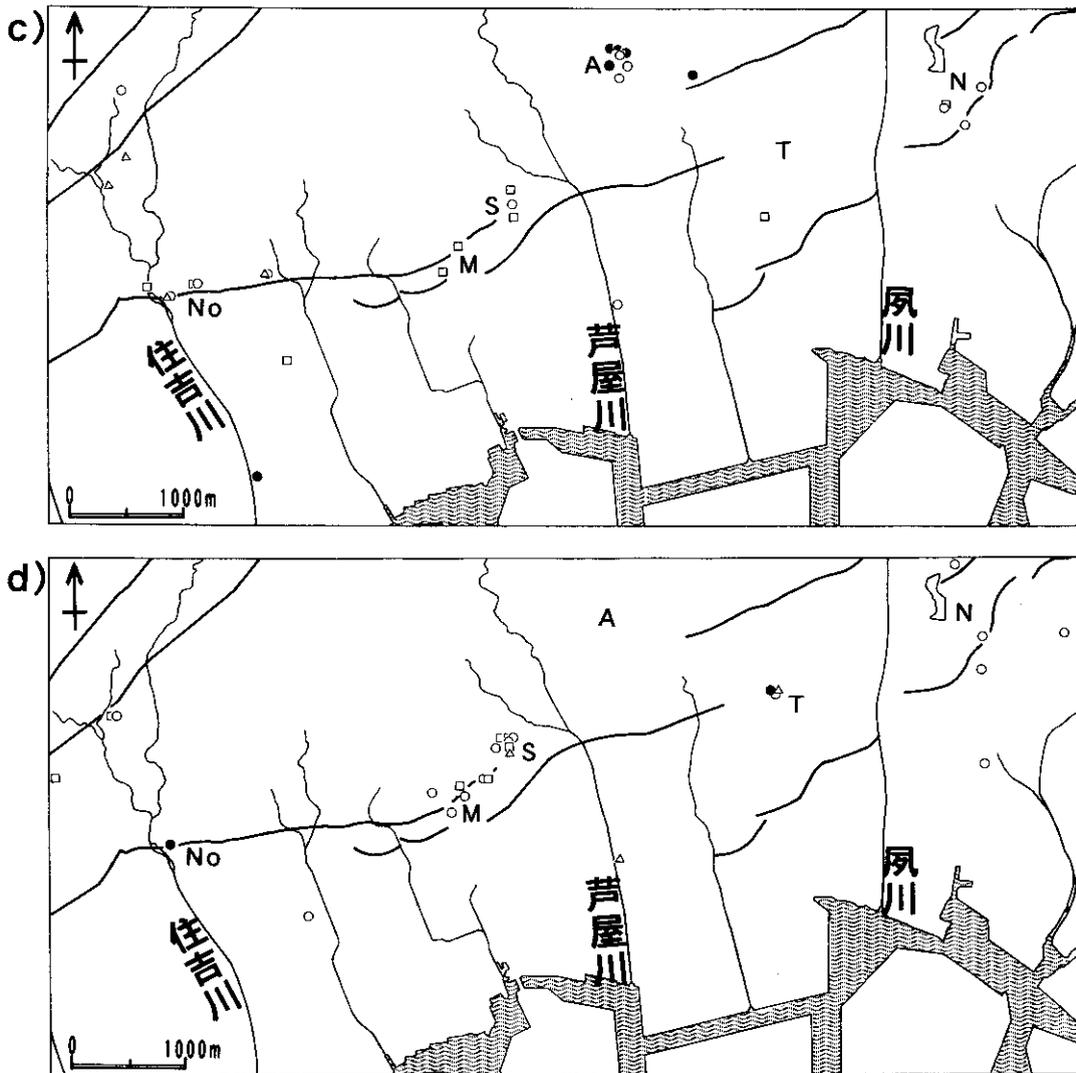
今日, 神戸側で発生したクラックが地表地震断層そのものであるという見解(平野・波田, 1995; 宮田ほか, 1995; 山科, 1995など)に対して, 多くの人は否定的である(嶋本ほか, 1996; 横田・仲津, 1996など)。盛土の直下の基盤にまで達するクラックの存在が確認されていないことや盛土の変形領域の深度が浅いことから, 盛土中のクラックや土木構造物の破壊は地表地震断層によるものではないと考えられる。

ただし, 地下の断層運動の影響が, 地震動の強さに



第14図 各種土木構造物の破壊形態別分布 [住吉川(神戸市東灘区)～夙川左岸(西宮市)] [中央開発調査団(1995)と阪神・淡路大震災調査研究委員会(1996)の写真データで一部補完]

a) 道路の舗装材の移動に伴う圧縮構造(乗り上げ・プレッシャーリッジ)(○), マンホールのコンクリート管の横ずれ(□); b) 歩道の縁石の傾動・転倒(○), 排水溝(三面張り側溝, U字溝)の側壁の傾動・転倒(□); c) コンクリート擁壁・ブロック積み擁壁の傾動・転倒(○), 石積み擁壁のはらみ出しと石材の崩落(●), 空石積み擁壁の自然石の跳び出し(□), コンクリート吹き付け・モルタル吹き付け・張りブロックの剥離(△); (d) 階段のコンクリート側壁の剥離に伴う座屈構造(○), 階段・張りブロックの押しつぶせ構造(●), 階段のコンクリート側壁・排水溝・空石積み擁壁の低角度衝上(□), 縁石の側方屈曲(△). 活断層(図中の太い線)の分布は建設省国土地理院(1996)を簡略化した。N: ニテコ池周辺, T: 高塚公園, A: 芦屋霊園とその南部地域, S: 三条町, M: 森北町丁目, No: 西岡本6丁目。



反映され、盛土の地表変状の原因となったかどうか、現時点ではそれを判断する資料をもっていない。

### 3. 地すべり説の検討

典型的な狭義の地すべりは、移動体が一枚の連続したすべり面上を重力の作用で滑動する現象である。滑動中の移動体頂部は引張り状態になって開口クラックが発生し、滑落崖が形成される。他方、末端部は圧縮される。以下ではまず、各種土木構造物の破壊が集中した地域のひとつである高塚公園(位置は第14図参照)がこのような地すべりの特徴をもっているか検討する。

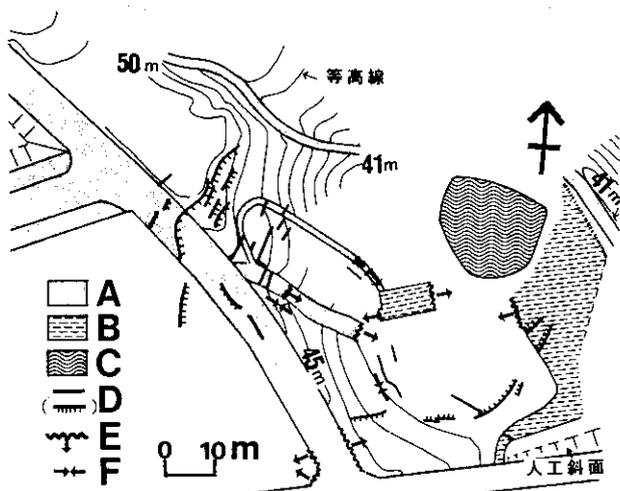
高塚公園は谷部の池を埋め立てた盛土造成地で、現在公園の北東にある池はそのとき埋め立てられた池の一部である(第15図)。公園の北東側、北西側、西側は公園グラウンドに面した斜面になっている。

伸張構造としては、公園の北西側の斜面に形成されたN20°E~N40°E走向の開口クラック群がある。い

くつかのクラックに沿って、南東側の地盤が下がっている。公園グラウンドの南東端にも同走向のクラックが発達しているが、そこでは北~北西側の地盤が下がっている。

圧縮構造としては、煉瓦の乗り上げ(第3図)、三面張り側溝の側壁や縁石の傾動、階段の押しつぶせ構造(第13図)、縁石のプレッシャーリッジがある。

高塚公園の被害集中領域がひとつの地すべり地であると仮定すると、斜面の上部に位置する公園の北西側斜面に形成された開口クラック群を地すべり冠頭部の滑落崖と考えるのが妥当である。このモデルに基づくと、公園の南東端は末端部に当たり、圧縮変形が期待される。しかしそこでは地形の盛り上がりもなく、クラックは北側~北西側下がり引張り状態を示している。圧縮構造は被害集中領域の中央部より斜面の上手側に集中する。それらの破壊形態から推定される運動方向は東、西、南東、北が卓越し、互いに接近していても反対方向の運動を示している。土木構造物の破損



第15図 開口クラックの分布と土木構造物の圧縮構造からみた運動方向(西宮市高塚公園)  
 A: 舗装材, B: 煉瓦敷き, C: 池, D: 開口クラックと段差のあるクラック(括弧内), E: 圧縮構造と運動方向, F: プレッシャーリッジ

形態から推定される盛土の変形領域の深さはいずれも浅い。

したがって、地表部の変形構造の解析から、深部に連続したすべり面をもつ狭義の地すべりを描き出すことはできない。なお、未公表資料によると、盛土及び沖積層の層厚は6m程度で、明瞭な地すべり面はボーリングコアでも発見されていない。

高塚公園以外の被害集中地域についても、そこで発生している土木構造物の破壊形態の解析から推定される地盤の運動方向は必ずしも一定方向の地すべり運動を示さず、土砂移動量も極めて小さい。

コンクリート擁壁やブロック積み擁壁の傾動や転倒、石積み擁壁のはらみ出しは地すべり移動体の末端部の圧縮領域でも観察されるが、そこでは背面盛土の土圧が擁壁に作用している。したがって、擁壁と背面盛土との間が上部ほど広く開口していたり、擁壁が転倒しても、背面盛土がほとんど崩れなかったり、石材や自然石が飛び出しても背面の地盤がほぼ完全に残っているなどの現象は通常起こらない。

排水溝と歩道が両側に設置されている道路では、各々の縁石や三面張り側溝の側壁は背面盛土の拘束を受けるため、転倒方向が正反対になるのが普通である(第5図)。しかし、地すべりではこのようなことは起こり得ない。

以上のことから、盛土の地表変状が狭義の地すべりである、すなわち、重力の作用で地質体がすべり面上を滑動する現象である、とする見解(釜井ほか, 1995; 松山・吉岡, 1995)には賛成できない。

#### 4. 地震動説の検討

転倒(傾動)と移動は地震時の墓石・灯籠の破壊に見られる典型的な運動様式で、地震動の加速度による慣性力によって生じたと考えられる(菊山ほか, 1996)。コンクリート擁壁やブロック積み擁壁、歩道等の縁石、三面張り側溝、U字溝の傾動や転倒の場合も地震動による破壊で説明できる。ただし、これらの構造物が墓石・灯籠と異なるのは、その片側が背面盛土による拘束を受けている点である。マンホールのコンクリート管の横ずれ(移動)は墓石・灯籠の移動と同様の現象と考えられ、地震動による破壊で説明できる。

今回の地震では、墓石・灯籠においても横跳びが広い地域で観察され、墓石・灯籠の破壊に水平動と共に上下動の影響が大きかったことが明らかになっている(菊山ほか, 1996)。空石積み擁壁や石積み擁壁で観察された横跳びや歩道の敷石の跳ね上がりも地震動による破壊で説明できる。

斜面の吹き付けや張りブロックの剥離は、土壁の漆喰や、モルタル木造家屋のモルタル壁、建物の外装タイルの剥離と同様の現象である。各材料には振動のエネルギーを吸収する機構が存在しており、それによって振動エネルギーが減衰すると考えられている(田守, 1990)。振動エネルギーを吸収する機構としては、材料内部の分子間の摩擦や、空隙(空気や水など)中を振動するとき生じる抵抗、材料の塑性変形によるエネルギーの消耗、材料を構成する個々の固体間に存在する摩擦などが考えられている。相接する材料間で減衰の度合いが大きく異なるような場合には材料ごとに振動の仕方が違ってくる。剥離はその結果として生じると考えられる。

アスファルトやコンクリート舗装、煉瓦敷き、敷石の移動は、相接する材料間で地震動による振動エネルギーの減衰度合いが異なることによる剥離作用と慣性力の作用による移動が同時に起こったとみることでもできる。

頑丈な建築構造物や土木構造物の周囲のアスファルトや排水溝に破壊が集中したり、構造物を取り巻くクラックが発達するのは、頑丈な構造物ほど破壊すること無く周囲の地盤と異なる位相でゆれ続けるため、周囲の地盤や、アスファルト、排水溝などを破壊するからであると考えられる。

地震動による土木構造物の破壊では、作用力はひとつ(地震動)であるが、土木構造物の形態・構造・材質の違いや、地形条件の違いによって、破壊の直接の原因が慣性力であったり、剥離作用であったり、あるいは両者の複合であったりすることとなり、その結果多様な運動様式をもつ破壊を生じたのである。

地震動災害では、いまだに十分な評価がなされていないものに上下動の影響がある。敷石の跳ね上がり、空石積み擁壁や単独岩塊の横跳び、路面舗装材の剥

離・移動、吹き付け工のコンクリートやモルタルの剥離に伴う座屈などの発生は水平動に上下動が加わることによって容易になると想像される。上下動の影響下では、擁壁でも上下動で持ち上げられた瞬間に、水平動による慣性力が働いて、安定性が著しく失われるという状況は十分に考えられる。上下動の影響評価は今後の課題である。

## 結 論

盛土の地表変状の原因は地震動である。盛土の表層部に施工されている土木構造物は、移動、傾動・転倒、横跳び、剥離、低角度衝上を起こして著しく破壊しているが、その周辺の盛土は脆性破壊が少なく、ほとんどの場合塑性変形をわずかに生じているだけである。盛土の変形領域の深度は浅く、地表部ほど大きく変位している。盛土の地表変状は頑丈な構造物の周辺や地形変換点の近傍に集中する傾向がある。

## おわりに

今回の地震災害で、盛土の構造地質学的解析が非常に難しいことを痛感した。その理由は、初生の非変形時の地質構造が読み取れないこと、人手が入っているだけに理屈に合わない要素が多数含まれていること、土木構造物や建築構造物も地質の構成メンバーとして検討しなければならないこと、などである。しかし、都市の大部分を盛土が覆ってしまっている今日、盛土を避けて都市地盤の地質学的問題を考えることはできない。

## 文 献

- 中央開発調査団, 1995, 1995年兵庫県南部地震 阪神大震災災害調査報告書. 中央開発株式会社, 51p.
- 阪神・淡路大震災調査研究委員会, 1996, 阪神・淡路大震災調査CD-ROM. 関西地質業協会.
- 平野昌繁・波田重熙, 1995, 六甲山地東南部の断層の活動と変位地形. 「阪神大震災」緊急合同報告会, 日本地質学会・日本応用地質学会・関西地質調査業協会・断層研究資料センター・大阪市立大学「阪神大震災」学術調査団, 24-27.
- 釜井俊孝・鈴木清史・磯部洋一, 1995, 兵庫県南部地震による都市地域の地すべり. 地質ニュース, no.486, 21-23.
- 菊山浩喜・横山俊治, 1995, 墓石・灯籠の転倒からみた1995年兵庫県南部地震の地震動. 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, 91-96.
- 菊山浩喜・横山俊治・中垣幸恵・柏木健司, 1996, 墓石・灯籠の転倒調査から推定される1995年兵庫県南部地震の地震動. 土と基礎, 44, 42-44.
- 建設省国土地理院, 1996, 1/2500都市圏活断層図(大阪西北部). (財)日本地図センター.
- 松山紀香・吉岡敏和, 1995, 1995年兵庫県南部地震によって発生した宅地開発地域の斜面災害. 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, 117-120.
- 宮田隆夫・洪景鵬・前田保夫, 1995, 神戸市街地の隠れた活断層. 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, 45-48.
- 嶋本利彦・川本英子・堤 昭人・大友幸子, 1996, 震災の帯と活断層一伏在起震断層説は甦るか?. 日本地質学会・環境地質研究委員会編, 阪神・淡路大震災一都市直下型地震と地質環境特性, 東海大学出版社, 122-134.
- 田守伸一郎, 1990, 建物のゆれ方. 宇佐美龍夫編著「建築のための地震工学」, 市ヶ谷出版, 101-131.
- 山科健・朗, 1995, 兵庫県南部地震の神戸側の地震断層. 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, 41-44.
- 横田修一郎・仲津忠良, 1996, 西宮市上ヶ原地区の例にみる兵庫県南部地震による盛土地すべりと旧地形に対応した地表での地割れの変位. 地球科学, 50, 385-390.
- 横山俊治・菊山浩喜, 1995, 1995年兵庫県南部地震の地震動による地盤災害. 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, 229-232.
- 横山俊治・藤田 崇・菊山浩喜, 1995, 1995年兵庫県南部地震で発生した宝塚ゴルフ場の斜面変動. 兵庫県南部地震等に伴う地すべり・斜面崩壊研究報告書, 地すべり学会, 61-77.