

淡路島北部における兵庫県南部地震による地変と地震被害 VI. 地割れ・地震断層はどのように地下に続くか?(その1)

服部 仁¹⁾

はじめに

地震直後に地表で観察した地割れ・地震断層は、1mの狭い範囲内でも変化し多様な地変を私に見せてくれた。このような地変がはたして地下にどのように続いてゆくのか、あるいはどう変貌するかが最も知りたいことであった。地下-16kmの震源域において生じたと推定されている断層変位は本当に地表に現われたのか? 震源域の仮想断層と兵庫県南部地震で出現した地震断層とが一連のものなのか、この素朴な疑問が私の抱いてきた課題の原点であり、本文をまとめる契機になっている。

表層地質は、人間の居住空間としても社会基盤としても最も重要である。特に‘自然の地質体’に刻まれた地震による変状(ground truth)から、地下浅所でもい自由解放面の地表条件とは違う封圧下の-数mから-10mの地下地質と照合してみたかった。残念ながら知りたかった肝心の点、すなわち、断層の存在は調べられても、今回の地震によってどれだけ変位したかを確認・言及した記録・報文は全く見つからなかった。

表層地質における地割れ・地震断層が地下浅所にどのように結ばれるかに迫ってきたのが本連載シリーズである。今回が第6回目で、最終章の前半(その1)である。次回の第7回目は最終章の後半(その2)であり、次号543号に掲載の予定である。

最初に、本文中の用語の意味を確認する。次いで、典型的ないくつかの地変・地震被害の事象例を、‘自然の地質体’、‘人工改変地’および‘人工構築物’の順に取り挙げ、表層の地変観察から地下地質の変状を推測する際に鍵となる物性の違い、

“不連続面”などの要因を考察する。まとめとして、地割れ・地震断層、斜面崩壊などの地変は、表層地質の不安定な場所において既存の活断層、節理面などの“不連続面”に出現したものであること。さらに、封圧下の地下地質が地震断層によって変位した可能性は低く、今後、変位したかどうか確認することが必要、と述べる。

36. 地変の現われ方

地変は、地震断層上で顕著に発生したが、そのほか沖積層などの軟弱地盤でも多発している。本文では用語は以下の意味で使用している。

地変：地震動によって表層地質が崩壊し、次の三通りの形態で現われた(第35図)。

- ①斜面崩壊による落石・滑落がおもで、地面に変状が現われないことがある。
- ②地割れ：しばしば雁行しながら断続し帯状に延びる。開口していることが普通で、密に閉じた亀裂状の場合もある。
- ③明らかな断層形態を示す地震断層：断層面とその走向・傾斜や変位量が明白なもの。

地震断層：地震断層を次の二つの意味に使う。

<狭義の地震断層>地表において‘自然の地質体’が露出し、そこで断層面がはっきり観察でき、しかも走向・傾斜や変位量が計測・確認できる場合。

淡路島北部では、長さ160m程度の規模の直線状断層が、狭い範囲に限って認められた。これが狭義の地震断層である(第35図a)。

<広義の地震断層>地割れがおもなもので、表土のなかで数m程度の広がり幅をもって帯状に延々と断続する。表土中の地割れの下がどんな表層地質

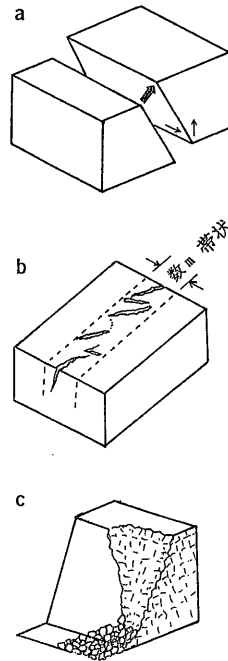
1) 鹿島建設(株) 技術研究所 顧問：
〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1
元地質調査所

キーワード：盛り土と地山、地震被害の差別化、地下水と地震断層変位、断層粘土脈、地割れ、斜面崩壊、震源域、震源断層、棚田の被災、水路・U字溝の壊れ

からできているか、表土の厚さが判断できない場合がほとんどであった。地割れの延長上に斜面崩壊が局所的にできていて、まれに大阪層群やそれよりも下位の‘自然の地質体’、おもに花崗岩類を確認できることもあった。このように地変が数mの幅のなかで地割れとして、時には雁行状に断続しながら帯状に延びて小縮尺の地図上に一本の線として表わせる場合、狭義の地震断層が見つからなくても、地震断層とみなして広義の地震断層とした。これが一般的な地震断層の用法である(第35図a,bおよびcを含む:第36図)。さらに、固有名詞を接頭に付けて野島東地震断層などと呼んでいる。地震断層:ここでさらに確認しておきたい点がある。

第一点は、活断層である野島断層が長さ約3kmの範囲において全く地変を生じていなかったこと。活断層と地震断層とは同一のものではなく、活断層の一部が強い地震動によって極めてまれに変位したため地震断層になっている。活断層と地震断層とは区別する必要がある(第37図)。

第二点は、狭義および広義の地震断層はあくまでも地表の表層地質に限って観察された地震動による現象であって、地下深所の-数kmから-20km

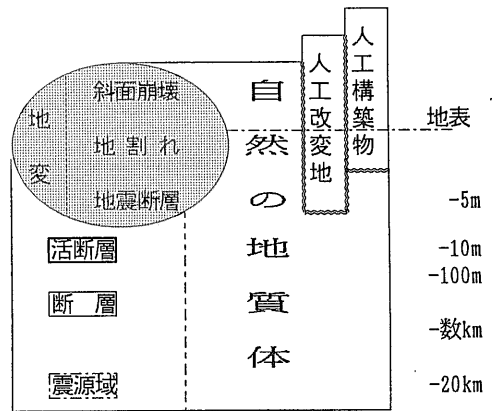


第35図
三通りの形態で現われる地変。
a.狭義の地震断層。
b.地割れ。
c.斜面崩壊。

の震源域において推定されている震源断層(仮想)からは離れすぎている。今日まで、地表で変位した地震断層が地下浅所の-5m~-10mにおいてすら変位が確認されておらず、ましてや震源断層までに直結できる資料はほとんど得られていない。通説として一般に流布している「起震断層説」は単なる作業仮説の一つに過ぎない、と私は考えている(第1表,注1)。

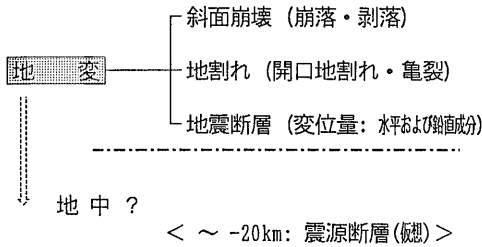


第36図 地変および広義の地震断層を誇張した模式図<1/10,000北淡町図に記入>。
a,bおよびcは第35図に対応。

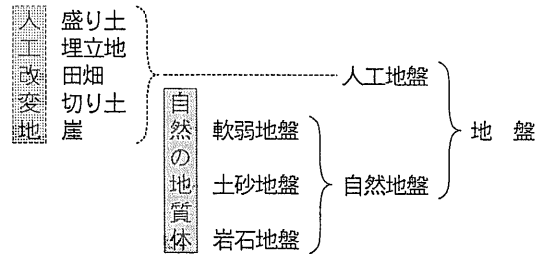


第37図 本文における用語の使い分け方。二重波線は“不連続面”を表わす。

第1表 地変の区分.



第2表 地盤の区分.



37. 地震被害の現われ方

地震動による被害は、軟弱地盤(第2表)の土地において圧倒的に甚大であり、地割れ・地震断層やその周辺で生じた被害の規模よりもはるかに大きかった。例えば、震央から約20km離れた、南西方の一宮町や南方の津名町南部の沖積層地域が震度7の激震に襲われ、家屋がたくさん倒壊した。そのほか、'人工改変地'で補強工事など行われていない盛り土の人工地盤においても顕著な被害をもたらした。

地震被害の大小は、地盤の堅固さと軟弱さとの差によってほとんど決まっていたといっても過言ではない。田畑は最も軟弱な'人工改変地'であり、地割れがたくさんできて帯状に断続した。棚田の段差、特に斜面上部には大きな崩壊が発生した。地割れの上では、田畑の損傷を除くと、'人工構築物'の受けた被害は一般に軽微であった。地震断層(狭義)の上では、'人工構築物'の受けた被害は断層変位の程度・地盤条件によって大きく差別化された。

38. 地変と地震被害との関係

地変と地震被害とはいつも一対一の対応をしてはいない。地変は見えなくても、甚大な地震被害が引き起こされた広い地域がある。それは表層地質が軟弱地盤からなる地域で、特に海岸低地や沖積層、盛り土・埋立地である。逆に、地変が大きかったところでも地震被害が小さかったり無傷のところがあった。

'自然の地質体'内では地震断層は変位が小さかった。地割れや斜面崩壊が断続する線上、例えば、野島東地震断層の延長上において、谷底や河

床では地震断層はもちろんのこと地割れもできず全く変状の現われなかった所がある。一方、延長約160mにわたり約1.3m~2.4mの顕著な断層変位が二か所に生じた。

- ①地変は、'自然の地質体'内で生じた場合を重視する。'人工改変地'では地変・地震被害ともに大きかった。なかでも地山と対照的に盛り土・埋め戻し地では顕著であった。
- ②地表と地下とでは、1m以内の狭い範囲内でも、水平方向・鉛直方向で地変と地震被害が異なることがある。
- ③希有の墓石の飛び跳ね地震動現象
墓石の飛び跳ねたそのすぐ隣接の墓石が不動であったり、無被害あるいは逆向きに転位した。茶間墓地と小倉地震断層上の井手本家墓所における軟弱地盤の上で起った。
- ④接地・設置条件による水路・U字溝の被災
サイズと埋め込みの深さ、内蓋付きの違いにより、無傷か、剥離・分離・飛散するか、大破して折れ曲がるかなどの差別化があった。
- ⑤不安定な地盤条件上の'人工構築物'の被災
堤防型地盤の頂部路面上において、地震動が大き増幅され、すべり易い"不連続面"の介在もあって破断が拡大した。
- ⑥上下水道管理設、マンホール、電柱など地下埋設物のある場所の地表面が大きく破断した。
- ⑦頑丈なコンクリート基礎上の建造物は、地震断層上であっても地震被害は軽微であった。

39. なにが地変・地震被害を差別化するか

一つの場所において、顕著な地変が現われた直ぐ隣り合せの1m以内でも地変が軽微であったり何の変状も現われなかったこと、あるいは目立った

A 物性の違い (密度・間隙)		B 不連続面 (---:接触面)	C 形状 (サイズ)	D 経時変化 (初期変状)
自由空間	水圏 大気圏			
人工構築物	舗装路, 擁壁, 橋, 堤防, 溝, 遮土, 土留, 土留, 土留, 土留	打設境界	不安定 基礎, 門脚	逆の 人為的
人工改変地	田畑, 盛土, 切土, 崖, 堤防, 溝, 地下空洞・トンネル	地形面<=力線面> <傾斜変換線> 地すべり面 <地下水> 節理・層相界 不整合 断層<断層・断層>	安定 傾斜変換線 河床・谷底	力の 重心 順応 本震 余震
完新世 更新世 鮮新世 中新世 白亜紀	自然の地質体 風化 類 断層 破砕 表土・土壌, 沖積層 段丘・崖錐堆積物 大阪層群 岩屋累層 花崗岩類(I, II, III)	軟弱 封土 大 深所		

第38図 地変・地震被害を差別化する要因。

地震被害のところで対照的に軽微・無被害が隣接していた。この差別化現象の原因はどこにあるのであろうか。

主要な要因は、地盤が地震動に対してどの程度ならば安定であるかあるいは不安定になるかであって、構成物質の物性の違いおよび隣接物質間の接合関係に最も依存している。ここに関連する他の要因を含め私見を述べる(第38図)。

A 物性の違い

構成物質が保持する物性は、第一義的には密度・間隙率の違いによって決まる。

‘自然の地質体’: 淡路島北部における‘自然の地質体’は、①白亜紀花崗岩類, ②中新世岩屋累層, ③大阪層群, および④段丘・崖錐堆積層・沖積層に4区分する。地盤強度は、大体①花崗岩類から④の新しい地質時代の地質に向かって低下する。それぞれの地質は、地表面やその近くでは風化して土壌になり、地盤は軟弱になる。③大阪層群よりも新しい軟弱な地層は、礫層を例外として、地表から地中に向かって封圧が増加すると、地盤強度は高くなる。

‘人工改変地’: 埋立地や盛り土の地区および畑や水を張ったあるいは十分水を含む田は極めて軟弱な土地である。

‘人工構築物’: 地面の上に造られたもの、一部地中に基礎を置くもの、地中に埋め込まれたものなど多種類に及ぶ。これらが受けた地震被害は、多様な形態を示している。

B “不連続面” (境界面・接触面)

“不連続面”は地質や地盤条件の急変する所と

して、地変・地震被害の原因を究明する上で極めて重要である。地面およびその下の地中を構成する物質が、水圏と大気圏との間になす境界面は最大の物性差を生み出す。軟弱地盤の場合、地変・地震被害に起こり方は地形面の状況によって大きく左右されている。地形面のなかでも、特に傾斜変換線沿いにおいて選択的に地割れと地震断層が集中した。逆に、谷底・河床は地震断層はおろか地割れすら確認できないことが多かった。

“不連続面”の種類: ‘自然の地質体’では不整合、断層、節理、片理、層相界、地すべり面などが、物性差を生み出す。含水率や間隙率の違い、風化・変質の程度は密度差が小さいけれど物性差のもととなる。‘人工改変地’の埋立地や盛り土では、土砂・礫の混じり方に不均質性が生まれる。‘人工構築物’内では一定の範囲内では同一材料物質の施工が行われ、工事区分ごとの打設境界がたくさんでき、これらも“不連続面”をなす。

‘自然の地質体’と‘人工改変地’の間、‘自然の地質体’と‘人工構築物’の間、‘人工改変地’と‘人工構築物’との間の接合部にも物性差の境界面ができていく。これらの“不連続面”にはしばしば地下水が介在するため、地変と地震被害の発生様式や差別化はさらに多様化する。

接触・接地の接合関係: 接着部分が開口していて疎で、時には空隙が介在して締め固まっていなかったり、あるいは逆に密接に固着しているかの違いによって、“不連続面”の評価は分かれる。接触形態が平面であり緩く疎の状態で開口していたら、地震動によって両側が別個に差別運動して、両者の境界

面がすべり効果を発生させたり、共鳴・増幅効果が働いて大きな変位に発達しうる。地下水が潤滑油の役割を果たすと、大規模な地すべりを引き起こし易くなる。

地下空洞：地中に空洞があるかあるいは風袋の大きい物質で作られている時、地震動によって一種の浮力が生まれることにより直上の地面はしばしば破断される。

緩衝効果：‘人工構築物’の中の“不連続面”はしばしば弱い境界面になり、クッションあるいはボールベアリングのような役割を担うためか、そこが一種の緩衝効果を与えたり免震的に機能することがある。

C 形状(サイズ)

安定な形状と不安定な形状：墓石や電柱、突出した門扉・扉、四角形や蒲鉾形の堤防のような細長い台地は地震動に対して不安定な形状である。これに対して安定な形状は、ほぼ水平面を保った平面の土地であり、そのほか地表下に刻み込まれた谷や河川の底部、すなわち河床である。河床は、周囲からの土圧も加わってより圧密性が高く、平面の土地よりも安定性は高い。

D 経時変化

地変や地震被害の現場は、本震によって発生した直後の初期変状が長期にわたりそのまま保持されるとは限らない。

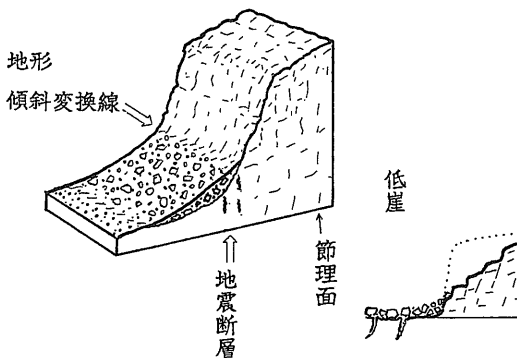
時々刻々変る：幹線道路や電力・上水道などのライフラインが被災すると、緊急に復旧させるため、本震後、時間をおかないでしばしば突貫工事が進められる。転倒墓石の場合は早く元状復帰されるこ

とにより、地変と地震被害の原状がわからなくなってしまう。また余震によって初期変状が違った形態に順次移ることもある。前の例が人為的な、後の場合は初期変状が揺さぶられて重力に順応した方向に移動する自然現象といえる。自然の変化と人為的な変化との両方の要素が合併して経時変化していることもある。

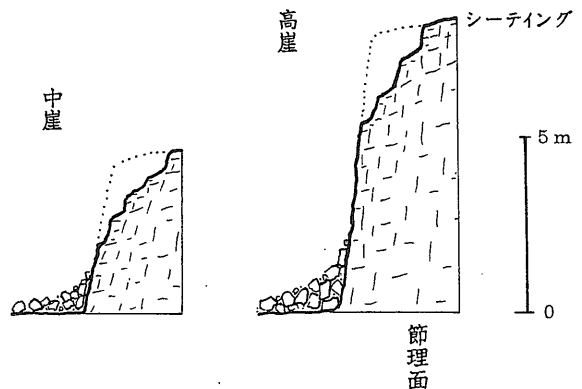
以上述べた内容については、すでに第1回から前回まで連載シリーズ中の地区・地点ごとに個別に具体的に記載している。この最終章では、A 物性の違い、B “不連続面”(境界面・接触面)、C 形状(サイズ)およびD 経時変化の四つの要因を念頭において、代表的な地変と地震被害の事象例をいくつか選んで以下に紹介し、差別化の原因を分析してみる。

40. 堅固な花崗岩岩盤のなかの地震断層

地震断層が花崗岩のなかを通るところでは、断層変位は極めてまれにしか生じていない。大抵は斜面崩壊・岩塊の剥落・滑落程度に終わっており、地震断層は、地形の傾斜変換線(第2図参照)やその近隣の崖をかすめ(第39図)、平坦地を通ることはほとんどない。地震断層は崖面に直交・斜交しており、平行することもある。傾斜変換線はこの場合、急斜面から緩傾斜面へ移行する遷緩線である。その下にはたいてい崖錐堆積物が広がり、しかも地下水に富む地質環境を形成する。既存の節理面や粘土脈をもつ節理面(おそらく小規模の断層)は、地下水の浸透や風化を進行させ、小断層のよ



第39図 地形の傾斜変換線と地震断層の位置。



第40図 地震断層上における斜面崩壊の現われ方(低崖、中崖および高崖)。



写真76-1 野島東地震断層上のコンクリート路面の破断と左横ずれ。中田 清一氏邸前の道路カーブ地点 [服部撮影 (1995.1.27)].

うに機能するため堅固な花崗岩のなかでは不安定な地盤になっている。

緩斜面や急崖において、地震断層の通る位置で花崗岩が崩壊するとき、低崖の場合と高崖の場合とで崩壊の現われ方が違って見える。低崖の場合、斜面崩壊とともに隣接の道路面に地割れが生じている。高崖の場合、崖の高所では崩落が大きいものの低位置の下部に向かって小さくなるか無傷の状態、隣接の道路面には地割れが現われない (第40図)。以下に若干の観察例を示す。

低崖 (高さ1-2m程度)

次の①地点の地変が典型的で、そのほかに②および③地点において類似の事象が観察できた。

①野島轟木の中田 清一氏邸に面する道路のカーブ地点 (第7図参照)

このカーブ地点の法面は約2m高の花崗岩からなる低崖で、野島東地震断層が通る。その法面からは薄い崖錐堆積物が剥がれ落ちて路面に薄く積もり、その奥には強風化花崗岩が露出した。花崗岩には節理面が乱されることなく残っており、断層破碎はもちろんのこと断層変位も認められず、強風化花崗岩の表面のごく一部が剥離・滑落したにすぎなかった (写真29-4参照)。

地震断層の通るコンクリート路面は、いくつかの多角形に割れそれぞれ10cm程度横ずれした (写真29-1,2参照)。地震断層の位置から見て、破断したコンクリート板は南東側 (山側) が北東方へ転位し、側溝のU字溝を押し上げるように潰している (写真76-1,2)。その向きは左横ずれであり、しかも重力

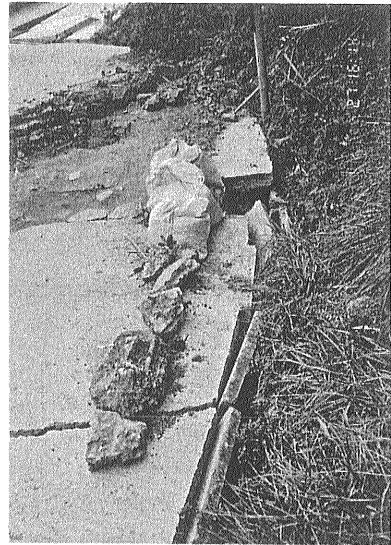


写真76-2 同所のコンクリート板がU字溝を横下方から押し上げて潰す様子 [服部撮影 (1995.1.27)].

に逆らう上向き気味であった。この路面下には、道路に平行して簡易上水道の鋳鉄管が埋設されている。

②大畑 英雄氏邸南の小沢北側法面からの崩落

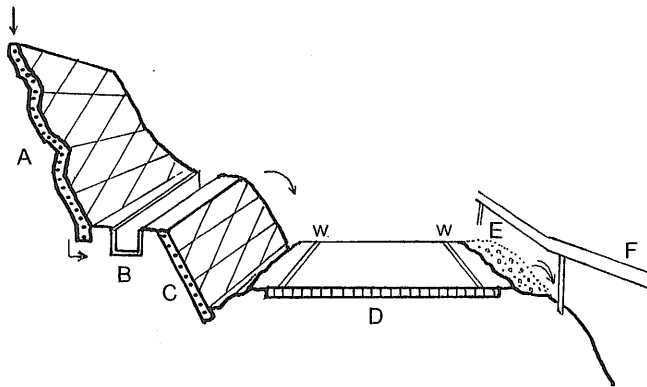
花崗岩からなる約2m高の低崖の法面の全面には、崖錐堆積物ができており、これらを野島東地震断層が直断した。斜面崩壊が起こり、表層の雑木が滑落し、花崗岩の地肌が顔をのぞかせた。路面の砂利道には幅10cm以上の開口地割れができ、小沢の側面擁壁が破断されてはらみ出した。しかし横ずれ変位は認められなかった (第40図低崖; 写真34-1,2参照)。

③鵜崎堰堤横の1m高の崖からの小崩落 (写真67の矢印)

中崖 (高さ3-4m程度)

④江崎燈台の登り階段9段目IXの踊り場上の法面 (第4図参照)

この踊り場脇の法面は高さ約3mの急崖で、弱風化花崗岩からなる。この法面は野島地震断層の通る位置で、マサ化した花崗岩表面の小部分と小岩片がわずかに崩落した程度の小さな変位であった (写真6参照)。小岩片は粘土脈を含む節理面から剥離・脱落したにすぎず、法面のどこにもまた地震断層の通る位置で変位は認められなかった。法



第41図

野島東地震断層と小倉地震断層と分岐点における斜面と路面の模式断面図。

A: 上段擁壁(高さ2.9m).

B: U字溝.

C: 下段擁壁(高さ1.5m).

D: アスファルト路面(W: 白線).

E: 路肩土砂崩落.

F: ガードレール.

矢印: 擁壁の移動.

二重矢印: 土砂の崩落方向.

面下で踊り場と間の長大コンクリート側壁には亀裂などの変状も見られず無被害であった。踊り場のコンクリート製敷石には二つの開口亀裂が、隣接する南西方の地面には細い開口地割れが生じていた(第40図中崖;写真20参照)。

この事実は、堅固な岩体や‘人工構築物’中に地震断層が通っても変位を生じなかったことを明示しており、あたかも『断層がピタリと止る』と表現したくなるような地変現象であった。

⑤野島東地震断層・小倉地震断層分岐点(第9図D地点, 写真39参照)

野島蓼浦のこの地点では、地震断層が約60°の角度で道路を横切っている。地震断層は北東方から続く野島東地震断層がこの地点で二本にわかれるので、扇の要のような場所にあたる。この崖には崩落防止のため高さ約3mと1.5mの堅固な擁壁が二段設けられ、その間に水路用U字溝が造られ、下方のアスファルト舗装道路とガードレールに続く(写真77-1;注28)。地震の約半年後、復旧工事が1995年7月に行われた。その当時の工事記録写真を含めて、この地点における地変と地震被害の起こり方を考察する。

本震3日後までに以下の‘人工構築物’に地震被害が生じた。

- (1) 上部擁壁は二つに破断・分離し、南東側部分が道路側へ押し出して約20cm滑落(第41図A)。
- (2) その下に隣接するU字溝は押し出されてばらばらに分離(第41図B)。
- (3) 下部擁壁は数個のブロックに分断(第41図C)。
- (4) 下部擁壁基部と路面との間の小さな溝に、ブロック状に割れた下部擁壁が横倒し落ち込み、
- (5) さらに隣接アスファルト路面(第41図D)を壊し、

路面をプレッシャーリッジのように盛り上げた。路面全体は破断して小さな亀裂が走り三枚の板状スラブに割れ、それぞれに右と左に数cm横ずれした(写真77-2)。

この分岐点における路面の壊れ方は、時間経過とともに大きくなっている。最初の記録写真からもう7日後、すなわち本震から10日経つと、上部擁壁がずれ落ちながらさらに道路側に押し出されてきて、破断した開口部分が拡大した。顔を覗かせた擁壁奥には、裏込め砂利や崖堆積物、花崗岩の岩片やマサ土がばらばらに滑落しているのがよく見られるようになった。しかし崖の奥の地肌までは顔を出さなかった(写真77-3)。U字溝はばらばらに分離して飛び出したが、折傷してはいなかった。その付近は強く潰され、ブロック状に分断された下部擁壁はアスファルト路面側にばらばらに押し広げられ、路面は大きく破壊されていった。この路面の破断が進行する状況は、路面上の白線とその上に押し被さってきたブロック状下部擁壁との距離関係を比較するとよくわかる。

この地点の復旧工事は、路面下方の野島川に面する法面の破断部分(第41図E)修復工事とともに実施された(写真39-3参照)。当時の工事記録写真から崖や路面下における地質がどのように地震断層の影響を受けたかが読み取れる。上部擁壁をそのまま残し、分離・移動したU字溝と下部擁壁および路面のアスファルトを除去した状態(写真77-4)では、地震断層が通る付近一帯の路面には風化した花崗岩のマサ土がきれいに広がっている。地震断層の位置の地肌は無傷で、断層面も見られず変位はなく、筋一本ついていなかった(上村 敬氏談)。路面に地変が刻まれていなかった事実は、



写真77-1 復旧工事直前の擁壁および路面の状況 [上村建設(株)撮影(1995.7)].



写真77-2 本震3日後の変状 [池上 龍雄氏撮影(1995.1.20, 2p.m.頃)].



写真77-3 本震10日後の破断の進んだ状況 [服部撮影(1995.1.27)].

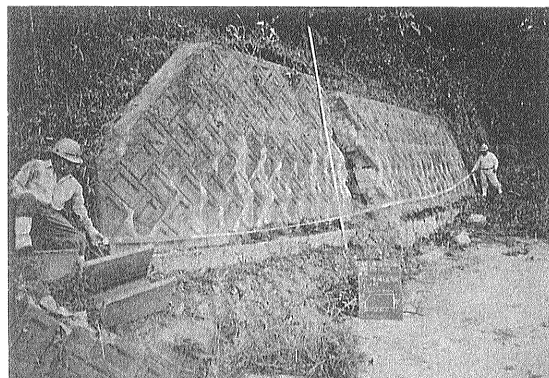


写真77-4 破断・崩落した擁壁・U字溝, アスファルトなどを除去した後の道路面 [上村建設(株)撮影(1995.7)].

この写真からはっきり読み取ることができる。また、上部擁壁の奥の地肌は、節理のたくさん入った花崗岩が見え、その脚下には崩れ落ちた岩塊が散在している(写真77-5)。しかし、地震断層が通る位置で破壊・変位があったようには見えない。

地震断層分岐点では、崖において擁壁などが大きく破壊されたが、舗装道路面下の地肌には全く傷がつかなかった事実を強調しておきたい。

⑥地震断層に平行な崖面：野島養浦-老人憩の家東方(第9図B地点, 写真37参照)

この急崖は野島東地震断層の延びの方向に平行する面をなす。地震断層はその法面のなかを通り、表層が大きく崩落した。新たにできた露頭には、角張った花崗岩の節理が目立つものの、地震断層による破断・変位は観察されなかった。南隣する低い斜面には地割れもまた西隣の簡易舗装小径には



写真77-5 二つに破断した上部擁壁の内、北西側部分を除去した後の崖の状況。写真左上に花崗岩節理の目立った地肌が見える [上村建設(株)撮影(1995.7)].

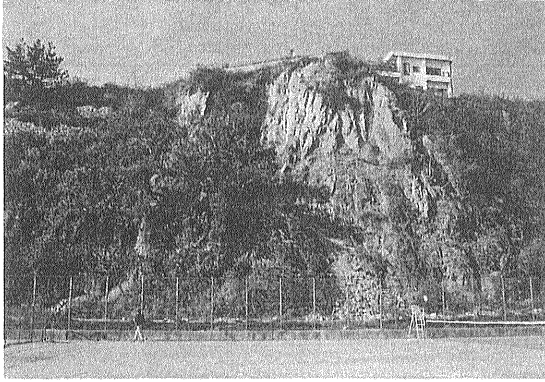


写真78-1 地震断層直上の高い崖における花崗岩表層からの崩落[服部撮影(1995.1.28)].

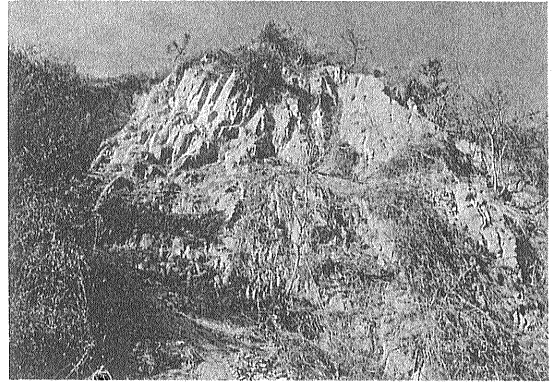


写真78-2 地震動によって岩壁上部数mに現われた節理面[服部撮影(1995.1.28)].

亀裂も現われなかった。

高崖(高さ5m以上)

次の二地点は、大規模な土石採取のため岩盤掘削が行われた跡地にできた急崖である。両地域ともに、周辺に地下水が滞留する地質条件下になかったのが特徴である(第40図高崖)。

⑦鵜崎地震断層北東端(写真78-1,2;第28図A地点, 写真68参照)

この岩屋中学校校庭西側の岩壁は、10m高以上の急斜面をなし、二か所に別れて鵜崎地震断層が通る。この急崖は上部数mから花崗岩の表層が剥

離・脱落した。崖の中間部や下部の花崗岩には変状はなく、隣接する路面や校庭・テニスコートには筋一本すらついておらず無傷であった(写真78-1)。

崖上部に新しく露出した花崗岩は、直方体状の節理面が見られ、地震断層によって破碎・断裂が生じて変位したようには見えない(写真78-2)。

⑧灘川地震断層(写真69参照)

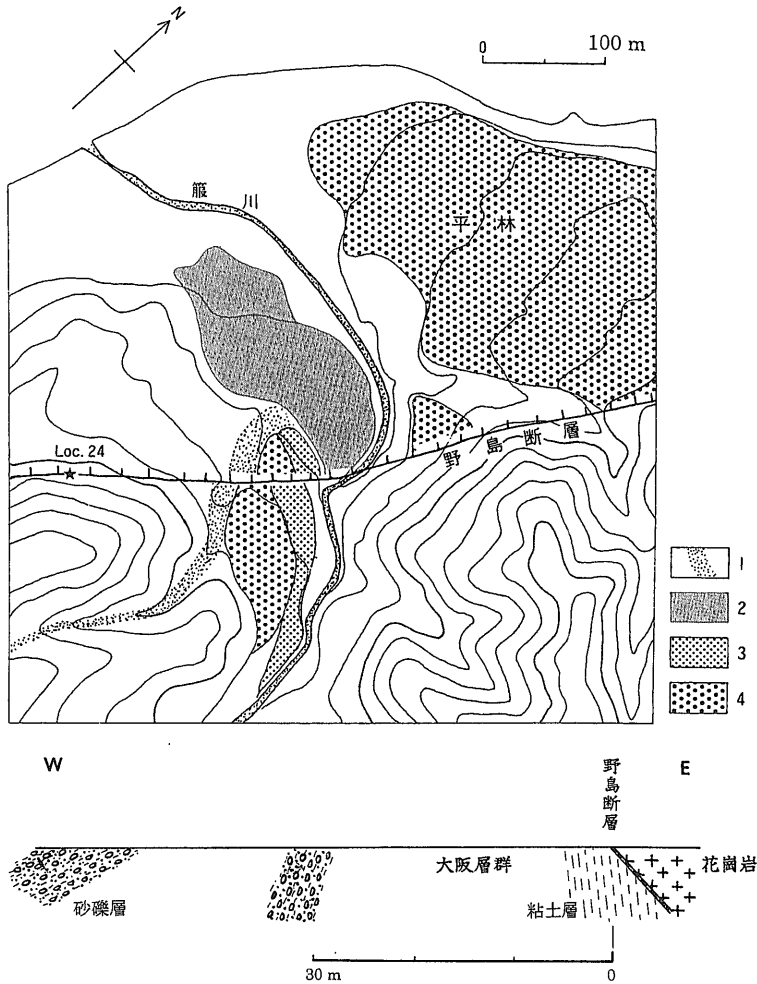
この広大な採掘跡地の急崖において、本地震によって変位したことが確認された明瞭な地震断層がある(文献32,33)。その変位は約数cmの鉛直変位量と極めて小さかった。部分的に約20cmの横ずれ変位を報じたものもあったが、表面剥離や斜面滑落の可能性もあり、灘川地震断層をどう評価するかは難しく、地震断層とみなさない見解もあるようである。しかし、堅固な花崗岩岩盤中に発見された希有の地震断層であり、もし地下延長部で断層変位が確認できていたら貴重な ground truth になったに違いない。



第42図 野島平林簾川周辺の地形図<北淡町都市計画図1/2,500(1991)を使用>。

41. 花崗岩分布域西端の活断層が大変位

この地区は、淡路島北部において、地震断層が最大の変位量(水平210cm,鉛直120cm,総変位量240cm)を記録した場所であり、顕著な直線状の断層面が現われた。地震断層は野島地震断層の一部であり、北淡町野島平林の簾川に南隣する西海岸よりの地形の傾斜変換線上(写真79-1;口絵写真, 第42図)に位置する。この地区は深層まで強く風化した野島花崗閃緑岩からなり、地形の傾斜変換



第43図

野島平林野島川南側の直線状野島地震断層。

上図：低位段丘面を切る地震断層と花崗岩と大阪層群との境界をなす野島断層(文献6)第30図のスケール1kmを100mに訂正記入。

下図：野島断層西隣の大阪層群分布状況。寒川氏の記載内容を断面図に略図化。

線あたりから北西側に大阪層群と低位段丘堆積物が分布する。傾斜変換線あたりから西側は緩傾斜地で棚田に利用され、その南東側の高所が大規模に掘削された。土砂採取量の記録(文献6)に基づいて計算すると、9年間に1m²あたり約200t掘削・除去されて、軽量化したことになる(本連載シリーズ第7回(次号)の巻末資料-2参照)。

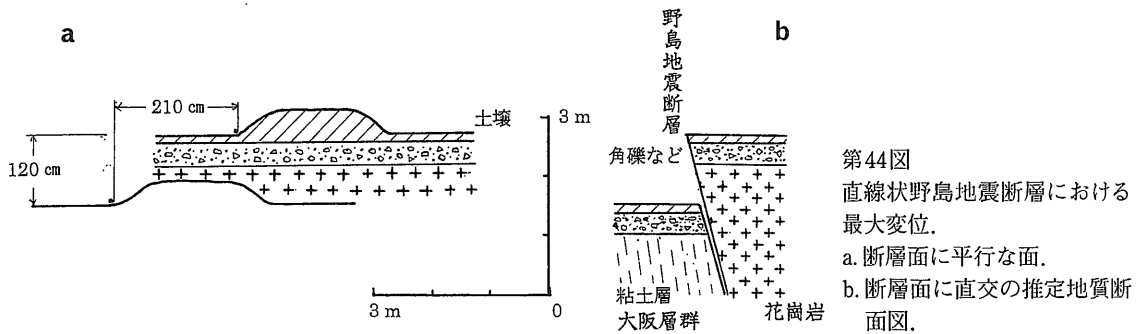
約160m長の直線状野島地震断層(写真79-2,3;口絵写真)は、棚田の最上部に出現した。山側が

約1.2m上昇した断層面(N30°~40°E, 80°~85°SE)には、幅約1-2cmの青色を帯びた灰白色の断層粘土脈(写真79-4,5;口絵写真)ができており、本震の1日後にはすでに乾燥ひび割れし、一部では剥離・脱落した。その裏側には、乾燥状態のマイロナイトが風化花崗閃緑岩の中に数層の帯状に広がって見えた。この現象は、すでに存在していたマイロナイトに沿って、今回の平成7年兵庫県南部地震によって上記の幅約1-2cmの断層粘土脈が新しくできたことを意味する。

直線状野島地震断層の露頭の一部は、約20年前に寒川 旭氏が現地調査しており、5万分の1地質図「明石」の研究報告(1990年,第43図上図)において詳細に記載されている。すなわち、低位段丘面を切る野島断層の断層崖(写真79-6;口絵写真)において掘削地の南西隅(文献6,p.55-56,第31図右端の矢印の位置:第30図のLoc.24)に断層面(N75°E,傾斜48°S)が記載された。この野島断層は逆断層であり、断層面から花崗岩側は幅4mにわたって白褐色の粘土-シルト状に著しく破碎を受けていた。下盤側の大阪層群粘土層は、断層活動に伴う引きずりによって

反転し、走向N20°E,傾斜86°Eを示す(第43図下図)。

その後、この地区から奥の方の高所がさらに掘削され、また圃場整備事業によって、従来の狭い一枚一枚の水田が広い田に拡張され、段差も高くなっている。このような工事経緯から、1979年当時の水田に面する断層崖(写真79-6;口絵写真)と今回の野島地震断層のそれぞれの地点を正確に照合することは難しい。おそらく、古い断層崖は当時のまま残り、その断層崖の南西端から新しく直線状地



第44図
直線状野島地震断層における
最大変位。
a. 断層面に平行な面。
b. 断層面に直交の推定地質断
面図。

震断層が北東方にできた、と判断する。直線状野島地震断層は、古い断層(野島断層)とは 30° - 50° 斜交してできており、しかも断層粘土脈やマイロナイトの産状から、当時記録されていなかったもう一つの古い断層の弱線に沿ってできたことがわかる。

直線状野島地震断層は逆断層の形態を示し、上盤側の約120cmの地層がよく観察できた(第44図a)。すなわち、表層の10-15cmが水田の土壌、その下の40-50cmが盛り土・崖錐堆積物・段丘堆積物の混じったような砂礫層、さらにその下が強風化した野島花崗閃緑岩の三層からなる。上盤側と下盤側との間には隙間があって密着していない部分が広がっていて、逆断層のように圧縮破碎しながら上昇したようには見えなかった。下盤側は露出しておらず、掘り起こして観察していないので断定できないが、上記の寒川 旭氏の記載によれば、土壌の下には大阪層群の粘土層が分布する(第44図b)。この野島地震断層は、野島花崗閃緑岩と大阪層群との境界断層である。青色を帯びた灰白色の断層粘土脈が断層面にでき、1日後に乾燥ひび割れして脱落しており、下盤側の数10cm以下に伏在する大阪層群の粘土層が十分な地下水のもとでめくり上がってできた可能性が高い。

42. 大阪層群中の活断層が大変位(小倉地震断層の南西部約160m=野島断層保存館内)

北淡町震災記念公園の野島断層保存館が1998年4月に一般公開され、以降たくさんの方が見学者が全国からのみならず海外からも訪れている(文献29, 第15図, 写真51-1,2,3参照)。この長さ約160mの直線状地震断層(写真80-1,2:口絵写真)は、上記

の41.花崗岩分布域西端に位置する北淡町野島平林の麓川南の野島地震断層とよく似た特異な地質環境を持っている。すなわち、大阪層群からなる標高33~37mの丘陵地が1970年頃から掘削された。土砂採取はおもに1987年頃に終わっているが(写真80-3,4;口絵写真)、直線状地震断層の現われた周辺は掘削されないで丘陵が残っていて、その上の鍔蒼き河野 道信氏の自家はまだそのまま残っているのが読み取れる(写真80-5,6;口絵写真)。

1985年に光洋開発(株)の藤原 照夫氏(写真81)によって掘削事業が再開され、1990年暮頃に残っていたこの丘陵が削剥され始め、自家も取り壊されなくなり標高10m程度まで平坦化された(本連載シリーズ第7回の巻末資料-3参照)。丘陵が高さ20mほど急に削除され低くなってから4年後に、平成7年兵庫県南部地震に襲われて直線状地震断層が出現した(再録写真50-10,11:口絵写真)。

1991年8月に(株)和航が光洋開発(株)の依頼を受けて撮影した斜め空中写真(写真80-7)を詳しく見ると、河野 道信氏邸の北東側にくっきりと一本の線が確認できる(写真80-8)。その位置は、まさしく今回の平成7年兵庫県南部地震によって出現した直線状小倉地震断層にぴったり符合している。惜しむらくは、1987-89年の地質調査時点から5万分の1地質図「明石」(1990年3月印刷・発行)の原稿とりまとめの段階では、この断層は露出しておらず、断層の存在はわからなかった。しかし、丁度この辺りには大阪層群の地質構造から水越撓曲(活褶曲の一種)が水野 清秀氏により認定されていた。もし地質調査当時、この断層を観察できる露頭が存在していたら活断層として、例えば小倉断層と命名されていたに違いない。この写真には、もう一つの重要な証拠、溜池が活断層直上の河野 道信氏



写真80-6 河野 道信氏邸付近の土地削剥状況[光洋開発(株)提供,(株)和航撮影(1988.7)]. 西方海上から撮影。



写真80-7 同氏実家および三角点付近を削剥してゴルフ場用整地済みの状況[光洋開発(株)提供,(株)和航撮影(1991.8)].

邸隣接地点に見られる。この溜池が丁度野島断層保存館内に展示されている断層露頭断面付近に位置しており、1991年8月に深く掘り込まれ、後日埋め戻された‘人工改変地’であったことを示す当時の地質環境が録画されている。

43. 地震断層上の盛り土と地山における地震被害の差別化

盛り土や埋め戻し地などの‘人工改変地’において大きな地震被害が発生し、直ぐ近くの地山の切り土上の家屋などが無傷か軽微な損傷に止まり被害を免れている。その好対照をなす典型的な実例「盛り土と地山との違い」を示す建造物が小倉地震断層上の二か所において今でも観察できる。一つは、河野 道信氏邸の北側の裏庭であり、もう一つは、河野 義男氏邸に西端裏庭である。両氏邸はと



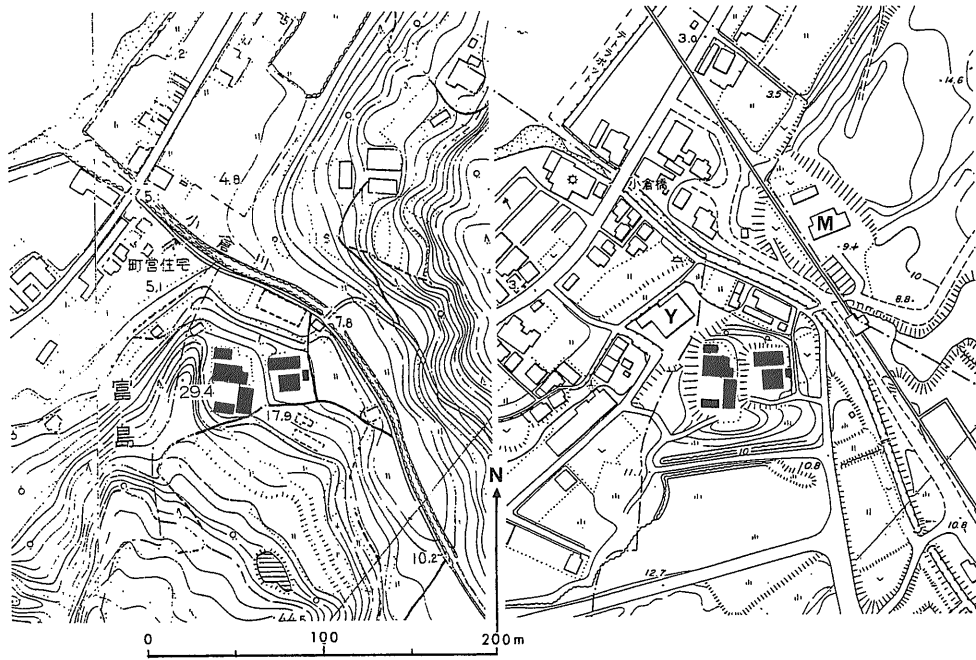
写真80-8 河野 道信氏邸北東側にくっきり見えた活断層。写真80-7の部分拡大。

もに、鉄筋コンクリート造り母屋の基礎が切り土の地山地盤にのっていることがわかる(第45図)。特に、河野 義男氏邸の母屋は標高29.4mから北に細長く伸びる丘陵を削剥した地山に位置する。両氏邸は、本連載シリーズIVにおいて、22.河野氏邸の変状および24.河野 義男氏邸の被災状況のなかで概略を記載した。本文では、地盤と‘人工構築物’との関わり合いに絞って問題を整理してみる。

河野 道信氏邸：同氏邸は小倉地震断層に直撃されて外塀が大破した。外塀を含む同氏邸全体が天然記念物に指定された後整備され、野島断層保存館の隣に震災メモリアルハウスとして1999年4月から一般公開された。北東側の外塀と南西側の外塀の被災状況および裏庭周辺の破断状況は、損傷した母屋の一階部分とともに見学ルートからよく見える。著しく破損した部分と軽微な部分とがどのよう



写真81 光洋開発(株)社長 藤原 照夫氏。



第45図
 小倉川北東方および南西方における地形改変。
 左図：1/3,000北淡町都市計画図(1964)。
 右図：1/2,500北淡町都市計画図(1991)。
 黒く塗った家屋は古くから建っており両図に共通。
 M：河野道信氏邸
 Y：河野義男氏邸

に差別化されたか、を地盤条件から比較する(第46図)。

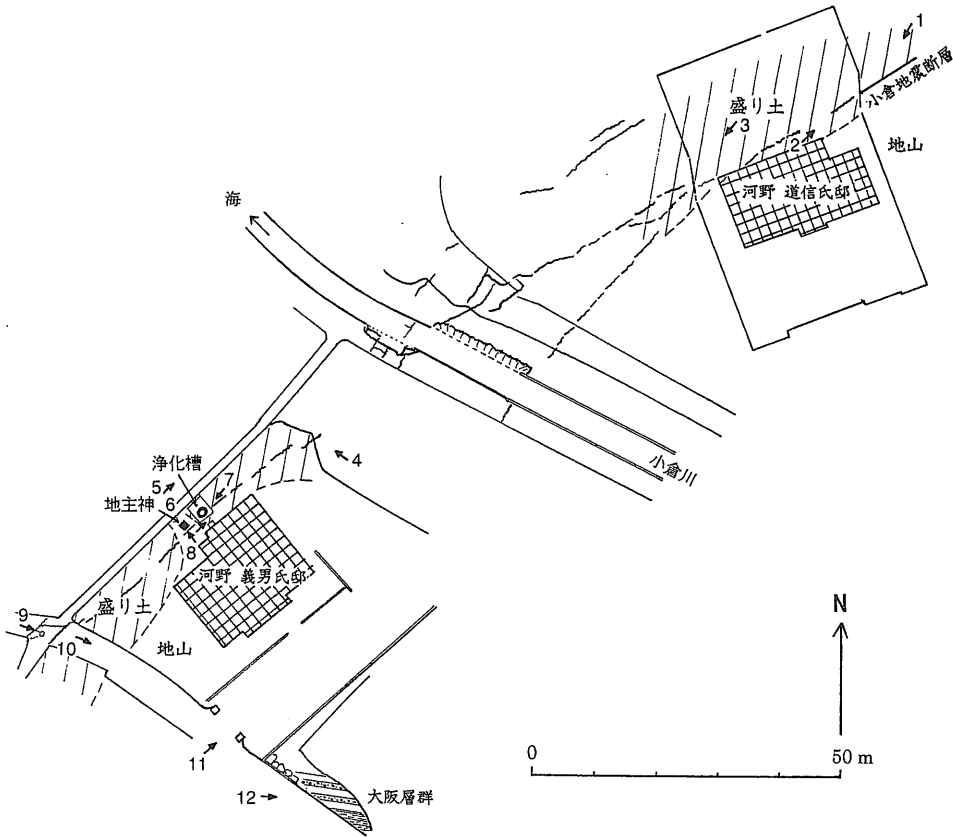
地震断層の通る北東側の外塀(以降、北東塀と略記。写真82-1;第47図)付近は、断層地点を挟む5.5mの両端が折れ曲がった。折れ曲がった塀は一枚板のように傾動した。南側の母屋に面する方の端(ここでは南端と略記する)では、約30cm開口し、15cm程浮き上がって大きな段差がついた(写真82-2;写真11参照)。塀は鉄筋入りコンクリートブロック積み(注29)であり、破断面から中の鉄筋は引きちぎられていたのが見える。折れ曲がった塀のもう一方の端(北端と略記)では、上部は閉じたまま段差も小さく、圧縮破断しており、下部の方が20cm位開口していた。折れ曲がった塀と地震断層の変位状況を外側(東)から見ると、断層の上盤側が塀に激突する所で約20cm反り上がって見える(写真54-2,3参照)。

この一枚板の塀は、中間あたりのコンクリート基礎(深さ1mまで掘り込んで打設されている)を支点として、あたかもシーソーのように両端が上下したかのように見えた。ちょうどその中間付近が地山と盛り土の境界にあたり、しかも地震断層が通る位置でもある。塀のコンクリート基礎最下部が地山に構築されたのか、あるいは盛り土地盤中であるかの差によって、塀の破断は大きく差別化された。

地震断層の下盤側は盛り土で陥没し、変位した北端の2.5m北の位置から元の塀の所まで、直角三角形に深くえぐれて陥没状態になり、ほとんど盛り土からなる表土などが少量こぼれ落ちて埋めたものの大きな空間が生まれた。この空間部分にあった表層地層は盛り土とともに北東方(第47図手前側)に横ずれ移動しており、表層地質と折れ曲がった一枚板塀とはそれぞれ別個に差別移動した。北東塀の相対的変位は、右横ずれ約120cm、段差約70cmで北西側落ちであった。

一方、南西側の外塀(以降南西塀と略記。第47図、写真82-3;写真54-8,9参照)は、地震断層の所で塀が約1mの幅で縦割れし、さらに北側へ幅7m程先で割れ一枚板をなした。一枚板の南端では、上端が約20cm開口し、その下端は閉じる形で大きく破断して折れ曲がった。その北端でも大きくはなかったが折れ曲がった。南西塀の相対的変位は、右横ずれ約70cm、北西側(第47図左側)が約15cm落ちた。地盤は、幅約1mに割れた部分の南側地点あたりから北方が盛り土に造られている。

以上のとおり、外塀は盛り土地盤の所で著しく大破し、母屋に面する外塀は地山にのって折れ曲がり破断はなく、縦のひび割れも僅少であった。コンクリートブロック塀の壊れ方は、北東塀と南西塀とを比べると、明らかに南西塀の方が小さい



第46図

小倉川を挟む河野道信氏邸と河野義男氏邸における盛り土および地山地盤分布と地震断層。

数字と矢印：写真撮影位置と方向。

変形であった。

野島断層保存館内の南端部に展示されている断層露頭の断面(写真51-2,3参照)から、地震断層が塀にぶつかる辺りでは薄く盛り土されていることが読み取れる。そして、その盛り土は北に向かって厚くなっている。事実、河野道信氏によると裏庭は盛り土でできていて、緩く締っていない土庭が広がっていた。母屋近くのコンクリート路床は数m平方大のスラブ状で、この盛り土上に打設されており、地震発生の2年前に完成したばかりであった。

母屋が大阪層群のシルト層と砂層からなる地山を基礎地盤とするのに対して、この裏庭は畑や花壇に使われ緩く締っていない土庭で、地盤は極めて軟弱であった。コンクリート路床は、その土庭で母屋の両端に接する所と倉庫との間に打設された。コンクリート路床は、外塀の折れ曲がった一枚板塀近くのみが破断しており、他の大部分は打設境界で分離して横ずれしたり、わずかに反っていた(写真54-5参照)。コンクリート路床が最も大きく横ずれしたのは、南西塀に接するもので、約80cm東

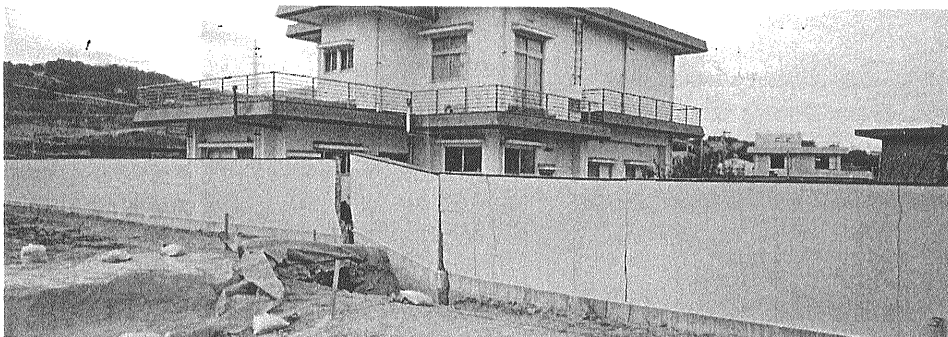
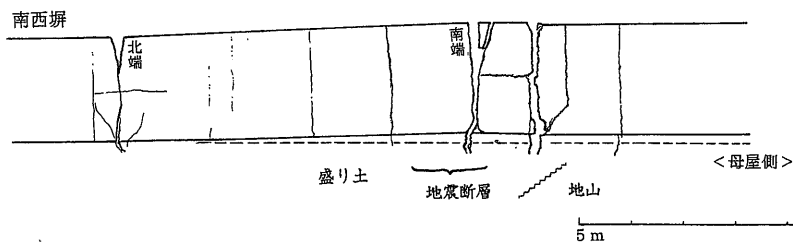
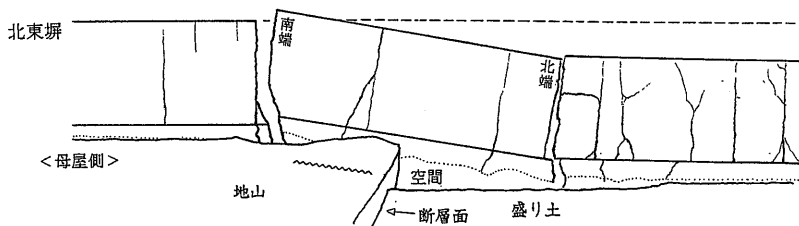


写真82-1

河野道信氏邸裏庭および北東側外塀の破断(第46図の位置1)。

[河野道信氏提供; (パノラマ写真)].



第47図

河野 道信氏邸外塀の破断略図。破線は比較用の水平面，波線は地山と盛り土との境界線付近，細点線は元の地面をそれぞれ示す。

方に移動した(写真82-3)。その東端では、地震断層の所でプレッシャーリッジ状に盛り上がった土庭の下にコンクリート路床が突っ込む形になっていた。土庭がプレッシャーリッジ状に圧縮された後に、

コンクリート路床が横ずれしている(写真11参照)。土庭の盛り上がり変状とコンクリート路床の横ずれ運動には明らかな前後関係があった。

小倉地震断層が母屋を直撃したのはコンクリート基礎の北西隅であり、断層の位置には目立たないくらいの細いひび割れ状の開口亀裂が生じた(写真11の矢印)。庭にはその基礎との継ぎ目に接したコンクリート路床の下部30cm位に水道管と塩ビ排水管が埋設されていた。今回の地震によって埋設物の位置では、コンクリート路床がスラブ状に開口分離・移動し、排水桝の上蓋も横ずれしたが、地中に埋められた塩ビ排水管は継ぎ目で抜けて分離したものの、管自体には破断は生じなかった。コンクリート路床のスラブは直下に敷かれた基礎砂利とともに横ずれしたが、それより下の深さ30cmあたりの塩ビ排水管を包む地盤は影響されず、表層部分のみが変位した(写真54-6,7参照)。

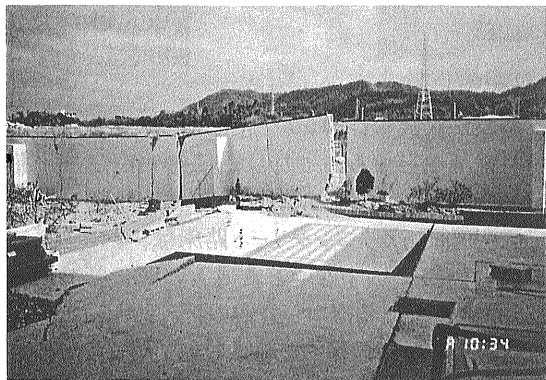


写真82-2 同上外塀の内側と裏庭の破断(第46図の位置2) [河野 道信氏提供].

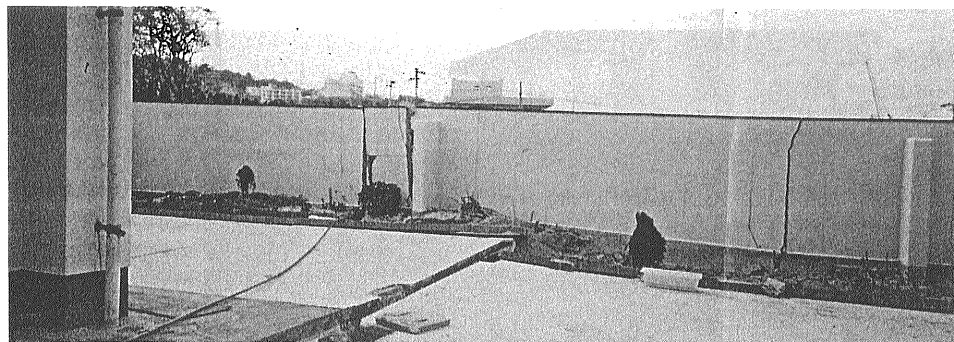


写真82-3

同氏邸南西側外塀とコンクリート路面の破断(第46図の位置3)。

[河野 道信氏提供; (パノラマ写真)].

河野 義男氏邸：河野 義男氏邸の母屋・石庭と門扉周辺には砂礫が分布しており、南北に延びる丘陵を削剥した地山の上に建築されたことがわかる。西側の裏庭には、勝手口、生活排水の浄化槽、地主神、鍛葺き日本家屋などがあり、小倉地震断層が通った(第46図;第19図参照)。この裏庭で地山からなる地盤は、地主神の場所である。

北側の外塀は高さ約2mの石積み擁壁の上に、コンクリートブロックを積んでいる。小倉地震断層に直撃された場所では、モルタルで固着した石積み擁壁の上部が大きく開口破断したが、地面に接する下部の石垣は軽微の破損で変位は小さく、V字形のように開口した。しかも、その脚下のU字溝は全く破損せず、1~2m離れた所で寸断され数cmほど横ずれした程度であった(写真83-1;第19図A地点,写真9参照)。石積み擁壁がわずか高さ2mの違いで異なる被害を受け、上下で差別化されたことは明らかである。

母屋勝手口の踏み台が右横ずれしたように、しばしば報告されている。母屋は地山地盤上に建っており、踏み台から外塀までの間は盛り土であり、しかも浄化槽と塩ビ排水管を埋設するため掘り起こして緩く締っていない地盤である。母屋のコンクリート基礎との間は大きな不連続面になっている。この勝手口付近では、地震断層は踏み台よりも西側を通っている。したがって、断層の位置から見ると、踏み台は左横ずれしたことになる(写真83-2;第19図B地点;写真57-2参照)。本震の1か月後、北方へ左横ずれした踏み台と流し台付近を掘り込んだときの、排水管と上水道管などの無被害状態が写真に記録されている(写真83-3)。母屋のコンクリート基礎が深さ-1m近くまで堅固に造られており、地震動によってひび割れも生じていない。コンクリート製踏み台は砂利基礎の上に置かれ、地下から一本の鉄筋が突き出ている接続されていたことがわかる。このような地盤環境下で踏み台は、母屋基礎から分離して約1m北東方へ左横ずれした。移動方向側の踏み台先端に横向きの亀裂ができており、滑らかに移動したわけではないことを印している。

母屋勝手口から外塀までは約4mの距離があり、その中間あたりの地下に直径1m、高さ1mの円筒形浄化槽が深さ約-1.5mまで、またその上部に勝

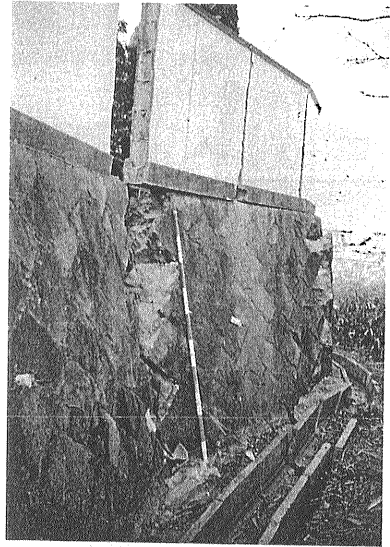


写真83-1 河野 義男氏邸北側外塀を直撃した地震断層と擁壁の破断(第46図の位置4) [津野 真一郎氏撮影(1995.1.21)].

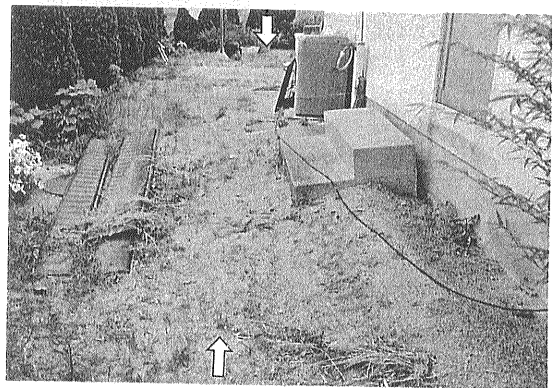


写真83-2 同氏邸裏庭勝手口の左横ずれした踏み台から外塀にかけて(第46図の位置5)。矢印は小倉地震断層の通る所[服部撮影(1998.6.9)].

手口から延びる排水管が接続され埋め込まれていた。小倉地震断層は浄化槽と塩ビ排水管の接続部あたりを通っている。しかし、この浄化槽も塩ビ排水管も被災せず従来通り機能していた。1999年7月、この浄化槽を大型三連浄化槽に取り替えるため2m×6m、深さ-2m開削したところ旧浄化槽も塩ビ排水管も姿を現わしたが、地震断層の通る所で損傷していないことが確認された(写真83-4)。もちろん、鉛直・水平変位は生じていない。

倒壊した日本家屋の場所に、新しく鉄筋コンクリート二階建て家屋が造られ、そのコンクリート基礎

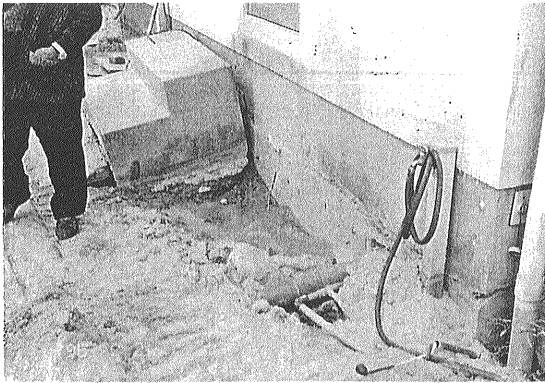


写真83-3 同勝手口の左横ずれした踏み台下を掘り込んだ状態(第46図の位置6) [前田建設(株)撮影(1995.2.21):文献36の写真3-28].

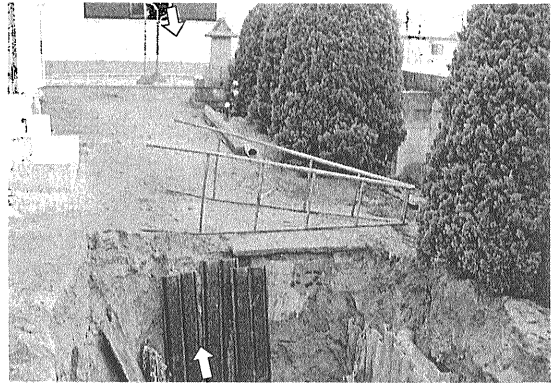


写真83-4 踏み台から浄化槽の間を小倉地震断層が通る(第46図の位置7) [服部撮影(1999.7.27)].



写真83-5 不動の石造り地主神(第46図の位置8) [服部撮影(1999.7.27)].

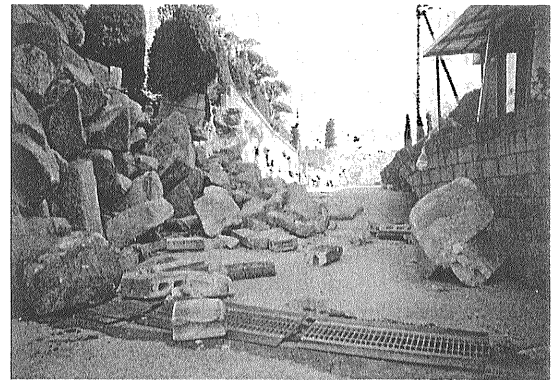


写真83-6 同氏邸西隅から東へ向けた登り坂下部横の外塀の破断(第46図の位置9) [津野 真一郎氏撮影(1995.1.21)].

などがかさ上げされた。それに伴って地主神付近も、以前よりも20-30cmかさ上げ盛り土されたが、外塀寄りの植木付近は今でも円礫と砂が広がっていて、地盤が大阪層群の砂礫層からなる地山環境にあることがわかる。この石造り地主神(写真83-5)は、一見してあまり大きく感じないが、三層からなる基礎石は、計測すると95cm×80mの四角形で高さが60cmあり、重量はゆうに1tを超える。その基礎の上に高さ1.2m以上の石造り神社がのり、全体で2t近いもので、しかもその脚下1m以内の砂礫層地山には地震断層が通って地割れができていた。ところが、「地主神は全く移動も何の変状も起こらなかった」という。この河野 義男氏の説明には信じがたいので執拗になんども詰問を重ねた。その私に対して「本当に地主神様は動かなかった」と同氏は笑って答えられるので、もう‘不動の地主神’

を信じるよりほかはない。

地主神の場所から2m南に離れた所は、かつての鍛葺き日本家屋が建っていて地震により倒壊して西側の外塀に寄り掛かり、屋根などが外塀の上を越えて小道からさらに西側の田に落込んだ。この家屋付近から敷地南西隅にかけて1-2mの厚さの盛り土地盤になっており、倒壊した家屋の真ん中あたりに人間が埋まるほどの開口地割れができていたことから、軟弱であったことが裏付けられる。以上のとおり、地盤環境の違いがいかに被害を大きく差別化したかはっきりしている。

同氏邸西隅の外塀と小道の破断はすでに記載したが(第19図E地点, 写真57-7参照), 三段組みの塀の内側の地盤状況を具体的に記録した写真が見つかったので、ここに再び記載する。同氏邸のなかで、日本家屋が倒壊したのが最大の地震被害であ



写真83-7 登り坂下部の路面の破断と南隣ブロック塀のはらみ出し(第46図の位置9)[水野 清秀氏撮影(1995.1.27)].

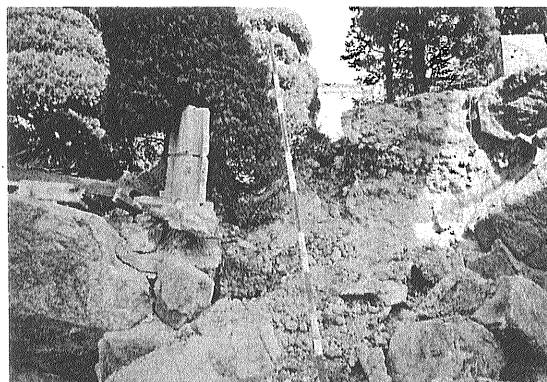


写真83-8 同外塀の破断・崩落箇所の内側には盛られた砂利が見える(第46図の位置10)[津野 真一郎氏撮影(1995.1.21)].



写真83-9 同氏邸南東隅の石組み門柱と河野 義男氏(第46図の位置11)[服部撮影(1998.10.24)].

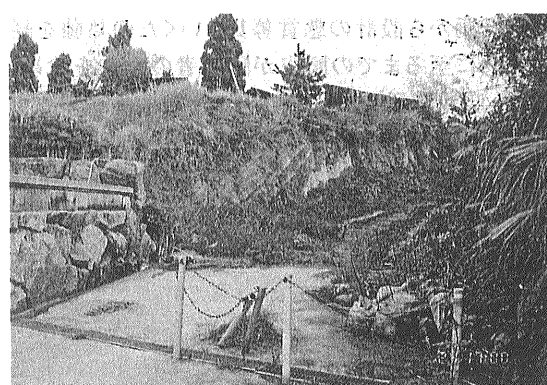


写真83-10 同氏邸南方約30m付近の大阪層群の露頭(第46図の位置12)[服部撮影(1998.10.24)].

って、それに次ぐ大きな被害がこの西隅の外塀である。下から二段目石組みから1m大の岩塊がせりだし転んで向こう側のブロック塀にぶつかった(写真83-6;第19図E地点,写真57-7参照)。その上のコンクリートブロック積みの直立塀も分断され、登り坂道路面に転落・飛散した(写真83-7)。この塀は2m程盛り土された地盤上に造られたため大きく破断したが、破断・崩落箇所の内側には盛られた砂利などの乱雑な積層構造が見えた(写真83-8)。

東に向けた登り坂道上部では、路面も塀も破損しなかった。このあたりの塀は地山の上に建っており、同氏邸南東隅の正面門扉に続く(写真83-9)。門柱は石組みでできており、地震で少し内側に動いた、と河野 義男氏は話している。この門柱

右手には石組み擁壁で囲まれた台地があり、南北に延びた旧地形の丘陵の痕跡を留めており、裾の切り土には大阪層群のシルト層と砂層の互層からなる露頭がある(第19図F地点,写真83-10;第45図左図,標高29.4m丘陵頂部付近の位置に相当)。この露頭よりも上位の砂礫層が河野 義男氏邸の方に向かって広がっていて、より安定した表層地盤を構成している。

HATTORI Hitoshi (1999) : Superficial rupture by Hyogoken-nambu Earthquake, north Awaji Island, and resulting earthquake disaster. VI. Can ground fractures and earthquake-induced faults of superficial ruptures link to any fault in a subsurface geology and down into a deeper crust? Part 1.

<受付:1999年9月1日>