

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 VII. 地割れ・地震断層はどのように地下に続くか? (その2)

服部 仁¹⁾

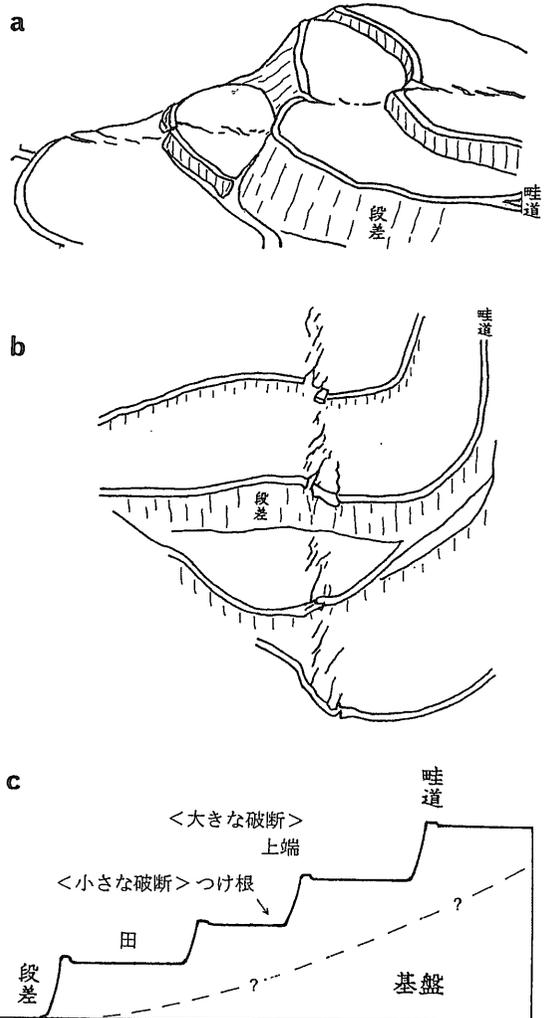
(本文は、連載シリーズ第7回目で、最終章の後半である。)

44. 最も軟弱な人工地盤、棚田における被災

‘人工改変地’のなかで最も軟弱な人工地盤は田である。水稲作付け中は常時田に水をたたえており、農閑期においても大抵湿田になっており一歩足を踏み入るとぬかるみにはまりかねない。わけても、棚田は雛段のようにたくさんの段差がついていて、一層不安定な地盤になっている。地震断層は、淡路島北部の西海岸沿いにおいて田畑と灌漑水路を広く襲い、甚大な被害を加えた。地震発生時、水田は冬季であったため冠水している所は少なかったけれど、湿ってぬかるんでいて非常に軟弱な土地であった。地震断層の通る場所は棚田上部が多く、しかも地形の傾斜変換線にも近かった。その時点では灌漑用水は流れていなかったが、周辺上流域の溜池は満々と水をたたえていた。

水田は、近年、農耕機を活用し易くするために圃場拡大事業が進められ、その結果一枚の棚田は広くなり、田の間の段差は高くなっている。棚田は、地震断層の通る位置で、段差に直交することもあれば、斜交あるいは平行することもあった。棚田には地震断層の所で開口地割れがたくさん生じて壊れた。典型的な開口地割れは、幅5m程に広がって杉型雁行をなして断続しながら延びていた。

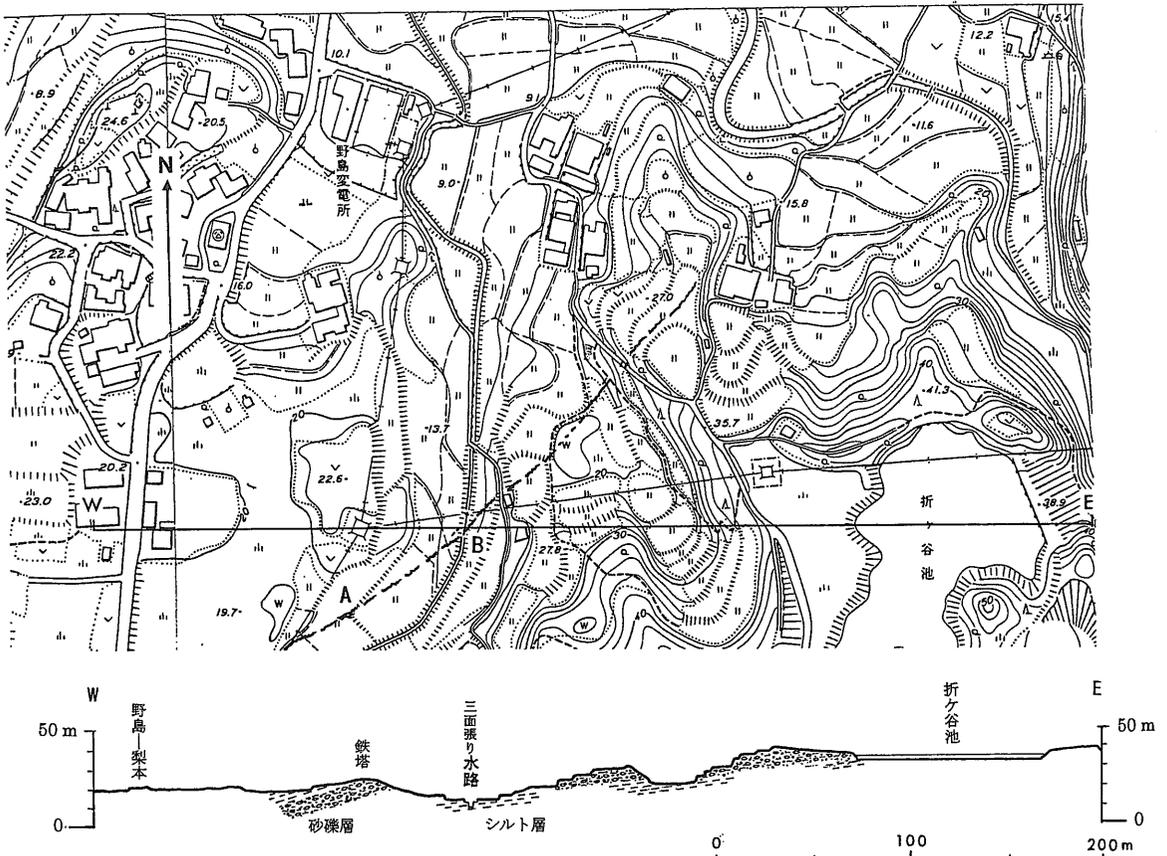
棚田のどこが大きく破断したか：棚田の壊れ方には、一つの傾向があった。すなわち、棚田端の畦道や隅角部が顕著に破断し、大きく開口地割れしたり、右横ずれもあれば左横ずれも見られた。棚田の中で比較的破断が小さかったのは段差のつけ根付近、つまり棚田端の畦道下や隅角部の下部であった(第48図)。棚田という不安定な地盤であって



第48図 棚田の壊れ方を示す概念図<(株)カジマビジョンがヘリコプターから撮影したビデオ記録(1995.1.20)を図化>。a.地震断層に直交する方向から見る。b.地震断層に平行する方向から見る。c.棚田の模式断面図。

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



第49図 北淡町野島-梨本間における小倉地震断層および大阪層群砂礫層・シルト層の分布概略を示す地質断面図<北淡町都市計画図1/2,500に記入>。

も、地震断層上において下部の方が比較的壊れ方が小さく、上部の方が壊れ方が大きかった。地震断層上の棚田においても、地震動に対する抵抗性の面で棚田の強い部位と弱い部位とが区別できそうである。

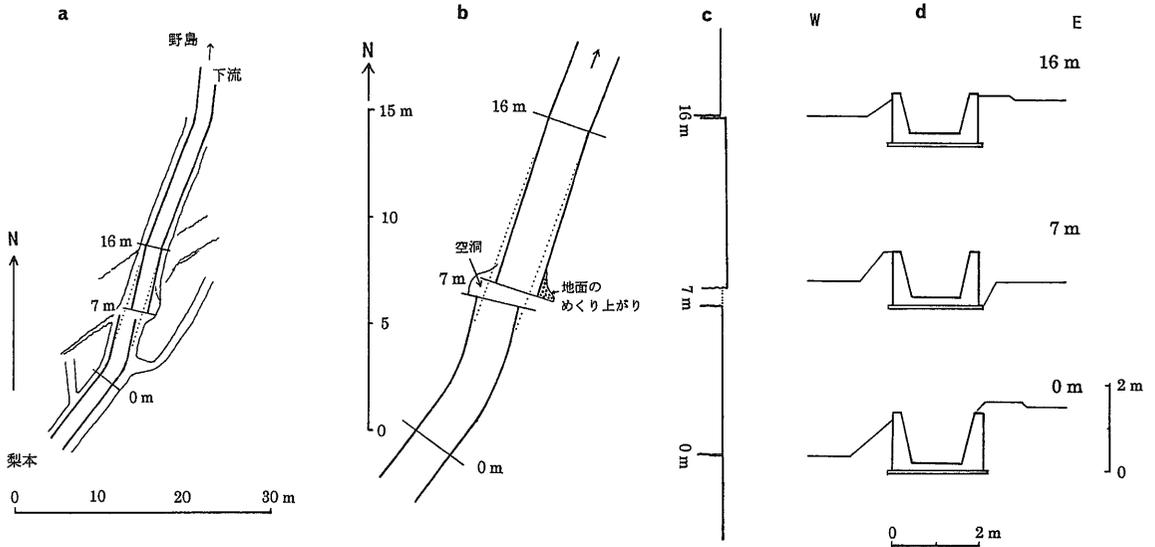
もし、地震断層が棚田の基盤を含む深所から地表まで連続するものであって、1mを越す変位量があれば棚田のつけ根付近が基盤に最も近いので大きな変位や変状が現われてもいいはずである。だが、実際にはどの棚田でもつけ根よりも比較的締め固められている段差上部やその上の畦道が大破壊している。この事実は、地震断層が表層における特殊現象とみなして差し支えないことを示唆している。

左横ずれの地震断層：小倉地震断層の上で、右横ずれではなく左横ずれが、野島-舟木間の梨本集落から北東方に延びる広い谷沿い西側の棚田で見

られた(第49図および写真84-1：本誌542号の口絵写真のA地点)。数段の棚田が小倉地震断層に切られたが、一部の田には水が広がっていた。棚田端の畦道が断層と約40°で斜交する所では、鋭角で接する方の畦道が大きく崩落して開口地割れを作り、鈍角のほうの畦道はほとんど変化が見られなかった。したがって、崩落の結果だけからは左横ずれができたように見えた(写真84-2：本誌542号の口絵写真)。

45. 水路の壊れ方

水路は、淡路島では農業用灌漑用水として谷底や斜面沿いに何種類かの大きさで作られている。水路は鉄筋入りコンクリート製品であり、設置条件によって、例えば埋め込みの深さなどによって地震断層の上でも破断の程度に差が出ている。以下



第50図 北淡町野島-梨本間の谷底において小倉地震断層に直撃された水路の状況。[北淡町提供の工事記録を参考に作図]。a.位置略図 b.破断箇所の平面図 c.同側面図 d.水路断面図。細い点線は地震前の水路の位置。

に、壊れ方の典型的な実例を紹介する。
谷底に深く埋め込まれたコンクリート水路-地震断層上における最大の破壊

このコンクリート水路は、北淡町野島-梨本間の広い谷底に造られた三面張りといわれる農業用で、形枠を組んでコンクリートを流し込んだもので、大きさは部位ごとに若干ばらつきができていますが、壁の厚さは頂部で20cm、底部で40-44cmと頑丈な造りであった(写真84-1:本誌542号の口絵写真および第49図のB地点)。水路は小倉地震断層の

通る所を中心に長さ16mの間が破断した(第50図 a,b; 写真85-1)。上流側の破断部分を0m地点とし、そこから7m離れた地点から16m地点までの約9mの間全体が20cm程浮き上がり(第50図c)、7m地点が約105cm(80cmの開口と65cmの横ずれ、20cm上昇)変位した(写真85-2:本誌542号の口絵写真および写真85-3)。破断前の水路の位置と比べると、7m地点で南側(上流)が約15cm西へ、北側が大きく50cmほど東へ横ずれした。破断したコンクリート水路16mの区間は、水路の両側の地面が均等の高さや形状になっていなくて、それぞれ非



写真85-1 二本に別れた小倉地震断層と破断して浮き上がった三面張りコンクリート水路。小倉地震断層上の南西方から見る[水野 清秀氏撮影(1995.1.27)]。



写真85-3 約20cm浮き上がったコンクリート水路。16m地点下流から上流側の60cm横ずれした7m地点を見る[北淡町提供]。

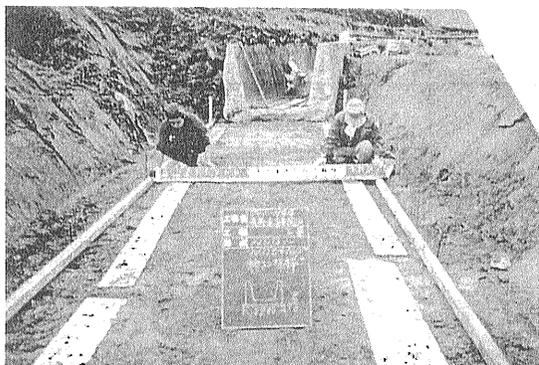


写真85-4 長さ16mに及ぶ水路修復工事中の開削された側壁と床。16m地点から上流側を見る[北淡町提供]。

対称形をなし、周りからの土圧の受け方や地震断層と破断した水路の位置など微妙に違っている(第50図b,d)。浮き上がった三面張りコンクリート水路は、地震断層が二つに別れて直撃し、一方の大きな地割れの延長部が7m地点を、他の小さな地割れが16m地点を襲った。16m地点を支点として、大きな土圧のかかる7m地点で東方向へ振りながら浮き上がった。

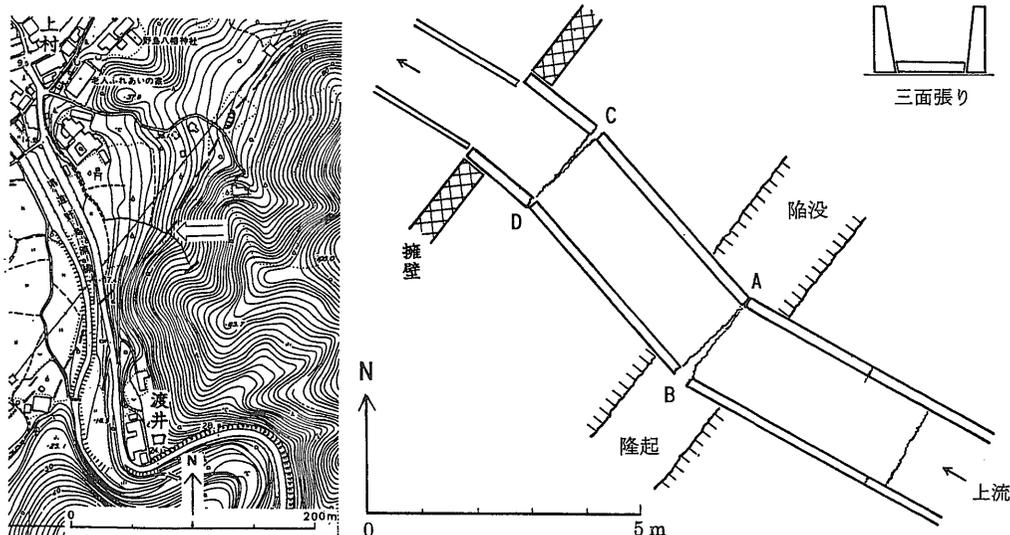
地震の前、7m地点の周りの地面の状況は振られた東側(流路の右岸)には、土が詰っておらず隙間になっていた。つまり破断した水路の端が土圧の小さかった隙間側に強く押し出され易い環境に

あった。地震動によって、東側の隙間下の地面が押し込められて大きくめくり上がった。反対側の水路西壁では、変位した後に新しく大きな空洞ができた(写真85-2:本誌542号の口絵写真)。

水路を支えた地下の地盤が地震断層によってどの位変位したかはわからない。しかし、地盤の変位はあったとしても、破断したコンクリート水路の変位がそれよりもはるかに大きかったことを、空洞とめくり上がり方が示している。もし、この破断・変位が、地下の地盤とともに同じように変位しておれば、周りの田などの土壌は空洞を作ったりめくり上がるようなことはなかったはずである。

この部分のコンクリート水路は堅固に造られており、地震前にひび割れなどはなかった。この水路の破断は、淡路島北部において私が観察できた人工構築物のなかでは最大規模の被災であった。

棚田を構成する地質:水路付近の棚田は沖積層と人工地層からなり、これらが大阪層群シルト層の上ののっていて、非常にベトベトしたぬかるむ土壌であった。高圧送電線の鉄塔が立っている所は緩傾斜面上の平頂部であり、そこは砂礫層からなり若干地盤強度は高い(第49図地質断面図)。水路修復工事中において開削された側壁と床を見ると(写真85-4)、側壁は大阪層群の青灰色シルト層が広がっていて、床均しには砂が敷き詰められたことがわかる。すなわち、破断・変位した水路を支えていた



第51図 野島東地震断層に直撃された水路の見取り図。左図:位置図。矢印は水路と地震断層との交点を示す。北淡町都市計画図1/2,500(1991)を使用。右図:水路の破断と地面の陥没・隆起状況。



写真86-1 びわ畑中の地震断層周辺における水路の破断状況。[服部撮影(1997.2.24)]. A-B(矢印): 大きな破断と折れ曲がり, C-D(矢印): 小さな破断と折れ曲がり, A側: 陥没, E,F(矢羽印): 隆起地点。

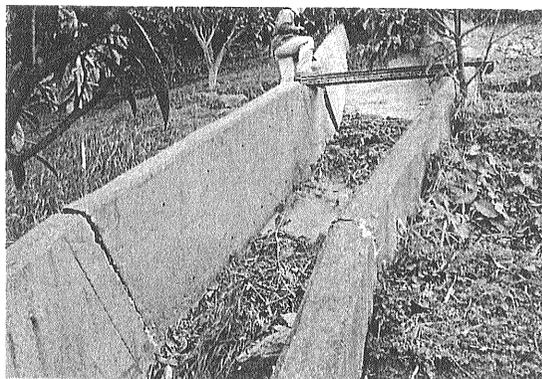


写真86-2 同水路C-Dにおける折れ曲がり破断状況。[水野 清秀氏撮影(1995.1.26)].

地盤は、大阪層群シルト層であった。シルト層は湿っていると極めて滑りやすい。棚田の段差や側壁には大抵ベトベトに湿ったシルト層が露出する。乾燥した部分では、鱗片状や4~5mm大の角礫状に割れ易く、ポロポロと崩れ落ちる。地震断層上において水路は2か所で大きく破断された。その要因の一つがシルト層と豊富な田の水との共存にあり、破断した水路底盤部を滑り易くし大きく側方移動させた、と推定した。

高さ2/3程まで埋め込まれたコンクリート水路

前記と同じような三面張りコンクリート水路が、花崗岩からなる緩斜面のびわ畑に造られていて、野島東地震断層に直断された(第9図C地点,写真38参照)。この水路は南東側から北西方に流下し、花崗岩が風化してできた土壌中に埋められ、高さ約1mの側壁上部約30cmが地面上に顔を覗かせていた。直断された位置から数m下流には、約1.5mの段差(古い棚田の名残?)があり、この畑の段差を支え止める擁壁より下流側では、水路は同じ幅を保ったまま高さだけ半減されて接続されている。この水路は、まず両側の側壁をコンクリート打設した後で、底盤を造っていた。どの打設境界にも地震動によってごく狭い隙間ができていたが、破断現象や変位は見られなかった。

地震断層は二本に別れて水路の両側で鉛直変位し段差を作った。北東側では陥没型の段差であったのに対して南西側では上昇するという対照的な

変動を見せた(第51図,写真86-1)。破断して折れ曲がった水路は長さ約4mの区間で、それぞれ位置A-Bと位置C-Dの二か所において、それぞれ約20°と約10°折れ曲がった。開口したのは位置Bおよび位置Cの上部のみで、下部は閉じていた。折れ曲がり点において、横ずれや上下の段差はつかなかったが、折れ曲がりの内側がわずかに破壊された(写真86-2)。詳しく見ると、位置Cでは、上部開口に対して下部では水路内側が圧縮・破壊しており、位置Dでは上部外側が圧縮・破壊した。両位置ともにコンクリート底盤にはひび割れができたが、水平変位は認められなかった。そのほかに、水路で割れた所は位置A-Bよりも上流側へ約4mで、側壁と底盤にひび割れが入った程度であった。

この水路は折り尺を曲げたように変形したが、その周りの地盤にできた二本の地震断層は水路の両側において全く異なる陥没と上昇という帯状の段差がついた。すなわち、びわ畑の地面は右岸側(北東)で、位置Aを挟んで約2mの間が約20cm陥没した。これに対して位置Bより少し上流側を中心に幅約1.5mの帯状地が約20cm上昇した(写真86-1中矢羽印EとFの間)。この種の地変がどのようにして生じたのであろうか、とても気になるが観察記録として止めておこう。

46. 地震断層上のU字溝の壊れ方

淡路島北部山地の海に面する西斜面では、灌漑用水路が張りめぐらされ棚田へ送水されている。これらの水路は近年の圃場整備とともに数種類の大

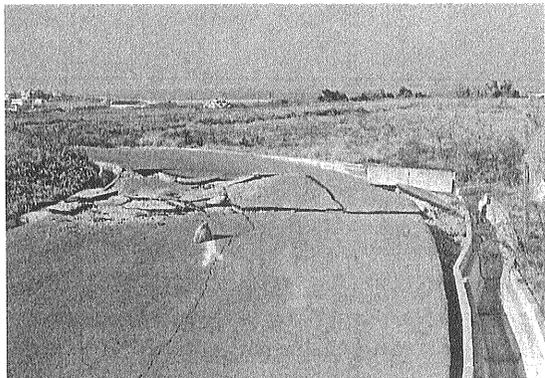


写真87-1 小倉地震断層に直撃されたアスファルト舗装路面の盛り上がり破断とU字溝の変形(第15図B1地点)[川崎 満男氏撮影(1995.1.18午前)].

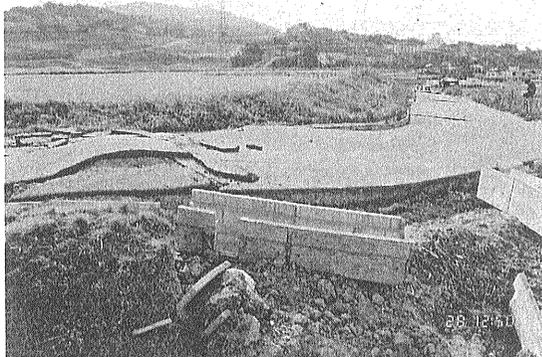


写真87-2 同場所北東側の路面の盛り上がり変形とU字溝の分離状況[服部撮影(1995.1.28)].

きさのJIS規格のU字溝(注30)が使われている。

U字溝は、大きさ、埋め込み、接地状況、内蓋の有無、地震断層との交差角などの違いによって被害の受け方は一様でなかった。これまで本連載シリーズの地点ごとの地変と地震被害記載のなかでU字溝の変形を紹介したが、たくさんの現場で地震断層上においてU字溝が分離・飛散しており、押し潰され変形・破断した例は驚くほど少なかった。

小倉地震断層上に限って見ると、野島断層保存館入口付近の農道(第15図C1地点)および河野義男氏邸北端の外塀脚下におけるU字溝の無被害(写真83-1;写真9参照)は信じがたい印象を私に植え付けた。

北淡町梨本におけるプレッシャーリッジ状に破断されたアスファルト舗装道路(第15図A地点)から約50m西方の農道の曲がり角(第15図B1地点)では、道路の両側にU字溝が設置されていた(写真87-1)。本震直後、この路面はアメのように反り上がり、A地点と同じくプレッシャーリッジ状に破断した。路面の北東側(写真向かって右手)は緩い下り斜面に続く天盤端部に相当し、そこに設置されていたU字溝は側方下にずり落ちる形で分散した(写真87-2)。各U字溝間ではモルタル接着部が分離し、60cm長のU字溝一本ごとには破断が見られず、分散した位であった。一方、南西側のU字溝には、道路の曲がり角内側にあったためか内蓋がはめ込まれていた。そこではU字溝自体も内蓋も全く変形・変位しなかった。路面が破断された状

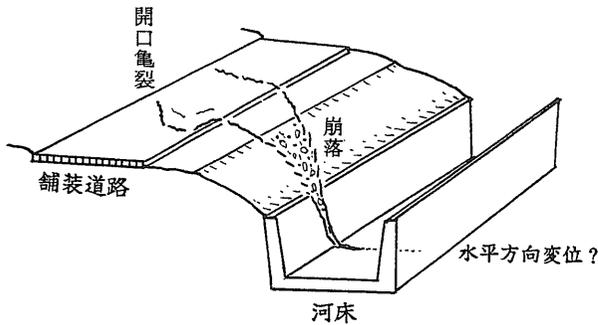


写真87-3 同場所南西側の内蓋付きU字溝の無被害[光洋開発(株)撮影(1995.1.24)].

況からは想像できないほど、安定した無被害状態であった。つまり、地中にすっぽり埋まり、内蓋がはめ込まれていたU字溝は(写真87-3)、小倉地震断層上であっても全く変形・変位せず完璧に無被害であった。写真向かって左側の路面下-1.2mに上水道铸铁管が埋設されている。铸铁管はこの地震断層の位置では破断しておらず、離れた別の地中で破断した、と北淡町水道課工務係長の鋪田氏が説明された。

47. 不安定な場所における増幅された変形・破断

‘人工構築物’は接地状態、すなわち“不連続面”の形状、介在物や接着の程度に影響され、破断・損傷の受け方が一様でない。地震断層の上ばかりでなく断層から離れた軟弱地盤上でも、‘人工構築物’の壊れ方は水平方向・上下方向の違う位置で



第52図 地震断層上における護岸の被害概念図。

大きくなったりあるいは小さくなる。あたかも地震動によって、地表面が激しく揺さぶられ、ある所では増幅されて破壊が進み、逆に直ぐ近くで減衰したかのように軽微な破壊に止められたように見えることがある。以下に地震断層の上における幾つかの観察・解析例を紹介する。

① 河川護岸

小倉川の下流部は、石積み護岸からできていて河床も周りも緑豊かな自然の姿に包まれていた(写真80-3,4:本誌542号の口絵写真)。1990年頃から護岸がコンクリートブロック積みで固められ、河床もコンクリート打設され強固な流路になった。小倉地震断層に直撃された場所は、右岸がコンクリートブロック積み擁壁で、左岸は従来の間知石積み擁壁のまま残っている場所であった。右岸の方が頑丈に見えたのに幅約20mにわたって破断・崩落したのに、左岸の崩れやすいと思えた方が幅わずか7~8m位の狭い範囲の崩落であった。河床のコンクリートは亀裂が入って一部盛り上がった位の極めて軽微な損傷であった(第17,18図,写真56-1~56-9参照)。

コンクリートブロック積み護岸が崩れ落ちて剥き出しになった崖には、地震断層の通る所には断層を示す筋や不連続面はもちろんのこと、出っ張りなどの水平変位も鉛直変位を明示する地肌の変状は観察されなかった(本誌542号の表紙写真[津野真一郎氏撮影(1995.1.21,13:30頃)]。兩岸のアスファルト路面や埋設されていた上下水道管周辺の変状も大きな水平・鉛直変位を刻んでいなかった。小倉川を挟んだ両側のアスファルト舗装路面とその地下埋設物および護岸・河床の被災状況を総合的に判断すると、護岸壁上部は大破したが、

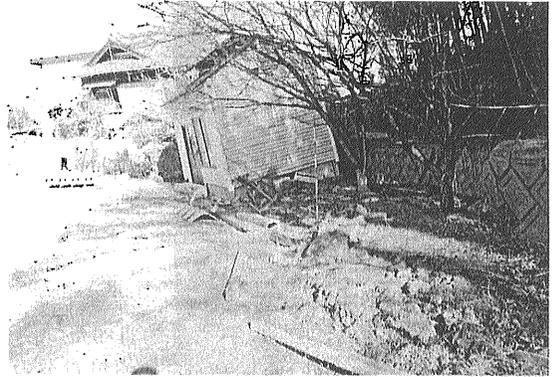


写真88 小倉地震断層真上における軽量建物の被災状況 [水野清秀氏撮影(1995.1.27)] (第21図参照;片岡 精明氏旧邸跡地約70m北東方の地割れ)。

河床に近い下部への影響は軽微であったとの印象を強くした(第52図)。

この被災例から地震断層の上であっても、二面あるいは三面からなる角地では、地震動に対して上部はより不安定であるのに対して、下部は地中に囲まれていてより高い安定性を保つためか地震被害が小さい傾向にあることを示している。すなわち、'人工構築物'が"不連続面"である自由解放面に接する場での形状・位置によって地震被害が差別化された現象である。

② 軟弱地盤にできた地割れ上のログハウス

北淡町中心地の富島東部の丘陵裾、地形の傾斜変換線に沿って地割れが断続して現われた。この地割れは小倉地震断層の南方延長線上にある。このあたりは、旧湿地を埋め立てて作られた小公園でゲートボール用に使われていた。この公園端にログハウスが建てられており、地割れがこのログハウスの真ん中あたりを通った(写真88)。ログハウスは隆起して約20°傾斜したが、一見したところ軽微な損傷に留まり、現在は元通りの位置に戻して使用されている。地震断層上において、周辺の二階建て日本家屋が倒壊しているのと対照的に破断せず、軽微な被災に留まったのはなぜであろうか? おそらく、ログハウスが軽量であったのと地面が緩く締っていなかったこと、さらに両者の間の"不連続面"にコンクリートブロックの基礎が置かれ、これら三者の組み合わせが強い地震動と地割れに対して緩衝効果をもたらしたのかも知れない。

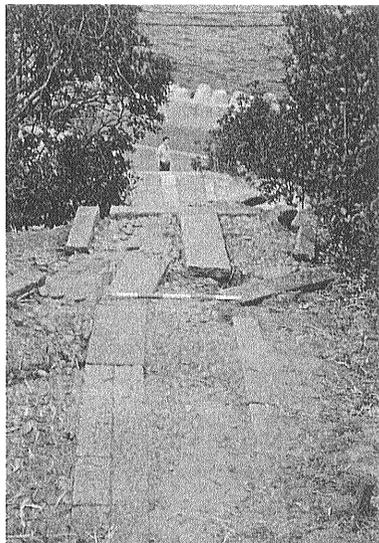


写真89-1
江崎燈台への登り階段4段目の踊り場を通った地震断層による変状 [高田 嘉典氏撮影 (1995. 1.20)].



写真89-2
同地震断層の深さ1.5m以上に達する開口地割れ [高田 嘉典氏撮影 (1995.1.20)].

③ 江崎燈台の階段Ⅳ踊り場

江崎燈台公園西端の登り階段を野島地震断層が二か所で直撃した(写真5,17参照)。地震断層は、西方の小谷から北東に延び、海岸に向かって幅広い堤防形に張り出した細長い低い小丘陵を横断した。この地震断層は、小丘陵天頂部に造られた階段を破断し、1mを越える横ずれ変位と幅20cm以上の開口亀裂を生じたため、脚光を浴びた。階段下の県道から登り階段を眺めると、4段目あたりの踊り場から下の階段とそれより上方の階段との間に顕著な横ずれができたことがわかる(写真18参照)。

ところで、その横ずれは深さ何m位までを巻き込んで変位したのであろうか。少なくとも西方の小谷に向かって横ずれや地割れが消えてしまってい

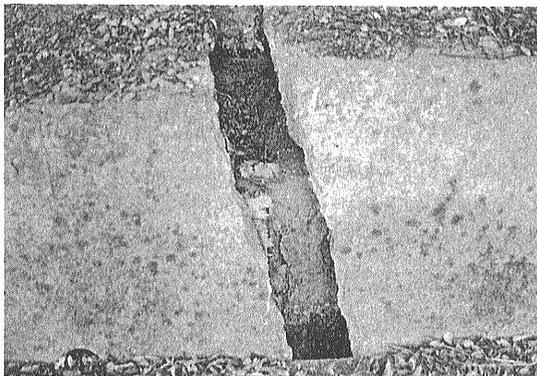
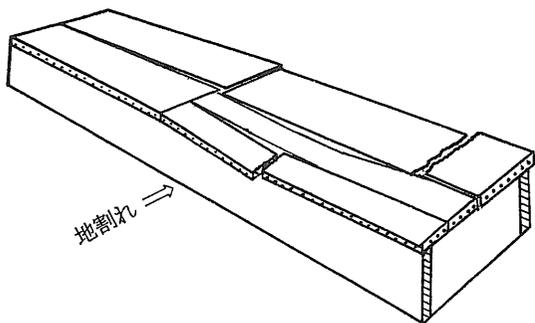


写真89-3 開口亀裂の隙間に見えた木片 [川崎 満男氏撮影 (1995.1.17午後)].

ることから判断すると、局所的な現象に思える。4段目の踊り場付近では(写真89-1;写真19参照)、石畳や円礫を敷き詰めた路面が地震によって引き裂かれ、大きな開口地割れができた(写真89-2)。その隙間から覗かれる表層地質は、土壌、草木片、礫混じり砂と風化花崗岩の岩片・マサなどがルースに詰っていて花崗岩の露岩はなく、人工盛土あるいは崖錐堆積物に見えた。石畳の下に引き裂かれたような大きな木片も見られた(写真89-3)。

石畳や円礫を敷き詰めた踊り場の路面は、その下の地肌との間に砂礫と木片からなる密に接着していない“不連続面”が介在していたのは明らかである。この面がボールベアリングのような潤滑油の



第53図 堤防形に盛り上げた農道天頂部路面における不安定なコンクリートスラブの破断。

すべり面効果として働き、地震動に対して滑りやすく差別移動して変位が大きくなったのではないか。地面が揺り動かされた実際の振幅よりも増幅されたため、大きな横ずれ変位が生じたもので、ごく浅い2-3mほどの表層に限られたように見えた。

④ 小倉地震断層上の路面コンクリート板スラブの変形
 鋪田 雅人氏邸から約40m西において、畑から約1mの高さに立ち上がっている小道が小倉地震断層に直断された。この小道は軽自動車がやっと通れる狭さで、羊羹のような形に側壁を固めた幅2m程の頂部に板状コンクリートスラブが軽くのっているように見えた(第53図)。周りの畑には杉型の雁行状割れ目を含む不規則な地割れが現われたが(写真7左,46-1:第11図参照)、小道では地震断層の位置を挟む広い範囲にわたってコンクリートスラブ単位で三枚に分離して開口変位した。しかし、コンクリートスラブが切断された部分は小さかった(写真7右)。コンクリートスラブが破断した場所は地震断層直上ではなかった。コンクリートスラブ下の地肌との間の“不連続面”が強く接着していなかったため、地震動によって大きく振りほどかれて分離し、一部破断したように見えた。

⑤ 墓石の飛び跳ね

地震被害調査において第一番に注目されるのは墓石である。墓石は重量物であっても、地震動に対して最も不安定な形状であり、また地震動を敏感に記録した貴重な証拠品とみなされるため調査対象となる。堅固な地盤上の墓所では、震央に近い明石海峡大橋アンカレッジ隣接地などでは、墓石は不動であった(写真75-1,2参照)。

震央から約3kmの淡路町菅茶間墓地において、大上三郎氏のオベリスク形墓石が150kgの重量物であるにもかかわらず、約4mは横に飛び跳ねている。小倉地震断層上の北淡町富島北部の井手本家墓所でも、墓石の一部分が数個飛び上がって生け垣を越えている。これらの飛び跳ね現象は4m以下の薄い軟弱地盤の所で発生している。

48. 地中“人工構築物”は地震断層にどう影響するか

地面の下に何か埋まっているときその直上の建物や道路などの“人工構築物”が、地震動によって

被災する場合、埋まっていないときと比べて顕著になっている。野島江崎の桃林寺北隣の道路では、野島地震断層が二本以上に分散された。道路がひどく破断されたのは、中央分離線の片側で新しく舗装されたアスファルト路面の方で、その下には深さ約-1.5mまでの掘削溝があり簡易水道用鉄管と塩ビ管が埋設されていた。大きく破断した路面はこの地中埋設物上に集中的に発生した(文献9,写真11参照)。埋設物は変形・破断してはいるが、十分に締っていない緩い土圧中にあったためか、地震断層の位置で切断されるようなことはなかった。地中の地質を掘削溝の側壁面で見ると、元の地盤の方は地震断層の位置でもほとんど変形・変位していない。マンホールや電柱が設置されている路面でも、類似の破断がたくさん観察されている。

地震断層が通る位置で、地中の深さ方向で破断が小さくなる変状が確認されている。すなわち、鋪田 雅人氏邸裏庭において掘り井戸が野島東地震断層に直撃され、円形コンクリート型枠が瓢形に破断した。しかし、地表近くでは大変形したものの(写真90:本誌542号の口絵写真)、深さ-3mではほとんど変形しなかった。この井戸を-5mまできれいにさらい壁を清掃した上で、円形コンクリート型枠の変状を克明に記録された落合 清茂氏らの労作(文献21)は、珠玉の貢献といえよう。

地中では無被害であるのに対して、地表に向かって被害が大きくなっている。この事実は、地震断層の通る所でも地震動が地表と地中-数mとで根本的に違う、と考えさせられる現象である。地表面が土圧などの応力開放面として機能しており、地変や地震被害を差別化するととても重要な地質環境の“不連続面”であることを改めて認識させられる。

49. 急激な大規模掘削地に現われた地震断層

‘自然の地質体’内に生じた大きな地変は、1.3m~2.4m変位した次の二か所の地震断層であり、大規模掘削地のなかでも極めて特殊な表層地質条件の場所で生じている。

(A) 北淡町平林の段丘堆積物と棚田を切断した長さ約160mの野島地震断層。

(B) 北淡町震災記念公園内の野島断層保存館にす

っぱり覆われた約160mに及ぶ直線状小倉地震断層。

そのほか、淡路島北部東海岸地域の大規模掘削地において(C) 鶴崎地震断層および(D) 灘川地震断層が確認された。

(A) および(B) の地震断層が大きな断層変位を生んだ場の特性を考察する。断層面を構成する地質条件は、断層面の上盤か下盤のどちらかに大阪層群のシルト層あるいは粘土層が存在すること。もう一つの条件は、地表の断層面において地下水位が高いこと、すなわち棚田の端あるいは溜池が至近にあり、水分を十分に含んでいること。

断層面に現われた幅2cm前後の粘土脈は、本震後、太陽光がほとんどあたっていないのに、わずか一日で乾燥収縮のひび割れを起こして、剥離・脱落した。この断層粘土脈はその性質が、上盤か下盤側の大阪層群のシルト層あるいは粘土層(注3, “青なめ”)によく似ており、シルト層あるいは粘土層からめぐり上がった、と考えるのが理解しやすい。おそらく、“青なめ”と高い地下水位とが組み合って、地震断層が大変位できるよう潤滑油的役割を担ったに違いない。

そのほかの地質条件は、既存の活断層に地下水が浸透して脆弱な面を形成していたこと、および短年月の間に急速に大規模な山体掘削を行って低平化したこと、が指摘できる。しかし、このように表層地質と活断層の実態および地震断層との関連は確認できたが、残念なことに、-数m以深から-数10m位までの間における地震断層の存在と変位状況が全くわかっていない。

以上、(A) および(B) の地震断層が大きな断層変位を生んだ場は、次のとおり四つの特性条件を備えていた。

- (1) 短年月の間に大規模に山体・丘陵が掘削されて低平化した。
- (2) 既存活断層があり、鉛直に近い軟弱な面ができていた。
- (3) 大阪層群のシルト層あるいは粘土層が分布する。
- (4) 灌漑用水あるいは至近に溜池があって、既存の活断層は十分に水を含んでいた。

(1) の条件は山体・丘陵の急速な削削による軽量化(具体的な推算は巻末資料2,3を参照)であり、(2) (3) および(4) は、地震断層が大変位するとき

潤滑油的役割を果たす必須条件である。

大断層変位を起こさなかった鶴崎地震断層および灘川地震断層の場合について、この四つの条件に照査してみよう。両地震断層はともに堅固な花崗岩岩盤の中に生じた。断層面を観察すると、断層粘土脈ができていたこともあれば、単なる節理面のときもあり、活断層がすでに存在していたと明言することはできない。したがって、(C) と(D) の地震断層の場合、確実にいえることは、(1) の条件だけが備っていたに過ぎない。もし、他の条件がととのっていたならば、変位量は数cm程度(写真69)に止まることなく、大変位したに違いない、と推定する。

50. 地変から地下地質の変状が推定できるか?

「地変は、地表と地下とで同じか、地中に向かって増大するのか、あるいは減小・消失するのか?」は、本連載シリーズの課題であり、できる限り詳細な記録を収めて紹介してきた(第3表)。

地下地質は、地表と違って封圧下にあり、その状況に近い状態が地表では谷底や河床である。谷や河川が断層に沿って成長することが多くまた堆積物も覆うものの、河川を横断する地震断層は、河川壁や地下地質内に地震断層が刻まれたかどうか、またその変位量を知るのに有力な鍵を与えてくれるはずである。ところが、河川を横断する地震断層の位置で、地変がほとんど見られなかったり、変状が確認できない位小さかった。また、mオーダーで地変・地震被害が変化し、変位が逆方向になる場合、掘り井戸の変形、上水道管理設溝、などの多様な観察事実から、地変は地下-数mで消滅するのではないか、との印象を強めている。とにかく、

第3表 新たに生じた地割れ・地震断層は地中に連続するか?

地上(人工物)		あり なし			
地	面	あり	あり	なし	なし
地	浅	あり	あり	なし	なし
	-数m ↓ 数10m	あり	なし	あり	なし
	-数100m 深	?			

(太字は本文で記述済みで、他は未知)。

第4表 淡路島北部における隣接する大小
の地変・地震被害の記載・報告例.

地変・被害	顕著	軽微・不変
地表	豊富	まれ
地中	まれ	まれ

地表下-5m, -10m, それ以深の変状を知りたい、というのが当初からの調査目的であった。

なんども繰り返しているが、地震断層が埋設上水道管や掘り井戸を横切る場所における地下-1m~-3mの変状などの観察記録から、mオーダー内の地表-地下の狭い範囲での地変現象、特に、小さな地変と共存する大きな地変との相互関係を重視した。また、初期情報取得に努め、経時変化を加味し、少しでも未知の表層直下の地下地質における変状を究明すべく諸要因解析を試みた。しかし、これまでに記載した地変は、残念ながら地下浅所における‘自然の地質体’に刻まれた地変、特に地震断層の変位を確認できる直接的情報や証拠はまだ十分に得られていない(第4表)。

地割れ・地震断層は地下に続くか?

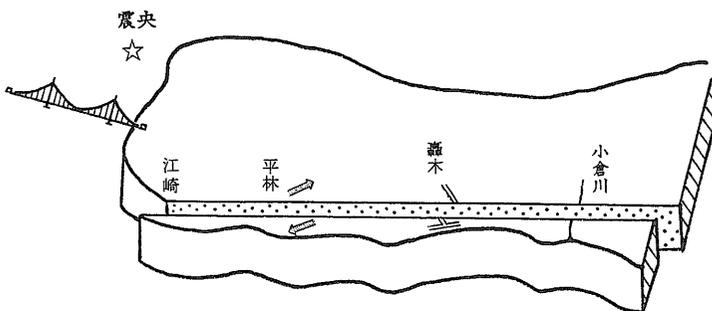
河野 道信氏邸内や周辺に新しく生まれた約60mの直線状小倉地震断層は(第15図S3)、畑土壌10~20cmの薄層直下に大阪層群が顔を出し、北東方における約60m(第15図S1)の並列する二本の直線状断層とともに、その形態は圧縮による逆断層に見える。また、断層の上盤と下盤との間に空洞が存在するところや屈曲部に生じた広い開口地割れでは、伸張による小規模のプリアパート地溝のように見ることも可能である。しかし、私は次の理由から圧縮あるいは伸張運動によるものではない、と考えている。

①既存の活断層あるいはその周りの節理面に沿って晶出した赤褐色水酸化鉄鉱の汚染面の目立つこと、および②地震断層の上盤と下盤との間が開いていて空隙ができていることの二点から、断層あるいは節理面で囲まれた厚板状の地塊が地震動によって持ち上げられ横ずれした局所的現象である。地表付近に限られたもので、今回の地震によって影響された地塊の厚さを推定する根拠はまだ得ていないが、-100m以深の地下深所には続かないしまた変位していない、と予測している。

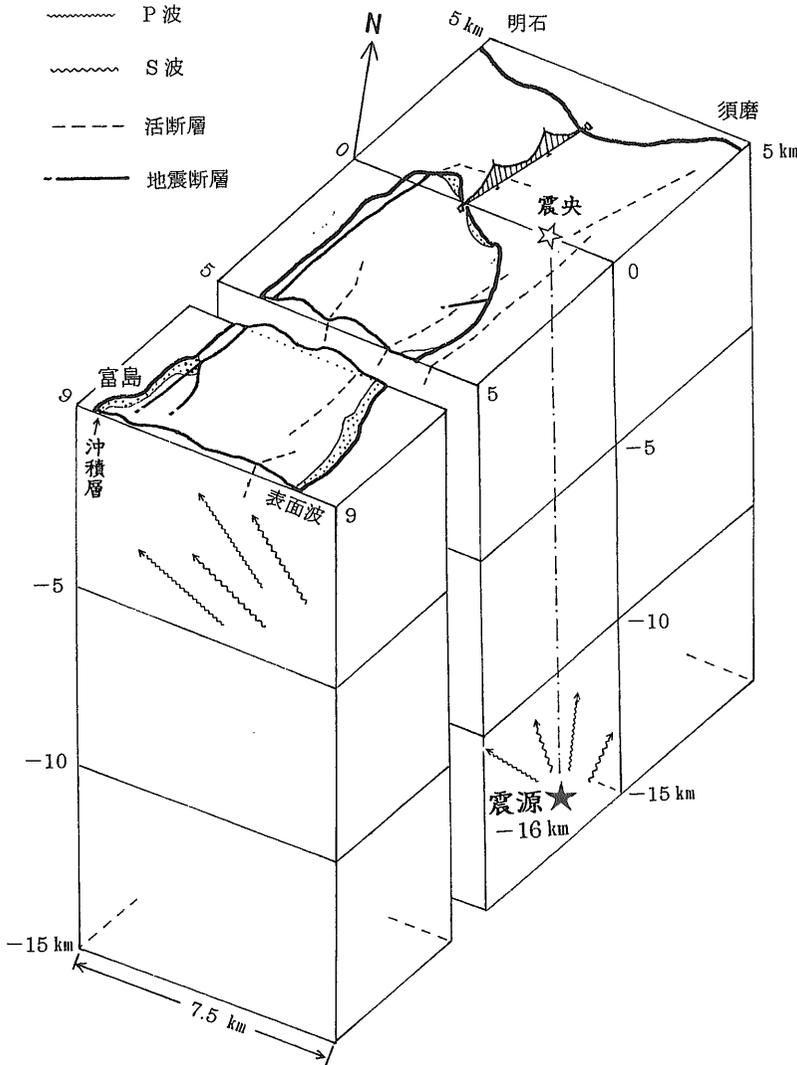
51. 今後に委ねられる地割れ・地震断層および活断層・断層の評価

地割れ・地震断層は、堅固な‘自然の地質体’の場合、地表において変位はほとんど生じておらず、もし現われても限られた局所的現象であり10cm程度であった。軟弱な地盤を構成する第四紀の地層や強風化花崗岩の場合でも変位量は計測できない位明瞭ではなかった。

(1)野島地震断層北部の上で、北淡町平林における段丘堆積物と田を切断したところの段差下に出現した2.4mの変位、および(2)断層保存館にすっぽり覆われた小倉地震断層の1.3mの変位した2か所は例外的とみなした。これらの例外的な大変位を用いて、淡路島北部の西海岸域全体が北東方に移動した、あるいは地震断層の東側(山側)が隆起し南西方に平均1m以上右横ずれした、と普遍的現象にみたてた上で、活断層が再び活動して地震を発生させた、というのが世間一般に流布している通説の「起震断層説」である(第54図)。しかし、そのようなとらえ方を支持する観察記録は得ていないし、むしろ反対にごく浅い表層付近の現象と



第54図
淡路島北部における地震断層の一般的イメージ。スケールを無視して、右横ずれと山側(東)隆起を誇張して作成したポンチ絵。



第55図 淡路島北部における地震断層・活断層、震央・震源および沖積層の分布図。

の印象を強めているので、「起震断層説」には賛成できない。

本連載シリーズでは、あえて圧倒的に流行している通説への異論・対論を提出した。その根拠となる具体的観察例を挙げながら、地変(ground truth)から地下の変状を推察する際に考慮すべき点として以下の事項を挙げた。

- ① 地変や地震被害が、地盤を構成する表層地質や‘人工改変地’の性質，“不連続面”の介在，地形などの不安定地盤条件によって大きく差別化されている。
- ② 地震断層が堅固な岩盤の中ではわずか10cm程度しか変位しないのに、大阪層群のシルト層や粘土層に接し、十分な水が含まれている活断層に限って例外

的に1m以上2.4mの大変位を起こすこと。

- ③ ‘人工改変地’や‘人工構築物’における地変や地震被害は多様であって、地下-数mで軽減・消滅する可能性があり、浅所-5mにおける地震断層の変状を推定することは難しい。

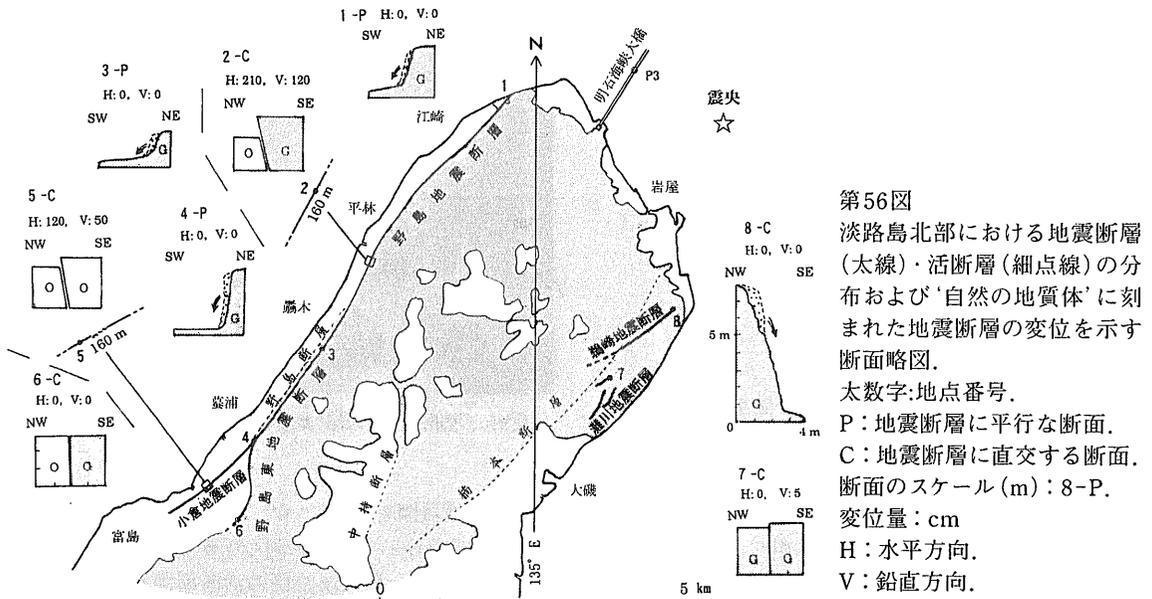
今後、地下浅所における変状を的確に把握し、今後の地震被害軽減対策のための基礎資料として整備することが必須であり、急務でもあると思う(第55図)。

52. 復旧工事記録は、‘自然の地質体’に刻まれた地変を証明する宝庫

兵庫県南部地震によって起された地変・地震被害は、淡路島北部の場合たいいてい地表で観察するか、航空機によって撮影された映像記録と限られている。神戸・阪神地区と異なり、地下埋設物が少なく、またそれらの被災記録も極めて少ない。ところが、被災した‘人工構築物’を

復旧する際には、必ず地山まで削ってその基礎あるいは側壁を出して、新しい‘人工構築物’に造り直している。それらの復旧工事中に掘削現場をひんぱんに訪問していたら、‘自然の地質体’に刻まれたはずの変状、地震断層の断層破碎・幅・変位量、今回の地震でどの位変位したかなどを詳細に観察できたであろう(第56図)。そして、地下-5m,-10mの深さにおける地震断層の実態について確信をもって私見を述べる事ができたであろうに、と残念に思っている。

被災地の復旧工事前後における地変・地震被害の現場における記録は、北淡町および上村建設(株)のご好意によっていくつかの現場状況を知る



ことができた。間もなく、5か年の保存期間を終えて廃棄処分されるかも知れない。どこかに一括収蔵保管され、今後の検討資料として活かされることを願っている。

53. 結論

- (1) 地割れ・地震断層は表層地質の安定・不安定性および地下水の介在により多様に変化し、1m以内でも現われ方に違いがある。構成物質の物性の違い、“不連続面”および形状などの要因を重視する。
- (2) 野島轟木付近から野島養浦までの約3kmの区間、活断層の野島断層には地変が生じておらず、山側の花崗岩中の傾斜変換線付近に野島東地震断層ができた。
- (3) 野島平林および長畠-舟木の両地区における約160mの直線状地震断層は、急激な大規模掘削によって軽量化、大阪層群粘土・シルト層の共存など、極めて特異な表層地質条件下でできた。一般化できる普遍的な現象ではない。
- (4) 地割れ・地震断層は地下水位の高い所に顕著に現われ、地下に向かって消滅する可能性が高い。
- (5) 地震断層は、強い地震動によって自由解放面の地表付近における活断層・節理上にたまた

ま生じたものであり、活断層とは同じではなく区別すること。封圧下の地下地質に断層変位が生じたかどうか確認することが必要。

- (6) 地表の活断層が、地中の活断層 (未認定) を経て震源断層 (仮想) と直結するとの仮説は、まだ検証されていない。もちろん、地表の活断層が地震を起こした証拠は得られていない。

おわりに

地震被害の原因は一つ二つに集約・帰結できるものではなく、多数の要因が組み合わさっている。7回におよぶ本連載シリーズでは、地変・地震被害について地域別に顕著な場合のみでなく共存する軽微な例を積極的に取り上げ、地変・地震被害を要素別に分析した。地表における観察内容から地下深部の震源断層に直結することへのBaby simpleな疑問を提起し、異説・異論を率直に述べた。もちろん、本文において取り上げた以外に未知の要素もまだたくさん残されているに違いない。このまま一過性の究明作業に終わらないよう、もう一度震災直後の原点に戻り、当時の初期調査の観察記録や復旧工事記録の発掘や照査を続け、今後も一層の地震被害の原因究明と被害軽減策に貢献できるよう努めたい。

私の異説がどの程度確からしいのか、どこに誤り

や疑問点があるのか、などについてたくさんの厳しいご批判・反論、厳正な判断をいただくことを願っている。また、たくさんの被災者・犠牲者から寄せられたご意見や提供された写真・証言などのご好意に報いるためにも、私の考え方が通説に対して「とうろうのおの蟪蛄の斧」に終わってしまうことのないよう祈っている。

エピソード

はじめは：淡路島北部の地質調査に従事したのは昭和58年(1983)4月からで、昭和53年(1978)に指定された地震予知研究の特定観測地域「名古屋・京都・大阪・神戸地区」における5万分の1地質図幅「須磨」作成のため六甲山西部に加えて、淡路町に入った。この地質図幅を担当された大阪市立大学の笠間 太郎教授が前年11月に急逝されたため、代わりに急遽花崗岩地域の調査を行う必要に迫られ、神戸大学の田結庄 良昭助教授(現教授)と当時の地質調査所大阪支所長河田 清雄氏のご援助を受けながら現地調査を始めた。その後、1987～89年に「明石」さらに後年になって「洲本」と対象地域が広がり、水野 清秀・寒川 旭・高橋 浩の3氏が加わり専門分野の充実がはかられた。原稿のとりまとめの段階では、4名で特に重要地点の野島平林や東浦町楠本などの活断層露頭の前で念入りな討議を行った。

間もなく、1990年3月に「明石」、1992年3月に「洲本」地質図幅と詳細な研究報告が出版された。都市計画図や古絵図、写真資料の提供など協力していただいた淡路町、北淡町、東浦町などの地方自治体関係部署に完成したばかりの地質図と研究報告をお届けして、地震対策の必要性もお伝えしている。

地震発生から現場へ：兵庫県南部地震が発生したのは1995年1月17日(火)のこと、1月15日の成人の日が日曜日であったため、16日(月)が振替休日になっての三連休明けであり、しかも職場は翌18日に研究所の所長賞の審査を控え、はなやいだ雰囲気にも包まれていた。そんな中で行われた朝の定例ミーティングに、関西に大きな地震が発生したこと、次から次へと新しい情報が飛込んできて緊張がみなぎってきた。

野尻 陽一所長の陣頭指揮のもと、関西地区への踏査・災害復旧への支援など大掛かりな緊急調査・支援体制が組織された。個人ボランティアで被災者援助や学会関連で組織された調査団に参加する研究者もたくさんいた。野尻所長は、私が神戸・淡路周辺の地質



写真91 現鹿島土木設計本部第二設計部長の和田信秀氏

調査をし地質図を作っていたことを全くご存知なく、本震後、1週間経って、阪神地区の被害状況が概略把握できたところで、私に淡路島の活断層調査を依頼された。升元 一彦研究員とともに1月26日に関西新空港から津名港を経て淡路島北部に入った。同時に、活断層を挟んで両側の余震と常時微動(地震波形記録は文献1に公開済)を測定するため上野 健治・吉迫 和生研究員も派遣された。この地震観測には最適な地盤を選ぶことが第一歩であって、そのための地点を選定するのに私の過去の現地踏査経験が役立ち、広く多くの測定候補地点を短時間で飛び回った。

上村 敬氏との出会い：現地被災者とのめぐり合わせは、意外なところから上村 敬氏を通じて広がることとなった。地震計は最適な地盤に設置できてもバッテリーが24時間しかもたず、どうしても継続観測を行うには通常の電源が必要であった。選ばれた地点に、常盤ダム至近の上村建設(株)・リサイクルセンターの資材置き場があり、緊急のことでもあり取り敢えず無断使用で結線して測定を始めた。そして夜になってから、被災して疎開された上村 敬社長のお宅を探して夜遅く訪問し、電源借用の許可をいただいた。これらの折衝は、淡路町の茶間アーチ橋建設JV工事事務所の和田 信秀(写真91)氏の特別配慮によって進められた。土木専門家である上村 敬氏から、実に詳細な現地の被災状況を教えていただいた。鋪田 雅人氏邸の三連かまどのシャープな破断と井戸の瓢形変形などを含め、上村 敬氏の情報が、その後の私の地変・地震被害の調査の進展と大幅なレベルアップに計り知れないほど役立ったことか。

川崎 満男氏とは：鶴崎地震断層上に事務所を構えておられた本四連絡工事関連の竹中土木(株)川崎 満男氏からびっくりするような生々しい本震直後の現場記

録写真アルバムを恵与された。和田氏との親睦関係に基づくご好意によるものであった。本文中の生々しい初期記録は、川崎氏の趣味の域を越えた確かな目での写真記録のお陰である。

人脈の網広がる：上村氏から始まり、川崎氏にと人の輪が広がり、普通の地質調査では得られない貴重な体験談なども拝聴できた。淡路町役場と北淡町役場では、多くの部署の方々から、また教育委員会と全淡路島小中学校校長会の先生方からもご支援を受けることができ、確度の高い被災記録に接し利用させていただくなど、人脈が広がった。河野 道信・史子ご夫妻、鋪田 雅人氏を始め被災者の方々からは、忘れてくても忘れられない災難の現場写真の提供と体験談の公表を快諾された。

なかでも、片岡 精明・正美ご夫妻からは現地踏査のご案内や有力な資料提供者への連絡や全淡路島小中学校校長会への招待を企画された。それにもまして安易な妥協を許さずに時折鋭い異論などを率直に投げかけてくださった。

斜め空中写真：地震直後の地変をヘリコプターによって空撮した画像は写真、VTR記録などたくさん公表された。撮影日時によっては太陽光線・高度との関係もあって私の希望を満たす画像は簡単に見つからなかった。最も興奮して目を凝らしたのは、河野 道信氏から見せられた1987年10月、仙台市の(株)マップシステムカンパニーが撮影した斜め空中写真(写真80-3,4:本誌542号の口絵写真)である。直線状小倉地震断層の出現した付近の約7年前の土地の様子と地質の一部が判読できたからである。その後、光洋開発(株)が和航(株)に撮影発注した斜め空中写真が1988年7月と1991年8月の二回あり、河野 道信氏邸隣接地の丘陵削り除去の経緯がよくわかった。地震発生4年前に、小倉地震断層の位置にくっきりと活断層が写し出されていた。本誌542号の口絵写真には、過去の土地の状況をいくつか掲載している。

お詫びと訂正

「IV.小倉地震断層上の地変：北淡町梨本-小倉川付近」, 51頁, 注23のなかで, 「土砂採取のための大規模掘削地では、千葉県でも小地震の発生が知られています。」と記述した。しかし、これは事実ではなく、正確な文献照合を怠った私の間違いで、お詫びするとともに、下記のとおり訂正する。「土砂採取のための大規模掘削地では、千葉県でも水準点の異常隆起が知られています」。

貴重なお指摘をくださった、恩師の飯田 汲事名古屋大学名誉教授および地震動が記録されていないことと地盤

の隆起について教示された楡井 久茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター教授に心から厚くお礼申し上げます。

参考文献は、多田 堯(1982)「山を削ると地殻は隆起する」, 地震, vol.35, p.427-433.

その他の訂正：IV.図中の説明文の記号を次のとおり訂正する。第24図の⑥→⑦, 第25図⑦→⑧, 第28図⑧→⑨, 第29図⑨→⑩。I.地変の概要, 注4)「自然の地質帯」→体。

謝辞<敬称略, 順不同>

この連載シリーズを綴ることができたのは、ひとえに被災者の方々から体験談や記録写真を公開することに快諾してくださったご厚意によっている。このような善意とお力添えがなければ本文を完成させることができなかった。ここに改めて被災者の方々のお名前を記すとともに、日頃から討議・批判をくださった方々を加え、厚くお礼を申し上げたい。

河野道信・史子, 上村 敬, 鋪田 雅人, 溝上 孝夫, 川吉 知子, 中田 清一, 渡井口 勝明, 大畑 英雄, 片岡 精明・正美, 大上 しずえ, 片山 寿一夫妻, 淡海荘大塩 茂彰, 北淡町役場水道課・産業振興課・建設課・企画振興課, 北淡町教育委員会, 淡路町役場, 竹中 土木(株)川崎 満男, 光洋開発(株)藤原 照夫, 基礎地盤コンサルタンツ(株) 西垣 好彦・池上 龍雄・高田 嘉典, アジア航測(株) 村田 正敏・津野 真一郎, 前田建設工業(株), 広島大学 中田 高, 大阪府立教育センター 落合 清茂, 大阪府立北野高等学校 吉田 久昭, 地震予知総合研究振興会 池田 潤一, 元気象庁地震火山部長 鈴置 哲朗, 地質調査所 水野 清秀・寒川 旭, (株)カジマビジョン 白鳥 一信, 鹿島(株) 本社の山本毅史, 和田 信秀, 野尻 陽一(故人), 並びに鹿島技術研究所 遠山 幸三所長, 栗原 宏武副所長, 日比谷 啓介。

注28 広角レンズ映像によると、地震断層のところで道路が横ずれたようには感じられない。次の写真78-2のような望遠レンズ映像と比べると、別の印象を与えてしまう。最近の写真映像には、カメラ、レンズ、絞り、シャッター速度などの撮影条件を添えることがなくなった。特に、望遠レンズによって撮影された映像は、遠近感を薄れさせるため、間違った判断を与えかねない。

注29 鉄筋入りコンクリート造り塀は、高さ約1mの基礎コンクリートの上にコンクリートブロックを約2mの高さに積み上げ、鉄筋を縦方向と横通しに入れ、空洞にコンクリートを充填して固着している。外面はモルタルを塗った後、化粧塗り仕上げし、厚さ約20cmの塀としている。

注30 JIS規格のU字溝は鉄筋入りである。各U字溝の間には鉄筋継ぎ手はなく、モルタルで接着される。

文 献

35. 服部 仁(1999): 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. V. 中部山地および東海岸地域の地変. 地質ニュース, 536号, 51~68頁, 1999年4月, 第22~34図, 写真61~75, 文献29~34, 注24~27.
36. 前田建設工業(株)(1995): 兵庫県南部地震震害調査報告書. I 地震編, 平成7年2月, 56p.
37. 服部 仁(1999) 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). 地質ニュース, 542号, 46~63頁, 1999年10月, 第35~47図, 写真76~84, 第1~2表, 表紙写真, 口絵写真4頁.

HATTORI Hitoshi (1999): Superficial rupture by Hyogo-ken-nambu Earthquake, north Awaji Island, and resulting earthquake disaster. VII. 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 2

< 受付: 1999年9月1日 >

巻末資料-2 急激な人工改変工事-野島平林周辺

直線状野島地震断層約160mを含むこの地区は、吉田組によって1971年から1979年(昭和46~54年)までに18.8万 m^2 の面積域で、2,909万 m^3 の花崗岩が採掘された(文献6)。単純な概算では、この地区1 m^2 あたり平均155 m^3 程度掘削除去したことになる。9年間では採掘された岩塊・土砂の量は、野島花崗閃緑岩の密度2.7 g/cm^3 で約2倍の風袋にふくらむと仮定すると、1 m^3 がおおよそ1.3tの重量となり、1 m^2 あたり高さで155m、重量で200tが除去されたことになる。1年では、1 m^2 あたり平均高さで17m、重量で22tという猛烈なスピードで軽量化している。

東南側に隣接の山岳地域では、五洋建設・大新建設JVにより1973~1986年(昭和48~61年)の間に40万 m^2 の面積域で、10,580万 m^3 が採掘された。同様の概算では、1 m^2 あたり平均265 m^3 程度掘削除去したことになる。14年間では採掘された岩塊・土砂の量は、1 m^2 あたり高さで265m、重量で345tが除去された。1年では、1 m^2 あたり平均高さで19m、重量で25tと直線状野島地震断層付近と同様のスピードで掘削された。

以上の概算から直線状野島地震断層の東側、すなわち山側の山体が平均して1年間、1 m^2 あたり平均高さで17-19m、重量で22~25t軽量化したことになる。

一方、簞川の北側では、最近まで寄神建設によって大規模な掘削が進められており、1973年~1988年(昭和48~63年)の間に115万 m^2 、28,070万 m^3 が、1988

年(昭和63年)以降の計画採取量1,900万 m^3 を加えると、概算で1 m^2 あたり平均261 m^3 程度の掘削量になる。最初の16年間では、1 m^2 あたり高さで244m、重量で317tが除去された。1年では、1 m^2 あたり平均高さで15m、重量で20tが採掘された。

以上の検討結果をまとめると、直線状野島地震断層が出現した場所およびその南北西方向の山体では10年前後の短期間に大規模掘削が行われた。概略で1 m^2 あたり150~260 m^3 の掘削量で、重量では200~340tが除去され、この断層東側の山体が急激に軽くなった計算になる。

巻末資料-3 過去の地形変遷-小倉地震断層西部周辺

直線状小倉地震断層約160mを含むこの地区は、大阪層群砂・シルト層および礫層(文献6)からなり、朝日工業が1971年から1986年までに152万 m^2 の範囲で8,480万 m^3 採取した。砂・シルト層の密度1.7 g/cm^3 で、約1.5倍の風袋になると仮定すると、1 m^3 がおおよそ1.1tである。

この16年間で見ると、掘削量は1 m^2 あたり56 m^3 、62tに及び、1年あたりでは4tの掘削量になる。その後、1987年から1990年にかけて掘削は光洋開発(株)によって再開され、採取量1,140万 m^3 を数え、全体では9,620万 m^3 に達する。しかし、最大の変位を起こした野島平林に比べると、1 m^2 あたり1/3~1/6程度の掘削量と少ない。