

野島断層上に発達した変形帯の調査結果 — 第四紀地盤地域で見られた地表面の断裂構造 —

(財)電力中央研究所 谷 和夫*、上田圭一*
中部電力(株) 仲田洋文**

第四紀における断層運動の活動性や性状を評価する時、基盤の断層を被覆する未固結層の内部変形構造が重要な手がかりとなる。1995年兵庫県南部地震では、淡路島北西部の野島断層上に斜め右横ずれ断層変位に伴う特徴的な変形帯が延長約10kmにわたって形成された。そこで、地震断層による未固結被覆層の変形機構を解明するため、第四紀層が分布する地域で地表踏査とサウンディング(コーン貫入試験)を実施した。本論文では、乾燥砂を用いた室内模型実験の検討も踏まえて、特に地表面の断裂構造について考察した結果を報告する。

1. はじめに

第四紀層のように地質学的に若い堆積層は固結度が低いため、地震時の断層変位がそのまま地表まで延長することなく、特徴的な変形構造が形成される。断層のトレンチ調査はこの未固結被覆層に刻まれた断層運動の痕跡を調べて、その活動度や性状などを推定するために行う。この推定精度を向上させるためには、基盤の断層が地震時に運動した時に、これを被覆する未固結層にどのような変形構造が発達するかを十分に理解しなければならない。

断層変位が横ずれ成分を含まない縦ずれ(傾斜移動)断層、いわゆる正断層や逆断層の問題は、現象が2次元なために比較的単純である。筆者等はここ数年、現地調査、室内模型実験、数式・数値解析によって縦ずれ断層を被覆する砂質地盤の変形機構を解明する研究に取り組み、その変形構造をモデル化する手法を提案してきた(上田・谷、1992;上田、1993;谷、1994&1995)。

一方、我が国の多くの地震断層は横ずれ変位成分を有することが知られており、横ずれ(走向移動)・斜めずれ(斜め移動)断層についても同様のモデルが必要である。しかし一般に未固結被覆層の変形機構は図-1に示すように断層線に沿って周期的な

3次元構造となるため、問題は極めて複雑でほとんど解明されていない。

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、淡路島北部の西海岸沿いに分布する野島断層上に斜め右横ずれ断層変位に伴う特徴的な変形帯(地表地震断層)が延長約10kmにわたって形成された。筆者等は第四紀層が分布する地域の地震断層上で観察される未固結被覆層の変形機構に注目し、継続的に調査を行っている。本論文の内容は地震直後に行った短期の調査結果で、保存期間が短い地表面の変形性状を記録した詳細なスケッチと、今後の詳細調査のための情報収集を目的としたサウンディング(コーン貫入試験)と地割れ面より採取した試料の物理試験について報告する。なお、詳細な調査結果については谷 他(1996)を参照されたい。

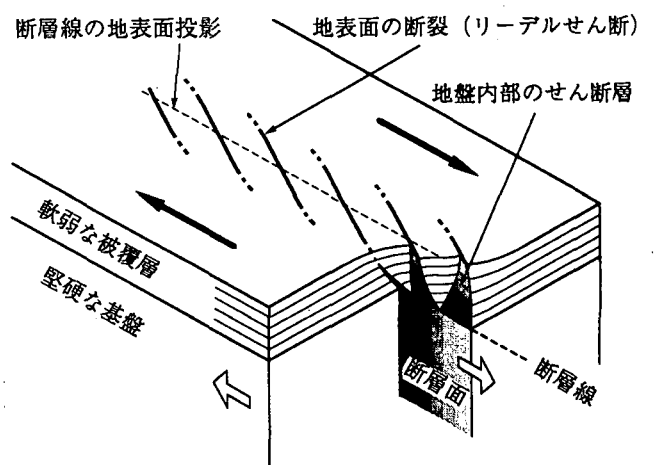


図-1: 軟弱被覆層の変形様式(リーデルセン断)

キーワード: 地震断層、地表断裂、未固結被覆層

* (財)電力中央研究所 地質地盤部、0471-82-1181

** 中部電力(株) 土木建築部、052-951-8211

2. 調査の概要

(1) 調査地点

地震に伴って現れた野島地震断層についてはすでに多くの調査結果が報告されており、関連する文献を参照されたい(栗田 他、1995:中田 他、1995)。

調査サイトの選定に当たっては、以下の条件を考慮した。

- ① 変形帯の特徴的な変形機構が容易に観察できる。
- ② 地震断層を被覆する未固結な地層が、断層変位量に対して極端に薄い。
- ③ 地震前の地表地形が単純で変位基準(レファレンス)が豊富である。
- ④ 今後の詳細な現地調査に支障を来さないよう、重機のアクセスが可能で十分な作業面積を有する。
- ⑤ モデル化に当たって無理がないよう、周辺地盤の地形が複雑過ぎず、かつ例外的要素が少ない地質構造からなる。

地震断層の延長(江崎灯台～富島)に沿って地表踏査した結果、地表に軟弱な地層が存在する地点で見られる変形帯の幅は概ね数m程度であった。そこで調査面積が数m(幅)×十数m(長さ)の規模で、地表変形の変位基準が容易に確保される水田や畑

が最も適切であると判断した。作業スケジュール等も考慮して、野島江崎、里、梨本地区の3つのサイトに絞って調査することにした(図-2)。

(a) 野島江崎地区

野島川の北側5~6 km、桃林寺の南西300~400 m、津名丘陵が播磨灘に落ち込む斜面上に位置する。棚田ならびに道路上に、数百mにわたって左雁行配列の地割れ帯がほぼN 60° Eの走向で連続する。断層変位量は右横ずれ成分 $D_h=0.8\sim 1.5$ m、鉛直成分 $D_v=0.3\sim 0.8$ mの南東側(山側)隆起となっている。尾根上に立つ送電鉄塔の北側に分布する棚田4枚(①~④地点)で調査した。

(b) 里地区

断層線のトレースが分岐する地点(野島菰浦)の近傍で、メインとなる北東-南西方向(N 50° E)の変形帯が野島川流域の沖積平野を300 mほど横切っている。小規模な地割れと、畝や畦が緩やかにカーブを描く撓曲地形が連続する葱畑で調査した。断層変位量は右横ずれ成分が $D_h=0.6\sim 0.7$ mであるが、鉛直成分は $D_v=-0.1$ mで北西側(海側)が隆起になっており、野島断層の全般的傾向とは逆のセンスを示す。

(c) 梨本地区

野島川の南側に0.5~1.0km²にわたって広がる標高20~40 mの沖積平野および段丘上に分布する水田に、地割れを主体とする変形帯がほぼN 55° Eの走向で連続する。断層変位量は、右横ずれ成分 $D_h=0.7\sim 1.2$ mであるが、鉛直成分は $D_v=-0.4\sim -0.2$ mで北西側(海側)隆起になっており、野島断層の全般的傾向とは逆のセンスを示す。2筋の用水路を挟んで互いに100 m程度離れた3枚の水田(①~③地点)で調査した。

(2) 調査方法

地震直後の初期調査段階で最低限把握しなければならないのは、保存期間が短い「地表面の変形性状」である。そこで断層線に沿って10~30 数m、その直交方向に数~十数mの調査領域内に1 m間隔のメッシュを設定し、詳細なスケッチを行った。

さらに表層の未固結地盤を把握することを目的として、断層を横断する測線に沿ってサウンディングを実施し、また地割れ面で観察される代表的な地

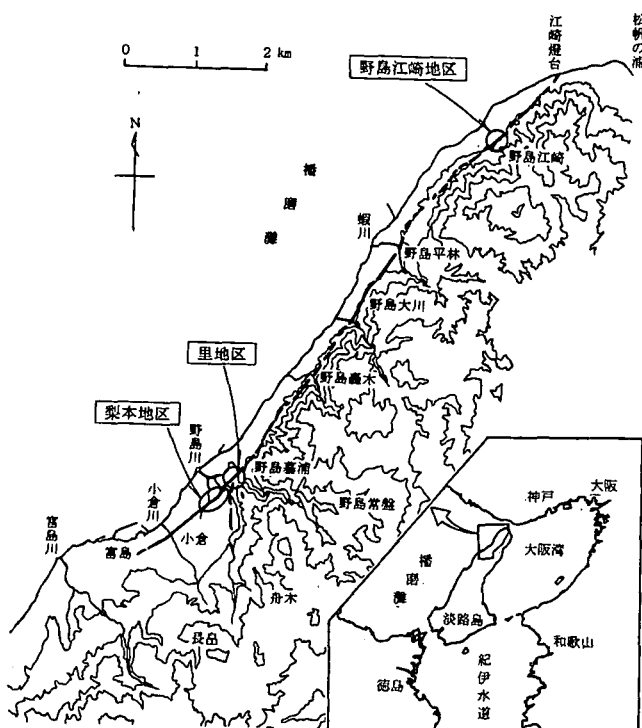


図-2: 野島地震断層と調査位置

層から試料を採取して各種物理試験も行った。サウンディングはポータブル型コーンペネトロメータを用いた貫入試験（地盤工学会、1995）によって行った。

3. 調査結果と考察

各地点の地表変形構造を記録したスケッチの例を図-3に示す。未固結被覆層の存在により、地表には幅数mの系統的なせん断機構による地割れ構造が発達し、全体として網目状の断裂構造が形成されていた。また地点によって引張亀裂やプル・アパート構造、地盤の小ブロック化や傾動、衝上地形、プレッシャー・リッジ、撓曲等の変形構造も観察された。これらの特徴を断層変位量や表層地盤に関する情報と共にまとめたものを表-1に示す。

(1) 基盤と表層の変形層

軟弱な被覆層を変形させる直接の外的要因、すなわち断層変位が境界条件としてモデル化されるのは、被覆層内の変形構造が1枚の平面的な断層に収斂する基盤面においてである。それ以深の地盤は、上位の被覆層に比べて内部変形が無視できるほど小さく、断層を境として相対（ずれ）運動をする剛体ブロックとしてモデル化される。

断層線に隣接して南東側に広く分布する白亜紀の野島花崗閃緑岩や、北西側に見られる新第三紀中新世の神戸層群岩屋累層（1～3千万年前）は、地質年代も古く固結度が高いため、新鮮であれば第四紀の未固結層に比べて十分に剛な基盤と見なされよう。しかし、同じく断層線の北西側、さらに南部の小倉に広く分布する新第三紀鮮新世～第四紀更新世前期の大阪層群富島累層（3000万年前～120万年前）の上部層は、地質年代も若く固結度がそれほど高くはないと思われる。そのため必ずしも剛体的挙動を示す保証はなく、変形層として振舞う可能性は否定できない。今後、物理探査なりトレンチ調査によって地盤内部の変形構造を明らかにする必要があるが、今回調査した3地区に関しては、地表の変形帯の性状を支配する被覆層は、主に地割れ面等で観察された上部更新統に当たる段丘堆積物や完新世の沖積層と考えて良いであろう。野島江崎地区の①～④地点と梨本地区の①、②地点の表層地盤は主にやや固結したまき土（花崗岩起源の風化土）、里地区と梨本地区の③地点は河床性の堆積物（粘土、砂、砂礫）から構成されている。

各調査地点の詳細な地盤構成は不明だが、軟弱な変形層の厚さHは推定が可能である。一般に基盤の横ずれ断層変位の影響は、被覆層が膨張的であるほ

表-1：各地点の調査結果一覧

調査地点			野島江崎地区				里地区	梨本地区		
			①	②	③	④		①	②	③
基盤の断層	断層変位量	右横ずれ成分 D_h (m)	0.8~0.9	0.8~1.4	1.0~1.5	1.4~1.5	0.65	0.8~0.9	0.95~1.1	0.7
		鉛直成分*1 D_v (m)	0.3~0.4	0.3~0.5	0.3~0.4	0.3~0.4	-0.1	-0.2	-0.2	-0.35~-0.4
	断層傾斜角	85° (桃林寺)、81° (野島平林)				—	87° (小倉)			
	断層変位ベクトルのレイク		10° (桃林寺)、20° (野島平林)				—	10° (小倉)		
未被固覆層	構成層		風化、崩壊、沢押し出し堆積物 やや固結したまき土（細粒砂～砂礫）				沖積層 (シルト～砂)	砂層/砂礫層 (大阪層群)	粗粒砂 粘土	粘土 砂礫層
	層厚 H (m)		< 10 (?)				3~6(?)**2	< 5(?)	< 3(?)	約4(?)**3
断層変位帯の幅 W (m)			6~7	5~6	4~5	5	7	3.5~4.5	1.5	2.5~3
単純せん断モード変形帯の幅 W_S (m)			6~7	4	2~3	5	7	3.5	1.5	1~1.5
せん断機構	R-shears	斜交角度 θ_R	40°~55°	40°~50°	40°	20°~30°	20°~30°	5°~15°	20°~30°	15°~20°
		間隔 S_R (m)	2~2.5	3~4	1~1.5	6.5~7	1~2(?)	6~7	1.5~2	4.5~5.5
		幅 W_R (m)	3~4	1~2	1~1.5	1.5~2	4~5	3~4	0.5~1	1~1.5
	P-shears	斜交角度 θ_P	—	-5°~0°	—	-15°~-10°	—	—	-15°~0°	-15°~-5°
		間隔 S_P (m)	—	—	—	—	—	—	—	—
	L-shears	斜交角度 θ_L	15°~30°	15°~25°	15°~25°	15°~20°	15°~20°	0°~10°	5°~15°	10°~15°
		間隔 S_L (m)	0.5~2.0	1.0~1.5	—	1.5	—	—	—	—
	共役なせん断機構 R',P',L'-shears	斜交角度 θ'	65°~70°	70°~80°	—	60°~65°	45°~60°	—	60°~75°	60°~80°
		間隔 S' (m)	0.3	0.4~0.6	—	0.5	0.2~0.3	—	—	—
		種類		L'	R' or L'	—	R' or L'	L'	—	R' or L'
その他の特徴的な変形構造			沈降側に撓曲（ふくらみ）	顕著な S,O-shears、変形帯中央陥没、沈降側に引張亀裂?	沈降側に顕著なプレッシャー・リッジ	顕著な S,O-shears、R-shears 中央がプル・アパート構造	小規模な左雁行亀裂が無数に分布	沈降側に顕著なプレッシャー・リッジ、延長の長い R-shears	地盤が小ブロック化	顕著な S,O-shears、R-shears 中央がプル・アパート構造

*1：南東側隆起となるセンスを正とする、

*2：トレンチ・データ、

*3：近接ボーリング・データ

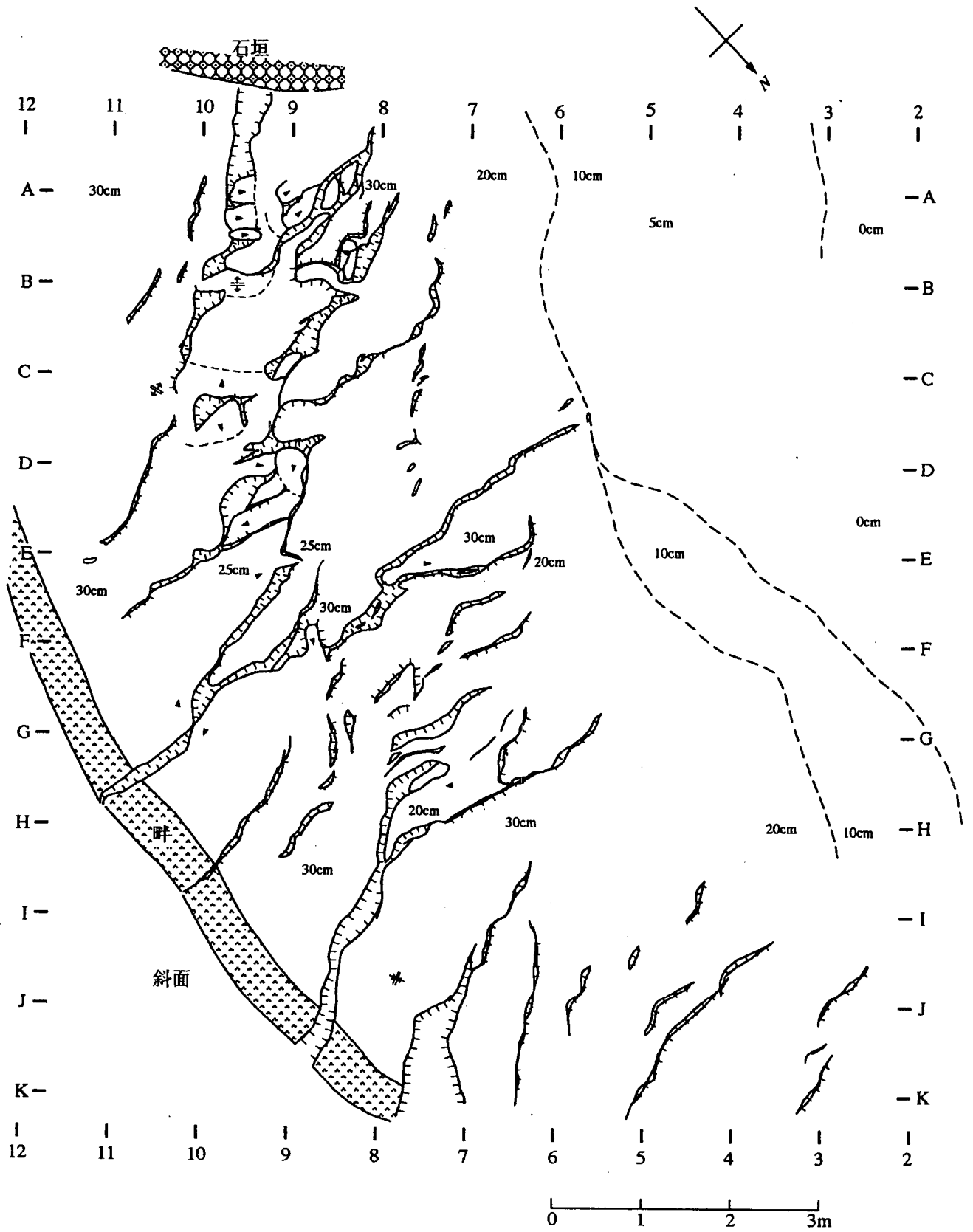


図-3：地表変形構造を記録したスケッチの例（野島江崎地区①地点）

ど広範囲に及び、逆に収縮的であれば断層直上の狭い範囲に収まる傾向にあるが、地表の断層変形帯の幅 W は被覆層の厚さ H の 1 ~ 4 倍程度である。観察された断層変形帯の幅 W は数 m であるから、被覆層の厚さ H は 10 m 未満と推定される。

(2) リーデルせん断 (1 次的なせん断機構)

変形帯の中央に発達した網目状の断裂構造の中で最も大きい 1 次モードの地割れ構造は、右横ずれ変位に特有の左雁行 (「杉」型) に配列するリーデルせん断 (Riedel shears : R-shears) で、全地点で観察された。その規模や性状は、断層線に対する斜交角度 θ_R 、雁行配列の間隔 (断層線方向) S_R と幅 (直交方向) W_R をパラメータとして計測した。

地表面近傍が単純せん断モードの応力場にあると仮定する一般的な考察によれば、せん断方向と主応力方向のなす角 $\phi = 40^\circ \sim 50^\circ$ 、主応力方向とせん断層のなす角 $\mu = 20^\circ \sim 35^\circ$ とすると、R-shears の発達する方向は断層線に対して斜交角度 $\theta_R = \phi - \mu = 5^\circ \sim 30^\circ$ となる。しかし、野島江崎地区の ① ~ ③ 地点で見られた R-shears はこれよりはるかに大きい角度で斜交していたことになる (表-2)。純粋な横ずれ (走向移動) 断層であっても、R-shears の斜交角度 θ_R は、被覆層の厚さ H 、地盤構成、力学特性等に依存するだけでなく、地盤内応力とも密接な関係にあることが知られており (Naylor et al., 1986)、この最も基本的な主要構造でさえ説明するのは容易ではなさそうである (谷・上田, 1995)。さらに縦ずれ成分の影響、大きい横ずれ変位による R-shears の初生構造の変形や回転をも考慮する必要がある。

R-shears の両端には、ほとんどの地点で断層線に対する斜交角度がやや大きくなるスプレーせん断

(splay shears : S-shears) やこれに延長して逆向きにカーブして最終的に断層線とほぼ平行な走向になるアウターせん断 (outer shears : O-shears) が観察され、特に野島江崎地区の ②、④ 地点と梨本地区の ③ 地点で顕著だった。この 3 地点では、R-shears の中央に大きく開口した陥没地形 (プル・アパート・ベイスン) も形成されていた。

(3) 圧縮ブリッジと横ずれリレー・ランプ、および 2 次的に形成される調和的せん断機構

左雁行断裂に挟まれた短冊状の領域、R-shears がオーバー・ステップする部分は、右横ずれせん断によって R-shears にほぼ平行な圧縮力が作用する圧縮ブリッジ (トランスプレッショナル領域) となる (Gamond, 1987)。また縦ずれ変位成分の影響で、R-shears と O-shears に挟まれた部分は沈降側に傾斜したリレー・ランプとなる (Peacock & Sanderson, 1995)。沈降側に押し出された地盤は緩やかに膨らんだ撓曲地形となり、R-shears に沿うずれ変位によって短縮する側にプレッシャー・リッジと呼ばれる隆起地形、およびその末端には舌縁状に乗り上げる衝上地形も観察された。

この領域には 1 次モードの R-shears を形成した応力場と異なる局所的な応力場が形成され、断層線に対して R-shears より小さい角度で斜交する低角リーデルせん断 (low angle Riedel shears : L-shears) や逆方向に斜交する P せん断 (P-shears) が発達する。いずれもせん断方向と調和的な方向で、最大主応力 σ_1 が単純せん断モードの方向から反時計回りに回転したことで説明されることが多い。

L-shears は全地点で観察され、梨本地区の全 3 地点が極めて低角の斜交角度 $\theta_L = 0^\circ \sim 15^\circ$ であった他は $\theta_L = 15^\circ \sim 30^\circ$ だった。この L-shears が発

表-2 : 圧縮ブリッジ内の主応力方向の回転

調査地点		野島江崎地区				里地区	梨本地区		
		①	②	③	④		①	②	③
斜交角度	R-shears θ_R	$40^\circ \sim 55^\circ$	$40^\circ \sim 50^\circ$	40°	$20^\circ \sim 30^\circ$	$20^\circ \sim 30^\circ$	$5^\circ \sim 15^\circ$	$20^\circ \sim 30^\circ$	$15^\circ \sim 20^\circ$
	P-shears θ_P	—	$-5^\circ \sim 0^\circ$	—	$-15^\circ \sim -10^\circ$	—	—	$-15^\circ \sim 0^\circ$	$-15^\circ \sim -5^\circ$
	L-shears θ_L	$15^\circ \sim 30^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$15^\circ \sim 20^\circ$	$15^\circ \sim 20^\circ$	$0^\circ \sim 10^\circ$	$5^\circ \sim 15^\circ$	$10^\circ \sim 15^\circ$
回転度	$\xi_P = \theta_R - \theta_P$	—	$40^\circ \sim 55^\circ$	—	$30^\circ \sim 45^\circ$	—	—	$20^\circ \sim 45^\circ$	$20^\circ \sim 35^\circ$
	$\xi_L = \theta_R - \theta_L$	$10^\circ \sim 40^\circ$	$15^\circ \sim 35^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$0^\circ \sim 15^\circ$	$0^\circ \sim 15^\circ$	$(-5^\circ) \sim 15^\circ$	$5^\circ \sim 25^\circ$	$0^\circ \sim 10^\circ$

達するための主応力方向の回転角 $\xi_L (= \theta_R - \theta_L)$ は、梨本地区の①～③地点が平均値で $20^\circ \sim 25^\circ$ であるのに対して、他の5地点は同じく平均値で $\xi_L = 5^\circ \sim 15^\circ$ だった(表-2)。また野島江崎地区の①、②、④の3地点では1つの圧縮ブリッジ内に複数のL-shearsが観察され、その間隔 S_L はR-shearsの間隔 S_R の $1/6 \sim 1/2$ だった。

斜交角度 $\theta_p = -15^\circ \sim 0^\circ$ のP-shearsは、野島江崎地区の②、④地点、梨本地区の②、③地点の計4地点で観察された。このP-shearsが発達するための主応力方向の回転角 $\xi_p (= \theta_R - \theta_p)$ は、平均値で $27.5^\circ \sim 47.5^\circ$ と大きい(表-2)。特に野島江崎地区の②、③地点の $\xi_p = 30^\circ \sim 55^\circ$ は、最大主応力 σ_1 方向とせん断層のなす角 $\eta = 20^\circ \sim 35^\circ$ より大きく、圧縮ブリッジ内の局所的な応力場の考察だけでは説明できない。

(4) 共役なせん断機構

調和的なせん断機構(R, P, L-shears)に共役な関係にあるせん断機構(R', P', L'-shears)は、断層線となす角が大きく、野島江崎地区の③地点と梨本地区の①地点を除いた6地点で観察された。里地区がやや低い斜交角度 $\theta' = 45^\circ \sim 60^\circ$ である他は、概ね $\theta' = 60^\circ \sim 80^\circ$ だった。調和的なせん断機構とは $2\mu = 40^\circ \sim 70^\circ$ の角度をなすことを考慮すると、 $\theta_L = 0^\circ \sim 30^\circ$ のL-shearsに共役なL'-shearsと整合的だが、地点によってはR'-shearsの可能性もある。また梨本地区を除いて、短い亀裂ないし地割

れが近接して複数分布し、その間隔は $S' = 0.3 \sim 0.6$ mで S_R の $1/3 \sim 1/10$ だった。最初に形成されるR-shearsに引き続いて発達するせん断機構については、地盤内部の発達プロセスが全く解明されていない。今後の検討課題である。

(5) その他の地表面変形構造

純粋な横ずれ(走向移動)断層と異なり、今回の地震における野島断層の運動は $D_v/D_h = 0.2 \sim 0.5$ でやや逆断層の縦ずれ成分を伴っている。このため野島江崎地区の②地点では、隆起側の地盤表面が引張られて、メインの変形帯の外側に引張亀裂(tension crack)が断層線に平行に発達していた。また沈降側には、表層の地盤が水平方向に押し出される傾向が多く、多くの地点で観察された。

(6) 地盤内部の変形構造

地盤内部の変形構造はコーン貫入試験の結果をもって概要を推定することができる。全地点で断層変形帯の中央に軟らかい地盤のゾーンが確認された。せん断層の正確な断面形状は不明だが、一般的に地盤深部で収斂する傾向を示し、横ずれのデュプレックスの花弁状構造、あるいはチューリップ/やしの木構造に類似した形態と推定される(Woodcock & Fisher, 1986)。

4. 室内模型実験との比較

図-4は、変形帯の表面で観察された系統的なせ

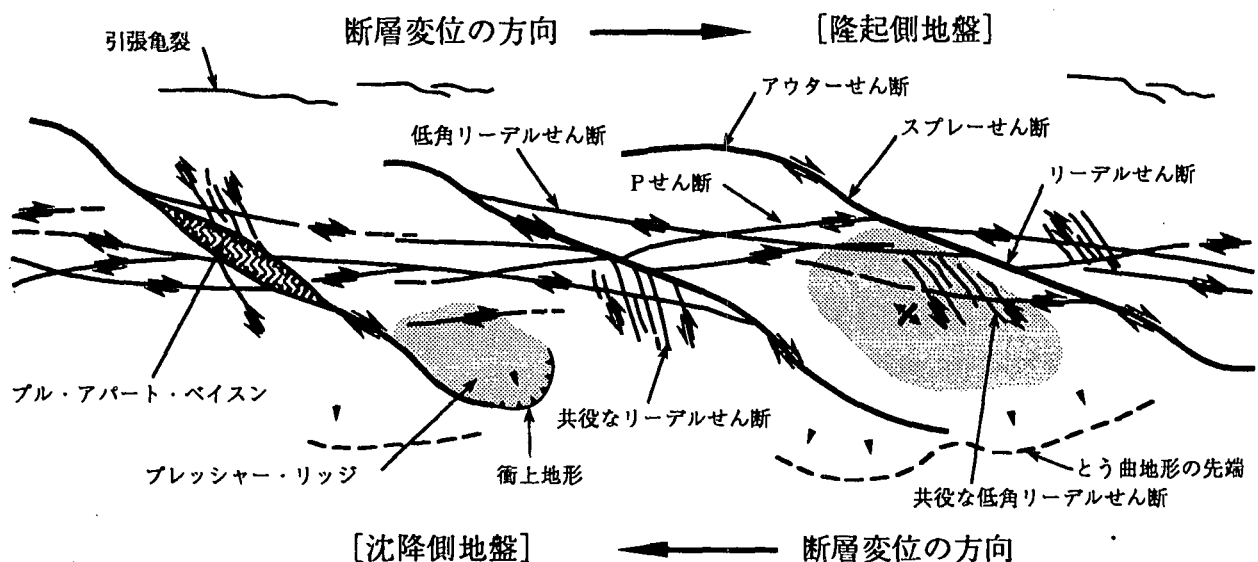


図-4: 観察された地表変形構造の特徴(模式図)

ん断機構による網目状の断裂構造とその他の特徴的な断層微地形を模式的に表わしている。このような変形構造が発達するメカニズムを解明するために、乾燥砂を用いて横ずれおよび斜めずれ断層の大型模型実験を実施している（上田・谷、1994）。野島断層上で観察された地表面の変形構造は、粘着力に起因した割れ目形態をとる点を除いて、この乾燥砂を使った模型実験で観察された地盤表面の変形構造と少なくとも定性的には一致している点は注目に値する（上田 他、1995）。

図-5は、豊浦標準砂を用いた断層模型実験で観察された地盤表面のせん断層の発達過程を模式的に示している。土槽は長さ 600cm、幅 250cm、高さ 60cm で、層厚 40cm の模型地盤はバイブレーターにより密に締め固めた（間隙比 $e \approx 0.63$ ）。1次モードの R-shears、2次モードの P-shears, L-shears、さらに R'-shears の発達する位置、センス、斜交関係は、野島地震断層と横ずれ断層の模型実験で定性的に一致している（図-5 a）。隆起側の断裂沿いに段差が形成され、地盤のブロック化と沈降側へ傾動する様子は、断層変位ベクトルのレイクが 30° の斜めずれ断層実験の結果（図-5 b）と共通点が多い。

5. 今後の調査計画

地盤内部の変形構造を把握することを目的として、地中レーダー法による物理探査とトレンチ調査を計画している。

【参考文献】

- 栗田泰夫、水野清秀、杉山雄一、下川浩一、井村隆介、木村克己、奥村晃史、佃 栄吉 (1995) “1995年兵庫県南部地震で淡路島に出現した地震断層”、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、pp. 11~14.
- Gamond, J.F. (1987) “Bridge structures as sense of displacement criteria in brittle fault zones”, *J. of Structural Geology*, Vol. 9, No. 5/6, pp. 609~620.
- 地盤工学会 (1995) “土質調査法 (第2回改訂版)”, pp. 221~225.
- 中田 高、蓮田 清、尾高潤一郎、坂本晃章、朝日克彦、千田 昇 (1995) “1995年兵庫県南部地震の地震断層”、地学雑誌、Vol. 104, No. 1, pp. 127~142.
- Naylor, M.A., Mandl, G. and Sijpestein, C.H.K. (1986) “Fault geometries in basement-induced wrench faulting under

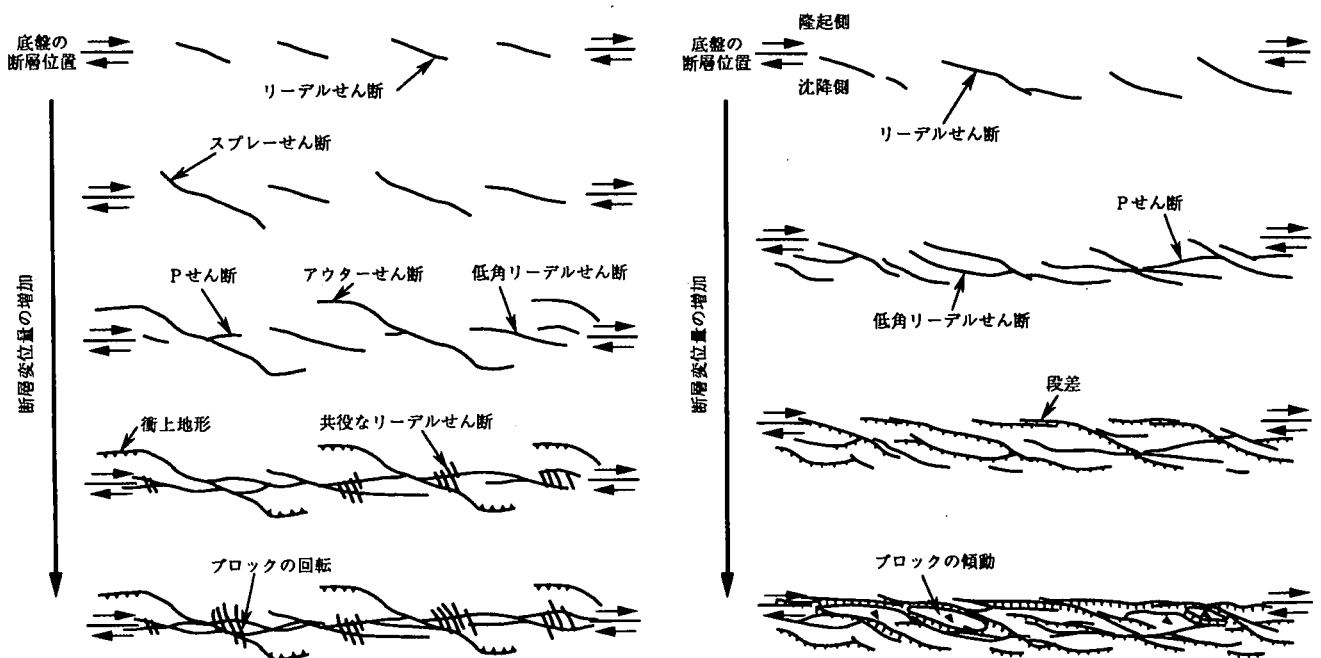


図-5：断層模型実験で観察された地表面の変形構造（模式図）

(a) 横ずれ

(b) 斜めずれ (レイク 30°)

- different initial stress states” , *J. Structural Geology*, Vol.7, No.8, pp.737~752.
- Peacock, D.C.P. and Sanderson, D.J. (1995) “Strike-slip relay ramps” , *J. of Structural Geology*, Vol.17, No.10, pp.1351~1360.
- 谷 和夫 (1994) “ジョイント要素を用いたFEMによる逆断層の模型実験のシミュレーション”、地盤の破壊とひずみの局所化に関するシンポジウム、土質工学会、pp.215~222.
- 谷 和夫 (1995) “基盤の断層変位に伴う砂層内の不連続面の形状と位置 (第3報)”、第30回土質工学研究発表会、pp.1247~1250.
- 谷 和夫、上田圭一 (1995) “砂地盤内に形成されるせん断層の3次元構造のX線CTによる観察—横ずれ断層模型実験を例として—”、地盤破壊の三次元的評価に関するシンポジウム、土質工学会、pp.161~168.
- 谷 和夫、上田圭一、仲田洋文 (1996) “基盤の斜め移動断層変位による未固結被覆層の変形構造—1995年兵庫県南部地震における野島地震断層の初期調査結果—”、電力中央研究所報告.
- 上田圭一、谷 和夫 (1992) “基盤の逆断層変位に伴う砂層の変形”、第27回土質工学研究発表会、pp.1353~1354.
- 上田圭一 (1993) “基盤の断層変位に伴う第四紀層及び地表の変形状況の検討—地震断層、活断層の現地調査—”、電力中央研究所報告、U93007.
- 上田圭一、谷 和夫 (1994) “基盤の横ずれ断層変位に伴う未固結被覆層の変形—模型実験による検討”、日本地質学会第101年学術大会講演要旨、p.203.
- 上田圭一、谷 和夫、仲田洋文、加藤貴宏、丸山力之 (1995) “兵庫県南部地震時の野島断層の変位に伴う第四紀層分布地域の地表の変形構造”、第30回土質工学研究発表会、pp.91~94.
- Woodcock, N.H. and Fisher, M. (1986) “Strike-slip duplexes” , *J. of Structural Geology*, Vol.8, No.7, pp.725~735.

Preliminary Investigation on Deformed Zone along the Nojima Fault — Surface Rupturing in Quaternary Ground Areas —

Kazuo Tani, Keiichi Ueta, Hirofumi Nakata

During the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, significant surface breaks occurred along a pre-existent active fault, the Nojima Fault on the northwestern coast of Awaji Island. Immediately after the earthquake, preliminary investigation was conducted at such areas as the earthquake fault was covered with soft unconsolidated layers, Quaternary deposits. Detailed sketching of the surface rupturing typically demonstrates characteristic deformation patterns including Riedel shears in a left-stepping en-échelon formation. Sounding using a portable cone penetrometer and physical tests using the soil samples were also carried out to characterize the surface layers.