福井平野下の活断層について (序報)

工業技術院地質調査所* 衣笠 善博†
福井大学工学部** 荒井 克彦
福井大学名誉教授*** 鳥 海 勲
福井大学教育学部**** 山 本 博 文
京都大学防災研究所***** 安 藤 雅 孝・平 野 憲 雄

A Preliminary Report of Active Fault Survey in the Fukui Basin, Central Japan

Yoshihiro KINUGASA

Geological Survey of Japan, 1-1-3 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan

Katsuhiko ARAI, Isao TORIUMI and Hirofumi YAMAMOTO

Fukui University, 3-9-1 Bunkyo, Fukui 910-8507, Japan

Masataka ANDO and Norio HIRANO

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University,
Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

(Received February 2, 1999; Accepted June 1, 1999)

Subsurface geological structure of the Fukui basin where the 1948 Fukui Earthquake ($M7.1$) occurred has been studied by P and S wave seismic reflection survey together with a trench excavation survey at the eastern edge of the basin. In the central part of the basin, no distinctive fault has been detected by the P wave seismic reflection survey. Also, at the eastern edge of the basin, no evidence of faulting associated with the 1948 event has been detected by S wave seismic reflection and trench excavation surveys. However, liquefaction of gravel layer has been revealed in a trench at the eastern edge of the basin and its date is estimated sometime between A.D. 1200. and A.D. 1400. These results suggest that the faulting of the 1948 Fukui Earthquake ($M7.1$) is dominant with strike slip component, and hence it is concluded that no earthquake fault appeared on the ground surface other than the intensive surface cracks reported as the evidence of earthquake fault.

Key words: Fukui earthquake of 1948, earthquake fault, seismic reflection, trench excavation, liquefaction.

§1. はじめに

1948年6月28日に発生した福井地震($M=7.1$)は、福井平野の中～東部を震源とし、軟弱な地盤の広がる福井平野に甚大な被害を与えた。この地震によって、福井平野の中央および東縁では地割れ等の発生が認められた

が、明瞭な地震断層の発生は確認されていない(小笠原, 1949)。一方、地震前後の測量結果の比較から、平野の中央部に地震断層が推定された(Tsuya, 1950)。

福井県では、地震防災対策に資するため、科学技術庁地震関係基礎調査交付金によってこれらの断層の調査を

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-3

† 現所属: 東京工業大学大学院総合理工学研究科
Present Address: Interdisciplinary Graduate
School of Science and Engineering, Tokyo

Institute of Technology

、*、***** 〒910-8507 福井市文京3-9-1

***** 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

行った。その結果、福井平野中央部及び東縁の地下構造が明らかになったのでその概要を記す。なお、本調査は継続中であり、ここでは序報として記し、最終的な結果は別途公表する予定である。

§2. 福井地震断層について

1948年の福井地震による被害および地変に関する現地調査を行った小笠原(1949)は、地形学的調査と空中写真判読によって、土砂の噴出と地裂の分布を図示し、地裂は、丸岡町の北方の竹田川の蛇行帯の縁辺部で著しく、その他の区域ではこれよりも何れも小さい事を述べている。土砂の噴出については、丸岡町西方以東であり、それらは帯状には分布せず、田地上に全面的にきわめて不規則に分布している事を述べている(位置はFig.1参照)。さらに、地震断層については、「福井地震の際には、地表面の食い違いとして現れるいわゆる地震断層は見ら

れなかった」と述べている。しかしながら、平野の東縁で家屋の全壊率が急激に減少する事と、土砂の噴出及び地裂の分布が丸岡町の西方を通る一線を境にその西側で急激に減少する事から、平野の東縁と丸岡町の西方に「地表には現れない何か断層様のものの存在を暗示する」と述べ、2条の「深部断層」としてこれらの場所を示した。この「深部断層」に相当する位置に、活断層研究会(1991)は福井地震断層及び福井東縁地震断層を示している。

TsUYA(1950)は、地震前後の測量結果の比較から、地震による隆起・沈降域の境界がNNW-SSE方向に連なり、その線を境にして、左ずれ約2m、東側隆起約70cmの変位があった事を示した。この線は小笠原(1949)の、西側の「深部断層」に概ね一致する。

この結果は、宇佐見(1975)の「資料日本被害地震総攬」に「精密測量の結果、NNW-SSE方向の断層が福井平野の東に見いだされた。これから断層は左ずれで、東側が相対的に最高約70cm隆起し、西側が南に最大約2m近くずれていることがわかった」として地殻変動および断層を示す図を示した。

これ以降、1948年の福井地震に伴って地震断層が出現したとの理解が広く受け入れられ、その性状を明らかにする試みがなされた。

竹内・他(1983)は、重力、全磁力、地震波、 γ 線、常時微動などの調査を行った。その結果、丸岡町の西、田島川の近傍で堆積層と基盤の境界面の深さに100mを超える段差を認めた。

古川・他(1984)は、田島川を挟む東西の測線でやや長周期微動の群列観測を行い、地震断層が推定されている位置を境として微動の振幅と卓越周期に急変が見られることから、その位置で基盤の深度に約200mの差を生じさせるような断層の存在を考え、この断層は繰り返して活動が続いている地震断層であるとした。

竹内・天池(1985)は、福井平野中央部において、大縮尺の地形図から地表面の標高を読みとり、TsUYA(1950)が示した断層線の位置近傍で地表面の高さが3~5m西側が低くなっている事を見だし、これを地震性地殻変動の繰り返しの結果によるものと判断した。

岡本・他(1989)は、田島川の両岸で深度30~50mの複数のボーリングを行った。その結果、断層運動による明瞭な不連続は見いだせなかったが、アカホヤ火山灰と沖積層の基底の深度が直線的には変化せず、田島川の西岸近傍で折れ曲がりが見られることから、これを断層運動の繰り返しと考えた。

その後、井上・他(1996)は、TsUYA(1950)が示した断層線が九頭竜川を横断する位置を中心とし、反射法地

Fig. 1. Location map of the studied area. Solid line shows "Deep Fault" by OGASAWARA (1949) and dotted line shows "Earthquake Fault" by Active Fault Research Group (1991). Dashed line and dash-dot line are P wave and S wave seismic reflection survey lines respectively. Base map is 1/200,000 topographic map "Kanazawa" of the Geographic Survey Institute.

震探査を実施した。その結果、地震断層の推定された位置付近の東側では連続性が良く、強い反射面が深度約110 m 付近に認められるが、断層推定位置から西への追跡が困難になる事を述べている。しかしながら、従来考えられてきたような200 m に達する地層の食い違いは認められないとしている。

以上のように、福井地震断層については、小笠原(1949)の推定した「深部断裂」と、Tsuya (1950)の測量による地震断層の指摘以来、多くの調査が行われたが、地震断層については十分には解明されないまま、その存在が暗黙の内に認められるという状況が続いてきた。

このため、福井県では、平成9・10年度において、科学技術庁地震関係基礎調査交付金によってこの福井地震断層の存否と、存在するとした場合、その詳しい性状を明らかにするため、反射法地震探査等を実施した。以下、福井県(1998)に基づいて、その概要を記す。

§ 3. P 波反射法探査

P 波による反射法探査の測線は、JR 春江駅の北側から福井平野東縁の大森までの約6 km で、小笠原(1949)の推定した2条の「深部断裂」をカバーするように設定した(Figs. 1, 2). 使用機材・諸設定を Table 1 に示し、得られた深度断面図を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 では、測線西端から測線上の水平距離（断面図上部の数字、以下同じ）3200 m 付近から4800 m にかけて、約150 m の深さにはほぼ水平な明瞭な反射面が追跡でき、これは第三紀層からなる基盤と上位の第四系の境界からの反射と考えられる。このことは後に距離4500 m の地点で行った深度150 m のボーリングで孔底付近において風化した第三紀の凝灰岩に達したことから整合する。

この明瞭な反射面は、測線の西端では深度300 m を越えるが、距離3000 m 付近で急激に浅くなる。さらに、

距離4800 m から東へは急激に深度を減じ、測線の東端では地表近くに達する。

距離1600 m 付近は、測線が交通量の多い道路及び橋梁を横断する位置に当たっており、データ密度の低下による反射記録の乱れは認められるものの、その東西での反射面は連続して追跡することが出来る。

この距離1600 m から小笠原(1949)の推定した西側の「深部断裂」の位置に相当する距離2000 m にかけて、第四紀層の厚さに累積的な変化が認められる。しかし、第四紀層の反射面は連続して追跡可能であり、距離2000 m 付近では少なくとも深度100 m 以浅の反射面に断層変位は認められない。

距離2000 m ～2300 m の区間は、小笠原(1949)の図に土砂の噴出が密に記されている場所に相当するが、断層変位を示すような反射面の不連続的な食い違いは認められない。

距離3200 m 付近では、基盤上面は撓曲状の構造を示すとともに、この基盤上面に西落ち数十メートルを伴う断層構造を読みとる事が出来る。この断層の変位量は浅部にゆくに従って減少し、表層近くまで追跡されるが、表層部での落差は顕著ではない。

Table 1. Specification of the P wave seismic reflection survey.

測線長	6 km
対象深度	500 m
受信点間隔	5 m
発信点間隔	10 m
受信器	固有周波数 40 Hz 6 個グループ
チャンネル数	96ch
震源	油圧バイブレータ P 波震源
発信周波数	15～20 Hz
スイープ長	10 秒
記録長	1 秒
サンプリング間隔	1 ミリ秒

Fig. 2. P wave seismic reflection survey line. Numbers in the figure shows a distance from the western end point in meter. Base maps are 1/25,000 topographic map “Echizen-Morita” and “Maruoka” of the Geographic Survey Institute.

Fig. 3. Depth section of the P wave seismic reflection survey.

小笠原(1949)の示した東側の「深部断裂」は距離5200 m 付近にあたる。基盤上面を示す反射面は、この付近から東では途切れ途切れになりつつ、急激に深度を減じる。

以上のように、基盤の上には急激にその深度が変化する部分が認められるが、竹内・他(1983)や古川・他(1984)が指摘したような100 m を越えるような断層変

位は認められない。また、第四紀層中に厚さの累積的な変化や、基盤上面の撓曲構造につながる小規模な断層は認められるものの、地表部での変位は顕著ではない。

§4. S波反射法探査

上記の測線の東端付近の分解能を補い、トレンチ調査の候補地を選定するため、S波による反射法弾性波探査

Fig. 4. S wave seismic reflection survey line. Numbers in the figure shows distance from the western end point in meter. Location of the trench site is shown by shaded rectangular.

を行った。

測線は、後にトレンチ調査を行う事を念頭に置き、丸岡高校の北の東西方向の農道で実施した (Fig. 4)。小笠原 (1949) の推定した東側の「深部断裂」は、距離約 140 m の位置に相当する。また、航空写真判読では、距離 80 m から 100 m にかけて地表面の西側への微傾動が認められる。

使用機材・諸設定を Table 2 に示し、得られた深度断面図を Fig. 5 に示す。

測線の西から距離 80 m 付近までの標高 -5 m 前後に認められる優勢な反射面は、距離 80 m から距離 140 m にかけて急激に浅くなり、測線の東端では標高 +15 m 前後となる。しかしながら、この反射面の深さの変化は連続的な変化であり、断層運動による不連続的な変位を示すものではない。

測線の西半では、この優勢な反射面の上位にはほぼ水平な反射面が連続して追跡される。

以上のことから、小笠原 (1949) の推定した東側の「深

部断裂」の位置で、かつ地表面の西側への微傾動が認められる位置に相当する地下で、西側が深くなるような優勢な反射面は認められるものの、その深度の変化は連続的であり、この反射面およびその上位には断層変位は及んでいないと判断される。

§ 5. トレンチ発掘調査

福井県ではさらに、上記の距離 80~140 m 付近の構造の詳細を確かめるために、S 波反射法探査測線上で群列ボーリングを行い、S 波反射法探査及び群列ボーリングから地下に断層の存在が推定された測線上の距離 100 m を中心とする位置 (Fig. 4) でトレンチ発掘調査を行った。ボーリング調査及びトレンチ発掘調査結果の分析は継続中であり、ここでは結果の概要のみを記す。

トレンチ壁面の観察によると、地表下約 2 m までの砂礫層・シルト層はほぼ水平に連続して分布しており、断層変位を示唆するような構造は認められなかった。地表下約 2 m において、ほぼ水平に広がる礫層が認められた。この礫層は更に下位の腐植質シルト層を割いて上昇した噴礫脈に続いていた。

この現象は、地下 2 m 以深の腐植質シルト層のさらに下位の礫層を構成する礫が、激しい地震動によって、シルト層を割いて噴礫として上昇し、腐植質シルト層上面で横に広がったものと解釈された。

この噴礫の発生年代は、堆積物中から得られた試料の炭素同位体年代の測定値から、暦年で西暦 1200 年以降、1400 年以前と推定された。

§ 6. ま と め

以上の調査結果から、福井地震をもたらした断層につ

Table 2. Specification of the S wave seismic reflection survey.

測線長	250 m
対象深度	50 m
受信点間隔	2 m
発信点間隔	2 m
受信器	固有周波数 30 Hz 上下動ジョ フオン 2 個グループ
チャンネル数	126ch
震源	油圧バイプレータ S 波震源
発信周波数	10~200 Hz
スイープ長	10 秒
記録長	1 秒
サンプリング間隔	1 ミリ秒

Fig. 5. Depth section of the S wave seismic reflection survey.

いて、暫定的ではあるが、以下のように取りまとめる事ができよう。

1. 福井平野中央部においては、第三紀層からなる基盤の上面を 100 m 以上不連続的に変化させるような断層は存在しない。

2. P 波反射法探査の測線上の距離 1600 m から 2000 m にかけては、第四紀の堆積物の厚さが水平方向に変化する。その変化の程度は、浅部ほど小さくなる事から、第四紀における継続的な構造運動が示唆される。

3. 同測線上の距離 3200 m 付近では、基盤上面の撓曲状の構造が認められ、それに伴う断層が浅部にまで達しているのが認められるが、地表近くでの断層変位は顕著ではない。

4. 福井平野の東縁では、基盤上面の深度が東に向かって急激に浅くなる。

5. 東縁において基盤上面深度が急激に浅くなる位置で行ったトレンチ調査では、1948 年の福井地震に相当する地震断層は認められないが、噴礫が認められた。その発生年代は暦年で西暦 1200 年以降、1400 年以前と推定される。

これらの結果、福井平野中央部の地下の断層の縦ずれ変位は顕著でないことが明らかになった。TSUYA (1950) による 1948 年の福井地震に伴う地殻変動は、福井平野中央部で、横ずれ成分の優勢な断層運動であったことを示している。平野東縁では 1948 年の福井地震時の断層活動は認められない。

以上の事から、1948 年の福井地震の断層活動は福井平野中央の断層が主であり、その変位は横ずれ成分が卓越すると判断される。

謝 辞

以上の調査結果は、科学技術庁地震関係基礎調査交付金によって福井県によって実施された調査の結果であり、その実施にあたられ、ここにその一部を公表するこ

とを快諾された福井県生活部消防防災課の担当者に感謝いたします。大阪市立大学中川康一氏、建設省国土地理院地殻活動研究センター鷺谷 威氏からは未公表の資料を見せていただいた。調査を担当された(株)ダイヤコンサルタントの担当者の方にはデータの再解析等を行っていただいた。竹村恵二氏と匿名査読者からは適切なコメントを頂いた。記して感謝いたします。

文 献

- 福井県, 1998, 平成 9 年度地震関係基礎調査交付金「福井平野東縁断層帯に関する調査」成果報告書, 153 pp.
- 古川信雄・竹内文朗・天池文男, 1984, やや長周期微動の群列観測による福井地震断層探査, 地震 2, **37**, 207-215.
- 井上直人・中川康一・宇田英雄・横田 裕, 1996, 福井地震断層における反射法地震探査と重力探査概要, 日本応用地質学会平成 8 年度研究発表会概要集, 23-26.
- 活断層研究会(編), 1991, [新編] 日本の活断層-分布図と資料, 東京大学出版会, 412 pp.
- 小笠原義勝, 1949, 福井地震の被害と地変, 地理調査所時報, 特報 2, 1-13.
- 岡本拓夫・天池文男・安藤雅孝・竹内文朗・前澤廣道・義江修二・中田 高, 1989, 福井地震断層周辺でのボーリング調査, 月刊地球, **11**, 1, 26-30.
- 竹内文朗・古川信雄・春日 茂・平野憲雄・西上欣也・見野和夫・天池文男・川部喜朗・河野芳輝・貞広太郎, 1983, 福井地震断層の位置と規模を定めるための探査, 地震予知連絡会会報, **30**, 368-375.
- 竹内文朗・天池文男, 1985, 地形図にみられる, 福井地震の繰り返しによる地表面の上下変位について, 地震 2, **38**, 1, 141-143.
- TSUYA, H., 1950. The Fukui Earthquake of June 28, 1948, Report of the Special Committee for the Study of the Fukui Earthquake, Tokyo, 197 pp.
- 宇佐見龍夫, 1975, 資料日本被害地震総覧, 東京大学出版会, 335 pp.