

1948年福井地震の被害と地盤構造

福井大学工学系部門建築建設工学講座 教授 小嶋 啓介



1 福井空襲から福井地震・福井豪雨

能登半島周辺は2007年能登半島地震(M=6.9)、2024年能登半島地震(M=7.6)、2024年9月能登半島豪雨という悲惨な災害に繰り返し襲われたことは記憶に新しいと思います。これとよく似た、そしてそれ以上の悲惨な状況が、太平洋戦争末期の福井でも発生していました。

終戦間際の1945年7月19日に、福井市はアメリカ軍の空襲を受け、図1に薄赤で示す範囲が消失しました。図より明らかなように市街地の大半が消失し、犠牲者1,684人、罹災者8万5千人余りという被害を受けました。戦災から3年が経過し復興しつつあった1948年6月28日の午後4時13分に、福井平野の直下を震源とする福井地震(M=7.1)が発生し、犠牲者3,769人、負傷者22,000人以上、全壊家屋36,184棟という未曾有の被害が発生しました。さらにその約1か月後の7月25日には、福井水害が発生し、浸水家屋7千棟、被災人口2万8千名という悲惨な被害を受けてしまいました。

2 地震被害と地盤条件

図2は、福井地震による建物の全壊率分布であり、オレンジの線の内側は全壊率90%で、特にピンクの領域では100%という壊滅的被害を受けたことが分かります。建物被害を受けて、それまでは最大値がVIであった震度階に、VIIが新設される契機となりました。

福井地震では明瞭な断層は地表面には現れませんでした。地震後に行われた測量によって、図2に点線で示す位置に、震源断層が伏在していると推定されました。図に矢印で示すように、断層の東側の地盤が隆起しながら北に動き、西側が沈降しつつ南にずれ、その相対変位は南北に2.5m程度、上下方向に約



図1 福井空襲による焼失範囲
国立公文書館 デジタルアーカイブより



図2 福井地震の家屋全壊率
地震調査研究推進本部日本の地震活動に加筆

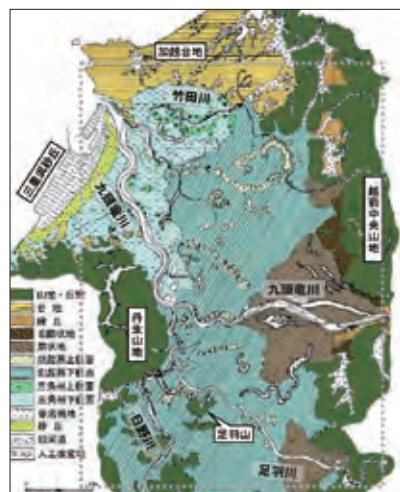


図3 福井平野周辺の地質・地形
吉川1996に加筆

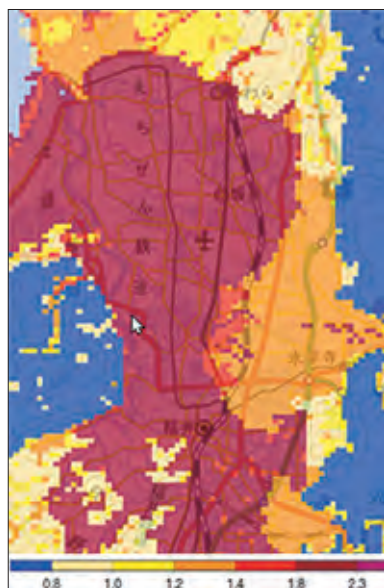


図4 福井平野周辺の地震動増幅率

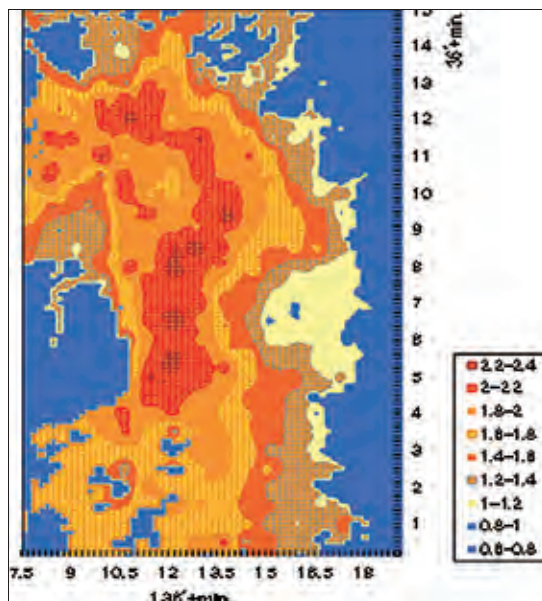


図5 常時微動に基づく地震動増幅率

1 m程度と推定されています。震源が平野直下にあったことから被害が大きくなったといえますが、図を見る限り、建物被害は断層からの距離だけで決まるものではないことに気付くと思います。図3は周辺の地形・地質分布であり、福井平野は岩石質である丹生山地、越前中央山地と、硬質な加越台地及び三里浜砂丘で囲まれた、九頭竜川水系が形成した沖積低地であることが分かります。平野は一般的に、河川の上流から下流に向かって、扇状地→氾濫原（後背湿地と自然堤防）→三角州という地形を作ります。扇状地は砂礫質土の比較的締まった地盤であるのに対し、氾濫原や三角州では、シルトや粘土という細粒土と緩い砂層が厚く堆積しており、支持力が小さく変形性も大きな軟弱地盤を呈しています。全壊率50%の等高線は、概ね沖積低地である福井平野の範囲と一致していることが確認できます。一方、そのすぐ外側の山地や台地・砂丘の範囲では、全壊率0%となっており、地盤条件が地震被害を左右することが理解できると思います。

平野の基盤から入射した地震波は、平野の堆積層を通る間に増幅され、地表面では振幅が大きく、周期も延びる傾向にあります。図4は、防災科学技術研究所による地震ハザードステーション(J-SHIS)が公開している、表層地盤による地震動の増幅率分布です。なお図4、5、6は、図3の黄色の点線で示した範囲を示しています。これは構造物を支えるに十分な工学的基盤(S波速度で400m/s)を基準としたときの、増幅率を示しています。岩石質の山地では0.8倍未満なのに対し、中央東寄りの砂礫質土が堆積する九頭竜川扇状地では1.2～1.4倍、氾濫原である平野の大部分では1.8倍以上となっています。このことは、同じ地震でも軟弱地盤である氾濫原では揺れが大きくなり、リスクが高いことを意味しています。

地震動の増幅率は、地震波速度の深度分布に依存します。一般的な平野では基盤岩の上に、第四紀の洪積層と1万年程度以降に堆積した沖積層が成層しています。福井平野の場合、新第三紀基盤岩のS波速度 $V_s=2,000\text{m/s}$ 程度、洪積層と沖積層の V_s と厚さは、それぞれ600m/s程度と最大250m、150m/s程度で最大50mです。正確な地震被害予測を行うためには、速度構造を適切に評価する必要がありますが、そのための調査法は高価で実施できる範囲が限られています。

一方、広範囲のS波速度構造を求める手段として、常時微動探査法が注目されています。常時微動とは風や波浪、ならびに交通振動などに起因する、人間では感知できない微弱な振動です。微動は地点ごとの地下構造を反映しているため、その分析を行うことによって、観測点周辺の地下構造を推定するこ

とができます。筆者らは、福井平野を網羅するように、250箇所以上の単点3成分観測と、80箇所程度でアレイ観測(多点同時観測)を実施しました。単点観測からは、水平動と鉛直動の周波数ごとの振幅スペクトル比であるH/Vスペクトルが求められ、観測点の固有周期や、増幅率の傾向を読み取ることができます。また、アレイ観測からは、周期(波長)ごとに異なる表面波の伝播速度を求めることができます。これらの条件を再現できるように、対象地点周辺の速度構造を推定することができます。図5は、微動観測に基づいて算定した地下構造から求めたVs30から推定した地震動増幅です。図4の増幅率は、地形という定性的区分に基づいているのに対し、図5の増幅率は地点ごとの観測値を反映しており、微地形区分に基づく結果よりは現実に近いはずです。地域の地震被害予測の精度と信頼性は、地下構造に大きく依存しますが、都市部の一部を除き、全国の地下構造評価は進展しておらず、継続的な改善が望まれます。

3 福井地震における液状化被害

図6の薄赤塗りの範囲と赤色三角形は福井地震における液状化発生地点を示しています。前者は航空写真から判読された噴砂(Sand Boil)の発生範囲、後者は文献に記された液状化被害地点の字(あざ)名の場所を示しています。同図より、液状化は九頭竜川とその支流である竹田川、兵庫川、日野川、足羽川の両側や図3に示した旧河道で多い傾向にあります。また、図3で示した九頭竜川や足羽川の扇状地のうち、堆積土の粒径が細くなり、地下水位が浅い傾向にある扇端付近でも認められます。また、福井市街では明治時代まで存在した福井城の外堀の埋立地で顕著な噴砂が確認されています。

液状化の発生条件は、1) 砂質土からなり、2) 緩く堆積し、3) 間隙が水で覆われた(地下水位以下)地盤が、震度5程度の地震で、繰り返しせん断を受けることです。液状化という現象が注目され、研究が進展したのは1964年の新潟地震(M=7.6)以降であり、福井地震当時は、液状化した地盤の調査や噴砂の採取などは行われていませんでした。2024年能登半島地震では、福井県でも図6に赤い星で示す地点で液状化が発生しました。図7は、福井県内の5箇所の液状化地点で採取された噴砂の粒度分布を示しています。同図より、噴砂は平均粒径 D_{50} が0.3mm程度で、非常に液状化しやすい粒度分布を持つ土質であることが確認できました。能登半島地震で液状化が発生した地点の震度は5弱程度と思われますが、福井地震では震度6強から7の揺れに見舞われたはずであり、図にオレンジ線で示すように、シルトやレキが混入する砂質土が堆積した場所であっても液状化したことが推察されます。

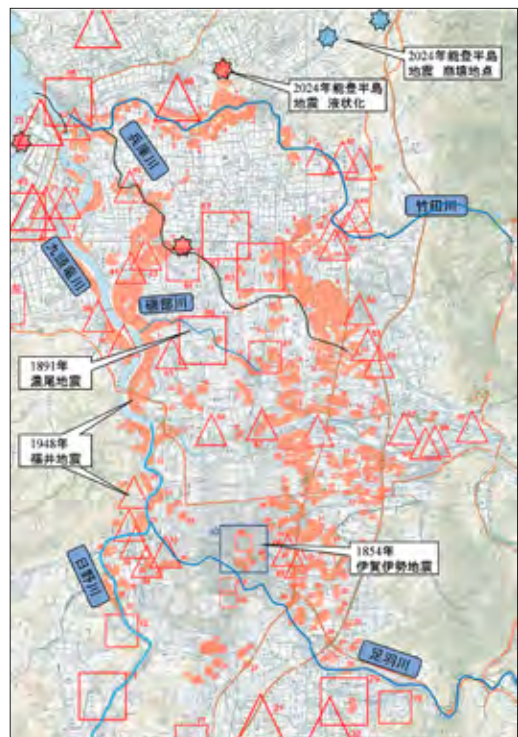


図6 液状化発生地点分布
若松に加筆

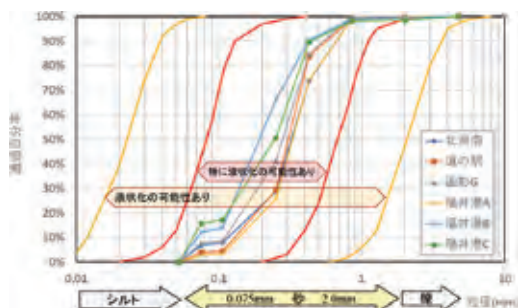


図7 噴砂の粒度分布曲線

4 九頭竜川堤防の被害と福井水害

図8は福井地震による九頭竜川堤防の被害分布を示しています。図中のNo.0より下流の堤防全体にわたり、平均的には天端が1.5m程度沈下し、最大では4.5mもの沈下が認められました。航空写真からの判読では、堤防天端には縦断方向に連続した亀裂が走り、側方流動により法尻が両側にはらみ出す被害が至るところで認められました（図9の下の写真参照）。地震により、図中に示す布施田橋、高屋橋、中角橋ならびに国鉄の鉄橋などの主要橋は、橋脚が倒壊・沈下し橋桁は落下するという甚大な被害を受けました。これらの被害橋梁の位置は、図4に示す液状化発生地点と対応していること、土木学会の調査報告にある、「下部構造の沈下や傾斜が著しい反面、上部構造の被害が軽微である」という指摘は、橋梁被害の要因は液状化であることを示唆していると解釈できます。

図8の右上のグラフは、九頭竜川河口の右岸のNo.235からNo.0地点までの、流路に沿った距離と、堤防天端の標高（実線）と、地震後の標高（赤のプロット）の関係を示しています。地震によって全体的に堤防の高さが低下していますが、特に9kmや15km地点周辺では5m近い沈下が認められ、堤防が本来の性能を発揮できないことが明らかです。

地震の約4週間後の7月23日から25日にかけて、九頭竜川の中流及び足羽川の上流域で、累積雨量が300mmを超える降雨がありました。25日の夕方には、九頭竜川と足羽川の数カ所で堤防が決壊しました。図9は、左岸のNo.75から90付近の洪水後の航空写真です。また、同図の下の写真は、実線で囲んだ範囲の堤防の、地震直後の航空写真です。この洪水により、浸水深2.4m、浸水面積1,900ha、浸水家屋約7,000戸、被災人口2万8,000人という災害が発生しました。堤防付近の洪水の痕跡から読み取られた最高水位は、堤防の計画水位を下回っており、福井地震による堤防の損壊が無かったなら、この水害は発生しなかった可能性が高いと考えられます。

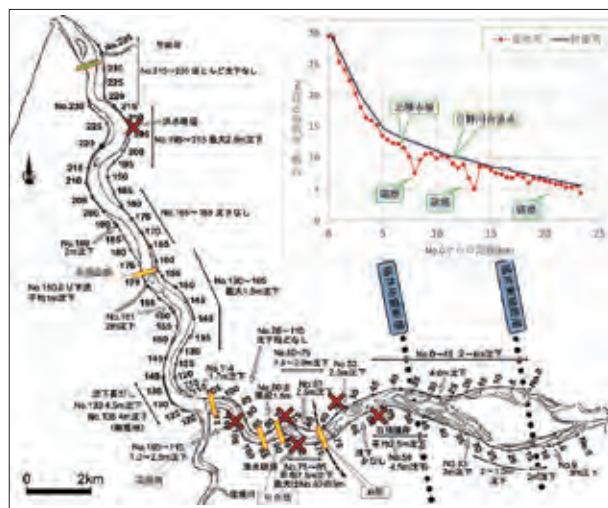


図8 九頭竜川の堤防被害分布と橋梁被害及び破堤箇所
中央防災会議に加筆

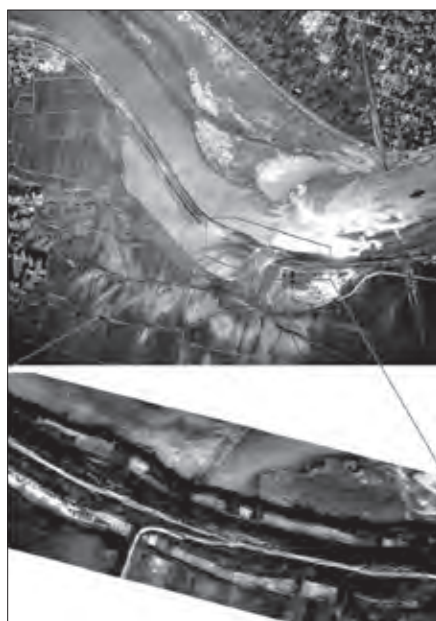


図9 九頭竜川国鉄鉄橋付近の降雨空写真
国土地理院提供(上：USA-M195-F41-1-100
7/28撮影)(下：USA-R68-1-98 6/29撮影)

参考文献

- 1) 中央防災会議、1948年福井地震報告書、2011.
- 2) 若松加寿江、日本の液状化履歴マップ、2011.
- 3) 吉川博輔、福井地震被害と地形環境、自然と社会、No.62、pp.34-41、1996.
- 4) 学術研究会議・土木学会北陸震災調査団、北陸震災調査概報（土木施設の被害）、1948.