

—福井県の地盤の成り立ち—

廣部 浩三*

*HIROBE Hiromi、アキュテック(株) 技術部 石川県金沢市玉鉾 4-73

1. はじめに

福井県は、本州日本海側のほぼ中央に位置し、北は石川県に、南東は岐阜県、南西は滋賀県・京都府に連なり、北西は日本海に面している。東西約70km、南北約130kmに及び、総面積は約4,189km²で、延長約410kmにもおよぶ長い海岸線が走っている。

南西の海岸線は、典型的なリアス式海岸をなし、それに伴う豪壮な海食段がいが各所に見られる。そのほか、敦賀湾東岸の若い断層海岸、干飯崎以北の隆起性の岩石海岸、三里浜砂丘、東尋坊の安山岩柱状節理海岸、北瀨砂丘など多彩に変化し、県下のほぼ全部の海岸が若狭湾国定公園、越前加賀国定公園の指定を受けている。

人々が住むことができる可住地は、海沿いに開けた平野や山に囲まれた盆地など限られた場所にしかない。そのうち、福井県北部の日本海に面した福井平野は福井県土の4%にも満たない面積であるが、県民の約半数が平野とその周辺に生活しており、今回はその地形、地盤の成り立ちについて紹介する。

2. 福井の地形概要

福井県は、県中央部にある木の芽峠（標高628m）および中山峠（389m）の約10kmにわたる山嶺を境として嶺北地方と嶺南地方に分かれる（図-1）。

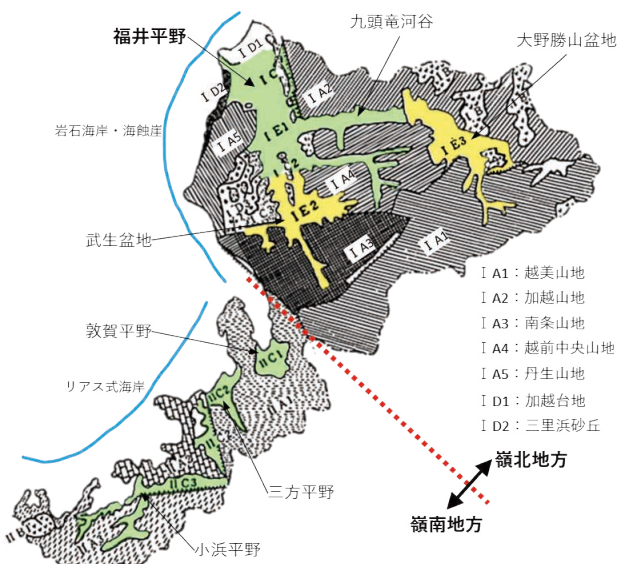


図-1 福井県の地形区分¹⁾

嶺北地方は、岐阜県境方面の越美山地、石川県境の両白山地とそれに続く加越山地、南に南条山地、中央に越前中央山地、西部に丹生山地の各山地が配列している。このうち両白山地の岐阜・石川県境付近が最も標高が高く2000m程度となっている。加越山地と中央山地北部の西側が断層で落ちて福井平野を形成し、その南には武生盆地が続く。また、越美、両白、加越山地の間に大野・勝山盆地があり、福井平野とは九頭竜河谷でつながっている。福井平野の北部には、加越台地が30~40mの高さで石川県南部に続き、北西側には三里浜砂丘があって、日本海に向かって平野の下手をふさいでいる。

3. 福井平野

3.1 福井平野

日本ではふつう、海に接した沖積平野を平野、山に囲まれた沖積平野は盆地と呼ばれるが、そうした意味では福井平野は盆地的な性格を持った沖積平野である。福井平野は断層活動によって形作られた構造盆地に、東側から流れ込む九頭竜川や足羽川、南側から流れ込む日野川によってもたらされた土砂による埋積作用によって形成された沖積低地であり、その埋積は現在も継続している。盆地周辺地域には主に中新世の堆積岩や火山岩が分布し、福井平野下には未固結の第四系堆積物が100mを超える厚さで分布している。

図-2によれば、福井平野の地形は大きく三角州、氾濫原、扇状地に分けられ、九頭竜川河口からその南西沿岸部には砂州と、砂州の上に成長した砂丘（もしくは浜堤列）からなる三里浜砂丘が分布する。三角州から氾濫原にかけては非常に低平であり、九頭竜川河口から上流に向かってごく緩やかに高度が増し、平野東部付近で九頭竜川扇状地に漸移する。足羽川や竹田川が東側の山地から平野に出た所にも扇状地が形成されているが、加賀平野（石川県）の手取扇状地や富山平野（富山県）の諸河川の扇状地に比べると、いずれも著しく小規模で發育不良な点がこの平野の特徴になっている。また、かつての河口流路や自然堤防が至る所に残されており、竹田川の自然堤防と加越台地との間の芦原周辺、あるいは九頭竜川と三里浜砂丘とに囲まれた米納津周辺は現在でも非常に低湿な状態を示している。

3.2 古九頭竜湾

福井平野北西部の沖積層は、下部砂泥層、中部泥層（海成層）、上部砂層（汽水成層）、最上部泥層（陸水成層）に細分できる。中部泥層は、縄文海進期に福井平野部の広い範囲に浅い湾（古九頭竜湾）が広がっていた時期の堆積物である（図-3）。この地層からは、いろいろな海生の貝類化石が産出されている。また、加越台地の南の平野側には、縄文時代中期の貝塚が点在する。中部泥層の深度分布からすると、古九頭竜湾は足羽山付近やその南側まで及んでいたと考えられる。古九頭竜湾は、その後の海面の低下、湾口部での砂州・砂丘の形成および九頭竜川をはじめとする河川による埋積に伴って縮小していったが、古墳時代には福井平野の北西部にはまだ大きな湖沼が残されていたと推定されている。

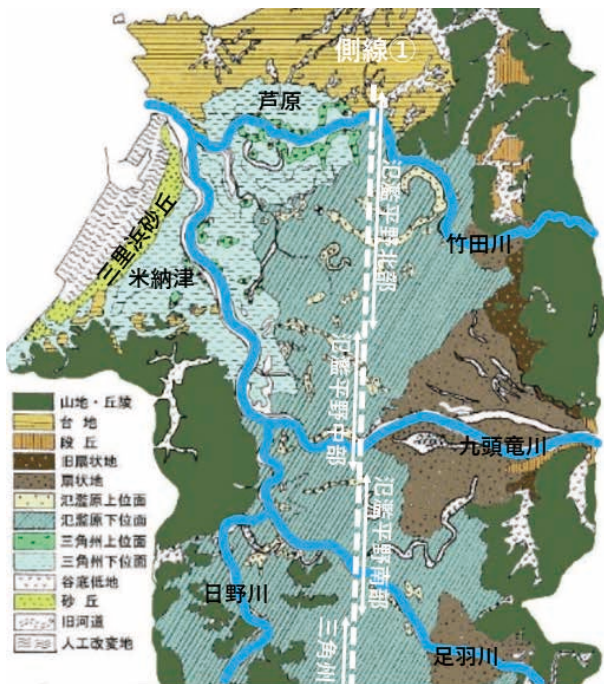


図-2 福井平野表層部の地形分類²⁾

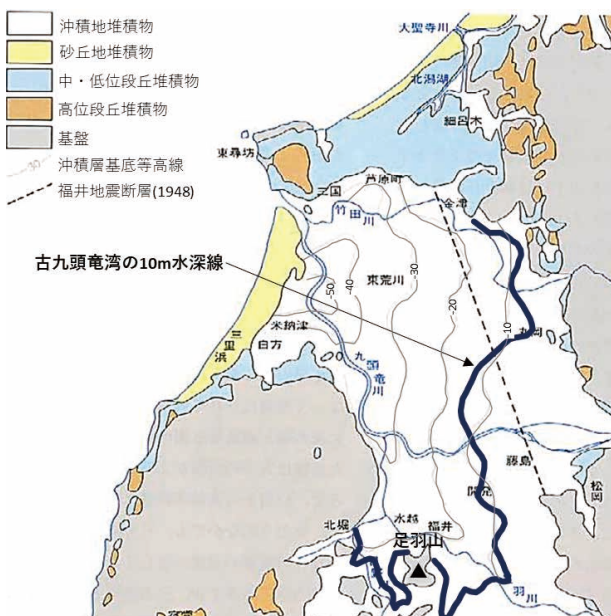


図-3 福井平野地質図³⁾

1948年の福井地震は、地震の震源が極めて浅く、しかも古九頭竜湾を埋積した表層浅部の未固結堆積物の真下で発生した直下型地震であった。そのため、地表は激甚な揺れに見舞われ、広い範囲で家屋倒壊率が60%を超える被害が発生し、翌年に気象庁震度階級表に震度7（激震）が導入されるきっかけとなった。また、図-4に示すように河川沿い（青線）や旧河道（赤線）の至る所で液状化現象が発生し、地震被害拡大の原因の一つとなっており、地震1ヶ月後の大雨による九頭竜川の堤防決壊も液状化による堤体沈下が一因と言われている。

3.3 三里浜砂丘

かつて、福井平野は海が侵入してほぼ全域が湾域となっていたが、東側、南側、北側と西側の一部を山地・丘陵地に囲まれ、さらに海に接した西側の一部は発達した砂丘に挟まれるようにして湾は潟となり、それが次第に埋積されて低平で多湿な潟埋積平野が生まれた。

このように、潟埋積平野が形成されるうえで、砂丘とは密接な関係をもっており、とくに福井平野では三里浜砂丘の発達が深く関係している。縄文海進の最盛期が過ぎると、海面は次第に下がりはじめ、平野部では中部泥層の上に上部砂層が堆積する。この砂層は、主として粗粒砂からなり平野北部に広く分布するが、海岸部では旧砂丘の砂層をつくっている。そして、この旧砂丘の上には新砂丘が重なり三里浜砂丘を形成した。旧砂丘堆積物と新砂丘堆積物との境には、日本海側のこの時期に形成された他の砂丘と同様に層厚30~50cmの腐植質の黒色砂層（クロスナ層）が挟まれる。

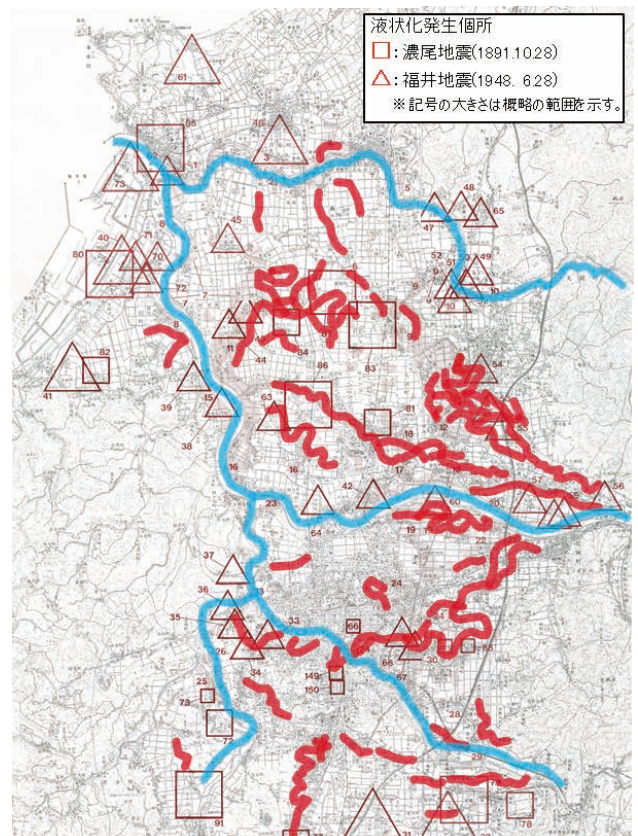


図-4 福井平野部の液状化・噴砂の履歴図⁴⁾

4. 完新統（沖積層）の土質性状

4.1 地盤構成

図-2の測線①における地盤推定断面図を図-5に示す。基盤に達するボーリングデータは少ないが、周囲のデータより推定すると第四紀の全層厚は約100～150mであり、そのうち沖積層の層厚は約15～25mである。沖積層と洪積層の地層境界を見ると、九頭竜川周辺では凸型形状になり、その北側（加越台地山脚～九頭竜川間）、南側（九頭竜川～文殊山裾部間）では凹型の形状を示している。九頭竜川周辺の凸型形状は洪積世に九頭竜川により運ばれてきた大量の土砂が堆積し、扇状地を形成したためと推測されるものの、断層運動による基盤の変形に伴うずれや撓曲構造の可能性も考えられる。加越台地山脚から竹田川周辺の沖積層および洪積層に分布する擾乱帯に似た地層の乱れも同様に構造運動に伴う可能性がある。

測線沿いで概ね15m～25mの厚さで分布する沖積層は、最終氷期以降において海面上昇に伴い福井平野に広く浅い海域（古九頭竜湾）が侵入し、その後の河川がもたらした土砂により埋積され、沖積低地（潟埋積平野）を形成した一連の過程で形成された地層である。主に粘性土・砂質土・礫質土から構成されている。加越台地山脚付近～足羽川左岸付近は、砂質土・粘性土および礫質土層が互層状に分布するが、足羽川以南では粘性土主体となり、薄く砂質土を挟むようになる。竹田川、兵庫川、九頭竜川および足羽川沿いには、表層部に河道変遷に伴い取り残された微低地（旧河道）および微高地（自然堤防）が多数分布している。また、入り込んでいた谷部には軟弱地盤が堆積しておぼれ谷となっている。

4.2 物理特性

沖積粘性土と沖積有機質土の物理特性を図-6に示す。まず粘性土であるが、湿潤密度は、概ね $\rho_t=1.6\sim 1.9\text{g/cm}^3$ の範囲にあり（最小値： 1.337g/cm^3 、最大値： 2.008g/cm^3 ）、深度が増すとわずかに大きくなる傾向が認められる。一方、間隙比 e は、深度が増すと小さくなる傾向がある。粘性土層を構成する土粒子密度が深度によらず同じで、かつ飽和状態にあると仮定すると、この傾向は深いほど密実であることを意味し、湿潤密度の深度方向変

化と整合する。液性指数 I_L は0～1の範囲に入るものが大半を占めるが、1を超えるものも多く存在する。 I_L が1を超えるということは、自然含水比 w_n が液性限界 w_L を超えていることを意味し、軟弱な状態で堆積していることを示唆する。粘性土の場合は、深度が増すと I_L がわずかに小さくなる傾向があるように見える。自然含水比は、 $w_n=20\sim 60\%$ の範囲に入るものが大半であるが、それ以上になるものもいくつか認められる。深度との相関性は特に認められない。

次に有機質土であるが、湿潤密度は、粘性土より全体的に小さく、概ね $\rho_t=1.0\sim 1.5\text{g/cm}^3$ の範囲に入る。有機質土特有の性質でもあるが、間隙比は大きく（深度15m付近の1点を除いて $e=2.7\sim 5.6$ ）、他の土質と比べて自然含水比も高くなる傾向があり、ほとんどが $w_n=100\%$ 以上の値を取る（最大で251%）。液性指数 I_L の取り得る範囲は、粘性土と大きく変わらない。

4.3 力学特性

沖積粘性土と沖積有機質土の力学特性を図-7に示す。粘性土のN値は、プロットが重なり判別が難しくほとんどが0～10の間に分布する。10m以深ではそれ以上の試料もいくつか存在するが、深くなるとばらつきが大きくなり、大きなN値（最大値20）を示すものが現れる。一軸圧縮強度は、 $q_u=0\sim 180\text{kN/m}^2$ の範囲に満遍なくばらついており深度との相関性は見られない。深くなると間隙比が減少する傾向にあるにもかかわらず、強度に対する相関は見られないようである。強度増加率で強度を推定するには注意が必要である。圧密降伏応力 p_c は、ばらつくものの深度が大きくなるにつれて大きくなる傾向が認められる。深くなると有効土被り圧が増大することから自然な結果と言え、 q_u に明確な深さ依存性が見られなかったことと対照的である。圧縮指数 C_c は、多くが0.2～0.8の範囲に分布するが、深度に対する相関性は特に認められない。

有機質土のN値は、ほとんどが0か1の小さい値を取る（最大で3）。また、一軸圧縮強度 q_u には、沖積粘性土と対照的に深さ依存性が認められ、深くなるにつれて q_u が大きくなる傾向が認められる。圧密降伏応力 p_c は、深さに増すにつれて大きく傾向があるが、沖積粘性土の下限値と一致するか、それよりもやや小さい値を取る。圧縮

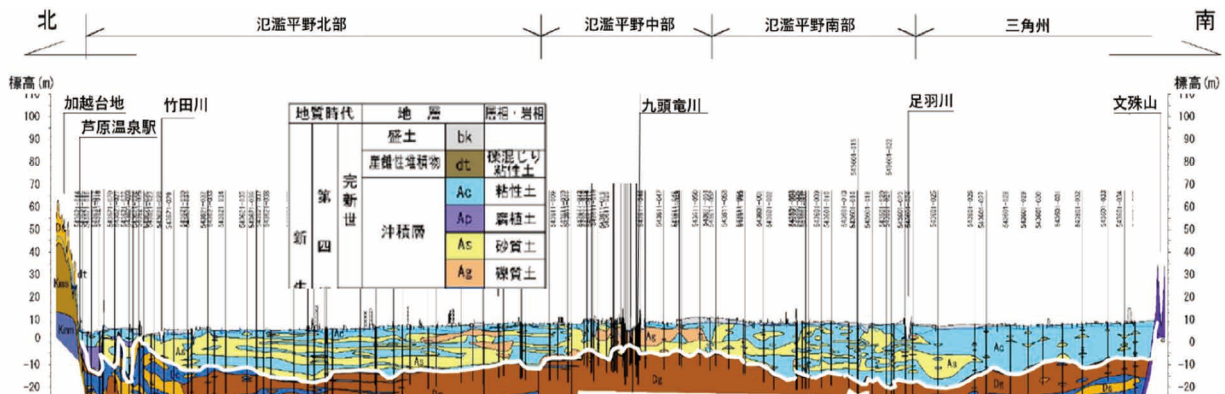


図-5 側線①の地盤推定断面図⁵⁾

指数 C_c については、ほとんどが1以上の値を示し（最大で $C_c=2.18$ ）高い圧縮性を示す。

4.4 近年の住宅事情

前述したように、福井平野には県民の約半数の人々が暮らしているが、福井平野の成り立ちや土質性状を鑑みると、住宅地盤において良好な地盤であるとは言い難い。そのため砂丘地や自然堤防、扇状地以外の軟弱な沖積層が厚く堆積するエリアでは杭状地盤補強（複合地盤補強を含む）が多く施されている。圧密沈下については、図-7の圧密降伏応力 P_c の傾向からある程度の深度まで補強を行うことにより対応できると考えられる。また、近年では足羽川以南を中心に揚水規制が進められ、広域沈下は2~7mm/年と安定してきたが、冷暖房や融雪用の井戸が多く

少しずつ沈下が進んでいる。住宅建設においては、地盤対策として杭状地盤補強を行った割合が高い影響もあり修復を伴う沈下事故は少ないようにみえる。

住宅の新築着工数はこの先減少傾向を示すと言われているが、現段階ではまだ増加傾向である。福井平野においても近年、都市の拡大に伴い住宅地や工場用地の開発が行われ、旧河道に住宅や工場が建設されるケースも見られるようになってきた。この傾向は非常に危険であり、福井地震では液状化被害が旧河道域の広範囲で確認され、兵庫県南部地震でも特にひどい住宅被害の分布は旧河道位置と一致していた。また、死亡者の発生地点が旧河道域に集中する傾向も明瞭に読み取ることができ、死亡者の半数以上が旧河道上に居住していたとの報告もある。被災状況はその土地の地形環境により大きく変わってくる。たしかに現在では地盤改良技術や耐震工法が進み、建物の耐震性能は以前に比べればかなり上がったと思われる。しかし、旧河道は軟弱・低湿であり、地震時には周囲に比べより強い揺れに見舞われ、水害時にはより大きな被害を受ける可能性がある。

このような軟弱地盤で建設工事を行う際には、地上や地中の構造物が支持力不足や圧密現象によって沈下・変形するリスクをなくすために、事前の地盤評価に細心の注意を払う必要があるとともに、地盤補強についても耐震性を備えた考え方が必要である。

5. おわりに

近い将来の発生が危惧されている南海トラフ地震では、福井平野の表層地盤増幅率の大きい地点において震度5強の揺れが予想されている。2011年東北地方太平洋沖地震で震度5強を記録した浦安市で甚大な液状化被害が発生したことを考慮すると、震源から遠く離れた福井平野でも液状化被害が生じる可能性は低くない。したがって、耐震性の高い社会資本整備をするうえで地盤災害の評価はとても重要である。

近年、自然災害から人々や資産を守るため、災害の危険箇所を示したハザードマップが各地で作成されている。自然災害による被害をより少なくするためには、正確なハザードマップの作成が必要であるが、それ以上に、その土地の成り立ちを理解し、地盤性状を把握した上での土地の利用を考えていく必要があると思われる。

6. 参考文献

- 1) 福井県：福井県自然環境保全基礎調査報告書,1987
- 2) Terzaghi,K.andPeck,R.B.：Soil Mechanics in Engineering Practice,John Wiley and Sons,1948
- 3) 株式会社クボタ：アーバンクボタ No.31,1992
- 4) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図
- 5) 福井地盤図作成実行委員会：福井の地盤－福井平野－

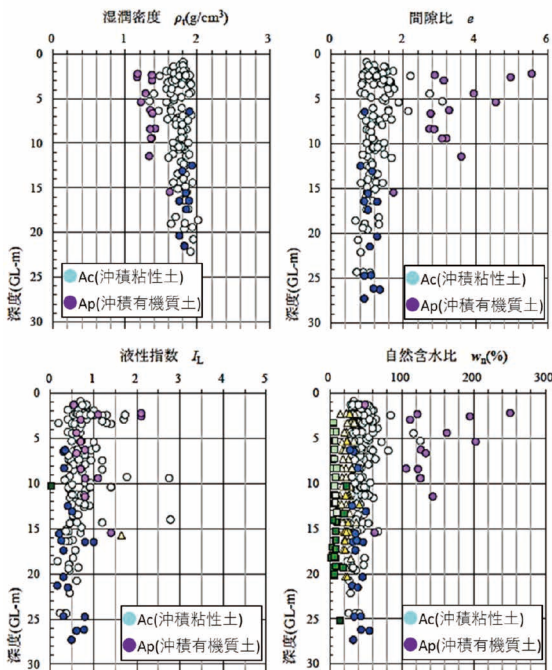


図-6 物理特性の深度分布⁵⁾

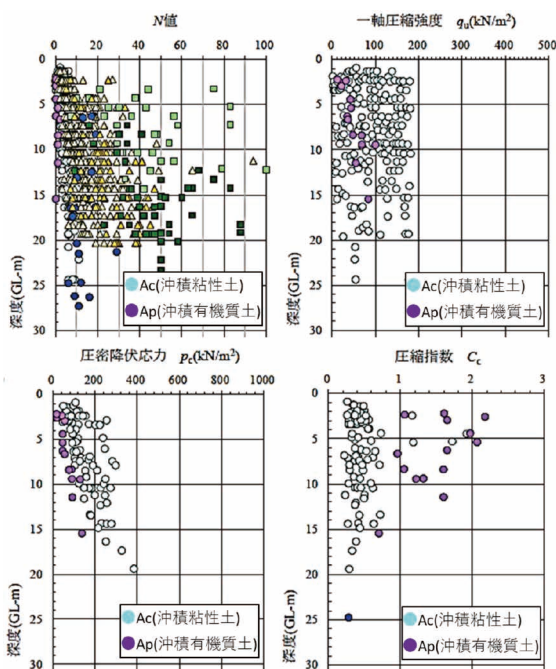


図-7 力学特性の深度分布⁵⁾