

各種工場等の災害と地盤の関係

那須 誠

フェロー会員 博士(工学) 前・前橋工科大学教授 (〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢2-34-8)

日本では地震や火災等による災害が多く発生している。前回の本シンポジウムで新潟や苫小牧等の石油タンク、仙台市のガスタンク、秋田火力発電所、猪名川浄水場、リケン柏崎等の工場等の地震被害発生に、地盤が大きく影響していたことを発表している。今回は、自治体消防制度60周年記念“消防のあゆみ”(2008.3.7発行)に掲載されているものの中から、三菱石油水島製油所、鹿島石油(株)鹿島製油所、パチンコ店ダイエー、三重ごみ固化燃料(RDF)発電所、ブリヂストン栃木工場、柏崎刈羽原子力発電所等の災害を取り上げて、災害調査報告書や地形図、地質図、土地条件図等を元に調べたところ、地盤条件の変化点での災害が多く、地盤の(鉛直、水平方向の)不同変位等の影響が推定されたので、その結果を報告する。

キーワード: 各種工場等, 災害, 火災, 爆発, 地盤, 不連続点, 不同変位

1. まえがき

日本では昔から地震や火災などといった災害が頻繁に発生している・災害は種々の要因により発生するが、その中でも地盤による影響は大きいと考えられる。今回、過去の災害の中から地盤に関係して発生したと思われる災害をいくつか取り上げて、主として地盤に観点をおいて調査し、実際に災害の原因が地盤に関係したかどうか考察する。

2. 調査対象災害

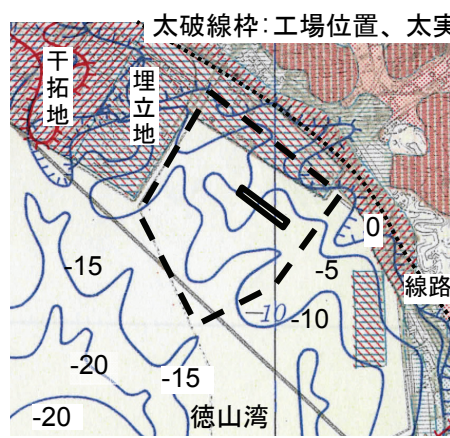
今回調査対象とした災害事例は、日本消防協会発行の「自治体消防制度60周年記念“消防のあゆみ”」¹⁾に掲載されている、1948年から2007年までに起こった災害の中から取り上げた12個である。表-1にその災害事例を示す。以下に調査結果を詳述する。

表-1 各種災害の調査結果一覧表

No.	災害箇所 ¹⁾	発生年月日 ¹⁾	災害状況 ¹⁾	地盤状態
1	昭和石油新潟製油所(1964年新潟地震)	1964.6.16	タンク火災	砂丘堆積物と砂丘間低地堆積物の境界部
2	出光石油化学(株)徳山工場	1973.7.7	工場火災	埋立地(未固結堆積物・砂層)で地盤状態複雑(異種支持地盤状態)
3	三菱石油(株)水島製油所	1974.12.18	重油流出事故	砂洲(砂礫質地盤)と水路(粘土質地盤)の境界部
4	大協石油(株)四日市製油所	1975.2.16	タンク火災	埋立地
5	鹿島石油(株)鹿島製油所	1982.3.31	プラント爆発火災	地層境界付近で土層傾斜部
6	パチンコ店ダイエー(1994年三陸はるか沖地震)	1994.12.28	建物倒壊	八戸礫層と砂・シルト・泥の地層の境界部
7	日進化工(株)群馬工場	2000.6.10	工場爆発火災	旧河道沿いの自然堤防
8	三重ごみ固化燃料(RDF)発電所	2003.8.14	火災・爆発	丘陵と人口改変地の境界部
9	エクソンモービル名古屋油槽所	2003.8.29	タンク火災	埋立地
10	ブリヂストン栃木工場	2003.9.8	工場火災	広葉樹林帯と旧道路等の境界部
11	出光興産北海道製油所(苫小牧市)(2003年十勝沖地震)	2003.9.28	タンク火災	砂丘堆積物と砂丘間低地堆積物の境界部
12	柏崎刈羽原子力発電所(2007年新潟県中越沖地震)	2007.7.16	火災, 陥没等	新期砂丘堆積層(荒浜砂層)と古期砂丘堆積物(雪成砂層)の境界部



図-1 工場付近の新地形図
(原図⁴⁾に加筆)



数字は上部粘土層下限の地下等深線の分布限界(m)

図-2 工場付近の微地形区分図
(原図⁵⁾に工場位置を加筆)

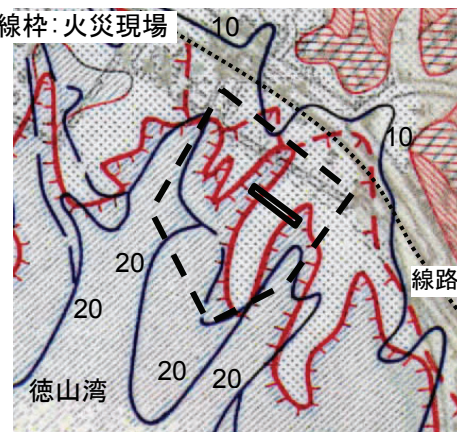


図-3 工場付近の地盤型区分図(原図⁵⁾に工場位置を加筆)

3. 災害事例と地盤の関係

(1) 昭和石油新潟製油所タンク火災

1964年新潟地震(M=7.5)のとき昭和石油新潟製油所で石油タンク火災を起こしたタンクは、被覆砂丘(Sd)と砂丘間低地及び低湿地(Id)の境界部に存在しており、タンク等の地盤が一様でなかったために災害が発生したことが推定される(前回の当土木建設技術発表会で発表済み)²⁾。

(2) 出光石油化学(株)徳山工場火災

出光石油徳山工場(図-1)の第二エチレンプラント装置アセチレン水添部で爆発、火災が起こった³⁾。工場は海岸埋立地に建設されている。ここで図-2をみると、粘土層底面が尾根状になっているところに火災が発生した工場があり、しかもその尾根の片側の斜面部に寄ってつくられており、また図-3をみると、同工場は異種支持地盤状態でつくられていることが分かる。このように工場が旧海底の複雑な地盤状態のところに立地して、支持地盤が一様でなかったことが火災発生の一要因になったと推察される。

(3) 三菱石油(株)水島製油所重油流出事故

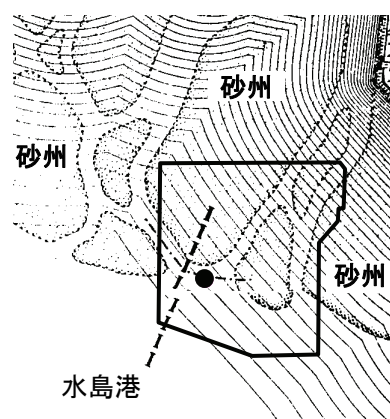
三菱石油(株)水島製油所の重油貯蔵タンク T-270 (容量 50,000kl) に

亀裂が発生し、タンク底部付近から重油が噴出した^{6),7)}。このタンクは1974年3月8日に油入れを開始してから1年にも満たない新しいタンクであった。

この製油所は海岸埋立地の軟弱地盤に建設されたためサンドドレーン工法とプレロード工法で地盤改良工事が行われた。水島製油所は海岸埋立地にあり、新旧地形図(図-4(a), (b))を比較すると、破損した



(a) 新地形図⁸⁾



(b) 旧地形図⁹⁾

図-4 災害現場の地形図(原図^{8), 9)}に加筆)

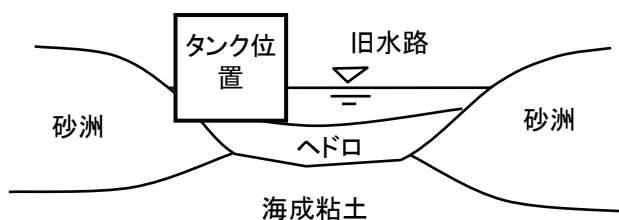


図-5 災害現場の地盤断面の推定図

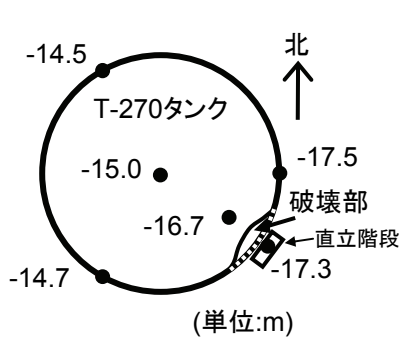


図-6 N値30の出現深さの分布¹⁰⁾

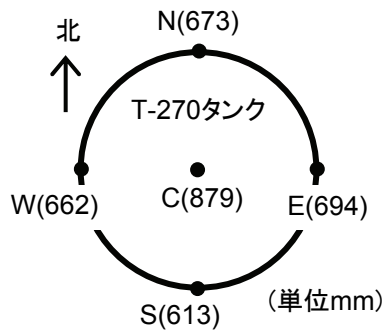


図-7 プレロードによる沈下測定結果⁶⁾

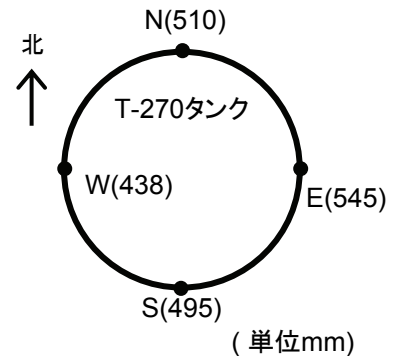


図-8 水張による沈下測定結果⁶⁾

タンクは砂洲(砂質地盤)と水路跡(粘土質地盤)の境界部に位置しており、図-5 のような地盤状態になっていたことが考えられる。従って、タンクの破損原因が直立階段の設置による基礎の支持力低下と局部沈下だと考えられているが、基礎の支持力低下と局部沈下は主として軟弱粘土地盤の部分で相対的に大きな沈下が発生して不同沈下が起きたため発生したことが推察される。

それは文献 6)、10) より作成した図-6～8 に示す T-270 タンク基礎地盤の標準貫入試験による N 値 30 の出現深さの分布と、プレロード(高さ 4.5m の盛土 (1.6t/m³) を 40 日間放置)による地盤沈下測定結果、水張試験(88 日間で水位を 0 から 19m まで段階的に上昇)によるタンク側壁沈下測定結果からも推定される。即ち、それらの図によるとタンクの東側で N 値 30 の出現深さが深く(その上に洪積粘土層あり)、プレロード試験と水張試験の両方でタンクの東側の沈下量(N 値 10 以下の土層厚さに対応して発生)が大きく、N 値 30 の出現深さ(G.L.からの深さ)と沈下測定結果が対応しており、この地盤は元々様でなく不同沈下が発生しやすい地盤であったことが分かる。

あるいは、文献 33)に示すように地層境界部は陥没が発生しやすいところであり、この階段付近も類似の地盤状態にあって、重油流出事故前から後述の(12)の場合と同様に地盤内の間隙が大きくなっていったこと等の影響も推察される。

(4)大協石油(株)四日市製油所タンク火災

四日市市の大協石油(株)四日市製油所の容量 22,000ℓ のコーンルーフ灯油タンクから出火した。そのタンクは常圧蒸留装置で製造された灯油分を貯蔵し、水添脱硫装置に送るためのものであった¹¹⁾。

図-9 をみると製油所は軟弱な埋立地に立地し、

火災の起きたタンクはほぼ製油所の中心に位置しており、他に地質図が見当たらず、この図からだけでは地盤の不均質性を読み取ることはできない。

(5)鹿島石油(株)鹿島製油所プラント爆発火災

鹿島コンビナート内の鹿島石油(株)鹿島製油所で爆発事故があり、流出重油が約 3 時間にわたって燃え続けた。原因は脱硫装置の安全弁に異常があったか操作ミスといわれている¹³⁾。

鹿島製油所周辺は泥層を基盤として、表層に未固結堆積物である、礫・砂・シルト・粘土が分布している。製油所は人工改変地に立地しており、周辺の地形は砂丘や後背湿地・離水した湾口砂洲となっている(図-10¹⁴⁾)。また、火災位置は離水した湾口砂洲の西側境界部の延長線上にあり、地盤境界部に立地していることが考えられる。

文献 14)をみると製油所は砂洲性低台地間の谷底

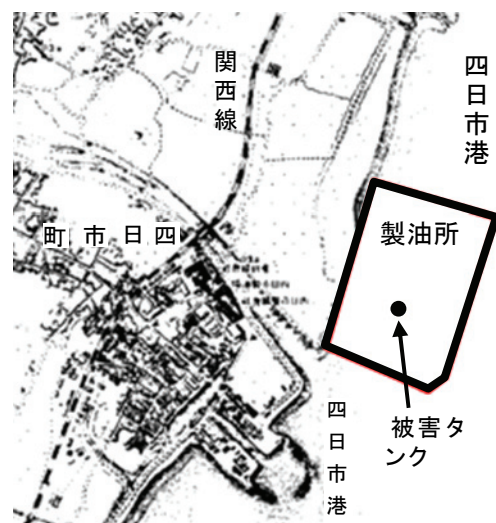
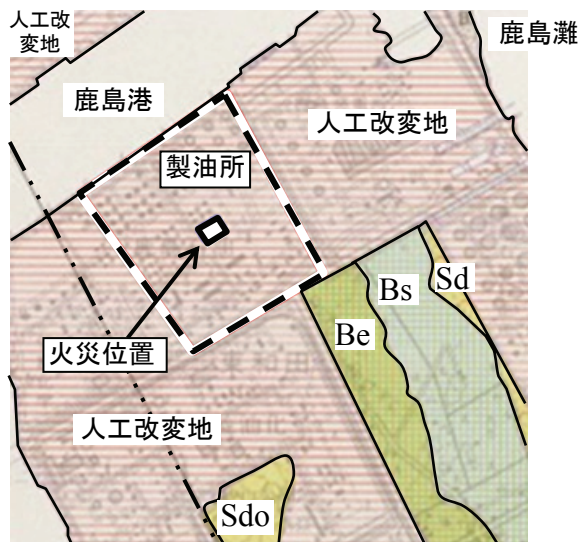


図-9 製油所周辺の旧地形図(1991 年作成図¹²⁾に加筆)



Sdo : 古期砂丘. Bs : 砂丘砂におおわれた後背湿地. Sd : 砂丘. Be : 離水した湾口砂洲

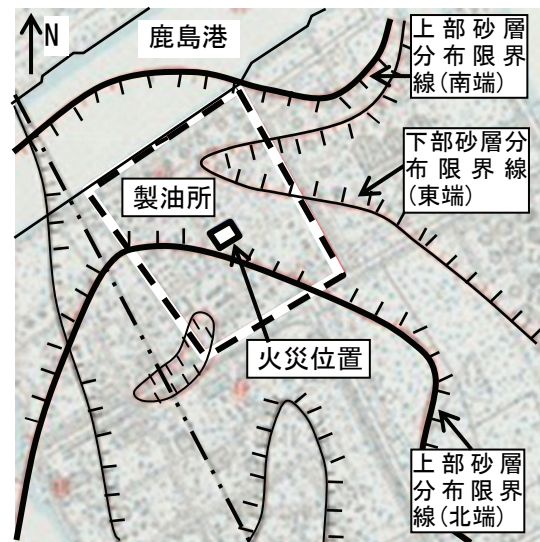
図-10 製油所周辺の地形分類図(原図¹⁴⁾に加筆)

低地に存在していることが分かり、図-11 をみると火災発生工場は地層分布限界線(上部砂層分布)付近でその北側にあることが分かる。図-12(原図¹⁴⁾に加筆)は図-10～11 の左側に示す2点鎖線に沿う地質断面図であり、製油所の真下ではないが、図-10～11 と文献 15)等から製油所付近の地質断面図を表していると考えられる。この図より、火災発生工場は上部砂層・泥層(U)の北側分布限界線付近でその外側(北側)に存在し、最上部砂・泥層(Um)底面とその下にある下部砂・泥層(L)底面の傾斜部に存在していることが分かる。従って、ここの事故原因の1つとして地質境界部で土層に傾斜が存在したことが考えられる。

(6) パチンコ店ダイエー崩壊

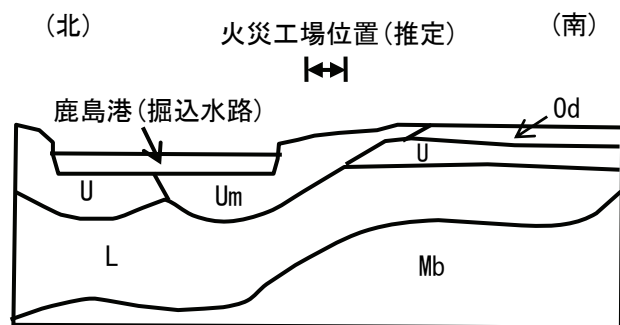
1994 年三陸はるか沖地震(M=7.5)で、八戸市にある地上4階・地下1階建てのパチンコ店ダイエーでは一階の柱が破損して、内部の鉄筋が折れ曲がり、2階床が崩れ落ち、1階部分が押し潰されるような大きい災害が発生した¹⁶⁾。この付近は表層が八戸ロームで覆われているが¹⁷⁾、図-13(地形図¹⁸⁾と地形分類図¹⁹⁾の集成図)に示すように砂・シルト・泥で構成されるGtⅡ面と、八戸礫層で構成されているGtⅢ面の2種類の砂礫台地から成り立っており、災害のあったパチンコ店はGtⅡ面とGtⅢ面の境界部に位置しており、異種支持地盤状態になっていることが推定される。

図-14 はパチンコ店付近の都市計画図²⁰⁾であり、図-15 は同図中の実線 a-d、破線 e-g 沿いの道路上の標高分布である。これによると、この店付近(c点付近)は地表面勾配の急変点しかも遷急点付近に



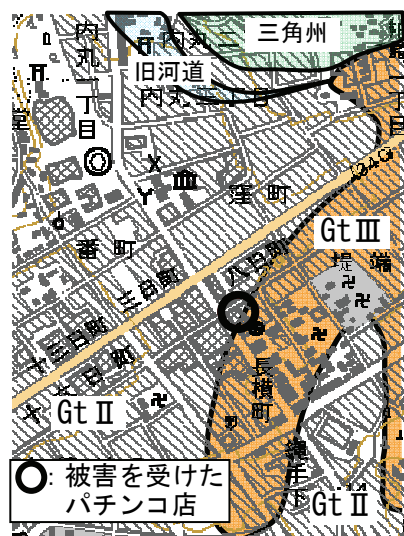
未固結堆積物：礫・砂・シルト・粘土

図-11 製油所周辺の表層地質図(原図¹⁴⁾に加筆)



Od : 旧期砂丘砂層. Um : 最上部砂・泥層. U : 上部砂・泥層. L : 下部砂・泥層. Mb : 石崎層

図-12 図-10～11 の2点鎖線部の地質断面図(原図¹⁴⁾に加筆)



(砂礫台地 GtⅡ, GtⅢ)
GtⅡ: 砂・シルト・泥
GtⅢ: 八戸礫層

図-13 被害建物付近の地形図¹⁸⁾と地形分類図¹⁹⁾の集成図



図-14 都市計画図(原図²⁰⁾に加筆)

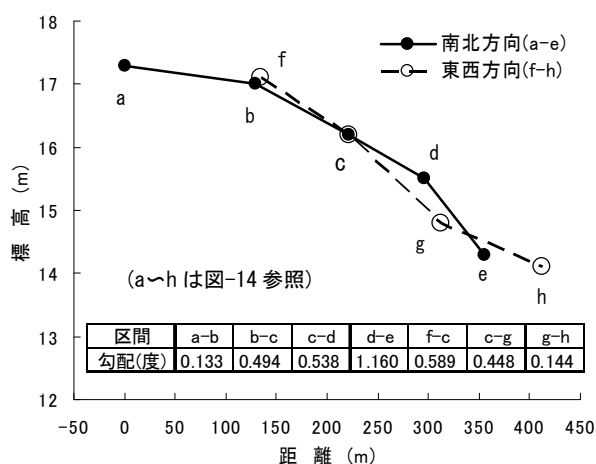


図-15 地盤表面の傾斜(図-14 より作成)

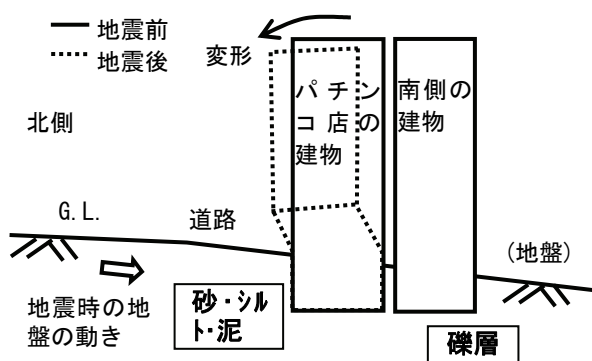


図-16 建物の被害機構の推定図

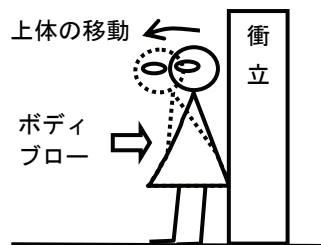


図-17 ボディブロー模式図

当たることが分かる。従って、この店は図-16 で示すように北側からの地震時の地盤の動きが建物の地下部分や杭などを強く押したため、建物基礎が大きい偏土圧を受けて 2 階部分が崩れ落ち(例えて言えば、ダルマ落としのような現象が生じて)、1 階部分が押しつぶされる形になったことが推察される。

さらに、災害を受けた建物の南側に別の建物があったため地盤の動きが抑えられて、その分だけ災害建物への作用力が大きくなって災害がより大きく生

じたことが考えられる。これは人体に例えるならば、図-17 に示すように腹部にボディブローのような急激な力が加わると、作用反作用で上体が前に傾くとともに頭が倒れる。そのとき後ろ側に衝立などの支えがあると、腹部が後ろ側へ行かない分、より大きい力が作用してより大きく人体が前に倒れることになる。これと似たような現象が発生して建物に酷い災害が発生したことが推察される。

(7) 日進化工(株)群馬工場爆発火災事故

日進化工(株)群馬工場の化学薬品製造工場において、ヒドロキシルアミン(劇物)をタンク内で再蒸留していた際に爆発が起きて火災が発生した²¹⁾。爆発事故は今回爆発した蒸留塔が組み込まれている装置内の空ポンプの上部についている蛇腹ホースで起こった。工場周辺は図-18²²⁾をみると、旧河道沿いの自然堤防上にあることが分かる。自然堤防地帯は砂質土よりなり表層部の地質は比較的良好である。

しかし、下部には粘土層が存在していることが多く²³⁾、表層部の重量の大きい構造物による圧密沈下や、下方の砂礫層より地下水の過剰揚水により広域

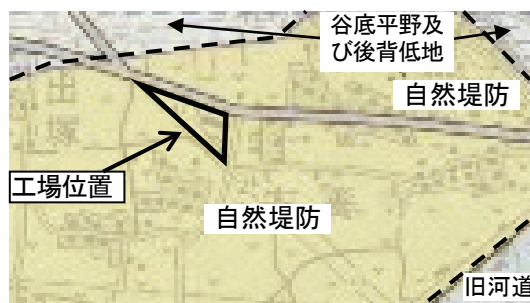
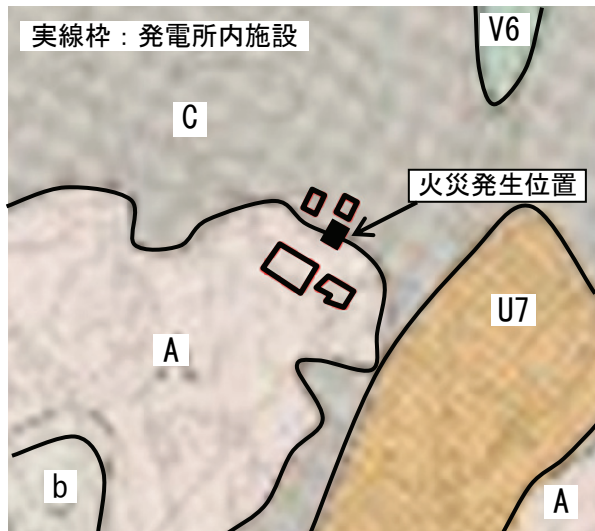


図-18 工場周辺の地形分類図(原図²²⁾に加筆)



A：人工改変地 b：丘陵（緩斜面） C：丘陵（一般斜面） V6：浅い谷 U7：砂礫台地

図-19 発電所周辺の地形分類図（原図²⁶⁾に加筆）

地盤沈下で不同沈下が生じていることも、災害の原因に関係しているのではないかと推察される。

(8) 三重ごみ固化燃料(RDF)発電所火災・爆発

ゴミ固化燃料(RDF)発電所の RDF 貯蔵槽でいくつかのトラブルが続いた後に爆発が発生した²⁴⁾。発電所周辺は地形図²⁵⁾によると沢の源頭部に位置しており、表層地質²⁶⁾は礫・砂・粘土互層(T₂)や粘土・砂互層(T₃)、礫を主とする堆積物(th)からなり、地形分類図²⁶⁾によると人工改変地(A)や丘陵(緩斜面, b), 丘陵(一般斜面, C), 浅い谷(V6), 砂礫台地(U7)に分類され、発電所敷地は T₃, th の境界部や、A と C の境界部に存在している。特に、火災のあった場所は人工改変地と丘陵に跨って立地している(図-19)²⁶⁾。また、火災を起こした発電所は丘陵地を切土して発生した材料でつくった盛土の厚い部分に位置しており、異種支持地盤状態であった可能性がある。

(9) エクソンモービル名古屋油槽所タンク火災

エクソンモービル名古屋油槽所で清掃作業などを行っていた 2 号タンクで火災が発生した²⁷⁾。図-20(旧地形図²⁸⁾に加筆)からこの油槽所は軟弱な埋立地に建設されていることが分かる。しかし、他に地質図等が見当たらないため、現在のところ災害の原因と地盤の関係は分からない。

(10) ブリヂストン栃木工場火災

ブリヂストン栃木工場の精錬棟で火災が発生し 46 時間半にわたって燃え続けた。出火原因は、タイヤ用の板ゴムを製造している 3 階建ての建物で、1 階の精錬機 3 号機付近の床に開いた穴を埋めるた



図-20 油槽所周辺の旧地形図（原図²⁸⁾に加筆）

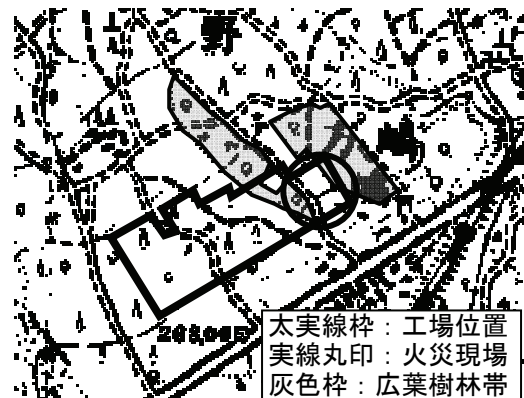


図-21 工場周辺の旧地形図（原図³⁰⁾に加筆）

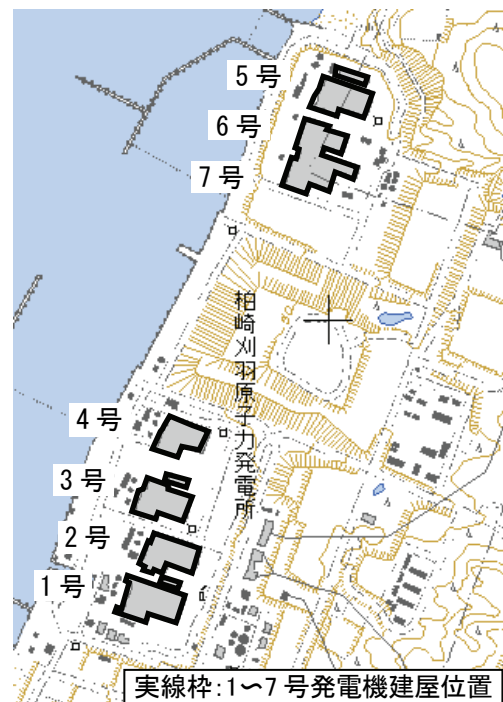


図-22 原子力発電所周辺の地形図（原図³¹⁾に加筆）

め、溶接作業中に溶接火花がタイヤ原料に引火したためである²⁴⁾。

工場は二本の河川の間の氾濫原上に立地し、表層部は礫・砂・泥の未固結堆積物からなる軟弱地盤で、その周りを火山灰が囲んでいる²⁹⁾。図-21 をみると工場は針葉樹林帯と広葉樹林帯、旧道路に跨っていることが分かる。特に、火災位置は広葉樹林帯と旧道路とそうでない地盤に跨っており、昔の道路は地層境界部に作られること等を考え合わせると、工場は異種支持地盤状態にあつて、床に穴が開いたのはそのためではないかと推察される。

(11) 出光興産北海道製油所タンク火災

2003 年十勝沖地震のときに苫小牧地区の出光興産北海道製油所の原油タンクとナフサタンクで火災が発生した。その 2 つのタンクはともに砂丘と砂丘間低地堆積層との境界部に存在する(前回の当土木建設技術発表会で発表済み)²⁾。

(12) 柏崎刈羽原子力発電所火災

2007 年新潟県中越沖地震(マグニチュード 6.8)の際に柏崎刈羽原子力発電所構内(図-22³¹⁾)で大きい陥没、亀裂等の地盤変状や、3 号発電機建屋脇で変圧器火災等が発生した。変圧器火災は二次側接続母線部の支持台沈下に伴う上下のずれによるケーブルのショートで発生した。ここで、図-23³²⁾の丸印の火災発生位置付近をみると、新期砂丘堆積物と古期砂丘堆積物の境界部で火災が発生していることが分かるが、地層境界部では地盤陥没の発生しやすいことが調べられているので³³⁾、ここでも地震前から地盤内で細粒分等が流出して間隙が発達して大きくなっていたことの影響が推察される^{34)、35)}。

3. まとめ

以上の災害箇所の調査結果を、表-1 の地盤の欄にまとめる。この表によると地震による災害と地震によらない災害にかかわらず、地盤条件の変化点等で多く発生していることが分かる。

即ち、災害 No. 4 と 9 に関しては地形図以外の地質図、地盤図等が見つからず、地盤の明瞭な変化点等を見つけるまでにいたっていない。しかし、災害 No. 1, 6, 11, 12 は明瞭に地震による災害で地盤条件の変化点で起きている。その他の地震によらない災害として、災害 No. 7 は一様地盤にあるととれるが、その地盤は通例土質構成が複雑であり、その影響を受けたことが考えられる。災害 No. 3 は明らかに地盤境界部であり、災害 No. 2, 8, 10 も地盤境界部と考えられるところであり、災害 No. 5 もそれ

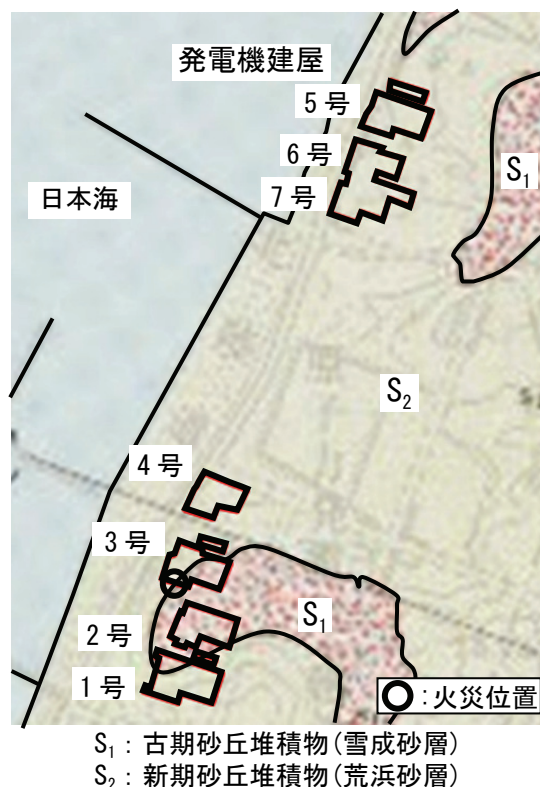


図-23 原子力発電所周辺の表層地質図
(原図³²⁾に加筆)

に近い不均質な地盤状態で発生している。

4. あとがき

今回の災害事例の調査から、地震による災害は異種支持地盤状態にある構造物に多く地震時の地盤の不同変位が災害原因になっていること、地震によらない災害については工場や発電所、タンク等の構造物の軟弱地盤での圧密沈下の不均一に伴う不同沈下等が原因になっていることが推察される。即ち、地震による、よらないに関係なく構造物等の災害には地盤の不連続な土質、地形等が大きく影響を及ぼしていることが考えられるし、それは工場や発電所、タンク等の構造物のように規模が大きくなればなるほど敷地が広く必要になり、不連続な地盤条件に遭遇する確立が大きくなって、普段からあるいは地震時に地盤の動きが一樣でなくなるためと推察される。

従って、それらの構造物をつくる際には地盤条件の変化点のない一様な地盤を探すか、あるいは地盤改良を行ってそのような地盤を造って、その上に構造物をつくることで災害を防止したり、抑えたりすることができると考えられる。これらの対策は既に土木建設技術シンポジウム 2003 で発表した、一般

的な構造物の地震被害対策³⁶⁾と同様と考えられる。

おわりに、以上の調査に当たってお世話になった吉原浩危険物保安技術協会技術審議役、大場恒彦日本物理探鉱株式会社技術本部長、菅井直道前前橋工科大学卒業研究生と参考にさせて頂いた文献の著者に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 自治体消防制度 60 周年記念事業実行委員会編：自治体消防制度 60 周年記念“消防のあゆみ”，2008. 3. 7.
- 2) 那須誠：各種工場の地震被害と地盤条件変化点の関係，土木建設技術発表会 2008 概要集，IV-3，pp. 241-248，2008. 11.
- 3) 朝日新聞社編：朝日新聞縮刷版，1973 年 7 月号，p285，1973. 8. 20.
- 4) 日本地図センター編：彩色地形図閲覧，2 万 5 千分の 1 地形図，徳山，2008.
- 5) 都市地盤調査報告書，山口県周南地区地盤図，(4) 微地形区分図，(3) 地盤型区分図，1966.
- 6) 三菱石油水島製油所タンク事故原因調査委員会編：三菱石油水島製油所タンク事故原因調査報告書，1975.
- 7) 吉原浩：法令等の改正の契機となった危険物災害，(4) 三菱石油水島製油所重油流出事故，Safety & Tomorrow，No. 123，p. 14-21，2009. 1. 15.
- 8) 国土地理院編：地図閲覧サービス，2 万 5 千分の 1 地形図，玉島(岡山及丸亀)，2009.
- 9) 国土地理院編：2 万 5 千分の 1 地形図，玉島，1910 年修正，1916. 7. 30.
- 10) 三菱石油水島製油所 T-270 タンク基礎関係資料目録，基礎盛砂に関する調査結果他，1975. 9.
- 11) 朝日新聞社編：朝日新聞縮刷版，1975 年 2 月号，p465，1975. 3. 20.
- 12) 山口恵一郎編：日本図誌大系 近畿Ⅱ，朝倉書店，1973. 5. 10.
- 13) 読売新聞社編：読売新聞縮刷版，1982 年 4 月号，p. 23，1982. 5. 25.
- 14) 国土交通省土地・水資源局 国土調査課編：土地分類基本調査，5 万分の 1 地形分類図，5 万分の 1 表層地質図，潮来・八日市場・銚子，1989. 12.
- 15) 都市地盤調査報告書，茨城県鹿島地区地盤図，(1) 地形分類図，1964.
- 16) 三陸はるか沖地震災害調査委員会編：1994 年三陸はるか沖地震災害調査報告書，1995. 7.
- 17) 土地分類基本調査図(国土調査)，第 43 号，5 万分の 1，表層地質図，八戸，昭和 39 年現地調査，1965. 3.
- 18) 国土地理院編：地図閲覧サービス，2 万 5 千分の 1，地形図，八戸西部，2008.
- 19) 土地分類基本調査図(国土調査)，第 43 号，5 万分の 1，地形分類図，八戸，昭和 39 年現地調査，1965. 3.
- 20) 八戸市編：八戸都市計画図，2 千 5 百分の 1，X-IF 13-2，X-IF 14-1，1996. 7.
- 21) 総務省消防庁危険物規制課発表資料，2000. 6. 11.
- 22) 土地分類基本調査図(都道府県土地分類基本調査)，5 万分の 1，地形分類図，深谷，平成 2 年度調査，1992. 3.
- 23) 池田俊雄：わかりやすい地盤地質学，鹿島出版会，1986. 10. 30.
- 24) 科学技術振興機構(JST)，失敗知識データベース HomePage，<http://shippai.jst.go.jp/fkd/Search>，2009. 1.
- 25) 国土地理院編：地図閲覧サービス，2 万 5 千分の 1 地形図，阿下喜(名古屋)，2009. 1.
- 26) 土地分類基本調査図(都道府県土地分類基本調査)，5 万分の 1，地形分類図，表層地質図，桑名，昭和 61 年度調査，1988. 2.
- 27) 毎日新聞社編：毎日新聞縮刷版，2003 年 8 月号，p. 1163，2003. 9. 25.
- 28) 国土地理院編：地図閲覧サービス，2 万 5 千分の 1 地形図，鳴海(名古屋)，2009. 1.
- 29) 国土交通省土地・水資源局国土調査課編：土地分類基本調査，5 万分の 1 表層地質図，大田原・埴，1989. 3.
- 30) 山口恵一郎編：日本図誌大系 関東Ⅱ，那須岳(明 42 測)・塩原(明 40 測)・白河・大田原(明 42 測)，朝倉書店，p. 172，1965. 6. 30.
- 31) 国土地理院編：地図閲覧サービス，2 万 5 千分の 1 地形図，宮川(長岡)，2009. 1.
- 32) 土地分類基本調査図(都道府県土地分類基本調査)，5 万分の 1，表層地質図，柏崎・出雲崎，昭和 61・62 年度調査，1989.
- 33) 那須誠：地表面陥没と地盤の関係の考察，第 27 回日本自然災害学会学術講演会要旨集，No. I-6-2，pp. 49-50，2008. 9.
- 34) 那須誠：新潟県中越沖地震による発電所構内の地盤陥没被害等の考察，第 43 回地盤工学研究発表会講演集 CD-ROM，No. 785，2008. 7.
- 35) 那須誠：各種構造物に問題が発生しやすい部位に関する研究，安全工学シンポジウム 2009 講演予稿集，No. 3-3，pp. 126-129，2009. 7.
- 36) 那須誠：地震による被害構造物と無被害構造物の地盤の違い，土木建設技術シンポジウム 2003 論文集，pp. 299-306，2003. 7.