

各種工場の地震被害と地盤条件変化点の関係

那 須 誠

フェロー会員 博士(工学) 前橋工科大学工学研究科建設工学専攻(〒371-0816 前橋市上佐鳥町460-1)

2007 年新潟県中越沖地震によって工場が被害を受けその影響が大きく発生した。工場という大規模な敷地を使用する場所の地盤は様でないことが推測される。今回、地震被害を受けた幾つかの工場の地盤を地震被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。調査対象は1923年の関東大地震から2007年の新潟県中越沖地震までの地震で顕著な被害を受けた工場施設である。それらの施設の地盤を調べた結果、いずれも特異な地盤即ち地盤条件の変化点で被害が発生しており、工場被害は主として異種支持地盤状態でつくられていたため地震で生じた地盤の不同変位が原因で発生したことが推定されたので、その結果を報告する。

キーワード:地震, 被害, 工場, 地盤, 地盤の不連続点, 異種支持地盤状態, 不同地盤変位, 偏土圧

1. まえがき

2007 年新潟県中越沖地震によってリケンの工場が被害を受けその影響が大きく発生した。工場という大規模な敷地を使用する場所の地盤は様ではないことが推測される。今回、地震被害を受けた工場の地盤を地震被害調査報告書や設計図、地形図、地質図、土地条件図、土質調査結果等を元に調べたので、その調査結果を以下に報告する。

2. 調査対象地震と工場

今回の調査対象は、1923 年関東大地震(M7.9)による日電三田工場と日本光学三田工場、1964 年新潟地震(M7.5)による昭和石油タンクと白山変電所、1978 年宮城県沖地震(M7.4)による仙台ガス局原町工場のガスタンク、東北石油仙台製油所タンクと仙台変電所、1983 年日本海中部地震(M7.7)による秋田火力発電所、1995 年兵庫県南部地震(M7.3)による猪名川浄水場と三菱電気伊丹製作所、2003 年三陸南地震(M7.0)による宮城沖電気工業工場、2003 年十勝沖地震(M8.0)による出光興産北海道製油所の石油タンク、2004 年新潟県中越地震(M6.8)による新潟三洋電子工場、2007 年新潟県中越沖地震(M6.8)による

リケン柏崎工場と原酒造建物等の被害箇所と地盤である。

3. 被害事例と地盤の関係

(1)日電三田工場と日本光学三田工場、三菱電気北伊丹製作所

1923 年関東大地震当時の日電三田工場の建物¹⁾は、東京地盤図²⁾によると東京駅前の丸の内地区と同じようにいわゆる南北方向に走る埋没谷の最深部の直上にあって、しかもその埋没谷に直角な東西方向に桁行方向を持っていて大崩壊を起こしている³⁾。また、日本光学三田工場の建物¹⁾では平亀裂が沖積層下底等深線²⁾に平行な壁面に、剪断亀裂がそれに直角な方向の壁面に生じている。特に後者では地盤が沖積層下底等深線に直角な方向に(軟質土層の厚くなる方へ)比較的大きく動いたために、前述の壁面亀裂が発生したことが考えられる³⁾。

1995 年兵庫県南部地震で三菱電気北伊丹製作所は、旧地形図⁴⁾を参照すると元池の埋立地で被害を受けている⁵⁾。

(2)リケン柏崎工場

新潟中越沖地震によりリケン柏崎工場(図-1)のほ



図-1 リケン付近の新地形図⁶⁾



図-2 リケン付近の旧地形図⁹⁾



図-3 仙台市ガス局付近の新地形図¹¹⁾

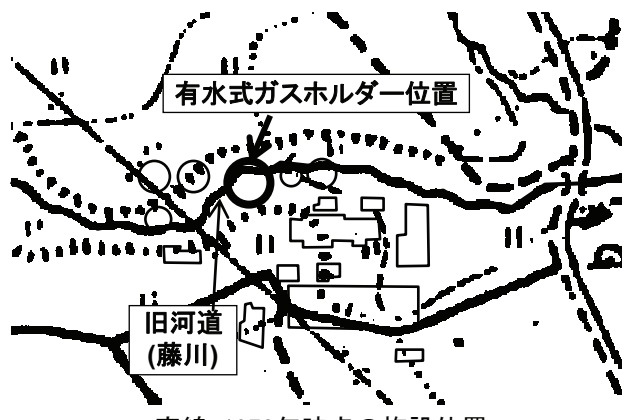


図-4 仙台市ガス局付近の旧地形図¹⁴⁾

とんどの設備が位置ズレたり、もしくは転倒し、工場建屋については倉庫の一部が損壊している⁷⁾。周辺地盤としては新生代第四紀完新生新期砂丘堆積層が広がり、表層地盤は砂、その下部には砂の他礫・泥などの層となっている⁸⁾。旧地形図(図-2)をみると工場建物は桑畑とそうでない地盤に跨っていることから表層地質に変化があり、建物が異種支持地盤状態にあったため各種の被害を受けたことが推察される¹⁰⁾。

(3) 仙台市ガス局原町工場

1978年宮城沖地震により仙台市ガス局原町工場内(図-3¹¹⁾)の有水式ガスホルダーの上部支柱が倒壊した¹³⁾。ここの周辺の表層地盤は洪積台地である⁶⁾。その倒壊原因はガスホルダーを支える上部支柱と下部支柱との接合ボルトの腐食にあり、地盤との直接的な関係はないとされている¹²⁾。しかし、図-4の工場建設前の旧地形図みると倒壊したガスホルダーは旧河道部に位置しており、さらに有水式ガスホルダーは旧河道部埋立地盤の軟弱地盤の方へ倒壊して

いることから、ガスホルダーは異種支持地盤状態になっていたため被害が発生したこと、すなわち倒壊後の破壊形状に地盤が大きく関わっていたことが分る¹⁰⁾。また、腐食として地盤の不同沈下によってタンクが普段から傾斜していたため片側に大きく発生した応力による腐食等も考えられる。

(4) 宮城沖電気工業工場

2003年5月26日の三陸南地震によって宮城沖電気工場(図-5)の設備の損傷の他、拡散炉の石英ガラスが割れるなどの被害が出た。同年7月26日の宮城北部地震でも被害を受けた¹⁶⁾。図-6をみると表層地盤が複雑な土地で、建物は種類の異なる地盤(地質 Hg と Ht, Mt と Hg)の上に跨って作られ、工場は異種支持地盤状態にあったことが推定される¹⁰⁾。また、新旧地形図等¹⁷⁾を参照すると傾斜地盤に敷地が造成されている(最深部で厚さ約8m)。したがって、ここで被害が大きく発生した位置は、後述の仙台変電所の地盤と似ていて、盛土厚さ急変点や軟弱土層存在箇所等ではないかと推察される。

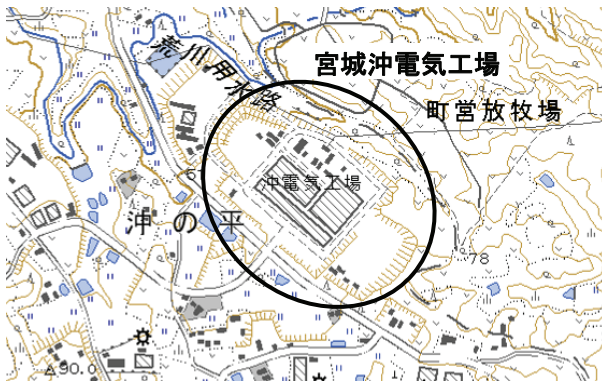


図-5 宮城沖電気工業付近の新地形図¹⁵⁾

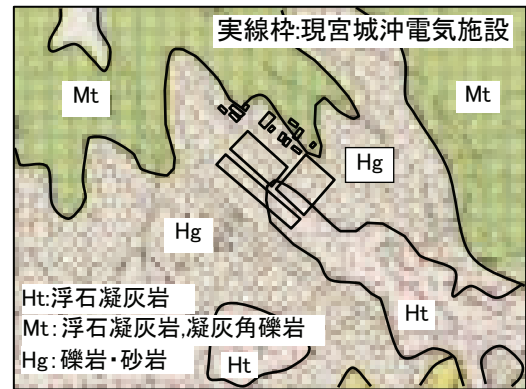


図-6 宮城沖電気工業付近の地質図¹⁷⁾



図-7 秋田火力発電所付近の旧地形図¹⁹⁾

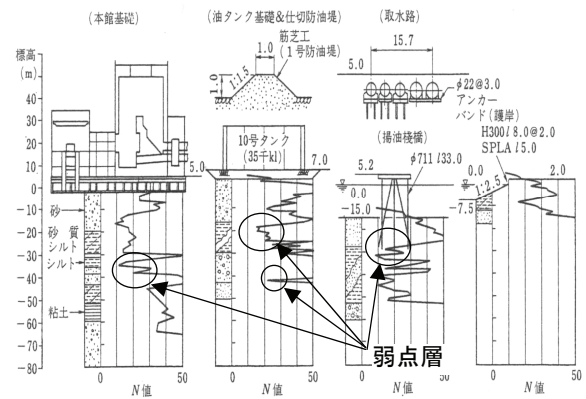


図-8 秋田火力発電所内地盤の土質柱状図¹⁸⁾

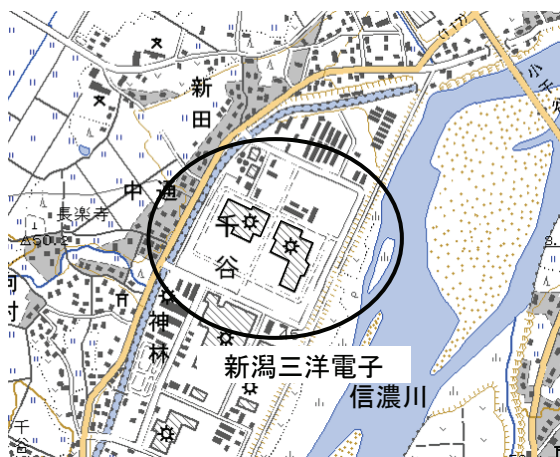


図-9 新潟三洋電子付近の新地形図²¹⁾

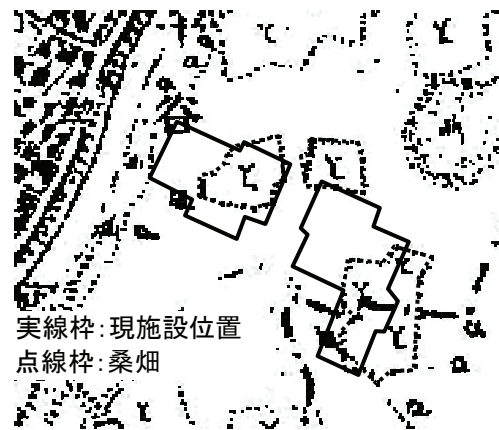


図-10 新潟三洋電子付近の旧地形図²⁴⁾

(5)秋田火力発電所

1983年日本海中部地震によって、秋田火力発電所でボイラー本体振止めのサポートの一部に軽微な損傷の他、10号タンクの付属装置にスロッシングに伴う浮き屋根の付属装置の接触破損、構内道路の一部舗装に亀裂発生、敷地に極めて局所的な陥没が発生した¹⁸⁾。地盤は図-7の地形図の外に表層地質図²⁰⁾

等を見ると、複雑に入り組んだ土崎砂丘台地であるが砂丘間低地にも跨って施設がつくられており、ここに切土盛土されて敷地が造られていることが分かる。ここの被害原因は燃焼タンク等の液面振動等にあるとされているが¹⁸⁾、図-8を見ると標準貫入試験のN値が極小値を示す弱点層が位置によって異なる深さに存在しており、施設の多くは異種支持地盤状態であることが分かる¹⁰⁾。

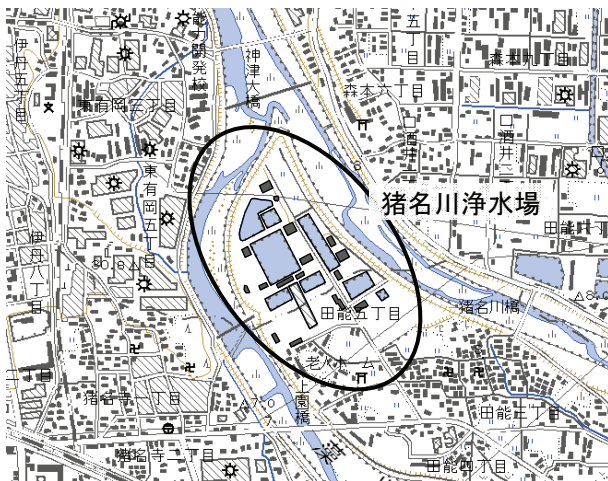


図-11 猪名川浄水場付近の新地形図²⁵⁾

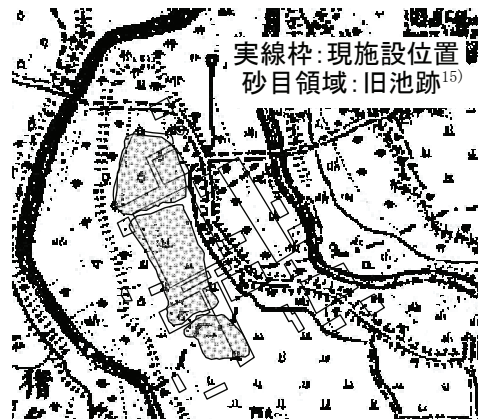


図-12 猪名川浄水場付近の旧地形図²⁷⁾



図-13 原酒造付近の新地形図²⁹⁾

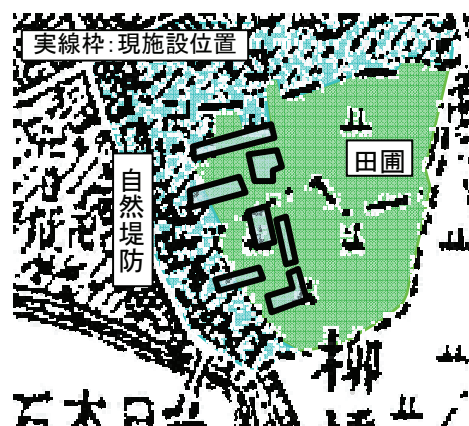


図-14 原酒造付近の旧地形図⁹⁾

(6)新潟三洋電子工場

2004 年新潟県中越地震によって被害を受けた新潟三洋電子工場(図-9)では、建設前に地盤調査を実施し、工場は震度 6 の耐震設計をされていたが、地震のときクリーンルームのガス漏れ、生産・検査設備等に損壊があった²²⁾。ここの表層地盤は礫・砂・泥等である²³⁾。旧地形図(図-10)をみるとここの工場は河川の氾濫原(粘性土土層等)にあり、桑畑(点線枠内、砂礫混じり土層)が点在しており、工場は異種支持地盤状態につくられていることが分かる¹⁰⁾。

(7)阪神水道企業団猪名川浄水場

1995 年兵庫県南部地震で猪名川浄水場(図-11)の管理棟屋上のろ過池洗浄水槽(800 m³)の受梁や排水処理施設等に被害が生じた²⁶⁾。図-12 をみると猪名川浄水場の敷地には自然堤防(集落)や後背湿地(田圃)、草地(砂勝ち地盤²⁸⁾)があり、施設は異種支持地盤状態でつくられているものが多いことが分かる¹⁰⁾。

(8)原酒造

2007 年新潟県中越沖地震によって原酒造建物(図-13)が被害を受けた。ここの昭和 12 年建築の貯蔵庫用土蔵 5 棟や事務所など約 6 割の建物が倒壊した³⁰⁾。図-14 の旧地形図をみると原酒造敷地の左側の自然堤防(この上に南北方向の道路の両側に建物が多数存在している)の右端付近と旧田圃に跨って、原酒造の建物が存在しており、その建物は異種支持地盤状態であることが分かる¹⁰⁾。

(9)白山変電所

1964 年の新潟地震のときに、新潟市にある東北電力白山変電所の地盤において約 7m の地滑りが発生した^{31), 32)}。ここの地盤は信濃川沿いにあり旧地形図³²⁾によると砂丘先端付近の砂質埋立地盤であるが、その埋立地盤の底面(埋没砂丘表面)⁷⁾は傾斜し、かつ途中深さにあって標準貫入試験の N 値が極めて小さい所や極小値を示すところには極軟弱な粘性土層が存在しており、この粘性土層が地震時に滑り面になって地滑りが生じたことが考えられる³³⁾。すなわち、ここの地盤には傾斜と極軟弱粘性土層が存在し

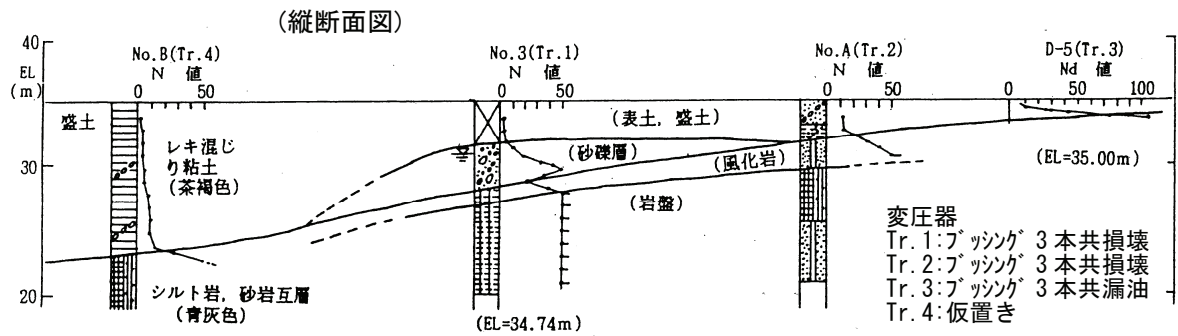


図-15 仙台変電所の地盤状態 (図-16のG-G'断面) 35), 36)

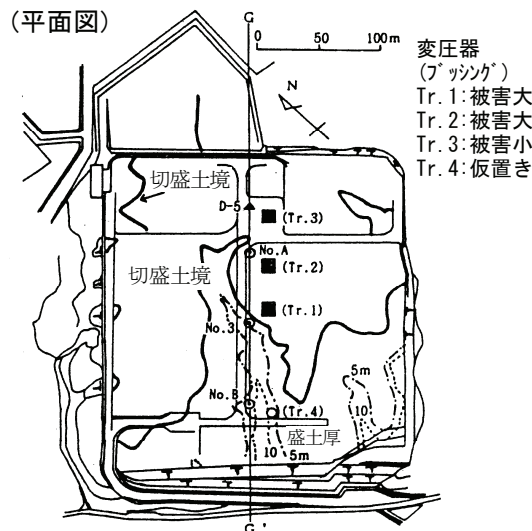


図-16 仙台変電所の原地形と変圧器位置とボーリング位置 35), 36)

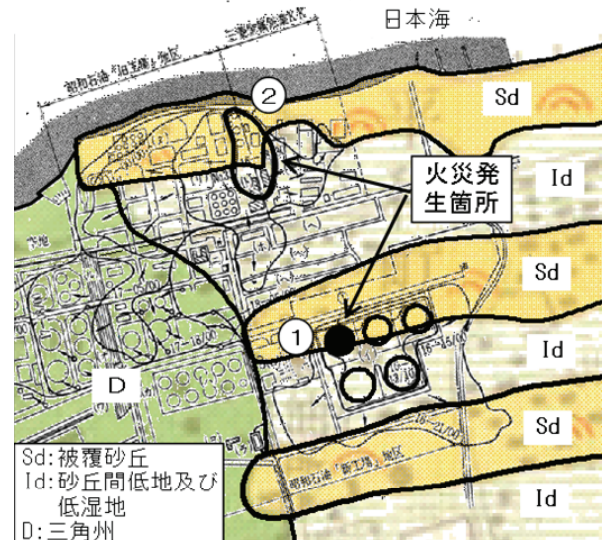


図-17 昭和石油タンクの火災発生位置 (①: 第1火災, ②: 第2火災) 38) と地盤 39)

ており、この上の構造物は地震被害を受けやすい地盤である 34)。

(10)仙台変電所

1978年の宮城県沖地震(M=7.4)のときに東北電力仙台変電所において、変圧器のブッシング折損や遮断器、壁雷器等に倒壊等の大きな被害が発生した 35)。超高圧設備などの大型がい(碍)管類に損壊などの被害が多く発生した。ブッシング全数が破損して特に被害の大きかった変圧器は盛土上にあった(図-15, 16)。切土部では被害が軽微であり、外資(碍子)形機器の被害もほとんどが盛土と地山にあり、切土上にあるものは殆ど被害がなく、地盤と被害の間に相関性が認められている 35)。

この地盤は図-15, 16 に示すように旧地形の沢部に造成されており、詳しくみると盛土と地山の境界付近で、盛土が比較的薄くかつその底面が縦横断方向に傾斜したところで大きい被害が発生していることが分かる 33)。また、ここは砂・礫層の下にN値が極小値を示す極軟弱な土層(粘性土層)がある互層地盤である。このようにこの変電所の大きい地震被害も、盛土や建物等の地震被害 37)と同様に傾斜構造のある上下逆転型地盤で発生している 34)。

(11)昭和石油新潟製油所

1964年新潟地震のとき昭和石油新潟製油所で石油タンク火災が発生するとともに、不等沈下やタンク本体の変形等、付属設備(消火ポンプ、配管等)の不等沈下等が発生した。火災は2つ発生し、第1火災の出火点は図-17の①の●印のNo1103タンクであり、第2火災の出火点は同図の②の範囲である。第1火災はタンク浮屋根が大きく揺れてから発火したといわれている 38)。

これらのタンクの被害が発生した製油所内の地盤は、図-17をみると被覆砂丘(Sd)、砂丘間低地及び低湿地(Id)、三角州(D)から成り立っている。しかも、第1火災の出火点①のNo1103タンクは、被覆砂丘(Sd)の縁で砂丘間低地及び低湿地(Id)との境界部に存在する。すなわち、タンクは異種支持地盤状態になっていたため被害を受けたことが分る。また、第2火災の出火点は②の範囲となっている。ここで、図-17をよく見ると、この範囲は被覆砂丘(Sd)と砂丘間低地

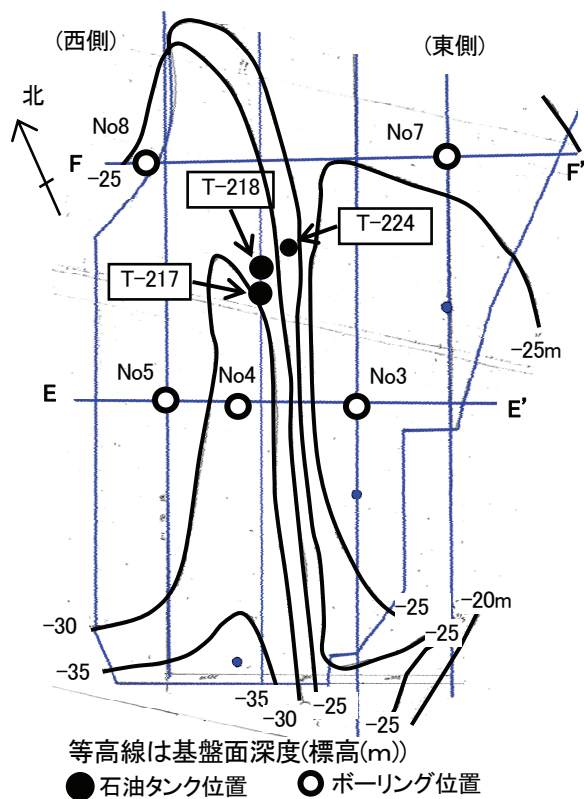


図-19 石油タンクの位置と地盤⁴⁰⁾

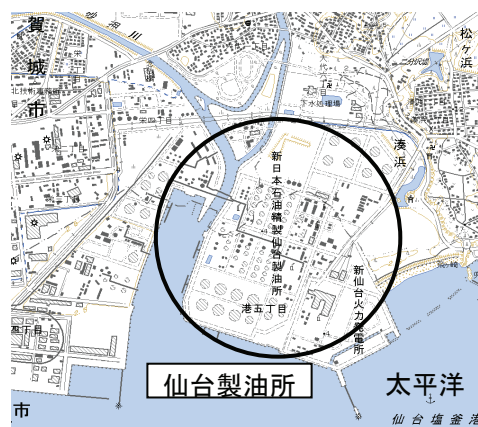
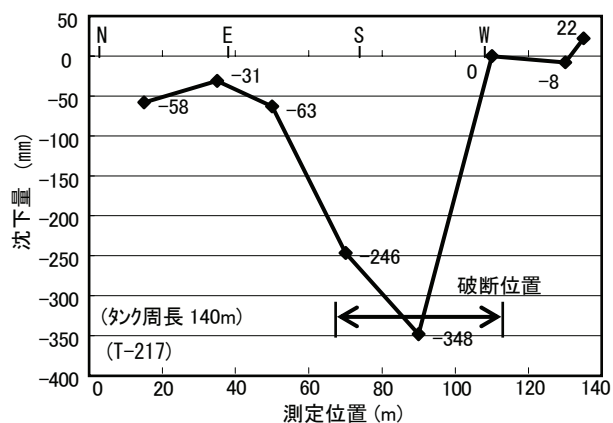
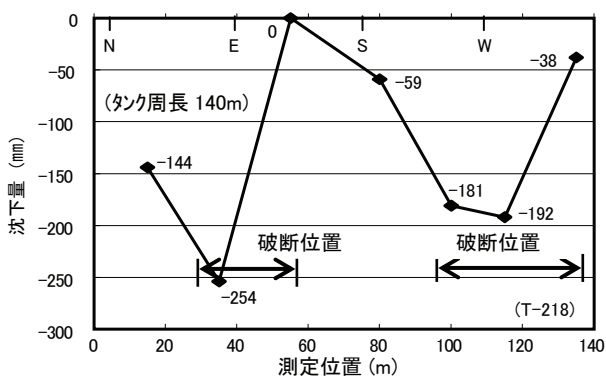
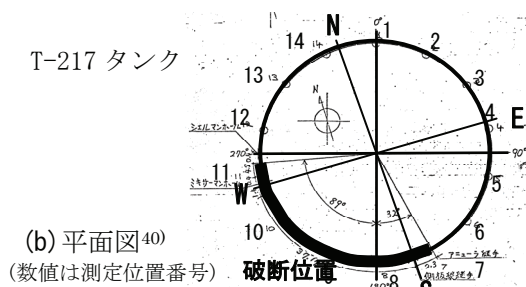


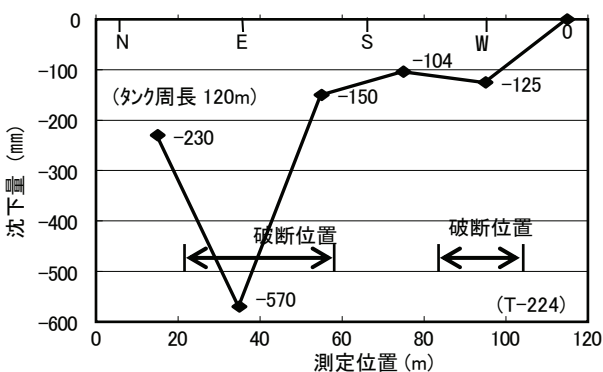
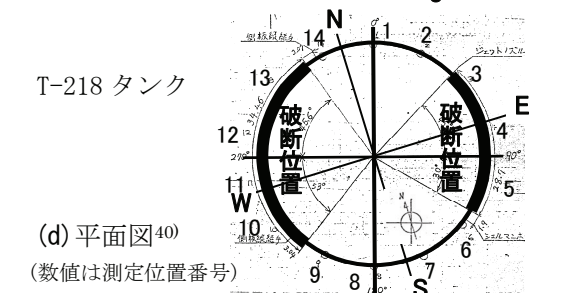
図-18 東北石油仙台製油所の位置⁴¹⁾



(a) T-217タンク (測定位置と破断位置は左図(b)参照)



(c) T-218タンク (測定位置と破断位置は左図(d)参照)



(e) T-224タンク (測定位置と破断位置は左図(f)参照)

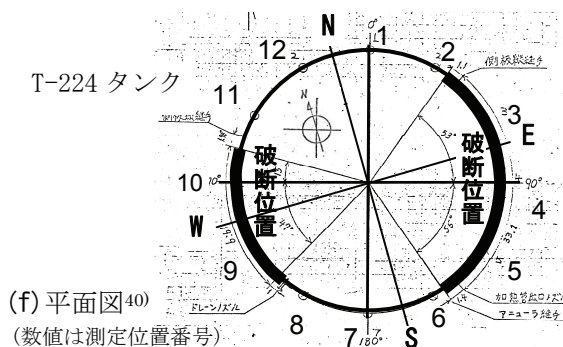
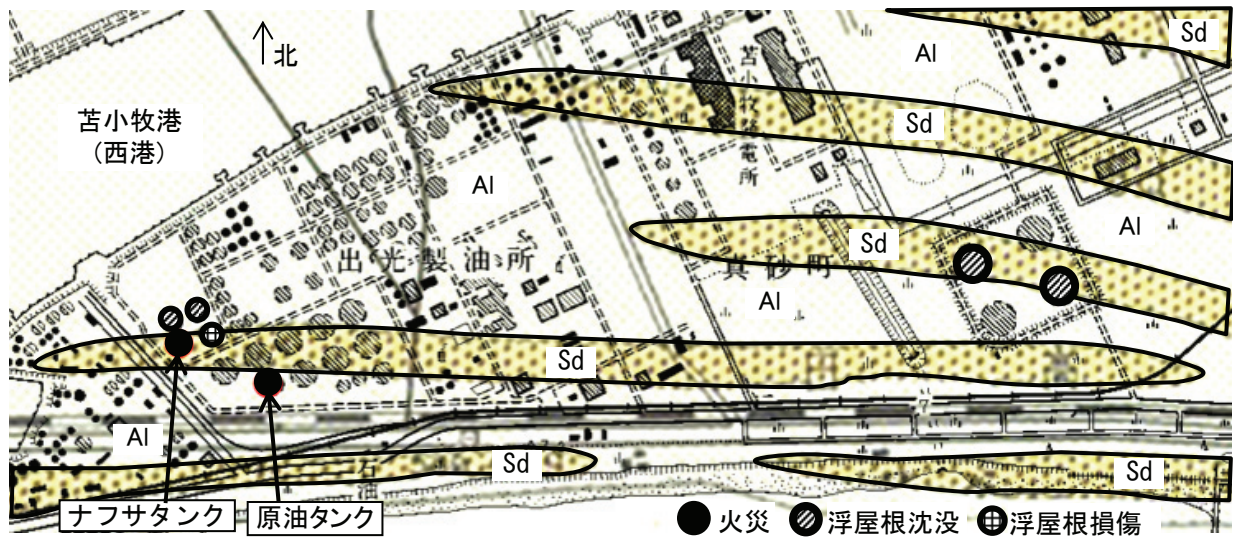


図-20 石油タンクの不同沈下量と破断位置⁴⁰⁾(図(a), (c), (e)は文献⁴⁰⁾より作成)



Sd:砂丘(砂), Al:沖積層及び現河床堆積物(砂, 礫, 粘土, 火山灰)

図-21 北海道製油所の火災等が発生したタンク等の位置^{46)・48)}と地質図⁴⁹⁾の関係

および低湿地(Id)(南側と東側)の境界部付近に当たっており, このタンク等の地盤が一様でなかったために被害が発生したことが推定される³⁴⁾。

(12)東北石油仙台製油所

1978年宮城県沖地震(M7.4)によって東北石油仙台製油所において, 屋外タンクの底部(側板とアニュラ接合部)が破断し内容物が流出したり, 配管の破損による漏洩, 不同沈下等が発生した。そのうち T-217, T-218, T-224 タンクで底部の顕著な破断が発生し, T-221 タンクで沈下, 漏洩, T-130 タンクで沈下, フローティングルーフ衝突, T-121 タンクで沈下が比較的大きく発生した⁴⁰⁾。

仙台製油所の位置を図-18に, 地盤の基盤面等深線を図-19に示す。特に図-19からこの敷地(地表面約 T.P.+2m)は基盤面の傾斜部すなわち埋没谷(最深部約 T.P.-35m)に存在していることと, タンク底部に顕著な破断が発生した T-217, T-218, T-224 タンクは埋没谷斜面部(基盤面の急傾斜部)に位置していることが分かる。また, ここは地質図⁴²⁾をみると盛土地と浜堤堆積物の境界部に当たる。T-217, T-218, T-224 タンクには大きい不同沈下量が発生している。その沈下量を示す図-20と図-19を比較すると, この不同沈下は埋没谷斜面(基盤面)の傾斜方向に発生していること, しかも図-20からタンク底面の破断箇所は不同沈下量の大きいところとほぼ一致していることが分かる⁴³⁾。ここでも文献⁵⁰⁾に示すように普段から不同沈下が比較的大きく発生していて, その方向に内容液体が大きく動いて被害が発生したことが考えられる⁴⁴⁾。

(13)出光興産北海道製油所

苫小牧地区の出光興産北海道製油所の多くの石油タンク等で1983年日本海中部地震のときにスロッシングが発生し, その方向は北東-南西方向が多く, 最大液面上昇量は約 2.0m に達した⁴⁵⁾。

2003年十勝沖地震のときにも同北海道製油所の原油タンク(#30006, リング火災)とナフサタンク(#30063, 全面火災)で火災等が発生した^{46)・47)}。その位置を地形図⁴⁸⁾と地質図⁴⁹⁾を集成して作った図-21に示す。火災が発生した2つのタンクの位置はともに砂丘(Sd)の縁に当たり, 一様な地盤でなくて傾斜のある地盤で発生したことが推察される⁴⁴⁾。また, 浮屋根の損傷や沈没が顕著に発生した5箇所のタンク位置⁴⁷⁾も示されているが, そのうち3箇所は砂丘の縁にあり, やはり傾斜のある地盤⁴⁴⁾で発生したことが推察される。

なお, この付近では細長い砂丘が幾つか存在し, タンク存在箇所付近の街路は北東-南西方向とそれに直角な北西-南東方向から成り立っているが, これは地盤の等高線に平行方向と直角方向になっているが, これには地盤状態が影響していると考えられるし, 1983年日本海中部地震のときのスロッシングが主に北東-南西方向に発生したことが推察される⁴⁴⁾。

4. あとがき

以上に述べた工場等の顕著な被害はいずれも特異な地盤すなわち地盤条件の変化点で発生していることが分かる。したがって, 工場等の被害原因は異種

支持地盤状態でつくられていたため、主として地震で地盤の不連続点に発生した地盤の不同変位(鉛直、水平変位)やそれに伴う偏土圧等が考えられる^{44), 50)}。

終わりに、以上の調査で引用させて頂いた文献の著者、並びにお世話になった仙台市消防局の関係者および大橋正典・小林康人前前橋工科大学卒業研究生に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1)復刻版 大正十三年関東大地震震害調査報告, 第3巻と付図(下), 鉄道と建築の被害, 土木学会, 1984.9.
- 2)日本建築学会, 土質工学会, 東京建築士会編: 東京地盤図, 技報堂, 1959.6.
- 3)那須誠, 羽矢洋: 建物の地震被害と地盤構造, 鉄道総研報告, Vol.4, No.4, pp.35-44, 1990.4.
- 4)国土地理院編: 地形図, 2万分1, 伊丹町, 1885年測量.
- 5)那須誠: 地震による構造物変形への地盤の影響, 第30回土質工学研究発表会発表講演集, No. 30, pp.75-78, 1995.7.
- 6)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 柏崎[北東], 2007.
- 7)(株)リケン HP, <http://www.riken.co.jp/news/Index.html>, 2007.7.
- 8)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査1/50000, 柏崎, 表層地質図, 1979.
- 9)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 柏崎, 1914.
- 10)小林康人, 那須誠: 地震時の工場における被害と地盤との関係, 土木学会第35回関東支部技術研究発表会講演概要集, CD-ROM, No.42, 2008.3.
- 11)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 仙台東北部[南西], 2007.12.
- 12)1978年宮城県沖地震調査委員会編: 1978年宮城県沖地震調査報告書, 土木学会東北支部, pp.367-369, 2004.
- 13)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査5万分1, 仙台, 表層地質図, 1967.
- 14)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 仙台東北部, 1931.
- 15)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 吉岡, 2007.12.
- 16)㈱沖電気工業 HP, <http://www.oki.com/jp/>, 2004.10, 2007.7.
- 17)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査5万分1, 吉岡, 表層地質図, 地形分類図, 1980.
- 18)土木学会日本海中部地震震害調査報告委員会編: 1983年日本海中部地震震害調査報告書, 土木学会, pp.718-721, 1986.10.
- 19)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 土崎, 1913.
- 20)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査5万分1, 秋田, 表層地質図, 1966.
- 21)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 小千谷, 2007.12.
- 22)(株)三洋半導体製造 HP, <http://www.semic.sanyo.co.jp/ssmc/index.html>, 2004.10.(旧新潟三洋電子(株))
- 23)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査5万分1, 小千谷, 表層地質図, 1977.
- 24)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 小千谷, 1912.
- 25)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 伊丹, 2007.12.
- 26)阪神・淡路大震災調査報告編集委員会編: 阪神淡路大震災被害調査報告(ライフライン施設の被害と復旧), 土木学会, pp.44-51, 1997.9.
- 27)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 伊丹, 1927.
- 28)国土庁国土調査課編: 都道府県土地分類基本調査5万分1, 大阪西北, 表層地質図, 1998.
- 29)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 柏崎[南西], 2007.12.
- 30)「日々の映像」, HP, <http://www.enpitu.ne.jp/usr2/22831/>, 2007.7.
- 31)土木学会新潟震災調査委員会編: 昭和39年新潟地震震害調査報告, 土木学会, pp.629-633, pp.835-839, 1966.6.
- 32)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 新潟南部, 1947年発行.
- 33)那須誠, 上沢弘: 地震被害と地盤条件(その8), 土木学会第18回関東支部技術研究発表会講演概要集, III-20, pp.166-167, 1991.3.
- 34)那須誠: 地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その6, 各種構造物の被害と特異地盤), 前橋工科大学研究紀要, 第5号, pp.47-54, 2002.3.
- 35)電気事業連合会編: 変電設備耐震対策特別委員会報告書(詳細編), 1979.7.
- 36)渡辺啓行, 橋本宏一, 沢田義博: 1978年宮城県沖地震による変電設備の被害に関する考察ー変電機器被害と地盤性状との関係ー, 電中研報告, No.379023, pp.1-27, 1980.4.
- 37)那須誠, 羽矢洋, 上沢弘: 地震被害発生箇所の地盤構造, 第8回日本地震工学シンポジウム(1990)論文集, pp.43-48, 1990.12.
- 38)土木学会新潟震災調査委員会編: 昭和39年新潟地震震害調査報告, p.6, pp.867-903, 1966.6.
- 39)地形分類図, 新潟, 5万分1, 土地分類基本調査図(CD-R版), 1985.3.22発行.
- 40)仙台市消防局編: 1978年宮城県沖地震 東北石油(株)仙台製油所タンク事故に関する調査資料, 1978.6.
- 41)国土地理院編: 2万5千分1地形図, 塩釜(南西), 2002.4.
- 42)通産省工業技術院地質調査所編: 5万分1地質図, 塩釜, 1983.12.
- 43)大橋正典, 那須誠: 危険物貯蔵タンクの地震被害と地盤の関係, 第34回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, CD-ROM, No.68, 2007.3.
- 44)那須誠: 石油タンク等の地震被害と地盤の関係及び対策工法の考察, 土木建設技術シンポジウム2006論文集, IV-13, pp.377-384, 2006.7.
- 45)座間新作: 1983年の日本海中部地震による苫小牧での石油タンクの液面揺動について, 消防研究所報告, 第60号, pp.1-9, 1985.9.
- 46)平成15年十勝沖地震による弊社北海道製油所 地震被害及び火災事故の原因と再発防止への取り組みについて, タンク火災調査委員会報告 別紙, 出光石油, 2004.6.24.
- 47)十勝沖地震による危険物施設の被害復旧について, Safety & Tomorrow, 第116号, pp.26-36, 危険物保安技術協会, 2007.11.
- 48)国土地理院編: 地図閲覧サービス, 2万5千分1地形図, 勇払(北西), 2003.9.
- 49)北海道開発庁編: 5万分1地質図, 苫小牧, 1959.
- 50)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.