

小名浜地区における東北地方太平洋沖地震による被害概要とその推定要因

危険物保安技術協会

1. 被害概要

3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震やそれに伴う余震の影響により、福島県いわき市小名浜地区の臨海工業地帯に位置する複数の屋外貯蔵タンクにおいて、タンク本体およびその基礎・地盤部に被害が生じた。とりわけ基礎・地盤部に着目すると、T-603 および T-604 タンクにおいては基礎の沈下および周辺地盤の部分的な隆起という被害が見られた。表-1 にこれらタンクの諸元を記す。また図-1 にタンク配置図、写真-1~6 に被害状況を示す。

2. 地震動

事業所内に設置された強震計は、3月11日に300ガルを超える値を観測した^{†1}としている。

図-2 に示すように事業所から直線距離で約5km離れた強震計が設置されていた。図-3 に示すこの加速度記録によれば、東西方向において最大加速度617ガル（SMAC相当波^{†2}）であった。また地震動の継続時間は主要動だけでも約50秒、全体としては150秒以上である。継続時間については、通常地震よりも長く、地盤に作用したせん断力の繰返し載荷回数は数十回から百数十回にも及ぶと考えられる。

3. 地盤

対象タンクの地盤は上位から、盛土層、沖積砂層、泥岩層となっている。図-4~6 に T-603~T-605 タンク直下の地層推定断面図を示す。

盛土層は厚さが2~3mである。砂質粘性土から構成されるが、全体的に不均一でありレキや細砂も多く混入している。地表面から概ね2mの深度で地下水面が現われる。

沖積砂層は厚さが3~4mである。粒径は均一な細砂が主体で、 D_{50} は0.2mm程度で F_c は5%前後である。一方、平均的なN値は15程度で比較的密な層が多いが、測定されたN値は4から30まで平面的にばらついている。

泥岩層は本谷泥岩層と推定され、固結度が高く非常に堅固である。

これらのことから、地盤種別は2種地盤（液状化評価の水平震度：0.17）に分類され、 P_L 値は、各ボーリング箇所においてほとんどが0となっている。

4. 地形

宮城県南部から茨城県北西部にかけては阿武隈山地が広がっており、阿武隈山地から太平洋へと流れ込む河川は、丘陵地の末端に扇状地を形成する。また、河口付近にはこれらの河川が形成した沖積低地が見られる。

福島県いわき市南部は藤原川および鮫川によって形成された沖積低地が広がっている。沖積低地は標高約0~10mであり、西から東へ緩く傾斜している。東側は太平洋に面しており、他の三方は標高約30~100mの丘陵に囲まれている。図-7~9には明治41年から昭和48年までの地図を示すが、事業所は藤原川の河口に発達した沖積低地を一部埋め立てた敷地であることがわかる。

†1：事業所内の強震計には記録装置はなく、加速度の値が表示されるだけの機能であるようだが、地震発生からいつの時点での表示値か等の詳細は不明である。

†2：SMAC相当波とは、強震測定委員会により開発されたSMAC-B2型強震計の計器特性等の補正を行った波形である。地震動は地中部から地表面に伝播してくる間に、地盤の堆積条件の影響を大きく受けるため、事業所内の最大加速度の値でないことに留意する必要がある。

5. 被害原因の推定

以上のことから、T-603 および T-604 タンクにおいて基礎の沈下および周辺地盤の部分的な隆起が生じた原因について推定すると次のとおりである。

- ① 地震動が基準で想定された値よりも大きく、かつ、長時間震動したことから、地盤に作用したせん断力の繰返し载荷回数が多かったこと。
- ② 沖積砂層の N 値にばらつきがあることから、緩い部分から液状化が発生したことを契機に、長時間の震動に伴い、発生した過剰間隙水圧が広く伝搬して沖積砂層の動的強度を低下させたこと。
- ③ 液状化した沖積砂層が部分的に側方流動（地盤の塑性変形により側方方向に変形した現象^{†3}）を生じ、タンク周辺地盤の一部を隆起させたこと。

沖積層は一般的に粒度や密度のばらつきが少ないが、本地盤の沖積砂層は、藤原川のかつての河口部であったために、狭い範囲における複雑な堆積により密度のばらつきが生じたものと考えられる。よって、タンクやその基礎に被害が生じた原因は、沖積砂層の緩い部分から液状化が発生し、長時間の震動に伴い側方流動に至ったものと想定される。

なお、東北地方太平洋沖地震により屋外貯蔵タンクの基礎・地盤部において顕著な被害が発生したのは小名浜地区の事業所のみであったこと、さらに同一事業所内においてそれら被害が発生したのは2基の屋外貯蔵タンクのみであったことから、東北地方太平洋沖地震における地震動の地域的特異性および沖積砂層の密度のばらつき等があったことが推定され、これらを総合的に勘案すると、基準の想定や評価において極めて希な事象であったと考えられる。

†3：地盤工学用語辞典によると側方流動とは、軟弱地盤上に荷重が载荷された場合、その荷重の大きさが地盤の極限支持力に近づくと地盤が塑性変形を生じ、側方方向にも大きく変形する現象を指すとされている。近年では地震時において、傾斜した地盤や護岸・岸壁などの背後地盤で液状化が発生し、地盤が大きく流動する現象も側方流動と呼ばれることがあるとされている。後者の現象は前者と区別するために、地盤工学会の委員会では“液状化に伴う地盤の流動”という用語を使うよう推奨している。

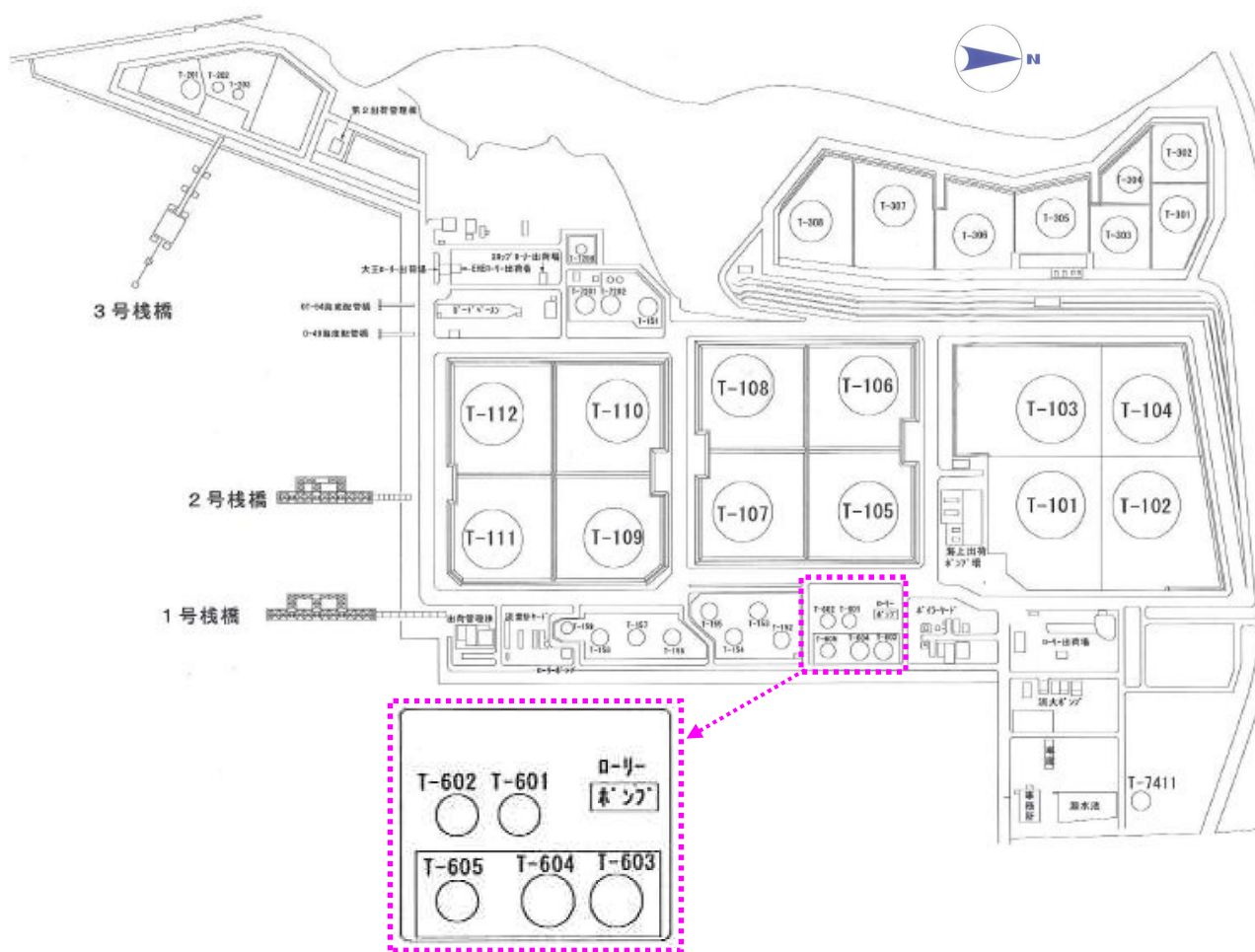
本稿で用いた側方流動は、地盤が塑性変形を生じ側方方向に変形した現象を指し、護岸・岸壁背後地盤の液状化に伴う地盤の流動が起きた訳ではない。

表－1 屋外貯蔵タンクの諸元（事業所提供資料に加筆）

タンク番号	T-603	T-604	T-605
設置年	昭和48年	昭和48年	昭和48年
タンク直径 (m)	20.342	20.342	16.468
タンク高さ (m)	16.410	16.340	15.165
基礎形式	盛土基礎	盛土基礎	盛土基礎
基礎直径 (m)	23.342	23.342	19.468
貯蔵物	A重油	軽油	A重油
タンク容量 (kL)	5,000	4,900	3,000
3/11 時点の貯蔵容量 (kL) 注1)	2,948 (59%)	2,826 (58%)	978 (33%)
タンク最大高低差 (mm) 注2)	294 331	283 306	65 58
タンク不等沈下率注2)	1/69 1/61	1/72 1/66	1/253 1/284

注1) 括弧内の数値は満液容量に対する貯蔵容量の割合

注2) 上段は3/11の本震後（震度6弱），下段は4/11の余震後（震度5強）の測量データ



図－1 タンク配置図（事業所提供資料から抜粋）

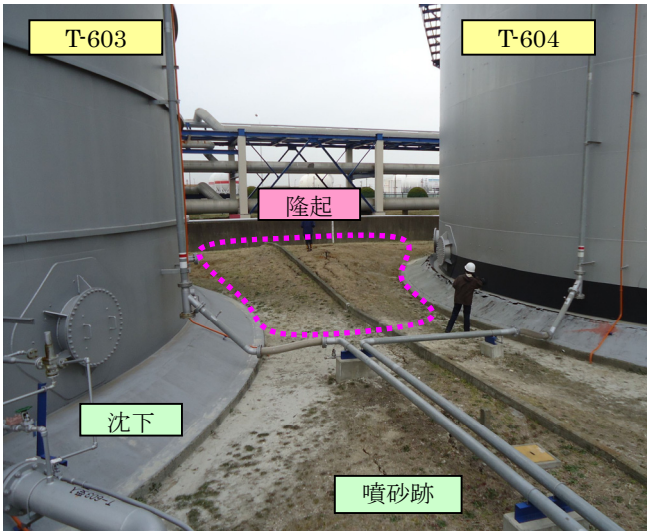


写真-1 : 撮影日 2011. 4. 8

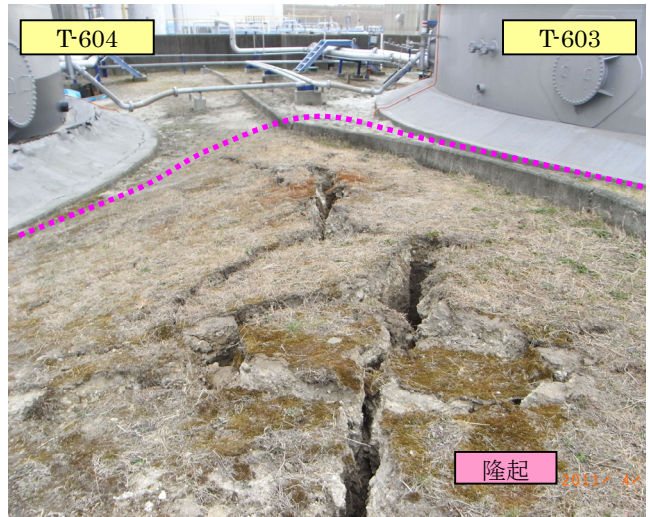


写真-2 : 撮影日 2011. 4. 8



写真-3 : 撮影日 2011. 4. 8

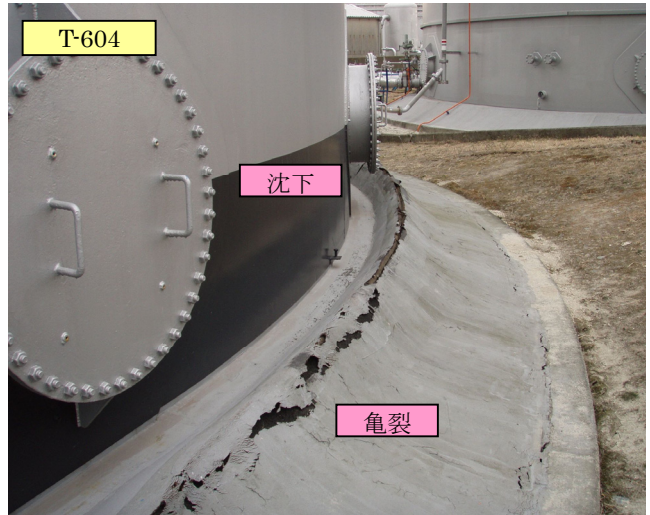


写真-4 : 撮影日 2011. 4. 8

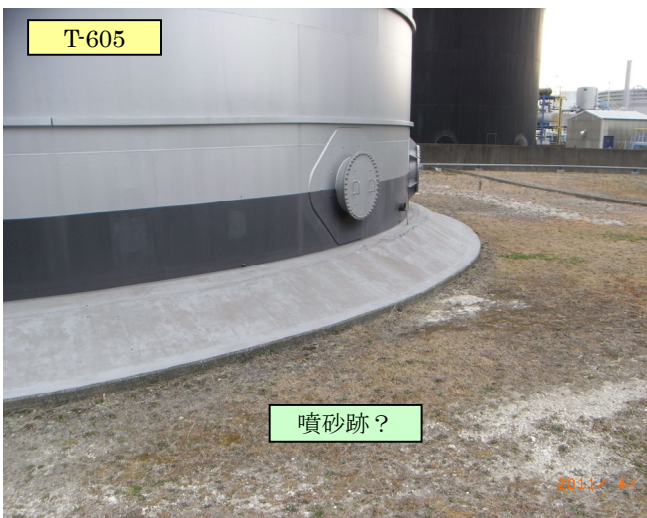


写真-5 : 撮影日 2011. 4. 8



写真-6 : 撮影日 2011. 4. 8