

新潟地震による石油タンク等の火災

【1964年6月16日、新潟県 新潟市】

赤塚広隆(高圧ガス保安協会)

小林英男(東京工業大学大学院 理工学研究科)

1964年6月16日、新潟市を中心に襲ったマグニチュード7.5、震度6の地震は市街地に架かる橋の落下、鉄筋コンクリート製アパートの転倒、石油タンクからの出火等、これまでとは様相の異なる被害が発生し、新しい都市型災害として注目された。また、我が国の地震災害において地盤の液状化現象が大きく注目された最初の事例でもある。なかでも製油所の原油タンク5基が2週間近くにわたって燃え続け、近隣の民家286棟が全焼するという大災害となった。3万キロリットル浮屋根式タンク(直径51500mm、高さ14555mm)は満液状態で貯蔵中であった。出火原因は地震により原油が揺動するという、いわゆる“スロッシング現象”によってタンクの浮屋根が側壁に衝突し、火花によって着火したものである。この火災によって1200m³LPG球形タンク(内径13240mm、厚さ25mm、材質70キロ級高張力鋼)2基が火災に包まれ、タンクを支える支柱1本が開口、座屈した。また、横置タンク、タンク車を始めとした製油所の全施設が被災した。地震災害で化学工場に最も大きな損害を与えた事例で、砂層の液状化現象、タンクの耐震設計の研究、支持構造物の耐火コンクリート被覆の施工などに多くの教訓をもたらした。

1. 事象

地震により製油所の各タンクは、いずれも震源地の方向である南北の方向に動揺した(図1、図2参照)。スロッシング現象により原油タンク5基の浮屋根が揺れ、うち1基では液状化現象による地盤沈下で西側に傾斜したこととあいまって、浮屋根が複雑な振動をした。“スロッシング(sloshing)”とは、自由表面を有する容器内部の流体の液面が、容器の振動を励振源として動揺する振動現象である(図3参照)。石油タンクなどでは、地震時に生ずるスロッシングによって、頂部に受ける衝撃力と側壁に生ずる負圧が重大な問題となる。浮屋根の振動によって、原油が上部から側壁に添って流出し、浮屋根と側壁の衝突によって火花が発生、着火した。原油タンクのある地区は主要装置地区と隣接しており、なおかつ距離が近かった(タンクより装置地区の外周まで約40m、最も近い設備まで48m)ために、流出した原油の一部が装置地区に流入し、接触改質装置の反応塔、加熱炉の一部、熱交換器、ガス分離槽およびコンプレッサーの一部の焼損を招いた。

また、地盤の液状化現象によって様々な被害が発生した。液状化現象とは、地下水で飽和された砂地盤が地震の振動により液状化し、その地盤に支えられていた建物は支持力を失い、倒れたり、沈んだりする一方で、地下埋設物は逆に浮き上がるなどして起こる現象である(図4、図5参照)。タンクは不等沈下を起こし、配管は変形、破損した(図6参照)。防油堤にはき裂が入り、露出した鉄筋が火災によって熱膨張したため強度が低下、倒壊した。液状化現象では地上に地下水が噴き出すが、これが津波によって流入した海水とともに敷地内を水浸しにし、その上をタンクと機器配管の

き裂より流出した油が拡散したため、火災の延焼を極度に早めた。

これらの火災によって、LPG 球形タンクを支える支柱の 1 本が開口、座屈した。これは建設時に支柱に入り込んだ雨水が火災の熱によって膨張し、圧力によって支柱が開口したためである。製油所内の一部地区はいわゆる 0m 地帯であったために、地下水と海水が流入し、全面にわたって延焼した。また、延焼した周辺家屋は 4 地区に分けられるが、そのうちの 1 地区は製油所から 200m 以上も離れていたにもかかわらず、地面が低く、この方向に傾斜していたために、炎上原油が流入して火災となった。別の 1 地区は製油所内の小型タンク群(直径 10m 前後)から 30~50m の距離にあり、かつ風下にあったために、火災発生直後に延焼した。残りの 2 地区は製油所から非常に近く、なかにはタンク直径以下しか離れていないところもあった。さらに、地盤も低い地区であったため一面に海水が流入し、その上を炎上油が拡散し、急速に火災地区を広めた。

2. 経過

6 月 16 日 13 時 02 分に発生した地震(マグニチュード 7.5、震度 6)によって、石油精製所内の 5 基の原油タンクで火災が発生し、原油タンクならびにタンクヤードは一面の炎に包まれた。消火作業は非常に難航し、このうち 1 基の原油タンクは 6 月 29 日 17 時まで、それ以外の原油タンクは 6 月 24 日 10 時まで燃え続けた。その間に流出した原油の火によってインテグレート装置の加熱炉、廃熱ボイラー、接触改質装置の反応塔、水素化処理装置および水添脱硫装置の反応塔下部において、水素系混合油の火災が発生し、また流出油によって高圧変電室も一部焼損した。

3. 原因

(1)スロッシング現象

浮屋根式タンクは固定式の円錐屋根式タンクに比べて貯蔵油の蒸発損失を少なくし、蒸気相をなくして安全性を保つが、スロッシング現象に弱い。本事故では液状化現象によるタンクの不等沈下とあいまって浮屋根が激しく振動したために、浮屋根と側壁とが衝突して火花が発生、着火した。火花が発生したのは浮屋根と側壁とのシール機構が金属製であったためで、現在は合成ゴムやウレタンフォーム等のソフトタッチのものに交換されている。

(2)耐震設計の不備

液状化現象を起こす地帯であったこと、海水が流入しやすい 0m 地帯であったことから、タンク等の重量物の基礎地盤の整備不足、配管の地盤沈下に対する冗長性の不足が被害の拡大につながったと考えられる。実際、地盤を改良してあった一部のタンクでは不等沈下による被害が少なかった。また、防油堤も火災初期においては火災の拡大阻止に貢献したが、耐震性の不足から倒壊した。

4. 対処

地震が発生した場合、油の流出を防ぐためにタンク、配管等のバルブを閉め、着火源となりうるボイラー、加熱炉等を停止させる。製油所では大規模な火災に発展してしまうと手のつけようがなくなってしまうので、油の流出、火災の早期発見や、流出した油の回収といった事故拡大防止対策が非常に重要である。

5. 対策

本事故を契機として、以下の対策が取られた。

(1)地盤を改良するためのバイプロフローテーション工法の実施

バイプロフローテーション工法とは、対象とする軟弱地盤にジェット付き振動体(バイプロフロット)を挿入し、振動させ、砂を補給しながら徐々に引き上げることによって周囲の軟弱地盤を締め固める工法である。

(2)浮屋根式タンクの改良

金属製シール機構の全廃、油の流出を防ぐために側壁の高さを上げる等といった改良が行われた。

(3)貯槽支柱の保護

貯槽の支柱を火災から保護するために、厚さ 50mm以上の耐火コンクリートで被覆することが規定された。

(4)配管の耐震性の向上

配管の種類により、バネによる支えを持ったスプリングサポート、フレキシブルな接合方法等が採用されている。また、可能なかぎり地下配管をやめ、地上配管にすることで、事前の不良箇所発見、災害時の迅速な対応等が可能になっている。

(5)防油堤の耐震性の向上

防油堤のジョイント部分をフレキシブル構造とし耐震性を高めてある。万一、これが破損して油が流出した場合には、この外側に設置してある流出油等防止堤が防ぐように二重の対策がとられている。

6. 知識化

・地盤整備に手を抜くな

石油コンビナートはその性質上、地盤の軟弱な海岸沿いに建設される。そのために地盤の改良が不十分な場合、地震でタンクが不等沈下を起こしたり、1974年に発生した「水島のタンク破損による重油流出」のような事故が発生する。

・地震時の動的な状況を想定せよ

タンク本体と緊急遮断弁や配管類が同一の基礎上に設置されていない場合、地震時の地盤挙動によって、配管類が損傷を起こしたり、1995年に発生した兵庫県南部地震における「低温貯槽配管からのLPガスの漏洩」のような事故が発生する。

7. よもやま話

本事故に匹敵するような世界の地震によるタンクの破損、火災事故事例としては次のものがある。

(1)1933年、ロングビーチ地震(アメリカ、カリフォルニア、M=6.3)

(2)1960年、チリ地震(チリ、M=7.8)

(3)1964年、アラスカ地震(アメリカ、M=8.4)

(4)1978年、宮城県沖地震(日本、M=7.4)

(5)2003 年、十勝沖地震(日本、M=8.0)

2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震では、ナフサタンクの全面火災が発生した。“全面火災”とは、タンクの周りから漏れた油に着火し、リング状に燃えるリング火災と異なり、浮屋根が沈み込んでタンクの上面全体が燃える火災である。着火原因は不明であるが、浮屋根が沈んだ原因は長時間にわたるスロッシング現象で浮屋根が破損したため、浮屋根式タンクのスロッシング現象に対する脆弱性が改めて指摘された。また、炎上したタンク以外にも多数のタンクと一部の配管が地震の被害を受けており、いまだに地震対策が完全ではないことを示している。

8. 主シナリオ

1. 調査・検討の不足
2. 環境調査不足
3. 地盤調査不足

4. 製作
5. ハード製作
6. 土木工事
7. 地盤改良不足

8. 破損
9. 変形
10. 液状化現象

11. 不良現象
12. 熱流体现象
13. 石油タンク
14. スロッシング現象

15. 不良現象
16. 化学現象
17. 火花発生
18. 着火
19. 火災

20. 二次災害
21. 損壊
22. 火災延焼
23. 家屋焼失

<参考文献>

新潟地震現地調査報告書(昭和 39 年 9 月 14 日)通商産業省鉱山局

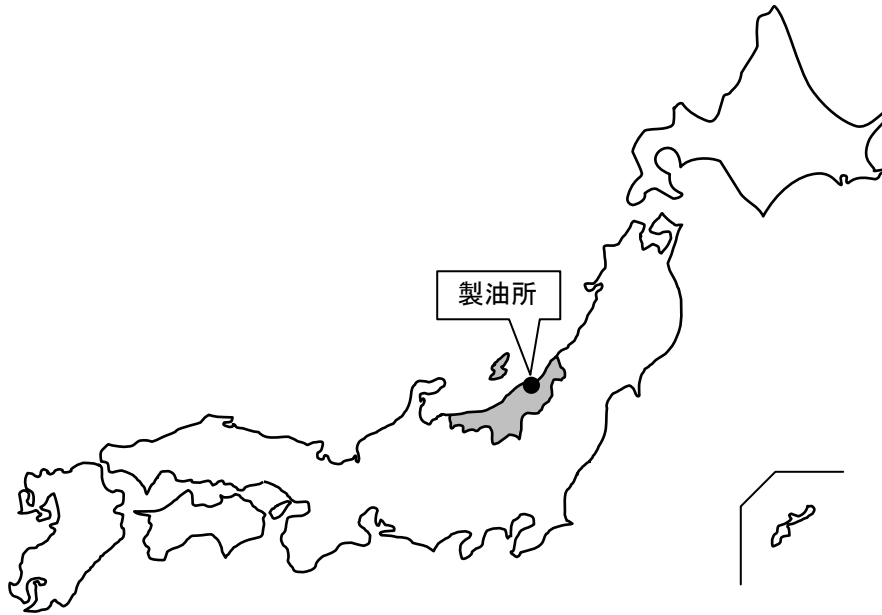


図1 製油所の場所

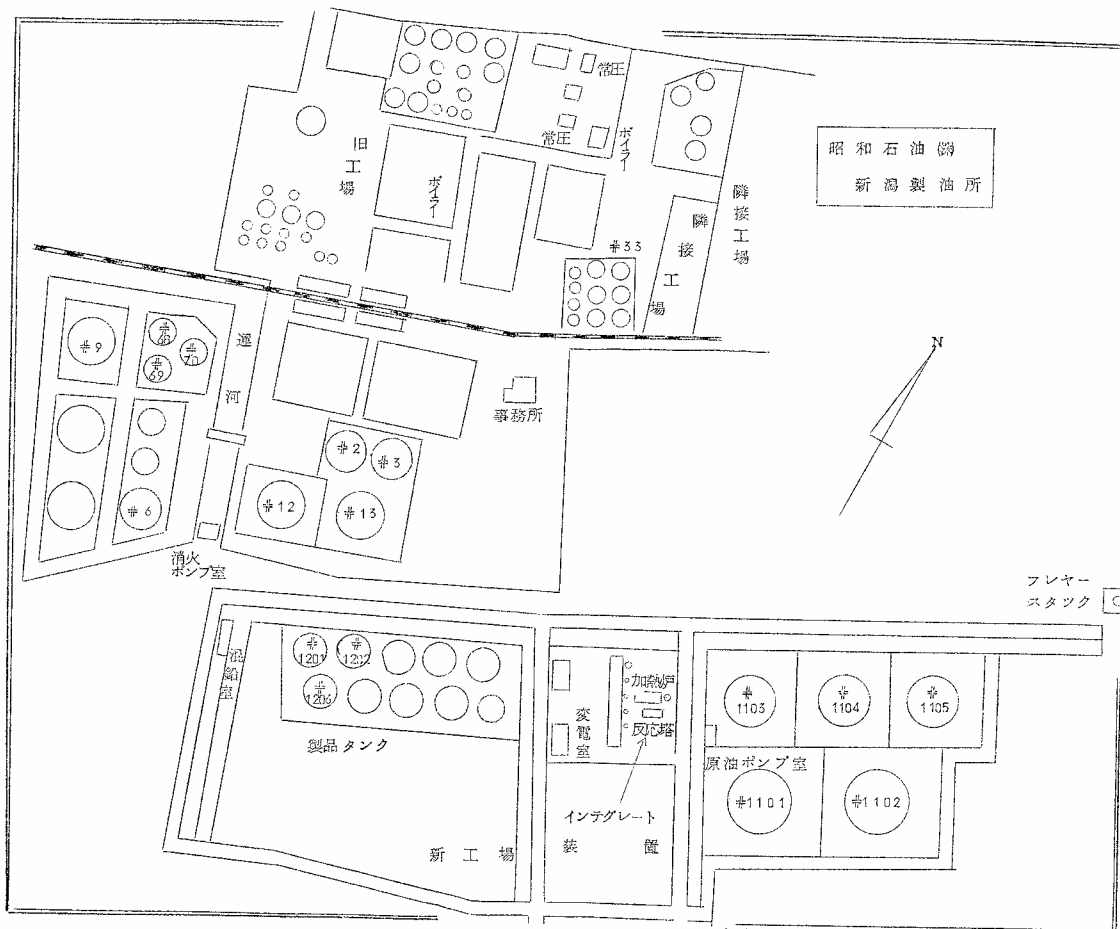


図2 被害を受けた製油所の一例

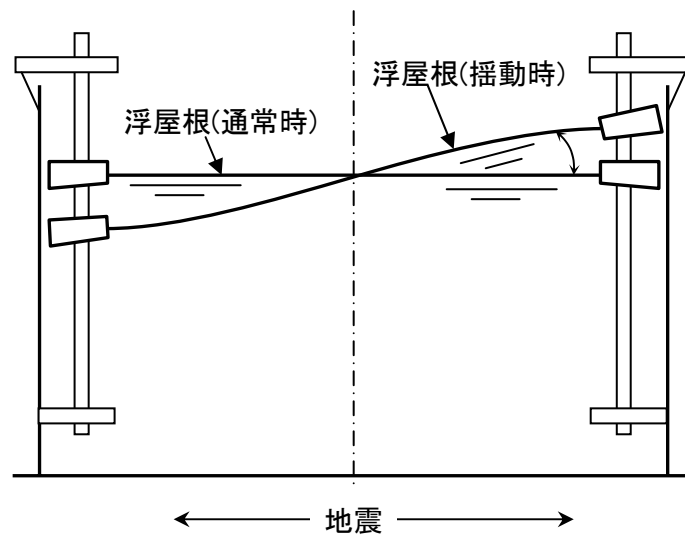


図3 スロッシング現象



日本技術開発(株)ホームページ
(http://www.jecc.co.jp/tech/bumon_head/frame_kanbo.html)より

図4 グランドの液状化(川岸町)



日本技術開発(株)ホームページ
(http://www.jecc.co.jp/tech/bumon_head/frame_kanbo.html)より

図5 液状化現象により浮き上がったマンホール(越後線ガード附近)

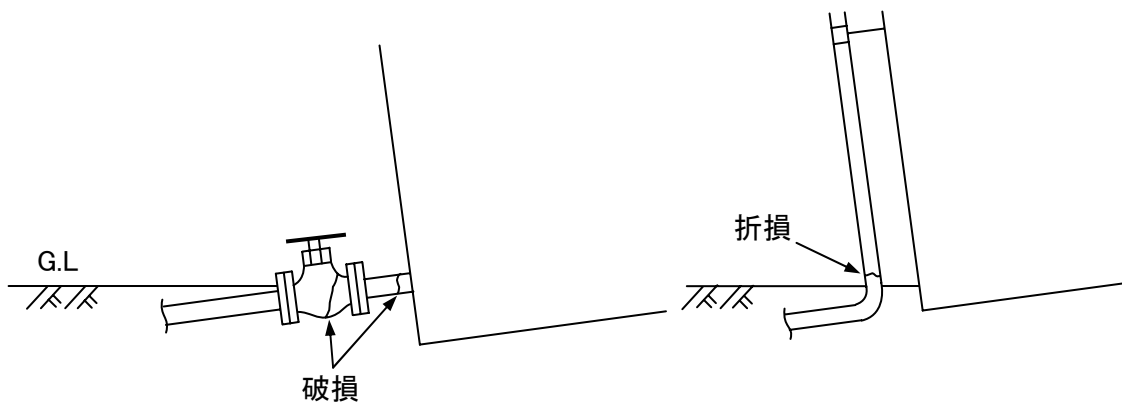


図6 タンク付属配管の破損