

国際シンポジウム「大規模工業地帯への自然災害の影響」の報告

大阪大学大学院工学研究科

教授 加藤 直三

2015年3月11日(水)-12日(木)に、大阪大学中之島センターにて、大阪大学大学院工学研究科、港湾空港技術研究所、京都大学防災研究所の共催、災害科学研究所の協賛として、国際シンポジウム「大規模工業地帯への自然災害の影響」を開催し、ここにその報告をいたします。

1. 開催目的

2011年3月11日の東日本大震災では、大規模な津波によって工業地帯の油貯蔵施設から大量の油が流出し、気仙沼市街地は全焼しました。今後、東海・東南海・南海連動型地震とそれに伴う津波の発生が予測され、東京湾、伊勢湾、大阪湾では大規模工業地帯への災害とそれに伴う有害物質の流出が懸念されています。このような大規模な地震・津波ばかりでなくハリケーンまたは台風による大規模工業地帯への災害とそれに伴う有害物質の流出のリスク評価を行い、その減災対策を取ることが緊急の課題となっています。このシンポジウムは、これらに関係する多方面の研究者、行政、企業を横断的に結び付け、世界の海の安全、ひいては人々の安全を前進させることを目標としています。

2. 話題の種類

講演内容を分類すると以下のようになります。

- i. 世界で起きた大規模な地震・津波ばかりでなくハリケーンまたは台風による大規模工業地帯の被害とその対応の事例報告 5件
- ii. 大規模自然災害に伴う大規模工業地帯の被害とそれに伴う有害物質の流出のリスク評価
リスク評価：6件 技術：9件
- iii. 減災対策 3件

3. 世界で起きた大規模な地震・津波ばかりでなくハリケーンまたは台風による大規模工業地帯の被害とその対応の事例報告

インドネシアの Syiah Kuala University/Tsunami and Disaster Mitigation Research Center の Prof. Syamsidik から、2004年に起きたインド洋大津波から10年後のアチェにおける復興について、土地利用計画の観点から説明があった。2004年以前の土地利用計画では、津波は全く考慮されていなかったが、その後の計画では、海岸地帯での緩衝ゾーン、住宅の移転などの減災対策がとられるようになった。

タイに拠点を置く Asian Disaster Preparedness Center(ADPC)の Wright 氏から、近年、アジアにおいて自然災害が急増しており、日本での東日本大震災やタイでの洪水が起きた2011年では、経

済損失は 3500 億ドルに達したこと、世界の販売の 40%を占めるアジアの化学工業では、Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) (自然災害起因の産業事故) が頻発していることの説明があった。2004 年のインド洋大津波によって、インドネシアやモルジブでは石油タンクが倒壊し、油流出が発生した。その他、1996 年のインドネシアでは落雷によって化学工場に大きな被害が起き、周辺地域への環境汚染が起きている。その他、マレーシアやタイにおいても落雷被害が起きている。インドでは、1999 年にサイクロンによってガス流出事故が発生している。原子力発電所に関して、アジアでは人口密集地帯に建設されているケースが多く、危険な状態にある。

京都大学防災研究所 Prof. Cruz から、2005 年にメキシコ湾を襲ったカトリーナとリタという二つの巨大ハリケーン (カテゴリー5) によるメキシコ湾の石油産業への影響と有害物質流出について、報告があった。カトリーナとリタによって破壊された海洋構造物は、各々 44 基と 69 基にのぼり、その内 45%が設置後 30 年—40 年経過したものであった。構造物本体ばかりでなく、パイプラインや係留装置も大きな被害を受けた。油流出も発生し、カトリーナとリタ合わせて、プラットフォームから 366 か所、パイプラインから 42 か所の油流出があった。

ノルウェーの SINTEF の Dr. Beegle-Krause から、過去のアメリカでの油流出事故の説明があり、沈船の油流出の発見には、ダイバーを使うと巨額な費用が発生すること、1947 年に起きたテキサス市での BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) の発生があったことを述べた。過去の事例から、小さな油流出であっても数が多いと、一つの大きな油流出と同じ程度の被害をもたらすことを学ぶことができると述べた。

大阪大学の牧野氏から、4,2 で述べる「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動の一環として、東日本大震災における港湾内の船舶の行動について、AIS データを用いた解析結果を示した。津波が港に来襲する前に港から脱出できれば、安全は確保できたが、津波が港に来襲したあとに港から脱出を図ろうとすると、押し波と引き波によって操縦不能になり、挫傷に至ることを明らかにした。

海上災害防止センターの萩原氏から、日本における沿岸地帯と海上での災害に対して、災害海上災害防止センターの位置づけについて説明があり、215 の化学コンビナートと、油流出、有害物質流出、火災に対する契約を結び、災害に対する迅速な対応ができるようにしている。また日本における制度上の問題を指摘した。また東日本大震災での各種油流出、有害物質流出、火災について、どのように対応したか、事例の説明があった。

4. 大規模自然災害に伴う大規模工業地帯の被害とそれに伴う有害物質の流出のリスク評価

4.1 リスク評価

イタリア National Research Council, Institute for Research on Combustion の Prof. Salzano から、地震や津波による Natech の被害の特徴として、複合事象が同時に発生し、お互いに影響しあい、色々な安全策の許容範囲を超えて、制御不能になる確率が高くなることを説明した。地盤リスク評価では、地上石油・ガスタンクの転倒、滑動、離脱、ガスタンクと接続するパイプラインの座屈、スロッシング、液状化などの事象が重要となる。また Natech の被害のイベント・ツリーの表現では、被害の要因と被害事象の関係に、ちょうネクタイの考え方をを用いて、リスク評価を

行っている。被害の要因に対して壊れやすさを5段階に分け、被害事象を3段階（一部損失、かなりの損失、完全損失）にわけ、その間の関係を確率的に表現している。地上の加速度をベースに、これまで実際の事象から、係数を決め、リスク評価を行っている。

イタリアの University of Bologna の Prof. Cozzani は、Prof. Salzano と同様に、Natech のリスク評価の定量的表現を扱っている。ただし、同時事象の発生におけるシナジー効果は無視し、各々独立に扱い、それぞれの事象の和としている。具体的に、洪水による Natech のリスク評価を行っている。

ドイツの German Environment Agency の Dr. Fendler は、Natech リスク管理に関する技術規則の開発について説明があった。2002年に発生したドイツでの洪水によって市街地への油流出があった。ドイツでは気候変動の影響によって、洪水、突風、積雪の被害が増大する傾向にある。これらの事象のリスク評価と安全管理は、被害要因解析、被害リスク解析、被害軽減対策の検討、被害軽減対策の選定と行動計画の策定の段階から成り立っている。特徴的な点は、気候変動による影響を、年代を分けて、年が経過するほど、大きくとっていることである。

イタリアの European Commission, Joint Research Centre, Ispra の Dr. Krausmann は、地震による Natech のリスクマップの簡易作成法について提案があった。リスクマップの作成では、科学的ツールモジュール、自然災害と Natech 被害、施設とプロセスユニット、リスク評価のモジュールから成り立っている。例として、イスタンブールでの地震による油流出を扱っている。

京都大学防災研究所の小野教授から、Natech を含んだ港の Business Continuity Plan (BCP) について、従来の企業単独の BCP に対して、港全体の物流のリスク評価が含まれることになり、さらに災害に粘り強いコミュニティを形成するには、地方自治体の参加が不可欠であること、一方、Natech を含んだ港の BCP の考え方の透明性を確保することが重要であることを指摘した。

海上技術安全研究所の柚井氏から、海洋利用における包括的環境影響評価指標を使って、油タンカーの二重船殻構造化を評価する試みが示された。包括的環境影響評価指標は、環境リスクと経済性の概念を統合したものであり、エリアの適正規模（環境収容力）をどれくらい超えた経済活動をしているかを表すエコロジカル・フットプリントという概念と、生態リスク、コスト、ベネフィットを使っている。

4.2 技術

港湾空港技術研究所の菅野氏から、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 中の「レジリエントな防災・減災機能の強化」で実施されている「大規模実証実験に基づく液状化対策技術の開発」について説明があり、石油コンビナートの石油タンクや付属施設の液状化対策技術の検討を行う予定であることが述べられた。

港湾空港技術研究所の富田氏から、東日本大震災における港湾での津波による防潮堤の被害と効果、被害に対する対策、流出がれき、岸壁の被害、海底洗掘、火災の発生、油流出と火災の拡大の報告があった。津波遡上の数値シミュレーションの高精度化にあたり、段波が防波堤に作用する波力に与える影響が大きいことから、津波水槽実験を通して評価を行い、津波浸水高さの予測を行った。またリアルタイムで詳細な津波浸水予測のため、沿岸に設置した GPS 波浪計のデータを用いる手法を提案した。

海上技術安全研究所の原氏から、沈船からの漏出油への水中分散剤の性能について、油に対する分散剤の比を変えて、ピーカー内と縦長水槽を用いて実験を行い、5%が最適であること、分散剤は油の上昇速度の減少と拡散の増加の効果があること、分散剤と混合した船用ディーゼル燃料の上昇速度は、式を用いて表現できることを明らかにした。

港湾空港技術研究所の藤田氏から、国交省における海洋油流出に対する油回収船の体制、港湾空港技術研究所における油回収器の開発、流出油漂流シミュレーション技術の開発、津波によって引き起こされる油流出のシミュレーション技術の開発について、説明があった。

大阪大学大学院工学研究科の加藤から、大阪大学大学院工学研究科専攻横断的研究組織である「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動について説明があった。7グループの研究体制をとっており、(1)地震動による油タンクのスロッシング、(2)津波によって油が流出した際の複数相の流れの実験とシミュレーション、(3)津波水槽における油タンク模型とパイプラインに加わる波力の実験、(4)化学コンビナートに関して、地震動による損害、漏えいガスの拡散、大規模タンクの火災による熱放射解析、(5)東日本大震災における港湾内の船舶の行動に関する AIS データを用いた解析、(6)盛土を用いた津波の浸水対策、(7)津波来週時に津波から石油タンク群を防御するための海底から立ち上がる柔軟鉛直パイプ群である。

神戸大学の橋本氏は、「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動の一環として、地震動による油タンクのスロッシングの数値解析手法の開発と評価、南海トラフ地震による地震動によるスロッシングによる油流出の予測を行うことを説明した。

大阪大学の高木氏は、「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動の一環として、津波によって油が流出した際の流れを複数相（水、油、空気）の流れとして扱う数値モデルを採用し、実験によって数値モデルの評価を行い、石油コンビナートへ適用し、流出油の広がり の推定を行うことを説明した。

大阪大学の青木教授は、「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動の一環として、津波平面水槽を用いて、石油コンビナートを模擬した石油タンク群に加わるレベル2を含む3種類の津波波高（6.96cm, 9.67cm, 10cm）に対する流体力の計測を行った。水平波力と水位、流速との関係、場所による水平波力の違い、鉛直波力と水位との関係、モリソン式に基づく抗力+慣性力と計測値の比較、鉛直波力と浮力との関係を考察した。

大阪大学の向山氏から、「石油コンビナート防災研究イニシアティブ」の活動の一環として、化学コンビナートの安全規則は多くの省庁のものがあ り、統一的でないこと、石油コンビナート施設の損害の原因として、地震動による構造物の崩壊または座屈、津波による装置の損害、液状化による地盤の陥没、傾斜、洪水、隆起があること、漏えいガスの拡散に ALOHA というソフトを用いることでガスの種類による影響や詳細なガス拡散の情報を得ることができ ること、漏えいガスの拡散を抑えるのに水カーテンが有効であること、大規模タンクの火災による熱放射解析について、モンテカルロ法と GUI を組み合わせた方法と数値流体解析手法に方法の特徴の説明があった。

5. 減災対策

東海大学の津金 元教授から、大規模コンビナートにおける地震・津波時の船舶の行動に対する

対策について、色々な損害が船に発生すること、また地上への乗揚げ、漂流なども起きること、このような損害を防ぐには、逃避の早い決断、自船の自航状態の確保、非常時の交通管制からなる緊急時の離棧と船の逃避、係留時の対策、漂流に対する対策、船舶のハードウェアの改良などを挙げた。

大阪大学の常田教授から、盛土を用いた津波の浸水対策について、東日本大震災では盛土がほとんど浸食もされず、津波の浸水に効果的であったこと、模型実験では高密度で不浸透性の盛土は津波来襲時にその内部にほとんど浸水が見られなかったことやジオシンセティックスと天端の補強は盛土の強靱化につながることを示し、石油コンビナートの津波被害を軽減する効果が見込まれることの説明があった。

大阪大学の鈴木氏から、津波来襲時に津波から石油タンク群を防御するための海底から立ち上がる柔軟鉛直パイプ群について、レベル1、レベル2の津波に対する一様流れの中での盛土と組み合わせた模型実験から、柔軟鉛直パイプ群と盛土の組み合わせが石油タンクの水平流体力の軽減に効果的であること、柔軟鉛直パイプとして消防用ホースを用いて流れの中での撓みの計測と計算を行い、レベル2の津波の中でも適切な径のものを用いれば石油タンク群の防御に適用可能であることを示した。

6. 最後に

日本で、初めて石油コンビナートを対象として Natech（自然災害起因の産業事故）に関するシンポジウムを開催したが、国際的な協力関係を築きながら、制度面の国際的な基準作りと減災対策を総合的な立場から推進していく必要があることを、今回の国際シンポジウムの参加者の共通認識として持つことができたと思われる。今後の進展に期待したい。

