

直下型地震と化学プラント

東京大学 環境安全研究センター 教授
安全工学会 地震被害調査委員会 委員長

新井 充 Mitsuru Arai

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災は、東日本にマグニチュード 9.0の地震とそれに伴う津波による甚大な被害をもたらした。特に津波による被害は、福島原発被災の映像とともに大きくクローズアップされたが、一方で、同じ福島県内で500ガル^{※1}を超える直下型地震の被害を受けた化学プラントが存在したことは必ずしも広く知られていない。このような巨大な直下型地震被害を受けた化学プラントは、世界的にも歴史的にも例がない。安全工学会では、震災後の比較的早い時期からこの事実に注目してきたが、今回、被災企業である株式会社クレハの協力を得て、地震被害調査を行うことができたので、簡単に報告する次第である。

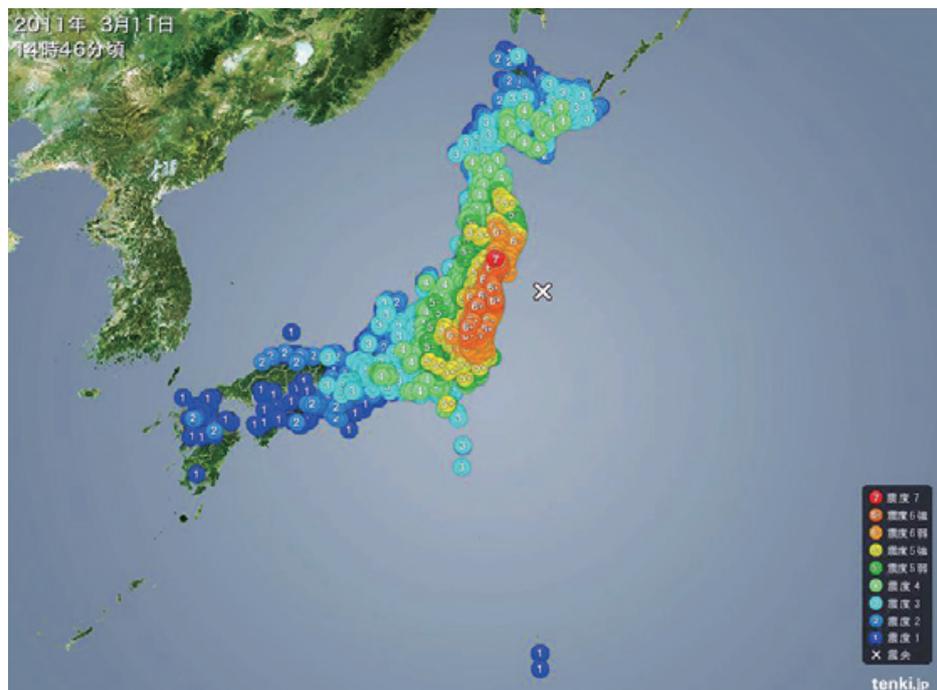
2. 被災状況

(1)3月11日

14時46分に発生した地震は、気象庁発表では三陸沖を震源地としたマグニチュード 9.0(図1)、株式会社クレハいわき事業所(いわき市錦町)(図2)では、震度6、加速度310ガルが記録されている。

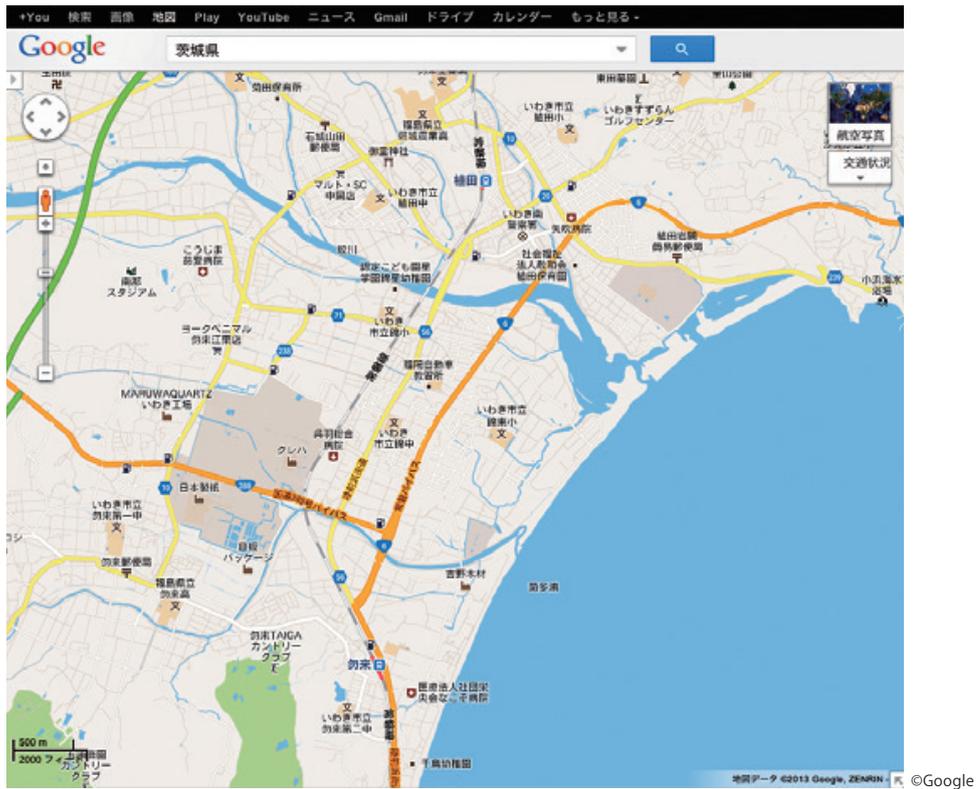
海岸線より2km、海拔5～6mの場所にある事業所では、地震直後、事業所内用水路にて50cm程度の水面上昇を記録したが直接的な津波被害は無く、被害は地震によるもののみであった。人的被害としては、水素ガスホルダ配管からの水素漏洩による爆発の影響で付近の建家の窓ガラス、スレートなどが破損し、それらの破片による顔面裂傷およびプラント潤滑油漏れにより階段にて滑ったこと

図1



※1
ガル (gal)
加速度の単位で人間や建物にかかる瞬間的な力のこと。
地震動の加速度で1秒間にどれだけ速度が変化したかを表す単位。

図2



(3月11日地震による被災状況)

図3 鉄架構柱脚ブレース部破損



図4 ベッセル上部配管の破損



図5 液状化によるパイラック下道路陥没
—パイラック本体(杭基礎)に影響なし



による転倒があった。物的被害は、**図3**～**図5**に示すように鉄架構柱脚ブレース部破損、ベッセル上部配管の破損、液状化によるパイラック下道路陥没などが挙げられる。

ユーティリティに関しては、電気、蒸気、計装空気および水道と、プラント操業に必要なほぼすべてのユーティリティが停止した。これらのうち電気は、東北電力からの供給が15時21分に復旧、蒸気はパッケージボイラにより24時00分に復旧、計装空気は17時00分に復旧、水道の供給は3月14日16時00分に再開された。一方、工業用水および窒素

の供給は停止せず、断水(水道)の間は、工業用水の一部を浄化して浄水として使用した。窒素については、停電時間が短かったことが停止を免れた要因である。また、安定状態を維持するにあたり冷却が必要な過酸化物の触媒があったが、関連メーカーからの冷蔵車の提供があり安全が保たれた。通信手段としては、携帯電話が1週間ほど通話困難となったが、固定電話ならびに無線は問題なく使用可能であった。窒素については、ガスメーカーとの合弁で窒素製造設備を構内に設置し、合わせて液体窒素をホルダーにて所有することで、プラントを安全に停止させるために必要な窒素の供給が絶えなかったことは非常に有効であり、ほかのプラントに参考になると考える。

(2)4月11・12日

11日17時16分に発生した地震は、気象庁発表では福島県浜通りを震源地としたマグニチュード7.1、株式会社クレハいわき事業所では震度7、加速度410ガルが記録されている。

12日14時07分に発生した地震は、気象庁発表では福島県浜通りを震源地としたマグニ

チュード6.3、株式会社クレハいわき事業所(いわき市錦町)では震度7、加速度509ガルが記録されている。震源となったのは、事業所の北西に位置する井戸沢断層および湯ノ岳断層であり、3月11日の地震の影響で活断層化したとみられている。

両日とも津波被害は無く、地震による被害のみであった。また、柵の転倒を避けようとして右手小指骨折という人的被害があった。

物的被害は、**図6**から**図10**に示すようにベッセル上部配管の脱落、鉄架構柱脚部の基礎立ち上がり(アンカーボルト)部の破損、重油タンク2000klスロッシングによる側壁、天板の破損、不等沈下による配管のストレス、500klタンクの底盤部の破損などであった。

ユーティリティに関しては、電気、蒸気、水道および工業用水が停止した。このうち、電気は12日15時00分にディーゼル発電機により供給再開、蒸気は12日にパッケージボイラにより供給再開、水道水は13日に復旧、工業用水は、事業所内の Pond 水を使用することで少量確保できた。計装用空気ならびに窒素は停止せず供給可能であった。なお、通信手段としては、無線基地局が被災したため無線が

(4月11日・12日地震による被災状況)

図6 ベッセル上部配管の脱落



図7 鉄架構柱脚部の基礎立ち上がり(アンカーボルト)部の破損



図8 重油タンク2000kl
スロッシングによる側壁、天板の破損



図9 不等沈下による配管のストレス



図10 500klタンクの底盤部の破損
(アスファルト膨らみ)



使用不能となったほか、携帯電話は通話が困難になったが、固定電話は使用可能であった。

3. 震災対応

(1)3月11日

この日は本社から社長が事業所を訪問していたため、地震直後の速やかな対策本部、現場指揮本部の設置が可能であった。また、地震発生時刻がシフトの交代時間と重なり、

人員が通常の2倍と多かったため、初動対応としての装置の停止措置、現場点検、人員の安全確保の確認などを速やかに行うことができた。

14:46 地震発生

地震の際の加速度が150ガルを超えた時に設備を停止するという事業所ルールに基づき、ボイラーを除く全設備を自動および手動で停止した。(ただし、ボイラーは地震により配管が損傷したため停止)

14:49 本社に対策本部設置。

14:58 現場の水素着火地点付近に現場指揮本部を設置、現場指揮本部はクレハ環境、クレハ病院、関連会社を含む相互協力の下に、災害現場での鎮圧作業について直接指揮を執ることを任務としたもの。要対応箇所が多数あったため、6月までは毎日会議を繰り返し、2011年の7月21日に解散した。

保安停止措置、現場点検、人員安全確保など、20～30分で順調に完了した。連絡は携帯が通話困難であったことから無線を使用した。

(2)4月11・12日

3月11日から1ヵ月後の4月11日17時16分および12日14時07分に、3月11日の地震の余震が発生、これらの地震のマグニチュードは、それぞれ7.1、6.3と3月11日のマグニチュード9.0を下回るものの、震源は福島県浜通りで、いわき事業所の直下に当たることから、いわき事業所における震度は両日とも7、加速度はそれぞれ410、509ガルと、ともに3月11日の記録を上回った。

ただし、プラントの運転再開前で稼働状態ではなかったため、特に緊急措置は必要なかった。

4. 事前準備状況

(1) プラント設備の地震対策について

いわき事業所では、2005、2006、2009年に重要設備および建家の耐震調査を、2008年には地盤の液状化調査を行っている。以下に各プラントの耐震補強の状況を示す。

Aプラント('50年代)

：鉄筋コンクリートの中性化箇所の更新
(1994年：重合建家、2004年：乾燥建家)

Bプラント('80年代)

：柱更新・補強、H形鋼サイズアップ、
コンクリート劣化補修

Cプラント('70年代)

：耐震調査実施(2005～2007年)

Dプラント('80年代)

：柱の補強(2010年)

Eプラント('50年代)

：建屋の耐震補強
(補強部材設置、コンクリート根巻き：
2010年)

Fプラント('70年代)

：撤去、新規プラントに更新(2010年)

今回の地震で倒壊や損壊などの大きな被害は見られなかったことから、ここに挙げた耐震補強がある程度は有効であったと言える。

(2) 体制など

いわき事業所では、地震、異常事象、ユーティリティ停止などの緊急事態に対して以下の準備を行ってきた。

- ・職長判断による停止権限(自動停止に優先)
- ・熱媒加熱炉に感震器(インターロック)を設置、150ガル超で自動停止
- ・ボイラーを除く各プラントの感震計に基づき、150ガル超で停止
- ・プラント毎の机上での検討、訓練の実施
- ・起こり得る緊急事態シナリオに基づく年2回の教育・訓練
- ・災害想定結果の緊急時対応計画への反映
- ・緊急車両のルート、避難経路の規定
- ・耐震診断結果をリスクの大きさに応じて設備更新計画に反映
- ・地盤調査、リスク想定に基づく優先順位に応じた地震対策の実施
- ・リスクに応じた緊急遮断弁や事業所全体のシャットダウンの考え方
- ・ユーティリティ喪失時の重要設備への影響度解析実施
- ・シナリオを設定した危機対応訓練の実施

以上の準備が行われてきたことにより地震発生後の迅速な対応が可能となり、被害の軽減化が図られたと考えられる。

5. 教訓(反省点も含む)

緊急電話・メール連絡システムである「お伝え君」は必ずしも十分に機能しなかったが、震度5弱で管理職、重要部門スタッフが出社するというルールは機能した。また、窒素供給が途絶えなかったことが安全確保に大きく役立った。

3月11日はプラント操業中であったが、構内基準により自動シャットダウンおよび手動緊急シャットダウンオペレーションにより、反応の暴走や火災、爆発はなく、無事にプラント停止することができ、二次災害を免れたと考えられる。

また、4月11日・12日は3月11日発生の大地

震に対する復旧工事中であり、プラント停止中であったことが幸いしていると考えられる。

復旧工事の件数を比較しても、4月11日・12日の直下型地震による被災件数の増加が顕著である。

	Aプラント	Bプラント
3月11日震災	77件	68件
4月11・12日震災	138件	97件

社員食堂にて食事の提供を行ったが、復旧作業に当たって効果的であった。社員食堂での食事は関連会社の社員にも提供された。食環境に関しては、自宅より快適だった可能性もある。

設備的には、計画的な耐震補強工事の成果が見られた一方、未対応のところは被害があった。また、岩着杭と摩擦杭、杭基礎と直接基礎の違いが明確になった。

6. その他(特筆すべきこと)

今回の震災では、大きなプラント破損や危険有害物の漏洩は起きなかった。塩素が漏洩を免れたのは、40年前の塩素漏洩事故後の対策が有効であったためと考えられる。3月11日はシフトの交代時期だったため、人員が2倍でマンパワーが豊富であったため復旧が容易になった。

復旧については、社長裁定によりいわき事業所に全権を委ね、そのことを全社に告知した。これにより指揮系統が明確になり、決済事務や予算の請求や執行が容易になったものと推定される。

良い意味での企業城下町意識が強く、社員が極めて積極的、協力的だった。

4月11日・12日には、3月11日をしのぐ直下型地震に襲われ、12日の加速度は500ガルを越えた。しかしながら、4月11・12日は、3

月の震災により休業中だったため、地震被害が小さく済んだ。

復旧については、協力会社との連携が有効であった。また、傘下の病院の開放、社員クラブの風呂の一般への提供等の社会貢献、ボランティア活動が、企業イメージを高めたと思われる。

7. 今後の対策

- ・窒素ガスの確保
- ・水利の確保
- ・耐震補強・老朽化施設対策
- ・安全弁の機能点検頻度をあげる
- ・過酸化触媒対応
- ・社員への連絡方法の確保
- ・社内での連絡方法の確保(衛星電話など)
- ・リスクの洗い出し
- ・ボイラー配管の地震対策

8. まとめ

震災前より計画的に耐震補強工事を実施していたことが、今回の大地震にも大きな被害をもたらさなかった一因であるが、建築基準法、高圧ガス保安法、消防法などの現行耐震基準を満足している設備においてはほぼすべての健全性が示された。

ただし、今回の被災状況の傾向から考え、特にプラント配管、タンク基礎、地盤(液状化、不等沈下)に関しては、設備の重要性、取り扱い物の危険性などを加味して耐震設計(立体配置など、強度以外の観点、揺れ対策として配管の固定や支持方法の見直しも重要)を考慮すべきと考える。

あらいみづる

1982年3月東京大学大学院工学系研究科反応化学専門課程博士課程修了、工学博士、新日本製鐵株式会社基礎研究所勤務を経て、1991年東京大学講師、1993年東京大学助教授、2007年9月より現職。