S101011

日本機械学会による機械設備等の地震被害調査活動*

藤田聡^{*1}, 中村いずみ^{*2}, 古屋治^{*3}, 渡邊鉄也^{*4},
皆川佳祐^{*5}, 森下正樹^{*6}, 鎌田崇義^{*7}, 高橋義考^{*8}

JSME investigation activity on seismic damage of mechanical structures by the 2011 Great East Japan Earthquake

Satoshi FUJITA^{*1}, Izumi Nakamura^{*2}, Osamu Furuya^{*3}, Tetsuya Watanabe^{*4}, Keisuke Minagawa^{*5},
Masaki Morishita^{*6}, Takayoshi Kamada^{*7}, and Yoshitaka Takahashi^{*8}

^{*1} Tokyo Denki Univ. Dept. of Mechanical Engineering
5, Senju-Asahi-cho, Adachi-ku, Tokyo, 120-8551 Japan

In the 2011 Great East Japan Earthquake, serious damage occurred in power plants and industrial facilities. The Japan Society of Mechanical Engineers (JSME) has set up an investigation committee and investigated the seismic damage of mechanical equipment in these industrial facilities for the purpose of understanding the situation and causes of the damage in such facilities and improving of preparedness for the future earthquakes. From the questionnaire investigation and many site investigations, it is found that the damage of industrial facilities was mainly caused by one of the following causes or a combination of thereof: "strong seismic motion", "soil deformation", and "tsunami". In the questionnaire investigation, many organizations mentioned that the means of communication and provisions for electrical outages/shortages should be improved in the future tasks. Although the earthquake caused a great deal of damage, seismic measures taken before the earthquake could mitigate damage of some facilities.

Key Words : Damage investigation, Industrial facilities, 2011 Great East Japan Earthquake

1. 緒 言

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では日本の観測史上最大となる Mw9.0 を記録し、地震とその後発生した巨大津波により、死者約 16,000 名、行方不明者約 3,000 名が生じた。また、経済被害は、福島第一原子力発電所の事故の影響を除いて約 16 兆 9,000 億円と推定されており⁽¹⁾、これらの東北地方太平洋沖地震により発生した被害は東日本大震災と命名された。

日本機械学会では、今回の震災を受け被害データの保存や災害に伴って発生した諸問題、顕在化した課題の分析、それらの解決に向けた方策の提言などを目的として東日本大震災調査・提言分科会（主査：白鳥正樹・横浜国立大学教授）を立ち上げた。当該分科会には、7 つのワーキンググループ（WG）が設置され、機械設備類の被害調査や津波被害メカニズムの評価、地震や原発事故等に対する危機管理問題の検討などが進められている。このうち、機械設備類の被害調査は主に WG1：機械設備等の被害状況と耐震対策技術の有効性（主査：藤田聡・東

^{*1} 正員，東京電機大学（〒120-8551 東京都足立区千住旭町 5 番）

^{*2} 正員，防災科学技術研究所

^{*3} 正員，東京都市大学

^{*4} 正員，埼玉大学

^{*5} 正員，埼玉工業大学

^{*6} 正員，日本原子力研究開発機構

^{*7} 正員，東京農工大学

^{*8} 正員，いわき明星大学

E-mail: sfujita@cck.dendai.ac.jp

京電機大学教授)により実施されている。本稿では、WG1のこれまでの活動概要および機械構造物の被害状況の概要について報告する。

2. 機械構造物の被害調査と被災状況

2・1 アンケート調査

前述の東日本大震災調査・提言分科会では、活動の一環として日本機械学会の特別会員企業等にアンケート調査を行った。アンケート調査は地震から約2ヶ月後に実施し、約1,000社に送付し約230件の回答を得た。また、アンケート調査に回答いただいた機関の中で、現地調査に同意いただいた機関にはWG1メンバにより実地調査と聞き取りを行った。図1(a)にアンケートの回答結果をGoogle Map上にプロットした結果を、また、図1(b)に県別のアンケート回答数を示す。なお、アンケート結果の県別分類は回答者の連絡先となっている県を基本としているが、アンケートの回答中に被災地が明記されている場合はそちらに従った。図1(a)において、赤いマークは何らかの被害が報告されている場所、緑のマークは被害なしと報告された場所を示している。機器類が地震等により損傷したという報告は、北海道から愛知県まで分布していた。図1(b)では、横軸に県名を、縦軸にアンケートの回答数を示しているが、県名のうち赤字で表記しているものは災害救助法の適用地域である(平成23年3月24日、厚生労働省発表に基づく)。以下、本稿ではこれらの地域を「被災地」とする。アンケートの回答は被災地の中でも茨城、千葉、東京等の地域からの回答が多く、その一方で岩手、宮城、福島、特に津波被害の大きかった沿岸部からの回答数は少ないというような地域的な偏りがあるが、自由記載を含めたさまざまなアンケートの回答および実地調査の聞き取り、WG1メンバの個別実施調査等から、東日本大震災における被害の特徴やいくつかの知見が得られた。

東日本大震災の特徴の一つとして、被災地域が広域だったことが挙げられる。被災地となった地域は日本の国土総面積の約12%にのぼる(1995年に発生した兵庫県南部地震の被災地は国土総面積の約0.5%)。このため、災害時の代替拠点として想定していた異なる地域の工場等が同時に被災し、事業の継続に支障をきたしたケースが見られた。また、地震で損傷した機械構造物を修理あるいは新規製造するための工場も同時に被災し、復旧までに時間を要した事例もあった。アンケートの回答やその後実施した実地調査での聞き取りなどからは、復旧要員や器具等の不足、また、地震直後から発生した電気や工業用水、燃料等の不足も事業の早期復旧の障害となっていた。アンケートでは、物理的な機械設備等の被害がない場合でも、サプライチェーンの被害により生産活動に影響を受けたという回答が多く見られた。サプライチェーンの被害による影響は、地震による直接的な被害を受けていない西日本の企業からも報告されている。被害を受けたと回答した多くの機関で、被害の把握までには1

(a) Seismic damage distribution of industrial facilities
(Add on the Google Map)

(b) The number of the questionnaire response by region

Figure 1. Result of JSME questionnaire

日～数日要していた。アンケートは地震から約2ヶ月後に実施したが、その時点でも被害の全容が把握できていないという回答がいくつかの機関から寄せられていた。

以下では、東日本大震災における機械設備類の物理的な被害と、復旧作業や地震後の生産活動に影響した事項に大別して特徴を述べる。

2・2 東日本大震災による被災状況

2・2・1 機械設備類の物理的被害

機械設備類の被害は、大別して地震動、地盤変状、津波のいずれか、もしくはその複数の要因により発生していた。地震動による被害は、機器の設置された基礎部、支持構造物、配管、クレーン、シャッター、昇降機等で多く発生していた。什器類の転倒、スロッシングによる貯水プールや液体溶融はんだの溢流もいくつかの機関で確認された。地盤変状に伴う被害では、液状化による基礎部の沈下、埋設配管の被害が非常に多かった。港湾周辺では液状化による側方流動により、クレーンの走行レールにずれが発生し走行不能となるような影響が生じていた。津波による被害としては、津波による機器の流失、漂流物の衝突、冠水、水圧、浮力等によるものが挙げられる。また、潮水の冠水による電気系統の短絡被害が多く発生した。また、津波により運ばれてきた大量のがれきが施設内に残され、施設の復旧活動に大きな障害となったことが報告されている⁽²⁾。

これらの被害の具体的事例は、文献(3)～(8)で報告する。

2・2・2 復旧作業や地震後の生産活動に影響した事項

アンケート調査および聞き取り調査では、機械設備類の物理的な被害ではないが、復旧作業や地震後の生産活動等に影響した事項や今後の教訓も多く挙げられていた。以下にそれらの項目を述べる。

(1) 地震時の連絡

地震直後の電話等の輻輳、停電のため、多くの機関が従業員同士、あるいは工場と本社との間の通信に支障が生じたと回答しており、通信手段の確保を今後の課題に挙げている。アンケートの回答からは、携帯電話および携帯メールが従業員への連絡手段として比較的使用された傾向があった。工場と本社との間の通信に専用回線を有している場合、おおむね有効に機能しているようであったが、地震直後の停電中には使えなかったと回答した機関もいくつかあった。

(2) 従業員対応

多くの機関で地震後に生じた支障として、従業員の通勤を挙げている。これは、車通勤の多い地域では、地震直後から1～2週間程度の間続いたガソリン不足の影響であり、電車通勤の多い地域では、計画停電の影響で交通機関が混乱したためである。また、帰宅困難者を想定した、食料品の備蓄を課題としてあげているところもある。大人数の従業員を要する工場などではトイレ対策が問題点として挙げられていた。また、(1)に挙げた通信手段の途絶のため、出張中の職員を含め、従業員の安否確認に課題が生じたと回答した機関も多くあった。

(3) 災害対応マニュアル

アンケートに回答した機関のうち、約60%で事前に災害対応マニュアルを準備しており、そのうち80%が多少なりともそのマニュアルが役に立ったと回答していた。また、事前に準備していなかったと回答した機関の多くは今後整備の必要性があると回答している。災害対応マニュアルの課題で挙げられていた点は、想定被害の規模、食料・水・燃料の備蓄、長時間の電源喪失、防災訓練であった。災害対応マニュアルを整備していた機関でも、多くの場合、東日本大震災における商業用電源の停止は想定以上に長時間となり、非常用電源の燃料不足への対応、周辺インフラの長期途絶の対策を講じる必要があると回答している。また、マニュアルの整備とあわせ、防災訓練の実施も地震後の対応には効果を発揮したようだった。

2・2・3 事前対策の奏功事例

東日本大震災では多くの産業関連施設や機械設備類が被害を受けたものの、過去の地震経験などに基づいた事前対策が功を奏した事例も確認された。多くの施設で事前に機械類や施設内什器を床や壁等に固定しており、おおむねこれらの対策は有効であった。ただし、固定ボルトが機器の通常荷重に対するとめつけのみを目的とし、

耐震的に十分な太さでない場合はボルトの伸びや折損、それらに伴う機器の移動などが生じており、機器設置の際には通常稼働状態における荷重だけでなく、地震荷重を考慮した施工を行うことが必要であると考えられる。

実地調査を行った中で、ある企業では、地震時に可燃ガスは遮断、窒素ガスは通気となるように設計しており、かつ、可燃ガスの遮断については、震度計を設置し通電がなくても機械的に遮断するような弁で対策していた。この対策は東日本大震災で有効に働いたとのことである。実際、アンケート調査では多くの機関が地震直後の停電や、地震後に継続した電力不足に関連した問題を経験している。アンケートにおいて地震直後の停電の影響として挙げられているものの多くは連絡手段への支障、情報の収集および発信への影響であったが、今後考慮すべき課題として、冷却水の停止対応や毒劇物コントロールへの配慮の必要性を挙げている機関もあり、電気が遮断された際に安全側に移行するような施設設計は今後検討されるべきであろう。施設の設計思想が地震対策として有効だった事例としては、工場建屋にベランダを設置するように設計していたという例がある。適切に設計されたベランダは、建屋外壁の落下による人や機械設備類への被害を防止するとともに、避難の際に廊下とあわせた二方向避難や復旧活動でのルート確保に有効であった。

3. 結 語

2011年3月11日の東日本大震災による、産業施設や機械設備類の被害概要についてまとめた。日本機械学会の東日本大震災調査・提言分科会で実施したアンケート調査や実地調査から、機械設備類の被害は地震動、地盤変状、津波のいずれかもしくはそれらの複合要因で生じていることがわかった。また、アンケート調査結果からは、多くの企業が通信手段の確保と電力途絶への対策を今後の課題として挙げていた。東日本大震災では多くの被害が発生しているが、適切に設計された事前対策は今回の地震でも有効に働いており、被害軽減の効果が確認された。

謝 辞

東日本大震災で被災された方に心からお悔やみ、お見舞いを申し上げます。本稿で述べたアンケート調査および実地調査では、地震後の復旧活動に多忙な時期にもかかわらず、被災された機関の多大なご協力をいただいた。これらの調査にご協力いただいた機関に厚くお礼を申し上げます。また、日本機械学会にはアンケートの実施、WG1の活動について支援をいただいた。アンケート結果のとりまとめでは東京都市大学古屋研究室の学生に多くご協力いただいた。記して感謝の意を表する。

文 献

- (1) 内閣府緊急対策本部, "平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について", 平成24年4月3日発表(2012).
- (2) 火力原子力発電, "特集 震災からの復興(第二弾)被災状況報告 東北電力(株)仙台火力発電所, 新仙台火力発電所と常磐共同火力(株)勿来発電所", 火力原子力発電, Vol.62, No.6(2011), pp.1-7.
- (3) 安田進, 藤田聡, "東日本大震災における関東の地盤被害状況", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).
- (4) 中村いずみ, 藤田聡, 皆川佳祐, "東日本大震災における工場の被害状況(その1, 地震と被害の概要)", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).
- (5) 藤田聡, 下秋元雄, 宮田毅, "東日本大震災における昇降機の被害状況(地震被害の概要, 復旧状況と提言-その1)", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).
- (6) 渡邊鉄也, 小林信行, 河田政憲, 原田武重, "東北地方太平洋沖地震におけるクレーンの被害", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).
- (7) 藤田聡, 皆川佳祐, "東日本大震災における半導体製造工場の被害状況(地震被害の概要, 復旧状況と提言-その1)", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).
- (8) 鈴木浩平, 藤田聡, 船橋信之, 田村吉章, "東日本大震災における火力発電施設の被害状況(地震被害の概要, 復旧状況と提言-その1)", 2012年度日本機械学会年次大会(発表予定)(2012).