

平成28年熊本地震によるボイラー・圧力容器への 影響に関するアンケート調査結果

一般社団法人日本ボイラ協会 地震対策委員会委員長
(京都工芸繊維大学大学院教授)

曾根 彰
地震対策委員会委員
(東京電機大学准教授)
古屋 治

1. はじめに

平成28年(2016年)4月14日21時26分に熊本県熊本地方でマグニチュード(M)6.5(深さ約10km)の地震(前震)が発生し、その約28時間後の4月16日にはM7.3(深さ約10km)の地震(本震)が発生した。これにより、熊本県から大分県にわたる広範囲で揺れが観測され、強震動としては、前震では益城町において1580gal、本震では大津町において1791galの大きな加速度が観測された。発震機構は、内陸部の地殻内の浅い震源の横ずれ断層型地震であった。当該地震の大きな特徴の一つは、4月14日から4月16日の間に震度6弱を上回る地震が7回観測され、前震から1か月の間に震度4以上の地震が計128回と群発した点である。一連の地震は「平成28年(2016年)熊本地震」と命名され(熊本地震という。)、内閣府によれば熊本地震の人的被害は死者161名、負傷者2692名、住家被害は全壊8369棟、半壊・一部損壊178860棟、非住家被害は公共建物325棟、その他4327棟となっている(12月14日現在)。

内陸部の地震でM6.5以上の地震の直後にさらに大きな地震が発生したのは、日本の地震観測史上(明治18年(1885年)～)初めてであり、また、一連の地震で震度7が2回観測されたのも現在の気象庁震度階級(1996年～)になってから初めてであった。

このような特徴的な地震動が発生し、木質構造物を含む多くの構造物で被害がもたらされたこと

から、一般社団法人日本ボイラ協会(以下「ボイラ協会」という。)の地震対策委員会では、ボイラー及び圧力容器への熊本地震の影響について把握するためにアンケート調査を実施した。本報告はこの調査の結果を取りまとめたものである。

被災復興のお忙しい中に本調査アンケートにご協力いただいた事業場の皆様に感謝の意を表します。

2. 調査の方法

平成28年7月に熊本県内のボイラー・第一種圧力容器を有する事業場のうち、ボイラ協会が性能検査を行っている310事業場を対象にアンケート用紙を送付し、回答をお願いした。

ボイラーについては保有するボイラーの種類、伝熱面積の大きさ、最も被害の大きかったボイラーの被害の状況を調査した。①ボイラー本体、②燃焼装置、③制御盤・制御装置、④附属設備・附属装置(節炭器・過熱器、モーター・ポンプ、安全弁等、配管、給水タンク、水処理装置/タンク、押込送風機、油タンク・油配管、重油加熱器)、⑤感震器・燃料遮断装置、⑥煙突・煙道・ダクト、⑦配線、⑧基礎等(基礎、アンカーボルト、脚部)、⑨ボイラー建屋への影響について行なった。

圧力容器については保有する圧力容器の種類、内容積の大きさ、最も被害の大きかった圧力容器の被害の状況を調査した。①圧力容器本体、②燃焼装置・加熱装置、③制御盤・制御装置、④附属

設備・附属装置（モーター・ポンプ、タンク、チラー・水処理、安全弁等、配管）、⑤感震器・遮断装置、⑥タンク（原料タンク（置場）、製品タンク（置場））、⑦配線、⑧基礎等（基礎、アンカーボルト、脚部）、⑨圧力容器が設置されている建屋への影響について行なった。

被災の程度は、a 損傷無、b 軽微：操業に支障なし、c 中破：修理復旧、d 大破：修理不能・廃棄・交換等に分類した。

その他に、⑩外部からのユーティリティ（ボイラーについては電気、ガス、ガス以外の燃料、水、水処理剤、圧力容器については電気、ガス、蒸気、水、原材料）、への影響の有無、⑪被災後から復旧までの期間、⑫被災が前震であったか本震以降であったかを含め、被災の時期についても回答をいただいた。

3. 調査結果

アンケートをお願いした310事業場の内193事業場からご回答をいただき、回収率は62%であった。193事業場のうち、186事業場がボイラーを保有し、162事業場が圧力容器を保有していた。

3. 1 ボイラー関係

3. 1. 1 ボイラー関係の調査結果

保有するボイラーとしては小型貫流ボイラーが約半数を占めており、伝熱面積も小さいものが多かった。

最も被害の大きかったボイラーの震度別の被害状況を図3.1.1（P.35～36）ボイラーの被害状況の①～⑩に示す。震度は気象庁より公表された市区町村別の震度を用いている。ここで図3.1.1⑤感震器関係は装置無を含めているが、その他は調査対象の設備装置等を有していたもののみについての被害状況としている。図3.1.1④-1は附属設備・附属装置（配管以外）に関し、節炭器・過熱器、モーター・ポンプ、安全弁等、給水タンク、水処理装置／タンク、押込送風機、油タンク・油配管、重油加熱器について被害状況を調査し、その損傷程度ごとの合計数を記載している。図3.1.1⑧は基礎等に関し、基礎、アンカーボルトおよび脚部について被害状況を調査し、その程度ごとの

合計数を記載している。また、外部ユーティリティの障害としては電気、ガス、ガス以外の燃料、水、水処理剤について支障の有無を調査し、その程度ごとの合計数を記載している。各項目とも、損傷していない（装置なしを含む）が約90%以上であった。

次に、震度と被害状況の関係を各図から検討する。「ボイラー本体」、「燃焼装置等」、「制御盤・制御装置」は、震度6強以上でもほとんど被害がなかった（①、②、③）。しかしながら、「附属設備・附属装置等（配管以外）」は震度6弱以上では大破の被害（震度6弱：約0.4%、震度7：約7.1%）を受けた（④-1）。「附属設備・附属装置の配管」は震度6弱以上では震度6弱（中破：約6.3%）、震度6強（中破：約6.0%、大破：約1.2%）、震度7（中破：約25%）の被害を受けた（④-2）。「感震器・燃料遮断装置」については、作動せず（震度5強以下：約30%、震度6弱：約4.3%、震度6強：約9.5%）があったが、震度7では全て作動していた（⑤）。さらに、「煙突・煙道・ダクト」では、中破（震度5強以下：約2.0%、震度6弱：約6.3%、震度7：約25%）が見られた（⑥）。「配線」では、ほとんどの震度で軽微な損傷であった（⑦）。「基礎等」の損傷では、震度6弱（中破：約1.4%）、震度6強（中破：約1.6%、大破：約1.2%）が見られた（⑧）。「ボイラー建屋」の損傷では、震度6弱（中破：約2.1%）、震度6強（中破：約2.4%、大破：約1.2%）が見られた（⑨）。「外部ユーティリティの障害」では、震度6弱と6強で支障あり（未復旧）が各1件ずつあったが、ほとんどの場合、復旧済であった。

また、配管と基礎の被害等については、具体的には以下のようなものがあった。

- ・ボイラーは簡易ボイラーを設置しており、本震後に圧力容器タンクよりの配管の途中が一部破損し、水漏れがひどくなった（修理を行なった）。
- ・ボイラー本体でなく、貯湯タンクの基礎、アンカー、脚部が大きく損傷し、タンクが傾いたことで、ボイラー～タンク間、タンク～各所への配管に強制変位が加わり破壊された。
- ・ストレージタンクの基礎のみの損傷で、約15cm位動いた。基礎の土台とアンカーボルト

の交換を行なった。

- ・ガス貯蔵タンクおよびガスタンク、冷却用水タンク(15t)を固定するアンカーボルトが、前震、本震にて曲がり、半分ほど引き抜けた。

3. 1. 2 ボイラー関係の調査結果のまとめ

以上、今回の前震、本震で大きな震度を記録した熊本地震のボイラーに関する被害状況をまとめると以下ようになる。

- ・ボイラー本体は、震度6強以上でもほとんど損傷がない。
- ・ボイラー本体以外の附属設備・附属装置等のほとんどの機械設備においては、震度5強以上で軽微、中破の被害が出ている。
- ・ボイラー本体以外の附属設備・附属装置等の配管、基礎、アンカーボルト等が、震度6強以上で大破の被害が生じた。

なお、被災の時期としては、前震(4/14)が約13%、本震(4/16)以降が約27%であったことを記す。

また、被災後から復旧までの期間は、被害なしが全ての震度の合計で約65%であり、1ヶ月以内では約28%、それ以上および未復旧は約7%であった。図3.1.2(P.36)に示すように震度が増大するに従い1週間、2週間以内などの短期間での復旧割合が増える傾向にあり、早期の復旧が行なわれたが、震度が大きいほど復旧が遅れたと思われる。震度6弱、震度6強の震度領域では、2ヶ月以内、もしくは2ヶ月以上など長期にわたる復旧を要した事業場があり、今後、対策技術の在り方を考える必要がある。

今回の熊本地震のボイラーに関する被害状況から得られた教訓としては、以前から言われたように剛体構造のボイラー本体は問題ないと考えられる。ただし、ボイラー本体以外の附属設備・附属装置等、特に本体の配管、基礎、アンカーボルト等が被害を受けたので、それらの耐震化の強化を検討する必要がある。

3. 2 圧力容器関係

3. 2. 1 圧力容器関係の調査結果

保有する圧力容器としては第一種圧力容器と第

二種圧力容器が約86%を占めている。内容積の大きさとしては、 0.1m^3 から 5m^3 までが約66%を占めている。最も損傷が大きいものとしては、第一種圧力容器と第二種圧力容器がほとんどであるが、集計数合計と比べて損傷の台数は小さい。両者とも、震度が大きくなるにつれて被害の数は多くなっている。さらに、大きさとしては、 0.1m^3 から 5m^3 までの圧力容器の被害が約66%と多かった。この場合も、震度が大きくなるにつれて被害の数は多くなっている。圧力容器の震度別の被害状況を図3.2.1(P.36~37)圧力容器の被害状況①~⑩に示す。ここで図3.2.1④-1, ④-2, ⑤, ⑧, ⑩の内容はボイラーの場合と同様である(附属設備・附属装置: モーター・ポンプ, タンク, チラー・水処理, 安全弁等, 配管, 外部ユーティリティ: 電気, ガス, 蒸気, 水, 原材料)。各項目とも、損傷していない(装置なしを含む)が約90%以上であった。

次に、震度と被害状況の関係を図から検討する。「圧力容器本体」は、震度6強以上でもほとんど被害(震度6強で中破: 約3.9%)がなかった(①)。「燃焼装置・加熱装置」, 「制御盤・制御装置」と「附属設備・附属装置等(配管以外)」は震度6弱, 6強で若干軽微な被害を受けた(②, ③, ④-1)。「配管」は震度6弱(中破: 約6.7%), 震度6強(中破: 約6.7%), 震度7(大破: 25%)の被害を受けた(④-2)。「感震器・燃料遮断装置」については、ほとんど装置なしであったが、作動せず(震度5強以下: 約20%, 震度6弱: 約2.3%, 震度6強: 約4.1%)があったが、震度7では全て作動した。この理由については、感震器・燃料遮断装置の設置位置や実際の震度の関係があると考えられるが、不明である。さらに、「タンク置場では震度6強(中破: 約9.1%)の被害があった(⑥)。「配線」では、震度6強(中破: 約1.6%)の被害があった(⑦)。「基礎等」については、震度6弱(中破: 約0.77%, 大破: 約1.5%), 震度6強(中破: 約4.6%), 震度7(中破: 約33%)の被害であった(⑨)。「圧力容器が設置されている建屋」では、ほとんどが軽微な被害であるが、震度6強(中破: 約8.2%)の被害があった(⑨)。「外部ユーティリティの障害」については、震度6強(大破:

0.8%)の被害があった(⑩)。具体的には、配管と基礎の被害等については、ボイラーと同様な被害状況であった。

3. 2. 2 圧力容器関係の調査結果のまとめ

圧力容器に関する被害状況をまとめると以下のようになる。

- ・圧力容器本体は、震度6強以上でもほとんど損傷がない。
- ・圧力容器本体以外の附属設備・附属装置等のほとんどの機械設備においては、震度6弱以上で軽微、中破の被害が出ている。
- ・圧力容器本体以外の附属設備・附属装置等の配管、基礎、アンカーボルト等が、震度6弱以上で大破の被害が認められた。

なお、被災の時期としては、前震(4/14)が約13%、本震(4/16)以降が約30%であったことを記す。

また、被災後から復旧までの期間としては、被害なしが全ての震度の合計で約65%であり、1ヶ月以内では約27%、それ以上および未復旧は約8.5%であった。図3.2.2(P.37)に示すように早期の復旧が行なわれたが、震度が大きいほど復旧が遅れたと思われる。

今回の熊本地震の圧力容器に関する被害状況から得られた教訓としては、以前から言われたように剛体構造の圧力容器本体は問題はないと考えら

れる。ただし、圧力容器本体以外の附属設備・附属装置等、特に本体に附属する配管、基礎、アンカーボルト等が被害を受けたので、それらの耐震化の強化を検討する必要がある。

4. おわりに

地震大国の我が国では、いつ・どこでも地震が生じる危険性がある。これらの地震から災害を低減し、財産・生命を守ることが必要である。今回の熊本地震の被害に関するアンケート調査結果からの教訓がボイラー構造物、圧力容器構造物の地震対策に関わる方々の一助になれば幸いである。

最後に、被災された方々、未復旧の方々の早期の復旧・復興をお祈り申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 「平成28年(2016年)熊本地震」(平成28年4月14日21時～)、平成28年12月26日現在、震度1以上の最大震度別地震回数表、気象庁公開資料。
- 2) 平成28年(2016年)熊本地震の評価(平成28年5月13日公表)、地震調査研究推進本部公表資料。
- 3) 熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について(12月14日18:00現在)、内閣府公表資料。

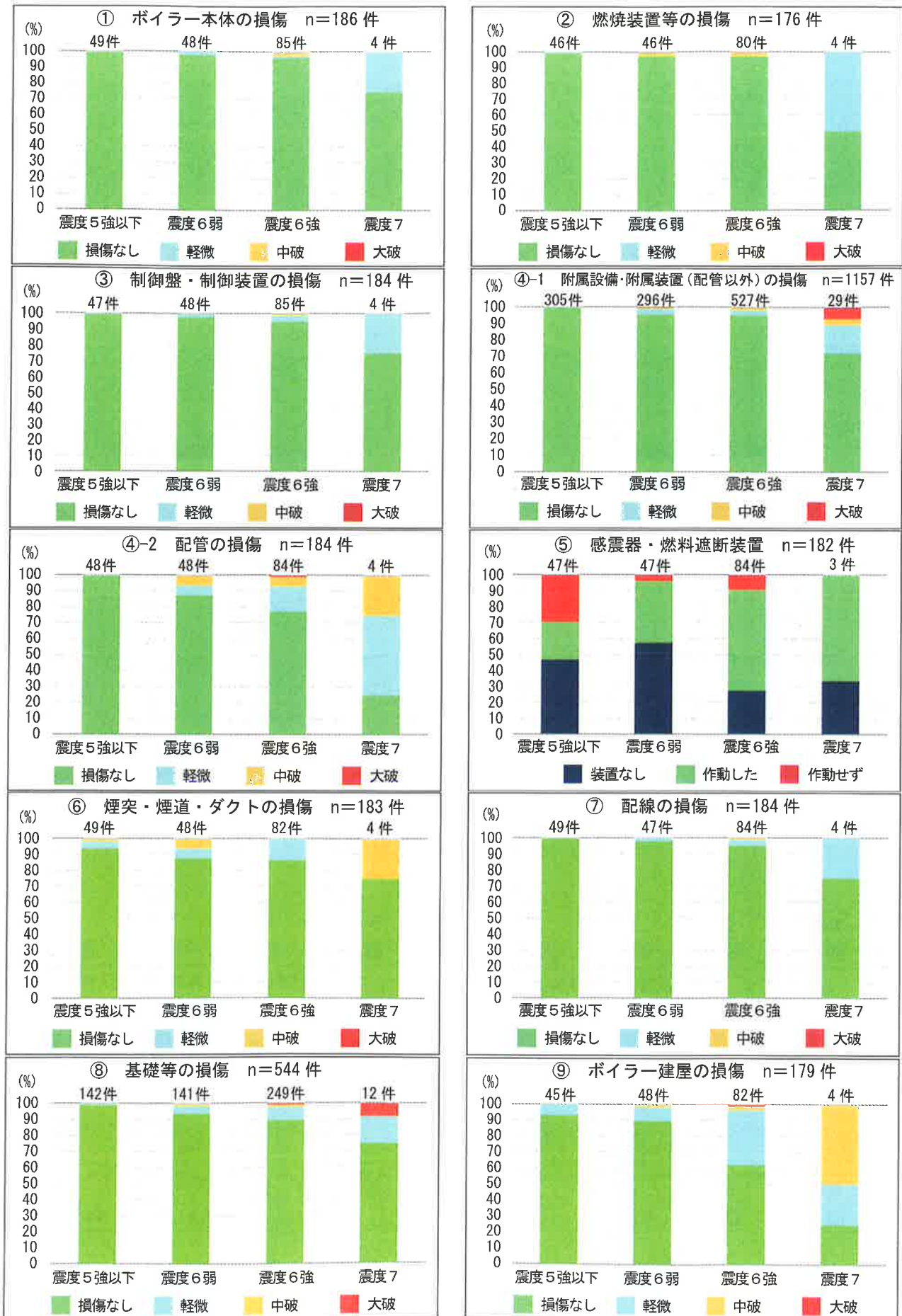


図3.1.1 ボイラーの震度別の被害状況 (次ページに続く)

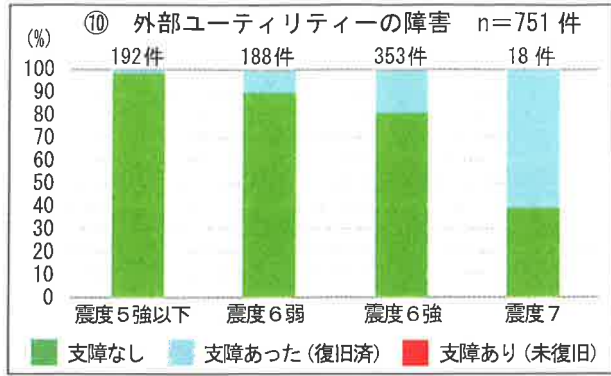


図3.1.1 ボイラーの震度別の被害状況 (続き)

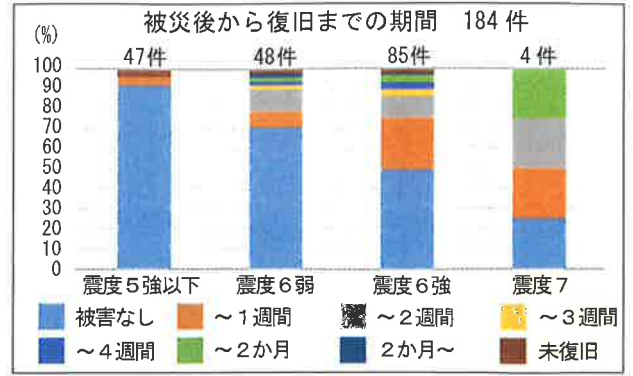


図3.1.2 被災後から復旧までの期間 (ボイラー)

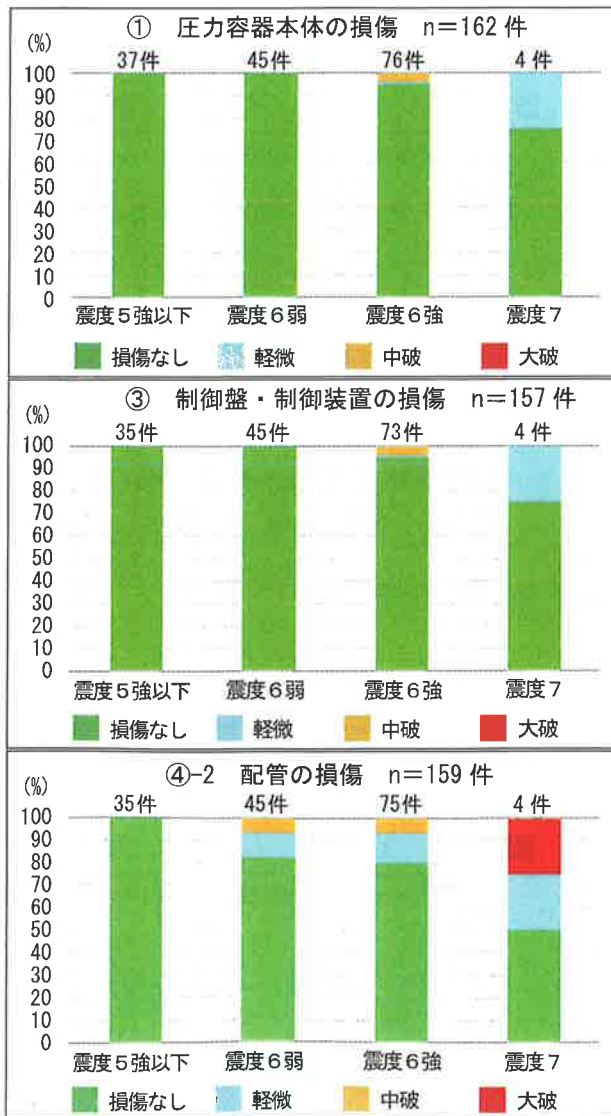
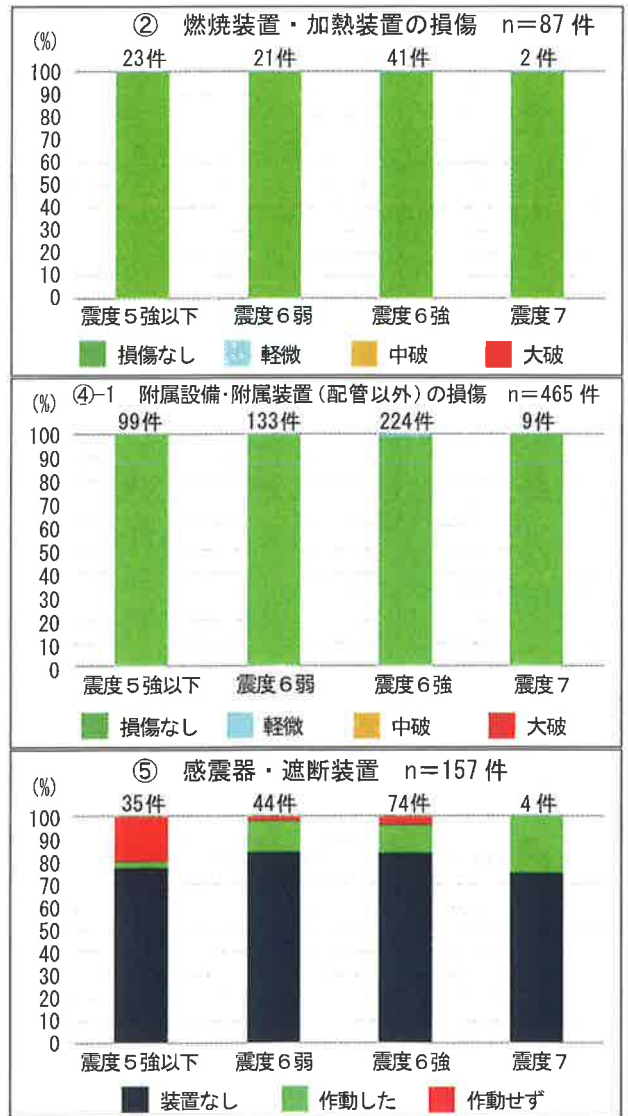


図3.2.1 圧力容器の震度別の被害状況 (次ページに続く)



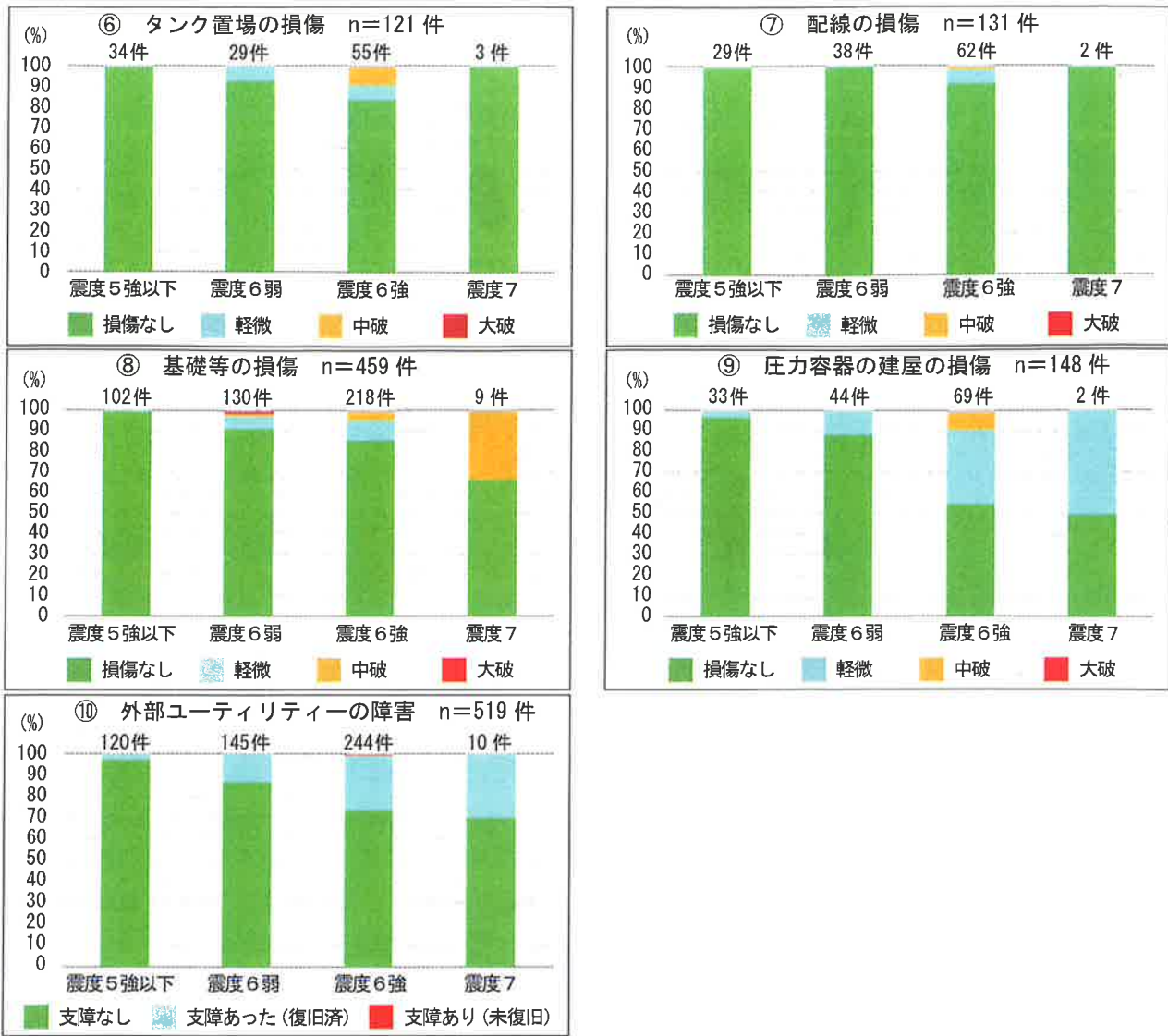


図3.2.1 圧力容器の震度別の被害状況 (続き)

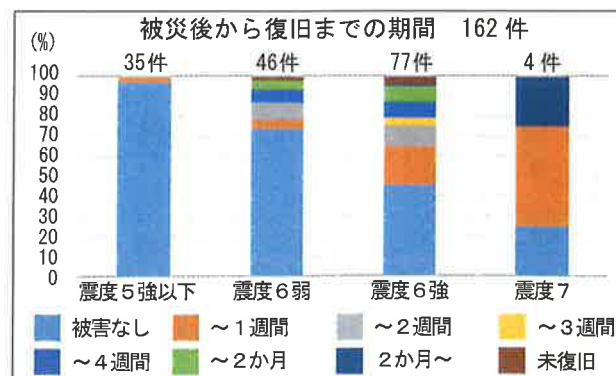


図3.2.2 被災後から復旧までの期間 (圧力容器)