

教訓ノート1-5

1. 構造物対策

重要施設防御



GFDRR
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



世界銀行

著者

遠山正人、相良純子：建設技術研究所
石渡幹夫：世界銀行

教訓ノート 1-5

1. 構造物対策

重要施設防御

東日本大震災は複合的な被害を伴う災害となった。巨大地震が引き金となり、未曾有の規模の津波、さらに原子力事故が発生した。重要施設は、発生確率が低くても複合的となる災害から防御される必要がある。ひとたび災害が発生すると、被害が波及し人的・社会経済・環境など、取り返しのつかない影響を及ぼす恐れがある。

知見

複合災害による、重要施設への深刻な被害

東日本大震災は、観測史上前例のない巨大地震によって引き起こされた。しかし、単に地震災害にとどまらず、この地震が引き金となり、未曾有の規模の津波、さらに原子力発電所事故が立て続けに発生した。また、防災上、重要な施設、例えば病院、学校といった公共施設にも被害が及んだため、緊急対応能力が低下した。さらに、原子力発電所や工業施設等の重要施設が破壊されたため、波及的に被害が発生し、人・社会・経済・環境に深刻な影響が生じた。こうした波及被害から、確率が低くても影響の大きい災害に対する日本の災害リスクを管理する態勢の脆弱性が明らかとなり、重要施設をあらゆる規模の災害から守ることの必要性が明らかとなった。

庁舎 日本の地方自治体は、災害時の人命救助と住民への支援において、第一義的な責任を負う。しかしながら、東日本大震災においては、沿岸の多くの自治体が地震と津波により破壊され、構造物、施設および人員に多大な被害を受け、迅速な緊急対応を講じる能力が失われた。

図1：東日本大震災後の自治体庁舎の移転

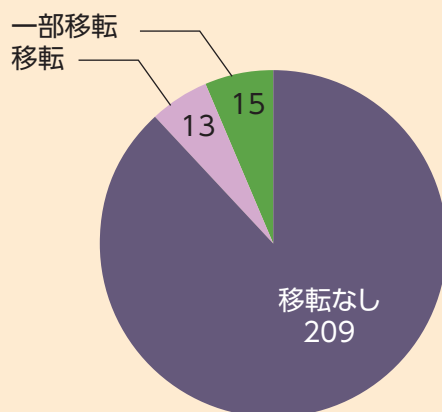


図2：大槌町庁舎



内閣府の調査では、震度6以上の地震に襲われた237の市町村のうち、約12%が一部または全部の移転を余儀なくされた（図1）。岩手県大槌町では、庁舎が巨大津波に呑み込まれ、緊急対応にあっていた町長も含め、多くの町職員の命が失われた（図2）。そして、5カ月間、町長が空席となった。

防災・避難施設 防災・避難施設は、災害時に住民を守るのに重要な役割を担っている（Box 1）。岩手県の11の沿岸市町村では、411カ所の避難所（地震直後に住民が避難する場所として指定された避難場所で、長期滞在する避難所とは異なる）のうち、48カ所が津波で浸水した。最大の死傷者数を数えた都市のひとつである陸前高田市では、避難所の半数以上が浸水した。市の体育館は避難所に指定されており、津波が押し寄せてきた

Box 1：天使の声



南三陸町役場の女性職員が、防災無線を通じて住民に高台に避難するよう呼びかけ続けた。恐怖と不安は感じとれるものの、この女性の声から人々は勇気を得て、数え切れない人々の命が救われた。この女性は、津波に呑み込まれる最後の瞬間まで放送を続けた。だが、彼女は家に帰ることはなかった。2011年9月には結婚が予定されていた。南三陸町では合計で39名の職員が死亡または行方不明とされている。高さ12mのこの建物は、1960年のチリ地震の際の津波で2.4mの高さまで浸水した危険区域に位置していた。

出所：首相官邸および消防庁

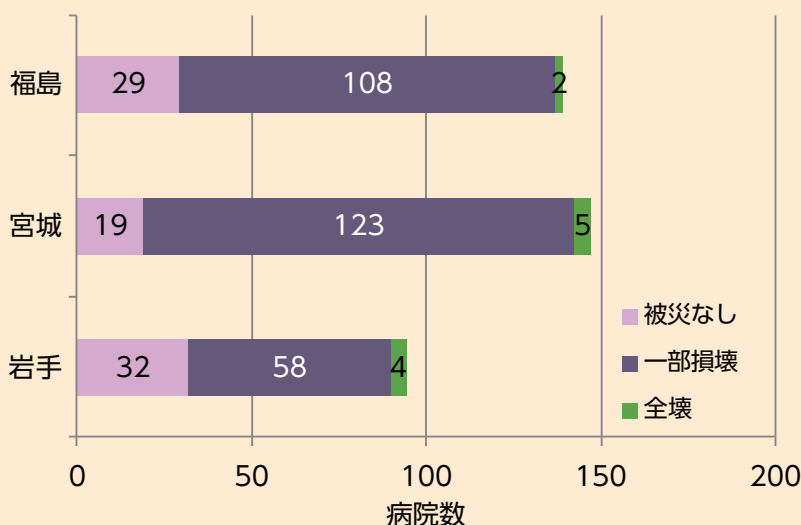
図3：陸前高田市体育館



時、80名以上の住民がここに避難してきていたが、生存者はごくわずかだった（図3）。

保健・社会福祉施設 医療面での対応能力を喪失すると、死傷者数は増大し健康上の被害も拡大するため、保健・社会福祉施設も防御される必要がある。厚生労働省によれば、約80%の病院が、地震と津波により破壊されたか深刻な被害を受けた（図4）。さらに、

図4：福島、宮城、岩手県内の東日本大震災で被害を受けた病院



12%以上の社会福祉施設（老人ホーム、児童施設、障害者その他社会的弱者の施設）も、震災の被害を受けた。

工業用施設 東北・関東地方にある9カ所の精油所のうち、6カ所が操業停止を余儀なくされた。9カ所のうち2カ所では火災が発生した。千葉県のある精油所では、液化石油ガス（LPG）タンクを支えていた支柱が壊れタンクが損傷し、LPG漏出につながった。漏出したLPGに発火し、爆発が引き起こされ、タンクに次々と火が拡大した（図5）。6名が負傷し、17基あったタンクがすべて損傷を受け、さらにパイプラインと道路も被害を受けた。爆発で発生した火災とがれきにより、周囲の建築物や車両が損傷を受けた。近隣の住宅地では、窓や雨戸、屋根その他が爆風で損傷を受けた。この精油所の事故は、人々の生活が滞り緊急復旧の妨げとなった燃料不足の一因にもなった。

損傷したタンクは、耐震基準を満たしていたものの、地震発生時には定期点検の準備のために、一時的に軽量のLPGの代わりに水が充填されていた。タンクが持ち上がった状態を支える柱は、地震でこのタンクの重量を受け止めることができず、結果損傷した（図6）。

この事故を受けてLPG施設の調査を行った政府委員会は、以下を提言した。

1. タンク支柱に関するガイドラインの見直し

図5：精油所で漏出したLPGの発火

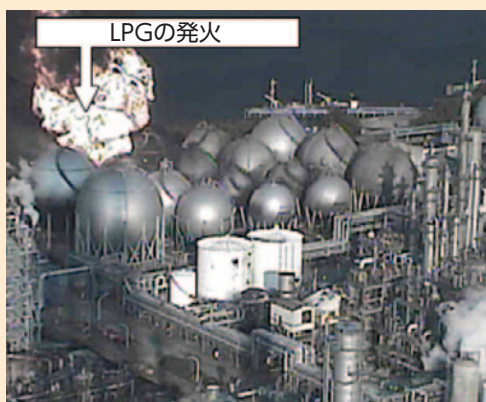
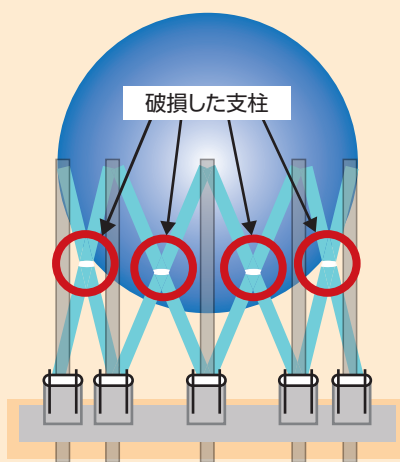


図6：破損した支柱によるLPGタンクの崩壊



2. 民間企業による施設の安全の確認、政府によるモニタリング
3. リスク評価および液状化対策を民間企業が講じる
4. 政府の調査に従った震災リスクの再評価

文化財 文化庁によれば、700以上の国指定文化財（記念物、歴史的建造物および名勝）が、地震と津波により深刻な被害を受けた。数多くの国宝、重要文化財、特別史跡も

被災した。幸運にも、国宝級の文化財で被害を受けたものはほとんどない。しかしながら、復旧に長期間を要する文化財も多く、いくつかは永久に失われてしまった。

震災により、文化財に取り返しのできない被害または損失が生じると、例えば観光業に立脚した地場産業に深刻な悪影響をもたらされたり、住民の地域に対する誇りが失われたりする可能性がある。補強工事には文化を意識し、歴史的建造物の文化的価値を維持するため、本来の材料や地元の材料を使用すべきである（図7）。補強工事は、記念物または建造物の歴史的価値を損なう形で行われるべきではない。文化的価値を損わずに工事を行うことができない場合には、工事を実施する代わりに観光客などの立ち入りを禁止すべきである。1995年の阪神・淡路大震災後に、日本政府は、文化財の耐震に関する指針を制定し、耐震診断の実施と、国宝および重要文化財の補強工事に着手した。

福島第一原子力発電所事故の波及被害

計14基の原子炉を有する4カ所の原子力発電所が、3月11日の地震の震源地の近傍に位置していた（図8）。地震により、すべての操業中の原子炉が自動停止した。地震発生から1時間以内に、巨大津波がすべての発電所敷地を直撃し、そのうちいくつかに被害をもたらした。最も甚大な被害を受けたのは、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所であった。福島第二では、安全関連の機器が失われたが、通常および緊急電源は、完全とはいえぬものの津波後も利用可能であった。他方、福島第一では、安全関連の機器の

図7：常光寺改良工事



出所：文化庁

大部分が失われ、外部および緊急電源もほとんど完全に失われた。これにより原子炉の冷却機能が失われ、結果としてメルトダウンが起こり、放射性物質が放出された（図9、10）。


福島第一原発事故は、これまで社会的に重大な影響をもたらしている。福島県の約16万人の住民が避難し、うち6万人以上が福島県外に出た。多くの住民が、放射線汚染により長期間にわたって帰宅できない状況となった。

農産物の中には、高レベルの放射線が検出されたものもあり、地元の農産物が安全でないとの風評被害を受けることとなった。新築アパートの建設工事に使用されるコンクリートに放射性材料が混入されたため、居住者が放射線に曝露される事例もあった。

政府は、福島周辺の汚染地域を除染し、健康リスクを軽減するために、断固とした措置を取ってきた。2013年度までに、除染作業とがれき処分に1.15兆円の予算を配分している。原発事故の長期的に見た環境・健康面での影響については不明である。政府は、今後30年間にわたって、福島県民の健康状態についてモニタリングしていく予定である。

福島原発政府事故調査委員会は、災害リスク管理に関する基本的な考え方の枠組み（パラダイム）の転換が求められているという点を強調している。同委員会の中間報告は、以下のように指摘している。

図8：震源地近くの原子力発電所とその緊急停止モード



| | | 緊急停止 | 冷水停止 |
|------|------------------------|-------|------|
| 女川 | Unit 1 524 MW, 1984- | ✓ | ✓ |
| | Unit 2 825 MW, 1995- | ✓ | ✓ |
| | Unit 3 825 MW, 2002- | ✓ | ✓ |
| 福島第一 | Unit 1 460 MW, 1971- | ✓ | |
| | Unit 2 784 MW, 1974- | ✓ | |
| | Unit 3 784 MW, 1976- | ✓ | |
| | Unit 4 784 MW, 1978- | | |
| | Unit 5 784 MW, 1978- | 定期点検中 | ✓ |
| | Unit 6 1,100 MW, 1979- | | ✓ |
| 福島第二 | Unit 1 1,100 MW, 1982- | ✓ | ✓ |
| | Unit 2 1,100 MW, 1984- | ✓ | ✓ |
| | Unit 3 1,100 MW, 1985- | ✓ | ✓ |
| | Unit 4 1,100 MW, 1987- | ✓ | ✓ |
| 東海第二 | Unit 1 1,100 MW, 1978- | ✓ | ✓ |

出所：内閣府

図9：福島第一原発の事故原因



出所：東京電力を基に修正

図10：福島第一原発



出所：東京電力

「この事故の発生およびその後の対応について生じた問題の多くは、以下の三つが大きく影響していると考えられる。

- **津波によるシビアアクシデント対策の欠如** 東京電力は、今回のような津波によりシビアアクシデントが発生することを想定した上で、それに対する措置を講じることがをしなかったし、規制関係機関も同様であった。今回の津波のように、確率的にその発生頻度が低いと評価された事象であっても、発生した場合には被害規模が極めて大きくなると予想されるものについては、リスク認識を新たにし、それを無視することなく、必要な対策を講じておくことが必要である。
- **複合災害という視点の欠如** 原発事故が複合災害という形で発生することを想定していなかったことは、原子力発電所それ自体の安全とそれを取り巻く社会の安全の両面において、大きな問題であった。複合災害を想定した対応策の策定は、今後の原子力発電所の安全を見直す上で重要なポイントとなる。
- **全体像を見る視点の欠如** これまでの原子力災害対策において、全体像を俯瞰する視点が希薄であったことは否めない。そこには、「想定外」の津波が襲ってきたという特異な事態だったのだから、対処しきれなかったという弁明では済まない、原子力災害対策上の大きな問題があった。」

教訓

- 多く重要施設は、耐震補強その他の措置により、大規模地震から十分に防御されていた。
- 重要施設または災害に弱い施設は、最悪の事態に耐え得るように設計される必要があった。建設予定地の評価や施設の設計段階で津波のリスクが考慮されても、過小評価されていたことがあった。
- 原発その他重要施設は、あらゆる自然災害のリスクに鑑みて慎重に評価される必要があり、この評価は、最新の知識および技術に基づき定期的に見直される必要があった。例えば、福島第一原発のような重要施設の機能不全は、短期的な影響ばかりでなく、長期的な社会、経済さらに環境面での問題を引き起こす。

Box 2：女川原子力発電所への津波の影響

東北電力女川原子力発電所は、2011年3月11日に起きた地震の震源地から約120km西に位置する。女川原発では、津波が13mの高さに到達したが、発電所の構造物および機器類には、深刻な被害はなかった。

1号機が1970年代に建造された時には、発電所敷地は、海拔14.8mに設定されていた。文献調査や聞き取り調査からは、女川原発敷地の最大津波高さは約3mと推定されていたが、14.8mが適切と判断された。

この時点から、津波のリスク評価は、最新の所見や最新式の津波シミュレーションを用いて何度も見直され、その都度、施設の津波に対する安全性が確認されてきた。最新の設計基準津波は、13.6mとされていた。女川原発敷地では1mの地盤沈下が発生したが、3月11日では主要施設は浸水しなかった。

しかし、2号機では、海水の取水の立て坑でポンプが施設の他の部分よりも下に位置していた。この結果、海水が潮位計を通してポンプ室まで浸入し、緊急用発電機が浸水し、使用不能になった。

原発敷地内の建物は、家が津波で流された約400名の地元住民の避難所として使用された。この住民たちは、原子力発電所に3カ月間滞在した。

途上国への提言

東日本大震災の波及的被害から、重要施設をあらゆる規模の災害から防御することの重要性が明らかになった。重要施設に対するリスクを軽減し、複合災害の取り返しのつかない深刻な影響を防止するために、以下が提言される。

重要施設の特定 重要施設を特定し、最悪の事態に対して十分に防御される必要がある。重要施設には、病院、政府庁舎、避難場所、学校、また救助作業、避難、緊急対応に使用される施設が含まれる。さらに、原子力発電所や精油所といった、さまざまな部門に波及的に被害を引き起こしかねない施設も含まれる。防災計画には、これら施設の機能およびもたらし得るリスクが記載される必要がある。

重要施設の評価 災害対策にて重要な機能を果たす施設は、耐久性に関して「ストレステスト」が施される必要がある。過去の災害規模に基づいた安全性の確認といった単純な評価であっても、災害に備える上で有益である。可能な限り、複合的な災害を含め、自然

災害のリスクが慎重に評価される必要がある。できればリスク評価は、最近の災害統計のみならず、過去の歴史的史料や将来の予測も反映すべきである。また、こうした評価と評価手法は、定期的に更新される必要がある。

重要施設の防御 重要施設はあらゆる自然事象のリスクから防御される必要がある。さらに、複合被害の可能性は、施設設計において考慮される必要がある。なかでも建築規準は建築物その他重要構造物にとって最重要事項とすべきである。

複合災害への備え リスクの高い施設は防災計画で取り上げる必要がある。予測以上の規模の災害からの復旧復興計画が策定される必要がある。また、さまざまな災害シナリオに基づき、避難訓練が行われる必要がある。

実施枠組みの確立 消防その他の防災機関による定期検査が確立される必要がある。土地利用規制、建築規準、消防の立ち入り検査等について、ガイドラインが制定され、モニタリング態勢が整備され、実施の主体・責任が明確にされなければならない。このためには、適切な立法、組織、人材の整備が求められる。

著者

遠山正人、相良純子：建設技術研究所
石渡幹夫：世界銀行

参考文献

Agency for Cultural Affairs. 2011. *Damages to Cultural Properties in the Great East Japan Earthquake*.
http://www.bunka.go.jp/english/pdf/2011_Tohoku_ver14.pdf

Central Disaster Management Council. 2011. *Report of the Committee for Technical Investigation on Countermeasures for Earthquakes and Tsunamis Based on the Lessons Learned from the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake*

Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations. 2011. *Interim Report*.

Nuclear Emergency Response Headquarters. 2011. *Report of Japanese Government to IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety--Accident at*

TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations.

http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html

東北電力株式会社（2011）「女川原子力発電所における津波評価・対策の経緯について」

<http://www.nsc.go.jp/senmon/shidai/jishin/jishin4/siry04-2.pdf>

松尾豊史（2012）「原子力安全を支える土木技術について」『土木学会誌』97（4）：
95-97.