

「東日本大震災合同調査報告書 “機械編”」を読んで



上田技術士事務所
上田和男 UETA Kazuo
(金属部門)

1. はじめに

この合同調査報告書“機械編”（体裁 B5版（冊子体：提言・報告書概要掲載，DVD：提言・報告書本文））は，日本機械学会が作成したものである．作成に当たっては，阪神・淡路大震災の折にまとめた報告書に倣い，日本地震学会，日本地震工学会，土木学会，日本建築学会，地盤工学会，日本都市計画学会，日本原子力学会，および日本機械学会の8学会からなる「東日本大震災合同調査報告書編集委員会」に参加して，合同調査報告書の一卷として発行されたが，委員会では今回の調査結果は内容がきわめて多岐にわたり，また図やカラー写真等の多用されているため，これを冊子とDVD版として発行された（2013年7月31日初版発行；一般社団法人日本機械学会）．

東日本大震災合同調査報告書編集委員会委員長は和田章東京工業大学名誉教授である．日本機械学会東日本大震災調査・提言分科会主査は白鳥正樹横浜国立大学名誉教授である．

東日本大震災合同調査報告刊行予定は，次の通りである．

共通編（3編）

共通編 1 地震と地震動（幹事学会：日本地震工学会，日本地震学会編集協力）

共通編 2 津波の特性と被害（幹事学会：土木学会）

共通編 3 地盤災害（幹事学会：地盤工学会）

土木学会編（8編）（幹事学会：土木学会）

土木編 1 土木構造物の地震被害と復旧

土木編 2 土木構造物の津波被害と復旧

土木編 3 ライフライン施設の被害と復旧

土木編 4 交通施設の被害と復旧

土木編 5 原子力施設の被害とその影響

土木編 6 緊急・応急期の対応

土木編 7 社会経済的影響の分布

土木編 8 復興

日本建築学会編（11編）（幹事学会：日本建築学会）

建築編 1 鉄筋コンクリート造建築物

建築編 2 プレストレストコンクリート造建築物／鉄骨鉄筋コンクリート造建築物／壁式構造・組積造

- 建築編 3 鉄骨造建築物／シェル・空間構造
- 建築編 4 木造建築物／歴史的建造物の被害
- 建築編 5 建築基礎構造／津波の特性と被害
- 建築編 6 非構造材／材料施工
- 建築編 7 火災／情報システム技術
- 建築編 8 建築設備・建築環境
- 建築編 9 建築社会システムと震災／集落計画
- 建築編 10 建築計画
- 建築編 11 建築法規／都市計画

地盤工学会編（3編）（幹事学会：地盤工学会）

- 地盤編 1 地盤構造物の被害，原因検討，復旧
- 地盤編 2 被災調査の記録（資料編）
- 地盤編 3 地盤に関連する施設や地域の復興

日本機械学会編（1編）（幹事学会：日本機械学会）

機械編

日本都市計画学会編（1編）（幹事学会：日本都市計画学会，土木学会編集協力）

都市計画編

日本地震工学会編（1編）（幹事学会：日本地震工学会，日本原子力学会・土木学会編集協力）

原子力編

総集編（1編）

総集編・資料編（幹事学会：日本建築学会）

機械編では，まえがきに記述されているとおり，「日本機械学会東日本大震災調査・提言分科会」を立ち上げ，今回の地震と災害の特徴は，①地震の規模が大きい②引き続き起こった津波の規模が巨大であったこと③したがって被害を受けた地域が広範にわたり，被害者の数が多いこと④原発事故と放射性物質の環境への放出という新たな事態への対応を求められていること等が挙げられよう。

調査の基本方針：

- （1）調査対象が広範にわたるため，WGを設置してWG単位で調査を進め，分科会ですりあわせをおこなう，WGの主査としてふさわしい新たに委員として参加していただく。
- （2）WGは分科会委員が主査を務め，関連する部門から広く委員を集めて構成する。
- （3）調査対象は被害状況，復興へのシナリオ，危機管理に関する備え，その他として，特に被害の大きかった企業（大学，公的機関を含む，以下企業等と呼ぶ）のみを対象とするのではなく危機管理が適切に行われて比較的軽微の損傷ですんだところなど，Good Practiceの事例も積極的に取り上げる。（例）新幹線等
- （4）原発関連とそれ以外に分けて整理する。また被害状況は地震力によるものと津波に

よるものを分けて整理する。

(5) 調査の方法は基本的には各 WG の自主性に任せるが、分科会としては特別員を含む機械関連企業等にアンケート調査を行う。この調査の中から重点的に個別のヒアリング等を行うことも考えられる。

(6) すでに機械学会で行っている“阪神・淡路大震災”及び“中越沖地震”における調査資料を参考にする。

WG 案：

WG0：地震と津波の特徴（担当：入倉）

WG1：機械設備の被害状況と耐震対策技術の有効性（担当：藤田）

WG2：力学体系に基づく津波被害のメカニズムの理解（担当：吉村）

WG3：被災地で活動できるロボットの課題の整理（担当：大隅）

WG4：被災地周辺の交通，物流分析（担当：永井，その後，鎌田に交代）

WG5：エネルギーインフラの諸問題（担当：小泉，小澤）

WG6：原子力規格基準の課題と今後の方向性（担当：森下）

WG7：地震，原発事故等に対する危機管理（担当：近藤）

上記において WG0 は特に機械学会のカバーする範疇ではないが，報告書をまとめるにあたってまず，この度の地震と津波の特徴はいかなるものであったかについて，専門の先生方に解説していただくのが良いと考えて地震学を専門とする入倉先生にお願いしたところご快諾いただくことができたものである。（注：アンダーラインは筆者，入倉孝次郎京都大学名誉教授，現入倉孝次郎地震動研究所長は筆者が加筆。）

2. 関係学会の目的（定款）

8 学会の定款に定められた目的は次の通りである。（注：以下は筆者が加筆，アンダーラインは筆者）

日本地震学会 (www.zisin.jp)：The Seismological Society of Japan

地震学に関する学理的及びその応用についての研究発表，知識の交換，および内外の関連学会との連携を行うことにより，地震学の進歩・普及を図り，もってわが国の学術の発展に寄与することを目的とする。

日本地震工学会 (www.jaee.gr.jp)：Japan Association for Earthquake for Engineering

地震工学および地震防災に関する学術・技術・教育の進歩発展をはかり，地震災害の軽減に貢献する事業を行い，もって社会の発展に寄与することを目的とする。

土木学会 (www.jsce.or.jp)：JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

土木工学の進歩及び土木事業の発展並びに土木技術者資質の向上を図り，もって学術文化の進展と社会の発展に寄与することを目的とする。

日本建築学会 (www.aij.or.jp)：Architectural Institute of Japan

会員相互の協力によって，建築に関する学術・技術・芸術の進歩発展をはかり，もって社会に貢献することを目的とする。

地盤工学会 (www.jiban.or.jp) : The Japanese Geotechnical Society

地盤工学の進歩及び地盤工学に関する技術者の資質向上を図り、学術・科学技術及び文化の振興と社会の発展に寄与することを目的とする。

日本都市計画学会 (www.cpij.or.jp) : the city planning institute of japan

会員の研究発表，知識の交換並びに会員相互及び内外の関連学協会等との連絡提携の場となり，都市計画に関する学術の進歩普及と都市計画の進展，及び都市計画に係る専門家の資質の向上を図り，もって学術・文化・社会の発展に寄与することを目的とする。

日本原子力学会 (www.aesi.or.jp) : Atomic Energy Society of Japan

原子力の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり，会員相互および国内外の関連学術団体等との連絡協力等を行い，原子力の開発発展に寄与することを目的とする。

日本機械学会 (www.jsme.or.jp) : The Japan Society of Mechanical Engineers

機械及び機械システムとその関連分野に関する学術技芸の進歩発展を図り，もって人類社会の発展と安寧及び福祉の向上に貢献することを目的とする。

3. 東日本大震災合同調査報告“機械編”の目次

目次は冊子版とDVD版に分かれている。冊子版では，巻頭に続き，第一部の提言，第二部DVD版報告書の概要および各WGからの提言(第1章～9章)，付録で構成されている。

DVD版目次は，紙面の都合上章のみを以下に示す(小項目は省略)。

第1章はじめに，**第2章**地震と津波の特徴，**第3章**機械設備の被害状況と耐震対策技術の有効性，**第4章**力学体系に基づく津波被害メカニズムの理解，**第5章**被災地で活動できるロボット課題の整理，**第6章**被災地周辺の交通・物流分析，**第7章**エネルギーインフラの諸問題，**第8章**原子力規格基準の課題と今後の方向性，**第9章**地震・原発事故等に対する危機管理。

4. 提言と報告

提言並びに報告は，紙面の都合上，提言は筆者の主観に依り項目等は取捨選択を行い，報告は割愛した。

本報告書の序(一部)を紹介する。

日本はアジアの東側，太平洋の西の端の海に囲まれ，南北に連なる美しい島国である。山地が多く，国土の3分の2は森におおわれ，多くの湖があり100本以上の急峻な川にはきれいな水が流れ，四季の変化があり，素晴らしい自然に恵まれた国といえる。一方，世界の大きな地震の10%以上は日本の近くで起き，大津波に襲われ，毎年のように大きな台風や冬の豪雪に襲われるなど，自然の猛威の厳しい国でもある。

この地に日本人は暮らし，自然への尊敬と畏怖の気持ちを持ち，お互いを思いつつ暮らす心を培ってきた。

人や社会は遠くで起きたこと，遠い昔に起きたことなど，体験していないことへの想いは薄い。人々は今を生き活動することに懸命である。専門家や研究者が同じように，遠い過去から未来へと繰返される自然や地球の動きを忘れることは許されない。

第一部

大地震に学ぶ機械工学のあり方に関する提言

提言 I 大規模システム・インテグレーション

原子力発電設備等の大規模システムにおいては、科学および工学の多様な分野からの知識が統合されてシステムが構成されている。このシステムが地震あるいは津波等の大規模災害に晒された場合、個々の専門知の隙間に弱点が存在することが示された。この弱点を克服するためには、システム全体を俯瞰的に見て、個々の専門知の隙間に存在する弱点を抽出し対策を講じるためのシステム・インテグレーションの方法論を確立する必要がある。日本機械学会においてもこの「設計の科学」の体系化に向けて学会を挙げて取り組むことを提言する。（注：斜体，ゴシック体は筆者）

以下の記述は筆者の取捨選択による。

各 WG から提案された提言の大半がこの問題を指摘しており、これは裏を返せば大規模災害が異なる専門知の隙間に存在するシステムの弱点を衝いていることが見て取れる。特に大学等において最先端の研究に関わっている研究者は、細分化された狭い分野の「認識の科学」に関心を持って取り組んでおり、認識の科学の成果として得られた知を統合する「設計の科学」の体系化にはあまり関心を払われていない。設計、製造、運転等のシステム・インテグレーションは一般に企業のものづくり現場における経験値として蓄えられている。わが国が得意分野とする車や電子情報機器等においては、極めてレベルの高い経験知が企業に蓄えられており、これがものづくり立国日本の原動力となっている。

しかし、原子力発電プラントや宇宙・航空機器のような巨大システムの開発に関しては、我が国はまだ十分な経験を有しているとは言えない。最近では、シミュレーションが実験に取って代わる有力な方法として脚光を浴びているが、これが真に有効な方法として役立つためには、シミュレーションが実世界の挙動に代替するという検証が必要である。

システム・インテグレーションの方法論は、

- ・個人のレベル：方法論に関する研究とその体系化等
- ・チームのレベル：プロジェクトの推進，調査活動，データベースの作成等
- ・組織のレベル：意思決定，社会に対する説明責任等
- ・国のレベル：規格・基準の作成，許認可等
- ・グローバルレベル：国際標準化戦略，グローバルなビジネスの展開等

日本機械学会においてはこれまで主として「認識の科学」を主たる研究テーマとする大学の研究者が活動のリーダーシップを取る場面が多かったために、学会を挙げて「設計の科学」のための方法論の開発に挑戦するという視点が弱かったように思われる。大学の研究者ももっと積極的に規格・基準作り等の、研究の成果が社会に実装されるためのプロセスにかかわることが必要とされている。

一方産業界で活躍する技術者も、現場のものづくりに参画するプロセスの中で、システム・インテグレーションの体系化に係る数々の問題点を経験している。このような課題を

その場限りの問題として放置せずに、積極的に学会などの場で問題提起を行い、産学を挙げてこの課題の解決に取り組むことを期待したい。

(注：アンダーライン、ゴシック体は筆者)

提言Ⅱ デザインスペースの考え方，“Beyond”への対応

人工物の設計においては仕様を決める段階で、その人工物が生涯にわたって経験するであろう外力の最大値等を「想定して」はじめて設計を行うことが可能になる。外力や地震や津波などの自然の大規模災害による場合、この「想定値」を超える場合もありうる。ここで二つの問題が生じる。

(1) どのように「想定値」(安全目標)を決めるのか。

(2) 「想定値」を超える事象が発生した場合にどのように対処するか。(Beyond Design Basis)

このたびの大震災から学ぶ教訓は、「想定値」を設定した場合にその根拠となっている安全目標について、またそれを超える事態が発生するリスクについて予め社会にしっかり説明して、「受け入れ可能なリスク」として社会の受容を得ることである。「想定値」の策定に当たってはこのような手続きを踏むことを提言する。

これは原子力の施設に限らず、化学プラントあるいは鉄道システム等の大規模システムについても言えることである。

(1) については従来はその分野の専門家で構成される諮問会議における議論に基づいて「想定値」(これを一般的には「設計基準 (Design Basis)」という。特に安全にかかわる指標の場合には「安全目標」という)が決定されていた。議論される内容は作るべき人工物の機能と安全性それにコストのバランスを考慮して、どこに線を引くかという政策的判断である。これまでは内容が高度に専門的であるために、一般の市民レベルまで分かり易く説明するという努力に欠けていた。市民に分かり易く説明して予め「想定値」を受容してもらう必要がある。言い換えれば、想定値は単に専門家のみ判断で決定すべきものでなく、社会との双方向的なコミュニケーションをはかったうえで、社会が「受け入れ可能なリスク」として許容するレベルで決定されなければならない。

(2) については原子力の分野では「深層防護 (Defense in Depth)」と呼ばれている。原子力発電施設では

- ①異常発生防止、②異常拡大防止、③異常影響緩和、④シビアアクシデント対応、⑤防災

の5層の深層防護により対応することがIAEAにより推奨されていた。

このうち①～③は想定範囲内の事象(これを Design Basis Accident, DBA という)でわが国では国の規制事項として厳格な管理が行われていた。これが万全であるために④および⑤(これを Beyond Design Basis Accident, DBDA という)は起こるはずがないとされていた(絶対安全神話)。しかし実際には津波という共通原因により①～③の対応に失敗して、炉心熔融を伴うシビアアクシデントが発生し、放射性物質の環境への放出による住

民の避難を余儀なくされた。④および⑤に対する事前の十分な備えがなかったことが被害を大きくしたといえよう。

これらから学ぶ教訓は、守るべき最後の一線、すなわち、「社会が許容する限界を超えた損害」とは何かについて社会的なコンセンサスを得て、それを実現する工学的手段を検討・構築することの重要性である。原発に関しては、大震災で「社会が許容する限度を超えた損害」に対しての検討と対策がなされていなかったことが明らかになった。今後は、想定されたリスクに対する安全目標を定め、社会に説明し理解してもらっただけでなく、想定を超えた事象に対しての守るべき最後の一線を社会と合意し、それに対するハード的・ソフト的備えを行うことが重要である。（注：斜体とアンダーラインは筆者）

提言Ⅲ リスクコミュニケーションの課題

ものづくりに携わる技術者・研究者は人工物を計画する段階で、それによって得られる便益とともに内在するリスクを正しく予測して社会に発信し、あらかじめ社会の了解を得ておく必要がある。すなわち、

・リスクを正しく予測してそれに対処する技術（リスクマネジメント）

および

・リスクを正しく社会に発信して社会の了解を得る技術（リスクコミュニケーション）
の二つの技術を身につける必要がある。これは単に技術者、研究者個人が身につける素養であるばかりでなく、大学、企業、あるいは国などの組織の単位についても言えることである。

日本機械学会においてもこの問題に真摯に取り組み、必要な情報をタイムリーに社会に発信して、広く社会の理解を受ける仕組みを作ってこれを実行することを提言する。

科学技術の成果が人工物として社会に実装され、人々の日常生活の中でその恩恵にあずかることが当たり前になっている現代社会において、一般市民はそれら人工物の便益を享受しているが、人工物が作られている根拠となっている科学技術の基本を全て理解しているわけではない。人々は人工物が作られる根拠となっている科学技術の基本原則をブラックボックスとして受け入れている。基本原則の理解はものづくりに携わる一部の専門家に任せられ、人々はその作られたものの付加価値に着目して便益（ベネフィット）を享受している。専門家は科学的根拠に則った情報を国民に示すことにより、国民の理解を得る必要がある。

一般に新しい技術の成果物としての人工物が社会に実装されるとき、人々は安全が保障されると共に安心してそれが利用できることを求める。専門家もそれに答える形で「安全・安心の〇〇技術」というような説明を行う。しかし安心と安全は同じものではない。両者の間には大きな乖離がある。人々が安全・安心を求めるとき、これは基本的に事故が起らないことすなわち「絶対安全」を暗黙裡に求めている。それに答える形で専門家が安易に安全・安心を保障することはできるであろうか。

従来、我々技術者・研究者（以下技術者で代表する）は専門の仲間内でコミュニケーション

ョンをはかるだけで良しとしてきた。それぞれの技術者が関わっている技術・研究（以下技術で代表する）の成果が人工物として社会に実装されるときに、その人工物が持つベネフィットとリスクを正しく分析して社会に発信ことが求められる。（注:斜体とアンダーラインは筆者）

提言Ⅳ 継続的調査と規格・基準への展開

東日本大震災の教訓を今後発生しうる巨大地震等による災害の低減に活かすため、日本機械学会においては産学の連携をより一層活性化して調査・研究の成果を規格・基準やマニュアル等に集大成する活動に取り組むとともに、各 WG の提言を真摯に受け止めこれを実施していくこと、および、今回の震災による経験を次世代に引き継ぐため、若手研究者、技術者の育成、教育訓練を実施していくことを提言する。

過去の地震被害を教訓にした対策を講じていた場合、また、阪神・淡路大震災等の被害を踏まえた技術基準等を改訂し、耐震性を高めた設計を行っていた場合などは被害の軽減、防止が図られたことが各 WG の調査から判明している。

成熟した社会では、自ら関係する規格・基準は自ら参加して作成していくものであるという意識改革が重要である。このようは基準等の作成にあたり、実際の技術の現場をよく知り、見識もある民間の技術者が学会の企画・基準作りの議論をリードしていくことは、実用的で有利な基準を作成する際には極めて重要な点である。企業の研究者が従来に増して積極的に規格・基準作りに参加しやすい環境を作ることが重要である。研究成果が社会に実装されていくプロセスに、当事者として関わっていく意識を持つことが必要である。

規格・基準類の整備と併せて、将来の地震被害低減、災害への対応力向上のためには、人材育成、教育訓練の重要性も併せて指摘したい。

東日本大震災の教訓を今後発生しうる巨大地震等による災害の低減に活かすため、日本機械学会においては産官学の連携をより一層活性化して調査・研究の成果を規格・基準やマニュアル等に集大成する活動に取り組むとともに、各 WG の提言を真摯に受け止めこれを実施していくこと、および、今回の震災による経験を次世代に引き継ぐため、若手研究者、技術者の育成、教育訓練を実施していくことを提言する。（注：斜体とアンダーラインは筆者）

5. おわりに

機械編を読んで、4つの提言の概要を記した。4項の提言と報告で触れたように、報告は紙面の都合で割愛した。原子力発電設備等の大規模システムの開発に関しては、我が国はまだ十分な経験を有しているとは言えない。最近では、シミュレーションが実験に取って代わる有力な方法として脚光を浴びているが、これが真に有効な方法として役立つためには、シミュレーションが実世界の挙動に代替するという検証が必要である。専門家は科学的根拠に則った情報を国民に示すことにより、国民の理解を得る必要がある。この問題は原発再稼働の是非、さらには将来のエネルギー選択の問題等について、国民が正しい選択をするためにも避けて通れない課題である。