

東日本大震災がもたらしたもの —被害の特徴と教訓など—

佐伯 光昭

(株)エイト日本技術開発 最高顧問 震災対策・復興企画統括



東日本大震災はマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震により引き起こされた巨大津波が大きな要因となり、原子力発電所の被害/事故を生じさせ、21世紀の高度に文明化したわが国に地震災害の脅威を改めて認識させることとなった。本文は大震災の被害の概要と特徴を取りまとめるとともに、教訓と課題を整理し、1995年の兵庫県南部地震以降、地震活動が活発化しつつあるわが国にこれから生じるであろう巨大地震に対する災害軽減～「減災」対策の基本的な考え方を指摘するものである。

東日本大震災、教訓、課題、減災、震災対策

1. まえがき

平成23年3月11日(金)午後2時46分に宮城県牡鹿半島東方沖約130kmを震源として発生した東北地方太平洋沖地震は、マグニチュード(以下、Mと略記)は9.0とわが国有史以来の最大規模のものであった。死者、行方不明者は2万人を超え、そのほとんどがこの地震により生じた巨大津波で命を落とした方々であった。加えて東京電力福島第一原子力発電所の被害と事故が炉心融解という世界でも初めての衝撃的な事態をまねき、深刻な社会問題となっている。

本文では、まず、この地震の特性とそれが原因となった東日本大震災の被災の概況と特徴を整理し、その構造を明らかにして教訓を浮き彫りにする。そして、今後のわが国を巡る巨大地震発生の危険性を踏まえた災害軽減の課題と基本的な対処の考え方を指摘する。

2. 地震及び津波と被害

(1) わが国の地震環境と地震の発生状況

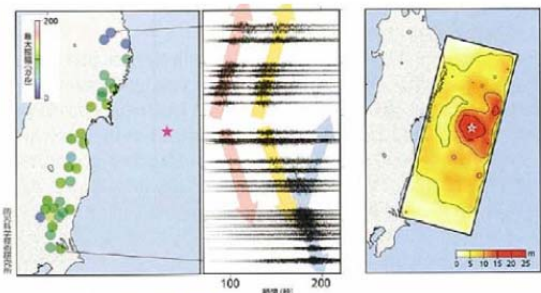
わが国は太平洋、フィリピン海、北米およびユーラシアの4つのプレートが界合する地球物理学的にも世界でもまれな位置にあり、全世界の年間地震エネルギーの約10%が、また、M6以上ではおよそ20%が日本周辺に集中するものと考えられている。

理科年表¹⁾によれば、416年以来、今日まで420回余り、また、江戸幕府が開かれて以来、約410年の間に350回を超える被害地震が生じており、約1年2カ月に1回の割合で国土のどこかで被害を伴う大きな地震が生じていることになる。これらの脅威が存在する以上、国防と

同じく地震災害軽減が国民の生命の確保と財産の保全の観点からも重要な国家目標でなければならない。

(2) 今回の地震と津波の概要

東北地方太平洋地震は、図1²⁾に示す宮城県牡鹿半島東方沖のおよそ130km、深さ24kmを震源に生じた。その揺がりは三陸沖の日本海溝沿いに北は青森県沖、南は茨城県沖に達するおよそ南北450km、東西200kmにも及んだ。断層のずれは、図-1に示すように少なくとも震源近くで2回、その後、福島県沖で1回生じたことが判明している。



複数回に分かれて動いた震源断層

中央の図は左図の観測地点(緑色の○)でのM9.0の地震の最中の上下動成分の揺れを示す。断層は宮城県沖を起点に(上図中の赤い星印)、2度にわたって南北に向けて動いた(ピンク色と黄色の矢印)。2度目に南方に向かった断層の動きは、福島県沖で新たな断層の動きを誘発し、南北方向に向けて水色の矢印で示すような動きをもたらした。右の図は地震波から求めた震源断層の各場所での移動距離で震源付近とその日本海溝側で大きく動いたことがわかる。

図-1 震源の位置と数回に分かれて動いた震源断層²⁾

ちなみにM9.0級の巨大地震はこの東北地方太平洋沖地震を含めて、世界でこれまで6回しか発生していない。

表-1には、今回の各地の気象庁震度などの概要を示す。震源域での断層のずれは、震源域の内部で20~40m程度と考えられている²⁾。M7.3の兵庫県南部地震の際には、

表-1 今回の地震の諸元と各地の気象庁震度

諸元及び地点		
発生日時	平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分ごろ	
震源位置	宮城県牡鹿半島東方 130km, 深さ 24km	
マグニチュード M	9.0	
各地の 気象庁 震度	7	宮城県栗原市
	6	仙台 宇都宮 日立 水戸 つば
	5	盛岡 秋田 福島 前橋 さいたま 千葉 東京 横浜 甲府
	4	釧路 帯広 函館 青森 山形 静岡 長野 新潟 名古屋

およそ 50km の活断層にそって、2m 程度のずれが生じたこと²⁾ と比べると、改めて M9.0 の地震エネルギーの大きさに驚かざるをえない。

また、余震の発生状況についてはおよそ一か月経過時点で 400 回を超え³⁾、兵庫県南部地震の 10 倍以上となり、強震観測開始以来、最多の余震が生じたものと考えられている。

地震動の最大加速度は宮城県栗原市の観測地点で、水平成分で 2,699gal、鉛直成分で 1,879gal⁴⁾ であった。この他、地震動の特性で重要なことは、

- ① 主要動の継続時間が数分以上と極めて長く、観測地点によっては震度 4 以上の揺れが 3 分以上も続いたこと
- ② 主要動の卓越周期が 0.2~0.4 秒と、これまで大きな災害を生じさせた地震の揺れに比べて短かったことの二つであった。図-2⁵⁾ には、今回の地震動の加速度波形を兵庫県南部地震で記録されたものと比較して示す。

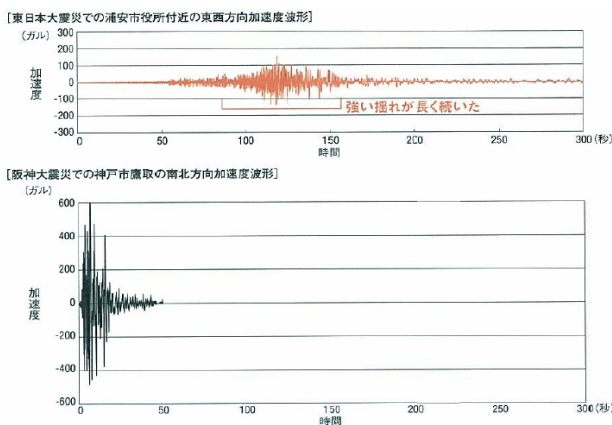


図-2 東日本大震災と阪神大震災の加速度波形⁵⁾

明らかに今回の地震の主要動の継続時間が長く、その繰返し回数も多いことが見てとれる。このことが、震源域から遠く離れた茨城県南部や千葉県東京湾岸地域では、比較的長い周期成分の振幅が減衰しにくいために沖積低地や埋立地に液状化を生じさせた大きな要因となったのである。

また、図-3⁵⁾ には、地震動の周期特性をあらわす加速

度応答スペクトル曲線をこれまで観測された大地震のものと比較して示す。建物や構造物の被害を生じさせやすい周期 1~2 秒程度の加速度応答値が兵庫県南部地震等のこれまでのおもな地震の観測記録にくらべて小さくなっていることがわかる。このことが津波の影響を受けなかった地域での死者・行方不明者の数、建物や構造物の被害がそれほど著しいものにならなかった原因の一つと考えられる。

■ 加速度応答スペクトル(過去の震度7クラスの地震との比較)

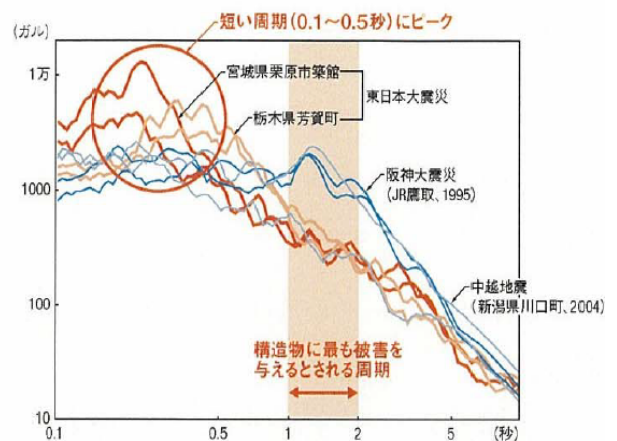


図-3 地震動の加速度応答スペクトル⁵⁾

このような地震動の特性のほかに、地震によって生じた現象として大きな地殻変動が生じたことが特徴的である。震源域内の海底では鉛直方向に 4~5m の隆起、震源域の西方の陸地に向かって 2m 程度の沈下、そして陸上では最大 1.2m にもおよぶ沈下⁶⁾ を生じさせ浸水域の拡大をもたらすこととなった。

津波は、北海道から九州沿岸に襲来した。最大高さは、岩手県大船渡で 11.8m、最大の遡上高さは岩手県宮古市姉吉で 40.5m⁷⁾ に及び、観測史上最高の 1896 年の明治三陸津波での同県大船渡市綾里での 38.2m を超え、これまでにないエネルギーで津波が襲ったことを示している。

(3) 被害の概要と特徴

表-2⁸⁾ には今回の大震災の被災状況を示す。表-3 には参考までに関東大震災、阪神・淡路大震災の状況と比較して整理した結果を示す。

また、表-4 には今回の津波の被災状況を明治三陸津波以降の昭和三陸津波やチリ地震津波の状況と比較した結果を示す。これらの結果から東日本大震災の被害の特徴は次のようにまとめられる。

表-2 東日本大震災 被害の概要 警察庁 HP⁸⁾

	人的被害(人)		住家被害(戸)		その他 被害箇所数					
	死者	不明者	全半壊	浸水	道路	橋	斜面	堤防	鉄道	
北海道	1	—	4	874	—	—	—	—	—	
東北	青森	3	1	1,158	—	2	—	—	—	
	岩手	4,654	1,748	24,777	2,084	30	4	6	—	
	宮城	9,440	2,285	152,278	18,085	390	29	51	45	
	福島	1,603	245	62,722	401	19	3	9	—	
	その他	2	—	117	—	30	—	29	—	
関東	茨城	24	1	22,030	2,326	307	41	—	—	
	千葉	20	2	9,697	1,482	2,343	—	55	—	
	その他	16	—	2,362	8	437	—	47	—	
その他 地域	—	—	—	23	1	—	—	—	—	
合計	15,763	4,282	275,145	25,283	3,559	77	197	45	29	

表-3 これまでのわが国の主な地震災害との比較

	関東大震災 1923.9.1	阪神・淡路大震災 1995.1.17	東日本大震災 2011.3.11	
マグニチュード	7.9	7.3	9.0	
震源	相模湾～房総半島プレート境界	淡路島プレート内直下型	日本海溝沿いプレート境界	
死者・行方不明	10万5千余人	6,437人	20,045人(9月4日)	
住家被害 全・半壊	21万1千余戸	24万9千余戸	27万5千余戸(9月4日)	
主な被害の範囲	東京、千葉、茨城、埼玉、神奈川、静岡	神戸、芦屋、西宮、尼崎、宝塚、明石の各市域	青森、岩手、宮城、福島、茨城、千葉、東京	
被害状況	火災	東京下町、横浜で甚大 焼死者多数	神戸市内で発生	津波浸水地域で発生
	津波	相模湾沿岸甚大	発生せず	東北関東太平洋沿岸で甚大
	土木構造物の被災の特徴	落橋や河川堤防の被災が顕著 日本橋等アーチ橋の被害が極めて少なかった	既存不適格の構造特に橋や高架で顕著	海岸堤防、防潮堤の被害甚大、津波の遡上による橋桁の落下や河川堤防の崩落が顕著 地震による構造被害は比較的少ない
その他特記事項	余震多発 被害額は当時のGDPの4割超の55～65億円と推定	余震少ない 被害額はおよそ30兆円	余震多発今後? 直接被害額は25兆円(原免被害含まず)? 世界初の原発被害・事故	

表-4 これまで三陸沿岸を襲った津波被害の比較

	明治三陸地震津波	昭和三陸地震津波	チリ地震津波	東北太平洋沖地震津波
地震の発生年月日と時刻	1896.6.15 午後8時半前	1933.3.3 午前3時過ぎ	1960.5.24 午前2時～5時	2011.3.11 午後3時～5時
マグニチュード	8 1/4	8.1	8.5	9.0
震源位置と発生機構	釜石沖約200km 海溝側太平洋プレート内の浅部での滑りによる発生	釜石沖約200km 太平洋プレート内のアウトラーズ地震と想定	南米チリ沖	牡鹿半島沖130km 地震波の解析結果では陸地側の深部の断層の滑りと海溝側浅部の滑りとが交互に発生
死者・行方不明者合計	21,893	3,017	142	2万名強と推定
被害家屋数 全半壊流失()内:流失戸数	約1万2千戸(9,879戸)	約1万6千戸(4,885戸)	4万戸強(1,474戸)	約16万戸
津波遡上高さ(m)	綾里38.2m 吉浜22.4m 田老14.6m	綾里28.7m	三陸沿岸5～6m、他の地域で3～4m	宮古市姉吉: 40.5m

① 人的、物的被害の状況から、地震動に比べて津波による被害が著しかった。死者の約90%が津波による溺死で、地域別では宮城県下で1万1千人余りと全体の約60%を占めている。津波の影響を受けない内陸部でも建物や橋梁などの構造物の被害は顕著なものではなかった。これは地震動の卓越周期が一般的な建物や構造物の揺れやすい周期に比べて短かった

ためと考えられる。なお、港湾施設の損傷により海面に流出した油に引火して火災が生じたこともこれまでに無い被害の様相であった。

② 地域的には、三陸地域や福島県で津波による家屋の全半壊や浸水が顕著であったことに加え、茨城、千葉両県での道路土工、道路橋などの被害が多かったことが特徴的である。M9.0の巨大地震の震源域の広さと津波の襲来、震度3～4の揺れが3分以上続いた主要動の継続時間、そしてそれが主な原因となった埋立地や旧河道や沼地などを改変した沖積低地の液状化が大きく影響したものと思われる。

③ 構造物の被害についても、津波による防潮堤や海岸堤防(写真-1参照)、港湾施設、橋梁の桁の落下(写真-2参照)や橋台背面の土工部分の流出、そして下水処理施設や水産業関連の鉄筋コンクリート造建物の壁開口部周辺の壊滅的な損傷(写真-3参照)が特徴的であった。



写真-1 海岸施設の被災状況(南三陸地区)



写真-2 道路橋の津波による桁の落下の状況 国道45号 南三陸地区 歌津大橋

なお、津波によるもの以外の被害では、福島県下でため池のせき止め用のアースダムの被災が多く発生したことが注目される。中でも藤沼ダムでは写真-4に示すように大規模なすべり破壊が生じ、死者・行方不明7名の尊い人命が失われた。この種のダムとしてわが国で初めての痛ましい事態となった。



写真3 南蒲生ポンプ場の津波による被災状況



写真4 福島県 藤沼貯水池の被災状況

- ④ ライフライン施設については、紙面の制約からここに記述していないが、電力が最も早く復旧し、次に上水道、都市ガスの順に遅くなっている。この傾向は既往の地震災害と共通だが、阪神・淡路大震災の状況と比べると電力ではやや遅れぎみ、上水道や都市ガスについては、逆にやや早くなっている。ただし、宮城、岩手、福島の各県では津波による被害が甚大なため、浸水地域での復旧が遅れることとなった。
- ⑤ 復旧作業については、道路は東北地方整備局長の果敢なリーダーシップの下、「櫛の刃作戦」が奏功し、緊急対応や救援物資の輸送には多大な貢献をなしたものの、太平洋沿岸の被災地域では、津波により生じた瓦礫の処理に手間取り、震後半年近くを経過しても、復興の大きな障害となっている。
- ⑥ 表-3 にまとめた今回と既往の大震災との比較結果によれば、災害の規模については、関東南部全域に及んだ建物の倒壊や東京、横浜などの市街地火災、そして相模湾沿岸の津波被害などの様相から関東大震災が最も大きいことがわかる。阪神・淡路大震災では津波が生じず、神戸市を中心とする周辺の限られた地域で中層のビルを含む建物の倒壊や破壊、道路や鉄道の橋・高架等の構造物の被災が著しかった。

一方、東日本大震災では、東北～関東地方の太平洋沿いの広域に津波による被害が生じたことに加えて、福島第一原子力発電所の被害と事故が深刻であった。

それにより地域の雇用不安や風評被害も含め、産業活動に大きな負の影響を及ぼしている。食物や下水道汚泥の放射能汚染も東北、関東の広い範囲に広がり、住民に深刻な影響を与えている。

経済への影響では、東北地方全体へのサプライ・チェーンにも深刻な打撃を与え、製油工場の火災による燃料供給不足とあわせてわが国経済にも多大な損害をもたらした。

- ⑦ 津波被害については、明治三陸津波、昭和三陸津波そしてチリ地震津波と対比して整理した結果を表-4 に示したが、被害家屋の数では今回が最大となっていて、M9.0の地震の震源域が日本海溝沿いに大きく南北方向に広がっていたことを示唆している。死者・行方不明者の数については、津波の襲来がこのように広い範囲に及んだにもかかわらず、明治三陸津波のおよそ2万2千名を下回っている。このことは今回の津波は昼間であったことを考慮しても、三陸地域の人口が明治の当時よりも増加していることや今回の津波に襲われた地域が茨城県や千葉県にも及ぶことを考えると犠牲者の対人口比率は減少したことを示している。

3. 教訓と課題

このたびの大震災の状況から、21世紀の地球上で日本人が、あらためて安全、安心とは何か、そして自然現象の猛威に対する人知の及ばないこと、われわれが技術文明の持つ脆弱性や危機と隣り合って効率性、利便性を追い求めてきたことのリスクを再認識したといっても過言ではあるまい。

表-5 に、今回の大震災の教訓と課題をまとめる。

表-5 東日本大震災の教訓と課題

	教訓の内容	課題
想定外の現象の発生	日本海溝沿いで再現期間千年以上の極低頻度で、M9.0の巨大地震の発生可能性さえ予測できなかったこと	地震学、地質学、地形学などの理学分野での調査・研究成果の事業への反映策
高度文明社会の脆弱性	津波の威力の甚大さ 二万名余の犠牲者や建物の倒壊・流失 津波防波堤の倒壊、道路橋の桁落下等	ハード・ソフトの両面からの最適な「減災」対策の理念の確立と実践的な研究
自然現象の予測の困難さ	原発の被害/事故の重大さ、深刻さ ライフライン(上・下水道、電力、ガス、電話)の機能支障が社会システムに及ぼす影響の重大さ、深刻さ	最悪の事態を想定し、多様な社会インフラシステム相互間の連鎖を考慮した機能や安全性の確保に関する信頼性向上
文明史論的視野	M9.0の巨大地震のみならず地震動の卓越周期が0.2～0.4秒と短かったことが構造物の甚大な被害を抑止	M8超級の巨大地震による地震動予測手法の精度向上
	地震という自然現象に対する工学・技術の対応や対策の無謬性、信頼性の限界が露呈	地震工学、土木工学など工学・技術分野の専門家の意識改革

21世紀の現在、国民一人ひとりが享受している社会活動や生活の便利さ、効率の維持や向上には社会システムの安全性が基本であることを再確認し、工学・技術に從

事する専門家は、表-5 に示した教訓を重く受け止め、課題の実践に努めるべきである。

4. 巨大地震による災害の軽減に向けて

近い将来、発生の可能性が高いといわれている南海トラフ沿いを震源域とする「東海・東南海・南海地震」、そして国家機能を脅かす「首都圏直下地震」などの巨大地震に際して生じる災害の程度を軽減することが、急務の国家的課題である。わが国は現在、人口減少や莫大な財政赤字の下で、社会保障費が年間1兆円も増加する極めて厳しい状況にある。その中で、建物の耐震化、不燃化を早めることはもちろん、現在供用中の社会インフラの施設やシステムの再構築とあわせて、それらの耐震性を強化させるハードな震災対策ばかりでなく、発災後の被害の拡大を防ぐ震後対策も合理的に組合せて必要な事業を計画的に進めなければ、国家的な危機を招くことは間違いない。

これまで社会インフラ施設に対しては、図-4 に示すようなループで個々に耐震補強が行われてきた。しかしながら、上記のような厳しい財政状況の下では、きわめてまれにしか生じない巨大地震に対して災害予防という「防災」の概念よりは、むしろ災害をできるだけ軽減するという「減災」の視点が重要である。そのためには、図-5 に示す概念で想定する地震の規模に応じて「公助」、「共助」、「自助」のベスト・ミックスの対応が求められる。行政は、そのマネジメントサイクルを展開して、「減災」の目標を実現して行くため図-6 に示すPDCA ループを展開していかなければならない。

あつては、逼迫する財源の制約の下では、まず、「公助」

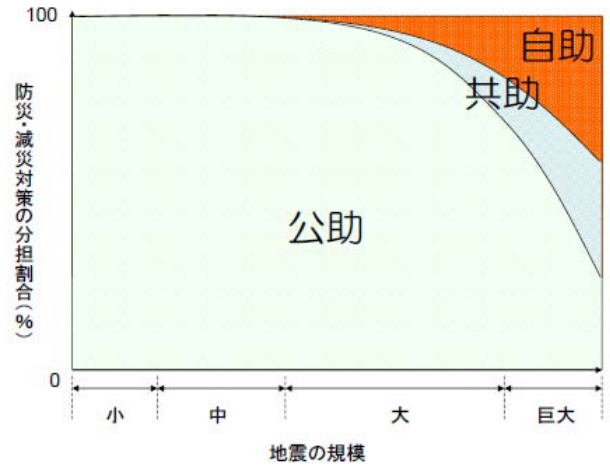


図-5 地震の規模と震災対策の分担の概念

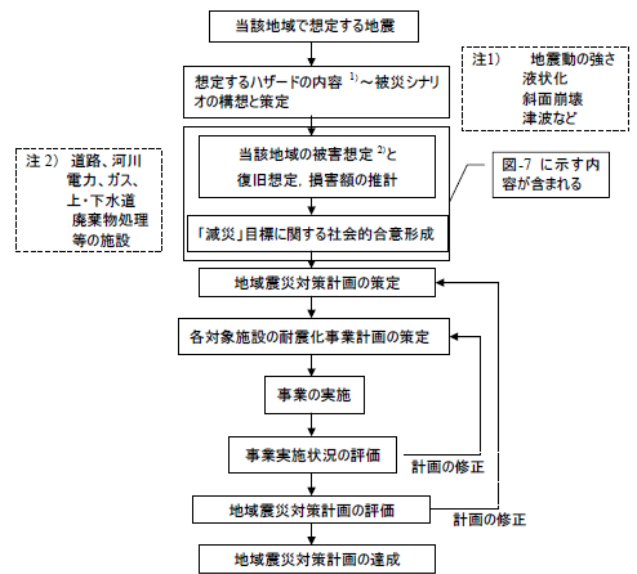


図-6 社会インフラ施設の震災対策の推進に関するマネジメントサイクル

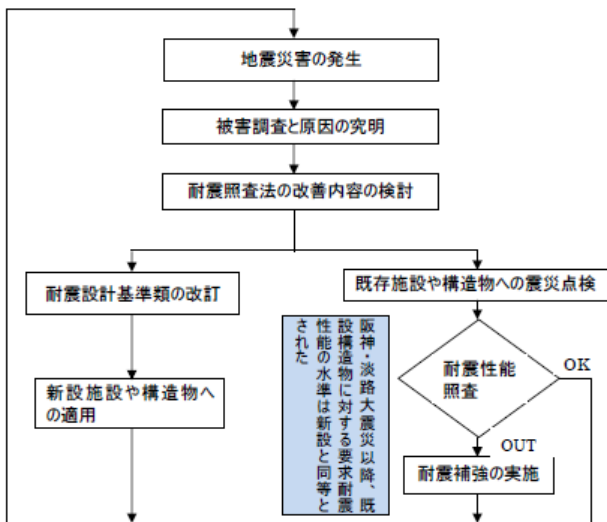


図-4 これまでの一般的な社会インフラの耐震性向上対策のサイクル

特に、社会インフラの管理者やライフライン事業者に

の責任範囲を明確にするために、「減災」の目標水準に関する社会的合意形成を成し遂げることが最重要課題と思われる。次ページの図-7 にこのプロセスの概要を、図-8 には最適な「減災」目標水準の設定の概念をそれぞれ示す。この場合の「減災」目標水準とは、たとえば施設の機能の回復期間、もしくはそれを担保しうる耐震補強の性能水準のような概念である。現在、このような考え方に基づいて震災対策の基準的なものがまとめられている代表的なものとして、「水道施設耐震工法指針・同解説 2009 年版」⁹⁾が挙げられる。この中で特筆されるのは、個々の施設の耐震設計法のみならず、耐震診断や補強の考え方と具体の工法選定や設計、そして水道システムの視点からの地震対策～耐震性評価、被害想定的手法、総合的かつ合理的な地震対策としての耐震補強と更新の判断、さらには耐震化事業の進め方として、BCP の概念にもとづく震後の対応や市民に開かれた取組方策なども含

めた具体的な内容が規定、解説されていることである。

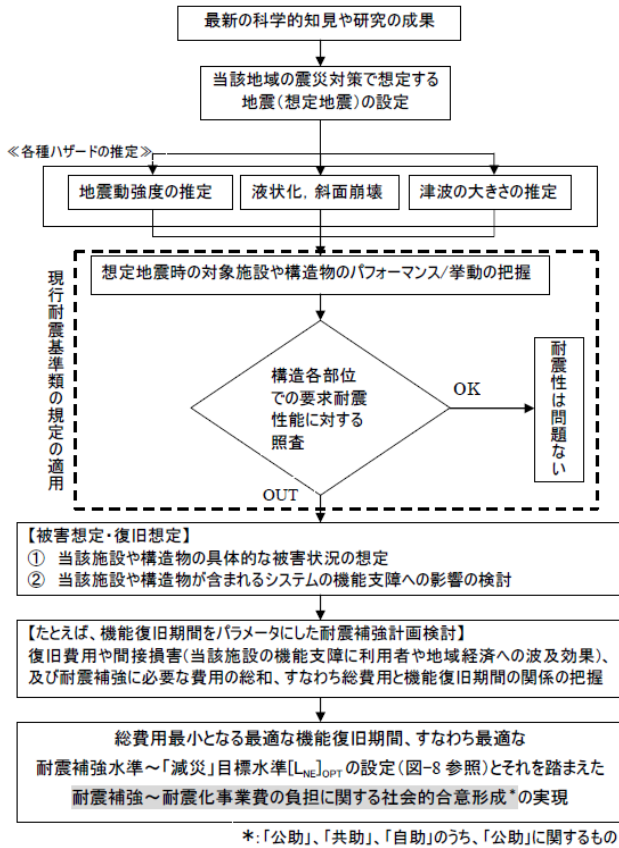


図-7 これからの社会インフラの「減災」目標水準に関する社会的合意形成の望ましいプロセス

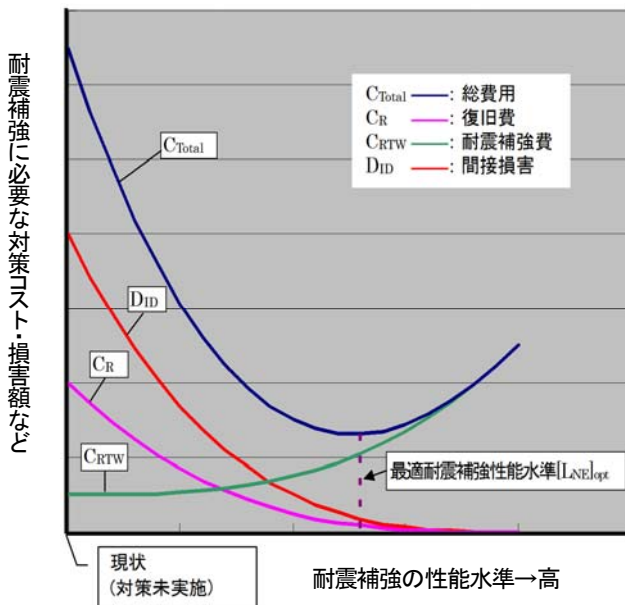


図-8 最適な耐震補強水準～最適「減災」目標水準の概念

南海トラフ沿いの巨大地震では、震後、間もない時期に豪雨や富士山の噴火などが生じるおそれがあり、原子力発電所の被害も絡んだ深刻な複合災害となる可能性がある。東日本大震災の重大な教訓にもとづいて、次の巨大地震に対しては、専門家ばかりでなく地域の住民から

の参加を得て、できる限りのあらゆる事態の発生を想定した被害や震後の状況を具体的に想定することが大切である。その中で、「公助」、「共助」、「自助」の具体的な対応行動の内容を、震前から震後の時系列的に分類、整理して、社会的合意として、常日頃からPDCAのマネジメントサイクルの実践に努めるべきである。

5. あとがき

東日本大震災の状況から教訓を学び、重く受け止めて、これから襲ってくる巨大地震に対する備えの重要性と災害軽減の実現方策について考えてきた。地震災害の軽減には被害予防のハードな対策と行政組織や地域住民、企業間の協働やBCPによる震後のソフトな対策の最適な組み合わせによる「減災」の概念が必要なこと、そして、「公助」、「共助」、「自助」の社会的役割分担の考え方と具体的な内容とを国民の間に浸透させていくことが喫緊の課題といえる。そして行政は次の巨大地震の備えに対する国家戦略として、PDCAによるマネジメントサイクルを展開し「減災」目標を達成していくことが求められるのである。

なお、次の地震では今回と同様な地震動の卓越周期を呈する保証はないことに留意すべきである。仮にM8を超える巨大地震で卓越周期が1秒前後となった場合には、地震の揺れによって地盤の液状化現象そして建物や各種構造物に深刻な影響を及ぼす事態をあらかじめ想定して必要な補強対策をしておくことが震災対策計画を実効ならしめるために極めて重要な課題である。

参考文献

- 1) 国立天文台編「理科年表」平成23年版、丸善株
- 2) 平田 直：マグニチュード9.0の衝撃、科学、vol.81 No.5、2011年5月号
- 3) 気象庁HP：
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2011_03_11_tohoku/aftershock/
- 4) 防災科学技術研究所 K-NET 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による強震動についての特集ページ
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20110311144626/main_20110311144626.html
- 5) 日経コンストラクション 2011.5.9 号
- 6) 岡田義光：2011年東北地方太平洋沖地震に伴った地殻変動と誘発現象、科学、vol.81 No.5、2011年5月号
- 7) 土木学会 東日本大震災特別委員会津波特定テーマ委員会報告会 6月13日資料
- 8) 警察庁HP：2011年9月4日資料
- 9) (社)日本水道協会編：「水道施設耐震工法指針・解説」2009年版