

第6章 大地震発生が予想される地域の特定・分析

6.1 トルコ国の大地震発生が予想される地域の特定・分析

図 6.1.1 にマグニチュード 4 以上の地震の震源分布を示す。震源は有名な北アナトリア断層と西トルコの地溝構造に集中している。北アナトリア断層と西ブロックの震央深さは一般的に 30km 以下である。

マルマラ領域はトルコ地震研究所によって作られたトルコ地震危険度マップのゾーン 1、2、3 に対応する地域である。地震危険度地図は 1995 年の General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) による活断層地図の公表に伴い、1997 年に改定された。現在では、地域の 60%が地震危険度の最も高い領域となっており、コジャエリ地震もこの領域に含まれている。

マルマラ地域の地震活動度地図は最近、Üçer らと Barka により改定された。最近の 200 年の大部分の破壊的な地震は、いわゆる北アナトリア断層の北 strand に沿って発生している。(図 6.1.2) 北アナトリア断層では、中央および南海岸 (strand) より北海岸 (strand) の方が活動的である。図 6.1.3 にはこの地域の地震のメカニズム解が示されている。解は、最も大きい地震は右横ずれ断層であり、一方小さい地震は右横ずれ成分を持つ正断層であることを示している。

MARNET 地震ネットワークの設立後、マグニチュード 2.5 以上の地震の場所が決定されてきた。図 6.1.4 に 1976-1995 年間の地震の震源分布を示す。同図には 3 つの地震活動度の低い地域があり、これらは地震の空白域と考えられている。1 つの空白域はコジャエリ地震の位置にあり、カラミュセル空白域と呼ばれている。ほかの空白域はサロス湾と 1912 年ミュレフレ・シャルキョイ地震の震源であるガノスである。Yüksel は最近イズミット湾の地震活動度の調査を行った。この調査の中で、彼は 1900-1986 年の地震を考慮している。この地域の地震に対する影響を次式で計算した。

$$\log N = a - bM$$

ここで、 a と b の値は 3.41~3.39 と 0.72~0.73 である。これらの関数は地震の平均再現機関を評価することができたように見える。それにもかかわらず、このような単純な式では実際の地震再現期間はそれほど容易に予測できるものではない。データでは 150 年間の地震活動度は非常に小さいが、50 年周期では非常に活発になる。

最近、Stein らが単純な二次元弾性境界要素法を用いて、断層の両辺の間の相対変位と断層の形状を与えて破壊過程を計算した。彼らは、破壊の起こる可能性の大きいいくつかの断層を特定した。イズミットはサパンジャ断層に沿って地震が起こる可能性の最も高い地域であることが分かった。1.3~2.5bars の応力がゲーベ断層とサパンジャ断層で存在し、イスタンブールの地震に対する脅威、特に東から西に断層が破壊したときの脅威を示している。

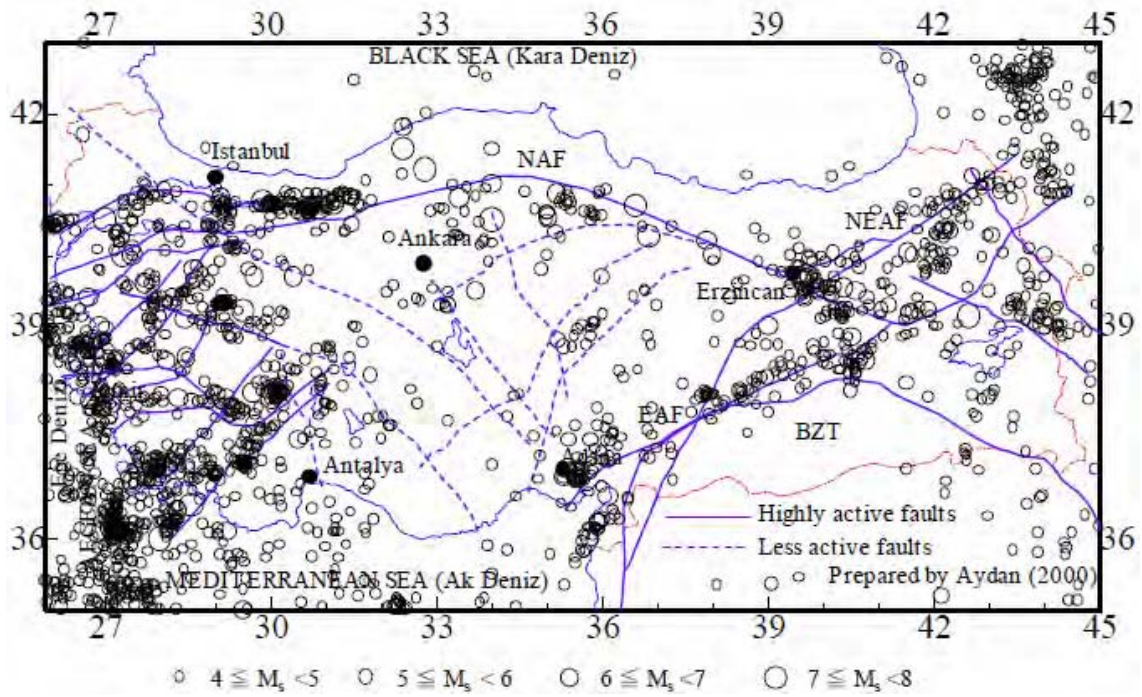


図 6.1.1 1900-1998 年におけるトルコとその近傍の震央分布

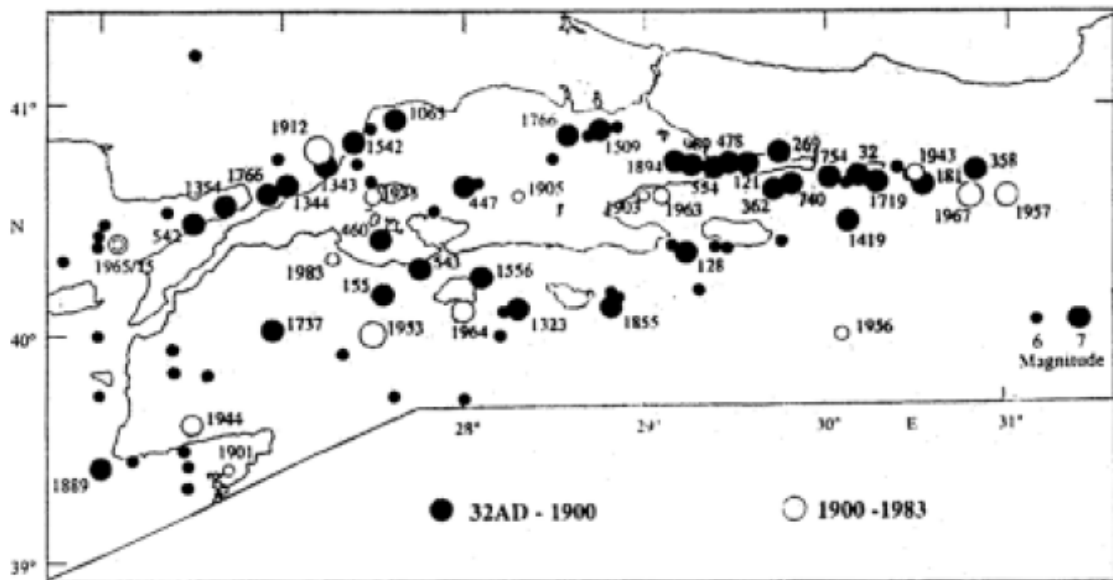


図 6.1.2 マルマラ地域の歴史地震分布

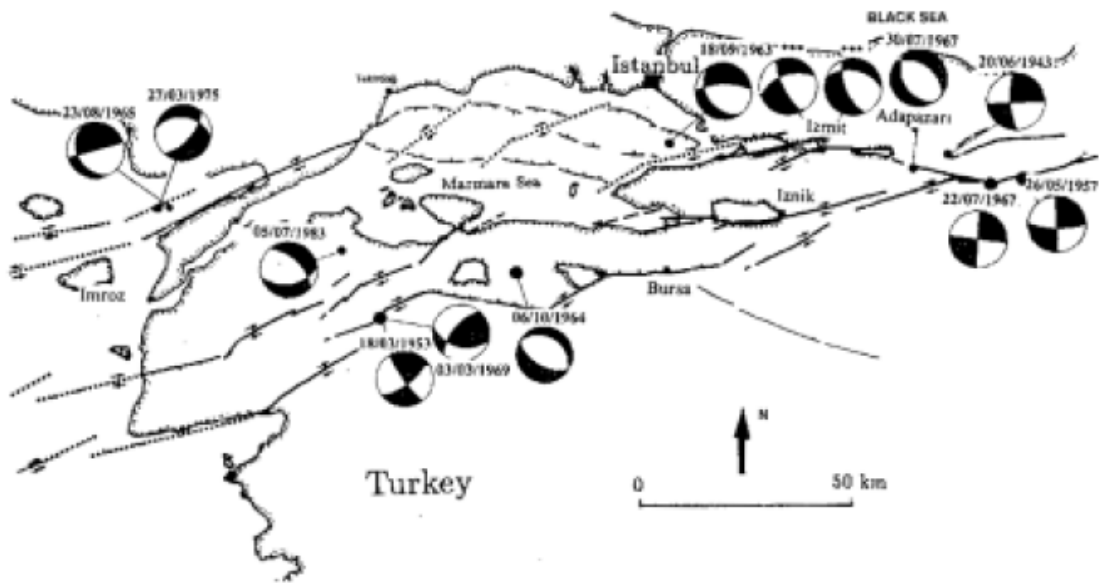


図 6.1.3 マルマラ地域の地震の震源メカニズム

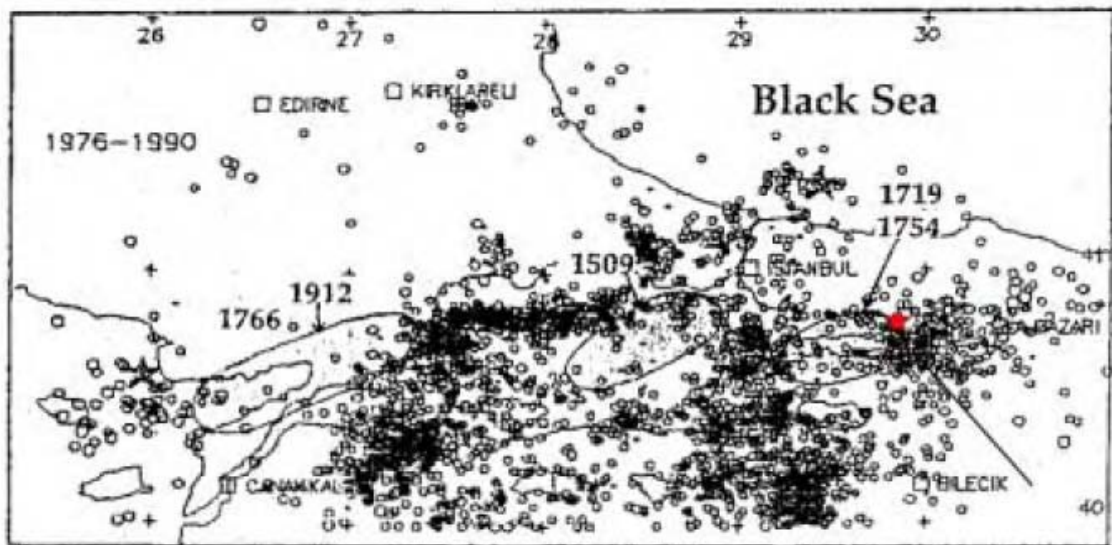


図 6.1.4 マルマラ地域の 1976-1995 年の地震の震央分布

6.2 インドネシア国の大地震発生が予想される地域の特定・分析

東南アジアの中でも地域大国で、広大な国土を有するインドネシアは、世界有数の火山国である。インドネシアには全世界の約20%にあたるおよそ130の活火山が点在している。火山はジャワ等、バリ島などの人口密集地域に存在しているため、その火山活動によって生じる火砕流や土砂流等を与える周辺住民への影響は極めて大きい。

また、インドネシアは、ユーラシアプレート、インドプレートおよび太平洋プレートという大きな3種類のプレートに接する場所に位置している。このため、インドネシアでは

地震災害が発生しやすく、また、急勾配の丘が多い地形のため、土砂崩れが起きやすい環境下にある。図 6.2.1 の米国地質調査所が公開しているインドネシアの地震発生数を示した図によると、スマトラ島西岸沿いにおいて地震発生頻度が高いことがわかる。

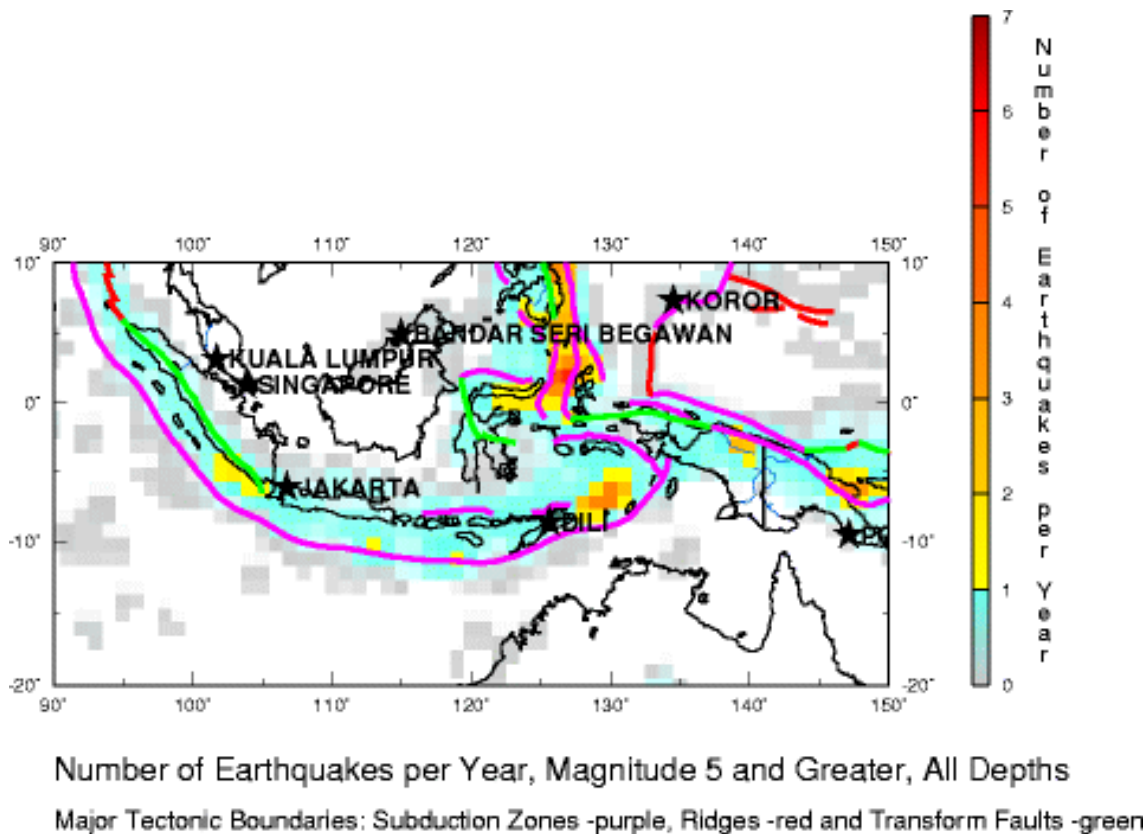


図 6.2.1 インドネシアにおける震度 5 以上の地震発生数 (年単位)

(出典：米国地質調査所 (<http://www.usgs.gov>))

インドネシア近辺では、過去にも多くの地震が発生している。スマトラ島西方沖では 1833年と 1861年にマグニチュード 8 を超える巨大地震が発生した。2005年 3月 28日のニース地震 (M8.7) は 1861年の地震と同じ領域で発生した。

一方、ジャワ島中部では、1840年、1875年と 1921年に強震の記録があり、陸側のプレート内の地震と考えられている。しかし、1937年の M7.2 を最後に M7以上の地震は発生していない。このように、スマトラ島周辺では M8 を超えるプレート境界型地震が発生している上、スマトラ断層の沿った M7クラスの地震活動も発生していて、他の地域に比べて危険性が高い環境にあると言える。

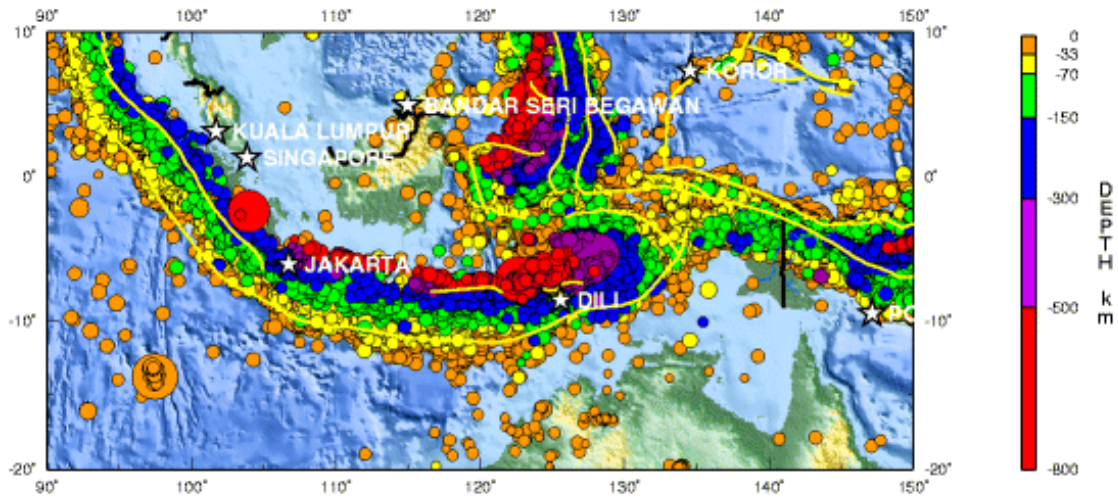


図 6.2.2 インドネシア周辺における過去発生した地震の規模と深さ
 (出典：米国地質調査所 (<http://www.usgs.gov>))

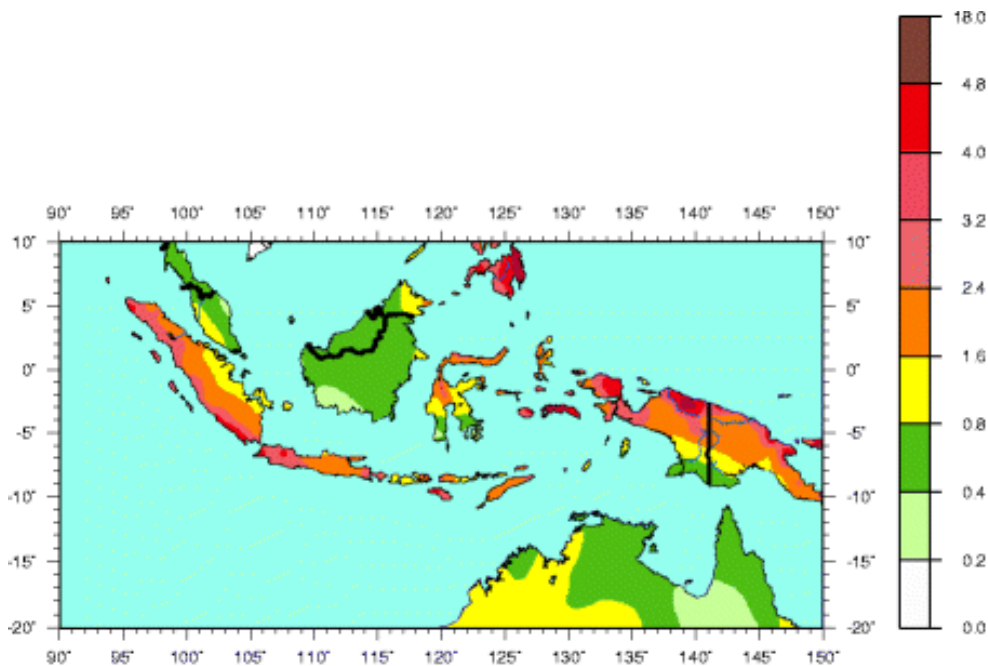
また、米国地質調査所が同地域のハザードマップを公開している。図 6.2.3 では、50年超過確率が 10%の震度を示している。

表 6.2.1 インドネシアにおける近年の大災害

発生年	災害種類	死者数	総被災者数	被害総額 (1,000US\$)
2005	地震	1	684	—
2005	地滑り・斜面崩壊	143	—	—
2005	地震	1,659	267,677	—
2005	爆発噴火	0	26,000	—
2005	鉄砲水	47	768	—
2005	伝染病	0	225	—
2005	森林火災	0	—	—
2004	アルボウイルス	658	58,301	—
2004	爆発噴火	0	16,828	—
2004	爆発噴火	2	20,005	—
2004	地震	33	83,381	—
2004	地震	32	12,833	55,000
2004	津波	165,708	532,898	4,451,600

(出典："EM-DAT：OFDA/CRED国際災害データベース (www.em-dat.net)

ルーベン・カトリック大学(ベルギー・ブリュッセル))



Peak Ground Acceleration (m/s²) with 10% Probability of Exceedance in 50 Years

図 6.2.3 インドネシア周辺における地震発生に伴う陸上の移動加速度

(出典：米国地質調査所 (<http://www.usgs.gov>))

これらの図で示した通り、インドネシア国内においては、過去の地震発生や地理的環境を鑑みても、決して安全といえる地域はない。地震のみに限ることなく、それによって発生する津波、または台風、地すべり、洪水など、全ての災害を対象にして、行政及びコミュニティの役割を明確にして、対策を講じなければならぬ

6.3 中国の大地震発生が予想される地域の特定・分析

中国はユーラシアプレートの南西部に位置し、東には太平洋プレートが約年間 9cm の速度で下にもぐりこみ、南にはインドプレートが約年間 6cm の速度で潜り込んでいる(図 6.3.1)。このような地質構造の影響で、中国内陸では断層が多く、直下型地震が多発している。1900 年以降で、M6 以上の地震が約 800 回を発生し、平均で年に 7 回以上である。そのうち 1920 年寧夏海原地震 (M8.5)、死者 24 万人、1927 年甘肅古浪地震 (M8.0)、死者 4 万人以上、1933 年四川北豊溪地震 (7.5)、1950 年チベット察隅地震 (M8.5)、1970 年雲南通海地震 (M7.7)、死者 1.5 万人、1976 年河北唐山地震 (M7.8)、死者 24 万人と地震被害が大きい。

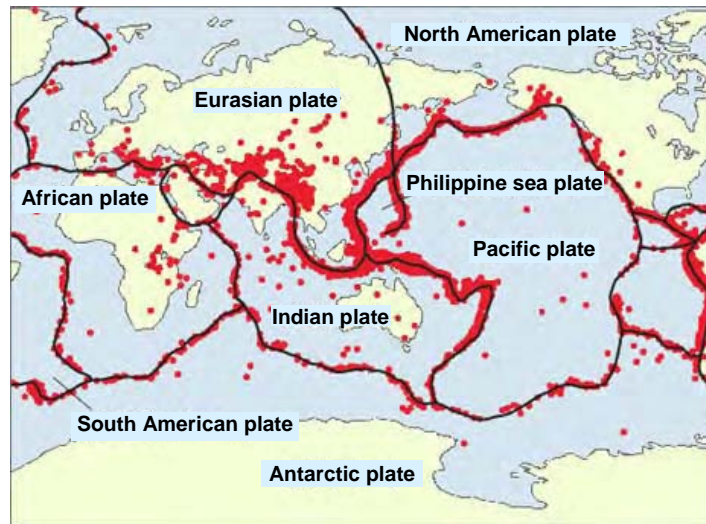


図 6.3.1 プレート構造

歴史上記録のあった M5.0 以上の地震を図 6.3.2 に示す。また、中国の強い地震は主に図 6.3.3 に示した地震帯と呼ばれる場所で発生している。それらの地震帯は主に、チベット自治区、青海省、雲南省、四川省、新疆自治区、甘肅省、寧夏自治区、河北省、福建省に分布している。

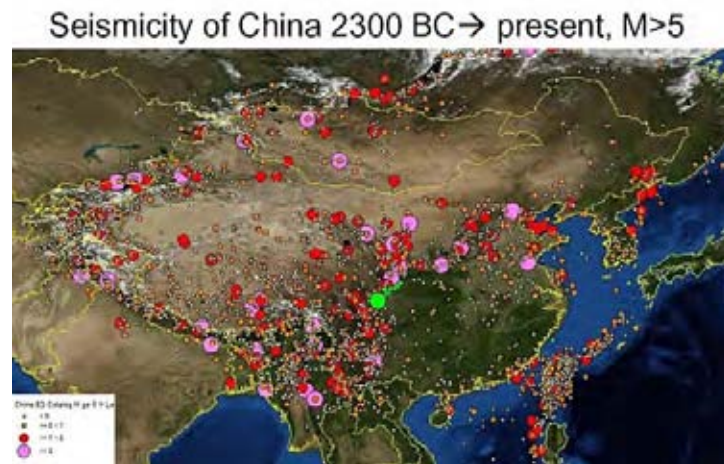


図 6.3.2 M5.0 以上の歴史地震の分布



図 6.3.3 中国の地震帯分布図

中国では、耐震設計のため、地震ハザード解析手法を用いて、全国を対象とした地震危険度マップを1990年に完成した。それを図6.3.4に示す。この図では50年超過確率が10%の震度を示し、耐震設計の基準となっている。耐震設計が必要である震度6以上の区域は中国国土全体の79%、震度7以上の区域は全体の41%を占め、約半分以上の都市が震度7以上の区域に位置する。

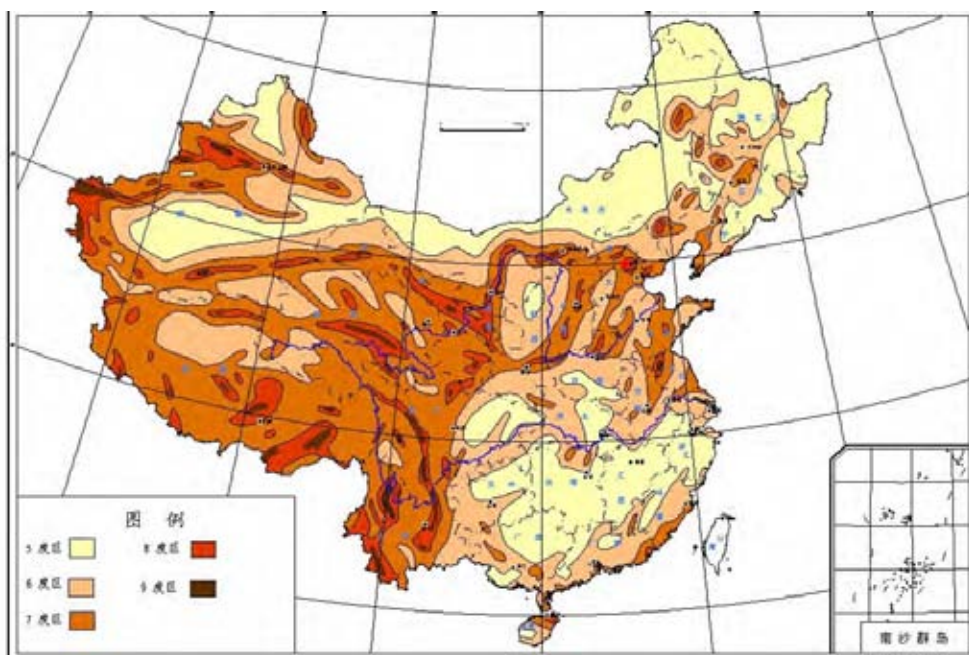


図 6.3.4 耐震設計基準である地震ハザードマップ

第7章 電力設備の防災対策の基本方針

7.1 防災対策の基本方針

地震等の大規模自然災害により電力設備が被災すると、広範囲かつ長時間に渡り停電が発生し社会・経済システムに機能障害を及ぼすだけでなく、人身災害の発生や周囲環境に影響を及ぼす可能性がある。

このため電力設備の防災対策の基本方針を定め、災害に強い電力システムの形成に努力している。

この基本方針は、①被災しにくい設備づくり ②被災時の影響軽減 ③被災設備の早期復旧 の3本の柱で成り立っている。

7.2 震災前の防災対策

(1) 被災しにくい設備づくり

合理的設計により災害に強い電力設備とすることが一つの重要な対応となる。合理的な設計の指針としては、まずは設備被災時の影響であり、人命への影響と停電への影響が2大要素となる。また、設備によって自然災害の主要な要因が異なることから、それぞれに応じた設計が重要となる。基本は、ある地震レベルまではダメージがないようにし、その後は徐々にダメージを許容していくが、設備の重要度に応じてダメージの出始める地震規模を大きくしていくものである。原子力を除く設備については平成7年の防災基本計画のもとで、ダム、LNGタンクなど人命に影響がある設備と、その他の電気設備とで表7.2.1のような耐震性が要求され、それに沿った設計がなされている。自然災害の都度、これら様々な基準の満足度合いの評価を行うとともに、たとえ満たしていた場合でも、より耐震性の高い設備を目指すなど、コストとの調和を図りつつ更なる減災に向けた防災スパイラルの実践に努めている。

表 7.2.1 電気設備の耐震性確保の基本的考え方

		区分Ⅰ	区分Ⅱ
		ダム、LNGタンク、油タンク	発電所建屋、タービン、ボイラ、流通設備など
高レベルの地震動	発生確率は低いが、直下地震または海溝型巨大地震に起因する地震動	人命に重大な影響を与えないこと	長期的かつ広範囲な供給支障を生じないこと
一般的な地震動	設備の供用期間中に1～2回程度発生する確率を持つ地震動	設備機能に重大な支障が生じないこと	設備機能に重大な支障が生じないこと

(出典：防災基本計画（平成7年 中央防災会議）)

新設設備においては表 7.2.1 に示された考え方に従い、事前に耐震設計を的確に行い想定地震に対し十分な耐震強度を持たせるとともに、既設設備で耐震強度が不足する場合には補強等を行う。さらに的確な保守により耐震強度を維持することも必要である。

変電設備を例に説明する。空気遮断器は重いスイッチ部分が1本の太い磁気ガイシにより地上高く設置されており、重心が高く地震の被害を受け易い設備であった。1983年に発生した神奈川県西部地震で空気遮断器が倒壊損傷した事例を教訓に、ガイシを利用した支線を3方向から張る耐震補強を実施した。また最近では、スイッチ部分が地上に設置されたガス封入タンク容器に収納され重心の低いガス遮断器を採用している。

架空送電設備では、一番大きく被害を受けるのが鉄塔で、その原因も地盤変動によって鉄塔の基礎が不同変位を生じ脚部の部材が変形したり、それに伴って傾斜したり倒壊したりするものである。

鉄塔の基礎の不同変位を生じないようにするためには4脚を一体化するマット基礎にしてかつ杭を多数打する対策が考えられるが、全ての鉄塔にそのような対策をする事は費用対効果から考えても得策でないので重要横過物があるような箇所の鉄塔に考える事は一案としてあると思われる。

地震動に伴う電線の動揺による相間短絡による断線は非常に稀なケースで、そのために相間を大きくする事は鉄塔が大規模となるため得策でない。非常に稀である上、復旧も比較的早いので現状の考え方で良いと思われる。

また、がいし連が長大で振動に伴ってがいしの笠欠けが生じる事がある。海岸近くの塩害汚損レベルが高い地域では、がいし連が長大となるので、がいしスペーサーを挿入する事も一案であると考えられる。

(2) 平常時実施事項

図 7.2.1 に平常時に実施する事項を示す。地震防災に関する国や専門機関の各種知見や被災経験に基づき、設備の耐震設計や耐震対策に活かすとともに、被害規模を想定するとともに非常災害対策活動円滑化のための諸準備を行う。さらに定期的に訓練を行い災害発生時に事前に定められた諸対策の実施を検証すると共に、重要なライフラインを運営する事業者として広報すべき内容の準備や広報体制を整備しておく。

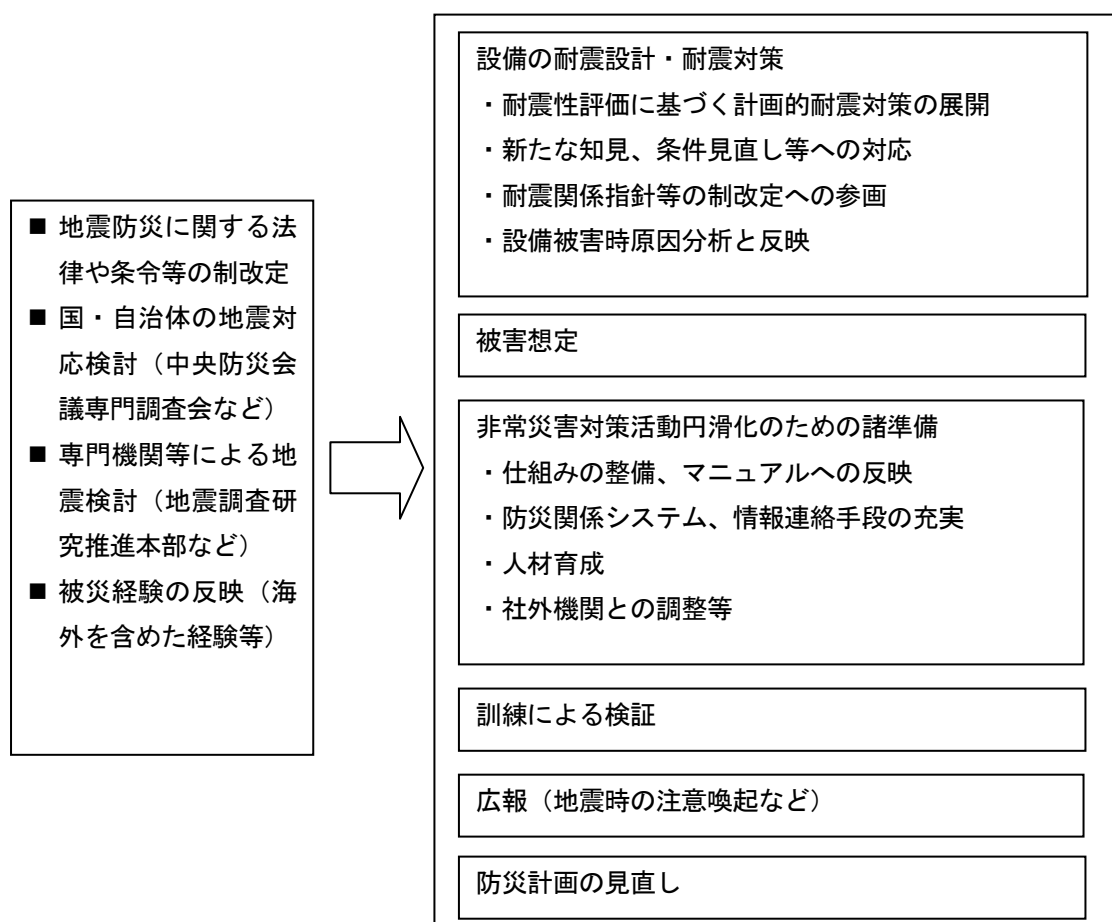


図 7.2.1 平常時実施事項

7.3 震災時の対策（被災時の影響軽減）

被災時の影響軽減としては、設備構成を多重化し余裕設備を保有することで、系統切替により使用不能となった被災設備を切り離して迂回ルートを構成し電力供給を可能とすることや、バックアップ設備の保有により機能を失った被災設備を直ちに切替え、その機能を代替させることが有効である。

送電設備では、鉄塔が地盤変動の影響により傾斜した場合は、鉄塔に支線を傾斜と反対側に設置する事により倒壊を防止する事が対策として考えられる。また傾斜、倒壊しても電線が断線しない場合には、その張力によって鉄塔の連鎖倒壊を生じる恐れもあるので、電線を強制的に切断する対策も時によってはあり得る。

7.3.1 設備計画面の対策（N-1基準）

設備計画基準は、電力系統設備の計画に際し、準拠すべき設備計画上の重要事項、設備の標準形態を定めており、電力系統を計画する際の拠り所となっている。それによれば、骨格を構成する基幹系統においては、1単位の設備事故が発生しても供給支障（停電）を生じないものとしている。これは世界各国の電力会社が採用している考え方であり、N-1基準と

呼ばれる。(N単位の設備から1単位の設備が機能を失っても供給支障を発生させないとの意味)

図7.3.1に1単位の設備事故の例を示す。

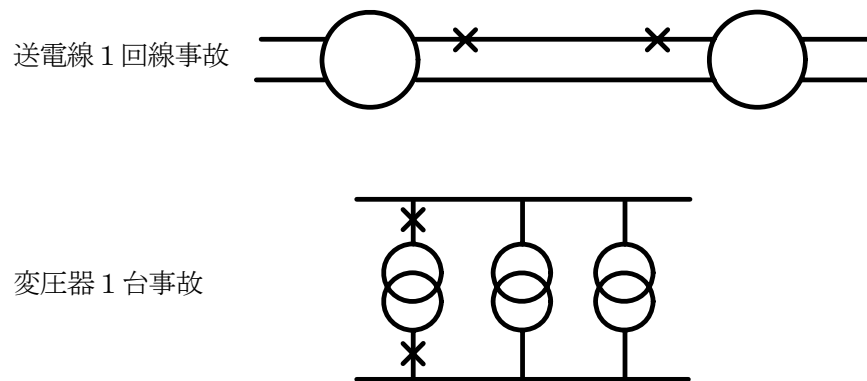


図 7.3.1 1 単位の設備事故の例

1単位の設備が被災すると当該設備が負担していた電力潮流が被災を免れた健全設備に流れ込み健全設備が過負荷する可能性があり、この場合には保護装置が動作し過負荷設備は系統から切り離されるため、停電範囲が拡大する可能性がある。N-1基準は1単位の設備が被災しても健全設備の過負荷は生じないことを意味している。すなわち電力系統を構成する重要設備は設備事故に備えるために、設備健全時の稼働率は100%より小さく余裕を保持している。

7.3.2 系統構成面の対策

図7.3.2に東京電力の系統構成の概略を示す。大消費地である首都圏を50万V系統が二重に半周状に取り巻き、さらにそれらを相互に接続する放射状の送電線で網目状の系統を構成している。これにより送電線あるいは変電所が被災しても被災設備を迂回する系統の構築が可能である。

さらに重要送電線はN-1基準を満たすため1ルート当たり2回線の送電線で構成すること、重要変電所の機器は複数台配置することを基本としており、1単位の設備が被災しても被災を免れた設備で電力供給が可能である。

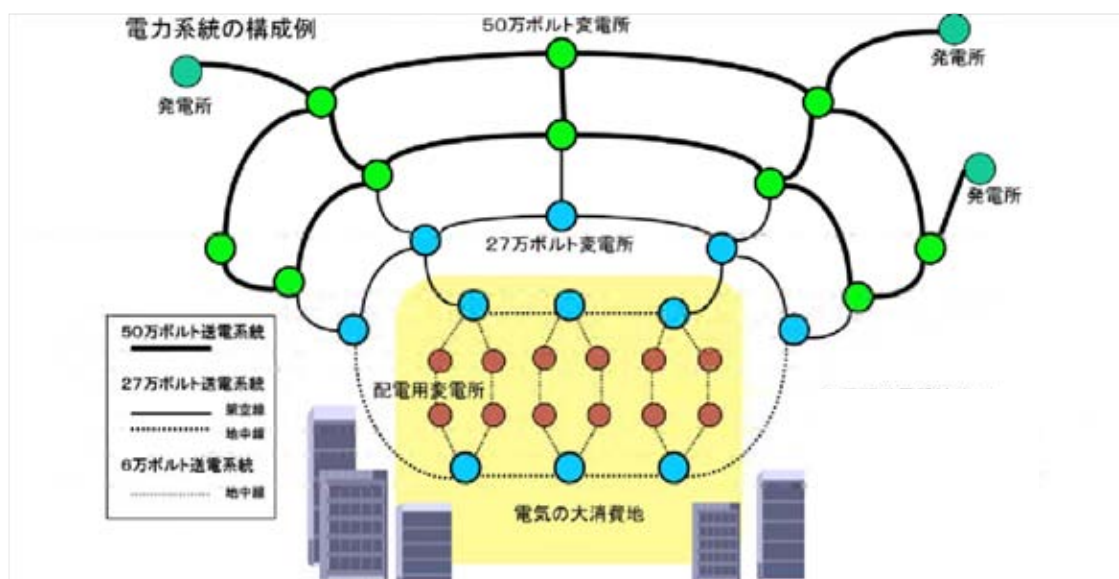


図 7.3.2 系統構成面の対策（東京電力の例）

7.3.3 24時間常駐の体制

発電所、給電所、制御所、変電所等の系統の運転に重要な役割を演じる拠点には、設備の運転・監視制御のために要員が24時間常駐している。このため設備が被災した場合には、被災設備を経由しないルートで電力供給が可能となるよう運転員は系統切替を実施する。

また、保守員は被災現場に出向し安全や設備の被災状況を確認の上、被災設備を切り離すなど停電復旧のための現地機器操作を実施している。

7.4 震災後の復旧対策（被災設備の早期復旧）

系統切替によっても停電が解消されない場合には、緊急用に準備されている、移動用電源、移動用変圧器、さらには仮設備の敷設などで当面の供給支障を解消する。移動用電源などについては各社からの応援も投入される。

応急復旧用資材（電柱、柱上変圧器や電線など）や、主要な送変電設備の予備部品（変圧器ブッシング、ケーブル、ガイシ等）は適切な距離毎に資材倉庫に常備されており、被災時には最寄りの倉庫から倉出し活用されるが、量的に不足する場合には周辺の倉庫からも緊急輸送される。

また発電車、移動用変圧器、移動用開閉器等の特殊車両を配備し応急送電の用に供している。発電車は250～750kVAの大容量発電機を搭載した6kV高圧送電用のものと、75kVAの小容量発電機を搭載した100/200V低圧送電用の2種類が配備され目的に応じて使い分けられる。発電機の周波数は、従来、各電力会社の周波数に応じて50あるいは60Hzの専用機が搭載されていたが、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ50/60Hz両用機に順次取り替えており相互の応援が可能となっている。

さらにはメーカー、工事請負会社等と工事力確保のための協定を締結するとともに、他電力

会社と復旧用資材・要員の応援等に関する要綱を策定するなど、非常災害時の協力体制を整えている。

架空送電線が震災により被害を受けた場合の復旧対策として早期に電力を供給するために仮復旧対策と時間を掛け再発防止を図る計画のもとに多少時間を掛けて復旧する本復旧対策に分けられる。

(1) 鉄塔

地震動の地盤変状により鉄塔脚部の部材が被害を受け部材変形した場合や、鉄塔が傾斜あるいは倒壊した場合は次のように対策を行う。

(a) 仮復旧対策

- ・部材変形については部材を取り外す事が不可能な場合が多く、変形した部材に新規部材を添え補強する。
- ・部材の変形が大きく、かつ多量であり鉄塔が傾斜した場合には、送電が電氣的に可能な場合は傾斜とは反対側に仮支線を設置して倒壊を防ぐ対策を行う。傾斜があまりに大きく電氣的にも安全距離の確保が困難で、かつ倒壊の恐れがある場合には安全面を考慮しつつ鉄塔を解体する場合もある。
- ・鉄塔の部材変形が非常に大きく、自立する機能も失い倒壊した場合には、送電線を仮復旧するために仮鉄柱を支線等で補強して建て送電を可能とする仮復旧対策を行う。

(b) 本復旧対策

部材変形、傾斜、倒壊鉄塔いずれも新規に建替を行って本復旧している。

(2) 電線・がいし

電線の断線、がいしの破断、がいしの笠欠等の数は非常に少ない被害率であるが、万一発生した場合には、電線の新規張替え、がいしの新規品の取替を行い本復旧としている。

(3) その他

鉄塔の基礎の損傷は通常大きなものではないので補修を行い、また鉄塔敷地内の地割れ等は土盛を行い、本復旧としている。

7.5 震災リスク管理の現状

7.5.1 リスク管理の枠組み

近年、ISO (International Standardization Organization) や日本工業規格においてリスク管理に関する規格制定が検討され、リスク管理への関心が高まるとともに、企業が積極的にリスク管理に取り組むようになってきた。建物を所有する企業あるいは経営者の経営上のリスクを考えた場合、日本では地震によるリスクが無視できず、経営者は人命確保や企業の存続を前提とした上で、設備の立地、耐震基準、補修、重要施設配置等についての意思決定を行い、合理的なリスク管理を実施する必要が生じてきている。

これまでは、地震によるリスクの回避・低減の施策として耐震性の向上（強度や靱性能の割増し、免・制震（振）、等）が図られてきたが、起こりうる地震の規模や考慮すべき被害によっては、従来の施策では十分な対応ができなくなっている。例えば、極めて大きな地震動が想定される場合に、従来の方法により設備を所定の被害レベルに押さえることは経済的な側面からは非現実的になることが考えられる。また、経営被害の低減に関しては設備の耐震性の向上のみでは不十分なこともある。

経営的観点から見れば、耐震性の向上以外にもリスク低減の施策がある。例えば、複数の設備を有する企業にとっては、個々の設備の耐震性能を向上させるのではなく、それらを適切に配置することが経営上のリスクを軽減する上で効果的となる場合も多い。また、自然災害保険等の金融工学的な手法によるリスク移転も効果的な施策として期待できる。

リスク管理は図 7.5.1 に示すように、①リスクの発見、②リスクの測定、③リスクの処理、④処理されたリスクの再評価、といった手順を取るのが一般的である。リスクの発見は、設備に生じる全ての事故や災害を洩れなく抽出することである。リスクの定量化とは、抽出されたリスクについて損害の程度・規模・影響の分析を行うことであり、これは過去の災害経験や理論的な推測により行うことができる。

リスクの処理はリスクコントロールとリスクファイナンスに大別される。リスクの処理の分類を図 7.5.2 示す。リスクコントロールは、例えば、耐震性能の向上や免震・制震（振）の導入により地震の発生によって生じる損害を最小に抑えるといった施策のことであり、一方、リスクファイナンスとは、損失が発生したときに、その損失を経済的に補填する手法をいう。このリスクファイナンスには、①自分で損失を負担するリスクの保有（保有株の売却、会社内預金の取り崩し等による補填、キャプティブの設立による処理等）、②契約に基づく第三者への損失の移転（保険、共済等、リスクの証券化等）、といった方法がある。

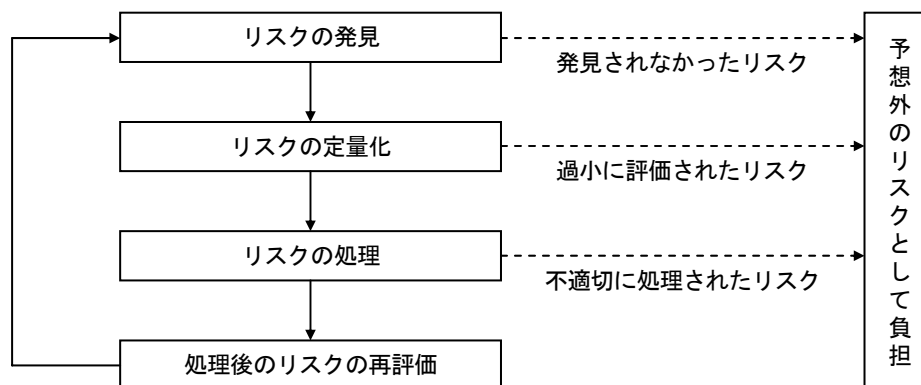


図 7.5.1 リスク管理のプロセス

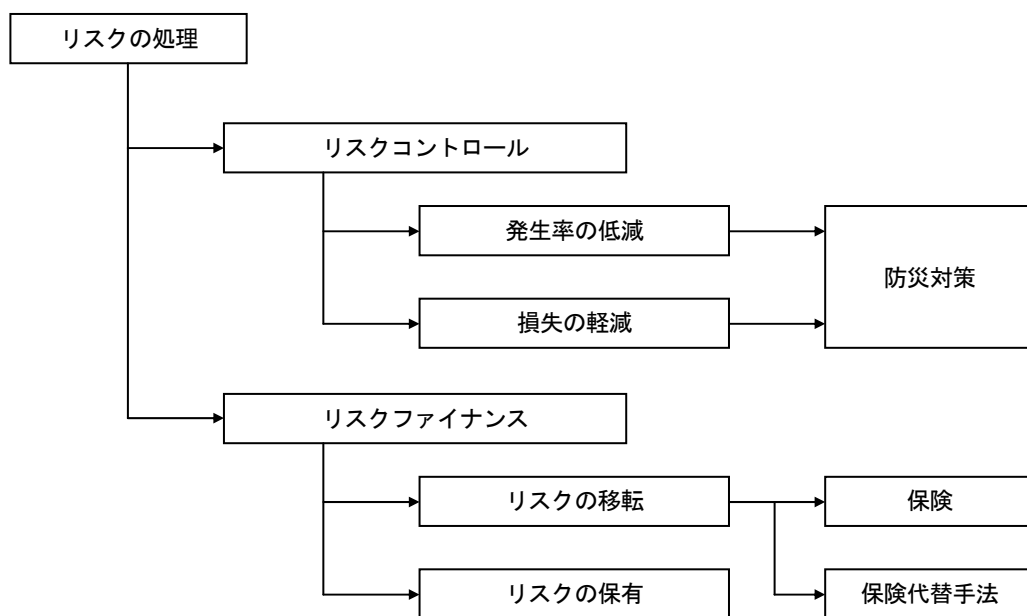


図 7.5.2 リスク処理手段の分類

7.5.2 リスクの定量化

地震災害を対象としたとき、被害の多様性とその損害の予想の難しさを考えると、リスクの処理としては、リスクコントロールとリスクファイナンスに関するいくつかの方法を組み合わせて採用することが現実的である。

リスクをヘッジするという観点からは、より高額な損失に対応した補填が望ましいが、一方、リスクの処理には処理するリスクの大きさに応じたコスト(リスクコスト)が発生する。そこで、企業はリスクとリスクコストの双方を勘案して、合理的なリスク処理を選択し説明することを求められるようになる。また、そのためには定量化されたリスクに基づく判断が不可欠である。

企業を取り巻くリスクには、図7.5.3に示すように、様々なものがあるが、損害の規模で考えると、経営の存続を危うくさせるような巨大損害を生じさせるリスクが問題となる。このようなリスクの代表的なものが地震リスクである。発生頻度の小さなリスクは経験が少ないために、その損害程度を把握することが難しく、損失の予測が困難である。そのために、予想を超えた損害の発生の可能性がある。

このような不確定な事象を扱う手法として確率論的なアプローチがある。確率論的なアプローチでは、損失と、その発生確率とを同時に扱う。図7.5.4に示した曲線はリスクカーブと呼ばれるもので、確率論的なリスク評価で一般的に用いられているものである。横軸は損失を、縦軸は年超過確率(当該損失を超過するような損害の1年あたりの発生確率)を表し、地震動の強さが大きいほどその年間発生確率が小さくなることに対応して、損失が大きいほどその年超過確率も小さくなる。

同図中の損失Aは最大損失と考えられるもので、建物の損害だけを扱うのなら原理的には対象とする設備の資産額(再調達価額)に等しくなる。損失Bは、予想最大損失(PML: Probable Maximum Loss)と呼ばれるもので、所与の年超過確率に対応した損失である。参照する年超過確率の与え方は特に決められてはいないが、供用年間中の損害の発生確率で示されることが多く、例えば「50年間に10%」に対応する年超過確率は1/475である。また、リスクカーブ、X軸、Y軸の3者で囲まれる面積は損害の年期待損失(AEL: Annual Expected Loss)に相当する。年期待損失は、発生頻度の大きな中小被害額の寄与が支配的となり、PMLに比べてかなり小さな値となる。

以上のように、損失の指標は必ずしも1つではなく、評価主体によって用いる値は異なる。例えば、損害保険会社のように評価主体が多数の物件を抱え、結果として大数の法則が成り立つような場合には、実際の損害はAELに近く、またその変動も小さいことから、損失としてはAELを考えることが適当である。一方、リスクヘッジを行う企業にとってのリスクを考える場合には大数の法則が成り立たず、リスク回避の観点からは期待値よりも大きな損害に対してリスクの処理を行わざるを得ない。

ところで、過度に高額な損失を考えることは、場合によっては非現実的な被害を想定することにも通じ、また前述したようにリスクコストも過大となることから合理的ではない。例えば、東京に位置する建物と大阪に位置する建物が同時に大被害を受けるということは確率的には無視できるような事象であり、このような事象を想定してリスクの処理を行うことは

合理的ではない。

したがって、リスク管理を行う企業あるいは経営者の立場では、①リスク回避の観点からは期待値以上の損失を考えること、②リスク処理の観点からは過度に大きな損失の評価は不合理であること、の2つを勘案してリスクを定量化する必要がある。前述のPMLはリスクカーブと参照確率から設定することができ、さらに、参照確率は建物の供用期間と供用期間中の損失の超過確率から求められる。企業経営者にとっては容易にこれらの値を設定できることから、PMLを損失の指標として用いることが合理的であり、実際に広く用いられている。PMLを求めるには図7.5.4に示したようなリスクカーブが必要となり、リスクカーブの評価がリスク管理における鍵であると考えられている。

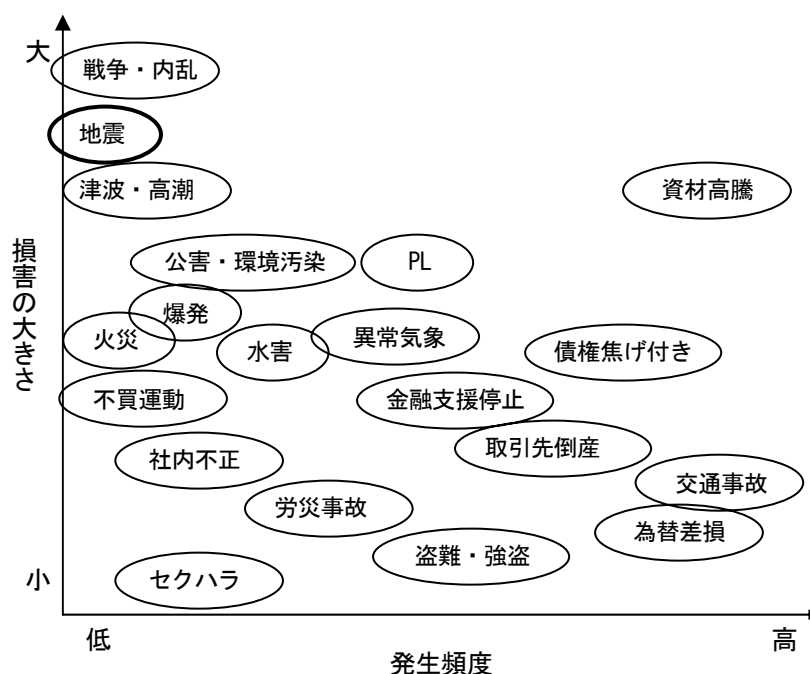


図 7.5.3 企業を取り巻くリスク

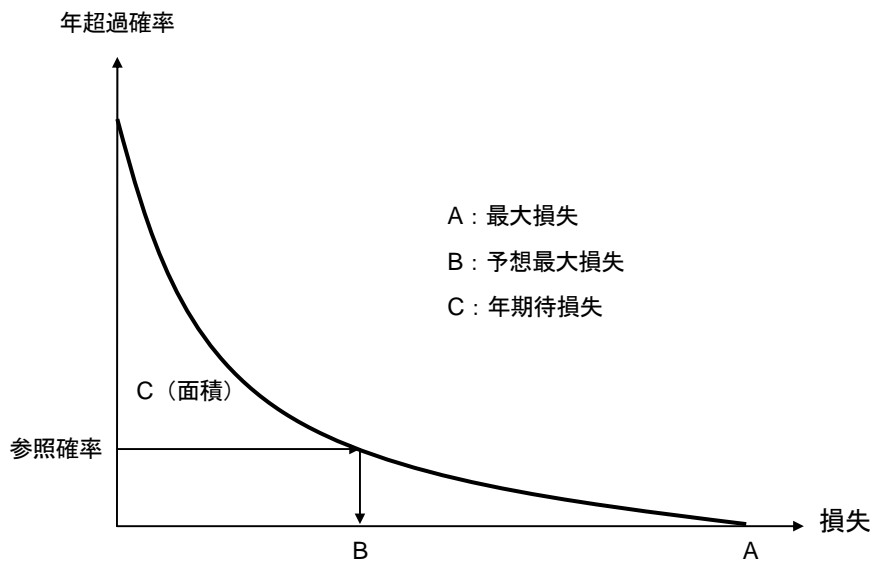


図 7.5.4 リスクカーブと損失の定義

7.5.3 自然災害保険と代替的リスク移転

大企業が外部へ移転する必要のあるリスクは1事故ベースで見ても保険会社の引受キャパシティを超えるものが増えてきた。例えば、地震やハリケーンなどの天災リスク、あるいは大規模な開発プロジェクトや環境汚染のリスクなどである。しかも、「現在の損害保険ではカバーされないリスク」を考えれば、損害保険業界の引受能力は大企業の需要を満たすには不十分であると考えられる。

一方で保険に隣接する金融マーケットの資金量は保険業界のそれと比較して「けた違い」に大きい。金融マーケットの持つこの圧倒的な資金量を、リスク処理の資金に振り向けることができれば、大企業のリスク処理への要求を質・量ともに充足させる可能性がある。このような背景から、近年、代替的リスク移転が注目されており、リスクの証券化やデリバティブ化、リスクスワップ等が行われるようになってきた。

(1) 企業内リスクの負担と外部への移転

企業におけるリスクの負担と外部への移転手法を、表 7.5.1 に示す。

表 7.5.1 企業におけるリスクの負担と移転

分類	方式	方法	損失の企業内部での負担方法 あるいは移転先
企業内部での リスク負担	自家保有	無保険	損失を等年度の利益で吸収
	遡及的料率算出方法 (レトロスペクティブ・ レイティング・プラン)	保険契約	損失を次年度以降の会計年次へ 先送り分散して、各年度の利益 で吸収
	多年度拘束保険契約 (ファイナイト・プラ ン)	保険契約	同上
	キャプティブ保険会社	保険契約 再保険契約	子会社の株主資本で吸収
	融資予約方式 (コミットメント・ライ ン)	融資契約	長期借入金でキャッシュフロー を確保 (長期負債として処理)
企業外部への リスク移転	非常時劣後債券発行権 (コンティンジェント・ サープラスノート)	債券の発行	株主への移転
	非常時株式発行権 (コンティンジェント・ エクイティ・プット)	増資 (新株式の発 行)	株主への移転
	保険	保険契約	保険市場への移転
	共済	共済加入	共済の組合員への移転
	金融デリバティブ	金融デリバテ ィブ取引	金融派生商品 (デリバティブ) 市場への移転
	証券化	証券取引 (社債の発行)	資本市場への移転

(2) 自然災害保険の仕組みと自然災害保険によるリスク移転の問題点

(a) 自然災害保険の仕組み

自然災害保険の目的は偶発的な一定の事故から生じる経済的不利益からの相互救済であり、その仕組みは、

- ・多数の人々が集まって、
- ・統計的基礎によって算出された保険料を予め出し合って共同基金を作り、
- ・事故発生により経済的不利益を被った人がこの共同基金から保険金を受け取る、

というものである。

自然災害保険の原則を以下に示す。

① 大数の法則

一見、偶然と思われる事象も大量の観察を行えば、そこに一定の法則が見られる原理のこと。同一危険に晒された人々が大量観察できるほど多数存在し、そこから事故発生率を導出でき、その事故による損害の大きさを見積ることができれば、保険料率を合理的に算出することができる。

② 給付反対給付均等の原理

保険料＝事故発生頻度×損害割合とするもので、事故発生頻度が大きい場合、あるいは事故による損害の大きさが大きいほど、高額な保険料を支払うことを示す。

③ 収支相当の原則

保険集団の構成員が支払う保険料総額＝支払われる保険金総額とするものである。ただし、これはあくまで原則であり、実際には保険会社の手数料等も保険料に含まれるため、保険集団の構成員が支払う保険料総額＞支払われる保険金総額となる。

自然災害保険の内、地震リスクに関連するものとして、地震保険と地震危険担保特約がある。前者は対象が住居用建物及び生活用動産（家財）であり、火災保険に付帯して加入する。保険金は、建物については5000万円、家財については1000万円まで支払われる。後者は事務所ビルや工場等を対象としたもので、支払額等は損害保険会社との個別の契約による。

地震保険を掛けることの効果には、直接効果と間接効果がある。前者は罹災施設の修繕・再築に要する復旧費用の一部または全部が保険金によって賄われることによって生じる効果であり、損益計算書上は計上利益等の減少幅の圧縮として現れ、貸借対照表上は、現預金の減少幅の縮小、総資本・自己資本の減少幅の縮小、負債の増加抑制として現れる。一方後者は、売上減少幅の縮小、株価下落の抑制、信用リスクの発生の回避、として現れる。

地震保険の必要性の高い企業としては、以下のような企業が挙げられる。

① 当座資金（特に現預金、有価証券）の蓄えが少ない企業

地震により、復旧資金の資金需要及び運転資金の増加による資金需要がともに増加し、平時の運転資金に比べて現預金や有価証券の少ない企業は余裕資金が不足し、資金繰りに詰まる可能性がある。

② 有価固定資産の簿価の高い企業

罹災した施設・設備の償却額が大きくなり、当期利益を圧迫する要因になる。

③ 負債比率の高い企業

復旧資金や運転資金を賄うための新規借入に対する金融機関等の拒否反応により、資金ショートの特徴がある。

④ 罹災により売り上げ減の大きくなる特徴の企業

ホテル、旅館、遊園地のように施設を利用して売上を上げている企業
スーパー、小売業、病院等の施設内で販売、営業活動を行っている企業
地場産業のように代替施設・製造設備を持たない企業
商圏が狭い地域に限定されている企業
流通業、運輸業のように交通遮断の影響が大きい企業

⑤ 固定費の大きい企業

原価に占める固定比率の高い企業は、売上の変動が営業利益に与える影響が大きく、当期の利益の圧縮要因になる。

⑥ キャッシュフローを外部に依存している企業

成長途上の企業

ハイテクのように資本の先行投資の必要な企業

装置産業

(b) 自然災害保険によるリスク移転の問題点

企業や個人に向けた自然災害保険は、免責金額が大きく設定されたり、保険カバーの限界が強く制約されている。このように自然災害保険の契約内容が制約的である背景には、供給側（保険会社サイド）の要因と需要側（保険購入者サイド）の要因があることが指摘できる。以下に米国において指摘されている問題点を挙げる。

供給側（保険会社サイド）の要因としては次のものが挙げられる。

① 保険料の制限

自然災害保険の保険料が規制されている。特に、自然災害リスクの高い地域では政府が自然災害保険料の上限を年金数理的に公正な価格を下回る水準に設定している。こうした保険料に対する規制は、元受保険会社がクオリティの高い自然災害保険を企業や家計に提供するインセンティブを削いでしまっている。

② 政府提供の保険プログラム

政府が提供する自然災害プログラムが、民間企業が自然災害保険を提供するインセンティブを弱めてしまっている。米国での象徴的な事例として、連邦政府が連邦洪水保険（the National Flood Insurance Program）を提供する以前には、民間保険会社は洪水保険を提供していたことが挙げられる。

③ 政府の保険政策によるモラルハザード

保険会社の支払不能に備えて政府の保証基金（guaranty funds）が、民間会社が過度の危険を引き受けるような自然災害保険を提供するというモラルハザードを引き起こしてしまい、自然災害リスクに対して適切なプライシングが行われなくなってしまうことがある。その結果、過度のリスクを割安に引き受けるタイプの自然災害保険ばかりが提供されてしまうことになる。

④ リスクの定量化の難しさ

数量的に認識できないリスクを引き受けることを躊躇するか、そうしたリスクを引き受ける場合に高い保険料率を要求する傾向があることが報告されている。元受保険会社や再保険会社が数量的に認識できない自然災害リスクを引き受けることを回避する結果、自然災害保険のメニューが限られてしまうことになる。

一方、需要側（保険購入者サイド）の要因としては次のものが挙げられる。

① 政府の救済に対する期待

企業や個人の側に、災害後は政府が広範な資金援助をしてくれるという期待があると、事前に自然災害保険を購入しておくというインセンティブがなくなってしまうことが挙げられる。こうした政府の事後救済に対する期待は、企業や個人が自然災害に起因する損失を緩和するような措置（mitigation）をとるインセンティブを弱めることになる。

② リスクの過小評価

企業や個人には、認識することが難しいリスクを過小評価してしまう傾向がある。地震などの巨大自然災害はその発生頻度が低いことから、企業や個人がそのリスクを認識することを怠るために、自然災害リスクを保険する契約への需要が生じない可能性がある。

③ 保険購入のインセンティブの無さ

企業リスク管理を担当している経営者に対して、大きな損失に対する保険を結ぶ決断をする誘因が弱いといわれている。頻度が高い中小規模損失に関してリスク管理を怠ることは経営責任を問われる可能性が高いので、そうしたリスクには保険契約があらかじめ結ばれている。一方、頻度が低い大規模損失に関して他の経営者も備えを怠ることが期待できれば、自らが保険を怠ってもその責任を問われることはない。自然災害リスク管理に対して企業経営者が必ずしも適切なインセンティブを持っていないという事実は、企業株主が自然災害リスクの管理に対して直接関与すべきであることを示している。

(2) 再保険の役割と再保険市場の問題点

(a) 再保険の役割

「再保険」とは、保険会社が自ら負担してもよいと考えられる責任額を超える保険契約を引受けた場合、または1回の大災害によって多数の引受契約から巨額の支払いを強いられるおそれがあると判断される場合に、自己が負担する保険責任の一部または全部を他の保険会社に転嫁することである。再保険に付保することを「出再する」、逆に再保険を引受けることを「受再する」という。この再保険を引受ける保険者を再保険者（Reinsurer）または受再保険者（受再者）といい、他方、再保険カバーを求めて出再する保険者を出再会社（出再者）という。出再者が、自己が引受けた保険契約の引受責任の一部または全部を自己の責任で負担することを「保有（Retention）する」という。

「再保険の機能」は、再保険は自社の保有能力を超える保険責任について他の保険会社に引受責任を転嫁することにより危険の分散化、平準化、同質化を図り、疑似的な「大数の法則」環境を実現させ保険の安定を実現するものである。

例えば、ジャンボジェットや石油化学コンビナートなどの巨大リスクや、地震・台風のように、1つあたりのリスクは小さくても集積額（多数の保険契約についての支払責任額の合計）が巨大となる自然災害等、1保険会社が自己の保有能力のみで対応できないケースが多々存在する。1つの例で考えてみると、保有能力をはるかに超える巨大リスクの引受照会があった場合、保険会社の対応は、もし再保険がなければ、次ようになる。

- ① 自ら全額を引受けることができないので引受を謝絶する。
- ② 自らの保有能力を超えるリスクを冒して全額を引受ける。
- ③ 他の元受保険会社と一緒に共同保険で引受ける。

上記①は保険会社として避けたいところであり、上記③は競争激化の時代にあっては採りたくない選択肢である。

上記②は保険経営を極めて不安定なものにする。一方、これら様々なリスクに大数の法則、即ち「互いに独立した同一保険金額、等質の保険契約が多数存在する」環境を用意することは、安定した保険を実現するには不可欠である。このような中で、様々な再保険カバーを駆使することにより、保有契約のポートフォリオを限りなく「大数の法則」に近づけることが可能となり、その結果保険の安定が実現できる。

以上に述べた再保険の機能を整理すると、再保険の目的は次のようである。

- ① 保険事業の安定化を図る。
- ② 異常損害を防止する。
- ③ 引受能力を補完（増強）する。

上記①は、保有損害率が毎年過度に変動しないようにすることである。保有損害率を元受損害率より常に低くすることではないことに注意が必要である。

上記②は、台風・地震等の自然災害による集積危険に備えることである。例えば、住宅物件は個々の火災危険については金額も同程度で、件数も多いので大数の法則が十分成り立つ。しかし、台風・地震等の異常災害が発生すると、多数の保険契約が損害を被る。すなわち、大数の法則を成立させる要件である「多数」「同一金額」「等質」「独立」の危険の内、個々の契約が互いに独立であるという要件が失われてしまう。しかし、これを防ぐために一定地域内に所在する保険契約の集積金額を基礎として保有割合を決定すると、個々の保険契約における保有割合を低く抑えなくてはならない。そこで保険者は個々の保険契約について保有を決定し、異常損害に対しては別途「超過損害額再保険」を設定することが一般的である。この設定によって保有集積損害額を一定の許容水準に抑えることが可能となる。

上記③は、巨大危険の引受を可能にすることである。元受会社が保有責任だけで引受できる1危険の大きさには限度がある。保有能力に加えて強大な再保険キャパシティを持てばそれだけ元受営業競争上、優位に立つことができる。

(b) 再保険市場の問題点

再保険市場における自然災害保険の問題点を以下に示す。

① 高価な保険料率

自然災害保険の問題点の1つは、保険料率が非常に高いことである。地震リスクは、基本的に時間的次元と地理的次元で分散できるため、通常であれば保険料率は低くできる可能性がある。また、実際の保険料は損失額の期待値にほぼ等しくなることが理論的には予測される。ところが、再保険市場では損失額の期待値をはるかに上回る保険料率になっている。例えば、再保険業界の最大手であるパークシャーハザウェイ社は、損害の年発生確率が1.7%しかない事象に対して、10.75%の確率に相当する保険

料率をチャージしている。つまり6倍以上の保険料率を課している。

② 保険料率サイクルの存在

保険料率の変動は時間（期間）を通じて非常に大きい。例えば、大災害が発生し、再保険会社に大きな支払いがあると、その後の再保険料が高騰し、しばらく大災害が発生しないと、市場原理により保険料が低下してくる。特に顕著な例は1992年のハリケーン・アンドリューである。このときは多くの損害保険会社が倒産し、その後再保険市場でプレミアムが高騰している。

③ 再保険資本の不足

再保険のための自己資本が小規模であるため、大災害が発生した後には準備金が不足する。資本調達力に限界があるため、再保険市場があまり機能しない。

④ 独占的、寡占的な供給

再保険市場は本来的に、非常に独占的、寡占的な市場となっている。そのため、競争原理が働かず、価格を吊り上げつつ供給量を下げることができる。

⑤ 高額支払い部分のカバーの低さ

地震や自然災害を対象とした保険のうち、損失の非常に高いハイ・レイヤー部分については再保険によるカバレッジが極めて低いことが挙げられる。この部分は価格が非常に高く、損失がカバーされる度合も非常に小さいため、自然災害保険の分野では元受保険者が十分な再保険を手配する機会は極めて限られている。

(3) 証券化による地震リスク移転の仕組み

日本では1997年に、最初の自然災害リスクの証券化が実施された（図7.5.5）。この「南関東の地震リスクの証券化」を例にとると、その仕組みは次のようになっている。

この証券化は、額面1億米ドルの債権を発行し、一定規模以上の地震の発生の有無によって償還額を変動させるものである。実際には、図7.5.6に示すような2つの範囲を南関東地域に設定し、その内側を震源とする地震が今後10年に発生するかどうかをトリガーとしている。外側は元本保証のない債券、内側は元本保証が一部含まれる債券で、表7.5.2に示すようにマグニチュードの大きさによって元本没収率を変えている。利回りについては、元本保証のない場合にはLIBOR+4.3%、元本保証のある場合にはLIBOR+2.06%である。

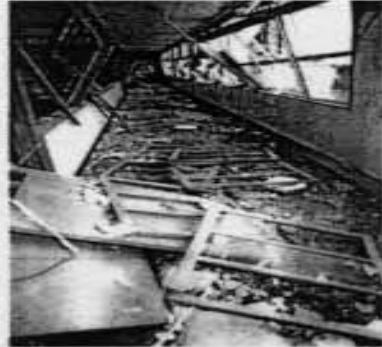
大地震で紙屑になる高利回り商品を 完売させた東京海上の新たな営業方針

ビッグバンの到来で戦々恐々の損保業界に、なんと大胆な商品が登場した。「利回りは年率一〇%。ただし一〇年以内に関東で大地震が起きたら元本没収」こんなハイリスク・ハイリターンの証券が、一億以上も売れたのだ。しかも申込みはその四倍あったという。

東京海上火災保険。買い手は欧米の保険会社やヘッジファンドなどの機関投資家である。損保会社は通常、企業向け火災保険の拡張として地震保険を付けている。だが規模が小さくほとんどの建物は地震リスクがカバーされていないのが現状だ。例えば東京海上では、約二〇〇億円（南関東地区）の地震

リスクを引き受けており、うち半分以上を再保険に出している。数に限りのある再保険会社にはこれが限度。かといって再保険に出す割合を減らし、自らリスクを抱えれば信用力が低下する。そこで巨額の資金が動く資本市場に目をつけたわけだ。一年契約の再保険は保険料が乱高下し、引受け拒否もありうるが、

▼だれだって地震はイヤだが……



資本市場からの調達なら長期間安定した再保険コストが確保する。ちなみに東京海上は、新たなリスク分散の手段をえたことで、地震リスク引受けキャパシティは約一〇%向上した。保険リスクの証券化は九六年に生まれて以来、欧米の大手保

険会社による実績が五件あるだけ。いずれもハリケーンや地震など自然災害が対象で「カタストロフイー・ボンド」と呼ばれる。市場規模は再保険の約二五〇億ドルに対し、現在一〇億程度だが、将来は四〇〇億ほどになるとの予想もある。東京海上は今後、企業向け地震保険を積極的に売っていくよう方向転換した。「他社には容易に追いつけないスキーム」と、さらに第二弾も検討中だ。

図 7.5.5 日本で最初の自然災害リスクの証券化に関する記事

表 7.5.2 「南関東の地震リスクの証券化」で用いられた元本没収率

マグニチュード	元本没収率 (%)	
	内側のグリッド	外側のグリッド
7.1	25	0
7.2	40	0
7.3	55	25
7.4	70	44
7.5	85	63
7.6	100	81
7.7 以上	100	100

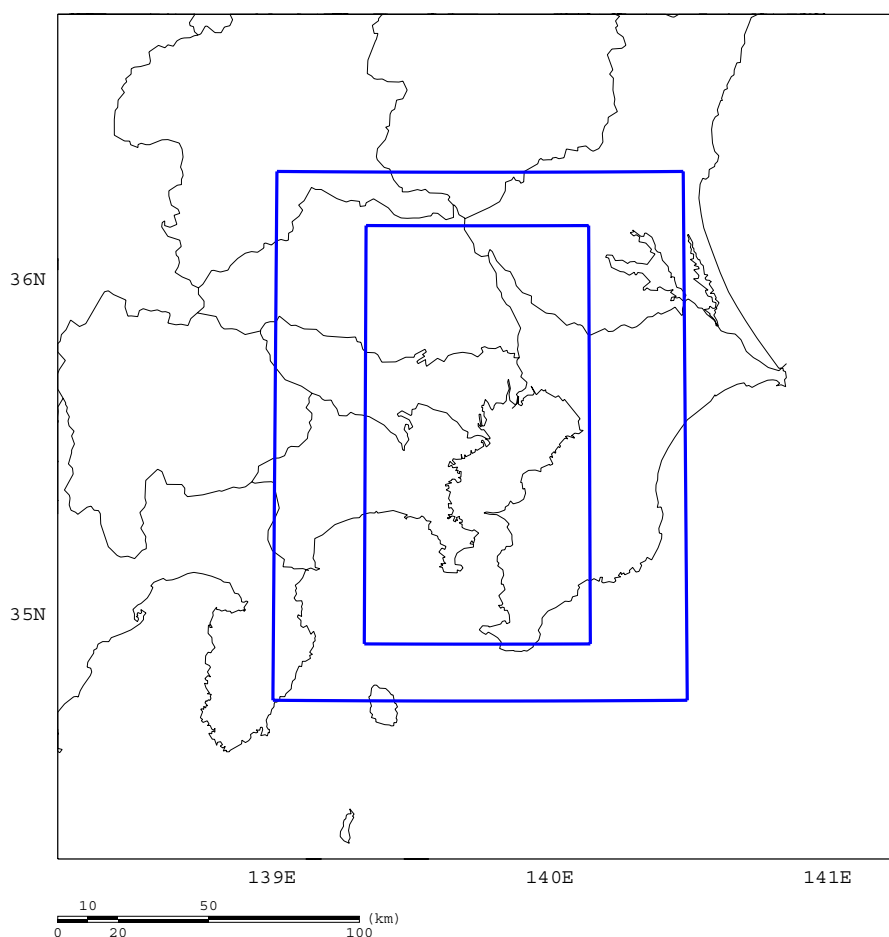


図 7.5.6 「南関東の地震リスクの証券化」で用いられたグリッド

7.6 震災リスク管理計画

7.6.1 事業継続計画（BCP）

大規模災害に対するリスク管理の一つとして、近年、事業継続計画（BCP：Business Continuity Plan）が着目されている。BCPは1993年のWTC爆破テロを契機に登場してきたが、2001年の同時多発テロの際にBCPを策定していた企業が翌日に業務再開を果たしたことで俄然注目された。日本では、新潟県中越沖地震の際に1社の業務停止がサプライチェーンに深刻な影響を与えた。このことより、日本でも表7.6.1に示すように、各機関でBCPの策定が多く報じられるようになってきた。企業のBCPへの取り組み状況を図7.6.1に示す。

表 7.6.1 BCP 促進に係る動向

年月	発表機関	具体的な内容
2005.3	経済産業省	事業継続計画策定ガイドライン
2005.8	内閣府	事業継続ガイドライン第一版
2006.2	中小企業庁	中小企業BCP策定運用指針
2006.8	日本建設業団体連合会	建設BCPガイドライン
2007.6	内閣府	中央省庁業務継続ガイドライン
2007.6	国土交通省	国土交通省業務継続計画
2007.12	東京商工会議所	中小企業BCPステップアップ・ガイド
2008.8	東京都	都政BCP

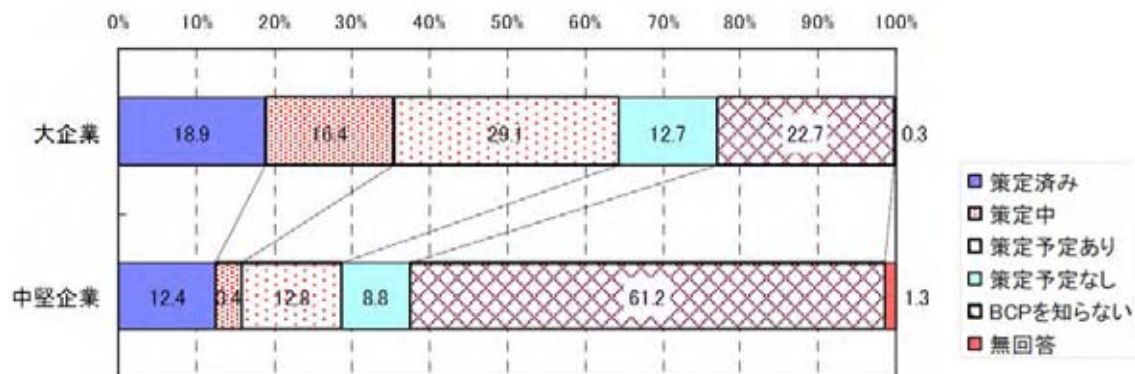


図 7.6.1 企業のBCPへの取り組み

（出典：企業の事業継続及び防災の取組みに関する実態調査の結果とりまとめ（内閣府2008.6））

BCPの目的は、如何に業務を継続させるかということであるが、そのための施策として、図7.6.2に示すように、①壊滅的な被害を避けること、②中核となる事業を早急に復旧させ

ること、の2つが挙げられている。これらは電力の安定供給にも大いに資するものであり、BCPを電力に導入することの意義は大きいと考えられる。

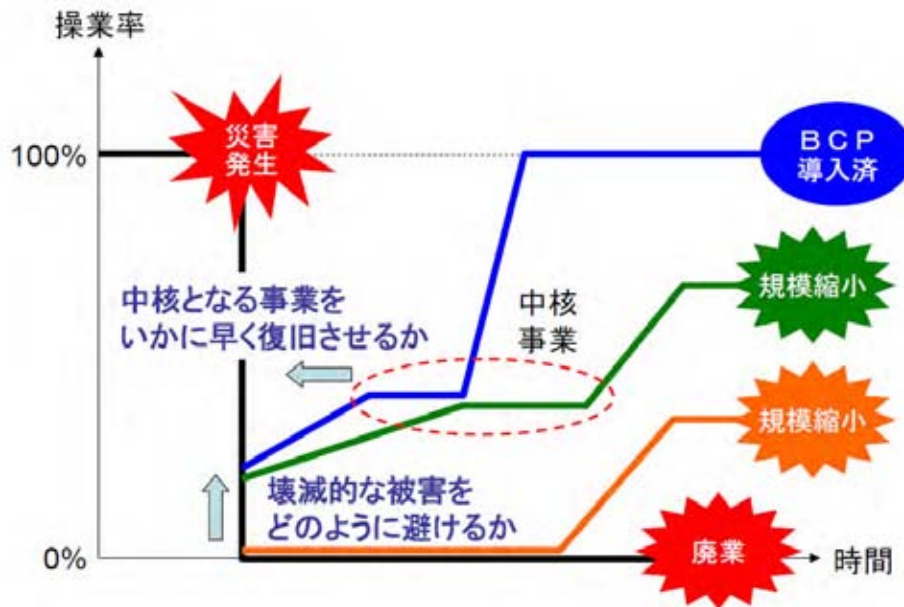


図 7.6.2 BCP で目指すこと

7.6.2 BCP と防災計画

図 7.6.2 が示すように、BCP そのものは防災計画に類似している。したがって、両者の差異を明確にしない限りは従来の防災計画に加えて BCP を導入することの意義が得られにくい。一般企業であれば外部からの要求という面で BCP 導入の理由付けにはなるが、公的企業の色彩の強いライフライン企業にとっては外部からの要求が直接的な牽引力にはならない。

そこで、これまでの防災計画の欠点（不備）を考えてみたい。兵庫県南部地震を契機として、多くの地方自治体で地域防災計画が策定されてきたが、実際の場面では十分に機能しなかったことが指摘されている。その最も大きな理由の一つとして、防災計画の条件が満たされていなかったことが挙げられる。すなわち、

- ①災害復旧拠点建物が使用できなかった。
- ②電算システムが使用できなかった。
- ③想定していた協力会社や応援部隊が得られなかった。
- ④職員あるいはその家族が被災した。
- ⑤対応業務が多すぎるため、効果的な対応ができなかった。

等である。

一方 BCP では、極めて困難な状況での事業継続を目的としているため、災害復旧資源（いわゆる、人、もの、情報、金）が限られている中で、対応業務を選択して事業継続に当たることを前提としている（図 7.6.3）。このことは前出の「防災計画の欠点」の解決に繋がるこ

とは明らかである。すなわち、BCP をこれまでの防災計画の実効性向上のための手段と考えることで、BCP 導入の理由が得られると考えられる。このことを示すのが図 7.6.4 である。

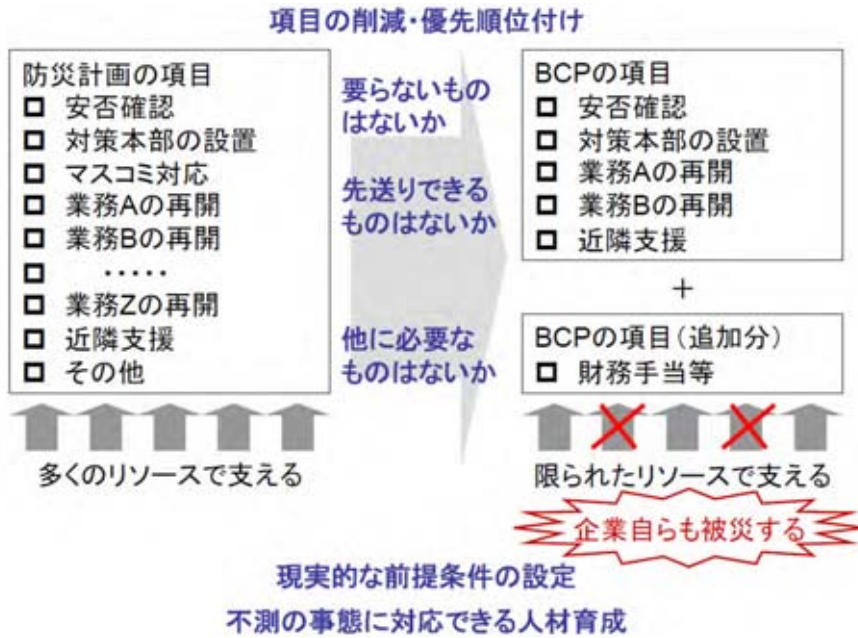


図 7.6.3 BCP と防災計画

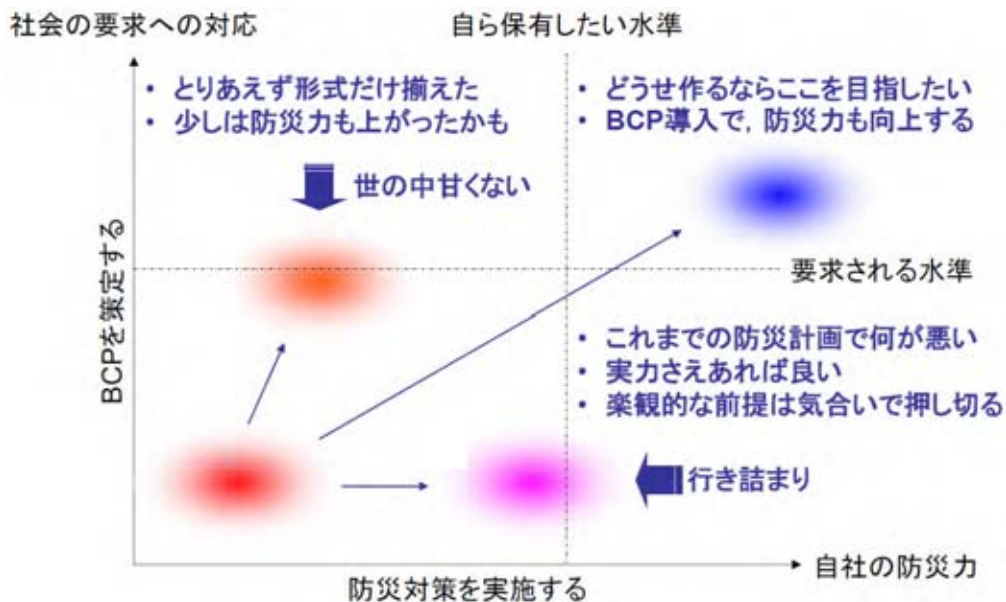


図 7.6.4 BCP 導入の理由付け

また前述したように、BCP そのものは防災計画に類似しているため、BCP を策定する際には既存の防災計画が大いに役立つ。これを示すのが図 7.6.5 である。したがって、電力のように防災に対する取り組みがある程度行われている企業にとって、BCP 導入は比較的容易であると思われる。

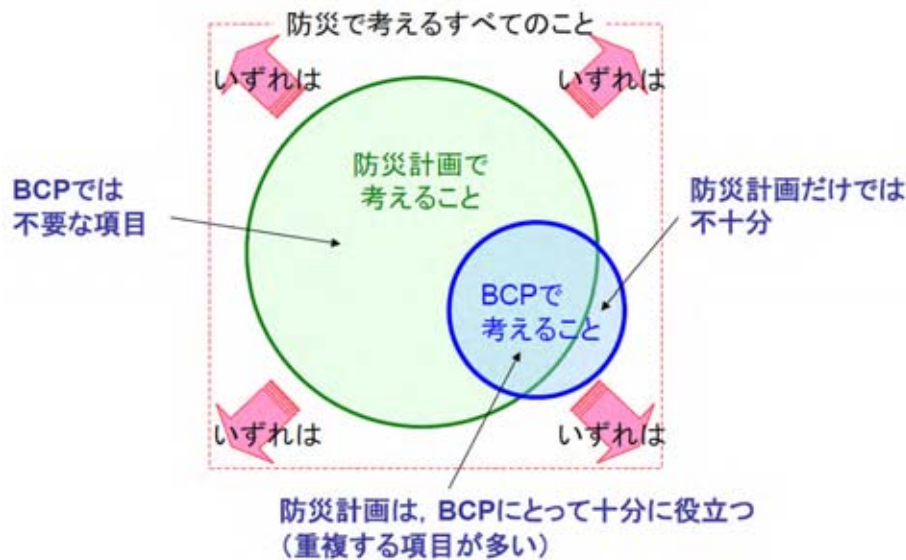


図 7.6.5 BCP 策定に対する防災計画の活用

7.6.3 BCP 策定に向けての具体的なアクション

ここでは、BCP の考え方を援用して、既存の防災計画の実効性向上を図るための具体的な行動を検討する。

(1) 復旧資源の現実的な想定

対象となる災害を特定した上で、当該災害が発生した場合の復旧資源の想定を行う。災害を地震に限定した場合、その規模と発生頻度を根拠として対象地震を設定する。

人、もの、情報を復旧資源とすれば、ものと情報に関しては従来の被害想定手法を用いることができる。人の評価については、出社の可能性（自宅における本人や家族の被災、職場や移動中の被災）と参集時間の評価を行う。前者は復旧資源の絶対量に関わるものであり、作業の限定あるいは応援の要請等の根拠となるものである。一方、後者は災害の初期段階での応動に関わるもので、要員が極めて不足する状態での意思決定者の代行システムの構築、初期応動の限定等の根拠となるものである。

復旧資源の現実的な想定は、その後の BCP 策定の鍵であるとともに、社員・職員に向けての防災に関する知識付与としても資するものであるため、最新の知見を導入することが肝要である。

(2) 対応行動の抽出と時系列展開

災害時に最低限取るべき行動を抽出するとともに、その行動を災害発生後の時系列に展開し、「いつ、誰が、どの対応を」行うのかを明確にする。このとき、対応量は極力少なく、また先送りできるものは先送りして、復旧資源の不十分さや不測の事態に備えておくことが重要である。なお、具体的な方法は関係社へのヒアリング調査となる。

(3) BCP の策定と BCM の構築

復旧資源の想定と対応行動の抽出の後、BCP を策定する。BCP の策定においては、併せて関係マニュアルを整備し、災害時への対応を確実なものとする。

一方、策定した BCP について、その有効性を検討し、課題を発見・解決し、適宜見直すことによってスパイラルアップを果たすことが求められる。この一連の PDCA サイクルを実行するシステムが BCM (Business Continuity Management) である (図 7.6.6)。BCM には、教育・訓練も含まれており、作成した BCP を形骸化させないためにも必要なシステムである。



図 7.6.6 BCM の構築

第8章 電力設備の震災支援の可能性検討

8.1 電力セクターへの防災、震災支援(案)提案

第5章で記述した、電力設備被災経験からの課題・教訓及び中国・四川省地震被害現地調査等により得られた情報等により、調査対象国（中国、インドネシア、トルコ）及びODA対象国の地震被害想定国への電力セクター支援（案）は、①震災前の支援（防災/予防）に関する支援、②震災時の緊急支援、③震災後の短期、長期の復旧に関する支援に分類して提案すると次のとおりである。

8.1.1 震災前の支援（案）

震災前の支援策として、大規模地震が想定される ODA 対象国を念頭に、次の防災対策上及び震災予防措置としての支援策(案)が想定される。

①地震観測システムの構築・整備支援

- ・重要設備（大規模・基幹発電所、基幹変電所、給電所、制御所等）に地震動を測定する機器の設置、モニタリングシステムを構築・整備するための支援。
- ・その他の自然災害の観測システムに関しても同様に支援可能。

②地震防災計画、防災対策指針等の作成支援

- ・地震防災計画・防災対策指針等が作成されていない、または作成中の電力事業者にそれらの作成に関わる側面からの支援。
- ・地震に限定せず、その他の電力設備に大被害をもたらす自然災害（雪氷害、雷害等）についても支援可能である。

③設備診断・補強計画支援

- ・耐震強度が見直しされた場合等の既設重要電力設備等の設備診断及び補強計画・補強策等への支援

④ハザードマップの作成支援

- ・地震ハザードマップの作成が作成されていない、電力事業者にそれらの作成に関わる側面支援

⑤緊急復旧計画・体制作成支援

- ・震災時を想定した、緊急復旧計画・体制の作成および防災訓練等に伴う側面支援

⑥震災に強い電力系統構成構築、系統運用に関わる支援

- ・重要電力設備、重要需要家等への震災に強い設備構築（2重化、多重化、バックアップ等）及び系統計画・運用方法についての支援

⑦電力設備防災に関する国際セミナー（災害に強い設備、緊急復旧計画・体制等）の実施に関する支援

⑧電力設備被災時の国際緊急支援体制構築に関する支援

⑨電力分野の計画策定型支援については場合によっては防災面の配慮をする。

8.1.2 震災時の緊急支援策（案）

電力設備が震災を受けた場合、そのインパクトは、経済、産業活動への影響はもとより、人命救助、救急医療、非難所運営、他の重要ライフライン機能（通信、交通、上下水道）等にも大きな影響を及ぼすことが経験されている。

したがって震災時の電力セクターへの緊急支援は、それら需要家対応の緊急電力供給、緊急復旧活動に関わる資機材の緊急供与・貸与が有効と思われる。

緊急性が要求されるため、事前に想定される被災国とその仕様、輸送方法、運用方法等について協議しておく必要がある。以下の緊急支援（案）が想定される。

- ①移動用電源車の供与又は貸与
- ②移動用変圧器の供与又は貸与
- ③小型発電機の供与又は貸与
- ④携帯用衛星通信電話機の供与又は貸与
- ⑤緊急電力復旧作業用のテント、寝具、衛生機材等の供与

8.1.3 震災後の支援策（案）

震災後における被災設備の復旧を主目的とした支援案は、短期的、長期的に分類して想定すると次のとおりである。

(1) 短期的支援（案）

- ①電力設備の被害状況調査支援
- ②電力設備被害原因調査支援（被害が甚大な設備）
- ③電力設備復旧計画作成支援（被害が甚大な設備）
- ④被害状況及び復旧作業状況の記録映画作成支援

(2) 長期的支援策（案）

8.2.1章で提案した震災前の防災対策支援（案）に加え下記支援（案）が想定される。

- ①部分的に被害を受けた電力設備の復旧・補強事業支援（耐震強化策を含む）
- ②全壊又は甚大な被害を受けた電力設備の再建事業支援（耐震強化策を含む）
- ③被災電力システムのバックアップ/2重化事業支援
- ④バージ発電設備の供与又は貸与（津波等で沿岸都市の電力設備が被災した場合）
- ⑤移動用発電設備の供与又は貸与（復旧作業が完了するまで）
- ⑥移動用変電設備（変圧器、開閉器、制御保護装置の一体型設備）の供与又は貸与（復旧作業が完了するまで）
- ⑦移動用電気試験車の供与又は貸与（復旧作業が完了するまで）

8.2 支援可能性チェックリスト

前項で提案した支援(案)に対する調査対象国及びその他の地震国における支援可能性についてのチェックリストを表 8.2.1 に示す。支援(案)のニーズの強弱については、本調査を通じて得られた情報等を元に客観的に判断したものであり、詳細の支援ニーズについては別個に調査する必要がある。

8.3 国内リソース（ソフト・ハード）活用の留意点

支援(案)は全て、日本国内の経験・知見を踏まえたソフト・コンポーネント（コンサルタント等の専門家によるエンジニアリング業務、ノウハウ）を含んでいる。

ハード・コンポーネントについては、機器・機材があるが、機器・機材の調達方法、被災国の製造業者の有無、既設設備の機種・仕様等により日本国内リソースのシェアは左右されることを留意する必要がある。

表 8.2.1 支援可能チェックリスト

番号	支援 (案)	日本のリソース コンポーネント		地震国への支援可能性					備考
		ソフト	ハード	中国	インド ネシア	トルコ	フィリ ピン	(発 展途 上国) 他の地震 国	
I	震災前の防災対策及び被災予防に関する支援(案)								
1.	地震観測システムの構築・整備支援(基幹電力設備対象)	専門家	測定機材	◎	◎	◎	◎	◎	他の自然災害含む
2.	地震防災計画、防災対策指針等の作成支援(電力セクター)	専門家		◎	◎	◎	◎	◎	
3.	設備診断・補強計画支援 ① 火力発電設備 ② 送電線設備 ③ 変電設備	専門家 専門家 専門家		△	◎	△	◎	◎	
4.	ハザードマップ、リスクマップ作成支援(電力セクター対象) ① 地震ハザードマップ作成支援 ② リスクマップ作成支援	専門家 専門家	機材 機材	△ △	◎ ◎	○ ○	◎ ◎	◎ ◎	他の自然災害含む
5.	緊急復旧計画・体制作成支援(電力セクター対象) ① 緊急復旧計画 ② 緊急復旧体制 ③ 防災訓練	専門家 専門家 専門家			◎ ◎ ◎		◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎	
6.	災害に強い電力系統構成構築、系統運用に関する支援	専門家	機器、機材	△	◎		◎	◎	
7.	各種電力プロジェクト開発調査に防災専門家の配置	専門家		◎	◎	◎	◎	◎	
8.	電力設備地震防災に関する国際セミナーの実施支援	専門家		◎	◎	◎	◎	◎	
9.	電力設備被災時の国際緊急支援体制構築に関する支援	専門家		◎	◎	◎	◎	◎	近隣国間の支援体制
II	震災時の緊急支援(案) (電力セクター対象)								
1.	移動用電源車の供与又は貸与 ① 高圧電源車(10~20kV, 250kVA~750kVA) ② 低圧電源車(200~400V, 75kVA~100kVA)	専門家 専門家	機器、機材 機器、機材	△ △	◎ ◎	△ △	◎ ◎	◎ ◎	
2.	移動用変圧器の供与・貸与	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	
3.	小型発電機の供与・貸与	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	
4.	携帯用衛星通信電話機の供与・貸与		機器	△	◎	△	◎	◎	
5.	緊急電力復旧作業用テント、寝具、衛生機材等の供与		機材	△	◎	△	◎	◎	
III	震災後の支援(案) (電力セクター対象)								
	【短期的支援(案)】								
1.	電力設備の被害状況調査支援	専門家		○	◎	○	◎	◎	
2.	電力設備の被害原因調査支援(被害が甚大な設備)	専門家		○	◎	○	◎	◎	
3.	電力設備復旧計画作成支援(被害が甚大な設備)	専門家		△	◎	△	◎	◎	
4.	被害状況及び普及状況の記録映画作成支援	専門家	機材		◎	△	◎	◎	
	【長期的支援(案)】								
1.	部分的に被害を受けた電力設備の復旧・補強事業支援 ① 発電設備(火力、水力) ② 送電設備 ③ 変電設備 ④ 配電設備	専門家 専門家 専門家	機器、機材 機器、機材 機器、機材 機器、機材		◎ ◎ △	△ △ △	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎ △	
2.	全壊又は甚大な被害を受けた設備の再建事業支援 ① 発電設備(火力、水力) ② 送電設備 ③ 変遷設備 ④ 配電設備	専門家 専門家 専門家	機器、機材 機器、機材 機器、機材 機器、機材	△ △ △	◎ ◎ ◎	△ △ △	◎ ◎ ◎	◎ ◎ ◎ ○	
3.	被災電力系統のバックアップ・二重化事業支援 ① 送電設備 ② 変電設備	専門家 専門家	機器、機材 機器、機材	△ △	◎ ◎	△ △	◎ ◎	◎ ◎	
4.	バージ発電設備の供与又は貸与	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	
5.	移動用発電設備の供与・貸与(復旧事業が完了するまで)	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	
6.	移動用変電設備の供与・貸与(復旧事業が完了するまで)	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	
7.	移動用電気試験車の供与・貸与(復旧事業が完了するまで)	専門家	機器、機材	△	◎	△	◎	◎	

注) ◎:支援ニーズが非常に高い、○:支援ニーズが高い、△:支援ニーズが低い、無印:自国で対応可

第9章 結 論

9.1 結論

過去の国内外の大規模地震による電力設備の被害・復旧状況、国内外の電力設備の防災対策・計画の現状・取り組み、四川省の大地震による電力設備被害・復旧状況の現地調査等の限られた既存情報及びデータ等により、地震被災が想定される地震国又は被災国へ、日本からどのような有効な支援がそれら各国の電力セクターに実施できるかの実現可能性を検討することを主題として調査してきた。

しかし、地震の規模、被害の状況、被害地域の電力設備形態、被災設備の震災対策・予防措置等もそれぞれ特徴があり、画一的に比較することは、本調査では限界があるが、下記の結論を得た。

(1) 我が国の経験・知見の活用

電力設備の震災対策は各国とも未成熟で、これから本格的に注目し検討を開始している段階である。従って自然災害に対する防災・震災に経験と実績があり、防災先進国でもある日本の総合的な知見とノウハウ及び日本の電力会社の電力設備特有の防災に対する実績、知見、減災への取り組み、それらのプロセス等が有効に活用できると考えられる。

(2) 震災時の救援活動を支える迅速な電力供給復旧

中国・四川省大地震による電力設備の大規模被災の現状、復旧作業状況の現地調査を通して、「電力供給の復旧、仮設電源等の設置の迅速性」が、救援体制維持・管理、救援活動、医療活動、ライフラインの復旧作業、避難所の維持・管理等の機能化と効果に直接的に影響したとのことで、被災時には「電力供給の復旧」についても考慮する。

(3) 国際支援体制の構築

大規模地震等による電力設備の被害・復旧に対する支援は、迅速性が求められているため、事前に、国際支援体制、被災国の近隣国間との地域的国際支援体制の構築も必要と思われる。また、定期的に、電力設備の災害予防、緊急復旧体制・計画等をテーマとする「国際電力設備防災セミナー」等の開催も、防災に対する共通認識を高めると共に、相互間の情報・意見交換を通し、より有効な防災対策を構築することができると確信する。

参考文献

参 考 文 献	発 行 者
海外諸国の電気事業 第1編 2008年	(社)海外電力調査会
海外諸国の電気事業 第2編 2005年	(社)海外電力調査会
海外諸国の電気事業 追補版第1編 2006年	(社)海外電力調査会
海外電気事業統計 2008年版	(社)海外電力調査会
平成20年版防災白書	内閣府
「自然災害に備える」エネルギー未来技術フォーラム 2005年11月2日	(財)電力中央研究所
防災業務計画(平成18年7月修正)	東京電力(株)
「地震に強い電気設備のために」資源エネルギー庁編	電力新報社
台湾地震被害調査報告書	東京電力(株)
柏崎刈羽原子力発電所における2007年7月16日の地震(新潟県中越沖地震)から得られた予備的な所見と教訓 2007年8月17日発行	国際原子力機関(IAEA)
新潟県中越地震による当社被害状況について 平成16年12月17日	東北電力(株)
「地震発生による影響について」平成16年10月23日～29日	東北電力(株) ホームページ
「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震について」 平成17年7月16日(17:00)現在	首相官邸対策室
「大規模地震における復旧対応」、Close Up, CSR Report 2008	東北電力(株) ホームページ
大規模地震における復旧対策(中越沖地震)	東北電力(株) ホームページ
新潟中越沖地震に伴う送電設備の健全性確認結果	東京電力(株)
電気設備の技術基準	経済産業省原子力安全保安院
架空送電規定	(社)日本電気協会
送電用支持物設計標準 JEC127 1979	(社)電気学会
電気協同研究 第62巻 第3号	(社)電気協同研究会
1999年トルコ・コジャエリ地震被害報告	磯山龍二

添 付 資 料

添付資料1 地震による被害状況

地震の名称	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	新潟県中越地震	新潟県中越沖地震	汶川大地震	集集地震 (921地震)	コジャエリ地震	スマトラ沖地震
発生国	日本	日本	日本	中国	中国	トルコ	インドネシア
発生日時	1995. 1. 17 5:46	2004. 10. 23 17:56	2007. 7. 16 10:13	2008. 5. 12 14:28	1999. 9. 21 1:47	1999. 8. 17 3:02	2004. 12. 26 7:58
震源地	淡路島 北緯34.6° 東経135.0°	新潟県北魚沼郡川口町 北緯37.283° 東経138.867°	新潟県上中越沖 北緯37.55° 東経138.60°	四川省汶川映秀鎮 北緯31.0° 東経103.4°	台湾中部南投集集付近	コジャエリ県、震央はイズ ミット湾	スマトラ島西方沖 北緯3.307° 東経95.947°
震源の深さ	14 km	13 km	17 km	14 km	5 km	17 km	10km
地震の規模	マグニチュード 7.2 最大震度 7	マグニチュード 6.8 最大震度 7	マグニチュード 6.8 最大震度 6強	マグニチュード 8.0(中国地震局)、7.9 (USGS) 最大震度 11(中国12階級震度)	マグニチュード 7.6 最大震度 6	マグニチュード 7.4	マグニチュード 9.0
特徴	大都市圏を直撃する直下型地震。最大加速度780ガル超過、最大速度1m/s前後。日本で発生した最大級地震	直下型地震、余震の大きさ・多さも特徴。最大加速度2,515ガル。日本国内の広い範囲で揺れを観測	直下型地震(逆断層型)最大加速度1,018.9ガル(全方向合成)を記録	破壊断層は200km以上に達し断層水平変位と垂直変位は共に最大5mで、地震動及び地震エネルギーは中国の最大級規模	3~4個の多重震源。震源の深さは5kmと浅く、地震モーメントは兵庫県南部地震の10倍程度。		津波被害を受けた海岸線は15,000km以上に達する。
死者数、(負傷者数)	6,433名、(43,792名)	68名、(4,805名)	15名、(2,345名)	69,226名、(374,643名)			
住宅全壊、(半壊)	104,906棟、(144,274棟)	3,175棟、(13,808棟)	1,319棟、(5,624棟)				
被害総額	10兆円	1.65兆円	1.5兆円	8.4億元(11兆円)			45億ドル(インドネシア) 78億ドル(周辺諸国含)
電力供給への影響							
停電戸数	260万戸	30万戸	3万7000戸	405万戸	563万戸(約14時間後)	基幹変電所が数日間停電	
停電復旧	1/17 7:30 : 停電約100万戸 20:00 : 約50万戸 1/18 8:00 : 全変電所供給可能 1/23 15:00 : 全戸応急送電完了	1/28 17:50 : 作業可能な地域における停電復旧完了。その時点での停電残存7,960戸(家屋倒壊等の作業不可能地域)	7/18 : 作業可能な地域における停電復旧完了。その時点での停電残存3,000戸(家屋倒壊等の作業不可能地域)	6/2 : 被災地住民の需要電力量を賄う程度に復旧	全台湾系統が南北に分断され単独系統運用。 民生用は輪番停電実施、工業用は緊急時調整契約発動		
電気設備の被害概要							
水力発電所	被害無し	東北電力3発電所軽微被害9件 JR東日本信濃川発電所で大被害	被害無し	23発電所が被害(405.85万kW分の発電ユニットが停止、損失負荷は215.8万kW)	ダム、発電設備は被害無し 開閉所が被害	被害無し	
火力発電所	22発電所中11発電所が被害 (供給支障無し)	被害無し	被害無し	4発電所が被害(311.9万kWの発電機停止、損失負荷107万kW)	発電設備は被害無し 開閉所が被害	被害無し	
原子力発電所	被害無し	被害無し	変圧器、排気筒ダクト、構内道路、事務所等に損傷があったが、原子炉本体、主機能等のシステムに等の損傷は確認されず	対象設備無し	対象設備無し		
変電所	861変電所中50変電所が被害	東北電力の23変電所で53件の被害	停電の主要因になる被害なし	稼働停止変電所 500kV : 18ヶ所中1ヶ所 220kV : 94ヶ所中13ヶ所 110kV : 351ヶ所中66ヶ所 35kV : 351ヶ所中91ヶ所	被害変電所 345kV : 2ヶ所 161kV : 2ヶ所	基幹変電所で開閉機器、変圧器が被害	
架空送電線	1,065線路中23線路で被害	東北電力34線路・357件の被害 東京電力3線路で軽微な被害	停電の主要因になる被害なし	稼働停止送電線回線 500kV : 41回線中4回線 220kV : 337回線中46回線110kV : 796回線中118回線 35kV : 603回線中106回線	387基の鉄塔が被害	380kV及び154kV送電線は被害なし	
地中送電線	1,217線路中102線路で被害	対象設備無し	対象設備無し		対象設備無し		
配電線	12,109回線中649回線で被害	支持物 : 4,775基 電線 : 3,598箇所被害	支持物 : 2,783基 電線 : 4,821条 柱上変圧器3,212台 高圧計器用変成器578台	稼働停止配電線回線 都市部 : 5,473回線中795回線 農村部 : 5,876回線中1,700回線	支持物 : 2,108基 電線 : 2,381ヶ所 柱上変圧器 : 871台 ケーブル : 4,421m 地中機器 : 103台	被害の実態は不明	

添付資料 2 地震による電気設備被害状況

トルコ・コジャエリ地震

I. 地震概要	
1. 発生国	トルコ
2. 地震の名称	トルコ・コジャエリ地震
3. 発生日時	1999年8月17日 午前3時2分
4. 震源地	コジャエリ県、震央はイズミット湾
5. 震源の深さ	17 km
6. 地震の規模	マグニチュード 7.4

II. 電力設備の被害状況	
1. 地震発生時 1) 停電の規模	トルコ送電会社 (TEIAS) の基幹変電所が数日間にわたり停電
2. 電気設備の被害概要 1) 火力・水力発電所 2) 変電所 3) 架空送電線 4) 配電線	被害なし 基幹変電所で開閉機器、変圧器が被害 380kV 及び 154kV 送電線は被害なし 被害の実態は不明
3. 電気設備の具体的被害 1) 変電設備	基幹変電所で被害 － 380kV 遮断器の支持罫子などが破損 － 変圧器：本体が基礎レールの上を移動し転倒、ブッシング破損して油が流出 － 断路器：支持罫子が破損 － 変流器：支持罫子が破損

添付資料3 地震による電気設備被害状況

中国・四川省地震（汶川大地震）

I. 地震概要	
1. 発生国	中国
2. 地震の名称	汶川大地震
3. 発生日時	2008年5月12日午後2時28分0.4秒
4. 震源地	四川省汶川県映秀鎮 北緯31.0° 東経103.4°
5. 震源の深さ	14 km
6. 地震の規模	マグニチュード 8.0(中国地震局)、7.9 (USGS)、最大震度 11(中国の12階級震度)
7. 特徴	地震が発生した地点は、標高5000m級の山が連なるチベット高原から標高500m前後の四川盆地へと急激に標高が低くなる地帯で、龍門山断層帯（ロンメンシャン断層帯）と呼ばれる断層の一部が破壊して起こったものと見られ、破壊断層は200 km以上に達し、断層の水平変位と垂直変位は共に最大5 mで、その地震動及び地震エネルギーは中国でも最大級の規模であった。 長時間の地震動及び多くの余震で建物等の倒壊及び地滑り等による人的被害及び物的被害が甚大であった。
II. 電力設備の被害状況（四川省電力公司管内）	
1. 地震発生時	
1) 停電の規模	約405万戸で停電（農村部295万戸、都市部110万戸）
2) 電力需要低下(最大負荷)	408万kW（地震前1,154万kWから746万kWに低下した）
3) 系統の復旧	<ul style="list-style-type: none"> －5月17日：紫坪鋪水力発電所からの500kV送電線が系統に復帰、 －5月18日：川西地区の重要500kV送電線1回線が稼働を復帰、電圧安定レベルに向上 －6月2日：成都、徳陽、綿陽、広元の220kV送電線28回線が稼働を再開、220kV系統が全て回復、被災地住民の消費電力を満足できる電力量が回復、 －6月下旬：川西地区の負荷中心である金堂と江油の重要発電所2ヶ所が稼働再開 －9月：被災地、省全体の生産用、生活用電力需要を満足できるまで発電量、供給力が回復、系統の安定性も回復 －10月31日：500kV系統の主回線が全部回復 －現在未復旧設備：水力発電所 6ヶ所 220kV変電所 2ヶ所 220kV送電線 14回線
2. 電気設備の被害概要	
1) 火力発電所	4 発電所が被害(311.9万kW分の発電ユニットが停止、損失負荷は107万kW)
2) 水力発電所	23発電所が被害(405.85万kW分の発電ユニットが停止、損失負荷は215.8万kW)
3) 変電所	<ul style="list-style-type: none"> －500kV変電所：18ヶ所のうち1ヶ所が稼働停止 －220kV変電所：94ヶ所のうち13ヶ所が稼働停止 －110kV変電所：351ヶ所のうち66ヶ所が稼働停止 －35kV変電所：351ヶ所のうち91ヶ所が稼働停止
4) 架空送電線	<ul style="list-style-type: none"> －500kV送電線：41回線のうち4回線が稼働停止、 －220kV送電線：337回線のうち46回線が稼働停止 －110kV送電線：796回線のうち118回線が稼働停止 －35kV送電線：603回線のうち106回線が稼働停止
5) 配電線	<ul style="list-style-type: none"> －10kV配電線（都市部）：5,473回線のうち795回線が稼働停止 －10kV配電線（農村部）：5,876回線のうち1,700回線が稼働停止

<p>6) 需要家引込線</p> <p>7) 人的被害 (四川省電力公司)</p> <p>8) 経済的損失</p>	<p>—都市部：748万戸のうち110万戸が停電 —農村部：1,112万戸のうち295万戸が停電 —合計：1,860万戸のうち405万戸が停電</p> <p>—死者：147人 —行方不明：179人 —負傷者：320人（うち重傷者90人）</p> <p>—資産の損失合計：106.5億元、 —復旧再建には313億元が必要</p>
<p>3. 電気設備の具体的被害</p> <p>1) 火力発電設備</p> <p>2) 水力発電設備</p> <p>3) 変電設備</p> <p>4) 架空送電設備</p>	<p>4ヶ所の発電所において被害。設備、建屋、構造物にそれぞれ被害が出たが、重大な損壊は発生していない。</p> <p>—天井の崩落 —天井の崩落によるタービン・発電機の軽微な損傷、 —発電建屋のひび割れ、 —排気煙突内部の耐熱煉瓦の崩落、 —開閉器類の碍子損傷・倒壊 —天井クレーンの損傷 —側壁のガラス窓の崩落</p> <p>23ヶ所の発電所において被害。</p> <p>—岷江流域の水力発電所のダムと付属設備（ゲート類、鉄管等）に大きな被害、映秀湾水力発電所は土砂崩れにより大被害（死者55名、行方不明75人、負傷者115名）を受ける。 —発電機、水車等の発電機本体の被害は軽微だが、付帯設備等にさまざまな被害が発生。 —ダム、ゲート、鉄管等の土木構造物にひび割れ、変位等発生 —水門等の鉄鋼物に変形、脱落及びそれらの油圧操作機構等に被害 —ダム湖への大量の土砂が流入（がけ崩れによる） —水路の土砂崩れにより閉塞が多くのカ所で発生</p> <p>35～500kV変電所合計171ヶ所で被害大きく稼働を停止（全体的に変電設備、開閉所の開閉機器の被害が甚大）、17ヶ所の変電所が全壊。</p> <p>—変圧器のアンカーボルト（固定用ボルト）の破断により滑動し破損、オイル漏れ炎上 —レール式基礎による変圧器の滑動による破損、傾斜 —変圧器のブッシングの破断、折損が多い —開閉機器（遮断機、断路器、変流器、計器用変圧器、避雷器）の碍子部の破断、倒壊が多数発生（特に気中絶縁型の重心が高く、セラミックの支持碍子型の被害が多い） —アルミパイプ母線の破断、変形、倒壊 —制御所建屋倒壊による制御盤、保護継電器盤等の被害 —屋外鉄鋼、機器架台等の倒壊、傾斜、破断</p> <p>35～500kV送電線で合計274回線が地震後送電停止となったが、送電停止の主な原因は変電所、開閉所の被害によるものが大部分である。送電線自身の被害は、地盤の不均衡な沈下、隆起、地すべり、土石流による鉄塔の傾斜、倒壊、鉄塔部材の変形・破断、電線の断線等があるが、相対的に被害は少なかった。</p> <p>—地すべりに巻き込まれてた鉄塔の倒壊（500kV 2基、220kV 19基、110kV: 1基が全壊） —500kV鉄塔基礎部分の地滑り、保護土盛りの亀裂など基礎部分に破損が多い。 —500kV回線の碍子の破損は少ない、架空地線の断線が1ヶ所有り。 —220kV回線では、基礎部分の地滑り、保護土盛りの亀裂が多かった。 —110kV回線では、基礎部分の地滑り、保護土盛りの亀裂のほか、鉄塔の傾斜、導線及び架空地線の断線も多かった。</p>

5) 架空配電設備	<p>10kV配電線140回線が全壊</p> <ul style="list-style-type: none"> －地滑り、地盤変位、家屋倒壊等による、支持物の倒壊、断線 －需要家への引込線：家屋倒壊、支持物の倒壊、断線による －405万戸が停電
6) 給電設備	<p>給電所については、1ヶ所において建物被害（給電設備には被害なし）のため給電設備（計算機システム2系列）を1系列ずつ移設。給電指令システムの停止無し。</p>
7) 電力保安通信設備	<p>通信回線の多重化、多ルート化等の設備は準備されていたが、下記機能障害が発生</p> <ul style="list-style-type: none"> －基幹送電線、変電所の被害により、電力線搬送通信システムの停止、 －通信ケーブルの断線等による不通、 －中継基地等の電源脱落による携帯電話回線の不通、 －マイクロ波無線通信回線の電源脱落等による不通、 －衛星通信システムが有効であったが、配備不足による通信支障
被害がなかった電気設備	<p>全ての電力供給設備、保安設備で被災</p>

四川電網公司管内の被害状況

送電線及び変電所

電圧階級	設備種別	保有設備	被災による稼動停止/停電箇所・回線数	全壊箇所/回線数	被災率(%) (停止カ所比率)
500kV	変電所 (箇所)	18	1	1	5.6
	送電線 (回線)	41	4	2	9.8
220kV	変電所 (箇所)	94	13	4	13.8
	送電線 (回線)	337	46	19	13.6
110kV	変電所 (箇所)	351	66	5	18.8
	送電線 (回線)	796	118	1	14.8
35kV	変電所 (箇所)	351	91	7	25.9
	送電線 (回線)	603	106	-	17.6
35kV以上 合計	変電所 (箇所)	814	171	17	21.0
	送電線 (回線)	1777	274	22	15.4
10kV	都市部 (回線)	5473	795	140	14.5
	農村部 (回線)	5876	1700		28.9
	合計	11349	2495		22.0
需要家数	都市部 (万戸)	748	110		14.7
	農村部 (万戸)	1112	295		26.5
	合計	1860	405		21.8

注) 全壊変電所 17 カ所のうち、500kV 1 箇所、220kV 2 箇所、110kV 3 箇所、35kV 6 箇所の計 12 箇所が新たな地点で再建する計画、その他 5 箇所の変電所は元の場所に再建予定。

変電所機器種別被災状況

機器種別	電圧階級別被災台数 (台)					被災箇所
	500kV	220kV	110kV	35kV	計	
変圧器及び抵抗器	7	25	84	0	116	1) 固定ボルト断裂、基礎沈下等による本体の位置ずれ：33 台 2) ブッシングの破損・焼損：76 本
計器用変流器 (CT)	0	48	115	0	163	碍子部の断裂、全体の傾きによる被害が大部分
計器用変圧器 (PD)	1	16	5	0	22	碍子部の断裂、全体の傾きによる被害が大部分
断路器 (LS)	0	30	35	26	91	碍子部の断裂、全体の傾きによる被害が大部分
遮断機 (CB)	2	49	45	60	156	碍子部の断裂、全体の傾きによる被害が大部分
避雷器 (LA)	1	36	20	20	77	碍子部の断裂、全体の傾きによる被害が大部分
変電所母線	21			0	21	1) 母線の傾き：5 件 2) 母線支持碍子の破断：16 本

添付資料 4 地震による電気設備被害状況

兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）

I. 地震概要	
1. 発生国	日本
2. 地震の名称	兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）
3. 発生日時	1995年1月17日 午前5時46分
4. 震源地	淡路島 北緯34.6° 東経135.0°
5. 震源の深さ	14 km
6. 地震の規模	マグニチュード 7.2、 最大震度 7
7. 特徴	大都市圏を直撃する直下型地震。このため、多くの死傷者や建設被害・火災が発生し、鉄道・道路のライフラインも多くの被害が発生。 観測記録では、0.8Gを超える最大加速度や1m/s前後の最大速度を示し、過去日本で発生した地震の中でも最大級のものであった。
II. 電力設備の被害状況	
1. 地震発生時	
1) 停電の規模	約260万戸で停電（兵庫県南部、大阪府北部、淡路島を中心）
2) 停電容量	285万kW相当
3) 電力需要低下	330万kW(1,270万kWから940万kWに低下し周波数が上昇するも供給力不足には至らなかった)
4) 系統の復旧	地震発生直後直ちに被災設備を系統から分離。順次健全箇所から系統切り替え送電を開始。 －地震発生後約2時間後（午前7時30分）：260万戸の停電箇所を約100万戸の停電箇所に低減。 －同日午後8時までに約50万戸の停電に低減。 －翌日（1月18日）午前8時までに全ての変電所の電力供給が可能となる。 －地震発生後6日後の（1月23日）の15時に全戸への応急送電完了。
2. 電気設備の被害概要	
1) 火力発電所	供給に支障はなかったが22発電所中、11発電所が被害。
2) 変電所	861変電所のうち、50変電所が被害。
3) 架空送電線	1,065線路のうち、23線路で被害。
4) 地中送電線	1,217線路のうち、102線路で被害。
5) 配電線	12,109回線のうち、649回線で被害。
6) 電力通信設備	4,048回線のうち、76回線で被害。
3. 電気設備の具体的被害	
1) 火力設備	
(1) 油タンク	2ヶ所の発電所において基礎地盤の液状化に伴う被害。 －地盤不等沈下によるタンク防油堤の開口：2発電所 －タンク直下の地盤沈下による基礎杭の露出、クラック発生：1発電所
(2) 水タンク	1ヶ所の発電所において基礎地盤の液状化に伴う被害。 －不等沈下が生じ、タンク本体が傾斜。
(3) タービン	タービン本体は被害なし。1ヶ所の発電所で基礎地盤の液状化で付属設備が被害 －不等沈下が生じ、本体と吸気ダクトの接続部が損傷

<p>(4) ボイラー</p>	<p>ボイラー本体は被害なし。8ヶ所の発電所で下記被害発生：</p> <ul style="list-style-type: none"> －ボイラー支持鉄骨の変形、 －振れ止め装置の変形・損傷、 －側壁管の変形、 －クーリングスパーサー管の変形・損傷 －節炭器配水管の損傷、 －配管防振器の変形・損傷
<p>(5) 護岸</p>	<p>1ヶ所の発電所において、液状化による地盤沈下による被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －地盤が水平方向に移動したため、ケーソンが海側にせり出す。 －ケーソン函体間の隙間発生
<p>2) 変電設備</p>	<p>50変電所180設備に被害があったが、運転の継続が不可能となったものは65設備。残りの115設備は被害が軽微で運転に支障なし。</p> <ul style="list-style-type: none"> －変圧器のアンカーボルト（固定用ボルト）の破断により滑動し、ブッシング（碍子）が破損、 －油遮断器の碍子が開口し漏油が発生、 －断路器の支持碍子が折損、 －避雷器の絶縁ベース管の折損及びエポキシ絶縁座の破損
<p>3) 架空送電設備</p>	<p>不同変位により20基の鉄塔に被害があったが、供給支障が発生したものは倒壊した1基のみであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> －現行の設計では用いられていない旧型の鉄塔が倒壊（不同変位に対する柔軟性が乏しい特殊な片継脚構造設計となっていた）
<p>4) 地中送電線設備</p>	<p>特殊な管路構造を有する3線路で供給支障となる被害が発生</p> <ul style="list-style-type: none"> －2線路でケーブルを収納する管路を柔軟性に乏しいコンクリートブロックで固定したため、地盤変位に追従できずケーブルが断線、 －1線路で、柔軟性に乏しいコンクリート製の防護管に柔軟性が乏しい石綿セメント管を接続したため、可とう性のない接続部でケーブルに損傷。 －その他、供給支障が無かったものの、人孔、管路等にひび割れ、管路段差、変形などの軽微な被害が発生。
<p>5) 架空配電設備</p>	<p>支持物（電柱）約11,300基、電線約7,800径間、柱上変圧器約5,300台について被害が発生、被害率は支持物0.5%、電線0.3%、柱上変圧器0.3%であった。このうち供給支障となったものは：</p> <ul style="list-style-type: none"> －支持物の折損・焼失：4,500基（震度7地域の被害率6.7%、震度6地域の被害率0.5%）、折損被害原因は建物損壊によるものが約80%、地震動による直接被害は僅少であった。 －電線の断線・焼失：2,700径間（火災による延焼及び支持物の折損による） －変圧器のブッシング損傷・焼失：1,200台（火災による延焼が大部分、変圧器の落下事故はなし）
<p>6) 地中配電設備</p>	<p>供給支障になった被害は196条、被害率1.2%であった。</p> <ul style="list-style-type: none"> －建物損壊等によるケーブル立上柱や引込線の損壊 －管路・人孔の損壊等 －供給支障に至らない設備異常：人孔、手孔の異常19%、管路の異常24%、ケーブルの異常30%と被害率は高く特に震度7地域及び液状化地域が被害率が高い。
<p>7) 給電設備</p>	<p>給電所については、1ヶ所において建物被害（給電設備には被害なし）のため給電設備（計算機システム2系列）を1系列ずつ移設。給電指令システムの停止無し。</p>
<p>8) 電力保安通信設備</p>	<p>下記の被害が発生したが、通信回線の多重化、多ルート化により、通信支障は、回線の切り替え等により短時間（瞬時）に回復されたことから通信システムとしての機能支障は発生しなかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> －通信ケーブル171径間が断線・焼損 －社内用保安電話76回線が停止 －5ヶ所の無人電気所等の遠隔監視制御用回線が2ルートともに断線（現場派遣の運転員の現地操作により、供給支障はなし）
<p>4. 被害が無い電気設備</p> <p>1) ダム、水路等の水力発電設備</p> <p>2) LNG(液化天然ガス) 地上式タンク（なお、LNG地下式タンクは当該地域近傍に存在していない）</p> <p>3) 火力発電所建屋・煙突、取放水設備</p>	

添付資料 5 地震による電気設備被害状況

新潟県中越地震

I. 地震概要	
1. 発生国	日本
2. 地震の名称	新潟県中越地震
3. 発生日時	2004年10月23日 午後5時56分
4. 震源地	新潟県北魚沼郡川口町 北緯37度17分、東経138度52分
5. 震源の深さ	13 km
6. 地震の規模	マグニチュード 6.8、 最大震度 7
7. 特徴	直下型地震、余震の大きさ(最大余震震度6強)・多さも特徴。最大加速度2,515ガルを記録、青森、兵庫県で震度1が観測されるなど日本国内の広い範囲で揺れを観測
II. 電力設備の被害状況	
1. 地震発生時 1) 停電の規模 2) 停電の復旧	〈東北電力管内〉新潟県中越地方を中心に延30万1,000戸で停電 新潟県外の事業所や工事会社などを含め1日最大2,200人、電源車約50台導入して28日17:50に作業が可能な地域における停電復旧が完了。その時点で作業が不可能な地域の7,960が停電。
2. 電気設備の被害概要 1) 火力、原子力発電所 2) 水力発電所 3) 変電所 4) 架空送電線 5) 地中送電線 6) 配電線	被害なし 東北電力3発電所で9件の軽微な被害、JR東日本の信濃川発電所(449MW)が大きな被害 東北電力の23変電所で53件の被害 東北電力の34線路・357件の被害、東京電力の3線路で軽微な被害 被害なし(震源地域に設備がないため) 支持物：4,775基、電線：3,598ヶ所で被害
3. 電気設備の具体的被害 1) 火力・原子力発電設備 2) 水力発電所 3) 変電設備 4) 架空送電設備	被害なし 東北電力3水力発電所で被害 －冷却水配管損傷：1件 －建物一部損壊など：8件 JR東日本信濃川発電所で被害 －土木構造物等で大きな被害、2006年3月14日(1年半後に復旧工事完了)に復帰 東北電力23変電所で53件の被害 －避雷器折損：1件 －電力用コンデンサー倒壊：1件 －機器基礎沈下など：51件 東北電力34線路で357件の被害 －鉄塔倒壊：1件 －鉄塔傾斜：12件 －鉄塔部材変形：29件 －鉄塔敷地内の地盤亀裂など：315件 東京電力の3路線で軽微な被害 －表層地盤変状や鉄塔変形等
5) 地中送電線設備 6) 架空配電設備	被害なし 支持物4,775ヶ所 －倒壊・折損：147ヶ所 －傾斜等：4,628ヶ所 電線3,598ヶ所 －断線：145ヶ所 －碍子に固定するバインド線切れ等：3,453ヶ所
4. 被害が無い電気設備 1) 火力・原子力発電所 2) 給電設備	

添付資料 6 地震による電気設備被害状況

新潟県中越沖地震

I. 地震概要	
1. 発生国	日本
2. 地震の名称	新潟県中越沖地震
3. 発生日時	2007年7月16日 午前10時13分
4. 震源地	新潟県上中越沖 北緯37度33分、東経138度36分
5. 震源の深さ	17 km
6. 地震の規模	マグニチュード 6.8、最大震度 6強
7. 特徴	直下型地震（逆断層型）、最大余震震度 6弱 最大加速度1,018.9 ガル（全方向合成）を記録。
II. 電力設備の被害状況	
1. 地震発生時	
1) 停電の規模 （東北電力管内）	新潟県北中越地方を中心に延3万7,143戸（最大35,344戸）で停電
2) 停電の復旧	新潟県外の事業所や工事会社及び他電力会社（東京電力、北陸電力、中部電力）などの協力を含め合計2,138人（延べ稼働6,664人）、電源車36台導入して、地震発生から2日半後に作業が可能な地域における配電設備復旧が完了。その時点で、作業が不可能な（家屋倒壊、屋内配線の安全性が確認できない箇所、不在箇所等）停電3,000戸。
2. 電気設備の被害概要	
1) 原子力発電所 （東京電力柏崎刈羽 原子力発電所）	変圧器、排気筒ダクト、構内道路、事務所等に損傷があったものの、原子炉本体、主機能等のシステムに等の損傷は確認されていない（但し詳細調査継続中）
2) 水力発電所	被害なし
3) 火力発電所	被害なし
4) 変電所	停電の主要因になる被害はなし
5) 架空送電線	停電の主要因になる被害はなし
6) 地中送電線	被害なし（震源地域に設備がないため）
7) 配電線	支持物：2,783基、電線：4,821条、柱上変圧器3,212台、高圧計器用変成器578台

<p>3. 電気設備の具体的被害</p> <p>1)原子力発電設備</p> <p>2)変電設備</p> <p>3)架空送電設備</p> <p>4)架空配電設備</p>	<p>原子力発電所特有設備以外の火力発電所と類似設備の被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －所内変圧器の火災（地盤沈下による漏油のため）：1台 －消化用埋設配管の破損：1ヶ所 －所内変圧器基礎ボルトの折損：1台 －変圧器防油提沈下、コンクリートひび割：4台 －500 kV OFケーブルヘッドから漏油：1ヶ所 <p>東北電力管内の被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －変圧器基礎沈下、放圧管変形：1台 －送電線引留鉄鋼の一部変形：1ヶ所 －遮断器の漏油：9台 －変圧器の漏油：1台 －遮断器のリード端子変形：1台 <p>東北電力管内の被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －支持碍子の折損：1組 －相間スペーサー折損：2組 －鉄塔部材変形：11基 －鉄塔敷地内の地盤亀裂：8基 <p>東京電力500 kV送電線1路線で被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －原子力発電所近傍の送電線の碍子破損 <p>東北電力管内の被害</p> <ul style="list-style-type: none"> －支持物倒壊・傾斜等：2,783基 －高低圧配電線の断線・混線：1,956条 －引込み線の断線・混線：4,035口 －柱上変圧器の傾斜：3,212台 －高圧計器用変成器の傾斜など：578台
<p>4. 被害がなかった電気設備</p> <p>1)火力発電所</p> <p>2)水力発電所</p> <p>3)給電設備</p>	

添付資料 7 地震による電気設備被害状況

中国 台湾・集集地震（9 2 1 地震）

I. 地震概要	
1. 発生国	中国
2. 地震の名称	集集地震（9 2 1 地震）
3. 発生日時	1999年9月21日 午前1時47分
4. 震源地	台湾中部の南投県集集付近
5. 震源の深さ	5 km
6. 地震の規模	マグニチュード 7.6、 最大震度 6
7. 特徴	3～4個の多重震源。震源の深さは5 kmと浅く、地震モーメントは兵庫県南部地震の10倍程度。台湾はユーラシアプレートとフィリピン海プレートの衝突箇所位置、古くから多くの活断層が調査で明らかになっているが、今回の断層は活動度4分類で下から2番目の低い分類と位置づけられ、比較的危険度が小さい地域とされていた。
II. 電力設備の被害状況	
1. 地震発生時	
1) 停電の規模	約563万戸で停電（9月21日午後3時時点）
2) 停電容量	約980万kW相当
3) 電力需要低下	昼間の電力不足量：約340万kW
4) 系統の復旧	地震発生時、天輪、中寮の拠点変電所、開閉所が重大な被害を受けたため、全台湾の電力系統が南北に分断され、それぞれ単独系統運用となった。 ー地震発生後約14時間後（午後3時）：約563万戸の停電 ー南投・中寮以南及び花東地区の発電及び供給が正常である以外は、電力供給が中断 ー輪番停電等を実施（民生用電力は地域分け等により、午前2時間、午後2時間の1日2回、計4時間の輪番停電、工業用電力は緊急時調整電力に基づき電力を調整、1,000kW以上の工業用需要家は15%電力抑制）し、系統を運用。
2. 電気設備の被害概要	
1) 火力、原子力発電所	火力設備は被害なし、但し付帯開閉所が被害
2) 水力発電所	ダム、発電設備は被害なし、但し付帯開閉所が被害
3) 変電所	345 kV基幹変電所・開閉所の2ヶ所、161 kV変電所、開閉所2ヶ所が被害
4) 架空送電線	387基の鉄塔が被害
5) 地中送電線	被害なし（震源地域に設備がないため）
6) 配電線	支持物：2,108基、電線：2,381ヶ所、柱上変圧器：871台、ケーブル：4,421 m、地中機器：103台等が被害
7) 電力通信設備	不明
3. 電気設備の具体的被害	
1) 火力設備	火力設備本体は被害なし

<p>2) 変電設備</p> <p>3) 架空送電設備</p> <p>4) 地中送電線設備</p> <p>5) 架空配電設備</p> <p>6) 地中配電設備</p> <p>7) 給電設備</p> <p>8) 電力保安通信設備</p>	<p>4ヶ所の変電所・開閉所で被害</p> <ul style="list-style-type: none"> - 345kV変圧器：漏油、碍子破損 6台 - 161kV変圧器：漏油、碍子破損 2台 - 345kV空気遮断器：碍子破損・倒壊 10台 - 345kVガス遮断器：地割れによる機器傾斜 1台 - 345kV断路器：碍子折損 1台 - 345kV変成器：折損、傾斜等 70基 - 345kVアルミパイプ母線が折損・落下： 1ヶ所 - 配電盤の転倒：1ヶ所 - バッテリーの崩落：1ヶ所 <p>鉄塔倒壊：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 345kV 1基、161kV 9基、69kV 3基 の計 13基 <p>鉄塔傾斜：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 345kV 10基、161kV 2基、 69kV 17基 の計 29基 <p>碍子破損：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 345kV 2基、161kV 1基 の計 3基 <p>電線断線：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 345kV 1径間、69kV 2径間 の計 3径間 <p>被害なし（震源地域に設備がないため）</p> <p>支持物（電柱）約2,108基、電線約2,381ヶ所、柱上変圧器871台が被害</p> <p>ケーブル被害4,421 m, 地中機器103台が被害</p> <p>不明</p> <p>不明</p>
<p>4. 被害がなかった電気設備</p> <p>1) ダム、水路等の水力発電設備</p> <p>2) 火力発電設備本体</p> <p>3) 火力発電所建屋・煙突、取放水設備</p> <p>4) 原子力発電所</p>	

添付資料 8 中国現地調査結果

(安県変電所)

1. 調査日時：平成 21 年 2 月 11 日（午後 9:30～12:00）
2. 調査場所：四川省安県変電所
3. 調査内容

(1) 変電所規模

この変電所は 220/110kV で変圧器 120MVA×2 台の設備を有する在来タイプの屋外型変電所で、変電所内にコントロールビルがあり、この変電所を管理・運営している。

(2) 被害設備

この変電所は震源に最も近く、地震規模は変電所には地震計がセットされていないため詳細は分からないが変電所の話ではマグニチュード 8.0 程度であった。この変電所は今回の地震で壊滅的な被害を受けた。変電所内に在った 3 階建てのコントロールビルは全壊し従業員 3 名がこの建物の下敷きになり閉じ込められたが無事救出、220/110kV の変電設備も大多数が倒壊した。

変電設備基礎はほとんど被害を受けていないが、遮断機・ガントリータワー等の機器設備が被害を受けた。これは機器を構成している碍子等がトップヘビーのため強い地震動でゆすられ、この碍子が壊れたり接続部の基礎ボルトが切れたりして倒壊した際、架空線に引っ張られて他の機器も連鎖的に倒壊したものと、構外の送電鉄塔と構内のガントリータワーとを接続している送電線の強い揺れ等による影響で被災したと思われる。又変圧器も強い地震動で基礎ボルトがせん断破壊し基礎から約 1 m ずれた。

(3) 復旧

我々が訪問した時には変電所の復旧工事は完了しており、復旧作業は約二ヶ月の期間を要したとの事であった。変電所内の倒壊した 3 階建てのコントロールビルは除却後、平屋の鉄骨構造の建物（一時的使用）に建て替えられ、内部はコントロールパネルが全て設置してあった。変電設備も復旧工事が完了していたが、被害を受けた遮断機等の設備では復旧工事の際、碍子と架台基礎との接合部を今回の地震被害を教訓とした補強を行ったとの事であった。又変圧器は機器自体あまり損傷しなかったので基礎ボルト等を補強して元の位置に据付直したとの事。

復旧に際しての資機材調達については、中国国内のメーカーから緊急に調達したとの事、これは変電設備機器が標準タイプであるため、工場の在庫並びに他プロジェクト用の機材を廻してもらったので早期に復旧出来た。

復旧工事での問題点は道路が地震により寸断されていたため資機材輸送と通信に苦労したとの事であった。

尚、復旧工事は原形復旧を基本とし、場所によっては一部補強をおこないながら復旧工事を行ったが耐震性を向上させる問題については、政府から指示があったら行うとのことであった。

以上

(江油火力発電所)

1. 調査日時：平成 21 年 2 月 11 日（午後 2:30～5:00）

2. 査場所：四川省江油火力発電所

3. 調査内容

(1) 発電所出力

一期工事（2×12MW 1958 年発電開始）、二期工事（4×50MW 1966 年/1971 年完成）、三期工事（2×330MW 1990 年/1991 年完成）、四期工事（2×300MW 2005 年 11 月/2006 年 2 月完成）で合計 1,848MW の石炭火力発電所である。地震前の運転可能発電ユニットは三期工事、四期工事で建設した 2×330MW と 2×300MW の 1,260MW であるが、地震発生時は 330MW×1 台が運転中であった。

(2) 被害設備

地震規模は発電所には地震計がセットされておらず、詳細は分からないが発電所の話ではマグニチュード 7.5～8.0 であった。又発電所設備の耐震設計はマグニチュード 7.0 とのこと、被害を受けた主な設備は以下のとおりである。

- ・ 四期工事（2×300MW）のタービン建屋（骨組みは RC で屋根のみ鉄骨構造）の屋根（立体トラスタイプ）が全て落下（タービン・ジェネレーター上に落ちた）した。又この屋根落下時に風圧等で建屋の窓が全て破損。
尚、三期工事（2×330MW）の建屋は通常のトラスタイプで落下しなかった。
- ・ 三期工事、四期工事で建設したタービン建屋等の壁にクラック発生。
- ・ 煙突内部の耐酸レンガの落下。
- ・ クウリングタワー内の冷却配管系統に被災。
- ・ 発電所内油配管等の配管系等が被災。
- ・ 構内変電設備（変電所）が被災
- ・ 中央操作室（コントロールルーム）の天井落下
- ・ 石炭受入れ設備の貨車運搬用レールが蛇行
- ・ その他設備

尚、燃料の石炭については地震発生時に 10 万トンの備蓄（4 台フル運転で 5 日分）があったため当面の運転再開にはこの備蓄量で問題はなかった。

(3) 復旧

震災後四川省電力委員会から発電ユニット 4 台の検査を含めて被害損傷箇所の調査を行うよう指示された。震災後の 5 月 13 日から発電所職員・設計技師・メーカー・その他設備のサプライヤーによる調査を行い 6 月 26 日に正式な復旧会議を開催。

火力発電所の設備で壊滅的な被害はなかった。調査の結果、タービン建屋の構造フレームは問題なく、ボイラーの構造フレームが一部被災したが、その都度問題点を解決しながら復旧作業を行った。

発電機 4 台の内

- ・2008年6月28日 300MW×1台運転再開
- ・2008年7月20日 300MW×1台運転再開
- ・2008年12月21日 330MW×1台運転再開
- ・330MW×1台については現在点検・修復中

復旧作業は現在も行われており、タービン建屋は2009年2月末（中央操作室は補修工事完了）、点検・修復中の330MW×1台の発電機については5月10日までに復旧し、運転再開するよう中国政府から指示されている。

発電所の復旧の基本方針は、原形復旧を基本とし、場所によっては一部補強をおこないながら復旧工事を行った。又耐震性を向上させる問題については、政府から指示があったら行うとのこと。

尚、外国の発電所は日本の発電所と比べ発電所構内に従業員宿舎（コロニー）が併設されているケースが多い。この発電所も同様に従業員約1,570名が働いており一つの町を形成しているのと同じである。従業員宿舎は鉄筋コンクリート4階建て（壁はブロック製）のため、被災直後まず最初に仮設テントを設け、従業員・家族等を仮設テントに避難させ、建物の点検等を行ったとの事。これは災害時に人命の安全と生活面を確保する事が最優先であることが検証されていた。

以上

添付資料 9 建築基準法の耐震基準と設計地震力の変遷

地震や耐震に関する研究が本格的に開始されたのは 19 世紀末からである。明治 23 年(1880 年)横浜地震を契機として地震学会が設立され、大地震による被害を契機として耐震構造の調査研究が進展し、基標準の制定・改定が行われてきた。すなわち、明治 34 年(1891)濃尾地震に際する地震予防調査会設立、大正 12 年(1923)関東地震後の設計水平震度の導入、昭和 43 年(1968)十勝沖地震後の鉄筋コンクリート造柱のせん断補強筋強化、昭和 53 年(1978)宮城県沖地震後の新耐震規準導入、平成 7 年(1995)兵庫県南部地震後の建築耐震規準改定などである。

10 数万の人命が失われた大正 12 年(1923)関東地震の大きな被害を経験した翌大正 13 年(1924)には、世界に先駆けて、市街地建築物法に水平震度 0.1 以上とする規則が導入された。この際、関東地震時の東京下町の震度が 0.3 と推定され、材料安全率が 3 であることから水平震度が 0.1 と定められた。また、大正 13 年(1924)の市街地建築物法改定に際しては、水平震度の規定導入に加えて、木造では柱径の増加、筋違・方杖の設置、鉄骨造では筋違・方杖・壁の設置、帳壁と鉄骨との緊結、帳壁のホロータイル禁止、鉄筋コンクリート造では主筋の継手長さの規定、梁の複筋化、柱径の増加、柱の最小鉄筋比の規定など、水平力に対する剛性・強度の向上と構造部材相互の接合の強化が図られた。

昭和 25 年(1950)に新たに施行された建築基準法では、長期・短期の概念が取り入れられ、短期許容応力度が従来の許容応力度の 2 倍になった。これに伴って、建築物の耐震性能をそれまでと同じ水準にするために、水平震度も 2 倍の 0.2 以上とされた。制定当時の建築基準法では、水平震度の高さ方向分布が、高さ 16m まで 0.2、それ以上は 4m ごとに 0.01 ずつ増加させるように規定された。また、建築物の高さ制限は市街地建築物法と同じ 31m とされた。

その後、高さ制限 31m は昭和 38 年(1963)に撤廃され、昭和 43 年(1968)十勝沖地震による地震被害への対策として、鉄筋コンクリート造柱の帯筋間隔が従来の 30cm から 10cm に変更され、柱のせん断破壊を防止して水平変形性能を高めるように建築基準法の耐震規定が改められた。

仙台市とその周辺に大きな被害を引き起こした昭和 53 年(1978)宮城県沖地震を契機として、昭和 55 年(1980)には建築基準法の耐震規定が改定され、いわゆる新耐震規準が施行された。この基準では、耐震性能の目標を、稀に発生する地震動に対しては建築物の構造耐力上主要な部材に損傷が生じない、極めて稀に発生する地震動に対しては人命を確保するために建築物の倒壊・崩壊などが生じないという 2 段階に設定している。この 2 つの目標に対する設計は、一次設計(許容応力度設計)、二次設計(層間変形角、偏心率、剛性率、保有水平耐力)ともいわれている。また、地震荷重は、従来の水平震度に代わり、1 次固有周期に応じて層せん断力で与えられるようになり、そのなかで振動特性係数、層せん断力の高さ方向分布係数、形状係数などが取り入れられた。

新耐震基準は、主として以下の 5 つの部分から構成されている。なお、実際の耐震設計においては、下記の 5 つの部分がすべての建築物に適用されるわけではなく、建築物の高さや規模に応じて適宜組み合わせて適用される。

- ① 造規定：構造部材の最小必要寸法、鉄骨造の接合方法、鉄筋コンクリート造の最小鉄筋量や鉄筋の継手及び定着方法などが規定されており、構造計算が必要とされるかどうかにかかわらずすべての建築物に適用される。
- ② 許容応力度設計：稀に発生する地震動に対応する地震力によって生じる建築物各部の応力度が短期許容応力度を越えないことを確認する。
- ③ 層間変形角：地震動による建築物の変形によって非構造部材などが過大な被害を受けないようにするために、稀に発生する地震動に対応する地震力によって生じる層間変形角が所要の値を超えないようにする。
- ④ 偏心率・剛性率：地震動によって建築物の一部が大きく変形し、その部分に被害が過度に集中しないようにするために、高さ方向あるいは平面内の剛性分布が適切であるかを確認する。
- ⑤ 保有水平耐力：建築物の終局状態における水平耐力を計算し、極めて稀に発生する地震動に対する安全性を確認する。

平成7年(1995)兵庫県南部地震は、昭和23年(1948)福井地震以来の甚大な被害をもたらした。この地震被害を契機として、構造設計の選択の自由度の拡大や新材料・新工法への適用の拡大を意図するものとして、建築基準法が平成12年(2000)に改定され、このなかで新たに限界耐力計算が規定された。新耐震基準における地震荷重は層せん断力で規定されたのに対して、限界耐力計算の耐震計算における地震荷重は、地震動を受ける1自由度系の最大応答加速度を表す加速度応答スペクトルで規定された。まず、工学的基盤において当該地域の標準地震動スペクトルが設定され、次に、各建設地点の表層地盤の増幅特性係数を乗じて上部構造の地震動の入力位置における設計用応答スペクトルが設定される。また、地盤と基礎、上部構造相互間の動的相互作用効果を表す係数も取り入れられた。

添付資料 10 屋外タンクに関する消防法の改定

屋外タンクの耐震基準は消防法により定められている。平成6年の「危険物の規制に関する規則」等の改正により、昭和52年の法令改正以前に設置された容量1,000k1以上の屋外貯蔵タンク（旧法タンク）については平成25年末までに耐震性を評価し、必要な場合には耐震補修対策を実施することが義務付けられている。

改正の概要は以下のとおりである。

1. 改正の概要

旧法タンクの安全性は次の2つの基準で評価する。

(1) 第一段階基準

液状化については現行基準（限界N値法）に準じる。

(2) 新(第二)段階基準

地震動により基礎、地盤、タンク本体がたとえ変形したとしても危険物の漏液には到らせないということを想定した基準。液状化の評価は液状化指数（PL値）による。

なお、新(第二)段階基準にも適合しないタンクは、所定期限内に改修して新(第二)段階以上の基準に適合させなければならない。

① 第一段階基準・新(第二)段階基準の耐震補修時の評価項目

表4.5.1に第一段階基準・新(第二)段階基準の耐震補修時の評価項目を示す。

表 4.5.1 第一段階基準・新(第二)段階基準の耐震補修時の評価項目

評価段階 補修対象	第一段階基準 評価項目	新(第二)段階基準 評価項目
地盤（液状化）	液状化（限界N値法）*	液状化（PL値法）**
基礎	基礎の構造 補強措置	基礎の局所すべり （構造等でなく性能で評価）
杭基礎	地盤	—
	杭本体の構造 基礎スラブ構造	杭本体の構造 基礎スラブ構造
タンク本体	タンク構造 （側板部の引張・圧縮）	タンク構造 （側板部の引張・圧縮）
	タンク材料 側板・底板・アニュラ板の 厚さ	保有水平耐力

*： 限界N値法：限界N値は、土の粒径の影響を考慮した液状化が生じるか否かの境となるN値

**： PL 値法：液状化指数 PL は $\{1 - (\text{液状化抵抗率 FL})\}$ の深さ方向の積分値であり、大きいほど液状化しやすい。PL 値が 5 以下であれば液状化の危険度は低い。

②防油堤

平成 7 年の兵庫県南部地震で油タンク外周に設けられている防油堤に目地の開き等の被害が発生した。これに伴い平成 10 年 3 月に

- ・ 防油堤の漏えい防止等について(平成 10 年 3 月 20 日)
- ・ 防油堤目地部の補強材の性能等について(平成 10 年 3 月 21 日)

の消防関法の危険物関係通達を行い、国内の既設防油堤の補修対策を指示した。

添付資料 11 道路橋示方書 V 耐震設計編の改定

道路橋示方書 V 耐震設計編は「橋、高架の道路等の技術基準」として昭和 55 年に制定された。

平成 7 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震は、各種の構造物に関東大震災以来、最大の被害を引き起こした。地震直後の 1 月 20 日には、耐震工学・橋梁工学等の専門家からなる「兵庫県南部地震道路橋耐震対策委員会」が設置され、被災原因の究明等が検討された。

平成 7 年 2 月 27 日には、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様（復旧仕様）」が上記委員会の審議を経て、建設省より関係機関に通知された。

さらに、平成 7 年 5 月 25 日には、橋、高架橋の道路等の技術基準（道路橋示方書）の改定が行われるまでの当面の措置として、全国で実施される新設橋梁の設計及び既設橋梁の補強についても道路種別および構造・機能に応じて復旧仕様を参考とすることが建設省より各関係機関に通知されている。

平成 7 年 4 月に耐震対策特別分科会を設置し、改定作業を行い平成 8 年に改定した。主要な改定点は次の通りである。

- ①直下型地震としては、構造物に与える影響という観点で現在まで観測された最も強い地震動を与えた平成 7 年兵庫県南部地震による地震動を考慮することとし、これを従来の設計地震力に加えて新たに設計地震力として規定した。
- ②従来の震度法による耐震設計を踏襲するとともに、地震の影響の大きい橋脚、基礎、支障部、落橋防止システムなどの構造部材等は地震時水平保有耐力法により耐震設計するように改正。
- ③構造部材の非線形性の効果も含めた橋の挙動を適切に把握するためには動的解析が必要とされる。こうした点を考慮し、動的解析に用いる地震入力を規定するとともに、解析モデルおよび解析法、動的解析による安全性の照査に関する規定を改正。
- ④液状化判定対象土層、液状化の判定に用いる地震力、液状化強度、耐震設計上の取り扱い方法を見直し、これらを液状化が生じる場合の耐震設計法として新たに規定。
- ⑤橋に影響を与える流動化に対する耐震設計上の取り扱いに関する規定を新たに設けた。
- ⑥従来具体的な規定がなかった免震設計について、地震力の分散と高減衰化に重点を置いた免震設計法として新たに規定した。
- ⑦鉄筋コンクリート橋脚について、帯鉄筋による拘束効果を見込んだコンクリートの応力度～ひずみ関係を導入するとともに、水平力～変位関係の算定方法を改めた。
また、寸法効果を考慮したせん断耐力の評価法、じん性を向上させるための配筋細目、および鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法による設計法を新たに規定した。
- ⑧コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力および変位性能の算定方法、また、コンクリートを充填しない鋼製橋脚の耐震設計上の取扱い方法を新たに規定した。
- ⑨各種形式の基礎に対する非線形域の効果も含めた耐力、変形性能の照査方法を定め、地

震時保有水平耐力法に基づく基礎の耐震設計法を新たに規定した。

- ⑩従来明確な設計方法の規定がなかった支承部について、設計地震力と各種の支承形式の設計法、および支承に取付く構造の設計方法を新たに規定した。
- ⑪落橋を確実に防止するため、従来の落橋防止構造の機能を明確にし、新たに落橋防止システムとして位置付けを明確にするとともに設計荷重および設計方法を規定した。

添付資料 12 港湾の施設の技術上の基準・同解説の改定

「港湾の施設の技術上の基準」は水域施設、外郭施設、係留施設等の港湾の施設を建設又は改良等を行う場合に港湾法（昭和 25 年法律第 218 号）第 56 条の 2 の規定に基づき適合すべき基準を定めた省令（昭和 49 年運輸省令第 30 号）及びこれについての解釈及び運用を定めた港湾局長通達により構成されている。

昭和 49 年に施行した省令をうけて、昭和 50 年に定めた局長通達は、昭和 63 年の大改訂と平成 5 年の一部改定を経ている。

平成 7 年 1 月 17 日に発生した兵庫県南部地震により、護岸設備等が多数災害を受けており、この被災内容を考慮し最近の技術的知見により平成 11 年 3 月に旧基準から見直した耐震関係の主な事項及びその概要は以下のとおりである。

- ①レベル 2 地振動：耐震強化施設の設定。
- ②設計震度：地域別震度及び重要度係数の見直し。
- ③液状化判定法：液状化の限界 N 値の変更。液状化強度の算定に塑性指数 I_p を考慮。
- ④みかけの震度、動水圧：水中の震度を新井・横井の式に統一。接水構造物に動水圧を考慮。
- ⑤コンクリートの部材設計：許容応力度法から限界状態設計法に基本的に変更。
- ⑥地盤改良：新たな地盤改良法の追加。
- ⑦外郭施設：期待滑動量を用いた信頼性設計法。
- ⑧栈橋式係船岸：耐震性能照査設計法の導入。

