

第1章 電力土木施設を取り巻く地震環境

1.1 近年の大規模地震と地震被害

我が国は図-1.1.1に示すように、4つのプレート境界に位置し、また、図-1.1.2に示すように、陸域には数多くの活断層が存在している。プレート境界、プレート内および活断層で大規模地震が頻発し、これまで数多くの地震被害が発生している（図-1.1.3、図-1.1.4参照）。毎年、世界の地震エネルギーの約10%が我が国近傍で放出されていると言われており、世界有数の地震大国となっている。

1995年兵庫県南部地震以降、我が国は地震活動期に入ったと言われている。概ね1995年兵庫県南部地震以降、最近20年間に発生した大規模地震を列举すると、表-1.1.1、図-1.1.5のようになる。主な被害地震を列举したものであり、表-1.1.1には地震や被害の特徴を示す。未曾有の激甚災害となった1995年兵庫県南部地震および2011年東北地方太平洋沖地震については、1-9ページ以降に地震や被害の概要を示す。

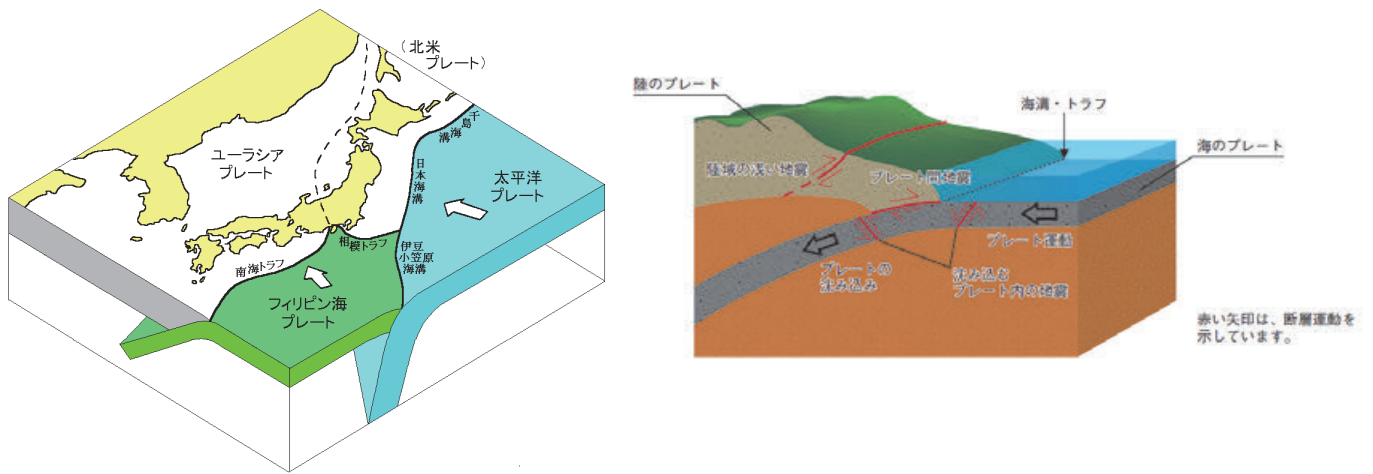


図-1.1.1 日本列島周辺のプレート構造 1),2)

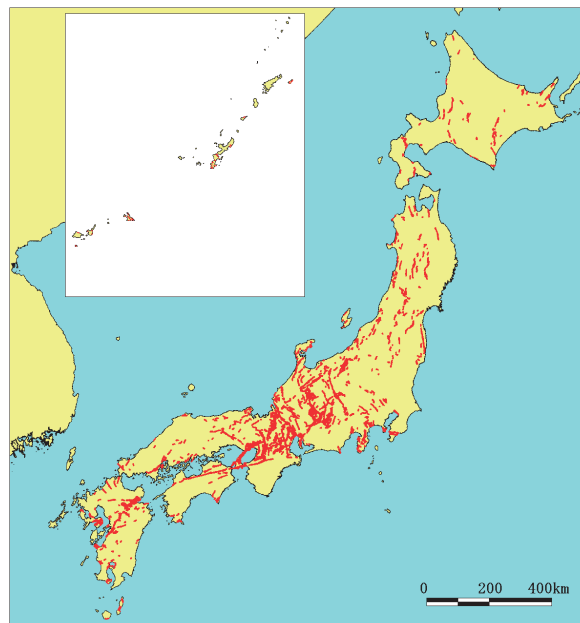
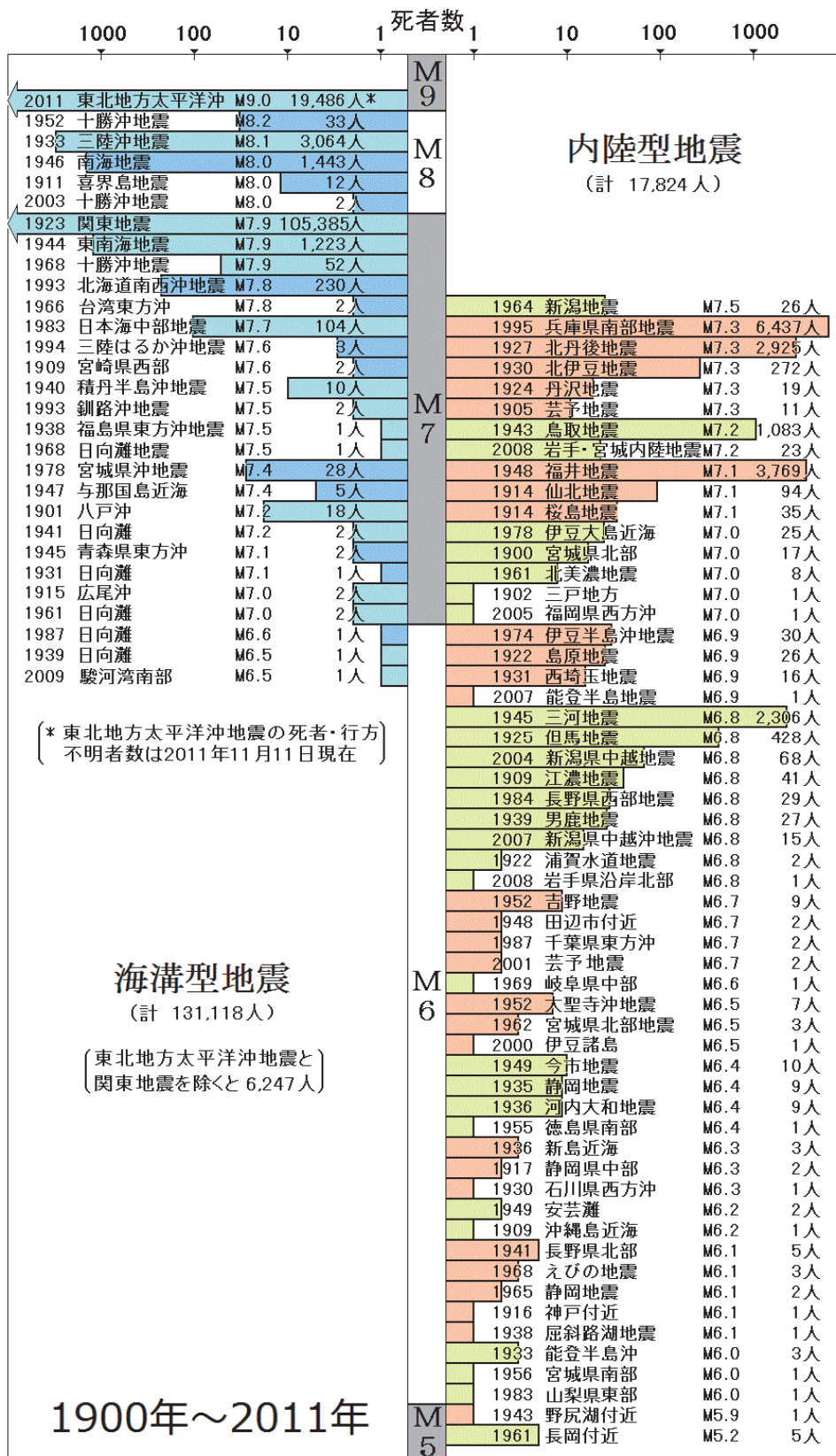


図-1.1.2 我が国における陸域活断層の分布 3)



注) 明治(1868年)以降 1899年までの地震で、特徴的な地震を以下に示す⁵⁾。

- ①1891年濃尾地震：内陸型地震としては最大のM8.0の地震。死者は 7,273人。
- ②1896年明治三陸地震：M8.2の海溝型地震。主に津波により死者は 21,959人。

図-1.1.3 最近112年間(1900～2011年)に日本周辺で発生し死者を伴った地震⁴⁾

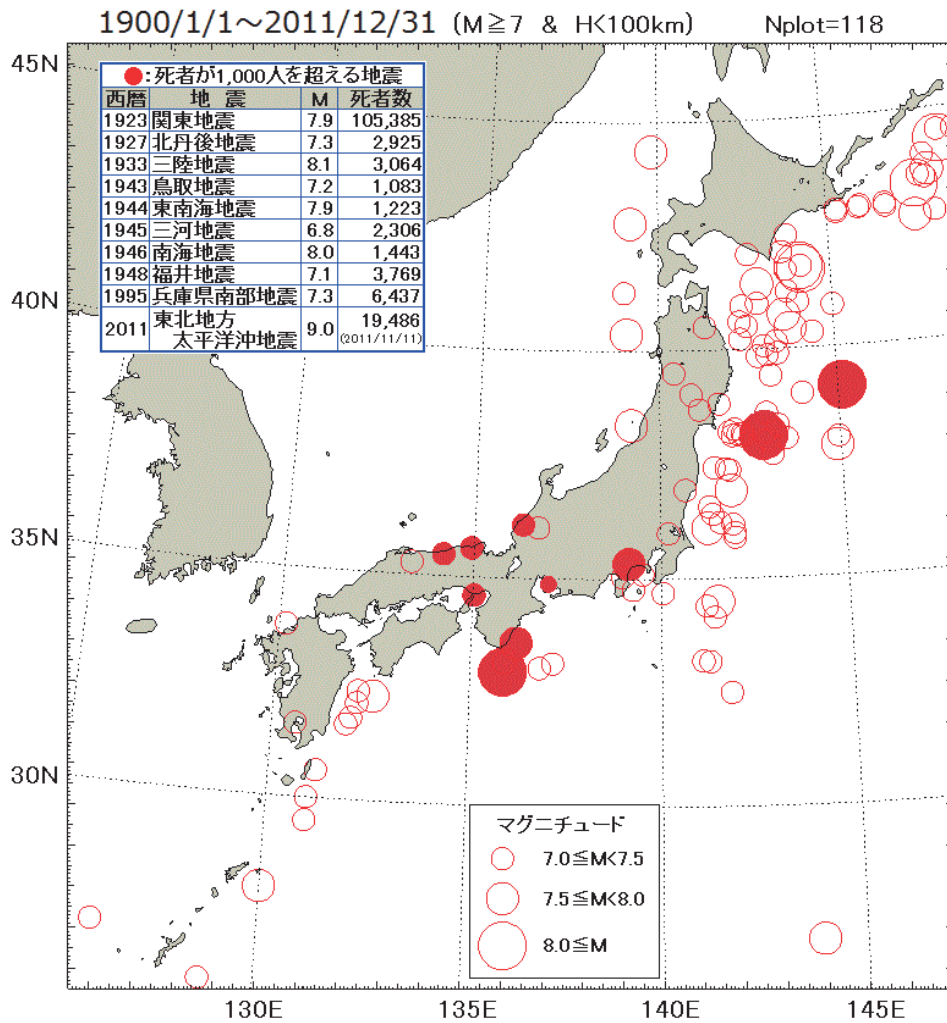


図-1.1.4 最近 112 年間(1900~2011 年)に発生した M7 以上, 深さ 100km 以浅の地震(白丸)と 1,000 人以上の死者を伴った地震(赤丸) 4)

表-1.1.1(1) 最近 20 年間の大規模地震 (5-49)

No.	発生日時	地震名	規模 M ^(*)	震源 深さ D	最大 震度	最大 津波高 H	人的被害 物的被害*2)	地震・被害の特徴
1	1993 年 7 月 12 日	北海道南西沖地震	7.8	35km	5(6)	16.8m	死者 230 名 行方不明者 29 名 負傷者 323 名 住家全壊 601 棟 住家半壊 408 棟 住家一部損壊 5,490 棟	<ul style="list-style-type: none"> ・日本海側で発生した地震としては、近代以降最大規模。 ・震源に近い奥尻島中心に津波や火災で大きな被害を出した。
2	1995 年 1 月 17 日	兵庫県南部地震	7.3	16km	7	—	死者 6,434 名 行方不明者 3 名 負傷者 43,792 名 住家全壊 104,906 棟 住家半壊 144,274 棟 住家一部損壊 390,506 棟 全焼 7,036 棟 焼損棟数 7,574 棟	(1)参照 (1-9、1-10 ページ)。
3	2000 年 10 月 6 日	鳥取県西部地震	7.3	9km	6 強	—	負傷者 182 名 住家全壊 435 棟 住家半壊 3,101 棟	<ul style="list-style-type: none"> ・震源域周辺で 900gal を超える大きな加速度が観測されたにもかかわらず、被害は少なかった。 ・地盤が比較的硬質、構造物に影響を及ぼす長周期領域(0.5～1.0s 以上)の増幅が小さかった、震源域が人口の少ない山間部であったこと等による。 ・震源域近くの賀祥ダムで、ダム基部で約 500gal、頂部で 2,000gal もの加速度記録が観測されたが、被害は軽微であった。計器室の窓ガラスが地震によって破損したが、ダム本体に被害は生じなかった。

表-1.1.1(2) 最近20年間の大規模地震(カ-49)

No.	発生日時	地震名	規模 M ^(*)	震源 深さD	最大 震度	最大 津波高H	人的被害 物的被害 ^(*)	地震・被害の特徴
4	2001年3月24日	芸予地震	6.7	46km	6弱	—	死者2名 負傷者288名 住家全壊70棟 住家半壊774棟	<ul style="list-style-type: none"> 震源域周辺で800galを超える大きな加速度が観測されたにもかかわらず、構造的に大きな被害はほとんどなかった。フィリピン海プレート内地震で震源深さが46kmと深く、構造物に影響を及ぼす長周期領域(0.5～1.0s以上)の増幅が小さかったこと等による。 非構造部材(天井、壁、エキスパンション等)の被害が顕著であった。
5	2003年5月26日	宮城県沖地震	7.1	72km	6弱	—	負傷者174名 住宅全壊2棟 住宅半壊21棟	<ul style="list-style-type: none"> スラブ内地震の一般的特徴(下記)が見られた地震。 高振動数の地震波が発生する。 大きな最大加速度が観測される場合が多い。 軽微な被害にとどまる場合が多い(震源が深く地表までの距離が遠いため)。
6	2003年7月26日	宮城県北部地震	6.4	12km	6強	—	負傷者677名 住宅全壊1,276棟 住宅半壊3,809棟	<ul style="list-style-type: none"> 5月26日の地震に比べ震源が浅く、マグニチュードが小さいにもかかわらず被害が大きかった。 被害が大きかった地域は、震源付近の10km四方程度と狭い範囲であり、最大加速度は1,500～2,000gal程度の非常に大きな値が観測された。
7	2003年9月26日	十勝沖地震	8.0	45km	6弱	255cm	死者1名 行方不明者1名 負傷者849 住宅全壊116棟 住宅半壊368棟	<ul style="list-style-type: none"> 文部科学省地震調査研究推進本部が発生確率が高いと評価した「十勝沖の地震」が実際に発生。M8級地震の周辺で多数の観測記録が得られた国内最初の例。 人的被害や建物被害は1952年十勝沖地震と比較して相対的に少ない。広域で地盤、土木構造物、ライフライン、設備、室内等の被害が発生。 スロッシングによる原油タンクの火災発生(出光興産北海道製油所)。

表-1.1.1(3) 最近20年間の大規模地震 5)・49)

No.	発生日時	地震名	規模 M ^(*)	震源 深さD	最大 震度	最大 津波高H	人的被害 物的被害 ^(*)	地震・被害の特徴
8	2004年10月23日	新潟県中越地震	6.8	13km	7	—	死者68名 負傷者4,805名 住家全壊3,175棟 住家半壊13,810棟	・内陸直下地震で、震源域で激しい揺れとなった。 K-NET小千谷で最大加速度1,500gal、最大速度130kineが観測された(1995年兵庫県南部地震の記録に匹敵)。 ・余震規模が通常より大きく、震度6強(最大余震M6.5, M6.3)が2回観測された。 ・山間地での大規模な土砂災害が多く、木造建物の倒壊も見られた。 ・極めて地震活動が低いところで発生した地震。 ・福岡で観測史上初の震度6弱の地震。
9	2005年3月20日	福岡県西方沖地震	7.0	9km	6弱	—	死者1名 負傷者1,204名 住家全壊144棟 住家半壊353棟	
10	2005年8月16日	宮城県沖地震	7.2	42km	6弱	12cm	負傷者100名 住家全壊1棟 住家一部破損984棟	・1978年宮城県沖地震と比較して、被害が格段に少なかった。 ・非構造物(天井、外壁)の被害やエレベータ停止による閉じ込め被害が顕著であった。
11	2007年3月25日	能登半島地震	6.9	11km	6強	22cm	死者1名 負傷者356名 住家全壊686棟 住家半壊1,740棟	・地震活動が低いところで発生した地震。 ・山間地での大規模な土砂災害が多く、木造建物の倒壊も見られた。
12	2007年7月16日	新潟県中越沖地震	6.8	17km	6強	約1m	死者15名 負傷者2,346名 住家全壊1,331棟 住家半壊5,710棟 住家一部破損37,633棟	・山間地での大規模な土砂災害が多く、木造建物の倒壊も見られた。 ・東京電力柏崎刈羽原子力発電所の近傍で発生した地震で、運転中の2、3、4、7号機が安全に自動停止したが、以下の課題が認識されることになった。 ・設計時の想定を大きく超える揺れの発生(例えば、1号機原子炉建屋地下5階(基礎版上)で設計時の想定最大加速度273galに対し、最大加速度680galの揺れを記録。) ・3号機所内電源用の変圧器の火災 ・使用済燃料プール水の溢水・漏出

表-1.1.1(4) 最近 20 年間の大規模地震 5)・49)

No.	発生日時	地震名	規模 M ^(*)1)	震源 深さ D	最大 震度	最大 津波高 H	人的被害 物的被害 ^(*)2)	地震・被害の特徴
13	2008 年 6 月 14 日	岩手・宮城内陸地震	7.2	8km	6 強	—	死者 17 名 行方不明者 6 名 負傷者 426 名 住家全壊 30 棟 住家半壊 146 棟	<ul style="list-style-type: none"> ・山間部で発生した地震であり、大規模な土砂災害が数多く発生した。犠牲者の多くは土砂災害によるものである。2004年新潟県中越地震被害と同様、大規模な土砂災害による構造物への影響(祭時大橋の落橋等)や孤立地区の発生が問題となった。 ・活断層の存在が知られていない地域で発生した地震であり、規模も大きい。K-NET一関西では最大加速度として水平1,436gal、鉛直3,866galが観測され、3,866galは観測史上最大の加速度である(ギネスブックにも掲載)。2,000galを超える記録がいくつか観測されているが、最近の内陸型地震でも同程度の加速度が観測されている(2000年鳥取県西部地震1,584gal、2003年宮城県北部地震2,037gal、2004年中越地震2,515gal)。
14	2008 年 7 月 24 日	岩手県沿岸北部	6.8	108 km	6 弱	—	死者 1 名 負傷者 211 名 住家全壊 1 棟 住家一部破損 379 棟	
15	2009 年 8 月 11 日	駿河湾地震	6.5	23km	6 弱	36cm	死者 1 名 負傷者 319 名 住家半壊 6 棟 住家一部破損 8,672 棟	<ul style="list-style-type: none"> ・我が国の大動脈である東名高速道路牧之原SA近くの盛土のり面が崩落し、通行止となった。復旧に約5日間を要した。
16	2011 年 3 月 11 日	東北地方太平洋沖地震	9.0	24km	7	9.3m 以上	死者 18,493 名 行方不明者 2,683 名 負傷者 6,217 名 住家全壊 128,801 棟 住家半壊 269,675 棟 住家一部破損 756,814 棟	(2)参照 (1-11~1-14 ページ)。

表-1.1.1(5) 最近20年間の大規模地震^{5)・49)}

No.	発生日時	地震名	規模 M ^{*1)}	震源 深さD	最大 震度	最大 津波高H	人的被害 物的被害 ^{*2)}	地震・被害の特徴
17	2011年3月12日	長野県・新潟県県境付近地震	6.7	8km	6強	—	死者3名 負傷者57名 住家全壊73棟 住家半壊427棟	
18	2011年3月15日	静岡県東部地震	6.4	14km	6強	—	負傷者75名 住家半壊103棟 住家一部破損984棟	
19	2011年4月7日	宮城県沖地震	7.2	66km	6強	—	死者4名 負傷者296名 ^{*3)}	
20	2011年4月11日	福島県浜通り地震	7.0	6km	6弱	—	死者4名 負傷者10名 ^{*3)}	
21	2011年6月30日	長野県中部地震	5.4	4km	5強	—	死者1名 負傷者17名 住家半壊24棟 住家一部損壊6,117棟	
22	2013年4月13日	淡路島付近地震	6.3	15km	6弱	—	負傷者34名 住家全壊6棟 住家半壊66棟 住家一部破損8,000棟	・1995年兵庫県南部地震の余震域の南側で発生し、活断層が知られていない所で発生した地震。 M6前半の地震は、全国各地どこでも発生する可能性がある。

*1) 規模Mは気象庁マグニチュード。ただし、東北地方太平洋沖地震はモーメントマグニチュード。

*2) 住家、住宅の被害。

*3) 物的被害は2011年東北地方太平洋沖地震を含む。



図-1.1.5 最近 20 年間の大規模地震

(1) 1995 年兵庫県南部地震⁹⁾⁻¹⁶⁾

①大都市直下で発生した地震で、それまでに観測されたことのない強震動により、道路、鉄道、河川、港湾、ライフライン施設等の土木構造物は甚大な被害を受けた。内陸型地震としては同規模の 1948 年福井地震 (M=7.1、死者 3,769 名) を上回る戦後最悪の大震災 (阪神・淡路大震災) となった。都市機能が麻痺し、過密した近代都市の脆弱性が露呈した地震である。なお、本地震による経済損失は直接被害額だけでも約 10 兆円と言われている。神戸港のコンテナ貨物取扱個数は、震災前 1980 年が世界第 4 位であったにもかかわらず、震災後低迷し、アジア新興国の台頭もあるが、15 年以上経た 2011 年現在も第 49 位¹²⁾と低迷している。

②特に古い時代に建設された構造物を中心に甚大な被害を受けた。一方、例えば大規模地震を想定した「道路橋示方書・同解説」(1990)¹³⁾や 1983 年に改正された建築基準法施行令 (「新耐震基準」) が適用された道路橋や建築物等については、被害は概ね軽微であった。

③橋脚等、コンクリート構造物については、曲げ破壊より靱性が発揮できないせん断破壊による被害が顕著であった (写真-1.1.1 参照)^{14),15)}。地下構造物のコンクリート柱の圧壊による被害も生じた (写真-1.1.2 参照)^{14),15)}。また、ポートアイランド等、埋立地において、地盤の液状化や側方流動による被害が顕著であった (写真-1.1.3~写真-1.1.5 参照)¹⁴⁾⁻¹⁶⁾。

④本地震以後、土木構造物関連の耐震設計基準が大幅に見直しされ、従来の震度法を基本とした耐震設計法に対し、レベル1地震動（中規模地震）とレベル2地震動（大規模地震）を考慮した二段階設計法の導入が図られた。また、コンクリートのせん断破壊を防止し、靱性を確保するための構造細目の見直しも図られた。液状化に対してもレベル2地震動を考慮した厳しい設計法に改められた。なお、建築物については概ね想定通りの被害に留まり、建築基準法は基本的に改訂されなかった。



写真-1.1.1 東灘高架橋橋脚の倒壊^{14),15)}
(阪神高速道路3号神戸線)



写真-1.1.2 地下鉄大開駅中柱の圧壊^{14),15)}



写真-1.1.3 ポートアイランド北公園護岸の崩壊^{14),15)}



写真-1.1.4 西宮港大橋側径間の落橋^{14),15)}
(阪神高速道路5号湾岸線)



写真-1.1.5 MCターミナル(御影浜)¹⁶⁾
LPGタンクの高圧ガス漏洩(約70,000人が避難)

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震³⁴⁾⁻⁴⁸⁾

- ①マグニチュード $M_w=9.0$ という我が国観測史上最大、世界でも4番目の規模の地震であった。日本海溝沿いの震源域は、南北約500km、東西約200kmにも及び、岩手県から茨城県までの太平洋岸の広い範囲で震度6弱から震度7の揺れが観測された。本震後に発生した巨大津波は、2万人以上もの死者・行方不明者をもたらし、未曾有の激甚災害となった（東日本大震災）。
- ②文部科学省の地震調査研究推進本部地震調査委員会は、過去に発生した地震に関する調査研究成果に基づき、三陸沖から房総沖で発生する地震の評価を行っていた（図-1.1.6参照）³⁶⁾。今回の地震は、①～⑥の領域が連動したと考えられている。事前には、①と②の2つの領域の連動は想定されていたものの、6つの領域の連動は想定されていなかった。また、③の福島県沖と④の茨城県沖は、過去にマグニチュード $M=7.5$ を超える地震の発生が知られておらず、想定されている地震規模は比較的小さかった。なお、最初に破壊した①の領域における今後30年間の地震発生確率は、隣接する②とともに高い値であった。
- ③本地震による巨大津波発生の本質は、プレート境界（日本海溝）浅部の滑りにある。これまでの研究ではプレート境界浅部に滑りは生じないとされていたが、本地震ではプレート境界浅部に滑りが生じ、短波状の高い津波が従来のプレート境界深部の滑りによる長波状の津波に重なり、巨大津波が発生した（図-1.1.7参照）³⁷⁾。プレート境界浅部の滑りは57mとも言われている³⁷⁾。過去の歴史地震津波に比べ津波高さは広域にわたって大きく（図-1.1.8³⁸⁾、図-1.1.9^{38), 39)}参照）、浸水面積も山手線（JR東日本）の内側面積と同等レベルであった（表-1.1.2⁴⁰⁾参照）。この巨大津波によって、三陸沖から房総沖に及ぶ太平洋沿岸部の広域にわたり壊滅的被害を受けたのは周知の事実である（写真-1.1.6⁴¹⁾、写真-1.1.7⁴²⁾参照）。

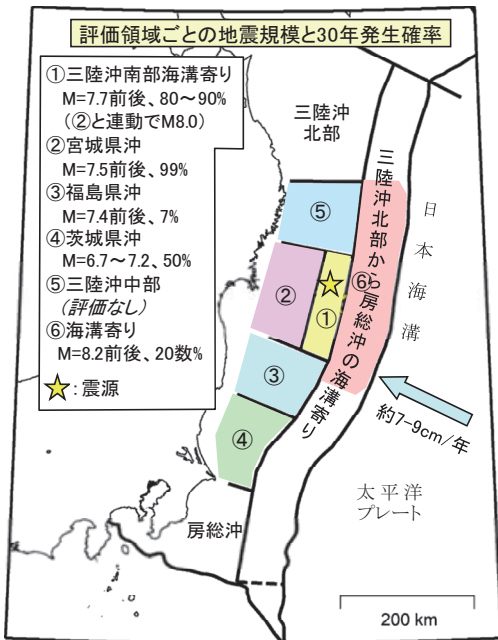


図-1.1.6 評価領域ごとの地震規模と30年発生確率³⁶⁾

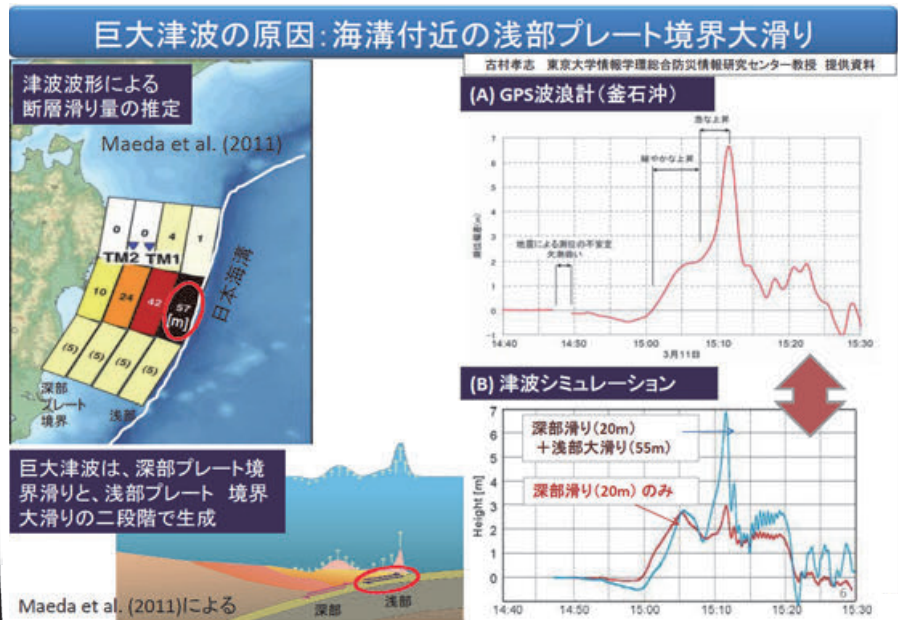


図-1.1.7 巨大津波発生の本質³⁷⁾

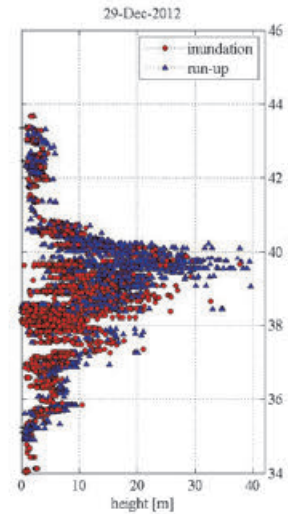
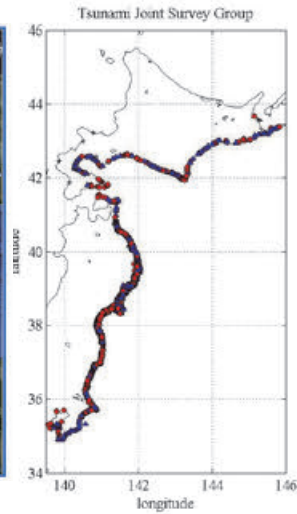
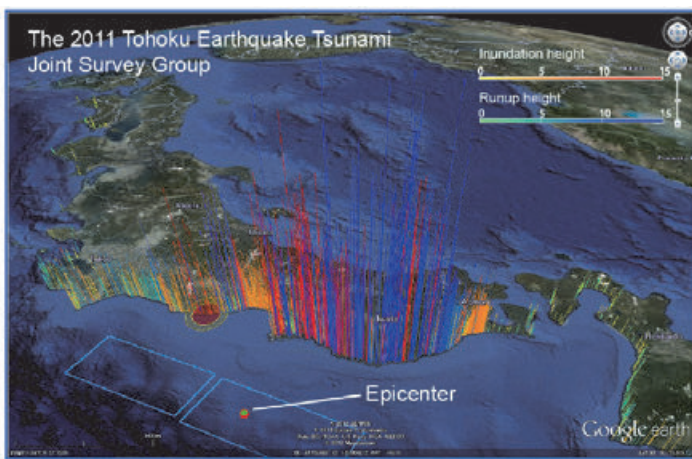


図-1.1.8 浸水高・遡上高の分布³⁸⁾
(各地域の最大値)

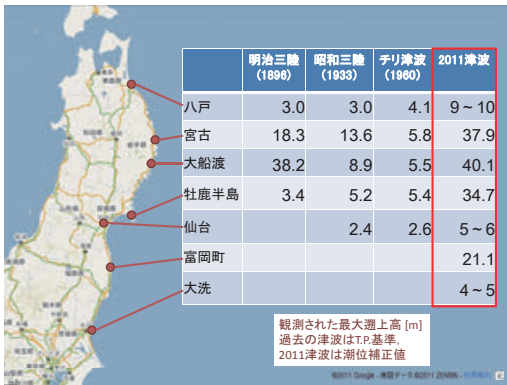


表-1.1.2 東北・関東地方の県別浸水面積⁴⁰⁾

県	青森	岩手	宮城	福島	茨城	千葉	合計
浸水面積 (km ²)	24	58	327	112	23	17	561

図-1.1.9 既往の津波との遡上高の比較^{38), 39)}



写真-1.1.6 津波の遡上(宮古市)⁴¹⁾



写真-1.1.7 津波の遡上(気仙沼市)⁴²⁾

④地震動に対し、1995年兵庫県南部地震以降の新耐震設計基準で設計された土木構造物および耐震補強がなされていた土木構造物には総じて地震被害はなかった。ただし、地震動の継続時間が長く、3分近くにも及び、地盤の液状化被害(写真-1.1.8参照)⁴²⁾の問題が顕在化した。一方、建築物については、非構造部材(天井、外壁等)の被害(写真-1.1.9参照)⁴³⁾が数多く発生した。また、長周期地震動により

首都圏の超高層ビルや遠く大阪府の咲洲庁舎にも被害が生じ、長周期地震動の問題も顕在化した。その後、例えば「道路橋示方書・同解説」(2012)⁴⁴⁾が改訂され、レベル2地震動のタイプI(プレート境界型)の設計水平震度が見直しされている。また、建築基準法や関連基準についても、非構造部材や長周期地震動に対する規定の見直しが検討されている。



写真-1.1.8 東京ディズニーリゾート(浦安市)の液状化被害⁴²⁾ 写真-1.1.9 在来工法による体育館天井の脱落被害⁴³⁾

⑤その他、本地震で注目される被害として、以下のものが挙げられる。なお、昨今、現地の復興工事がようやく本格化したが、一日も早い復興を祈念する次第である。

- ・地盤の液状化と津波による複合災害(写真-1.1.10参照：地盤の液状化により杭の支持力が低下し、津波波力により建物が転倒したとされている。)⁴⁵⁾
- ・橋梁ゴム支承の破断(写真-1.1.11参照)⁴⁶⁾
- ・東北新幹線電化柱の被害(写真-1.1.12参照：このため復旧に長期間を要した。)⁴²⁾
- ・アースフィルダムの決壊(写真-1.1.13参照)⁴⁷⁾
- ・タンクの火災、炎上(写真-1.1.14参照)⁴⁸⁾
- ・原子力発電所や火力発電所等の電力施設の津波被害



写真-1.1.10 杭基礎RC建物の倒壊(女川町)⁴⁵⁾

写真-1.1.11 仙台東部高架橋ゴム支承の破断⁴⁶⁾



写真-1.1.12 東北新幹線電化柱の被害⁴²⁾



写真-1.1.13 藤沼ダム(アースフィルダム)の決壊(福島県)⁴⁷⁾



写真-1.1.14 コスモ石油千葉製油所LPGタンクの火災・炎上⁴⁸⁾

近い将来、南海トラフ巨大地震や首都直下地震といった大規模地震の発生が予想されている。南海トラフ巨大地震では死者が最大約 32 万人、経済的損失が最大約 237 兆円と想定されている^{50),51)}。また、首都直下地震でも、30 年以内に 70%の確率で起きるとされるマグニチュード M7 級の地震で死者が最大約 2.3 万人、経済的損失が最大約 95 兆円と想定されており⁵²⁾、1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震をはるかに超える被害が想定されている。地震防災にとって最も有効な施策は、事前対策であることは言うまでもなく、既設インフラの耐震性向上が急務の課題である。