

津波対策について

株式会社 プラント耐震設計システムズ

池 田 雅 俊

1. まえがき

平成 16 年 12 月 26 日に発生したスマトラ北西部沖地震 (M9.0) は、ユーラシアプレートとインド・オーストラリアプレートの境界でのプレート間地震であり、断層長さは約千キロメートルにも達し、歴史的にも最大級の規模 (マグニチュード 9.0) となった。地震より生じた津波は、直後にインドネシア沿岸を襲い、その後、タイ、マレーシア、バングラディッシュ、さらにはインド東岸、スリランカ (波源から 1,600km) にも達した。アフリカ (波源から約 6,000km) および南極へも来襲した。犠牲者は 30 万人を超え、感染症などの 2 次災害も懸念されている。記録に残っている津波災害の中でも最悪となる。

世界の中でも日本は歴史的にも津波が多く、その被害表 (参照) を受けている。英語でも tsunami と表される。日本語では「津波」のほか、海嘯 (かいしょう)、または地域によっては「ヨダ」などと呼ばれることもある。津波の主な原因は、海底地震に伴う大規模な地殻変動によるものである。海底火山の爆発も時として津波を発生させる。また、台風、低気圧通過に伴う高潮もある。

来るべき東海地震、東南海・南海地震などで津波による被害が心配がなされている。石油コンビナートは海岸沿いに設置されるので、津波による災害を僅少に食い止めるよう十分の配慮が払われるべきである。

2. 津波力学

津波の伝播速度は、

$$V = \sqrt{gh}$$

g : 重力加速度、h : 水深

で与えられ、かなりの速度である。東海地震では、図 1 に見られるように地震発生後数分から 10 分程度で沿岸に達すると見られている。

1960年5月23日 (日本時間) のチリ地震 (マグニチュード 9.5) の場合、南米チリ沖で地震が発生し、その 22 時間 30 分後、約 18,000 Km 離れた日本の三陸沿岸に津波が押し寄せ 61 人が死亡し、多くの家屋や船舶が流失した。太平洋の平均水深は約 4000 m なので、津波は約 800 km/h の速度 (新幹線の約 3 倍のスピード) で襲ってきた。

水深 2000 m では、約 500 km/h、200 m では、約 160 km/h、10 m では、約 36 km/h 速度となる。また、陸上に遡上する津波は、人が全速力で走る程の速さとなる。

太平洋での波高は 2 ~ 3 m であるが、津波の波長は約 10km と、非常に長いので沖合いでは殆ど感じられない。しかし、波高 H と水深 h に関して $Hh^{1/4} = \text{一定}$ という関係があるので、海岸に近づき海が浅くなると波高は急激に高くなる。

表 1 津波と被害地震 (理科年表他より)

発生年月日	地震名	地域	死者・行方不明数	マグニチュード(M)	津波規模*	主な被害形態など
1703/12/31(元禄16年)	元禄地震	江戸・関東諸国	10,000	8.1	3	火災、津波 小田原城下全滅、東海道は川崎から小田原まではほぼ全滅
1707/10/28(宝永4年)	宝永地震	五畿・七道	少なくとも20,000	8.4	4	倒壊、津波の被害大(1ヵ月半後富士山噴火)
1792/5/21(寛政4年)	(眉山崩壊)	雲仙岳	15,000	6.4	3	眉山の崩壊による津波
1741/8/29(寛保1年)	渡島津波	渡島西岸・津軽・佐渡	2,000	-----	3	津波
1771/4/24(天明8年)	八重山地震津波	八重山・宮古両群島	12,000	7.4	4	津波(震害なし)
1854/12/23(安政1年)	安政東海地震	東海、東山、南海諸道	合わせて約4,000?	8.4	3	安政東海地震の32時間後に安政南海地震が発生、両者の被害を区別できない 火災、津波
1854/12/24(安政1年)	安政南海地震	畿内・東海・東山・北陸・南海・山陰・山陽道		8.4	4	
1896/6/15(明治29年)	明治三陸地震津波	三陸沖	22,000	8.1/2	4	津波(震害なし)
1933/3/3(昭和8年)	三陸地震津波	三陸沖	3,064	8.1	3	津波(地震後25~40分後に大津波)
1944/12/7(昭和19年)	東南海地震	三重県沖	1,251	7.9	3	倒壊、津波
1946/12/21(昭和21年)	南海地震	紀伊半島沖	1,330	8	3	火災、津波
1960/5/22(昭和35年)	Chile地震	三陸海岸	142(日本)	9.5		三陸で4m、地震発生の22時間30分後に18,000km離れた三陸沿岸に襲来した。
1983/5/26(昭和58年)	日本海中部地震	能代・秋田・深浦	104	7.7	3	秋田県峰浜村では14m
1993/7/12(平成5年)	北海道南西沖地震	奥尻島、渡島半島西岸	230	7.8	4	津波高さ30m
1994/10/4(平成6年)	北海道東方沖地震	根室・色丹	10	8.1	1	花咲で173cm
2004/12/26(平成16年)	スマトラ北西部沖地震	インド洋沿海	約300000	9.0	4	津波高さ34m

(安政東海地震と安政南海地震の地震を1つの地震として扱っています。)

表中の津波規模は、次の通りです。

- 1: 50cm以下(無被害)
- 0: 1m前後
- 1: 2m前後
- 2: 4~6m程度
- 3: 10~20m程度
- 4: 最大30m以上

また、波高 H と湾幅 B に関して $HB^{1/2} = \text{一定}$ という関係があるので、V字型もしくはU字状に狭まっているラッパ状の湾のように奥が狭くなっている湾奥では非常に高くなるので注意が必要である。たとえば、綾里では1896年の三陸地震では38.2m、1933年の三陸地震では波高が28.7mに達した。

事業所の津波による災害対策の策定に当たっては、当該地域の局地的な海岸形状を考慮したシミュレーションを実施したり、過去の津波の被害による被害歴等を調査するなどして、どのような状況が予想されるかを把握することが望ましい。

3. 津波被害

津波による被害はスマトラ地震等で見られたように広範囲に及ぶ。陸域では人的被害を始めとして、家屋被害、施設被害(防潮堤、水門)、火災延焼被害、経済被害(サービス停止)、ライフライン被害(上下水道、電力、ガス、通信)、交通被害(道路、鉄道)、農業被害(水田への塩水浸入)、石油類、火薬類、高圧ガスなどの危険な物質を扱う産業施設、原子力施設などがある。一方、海域では、施設被害(防波堤など沿岸施設)、船舶被害、水産被害、地盤被害(土砂移動による洗掘)、油・材木流出(火災・延焼の原因、沿岸環境汚染)など広範囲な被害がある。

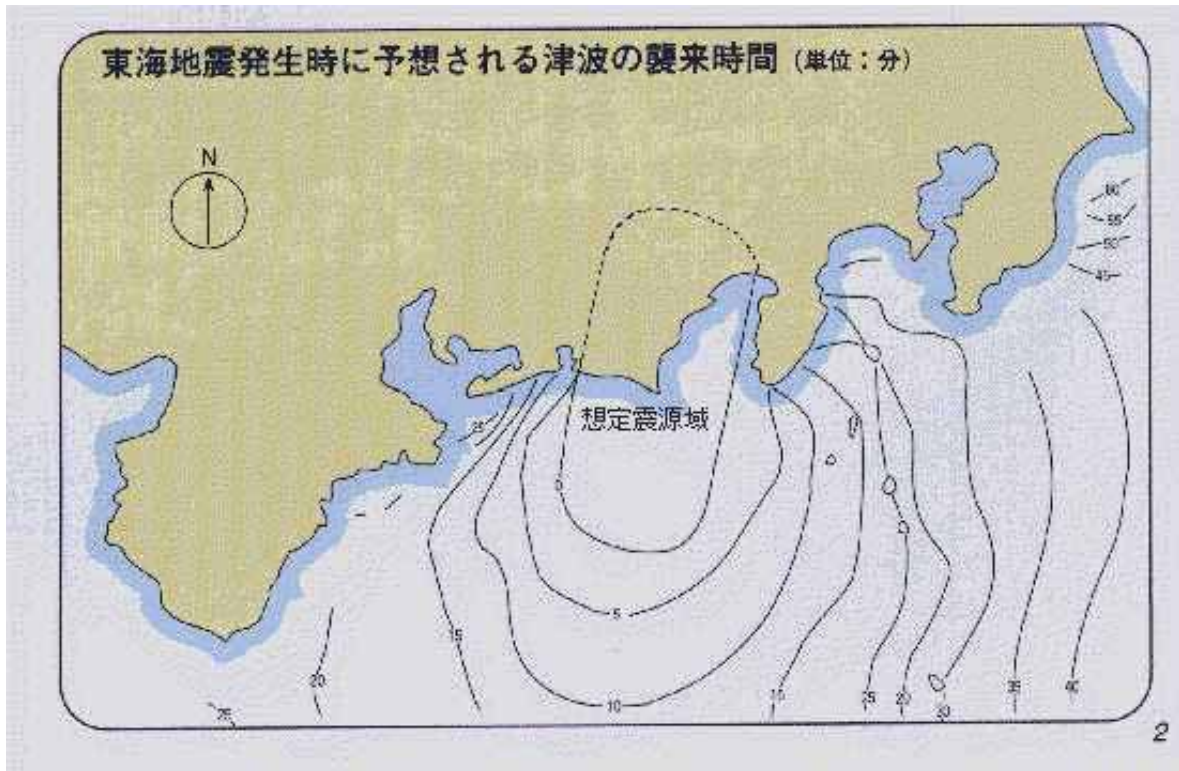


図 1 東海地震発生時に予想される津波の来襲時間（静岡県防災局）



「南海道地震から 50 年」（和歌山県）より
 図 2 打ち上げられた船舶が家屋を損壊（海南市）

津波による貯油施設等の被害は、Alaska 地震際してのものが有名である。もっとも顕著なのが Whittier(Anchorage 東南東の約 7.5 km、Prince William 入江の湾奥)の Union Oil Co.のタンクヤ

ードの被害である。比較的小型のものが多く、最小 1,260bbl、最大 53,480bbl 計 13 基があった。このうち 53,480bbl (2 基) を除いてすべて津波により移動し、最大距離は 190ft と記録されている。移動したタンクは、すべて修理不能な程度の損傷を受けた。4 基(移動しなかった大型の 53,480bbl タンク 2 基を含む。)が炎上した。出火は目撃者によると、地震動により 53,480bbl タンクの頂部が裂けて内容物(ガソリンかディーゼル油)が流出して、その後まもなく着火した。着火後に津波が来襲したと報告されている。

このほか Seward(Anchorage 東南東約 150km)においても同様な被害及び地滑りと、津波の引き波よりタンク及びタンク車が水没して発火した例が報告されている。

地震及び津波に関する情報

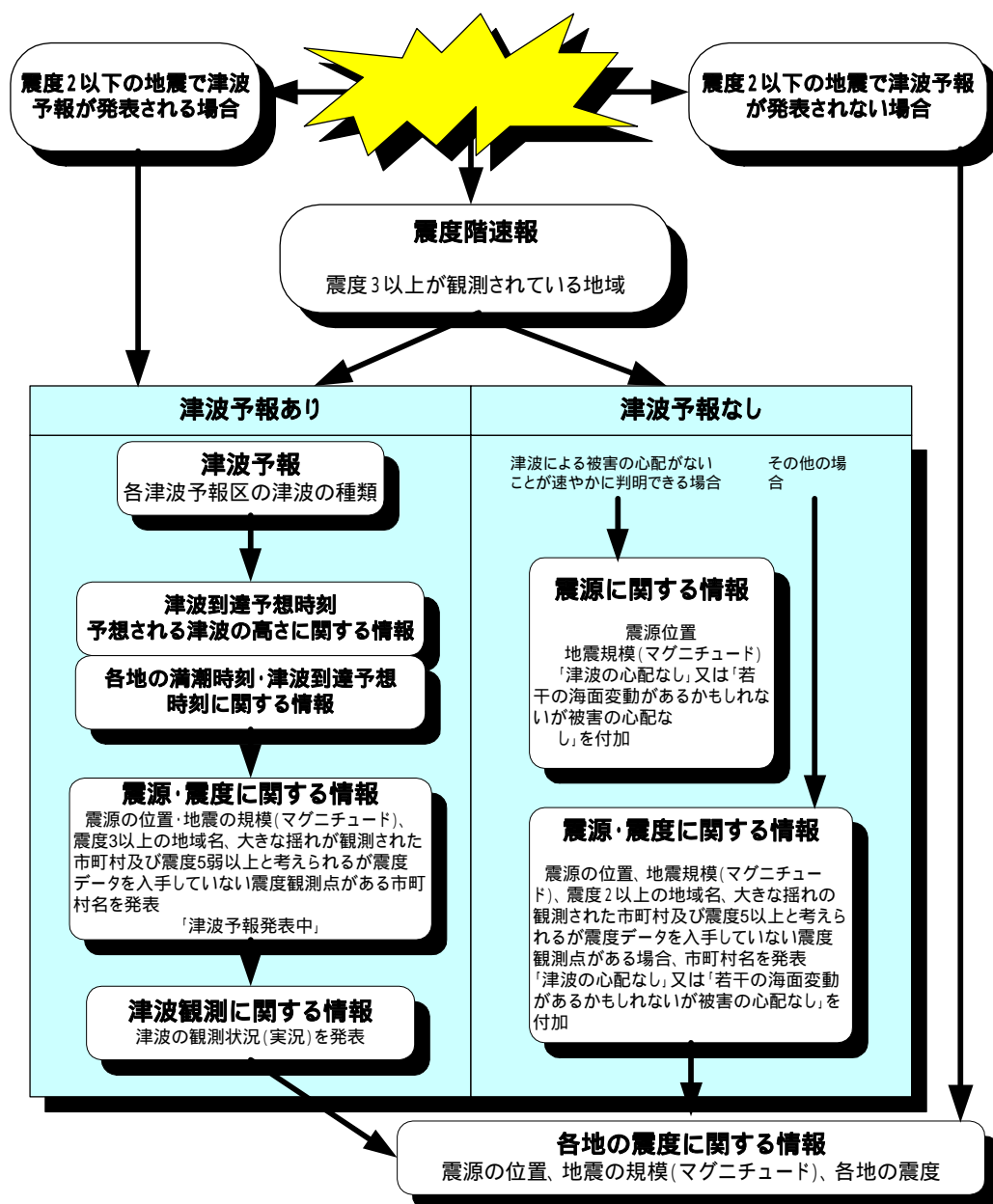


図 3 津波に関する情報

4. 津波予測

着実に津波防災のために津波に関する情報は出来るだけ早期に入手して必要な応急処置を行い、円滑に避難を行える体制を確保することが望ましい。

また、内閣府・中央防災会議、文部科学省地震調査・研究推進本部、港湾研究所、海上保安庁などの機関で主要な地震に対して津波の予測を行っている。津波・地震防災対策に実施のために、常にこれらの機関から情報を入手して、適切な対策を講ずることが出来る体制を維持しておくことが望ましい。

4.1. 津波警報

日本全国のどこかで地震が発生したとき気象庁は表 2 及び

表 3 のような地震及び津波に関する情報を提供する。事業所は地震防災・津波防災のための情報として有効に利用することが出来る。

津波予報として、図 4 に示すように全国の海岸線を 66 に分け、予想される津波高さ（潮位）に応じて大津波警報又は津波注意報を発令する。大津波警報の場合は、予想される津波高さを、高いところで 4 m、6 m、8 m、10 m などと発表される。

地震発生場所が日本近海の場合、地震後 2～3 分で発表され、遠地地震津波については、太平洋沿岸諸国が ITSU（太平洋津波警報組織）というネットワークに 25 の国と地域が加盟して太平洋地域の津波災害防止・軽減に努めている。そのキーステーションになっているのが、アメリカの P T W C（太平洋津波警報センター）、日本の北西太平洋地域津波センター（気象庁）、南西太平洋地域センター、東インド洋地域センターである。これらの役割は、地域ごとに地震・潮位に係る情報（予報・観測値）を迅速・詳細に提供し、お互いの情報を共有することにある。（ITSU は、1960年のチリ地震津波を教訓にして、1966年 UNESCO の政府間海洋委員会に設置された。）

気象庁の潮位、津波監視体制は ETOS（Earth Quake Tsunami Observation System）により、24 時間体制で監視されている。このシステムは、全国の地震計と結び地震発生と同時に、震源地、規模、津波の有無などを瞬時に計算し、津波警報、注意報を発令する仕組みである。さらに、全国の検潮所、巨大津波観測施設、モニター検潮所、津波観測施設、遠地津波観測施設と結んで、リアルタイムに津波発生状況を監視している。そのほかにも GPS ブイ、GPS 衛星、陸上基地局を結んで津波を洋上で監視するシステムも試験運用されている。

表 2 予報・情報に種類

予報・情報の種類	内 容
津波予報	津波の発生のおそれがある場合に、地震が発生してから約 3 分を目標に津波予報（津波警報又は津波注意報）を発表する。
津波の到達予想時刻・予想される津波の高さ	津波予報区の津波到達予想時刻や予想される津波の高さをメートル単位で発表
各地の満潮時刻・津波の到達予想時刻に関する情報	主な地点での満潮時刻・津波到達予想時刻を発表
津波観測に関する情報	実際に津波を観測した場合に、その時刻や高さを発表

表 3 津波予報の種類

予報の種類		解説	発表される津波の高さ
津波警報	大津波	高いところで3 m以上の津波が予想されますので、厳重に警戒してください。	3m,4m,,6m,8m,10m以上
	津波	高いところで2 m程度の津波が予想されますので、厳重に警戒してください。	1 m,2 m
津波注意報	津波注意	高いところで0.5m程度の津波が予想されますので、厳重に警戒してください。	0.5 m

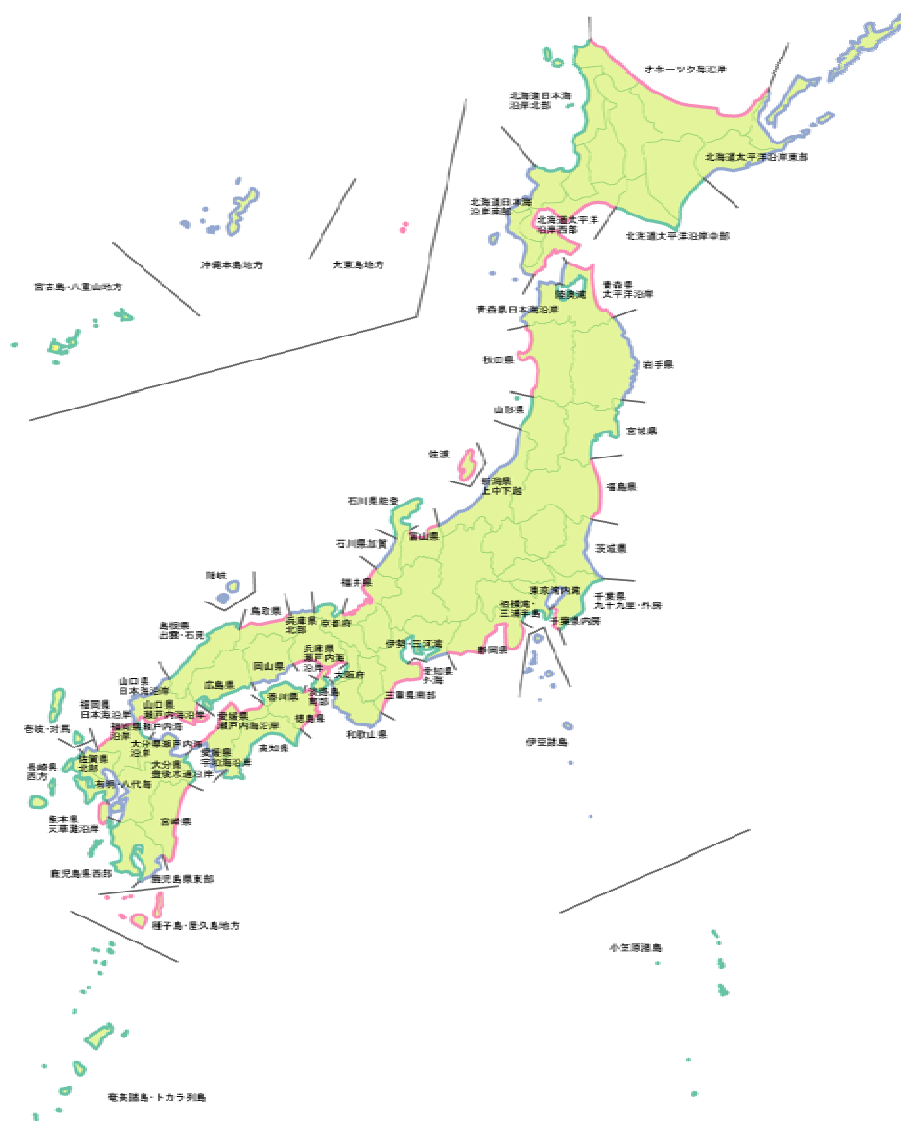
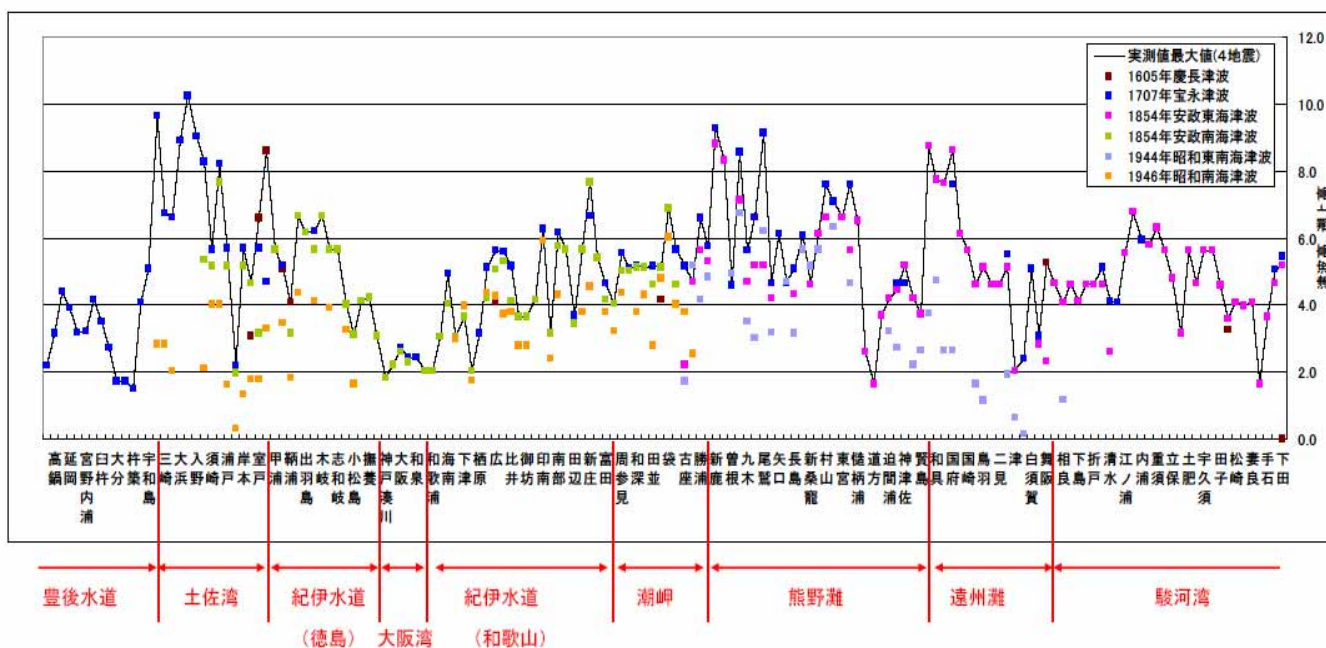


図 4 津波予報区

4.2. 津波予測

内閣府・中央防災会議、文部科学省地震調査・研究推進本部、港湾研究所、海上保安庁などの機関で主要な地震に対して津波の予測を行っている。ここでは、内閣府・中央防災会議で行った東海地震、東南海・南海地震に関する調査結果を示す。図 5 には過去の東海地震、東南海・南海地震における津波の高さを示す。図 6 には東南海・東海地震による海岸の津波の高さを示す。図 7 には、東南海・東海地震が発生後 1 m の津波が到達するまでの時間を示す。このようなデータから最高潮位、最低潮位、津波高さ、津波速度及び周期などを把握して津波防災を検討の基本データとすることが望ましい。



1605 年慶長、1707 年宝永、1854 年安政東海、安政南海地震における津波高さの最大値

図 5 過去の東海地震、東南海・南海地震における津波の高さ（中央防災会議）
（地震発生時潮位を差し引いた高さ）

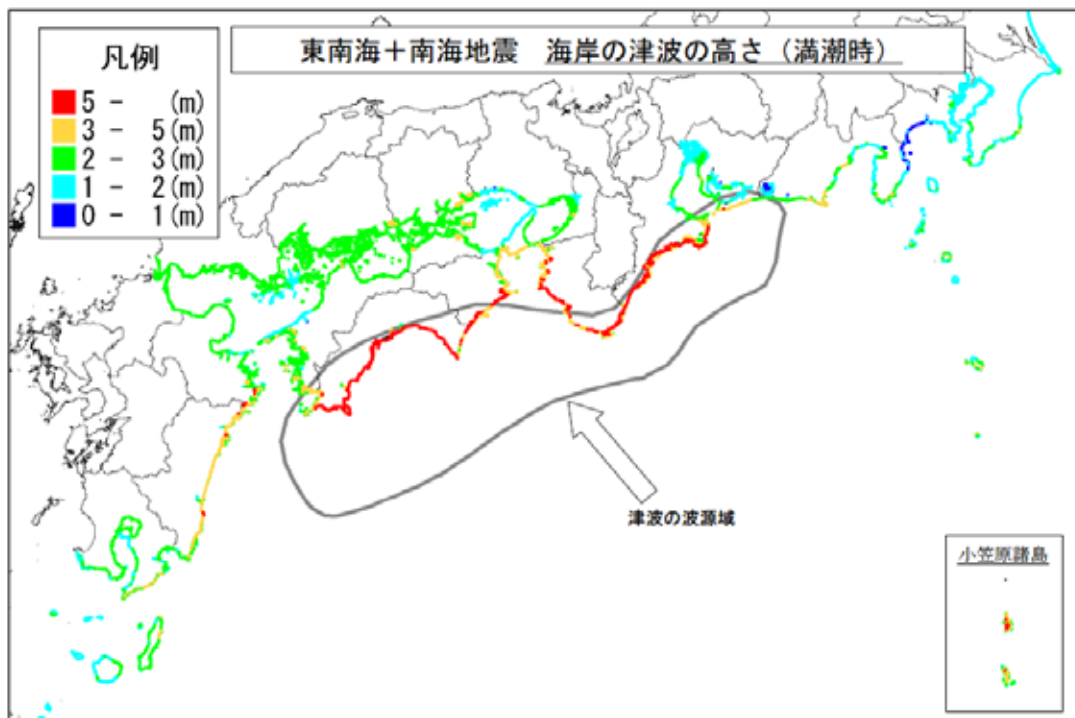


図 6 東南海・東海地震による海岸の津波の高さ (中央防災会議)

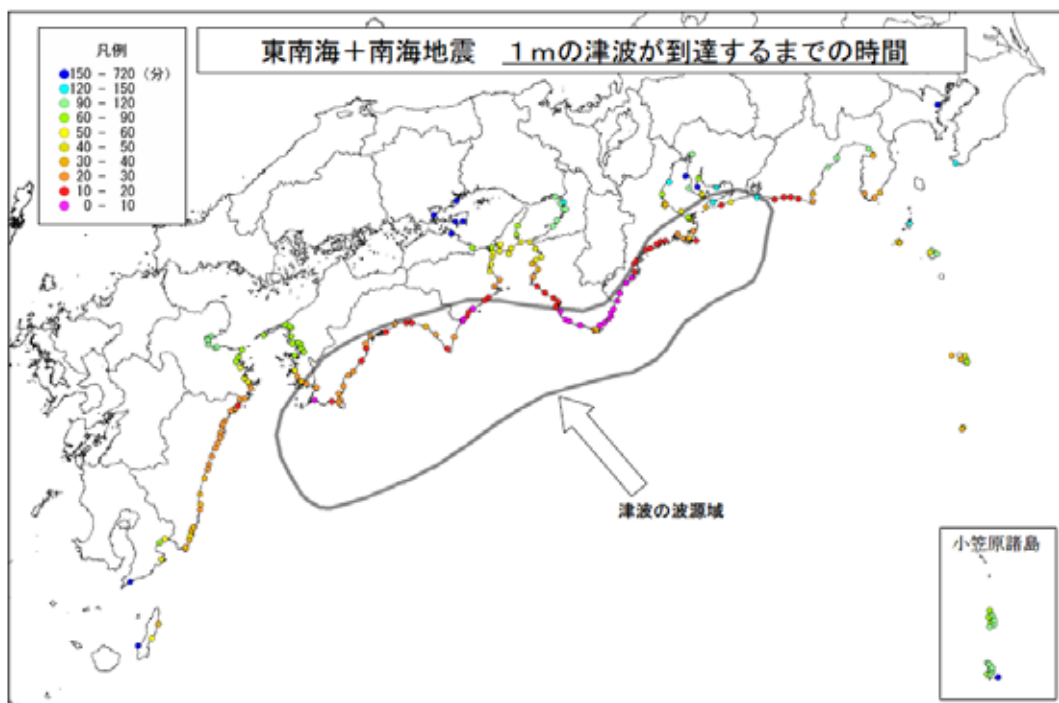


図 7 東南海・東海地震による 1 mの津波が到達するまでの時間 (中央防災会議)

5. 津波防災対策

着実な津波防災を実施するために、津波予報が出た場合に必要な応急処置を行い円滑に避難を行える体制を確保することが望ましい。

1960年のChile地震における津波のように地球の裏側で発生した地震でも津波による被害が生じることがある。また1896年のマグニチュード7.6の三陸沖地震のように震源が陸地から遠いため地震動そのものはちいさく（三陸で震度2～3程度の揺れ）とも津波による大被害を生じることがある。したがって、津波警報を受けた場合、地震動は小さくとも、あるいは人体に感じない場合も直ちに対策を講じるべきである。

津波は海底の崩壊状況によって、海水が一旦引いてから押し寄せもの（引き潮）と、いきなり押し寄せてくるもの（上げ潮）とあるので、海岸線では地震イコール津波警報と思って、揺れを感じたら迅速に高台に避難することが大切である。

津波時の防災実施細則を作成するに当たっては、津波来襲時の当該施設の状態に関して考えるシナリオをすべて洗い出す作業を慎重に行い、着実に津波対策を実施することが重要である。

5.1. 地震防災対策の推進

地震防災対策の推進に関して特別措置法が規定されて津波に関してもその推進を義務付けている。平成14年7月26日法律第92号「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」、平成16年4月2日法律第27号「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」が公布され、石油類、火薬類、高圧ガスなどの製造、貯蔵、処理又は取り扱う施設の事業者は、当該施設ごとに当該地震に伴い発生する津波からの防護、非難の確保に関する対策計画を作成し、地震防災対策の推進を図ることが義務付けられている。

高圧ガスの施設に関しては当該法律を受けて危害予防規定に、津波に係る地震防災対策に関し必要な事項を定め、もって津波に係る地震災害の発生防止又は被害の軽減を図るとされている。

当該危害予防規定では、概略次のように規定している。

- (1) 津波からの円滑な避難を優先し、強い揺れ（震度4程度以上）を感じたとき、又は、弱い揺れであっても長い時間ゆっくりとした揺れを感じたとき、さらに、揺れを感じなくても津波警報が発表されたときは、直ちに海浜から離れ安全な場所（高台等）に避難することを原則としている。
- (2) 地震発生から津波が到達するまでの時間は地域によって差がある。津波に関する情報を把握して、避難に要する時間を確保した上、可能な範囲で応急措置、その他を講じること
- (3) 応急措置として、火災、流出、爆発、漏洩その他周辺の地域に対して影響を与える現象の防止を図るため必要な製造設備等の運転停止、緊急点検及び巡視の実施、その他応急的保安措置を挙げている。
- (4) 地震・津波に関する知識、法律上の要求、地震防災規定及び地震防災細則に関して、津波に関する地震防災上必要な教育訓練を実施することとしている。
- (5) 津波からの円滑な避難及び地震防災に必要な訓練を行うこと。
- (6) 事業所周辺の地域住民に対して、避難及び地震防災上必要な事項に関して、必要な内容、方法、時期等の広報をおこなうこと。

5.2. 津波に対する防護

津波に対する防護は、次の項目が挙げられる。

- (1) 浸水

浸水により電力供給は遮断され、補記系、運転制御系は停止する可能性が高く、津波到達前の揺れにより設備が損傷を受け火災が発生することもある。津波被害事例によると、火災は津波であっても消火することはない。

(2) 津波の波力

津波波力等は日本港湾協会発行の「港湾施設の技術上の基準」(平成11年)に規定・解説されている。参考にされたい。

(3) 漂流物との衝突等

スマトラ地震でも見られたように、小型船、建築物などの漂流物が衝突することによる重要な設備の損傷などが考えられる。

津波の防護設備としては、防潮堤、防波堤、防潮林などがあり、防潮堤は津波に越されても崩壊しないように剛にして、かつ重量のある一体となった構造が望ましい。防波堤、防潮林は直接津波を防ぐというより、津波の持つエネルギーを消耗させ、波高を低下させるのが主たる狙いである。これらの施設は三陸沿岸に施工されている。過去の津波災害の経験から防潮堤はコンクリート製がよいとされ、土で施工されたものは津波により崩壊し、役に立たなかった例がある。防潮林は松などを蜜に植えるほか、地表には灌木を密にしなければならないが、かなりの奥行きまで植林しないと効果がないので、海岸近くの工場・施設の津波対策工事としては適当でないかもしれない。防波堤の例としては大船渡港、八戸港などがあり、大船渡港では湾口に全長750mの防波堤があり、中央の200mの区間のみが水深1.6mで、小型船舶はこの区間を通行している。

6. あとがき

津波は必ず来る。これは避けられないことである。しかし被害を最小限に食い止めることはできる。大切なのは津波に対しての正しい理解と、日頃からの情報収集と対策である。地震が来襲したとき津波に関する情報をどのようにして早期に入手するか、津波が来襲すると予想されるとき、津波が到達するまでに災害防災のために必要な応急措置はなにか、どれだけの余裕を持って、どこへどのようにして避難するか、日頃から事業所の状況に関してあらゆるシナリオに対して対策を練っておくことが重要である。