

大規模災害時の 重要施設の安全確保と機能継続

名古屋大学減災連携研究センター
飛田 潤

名古屋大学
減災館(免震)

大規模災害時の 重要施設の安全確保と機能継続

大規模な自然災害の脅威

- 南海トラフ地震。広域で揺れと津波の大災害。多様な被害とその影響
- 気象災害の頻発、広域・激甚化。

施設、都市、社会の発展・変化と新たなリスク

- 施設・都市の機能の高度化、効率化、集約化 → 非常対応の難しさ
- 多様な施設、設備、機能の複雑な相互連関、波及 → 想定 of 難しさ

重要施設の安全確保と機能継続

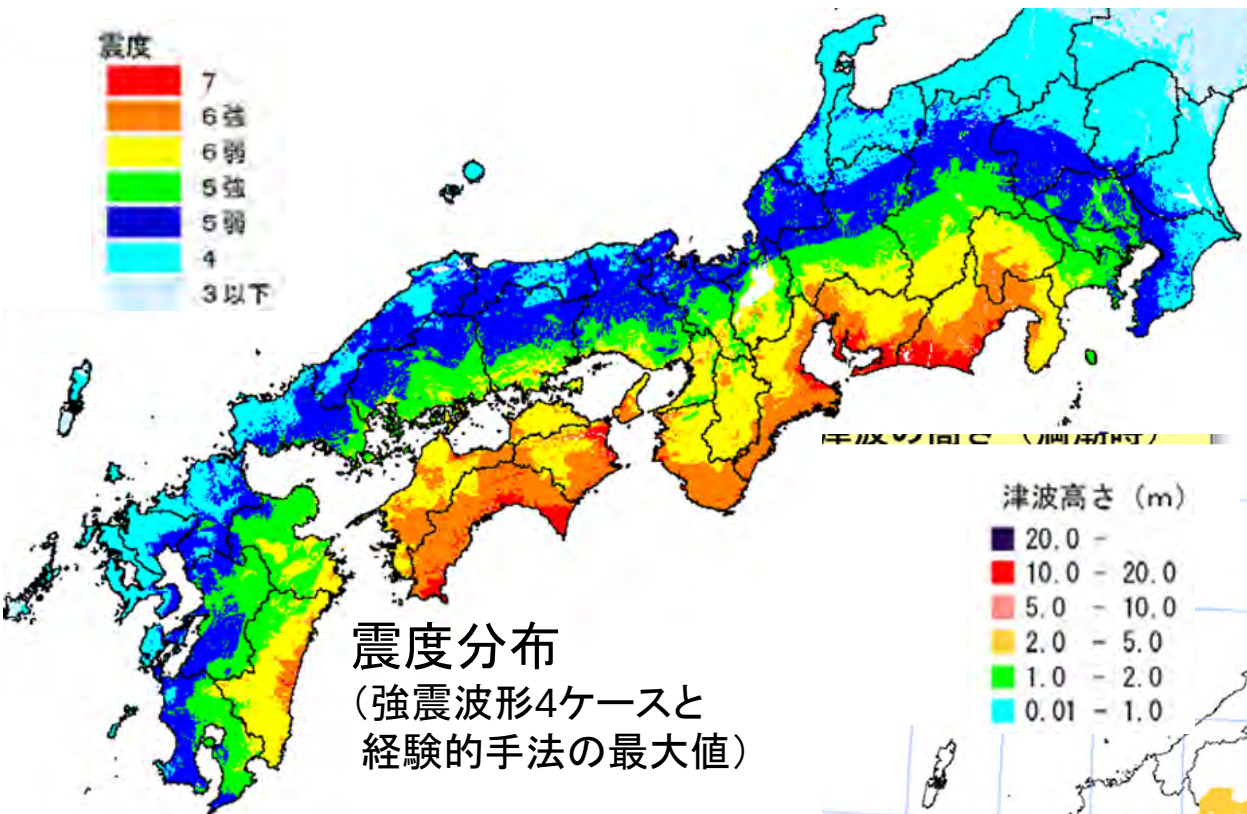
- 建築基準法の耐震設計 → 大地震の安全確保が主。損傷の可能性
- 重要施設の耐震計画 → 機能継続・早期復旧。設備、インフラも重要
- 非常時の対応計画、BCP → 状況に応じた想定。多様な状況を考慮

将来にむけた課題

- 維持管理、メンテナンス・更新の計画的な実施
- 平常時運用と非常対応の体制確保、支援システム等の整備
- 専門性と経験を有する担当者・技術者の確保と育成



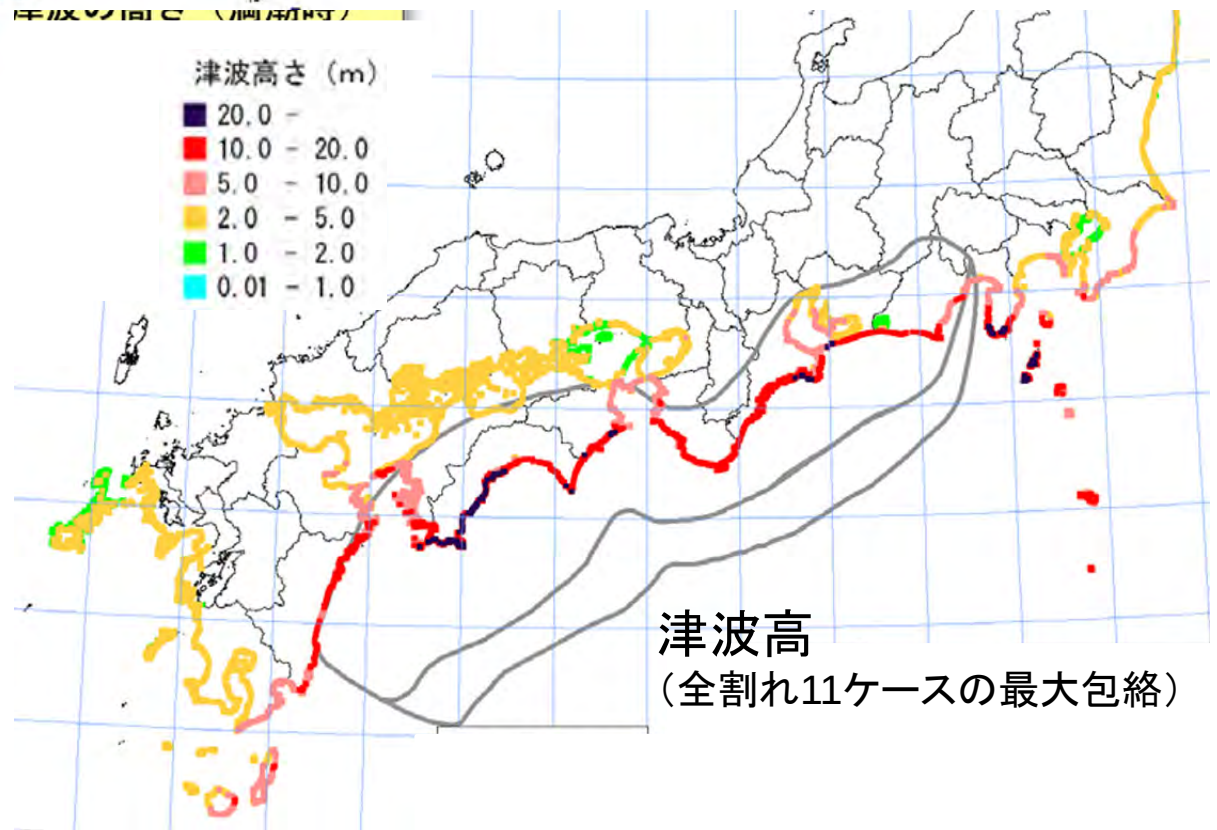
南海トラフ地震の震度と津波(最大想定)



東海～近畿～四国～九州の広域で
大規模な災害

→大都市、産業地域、中山間地域、
半島・離島など多様な被害

→対応力の上限。広域連携は困難



東西で時間差発生の可能性

→南海トラフ地震臨時情報
(巨大地震警戒)

→状況を想定した対応方針と
準備が必要

被害の全体像

東海地方が大きく被災する ケース①

H24被害想定との比較

- ・死者数
約32.3万 → 約29.8万
- ・全壊焼失棟数
約239万 → 約234万
- ・避難者数
約950万 → 約1,230万人
- ・停電軒数
約2,710万 → 約2,950万
- ・情報通信不通回線数
約930万 → 約1,310万
- ・資産等の被害
約170兆 → 約225兆
- ・経済活動への影響
約68兆 → 約67兆円

地震動ケース（陸側）津波ケース（ケース①）

項目		冬・深夜	夏・昼	冬・夕
建物倒壊による死者 (うち屋内収容物移動・転倒、屋内落下物)		約 73,000 人 (約 5,300 人)	約 36,000 人 (約 2,800 人)	約 54,000 人 (約 3,500 人)
津波による死者	早期避難率高 +呼びかけ	約 94,000 人	約 50,000 人	約 52,000 人
	早期避難率低	約 215,000 人	約 176,000 人	約 174,000 人
急傾斜地崩壊による死者		約 600 人	約 300 人	約 400 人
地震火災による死者	平均風速	約 7,000 人	約 3,100 人	約 17,000 人
	風速8m/s	約 8,700 人	約 3,800 人	約 21,000 人
ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物による死者		約 20 人	約 300 人	約 700 人
死者数合計	平均風速	約 175,000 人 ～約 296,000 人	約 89,000 人 ～約 216,000 人	約 125,000 人 ～約 246,000 人
	風速8m/s	約 177,000 人 ～約 298,000 人	約 90,000 人 ～約 217,000 人	約 128,000 人 ～約 249,000 人
負傷者数		約 621,000 人 ～約 636,000 人	約 937,000 人 ～約 952,000 人	約 649,000 人 ～約 663,000 人
揺れによる建物被害に伴う要救助者 (自力脱出困難者)		約 307,000 人	約 253,000 人	約 272,000 人
津波被害に伴う要救助者		約 62,000 人 ～約 63,000 人	約 65,000 人 ～約 67,000 人	約 63,000 人 ～約 64,000 人

地震動ケース（陸側）津波ケース（ケース①）

項目		冬・深夜	夏・昼	冬・夕
揺れによる全壊		約 1,279,000 棟		
液状化による全壊		約 110,000 棟		
津波による全壊		約 176,000 棟		
急傾斜地崩壊による全壊		約 6,800 棟		
地震火災による焼失	平均風速	約 161,000 棟	約 168,000 棟	約 646,000 棟
	風速8m/s	約 207,000 棟	約 212,000 棟	約 768,000 棟
全壊及び焼失棟数合計	平均風速	約 1,732,000 棟	約 1,740,000 棟	約 2,218,000 棟
	風速8m/s	約 1,778,000 棟	約 1,784,000 棟	約 2,340,000 棟
半壊棟数合計	平均風速	約 2,789,000 棟	約 2,785,000 棟	約 2,672,000 棟
	風速8m/s	約 2,776,000 棟	約 2,771,000 棟	約 2,647,000 棟
津波火災		約 400 件		

※地震動による堤防・水門の機能不全を考慮した場合、津波による全壊棟数増分は約 35,000 棟

南海トラフ地震被害想定 建物被害

被害率曲線

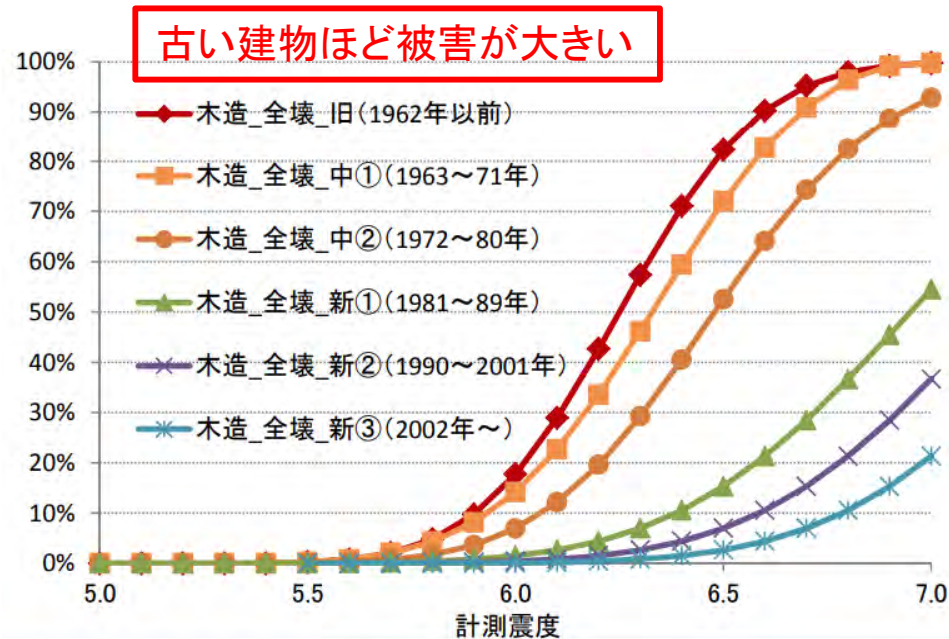
構造別・建築年次別で、計測震度と被害率(全壊率)の関係を表示

阪神・淡路大震災の調査がベース。
東日本大震災などいくつかの地震
の知見を合わせて設定

被害想定の手法

メッシュ単位の構造別・建築年次別の
建物数 × 想定震度 × 被害率。

年代や地域による被害特性の差、
耐震改修・補強による被害軽減が
重要 → **耐震化率**



全壊率曲線(木造)



全半壊率曲線(1981年以降のRC・SRC造)

南海トラフ地震被害想定 災害廃棄物

東日本大震災の岩手・宮城・福島の推計量を参考。

災害廃棄物

- 解体廃棄物

廃棄物＝被害棟数 × 解体率 × 解体廃棄物発生原単位

原単位：木造・非木造で設定

解体率：揺れ75%、津波・火災100%、半壊25%

- 片付けごみ等

廃棄物＝全壊・焼失棟数 × 片付けごみ等発生原単位

原単位：揺れ53.5トン/棟、津波82.5トン/棟

津波堆積物

発生量＝津波浸水面積 × 発生原単位(0.024トン/㎡)

南海トラフ地震の被害様相：場面整理の一例

南海トラフ地震が発生したとき、地方公共団体を取りまく様相

—『被災自治体と応援自治体』のシナリオ

自治体を取りまく様相

初動段階
(発生～72時間)

- ・浸水や倒壊等が発生し、**庁舎が使用困難**になる。
- ・事前の対策が取られていない場合、自身が死傷したり、自宅が被害を受ける等により、**勤務が困難な職員が多数発生**する。
- ・指揮命令権者や職員の被災により、**災害応急対策が混乱**する。
- ・停電と通信の途絶により、**被害状況が把握できない**ほか、**住民への情報伝達手段も限定される**。
- ・停電と通信の途絶により、消防団等の初動対応が十分にはなされない。
- ・道路啓開に1日～数日を要することから、他地域からの**救援活動のための自動車乗り入れが限られる**。
- ・道路啓開が進まない間は、域外からの救援活動は限定的になる。**消火活動に限界が生じ、延焼が拡大**する。
- ・住民や関係機関からの問い合わせが殺到する。

- ・停電により、住民への情報伝達は、非常用電源による防災行政無線、緊急速報メールや広報車等に限られる。
- ・停電により、**消防団等の初動対応が十分にはなされない**。
- ・停電により、**被害状況が把握できない**。
- ・応援自治体では、停電により、被災状況の把握に時間がかかり、**府県と市町村との間の支援の調整に時間がかかる**。

- ・通信の途絶により、**消防団等の初動対応が十分にはなされない**。
- ・通信の途絶により、被害状況が把握できず、各種判断が困難となり、**初動対応が遅滞する**。
- ・応援自治体では、通信の途絶により、被災状況の把握に時間がかかり、**府県と市町村との間の支援の調整に時間がかかる**。

- ・管路、浄水場等の被災や運転停止により、揺れの強いエリア及び津波浸水エリアを中心に断水が発生する。
- ・津波により浸水した浄水場では、運転を停止する。
- ・被災していない浄水場でも、停電の影響を受け、非常用発電機の燃料が無くなった段階で運転停止となる。

- ・管路、ポンプ場、処理場の被災や運転停止により、揺れの強いエリア及び津波浸水エリアを中心に処理が困難となる。
- ・被災していない処理場でも、停電の影響を受け、非常用発電機の燃料が無くなった段階で運転停止となる。
- ・避難所等で、**災害用トイレ等の確保が必要**となる。

- ・輸送幹線や大口需要家等への供給として使用されている高圧及び中圧に関しては、ガス導管の耐震性が高く被害が発生する可能性が低いことから、基本的に供給継続される。
- ・安全措置のために停止したエリアの安全点検やガス導管等の復旧により供給停止が徐々に解消されていくが、**供給停止の解消は限定的である**。

- ・停電や通信の途絶により、**被害状況が把握できない**。
- ・人員数、道路状況により、**消火活動が困難**となり、更に延焼が広がる恐れがある。
- ・応援自治体は、道路被害が復旧していない場合、**被災地への大規模な応援を送ることが難しい**。

- ・新幹線・在来線共に広域にわたり運転を見合わせ、外国人や観光客を含めた**大量の帰宅困難者が発生**する。
- ・帰宅困難者受入のための一時滞在施設の開設に向けた施設管理者との調整が必要となる。

- ・揺れにより岸壁に被害が発生し、津波により設備や航路に被害が発生することで**機能を停止**する。
- ・揺れ被害確認のため、**空港が閉鎖**される。

応急段階
(1週間)

- ・停電と通信の途絶の影響を受け、**被災状況や府県と市町村との間の支援の調整に時間がかかる**。
- ・病院等も停電の影響を受けるため、**非常用電源が配備されている施設以外は治療が困難**となる。
- ・膨大な避難者に対して、**状況把握が困難**となる。
- ・多数の死者が発生した場合、**遺体への対応が困難**となる。
- ・適切な支援・受援の計画がない場合は、**支援・受援の効率が低下**する。
- ・適切な宿泊場所・生活場所が確保できず、不健康・不衛生な生活環境下で災害対応を行うことで、**職員の健康を損なう**。

- ・病院等も停電の影響を受けるため、**非常用電源が配備されている施設以外は治療が困難**となる。

- ・通信が途絶することから、被災状況の全体像の把握のため、各機関によりヘリコプターによる上空からの調査が実施される。

- ・停電エリアで非常用発電機の燃料切れとなる浄水場が発生し、断水が増加する。
- ・津波で**浸水した浄水場の復旧は進まない**。

- ・停電エリアで非常用発電機の燃料切れとなる処理場が発生し、下水道機能の停止が拡大する。
- ・管路の復旧が進み、利用支障が解消されていく。
- ・津波で**浸水した処理場の復旧は進まない**。

- ・安全点検や復旧作業により、徐々にガス停止が解消される。

- ・道路啓開に1日～数日を要することから、他地域からの**救援活動のための自動車乗り入れは限られる**。そのため自衛隊、警察、消防の部隊の乗り入れは救急医療活動はまず、ヘリコプター等によってなされる。

- ・開設した一時滞在施設を閉鎖するタイミングの検討が必要となる。

- ・被害状況や復旧状況により、**救急・救命活動、物資・人員輸送の拠点として使用**される場合もある。
- ・自衛隊、警察、消防の部隊の乗り入れは救急医療活動はまず、ヘリコプター等によってなされる。

黄色ハッチは応援自治体に特化した項目を記載

出典：内閣府・南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ・最大クラス地震における被害様相の横断的整理、R7.3

https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg_02/pdf/saidai_04.pdf

南海トラフ地震に関する状況と対策

防災対策の進捗

- 住宅・都市の耐震化、海岸堤防整備など(ハード)
- 住民の防災意識・準備・訓練、自治体の準備、企業BCP整備など(ソフト)

社会状況の変化と技術の進展

- 高齢化、感染症、都市の高密度化、生活スタイル変化、訪日外国人増加、担い手不足など
- 情報システム、通信、ライフライン、建設などの技術

自然災害の経験と教訓

- 熊本地震(2016)、能登半島地震(2024)の被災による災害関連死等の対策
- 南海トラフ地震臨時情報発表(2024)など、新たな災害情報とその対応を踏まえた対策

今後の主な対策

- 社会全体における防災意識の醸成
- **被害の絶対量低減のための強靱化、耐震化、早期復旧の推進**
- 被災者の生活環境の整備
- 防災DX、応援体制の充実等による災害対応の効率化・高度化
- 時間差を置いて発生する地震への対応の強化

日本の主要な地震災害と耐震基準

約100年間

- 関東地震(1923.9.1、M7.9) **関東大震災**、火災、帝都復興は今の東京の基盤
 - 市街地建築物法(1919)に耐震基準追加(1924) 水平震度0.1、東京帝大地震研究所
- 福井地震(1948.6.28、M7.1) 直下型地震、**震度VII**、火災、1か月後の集中豪雨
 - 建築基準法施行(1950) 耐震基準、設計震度0.2、災害救助法(1947)適用
- 新潟地震(1964.6.19、M7.5) 液状化、製油所の火災、激甚災害法、地震保険
- 十勝沖地震(1968.5.16、M7.9) RC造被害(せん断破壊)、八戸港地震記録
 - 建築基準法施行令改正(1971) RC柱のせん断補強
 - 建築基準法施行令改正(1981) 1970年代の検討⇒ **新耐震設計法**、一次設計・二次設計
- 兵庫県南部地震(1995.1.17、M7.2) **阪神・淡路大震災** 震災の帯、旧耐震建物被害
 - 旧耐震倒壊多数⇒ **耐震改修促進法**、ボランティア、被災市街地復興、被災者生活再建支援
 - 建築基準法・施行令(2000) **性能規定**、**限界耐力計算法**、**木造の耐震基準**
- 十勝沖地震(2003.9.26、M8.0) 長周期地震動、石油タンクスロッシング
- 新潟県中越地震(2004.10.23、M6.8) **震度7**、山間部の被災・孤立、東京超高層
- 能登半島地震(2007.3.25、M6.9) 輪島・穴水・七尾などで震度6強、住宅被害
- 東北地方太平洋沖地震(2011.3.11、M9.0) **東日本大震災**、**津波**、首都圏の機能維持
 - 広域大災害、原発・長期避難・計画停電、首都圏の超高層の揺れ、帰宅困難、液状化、天井落下
- 熊本地震(2016.4.14、4.16、M7.3) **震度7×2回**、建物被害、行政建物の機能維持
 - 活断層の地震、震度7が2日連続、建物への影響が大きい地震動
- 北海道胆振東部地震(2018.9.6、M6.7) **震度7**、液状化、土砂崩れ、ブラックアウト
- 能登半島地震(2024.1.1、M7.6) **震度7**、建物被害、火災、津波、液状化、土砂災害
 - 2007、2023に続く被災。多くの被害。災害関連死。9月の豪雨(マルチハザード)

阪神・淡路大震災(1995)



東日本大震災(2011)



津波避難ビル



熊本地震(2016)



低層建物の被害が
小さい例



庁舎建物の被害・機能継続の困難



住宅の被害
(新耐震以降でも全壊の被災)

建築基準法の耐震基準

耐震基準の変遷

- 地震被害の教訓、技術の向上、社会状況や要求により発展。経験的な面や不明点もある。
- 現状では**新耐震設計法(1981～)**が多い。安全確保が基本。機能維持の検討は不明確。
- 限界耐力計算法(2000～)、時刻歴応答解析など、**新しい高度な耐震性能評価法**も使用できる。

新耐震設計法(1981～)

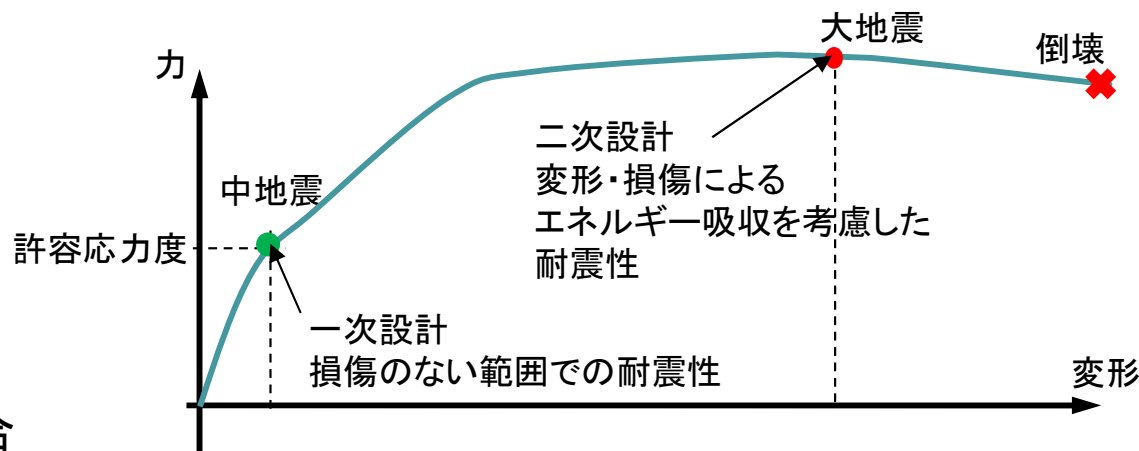
- 一次設計:使用期間に1回以上可能性がある中地震に対して損傷を防ぐ(震度5強程度)。
- 二次設計:使用期間に発生する可能性のある大地震に対して安全を確保する(震度6強程度)。
 - 強さ+粘り(変形能力)。**変形・損傷によるエネルギー吸収を想定**
 - 複数回の地震による損傷や安全性は考慮していない。倒壊までの余裕度は不明確。**
- 地震力は、地盤の揺れではなく、建物の揺れで定義 →**建物高さにより差**

限界耐力計算法(2000～)

- 変形を直接計算→性能評価
- 地盤と建物の周期を考慮

時刻歴応答計算など高度な方法

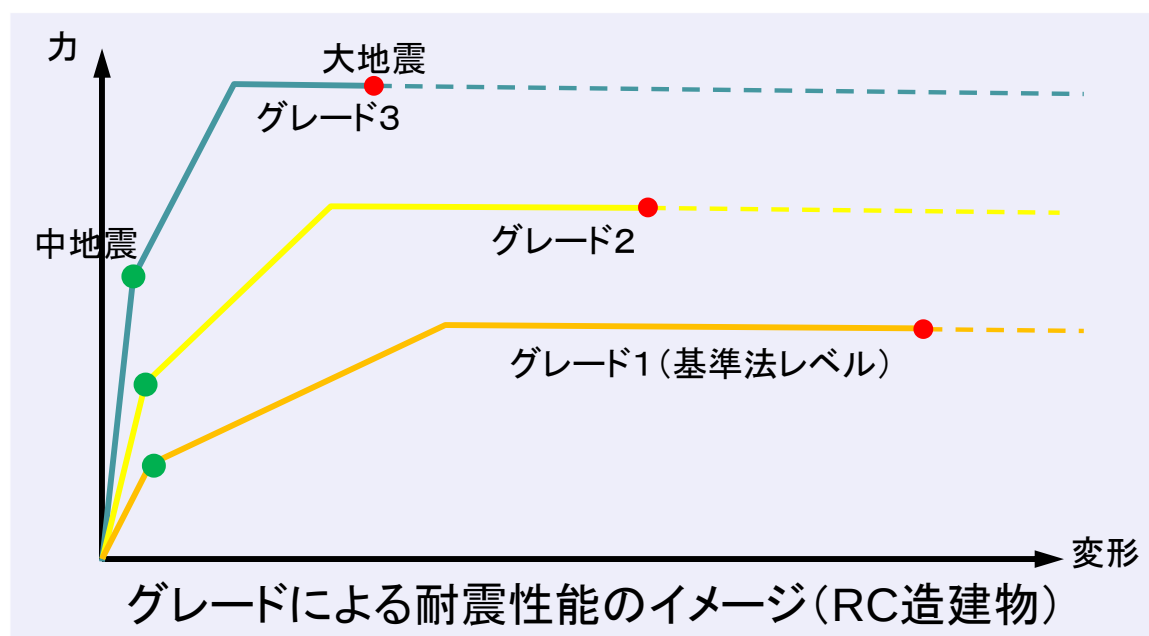
- 超高層、免震など特殊な構造の場合



建物(の各部分)に働く力と変形の関係

耐震性能(構造体)のレベル設定

	震度5強 (一次設計)	震度6弱	震度6強 (二次設計)	震度7
無被害 使用継続	グレード1 (一次設計レベル)	グレード2	グレード3	—
軽微な被害 機能維持		グレード1	グレード2	グレード3 ← 最重要建物
安全確保 継続使用不可	(基準法以下)		グレード1 (二次設計レベル)	グレード2 ← 重要建物
大破・倒壊 修復不能	(基準法以下)		(基準法以下)	グレード1 ← 通常建物



- ・ 機能維持を考慮して耐震性能を向上させる場合は、**変形(損傷)を抑える**必要がある。
- ・ そのためには、耐力(強さ)と初期剛性(硬さ)が必要になる。
- ・ さらに修復の容易さ(短時間で修復など)が重要になる。

日本建築構造技術者協会を参考に作成

官庁施設の耐震性

部位	分類	耐震安全性の目標
構造体	I 類	大地震動後、 構造体の補修をすることなく建築物を使用できる ことを目標とし、人命の安全確保に加えて 十分な機能確保 が図られている。
	II 類	大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて機能確保が図られている。
	III 類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生じるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られている。
非構造部材	A類	大地震動後、災害応急対策活動や被災者の受け入れの円滑な実施、又は危険物の管理のうえで 支障となる建築非構造部材の損傷、移動等が発生しない ことを目標とし、人命の安全確保に加えて 十分な機能確保 が図られている。
	B類	大地震動により建築非構造部材の損傷、移動等が発生する場合でも、人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。
建築設備	甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていると共に、 大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期間継続 できる。
	乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。

出典：官庁施設の総合耐震計画基準

- ・ **III 類が建築基準法のレベル**に対応
- ・ 機能継続が必要な施設→ II 類、 防災業務・拠点建物→ I 類 とすることが多い。
- ・ 施設の用途や重要度に応じて上のレベルの耐震性を選択することが可能。

非構造部材・設備機器・地盤等の被害

非構造部材・設備機器・室内什器や付属設備等の被害

- 非構造部材(安全性を守る主構造以外の部分)や、**設備機器の損傷**は機能維持に影響大。

内外装、天井

- 外壁タイル、ガラス、パネル、間仕切壁、**エクspansionジョイント**など。構造の揺れと変形
- 天井板:揺れで天井版を吊る部材の破損、天井板同士や壁との衝突で破損・落下する。
- **特定天井**:対策必須。広い部屋、高い吊り天井、重量が大きい場合(6m、200m²、2kg/m²超)

設備機器、プラント

- 吊り設備(天井エアコン、ダクト、配管・配線、スプリンクラーなど):落下防止、揺れ止め
- 床置設備(空調室外機・配管、情報機器・サーバ等、一般什器など):固定、機器免震など
- **プラント**:機能継続を前提とした総合的な対策が必須。

エレベータ

- **運転停止**は地震時管制運転に依存。機器(ケーブル等)の損傷や停電の影響。
- **閉じ込め**は、最大想定で、南海トラフ地震で最大22,000、首都直下地震で17,000

建物付属設備、地盤

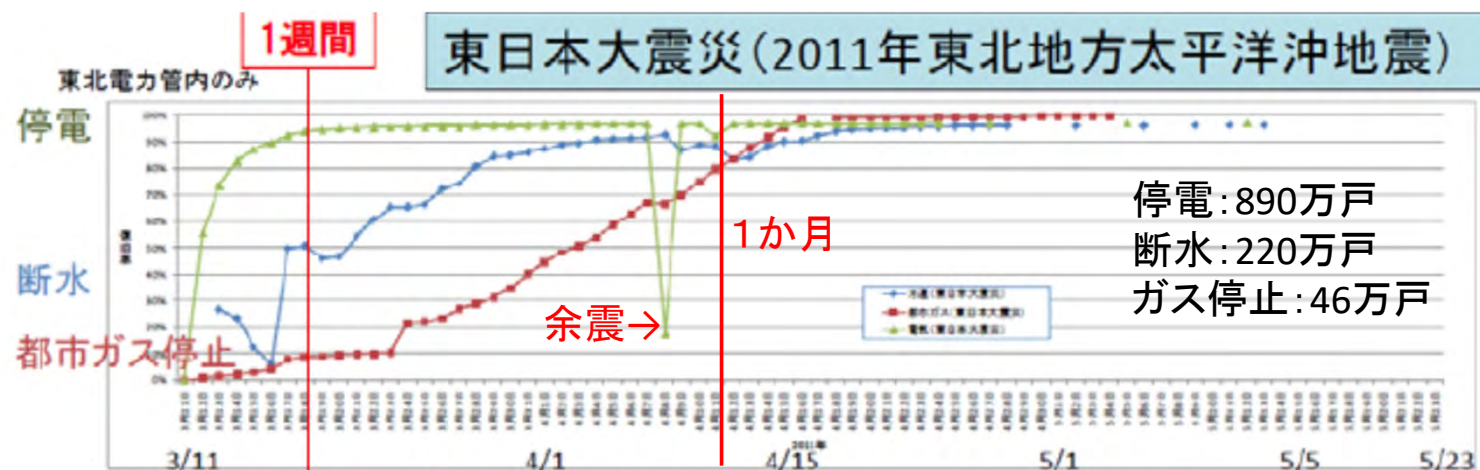
- 廃棄物処理、発電所等の施設では、主となる建物以外の**付属施設・設備等**の被害が影響大
- 敷地内の地盤、アクセス道路やライフライン経路の**地盤**は、重要施設と同様の耐震対策が必要

免震建物

- 建物の固有周期を、地震動の周期より長く
 - 地盤は揺れても建物は振動しにくくなる(振動理論)
 - 建物固有周期 $T = 2\pi \sqrt{m/k}$ m :質量、 k :剛性
 - さらに減衰定数を大きくして揺れにくくする。
 - 重要施設の機能継続に有利、ただし万能ではない。
- 免震装置
 - 積層ゴム: 建物を支え、水平方向には柔らかく、固有周期を長くする。
 - ダンパー: 減衰力を発生し、揺れの振動エネルギーを吸収する。
 - そのほかにも多様な装置がある。建物状況や想定地震により選択。

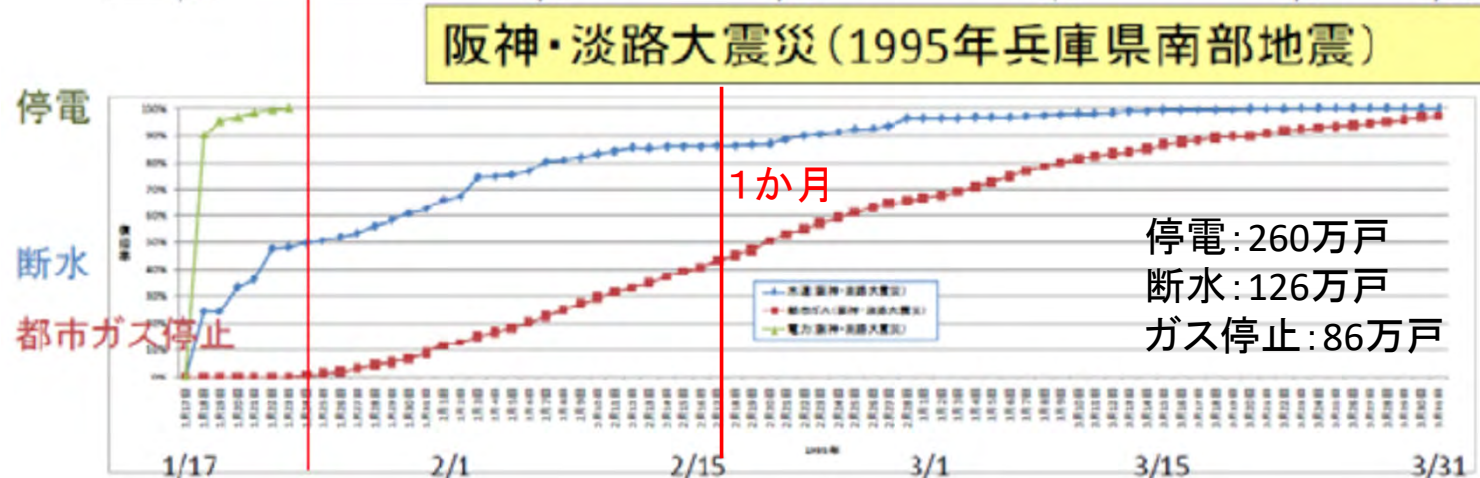


大災害時のライフラインの復旧→業務へ影響



震度6弱以上の
地域の人口

東日本大震災
→約630万人



阪神・淡路大震災
→約360万人

南海トラフ想定
→約2,000万人以上

- ・ 復旧に要する時間は一般に 電気→水道→ガスの順。被災箇所・状況により変動する。
- ・ 能登半島地震では全体に時間を要した。地域条件や被災状況により復旧時間は長くなる。
- ・ 復旧作業は相互依存。また事業者間の広域応援が前提 →大規模広域災害の影響大。
- ・ 機能継続に必要な非常用発電機、給水タンク、熱源等の設置準備が必須。

大規模災害時の 重要施設の安全確保と機能継続

大規模な自然災害の脅威

- 南海トラフ地震。**広域で揺れと津波**の大災害。**多様な被害**とその影響
- 気象災害の頻発、広域・激甚化。

施設、都市、社会の発展・変化と新たなリスク

- 施設・都市の機能の高度化、効率化、集約化 → 非常対応の難しさ
- **多様な施設、設備、機能の複雑な相互連関、波及** → 想定 of 難しさ

重要施設の安全確保と機能継続

- 建築基準法の耐震設計 → 大地震の安全確保が主。損傷の可能性
- **重要施設の耐震計画** → **機能継続・早期復旧。設備、インフラも重要**
- 非常時の対応計画、BCP → 状況に応じた想定。多様な状況を考慮

将来にむけた課題

- 維持管理、メンテナンス・更新の計画的な実施
- 平常時運用と非常対応の体制確保、支援システム等の整備
- **専門性と経験を有する担当者・技術者の確保と育成**

