

地震動による建築物被害から見た 耐震設計の現状と今後の課題

構造研究グループ 飯場正紀

・2011年3月11日東北地方沖を震源とするマグニチュード9.0の地震が発生した。断層面積(断層のすべりが生じた面積)が、南北約500km, 東西約200kmに及び、東北地方から関東地方の広範囲に大きな地震動が観測され、また建築物等の被害も広範囲に及んだ。

・建築研究所では、地震直後から、建築物等の被害調査を実施し、その結果を「被害調査報告書(速報版)」としてまとめ、現在、「最終報告書」をまとめている。

・地震動による建築物の構造被害結果を示し、過去の地震被害との比較を通して、建築物の耐震性の現状と課題を報告する。

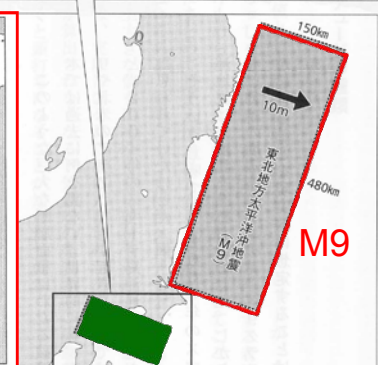
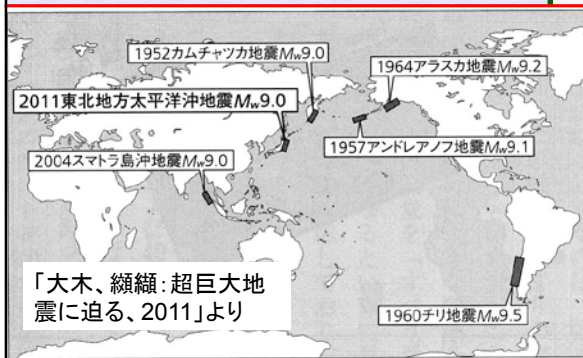
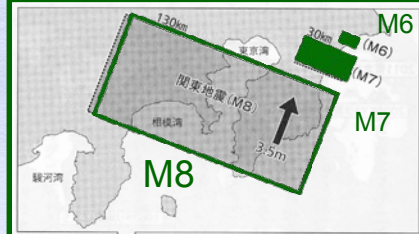
目 次

- I 地震・地震動の概要
- II 鉄筋コンクリート造建築物の被害と特徴
- III 鉄骨造体育館建築物の被害と特徴
- IV 木造建築物の被害と特徴
- V 建築物の耐震化に向けた取り組み
 - 1) 新耐震設計基準(1981年の建築基準法改正)
 - 2) 1995年兵庫県南部地震の被害分類との比較
 - 3) 耐震改修促進法
- VI 建築物の耐震化に関する現状と課題
 - 1) 近年の建築物の耐震化率の動向
 - 2) 地震被害を踏まえた建築物の耐震化

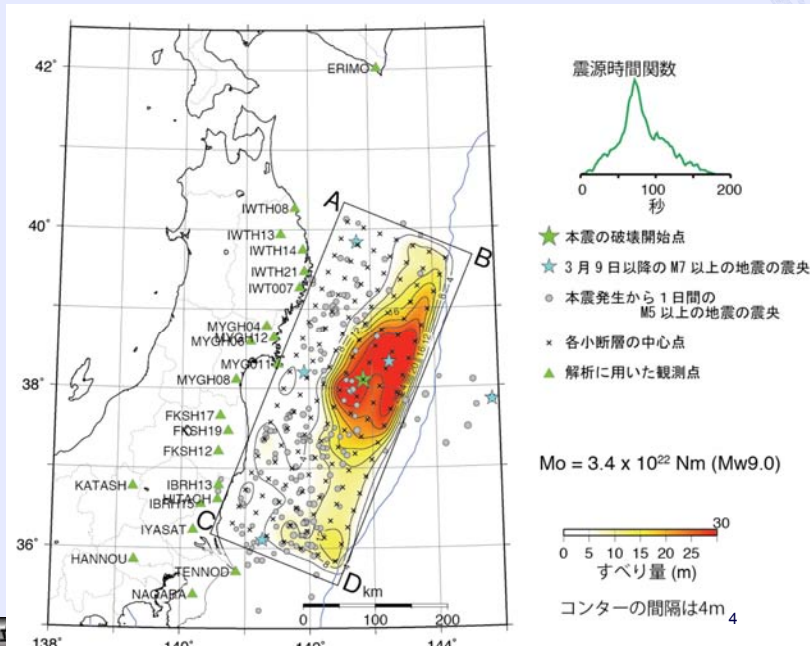
I. 地震の特徴

日時	2011年3月11日14時46分
深さ	24 km
マグニチュード	9.0(Mw)

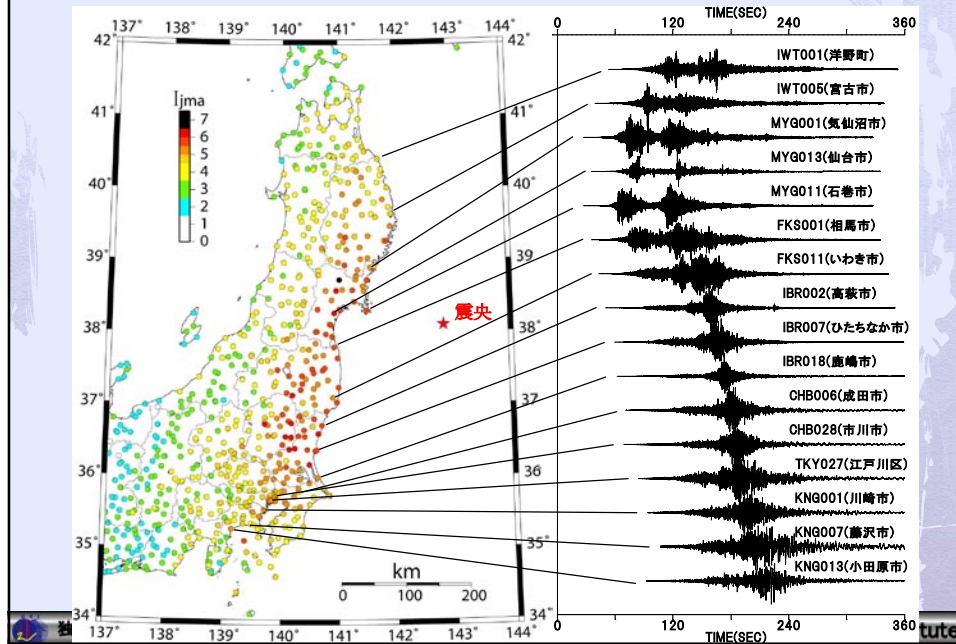
・マグニチュード9.0は日本の観測史上最大で、世界では1900年以降4番目の規模となる。



震源断層の大きさとすべり量



東北地方から関東地方の地震動



II. RC造建築物の被害分類(1)

- ◆ S-1) 1階の層崩壊
- ◆ S-2) 中間階の層崩壊
- ◆ S-3) 柱のせん断破壊
- ◆ S-4) 柱脚部や連層耐力壁脚部の曲げ破壊



II. RC造建築物の被害分類(2)

- ◆ S-5) SRC造露出柱脚のアンカー
ボルトの抜け出しや主筋の座屈
- ◆ S-6) 境界梁のせん断破壊や
付着割裂破壊
- ◆ S-7) 建築物の傾斜
- ◆ S-8) 塔屋の損傷や破壊, 傾斜
- ◆ S-9) 耐震補強済み建築物の損傷



独立行

ite

RC造建築物の被災度判定

災害時に防災拠点として機能すべき建築物の被害が目立った。被災建築物について被災度区分判定を行った。

	竣工	階数	耐震診断	被災度	耐震性能残存率
岩手	1963	3階	済	大破	57.8%
	1967	6階	済	小破	81.0%
福島	1960	3階	済	大破	26.7%
	1970	4階	済	大破	38.2%
	1958	2階	済	小破	93.9%
栃木	1961	3階	未	小破	87.7%
	1974	2階	不明	「危険」	
茨城	1969	2階	済(補強)	大破	59.4%
	1958	3階	未	中破	68.9%
	1966	2階	未	中破	63.1%
	1964	3階	未	大破	37.6%
		4階	未	「危険」	

鉄筋コンクリート造建築物の被害まとめ

・観測された地震動の周期特性は、建築物に大きな被害をもたらす周期帯域であり大きくなかったともいわれているが、全般的には各地で観測された震度に比べると建築物の被害はさほど顕著ではなかった。地盤の悪い場所に建てられた建築物に局所的に被害が多い傾向は見られたが、地域による被害状況の明確な違いは確認されていない。

・構造躯体と構造部材の被害は、主に旧耐震基準(1981年5月以前)により設計された建築物に発生し、現行耐震基準(1981年6月以降)で設計された建築物で被害を受けたものは少ない。

Ⅲ. 鉄骨造体育館の被害

- 1) 鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断
- 2) ラチス柱の斜材の座屈
- 3) RC造柱と屋根の接続部のコンクリートのひび割れ
- 4) 屋根面水平ブレースのたわみ、座屈、破断
- 5) 柱脚コンクリートのひび割れ



旧耐震基準



S造体育館の被害 (新耐震、耐震改修)

- 1) 妻壁とS造屋根の接続部のボルト抜け出し、変形
- 2) RC柱とS造屋根の接続部のコンクリートの剥落
- 3) 屋根面水平ブレースのたわみ
- 4) 天井材の脱落、破損



5棟の耐震改修建物のうち、4棟がV型のブレース補強、1棟がX型のブレース補強であり、5棟とも無被害(軽微含む)であった。



被災度区分判定

耐震基準と被災度の関係

震度6弱以上の体育館を対象
構造骨組

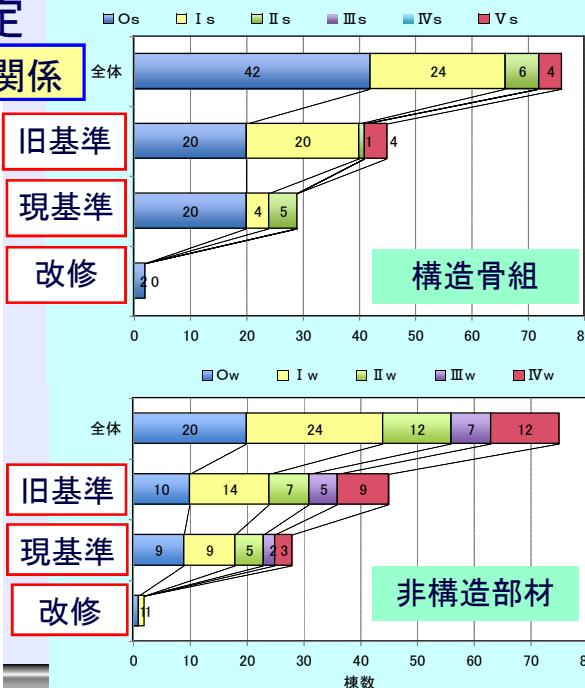
- ・旧耐震基準の体育館:
大きな被害ランク: V_s (4棟)
- ・現行耐震基準の体育館:
被災度ランクは、II_s以下
I以上の被害の割合

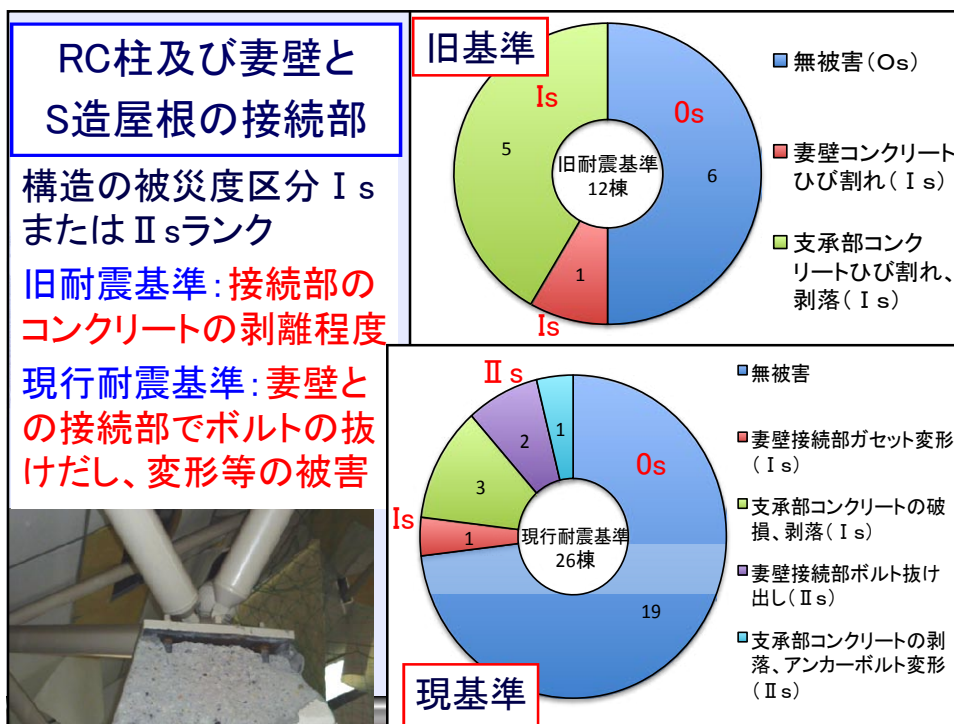
旧耐震基準 : 55%程度
現行耐震基準 : 30%程度

非構造部材:

- ・旧耐震基準、現行耐震基準ともに、全ての被災度区分の被害

旧耐震基準と現行耐震基準の被災度の状況はそれほど変わらない。





鉄骨造体育館の被害まとめ

- **旧耐震基準の学校体育館:**
 大破に分類される棟数は4棟、大破の被害率は1割弱
 2004年新潟県中越地震・大破の割合は3割程度
- **現行耐震基準の体育館:** RC柱・妻壁とS造屋根接続部で、コンクリートの剥落やボルトの抜け出し等の構造被害が多く観察された。このような被害を軽減するための対策が必要である。
- **非構造部材の被害:** 旧耐震基準の体育館および現行耐震基準の体育館とも、広範囲に脱落した天井の被害が観察された。天井被害に関しては、旧耐震基準と現行耐震基準による大きな被害の差は小さい。

IV. 木造建築物の被害(1)

木造建築物の被害形態としては、「地震動の揺れに起因」する被害と、「地盤の変状に起因」する被害に大別される。地震動の揺れに起因する被害として、以下のものがある。



棟瓦や瓦の脱落等



内装材・外装材の割れや脱落



残留変形



倒壊

木造建築物の被害(2)

築100年の民家型の木造住宅：耐震要素として土塗り垂れ壁と4段貫による板壁が確認されたのみ。柱の折損、最大で約1/3.5傾斜



柱の折損

昭和60年代建設の湾曲集成材を用いた木造体育館：鋼製ブレースの伸び・座屈、ブレース端部の基礎コンクリートの破損



ベースプレート部基礎

今回の木造建築物の被害は、過去の地震被害形態と同様のものであった。また地震動の揺れに起因する被害は、旧耐震基準で設計された木造建築物と考えられ、耐震補強の重要性が改めて確認された。

木造建築物の被害(3)

「地盤の変状に起因」する被害



敷地等の崩壊に伴う基礎の被害



液状化による建物傾斜



敷地等の崩壊に伴う建物の被害



stitute

V. 建築物の耐震化に向けた取り組み


建築物基準関連の法律

- 1) 新耐震設計基準(1981年の建築基準法改正)(新築)
(1995年兵庫県南部地震)
- 2) 耐震改修促進法(1995年、2006年改正)(既存)

新耐震設計基準

- ①耐用年限中に数度は遭遇する程度の中地震に対しては、ほとんど損傷しない(建築物の機能を保持)
- ②耐用年限中に一度遭遇するかもしれない程度の大地震に対しては、倒壊・崩壊しない(建築物の架構に部分的なひび割れ等の損傷が生じても、崩壊からの人命を保護する)

今回と1995年兵庫県南部地震の被害比較

	兵庫県南部地震で見られたRC造建築物の被害の分類	被害の有無	
		1995地震	2011地震
建築物の層レベル	1) ピロティ階の崩壊または大破	◎	○
	2) 壁の偏在に起因する振れ応答による隅柱等の破壊	○	○
	3) 低層建築物の中間の特定階の崩壊・大破	○	○
	4) 中高層建築物の中間特定階の崩壊・大破	○	—
	5) セットバックの影響による層崩壊	○	—
	6) 建築物全体の転倒	○	—
	7) パンケーキ状の崩壊	○	—
	8) 隣接建物との衝突	○	—
	9) 異種構造間での破壊	◎	—
	10) ペントハウスの傾斜、転倒、落下	○	○
◎: 現行耐震基準で設計された建築物に被害			
 独立行政法人 建築研究所		Building Research Institute	

今回と1995年兵庫県南部地震の被害比較

	兵庫県南部地震で見られたRC造建築物の被害の分類	被害の有無	
		1995地震	2011地震
建築物の部材レベル	1) 柱のせん断破壊	○	○
	2) 柱の曲げ圧壊	◎	◎
	3) 柱頭・柱脚の曲げ破壊(含: 引張・圧縮の軸力による破壊)	◎	◎
	4) 柱段落とし部の軸降伏	◎	—
	5) 柱帯筋端部90° フックの定着破壊	○	○
	6) 柱や梁の付着割裂破壊	○	○
	7) 梁のせん断破壊(含: 有開口)	◎	○
	8) 壁のせん断破壊(含: 有開口)	◎	◎
	9) 壁の曲げ破壊	◎	◎
	10) 柱はり接合部のせん断破壊	◎	△
	11) 鉄筋のガス圧接部の破壊	○	—
	12) 集合住宅の非構造壁の損傷	◎	◎
◎: 現行耐震基準で設計された建築物にも被害 △: 破壊までは至らないがある程度の損傷			

1995年兵庫県南部地震の被害を踏まえた補足規定

現行耐震基準に基づき設計された建築物については、一部の形式の建築物を除いて適切に倒壊等を防ぎ人命を守ったことから、水準面ではほぼ妥当であることが検証された。

鉄筋コンクリート構造の「現行規定への補足」としては、ピロティ構造の崩壊等に影響を及ぼした、1)壁等の剛性評価、2)耐力壁の適切な配置、に関するもののほか、3)柱の主筋量低減の禁止、4)せん断補強筋の端部定着仕様、5)柱はり接合部の設計、6)コンクリート強度の確保、等の項目が取り上げられた。

また、「**余裕のある設計等**」としては、

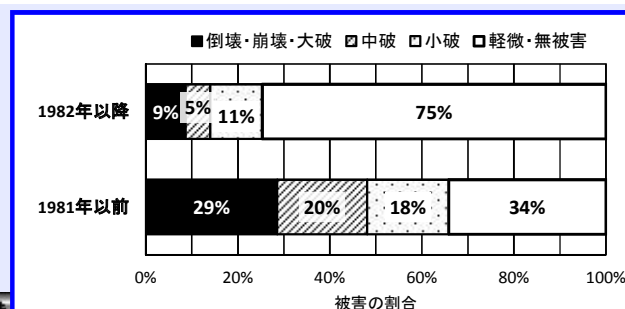
1)塑性化後の層の挙動を踏まえた設計の推奨、2)FD柱使用の制限、3)柱中子筋配筋の推奨、4)主筋段落とし部への横補強筋配筋の推奨、5)はりヒンジ部分のせん断補強筋の推奨配筋、6)PCaコンクリート屋根板の設計への留意事項、等が示された。

耐震改修促進法の成立（1995年12月）

1995年兵庫県南部地震では6,400人を超える方が犠牲となり、約21万棟の家屋が全半壊した。死者の大半は、住宅・建築物の倒壊等によるものであり、建築物の耐震性の確保が強く認識された。

現行耐震基準施行以後に設計された建築物の被害程度は比較的軽く、現行耐震基準は、概ね妥当なものと考えられた。

この教訓をもとに「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」が施行され、現行耐震基準を満たさない建築物について積極的に耐震診断や耐震改修を促進することとなった。



地震被害軽減を目指した政府戦略

・2004年7月に示された、中央防災会議の「平成17年度の防災対策」の項目に、以下の内容等が示された。

i) 地域の防災拠点となる公共施設及び住宅等の耐震化

ii) 地域や企業の防災力の向上

・2005年3月の中央防災会議では、「地震防災戦略の策定」を行い、巨大地震(東海地震、東南海・南海地震)対策において、2005年からの10年間で、死者数及び経済被害額を半減することを目標に、建築物の耐震改修を推進し、住宅の耐震化率を90%とすることが定められた。

・2005年2月、住宅・建築物の耐震化の目標の設定及び目標の達成のための施策について検討を行うために、国土交通省に「住宅・建築物の地震防災推進会議」が設置され、同年6月に提言がまとめられた。この提言を踏まえ、同年11月、耐震改修促進法が改正(2006年1月施行)された。

耐震改修促進法の改正

耐震改修促進法に基づく特定建築物の範囲の拡大

指導・助言対象

《現行》

学校、病院、劇場、百貨店、事務所、老人ホーム、賃貸住宅等多数の者が利用する建築物

用途にかかわらず一律
3階・1000㎡以上

《改正》

【特定建築物の(用途に応じた)規模の引き下げ】

- 避難弱者の利用する建築物の規模を引き下げ
- 一般体育館は実態にあわせて1階建てでも対象

- 幼稚園・保育所 : 2階・500㎡以上
- 小・中学校等 : 2階・1000㎡以上
- 老人ホーム等 : 2階・1000㎡以上
- 一般体育館: 1000㎡以上(階数要件なし)
- その他の多数利用の建築物 : 3階・1000㎡以上(現行どおり)

【法改正により追加した特定建築物】

- 道路閉塞させる住宅・建築物(政令により一定の高さ以上のものと規定)※下図参照
- 危険物を取り扱う建築物(政令により危険物の種類・量を規定)

VI. 近年の建築物の耐震化率の動向

防災拠点となる公共施設等の耐震化率については、消防庁で調査されており、H22年度末で、75.7%となっている。

耐震化率: 全建物(A)に対する耐震性のある建築物の割合

$$\text{建築物の耐震化率} = (B + C + D) / A$$

耐震性のある建築物

- ・現行耐震基準(昭和57年以降)による建築物(B)
- ・旧耐震基準(昭和56年以前)による建築であるが、耐震診断により耐震性が確認されている建築物(C)
- ・既に耐震改修が行われている建築物(D)

耐震性のないまたは不明の建築物

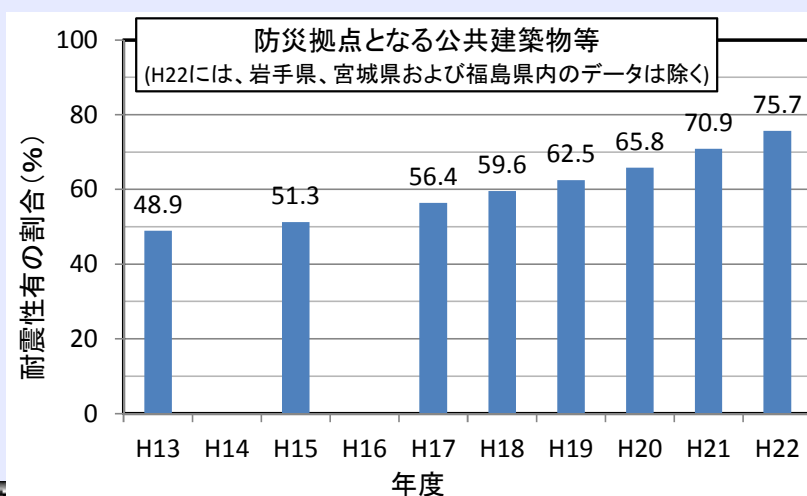
- ・耐震性がないと判定され、耐震改修が行われていない建築物

25

防災拠点となる公共施設等の耐震化

防災拠点となる公共施設等の耐震化率の推移

H22年度末: **耐震化率75.7%**



防災拠点となる公共施設等の耐震化

H22年度末: **耐震化率75.7%**

47.1%: 現行耐震基準を満足

17.8%: 耐震改修済み

24.3%: 建築物には耐震性がない、あるいは未定となっており、これらの建築物への早急な対応が必要となる。

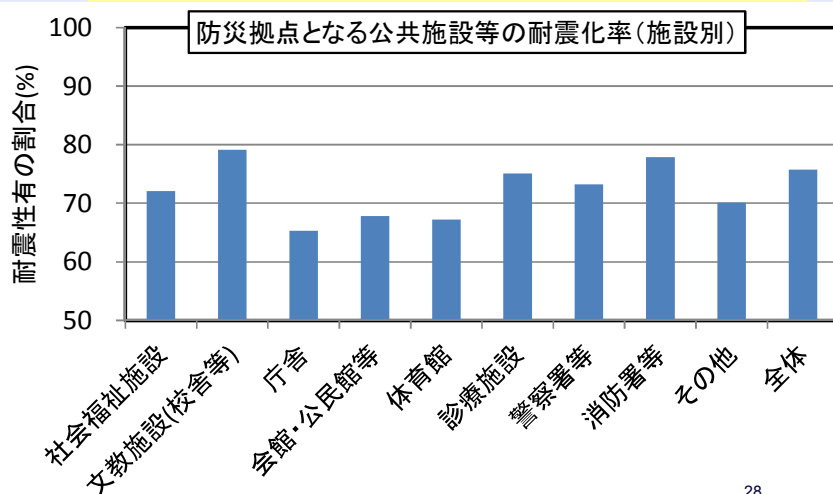
設計時期	耐震改修等の実施の有無	棟数	比率 (%)	耐震性の有無
S57年以降の建築物 (新耐震基準)	—	84,620	47.1	耐震性有 (75.7%)
S56年以前の建築物 (旧耐震基準)	耐震性満足	19,378	10.8	
	改修済み	31,862	17.8	
	改修未定	25,195	14.0	耐震性無または 不明 (24.3%)
	耐震診断未実施	18,436	10.3	

ただし、岩手県、宮城県および福島県内のデータは除く

施設別耐震化率

文教施設・診療施設・消防署: 高い

庁舎・体育館: 低い



住宅・特定建築物の耐震化

住宅および多数の者が利用する建築物(特定建築物:学校、病院、百貨店等の多数が利用する一定規模以上の建築物)の、5年毎の建築物の耐震化率の推移(目標)を示す。

住宅等の耐震化の状況については、国土交通省で5年毎にまとめられており、2008年時点の耐震化率は、住宅が約79%、特定建築物が約80%となっている。

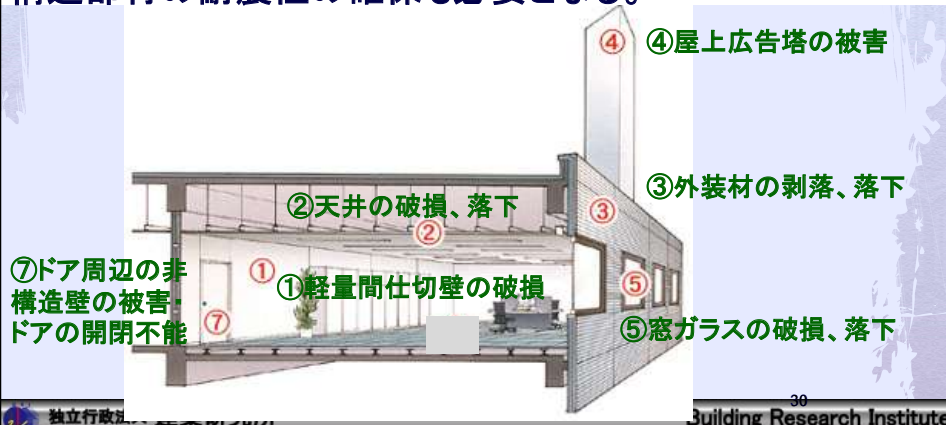
耐震改修促進法に基づく国の基本方針において、2003年の75%から2015年までに少なくとも9割とする目標が定められており、さらに、政府の「新成長戦略(2010.6.18の閣議決定)」及び「住生活基本計画(2011.3.15の閣議決定)」においては、住宅の耐震化率を2020年までに95%とする新たな目標も定められた。

訂正

年度	2003	2008	2015(目標)	2020(目標)
住宅	75%	79%	90%以上	95%
特定建築物	75%	80%	90%以上	—

建築物の総合性能(構造と非構造の対応)

小破や中破と判定された建築物でも、非構造壁(コンクリートブロック造壁)の破壊、外装材(ガラス)の落下、方立て壁のせん断破壊などの非構造部材の被害により、使用を見合わせているケースも見られた。構造躯体のみならず、非構造部材の耐震性の確保も必要となる。



今回の地震被害を踏まえた建築物の耐震性

1995兵庫県南部地震も含め

・現行耐震基準に基づき設計された建築物については、一部の形式の建築物を除いて適切に倒壊等を防ぎ人命を守ったことから、調査の範囲では、水準面ではほぼ妥当であることが検証された。

・今回の地震動の多くは、短い周期域の応答加速度が卓越する特性を有しており、1995年兵庫県南部地震の地震動のように、建築物が破壊に至るような周期帯(1秒前後)のパワーが大きくはなかったことが考えられる。

・次の巨大地震(東海地震、東南海・南海地震)の発生や首都直下地震の発生が危惧されており、建築物の破壊に影響を及ぼすような周期域を多く含んだ地震動が発生する可能性もあり、安心する訳にはいかない。

31

建築物の耐震改修の促進・被害軽減

・1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震では、旧耐震基準の建築物に大きい被害が見られたことにより、建築物の耐震改修が必要であることが認識させられる。

・今回の被害が見られたRC層建築物は、防災拠点となる公共施設に対する耐震改修が住宅等に比べて、やや遅れていることもあり、災害時にこそ機能を維持すべき建築物への早急な対策が望まれる。

・現行耐震基準の体育館のRC柱・妻壁とS造屋根接続部で、コンクリートの剥落やボルトの抜け出し等の構造被害が多く観察された。体育館も、地震時の避難施設として重要な役割を担う事から、このような被害を軽減するための対策も必要である。

32