

## 【 寄 稿 】

## 不動産における地震リスクと耐震化の投資効果 —プレーヤーに求められる基本的知見—

客員研究員（不動産鑑定士） 山縣 滋  
株式会社アースアプレイザル 取締役

### 1. はじめに

3月11日に勃発した東北地方太平洋沖地震(以下「震災」という)は死者・行方不明者合計で2万人余に達する人的被害をもたらし、建築物の全半壊は21万戸以上、津波による農地の冠水は23千<sup>2</sup>、と未曾有の地震災害となり、その経済的損失は25兆円といわれている。震源は岩手沖から千葉沖までの延長500kmにおよぶ海底プレートの崩壊によるものと推定されており、本震で発散された地震エネルギー規模はマグニチュード9と兵庫県南部地震の350倍以上と史上最大規模のものであった。

この地震による津波で福島第1原子力発電所は冷却用の電源が全て喪失し、炉心溶融(メルトダウン)という「レベル7」に該当する最悪の事態を招来し、1986年のチェルノブイリ原発事故に次ぐ量の放射性物質が飛散された。そのため、周辺20キロ圏内は災害対策基本法に基づく警戒区域に指定され、現在も立入禁止になっているというかつて日本において経験したことの無い事態を招いている。

また、この地震の影響は震源から遠く離れた首都圏にも及び、特に東京湾の千葉県側沿岸、江戸川・利根川沿いの広範な地域に地盤の液状化現象をもたらし、東京都に隣接する浦安市では市域全体の実に3/4に及ぶ面積が液状化し、電気・ガス・上下水道・道路等のインフラの復旧費用は734億円と推計されている。

日本列島には多数の火山や活断層が存在し、ま

た、地球上に14~15枚あると分類されているプレートの内、ユーラシア、北米、太平洋、フィリピン海と4つのプレート境界が交錯するという特異な立地条件にある。そのため、有史以来、頻発する地震を受けてきたわけであるが、今回の震災ほどの規模と範囲で被害をもたらした地震はおそらく始めて経験するものであろう。震源から500kmも離れた地域においても建物への直接の地震動ではなく地盤の液状化によって建物が「全壊」<sup>1</sup>するなどということはこれまで想像もつかないことであった。

このような事態を目の当たりにして衝撃を受け、それまで漠とした潜在的なリスクと考えていた地震リスクに対して認識を改める必要を感じた不動産プレーヤーは多いはずである。今後30年以内に70%、50年以内に90%の確率で襲来すると予測されている「南海地震」を始めとする大地震に備え、各プレーヤーが保有・運用・管理を行っている不動産に関して地震によるリスクを最小化する努力をしなければならない。

そのために投資家・レンダー・アセットマネージャー等の投資主体や、不動産関連業務の専門家ではあるが建築・構造や地盤・地質の全てに精通しているとは限らない宅地建物取引主任者、不動産鑑定士、プロパティマネージャー、ファシリテーター等を始めとする不動産プレーヤー

1 ここでの「全壊」は「倒壊」や「崩壊」ではなく地盤の不同沈下により家屋が傾き、あるいは一部分が地中に埋没し、使用不能となることを指す。

2 地震調査研究推進本部「全国地震動予測地図」による

が最低限理解しておかなければならない知見はどのようなものなのだろうか。また、もう一つの関心事は地震対策をとった不動産は採算が合うのか、その価値はどのようになるのかということである。本稿はこれらの観点から不動産における地震リスクの基本的知見と建物耐震化の投資効果について簡単に整理したものである。

## 2. 地震とその対策・制度

まず、最初に日本における地震発生と被害の歴史、その対策・制度がどのように整備されてきたのかという流れを整理する。次にその中でも重要なエポックである新耐震基準、耐震改修促進法の内容について簡単に検討する。

### 2-1 地震の歴史と対策制度

日本列島はその地勢的な関係から地震の多発地帯であり、有史後も古くは西暦 416 年に発生したことが日本書紀に記録されており、その後もマグニチュード 8 以上の巨大地震だけでも貞観、永長、明応、慶長、延宝、元禄、宝永、寛政、安政の各時代に発生しており、その都度甚大な被害を被ってきている。

明治期以降の大地震と地震関連の対策法規や制度は表 1. の通りであり、地震の都度、これに対処して整備を進めてきたことがわかる。

特に大きなエポックは関東大震災後の「市街地建築物法」改正により耐震計算を義務化したこと、福井地震後の「建築基準法」により構造・耐震についての法規制をとりまとめたこと、宮城沖地震後に「建築基準法」を改正し、いわゆる「新耐震基準」を施行したこと、阪神淡路大震災後の「耐震改修促進法」により、既存建物の耐震化を推進し始めたこと等である。

### 2-2 新耐震基準

十勝沖地震、宮城沖地震の二つの地震により鉄筋コンクリート造の建物といえども大破、倒壊等の大きな被害を被ったことを教訓として、1981 年 6 月 1 日以降に着工する建物については改正建築基準法による耐震基準（いわゆる新耐震基準）により、設計建築することが求められた。

新耐震基準の目的は震度 5 強までの地震ではほとんど被害が出ず、頻度の極めて低い震度 6 強以

上の地震にあっても中破まではする可能性はある

表 1. 明治期以降の主要な地震と関連法規の推移

	西暦年	法令等	内容
	1891	(能美地震)	死者 7 千人
	1920	市街地建築物法	初の建築法規
	1923	(関東大震災)	死者・行方不明者 105 千人
◎	1924	市街地建築物法改正	耐震計算を義務化
	1947	災害救助法	災害時の救助体制
	1948	(福井地震)	死者 4 千人弱
◎	1950	建築基準法	敷地・構造・耐震に関する総合法規
	1961	災害対策基本法	中央防災会議設立
	1962	激甚災害法	災害時の財政援助を規定
	1962	宅地造成等規制法	造成時の盛土・切土・擁壁・排水等
	1964	(新潟地震)	死者 26 人、液状化被害
	1966	地震保険法	初の地震被害を担保する保険
	1968	(十勝沖地震)	死者 52 人
	1969	地震予知連絡会	国土地理院諮問機関
	1978	(宮城県沖地震)	死者 28 人
	1979	判定会	気象庁長官の諮問機関
◎	1981	建築基準法改正	新耐震基準の実施
	1995	(阪神淡路大震災)	死者 6433 人 住戸全壊 10 万 5 千戸
◎	1995	耐震改修促進法	既存公共性建物の耐震改修義務化
	1997	密集市街地整備法	密集市街地整備の総合推進
	2002	地震防災対策特措法	東南海・南海地震が対象
	2004	地震防災対策特措法	房総～択捉までが対象
	2004	(新潟県中越地震)	死者 68 人
◎	2006	耐震改修促進法改正	2015 年までに 90% を耐震化目標設定
	2007	(新潟県中越沖地震)	東電柏崎羽原原発損傷
	2011	(東日本大震災)	死者・行方不明者 23 千人以上
◎	2011	緊急輸送道路沿道建築物の耐震化(都条例)	

が、大破、倒壊することはないという強度を持たせることにある。

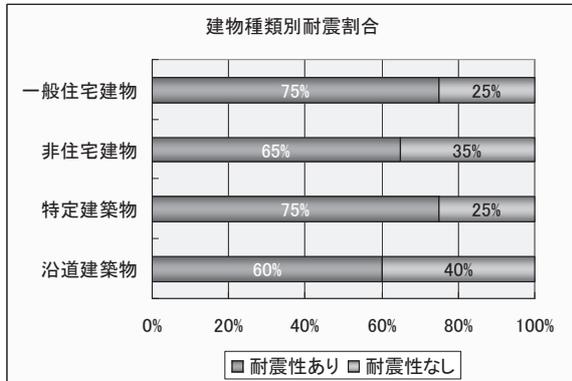
そのため、設計を 1 次設計、2 次設計の 2 段階に分離し、1 次設計では水平力に対して弾力性を保つよう、2 次設計では塑性変形があっても崩壊しないことを確認することとした。

### 2-3 耐震改修促進法

耐震改修促進法は 2004 年に発生した新潟県中越地震を契機に 2006 年に改正され、それまでは公共建物の耐震化に重点を置いていたのを私人の所有建物についても耐震化への努力義務及び指導を強化し、更に住宅・特定建築物<sup>3</sup>の耐震化について数値目標を導入した。すなわち、図 1. の通り 2003 年現在の住宅・特定建築物の耐震化率は約 75% であったが、これを 2015 年までに少なくとも 90% に引き上げようというものである。

<sup>3</sup> 学校、病院、劇場、百貨店、事務所、賃貸住宅、幼稚園、老人ホーム等多数の人が利用する一定の規模の建物。

図1. 建物種類別の耐震化割合 (2003年)



出所：国土交通省「改正耐震改修法のポイント」

注) 沿道建築物とあるのは東京都緊急輸送道路沿道建築物である。

また、道路幅員の1/2を超える（前面道路が12m以下の場合は6mを超える）高さの建築物については地震の際に倒壊して道路を閉塞させることを防止するために耐震改修を行政指導できるとし、このうち、倒壊の危険性の高い建築物の所有者に対しては耐震改修命令を出せることとする等、行政の権限を大幅に強化することとした。

既存建物への効力遡及はやや異例の措置とも思えるが、非耐震建物の倒壊が地震による被害を大きくしてきた経緯を考えると時宜にかなった措置といえる。

#### 2-4 緊急輸送道路沿道建築物耐震化条例

前記の耐震改修促進法を更に一歩進めたのが2011年3月に公布された「東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例」である。この条例は地震の際に建物が倒壊して道路を閉塞することを防止するため、都内の主要幹線道路・環状道路の全てと各地域内の主要道路を緊急輸送道路として指定し、これに道路幅員の1/2を超えて接面する建物については2015年までに100%の耐震化を行うことを目指そうとするものである。

すでに6月に緊急輸送道路の指定が完了し、10月から耐震化状況についての報告が開始され、2012年4月からは耐震診断の実施が義務化される。その結果、耐震性に問題ありとされる建物については所有者に対して耐震改修を行うことを勧告することができることになっている。

これに伴い耐震改修費用については耐震改修促進法による助成に上乗せして所有者の負担を減ら

すこととしており、現在の構想では建物延べ面積5000㎡以下の部分については全体の5/6を助成する予定になっている。

### 3. 土地についての基本的知見

我々が土地について目で見て観察できるのはその地表面のみであり、地中の状態まで透視できるわけではない。また、建物等が建て込んでいる都市部においては地表面でさえもその状態を視認することもできない。

不動産鑑定評価基準でも土地の価格形成要因として「地勢・地質・地盤」を挙げており、これらが重要なファクターであることは共通認識であるが、都市部においてはどのようにこれらの情報をどのように取得して比較検討すればよいのであろうか。これを行うためにはまずは地盤の成り立ちについての知見が必要であり、以下では順次これらの関連項目について整理する。

#### 3-1 地盤

地勢や地盤、地質について知るにはまず、地球の地層形成とその歴史を知らなければならない。現在の地球の地質を年代別に模式化すると下図のようになっている。

図2. 地球の年代別地層

年代	区分	地層	岩石	経過年		
原生代	先カンブリア紀					
古生代	カンブリア紀～ 二畳紀	古生層	硬岩	5.7億年～		
	中生代				中生層	2.4億年～
中生代	三畳紀	中生層		2.4億年～		
	ジュラ紀					
	白亜紀				中生層	2.4億年～
新生代	第三紀	第三紀層		軟岩		
	第四紀	洪積世	洪積層	土砂地盤	258万年～	
		沖積世	沖積層			1万年～

このうち硬岩は主に6500万年前までの中生代、古生代に形成された地層であり、日本においては山岳部以外では地表に露出していることは稀である。

平野部や盆地は新生代第四紀の洪積層、沖積層で構成されており、日本の宅地は主としてそのような地形の場所に展開しているため、これらの地層で形成されている地盤を検討対象とする。

地盤によっては不同沈下、液状化等の可能性があるため、建物を頑丈にしなければ地震リスクを回避できないため、地盤状況についての検討は不可欠である。

注意しなければならないのは次のような地盤である。

◆ 軟弱地盤

沖積層の地盤の内、シルト、泥炭、腐植土等から構成される30~40m以上の分厚い堆積層を持つ地盤。主として湾岸地域や埋め立て地がこれに該当するが、内陸部でも旧湖沼や湿地を埋め立てた地域にある場合もある。このような地盤は地盤増幅率(後述)が高く、また、共振作用も強く働く場合があるので建物被害が大きくなる。

◆ 砂質地盤

砂地盤は通常時は支持力の高い地盤であるが、地震によっていったん液状化すると支持力を喪失し、建物を支えられなくなる。締め固めや間隙水を排水する等の対策を行っていないと砂層10m以上あるN値(後述)10以下の地盤では特に液状化しやすい。

◆ 異種地盤

切り土と盛り土とを組み合わせで構成されている地盤を異種地盤といい、傾斜地の造成宅地などがこれに該当する。この場合、切り土だけの部分と盛り土だけの部分、更に両者が接続している部分というように強度の異なる地盤ができる。この部分が地震に際して弱点となり亀裂や沈下が発生して建物に被害が生じることがある。

◆ 盛土地盤

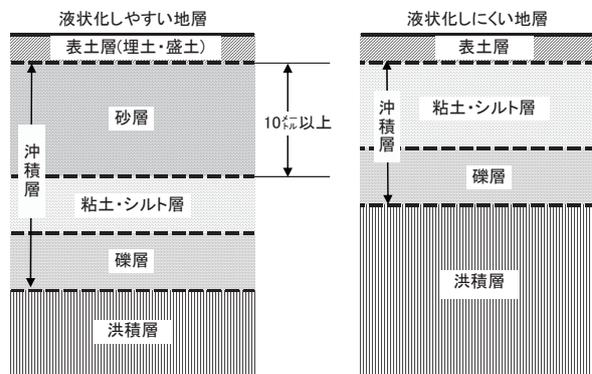
水田や旧河道、旧湖沼や湿地を人工的に盛り土により埋め立てた地域や前述の盛り土により造成された地盤。このような地域は地盤増幅率が高くなる傾向があるため揺れが大きく、また、不同沈下による建物被害が起こりやすい。

3-2 地質・地層

地質・地層についてはボーリング柱状図を入手することで知ることができる(一例は図5.のとおり)。ボーリングは建物の基礎工法の選択や杭基礎の深さなどを決定するために行われるが、地層の構成、厚みやその順序、安定地盤とされる礫層や洪積層までの深度等の情報を分析検討することが必要である。

模式化すると概ね下図の通りであるが、実際の地層は帯水層を交えて複雑に入り組んでおり、その意味を正確に捉えるのは地質の専門家でないとい困難である。

図3. 地震に弱い地盤・強い地盤の模式図



後述する液状化現象については砂層が厚いほど液状化しやすく、湾岸部の埋め立て地など概ね10m以上の砂層のある場所はその危険性が高いとされている。武蔵野台地などは砂層が薄いか表層にはなく、地下水位が低いことから液状化には強いとされている。

また、この沖積層の厚みがあるところほど地震による揺れが増幅(地盤増幅率:後述)されて強く働く性質を有しており、関東大震災においては厚さ35mを境に急速に建物倒壊率が上昇し、厚さ40mでは40%、45mでは100%の倒壊率となっていた<sup>4</sup>。もっともこれは耐震基準のない時代の木造住宅であるので、現在ではそのまま当てはまるわけではない。

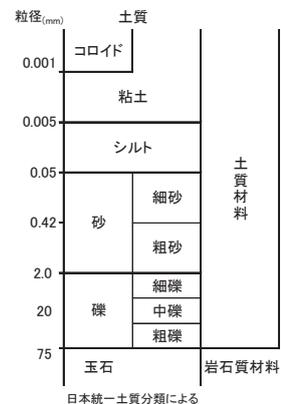


図4. 土質の分類

日本統一土質分類による

<sup>4</sup> 大崎順彦「地震と建築」P127 岩波書店 1983年

なお、地層を構成するそれぞれの地質の分類と粒子の大きさは概ね図4. の通りである。

### 3-3 地形

地震に際して被害を受ける可能性のある地形は下表の通りである。

表2. 地形・地盤と土地利用

地形	地層	N値	良否	土地利用
崖錘	E,F	20~	良	灌木・草地
扇状地	D,E	30~	良	果樹
谷底低地	A,B,C,D	~4	不良	水田
自然堤防	D,E	10~20	良	畑・果樹
旧河道	A,B,C,D	~5	不良	水田
後背湿地	A,B,C,D	~10	不良	水田
三角洲	C,D,E	4~10	不良	水田
溺れ谷	A,B,C,D	~4	不良	水田
潟・湖・沼跡	A,B,C,D	~4	不良	水田
砂丘	D,E	15~	良	畑・植林

※地層構成 A:泥炭・腐植土、B:粘土、C:シルト、D:砂、E:礫、F:コブル

出所：池田俊雄「地盤と構造物」より(一部記号化)

このうち崖錘と砂丘以外は大都市近郊においては現在宅地化され、その過程で開発・造成が行われ原地形をとどめていない場合もある。そのため、地形図や白地図を見たり現地を歩いて回っても過去の地形が想像できない状況になっている可能性もある。

扇状地、自然堤防以外はN値が低く、本来は建物建築には不向きな地形であり、以下に簡単に留意点をまとめた。

◆ 谷底低地

台地の間隙にあった谷底が河川や海からの堆積物により埋められて平野状になった地形。堆積物以外は粘土、シルト、砂、腐植土、泥炭等で水位が低く軟弱である。

◆ 自然堤防

河川の氾濫によって土砂等が堆積し、河川流域の両側に形成される微高地。砂・礫で構成された地質であり、地震には比較的強い。

◆ 旧河道

自然作用やあるいは人工的な河川改修で形成された川の流路の跡。印旛沼や手賀沼等蛇行の跡地として残っている場合もある。もともと流路であったことから腐植土、泥炭、砂、シルト等で構成された地質であり、地盤としては非常に弱い。

◆ 後背湿地

自然堤防、海岸砂丘の背後の低湿地。腐植土、泥炭、砂、シルト等で構成された地質で主として水田として利用されていた地域。地盤としては非常に弱い。

◆ 三角洲

デルタ地帯といわれる河川の堆積物で形成された三角形の低地。砂、粘土、シルトで構成された地層で地下水位も浅く液状化が発生しやすい地形である。

◆ 溺れ谷

もともと陸地であったが沖積世の初期に海面が上昇した際に入り江となり、その後の海面後退により沼となり陸地化した地形。海成の粘土・砂、河成の砂・礫、泥炭が積層する非常に弱い地盤となる。

◆ 潟・湖・沼跡

河川や海岸沿いの一部がせき止められ、その後陸地化した地形。腐植土、泥炭、砂、シルト等で構成された地質であり、地盤としては非常に弱く、地下水位も浅いので液状化しやすい。

### 3-4 地名

以上の地形の特徴は地名に残っていることが多い。たとえば、「川、沼、池、田、浜、沢、津、江、洲、崎、浦、瀬、渡、流、島、崎、泉、谷、」という名称のつく地名、たとえば「池袋」、「沼袋」、「渋谷」、「浜松町」、「品川」、「大崎」、「五反田」、「溜池」、「豊洲」、「芝浦」、「三河島」等、駅名に残っているだけでも相当数ある。また、これらが転じて災害を暗喩する可能性のある地名として「竹(滝)、柴(肥沃)、座(崩)、菅(滑)、隈(湾曲部)、広(低い)、梅(埋め)、桜(裂く)、葛(崩)、桑(崩)、押(決壊地)、

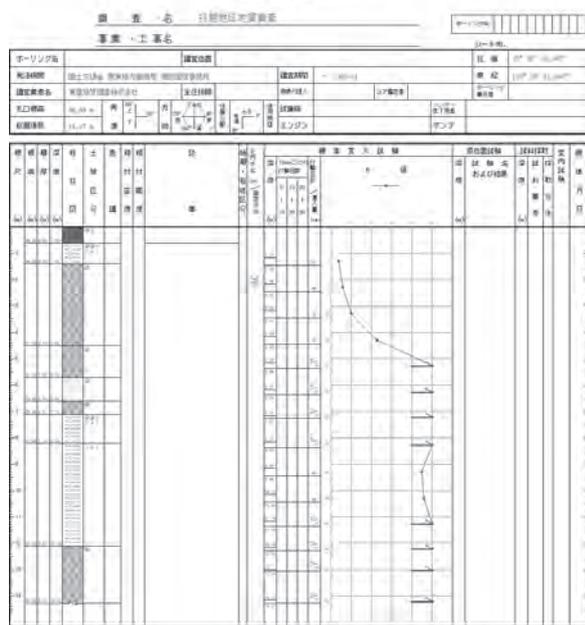
羽(軟弱)」などがあると指摘<sup>5</sup>されている。

これらの地名は昭和30年代までは多く残っていたが、住居表示を促進した結果、「本町」、「中央町」、「北町」等無機質な町名に変えられた地域も多く、旧版地図を活用して推測していくことが必要とされる。

### 3-5 N値

地耐力の指標で地盤の堅さの程度を表す指標。測定方法は63.5kgの重りを75cmの高さから落下させ、サンプラーを30cmの深さまで打ち込んでその回数を測定するもの(標準貫入試験=SPT試験)。したがって、N値が多いほど固い地盤だということになる。通常は下のボーリング柱状図のように深さ1メートルごとに測定していき、N値50となる地層が5メートル以上続くことを確認する。

図5. ボーリング柱状図の一例



このようなボーリング柱状図は国土交通省の「kunjiban」<sup>6</sup>や東京都土木技術支援・人材育成センターの「東京の地盤 (Web版)」<sup>7</sup>からダウンロードすることができる。

<sup>5</sup> 週刊ダイヤモンド2011/6/11号を参照

<sup>6</sup> <http://www.kunjiban.pwri.go.jp/jp/>

<sup>7</sup>

<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhou/geo-web/00-geo-web01.html>

N値50は高層ビルの杭基礎や、ベタ基礎を築造する場合に必要となる硬度である。このような堅さを持つ地層は基盤といわれ、平野においてはその多くは洪積層と称される沖積層より年代が古い地層から構成される。一般の戸建て住宅ではそこまでの硬度は不要であり、N値10~15程度あれば十分である。

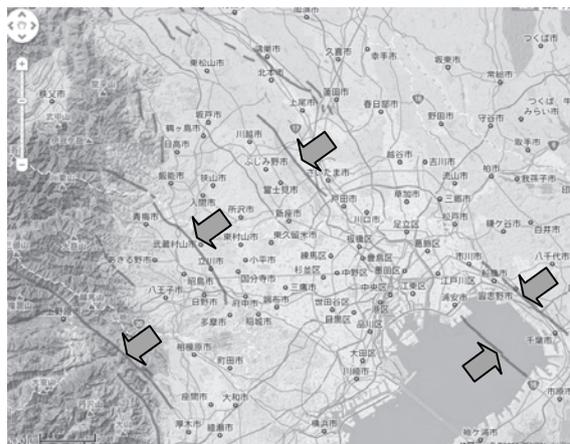
一般的に東京都内でN値50となる深度は武蔵野台地で地表下20~25メートル、千葉県よりの湾岸地域で45~50メートルであるが、旧海面の埋め立て地などではそれ以上の深さになることもある。

後述するように地盤増幅率はこのN値50以下の表層部分と基盤までの深さに比例して大きくなるのでN値50以下の堆積層が厚い地域は地震による表層部分の揺れが大きいことになる。

### 3-6 活断層

活断層とは地殻上の亀裂で千年から数万年の間隔で活動した痕跡のある断層のことである。活断層は千年で数十センチから数メートル動いており、数万年単位の超長期スパンでは地震源ともなりうると思われる。日本列島には大小2000を超える活断層が存在しており、その多くは山岳部に集中しているが、下図にあるように一部は都市部近郊にも存在する。活断層図は産業技術総合研究所、活断層・地震技術研究所の「RIO-DB 活断層データベース」<sup>8</sup>からダウンロードすることができる。

図6. 東京近辺の活断層分布図



<sup>8</sup> [http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/cgi-bin/tyousati.cgi?search\\_no=j047&version\\_no=1&search\\_mode=0](http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/cgi-bin/tyousati.cgi?search_no=j047&version_no=1&search_mode=0)

地震調査研究推進本部の公表資料<sup>9</sup>によると全国の主要な活断層 98 ヶ所の内、今後 30 年間に地震の発生する確率が 3%以上ある断層帯は「糸魚川-静岡構造線」、「三浦半島断層群」、「神縄・国府津断層帯」等全体の 1/4 程度となっている。

したがって、このような地域では直ちに危険というわけではないが盛り土等の造成に際しては念のため地盤の締め固め等を強化するなど通常以上の注意が必要であろう。

### 3-7 液状化現象

今回の震災で特に首都圏に広範に被害をもたらした最大の要因は地盤の液状化現象である。

#### 3-7-1 液状化の被害の状況

今回の震災では首都圏、とりわけ千葉県よりの東京湾岸および利根川、江戸川周辺地域を中心として広範囲な地域が液状化による被害を被った。

写真 1. 噴砂により破壊された公園



写真 2. 傾き歩道に埋没した電柱



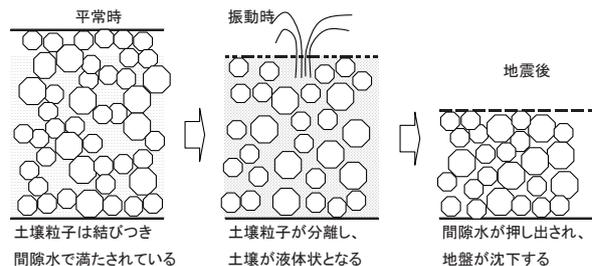
殊に東京都に隣接する浦安市では市域全体の実に 75%に及ぶ面積が液状化し、噴砂により多くの道路や宅地が破壊された。

道路の液状化はそこに埋設してある電気、ガス、上下水道の破壊を伴い、政府はこれらの被災地域を激甚災害に指定した。

#### 3-7-2 液状化の仕組みと地形地盤

液状化が起こるのは地下水位の高い砂地盤である。このような地盤は平常時においては砂の粒子同士が接着し、これと地下水とが混在・飽和してバランスしているが、地震動を受けると砂粒子が密になろうとしかたまり、そのため砂粒子の間にある地下水(間隙水)が押されて間隙水圧が高まり、その圧力の上昇で砂粒子同士の結合と摩擦力が低下し、砂地盤は剪断抵抗を失って液体状となる。これが液状化現象のメカニズムである。

図 7. 液状化のメカニズム



液体状となった土壌は間隙水圧が上昇しているので、余剰となった水が地中の砂や泥と一緒に地表に噴出する。その際には一律に噴出するのではなく地表の弱い部分や割れ目から噴出し、地割れや地盤沈下を起こすことになる。地盤沈下も異なる沈下となることが多いので地上建物に被害を与えることになる。液状化の危険性の高い地形は表 2. にある N 値の低い地域で、このような場所は何度でも液状化すると指摘されている。

#### 3-7-3 液状化マップ

地盤の液状化については今回の震災前から各自治体とも注目しており、多くの自治体では液状化の危険性があるかどうかについて調査して地域毎にマップを作成し、Web で公開されている。

しかしながら、たとえば次図の通り、液状化判定対象外、またはリスクが低い等とされた地域でも今回の震災では写真 3. にあるように激しく液状化した等その正確性は万全ではない。

<sup>9</sup> [http://www.jishin.go.jp/main/p\\_hyoka02\\_danso.htm](http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm)

当該地点は現在は幹線道路沿いの市街地となっているが、かつては池または沼であった地域であり、地盤の弱い場所であるかどうかは旧版地形図を調査することで判断できる場合もある。

したがって、液状化のリスク判定に当たっては液状化マップと旧版地形図とを併用することで正確な判断材料とすることが肝要であろう。

図8. 1928年地形図 図9. 同所の液状化マップ



写真3. 調査対象地点の液状化状況



### 3-7-4 液状化対策動向

今回の震災のような広範囲にわたる液状化現象はかつてない経験であったことからエンドユーザーもそのリスクに敏感になっており、不動産取り引きに際しては不動産業者が当該宅地について液状化対策が行われているかどうか地盤状況がどうなっているか等の情報提供を行うことと、液状化に強い地盤については「安全表示」をつける等の仕組みを作ることが国土交通省によって計画<sup>10</sup>されている。

<sup>10</sup> 2011年7月8日付け日経新聞朝刊

## 4. 建物についての基本的知見

### 4-1 Is値

Is値(Seismic Index of Structure)とは構造耐震指標と称され、当該建物に耐震性があるかどうかを計る指標である。計算式は次の通りである。

$Is \text{ 値} = E_0(\text{性能基本指標}) \times Sd(\text{形状指標}) \times T(\text{経年劣化指標})$  ここで  $E_0 = C(\text{建物強度}) \times F(\text{建物粘性})$

この式は、建物の耐震性は建物の強度と粘り強さに形状と経年劣化の相乗積で計算できることを示している。

すなわち、建物に加わる揺れに対しての強度や歪みのほか、建物が複雑な形状や吹き抜けがあったり、劣化が進んでいる場合にはIs値が低い(耐震性がない)ということになる。

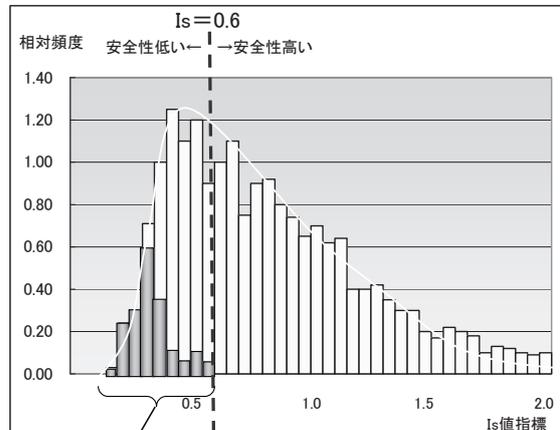
Is値の目安は次の通りである(平成18年1月25日 国土交通省告示第184号)。

図10. Is値判定の目安

$Is < 0.3$	地震に対して倒壊又は崩壊する危険性が高い
$0.3 \leq Is < 0.6$	地震に対して倒壊又は崩壊する危険性がある
$0.6 \leq Is$	地震に対して倒壊又は崩壊する危険性が低い

この数値の根拠は下図の通り過去の統計的分析により定まったものである。すなわち、1968年の十勝沖地震、1978年の宮城沖地震により被害を受けた建物のIs値を調査した結果、Is値が0.6以上の建物については中破以上の被害がなかったことが安全性の根拠となっている。

図11. Is値毎の建物被害状況



出典: 専攻大学生産技術研究所「耐震診断・耐震補強の現状と今後の課題」

〔1968年十勝沖地震・1978年宮城沖地震で中破以上の被害を受けた建物のIs値別分布〕

ただし、このことはIs値が0.6以上あれば無被害ということでは決してない。Is値=0.6は必要な耐震強度に対して100%の強度を持っているという定義であり、稀にしかない大地震に対して建物が大破・倒壊しないという意味であり、小破、中破程度の被害はあり得る。これはIs値が人命に対する被害を回避するための指標であるためである。

図12. Is値=0.6のRC・SRC建築物の被害予測状況

被害	程度	軽微	小破	中破	大破	倒壊	
		状況	二次壁損傷無し	二次壁に剪断・ひび割れ	柱・耐震壁に剪断・ひび	柱の鉄筋が露出・座屈	建物の一部・全部が倒壊
地震規模	中地震(震度5強以上)	Is=0.6					人命損失を回避
	大地震(震度6強以上)	Is=0.6					

したがって、とりわけ高い安全性を要請される施設についてはより高いIs値を目標としている。たとえば文部科学省では義務教育施設についてはIs≧0.7以上を耐震回収基準の目安としている。また、BCP(Business Continuity Plan)を狙いとするような重要施設については更に安全を図るためIs≧0.8~0.9を目標とすべきだとされている。

なお、Is値は1981年6月以前に建築された旧耐震基準の建物に関する耐震性指標であり、新耐震基準では該当しない。新耐震基準においてはQu値(保有水平耐力)が指標となる。

#### 4-2 地震PML

PMLとは地震による期待最大損失(Probable Maximum Loss)のことで、一応の定義は『50年間の非超過確率90%(=再現期間475年<sup>11</sup>)の最大規模の地震が起きた場合に建物が被る予想損害額の再調達価格に対する割合』ということになっている。即ち、建物の耐用年数を50年間とした場合に10%の確率で被る可能性のある最大規模の地震に対して建物の復旧費用の再建築費用に対する割合を数値化したものである。

PML数値の意味は概ね表3.のように解釈するのが一般的となっている。

表3. PML数値の意味

PML数値	危険度判定	予想される被害
0~10%	極めて低い	軽微な構造体の被害
10~20%	低い	局部的な構造体の被害
20~30%	中位	中破の可能性が高い
30~60%	高い	大破の可能性が高い
60%~	非常に高い	倒壊の可能性が高い

したがって、このPML値に再調達価格を乗じると地震被害による復旧費用が算出されることになる。

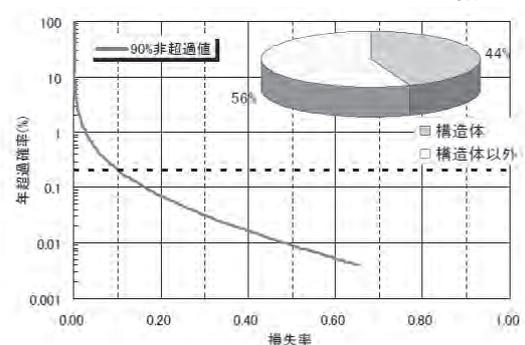
なお、PML値は建物に対する物的な損害のみを計算対象としており、建物が使用できないことによる休業等の機会損失は含まれていないことに留意する必要がある。

PML値は建物の存する地域の地震活動予測、建築されている土地の地盤評価、建物構造から見た脆弱性評価を行って算出する。

地震活動評価には活断層地震モデル、海溝型地震モデル、およびこれらを複合した地震活動モデル等がある。地盤評価についてはN値50までの堆積層の厚みにより増幅率を計算するもので、建物脆弱性評価は限界耐力による方法や被害事例からの統計処理による方法等がある。

これらの評価モデルには各社様々なものがあり、統一された計算方法というものはなく、調査会社により結果にもばらつきがあるのが現状である。

図13. リスクカーブによるPML値の図解説明



(出所)株式会社構造計画研究所

PMLレポートには多数の一般にはなじみのない専門用語で記述されているが、おおよそ次の用語を理解しておけば内容の理解は可能であろう。

<sup>11</sup> この場合を再現期間475年といい、50年の建物耐用期間との関係は $475 = 1 \div (1 - (1 - 10\%)^{\frac{1}{50}})$ となる。

- ◆ **地盤増幅率**  
大深度のプレートの揺れと表層部の揺れとの倍率で、岩盤と地表との堆積層の厚みに依存する。この倍率は都心部では1.3~1.8となっている<sup>12</sup>。
- ◆ **活断層**  
プレート上あるいはプレート間にある亀裂で、新生代第4紀まで地殻運動等の活動していた形跡があり、今後も活動する可能性のある断層をいう。活断層は山岳地帯だけでなく、都市部にもある<sup>13</sup>ことが判明している(図6.を参照)。
- ◆ **P波 (Primary Wave)**  
地震が発生して最初に生じる縦揺れの地震動で秒速5~7kmで伝播する。阪神淡路大震災のような直下型地震以外では揺れはさほど大きくはなく、この波で大きな被害の出ることは少ない。
- ◆ **S波 (Secondary Wave)**  
横揺れの地震動で秒速3~4kmで伝播する。地震被害をもたらすのはこの波である。なお、地震警報はP波とS波の伝播速度の違いを利用したものである。
- ◆ **PGV (Peak Ground Velocity)**  
観測地点の地表面の最大速度で、単位はKineまたはcm/sで表示される。
- ◆ **PGA (Peak Ground Acceleration)**  
観測地点の地表面の最大加速度で、単位はcm/s<sup>2</sup>=gal。今回の震災による最大値は栗原市築館で観測された2933galであった<sup>14</sup>。これは重力加速度981gal (=1G)の約3倍という凄まじいエネルギー量である。

- ◆ **震度**  
観測地点の揺れの大きさをPGV、PGAと密接な関係があるが、よく用いられるマグニチュードとは必ずしもリンクはしない。PGAでの揺れの大きさは震度3で10~20gal、震度6弱で250~400gal程度である。
- ◆ **マグニチュード**  
震源における地震エネルギーの大きさ。測定するモデルは複数あるが、 $\log_{10}E = 4.8 + 1.5M$ のような対数式が一般的<sup>15</sup>である。この式は底を10とする対数なのでマグニチュードが1高くなると32倍、2高くなると1000倍のエネルギー差があることを示している<sup>16</sup>。

#### 4-3 建物基礎

建物の基礎には様々なものがあるが、概ね下表の通りに分類される。通常の建築物に用いられるのは直接基礎と杭基礎であり、以下でこれらについて簡単に整理する。

表4. 基礎と工法の種類

種類	形式	工法	材料
直接基礎	独立基礎		RC主体
	布基礎		
	ベタ基礎		
杭基礎	既製杭	打撃工法	コンクリート (RC/PC/PHC/SC)、 鋼杭(鋼管・H型)等
		プレボーリング	
		中掘工法	
	現場造成杭	回転工法	
		アースドリル	
		ケーシング	
	リバーサーキュレーション		
	地中連続壁		

<sup>12</sup>独立行政法人 防災科学技術研究所「地震ハザードステーション(J-SHIS)」

<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> による

<sup>13</sup> 国土地理院「電子国土で見る都市圏活断層図」  
[http://www1.gsi.go.jp/geowww/thedkd/d\\_afmua/DAF\\_DAF\\_DAF/zenkoku/view\\_shutoken2.htm](http://www1.gsi.go.jp/geowww/thedkd/d_afmua/DAF_DAF_DAF/zenkoku/view_shutoken2.htm)

<sup>14</sup> 防災科学技術研究所のHPにて参照できる  
[http://www.kyoshin.bosai.go.jp/cgi-bin/kyoshin/acc\\_list.cgi?20110311144600+0+all](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/cgi-bin/kyoshin/acc_list.cgi?20110311144600+0+all)

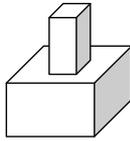
<sup>15</sup> これはグーテンベルグ・リヒターの式であり、現在日本で使われている「気象庁マグニチュード」はこれに加えて距離減衰項を導入して精度を上げている。

<sup>16</sup> ちなみに阪神淡路大震災のマグニチュードは7.3であったので今回の震災とのエネルギー差は約355倍と計算される。

### 4-3-1 直接基礎

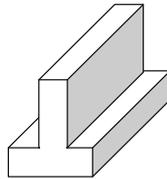
◆ 独立基礎

構造は布基礎と同じだが、各基礎が連続せずに単独で設置されている基礎を独立基礎という。



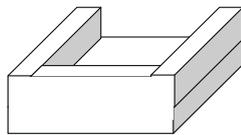
◆ 布基礎

建物の外周、間仕切り下等の主要な軸組の下部に沿って連続して設置するコンクリートの基礎。鉄筋を入れれば更に強度が増す。木造あるいは軽量鉄骨造建物で、平米当たり5t程度の地耐力のある通常レベルの地盤に利用される。



◆ ベタ基礎

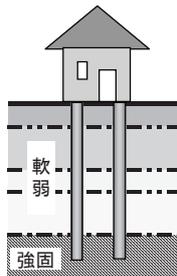
建築物の全面にわたって基礎スラブを設けて荷重を建築部分の全体に分散させる基礎。軟弱地盤の木造住宅、重量鉄骨、鉄筋コンクリート造の建物等に広範に利用されている。霞ヶ関ビル、京王プラザビル等の超高層ビルにも用いられている基礎の工法である。



### 4-3-2 杭基礎

◆ 既製杭

既製の出来上がりの杭を現場に埋め込むもので、工法は多くあるが、最近では騒音振動の問題があるため打撃工法やプレボーリング工法はあまり使われない。かつては旧丸ビルや東京駅などで松杭も使われていたが、現在では鉄筋コンクリートや鋼管が使われている。軟弱地盤では一般住宅などにも用いられる。



◆ 現場造成杭

現場で地盤を掘削して鉄筋コンクリート乃至は鋼管コンクリートの杭を構築する工法。支持層となる地盤が大深度にある場合や軟弱地盤に用いられる。60t程度までの深度まで施工可能である。

杭基礎は支持層と建物とを直接接続して、軟弱地盤の影響を受けないようにしているが、地震の際には軟弱地盤の揺れが支持層よりも大きく、また、軟弱地盤層の液状化により杭が損傷することがある。そのため、現在は曲げモーメント(水平力)を強化した杭が用いられている。

### 4-4 建物構造

建物の構造にはその種別に着目すると、木造、鉄骨造、RC造、SRC造と分類される。形式(架構の組み方)に着目するとラーメン構造、壁式構造、ブレース構造等があり、これらについての構造形式としての線部材(軸)と面部材(壁)とに分けて整理する。

(線部材が主体の構造)

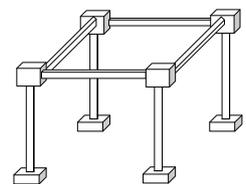
◆ 木造軸組工法

木造軸組構法は在来工法ともいわれ、主に柱や梁といった軸組(線部材)で支える。この工法は柔構造であり、揺れには強いとはいえずそのため、筋交いを多用したり軸の結節点で金具を用いるなどして補強している。

◆ ラーメン構造

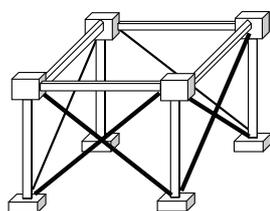
ラーメン (Rahmen)

とは、構造形式のひとつで、主に長方形に組まれた骨組み同士の接合箇所を剛接合したものである。現在最も一般的な構造形式であり、構造種別でも、S造、RC造、SRC造の建築物の多くに採用されている。接合部が非常に剛強なので、柱と梁だけで、地震荷重や風荷重などの水平荷重に耐えることができる。



## ◆ ブレース構造

鉄骨造の内、柱、梁、ブレースを利用した構造で、柱・梁・ブレースのばらばらの部材を現場でプレ



ートとボルトで組立てる構造である。構造壁がないが、ブレースがあることにより水平力に耐える構造になっている。ただしブレースのある面を一定間隔で配置しなければならないのでプランニングに制約がかかる。木造軸組工法と同構造である。

(面部材が主体の構造)

## ◆ 枠組み壁構造

木造枠組壁工法は、フレーム状に組まれた木材に構造用合板を打ち付けた壁や床(面部材)で支える。通称ツーバイフォー工法といわれている。壁量が多いので耐震性は高い。

## ◆ 木質パネル構造

基本はツーバイフォー工法と同じであるが、両者違いは、ツーバイフォー工法では木質パネルの組み立てに釘を使うのに対し、木質パネル工法では接着剤を使っていることや枠材が細く作られている点などが異なる。

## ◆ 壁式構造

壁面や床板などの平面的な構造材を組み合わせた、柱がない箱状の骨組での構造。柱や梁型が室内に出っ張らないので、室内空間を広くできる。ただし、壁で構造を支えるために、室内空間に耐力壁(構造壁)を設ける必要があり、ラーメン構造に比べると空間構成の自由度は低く、大空間はできない。通常は、鉄筋コンクリート造で5階建て以下の中低層マンションに多い。規模も比較的小さい。

## ◆ 鉄骨パネル工法

工場生産された軽量鉄骨を構造体としている。構造形式は壁構造が多い。壁体が構造の主要部分になっているので工法的には、ツーバイフォー工法、木質パネル工法など

と原理は同じである。壁が鋼材なので木質系パネルと比較すると耐力壁の構造耐力の値が大きく、平面プランの壁量は少なく済む。

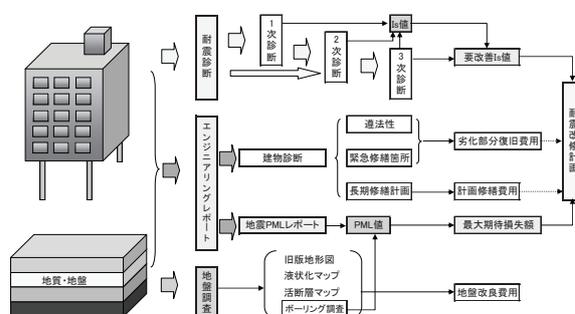
## 5. 地震リスクへの対策

## 5-1 地震リスクの把握

地震リスクに対処するためにはまず、リスクの所在と程度とを数値情報で把握しなければならない。そのための手法が建物耐震診断とPMLレポートである。

建物耐震診断によってIs値を把握し、耐震性に不足している数値を求め、これによって耐震改修費用を概算する。PMLレポートは地震PMLから復旧費用を算出する。耐震改修費用よりも復旧費用の方が大きければ耐震改修は経済合理性を持つことになる。ただしこの判断のためには、別にエンジニアリングレポートを依頼して、長期計画修繕費用を見積り、長期的な費用負担を比較して方針決定すべきであろう。

図14. 耐震改修計画策定のプロセス



土地については地盤調査を行い、地滑り、崩落、液状化等の危険性についての調査を行い、対策費を概算する。

## 5-2 建物耐震診断

建物耐震診断には1次から3次までの三段階の診断手法があり、これによって当該建物のIs値を求める。

## ◆ 1次診断

設計図面のみによる簡便な計算方法で柱と壁の断面積とその階が支えている建物重量から判定を行う。簡易診断であるため安全

圏とされる  $I_s$  値は 0.8 以上であるとされている。

- ◆ 2次診断  
各階の柱、壁のコンクリートの量に加えて鉄筋の量も考慮して耐力と建物重量を比較して計算する。この場合、ひび割れ、漏水、コンクリート爆裂等の劣化状態を観察するほか、コンクリートの穿孔検査、中性化試験等も併せて実施するのが一般的である。安全圏とされる  $I_s$  値は 0.6 以上である。
- ◆ 3次診断  
2次診断の検査項目に加え、梁の破壊先行に耐震性能が依存する建物(梁崩壊型建物)等に適用する手法。計算過程は複雑となるが、安全圏とされる  $I_s$  値は 2次診断と同じ 0.6 以上である。

診断によって  $I_s$  値が 0.6 以上と出ればとりあえずは耐震性に問題ないことになるが、0.6 に不足していた場合には不足分を充足するように耐震性を強化する必要がある。東京都の統計<sup>17</sup>では  $I_s$  値を 0.1 上昇させるのに必要な工事費は約 60 千円/坪となっており、これを用いればたとえば  $I_s$  値 0.2、延べ面積 500 坪の建物であれば耐震改修費用は  $60 \text{千円/坪} \times (0.6 - 0.2) \times 10 \times 500 \text{坪} = 120,000 \text{千円}$  と概算計算できる。

### 5-3 建物耐震改修

#### 5-3-1 耐震改修の工法

耐震改修には耐震補強、制震補強、免震補強の 3つの方法がある。コスト的には免震補強が最も負担が重い、必ずしもそこまで行う必要はなく、建物用途、規模、陳腐化の状況、残存耐用年数等により最もコストパフォーマンスの高い工法を選択するのがよいと思われる。

以下に主要な工法ないしは装置について整理する。

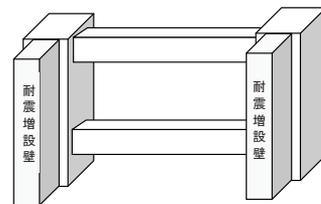
(耐震補強)

- ◆ 鉄骨ブレース補強

鉄骨などの型鋼でつくられた枠組鉄骨ブレース補強材。柱や梁などで四辺形に組み込まれた軸組に入れることで、耐震性能を向上させる。主に鉄骨造、RC 造、SRC 造などで用いられる。

- ◆ バットレス補強

耐震壁などの構造躯体となる支持壁を既存建物の外部に増設すること



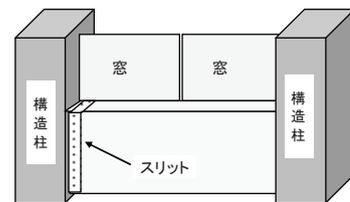
で耐力を向上させるもの。壁全体を分厚くするよりも効果的といわれているが、敷地に余裕がないと施工はできない。

- ◆ 柱巻き付け補強

既存の構造柱に炭素繊維や鋼版を巻き付けて柱の強度を高める方法。ピロティのように構造壁のない露出柱に巻き付けて強度を向上させる。

- ◆ 耐震スリット

建築物の柱や梁の局所的な破壊が生じないように、柱と腰壁などの



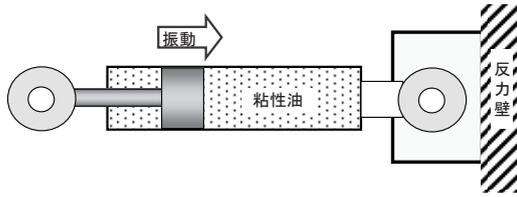
雑壁の間に隙間(スリット)を設ける方法。耐力は弱くはなるが、スリットがあることで腰壁などの開口部の多い階の地震動で構造柱が「短柱化」して剪断破壊が生じるのを防止する効果がある。補強材と組み合わせる工法である。

- (制震補強)

- ◆ 制震ダンパー

ダンパーとは強力なバネやゴムのような弾性体によって衝撃を吸収させ、地震動が建物全体に伝わるのを防止するための装置。ダンパーはブレースや間柱、壁などに取り付けられることが一般的である。

<sup>17</sup> 東京都都市整備局「ビルマンションの耐震化読本」

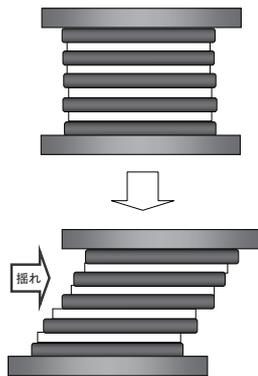


ダンパーには図のようなオイルダンパーのほか、鋼材で作られた鋼材ダンパー、鉛ダンパー、摩擦ダンパーなど多様な種類がある。

(免震補強)

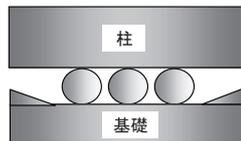
◆ 積層ゴム支承<sup>18</sup>

積層ゴムとは薄ゴムの層と鋼版とを交互に重ね合わせて接着して構成されており、垂直方向、水平方向のいずれにも変形し、地震動を建物本体に伝えることを抑制する効果を有している。基礎と建物本体との接合部分や中間階に設置される。この装置の形状は大体同じようなものであるが、使用されるゴムには天然積層ゴム、高減衰積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴムがある。



◆ 転がり支承

建物の底面に鋼球やローラーを配置して地震動をその上の建物に伝えないようにする方法。ただし、地震による揺れを減衰させる機能はなく、また強風でも作用することがあるので他のダンパーと組み合わせて使用される。



免震装置には支承機能、復元機能、減衰機能が要求されるが、一つの装置で全てを実現すること

<sup>18</sup>「支承」とは建物を支えてかつ、地面からの揺れを伝えない機能をいう。

はできないため、これらの複数の装置を組み合わせ、あるいは耐震補強、制震補強と併用して最適な効果を目指すこととなる。

5-3-2 耐震改修の実例

前述の通り、耐震改修はリニューアルと同時にを行うことが効率的であり、その実例を紹介する。

写真4. のビルは1965年建築のSRC造の旧耐震ビルであり、2007年に改修が行われた。工事内容は建物外周に鉄骨ブレースを入れ、露出している構造柱には炭素繊維で巻き付け補強して耐震性を向上させている。ブレースはそのままと無骨な印象があるので「く」の字型に配置し、外壁も全面ガラスのファサードに改修し、ブレースに沿ってLED照明を設置するなど外部から見てもデザイン性のあるものに仕上げている。改修工事によりIs値は0.65に改善されている。

写真4. 千代田区「Uビル」



写真5. 千代田区「N大学校舎」



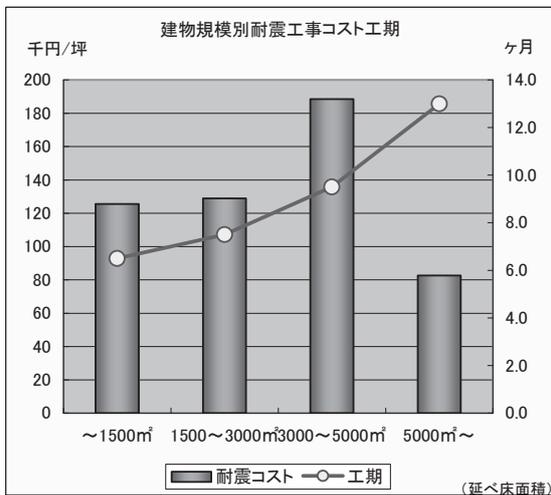
注) ラインは免震スリットの入っている箇所を示す

写真5. は1959年に建築された大学の校舎であり、耐震工法と免震工法とを併用して耐震性を向上させている。耐震については鉄骨ブレースを設置し、免震については建物の3階と4階の間を切断し、免震ゴムを装着してある。更に反力壁と粘性ダンパーも装着してこれらの装置が複合して免震効果を上げるように工夫されている。築年数は古いが大学校舎ということで工事施工するだけの天井高に十分な余裕があったために採用できた工法である。

### 5-3-3 耐震改修工事費

前記実例はリニューアルと併用しているために耐震改修工事費のみの金額は定かではないが、東京都の統計によると一般的な耐震改修工事費は坪当たり120~200千円となっている。また、その工期は建物規模別に異なるが、長くても1年程度で完了しているようである。ただし、この工事費は耐震補強であり、制震や免震といった高度の技術を必要とする場合には更に高額となる。

図15. 建物規模別耐震工事費及び工期



出所: 東京都都市整備局「ビル・マンションの耐震化読本」

## 6. 建物耐震化の投資効果

上記のように耐震対策措置を行った建物は資産価値が変化するのであるか。投下された資本の額が多くなるのだから上昇すると考えるのが順当であろうが、その上昇は何に起因するのであるか。これらがこの項での検討テーマである。

### 6-1 適用手法と計算要素

複合不動産の価格評価には原価法と収益還元法とがある(他に取引事例比較法もあるが、比較が困難であることから実務上は使われない)。原価法は投下資本の額に依存するので資本投下量が多ければ積算価格は上昇することになるが、市場の評価と一致するとは限らない。収益還元法には直接還元法と DCF 法とがあり、直接還元法は純収益を還元利回りで除し、DCF 法は各期のキャッシュフローを割り引いて価格を求めるもので、価格の変動は分子である収益(賃料)と分母である還元利回り乃至は割引率の変化に依存する。市場での取り引きは収益に着目して行われることが通例なので、投資採算を計るには収益還元法を活用することが実情にあっている。

直接還元法の基本式は下記の通りで、耐震改修後に分子と分母がどう変化するかによって価格変化の方向性が決まってくることになる。

直接還元法の仕組み

$$\text{旧耐震のビルの価格: } V = \frac{a}{y_f + y_p - g}$$



$$\text{耐震化後のビルの価格: } V_s = \frac{a + \delta}{y_f + (y_p - y_l) - g}$$

$a$ : 費用控除後純収益     $\delta$ : 賃料等上昇額  
 $y_f$ : リスクフリーレート     $y_p$ : リスクプレミアム  
 $y_l$ : 流動性リスク     $g$ : マクロ的な成長率

まず、分子である賃料であるが、建物の耐震性能に関心の高い現在、改修前と後とで全く変化がないとは考えにくい。ではどの程度変化するのか。テナントが耐震性のあるビルに移転を計画する場合、多少の賃料の上昇は容認するであろう。しかし、実際の負担は賃料上昇分だけではなく、坪当たり4千円程度の原状回復費用を含んだ移転費用<sup>19</sup>が必要である。したがって、テナント側としては移転しなくとも耐震改修により安全性の高いビルになるのであれば移転をしないでセーブできる移転費用の範囲内での上方修正の可能性はあって良いのではないか。東京23区内の共益費込みの平均

<sup>19</sup> 原状回復費+移転先造作費+移転諸費で100千円/坪とし、これを2年間で償却する前提の計算

賃料を坪当たり16千円とすると4千円はその25%になるが、そこまでいかなくとも交渉費用や継続賃料の粘着性から保守的に見て5~10%程度の上昇余地があると考えるのが妥当であろう。

次に分母となる還元利回りであるが、耐震化によって非耐震の建物よりも市場での流動性が高まると考えられる。これを数値に置き換えるのは難しいが、一例としてニッセイ基礎研の調査<sup>20</sup>によるREIT物件のPML値の差による還元利回りの格差を参考にすると0.2~0.3%程度の低下は合理的な範囲内であろう。

### 6-2 直接還元法による査定

以上を前提に直接還元法による簡単なシミュレーションを行ってみた。想定する不動産の所在地は環状5号線から環状6号線の間にある賃貸ビル乃至は賃貸マンションで、新耐震基準直前に建築された現在でも十分に使用に耐え取り壊すまでもない状態を考える。条件細目は下表の通り。なお、簡単化のため、リニューアル投資は別途行うものとしてこの計算からは切り離し、空室率や経費変動についても見込んでいない。

表5. シミュレーション前提条件

計算前提条件		(¥1,000)
土地面積	180坪	建物現価 360,000
容積率	400%	積算価格 1,260,000
建物延床	720坪	耐震投資率 15%
建物専有	612坪	耐震化投資 <b>108,000</b>
賃料共込	14千円	残存耐用年数 30年
年間収入	99,878	年間負担額 3,600
土地単価	5,000	PML値 25%
土地価格	900,000	復旧費用見積 180,000
建物再調達	1,000	Is値による検証
再調達価格	720,000	Is値不足 0.3
総耐用年数	60年	Is値向上単価 60千円
経過年数	30年	Is値投資総額 110,000

その結果、還元利回りの水準を5.5%と想定すると、現状評価は収益価格で1,271百万円と査定された。これにケース1~5までの様々な条件を与えて計算すると、賃料が5%上昇するか、還元利回りが0.3%低下すれば投資回収は可能であることがわかる。実際にはどちらか一方だけが変動する

<sup>20</sup> ニッセイ基礎研：不動産投資レポート「オフィスの地震リスク評価(PML値)と賃料・利回り」  
[http://www.nli-research.co.jp/report/misc/2011/fud\\_o110622.pdf](http://www.nli-research.co.jp/report/misc/2011/fud_o110622.pdf)

ことは考えにくいのでケース3. 以上の効果はあるであろうと推定される。

表6. 直接還元法による計算結果

	直接還元法 (¥M)					
	現状	Case1.	Case2.	Case3.	Case4.	Case5.
rent/utility	100	100	105	105	107	105
OperationCost	30	30	30	30	30	30
SeismicCAPEX		4	4	4	4	1
NCF	70	66	71	71	73	74
Cap-rate	5.5%	5.5%	5.5%	5.3%	5.2%	5.3%
Valuation	<b>1,271</b>	1,206	1,297	1,345	1,410	1,391
Value-up		-65	25	74	139	120
Value-up-rate		-5.1%	2.0%	5.8%	10.9%	9.4%
条件1.		耐震化追加投資108M 残存耐用年数30年一年負担3.6M				同左 年負担1.2M
条件2.			賃料収入5%増加		同左7%	同左5%
条件3.				Cap-rate ▲0.2%	Cap-rate ▲0.3%	Cap-rate ▲0.2%
条件4.						補助金 2/3

ケース4. の効果が予想されるなら、価格上昇分は改修前評価費で10%以上の増価となる。また、ケース5. のように耐震改修促進法による補助金を考慮に入れるなら、賃料の5%の上昇、還元利回りの0.2%の下落で同様の投資効果があると計算される。

### 6-3 DCF法による査定

直接還元法でおおよその効果は判明したが、この手法の欠点としてキャッシュフローの時間効果を十分に反映できないところがある。それを補うのがDCF法であり、以下でこの手法を適用してその効果を検証する。

DCF法の計算方法は下記の通り、各期の連続するキャッシュフローをその期の割引率で個別に割り引き計算していくことにあり、キャッシュのインフロー・アウトフローの時期の相違による現在価値の差を反映できるところにある。

DCF法の仕組み

$$V_{DCF} = \sum_{k=1}^n \frac{NCF_1 + NCF_2 \cdots NCF_n}{(1+y)^k} + \frac{RP}{(1+y)^n}$$

$$\text{復帰価格: } RP = \frac{NCF_{n+1}}{R_{terminal}}$$

$$\text{割引率と還元利回りとの関係: } R = y_f + y_p - g$$

還元利回りと最終還元利回りの関係:

$$R_{terminal} = R + y_{pricedown} + y_{cfpredicton} + y_{ask} (\because R_t \geq R)$$

### 6-3-1 補助金を考慮しない場合

直接還元法による結果をベースにして、これをDCF法で計算して結果を検証する。計算条件は右の通り、2年目前半で工事に着手し、3年目からは全面稼働を想定している。適用する割引率は直接還元法で適用した還元利回りとのバランスから5%とし、最終還元利回りは5.4%とした。キャッシュフローは表7.の通りで投資効果は20百万円と査定された。これは収益変動条件が同じである前記のケース3.よりも効果は小さいが、現在に近い時点でキャッシュアウトが発生するとしているためその負担が期間中の均等負担で計算する直接還元法よりも大きいことによるものである。

計算前提シナリオ (耐震改修により使用継続)	
改修前Valu	1,271・・・A
改修投資	108
工期	6ヶ月
改修時期	2年目前半
D-Rate(y)	5.0%
T-Rate(Rt)	5.4%
10年目現価:	0.614
収益増加率	5%
CAPEXは耐震改修費のみ	

表7. DCF法による計算結果

DCF法(耐震改修・補助金考慮外) (xM)										
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
rent/utility	100	50	105	105	105	105	105	105	105	105
OperationCost	30	15	30	30	30	30	30	30	30	30
SeismicCAPEX	0	108	0	0	0	0	0	0	0	0
NCF	70	-73	75	75	75	75	75	75	75	75
Discount-CF	67	-66	65	62	59	56	53	51	48	46
Σ Discount-CF	439・・・① 注1) 簡単化のため空室損失は考慮外とする(以下同じ)									
Terminal-Value	852・・・② 注2) 改修工事年度は5割程度の稼働と想定(以下同じ)									
DCF-Value	1,291・・・B=①+② 注3) 工事完了後も運用経費には変更無いものとする(以下同じ)									
Value-up	20・・・B-A 注4) 改修により賃料は5%UPを想定									

### 6-3-2 補助金を考慮した場合

同条件で補助金を考慮した場合を計算してみる。補助金率は立地によって変動するので一応耐震改修促進法による2/3と想定した。この場合には、バリューアップには届かないが、賃料上昇を全く考慮しなくともある程度の投資効果があると計算された。ちなみに5%の収益上昇を見込むとバリューアップの効果は81百万円

計算前提シナリオ (耐震改修により使用継続)	
改修前Valu	1,271・・・A
改修投資	108
補助金率	66%
工期	6ヶ月
改修時期	2年目前半
D-Rate(y)	5.0%
T-Rate(Rt)	5.4%
10年目現価:	0.614
収益増加率	0%
CAPEXは耐震改修費のみ	

になると試算された。

表8. DCF法による計算結果(補助金有)

DCF法(耐震改修・補助金考慮) (xM)										
	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目
rent/utility	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100
OperationCost	30	15	30	30	30	30	30	30	30	30
SeismicCAPEX	0	108	0	0	0	0	0	0	0	0
Subsidy	0	0	71	0	0	0	0	0	0	0
NCF	70	-73	141	70	70	70	70	70	70	70
Discount-CF	67	-66	122	58	55	52	50	47	45	43
Σ Discount-CF	472・・・① 注1) 改修工事年度は5割程度の稼働と想定									
Terminal-Value	795・・・② 注2) 補助金は工事完了翌年度に交付されるものとする									
DCF-Value	1,267・・・B=①+② 注3) 賃料は超保守的に現行水準として試算									
Value-up	-5・・・B-A 注4) 賃料UP5%ならばValue-upは81Mと試算される									

### 6-4 投資効果まとめ

以上は想定条件に基づく概算計算であり、正確性は保証できないが、耐震性の有無と資産価値とが無関係ということはあり得ない。たとえば日本不動産研究所が2011年4月に実施した投資家調査によると耐震性のある建物の評価が上がったと答えた投資家は58%に達しているという結果からも耐震性の有無がこれまで以上に価格決定の重要なファクターになることは間違いないであろう。

問題は耐震性を向上させることによって賃料、還元利回り等の価格決定要素のどれがどの程度変動するかである。それによって資産価値の変動の程度が決定されてくる。残念ながら現時点ではそのような調査データは存在しないので上記のような条件設定によるシミュレーションを行ったが、これを正確なものにしていくためには今後、市場で取り引きされる不動産の価格や還元利回り建物耐震性スペックとの関係について注意深く観察を続けていく必要がある。

以上

(参考文献)

守屋喜久夫「新編地震災害と地盤・基礎」鹿島出版会  
今村遼平「安全な土地の選び方」鹿島出版会  
大崎順彦「地震と建築」岩波書店  
五十嵐永吉他「図解建築用語辞典」実教出版  
田村重四郎「地盤と地震被害」山海堂  
東畑郁生他「地震と地盤の液状化」インデックス出版  
池田俊雄「わかりやすい地盤地質学」鹿島出版会  
若松加寿江「日本の液状化履歴マップ」東京大学出版  
國生剛治「液状化現象」鹿島出版会  
直井正之「住宅基礎の地盤」建築技術  
斉藤大樹「耐震・免震・制震の話」日刊工業新聞社  
応用地質 KK「それでもピサの斜塔は倒れない」幻冬舎  
「エンジニアリングレポート作成にかかるガイドライン」BELCA/BOMA  
「日本の地質 3. 関東地方」共立出版  
「理科年表 H23 年版」東京天文台  
「AERA」11. 7. 4 号朝日新聞出版  
「週刊ダイヤモンド」2011. 6. 11 ダイヤモンド社  
「日経ビジネス」2011. 5. 9 日経 BP 社  
「日経サイエンス」2011/6 号 日経サイエンス社  
「Newton」別冊 2011. 7. 15 ニュートンプレス  
「BELCA」2010/3 (社)建築設備維持保全推進協会

東京都土木技術支援・人材育成センター「東京都液状化予測図」「地質断面図」  
<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhu/03index.html>  
産業技術総合研究所「Quake Map」  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2009/pr20091013\\_2/pr20091013\\_2.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20091013_2/pr20091013_2.html)  
防災科学技術研究所「強震観測網」  
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/cgi-bin/>

(参考 URL)

「地震危険度指標に関する調査研究」損害保険料率算定機構  
[http://www.nliro.or.jp/disclosure/q\\_kenkyu/No01\\_A.pdf](http://www.nliro.or.jp/disclosure/q_kenkyu/No01_A.pdf)  
国土交通省「国土地盤情報検索サイト」  
「kunjiban」  
<http://www.kunjiban.pwri.go.jp/jp/>  
国土地理院「都市圏活断層図」  
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/bousai/menu.html>  
国土交通省「ハザードマップポータルサイト」  
<http://disaportal.gsi.go.jp/>