

リスクマネジメントと免震建物

耐震工学研究会 2004 年 12 月 21 日講演レジュメ

ABS コンサルティング EQE デイビジョン

川合廣樹

はじめに

1994 年 1 月 17 日アメリカ西部ノースリッジで M6.7 の地震が発生した。

高速道路が倒壊など、大被害がもたらされた。「我が国の高速道路は倒壊しません」と公言した学者もいた。翌年奇しくも同じ 1 月 17 日兵庫県南部地震が発生し、6400 人以上お死者と 10 兆円を超える被害が発生した。そして、阪神高速道路は倒壊した。

本年 11 月 23 日 M6.8 の新潟中越地震が発生し 50 人以上の死者が出た。この三つの地震と地震被害から、残念なのは地震被害軽減に対して我が国、自治体そして企業の取り組みが、まだまだ、後手に回って効果を上げていない、ことへのもどかしさである。

リスクとリスクファイナンス

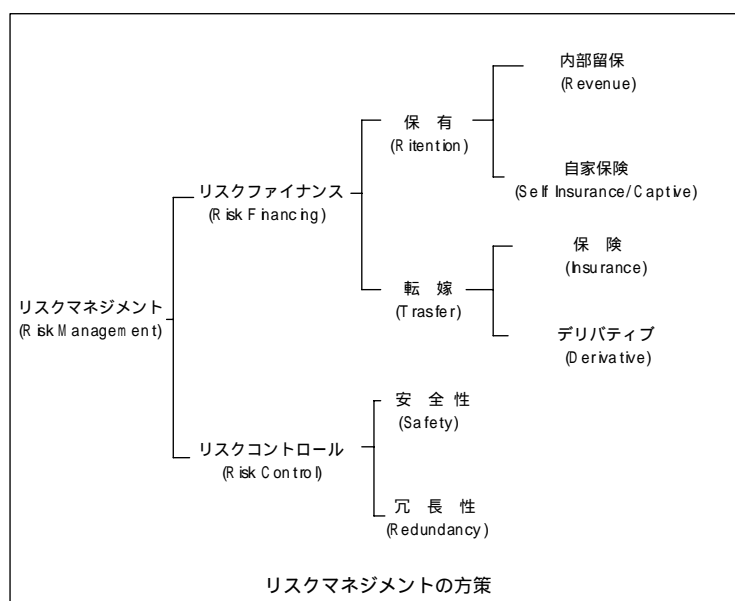
最近、新聞を始めマスコミュニケーションにリスクと云う文字がかつてより頻繁に見かけるようになった。日本は長い間、とはいえ 1990 年以前の長い間と云うべきであるが、右肩上がりの成長を続け、国際的には日米安全保障の枠組みの中で、リスクのフリーな成長を持続してきた。10 数年前ベルリンの壁が突然取り除かれ、米ソの冷戦構造が崩壊した。同時期に、日本の工業製品が世界に売れすぎたために、ニューヨークプラザホテルでの国際会議で円の対ドルレートが約倍に切り上げられ、国際的に 100 円が 200 円の価値を持ってしまった。一瞬にして金持ち日本になりバブルが起きた。当然の方策として、金融システムの引き締めがなされ、バブルははじけた。気が付けば、日本中金融リスクとコンプライアンスリスクが発生し、1995 年 1 月 17 日には阪神・淡路大震災が発生した。狂牛病、O157、大型倒産が毎日の新聞紙上をにぎわせている。

リスクはすべからく回避したり、軽減したりすべき事は分かっているが、予測しがたいか、或いは多寡をくくるうちに、また確たる対策を講ずる前に突然起きてしまっている。20 世紀は科学・技術の世紀といわれ、人々は自然災害や病苦にうち勝ってきた。それでもなお、大洪水や大地震に対して人間は無力と云わざるを得ない。リスクと云う言葉には、危険であるが予測しがたいという事態であり、不確実性をともなう。地震について考えると、地球の営みの時間が数億万年というゆっくりとした流れであるのに対し、人間の歴史は僅か数十万年に過ぎないこと、ことに知識としての科学や技術を身につけ

てから 100 年の我々にとって、自然災害は驚異以外の何者でもない。今回のやさしい知識は、リスクとリスクに対処する方法に付いて説明を加える。

リスクとリスクマネジメント

マネジメント(Management)にはおおよそ、「人、もの、金をうまく使う或いは、使いこなす」と云う意味がある。一方リスクは本来不確実なものでその結果もまた、予測しがたい側面がある。この様な、不確実で結果に巾のある対象(損害をもたらす)をマネジメントするのが、「リスクマネジメント」である。一般的に、リスクマネジメントは下図のように、リスクコントロールによって、人為的に推定リスクを軽減するか或いはリスクファイナンスして、実害をヘッジするか、あるいは両者の組み合わせで最良の方策を選ぶ事である。また、危険事情の緩和として(Mitigation)という言葉がリスクマネジメントでは使われるが、建築の地震危険性の緩和は、例えばコンクリートの品質が JIS 規準の規



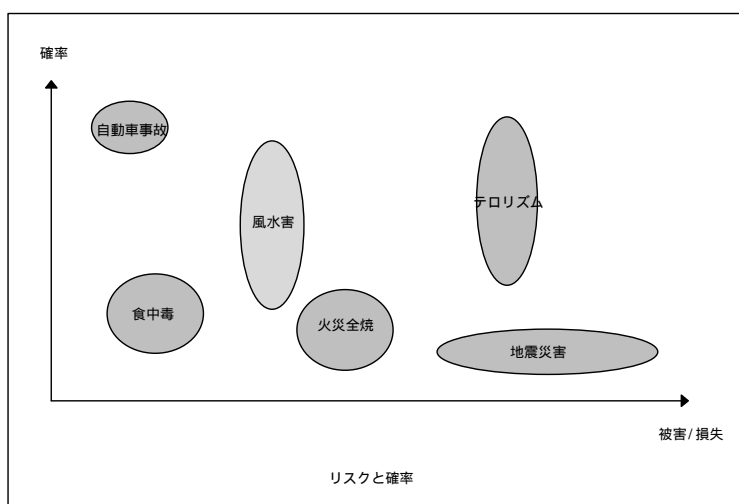
定で一定の水準が維持されていることにより、建物や橋梁の地震損害危険性が緩和されている状況が有れば、ミティゲーションの効果と考えられる。リスクコントロールは危険性を保有する対象の状況改善、例えば建物の耐震改修によって、リスクが低減されることを意味している。人・者・金をうまく使って危険な事情を軽減するのがリスクマネジメントの目的であり、先ず知ること、知るためには過去の事例が一番参考になり、現在の IT からすれば映像、音声、画像および文字情報として膨大な情報を蓄積し、検索する事が出来る。また、意味有る情報を多量に集め確率分析する事は極めて有効なリスクの認知につながり、リスクコントロールおよびリスクファイナンスに強力なリファランス

となる。

リスクの種類と確率

自然災害、人為的災害を含めリスクの発生確率とその損害規模を対応させると図の様に、確率は低い即ち滅多に起きないが、もし起きてしまうと、被害が甚大になるものと、頻繁に発生するものの、被害の程度は低いものが分布する。現代社会のリスクは多種多様であるが、大きく分けると、一度発生すると必ず当事者に損害を与えるリスク即ち自然災害の様なリスクであり、ディフェンシブなリスクといえる。他方は投機リスクの様に損失を伴う可能性もあるが利益をもたらす可能性もあるリスクであり、オフェンシブなリスクといえる。前者を対象にしたリスクマネジメントが今後の課題であり、そのためにリスクマネジメントの必要性がある。リスクと似たような言葉にペリル(Peril)或いはハザード(Hazard)という言葉がある。ペリルは危険が迫っている事態をハザードは認知可能な危険事情を意味している。たとえば、ガソリンスタンドでタバコを吸う様な状況はペリルであり、ゴルフ場の池はウォーターハザードである。

下図の様に、発生確率と損失の大きさをプロットすると、リスクの概念が理解される。何れにしても、リスクは不確実であることにおいて、潜在的な危険事情である。



リスクファイナンスの可能性

一般的にリスクファイナンスは保険を意味している。保険の原理はいわゆる「給付・反給付」といわれるファイナンシャルな原理が働く。単純に保険を買う(付保する)人の数を n として、その人が支払う保険料を P とする。一方事故に遭う人の数を r とし、事故による補填金額即ち保険金を Z とすると。

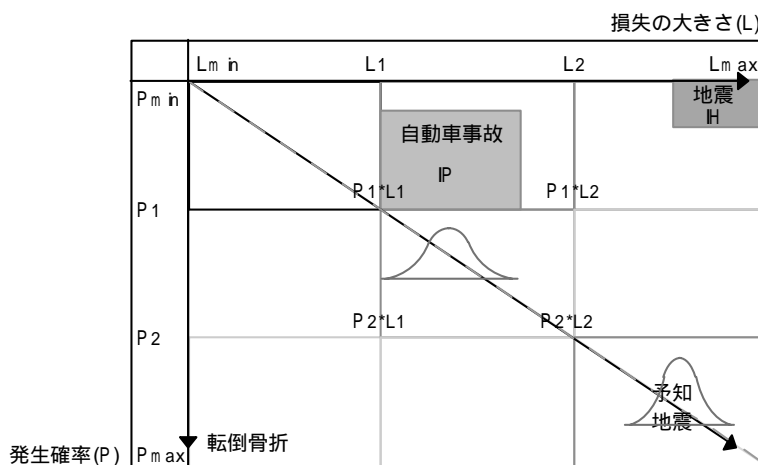
$$nP=rZ \quad (1)$$

がバランスしていなければならない。ここで、この式を変形して、

$$P=\frac{r}{n}Z \quad (2)$$

とすると、もし $P > (r/n)Z$ で保険が設計されると高額な保険として保険加入者が減少する。反対に $P < (r/n)Z$ なら大勢の人が保険に加入する。但し保険を受ける側は事故発生により破綻する可能性が高くなる。この原理から考えると、保険の設計は極めて困難な(ナローパス)金融上の仕組みを組み立てる必要が出てくる。リスクファイナンスの難しさは、この様な保険を付ける側(掛手)と、受ける側(受手)のインタレスト(指向性)の逆行性ととも、双方にいわゆるダウンサイドリスクが伴うことである。ダウンサイドリスクとは、「下ぶれ危険」ともいわれ、予想を超えた保険金支払い可能性或いは思った以上の保険金が受け取れない事態の発生を意味する。地震損害保険では主に、受手のダウンサイドリスクが問題となる。リスク発生の確率およびその損失の多寡は不確実性を伴うもので、この結果当然下ぶれ危険が伴う。特に地震のような巨大な損失を発生させる災害では、確率の低い部分に比べ、確率の高いゾーンの損失発生のバラツキが大きくなる。一般的に、このゾーンの保険対象者の数が大きくなり、 $r*Z$ が大きくなる。さらに、付保率の低い状況で一件当たり極端に多額な保険を受ける場合、その発生確率が極めて低くても保険を受ける側のダウンサイドリスクが大きくなる。この事態を防ぐために、協調保険引受けや再保険或いは再々保険のシステムがある。何故、ダウンサイドのリスクが発生するか。

図のように、事故発生確率或いは式(2)の (r/n) と損失の大きさを2軸で対応させると、



以下の様な事がいえる。

ゾーンが($< P1, < L1$)の範囲では明らかにリスクを保有すれば良く保険の必要がない、予知された地震のリスクのようにゾーンが($> P2, > L2$)では、リスクの回避を選ぶしか方法が無い。また、ゾーンが($> P1, < L1$)ならばリスクを保有して発生時に対応すればよい、唯一($< P1, > L1$)即ち発生確率が低く、損失が有る程度以上の場合に保険というリスクの転嫁の方策が考えられる。但し、保険を受ける側(保険会社)は、ゾーンが($> P1, > L1$)側に下ぶれを起こす場合の危険性を考える必要がある。このために、再保険を含めて、 n が巨大(大数の法則)な範囲で給付・反給付の原則が成立する必要がある。

日本の地震損害保険は、2通りあり。一般の住宅を対象とする政府が保険受手のダウンサイドリスクをヘッジする(約 4.2 兆円)家計向け保険と、企業向け保険である。企業向け保険市場は、政府の準備金使用が認められないので受手のリスクは再保険市場の動向に大きく左右される結果保険料が変動する。保険料を支払うコストは企業経営上の判断に任せられる。多額なリスクを抱える企業は投資か即ち株式市場から低い評価を受ける事になる。企業の地震リスクに対する評価は日本ではあまり厳密ではないが、海外からの投資家からは厳しく評価される。

デリバティブ

金融市場が未整備な時代では、保険の受手の最終責任者(アンダーライター)は個人の全財産を提供するようなダウンサイドリスクを被った。1912年処女航海で沈没事故を起こした44,000トンの豪華客船タイタニック号の場合は、約80名のアンダーライターがそれぞれ、400~75,000ポンドの保険金を保証していたが、合計140万ポンドの保険支払いに応じなかったアンダーライターは一人もいなかった。当時のアンダーライターは自らが給付・反給付の原則を守る義務があった。また、その義務履行が保険のクレジットになっていた。保険はこの意味で、一つの先物取引であるといえる。たとえば、一件の保険料 $P=10,000$ 円で、 $Z=100,000,000$ 円の保険金を保証する事は、保険の受手と保険の掛手は $r/n=1/10,000$ の確率即ち、1万円と引き替えに0.0001の確からしさの1億円(いうリスク)という将来価値金融商品の取引をする事になる。

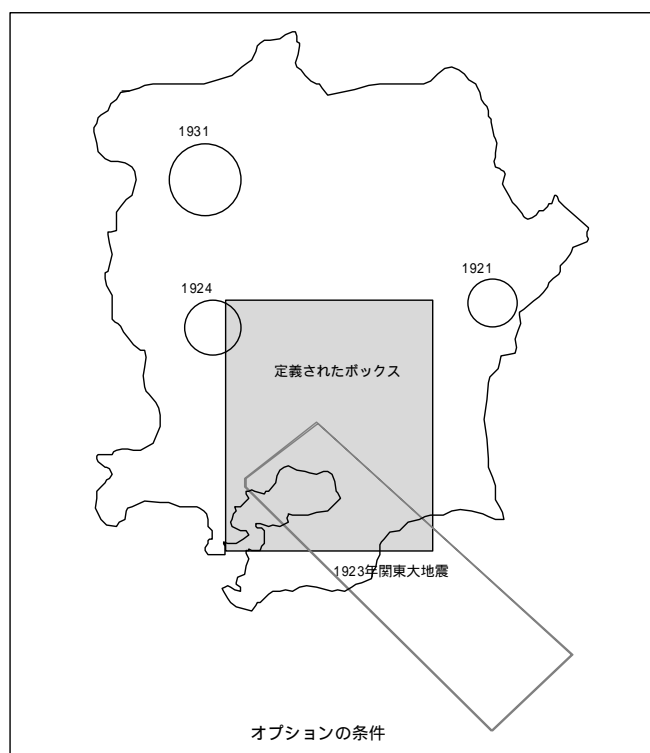
最近の様に、世界をネットワークした金融市場が成立していると、新しいリスクヘッジ(リスクファイナンス)の方法として、金融派生商品(デリバティブ)が地震リスクの分野でも出現している。デリバティブには様々な形態の取引があるが、たとえば、オプションと呼ばれる商品として地震保険のいわば準備金(一種の再保険)の取り込みのデリバティブがある。この事例はデリバティブのオプションと呼ばれる取引である。通常オプション

とは、

定められた期間に
特定の金融商品を
前もった取引条件で
取引をする。

金融商品である。例えば、

2002年12月1日から10年間に
特定目的会社(SPC)が発行する契約条件の金融商品を
関東エリア(厳密に緯度・経度で定義された)に、マグニチュード7.9以上の地震が発生したら、全額を同じく6.4以下なら没収免除し、中間は等勾配で没収という条件で、
100億円の預託金を金利年8%で取引する。



様な、商品である。このデリバティブは一般の世界の金融市場の動向には左右されない、あくまでも地震発生という自然現象に依存している商品として、投資家からは、金融取引の危険分散効果がある。また、商品を売る側は地震発生と同時に地震損害保

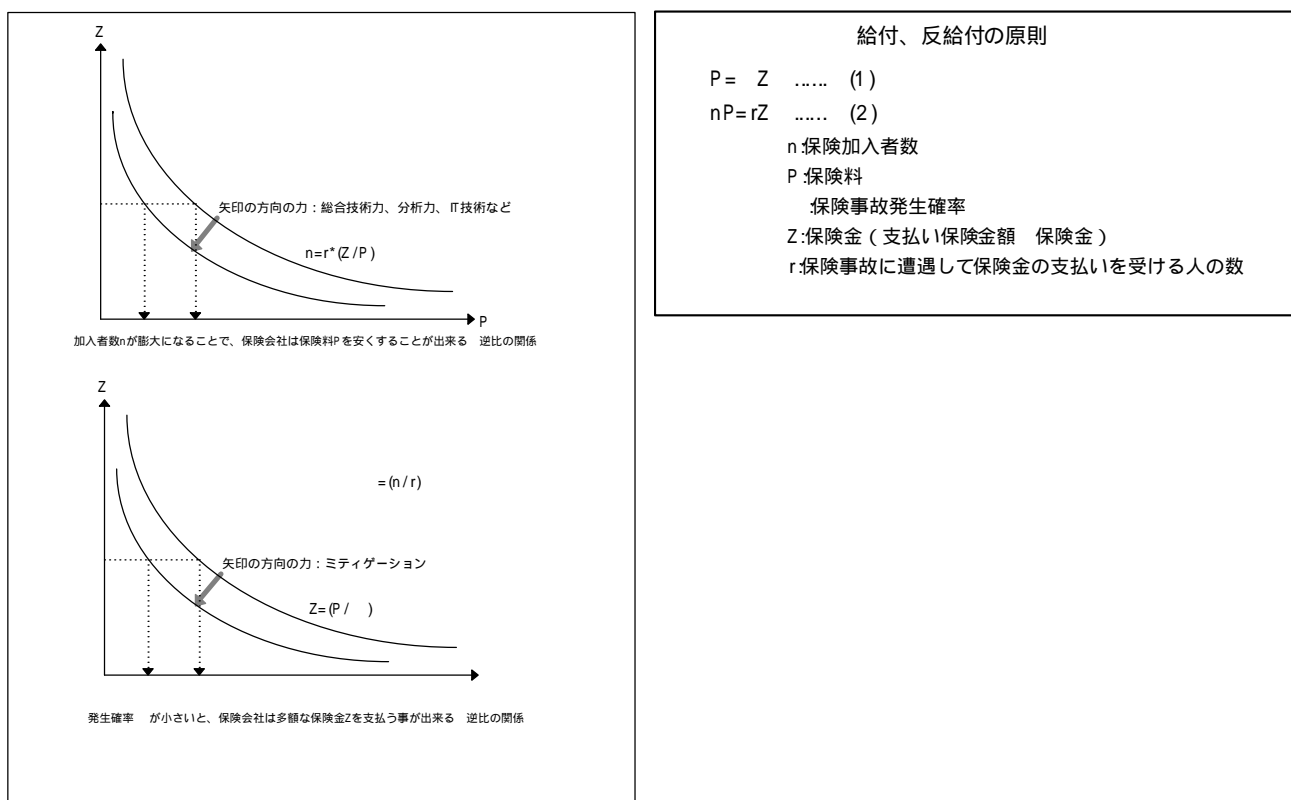
険のリスクヘッジ資金として預託金を即座に取り込めるメリットがある。このようなデリバティブは地震ばかりではなく、異常気象によって発生するリスク、例えば清涼飲料会社のためには、天候デリバティブがある。世界の巨大な金融市場から取り込めるリスクファイナンスとして今後様々な商品が開発されて行くものと考えられる。

地震災害におけるリスクファイナンスとミティゲーション

地震のような巨大災害の保険を妥当な取引(費用対効果の高い)として成立させる為には先に述べた様に、危険事情の緩和をミティゲーションの効果によって全体の(ポートフォリオ)損失軽減が必要である。MITIGATE: 怒りを鎮めるという原義がある。古くは、自然災害に対し人間は抵抗するよりは鎮めようとしてきたのではないだろうか。それほど、自然のもたらす災害には人間は長い間、無力であった。最近になり、ダムを造り堤防を築きながら、自然の力を緩和し鎮めてきた。それでもなお河は氾濫し堤防は決壊した。阪神・淡路大震災では10兆円の資産の損失と6400人を超える尊い命が失われた。1000年に一度の断層破壊といわれるが、渦中の人々にとってはたった一度の生であったはずで、かけがえの無い命であった。人間は狩猟採集時代から農耕時代にそして産業化社会を築き20世紀は正に産業革命がもたらした、技術の時代であった。人間はまた鉄やアルミニウム或いはコンクリートのような材料を利用発明し、クレーンやジャッキのような倍力機械を手に入れた。この結果自然災害に対し安全な超高層ビルや大型ダムの建設が可能になった。それでもなお、大災害を防ぐことは出来ないのが実体である。ここに、自然災害に対して損失を防ぐのではなく、緩和する技術を使って決定的なダメージを受けない知恵が必要になってきた。この知恵をミティゲーションと総称している。リスクを軽減する事はリスクマネジメントの上で、先ず考慮しなければならない目標である。リスクを軽減するために、先ずリスクを発見し定義しなければならない。次に、リスクの定量化が必要になる。リスクエンジニアリングは定量化されたリスクを如何にコントロールするかの方策を意味している。ミティゲーションは、マクロに見た発生損失の軽減方策であり図-6のように保険システムの給付・反給付の原則においても重要なムーブメントと云える。ミティゲーションの進行によりより低額な保険料でより高額な保証が得られる事になる。保険料は定義された発生確率による年間損失期待値であるから、損失額がミティゲーションにより低減されれば、 $r*Z$ の総額が低減される。このことは、とりもなおさずPが低く押さえられる事を意味している。

企業の地震災害対応の可能性

日本の企業の地震災害に対する取り組みはリスクコントロール或いはファイナンスとも十分とは云えない。東海地震或いは、南関東大地震が発生すると、阪神・淡路大震災の数倍規模の損害が発生する。特に関東地区にはあらゆる基幹産業及び国の中枢が集中しているから、物的損害ばかりではなく業務中断損害を含めると 100 兆円を超える損害が発生する。特に、リスクコントロールは阪神・淡路大震災以後も耐震改修が余り進んでいない現状をみても、時間のかかるリスクマネジメントである。この点、リスクファイナンスは、コストをかける意識があり、費用が負担かのようにすぐにも対策可能なリスクマネジメント



トといえる。一般的に、家屋の通常の火災による全焼の確率は、むしろ地震発生による全損確率より低いと云われている。住宅の火災保険の付保率は極めて高いにもかかわらず、地震損害保険の付保率は未だに十数パーセントに過ぎない。阪神・淡路大震災を経験してもなお地震はめったに起きないもの、まして自分の生存中には起きないと思っ込んでいるふしがある。今後、新しい地震損害保険商品が開発され、十分なりスクファイナンスがなされることを期待したい。

物流倉庫に対する試み

プロロジスジャパンが計画している大阪市南港地区の物流倉庫の地震危険性の最小の建物システムの提案をする。提案のシステムは、免震建物でプレストレストプレキャストフラットスラブ(ビーム)システム架構により、倉庫としての空間効率をあげ、かつ建設工費を低減する。リスクマネジメントの考え方から、費用対効果の比較案として非免震鉄骨架構のケースを取り上げる。

1. 費用対効果の考え方

- ・ 建築基準法における構造設計によれば、極めて稀な地震(レベル2地震)に対して構造架構の損傷を認めている。
- ・ 建築基準法のレベル2地震に対する安全は人命の担保にあり、資産の損傷程度に付いては建物の所有者が決定するべきとしている。
- ・ 現行基準法によれば阪神・淡路大震災(本報告書で定義する500年災害程度)における最も大きな地震強度を受けた建物でも倒壊は免れた但し、建物資産の40%~50%以上の損害を被った。

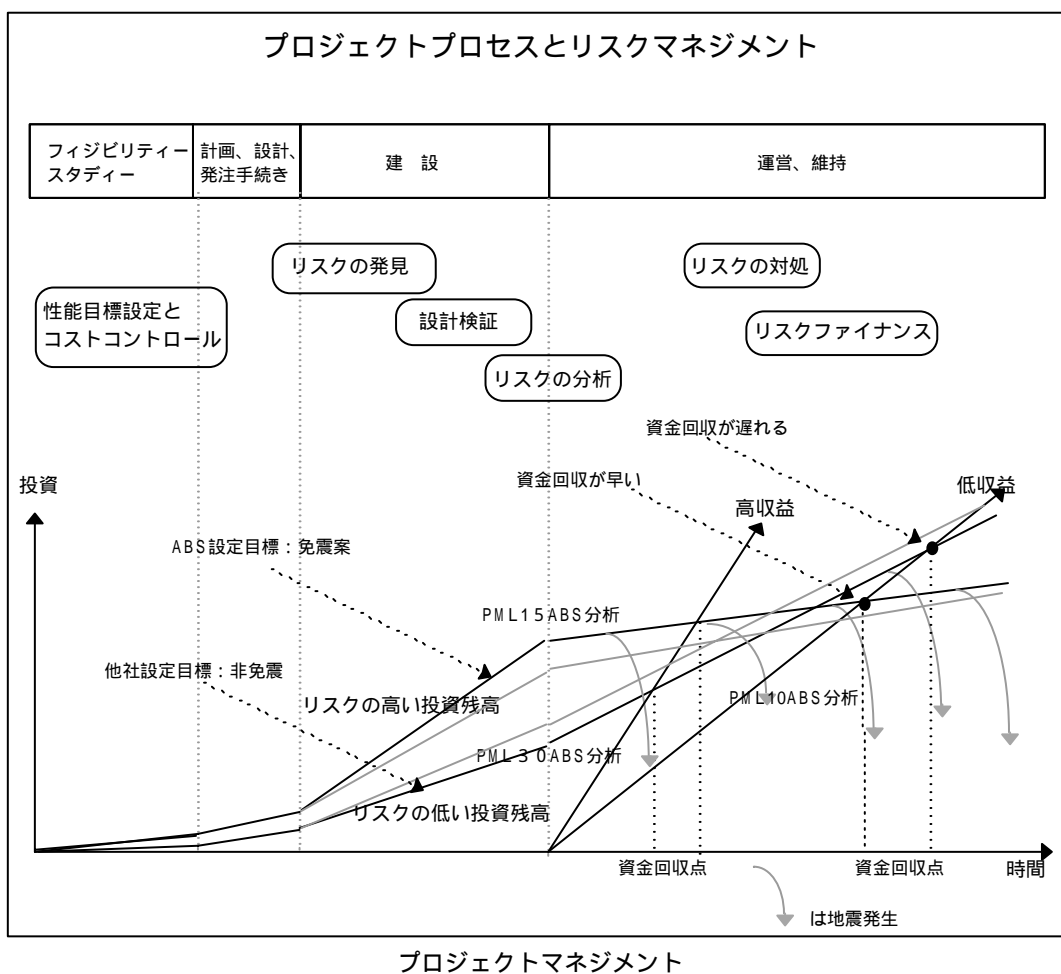


図-1: プロジェクトマネジメントとリスク

- ・ 現行建築基準法に準拠して損傷を最小限にするためには、構造コストを過大に要する弾性設計をすることになる。
- ・ 500 年期待の地震に対しては地震保険などのリスクファイナンスで資産の安全を確保する方が費用対効果から望ましい。

図-1 は一般的なプロジェクトにおける初期投資とリスクファイナンスのあり方を示したもので、長期間保有し比較的採算の低い投資に対しては、初期投資額が多少高めになっても、リスクファイナンスの低い方策を選ぶべき事を示す。地震発生危険性は 50 年 10% 超過確率即ち、50 年間に 90% 発生しない (475 年再現確率) 事を前提としているが、建設直後に発生する確率はゼロではない。むしろ切迫度は南海、東南海地震モデルでは上昇していると考えべき。

2. 非免震鉄骨構造建物の地震リスクとコスト

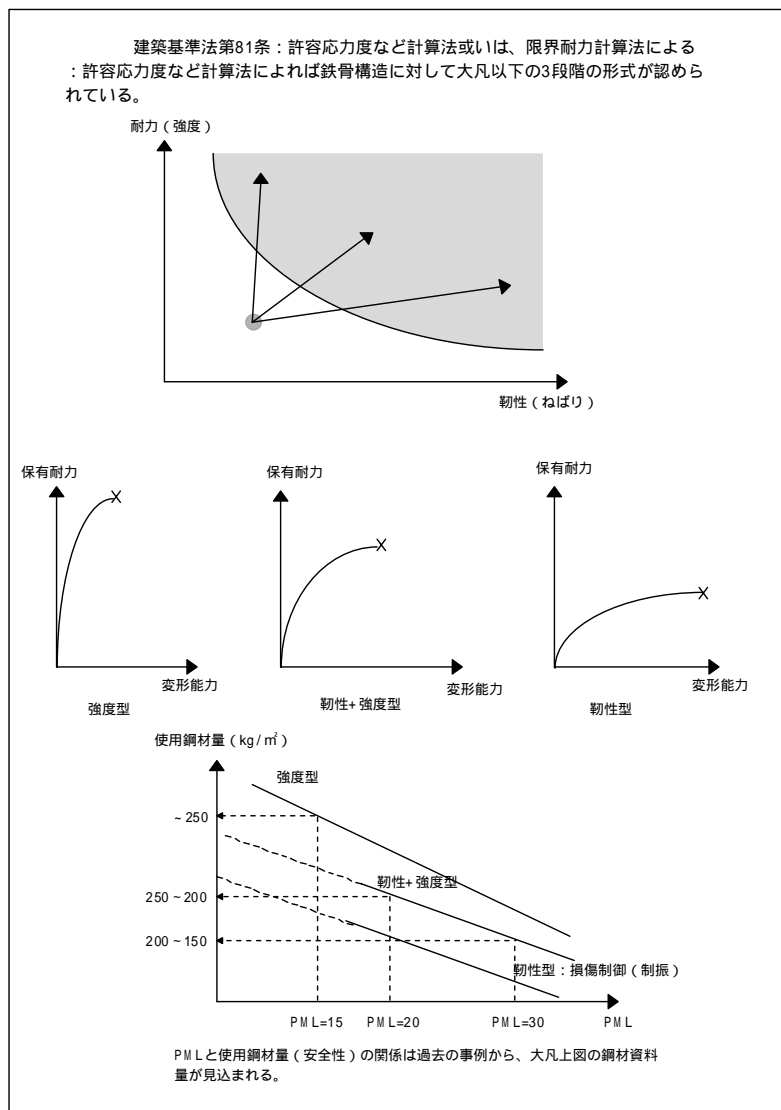


図-2: 建築基準法における耐震性能とコスト

建築基準法における耐震性能の規定が1981年に改正になり、2段階設計方法と動的設計の考え方が取り入れられた。一般的に、上図のような強度型即ち、鋼材を多量に使用して極めて稀な地震(レベル2の地震)に対しても構造体に損傷の無い形式から、のような靱性を重視しレベル2の地震に対して架構の一部に損傷を許容することによって地震エネルギーを吸収し倒壊を免れる形式に分類する事ができる。また、のように、その中間的な構造形式が一般的でブレースとラーメン架構がバランス良く配置

されている構造形式である。建築基準法では特殊な構造形式として、免震構造と制振構造がある。免震構造は建物を長周期化する事によって、地震の作用力を軽減する構造であり、制振構造は制振部材の損傷によって地震エネルギーを吸収する構造である。

3. 対象非免震建物の費用とPML

比較すべき対象建物の構造形式が未定のため、一般的に靱性+強度型の建物を考える。

この形式の構造は多様であるが、物流倉庫のように積載荷重が通常のオフィスの

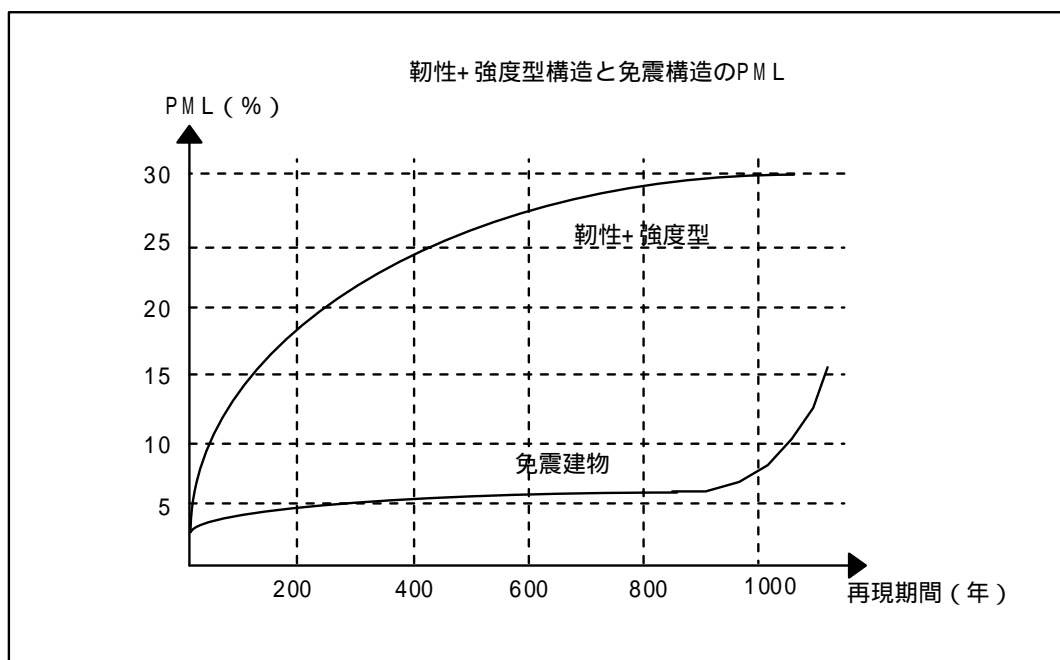


図-3: 靱性+強度型建物と免震建物のPML

5倍有るような建物は、地震に対してのリスクは大きくなる。対象建物はPML20以下を耐震性能の目標としておりその目標達成のためには通常のオフィスに比べ構造コストが割高になる。その傾向を図-2の下段に示す使用鋼材量で表す。

比較対象の非免震鉄骨構造の延べ床面積を13万平方メートルとし、PMLを20以下にするためには、26,000トンの鋼材が必要となるものと思われる。鉄骨の単価15~20万円/トンとすると、39億円~52億円となり予定価格を上回る事になる。現在の約30億

円の予定価格から推定すると使用好材料は 15,000 トン程度と推定される。このような考え方から、経済設計される比較対象建物の現状の非免震 5 階建ての建物の、PML は 26 ~ 30 と推定される。

4. 比較対象建物の地震リスク

PML26 のケースのリスクチャージは、資産価格を 100 億円とすると、¥ 32,500,000 となり、地震保険料はその 4 ~ 5 倍程度と思われるので、10 年間の保険料は、15 ~ 16 億円と思われる。このコストは年間の利益の 10% を超える額になるものと思われる。免震建物は図-3 に示されるように PML は 5 ~ 7 程度でリスクファイナンスの必要が無い。一方、対象建物の地震リスクはコスト(使用鋼材量)と PML の連関によって決定されるべきものと考えられる。図-1 に示されるように投資金額の召還期間によるが 5 年とすれば免震建物のコストは約 8 億円有利であり、10 年とすれば 16 億円有利なる。中間的な構造形式として制振構造による損傷制御構造がある。

5. 制振システムによる損傷制御構造

同じ、靱性型の形式であっても制振ブレースを採用すると、図-2 のように同じ PMI20 でも使用鋼材量が 20 ~ 25% 削減されるものと考えられる。ただし、制振ブレースのコストがかかる。

6. 提案システムの概要

プレテンション PC フラットスラブによる免震構造：

1983 年に住宅の免震建物が建設大臣特認を得て建設されて以来既に 1000 棟を超える建物が免震構造として建設されている。特に阪神・淡路大震災に際し免震建物の優位性が立証され急速に普及している。

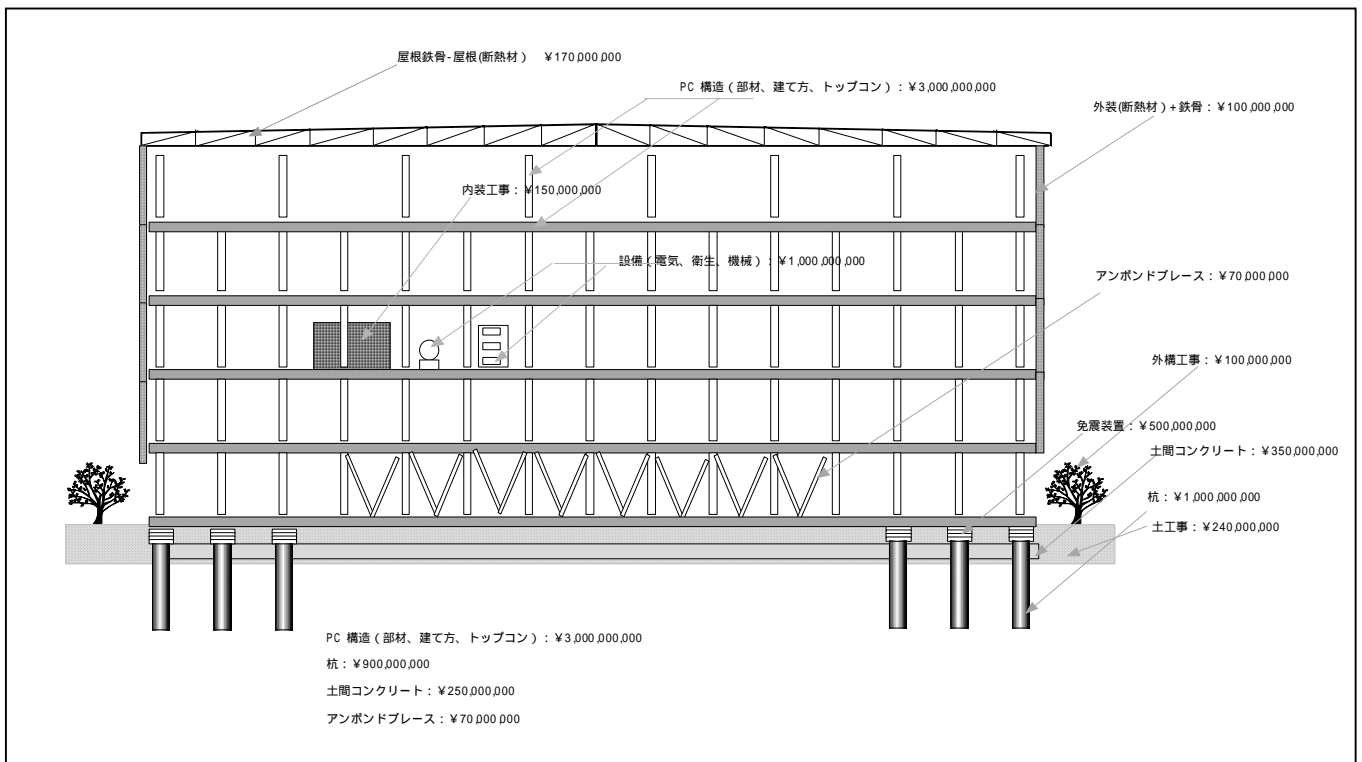


図-4: 提案構造システム

提案する構造システムは2階から上部を工場生産のプレキャストプレストレスト(PC)部材によって現場で組み立てられるフラットスラブ(ビーム)構造とし、1階の基礎部分に図-5のように杭の直上に免震装置を設置する方式である。この構造は多量にPC部品を製作する場合はコストが低下する。

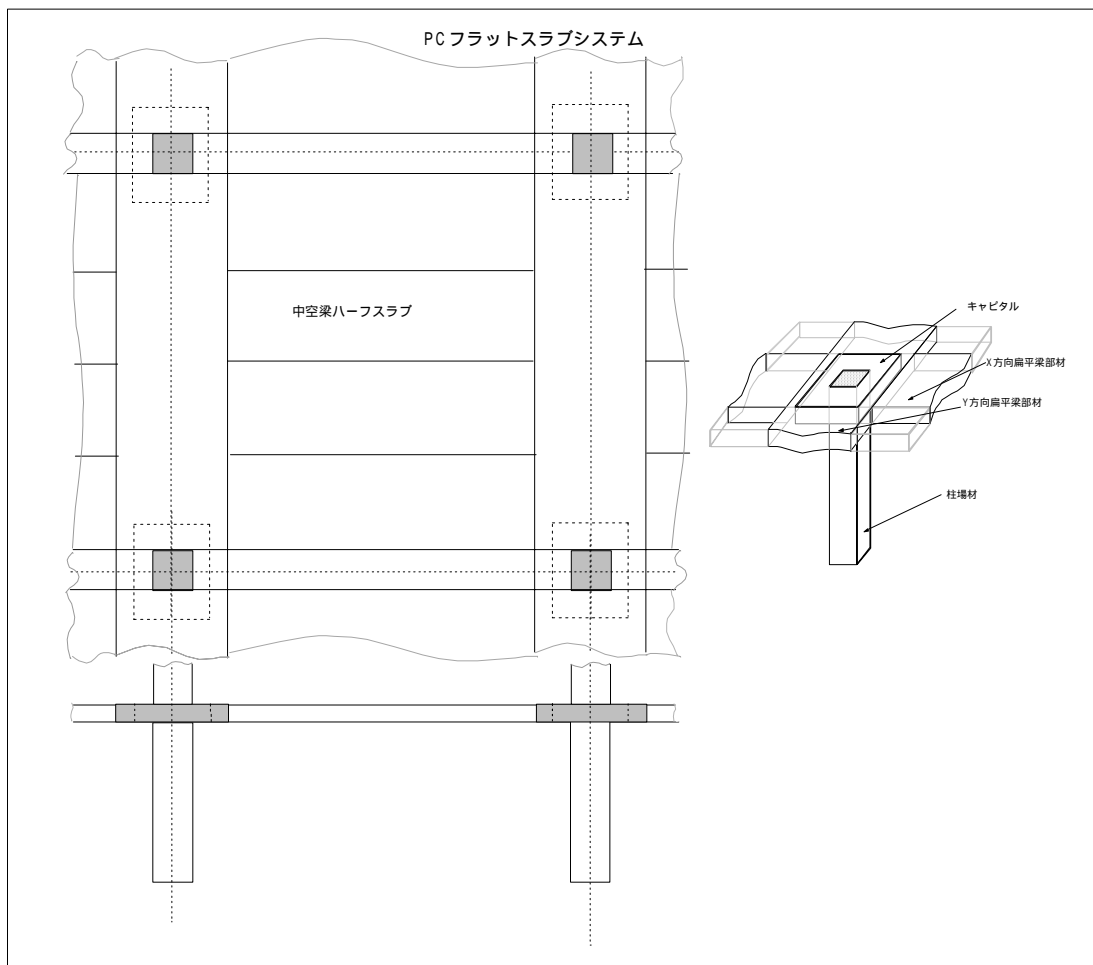


図-5:PC(プレキャストプレストレスト)フラット(ビーム)スラブシステム

PC フラットスラブ(ビーム)システムは扁平な梁と柱によって構成されるラーメン(Rigid Frame)構造で、中空ハーフスラブなどの部材から構成される。専用工場で作製される。最大重量は数トンで長さは10m以下の部材になる。柱部材にはキャピタル部が設けられており梁部材とは圧着工法で現場接合される。

本来地震や風のような横力には抵抗しにくいシステムであるが、基礎部或いは1階柱頭部で免震装置を設置する事により水平力が極端に軽減され、このシステムが構造上計画上可能になる。

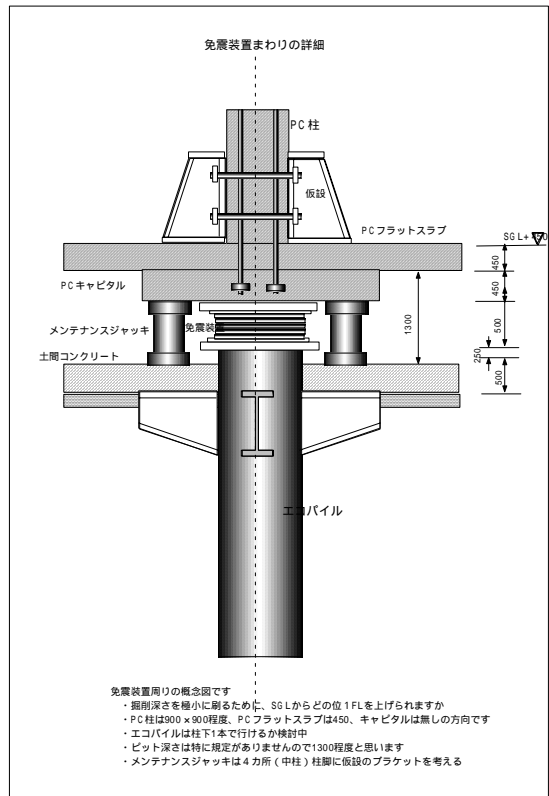


図-6: 免震装置と杭

7. 設計・法的扱い

PC フラットスラブ (ビーム) は現行法規の枠内で確認申請可能、但し免震構造は地震時設計震度を軽減するため、指定機関の構造計算の検証を必要とする。設計に要する時間法的手続きの時間など、スケジュールを示す。

S

指定検証機関の評定・確認 (週)

	1	2	3	4	5	6	7	8
評定資料作成								
構造計算	[Progress bar from week 1 to week 2]							
構造図	[Progress bar from week 1 to week 3]							
時刻歴応答解析	[Progress bar from week 1 to week 3]							
資料まとめ			[Progress bar from week 3 to week 4]					
評定委員会								
部会				[Progress bar from week 4 to week 6]				
評定書						[Progress bar from week 6 to week 7]		
大臣認定手続き							[Progress bar from week 7 to week 8]	
確認申請					[Progress bar from week 5 to week 8]			

8. この方式のメリットは

- ・ 免震装置のメンテナンス用ピットがコンパクトになり、工費低減可能
- ・ 杭はエコパイルにより精度良く設置されるので免震措置を水平に所定の位置に配置する事が可能
- ・ PC 部分は一階の床から適用され、部品に有効利用になる。
- ・ 地震による杭の水平移動をコストの安い土間コンクリートで処理する事ができ、いわゆる基礎構造を省く事が可能となる。
- ・ PC 部材は各階との互換性があり共有化する事によって、コストダウンが可能となる。
- ・ PC 構造は耐荷性能に優れ、フラットスラブ（**ビーム**）化が可能になった。
- ・ 免震構造は水平力が非免震建物の 50% に低減されるので、フラットスラブ化が可能になった。
- ・ 建設地が南港の埠頭に近く重量物の PC 部材の取り込み、建て方に有利である。

9. 非免震建物

震度 6- から梁降伏が発生するものと考えられる、資産の復元のために梁の交換など復旧が必要となれば、業務中断期間 (BI) 少なくとも 10 ~ 12 ヶ月必要になり、その期間の賃料が損失になる。また、復旧には初期建設費用の 30% 以上は必要となるものと考えられる。以上の状況を想定して、PML を見直すと、物的損害分の PML だけで 26 ~ 30% となる。

10. 結論: 推奨構造システム

以上の検討結果から、免震 PC フラット（**ビーム**）構造システムが最もリスクの少ない構造システムであると考えられる。理由は、

1. 免震建物の優位性として、
 - (1) 地震時の衝撃が少ない
 - (2) 地震時の揺れ (加速度) が 1/4 に軽減されるので、貨物の荷崩れに有利
2. PC フラットスラブ（**ビーム**）の優位性として、

- (1) フラットスラブ（ビーム）構造は過大な積載荷重に有利であり、プレストレストを導入する事により更に有利になる
 - (2) 梁の無いフラットスラブ（ビーム）システムは物流倉庫として空間利用が効率的
 - (3) 使用コンクリート量が少なく、コストが安い、
 - (4) プレキャスト化によって現場の産業廃棄物が極小になる、
3. 杭頭免震の優位性
- (1) 杭にエコパイルを採用する事により杭の建て入れ精度が向上し杭頭に免震装置を設置する事ができる。
 - (2) 免震装置のメンテナンス用ピットがコンパクトになる
 - (3) 基礎が不要になる、
4. リスクマネジメントの優位性として
- (1) PML が極めて低く地震リスクは保有の範囲でカバーできる、
 - (2) 地震後、他社の物流倉庫が業務中断中の優位性からテナント誘致に有利
 - (3) 非免震構造は年間 1.6 億円以上のリスクファイナンスが必要であるのに比べ、投資資金の回収が早くなる
5. 初期建設費
- (1) 非免震構造に比べコストが優位になる
6. 工事工期
- (1) 工事工期はプレハブ化によって 1.5～2.0 ヶ月早くなる