

[設計法概要]

建築物の新しい耐震設計法提案

清水 敬三
(本社 設計本部設計第12部)

1. はじめに

阪神大震災では、建物の多くが崩壊・破損した。これらの建物のほとんどが、現行の設計基準以前のものであった。しかし、現行基準で建てた建物にも、被害は見られた。

建築物の被害は、Fig.1に示すように、主要構造体・非構造体・建築設備のそれぞれについて発生している。

まず、主要構造体の被害としては、その原因により大きく次のように分けられる。

- (1) 建物の耐力と粘りの不足
ピロティ柱の破壊、柱・梁接合部の破壊
柱および接合部の剪断破壊、ブレースの破断
- (2) 形状バランスの不備
壁の偏在による被害
中間層の崩壊
- (3) 地盤に対する考慮の不足
杭頭の破壊
液状化による沈下・移動

非構造体では、PC版・ALC版の破損、仕上げ材の破損、建具の変形による開閉不能などの被害が生じた。

建築設備では、水槽や機械装置類の転倒、パイプ類の破

損、ライフラインの断絶などが生じた。

これら非構造体・建築設備の被害に関しては、各階の層間変位や、機器と建物の相対変位への追従不足、取付け・据付け部材の強度不足が、主な原因である。

大林組では、これら被害の分析など、大震災から得た教訓を基に、顧客の要求に応じて、建物の構造体・非構造体・設備の各耐震性能の目標を決定し、総合的にバランスのとれた建物を提供する、新しい耐震設計法を提案することとした。以下に、その概要を紹介する。

2. 耐震設計のコンセプト

新しい設計法の最初の問いは、「建物にはどれほどの耐震性能を持たせる必要があるか」ということである。

地震に対して守るべきものは、人命・財産（建物）・建築機能に分類される（Fig.2）。そこで大林組では、新しい耐震設計法において、顧客の要求に応じて最低限の人命確保を目標とするランクから、さらにその目標を建物保全、機能保全へとグレードアップした4段階を設定した。

ランク分けは、震度6クラスの地震の揺れに対する建物の被害状態について分類し、それぞれの状態を目標性能とした。そして、4つのランクに分類された主要構造体



Fig.1 阪神・淡路大震災の被害と原因
Earthquake Damages and Causes

の耐震性能を示す指標として、「安全係数」を設定した。安全係数は、現行法規で規定される建物を最低ランク（Cランク）として、それを基準とする各ランクでの耐震性能の比率として定義され、当該敷地への地震入力評価と建物の重要性を総合的に考慮して設定した。また、建物の耐震性能とは、主要構造体の性能だけで評価されるものではなく、仕上げ材などの非構造部材や建築設備までを総合した耐震性能目標となっている。

(1) ランクC 震度6の大地震時に、人命の安全を脅かす倒壊などの防止。局部的には主要構造体に大きな被害が発生する可能性はある。

(2) ランクB 震度6の大地震時に安全な避難が可能であり、地震後には建物の構造材は修復可能で、仕上げ材・設備機器は、取替えを含めて修復可能である。

(3) ランクA 震度6の大地震時に主要構造体にコンクリートのひび割れや部分剥離など、構造性能に影響の少ない被害は許容するが、補修により再使用可能。仕上げ材・設備機器も再使用可能である。

(4) ランクS 震度6の大地震時に主要構造体・仕上材・設備機器にほとんど被害を生ぜず、継続使用可能である。

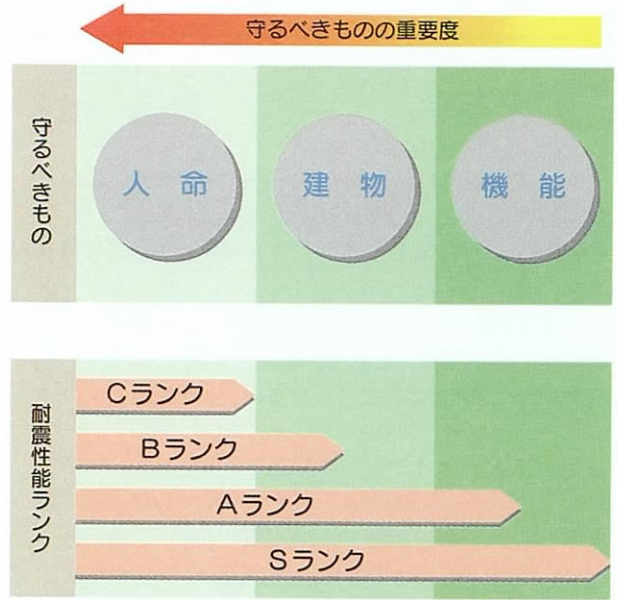


Fig.2 耐震性能ランクと目標性能
Anti-seismic Performance Ranking and its Target

	Cランク 人命の確保	Bランク 人命・建物の保全	Aランク 人命・建物・主要機能の保全	Sランク 人命・建物・機能の保全
建物目標性能	震度VIの大地震時に人命の安全を脅かす倒壊などの被害を防止。	震度VIの大地震時に安全な避難が可能。地震後に建物の構造材は修復可能で、仕上材及び設備機器、配管は取替えを含めた修復可能。	震度VIの大地震後に建物の構造体、仕上材、設備機器及び配管は補修によって再使用可能。	震度VIの大地震時に建物の構造体、仕上材、設備機器及び配管にほとんど被害を生じさせず継続使用可能。
主要構造体	大きな変形や破壊などの被害が発生する可能性がある。	変形や破損などの被害は許容し、補修によって再使用可能。	コンクリートのひび割れや部分剥離など補修によって再使用できる構造体に影響の少ない被害は許容。	主要構造体にはほとんど被害を生じさせない。
非構造部材	内外装材の剥落などの危険性と、扉の開閉不能などの機能低下の可能性はある。避難経路の安全性を確保するなど人命の安全を脅かす被害を防止する。	部位によって多少の損傷があるが、仕上材や部品の交換による修復で再使用可能。	部位によって軽微な損傷があるが、補修によって再使用可能。	ほとんどの部位が損傷なし、または補修を必要としない程度の損傷にとどめる。
建築設備	設備は損傷・機能停止の可能性はあるが、人命の保護および二次被害を防止する。	部位によっては損傷を受ける可能性があるが、機能分散によりリスクを最小限に止める。	必要最小限の建物機能を最小限日数保持し、一般の機能はライフラインが復旧時にすみやかに回復する。	ライフライン損傷時も必要機能を継続して使用可能な状態を保持する。

Fig.3 耐震性能のグレード
Grade of Anti-seismic Performance

3. 設計の手順と要件

Fig.4 に、提案する新しい設計法の手順を示す。

この設計法では、まず、顧客との打合せにより耐震性能グレードを決定し、それに応じて総合的にバランスの取れた建物・構造計画を行う。

主要構造体の設計においては、各ランクでの安全係数に応じて、構造種別、基礎種別、架構形式を最終的に決定する。その際に、地盤の動的調査や、地層・活断層の評価が考慮される。そして、このように性能目標を設定して設計した建物が、必要耐力・粘り強さ・形状バランスを確保しているか、地盤に対する配慮が十分かなど、当初の設計目標を満足していることを確認する。

このような構造設計においては、建物としてどのような性能が保証されているか、目標性能を具体的に示すとともに、それを満足する手段も明示されることが必要であろう。

構造設計者は、関連法規を満足させるだけでなく、建物の本質を理解しなければならず、決定したグレードに合致する建物とはどんなものであるか、ということを示す必要がある。各ランクの性能を満たす建物では、震度6の大地震時における応答値（加速度・変位など）がどれ位になるように設定するのか、なぜそのような設定が合理的なのかを示す必要がある。あるいは、もっと積極的に、設定した応答を呈する建物を設計するために、剛性・減衰の大きさと配分を最適化しようと試みるのが極めて重要である。

また、どの部材が降伏するのか、その時の変形量はいくらかであり、地震のエネルギーをどの程度吸収できるのかを、明確に示さなければならない。

現在、建物の最終崩壊形も、部分崩壊形から、梁降伏型の全体崩壊形として、塑性変形に期待した設計が指向されているが、具体的にどれ位変形するのかを示されるべきである。そうすることによって、靱性の大きい部材・ダンパーなどが適切に評価でき、建物としての強度・粘り強さが評価され得るのである。新耐震設計法は、強度優先の基準になっていて、保有耐力時の変形制限が設けられていないが、Fig.5 に示すような、強度と粘り強さの関係を熟知した上での変形制限は必要と思われる。スラブも含めた梁端部の補修は、柱と比べて容易とは言えず、損傷の程度を制御するという意味でも、変形量がいくらかになるのか考慮する必要がある。それによって、修復の容易な損傷部材をあらかじめ設定することができ、簡易で効果的な補修・補強方法などが提案できるようになる。このように、変形量を制限することは非常に重要であるが、特に、保有耐力時の変形などを求めることは容易でない。部材剛性の変化や、壁などの適正な剛性評価一つを挙げてあいまいな点が多い。

また、阪神大震災では、地盤と構造物の共振現象が、被害の一因であった可能性が示唆されているように、地盤の増幅特性・固有周期などを把握することは極めて重要である。さらに、変形量を求めるにも、深部の地盤構造を

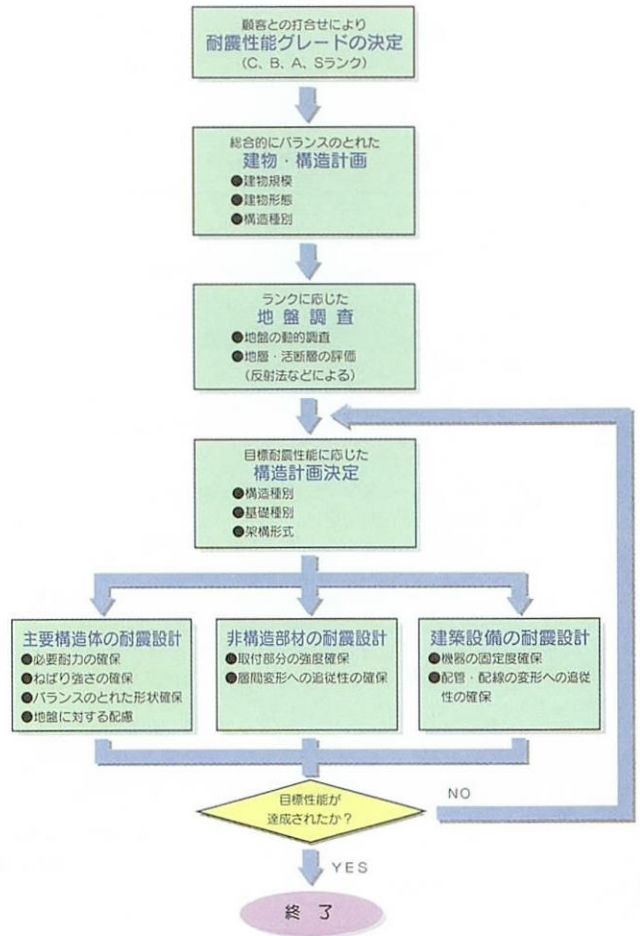


Fig.4 新しい耐震設計法の流れ
New Seismic Design Flow Chart

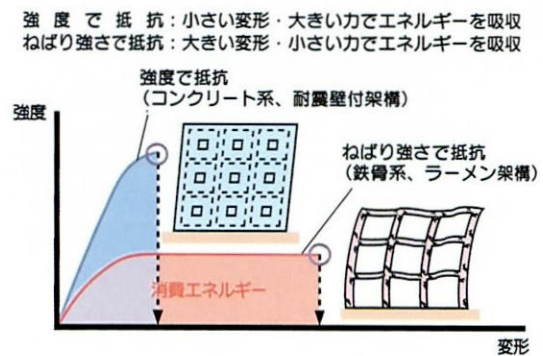


Fig.5 強度と粘り強さ
Strength and Ductility

把握し、どのような地震動が建物に入力するのかを定めなければならない。阪神大震災では、地震による被害が集中した地域と断層の破壊域は必ずしも一致していないが、被害地と地震動が増幅される地域とはよく一致しており、地震防災対策における地盤条件の調査は最重要課題といえる。しかし、土の物理的性質の正確な評価は容易ではないし、液状化などが構造物に与える影響も当然複雑で、定量化は困難である。

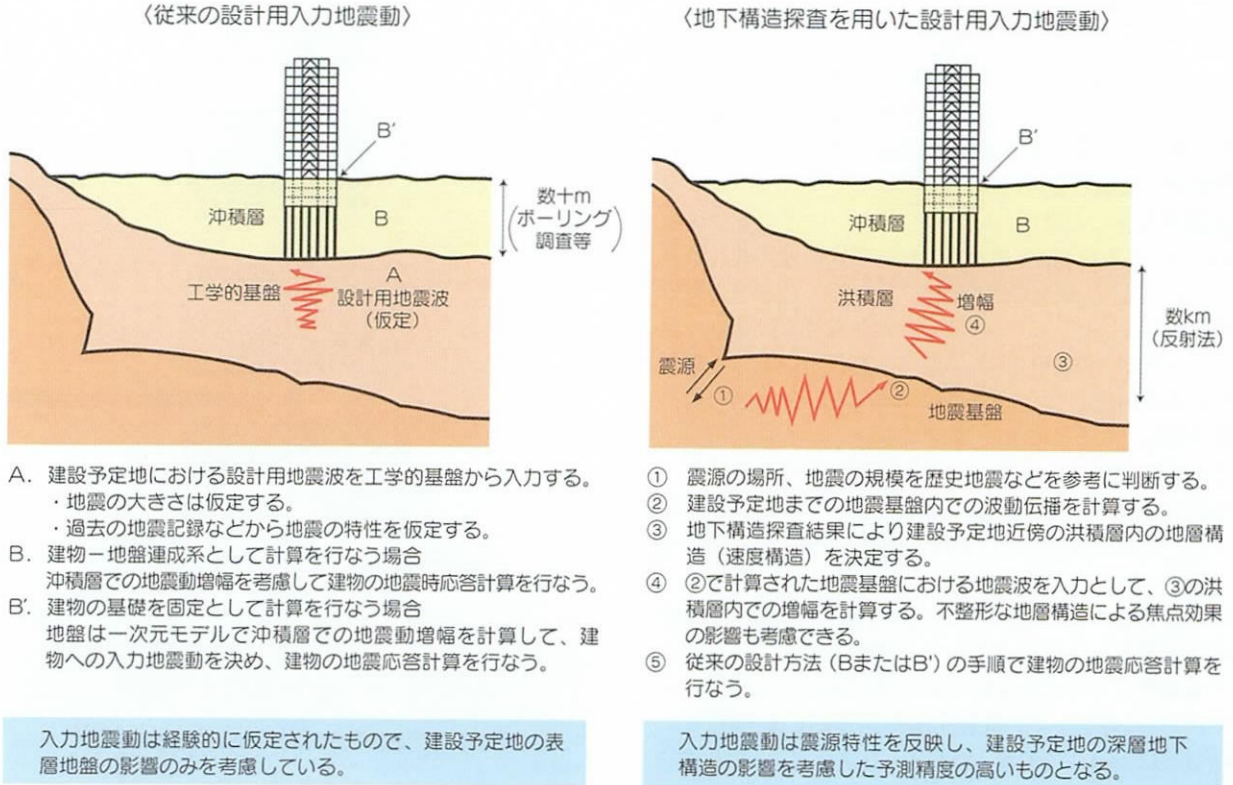


Fig.7 設計用入力地震動
Input Earthquake for Design

4. 設計上の課題

大林組では、特に反射法によって総合的に地下構造を調査し、設計用地震動を作成する手法を提案している。

Fig.6に反射法による地下構造探査法の概念を、Fig.7に設計用入力地震動の作成方法を示す。

これまで、工学的基盤に入力する地震動を仮定して構造物の応答解析をしていたが、反射法を用いて地下構造を調べることによって、地震基盤内での波の伝播を計算した後に、それを入力とした洪積層内の増幅を計算することができ、さらに、不整形な地層による焦点効果を考慮することによって、より確実な入力の設定が可能となっている。

また、建物の減衰を評価する問題もある。減衰定数の実測結果をまとめた資料によれば、その変動係数は平均的に70%程度であり、このような不確定さの中で構造設計をしなければならない。精度のよい資料のみを選び出して整理すれば、種々の物理的要因による減衰定数の変化の特徴を明確にできるが、その精度は、他の量に比べて著しく劣ったものとなる。減衰定数は、応答の大きさを直接左右する重要な量であるのに、議論できる適切な資料がほとんどない。耐震設計の精度を高めるためには設計時にきめ細かく減衰定数の設定ができる評価式が必要になると思われる。

このように、種々の不確定さに囲まれて構造設計する

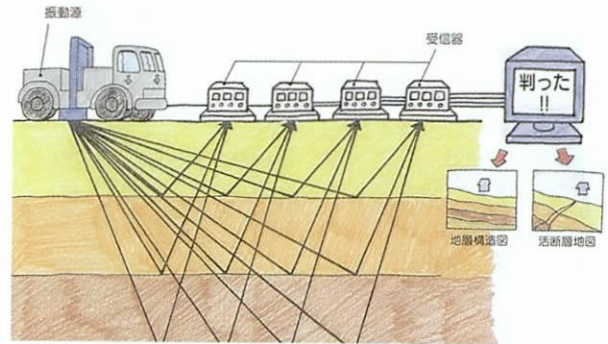


Fig.6 反射法による地下構造探査
Under Ground Inspection by Reflection Method

のであるから、一つでも多くの要素について確実性を上げることが重要である。あるいは、これらの不確定さを包含するような設計手法が必要である。

免震・制振の技術は、このように不確定な建物の物理的特性に、人工的な装置によって、ある確定した値を与えることができる、という点で、構造設計の信頼性を高める働きを持つといえる。また、免震・制振装置の粘り強さで多くの地震エネルギーを吸収するので、構造物の負担する分が少なくなり、構造物の不確定さがもたらす影響が小さくなる、ということも言えよう。