

4. 耐震計画に関する研究活動

建設省土木研究所 正員 栗林 栄一

まえがき

耐震計画と云う命題には、いわば国土計画の一翼を担う政策上の課題としての一面と純技術的な課題としてのもう一つの面があると考えられる。

耐震工学委員会の研究活動においては、政策上の課題としての重要性を見つめながら、主として純技術的な側面について研究と討議が行なわれてきた。

ここで純技術的な側面と云っているものでは、工学上の最適解を追求しようとするものではなく、いわば行政面において活用しうる安定的な解決策を目標としているものである。

卑近な事例を引けば、震災の直後には、設計震度が引き上げられ、構造要素の改善が求められ、結果的には安全率が高くなる。しかしながら、時と共に安全率は平常化する。つまり、構造物の地震に対する安全度は、震災がある都度、高くなるが、必ずしもそれが持続されるわけではないと云える。

このような問題に関して支配的な要因を求めることが研究の一つの目標であり、因果関係を数理的に解明する手法を求めることが第二の目標となる。

これらに関する研究と討議の概要をつぎに御紹介する。

1. 構造物の耐震度を支配する条件

地震の場合のもとより、その他の自然災害の場合でも、各種の施設や構造物の安全度を評価する場合には、少くとも、つぎの三つの条件を考慮しておくことが必要になる。

- 1) 自然条件（物理的条件）
- 2) 経済上の条件
- 3) 社会的条件

ある耐用年限をもつ構造物を想定した場合に、その年限内に破壊をもたらすような災害を一回以上は蒙らないような構造物の耐力と自然現象による外乱との間に統計的に有意な関係があるとき、この関係を自然条件と定義する。

経済上の条件は、初期の投資額（建設費）・償却費の総額（維持修理費）・災害による間接損害額など、云わば支出または缺损に相当する金額の、耐用年限内における総和が、収入すなわち利益と、経済規模の変動に追いついて、統計上、有意に平衡する条件であるとする。

上述の二つの条件のほかに、人命の損失、権利の剥脱・侵害・広範な制限、国際関係の事情などに関連する、いわば自然現象や物理現象や経済現象などの尺度とは異なる次元で考慮されるべき恣意的な性格をもつ条件がある。この条件を社会的条件と定義する。

これらの諸条件が、数式で表わされていなくても、耐震設計を行なう場合に、おのずから考慮され、設計の結果に反映されているとみられている。

しかしながら、実際面からみると、災害の直後には、その災害をもたらした同種の自然の外乱を、

より大きく評価し、自然条件を過大視する傾向が強い。また、多大の人命の損失をみた場合や、国際関係が緊迫している場合には、社会的条件を重視する傾向が現われる。さらに個人の所有になる住家などの場合には、おおむね経済上の条件が支配的な要素になる。

2. 耐震度の合理的評価に関する岡本の仮説、

基本理念

地震に関する各種の記録から、地震の再現期間に応じた震度期待値が得られる。云うまでもなく、地震の震度は、構造物に生じる震害の程度を示す尺度であると共に、設計に用いるべき地震力のよりどころとなるべきものである。

このような前提のもとに、前述の三つの条件の中で、自然条件と経済上の条件を考慮した場合に、つぎのような考え方が出来る。

広い地域にまたがる施設、いわば公共土木施設を対象にした場合に、便宜上その施設の耐用年限を再現期間に等しくおき、金利や経済の変動を省略すると、経済活動が定常的に持続されるためには、つぎの関係が保たなければならない。

すなわち、

$$\underbrace{n \cdot T \cdot g}_{\text{(償却費総額)}} + \underbrace{N \cdot g}_{\text{(初期投資額)}} + N \cdot r = N \cdot P \cdot T \quad \text{----- (1)}$$

$$\text{直接損害額} + \text{間接損害額} = \text{利益}$$

ここで、記号の意味を一例として道路の場合について与えると、つぎのとおりである。

T : 考慮すべき強さの地震の再現期間 (耐用年限も同じ)	年
N : 道路の全延長	Km
n : 1年間当りの改良延長	Km/年
g : 道路単位長さ当りの建設費 (改良に要する費用も同額とみなす)	円/Km
r : 道路単位長さ当りに換算した間接損害額	円/Km
P : 道路単位長さ当りに換算した1年当りの利益	円/Km年

さらに、つぎの補助変数を導入し、

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{n}{N} \quad (\text{全延長に対する年間改良区間長の割合}), & 1/\text{年} \\ \tau &= \frac{r}{P} \quad (\text{間接損害額に相当する利益を得るに要する年数}) \text{年} \end{aligned} \right\} \text{----- (2)}$$

これらを式(1)に代入して、整理すると、収支が平衡する再現期間が得られる。

$$T = \frac{1 + \tau (P/g)}{P/g - f} \quad \text{年} \quad \text{----- (3)}$$

再現期間に及ぼす諸因子の影響

式(2)を支配する三つの変数 P/g , f , τ が再現期間 T に及ぼす影響について調べてみることにする。

i) 他を固定した場合の P/g の効果

P/g すなわち利益率が高いほど、 T は小さくてよい。ひいては地震の震度を低くみてよい。

ii) 他を固定した場合の f の効果

f すなわち改良率を高めるほど、 T は大きくなる。ひいては地震の震度を高く採らなければならない。しかしこれは逆説である。何故ならば、式(3)からわかるように、 $P/g \leq f$ では、 T が無限大になるか、またはこの考え方が成り立たなくなるのであって、 f が相対的に大きいことは地震以外の原因によって改良率がいちじるしく高い場合に相当し、耐震の面からは初期の建設費をできるだけ低める努力をし、経済性に寄与することが求められる。

iii) 他を固定した場合の τ の効果

τ すなわち、間接損害額が大きくなる程、 T は大きくなる。ひいては想定する地震の震度を高く採らなければならない。

実際問題との関連

式(3)から明らかのように、 τ が零、すなわち、間接損害が生じないような不毛の地でも、地震の再現期間は、ある値をもつようになり、受額の間接損害が生じる地域では、当然、より長い再現期間を必要とする。しかし、両地域の経済活動の開き程、再現期間に差をつける理由はない。一方、 P/g が大きくなる程、云わば都市の方が山村より、再現期間が短かくてよい。

具体的な事例として新潟地震(1964)における道路被害の統計を用いて、式(3)による検討を行なった結果、再現期間は少くなくとも38.5年以上とすべき結論が導かれた。

3. 社会的条件の評価

岡本の仮説による耐震度の評価の結果は、いわば、経済上必要とする最低限度の耐震度を示すものである。これを更に修正して、社会にとって最適耐震度を得ようとする場合には、社会的条件を加味した理念を導入することが求められる。

社会的条件を加味するための一方法として、やはり、地震の再現期間を尺度とする「地震危険度」の概念、すなわち、河角の仮説とでも云うべき考え方を採り入れてみる。

すなわち、地震危険度は、

$$U = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{T_D} \quad \text{----- (4)}$$

ここで、 U は、構造物が、再現期間 T_R の地震を1回だけ、その耐用年限 T_D の間に蒙る確率である。

もし、 T_R が T_D に比べて十分に長いとすれば、再現期間は、

$$T_R \approx \frac{T_D}{U} \quad \text{----- (5)}$$

と簡略化することができる。

今、 U を $1/2$ にとれば、 $T_R = 2T_D$ となり、再現期間は耐用年限の2倍とすべき結果をうる。

4. 結論

今日の都市の機能および社会の形態などを念頭においた場合に、単に物件に関する経済上の観点だけから地震対策を議論することでは済まされない。

まず第一に、人命の安全を考慮することが求められる。そのためには地震危険度の概念を採り入れて、

それを認定する方式 を確立することが必要である。

また、一方では、経済上の条件からの検討も、無論、必要であり、合理的な判定を進めていくためには、地震災害の統計を完備していくと共に、地震の物理的指標、例えば、震度階などを更に合理化することが求められる。

このような議論が活発化することによって、地震工学に関する未解決な事項の研究が促進され、問題点が明らかにされ、応用工学ないしは応用技術としての工学の立場が明確化され、理学としての地震学の研究との調和がとれていくものと考えられる。

参 考 文 献

- 栗林栄一 耐震度の最適化に関する研究
建設省土研究所、土木研究所資料第522号
昭和44年7月21日
(この文献は、耐震工学委員会第3回常任委員会・研究会、昭和44年7月30日、に提出され検討された)
- 岡本舜三 地震力を考えた構造物設計法、207頁、オーム社
新泻県 新泻地震の記録
昭和40年6月16日
- 栗林栄一 耐震研究の経緯と現況ならびに今後の課題
建設日報、NO.236
1969年2月
- 栗林栄一 盛土および堤防の地震被害とその対策
季刊カラム、NO.31
昭和44年4月1日
- 栗林栄一 公共土木施設の震害と経済上の対策
土木学会第10回地震工学研究発表会講演概要
昭和44年7月15~16日、東京
- 河角 広 わが国における地震危険度の分布
都市問題、第56巻第9号
昭和40年9月