

土木研究所資料

第 522 号

耐震度の最適化に関する研究
— 經濟上の条件と社会条件の評価 —
栄

昭和 44 年 7 月 21 日

建設省土木研究所
栗 林 栄 一

ま え が き

今日における各種施設の耐震度、すなわち地震時の安全度を評価する場合、単に、自然条件または物理的条件に関する客観的資料の上に他の諸条件を経験上の判断によって付加する方法では、次第に困難の度を増してきている。

このような事情を改善する方向として、著者は、自然条件の外に経済上の条件と社会的条件を考慮して耐震度を判定する方法について検討し、本文では、その一端について報告する。

1969年7月21日

建設省土木研究所

振動研究室長

栗 林 栄 一

目

次

1. 耐震度を支配する条件	1
2. 岡本の仮説	2
(1) 基本理念 ¹⁾	2
(2) 三つの指標 p/q , $f\tau$ の再現期間 T に及ぼす効果 ³⁾ , ⁴⁾ , ⁵⁾	4
(3) 実際問題との関連	4
3. 新潟地震の事例による検討 ²⁾	5
(1) 損害の規模	5
(2) 新潟地震における損害総額の統計による検討	5
(3) 新潟地震における道路施設の被害総計による検討	6
4. 耐震度の評価に関する一提案	8
参 考 文 献	9

1. 耐震度を支配する条件

地震の場合はもとより、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、少なくとも、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、十分な有意さで平衡する条件であるとする。

上述の二つの条件の外に、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上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、設計を行なう場合に、自から、随時、それらは考慮され、検討されて、結果に反映されている。

しかしながら、実際面からみると、災害の直後には、同種の自然の外乱を、より大きく採り、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、多くの個人の所有になる住家の場合には、おおむね、経済上の条件が支配的な要素になる。

諸国を見渡しても、地震時における各種の施設の安全度すなわち、耐震度を共通の尺度で合理的に評価する方法は、まだ確立されてはいない。その事情は、つぎのとうりである。

先ず、米国においては、風害に関する保険は、すでに民間企業として採算のとれる事業となっているが、震害に関しては、余りにもその被害額が莫大なる故に、未だに特殊な場合を除いて、保険企業として成り立つ見透しも樹っていないし、地震の危険度に関する理念も確立されていない。

また我国の地震保険は、云わば、社会保障的な理念から、新潟地震を契機として生れた政府管掌保険の一種であり、保険額は限定されている。

したがって、日米両国共に震害の定量的評価と云う問題に対しては、政府の公的な一定の見

解はないと云える。

2. 岡本の仮説

(1) 基本理念 1)

地震に関する各種の記録から、震度期待値が得られる。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。

このような知識のもとに、前述の三つの条件の中で、恣意的な要素である社会的条件を除いた他の二つの条件、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。

まず、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地震の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、

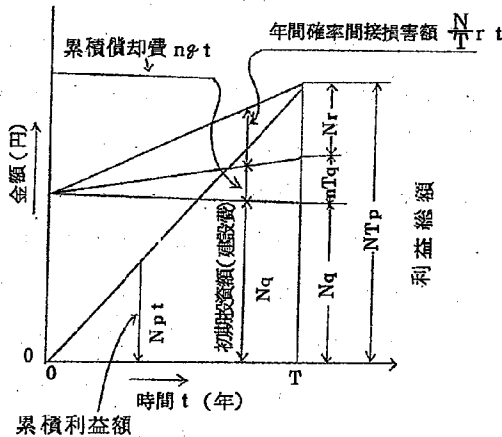


図 1

$$n \cdot T \cdot q + N \cdot q + N \cdot r = N \cdot p \cdot T, \dots (1)$$

(償却費総額) (初期投資額)



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

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、つぎの通りである。

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年間当りの改良区間の延長、Km/年

q : 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

この関係を図示すれば図1.のようになる

(1)式で、間接損害額 $N \cdot r$ を広域的、包括的にみれば、年間確率間接損害額は $N \cdot r / T$ となる。年間確率直接損害額は $n \cdot q + N \cdot q / T$ となる。これら二者の和が年間の利益 $N \cdot p$ に等しいとする。この関係を書き直すとつぎのようになる。

$$T = \frac{1 + \tau (p/q)}{(p/q) - f}, \quad \text{年} \quad \dots (2)$$

ここで、 $f = n / N (1/\text{年})$: 全延長に対する年間改良区間長の割合、 $\tau = r / p$ (年) : 間接損害額が純利益の何年分に相当するかとした場合、その何年に当たる年数を意味する。

(2) 三つの指標 p/q , f , τ の再現期間 T に及ぼす効果 (3), 4), 5)

ここで、 p/q , f , τ の三つの指標が T に及ぼす効果を調べてみることにする。

I 他を固定した場合の p/q の効果。

p/q すなわち利益率の高い程、 T は小さくてよい。ひいては想定する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。しかし、これは逆説である。何故ならば、(2)式から解るように、 $p/q \leq f$ では、 T が無限大になるが、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 他に固定した場合の 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。

(3) 実際問題との関連

(2)式から明らかなように 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 T はある値をもつようになり、多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/q 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。

3. 新潟地震の事例による検討²⁾

(1) 損害の規模

1964年の新潟地震における新潟県関係の直接損害額は約1,300億円で、その内訳は表1のようである。

表 1

区 分	損 害 額
公共土木施設	236億円(18.2%)
運輸通信関係	245 # (18.8%)
電力、水道、病院、学校、官庁庁舎	124 # (9.5%)
商工業、農林水産業関係	491 # (37.8%)
住家	204 # (15.7%)
直接損害額合計	1,300 # (100%)

一方、間接損害額は、救済、応急復旧、収入減、その他算出根拠の明らかでない事柄の推定値などを合算すると、約1,200億円強となっている。その内訳は表2のとおりである。

この間接損害額は、直接損害額に匹敵するものであり、またそれが公共施設の被害に可成り支配されていることは否定できないであろう。

表 2

区 分	損 害 額
産業関連	370億円(30%)
区分、算出根拠不明確、災害対策費等	851 # (70%)
間接損害額合計	1,221 # (100%)

(2) 新潟地震における損害総額の統計による検討

先に示したように新潟地震による直接損害額(厳密には物件等の滅失価格)は1,300億円で、間接被害の内、積算根拠の明らかな金額は370億円、間接損害の総額は1,221億円であった。

今、便宜上、利益率 $p/\%$ を0.05、0.10、0.15(1/年)とすれば、初期投資額

の償還年数とも云うべき τ は、表3のようになる。

表 3

私企業 公共事業	$p/\%$	$\tau (N \cdot r = 370 \text{ 億円})$	$\tau (N \cdot r = 1,221 \text{ 億円})$
	0.05 (1/年)	5.6 (年)	18.8 (年)
	0.10 (")	2.8 (")	9.4 (")
	0.15 (")	1.9 (")	6.3 (")

ここで、 $p/\%$ を0.05、0.10、0.15に換んだ理由は、公団等の資金の金利が年約5分、最近の日本の実質経済成長率または市中銀行の短期小額融資の金利が約1割、名目成長率または裏金利をとまう高利貸金利が約1割5分程度であることを目安に、各種事業の採算上、この程度の利益率を見込んでおいてよからうと考えた。

このような $p/\%$ のもとで、期待される τ は、上表の二種の τ の中間に真実に近い値があるものと考えられる。また、公共事業では τ が相対的に大きい方により、私企業では、それが小さい方に寄るものと考えられる。

(3) 新潟地震における道路施設の被害総計による検討

昭和39年度における一般国道の統計上の数値はつぎのようである。一般国道の昭和39年度当初における総延長は2万7,728Km、改良済延長は1万5,958Kmであった。同年度内における改良延長は1,854Kmであった。改良に要した事業費は1,059億円であった。従って表4に示すような結果を得る。

表 4

項 目	改良済延長を対象とした場合	総延長を対象とした場合
N (Km)	15,958	27,728
n (Km/年)	1,854	1,854
$f = \frac{n}{N}$ (1/年)	0.116	0.067

また建設費は便宜上改良に要した事業費と同じ単価で積算されるものとする、つぎのようになる。

$$p = 1.059 \text{ 億円} / 1.854 \text{ Km} = 5.720 \text{ 万円} / \text{Km}$$

一方、新潟地震による道路施設の被害総額はつぎのとおりである。

被害総額	道路関係分	橋梁関係分	国道7・8号線分の被害総額	道路関係分	橋梁関係分
38.1億円	23.4億円	14.7億円	9.1億円	6.3億円(延長9Km)	2.8億円

先に一般国道当初建設費単価 p を求めた。この値を、この被害額と延長から吟味してみよう。国道7・8号線の総被害額から推定される被害延長は、まずつぎのようになる。

$$N = \frac{Np}{p} = \frac{9.1 \text{ 億円}}{0.572 \text{ 億円/Km}} = 15.9 \text{ Km} > 9 \text{ Km} \left(\frac{15.9}{9} = 1.8 \right)$$

橋梁の被害も含めると、延長はここに示したように長くなりすぎる。これは新潟のように河川が多く、しかも新潟地震の場合のように、橋梁に大きな被害が生じた場合の特殊な事情によるものであろう。

橋梁の部分を除いた道路の被害額からは、つぎのようになる。

$$N = Np / p = 6.3 \text{ 億円} / 0.572 \text{ 億円/Km} = 11 \text{ Km} \div 9 \text{ Km} \left(11/9 = 1.2 \right)$$

この場合には全国平均の建設費単価と被害額から推定した被害延長と実際に起った被害延長は可成りよく一致する。これは偶然かもしれぬが建設費単価と被害額の統計に可成りの信頼を置いてよいことを示している。よって償却費年率 f を0.116および0.067として検討を進める。

そこで、利益率 P/p 、初期投資の償還年数 τ を総被害額の統計から求めた先程の値とすれば、再現期間 T は表5のようになる。

表 5

P / p	$N \cdot r = 370 \text{ 億円の場合}$			$N \cdot r = 1.221 \text{ 億円の場合}$		
	τ	$f=0.116$	$f=0.067$	τ	$f=0.116$	$f=0.067$
0.05(1/年)	5.6(年)	—	—	188(年)	—	—
0.10(")	2.8(")	—	38.5年	94(")	—	58.7年
0.15(")	1.9(")	38年	15.3年	6.3(")	57.2年	23.5年

新潟地震の一般国道の被害は、新潟市周辺の改良済区間に生じたものであるから、 f が0.067の場合の数値に、より一層の信頼がおける。しかしこのように考えても政府固定資本に対する公共投資の年率に關係ある f の値はこのように大きくなる反面、新潟で利益

率 $p/\%$ が、実質経済成長率 10% を上廻るとは考えられない。したがってこの場合、地震の再現期間は 38.5 年～58.7 年よりも大きく採ることが必要となるであろう。

4. 耐震度の評価に関する一提案

岡本の仮説に従う(1)式では、先に挙げた三つの条件の中で社会的条件が含まれていない。社会的条件を加味するための一方法として、「地震危険度」の概念⁶⁾を導入してみると、つぎのような独立した二つの関係式が得られる。

$$U = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{T_D} \quad (3)$$

$$T_R = \frac{1 + \tau(p/\%)}{(p/\%) - f} \quad (4)$$

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。 T_R が T_D に比べて十分に長いとすれば

$$T_R \div \frac{T_D}{U} \quad (5)$$

と書き替えることができる。

(4)式は自然条件と経済上の条件から規定されるものであり、(5)式は自然条件と社会的条件から規定されるものである。両者のうちで大きい方の再現期間を採ればよい。

実際問題に適用する場合、地震危険度 U の認定方法を確立すると共に経済の成長や金利を考慮することが必要であり、ある地域を想定した場合に、構造物の数量および質に関する被害率の指数を導入することが必要になるであろう。また地震被害に関する統計資料は、十分に納得の行くように、被害の量の表現を正確に、間接損害と直接損害の区分を明確にすることが必要である。今後は、これらの諸点についても十分な考慮を払って、地震被害の統計を作っていくと共に、地震後の財政、税法、金融上の措置に伴う云はば、間接損害と云うべき面についても考求していく必要があると云えよう。

以 上

参 考 文 献

- 1) 岡本舜三 地震力を考えた構造物設計法 207頁 オーム社
- 2) 新潟地震の記録 新潟県 S 4 0.6.1 6.
- 3) 栗林栄一 「耐震研究の経緯と現況ならびに今後の課題」 建設月報 236
1969. 2.
- 4) 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 31
S 44. 4. 1.
- 5) 栗林栄一 「公共土木施設の震害と経済上の対策」 日本土木学会第10回地震工学研究発表会講演概要 1969. 7. 15~16 東京
- 6) 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
S 4 0. 9.