

設計震度決定の若干の経緯的考察

〇 埼玉大理工学部 会長 岡本幹三
東京大学産学技術研究所 会長 田村重四郎
建設省土木研究所 会長 栗林栄一

構造物はこれと耐震設計の対象としてみよとき、その破壊が人命の損傷につながるおそれがあるものと見做ると、人命の損傷につながるおそれがあるものとは命がけられ、この両種の構造物に対する設計の態度は全く異なつたものであるべきである。これ以下には前者に属する構造物の耐震設計について考察する。

その破壊が人命の損傷につながるおそれがある構造物の設計において基座とする態度は経済上の有利性であるとすることは妥当な考えであると思はれる。この場合構造物の経済性に最も大きな影響を及ぼすのは設計震度であり、経済上の立場から設計震度をいかに定めるかがこの際問題である。

しかしこれと現行の設計震度の定め方をみよと、多くの進歩的案書で採用されてゐる方法は基礎震度を定め、それに地域別係数、地盤別係数、重要度別係数の3種の補正係数を乘じて設計震度とするものである。これらの補正係数のうち前者2者は経済的或いは社会的重要性からきまることが破壊が人命の損傷につながるおそれの少ない構造物においては経済的重要性からきめられる。

最近における地震工学の自然科学の面における研究の進歩は著しいものがあり、その進歩は設計震度の決定に対して非常に役立つ。しかしこれに反して社会科学的の面における研究は殆んどなく、現行の重要度係数も充分な合理的根拠からきめられたものでない。両面におけるこのような不均衡は今後設計震度を定めようとする際に大きな障害となるものと思はれる。

設計震度とはその震度の地震がきたとき構造物がある指定された状態になるように設計された震度である。こゝに特定の状態として普通に指定されるもの以外の3種の状態の境界の状態がある。

構造物がその機能を完全に保持してゐる状態 (健全状態)

構造物の機能がいく分低下してゐる状態 (損傷状態)

構造物が機能を失つてゐる状態 (破壊状態)

簡單のためこれら3種の状態の境界の状態を

健全状態と損傷状態の境界 : 使用限界

損傷状態と破壊状態の境界 : 終極限界

と名付ける。

経済上の損失の大きさから見れば損傷状態と破壊状態の間には著しい差があるものと思はれる。したがつてその損傷が人命につながるおそれのあるほとんどの構造物に対しては設計震度は終極限界を目標に定めらるゝ場合が最も多いと考へられる。よつて以下には終極限界を目標とする設計震度をいかに定めるかについて考察する。

経済条件としては構造物を築造してゆめら生まれる利益が公共の投資に對して一般に考へらるる利益を少なくも下廻らないことが必要である。この基礎的條件が適用された構造物はそれが果たす社会

的役割に於いてつぎの2種類に分けられる。1つは構造物の経済効果が個別の場合である。この例として長大橋梁や超高速鉄道等があることか出来る。この種の構造物は□内の同種のものか少なく、これを建設することによって得られる利益を個々に評価することのできるものである。

他の1つは同種の構造物が広い地域に多数散在していて、個々の構造物の経済的效果よりも地域内全構造物の包括的・総合的效果が問題とされる場合である。この例は公共施設に多く一般の道路、橋梁、上下水道等があることかできる。便宜上前者を特殊構造物、後者を一般構造物と名付けよう。これら2種の場合の経済的條件は基本的には同じであるけれども形式が異なつて来る。

(1) 特殊構造物に対する経済条件

いま1個の特殊構造物を扱うとする。これによつて年々経済上の利益がもたらされる。この総額がその構造物の経済的価値を表わして置く。したがつてその経済的価値は構造物が竣工後何年目におおむね震度を超えぬ地震にうけて機能を失うかによつて異なつてくる。以下簡単なため1年間を單位の期間として期とよぶこととし構造物の竣工直後の1年間を第1期、 $i-1$ 年目から*i*年目までの1年間を第*i*期と呼ぶことにする。いま設計震度を超えぬ地震の再現期間を*T*(年)とするとそのような地震が1期以内におこる確率は $1/T$ であり、おこらない確率は $(1-1/T)$ である。したがつて構造物が竣工後*i*期迄は健全であり、 $(i+1)$ 期に大地震にうけて機能を失う確率は

$$\left(1 - \frac{1}{T}\right)^i \cdot \frac{1}{T} \quad \dots \dots \dots (1)$$

である。いま

b_j : *j*期におこる利益

c_j : *j*期に支出した構造物の維持管理費

とし

$$a_j = b_j - c_j \quad \dots \dots \dots (2)$$

とすると*i*期迄は健全で $(i+1)$ 期に機能を失つて構造物がある総純利益は $\sum_{j=1}^i a_j$ である。したがつてこのような構造物がある利益の期待値は

$$\frac{1}{T} \left(1 - \frac{1}{T}\right)^i (a_1 + a_2 + \dots + a_i) \quad \dots \dots \dots (3)$$

である。

一般に構造物が不測の事故によつて破壊を小さくともある時向かになつて機能的使用に耐えられなくなる。また疲労や摩耗等により強度上も懸念を生じてくる。もしこのような理由から時期がくれば設備の変更が行われる。変更の時期については一概には言えぬが経済活動の活発な死命におこるほど更新期間が短かくなると考へられる。いま更新期間を*n*期の終つて直後とするとこの間に構造物がある総純利益の期待値は

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} \left(1 - \frac{1}{T}\right)^i \frac{1}{T} (a_1 + a_2 + \dots + a_i) + \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n (a_1 + a_2 + \dots + a_n) \quad \dots \dots (4)$$

となる。2、1=

P : 構造物がある利益の総額の期待値

T: 設計地震以上の地震の再現期

a_i : T 年間に構造物がある総利益

n: 更新期間

上記の T / n は更新前に地震で壊れた構造物の平均総利益, T / n 回の更新まではこの平均の構造物の平均総利益の期待値である。

いま構造物を建造するために要する費用を Q とすると P と Q との比を即ち利益率である。これを α とする。

$$\alpha = \frac{P}{Q} \quad \dots\dots\dots (5)$$

この構造物が建造の目的とするための α の / または / より大きく取られるべきである。P は (4) に代入すると

$$Q = \frac{1}{\alpha} \left[\sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \left(1 - \frac{1}{T}\right)^i \cdot \sum_{j=1}^i a_j \right\} + \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \sum_{j=1}^n a_j \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

もし毎期ある総利益が同じであると仮定すれば

$$a_1 = a_2 = \dots a_n = a \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = \frac{a}{\alpha} (T-1) \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \right\} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。(8) の値を n, T に対して表-1 の如くする。

表-1 $(T-1) \left\{ 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \right\}$ の値

T \ n	20年	40	60	80	100
20年	12.2	16.6	18.1	18.7	18.9
40	15.5	24.8	30.5	33.9	35.9
60	16.9	28.9	37.5	42.6	48.0
80	17.6	31.2	41.8	52.1	56.5
100	18.0	32.8	44.8	54.7	62.8

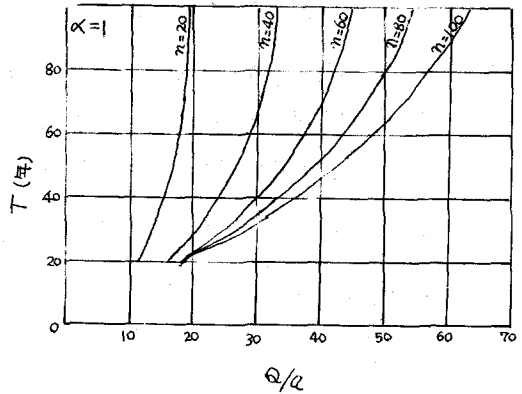


図-1

また利益率 $\alpha=1$ の場合に於いて設計再現期と

かやによる建造量の関係と図示すると図-2 の

如くなる。図-2 の T 点 (Q, T) が曲線より左側にある場合は利益率 α / より大となり経済的になり設計

計画となる。図-2 によると更新期間の長い構造物では設計地震度を高くする場合は建造量が増えたり大きくなるが経済的に引かぬが更新期間の短い構造物では設計地震度を高くするとともに建造量が増えたり構造物は経済的になりあつたことになる。

一方構造物を耐震設計すると地震応答へその場合よりも工費量は増し、増加量は設計地震の再現期を長くするとほど大きくなる。この関係を示すと図-2 の破線のようになる。実線と破線の / または / 2 点を交する点になるが、破線のうち実線より左側にある部分のみが実際に用いる部分

このように破綻の切りの実線を図上に求め、これに対する $\alpha \in \alpha_0$ 、即ち A の座標を (Q_0, T_0) とすれば T_0 は利益率を最大にする地震再現期間であり、 α_0 はその利益率である。もし他の事情が許せば、再現期間 T_0 を持つ地震を設計震度としてこの構造物を設計するのが適当であろう。

(2) 一般構造物に対する経済条件

いま安全性が構造的にも経済的にも同程度である多数の構造物を考へそれと S とする。 S が地震事情が相似な地域内に N 個あるとする。これらの構造物は地震以外の原因、たとへば疲労などによって毎年破損する γ の γ 年にも若干回は廃棄し更新しなくてはならない。この数を n とする。 S を 1 個建設する事業費を γ 年あたり β 、 S を 1 個破損した γ 年によって生ずる利益を年間 P 、 S 1 個が地震で破壊した γ 年による同様の損害を年間 R とする。設計地震以上の地震の再現期を T (年) とすると年間には地震の起きる確率は $\frac{1}{T}$ であるから、毎年は $\frac{N}{T}$ 個の構造物が震害をうけることになる。したがって年間に生ずる S の事業費を Q 、年間にあがる純利益を P とすると

$$Q = n\beta + \frac{N}{T}\beta \quad \dots\dots (9)$$

$$P = NP - \frac{NR}{T} \quad \dots\dots (10)$$

となる。したがって利益率 α は $\frac{P}{Q}$ で表わされる。経済活動が順調に行われるためには α が 1 または 1 より大きくなくてはならない。よって

$$n\beta + \frac{N}{T}\beta = \frac{1}{\alpha} (NP - \frac{NR}{T}) \quad \dots\dots (11)$$

n は N に比例すると考へて

$$f = \frac{n}{N} \quad \dots\dots (12)$$

とすると

$$(f + \frac{1}{T})\beta = \frac{1}{\alpha} (P - \frac{R}{T}) \quad \dots\dots (13)$$

$$\therefore T = \frac{\alpha \frac{\beta}{P} + \frac{\beta}{R}}{1 - f\alpha \frac{\beta}{P}} \quad \dots\dots (14)$$

図3には $\alpha=1$ とおいた時の β と T の関係が f を変数として示されており、図4には f は一定にとつた時の β と T の関係が利益率を変数として示されている。

破綻は構造物設計からきた T と β の関係で、実線と破綻の切りの点 A が採るべき設計震度 α を示す。

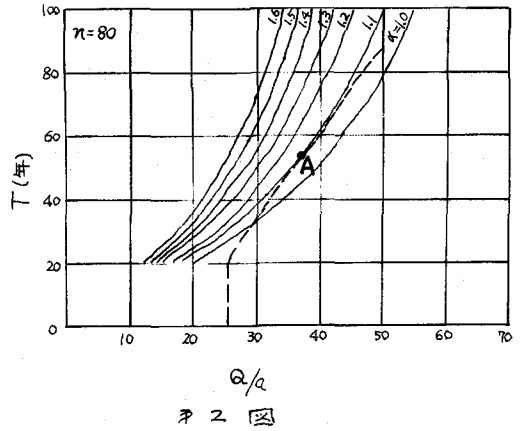


図2

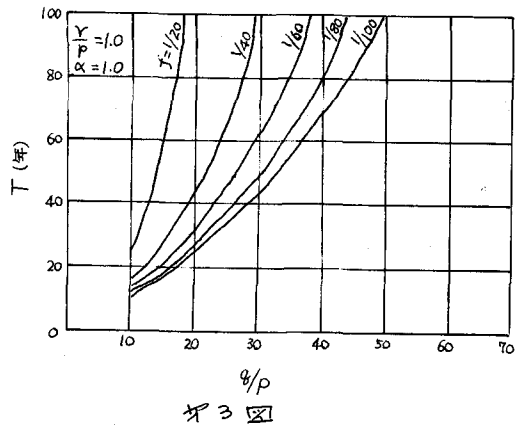


図3

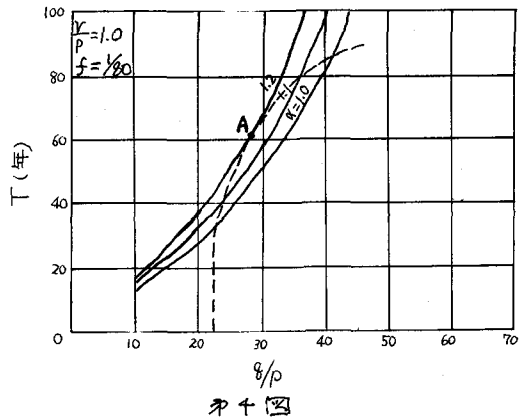


図4