

建設省土木研究所 正員 栗林 栄一
田崎 忠行

1. はじめに

構造物を設計する際には、荷重にある安全率をかけた耐荷力を有するように構造形式、材料、施工方法などを選択するのが一般である。しかしながら構造物の安全性は設計当初の予測とは異なり、材料強度のばらつき、製作精良のばらつき、解析上の不確定要因、外力の不確定要因などによってあるばらつきを持つものである。特に地震に対する安全性を対象とした場合、大きな地震動強度をもつ地震の発生する確率は対数的に減少しはするが、設計において考慮した地震動強度を上回るような地震が発生する確率は0にはならない。又、有史以来のすべての地震に対して絶対に破壊しないような構造物を作るとは、経済性の見地から、社会の要求と必ずしも合致しないであろう。ここでは、経年変化をもとに既設構造物の補強に関する設計手法の適用例について述べようとするものである。

2. 構造物の破壊確率

構造物の耐震強度を R 、一定期間 t に発生する地震動強度の確率変数を $f_s(x)$ とすると、 t において構造物の破壊する確率 P は

$$P = \int_R^{\infty} f_s(x) dx \quad \text{----- (1)}$$

で与えられる。従って構造物の耐用期間 T_0 における通算した破壊確率 U_0 は

$$U_0 = 1 - \prod_{t=1}^{T_0} (1 - P) \quad \text{----- (2)}$$

よ、社会的に受忍せらるる危険率 U^* が存在すれば

$$U_0 = U^* \quad \text{----- (3)}$$

を満足するように構造物を設計すればよいことになる。

3. 余命期間、余命耐力

一方、既設構造物について考えてみると、設計当初において想定していた構造物の耐震強度ないし社会的に受忍せらるる危険率 U^* が不変であるとすれば、その耐用期間中における通算した破壊確率は、(2)式を満足している。しかしながら、構造物の経年変化を設計当初に見込んでいなかったり、当初見込んでいた経年変化と実際が異なる場合、もしくは社会的要求の高度化ないし学問の進歩による荷重と耐荷力の関係の一層の明確化等があると、その既設構造物は、耐用期間内における破壊する確率が U^* を上回ることになる。このような場合には構造物は補強を必要とするわけである。ここにいう補強とは、通常の維持管理を水準以上にやっても必然的に要求されるもので、部分的な破壊箇所を修復するという意味の補強とは異なるものである。

既設構造物の耐荷力が、(3)式を満足するのに十分な耐荷力と比較してそれほど差がない場合には補強によって(2)式により新たに求めらるる U_0 が(3)式を満足することが可能である。しかし差が大きくなると、以上のような考え方によって補強することがかなり困難となり、極端な場合には構造物の作り直しを必要とする場合もでてくる。このような場合の補強については、構造物が完成してから経過期間において被害が生じなか、たという実績および構造物の耐用期間 T_0 のうち構造物が完成してから経過期間 T はずでに償還されているという考えに立つと、(2)式における T_0 の替わりに余命期間 $T_0 - T$ を入れて求めた U_0 が一定の水準を保ていければよいという考えもありうる。

$$U_R = 1 - \prod_{t=1}^{T_0-T} (1 - P) \quad \text{----- (4)}$$

$$U_R = U^* \quad \text{----- (5)}$$

以下に、構造物の建設当初から耐震強度が不足している場合および構造物の安全性に対する社会的要求が高まった場合における上記の手法の計算例を示す。

構造物として橋梁を想定し、耐用期間の終了時には材料の劣化、腐食、疲労等による経年変化により耐震強度が建設当初の75%になるという極端な例を設定した。社会的に受忍さうる危険率として関東地震以降の地震による落橋数および全道路における橋梁数の比から 2.1×10^{-3} をとった。

図-1、2は建設当初から耐震強度が不足している場合の例で、曲線Aは補強のない場合の仮定した耐震強度、曲線Bは(3)式を満足するように補強する場合の補強量 ΔR 、曲線Cは $U_R = \frac{T_0 - T}{T_0} \cdot U^*$ としたときに(5)式を満足するように補強する場合の補強量 $\Delta R'$ をそれぞれ表わしている。この図は、(3)式において $U^* = 2.1 \times 10^{-3}$ としたとき(2)式を満足するような構造物の建設当初の耐震強度 R_0 を単位として表示されている。又、図-1は建設時の耐震強度が R_0 の94%、図-2は96%の場合をそれぞれ示している。図-1において、曲線Bによると建設後40年近い構造物はどのような補強をしても(3)式は満足されないことになる。一方曲線Cでは補強量は全耐用期間を通じてゆるやかに増加するだけで、実用上の考えともよく一致している。図-2では、図-1ほどの差はみられないがやはり同様の傾向が認められる。

図-3は(3)式および(5)式の U^* ないし U_R が 2.1×10^{-3} の半分になったと仮定した場合の例で、曲線A、B、Cの意味するものは図-1、2と同様である。この例では曲線Bによる補強量 ΔR は年数の経過に従って急激に増大するのに対し、曲線Cによる補強量 $\Delta R'$ は全耐用期間を通じてゆるやかに増大している。

以上のきりめを限うた計算例をみると、既設構造物に新設構造物と同じ破壊確率の考え方を導入するのは実際的ではなく、むしろ構造物の余命期間に注目した列種の破壊確率によって補強を考えた方が実用上からも妥当であろうと考えられる。

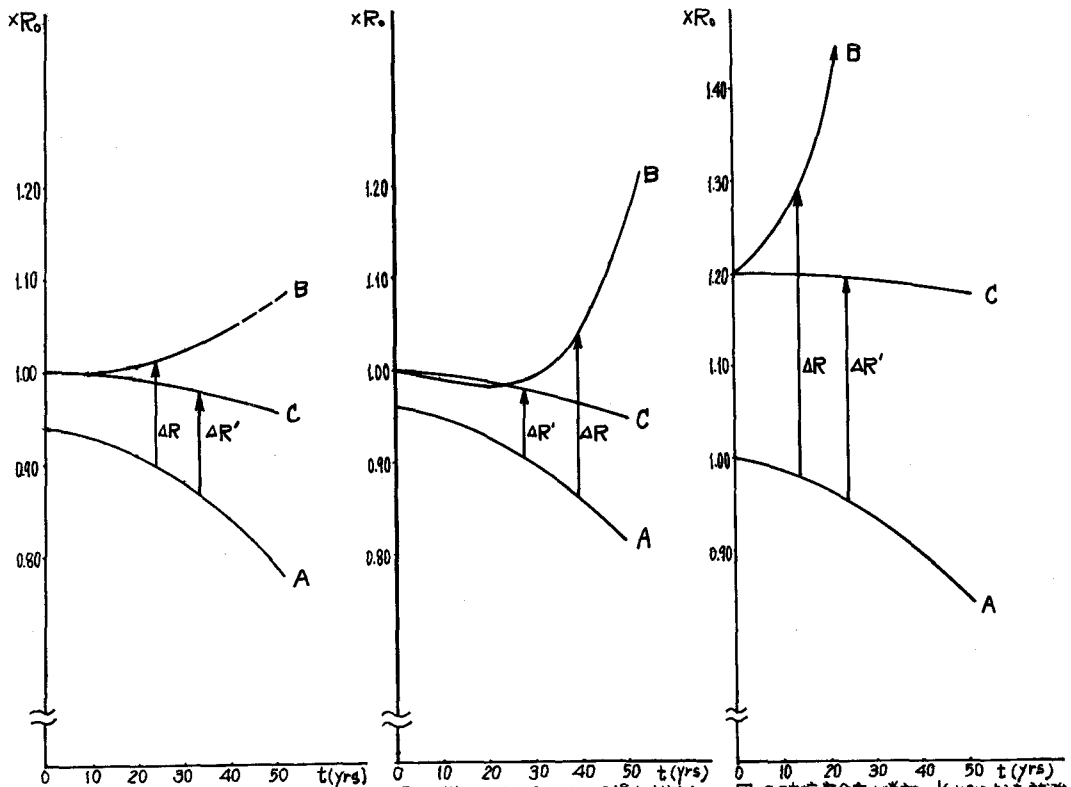


図-1 当初の耐震強度が不足している場合の補強(1) 図-2 当初の耐震強度が不足している場合の補強(2)

図-3 破壊確率が当初の1/2となるような補強