

I-371 総期待費用最小化原則に基づく設計思想について

信州大学工学部 正員 長 尚

1. まえがき

総期待費用最小化原則に基づいて、具体的に個々の構造物を設計したり、設計法全体を議論すること^{1) 2)}に対して、筆者は次のような幾つかの疑問点を持っている。1) 基本となる各確率変数の統計的データが必ずしも十分でなく、破壊確率の計算精度が良くない。2) 例えば算定式の不確かさ、人的ミスなどのような、破壊確率の推定を困難にする不確定要因がある。3) 破壊時の損失費の評価が極めて困難で、特に破壊に伴う人命損失を費用で換算する困難さがあり、しかもこの値が最適解を左右するので、有効な結論を得難い。4) 総期待費用最小化の原則に基づく設計が、最適な設計とは限らない。特に経済合理主義思想に対する批判があり、この原則の設定そのものに疑問がある。これらの疑問点のうち、1)、2)については、今後解決される可能性があるが、3)、4)については、本質的な問題点であり、筆者にはこの原則による設計法が、設計思想として普遍的で合理的なものでないと思える。本文では、そのことを文献3)で述べた結果を利用して、議論し、指摘したい。

2. 最適な安全のレベルを支配する要因の推定の困難さによる問題点

文献3)で述べたように、総期待費用最小化の原則に基づいた最適な安全のレベルを表わす、最適安全性指標は、破壊損失費用の初期費用に対する比 τ 、初期費用の安全性向上に伴う費用の増加割合 ν 及び初期費用の増加曲線の次数 n の、三つのパラメータ要因の影響を受ける。最適な安全のレベルを決定する三つのパラメータの値は一般に特定しにくく、ある幅を持たせて推定せざるをえない。ただし、 ν 、 n の値の範囲はかなり絞れるし、この値の変化は結果に余り影響を及ぼさない。しかし τ の値は範囲を絞りにくく、しかもこの値が結果を大きく左右し、最適安全性指標 β_{opt} の値の範囲は広く、この原則に基づく安全レベルの設定は極めて困難である。したがってこの原則に基づく設計の有効性は、やはり疑問であると言わざるをえない。特に不特定多数のものを対象にした、設計法全体を議論する場合には、この点は決定的な問題点で、この原則に基づいて議論することは、先ず不可能であろう。個々のある特定のものの設計で、破壊損失費用の初期費用に対する比 τ の値の範囲がかなり絞られ、結果として最適安全性指標 β_{opt} の値の範囲が絞られる時で、かつ疑問点の4)に問題がない場合にのみ、本原則に基づく設計に意義があると言えるが、そのようなケースは極めて稀であろう。

3. 経済性と安全性

現在、経済性を絡ませて安全問題を議論することはタブーとされている。安全のためには、どんなことでもすべきで、経済性の制約を設けてはならないとされる。しかしこのような見方は、現実を直視しない建前論であると、筆者は以前から指摘してきている。^{4) 5)} 具体的な例で説明する。

我が国に於ては、河川の防災という観点から、堤防などの改修計画には確率論的手法が用いられている。これは、対象流域の過去の観測データをもとに、対象の重要度や、社会的要請に応じて、基準超過確率年数(この年数に1回程度の割合では計画高水量を越す可能性を持つ。通常その年数として30~200年が取られる。)を設定し、堤防の高さや河幅を決める方法である。この方法には「ある年数間に1回程度の割合で計画高水量を越す洪水があり、場合によっては破堤、溢水する可能性がある」という前提が設けられている。この手法が経済主義と安全性を両立させているとして批判する学者もいる⁶⁾が、限られた財源を有効に活用するには、このような経済性の制約を事実として認めないわけにはいかないのである。

河川の堤防は、土木構造物の中で、極めて安全のレベルが低いものである。これとはかなり安全な他の構造物は経済性の制約を受けないのかというところではない。平成元年7月に起きた、越前海岸のロック・シェッドの事故の時、ある週刊誌が「実際の事故の100分の1しか落石を見積もっていなかったとすれば、そ

れは明らかに設計ミスでしょう」という被災関係者の談話を掲載していた。被災関係者の心情からは、このような指摘もしたいであろう。そして100 倍の強度にすることは、異常な形状寸法になるとしても、技術的に可能かもしれない。しかし落石の危険が予想される不特定多数のロック・シェッドをそのような強度にするには、莫大な費用を必要とする。しかも場合によっては、100 倍を更に上回る落石の可能性もないと言い切れない。このようなことは大地震に対する構造物の設計についても言える。

いずれにしても、限られた財源をなるべく多くの事業、多くの箇所に有効に投入するために、あるいはその事業が成立するために、効果・採算を度外視した出費は不可能で、ある程度リスクは、残念ながら覚悟せざるをえないのである。

4. 設計思想として普遍的で合理的なものか?

さて上述したような社会通念を確立させなくてはならないが、そうなった場合には、ここで取り上げている総期待費用最小化の原則に基づく設計理念が、社会から受け入れられるであろうか? 上述の確立されるべき社会通念は、設計されたものの安全性は現実問題として経済性の制約を受けるのは仕方がないとするもので、経済効率を最優先に安全のレベルを設定して良いとするものではない。ところが総期待費用最小化の原則に基づく設計理念は、まさに経済効率を最優先に安全のレベルを設定して良いとしたものである。選択の余地がある状況下で、安全性と経済性のどちらに重点をおくかとされれば、安全性に重点をおくべきであろう。結果としてやむを得ずそうなるのは別として、経済性を最優先にして意識的に安全のレベルを操作するのは行き過ぎであろう。

ところで現実の土木構造物の安全レベルと、総期待費用最小化の原則に基づく最適な安全のレベルはどのような関係にあるのだろうか。文献3) で指摘したように、破壊損失費用の初期費用に対する比 τ が極端に大きい場合を除き、通常最適安全性指標 β_{opt} は 1~3 の範囲にある。これに相当する最適破壊確率 $p_{f, opt}$ は 0.16~0.0014 である。個々の構造物の耐用年数間にこれだけの破壊確率があれば、多数の同種の構造物の中にはかなり破壊するものがなければならない。ところが現実の土木構造物は、河川の堤防のような特殊なものを除き、ほとんど破壊していない。ということは現実には $p_{f, opt}$ よりもかなり安全なレベルで設計されていると言える。一方社会は現状の安全のレベルに満足してなくて、少しでもレベルを上げることを望む。まして経済効率が良いから、今までほとんどなかった破壊がある程度起こってもよいとは思わないであろう。このような状況の中で、本原則に基づいて現状の安全レベルを思い切って下げて、一挙に最適破壊確率 $p_{f, opt}$ のレベルにすることは不可能であろうし、またこれを強要すべきではない。

5. 結論

総期待費用最小化の原則に基づく設計には、データ不足とか人的ミスの処理等の問題が解決されても、なお次のような問題点がある。(A) 破壊時の損失費の評価が極めて困難で、有効な結論を得難い。(B) 総期待費用最小化の原則だけにに基づく設計が、最適で合理的な設計とは限らない。特にこの経済合理主義思想に基づく、これまでより安全のレベルをかなり下げることになり、これを社会は受け入れないし、又強要すべきではない。したがってこの原則の設定そのものに疑問がある。このような本質的な問題点があり、個々の設計をこの原則で設計できる場合は極めて限られるし、さらに設計法全体を直接この原則だけにに基づいて議論するのは、妥当性と説得力に欠けると思う。

参考文献

- 1) 杉山俊幸、酒井利男、藤野陽三、伊藤学：構造設計における信頼性レベル・安全率の設定に関する考察、土木学会論文報告集、第 327号、pp. 21-28、1982.
- 2) Jun KANDA : Optimum Reliability for Probability-Based Structural Design, Journal of the The University of Tokyo, series B, 1990 .
- 3) 長尚：総期待費用最小化原則に基づく最適安全性指標、構造工学論文集、Vol. 37A、1991. 究会、昭和61年.
- 4) 長尚：安全に「絶対」はない、正論、昭和61年11月号.
- 5) 長尚：本音の「安全論」、日経コンストラクション、平成2年1月12日号.
- 6) 木村春彦：現代水害の性格と治水対策への提言、現代の災害、水曜社、昭和57年.