

## 「安全性」について考える

永山 功\*



### 1. 安全神話の崩壊

わが国の社会資本、特に主要な構造物の設計において、安全性の確保は絶対的なものであり、大多数の国民はそれを信じてきた。しかし、平成7年1月の兵庫県南部地震は、そのような安全の絶対性をあっさり否定してしまった。高速道路の高架橋をはじめとして、安全と思われていた多くの構造物が崩壊し、構造物の安全性が絶対的なものでないことを多くの国民が認識するに至った。その後、平成7年の高速増殖炉もんじゅのナトリウム漏洩事故、平成9年の豊浜トンネルの岩盤崩落事故、平成11年の東海村JCO施設の放射能臨界事故等々、相次いで重大な事故が起り、いま構造物の安全性が改めて問われている。

### 2. 銀座に原子力発電所を

原子力発電所は安全か。原子力の関係者はその絶対的な安全性を唱えている。これに対して、原子力発電所の安全性に疑問を抱く人々の中に「原子力発電所が絶対に安全ならば、人里離れた僻地でなく、銀座の真ん中に原子力発電所を造ればよい」という反論を唱える人がいると聞く。なるほどと思われる意見である。

振り返って、我々は「絶対」という言葉を安易に使いすぎていたような気がする。我々が言っていた「絶対」という意味は「常識的な範囲でそのようなことは起こらない」という工学的意味での「絶対」であって、国語辞典で定義されている「絶対」とは異なった意味をもっている。このことを国民に正しく伝えていなかったことに対し、技術者サイドに大きな問題があったのではないだろうか。いま、国民だけでなく我々技術者も「安全」という概念を改めて認識する必要があるといえる。

### 3. 安全率と危険率

構造物を設計する際、安全率という概念が用い

\*建設省土木研究所企画部地下開発研究官

られる。たとえば、ダムは安全率を4として設計されている。構造物が壊れるのは安全率が1を下回った状態であるから、極めて安全サイドの設計がなされていることになる。

さて、ここで安全率に代わって危険率という概念を導入してみる。危険率というのは筆者の造語である。安全性と危険性は対峙する概念であるから、 $安全率 \times 危険率 = 1$  という関係が成り立つ。上記の場合、ダムの危険率は1/4となる。安全の絶対性を確保するには、危険率を0として設計しなければならない。このためには、安全率を無限大としなければならない、当然、そのような設計は不可能である。

危険率0ということは何があっても壊れないということである。原爆では不謹慎であるから、仮に大隕石が落下しても壊れないダム。白亜紀に大隕石が落下して恐竜が滅亡したように人類が滅亡するが、ダムだけは残る。これが絶対的な安全性の意味である。

さて、絶対的な安全性が存在しないとすると、有限の範囲でどこまで安全性を確保するか、それが問題となる。従来、安全率の大きさは、技術者が独自に決めてきた。しかし、「万が一」という状態があり得るならば、安全性のレベルは、それによって被害を受ける人、さらには国民全体の合意のもとに決めるべきではないだろうか。社会資本を考えた場合、その整備は国民に安全性と利便性を提供する。しかし、その整備には多額の税金が必要であり、安全性を高めるほど国民に大きな負担を強いることになる。どのような安全率のレベルが妥当なのか、それには国民の合意形成が必要となる。社会資本整備の計画段階でパブリックインボルブメント、パブリックアクセプタンスが求められているが、構造物の設計段階にもそのような概念が必要なのかもしれない。

### 4. 危険確率とダメージ

構造物の安全性が絶対ではないとすると、万が一の破壊も想定しておかなければならない。構造

物の破壊は第三者に被害をもたらす。ここで、構造物の破壊が生じる確率を危険確率(詳細は省略するが、危険確率は危険率の関数として表される)、想定される被害をダメージという言葉で表すものとする、構造物の破壊による社会的損失は危険確率とダメージの積で表される。この際、ダメージを最小限に抑え、結果として社会的損失を最小化することが危機管理、減災対策の目的である。

危険確率がほぼ0であってもダメージが莫大であれば、その積は大きなものになる。一方、危険確率が大きくてもダメージが十分小さければ、その積は比較的小さく抑えられる。冒頭に述べた「銀座の原子力発電所」の問題では、ダメージという概念を無視して安全性についてのみ議論していることが混乱のもとになっている。

それでは、危険確率×ダメージが一定となるように設計すればよいのかというと、問題はそれほど単純ではない。特に、そこに人命が関わる場合、ダメージをどのように数値化するのかも大きな問題である。また、そもそも最小化を図る目的関数を危険確率とダメージの積としてよいのか、これもよく考えなければならない。

最近、危機管理の重要性が叫ばれ、盛んに研究が行われている。しかし、その多くはダメージ最小化の理論である。しかし、最終的な目標は、「万が一という確率値をどこまで減少させていくべきか」という安全性の問題と、「万が一の場合にどう対処するか」という危機管理の問題をどのように関係づけ、体系化していくかということである。

## 5. 性能規定化と限界状態設計法

次に、構造物の設計について考えてみよう。安全率とは一体何であろうか。「絶対」という言葉が安易に用いられてきたのと同様に、「安全率」の概念も曖昧であったと言わざるを得ない。

近年、マニュアルに沿った設計が技術の進歩を妨げていると言われ、技術開発やコスト縮減にインセンティブを与える方策として設計の性能規定化が叫ばれている。しかし、構造物の安全性を正しく評価する上でも、性能規定化は有効である。

性能規定化とは、事象をまさにそのものとして捉えることである。安全率とは何であるか、それを正しく捉えることが性能規定化の意味である。いま、安全率の概念を明確にした設計方法として「限界状態設計法」が注目されている。これまで

の構造物、例えばダムでは安全率を4として設計がなされてきた。しかし、安全率4が何を意味しているかというとはっきりした定義はなかった。外力が4倍になったら壊れるのか、強度が1/4になったら壊れるのか、そのようなことが曖昧なまま設計がなされてきた。

これに対し、限界状態設計法では、構造物に作用する荷重の信頼性(発生確率)、構造物を構成する材料の信頼性(品質の変動)に応じてそれぞれに適切な安全係数を設定し、そのような状態に対して構造物として要求される性能が確保されるように、構造物を設計する。言い換えれば、従来、安全率と呼ばれてきた概念をそれぞれの要因毎に分解し、安全率のもつ意味を明確にした設計法である。このような設計方法では、荷重の増加がどこまで許容できるか、強度の低下がどこまで許容できるかが明確になるため、具体的な安全性の程度が明らかとなる。アカウンタビリティの観点からも分かりやすい設計方法である。

いま、筆者なりに安全率の構造を考えると、安全率は、①荷重の変動、②強度の変動、③解析方法の信頼性、④設計条件を超えた時に生じるダメージの大小、これら4つの因子に関する安全係数に分解される。このうち、①～③の安全係数は純粋技術的に定まる安全係数であり、技術者が技術的見地から決定すべきものである。一方、④の安全係数は第三者の存在を無視して考えられない。すなわち、安全性の享受と相応の費用負担という対峙する概念の中で、社会的合意に基づいて適正な安全係数が設定されなければならない。構造設計の分野においても、技術者と国民との対話、連携は欠かせない問題なのである。

## 6. もう一度原点へ

社会の発展とともに、世の中の安全性、利便性は大きく向上してきた。しかし、社会の複雑さが増すにつれ、万が一という場合の影響もこれまでとは比較にならないほど増大してきている。このため、現在では「万が一」ということを抜きにして安全性を論じることはできなくなっているのである。安全性とは何か、もう一度原点に立ち戻ってじっくりと考えてみる必要がある。