

災害に備える技術開発の一視点



* 運上茂樹

1. はじめに

筆者は、2005年3月に、その前年末にインド洋周辺国を襲ったM9.1の巨大地震による津波の影響を受けたインドネシア国スマトラ島北部のバンダアチェ周辺の被害調査に赴いた。10m級の津波の来襲は街並全てを押し流し、あたり一面は全く何も残らない廃墟と化した。津波から間一髪で逃げ延びることができた漁師の一言。「10mを超える津波があちこちの方向から襲ってきて、それらが互いに衝突して天に昇った」。本年3月11日に発生した東日本大震災では、巨大な津波が押し寄せ、岸壁などへの衝突によってまさに「天に昇る」ような強烈な波の挙動が映像として記録されるとともに、津波が沿岸部の街全てを流して奪い去ってしまうという激甚な事態を目の当たりにすることになってしまった。

今回の東日本大震災の激甚な被災から、従来の想定を超えるような地震動や津波によって広域的、多発的、そして複合的に発生する災害に対して、その軽減対策・危機管理対策に関する様々な技術開発が求められているところである。本文では、地震動による甚大な被害が生じた平成7年の兵庫県南部地震¹⁾の当時の対応を改めて振り返り、このような災害に対する技術開発の1つの視点として、Action（外力）、Response・Behavior（挙動）、Performance（性能達成）の独立評価の重要性について記す。

2. 平成7年兵庫県南部地震と耐震設計

2.1 弾性設計法の限界

1923年の関東地震以後、構造物の耐震設計では0.2～0.3程度の水平震度を用いた「震度法」が適用されてきた。当時の震度法とは、動的な地震力を静的な力に置き換えて弾性状態を仮定した構造物に作用させ、構造物に生じる応力度や変位が許容値以下となることを照査するという弾性設計

法である。構造設計法としては最も基本的な方法の1つということができる。

しかしながら、地震が発生するたびに蓄積されてきた強震観測記録によれば、震度0.2～0.3（加速度で200gal～300gal）程度より大きい加速度記録が数多く得られるようになっていたが、このような点に対して、上記の震度法と許容応力度法の組み合わせにより耐震設計した構造物は、終局的な耐力や変形性能を考慮すれば、結果として設計で想定した地震力を越えるような地震力に対しても抵抗できるのだと解釈されていた。

兵庫県南部地震では、地盤面上で600gal～800galといった強烈な地震動が観測されるとともに、橋梁構造物では落橋や倒壊などの甚大な被害が発生した。兵庫県南部地震における重要な教訓の1つとして指摘されたのは、0.2～0.3程度の水平震度を用いた震度法による弾性設計の考え方では、この震度を超えると構造物のどこに損傷が生じ、最終的に構造物にどのようなパフォーマンスを期待できるのかわからないという点であった。また、設計ステップの中で損傷が生じるということを設計者が意識しない弾性設計法への慣れによって、大地震時でも構造物は弾性挙動を示すのだ、損傷はしないのだ、という錯覚を招き、どのような構造にすれば耐震性を向上させることができるのかといった工夫の必要も求められなくなるという点であった。

2.2 復旧仕様での設計論

震災後の約1ヶ月後に、国土交通省（当時建設省）より、被災地の早期の復旧を図るために、震災の経験を踏まえた新たな耐震設計法を規定した「復旧仕様」が関係機関に通知された²⁾。

当時筆者も震災対応担当の1人として本省のリーダーシップのもとで本復旧仕様の作成に携わったが、この規定で議論の1つになったのは設計地震力として何を考慮すべきかという点であった。震災では、昭和55年の基準よりも古い橋において橋脚のせん断破壊や曲げせん断破壊に伴う落橋等の激甚な被害が発生した一方で、考慮され

*国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター
地震災害研究官

ていた地震力は観測値の約半分以下であったが、昭和55年以降の基準を適用した橋では長大橋に隣接する特殊な橋1橋を除いて落橋に至った被害は生じなかった。昭和55年以降の基準を適用した橋は、相対的に耐震性が高くなっており、また、事実落橋などの甚大な被害はほとんどなかったのだから当時の最新の基準をそのまま適用すればよいのではないかという考え方である。これは被害に基づく経験論的な1つの方法である。しかし、当時はこの「結果オーライ」的な選択はなされず、「復旧仕様」では「兵庫県南部地震において地盤上で最大の加速度が観測された地点の地震動を用いることを基本とする」と規定された。

これと同時に「復旧仕様」に導入されたのが本格的な「ねばり」設計である。設計地震力を単純に大きくしてその地震力に対して力勝負をすると当然構造物の断面を大きくするだけになってしまうが、多少の損傷を許容し、変形させることによって地震のエネルギーを吸収して落橋などの致命的な被害を防ぐというじん性設計法である。コンクリート部材や鋼部材で損傷が進展してもねばり強く変形できるようにするには、どういう構造、配筋、補剛にするか、それを設計実務で取り扱うための評価式はどうか、といった技術開発成果が導入された。

2.3 技術開発における3要素

最終的に上記の判断がなされた理由としては、強い地震動が観測されたという事実は重く受け止めなければならないという考えとともに、実際の地震時に想定される構造物の挙動を把握することによって初めてより耐震性の高い構造物が実現できることから、将来に向けてこれを目指すべきという技術的な指向の判断があった。地震時には構造物のこの部材に損傷が生じるのでここはじん性に配慮したねばり強い配筋細目しておく必要がある、あるいは、可能性を否定できない兵庫県南部地震を超えるような地震動の作用に対しても落橋防止システムを装備して可能な範囲で落橋を防止できるように配慮しよう、というような具体的な工夫や対処への配慮がなされるようにするというものである。もちろん、構造物の非線形挙動の評価など、シンプルな弾性計算に比較するといきなり複雑になり過ぎて、現場での対応が困難になるという心配もなされ、講習会や参考書の出版な

どでのフォローもなされた。

このように、Action（外力）、Response・Behavior（挙動）、Performance（性能達成）について、どのようなレベルの地震に対してどのような性能を達成するかという社会的な意志決定を含めて、それぞれできるだけ独立かつ実現象に近い形で明確に設定した技術の構築が重要と考えている。もちろん、これらの評価において未解明の部分が残されている点多々あり、研究が十分ではない分野もあると考えられるが、それぞれが独立に評価できていれば新たな技術開発などの知見の蓄積がなされると、それをそのまま導入可能な汎用的な技術開発と成り得ると考えられる。

現時点においてこうした考え方は設計論において当たり前のことになっているが、筆者は改めて兵庫県南部地震による甚大な被害によって再認識された重要な教訓の1つであり、さらに、今回の東日本大震災に対する対応策の検討においても適用可能な考え方の1つと考えている。

4. おわりに

事事故例の分析書³⁾の中に、潜水艦の乗組員が心に留め置くべき「ダメージコントロール十戒」の一部が紹介されていた。「一縷の望みがある限り艦を守るためにあらゆる手段をつくせ!」、「冷静であれ、艦を放棄するなかれ!」。

東日本大震災のように、従来の経験を大きく超え、思いもよらない災害事象が発生するような場合でも、冷静に現況を把握し、最後の最後まであきらめずに問題の本質を見抜き、解決していけるような危機管理の対応準備に関する技術開発に取り組めればと考える。米国のスリーマイルアイランド事故でその事態を冷静に見抜き、さらなる最悪の事態から間一髪で脱出させたライアン・メーラーのようなクールな判断が常にできるように。

参考文献

- 1) 国土交通省（旧建設省）兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書、平成7年12月
- 2) 国土交通省（旧建設省）：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」、平成7年2月27日通知
- 3) ジェームズ・R・チャイルズ（訳：高橋健次）：最悪の事故が起こるまで人は何をしていたのか、草思社、2006年10月（pp.89～93、pp.420～421）