

想定を超過する災害事象とシミュレーション能力の重要性

運上茂樹



1. はじめに

2015年3月26日の独ジャーマンウィングス機の痛ましい墜落事故では、その後、副操縦士が意図的に墜落させたと思われることが発表された。2001年のWTC米同時多発テロ以降、操縦室を外からは開けられず、銃弾も貫通しないように強化された安全対策が逆に裏目に出たとされている。旅客機の操縦士は、出発地から目的地に向けて、安全に離陸、飛行、着陸させることをその任務とするものであり、当然ながら、操縦士が故意に墜落させることは想定されない。ただし、急減圧など不慮の事故で意識を喪失することへの備えとして、客室乗務員との交代を含む常時2人態勢の維持などの対処法もとられてきた。

新たな厳しい教訓となったが、事後に改めて見直した場合、このような痛ましい事故を防ぐためにシステムとして何かできたのではないかと思われる点もある。完全を目指すことは困難であるものの、一方の強化が他方を相対的に弱体化するというトレードオフ問題への対応である。

2. 地震被害のトレードオフ

耐震設計法が導入される前の古い時代には、1923年関東地震における被害のように基礎地盤や基礎構造の不安定化によって下部構造が完全に倒壊、そして落橋するという甚大な被害が発生した。こうした経験を踏まえ、地震力に相当する横力を作用させて設計を行う「震度法」という耐震設計法が導入された。これによって基礎や下部構造が強化され、その後の地震による被害の軽減に大きく貢献してきた。耐震設計法は、地震被害の経験とともに改良されてきたが、その際の基本的な考えは、被害に打ち勝つ、すなわち、被災した部位を強化するという考え方が採られてきた。基礎を強化した結果として、その後の地震では、次の弱点部となる上下部構造の接合部である支承部や橋脚部分に被害が発生するようになった。

図-1は、その被害モードのトレードオフ問題を示したものである。地震は実構造物を使った実証実験そのものであり、非情な正確さをもって弱点部分を探し出し、そこに被害を発生させる。強い揺れに対して、被害を受けた部分を次々強化するということでは、いたちごっこの対応になってしまうため、このトレードオフ問題を事前に取り込んだ対応策が被害モードをコントロールするキャパシティデザインというコンセプトである。

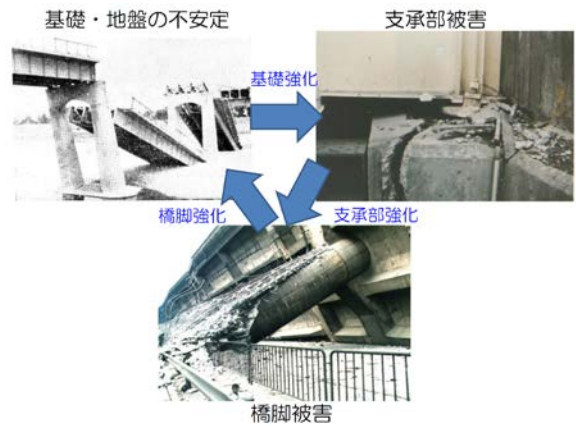


図-1 地震による構造物（橋梁）の被害部位の変化

図-2は、キャパシティデザインの概念を示す場合によく用いられるイメージであるが、地震力を受ける構造物内の部材を直列で力を伝達するチェーンの輪として示したものである。あらかじめ損傷を誘導する部材（チェーンの1つの輪）を決めておき、そこに確実に損傷を誘導できるようにするために、その輪の耐力を他の輪よりも低めにするような耐力バランスを構築する。そして、損傷を誘導する輪には、同時に十分なねばり強さ（伸び性能）を確保するという設計方法である。

いわゆるヒューズ設計論は、その輪が完全に切れて、他の輪には力を伝えないという方法である

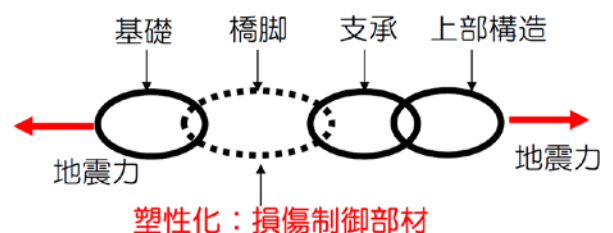


図-2 被害モードを制御する力の伝達チェーン

が、構造物としては力の伝達が完全に切れてしまうと各部材がどう挙動するか制御不能になることから、一定程度の力の伝達が保持されることが重要となる。こうした考え方は、現在の橋の耐震設計法等の主流となっているが、ここで重要なのは、構造物の設計者も地震サイドと同じ視点を持つこと（弱点部はどこかを知る）、同時に、部材間のトレードオフ問題を意識し、構造全体を見る、というスタンスである。

3. 想定を超える災害発生の多発と備え

これまで幾多の地震災害を経験してきた。図-3は、比較的最近の被害地震を中心にその特徴を整理したものである。1994年米国ノースリッジ地震と1995年兵庫県南部地震では既往最強クラスの揺れ、1999年トルココジャエリ地震や台湾集集地震では10mにも及ぶ地表断層の出現、そして2004年のスマトラ島沖地震では30mを越える大津波、2008年の岩手宮城内陸地震では大規模な斜面崩壊に起因する構造物被害、2008年四川省地震や2010年チリ地震ではM8～9クラスの大規模地震による広範囲の多発被害、そして、2011年東日本大震災はM9の巨大地震による強い揺れと津波、そして様々な複合災害の発生である。

地球は自然という連綿と続く動きの中で、そこに構築された人間社会に対し、様々な事象や被害を引き起こしてきた。こうした事象は、国内のみならず、世界のどこかで類似事例が先行して発生している場合も少なくなく、他山の石としてそれを身近な教訓として見ていくことが重要と考える。

想定を超える地震災害の多発

1. 1994年米国ノースリッジ地震
1995年兵庫県南部地震
→ 過去に記録されていない強い地震動
2. 1999年トルココジャエリ地震
1999年台湾集集地震
→ 10m規模の極めて大きな地表断層
3. 2004年スマトラ島沖地震
→ 30m規模の大津波
4. 2008年岩手宮城内陸地震
→ 極めて大規模な斜面崩壊
5. 2008年中国四川省地震
2010年チリ地震
→ M8直下～9級大規模地震(広域影響)
6. 2011年東北地方太平洋沖地震
→ M9の大規模地震と想定を超える津波(複合災害)



図-3 世界で発生した想定を超える地震災害

4. シミュレーション能力の強化

こうした想定を超えるような事象に対する備え

として、「シミュレーション能力の強化」を1つのキーワードとして挙げたい。構造物内での損傷モードのトレードオフ問題を知る挙動シミュレーションのみならず、より広い範囲では現実社会をバーチャルにモデル化し、ほぼ無限数パターン of 想定範囲を設定した組み合わせのシミュレーションをコンピュータ上で行い、弱点部の抽出、その発生確率、対策案の可能性、対策後のトレードオフ問題の明確化についての解を導出する能力である。このようなハード・ソフト様々な観点でのシミュレーション能力の強化が、想定を超える被害事象や災害事象に対する我々の洞察力を効果的に高める上で重要な貢献の可能性があると考えられる。

オックスフォード大学の哲学者ニック・ボストロム教授は、「我々人類はコンピュータシミュレーションの中に住んでいる可能性がある」と主張しているとのことであるが、そこまでは言わないとしても、シミュレーションは我々にとって強力な手段の1つとなり得るのではないかと考える。

5. おわりに

首都直下地震や南海トラフ地震等の大規模地震の発生が危惧されている中、本特集号では、大規模地震に対する備えとし、国土技術政策総合研究所及び土木研究所において、災害情報、津波減災、構造物の地震時挙動評価や地震強化策等、シミュレーション能力の強化につながる研究に取り組んだ成果の一部について、中部地方整備局における現場での取り組みとともにまとめている。

古い話で恐縮だが、米国の往年の名映画「イージーライダー（1969年）」の監督デニス・ホッパーが「スピード（1994年）」という映画で、「マトリックス（1999年）」の主人公ネオ役のキアヌ・リーブスに対し爆弾をしかけて言った台詞。

What do you do? (さあ、どうする?)

従来の経験を大きく超え、思いもよらない災害を引き起こす事象は、まさに自然が人類に対し、語りかけている台詞のようにも聞こえる。

マトリックスの主人公ネオのように、身体を思いやり反らせながらも銃弾から寸前で回避することが出来るように技術や能力の蓄積が重要と考える。そして、

What's next? (さあ、次はどうくる?)

と先手をとって言えるように。