

# 「橋梁老朽化シミュレータの研究開発」

## Advanced Algorithm & Systems

1. 緒言
2. 解析方法
  2. 1. 部材劣化シミュレータ
  2. 2. 橋梁老朽化シミュレータ
  2. 3. 非破壊検査とシミュレータ
3. 結語

## 1. 緒言

我が国の橋梁は、高度経済成長期を中心に建設されたものが多く、最近高齢化の問題が生じつつある。そのためには、非破壊検査技術等を用いて、現在の橋梁の疲労度・老朽度を測定し、必要に応じて適切な補修措置を講じる必要がある。しかし、この非破壊検査技術を用いて得られる情報は完全なものでなく、そこで、弊社の保有するシミュレーション技術を応用して、劣化・損傷による性能低下の評価と、今後の劣化・損傷の進行予測をコンピュータによるシミュレーション計算によって行うことを考えた。

近年、急速に発展したコンピュータシミュレーション技術は、地球シミュレータの例のように、精度の高い気象予測を可能にしている。この例のように、大きなスケールと複雑な現象・構造を持つ対象物であっても、コンピュータシミュレーションは可能になっている。そこで、本提案書において、「橋梁老朽化シミュレータの研究開発」を提案したい。これは、橋梁に用いられている構成部材としてのコンクリート、鋼材の塩害などによる劣化のシミュレーションと、交通量による荷重などに基づく橋梁全体の複合的な劣化・損傷シミュレーションとから成る。もちろん、このコンピュータシミュレーションには種々の測定データ、非破壊検査・実験等により得られた経験則などが必要であり、これらを基礎としてシミュレータは設計される。そして、建設されてから現在までの時間経過と共に、橋梁の経年変化をシミュレーション計算し、現在の疲労度・老朽度を推測すること、及びその結果に応じて施される補強による効果をシミュレーション予測することを考えている。効果的な補修を立案する上で、参考となるデータが得られるであろう。また、更に時間経過を進めて、将来の劣化・損傷をシミュレーション予測し、耐用年数を見積もることなども可能になると考えられる。

## 2. 解析方法

### 2. 1. 部材劣化シミュレータ

塩害によるコンクリートや鉄の劣化、アルカリ骨材反応などが問題視されているが、この問題に関連ありそうな手法として、材料組成予測できる **Phase Field** 法、化学反応の方向・進行速度を予測する反応速度論などの弊社保有技術がある。この内、**Phase Field** 法は、ナノスケールにおける構成物質間の相界面ダイナミクスを計算するもので、今回は応用が難しいかもしれない。一方、反応速度論は、鉄の腐食とアルカリ骨材反応とコンクリート劣化に応用できそうである。なぜなら、いずれも酸化反応などの化学反応だからである。部材欠陥分布などに対して、確率論的手法も考えられる。もし、これらの技術が応用できない場合でも、検査・実験等により得られた測定データから、経験則を導くことは可能である。この解析には、荷重負荷の下での、コンクリートひび割れ予測、鉄筋破断予測なども含まれる。このようにして、部材劣化シミュレータは構成部材の劣化特性を表し、数値計算により初期状態から劣化状態までを模擬する。これらの構成部材

としての結果を、下記の橋梁老朽化シミュレータの基礎として応用するものである。

## 2. 2. 橋梁老朽化シミュレータ

橋梁全体に有限要素法を適用し、時間発展を含む構造解析を行う。その際、「3D SCC 亀裂進展プログラム開発」や、独自開発の弾性解析コードなどの弊社保有技術を応用する。建設後の年数経過、即ち時間発展と共に、2.1の結果として得られる部材劣化などの経年変化を取り込みながら、交通量に基づく荷重などによる損傷（コンクリートのひび割れ、鉄筋破断）を、部材劣化と結合して複合的にシミュレーション計算する。特に、非破壊検査では検知できない深奥部の損傷を見つけることができるのが特長である。そして、老朽化状態での補修工事の効果を、橋梁各部にかかる応力計算により評価する。その結果、効果的な補修計画の立案を支援できる。また、時間発展を延長することにより、将来の劣化・損傷の進行予測を行うことも可能である。結果的に、耐用年数、架替時期などが予測可能となる。橋梁老朽化シミュレータは完成初期状態から現状までの性能低下と、将来状態までの性能低下を模擬する。

## 2. 3. 非破壊検査とシミュレータ

前記の、構成部材対象の「部材劣化シミュレータ」と実橋対象の「橋梁老朽化シミュレータ」だけでは、精度の高いシミュレーションは不可能である。やはり、非破壊検査結果に合わせこむことで、初めて正確なシミュレーション解析が可能となる。例えば、研究室や現場で鉄筋腐食を解析する目的で、「部材劣化シミュレータ」を開発する際に計算式を導く上で、コンクリート破砕は困難で超音波法などによる鉄筋腐食の非破壊検査[1]が必要不可欠である。内部で進行するコンクリートの劣化・ひび割れについても同様で、その非破壊検査[2]などによって初めて正確な定式化ができる。一方、実橋に対する「橋梁老朽化シミュレータ」による計算結果に基づいて、劣化の激しい部分を特定し、重点的にその場所の非破壊検査を行うことで、全体として効率良く、精度の高い劣化診断を可能とすることが考えられる。以上、非破壊検査とシミュレータによる数値計算は車の両輪と言えるものであり、両者の相乗効果により、成果は著しく発展することであろう。

シミュレータによる数値計算においても、実構造物レベルでの適用性の確認は必要である。そのためには、木村様の提示された非破壊検査技術の適用性確認調査の手順図と同様の計算検証手順が必要となり、図 1. に概要を示す。実橋を対象に非破壊検査等の測定結果と比較し、シミュレータの精度を検証することにより、最終的な実用性が確認できる。従って、これはシミュレータ開発上、重要な改良フェーズである。

このように、シミュレータだけでは精度の良い計算結果を出すことは難しいため、非破壊検査等の測定技術の必要性をご理解頂けたことと思う。

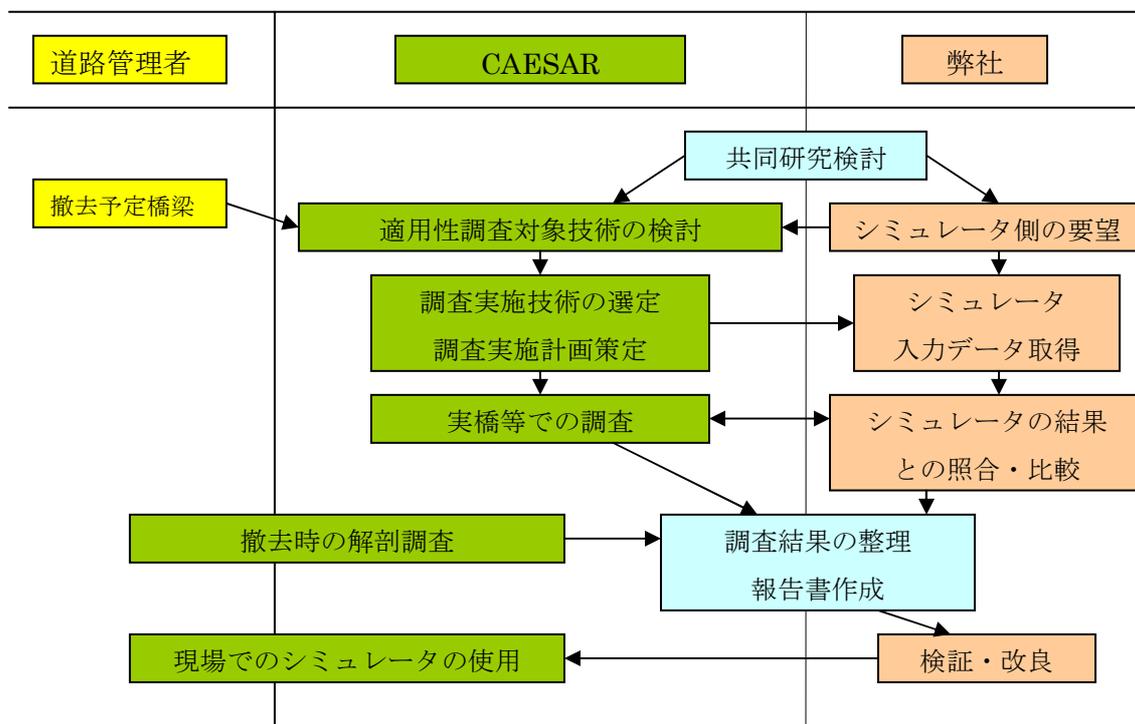


図 1. 非破壊検査によるシミュレータ検証調査の手順

### 3. 結語

この「橋梁老朽化シミュレータ」は世界に前例のない、初めてのものである。それだけに興味深いテーマであり、やりがいのある研究開発である。しかし、この研究開発の過程で、困難が生じることも予想され、開発期間も長期とならざるをえないと思われる。ただし、気象予報に役立っている地球シミュレータのように、今後増大する老朽化橋梁数を考慮すると、利用価値は高いものと言える。以上、まだ思いつき段階で、概略を説明したに過ぎないが、開発趣旨は理解して頂けたのではないだろうか。最後に、将来、もし橋梁設計段階で環境条件等を考慮して、老朽化予測できるようになれば、立案者として望外の喜びである。

#### 参考文献

- [1] 森濱和正、超音波テクノ、vol.12、(2000/10)、25～28
- [2] 山口哲夫、超音波テクノ、vol.12、(2000/10)、20～24