

◆特集：橋梁の維持管理・補修補強◆

米国連邦道路庁における研究および技術開発の方向性

Steven B. Chase* 高木伸也 (翻訳) **

要 約

「米国連邦道路庁」(Federal Highway Administration、以下FHWAと略す)が実施する研究・開発・技術普及プログラムの今後における方向性を以下に示す。このプログラムの成功の鍵を握るものとして4つの要素がある。第1には、FHWAが手がける構造物の設計、製作、製造、建設、運営、維持管理に従事する人材の質と能力を向上させることである。第2には、情報の正確さ、適時性、関連性等を向上させ、米国の道路構造物を改良する上で、最良の行動方針を意思決定できるようにすることである。第3には、新たな知識と技術を開発し続けることで、道路上の構造物の安全性、信頼性、安全保障性、性能を大きく向上させることである。第4には、現状より更に有効な方法で新技術の提供や実施を行うことである。こうした人材、情報、技術、展開から成る枠組みにおいて、FHWAは、次の通り、新たに3つの研究活動を率先して進めていく計画である。すなわち、「橋梁の未来像」、「将来に向けた維持管理」、「橋梁の安全性、信頼性、安全保障の確保」の3つである。

1. はじめに

米国の道路網を利用することで、米国のあらゆる地点に常時行くことが可能であり、また、別の交通手段も利用すれば、世界各地へも行くことが可能である。道路は、米国経済の中軸であると同時に、米国の安全保障にとって極めて重要なもので、また災害時にも絶対欠かせない存在でもある。大抵の国民は、米国における道路のこうした重要性を評価し、理解しているものの、橋梁が国家にとってどれ程重要であるかについては十分に理解

していない。米国の道路上には、590,000橋を超える橋梁が存在している。小規模橋梁も入れると、その数は、百万橋を優に超える。橋梁で特に重要なのは、州間高速道路や主要高速道路等に架かっている橋梁である。これら橋梁の重要性は、全交通量の60%以上が、そして、全トラック交通量の80%以上が「全米幹線道路網」(National Highway System、以下NHSと略す)上を走っていることから明らかである。このNHSは米国における道路総延長の4%を占めているにすぎないが、全橋梁の20%以上がNHS上に位置している。これらの橋梁は、道路網のネックとなる可能性がある。現在、160,000に近い大型橋梁が水準以下の橋梁であるが、それ以上に重要なのは、1日10億回以上、車がそれらの橋梁を走っていることである。こうした事実に加えて、現在FHWAが直視すべきことは、米国における橋梁の多くがテロの標的となるかもしれないことである。多くの記念碑的な橋梁は、米国の交通の要であるだけでなく、全米のシンボルでもある。

FHWAでは、水準以下の橋梁数が1982年には250,000橋以上あったのを、2001年には160,000橋未満にまで削減してきた。欠陥橋梁数は年5,000以上の割合で削減させており、大きく改善されていることは明らかである。しかしながら、FHWAの戦略的な目標を達成するためには、毎年7,000橋以上の割合で欠陥橋梁数を減らしていくが必要である。FHWAの現行戦略では、今後5年間に、毎年少なくとも10,000橋の橋梁を補修したり架け替えたりすることにしており、毎年、約3,000の橋梁が欠陥橋となることを考慮しても、差し引きで年間削減目標を下回らないようにしている。しかし、これらの新設する橋梁は、現在の技術で設計、建設されている。今後の交通量の伸びの予

FHWA's Research and Technology Vision for the Future

測と、今日建設される橋梁の劣化率が、20年前に建設された橋梁の劣化率とほぼ同じで、既設橋の大部分が、40年以上前に建設されたものであるという事実を考えていくと、欠陥橋梁による問題は今後も続いていくと予想される。

さらに、こうした橋梁の継続的な更新は、前例のない厳しい要求を満たしながら進めていかなければならない。すなわち、交通を止めないだけでなく、交通容量も高め、渋滞ができるだけ発生しないように努めなければならない。また、初期コストと維持コストの双方を出来るだけ低く抑える必要性も高まっている。さらには、既設橋を効果的に手際よく維持管理を行う要求も忘れてはならない。例えば現時点において新技術を開発したとしても、米国における全ての橋梁を根本的に見直し、改善するには間違いなく数十年を要する。さらには、国内の安全保障に関する新たな課題もすでに突きつけられている。

今回の研究プログラムは、全米インフラ更新調査計画 (National Infrastructure Renewal Research Agenda) において明らかにされているニーズに対応するものである。まず、橋梁の将来像の研究は、部材の強化、構造面の強化、技術の強化、構造物の性能の強化というニーズに対応する。次に、将来に向けた橋梁の維持管理の研究は、信頼性の高い適時のデータとその提供、意思決定支援手法の改善、及び妥当性のある数値尺度の開発といったニーズに関連する。そして、確率論的なライフサイクル解析をインフラの管理に組み込むというニーズについては、極端な災害が発生した場合における道路構造物の安全、信頼、安全保障を確保する第3番目の研究活動において取り組む。

2. 理想像／成果

FHWA の理想は、橋梁の標準劣化曲線より健全度を高めそれを維持することである。このため、FHWA では、より耐久性が高く、長持ちする橋梁を開発し、各州、各業界と協力して、幅広く実現させる。本プログラムの成果である橋梁は、従

来のものより長持ちするだけでなく、維持管理作業を大幅に軽減するものでもある。さらに、交通量等の変化にも対応が可能であり、既存技術を用いるよりも、はるかに短期間で場所をとらずに行うことができる橋梁である。

既設橋を効果的に維持管理するために、FHWA では、既存のシステムよりもはるかに効果的な意思決定支援システムを開発して提供する。この未来型橋梁維持管理システムはより良質の情報、知識、技術、意思決定支援手法に基づくものである。したがって、この維持管理システムを用い、意思決定者は、対象橋梁のライフサイクルにおける任意の時点において、最善の方策を選択することが可能となる。また、こうしたシステムのみならず、多数の既設橋に効果的な取り組みを可能にするような、新たな補修技術、補強技術、維持管理技術、保全技術も開発し提供する。したがって、橋梁の架け替えは、道路橋の維持管理手法を決定する上での最後の手段になる。

以下に示す研究プログラムは、TEA-21 (Transportation Equity Act for the 21st Century: 21世紀に向けた交通平準化法。1998年6月に制定された、今後6ヶ年度の米国の交通政策の基本となる法律。)の下で行われた研究結果に基づくものである。そして、あらゆる方面で新しい橋梁を開発し提供することで、将来における懸念を払拭する。今回のプログラムの研究活動で率先的に取り組むのは、成功の鍵を握る極めて重要な次の4要素である。すなわち、「人材」「情報」「技術」「展開」である。この4つの要素から成る枠組み内で構造物研究における、3つの取り組むべきテーマすなわち重点事項は次の通りである。第1番目は、未来の橋梁像を開発し提供すること、第2番目は、将来を見越して既設橋梁を維持管理すること、第3番目は、米国における橋梁の安全性、信頼性、安全保障を確保することである。この各重点事項におけるFHWAの現在の考え方を以下に示す。

3. 人 材

FHWAでは、デモンストレーション・プロジェクトをより活発に活用するとともに、もっと現在の要望に合うように手直しして、各州の運輸局の仲間に、新技術の導入を進めていく計画である。すなわち、デモンストレーション・プロジェクトはこれまで大きな成功を収めてきたので、FHWAでは、構造物の分野にも適用する計画である。そのためによい考えだと思っているのは、優れた研究センターをいくつかの大学に設立することである。そこを拠点として、FHWAの研究開発プログラムの成果に精通した次世代の学者や研究者が輩出することが期待される。また、この研究センターの取り組みを、TEA-21に基づき設立された大学にある運輸センターと連携させればおそらく有益な成果が出るはずである。さらに、FHWAでは、構造物を対象とした「全米道路研究所」(National Highway Institute、以下NHIと略す)研修コースも新たに設ける予定である。現在NHIが実施している一連の講座だけでは、道路構造物に関する十分な内容の授業を行っていないからだ。人材育成を行う計画の中で、もう1つ重要なのは、業界と協力して、建設・製作・製造に従事する作業者の知識、資格、生産性を高める支援を行うことである。FHWAの構想では、こうした支援の一例として、資格認定に対して重点的な支援を行う予定である。FHWAでは、研修にどの程度の費用と時間を要するか、十分に承知している。さらに、遠距離のコンピューターによる学習システム等の新技術を活用し、専門的知識や技術のレベルの向上も図る計画である。

4. 情 報

FHWAの橋梁点検要領および「全米橋梁データベース」(National Bridge Inventory database、以下NBIと略す)は、橋梁の長期的なデータを得ることのできる、国家レベルの最も包括的な情報源である。FHWAでは、橋梁維持管理情報システム研究室を通じ、NBIの情報を十分に活用して

いる。さらに、FHWAは、Pontisなど橋梁維持管理システムを支援するために現在収集されている、部材レベルのデータについても完全に把握しており、現在は国家レベルで部材レベルのデータの利用方法を研究している。NBIと部材レベルのデータは両者ともに目視点検にのみ基づいて作成されたものであり、目視では確認できない劣化損傷に関するデータは、収集されていない。

4.1 長期橋梁性能研究プログラム

現在の損傷に関するデータは、数値データでなく主観的なデータである。そのため、このデータでは、橋梁のライフサイクルにわたる最適策の意思決定を支援するには不十分である。将来にわたり橋梁の維持管理を行うにあたり、必要なデータの提供を支援する研究が長期橋梁性能研究プログラムである。すでに述べた通り、現行の橋梁点検では、橋梁性能を長期にわたって高い信頼度で予測するのに必要となる詳細な数値データは得られない。このため、長期舗装性能研究プログラムに類似した長期橋梁性能研究プログラムが計画されている。この研究プログラムでは、既設橋梁と新設橋梁の中から代表サンプル(サンプル数は、橋梁数千橋)を抽出する。その後、詳細点検と定期的な評価を行い、サンプル橋梁の性能を長期間(少なくとも20年間、出来ればそれ以上)にわたり、橋梁状態の監視を行う。この結果、これまで入手できなかった、道路橋の性能に関する高品質の数値データを入手でき、設計の改良、予測モデルの改良、橋梁維持管理システムの改良を支援することができるようになる。また、この長期橋梁性能研究プログラムの2番目の要素は、サンプル中の一部の橋梁(数百橋)に測定機器を取り付けておき、橋梁性能のデータを長期にわたり継続的に入手することである。さらに、本研究プログラムの3番目の要素は、毎年数百橋の解体橋梁(毎年解体される数千橋の一部)に対する詳細な科学的分析である。FHWAでは現在のところ、腐食や過積載、アルカリ骨材反応、その他重要な劣化プロセスに関する貴重な性能データを、これらの解体橋梁から収集していないからである。

4.2 橋梁性能と状態に関するデータの向上のための技術

FHWAでは、より喫緊で優先度の高いニーズにも応える計画である。このニーズとは、短時間で場所をとらずに非破壊で行うことができる定量的な状態評価法に対するものであり、FHWAの戦略的な目標と直接結びつくものである。一例を示すと、アスファルト舗装床版の簡易検査、簡易荷重載荷試験、橋梁ケーブルの検査・安全確認、鋼材における亀裂の検出等が挙げられる。FHWAでは、非破壊評価の技術を引き続き重点的に開発し、道路構造物の最適な維持管理のために必要な情報の質を高めるといふ、総合的な戦略のニーズに依って行く。

5. 技術

FHWAの研究開発プログラムにおける主たる活動は、新しい技術を開発し、将来のニーズに依って行くことである。技術面での新しい研究活動は、橋梁の未来像を造り出す活動である。

5.1 橋梁の未来像

この研究活動から生まれる成果は、かつてないほど長期間にわたり機能する新世代型の橋梁である。こうした、新世代型の橋梁では、高性能の部材を効果的に使用し組み合わせることにより、構造面、コスト面で最も効果の高い橋梁を実現することになる。この研究活動の目的は、革新的な新世代型の橋梁を開発し、性能に関する以下の目標を満たすことである。

- ・維持管理作業を行わずに100年間供用。
- ・工期は現在の10分の1。
- ・週末毎に生じる交通量の増加に合わせ振幅や調整が容易。
- ・ライフサイクルコストは、現在における橋梁の10分の1未満。
- ・洪水、地震、火災、風害、破損、腐食、過積載、船舶衝突に対しての耐力向上。
- ・橋梁全体（基礎からパラベットまで）を体系的に設計、建設。
- ・側方余裕幅は、支間を長くすることにより拡大。

- ・桁下高に関する問題は、構造材の厚さを薄くすることで解消。
- ・施工性は、耐久性と同様に重要。
- ・点検、維持に配慮した設計。

こうした目標達成に向けて、FHWAは、創造力と技術力を限界まで活用する。さらに、FHWAは、何兆ドルもの資金を投資した構造物を引き続き効果的に管理しなければならない。これが、FHWAによる維持管理研究活動における焦点である。

5.2 将来に向けた維持管理

維持管理とは単に、無駄を無くすことや、会計上の支配を及ぼすことにとどまるものでない。維持管理とは、最適な技術の適用を各橋梁に、橋梁のライフサイクルの各段階に応じて実施することである。維持管理という今回の中心課題の研究成果は、ライフサイクルにわたり意思決定を支援するシステムと、膨大な既設インフラを効果的に維持管理するための技術である。この成果は、劣化モデルや経済モデルを1つにまとめたソフトウェア製品を作り上げる程度のものでない。橋梁のライフサイクルにわたり意思決定を支援するとは、優れた維持管理を支援する知識、理解、情報、技術を提供することである。FHWAがすべての事項について知識と理解をすでに有しており、さらに、必要な技術と情報をすでに有しておれば、研究はほとんど不要である。しかし、残念ながら、長期間にわたる橋梁の性能に関する知識、理解のレベルは、意思決定を支援するシステムを構築するには不十分なのである。この支援システムに関する研究活動のいくつかの側面は以下の通りである。

5.3 適切な維持管理に要する知識、理解、技術

適切に維持管理する鍵は知識と技術であるので、FHWAでは、現在の知識と技術の不足分を埋める研究を継続して実施する。研究例としては、疲労損傷や腐食防止に着目した研究等が挙げられる。最近、ウィスコンシン州で橋梁が1つ破損を受け、またフロリダ州でケーブルの腐食による問題が発生したが、これらの事例は、この研究の必要性は

今後も続くことを示している。さらに、FHWAでは、既設構造物の補強や急速な補修に関する研究や維持・保全分野に関する研究も、新たに重要視するよう提案しているところである。また、新たな非破壊評価技術の研究開発を継続することも、FHWAにおける維持管理の研究の中で極めて重要な研究活動として考えている。

5.4 橋梁のライフサイクルにわたり意思決定を支援するシステム

適切に維持管理するとは、結果として、適切な意思決定を行うことである。したがって、FHWAでは、橋梁のライフサイクルにわたり意思決定を支援するシステムを構築するために、必要かつ基礎的な知識、理解力、技術力を生み出すための研究を重点的に行う。こうした研究の例をいくつか挙げると、橋梁とその部材の長期的な性能を予測できるように実用性と精度を高めたモデルの開発研究、性能を測定する新しい尺度の開発、代表的な維持・保全対策の有効度の測定及び予測を行う研究などである。さらに、FHWAでは、情報技術の応用における世界的な知識と能力を維持しながら、これらの研究を支援していく。

維持管理に関するFHWAの研究活動では、すぐには発生しなくても必ず問題となる腐食や疲労等の損傷要因にも取り組む。しかしながら、橋梁が破損する最も一般的な原因は、洪水や衝突等の大きな災害である。さらに、すでに述べたように、テロの脅威への取り組みという新たな必要性も明らかになっている。こうした稀で異常な出来事にも取り組むことが、米国における橋梁の安全性、信頼性、安全保障を確保するというFHWAの研究活動における焦点である。

5.5 米国における橋梁の安全性、信頼性、安全保障性の確保

FHWAの「戦略的研究プログラム」における「安全性、信頼性、安全保障の確保」の部分では、例え極端で稀な事象が発生しても、道路橋が安全で十分機能できるようにするために必要な知識と技術を開発する。このためFHWAは、米国の安全保障に対する脅威に、効果的に対処する方法と

技術を開発する新たな研究活動を提案する。最も可能性の高い脅威は、爆発、衝突、火災等であるが、これらは他の脅威とともに、リスクアナリシスの論理的・包括的な枠組みの中で研究を進める。

さらにFHWAは、現在の知識の不足分を補い、技術を改良する研究を継続し、他の極端で稀な事象に対しても、道路橋が安全で十分機能できるようにすることを提案する。すなわち、FHWAでは、水理学研究プログラムを継続し、橋梁事故の原因の中で発生頻度が最も多い洗掘の研究に取り組む。風により引き起こされる問題も依然として関心の高い重大な問題である。最近でも、風雨共に軽微であるにもかかわらず、ケーブルが大きく振幅振動し問題となった。FHWAの耐風性の研究では、この問題が新設橋梁に発生しないよう努めるとともに、この問題を示した既存橋梁に対しても、適用可能な対策の開発に努める。大規模地震については、それが地域間の交通に影響することは、これまで何回も経験してきた通りである。しかし、大規模地震が発生する毎に教訓を学び、その結果、新たな基準と新たな技術が生まれることが多い。FHWAの地震研究プログラムでは、既設橋梁の補修に関する手引きをすでに作成しており、地震において橋梁が落橋する可能性をより低くしている。この地震研究プログラムでは今後、新たなエネルギー逸散技術を開発して、新設橋梁の脆弱性を軽減する。

6. 新たな課題と技術

前述の各研究プログラムの実施に加えて、FHWAは、新たな課題に取り組むために、新技術を活用していくことを求められている。すなわち、FHWAでは、技術関係の重要課題について精通し、政策立案者等に対し迅速に助言を行うことが求められている。例えば、FHWAは、地球温暖化などの課題に精通し、温暖化に関する重要な政策決定を行えるようでないといけない。天候の傾向が大きく変化すると、その影響は大きく広い範囲まで及ぶからである。地球温暖化について1つのシナリオを挙げると、水が地球規模で再

分配され、その結果、五大湖の水位が数フィート低下する。そうすると、堆積プロセスにどのような影響を与え、そして、数千に及ぶ道路橋が洗掘され安定性にどのような影響がでるかは、米国全体にとって重大な問題である。また、FHWAは、「微小電子機械システム」(Micro-Electro-Mechanical Systems、以下 MEMSと略す)など、新たな技術を独自に活用できる立場にある。このMEMSは、工程と品質管理に大きな変革をもたらすかもしれないだけでなく、構造物の性能と劣化の長期測定についても変革をもたらす可能性を含んでいる。今日の世界の運送業界において生じている技術革新の速さと、米国が直面している課題の規模と範囲を考えると、FHWAには、重要課題に対し、新たな技術活用を行う役割を果たすことが求められている。

以上、新たな知識と技術を作り上げることを目的とする、大胆で、広範な影響を及ぼす支援・研究・開発プログラムについてその概略を述べてきた。こうしたプログラムはすべて必要で重要なものであるが、このプログラムのもたらす利益は、これらの知識と技術が実用に供されない限り、十分には実現されるものでない。このプログラムの成功に欠かせない最後の要素は、FHWAの各研究開発プログラムの成果の展開を支援する計画である。

7. 展 開

FHWAでは、10年に及ぶ高性能部材に関する研究に基づき、「革新的橋梁の研究・建設プログラム」(Innovative Bridge Research and Construction Program、以下IBRCと略す)の研究範囲を拡大し、その研究方向を、新技術を推進するための主たる仕組みとするよう計画している。IBRCはすでに利益をもたらしてきたが、その特徴は、鉄筋をポリマー材と取り替えることや、標準コンクリートを高性能コンクリートと取り替えることなど、小さな段階的な改良を講じることであった。しかし、新IBRCにおいては、漸進主義に終止符を打つ。新IBRCにおける今後の目標は、

全面的に新しい橋梁を実証し促進させることである。そのため、FHWAでは、IBRCの研究範囲を新規部材・新設橋梁にとどめず、新たな構造、補強、補修、維持管理、保全等も研究対象の一部とする計画である。また、新技術の性能に対して、これまで以上の詳細な評価を行い、得られた結果を、良悪を問わずに広範囲の関係者と共有する計画である。新IBRCが重視するのは、今後の新たな基準となる可能性を有する新技術を展開し、評価することである。それは、少数の橋梁ではなく、数千の橋梁に適用できるような技術を開発し、促進したいからである。

8. おわりに

以上述べた内容は、道路構造物に関する高度なニーズに向けられた研究・開発・技術普及プログラムに対するFHWAの現在における考え方である。また、このプログラムは、戦略的計画であるが、同時に具体的な長期目標も有している。FHWAが取り組んでいる各ニーズは、米国だけのものではない。そこには、米国と日本が提携・協力し、新たな知識の取得や新技術の開発・展開を行う機会が多く含まれている。本論文は、FHWAにおける今後の進展方向について外部に情報提供することだけでなく、将来の研究協力の機会を明らかにすることも意図している。

※本論文は2002年10月に開催された第18回日米橋梁ワークショップにおいて発表されたもので、本人の了解をえて翻訳を行ったものである。

Steven B. Chase*



米国連邦道路庁ターナー・フェアバンク道路研究センターインフラ研究開発部、橋梁技術部長
Steven B. Chase

高木伸也**



独立行政法人土木研究所
構造物研究グループ橋梁
構造チーム研究員
Shinya TAKAGI