

橋の復旧法の一考

広島大学大学院 正会員 有尾 一郎
東北学院大学 正会員 中沢 正利

1. はじめに

近年、地震、津波、集中豪雨などによる自然災害が多発し、道路や橋梁などのライフラインが被災し(写真-1 参照)、地域の防災・減災意識が高まっている。特に、橋はライフライン上のクリティカルパス(要)であり、一般に早期に復旧しないが、復旧の速さは生活に関わる優先かつ重要な課題である。本課題において、基礎研究である後座屈解析理論¹⁾ならびに構造最適化理論に基づいて、展開構造物の発展とその可能性を確証するために、折畳める連鎖シザーズ型の橋システムを開発してきた。緊急時に安全に橋を復旧させる技術と新しい構造を提唱する²⁾とともに、実際に多重折畳み展開機構を採用し、橋の危険な(基礎)工事なしで、橋の高効率な復旧法の一つとして構想してきた³⁾。

2. 社会的背景

防災上の災害復旧技術に関しては、その被災規模や現場の状況などから様々な課題が多く存在する。特に、災害現場においては、災害発生後の時間的対応が問題視され、具体的な対応策が急務とされている。これまで様々な災害調査から、避難路の要である橋を迅速にリカバリーさせる技術的課題と危機管理上の重要な構造物と位置付けられる。そのために、緊急車両一台でも、迅速に通行が可能となる新しい緊急橋のカテゴリーは必要であり、様々な災害が多発する我が国はじめ国内外では防災上の緊急・復旧ツールの開発として必要性がある^{4),5)}。しかしながら、復旧時間を最優先とした復旧工法に関する近代的なツールが乏しいのが実状である。本発表では、これまでの宇宙構造分野で培われてきた展開構造研究を地上の実橋に導入するための、基本的な橋構造の動力学概念⁶⁾を構築し、その応用による防災力を高められる方法論を考える。



写真-1 2011.7 新潟・福島豪雨による流橋被害事例

3. 展開構造物の学術的背景

橋の軽量化・長大化と強度の関係性は、一般に相反する問題であるとともに、それが伸縮展開し可変剛性の機能性を伴う橋システムではその技術的課題はさらに困難である。本研究課題は宇宙展開構造物に共通する課題を抱えており、ある環境条件下で最大の効果と機能性を果たさなければならない。

円筒シェル構造体の後座屈研究により、理想とする展開構造を折り紙を用いた座屈現象の再現スキルから最適な展開トラス形態を考究している¹⁾。さらに、ポerland科学アカデミー(PAN)IPPTのスマート構造研究センターはマイクロストラクチャー構造を模した、多層パンタグラフ構造(MFM)システムから多段階の折畳み構造概念として発表している⁷⁾。この分野の研究動向は、崩壊パターンと最適展開の共通性があり、理工学的に技術創造や発想の種があり、学術研究上重要であると考えている²⁾。

4. 被災後の復旧法としての橋開発アプローチ

社会的課題と学術的方法論の谷間的課題に取り組んでいるが、既存の応急橋の性能評価とリスク評価の方法が、震災以前の日常観念に立って、新しい工学的ア



写真-2 折り畳める可搬展開橋「モバイルブリッジ (MB)」

プローチ (新技術の導入) の障壁となっているように見受けられる。災害復旧用の仮設橋が迅速にビルトアップでき、地域防災に設置できれば「村の孤立化」や「ライフラインの要 (の機能停止)」を早期に解消できる手段の一助になり、防災上の簡易仮橋に活用できるとともにレスキュー隊による人命救助や救急活動に利用できるだけでなく、復旧が早期に完了できれば、経済活動 (へのダメージ最小化と早期回復) の効果は大きい。自然災害から国民の生命と財産を守ること、ならびに、災害復旧バックアップ基盤の開発は、我が国はもとより、世界が共通する課題であり、迅速な災害復旧貢献に期待できる。地震や大雨が多発する国にとっては、公共的なレスキュー構造物としての開発と危機管理上の研究開発拠点と支援拠点にもつながり、地域の安全・安心・対応手段に貢献できるものと考えられる。

5. 橋のレスキュー的な備え

シザーズ機構による多重折畳み橋システム、写真-2に示す橋を開発するにあたり、具体的な細部の詳細設計をシミュレーションとして描画し、要求機能・性能、設計条件と機構の干渉や材料選定など構造力学に基づいた技術的課題を洗い出し、プロトタイプ製作で培った実験分析データに基づいて製作を行った。また、MBの完成後に関連する各種構造実験において、MBの機動性と仕様上の要求性能を照査しながら、迅速に対応できる新しい橋システムを開発してきた。

6. 車両走行実験について

伸縮可能な仮設橋システムの耐力評価を実施するために、完成した構造体を施工技術総合研究所に運搬し、使用上の強度評価を実施した⁸⁾。実験項目として、1) 構造体の応力とたわみによる評価、2) 車両走行実験、



3) 橋の振動評価、4) 現場適合性を検証している。

7. 結語

本開発構想による超スピード架橋施工技術の効果は、被災後の復旧対策や架設工事において、新しく創造される次元の価値であり、その評価のためには、自助・共助・公助を横断的に支援し連携させるプラットフォームをシステム構築できる。それは、例えば、大規模化・多様化する災害に対応した人命救助法のツール強化、BCP(事業継続計画)上の経済回復力の強化、防災・減災対応力の強化など、本橋のイノベーションによって新しい評価軸を産み出す価値があると考えられる。

謝辞 本実験橋の開発プロジェクト構想にあたり、各社の貢献と協力に深謝する。

参考文献

- 1) G.W. Hunt and I. Ario: Twist buckling and the foldable cylinder : an exercise in origami, *Int. J. of Non-linear Mechanics*, Vol. 40(6) (2005) 833-843.
- 2) I. Ario *et al.*, DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DEPLOYABLE BRIDGE BASED ON ORIGAMI SKILL, *Automation in Construction*, Vol. 32, July 2013, 104-111.
- 3) 有尾 一郎, モバイルブリッジの発案と展望, 橋梁と基礎, 46 (2012) 115-118.
- 4) I. Ario *et al.*, Smart Bridge Design Concept to Re-build up Deployable Bridge, *Proc. of Australian Small Bridges Conference*, 5 (2012)
- 5) P. Pawlowski *et al.*, SMART, DEPLOYABLE SKELETAL STRUCTURES FOR SAFETY ENGINEERING, *Proc. of ECCOMAS Conference on Smart Structures and Materials (SMART2013)*, 6 (2013)
- 6) I. Ario *et al.*, Dynamic analysis for the prototype of a new type of Mobilebridge, *Proc. of European Non-linear Oscillation Conference*, 35 (2011)
- 7) J. Holnicki-Szulc, P. Pawlowski, M. Wiklo (2003): High-performance impact absorbing materials - the concept, design tools and applications, *Smart Materials and Structures*, No.12 (2003) 461-467.
- 8) I. Ario *et al.*, Development of Prototype of Real-scaled MobilebridgeTM as a Smart Bridge for Dynamic Carriage Loadings, *Proc. of Dynamics, stability and control of flexible structure*, (2013) CD