

社会基盤施設の維持管理におけるライブデザインの考え方

Concept of Live Design for maintenance of infrastructures

川本篤志*, 白木 渡**, 保田敬一***, 伊藤則夫****, 堂垣正博*****
 Atsushi Kawamoto, Wataru Shiraki, Keiichi Yasuda, Norio Ito, Masahiro Dogaki

* (株)荒谷建設コンサルタント 鳥取支社 技術部 (〒680-0874 鳥取市叶 148-3)

** 工博 香川大学教授 工学部信頼性情報システム工学科 (〒761-0396 高松市林町 2217-20)

*** 博(工) (株)ニュージェック 東京本社 技術開発 G (〒135-0007 東京都江東区新大橋 1-12-13)

**** 博(工) (有)シー・エー・イー 代表取締役 (〒680-8064 鳥取市国府町分上 2-210)

***** 工博 関西大学教授 工学部都市環境工学科 (〒564-8680 吹田市山手町 3-3-35)

A huge number of infrastructures have been constructed through from the recovery after the Second World War to the rapid economic growth in Japan. Hereafter, it is an important issue how to maintain such a huge stock of infrastructures effectively. A lot of studies on the life cycle cost management (LCCM) and the asset management (AM) of infrastructures are urged onward. Most of management systems that have been developed up to now, however, are not able to deal with the deterioration of performance such load-carrying capacity of structures and the change of service conditions. In this study, a new concept to approach to the maintenance of infrastructures is developed based on the live design concept introduced in the soft disaster prevention after the terror attacks of September 11, 2001 in New York. A new management process for maintenance of structures is proposed for meeting multiple demands during the reference time.

Key Words: Live Design, maintenance, asset management, infrastructures

キーワード: ライブデザイン, 防災教育, 維持管理, アセットマネジメント, 社会
 基盤施設

1. はじめに

これまでの社会基盤施設整備では、過去に経験した荷重状態を基本に設定された設計仕様に従う仕様規定に基づいて整備されてきた。しかし、今後は、設計の考え方が仕様規定から性能規定に移行されることにより、対象構造物の使用状態から終局状態までを明確に規定するとともに想定外の状態に至った場合の安全の確保についても言及する必要がある。ここでいう想定外の状態とは、対象施設の危機的な状態、すなわち破壊状態を意味する。

社会基盤施設は、多くのユーザーの使用を目的に建設されているものであり、施設や設備の耐震性や防災性をハードで高めて人的な被害を軽減するのみではなく、あるレベルの性能を保有する施設や設備が被害を受けた場合に、如何に迅速に人々を避難させ、損失を最小化にするかといった発想が極めて重要となる。この想定外の状況下において被害を軽減しようとする考え方がソフト防災である。

ソフト防災の考え方では、大災害の発生時には被災状況の迅速な把握、避難経路の確保や避難経路への誘導を行うことで、被害の軽減を図ろうとするものであり、今までのよう

な施設・設備の補強に重点をおいたハード防災対策の考え方から効果的な避難対策を重視したソフト防災(減災)に移行しようとする極めて重要な発想である。そして、このような新しい防災対策上の考え方は、コロンビア大学(米国)の G. Dasgupta 教授によって提唱され、従来の防災の考え方「Dead Design」に対して、「Live Design(ライブデザイン:救命設計)」と称されている。この“Dead Design”という言葉は、あくまで“Live Design”に対比するための造語である。

例えば、災害が起こった時、どのように避難すればよいのかといった研究は、近田ら¹⁾、松田ら²⁾、白木ら^{3) 4)}、安井ら⁵⁾によってセルラオートマトン(CA)などのソフトコンピューティング技術を活用した人間避難行動シミュレーションとして行われている。また、光高らの遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた避難出口の最適配置の研究⁶⁾もある。このようなソフト防災の考え方に基づいた災害時の避難シミュレーションは、ここ数年の間に緒についた新しい研究である。しかし、社会基盤施設をライフサイクルにわたって維持管理するといった課題は、前述した災害というイベントが起こった際にどのように対処すればよいかと

いうソフト防災と同質であるにもかかわらず、これまでハードな施設・設備の設計とは切り離して考えられているのが現状である。ここ 30 年の間に 50% の高い確率で東海、東南海、南海の巨大地震の発生が危惧されているわが国において、これまでに建設し蓄積されてきた膨大な社会基盤施設を、今後、長期にわたって維持管理して行くためには、ソフト防災という考え方をその維持管理施策に早急に取り入れられるべきであると考えられる。

そこで、本研究では、被害の軽減を図ることのできる設計を「ライブデザイン (Live Design)」と定義し、従来の設計 (Dead Design) にソフト防災を組み入れた新たな維持管理の枠組みを提案する。この考え方は、現状の維持管理あるいはアセットマネジメントとは異なる考えであり、これまでのようなハード中心の対策でもなく、また、災害時にどのように避難すべきかといった狭義の概念でもない。すなわち、本研究で提案する社会基盤施設の維持管理におけるライブデザインとは、そのコア要素として①情報の収集と分析、②情報の伝達、③参加型の学習機能をもった防災教育、④性能マトリックスによる安全性の設定などにより構成され、関連する諸分野を包含し、幅の広い考え方に立った概念である。

2. ライブデザインとは

米国では、2001 年 9 月 11 日にニューヨーク貿易センタービルにおいて発生したテロにより、国内における安全性の低下、緊急時における施設利用者の救出及び人命の確保が大きな社会問題となった。そのような中、コロンビア大学 G. Dasgupta 教授等は、緊急時の状況に適合した避難を実現する設計概念として『Live Design』を提唱した。以下に米国における Live Design の概念⁷⁾を紹介する。

従来の建造物の設計では、構造諸元は設計基準で規定された強度 (応力度) と経済性により決定されるが、設計後の安全対策に関する検討はまったく行われていない状態であった。しかし、同時多発テロ以来、建造物の管理者は、建設後の安全を確保するため、情報技術 (IT) を有効に活用した避難シミュレーションにより、緊急時の安全対策の検討を実施し、ライブデザインプロトタイプの開発に着手するようになった。とりわけ、多くの一般ユーザーが利用する建築物では、火災などの災害が発生した時、安全が確保された避難経路を膨大なセンサー情報を分析して短時間に決定することが求められている。このように緊急時において、ほとんど瞬時に膨大なセンサー情報をベイズ理論等の確率統計処理手法により高速・大容量の計算処理を行い、安全対策を実施する方法をライブデザインと定義されている。

ライブデザインは、以下に示す 3 つの主要なステージにより構成され、IT エンジンにより 3 つのステージ段階にてライブデザインデータベースと直接データの発信を行いながら最適な避難方法を誘導することを考えている。

- ① データ取得 (設計計算、設計法及び法的制約条件など計画時データおよびセンサーからもたらされるリアルタイムデータ)
- ② シナリオ設定 (脅威 <threat> のシナリオを構成する指標の統計的な組み合わせにより脅威パターンを想定する)
- ③ 最適解の検出

すなわち、米国におけるライブデザインの概念は、常にデータベースとダイナミックな発信を行いつつ、新しい情報をもとに大量のデータを瞬時に処理して最適解を導き判断および更新を実施して行こうとするリアルタイムな対応の必要性に主眼を置いたソフト防災の考え方を表すものである。

上述のライブデザインの概念は、現在、日本にも取り入れられてきており、とりわけ、防災分野では、緊急時の対応が最も重要となるためライブデザインの適用の有効性が期待されている^{3), 4)}。しかし、維持管理分野への適用は未着手の状態である。

そこで、本研究では、性能設計体系下における維持管理の考え方を見据え、被害の軽減を図ることのできる設計を「ライブデザイン (Live Design)」と定義し、従来の設計 (Dead Design) にソフト防災を組み入れた新たな維持管理の枠組みを提案していく。

3. 設計体系の変更に伴う維持管理のあり方

近年、設計体系が従来の仕様規定から性能規定へ変わろうとしている。それに伴って維持管理も性能規定を考えたものにせざるを得ない。以下に仕様規定と性能規定における維持管理について整理しておく。

3.1 仕様規定

現在の仕様規定における維持管理の状況を列記すると以下ようになる。

- ① 明確な維持管理についての記載がなく、行政管理者の独自の判断により行われていた。
- ② 各行政単位でまちまちな管理となっており、財政的な制約の下で対処療法的な対応となっていた。
- ③ 財源不足を背景に社会資本施設の管理・運営を効果的かつ効率的に行うための体系化された実践活動として、アセットマネジメントシステム (AMS) が主流となっている

3.2 性能規定

性能規定で求められる維持管理の内容を列記すると以下ようになる。

性能設計では、建造物に要求される性能を規定し、その要求性能を満足させるような維持管理を実施する必要がある建造物の供用中に起こりうる様々な状況に対する要求性能を設定するため、建造物の限界状態、崩壊・倒壊状

態について言及する必要がある。すなわち、

- ① 構造物の限界状態、崩壊・倒壊状態における性能レベルの設定、対応処置の考慮が重要となる。
- ② 劣化等により設計上考えている構造性能の低下が生じた場合の対処方法も考えておく必要がある。

また、現存する膨大な社会資本ストックは、性能規定以前の仕様にて設計されており、その性能を定量的に評価することは困難である。そのため、現存する社会資本ストックの損傷を許容しながらも永く使用に耐えうるように維持していくことが求められている。

3.3 今後の維持管理のあり方

3.1 および 3.2 に示したように、仕様規定による従来の設計では、維持管理の考え方について明確に言及されていない。しかし、性能設計における維持管理では、社会基盤施設の常時使用レベルから終局状態レベルにおける性能を明確に示すとともに、設計時点に想定していなかった状態が発生した場合の対処方法まで言及する必要がある。そのため、ライブデザインと維持管理との関係の明確な定義が必要不可欠となる。図-1 にライブデザインと維持管理との関係を示す。このうち、図-1 に示すイベントとは、構造物の供用中に偶発的に発生する地震を、そして、不具合とは、対象構造物にて劣化・損傷が進み、構造物の使用が困難になった状態を考えている。

アセットマネジメント⁸⁾ (橋梁マネジメント⁹⁾, ライフサイクルコスト¹⁰⁾を包含する) の考え方では、管理者が蓄積している管理データに定期的に行われている点検・モニタリングデータを加えて、これらの情報を基に適切な判断を下し、戦略的な維持管理を展開しようとしている。この考え方は既存の構造物の維持管理を通常の使用状態の下

で効率よく実施するには有効であるが、イベント時の事前対応を目的として、既設橋梁の耐震性能の向上を図る耐震対策をどのように行うかという問題には全く触れられていない。すなわち、本来の広い範囲をカバーする一元的な維持管理ではなく、常時使用レベルの管理を中心としてイベント発生時の対応については切り離して考えている。

一方、ライブデザインでは、ある一定レベルのハード対策による定量的な安全性の確保に加えて想定外の荷重が発生した場合の被害軽減をソフト的に効率よく実現することを主目的としている。そのため、事前にイベント発生時の対応を考える防災(減災)教育を展開し、イベントが発生した場合には、防災(減災)教育を基本として、①情報の収集、②情報の分析、③安全性の評価、④情報の伝達、⑤対策・検討の手順で被害の軽減と安全確保の活動を行っていくものとする。そして、ハード対策およびソフト対策の両者は密接な関係にあり、管理上切り離して考えることは不合理である。

よって、本研究では、維持管理とライブデザインを並列の位置関係に考え、共通なデータベースを介して相互にデータ交換・更新を行いながら、平常時と異常時のスムーズな対応を行うものとする。

4. ライブデザイン適用上の課題

一般に、ライブデザインは、図-2 に示すように、従来の設計を基本とし、そのベース上に①安全性、②情報の伝達、③教育の3つの主要な柱を架台として構成されている。

ここでは、この3つの主要な柱で構成されるライブデザインを現在の維持管理手法と融合させ、平常時と異常時の管理対応をスムーズに処理していく場合のポイントと課題について述べる。

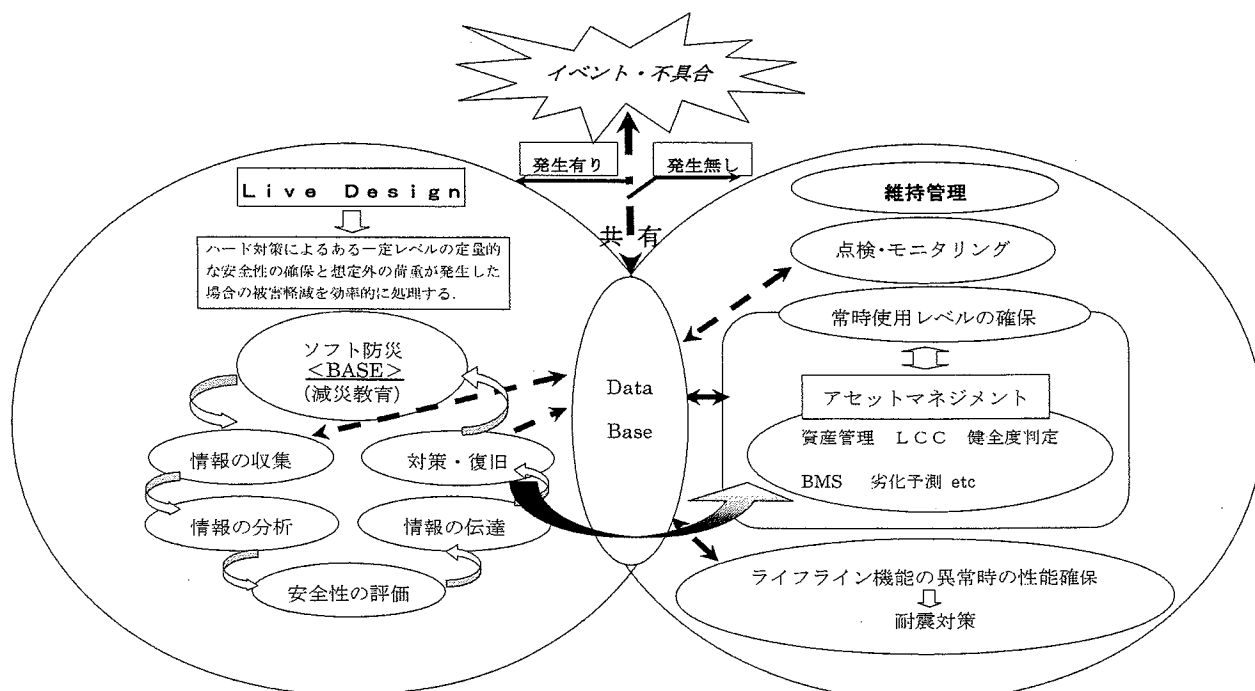


図-1 ライブデザインの位置づけ

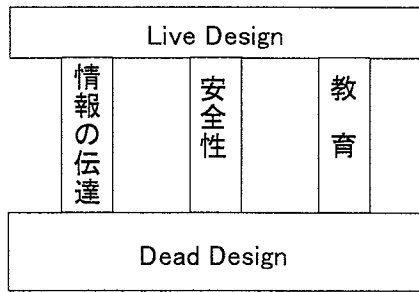


図-2 ライブデザインの3本柱

4.1 情報の伝達 (情報の収集と分析)

この項目に該当する行為は、既存構造物の常時およびイベント発生時の管理シナリオの設定である。既存構造物の多くは、設計時点において維持管理のための設計思想や戦略的シナリオは存在していない。

したがって、まず現時点からの設計諸元の整理および現状分析 (設計当初の思想、現状の交通量、損傷状態等) を行い、過去から現在に至るまでの劣化履歴に基づいて劣化モデルを作成し、これをもとに個々の常時の管理シナリオを作成する必要がある。また、常時の管理シナリオにより構造物の劣化を許容した場合、イベント発生時の構造物性能が低下し、設計当初に考えられていたイベント時の性能レベルまで期待できなくなる可能性がある。そこで、常時の管理シナリオとリンクしたイベント発生時の構造物の耐荷状態を示すイベント曲線を設定し、イベント時の管理シナリオを合わせて作成しておく必要がある。なお、ここで対象とする既設構造物とは、道路を構成する施設を考えているため、橋梁、道路構造物 (擁壁・BOX等)、トンネル、盛土、切土を対象に考えている。

4.2 防災教育

この項目に該当する行為は、検証とシナリオの修正である。ここでは、対象構造物の対策後の状態を定期的に点検し、対策時に想定したレベルまで効果が得られているか、問題点はないかを検証し、つぎの管理ステップにアップデートされる。

さらに、維持管理シナリオ策定や災害発生時における避難方法などは、構造物管理者とユーザーとの合意形成により検証・修正していかないと効果がでない。そのために、広報および普及を含めた構造物管理者、点検者、一般ユーザーへの防災教育¹¹⁾が重要になってくる。例えば、避難路や避難施設の場所、避難施設の使用方法などについて住民参加型の合意形成手法により、利用者の視点に立った設計を実現させるように、常時およびイベント時の管理シナリオ策定も同様に展開される必要がある。

4.3 安全性の設定

この項目に該当する行為は、対策レベルの設定である。

従来の設計では、すべての構造物の使用状態を一定の水準で維持するために仕様が決められている。しかし、建設後、各構造物は、立地条件、環境、施工環境などによって個別の特性を有することとなる。このため、すべての構造物を初期の設定 (仕様規定の範囲内) に維持することは、多大な労力と費用を費やすことになる。

そこで、対象構造物の使用状態に合わせて設定された性能マトリックスにより、適切な診断と対策レベルを設定し、道路ネットワークとしての機能を満足させなければならない。そのためには、構造物の使用性能を満足させ、なおかつ、イベント時に保持すべき保有性能 (設定終局耐力) に応じた性能レベルを決定して、構造物ごとの適切な性能マトリックスを設定する必要がある。また、この性能マトリックスは、管理者とエンドユーザーとの間で合意が得られるものでなくてはならない。

4.4 データベースの整備

性能規定における維持管理を実現するには、先にも述べたように維持管理とライブデザインを融合させることが必要となる。本研究では、図-1に示すように、両者の融合を実現させる重要なポイントとして共有データベースを考えている。そして、ここでは、このデータベースをライブデザインデータベース (LDDB) と称することとする。

このうち、維持管理に関するデータベースについては、各管理者により個別に作成されているが、蓄積された膨大なデータを有効に管理・利用する手法は実装されていない状態であるため、維持管理におけるデータベースの有効利用を図る研究¹²⁾が現在検討されている。しかし、維持管理およびライブデザイン共有のデータベースに着眼したものは存在しない。

そこで、本研究では、LDDBに格納されるべきデータ項目を以下に示す(1)～(5)と考えることとする。これらのデータ項目は、今まで個別に構築・管理されており、データの内容も重複している部分が多いが、LDDBの総枠の中で管理させることにより、効率的なデータのやり取りが可能となり、ライブデザインに基づく維持管理の実施を容易なものとする。

よって、これらのデータの有効な運用と管理・再利用する手法を構築していくことが重要となる。

- (1) アセットマネジメントに用いられるデータ
 - ①橋梁台帳、②建設データ、③点検・モニタリングデータ、④交通調査、⑤事故調査、⑥コストデータ等
- (2) 道路防災点検 (地震) データ
- (3) 地盤データ
- (4) 常時およびイベント時の管理シナリオデータ等
- (5) 震災対策¹³⁾に関連するデータ

(①本震の特性、余震、津波、気象条件等の要因データ、②被災地域の特性に関する地形・土地利用データ、③二次災害発生の可能性に関する要因

データ、④所管外施設との関連に関する地理データ、⑤社会基盤施設（道路、切土法面・斜面、盛土、橋梁、トンネル、その他の道路構造物、道路構造物以外）の緊急調査およびモニタリングデータ）

5. ライブデザインに基づく維持管理の効用

性能設計においては、構造物の多様な限界状態に対応して性能が規定されるため、補修や補強等の軽微な維持管理業務のレベルからユーザーの人命確保が優先される救命のための緊急安全管理業務に至る多様な対応が必要となる。先に述べたとおり、日常の維持管理を効率よく実施し、さらにはイベント時におけるユーザーの安全性、人命の確保を図るためには共有データベース（LDDDB）の果たすべき役割は重要である。LDDDBを有効に機能させるためには図-1に示すように①ソフト防災→②情報の収集→③情報の分析→④安全性の評価→⑤情報の分析→⑥対策・復旧の作業を行いながら各段階で得られたデータをLDDDBに格納し、同時にソフト防災データのバージョンアップ（管理シナリオの更新）を図っていくことが必要不可欠であると考えている。そこで、この一連のライブデザインに基づく維持管理における検討にて得られるアウトプットを以下に列記し、その概要を示すものとする。

5.1 管理地図の作成

ライブデザインに基づく維持管理業務においては、対象とする広範な地域において、平常時には不都合なく社会基盤施設の使用が可能である。また、イベント発生時には、地域住民の避難路として、あるいは、災害復旧の主要な路線としての機能が確保され、住民の安全および人命の確保が得られるように考えていく必要がある。そのためには、想定内あるいは想定外の異常事態の発生に備えて、管理地域内の様々な施設の現状、自然地形の危険箇所や危険物集積場などのハザードに関する情報を集約した管理地図を予め作成しておくことが重要である。そして、この地図データを基に戦略的な維持管理を展開していくシナリオを事前に作成しておけば、災害発生時に効果的な維持管理対策の実施が可能になる。

5.2 社会基盤施設の維持管理ネットワークの作成

ライブデザインに基づく維持管理業務においては、広範な地域を対象とするため、管理区域内に点在する社会基盤施設（空港・港湾施設、ダムや橋梁等）と一般住民の居住地域をノード、道路等の社会基盤施設をエッジとしたネットワークとして捉え、災害発生時における維持管理業務の効率化を図る必要がある。そのネットワークをもとに、防災上基幹となる防災幹線道路を選定し、その路線から伸びる支線を地域住民の生活および避難経路として機能させるべく路線の重み付けを行うことで戦略的な社会基盤施設

の維持管理が実行可能になる。

5.3 道路ネットワーク上の社会基盤施設の情報整理

面的な管理情報は、先に示した管理地図および維持管理ネットワークにより整理することができる。しかし、道路は、橋梁、横断構造物、トンネルなど様々な構造物により構成されており、それらすべての社会基盤施設が有効に機能して初めてネットワークとして機能を果たすことが可能となる。従って、対象地域固有の情報を集約・整理するとともに、集約・整理された情報をもとに地域ごとに管理シナリオを設定しておけば、効果的な維持管理対策が展開できることになる。

5.4 地域の管理シナリオの作成

本研究で提案している性能設計体系における維持管理の考え方では、平常時の戦略的な維持管理と地震などの偶発的なイベントが発生した時の地域住民の安全確保と早急な復旧活動の実現を目指している。そのためには、平常時からイベントが発生した場合の対処方法を想定して様々な活動を行うことが必要である。その活動のベースとなるものが管理シナリオである。従って、管理シナリオは地域特性を生かした常時およびイベント時を一元的に示すものでなくてはならない。

その一つの方法として、対象地域における社会基盤施設がイベント発生時にどのような状況になるかをシミュレーションにより予測・分析し、当該地域に最適な管理シナリオを作成しておくことが考えられる。

5.5 イベント発生時の被災状況の視覚化

上述した5.1～5.4の各管理戦略は、管理者側が必要とするアウトプットである。しかし、実際、イベントが発生した場合には、管理者の指導によりすべてがコントロールされる訳でない。管理者が考える災害発生時における管理シナリオを地域住民に公開し、官民が一体となって防災・減災を目指して対処することが重要である。

イベント発生時の被災状況は、5.4で示したシミュレーション技術により予測できるが、官民が共通の意識をもって維持管理活動を可能にするには、予測された地域の災害状況を視覚化し、事前に検討しておくことが必要である。

5.6 地域の管理シナリオの更新

ライブデザインに基づく維持管理で対象とする社会基盤施設は、一般に時間とともにその性能状況が変化する。従って、建設当初に管理シナリオを作成しても初版の管理シナリオで長期間対応可能という訳ではない。そこで、管理シナリオの更新が必要不可欠となる。上述した5.1～5.5のアウトプットの内容についても、維持管理データの更新、地域利用形態の変更、新規路線の建設など様々な状況変化に対応して適宜更新作業を行い、地域の貴重な社会基盤施設を効果的に維持管理していくための戦略的管理シナリ

オとして進化させ、常時の使用性の確保とイベント時の被害の軽減、安全確保を求めていく必要がある。

6. おわりに

本研究では、性能設計体系化における維持管理の考え方として、常時使用レベルから終局状態レベルの各性能レベルにおける維持管理対策、ならびに設計時に期待された性能が確保できない状況下での管理対策の必要性を示した。そして、この考え方に基いて維持管理業務を実践するための管理手法として、防災の分野で注目されているライブデザインの考え方と現在の維持管理との融合を図り、常時とイベント時の管理を一元化し、常時の使用性とイベント時の対応および安全性を確保することを提案した。

まず、ライブデザインの基本的な考え方について紹介し、米国で提案されているライブデザインの手法ならびにデータベースについて示した。

次に、仕様設計から性能設計へ設計体系の変更に伴う維持管理のあり方について整理した。そして、性能設計体系化での維持管理に必要なライブデザインの考え方を明確にし、現在の維持管理とライブデザインの融合の必要性を示した。

さらに、維持管理におけるライブデザインの適用上の課題を抽出し、現在の維持管理とライブデザインを融合することにより、現在分離して考えられている常時とイベント時の管理シナリオを一元的に表現することが可能なることを示した。

最後に、この両者の融合により、施設や設備の耐震性や防災性をハードで高めて人的な被害を軽減するだけでなく、あるレベルの性能を保有する施設や設備が被害を受けた場合に、如何に迅速に人々を避難させ、損失を最小化することが可能となるか、そのためどのようなアウトプットが必要となるかについて整理した。

本研究は、まだ堵についた状態で、今後は、ここで示した現在の維持管理データベースをライブデザインデータベース (LDDB) に拡張していくとともに、ライブデザインの3本柱である情報の伝達 (情報の収集・分析)、防災教育および安全性の設定について研究を進めていく予定である。

まず、先行して着手する研究としては、ライブデザインデータベースの構築とプロトタイプモデル設定である。そして、それらをもとに常時の性能をベースとしたイベント発生時における保証性能レベル、対策レベル、終局レベルを設定し、常時およびイベント時の一元的な管理シナリオを提案していく。そして、現在の維持管理とライブデザインの融合による維持管理の有効性と問題点の抽出を行い、効率性・経済性重視の常時の維持管理と機能性・安全性重視のイベント時を対象とした維持管理との調和を図り、維持管理の新たな展開を目指していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 近田康夫・浅地剛成・城戸隆良：CAを用いた避難シミュレーションに関する一考察，構造工学論文集，土木学会，Vol.49A，pp.217-224，2003.3.
- 2) 松田泰治・大塚久哲・樗木 武・大野 勝：天神地下街における人間の個体差及び相互作用を考慮した群集の避難行動シミュレーションに関する研究，地下空間シンポジウム論文報告集，土木学会，Vol.8，pp.19-28，2003.
- 3) Shiraki, W., Inomo, H., Ishikawa, H., Yasuda, K., and Aritomo, H. : Simulation of pedestrian dynamics at occurrence of disaster using CA-model, Proceedings of the 2004 International Conference on Intelligent Mechatronics and Automation (ICIMA), IEEE, pp.191-195, 2004-8.
- 4) Shradi, W., Inomo, H., Ishikawa, H., and Aritomo, H. : Simulation of pedestrian dynamics in emergency for live design of buildings, Proceedings of ICOSSAR2005, Milltress, CD-ROM, pp.823-829, 2005-6.
- 5) 安井雅洋・古田 均：人工生命技術を用いた地下街の避難行動シミュレーション，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，第IV部，pp.737-738，2003.
- 6) 光高賢武・古田 均・広兼道幸・後藤靖幸：遺伝的アルゴリズムとシミュレーションを用いた地下街の避難口最適配置，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，共通セッション，pp.220-221，2000.
- 7) Dasgupta G., Connor J., Sutner K. : Information-Based Security for Civil Infrastructure : Deep Domain Bayesian Models-case studies of office buildings, NSF PROPOSAL NUMBER 0331054 Cover Sheet For Proposal To The National Science Foundation, 2002-3.
- 8) 国土交通省・道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する検討委員会編：道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言，2003.4.
- 9) 道路橋マネジメントの手引き，財団法人 海洋架橋・調査会，平成16年8月.
- 10) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.10.
- 11) 矢守克也・渥美公秀・諏訪清二・吉川肇子・越村俊一・後田絃一・今村文彦・後藤隆一・三浦房紀：特集記事 防災教育のフロンティア，自然災害科学 JJSNDS 24-4，pp.343-386，2006.
- 12) 水野 裕介，阿部雅人，藤野陽三，Meret Sandy，阿部允：データベース技術を用いた社会基盤構造物に関する維持管理データ管理手法の提案，高速道路と自動車 第49巻 第3号，2006年3月.
- 13) 道路震災対策便覧 (震災復旧編)，社団法人 日本道路協会，平成14年4月.

(2006年8月18日受付)