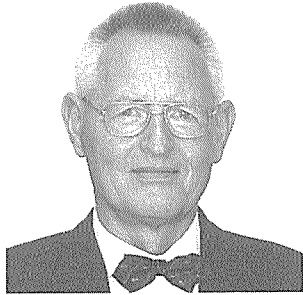


# Information Technology in Bridge Management (橋梁マネージメントにおけるIT利用)

Klaus BRANDES

## 著者紹介



## Klaus BRANDES

Dr.-Ing., Head of Structural Safety Laboratory  
Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Berlin

1936年生まれ

ベルリン工科大学大学院修士課程修了

BAM構造安全研究室室長

- ベルリン工科大学助手 (1964～)
- チューリッヒ工科大学客員教授 (1981～)
- ドレスデン工科大学客員教授 (1991～)
- 山口大学外国人特別招聘教授 (1998)

## 1. Introduction

Information Technology (IT) is welcomed enthusiastically by many engineers, however, is looked at sceptically by others. The term is used in different ways referring to bridge management systems (BMS)<sup>1), 2)</sup> on the one hand and structural examination ("examineering"<sup>3)</sup>) on the other and at least to long-term monitoring of bridges. Generally speaking, there is the common need of collecting more information about the condition state of bridges and their storage and availability in management systems data bases enabling a "performance based structural engineering" (PBSE)<sup>4)</sup>. The makers of web-based management systems offer plenty of opportunities and advantages of their systems, however, do not taking into account that there are deficiencies in the procedures of rating and monitoring bridges<sup>4)</sup>.

Of course, IT is unavoidable in managing stocks of bridges, and it is on the way to occupy bridge structural engineering, thus stimulating the development of rating procedures, structural examination and sophisticated bridge monitoring systems. The most complex problems arise when investigating prestressed concrete bridges. The condition state as being inspected from outside can be detected relatively simple in terms of corrosive damage, however, there are no well approved methods to evaluate the conditions of the tendons after decades of ageing under heavy traffic. The drastic change to "design for durability" will - hopefully - improve the future behaviour of *new* bridges, however, does not help in solving the problems of the existing ones.

## 2. Web-Based Management Systems

At the 16th Congress of IABSE, Lucerne, Sept. 2000<sup>5)</sup>, several bridge management systems have been presented offering the advantage of making available recent information of a large stock of structures to all experts being involved in the maintenance and related activities via Internet or

## 1. はじめに

情報技術(IT)は、多くの技術者に大いに歓迎されているが、懐疑的に見ている人たちも存在する。この用語は、橋梁マネージメントシステム(BMS)<sup>1), 2)</sup>、構造物の検査<sup>3)</sup>および少なくとも橋梁の長期計測では違った意味で用いられる。性能規定型構造技術(PBSE)を可能にするためには、橋梁の状態に関するより多くの情報の収集、蓄積および活用の必要性が一般に認識されている<sup>4)</sup>。ネットワークマネージメントシステムのメーカーは、そのシステムにおいて多くの機会と有利性を提供するが、橋梁の評価とモニタリング手法の欠陥については考慮していない<sup>4)</sup>。

ITは、橋梁の財産価値をマネージメントするのに不可欠なものであり、橋梁構造技術に浸透しつつある。それゆえ、ITは、評価手法、構造検査および高度な橋梁モニタリングシステムの発展を促進させるものである。最も複雑な問題が、プレストレストコンクリート橋を調査するときに生じる。腐食損傷は、外部検査により比較的容易に発見できる。しかし、何十年も重交通の影響を受けた鋼材の状態を評価する適切な方法はないのが現状である。「耐久性設計」への劇的な変化は、新設橋梁については将来的な改善を促すものであるが、既存の橋梁の諸問題を解決するものではない。

## 2. ネットワークを活用したマネージメントシステム

2000年9月にスイス Lucerne で開催された第16回 IABSE 本会議で、図-1に示すようなインターネットやイントラネットに関するいくつかの橋梁マネージメントシステムが紹介された<sup>5), 6)</sup>。それらの利点は、維持管理や関連する業務に従事するすべての専門技術者に構

even Intranet, Fig. 1<sup>6)</sup>. Hopefully, the big problems arising from not having the last updating of information available at any place for anyone being involved in the structure, will fade away<sup>6)</sup>. But, which data should be included? And what about their reliability? By rating many bridges, we sometimes were faced with the fact that even the geometric dimensions did not correspond with the drawings. A careful check of all information about a structure appears to be advisable.

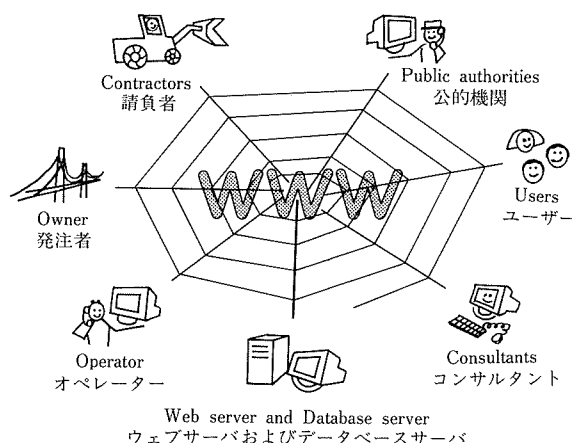


Fig. 1 All Users Communicate with the Database Via Internet<sup>4)</sup>  
 図-1 インターネットを介したデータベースによる全ユーザーの情報伝達<sup>4)</sup>

造物の膨大な財産価値の最新情報を入手可能とすることである<sup>6)</sup>。その構造物に関するすべての人が、いかなる場所でも、最新の情報を入手できないことによる大きな問題が生じないことが望ましい<sup>6)</sup>。しかし、どのデータが含まれるべきなのか？情報の信頼性はどうか？多くの橋梁を評価する場合、私たちは寸法が図面と一致しないことにも直面することがある。構造物のすべての情報について、注意深く照査することが必要である。

### 3. Performance Based Structural Engineering (PBSE)<sup>4)</sup>

"Most structures are designed, built, maintained and dismantled without reference to specific knowledge of their real behaviour. Traditionally, engineering tasks such as design and maintenance have employed simulation (experimental and numerical) to assist decision-making. Recent advances in measurement and computing technologies have created conditions for enhancing decision support through an increase in quantitative information related to in-situ structural performance. Although structural engineers have measured structural behaviour for centuries, such activities are isolated tasks in modern construction practice. . . . . Over the past ten years, measurement systems have become more numerous, less costly, more robust, more stable and more accurate"<sup>4)</sup>.

Some measurement systems are resulting from new scientific advances such as optics. Improvements in all the related fields are increasing the usefulness of results. "Such convergence of technologies is fuelling activities within a new domain of structural engineering called Performance Based Structural Engineering (PBSE)"<sup>4)</sup>. Its working definition is proposed as "an approach that employs explicit knowledge of as-built performance to improve decisions related to the design, analysis, fabrication, construction, maintenance and replacement of structures. In the long term, measurements will be used to improve models for design, diagnosis and prediction. Structures that are governed by serviceability criteria, such as deflection, and time dependent phenomena such as corrosion and fatigue, will be most affected." There occurs the other question when performance is compared with required behaviour according to standards: In several cases, it has been accepted that existing structures must not be evaluated using the same safety factors as for design. Once a structure is built, more is known about its behaviour than at the design stage. And reduced safety factors are according to general conditions of reliability.

### 3. 性能規定型構造技術 (PBSE)<sup>4)</sup>

「構造物の多くは、実挙動に対する特別な見解を参照することなく、設計、施工、維持管理、そして撤去が行われている。伝統的に、設計や維持管理などの業務は、その意思決定を助けるために実験や数値解析等のシミュレーションが行われてきたが、近年、計測およびコンピュータ技術の発展により、実構造物の定量的な情報が増加するにつれて、その意思決定をサポートする状況が整いつつある。技術者たちは構造物の挙動を長年計測してきたにもかかわらず、その活動は近年の施工業務には反映されていない。しかし、この10年間で、計測システムは、数量、コスト縮減、堅牢さ、安定性、および精度の面で向上してきている」<sup>4)</sup>

いくつかの計測システムが光学等の新技術から生まれてきているように、あらゆる関連分野の発展は、効果的な結果を導くのに役立っている。「このような技術の集積は、性能規定型構造技術と呼ばれる新しい分野における推進的活動である」<sup>4)</sup>。この活動は「構造物の設計、解析、製造、施工、維持管理および取替えに関する意思決定を確実にするために、性能に関する知識を明らかにするための手段」と定義されている。計測は、設計、診断、および予測に対するモデルの精度を高めるために長期間にわたって行われていくだろう。そしてその結果は、変形のような使用性の規定、および腐食や疲労のような時間依存性の現象が支配的な構造物に最も影響を及ぼすだろう。つまり、規準に従って要求される挙動と実際の性能とを比較した場合、別の問題が生じてくることになるわけである。すなわち、既存の構造物の多くに、設計で用いた安全係数で評価する必要がないと認められるものがあることである。構造物が建設されると、その挙動に関して設計時より多くの情報が得られるので、軽減された安全係数は信頼できる一般的条件となっている。

Following these arguments, future codes should adapt reduced safety factors for structures which are continuously measured. (There are some elements of this in EUROCODES.) For over hundred years, laboratory measurements have been used to find empirical relationships and, later on, to calibrate numerical models. But now, in-service monitoring is offering a new tool for engineers. The Canadian National Railways started a site measurement at many of their bridges<sup>7)</sup> and discovered, that calculated stresses were often much higher than the measured ones. In some cases, planned replacement of bridges was post-poned resulting in tremendous savings. A scheme elucidating PBSE is presented in Fig. 2<sup>4)</sup>, where the three levels of behaviour (B) are set in an interrelation (S means structure). But not only a large set of data can improve structural engineering in this regard. Model based data interpretation and structural diagnosis are unavoidably interconnected with the task and have to be part of the investigation from the beginning.

What is of essential importance, is the overcoming of traditional ways of thinking and acting... According to Smith<sup>4)</sup>, there are old barriers which hinder an effective problem-solving and which is described in Fig 3. The barrier is the thick vertical line and the links which have to be improved are the marked arrows. There is a lot of endeavour at some places to conquer the barriers, however, there is nothing so steadfast as traditional ways of thinking. Nevertheless, there is some progress in linking the different fields as given in Fig. 3.

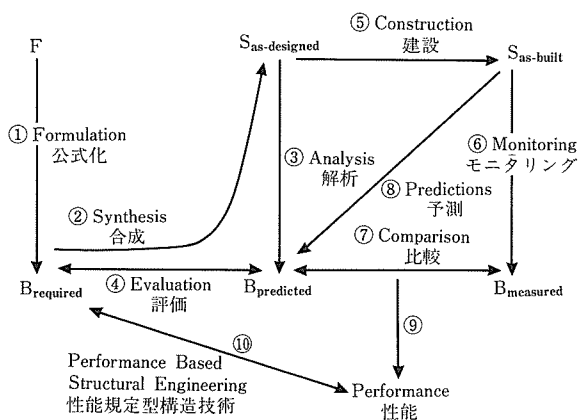


Fig. 2 A Schema of Information and Tasks for Performance Based Structural Engineering<sup>3)</sup>

図-2 性能規定型構造技術の情報およびタスク図<sup>3)</sup>

#### 4. Condition Rating by Visual Inspection

Measurement can only be a supplementary tool of bridge rating. The well approved visual inspection of bridges will be kept as the basis of any maintenance system. However, when looking at the categories which are used to describe the condition of bridges up to now, some improvement is recommended.

これらの議論に従えば、将来の規準は、継続的に計測される構造物に対しては安全係数を低減させることを適用すべきである(ユーロコードでは、これに関するいくつかの項目が存在する)。百年以上もの間、実験室での計測は経験的な関連性を見つけるために行われ、その後、数値解析モデルでキャリブレーションするために数値計算が行われた。しかし現在では、供用時のモニタリングは、技術者に新しい手段を提供している。カナダ国有鉄道は、管轄の橋梁の多くに現場計測を開始し<sup>7)</sup>、設計で計算された応力度がしばしば計測された応力度よりかなり大きいことが明らかになった。橋梁の架替えの計画が延期され、多大なコスト縮減に繋がったケースもある。性能規定型構造技術の系統図を図-2に示す<sup>4)</sup>。図中には、3つのレベルの挙動(B)における相互関係が示されている(図中のSは構造物を意味する)。しかし、データの大きさだけが考慮している構造技術を向上させるわけではない。データの相互関係と構造物の診断に基づくモデルが、これらのタスクを結びつけていることは避け難い事実で、初めから調査の一部にならなければならない。

本質的に重要なことは、思考や行動などの伝統的な方法を変えることである。Smith<sup>4)</sup>によれば、図-3に示すような効果的に問題を解決することを妨げる障害が古くからあるとされている。この図-3の中には、障害を鉛直の太線で、改善されなければならない関連事項を矢印で示している。この障害を克服するにはかなりの努力が必要だが、思考による伝統的方法のように不変的なものではない。それにもかかわらず、図-3に示すように異なる分野を繋ぐことで、ある程度の進展が見られる。

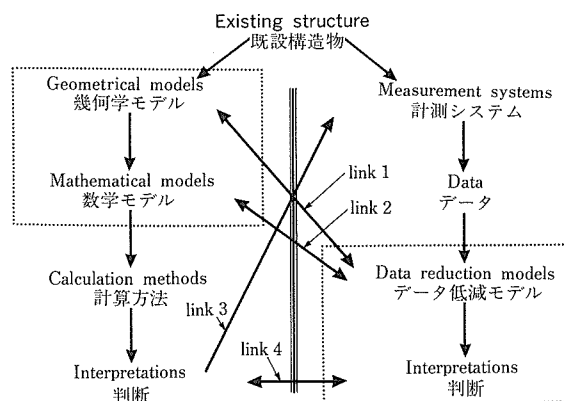


Fig. 3 Co-ordinating Theoretical Modelling and Measurement. Thick Arrows Indicate Where Information Exchange and Co-ordination Efforts Could be Improved<sup>3)</sup>

図-3 調整した理論モデルおよび計測(太線の矢印は、情報交換および調整により改善したことを示す)<sup>3)</sup>

#### 4. 目視点検による橋梁の評価

橋梁を評価するうえで、計測は補足的な手段でしかなく、従来から実績のある目視点検があらゆる維持管理システムの基本となるであろう。しかし、橋梁の状態を表す従来の分類については、いくらか改善の余地がある。アメリカ合衆国の国内橋梁登録システム(NBI)<sup>8)</sup>によれ

According to the United State's National Bridge Inventory system (NBI)<sup>8)</sup>, condition ratings appeared for standardised reporting of visual inspection<sup>9)</sup>, which referred to Commonly Recognised (CoRe) elements. The reports of the visual inspections are often the only source of the data sets of bridges. Stages of service life of bridges are given in Fig. 4. They refer to necessary actions of repair. E. g. when concrete sealers are failing, a re-application is needed in the near future. Taking into account the type of necessary action to counteract damage, a present-day condition rating has to refer to other categories of condition states, as is recommended by Hearn<sup>9)</sup>, Fig. 5. Together, some measurement methods should be given to support the visual inspection which is now improved to a measurement-assisted inspection resulting in data which is more reasonable to be collected in a bridge management system, Fig. 6.

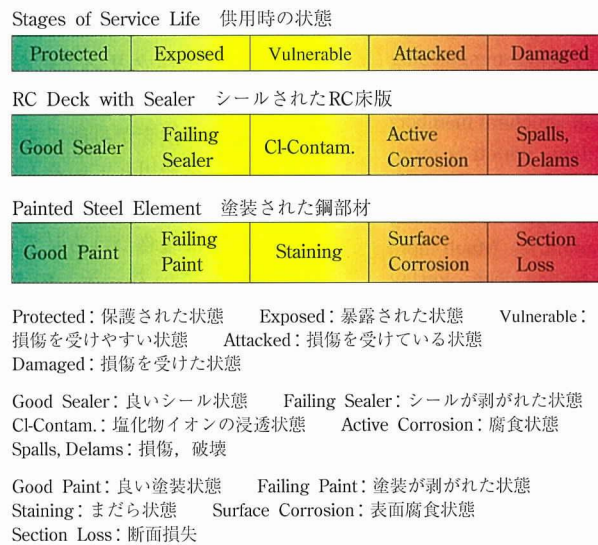


Fig. 4 Stages of Service Life<sup>7)</sup>

図-4 供用時の状態<sup>7)</sup>

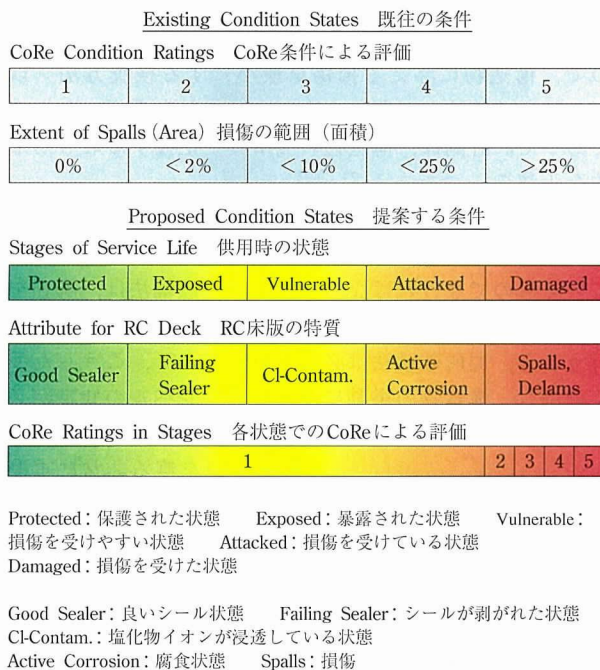


Fig. 5 Service Life Stages and Present-day Condition Ratings<sup>7)</sup>

図-5 供用時の状態および現状評価<sup>7)</sup>

### 5. Design for Structural Health Monitoring for IT ?

Since several decades now, "design for durability" is becoming more and more common. To a great extent, it is together "design for health monitoring" which is accompanied by in-

ば、橋梁の状態評価は標準化されている目視点検に関する報告<sup>9)</sup>に示されており、これは一般的に認識された (CoRe) 分類 (マニュアル類) を参照して行われる。この報告が、目視点検における唯一の情報源となっていることが多い。図-4に、橋梁の損傷状態と対応させた補修の必要性による分類を示す。この分類によると、たとえば、コンクリートの表面保護が損傷を受けた場合には、近い将来のうちに再処理が必要になる。しかし、損傷に対する必要な対処法を考慮に入れると、現代における橋梁の評価方法は、Hearn<sup>9)</sup>によって推奨されるような、従来とは異なる分類 (図-5) によるべきである。それとともに、目視点検を補うような計測法を追加し、図-6に示すような計測により補完された検査方法へと改善を図る必要がある。ここで用いられる計測データは、橋梁マネジメントシステムにおいて収集するうえで、合理的なものとなる。

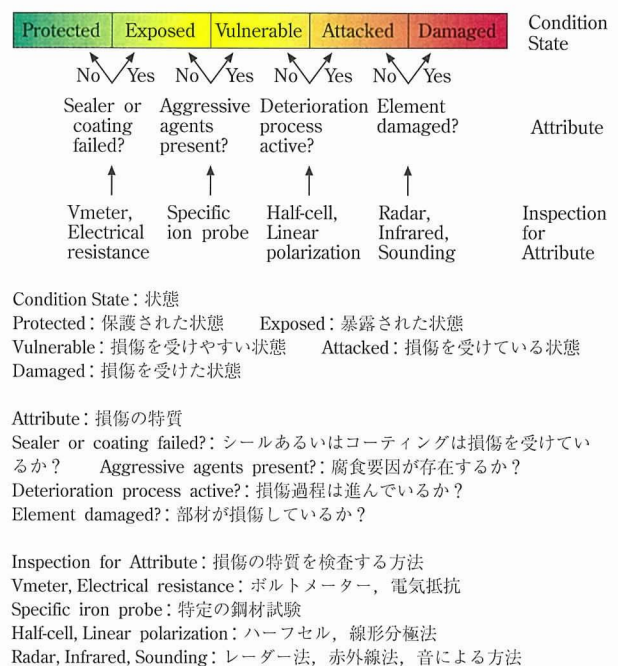


Fig. 6 Coordination of Stages and Field Tests<sup>7)</sup>

図-6 各状態と現地試験の対比<sup>7)</sup>

### 5. ITのための構造物のヘルスマニタリング設計とは ?

ここ数十年において、「耐久性設計」は一般的になってきている。これが拡大すると、耐久性設計には、構造物にセンサーを設置して構造物の挙動について経年的に計測を行



roducing of some intelligence to the structure by applying sensors and by monitoring its behaviour during the course of time. The knowledge about the conditions of a structure increases by this and decision making is supported effectively.

Concerning existing structures which have been designed many decades ago, design for health monitoring has to be limited to add some intelligence to the structure and start some monitoring as far as it is possible<sup>7)</sup>. Also then, knowledge is improved and in some cases, design can be improved by some strengthening or other measures. One of the main aspects of design for structural health monitoring is inspectibility of essential structural members like tendons of prestressed concrete bridges, which is more and more common by using external prestressing. For box girder bridges, this is compulsory for highway bridges in Germany e.g. and practice in most of the European countries. Much more is expected of new sealing systems and bridge deck overlay systems and of high performance concrete to counteract penetration of water into the concrete.

## 6. Minimal Invasive Techniques

When investigating or strengthening structures, it should be intended to reduce any harm or damage to the structure. In April 2000, the Seiken Symposium No. 26: *Non - Destructive Testing In Civil Engineering* took place in Tokyo, organised by T. Uomoto<sup>10)</sup>. It one of a series which is dealing with all the aspects of non-destructive testing and evaluation (NDT&E) presenting all the methods of minimal invasive methods of investigation with the exception of material identification. Measurement is one of the most effective methods to come near to the real behaviour of a structure<sup>7), 12)</sup>.

All the data have to become part of the files of any structure improving thus the knowledge about its behaviour. But not only in investigations, minimal invasive methods have to be preferred. Also, when planning some measures, minimal invasive methods should be chosen, which in most cases require a high level of knowledge about the structure's behaviour<sup>12)</sup>. A very important road bridge crossing river Spree in Berlin has been investigated very intensively by minimal invasive methods. We evaluated that the bridge can be preserved for future use under heavy traffic, after applying some repair work on corroded structural members and replacement of the bridge deck by an orthotropic steel plate. In Fig. 7, repair work on some of the members of the truss arch is recognisable (red coloured elements). Also the repair work followed the ideas of minimal invasive methods: Only some parts have been replaced and were



Fig. 7 Stubenrauchbrücke Crossing River Spree in Berlin during Repair Work 1998

図-7 補修中のSpree川に架かる Stubenrauchbrücke 橋 (ベルリン 1998)

うヘルスマonitoringの設計が伴う。ヘルスマonitoringにより得られる構造物の状態に関する情報は、意思決定の際の有力な手がかりとなる。

数十年以上前に設計された既存の構造物については、可能な限りヘルスマonitoringを行うべきである<sup>7)</sup>。そうすることで新たな情報が得られ、場合によっては種々の補強を施すことなどによって設計が改善されることが考えられる。ヘルスマonitoringの設計における重要な点の一つは、プレストレストコンクリート橋のPC鋼材など、構造物の主要部材の検査が可能であることである。このことは、外ケーブルを使用しているものに対しては、かなり一般的になってきている。箱桁橋に関しては、たとえばドイツの高速道路では義務づけられており、ヨーロッパの多くの国で実施されている。新しい密封システム、およびコンクリートに水が浸入するのを防ぐ床版防水や高性能コンクリートの使用に対する期待が高まっている。

## 6. 局所破壊検査

構造物を調査あるいは補強する場合、その構造物への損傷はなるべく少なくするべきである。2000年4月に東京大学生産技術研究所シンポジウム No.26:「土木工学における非破壊試験」(実行委員長:魚本健人 教授)が、東京で開催された<sup>10)</sup>。そのシンポジウムは、非破壊試験とその評価に関するすべての項目を取り扱ったもので、構造物に与える損傷を最小にする検査方法(以下、局所破壊法と略記)全般について発表を行ったものであった。計測は、構造物の実挙動を把握する最も効果的な手法の一つである<sup>7), 12)</sup>。

すべての計測データは、構造物に関する情報を改善していくものでなければならない。局所破壊法は、調査を行う際にのみ好まれるものではなく、ある計測の計画を行うとき、局所破壊法は必要不可欠であり、こうした多くの場合、構造物の挙動に関して高いレベルの知識が必要となる<sup>12)</sup>。ベルリンのSpree川を渡る非常に重要な道路橋は、局所破壊法によって集中的に調査されてきた。その橋梁は、将来的に重交通下においても、腐食部の補修と直交異方性の鋼板(鋼床版)による床版取替え作業を行えば、供用可能であると評価した。図-7に、トラスアーチ橋の補修作業(赤色の部材)を示している。また、補修作業は損傷を最小にするという考えに従っている。いくつかの部材は取り替えられた

connected by riveting which is now re-discovered for repair work of bridges being protected because of being historic monuments<sup>12)</sup>.

## 7. Life-long Monitoring Requirements

Life-long monitoring requires a sensor system which is reliable for that period of time. Nowadays, only very, very few systems are well approved according to this requirement. For recent applications, we always rely on redundancy of systems, however, tackle the problem of interpreting deviations of the signals of different sensors. When discussing life-long monitoring, very often the observation of the vibrational behaviour of a structure is favoured, sometimes additional to built-in sensors, sometimes as the only type of monitoring. The investigation is done by evaluating the natural frequencies and the mode shapes of a structure as characteristic parameters. These parameters change as a function of time, hopefully also as a function of structural deficiencies which is alleged, however, the changes of the vibration modes are only sparsely related to safety-related changes of the structure especially to damage like cracks and their respective length<sup>13)</sup>. The identification of damage as defined in any terms of changes of the vibration parameters is - in mathematical terms - an inverse problem being not well-conditioned. This principal weakness of the method can not be overcome by any numerical procedures. Nevertheless, the method is favoured by several experts. As a supplementary method, it can be helpful in well defined cases.

## 8. Outlook

Because the author of this contribution is involved in some monitoring projects, the outlook shall give actual information about bridge monitoring in Berlin.

For prestressed concrete railway viaducts which are under construction today, Figs. 8 and 9.<sup>14)</sup>, a redundant moni-

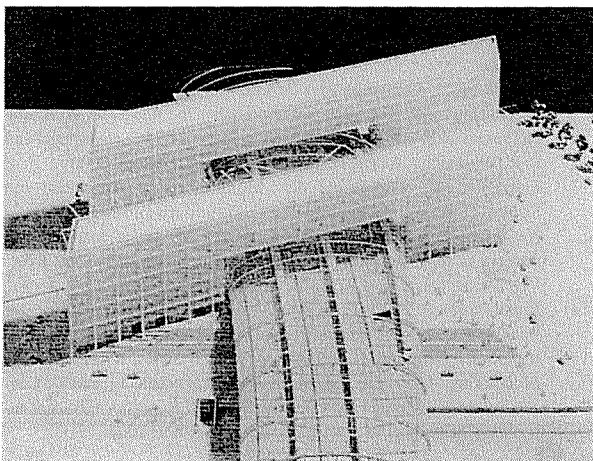


Fig. 8 Model of the New Railway Station of Berlin, Upper Level with 4 Parallel Prestressed Concrete Viaducts of about 160 m Length

図-8 ベルリンの新しい鉄道駅のモデル。上層階は約160 mの4本の平行したプレストレストコンクリート高架橋

が、歴史的なモニュメントであるため、補修された部材はリベットによって結合されたのである。

## 7. 長期計測に求められるもの

長期計測には、計測期間中の信頼性が確保されるセンサーシステムが必要である。現在、この要求事項に対して、極めて僅かのシステムだけが満足できるにすぎない。最近の適用例では、われわれシステムのリダンダンシー（冗長性（余剰能力））に頼っているが、異なったセンサーの信号のばらつきについての解釈の問題に取り組まなければならない。

長期計測について議論するとき、振動の挙動について取り扱うことがしばしばある。この機能は、埋込みセンサーに追加したり、特別な振動特性を計測するモニタリングの一つとして行われることもある。この振動調査は、構造物の特性値として固有振動数およびモード形を評価して行われる。これらのパラメーターは、時間関数、また、望ましい場合には疑わしいと思われる構造物の欠陥の関数によって変化する。しかし、振動モードの変化は、ひび割れとその長さのような損傷に関する構造物の安全性の変化には、ごくまれに関係するだけである<sup>13)</sup>。振動のパラメーターで定義される損傷は、数学的表現をすれば、関連性が明確でない逆問題であると言える。振動の長期計測法におけるこの本質的な弱点は、数値解析的手法では解決できないところにある。にもかかわらず、計測方法はある特定の専門家に委ねられる。それは、振動特性が十分明らかな場合には、構造物の特性を把握するうえで、有効な補助的手段となるからである。

## 8. 今後の見通し

本稿の著者は、いくつかのモニタリングプロジェクトに参加しているので、今後の見通しとしては、ベルリンでの橋梁モニタリングについて実際の情報を提供する。現在、建設中のPC鉄道高架橋（図-8、9）では、インターネット接続を通して作動するリダンダントなモニタリングシステムが開発された。橋梁のモニタリングと並行して、大型のPC梁が、実橋と同じセンサーにより、実橋と等価な応力状態および気候条件でモニタリングされる。したがって、優れたキャリブレーションシステムが提供されることとなる<sup>15)</sup>。ほかに、ベルリン市内の都市

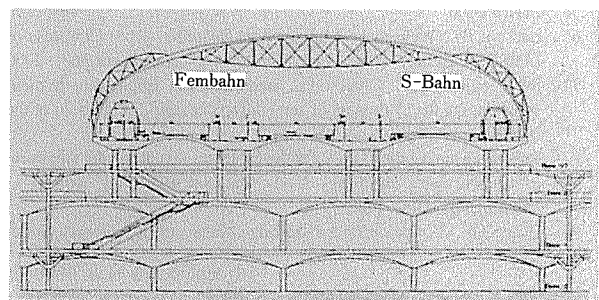


Fig. 9 Cross-section of the Bridge Shown in fig.8  
図-9 図-8の橋梁の断面図

toring system has been created which will be run via Internet connections. Parallel, large-scaled prestressed concrete beams will be monitored with the same sensors and under comparable stress and climatic conditions as the real bridges, thus offering an excellent calibration system<sup>15)</sup>. Another bridge, an urban highway bridge in Berlin, Fig. 10, is under observation by vibrational behaviour monitoring since several years now. The amount of data and the question of interpreting the measurement results in terms of safety and durability causes some problems up to now, but is an excellent example for dealing with all the related tasks.

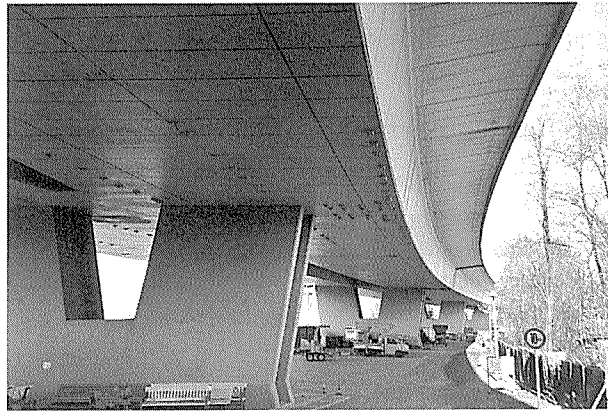


Fig. 10 Prestressed Concrete Highway Bridge (Box Girders) in Berlin, being under Investigation for 6 Years now

図 - 10 6年間調査中のベルリンのプレストレストコンクリート高速道路橋(箱桁橋)

高速道路(図 - 10)では、数年間振動測定が行われている。データの量、および安全性・耐久性に関する計測結果の変換方法への疑問は、今日までに多少の問題となっているが、関連するすべての事項を取り扱うという面では、非常に良い事例となっている。

## 9. Summary

Information Technology is about to become an unavoidable element of bridge management and structural monitoring at all. However, it is not adequate to put all the to day available data about structures in some files and activate internet via www. Up to now, the knowledge about most of the structures is not sufficient for decision making about their future life, decisions which have consequences in terms of money and availability of the infrastructure which again have consequences in terms of political economics. New tasks challenge structural engineers<sup>3)</sup> to deal with the life of structures not only with their design and fabrication and to find the necessary support in Information Technology when dealing with big stocks of bridges.

## 9. まとめ

情報技術(IT)は、まさに橋梁マネジメントおよび構造物のモニタリングにおいて不可避の要素となろうとしている。しかし、それは、構造物について今日入手可能なすべてのデータを保存し、インターネットを通して利用可能とすることは不十分である。今日、たいていの構造物についての知識は、その寿命を判断するコストや政策的な経済活動に支配されるインフラの有効性の面で不十分である。構造技術者は、設計や製造だけでなく構造物の寿命についても取り扱う必要があり、橋梁という大きな資産を取り扱う場合には、ITの有効な利用法を見出していく必要がある<sup>3)</sup>。

## References / 参考文献

- 1) Yanev, B. : Maturing Management for Ageing Bridges, New York City. 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000. Congress Report No.16, 2000
- 2) Miyamoto, A., Kawamura, K. and Nakamura, H. : Optimization of Rehabilitation Strategies for Concrete Bridges, 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000
- 3) Brühwiler, E. : From Design to Examining, Structural Engineering International 5, 69, 1995
- 4) Smith, I. F. C. : Enabling Performance Based Structural Engineering, 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000. Congress Report No. 16, paper 364, 2000
- 5) 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000. Report No. 16 of IABSE, Zürich 2000
- 6) Lassen, B. : Web-based Management Systems, 16th Congress of IABSE, Lucerne, 2000, Congress Report No.16, paper 360, 2000
- 7) Sweeney, R. A. P., Oomen, G., and Hoat, L. : Impact of site measurement on the evaluation of steel railway bridges, Report 76 of the IABSE, pp.139~147, 1997
- 8) Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges, U. S. Federal Highway Admin., Washington, DC, 1988
- 9) Hearn, G. : Condition Data and Bridge Management Systems, Structural Engineering International 8, No.3, pp.221~225, 1998
- 10) Uomoto, T. (ed) : Non-Destructive Testing in Civil Engineering. Elsevier, Amsterdam etc. 2000
- 11) Knapp, J., Brandes, K. and Werner, K.-D. : Optical Monitoring System for Settlements and Inclinations, Proceedings IMECO 2000, Vienna, 2000
- 12) Brandes, K. : Comprehensive Assessment of Existing Structures by Introducing Innovative Strategies and Tools, In : Report Int Workshop on Present and Future of Health Monitoring, ed. By P. Schwesinger and F. K. Wittmann, AEDIFICATIO Publishers Freiburg, 2000
- 13) Fritzen, C.-P., and Bohle, K. : Modellgestützte Diagnose von Schädigungen in Tragwerken - eine Anwendung auf eine Autobahnbrücke (Model based diagnosis of damage of load carrying structures - application to a highway bridge), VDI Berichte Nr.1466, VDI Verlag Düsseldorf, pp.341~354, 1999
- 14) Renaissance of Railway Stations (in German : Renaissance der Bahnhöfe), Vieweg Verlag Braunschweig 1996
- 15) Knapp, J., Wilhelm, G., Habel, W. and Brandes, K. : Long-term Monitoring of a Prestressed Concrete Railway Viaduct, Part 1 : Conception for the Monitoring (in German). VDI Reports, GESA Symposium Chemnitz 2001, VDI Verlag, Düsseldorf 2001

[received 15, Nov. 2000]

[2000年11月15日受付]