

10.8 道路橋の診断・対策事例ナレッジDBの構築に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 20～平 22

担当チーム：CAESAR 橋梁構造研究グループ

研究担当者：中谷昌一、白戸真大、飯田明弘

【要旨】

我が国における道路橋の多くは高度成長期に建設され、高齢化を迎えようとしている。橋梁は建設から 50 年以上を超えると劣化が急速に進行すると言われており、既設橋梁を的確に診断し予防保全の考え方を取り入れながら維持管理するための点検・評価・診断、補修・補強技術の確立を急ぐ必要がある。本研究は、不具合が生じた道路橋の診断・対策について、CAESAR が道路管理者に技術指導を行った内容をナレッジデータベースとして蓄積し、データに基づく科学的な橋梁の保全を実現しようとするものである。平成 20 年度は、診断・対策例を記録・保存するためのカルテの整備を行い、平成 21 年度は、診断・対策例カルテも含めたナレッジデータベースの全体設計を行った。

キーワード：道路橋、維持管理、診断、対策、データベース、橋梁マネジメントシステム

1. はじめに

図-1 に示すように、我が国の道路橋は、高度成長期と前後して 1950-70 年代に大量に建設されており、建設後 50 年以上を経過した橋梁が今後急激に増加することになる。近年まで、劣化進行に関する知見がほとんど無かったことから計画的・戦略的に道路橋の維持管理がなされてきたとは言えず、建設後 50 年を経る今後は、急速に劣化損傷が供用上の問題となる件数が増加することが見込まれる。

既に、経年劣化に関しては、鋼部材の腐食だけでなく、コンクリートのアルカリ骨材反応（ASR）という過去には知見が無かった事象への対応に追われている。また、我が国の道路橋は世界的に見ても非常に厳しい大型車交通頻度や自然環境にさらされてきた結果、床版の疲労、鋼部材の疲労およびコンクリート部材の塩害などの不具合が生じ、対応が進められている。

こうした不具合への対応は、個々の道路管理者により着実に行われていくことが期待される一方で、個々の道路管理者が事例やそれに基づく経験をナレッジとして蓄積できる量には限界がある。そこで、個々の道路管理者の事例が中央拠点に蓄積され、そこから抽出されるナレッジが、全道路管理者にもフィードバックされる体制をつくることで、個々の道路管理者は、独力でできる以上のナレッジを蓄積することができる。CAESAR は、平成 19 年度から平成 20 年度にかけて国土交通省道路局に設置された「道路橋予防保全に関する有識者会議」の議論と独立行政法人土木研究所の中期計画を受けて、我が国の道路保全技術の中央拠点たるべく平成 20 年に設立された組織であり、各道路管理者の事例の蓄積を行い、他の橋梁でも懸念されるものや適用可能な処方診断をナレッジとして抽出する役割を担うことが求められている。

また、CAESAR 設立には、産学の情報交流の場としてのミッションも与えられているが、蓄積されたデータを活用し、不具合傾向などを分析することで、産学に対して技術開発の方向性を示すことも可能になる。

また、CAESAR は、旧建設省土木研究所や独立行政法人にて CAESAR の母体となった研究室・チーム単位で活動し

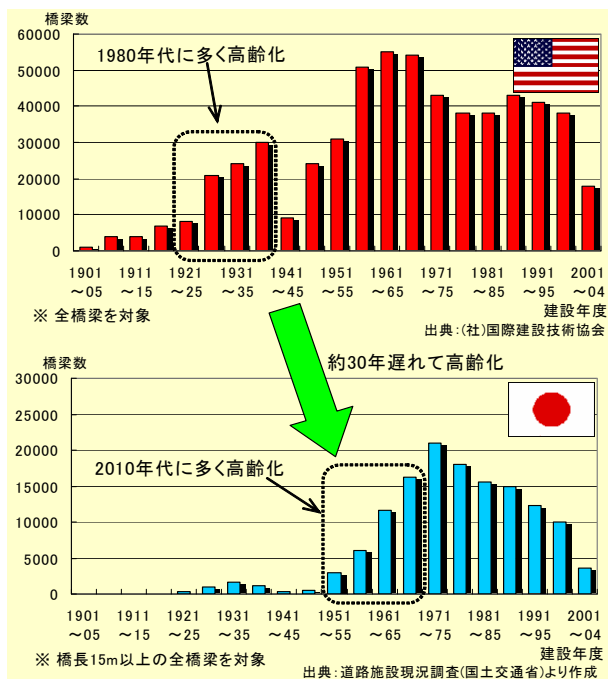


図-1 道路橋における建設年次毎の橋数の推移

ていた時代から、技術的に難易度が高い事案について技術相談を通じて道路管理者に技術指導を行ってきたという点で、既に相当な経験の蓄積があるが、今後、道路管理者が劣化損傷への対応を行う機会が急増するという状況が予測される中で、経験を体系化し、基準類やガイドラインとして整備したり橋梁マネジメントシステム(BMS)の機能向上のための要素技術に結びつけたりする必要がある。

そこで、本研究は、全国の不具合事例情報を蓄積し、そこから道路管理者や産学に有用なナレッジを抽出するための、また、CAESARが行っている技術指導事例をデータ化し、データの分析に基づく科学的な保全技術の体系化と高度化につなげるためのナレッジデータベースの枠組みを構築するものである。

平成20年度は、CAESARの技術指導案件を蓄積するにあたって、過去の象徴的な損傷・技術指導事例を対象に、検索・分類・分析が可能となるようなデータ項目の設定を検討した。

平成21年度は、以下の項目について検討を行った。

- 1) 技術指導事例を蓄積するだけのデータベースとしてではなく、道路管理者が不具合を確認した直後の措置判断を支援したり、補修・補強工法の選定および予防保全計画の策定を支援できるようなデータベースとなるように、データベースの枠組みの全体構成を設計した。
- 2) 最近の技術指導事例や過去の象徴的な案件についてデータの蓄積を増やしながら、データ項目の見直しを進めた。
- 3) また、過去の技術指導に基づき補修・補強、もしくは経過観察が行われた事例について、フォローアップ調査を行い、新たにデータの登録を行えるようにデータ項目の拡張を検討した。
- 4) 全国の既設橋の不具合事例の収集を効率的に進められるように、国土交通省道路局、国土技術政策総合研究所および地方整備局との連絡体制を構築するとともに、ナレッジデータベースに登録された内容から速やかに道路管理者間で共有すべき情報について、国土交通省道路局を通じて直接各道路管理者へ、また、雑誌「道路」や「土木技術資料」、CAESARホームページなどの媒体を通じて一般へ周知する体制を構築した。
- 5) 技術指導事例の分析に基づく道路橋の現況分析を行った。

2. データベースの全体設計と期待される効果

道路橋の管理は、A. 安全管理（又は事後保全）と B. 予防保全の2つに大別される。それぞれ、A. 事後保全であれば、

A-1. 点検等により発見された損傷に対して、直ちに重量規制や通行止め規制を講じる措置判断

A-2. 詳細調査を実施した上で、当座必要な構造安全性が得られるような補修・補強の実施

を事後的に行うものであり、B. 予防保全とは、

B-1. 個々の橋梁のライフサイクルコストを最小化するように、手遅れにならず、また最大の効果を上げられるタイミングでの計画的な保全の実施

B-2. 道路管理者が管理する数多くの橋梁の更新時期や大規模補修時期が平準化する計画的な保全の実施を行うものである。

また、別な観点として、道路橋の管理は、ア. 個別の橋の保全を対象にしたマイクロ管理および イ. 管理している橋を群として捉えたときの更新時期・大規模補修時期の平準化やトータルで必要となる予算等を把握するマクロ管理の2つに大別される。それぞれ、A-1、A-2、B-1がマイクロ管理、B-2がマクロ管理に対応している。

マイクロ管理については、図-2に示すように、措置判断、詳細検査手法や検査部位、補修・補強方法の選定において参考となるように、過去に生じた重大損傷や落橋事例、並びにその原因や補修・補強工法の選定や効果などに関するナレッジが必要とされる。

マクロ管理については、図-3に示すように、緊急に補修しなければならない橋梁への対応を条件としつつ、維持管理の総費用を最小化・平準化しようとするものである。その支援ツールとして、国土交通省においては、経験に基づくだけでなく、点検結果を活用して科学的かつ効率的に管理を行う橋梁マネジメントシステム(BMS)が構築・運用されつつある。また、多くの自治体では、やはりそれぞれ仕様を定めたBMSを支援ツールとして活用し、橋梁の長寿命化修繕計画を立案し始めている。BMSは、定期点検から、診断、補修・補強工事の実施、その後の経過観察を含め、継続的にデータを蓄積し、5段階評価による健全度評価を行うとともに、各橋梁のいくつかの部材を対象に劣化予測を行い、優先的な維持補修事業を選定し、必要な工事費を算出することで、適切な時期に補修を実施する合理的な維持管理を支援するものである。

このとき、BMSには、劣化予測ツール、安全性・耐久

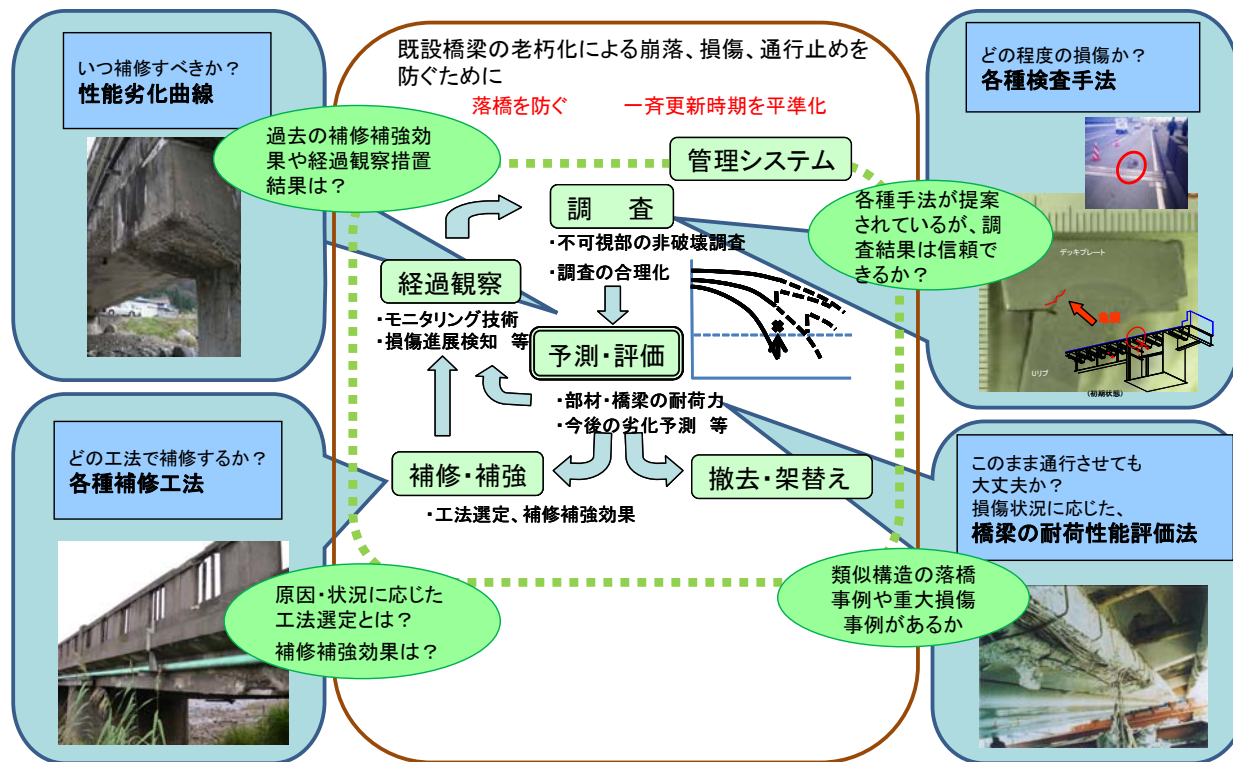


図-2 ミクロマネジメント

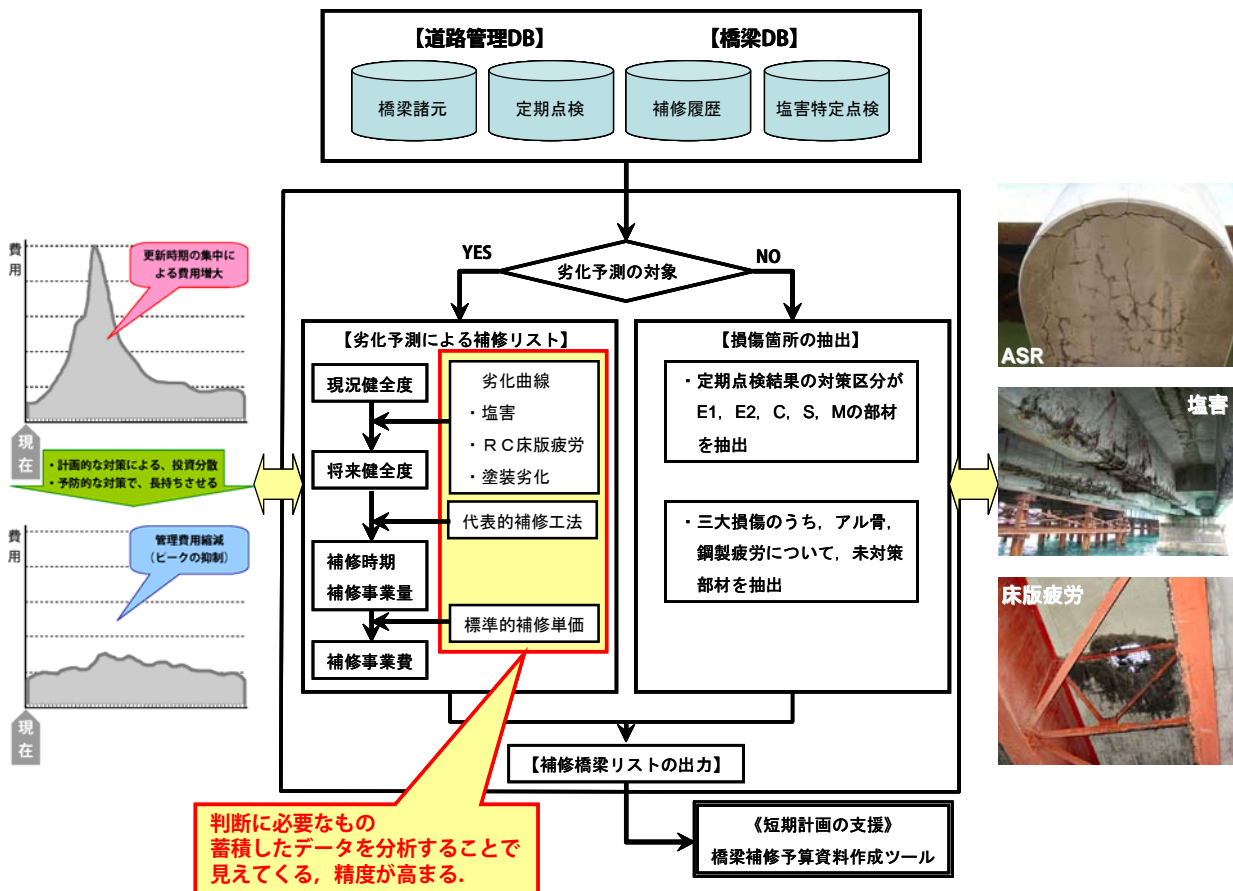


図-3 橋梁マネジメントシステム (BMS)¹⁾ を支援ツールに用いたマクロ管理

性回復効果および回復後の劣化抑制効果など補修・補強効果を考慮した劣化予測ツール、補修・補強工法の選択支援ツールなどが組み込まれており、それぞれのツールの精度向上のためには、橋梁の劣化状況に関するデータや、補修・補強工法の費用と効果に関するフォローアップ調査結果の蓄積が必要とされる。

以上の分析に基づき設計されたナレッジデータベースの構成を図-4に示す。「落橋事例データベース」、「重大損傷事例データベース」は、A-1、A-2の措置判断を支援するために、不具合確認後の直ちに措置判断を実施するために必要なナレッジとして、過去に落橋が生じたり重大損傷が生じたりした橋梁の形式、年代、損傷の種類や状態、考えられる損傷要因を蓄積するものである。ここに、重大損傷事例とは、損傷の発見により、通行止めや重量規制・車線規制などの規制を伴った事例とした。平成21年度は、劣化に伴う過去の象徴的な落橋事例14件、最近の不具合発生事例や技術指導事例2件について、橋梁諸元、竣工年、事故要因や損傷概要をデータベースに収録した。

「診断処方事例データベース」は、平成20年度に構築したものである。これは、A-1からB-2までのいずれにも対応するものである。図-5に、平成20年度に作成した

「診断処方事例データベース」の構成を示す。Layer Iの今後に活かすための情報などを漏れなく入力していくものであり、そこから抽出され、普遍化されたナレッジ、たとえば、橋梁概要、損傷の特徴、検査・処方・診断、その後の経過の概要から構成されるLayer IIから構成されている。Layer IIのデータ項目や各データ項目における記載事例は平成20年度の報告に詳しい。

平成20年度に作成したLayer IIのデータ項目は様々な事象について効率的に検索できるように網羅されているものであるが、実際に記録する際には、事象によっては必ずしも記述する重要度が高くないというデータ項目もあり、全データ項目に対して調査し記載することは今後の負担になることも考えられる。そこで、平成21年度は、相談件数が多かったり、国土交通省の点検要領と対応を取るという観点から、特定点検項目となっている鋼橋の疲労、コンクリート橋の塩害、コンクリート橋のアルカリ骨材反応であったり、特殊橋の耐震補強やB活荷重変更対応の5つの診断・処方については、データ記載の負担を減らすためにデータ項目数を縮減させるように改善したのに併せて、5種類についてはそれぞれ対象橋のリストが自動的に作成されるようにし、そのリストを「損傷別データベース」として別途見られるようにし、「診断処方事例データベース」にリンクされている状態になるようにした。

道路橋の長寿命化を実現するためには、実際の長寿命橋について、その特徴を把握することが必要である。そこで、B-1やB-2に関連して、「長寿命橋梁データベース」を構築するものとして、土木学会等が調査した既存データ等に基づいて長寿命橋梁リストを収集した。

補修・補強工法の選択や、補修・補強による劣化曲線の回復度の設定のために必要とされるナレッジである補修・補強効果フォローアップ調査結果については、「診断処方事例データベース」に記録されるように、平成20年度に作成したデータ項目を拡張した。

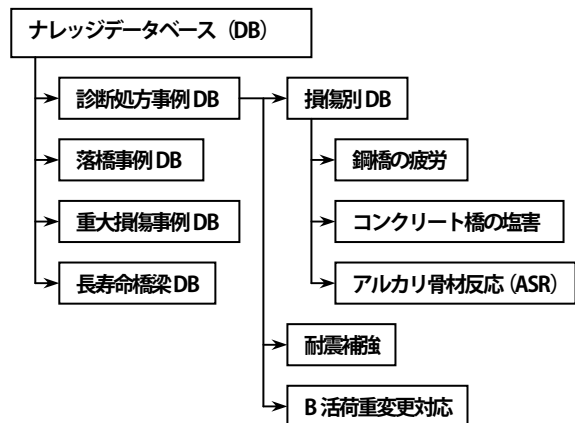


図-4 ナレッジデータベースの構成

活用目的 DBの精・疎	周知用, 処方箋参考資料	処方箋作成, 技能伝承 用にCAESARが利用	CAESARの研究目的 (統計に基づく分析)	CAESARの研究目的 (事例を用いた個別研究)
・研究目的のインデックス, 統計調査用データ	Layer I インデックス → アーカイブ			
・概略把握	Layer II カルテ			

図-5 診断処方事例データベースの構成

しかし、補修・補強の費用は現場条件や橋梁の状態によって千差万別であり、将来の維持管理費予測の高度化には工種別の費用をナレッジとして蓄積する必要があると考えられる。そこで、「工種別補修・補強費用データベース」や「保全予算年推移データベース」も加えることにした。しかし、平成21年度には、具体的データ項目や記録様式については検討していない。図-4に示すように、ナレッジデータベースとしてのデータ項目や記録様式について検討するとともに、地方整備局では、橋梁DB(データベース)として、補修・補強を記録・保存することにされているので、記録内容や記載状況を考慮しつつ、本ナレッジデータベースと連携が取れるように地方整備局のDBの様式の改定案を検討することが課題である。

3. 不具合事例収集の仕組みとナレッジ情報の周知の仕組みの構築

はじめに述べたとおり、個々の道路管理者単独の努力では不具合事例やその経験に基づくナレッジを蓄積できる量に限界があることから、全国の不具合事例を集約し、そこから抽出されるナレッジを全道路管理者にフィードバックされる体制をつくる必要がある。そこで、国土交通省道路局保全企画室、国土交通省各地方整備局等の保全企画部門、国土技術政策総合研究所道路構造物管理研究室と連携し、国・自治体管理橋を問わず、既設橋において規制を伴う重大損傷が発見された際や架設中の橋梁に事故や不具合が生じた際に情報を集約する体制を平成21年度後半に構築した。個々の事故や不具合が発生後に明らかな情報は時々刻々変わっていくが、本研究では、発生直後の第一報の項目を、本研究のナレッジデータベースに記録する情報という観点および措置判断についてCAESARとして助言を行うために必要な情報という観点から提案した。実際に用いられている報告項目を表-1に示す。これらは、平成20年度に検討した「診断処方事例データベース」のデータ項目の基本事項を参考に提案したものである。

この中で、類似の案件が今後生じ得ると考えられるもの、他の道路管理者にも有用と考えられるものについては、情報を普遍化したナレッジとして、出来る限り速やかに道路管理者間で共有する必要がある。国土交通省では、全国橋梁担当者会議にて必要なナレッジを共有し、さらには地方整備局から各地方自治体にも情報を周知する体制が整えられているため、その場を活用して道路管理者に直接周知を図っている。加えて、一般向けには、

表-1 情報収集様式における報告項目

事象概要	■不具合発生日時
	■不具合発見の状況
	■不具合発生箇所(部材)
	■不具合の概要
橋梁諸元	■橋梁名
	■橋梁所在地
	■路線名
	■キロポスト
	■橋梁区分(上下線一体 本線橋 など)
	■供用区分(供用・暫定供用・未供用 など)
	■橋梁種別(河川橋・跨道橋・跨線橋 など)
	■上部工形式
	■橋長
	■径間割
	■下部工形式
	■基礎形式
	■床版形式
	■適用基準
■竣工年	
環境諸元	■交通量 24h
	■大型車混入率
図面	■橋梁の位置図
	■橋梁一般図
	■不具合の発生位置、状況がわかる図面 など
写真	■橋梁全景写真
	■不具合箇所写真
車線規制の情報	■日時
	■規制の有無
	■全面通行止め・片側通行止め
	■車線規制
	■重量規制(Oton) など
点検情報	■橋梁点検の記録
	■防災点検の記録

雑誌「土木技術資料」において「現場に学ぶメンテナンス」と題した隔月刊のコーナーを設置させていただき、損傷事例やその対処事例を紹介するようにした。

特に、ナレッジデータベースの構築と試行によって、過去の同一要因による不具合の事例や、類似不具合事例の情報を速やかに調査し、纏めて情報提供できるようになってきていることが平成21年度の成果の一つである。たとえば、平成20年度と平成21年度には、飛来塩分に由来しない一方で、凍結融解材に含まれる塩分による塩害によりプレストレストコンクリート橋におけるPC鋼材に欠損が生じた事例が報告されており、当該道路管理者の了解のもと、雑誌「道路」にて注意喚起を行ったところである²⁾。今後、情報の周知方法として、CAESAR ニュースレターやホームページの活用も図っていく予定である。

今後は、「工種別補修・補強費用データベース」や「保全予算年推移データベース」を構築するために必要な情報の集約体制やナレッジとして公表の仕方を検討していく必要がある。

4. 平成20年度及び平成21年度の技術相談事例の分析

平成21年度に、CAESARに寄せられた道路橋に関する技術相談は85件で、のべ127回の対応を実施している。件数と回数が異なるのは、1橋の相談が複数回にわたるものがあるからである。複数回になる理由としては、既設橋における車線規制を伴うような重大損傷の場合、緊急的に実施する応急措置と恒久的な措置に対して相談が必要とされるものや、複合的な損傷の原因究明について、調査・報告のために複数の相談が必要とされる場合などがある。平成21年度の相談内容の傾向は、平成20年度の技術相談分析結果と比較しても大差は無かったので、以下、平成20年度から平成21年度に寄せられた橋梁に関する技術相談についてまとめて分析した。結果を図-6に示す。

① 既設橋と新設橋の比率 (55% : 45%)

既設橋が半数以上を占め、このうち上部工に関する相談が約7割、下部工が約3割であり、既設橋の上部工に関する相談が一番多い。技術相談が持ち込まれた段階を設計時、施工時、供用後に区分してみると、「供用後」(既設)にする技術相談が多く、構造物の老朽化に伴う腐食や亀裂、塩害などに関する相談が多く寄せられている。

② 既設橋における相談内容

耐震補強に関する相談が23件、不具合に関する相談は41件、このうち3大損傷と言われている疲労に関する相談件数が7件、塩害に関する相談件数が1件、ASRに関する相談件数が4件あり、その他、腐食、老朽化、洗掘などの相談が寄せられた。

③ 不具合が生じた橋梁の供用年数

不具合が生じた既設橋梁は供用から30年を超えるも

平成20年度～平成21年度

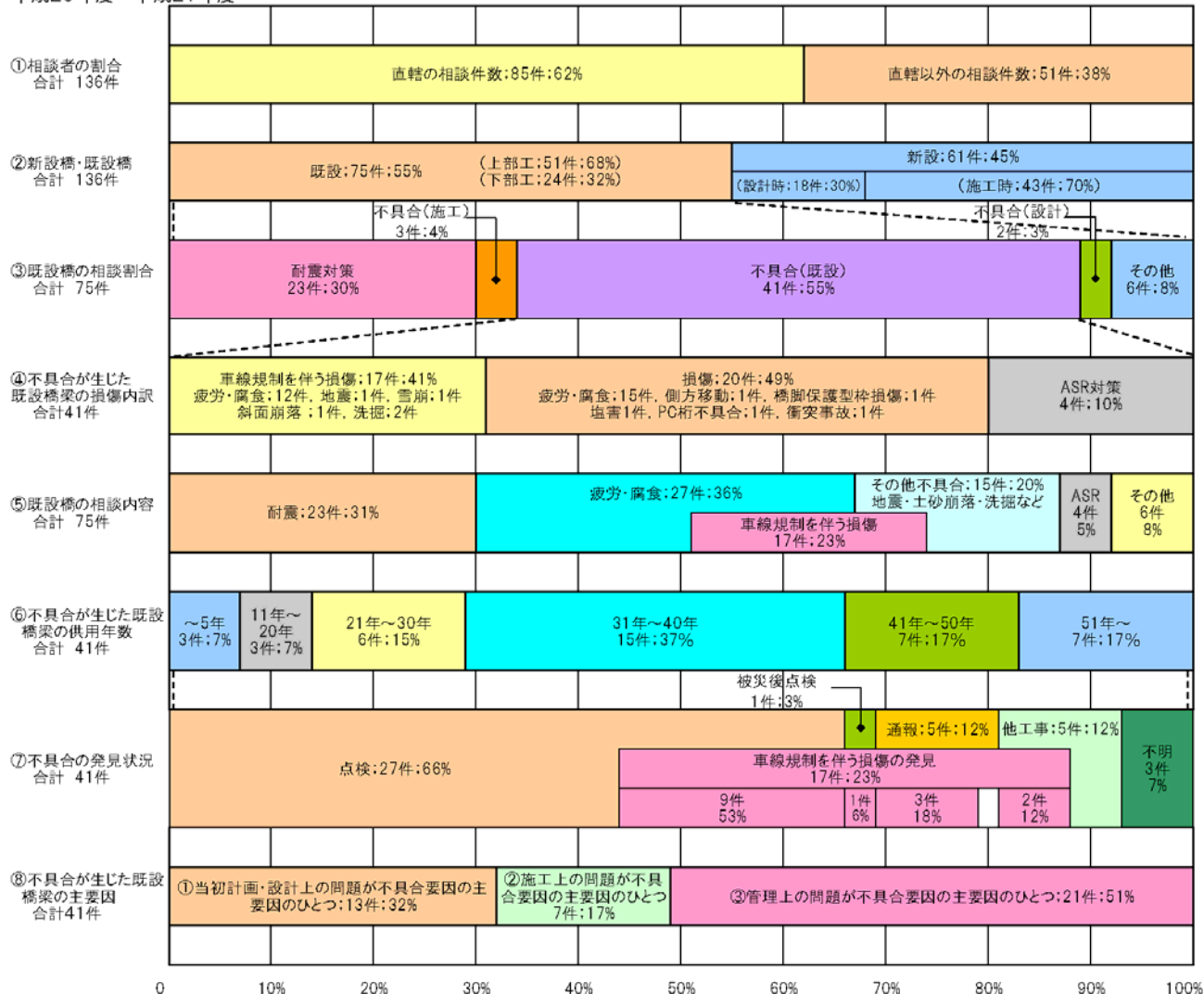


図-6 CAESAR 設立からの技術相談内容分析

のが約7割であった。寄せられた技術相談の内訳を見ると、既設橋における不具合が生じた橋梁の供用年数が、30年から40年のものが一番多く15件あった。なお、件数は少ないが、驚くことに供用から僅かな年数しか経過していないにもかかわらず不具合が生じたものがあった。これは、NETIS 登録された新技術の採用に関連したものであった。

④ 車線規制を伴う損傷

車線規制に至るような損傷の場合、最悪の場合は落橋に至る可能性の高い重大損傷が含まれていた。

⑤ 重大損傷等

技術相談のうち車線規制を伴うような損傷が生じ、依頼を受けたものは17件あった。これは既設橋梁における相談の23%を占めるもので、不具合橋梁の相談41件に絞ると41%に及び、既設橋の不具合の相談は半数近くが、重大損傷の相談であることがわかる。

これらの損傷が発見されたときの状況をみると橋梁点検で発見されたものが多いことがわかる。しかし、損傷部位に着目するとコンクリートに埋め込まれた鋼材の腐食や水中（基礎洗掘）など、通常の目視点検では発見されにくい箇所の損傷もあった。

既設橋に発症した不具合は、どの時期の要因が多いのか計画・設計時の問題、施工時の問題、管理上の問題、その他に分類した。（図-7）

鋼橋の疲労亀裂に関しては、7件の相談が寄せられており、主要因を当初計画・設計上の問題として分類したが、その経過年数は竣工後31年から50年までに6件が集中している。

管理が主要因と考えられる腐食、塩害、老朽化などは、11件の相談が寄せられており、そのうち9件が竣工から35年以上経過したものに生じており、既設橋に生じた不具合全体の約4割にも及ぶ。

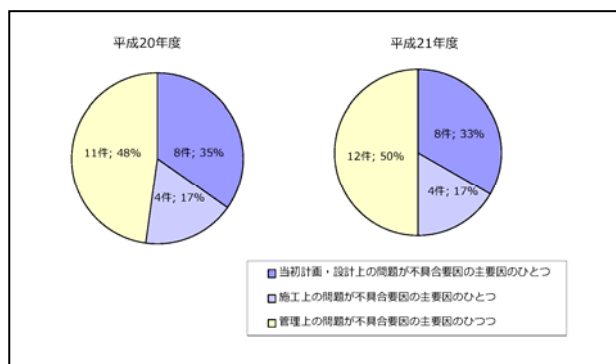


図-7 既設橋の不具合要因分析

5 まとめと今後の課題

以上のように、平成21年度は、平成20年度に設計した「診断処方事例データベース」の試行、「診断処方事例データベース」も含めたナレッジデータベース全体の設計、診断・処方事例の情報収集と発信体制を確立した。また、平成20年度に引き続き技術指導事例の分析を行った結果、引き続き、既設橋の不具合事例に対する対応が増えていることが確認された。次年度に向けた課題は以下のとおりである。

- ① 「診断処方事例データベース」の試行・対象橋梁の追加を行って見たところ、損傷毎に区分されたDBであっても橋梁中の位置や橋梁の置かれた環境が極端に異なれば劣化進行も差が生じるため、損傷位置やその位置がどのような環境であったのかを明確にデータ項目に追加し、検索分類可能にすべきである。
- ② 「工種別補修・補強費用データベース」や「保全予算年推移データベース」を構築するために必要な情報の集約体制やナレッジとして公表の仕方を検討していく必要がある。
- ③ 今年度の技術指導は、供用中の橋に関するものだけでなく施工中の事故が多かったことから、施工中の事故についてもデータベース化しておくことがよいと考えられる。
- ④ 構築したデータベースの仕様は、各道路管理者でも活用可能と考えられるので、データベースの仕様の公開に向けて、基本設計の精査を進める必要がある。

また、ナレッジデータベースの構築とは別になるが、NETIS等に登録された新技術の効果の把握と、効果が思わしくない事例について、各種の新技術評価・審査事業にフィードバックする仕組みの構築が必要と考えられた。

参考文献

- 1) 原田吉信：橋梁のアセットマネジメントについて、建設マネジメント技術、2006.9、p14
- 2) 中谷昌一、白戸真大、玉越隆史：最近の技術支援事例から見た道路橋の損傷例、道路、2010.4.

DEVELOPING THE KNOWLEDGE DATABASE OF STRUCTURAL DIAGNOSIS , PROGNOSIS, AND REHABILITATION FOR DAMAGED HIGHWAY BRIDGES

Abstract : In Japan, the number of highway structures began increasing rapidly in the 1960s in response to the rapid economic growth of the time, and now a significant number of those structures are getting older. It is said that the deterioration of highway bridges accelerates after 50 years old and we need to improve our preservation activities such as structural diagnosis, prognosis, and rehabilitation with the preventive maintenance concept faster than the situation is getting serious. CAESAR has worked together with highway administrators to evaluate the structural condition and find a better remedial measure for seriously damaged bridges and we have to feedback such know-how based knowledge to technical guidance and analyze a tendency of what is happening to help highway administrators take better actions. The present study has been establishing a knowledge database on the remedial work on bridges with significant damage and analyzing the trend in the remedial work for noteworthy damage bridges.

Keywords: highway bridges, preservation activities, maintenance, diagnosis, prognosis, rehabilitation, database