

# J-BEC

レポート

2017 Vol. 13



# 目 次

---

## 巻頭言

理事長 藤川 寛之

島根県における橋梁点検の取り組み 01

市町村の視点からみた自治体支援  
(Kyoto-ESPC・J-BECの活動) 05

道路橋点検士資格制度の現状と今後の展開 10

橋梁診断管理室の役割と活動状況について 12

道路橋点検ロボット導入プロジェクト三年目の成果  
―試行的導入に向けた現場検証結果― 14

## 寄附講座

・『道路アセットマネジメント政策講座』の活動について 19

## 助成研究

・変断面を有するRC・PCはりのせん断耐荷機構の解明と 24

設計の高度化に向けた実験的研究

・実用型壁面打音検査ロボットの開発 31

・疲労き裂を有する鋼板の曲げおよびせん断耐荷力に関する解析的研究 38

第4回 国際橋梁シンポジウム 45

「世界の橋梁建設とメンテナンス」開催報告

## 海外調査報告

・第8回 IABMAS（橋梁の管理・安全に関する国際会議）の参加と  
リオ・デジャネイロ市内の橋梁報告 48

・IABSE2016 スtockホルム会議の参加と 50

スウェーデン・デンマークにおける橋梁視察報告

・南アフリカ共和国の橋梁視察 54

## トピック

・国土交通行政関係功労者表彰の受賞について 57

・橋梁技術に関する研究開発助成について 57

・第5回賛助会員特別講演会の報告 58

・第2回北陸橋梁保全会議 ～北陸から橋梁保全情報を発信～ 59

・建設技術フェア等の参加報告 60

## 都市と橋

尾張大橋・伊勢大橋 61

## 理事長に就任して



理事長  
藤川 寛之

このたび6月20日の理事会において選任され橋梁調査会の理事長に就任しました。伊藤理事長の後を引き継ぐこととなりましたが、その責任の重さをひしひしと感じているところです。

平成25年4月に財団法人海洋架橋・橋梁調査会から名称変更し一般財団法人橋梁調査会として新発足してから4年を経過しました。その間に当調査会は伊藤前理事長をはじめ役員の方々々が全力を挙げて業務の質の向上と業務の充実につとめられ、大きな信頼と高い評価を得ていると考えています。私も橋梁調査会の業務の質の向上に努め、さらに一層の業務の充実が図れるよう精一杯努力する所存ですのでよろしくお祈りします。

当調査会は設立以来、橋梁の計画・設計・建設施工・保全管理に渡る長年の技術の蓄積を活用して公正・中立な立場で多くの業務を実施しています。

道路橋に係る当面の大きな課題の一つが老朽化対策です。平成25年に道路法の改正によって点検の技術的基準が法定化され、翌平成26年に定期点検に関する国土交通省令・告示が公布され「点検を適正に行うため、必要な知識および技能を有するものが行うこととし、近接目視により五年に一回の頻度で行うことを基本とすること」が義務づけられました。直轄で管理する橋梁の定期点検・検査・診断については当調査会の主要な業務として、法定化される前の平成16年度から実施してきました。新たな点検要領に対応して平成26年度からも、引き続き北海道と各整備局単位の8支部に配された経験豊富な技術者によって実施しています。橋梁は、河川・海をまたぎ、平地部・山岳部、多雪地域・多雨地域、潮風など様々な自然環境の中に架橋されています。また重量車両などの交通量によっても大きな影響を受けます。それだけに橋梁の老朽化による症状も多種多様な形で出てきますので、的確な点検と診断がなされることが肝要です。これらの業務で、損傷事例、補修補強事例などの多くのデータが全国から収集されていますが、これを分析整理して活用していくことが必要です。そのため、当調査会では橋梁診断室を設け、知識経験の豊富な技術アドバイザーの助言を得て的確な診断がなされるよう努めています。また、人材の育成も必要ですが、得られた情報ができるだけ速やかに共有し活用できるよう意見交換、研修などを実施しています。

すべての道路橋について近接目視で5年サイクルでの点検が義務づけられたため、点検が的確にできる人材の育成が急がれています。道路橋点検の技術研修については、平

成16年度から当調査会で実施しており、研修終了者は平成28年度までで12520名に上っています。平成27年1月には当調査会が認定した道路橋点検士が国土交通省の技術者資格に登録され、現在5026名の方が道路橋点検士に認定されています。平成29年度も1400名の方が当調査会の技術研修を受講されていますが、受講希望者が多く受講できない方が出ています。また道路橋点検士の認定資格更新研修もスタートしますが、できるだけ多くの方が受講できるように、研修内容に新しい情報が反映されるよう研修内容の充実を図っていく必要があります。

市町村が管理する橋梁は非常に多いのですが技術者がいないなどの課題を抱えています。当調査会としても、自治体が行う点検の照査・診断のアドバイスを行う自治体支援業務も推進していくことが必要であると考えています。

また橋梁の点検は近接目視するため危険で難しい箇所が多くあります。そのような箇所を安全に効率的に的確に点検できるように、ロボットやモニタリング、非破壊検査などについて新しい技術開発を行い早急に実用化することが必要です。

川や海で隔てられた地域を結び、いつでも短時間で行き来したいという夢や希望を実現するのに欠かせないのが橋梁の建設技術です。夢の架け橋といわれた本四連絡橋の建設などによって我が国の橋梁建設技術は世界のトップレベルといわれるようになりました。しかし近年は公共投資が大幅に削減され新設橋梁の建設が極端に減少してきています。このような状況が続くと橋梁の建設技術が我が国からなくなるのではないかと危惧されています。もちろん老朽化対策事業を安全に、効率的に、的確に実施するための技術の確保や技術開発も急務ですが、同時に橋梁の新設や更新の技術を将来に向けてきちんと継承し、いつでも活用できるようにしておくことも必要不可欠です。本四架橋が進められていた頃は、多くの優秀な技術者が参入し、優秀な人材が育成されました。しかし今や、橋梁建設の目玉プロジェクトがほとんどない状況になったため、優秀な新しい人材の確保がきわめて難しい状況になっていると聞いています。これは憂慮すべき事態で、今や、将来に向けて橋梁建設技術の継承と人材の確保について早急に問題点を明らかにし、方向付けする必要があると考えています。

橋梁調査会は早急に手がけるべき多くの課題を抱えています。賛助会員の皆様や多くの関係する皆様のご支援とご協力を賜りながら、当調査会のさらなる発展のために努力する所存でございますので、よろしくお祈りします。

# 島根県における橋梁点検の取り組み

島根県土木部道路維持課 課長 大賀 隆宏

## 1. はじめに

厳しい財政状況と限られた人員の中、島根県および県内市町村が進めている地域の実情に応じた橋梁点検の取り組みを紹介する。

## 2. 島根県の道路概要

島根県が管理する道路は、約3,100キロで、改良率は63%余り（表-1）。未改良の道路は1,000キロを超える。

県の予算は平成10年をピークとして減少し、平成28年度予算は、ピーク時の約7割、道路橋梁費は4割弱の350億円余と激減している中、一層重点的で効率的な道路整備、維持管理が求められている。

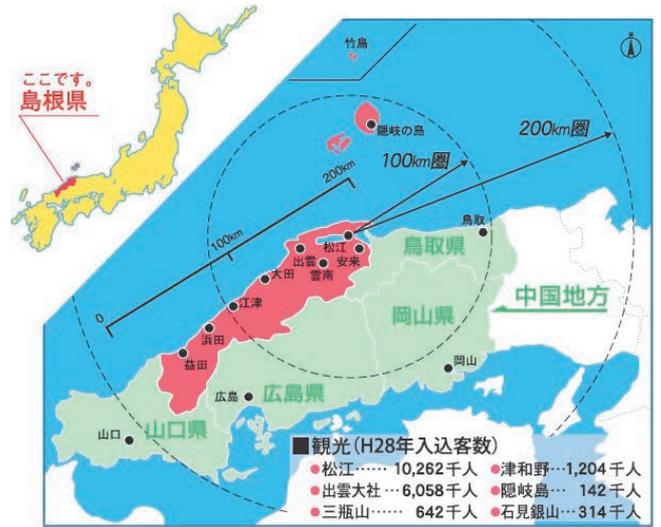


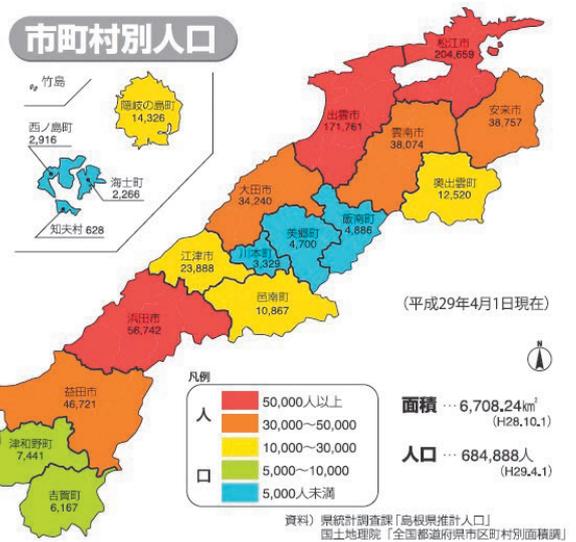
表-1 道路延長と主要施設（概数）

	道路延長km	橋梁数	トンネル数
島根県	3,100	2,700	190
市町村	14,700	11,000	70

## 3. 老朽化対策の取り組み

### 【政策課題】

笹子トンネル天井版の崩落事故を契機とし、公共土木施設の安全性に対する信頼性確保と老朽化対策の推進が焦点となり、厳しい財政制約の中、遅れている公共土木施設の整備を着実に進めるとともに、維持管理を適切かつ確実に進めることが喫緊の課題となった。



	県内整備状況 (平成28年4月1日現在)				改良率比較 (平成27年4月1日現在)		
	路線数	実延長 (km)	改良率 (%)	舗装率 (%)	島根県 (%)	中国5県 (%)	全国 (%)
高速自動車国道	4	130.2	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9
国・県道計	249	3,452.6	68.3	70.7	67.8	70.9	76.7
一般国道	13	953.5	93.2	94.2	92.7	94.6	92.6
指定区間	3	388.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
指定区間外	11	565.3	88.5	90.2	87.6	91.5	87.1
県道	236	2,499.1	58.8	61.7	58.3	62.2	69.9
主要地方道	51	1,125.5	73.8	74.1	73.0	76.5	78.8
一般県道	185	1,373.6	46.5	51.5	46.2	51.2	62.8
市町村道	34,961	14,714.5	54.5	9.1	54.4	53.7	58.6
総合計	35,214	18,297.3	57.5	21.4	57.3	57.4	61.6
県管理計	247	3,064.5	64.3	67.0	63.7	67.8	73.3

※改良率は、車道幅員5.5m以上、市町村道の改良率は、5.5m未満を含む。※舗装率は、橋梁舗装を除く。※自転車道を含まない。

図-1 道路整備状況

老朽化対策の取り組みについては、①限られた予算、人員の中で、計画的かつ効率的な維持管理・更新が必要、②その実現に向けて、適切な点検と的確な修繕が必須、③土木技術職員が不足している市町村については、点検や修繕の受託、講習や研修の共同実施など県の支援が必要と考えられ、県の政策課題として取り組むこととされた。

#### 【長寿命化推進室】

まず、平成26年4月、土木部に長寿命化推進室を設置し、公共土木施設の老朽化対策を一元的に取り扱う体制を敷いた。さらに平成28年度には、各出先事務所の維持管理部に長寿命化対策係を設置し、老朽化対策の体制を整えた。

一方、維持管理に必要な施設データの整備が十分でなかったため、法令台帳やその他の施設台帳、点検履歴、図面等の資料・データを電子化し、資料の共有化を図る取り組みを進めている。

## 4. 橋梁点検の課題

#### 【経緯】

橋梁について、平成19年度から平成23年度にかけて長寿命化修繕計画を策定し、長寿命化に取り組んできた。

平成26年には、国土交通省の省令が施行され、橋梁を含む主要な道路施設について5年に一度の点検が義務化され、これを契機として平成26年度、橋梁に的を絞って過去の点検調書を照査し、点検・診断の効率化と精度向上を検討することとした。

#### 【課題】

点検調書の照査の結果、診断の誤りが数多く認められた。原因としては、点検・診断技術者の維持管理に関する知識、経験など技術力不足が主なものと考えられた。土木構造物は「永久」「メンテナンスフリー」といった固定概念が根底にあり、インフラ新設時には、その後の維持管理など一切念頭に置かなかった担当技術者が多かったのではないだろうか。

また、「経験」が重要と言われる土木工学であるが、維持管理については、経験の蓄積がなされていなかった、また、その必要性も無いとされていたと思われる。

ほとんど維持管理を経験したことの無いような発注者、点検・診断業務の受注者がともに判定を誤っ

たとしても不思議ではないのである。

このような状況で、道路施設の法定点検やその他施設の維持管理を適切に行い、長寿命化を図っているのか、また市町村の支援など可能なのかと思いきや考えだしたのが、職員による「橋梁直営点検」である。

#### 【橋梁直営点検の意義】

点検・診断を精度良く行うためには、設計や施工の知識、経験、そして、それらを統合する技術力が必要である。これらは、机上の学習だけではなく、現場で経験をすることにより初めて身につけていくものである。

しかし、近年の公共事業予算の縮減により、設計業務や工事監督件数は激減する一方、住民の価値観やニーズの多様化への対応は増加しており、純粋な土木技術の研鑽は困難な状況になっている。

建設コンサルタントや建設会社の技術者も同様な状況と考えられる。

老朽化施設が増加する中、発注者が維持管理の技術力向上に取り組む、受注者をリードしていく必要があるが、橋梁直営点検はその絶好の機会、フィールドなのである。

建設から経過した年数、施工状況、使用環境により、使用材料は様々な様相を見せる。例えば、コンクリート。塩害、アルカリ骨材反応、疲労などや施工の不具合に起因すると考えられる損傷など、いろいろである。不適切な排水処理や過去の補修が再劣化したものもあり、教訓も多く、新設時や補修時の設計や施工にたいへん参考となる。このように、橋梁直営点検を行うことにより、非常に多くの事を学ぶことができるのである。

おまけに点検費用の縮減、修繕費用の確保も可能となる、いわば「一石三鳥」の取り組みといえる。

#### 【県内の橋梁の実態】

県管理橋梁は、単径間の橋梁が多く、トラス、アーチ橋などは極めて少ない（表-2）。つまり多くの橋梁は規模の小さな、単純な構造であり、その点検は、

表-2 県管理橋梁の実態

特殊構造 (トラス橋 など)	一般構造 (桁橋、床板橋など)		合計
	複数径間	単径間	
42橋	466橋	2,221橋	2,729橋
0.2%	17.1%	82.7%	100%



写真-1 県職員による点検状況

はしごさえ有れば近接目視が可能なのである(写真-1)。

県内の各市町村も状況は同様で、小規模橋梁の割合は県よりも多いとも言える。

### 【合理的な点検へ】

先行して直営点検を行った職員が省力化を図ろうとして考え出したのが、「損傷図テンプレート」(図-2)であり、タブレット端末を利用した写真整理である。

これにより、点検時間や写真整理時間が大幅に短縮できるようになり、1日に10橋程度の点検が可能となった。

また、小規模橋梁に見合った点検要領を策定し、試行を重ねている。近々正式な点検要領として発行する予定である。

さらに、実際点検を重ねた市町村では、更なる省力化をめざし、いろいろな工夫がされている。

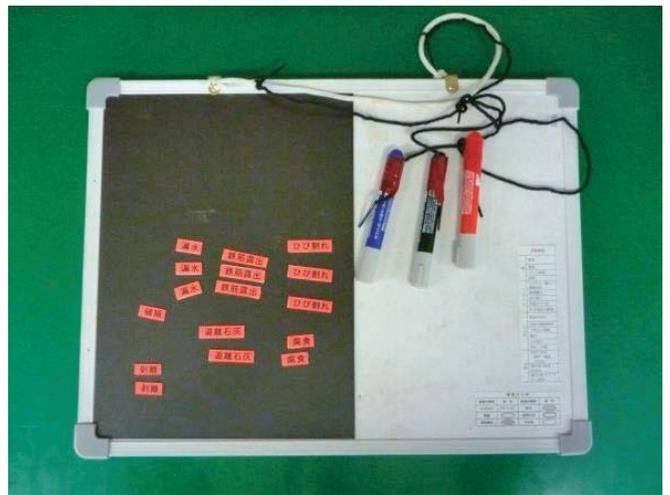


写真-2 損傷図作成用ホワイトボードと損傷名マグネット

### 【職員の意欲】

財政健全化の一環として、職員数は平成13年度をピークとして漸減しており、また団塊世代の大量退職もあり、職員は常に通常業務で忙しく余裕の無い状況である。そのような状況の中、新たな業務である橋梁点検に協力を得られるかが課題であった。

強制的に協力者を集めるのではなく、やる気のある職員を見つけ出し、少人数で、まず、やってみることにした。「やらされ感」があると台無しなのである。やってみることで、経験者が意義を実感し、未経験者を誘って仲間が増えるといったいい循環を生み出していこうと考えた。

県ではH28年度、計画点検橋梁数634に対して、892橋の点検を行い、うち直営点検は56% (500橋)で行うことができた。

なお、健全度判定に当たっては、アドバイザー制度(後述)を活用し、点検時に仮判定したものをベースに事務所判定会で審議し、確定させている。アドバイザーのサポートがあること、点検した職員が行う判定はあくまで「仮」ということが、直営点検参加へのハードルを下げ、多くの職員の直営点検への参加に結びついたと考えている。これは、共同研究(後述)の成果を取り入れたものなのである。

### 【共同研究】

島根県は、平成26年から平成27年度末にかけて東京大学と「インフラ維持管理における効率的な支援方策」について共同研究を行った。

この研究の目的の一つである「市町村支援」については、モデル自治体として選定した2市町で行った橋梁点検において、専門家等のサポートを付ける

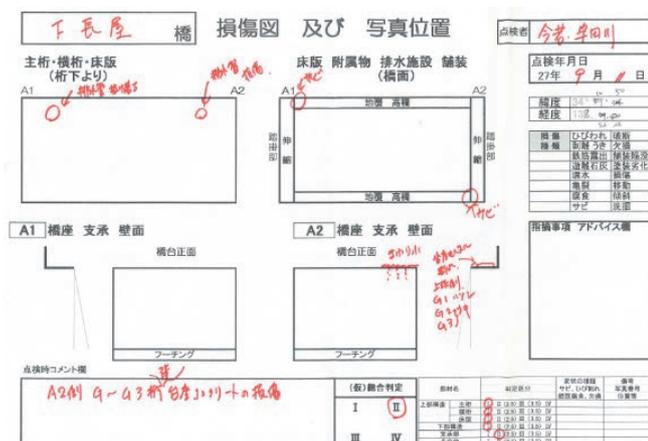


図-2 損傷図テンプレート



写真-3 調印式の様子（道路橋）

ことにより、効率的で正確に点検を行うことができ、市町職員の精神的な不安を取り除くことができることが実証された。

#### 【アドバイザー制度】

島根県では平成28年3月、（公財）島根県建設技術センター、（一財）橋梁調査会、島根県コンクリート診断士会と「道路橋、コンクリート構造物の点検・診断等の支援に関する協定」を締結した（写真-3）。

これにより、県および県内市町村は、橋梁調査会等から知識、経験豊富なアドバイザーの派遣を受けることが可能となった。

平成28年度は、県が15回、市町村が18回（いずれも、のべ回数）でアドバイザーの派遣を受け、的確なアドバイスにより、円滑な維持管理業務の推進に貢献していただいた。

この制度は平成29年7月、インフラメンテナンスに係る特に優れた取り組みとして、インフラメンテナンス大賞優秀賞を受賞した（写真-4）。関係者のご尽力にこの場をお借りしあらためて感謝申し上げます。次第である。



写真-4 インフラメンテナンス大賞優秀賞島根県授与式

## 5. 今後の課題

平成27年度から一部事務所で始めた橋梁直営点検の取り組みも、県市町村とも徐々に浸透してきているが、その取り組みには未だかなりの温度差が認められる。

いろいろな機会を通じて、橋梁直営点検の意義や効果などをPRしていく必要があると思っている。

点検・診断については、アドバイザー制度の活用により、県市町村とも適切な実施の軌道に乗りつつあるが、修繕工法の選定については、不明なところが多いため、道路管理者として経験を積み重ね、情報交換しながら、検討していく必要があると考えている。

## 6. おわりに

この取り組みについて、県市町村相互、また測量設計業協会や建設業協会など業界団体とも意見交換などを行いながら、よりよい制度に修正を重ねていく必要があると考えている。受発注者相互に維持管理に関する技術研鑽に努め、島根県の道路の安全安心を確保していきたい。

# 市町村の視点からみた自治体支援 (Kyoto-ESPC・J-BECの活動)

(一財)京都技術サポートセンター土木課 参事 春田 健作

## 1. はじめに

平成24年の笹子トンネル天井落下事故により、社会インフラの老朽化に対する国民の意識が高まったことを契機として、平成26年度に道路法が改正される<sup>1)</sup>。道路管理者にとっては、道路橋やトンネルなどについて点検が義務づけられる事となり、このような中で、一般財団法人京都技術サポートセンター（以下、サポートセンターと記す。）は、京都府内全ての自治体が公共施設の維持管理を適切に行い、「安全・安心な京都の社会基盤づくり」、社会インフラの「整備事業の円滑な実施」をサポートする組織として平成28年4月に設立された。表-1がサポートセンターの主な活動の内容である（平成29年8月時点<sup>2)</sup>）。

特に、府内市町村への道路橋点検の技術支援においては、一般財団法人橋梁調査会（以下、橋梁調査会と記す。）と「道路橋点検・診断等業務の助言に関する協定」を締結することで、技術支援の充実を

図っている。ここでは、その市町村支援活動について紹介する。

## 2. 京都府のメンテナンス体制

京都府内の道路橋数、道路延長、各管理者の土木職員（目安数）を図-1～図-3に示す。市町村は、圧倒的に管理する道路延長（67%）、橋梁数（79%）ともに多く、一方で、それを支える土木職員は少なく、中には、土木職員不在で管理業務を行っている自治体もある。加えて、業務の中心は、日々の道路の小修繕や住民サービス等の対応業務が中心となり、メンテナンス担当を特定して橋梁構造やメンテナンス技術を習得する機会を得ることが難しい状況にある。

サポートセンターは、京都府内の市町村、15市（内、1つは政令指定都市の京都市）、10町、1村あり、主に、府および京都市以外の自治体の技術支援活動を行っている。京都府のメンテナンス体制をサポートセン

表-1 一般財団法人 京都技術サポートセンター概要

名称	一般財団法人 京都技術サポートセンター	
Name (略称)	Kyoto Engineering Support Center (Kyoto-ESPC)	
設立	平成28年4月	
背景	メンテナンスサイクル推進、整備事業の円滑な実施 公共建築物の建替、耐震事業促進	
基本資産	3,000,000 円（府、市町村の共同出資）	
組織・(人数)	総務課、土木課、建築課・(20名)	
拠点	1拠点（京都府庁西別館1F）	
業務内容	<ul style="list-style-type: none"> <li>・インフラ施設点検（橋梁、トンネル、シェッド、標識、河川等）</li> <li>・工事積算、工事監理（土木、建築）</li> </ul>	
業務形態	<ul style="list-style-type: none"> <li>・京都府、市町村の土木、建築業務に対応</li> <li>・点検一括発注は、府及び希望する市町村等との委託契約により受託</li> </ul>	
研修	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市町村職員向け研修を実施（講師：土木研究所、(一財)橋梁調査会等）</li> <li>・他機関の現場視察等</li> </ul>	
技術研鑽	<ul style="list-style-type: none"> <li>・社会基盤メンテナンス教育センター、国交省大学、全国建設技術センター、土木学会等の各種研修に参加</li> <li>・道路橋点検士等の受験支援、積算研修、橋梁補修研修等</li> </ul>	
連携体制等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・京都大学、舞鶴工業高等専門学校、(一財)橋梁調査会、京都府</li> </ul>	



図-1 京都府内管理橋梁数<sup>3)</sup> (京都市管理2,867橋は除く)

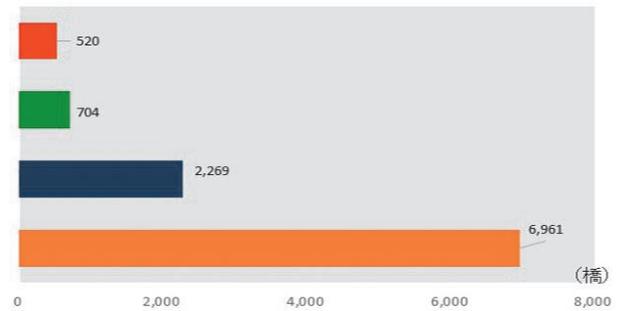


図-2 道路延長区分

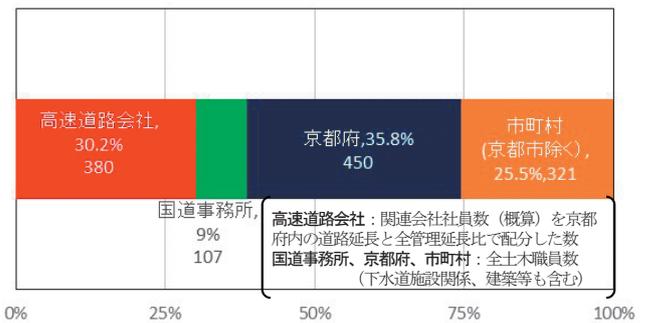


図-3 土木系職員数 (目安)<sup>4)</sup>

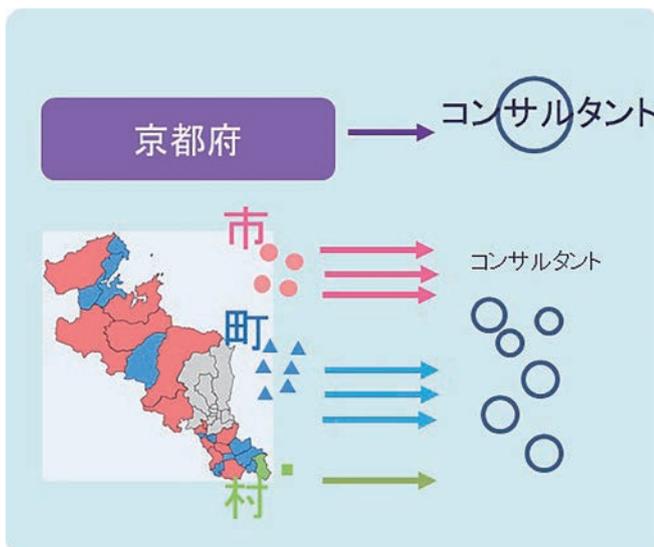
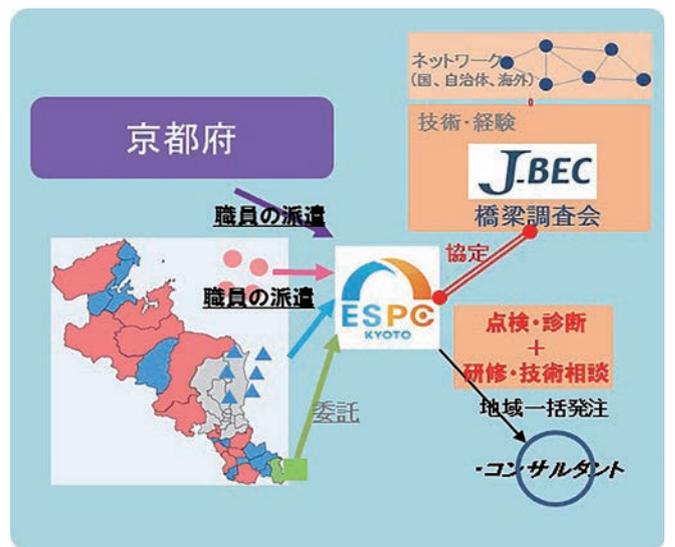


図-4 京都府メンテナンスに関する体制



ター設立前後で比較して図-4に示す。

平成28年度は、全国の35% (605団体) の市町村が地域一括発注を活用している (地域一括発注: 市町村の人不足、技術力不足を補うため都道府県または技術センター等が一括して点検業務を実施。)<sup>1)</sup>。同年、サポートセンターは、府および希望する15市町村から委託を受け、橋梁1,127橋を一括発注により点検支援を行い、その結果、1橋当たりの点検単価の削減、診断手法の均一化、市町村の技術者同士のノウハウ・情報共有が図れる等の効果があったと考えている。

図-5に京都府内市町村の橋梁点検実施率を示す。

平成26年度は、市町村それぞれが点検業務を発注していた。平成27年度は、京都府道路公社が地域一括発注を担い、点検実施率も向上している。平成28年度にサポートセンターが設立し、市町村の点検を引き受けることで点検の実施が進んだ。

また、サポートセンターは、橋梁以外に、トンネル、シェッド、標識も定期点検を実施し、平成29年度には、点検を委託する市町村も増加する傾向にある。その背景には、橋梁調査会と協働で実施した地道な研修・技術相談活動の成果といえる。

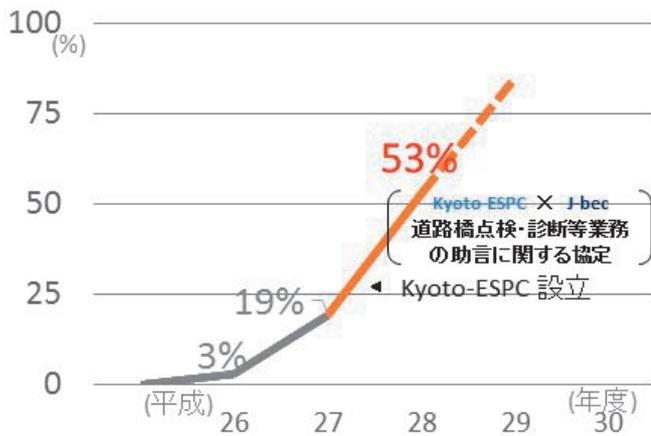


図-5 市町村点検実施率<sup>4)</sup>  
(京都府内 京都市を除く市町村集計)



写真-1 橋梁調査会講演 (平成28年2月)

### 3. サポートセンター・橋梁調査会の取組み

#### (1) 道路橋点検・診断等業務の助言に関する協定

平成27年度から、橋梁調査会は自治体支援の一環で、京都府が主催する「橋梁担当者会議」等へ講師の派遣が行われていた(写真-1)。その活動の効果(市町村職員の評判)もあり、サポートセンターと橋梁調査会で「道路橋点検・診断等業務の助言に関する協定」を締結した(平成28年12月)。この協定は、以下のことから、効果的な取組みにつながった。

- 1) サポートセンターが市町村との連携していることで、より多くの市町村が効率よく橋梁調査会講師と直接現場で指導を受けることができる。研修を繰り返した市町村職員は、点検技術に自信が持てるようになり、職員自ら点検をこなす自治体もでてきた。(これまで、橋梁調査会の講習等は、国が主催し大人数・会議室で経験していたため、市町村職員にとっては、質問ができない、講義の内容が自ら管理する橋梁と違うなどの違和感があった。)
- 2) サポートセンターの設立時は、府と市職員とで構成されており、京都府(または近畿圏)外の状況を把握するのは難しい。橋梁調査会と協定したことで、ネットワークが拡大し、多くの助言を取り入れることができるようになった。例えば、直轄国道や他都道府県の診断事例を、適切な点検・診断が行うことができる。
- 3) 稀にある特殊橋(吊り橋等)に対しても、極めて専門的な助言が得ることができる。標準歩掛かりが適応できず、点検が先送りされが



写真-2 自治体研修写真



写真-3 個別技術相談

ちな特殊橋梁に対して、点検診断ができる体制となった。  
具体事例を以下に紹介する。

## (2) 自治体研修

自治体研修は、地元のサポートセンターと、全国の大小様々な橋梁の診断を行う橋梁調査会とが協働で行う。

市町村の橋梁は橋長15m以下の生活圏道路に架けられている橋梁が大半（京都府内では橋長15m未満の橋が約80%を占める）で、点検要領や専門誌等ではあまり特記されない橋（支承がない橋、示方書に適合していない橋）もある。そのため、管理者もどこに着目して記録するのか、措置が必要な劣化かどうか判断した経験がなかった。一緒になり、点検や措置方法について研修を行う。近隣の市町担当者も合同で、概ね10名程度で現場研修を行う。細かなノウハウ共有ができ、日常的に相談できる関係が築けている。

## (3) 個別技術相談

現場で研修を繰り返し見る目が養われると、これまで気づけなかった事に職員自ら気づきが生まれる。自治体によって職員数や、管理している橋梁の条件も異なるため、それら気づき点や疑問点に対して、個別に対応している（写真-3）。相談内容も橋梁の健全性判定（Ⅰ～Ⅳ）中心だったものが、より技術的な内容（耐候性鋼材の錆量、簡易なひび割れ補修方法、線支承の延命策等）を議論できるようになってきている。そういった市町の職員は、現地での点検を自ら実施し、適宜サポートセンターと共同で点検・診断をレビューする点検方法を取り入れ、点検コストの削減をしている。

## (4) ネットワーク形成

橋梁調査会が主催する、全国各地の自治体の担当者との意見交換を実施し交流を図っている。例えば、先行して、橋梁調査会と協定締結した島根県には、京都府内の市町村職員の視察受け入れ、点検研修の交流が行われた。そこで得た技術情報を参考に、島根県で実施しているタブレット点検を導入した自治体もある。このように、各地の取組や情報を得ることができる体制が構築されている。

## 4. 特殊橋点検

村が管理している吊り橋点検では、高度な知識が必要になるため、橋梁調査会から現地調査派遣、点



写真-4 タブレット点検（小規模橋梁に活用）



① 吊り橋点検ミーティング



② 細部のチェック状況

写真-5 特殊橋点検

検計画から助言を受けている。吊り橋構造にとって、特に注視して確認しなくてはならないケーブル点検手法を実施している（過去の、定期点検では実施していない手法）。併せて、今後の管理計画やモニタ

リングについても議論ができ、ノウハウは、管理者、サポートセンター、点検コンサルタントに共有され同形式の維持管理にも活かされていくであろう。

## 5. おわりに

京都では市町村支援の組織として、一般財団法人京都技術サポートセンターが設立され、市町村の支援活動行っている。センターでは社会基盤を担う高度な知識・技術力を持つ組織として成長し貢献できるよう取り組んでいるところである。

橋梁調査会ははじめ、各関係者に多くの技術支援ご意見頂きました事に感謝します。

## 参考資料

- 1) 国土交通省HPより、道路メンテナンス年報、平成29年8月  
[http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29\\_03maint.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/h28/29_03maint.pdf)
- 2) 京都技術サポートセンター（Kyoto-ESPC）HP：  
<http://espckyoto.wixsite.com/espck>
- 3) 土木学会関西支部、橋梁の長寿命化・耐震化と更新に関する施策および技術開発の検討に関する連携研究委員会 報告書  
<http://www.jscekc.civilnet.or.jp/secretaries/seminars/2016/cyouz-shiryo/>
- 4) 国土交通省京都国道事務所HP：京都府道路メンテナンス会議資料、平成29年度第1回京都府道路メンテナンス会議資料  
<http://www.kkr.mlit.go.jp/kyoto/contents/maintenance/index.html>

# 道路橋点検士資格制度の現状と今後の展開

企画部 技術研修室長 谷中 幸和

## 1. 資格制度の創設

### 1-1. 主旨

道路橋点検技術の普及を目的とし橋梁調査会では、平成6年度に（財）道路保全技術センターが主催する橋梁点検技術研修会が開催されて以降平成16年の橋梁調査会への引継を経て現在まで道路橋点検士技術研修会と名称を変え継続してきており、平成29年8月時点で延べ94回に及んでいます。

道路橋の維持管理は高度経済成長期に集中的に建設されたものが急速に高齢化し、それに伴い損傷も急速に進展していくものと考えられており、従来にも増して点検技術者が必要とされています。

この間の平成24年12月に発生した笹子トンネル事故を契機として道路構造物の維持管理の重要性が認識され、平成26年の法令等の改正にともなう点検要領の改訂や国土交通省の民間登録資格（公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格）の制度が発足しました。

これらの社会的要請の変化により、橋梁点検を担う者の技術力向上と技術者の育成がより重要となりました。

これらの要請に応えるため橋梁調査会では平成26年4月より道路橋点検士の資格を創設し、平成27年1月に国土交通省の民間登録資格に登録されました。

また、道路橋点検士補は平成27年11月に創設し、

平成28年2月に民間登録資格に登録されました。

### 1-2. 制度

道路橋点検士及び道路橋点検士補の資格を取得する為には橋梁調査会が実施している道路橋点検士技術研修会（以下研修会という）を受講し、この中で行われる試験に合格する必要があります。合格者には修了証が発行されます。

なお、研修会の受講に当たっては学歴に応じた橋梁に関する業務経歴が必要となります。

研修会の修了証を取得された方は資格の申請が可能となります。道路橋点検士と道路橋点検士補の違いは登録申請に当たって定期点検の業務実績が必要か否かであり、資格が認めている鋼橋、コンクリート橋の点検に従事出来る点は同一です。

資格は登録後4年毎に更新講習会を受け更新することが出来ます。

## 2. 登録者の推移

### 2-1. 研修会修了者

平成6年度から平成29年8月までの各年度の研修会修了者数と延べ修了者数を図-1に示します。

平成29年8月時点での延べ修了者は12,908名であ

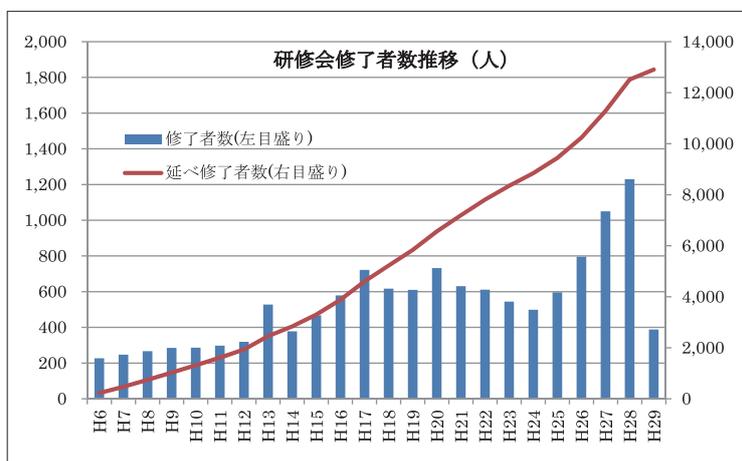


図-1 研修会修了者数推移

り、平成26年度以降の増加が見て取れます。

## 2-2. 資格登録者

道路点検士及び点検士補の登録状況を図-2、図-3に示します。

道路橋点検士は平成26年4月から申し込みを開始しこの年度に3千人近い登録が有りました。平成27年度、平成28年度も引き続き1千人程度の登録がされており、平成29年8月時点の延べ登録者は5,423名になっています。

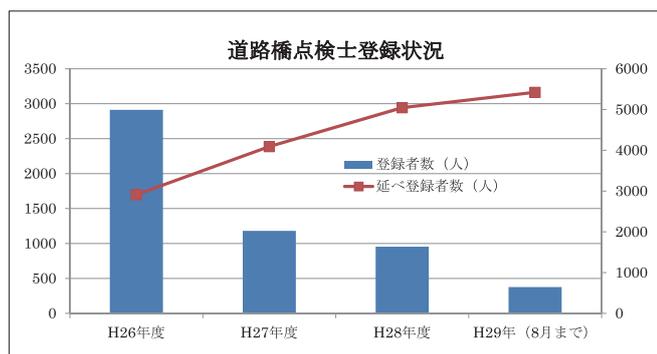


図-2 道路橋点検士登録状況

道路橋点検士補は平成27年11月から登録を開始しました。

平成27年度は5ヶ月の間に3百人を越す登録があり、平成28年度は1年間で3百人程度の登録がされています。

平成29年8月時点の延べ登録者は715名になっています。

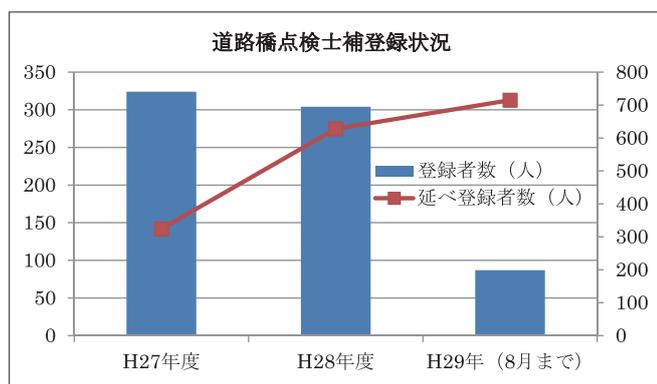


図-3 道路橋点検士補登録状況

## 3. 資格制度の変化

### 3-1. 他機関の研修者の受入

道路橋点検士資格を他の機関の研修者にも与え点検士技術者を育成することを目的として、平成28年に実施された「道路橋メンテナンス技術講習（主催（一財）全国建設研修センター、（一社）建設コンサルタント協会）」及び「道路構造物管理実務者研修（橋梁初級Ⅰ）（国土交通省 北海道開発局、各地方整備局 沖縄総合事務局）」の2つの研修等で行われる試験の合格者又は達成度の高い者に対し道路橋点検士補検定試験の受験を認めることとしました。但し受験に当たっては調査会が実施している研修会の受講条件である学歴に応じた橋梁に関する業務経歴を有することが必要となります。

この検定試験の合格者は道路橋点検士補の登録ができるとともに、所定の定期点検の業務実績があれば道路橋点検士の登録申請ができます。

平成28年度は79名の受験があり77名が合格しました。

### 3-2. 更新講習会

道路橋点検士に登録した者は4年毎に更新講習会を受け資格を維持する制度となっています。

資格制度が発足した平成26年度は登録者が3,000名近くあるため講習会の受講機会を登録後3年目と4年目の2回与えることとし、平成29年度が最初の開催となります。平成29年度の更新講習会の実施計画を作るため、受講時期（3年目か4年目）と場所（仙台、東京、名古屋、大阪、広島、福岡）について意向調査を実施しました。

その結果約7割が平成29年度受講を希望し、東京、大阪に多数が希望することが判明しました。

更新講習会は12月から1月にかけて3時間程度の講義を上記の全国6都市で開催する準備をしています。

更新講習会は今後毎年実施する事業であり、点検要領の変更や社会的要求の変化にも対応出来る技術を伝える場にもなるため講習内容の検討も重要であると考えています。

以上述べた橋梁調査会の実施している技術研修会、資格登録、更新講習会の一連の事業は橋梁の維持管理を担う技術者の育成として今後も社会の要請に応じ充実させて行かなくてはならないと考えています。

# 橋梁診断管理室の役割と活動状況について

調査部 橋梁診断管理室長 帆足 博明

## 1. はじめに

日本の道路橋は、急速な高齢化に伴い劣化損傷も急速に進展していると言われている。

老朽化対策や大規模災害の備えの必要性を踏まえて、道路の適正な管理を図るため、予防保全の観点も踏まえて道路の点検を行うことを義務化した「道路法等の一部を改正する法律」が平成25年6月5日に公布され、同年9月2日に施行された。この改正を受け「5年に1度の近接目視を基本とする点検」が省令で定められ、「健全性の診断結果を4つに区分」することが告示された。また、平成26年6月25日に道路法施行規則に基づき実施する点検について、最小限の方法、記録項目を具体的に示した「道路橋定期点検要領」が制定された。

なお、直轄国道橋では、道路の重要度や施設の規模を踏まえ「橋梁定期点検要領」が定められ、より詳細な点検、記録が行われている。

道路の老朽化対策が本格化する中、直轄国道の道路橋の診断業務を行っている橋梁調査会では、信頼される検査・診断を行うため本部に橋梁診断管理室を設置している。以下、維持管理の基本、橋梁診断業務概要および橋梁診断管理室の役割等について紹介する。

## 2. 橋梁の維持管理の基本

道路構造物の維持管理は、費用の縮減、橋梁の長寿命化を図るため、損傷・劣化が深刻化する前に補修を行う予防保全型の維持管理が基本となる。また、より効率的、効果的な維持管理を行うためには、『点検』→『診断』→『措置』→『記録』というメンテナンスサイクルPDCA（Plan Do Check Action）の構築が不可欠である。またこのメンテナンスサイクルを回すことで得られたデータにより長寿命化計画を策定、更新することにより、維持管理がより効率的、効果的なものとなる。

## 3. 橋梁診断業務の流れと橋梁診断管理室の役割について

橋梁診断業務は、点検の結果の評価、損傷原因の推定、損傷の進行性、損傷が部材の性能に与える影響等を評価し、対策の要否等を判断し対策区分の判定を行う。各部材に対し損傷毎に対策区分の判定を行い、部材および橋梁毎に健全性の診断を行うものである。診断の結果は、カルテの更新を含め記録を行うものである。

信頼される検査・診断を行うため、支部の診断業務を支援する目的で、平成26年4月に橋梁診断室が本部に設置された。平成29年4月からは、品質管理室と統合して橋梁診断管理室としてスタートした。その主たる役割は以下のとおりである。

### ① 橋梁診断会議の運営

各支部で判断が難しい損傷が確認された場合、本部、支部委員及び実務経験豊富な外部の専門技術者（基礎、地盤、鋼構造物、コンクリート構造物等）に参加をいただき橋梁診断会議を随時開催している。

会議では、幅広い知識、経験、視野に基づいた議論を行い、発生している損傷の種類とその原因を正確に特定し、安全性、耐久性への影響を明らかにして、補修・補強等適切な措置を行うための方針、留意点等を含む論理的でわかりやすい所見の作成を目指している。

会議は、基本的に本部で開催し、支部とはTV会議システムで連携し、全支部参加が可能な環境で行っている。橋梁診断業務の流れと橋梁診断管理室の位置づけを図-1に、また、会議風景を写真-1に示す。

### ② 自治体支援

地方公共団体からの橋梁の点検、診断に関わる支援要請に対する支援。

### ③ 診断に関わる事項の調整

損傷に対する補修方法等の技術情報提供及び診断業務を行う上で診断を行う検査員間で診断結果が異なる可能性のある損傷に対する調整事務等。

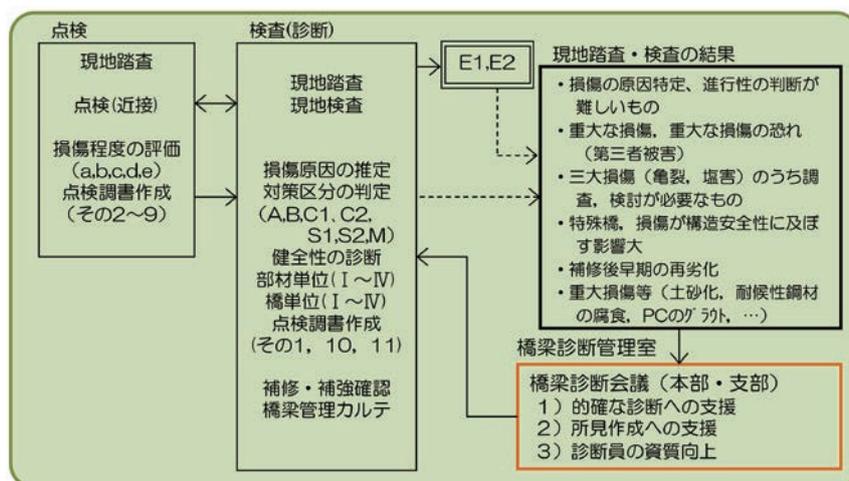


図-1 橋梁診断業務と橋梁診断管理室の関係

#### 4. 橋梁診断管理室の活動状況

平成26年度から28年度までの橋梁診断会議の開催数は46回、支部に出向いての診断会議を21回計67回開催し、扱った診断橋梁は228橋になっている。

また、自治体支援については、建設技術センターなど府県の外郭団体が主催する研修会や地方公共団体が行っている点検・診断業務に関し、外郭団体等と協定及び支援業務契約を締結し、助言等を行う業務を実施している。



写真-1 橋梁診断会議風景

#### 5. おわりに

日本の道路橋の急速な高齢化による老朽化対策として平成26年度より道路橋を含むすべての道路構造物の点検が義務化され、5年に1回の近接目視による点検が義務化された。

国土交通省では、国民・道路利用者の皆様に道路のインフラの現状及び老朽化対策についてご理解頂くため、点検の実施状況や結果等を「道路メンテナンス年報」としてとりまとめ、これまで平成26年度から28年度までの3箇年の点検結果を公表している。

この目的は、国民に社会資本の現状や課題等につ

いて知ってもらい、理解してもらい、維持管理・更新について国民から支持・支援を得るためのものであり、徹底して情報の見える化を図ることは、社会資本に係るもっとも基本となるべき政策の一つと思われる。

点検・診断は、この情報提供の基礎データとなるものであり、また、メンテナンスサイクルの重要要素である。橋梁調査会は、より正確な情報提供に資するべく道路橋の診断に努めていく所存である。

# 道路橋点検ロボット導入プロジェクト三年目の成果 —試行的導入に向けた現場検証結果—

企画部 調査役 吉田 好孝

## 1. はじめに

### (1) これまでの経緯

全国70万橋を超える道路橋を念頭に、橋梁点検ロボットの開発・導入に係る現場検証の研究が、国土交通省総合政策局の主催により平成26年度から進められている。その目的は橋梁点検に携わる技術者の不足を補い、点検に要するコストの低減を図りつつ、安全で円滑な交通を確保することである。

橋梁点検要領に沿って定められた公募条件の基で、初年度（平成26年度）は飛行型、車両型、懸架型、ポール型などにおいて17技術の応募があり、鋼橋2橋（新浅川橋、国総研内橋梁）、コンクリート橋1橋（浜名大橋）を検証のフィールドとしてそれぞれの点検技術を競った。この時は点検ロボットに対し主に橋梁点検における点検員の「代替」の可能性を求めたものであった（文献-1）。各応募者に対する審議と評価は、橋梁維持管理部会（部会長：藤野陽三

教授）において進められた。

翌平成27年度は、初年度の検証結果を踏まえて点検ロボットに対する期待と要求を、従来方法の橋梁点検の「支援」とすることとした。新たな公募条件に従い、前年度の参加者も含めて全21技術の応募があり、鋼橋1橋（幸久橋鋼桁部）とコンクリート橋2橋（蒲原高架橋、幸久橋コンクリート桁部）において現地検証を行った（文献-2）。

点検ロボットの検証結果に対し、実際の点検技術者による詳細な近接目視の結果との照合（すなわち点検精度）、点検作業に要する時間、点検作業の確実性（現地における機器の安定性）、機器の安全性、室内作業も含めた作業コストなどについて、部会において慎重に評価を行った。その結果、5技術について5段階評価の最上位である総合評価Ⅰ「試行的導入に向けた検証を推奨する」の段階にあると認められた（文献-3）。

表-1 平成28年度橋梁維持管理部会の構成

平成29年3月時点

氏名	所属等	備考
部会長 藤野 陽三	横浜国立大学 先端科学高等研究院 上席特別教授	橋梁専門家
委員 油田 信一	芝浦工業大学 SIT総合研究所 特任教授	ロボット専門家
委員 浅間 一	東京大学大学院 工学系研究科 教授	
委員 河西 龍彦	(一社) 日本橋梁建設協会 保全委員会 幹事長	橋梁業界代表者
委員 徳光 卓	(一社) PC建設業協会 保全補修部会 副部会長	
委員 田中 樹由	(一社) 建設コンサルタンツ協会 道路構造物専門委員	
委員 宮武 一郎	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 施工安全企画室長	行政(国交省)関係者
委員 長谷川 朋弘	国土交通省 道路局 国道・防災課 道路保全企画室長	
委員 星隈 順一	国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室長	研究関係者
委員 森川 博邦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター 社会資本施工高度化研究室長	
委員 石田 雅博	(国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員	
委員 梶田 洋規	(国研) 土木研究所 技術推進本部 上席研究員	
委員 石田 智樹	経済産業省 製造産業局 産業機械課 ロボット政策室 室長補佐	経済産業省関係者
委員 加藤 晋	(国研) 産業技術総合研究所 知能システム部門 グループ長	
委員 安川 裕介	(国研) 新工エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・機械システム部 主査	
事務局	国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課(新田企画専門官、大槻補佐、近藤補佐、中根係長) (一財) 橋梁調査会 企画部(大石、藤原(亨)、吉田、諸隈)	—

## (2) 橋梁維持管理部会の構成

橋梁維持管理部会は、主に橋梁、ロボット、行政の分野の専門家からなる。表-1に橋梁維持管理部会の構成を示す。

## 2. 平成28年度の点検ロボット検証 —いよいよ試行的導入に向けた現場検証へ—

### (1) 平成28年度の方針

平成28年度においては、「試行的導入に向けた検証」を行うに値すると認められた技術に対し、実際に橋梁点検の試行を行い、その結果について各種の検証と評価を行うこととした。つまり、昨年度の検証結果を維持管理部会で慎重に審議し判断して、近

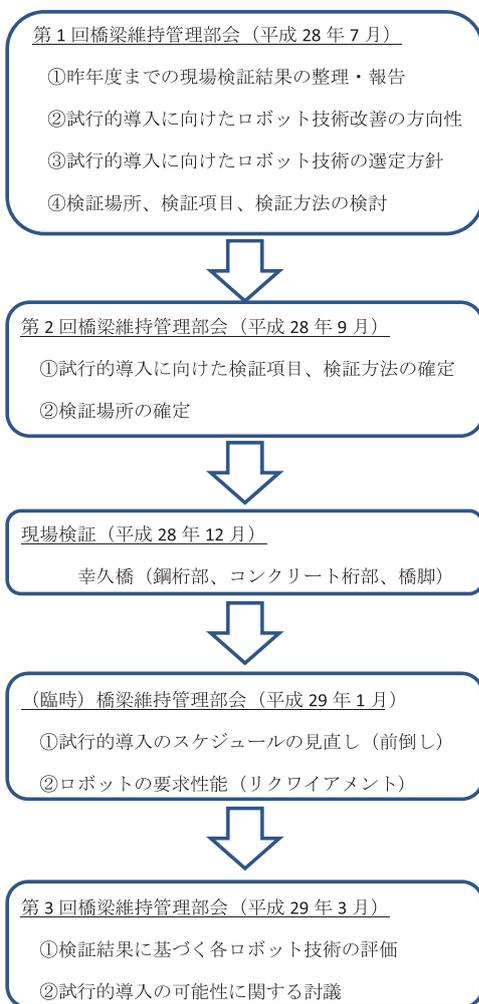


図-1 平成28年度橋梁維持管理部会の検討経緯

い将来、点検ロボットとして導入が可能であると考えられた機種／システムに対して現場での検証を行う方針とした。平成28年度の検証はその後に予定されている橋梁点検現場への「試行的導入」の前段階に相当するために「試行的導入に向けた検証」と称している。平成28年度における橋梁点検ロボットの導入に関する検討経緯を図-1に示す。

### (2) 現場検証の対象橋梁「幸久橋」の概要

現場検証の対象とした橋梁は幸久橋で、茨城県が管理する2車線の橋梁である。鋼桁部とコンクリート桁部が隣接しており、桁下内に自由に立ち入ることができる。老朽化や東日本大震災の影響を受け、

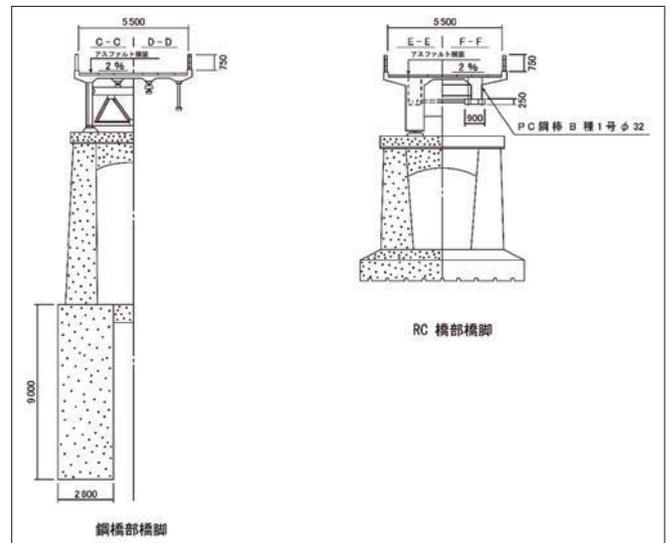


図-2 幸久橋断面構造図

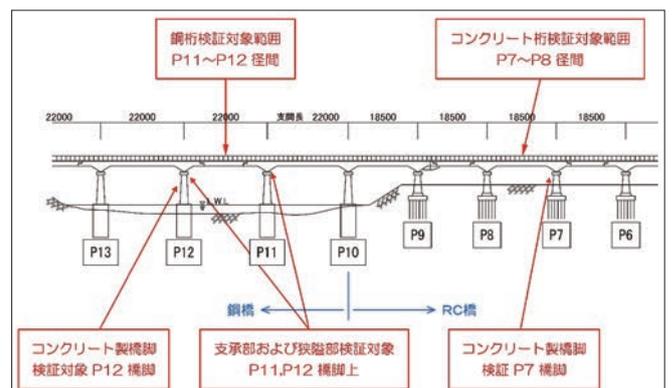


図-3 現場検証対象箇所

表-2 幸久橋の概要

橋種	橋梁形式	橋長 (m)	桁下高さ (m)	橋下条件	路線名	架設年	場所
RC橋 鋼橋	RCT桁ゲルバー形式 (6径間) 鋼桁ゲルバー形式 (10径間) RC門型橋脚	285	約4.5~10	久慈川 草地 町道	一般国道 349号	1935年	茨城県那珂市額田北郷 ~常陸太田市上河合町

現在は通行止めとなっているが、そのため、現場検証に当たって路面規制を行う必要が無く、車両型点検ロボットなど路面を使用するタイプの点検ロボットの検証にとっては便利である。このような事情から、本橋の鋼桁部、コンクリート桁部、コンクリート床版部、及び橋脚を対象として、昨年度に引き続き現場検証に使用することとした。表-2に幸久橋の概要を、図-2、図-3に断面構造と検証対象箇所を示す。

### (3) 試行的導入に向けた現場検証

#### 1) 参加ロボットの選定

現場検証に参加する点検ロボット／システムは、昨年度の現場検証においてランクⅠ（試行的導入に向けた検証を推奨する）及びランクⅡ（課題の解決を前提に、試行的導入に向けた検証を推奨する）を中心として決定した。ランクⅡ及びそれ以下と評価された点検ロボット／システムは、指摘されていた課題が十分に改善されていることをヒアリングなどで確認した上で参加を了承している。なお、ランクⅠ及びⅡの評価を受けていても、諸般の事情から今回

自発的に不参加の意向を示された点検ロボット／システムもある。平成28年度の試行的導入に向けた検証に参加した点検ロボット／システムを表-3に示す。

#### 2) 現場検証

点検ロボットによる損傷の検出状況の事例を以下に示す。図-4はコンクリート桁の張出し床版部の床版ひびわれで、5本のひびわれについて実際のひびわれと点検ロボット（飛行型）によるひびわれ検出の結果を比較している。ここで「点検ロボットによって検出されたひびわれ」とは、点検ロボットが撮影した画像を、画像解析者が室内業務において精査してひびわれと判断したものである。一方「点検員の近接目視によって検出されたひびわれ」とは、高所作業車あるいはロープアクセスによって点検員が近接して確認したひびわれであり、いわゆる従来方式による点検結果である。

この現場検証においては、点検ロボットの検証時には、現地の橋梁にひびわれなどの損傷を示すチョークの跡は全くない状況であった。従来方式による点検は、点検ロボットの現場検証が全て完了し

表-3 平成28年度試行的導入に向けた現場検証に参加した点検ロボット／システム

No.	技術名称	法人名	共同開発者	平成27年度評価	形態	対象部位
1	構造物点検ロボットシステム「SPIDER & Giraffe」	ルーチェサーチ (株)	(株) 建設技術研究所、 広島工業大学	Ⅰ	飛行型	RC上部工、橋脚、 支承
2	「橋梁点検カメラシステム 見る・診る」による近接目視、 打音調査等援助、補完技術	ジビル調査設計 (株)	(有)インテス、福井大学	Ⅰ	車両型 (アーム型)	RC上部工、鋼橋上部工、 橋脚、支承
3	橋梁点検ロボットシステム 「橋竜」による点検	(株) 帝国設計事務所	(株) カナモト	Ⅰ	車両型 (アーム型)	RC上部工、鋼橋上部工、 橋脚、支承
4	橋梁等構造物の点検ロボットカメラ	三井住友建設 (株)	(株) 日立産業制御ソリューションズ	Ⅰ	ポール型	RC上部工、鋼橋上部工、 橋脚、支承
5	赤外線調査トータルサポートシステムJシステム	西日本高速道路エンジニアリング四国(株)	————	Ⅰ	赤外線	RC上部工 (うきに適用)
6	橋梁の近接目視を代替する飛行ロボットシステム	(国大法) 東北大学	(株) 千代田コンサルタント、 航空宇宙技術振興財団、(株) リコー	Ⅱ	飛行型 (球殻)	RC上部工、鋼橋上部工、 橋脚、支承
7	非GPS環境対応型マルチコプターを用いた近接目視点検支援技術	三信建材工業 (株)	(株) 自律制御システム研究所	Ⅱ	飛行型	RC上部工、橋脚
8	ポール打音検査機	日本電気 (株)	(株) 自律制御システム研究所、 産業技術総合研究所、 首都高速道路技術センター	Ⅲ	ポール型	RC上部工 (うきに適用)
9	近接目視、打音検査等を用いた飛行ロボットによる点検システム	新日本非破壊検査(株)	福岡県工業技術センター、 九州工業大学、 名古屋大学	Ⅳ	飛行型	RC上部工



写真-1 ロボット開発者による現地説明状況（平成28年12月、橋梁維持管理部会立会）



写真-2 幸久橋コンクリート桁部を点検する飛行型ロボット



写真-3 幸久橋鋼桁部を点検する車両型（アーム型）ロボット



写真-4 従来方式による損傷箇所を検出（川中の橋脚、ロープアクセス）

てから実施している。部会長及び委員による立会における開発者からの説明状況を写真-1に、点検ロボットの活動状況を写真-2及び写真-3に、従来方式による点検のうちロープアクセスによる点検状況を写真-4に示す。

点検ロボットによるひびわれの検出において、誤差が現れている代表的な事例を図-4に示す。対象はコンクリート桁部の張出し床版で、点検ロボット（飛行型）による結果である。床版ひびわれ①は、ひびわれ位置が近接目視の結果から15cmほどずれている事例である。床版ひびわれ②では、点検ロボットによるひびわれの位置は近接目視のひびわれとほぼ一致しているが、ひびわれの形状が一致していない。床版ひびわれ③では、ひびわれの位置は合っているものの、ひびわれ長さを正しく認識できていない。床版ひびわれ④は、点検ロボットではひびわれが存在するとしたが、実際にはひびわれは存在していないケースで、点検ロボット側のいわゆる誤検出である。

これらのひびわれ幅は概ね0.1mm～0.3mmであり、この部位についてはやや細かな誤差は生じたが、危険につながるような見落としは無かったと言える。

橋脚のひびわれについての比較を図-5に示す。点検ロボットは車両型（アーム型）である。橋脚梁

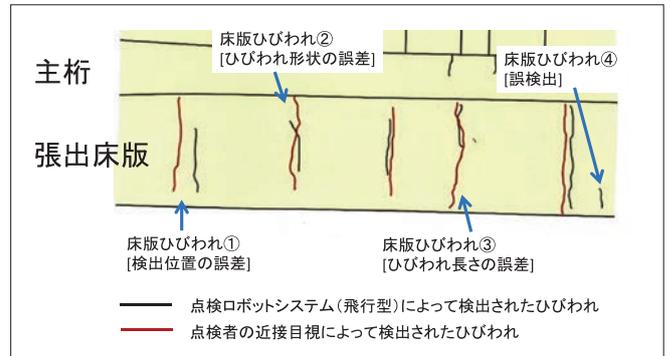


図-4 張出し床版部における床版ひびわれ検出結果

部の中央に入っているひびわれの幅は約0.3mmであるが、このひびわれについては殆どの点検ロボットが見のがすことなく検出できていた。図の事例ではひびわれの位置が20～25cmほどずれているが、実際の点検実務を考えるとこの程度は許容範囲であろう。点検ロボットの結果では梁の右下側の小さなひびわれ（0.2mm程度）を検出できなかったが、部材の角であり、部材表面の汚れや照度にも影響されたため、認識が難しかったと推測される。

上記データを取得した時の2者それぞれの搭載カメラと対象物までの凡その距離を表-4に示す。

点検ロボットによるひびわれ検出長は、今回の現

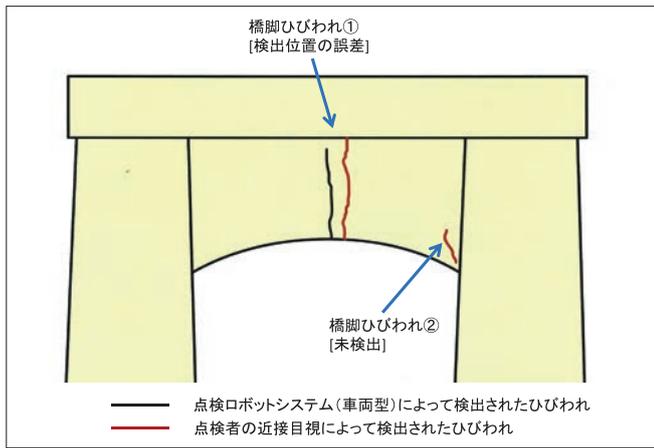


図-5 橋脚のひびわれ検出結果

表-4 搭載カメラと撮影距離

点検ロボット	搭載カメラ	撮影距離
飛行型 (A社)	最大画素数; 4240万画素	約3m
車両型 (B社) (アーム型)	最大画素数; 2000万画素	約2m

現場検証では実際の近接目視によるひびわれ長に比べてやや短くなる傾向にあり、とくにひびわれ幅が細いひびわれに対しては未検出（存在するひびわれであるにもかかわらず検出できないケース）もみられた。また、点検ロボットによるひびわれ幅の特定がやや不正確な場合もあった。しかし、通常の人による点検では、あらかじめ前回の点検結果を示すチョーク跡などを把握して作業に臨むのに対し、今回の点検ロボットの検証では、チョーク跡が全くない橋梁の部位について実施した。その結果、比較的よい成果が得られたことは、点検ロボットの実用化に明るさが見えてきたと考えてよいと思う。

### 3. おわりに

「試行的導入に向けた現場検証」を終え、いよいよ点検ロボットの「試行的導入」の時期が迫ってきた。平成26年度にこのプロジェクトが開始され、それまで殆ど接点なかった「橋梁点検」と「点検ロボット」という二つの技術が、3年目にして次第にマッチングしてきたと感じる。ひとえに橋梁維持管理部会及び国土交通省のご指導と各開発者の努力の賜物である。

目前にあるもう一つのハードルは、点検ロボットによって得られた写真の解析技術との協働である。従来の人による近接目視点検であれば、現場で点検員はどのような写真が必要かを瞬時に判断し、必要な写真のみを撮影することができる。しかし、今回参加した点検ロボットシステムでは、点検ロボット

自体がまだ損傷に対する判断能力を有していないために、橋梁の対象部位に対し写真を網羅的に撮影し、それらの大量の写真データを画像解析技術者が室内業務によって目で見て損傷を検出している。

そのためこのプロセスに必然的にかなりのマンパワーを要することになるが、人による作業ゆえにミスも見られる。そこで、ひびわれなどの抽出にAI（人工知能）を利用した画像解析を行えば、損傷の抽出は短時間でかつミスの発生も防ぐことができるはずである。現在、各方面でこの画像解析システムの研究がなされており、一日も早い実用化が望まれる（文献-4）。

末尾になりましたが、現場検証の場として幸久橋の使用を快く認めていただきました茨城県土木部及び常陸太田工事事務所の関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

（当調査会は、国土交通省総合政策局公共事業企画調整課発注の「平成28年度次世代社会インフラ用ロボット開発・導入に係る試行的導入支援業務」を、平成28年5月に（一財）先端建設技術センター及び（一社）日本建設機械施工協会と共に共同提案体として受託しました。本業務は大石龍太郎常務兼企画部長（当時）、藤原亨企画部次長、諸隈成幸企画部調査役、及び吉田が担当しました）

#### 参考文献

- 1) 吉田：道路橋点検に関するロボット導入開発の状況、J-BECレポート、2015、Vol.11
- 2) 吉田：道路橋への点検ロボット導入に向けて-第2回現場検証の結果-、J-BECレポート2016、Vol.12
- 3) 橋梁維持管理技術の現場検証・評価の結果、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会橋梁維持管理部会、平成28年3月
- 4) 助けてAI -点検・診断の自動化は夢物語じゃない!、日経コンストラクション 2017.8.28



©手塚プロダクション  
「そろそろボクも準備していますよ」

# 〔寄附講座〕『道路アセットマネジメント政策講座』の活動について

京都大学経営管理大学院 特定教授 中谷 昌一

## 1. はじめに

平成28年度より3か年の予定で、京都大学経営管理大学院に「道路アセットマネジメント政策講座」として、(一) 橋梁調査会の寄付講座が開設されています(別紙参照)。本稿は、本講座の目的、内容、活動状況等について報告するものです。

## 2. 寄付講座のねらいと研究領域

### 1) 全体概要

わが国の道路等の公共施設は、その多くが高度経済成長期に集中的に整備されたため、今後、道路橋をはじめとした構造物の老朽化が急速に進行し、補修や更新の増加が想定されています。このため、例えば道路橋については計画的な点検、診断、補修、更新などを通じた予防的な保全によってライフサイクルコスト縮減を目指した取組が始まっています。平成25年には道路法が改正され、全国の70万橋に及ぶ道路橋に対して5年に一度の定期点検が義務付けられたのは、記憶に新しいところです。

このことは同時に、道路資本全般については、全国規模でメンテナンスサイクルが動き始めたところであり、特に地方においては持続可能なアセットマネジメントの取組が十分になされている状況にはないことを示唆しています。

このような厳しい状況のなか、国民が安全で安心した暮らしを確保していくためには、行政の政策についても、従来の狭い視点に限定することなく、より幅広い観点から持続可能なアセットマネジメントの政策を立案していくことが、今後ますます求められることとなります。

また、東南アジア等の開発途上国を中心に、道路等の公共施設の劣化や損傷が供用後比較的短期間に顕在化しています。この理由の1つとして、維持管理やマネジメントに関する知識の欠如とともに、アセットマネジメントに関する仕様規定型の国際標準システムが実務的に機能していないことがあげられ

ます。海外におけるわが国の技術的な貢献と主導性を保持するとともに、海外新規市場を創出する観点からも、実務的なアセットマネジメントシステムの開発は喫緊の課題となっています。

以上のような背景を踏まえて、本講座では、従来の道路に関する維持管理の状況を把握・評価し、道路管理等の道路政策の一環として、今後のより高度で効果的・効率的なアセットマネジメントの立案及び実施方策に関して、以下のテーマに沿って研究を行うこととしています。

#### ・道路に関するアセットマネジメント手法に関する研究

橋梁等の道路構造物の状態評価と劣化予測を含むアセットマネジメント技術を向上させるとともに、特に、道路構造物の老朽化の進展が著しい地方自治体の政策判断に資する道路の管理方策について研究を推進。

#### ・総合的な道路整備・管理の方法論に関する研究

橋梁や舗装等を含む道路の計画、設計、施工、管理に至る一環したデータを活かし、構造物の追跡調査、補修補強計画、データ管理について、効率的な道路整備・管理を可能とするマネジメント政策について研究を推進。

#### ・道路に関するアセットマネジメントの体系化に関する研究

事後保全から予防保全に修繕の考え方を転換していく中で、長期的な修繕コストの低減方法、リスクマネジメントなどの諸問題について、土木システム全体の総合的なアセットマネジメント技術として体系化する研究を推進。アセットマネジメントの実装化が進む中、総合的な目標設定の手法に関する研究も重要と認識。

#### ・ISO55000シリーズに準拠したアセットマネジメントシステムに関する研究

2014年1月に発行したアセットマネジメント

に関する国際標準ISO55000シリーズに準拠したアセットマネジメントシステムの開発を進めることにより、わが国及び開発途上国を中心とした海外におけるアセットマネジメントの効率化・高度化に関する研究を推進。

## 2) 主たる研究事例の紹介

第一の研究テーマである「道路に関するアセットマネジメント手法に関する研究」について、その主要な研究の狙いと研究状況について紹介します。

研究の狙いを述べるにあたって、冒頭にも言及した「道路資本全般については、全国規模でメンテナンスサイクルが動き始めたところであり、特に地方においては持続可能なアセットマネジメントの取組が十分になされている状況にはないことを示唆しています」と述べましたが、この点に関して、敷衍するところから始めます。

道路橋の維持管理に関して定期的な法定点検が全国的に始められています。これは、図-1に示された階層的マネジメントサイクルの維持修繕レベルが、法的な強制力を持って開始されたことを意味しています。今後、点検結果を踏まえて適時適切に修繕行為がなされ、長期的な視点から修繕行為の評価がなされ、維持修繕全体の行為が改善されていきます。このサイクルは個々の現場における管理レベルだけでなく、地域全体や構造物群全体を見回した中長期にわたる広い視点での戦略レベル・構想レベルも存在します。

現在までのところ、少なくともこの階層的マネジメントサイクルについては、多くのインフラ管理者に認知され、様々な管理データを駆使しつつ長期的

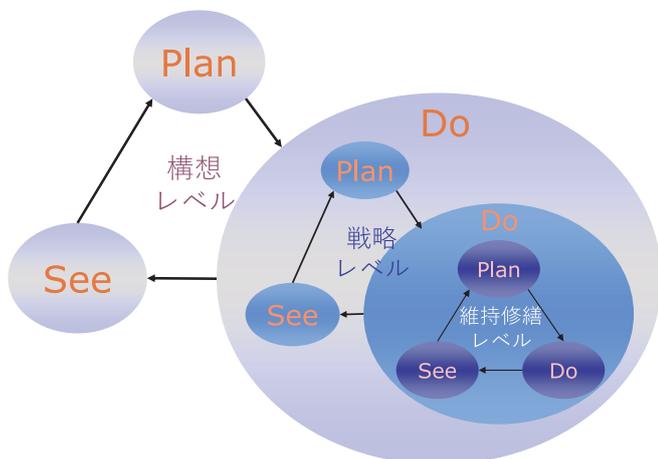


図-1 階層的マネジメントサイクル

な劣化を予測しながら計画的な維持管理に向けた取り組みが行われつつあります。これはアセットマネジメントの導入段階であることから、第一世代のアセットマネジメントと呼んでいます。

周知の通り国際的には、アセットマネジメントに関して国際規格ISO55000シリーズが2014年に発行されています。国際規格が求めているアセットマネジメントは、図-2に示されている体系です。すなわち、先ほどの階層的マネジメントサイクルのパフォーマンスを絶えずモニタリングし改善を図っていくための、メタマネジメントの機能を要求しています。この機能がないマネジメントは、国際的にはマネジメントとして認証されないということを意味しています。これを、第二世代のアセットマネジメントと呼んでいます。

研究の狙いには、この第二世代のアセットマネジメントを可能にするためのデータベースの構築、データ分析の手法等のルール化の開発が含まれています。

このメタマネジメント機能は理想的にはすべての道路管理者が備えるべき機能です。例えば、国をはじめ道路管理会社や重要な路線を管理する主要な道路管理者は既にその体制を持ち、データの蓄積や分析を行いアセットマネジメントの改善を図りつつあります。一方で、大部分の道路資産を管理している地方自治体には、その体制も技術力も蓄積されていないのが実情です。研究の狙いには、地方自治体の抱える課題や実情に応じたメタマネジメント機能の代替政策の開発も含まれています。

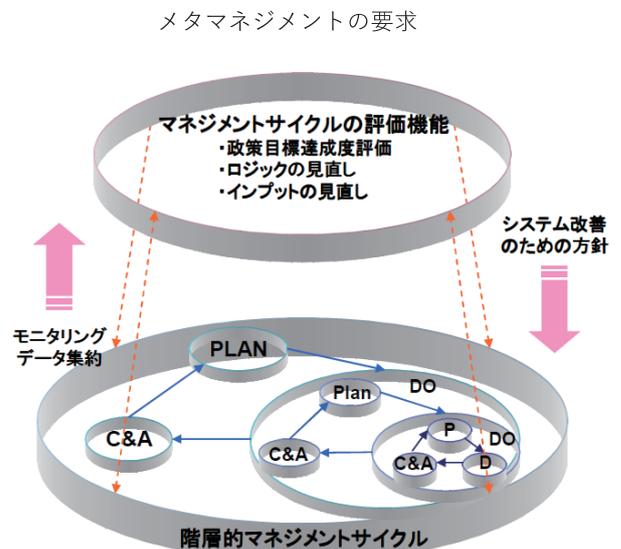


図-2 ISO準拠型アセットマネジメントシステム

ここで、アセットマネジメントを構成する各種のルール体系に目を移しましょう。図-3に示すように、ルールは大きくは、コアルールとセミコアルールに大別されるものと考えています。すなわち、道路管理者を問わず共通して遵守する決まりはコアルールとなり、これらは安心安全を確保するために国レベルで制定する最低限度の基準・法制等によって強制する必要があります。一方で、道路管理者の裁量によって選択することができる決まりはセミコアルールとなり、環境・構造的特徴・財政状況・要求水準等によって適宜に選択できる戦略的・戦術的なルールがこれにあたります。メタマネジメント機能によりこれらのルールは、データの蓄積に伴い適宜に見直しが行われ高度化等が図られます。

さらに、図-3のポイントは、道路管理者ごとに必要に応じてルールが採用されること、および種々のルールは高度化されてプールされていることにあります。このような体系の整備に向けたプロファイリング手法の活用に関する研究を行っています。

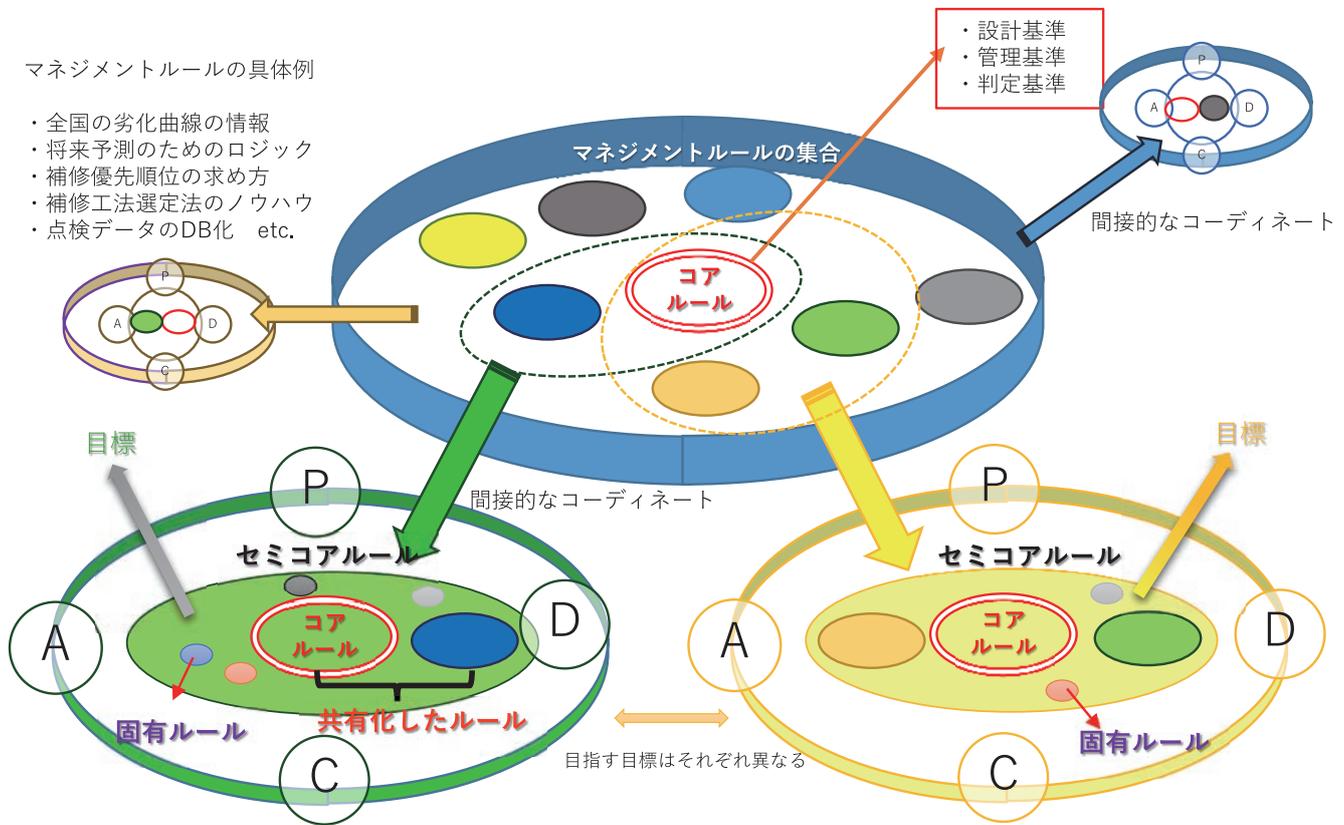
本寄附講座では、経営管理研究部国土マネジメン

ト客員講座及び工学研究科等の学内の関連部局に加え、国・地方公共団体並びに関係する研究機関などと連携し研究を進めています。具体的には、SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」における「道路インフラマネジメントサイクルの展開と国内外への実装を目指した総括的研究」に参画し、下記の通り各種の研究協定を結んで、国レベル・地方レベルから点検データなどの現場の生の情報の提供を受けるとともに研究成果の現場レベルでの検証を行うなど、アセットマネジメントの実装化を意識した体制で研究に取り組んでいます。

- ・アセットマネジメントの推進に関する包括協定  
(京都府・(一財)京都技術サポートセンター：H28.10.20)

- ・道路橋の点検データを活用した状態予測手法の活用方策に関する共同研究  
(国総研・土研・京都府：H28.12.26)

研究の成果の一例として、道路橋の床版劣化を対象としたプロファイリング手法及びその検証結果を紹介します。詳細については、「橋梁の劣化速度の



### マネジメントルールの間接的なコーディネートをプロファイリングと定義

図-3 プロファイリング手法の活用

仮に許容水準を  $R=0.98$  に設定.

【 $0 \leq \varepsilon \leq 1.342$ 】(劣化が一般的)

第一次標準化補修戦略(戦略A)

補修タイミング	補修工法
2	-
3	断面修復工法
4	-
5	床版取替え工法

【 $1.342 < \varepsilon$ 】(劣化が速い)

第二次標準化補修戦略(戦略B)

補修タイミング	補修工法
2	ひび割れ注入工法
3	断面修復工法
4	鋼板接着補強工法
5	床版取替え工法

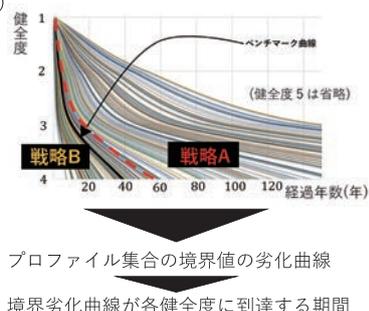


図-4 床版劣化を対象とした検証(国土交通省データを活用)

『建設時期からの経過年数』『健全度』の情報さえあれば取るべき補修戦略が分かる。

第一次標準化補修戦略(戦略A)

補修タイミング	補修工法
2	-
3	断面修復工法
4	-
5	床版取替え工法

第二次標準化補修戦略(戦略B)

補修タイミング	補修工法
2	ひび割れ注入工法
3	断面修復工法
4	鋼板接着補強工法
5	床版取替え工法

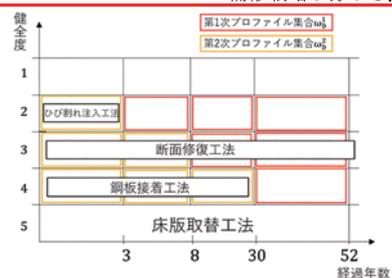


図-5 地方自治体向け実用的管理図の作成

異質性を考慮した補修戦略プロファイリング(土木学会論文集D3(土木計画学)Vol173、No4、pp201~218)」に詳しいので参照ください。なお、研究に当たっては、国土交通省の協力を得て過去の定期点検データの提供のもと実施しています。

床版の劣化現象は、目視点検により得られる路面下のひび割れを指標として捉えられています。図-4に示す通り、環境要因・技術基準などの説明要因を取り除いても、初期の施工品質等の異質性により劣化ハザードは大きなばらつきを有しています。この異質性に着目し、早期に劣化するグループ・早期に劣化しないグループにプロファイリングする手法について研究を行っています。

LCCの適度な最適化を達成しながら、グループの劣化ハザードに応じていくつかの標準的な補修戦略の選択を可能とする手法の可能性について、検証を行ったものです。結果は、図-5に示す通りで、「建設時期からの経過年数」と点検結果の「健全度」によって、補修方法を選定することが可能であることが確認されており、地方自治体の抱える課題や実情に応じたメタマネジメント機能の代替政策として有効ではないかと考えています。

なお、これらの成果については、平成29年7月にスイスチューリッヒ工科大学において開催された国際シンポジウム(International Symposium on Infrastructure Asset Management SIAM)において発表する機会を得たことを付記します。

3) その他、教育への取り組み

本寄附講座では、京都大学経営管理大学院において、社会に存在する各種の有形無形のアセットの意義について、「国土・地域ソーシャルキャピタル論の講義」を通して教育しています。また、国内外に



写真-1 SIAM発表会議室前にて 2017.6

においてアセットマネジメントの講義を実施し、その啓蒙と研究成果の普及にも努めています。さらに、アセットマネジメントの講義では、ISO55000シリーズに準拠したアセットマネジメント論に関する体系的な教材を開発するとともに、我が国におけるアセットマネジメントの普及のための人材を育成することも目的としています。

アセットマネジメントに関わるセミナーや講演も含めて、以下のような実績を有しています。

- ・国土・地域ソーシャルキャピタル論の後期講座 H28.10~H29.1
- ・ISO55000シリーズ(アセットマネジメント)講習会2016  
「国際標準型アセットマネジメントの方法」 H28.8.22~24
- ・International Training Course in Vietnam & Laos  
「Road Infrastructure Asset Management」 H28.9.19~24
- ・International Joint Program on Infrastructure Planning and Economic Development under Asian

## Economic Integration in Philippines

「Intensive school of Transport planning and asset management」 H28.9.25～30

### 3. おわりに

本講座は、早いもので本年9月をもってちょうど中間点を通過します。課題には多大なものがありますが、諸先輩方々によって構築された知的な財産と検証に堪え得る地道なデータの蓄積を支えとし、我が国において次世代のアセットマネジメントを実装化するとともに、世界に通用するものとするため、最善を尽くしたいと考えています。



写真-2 International Training Course in Vietnam 2016.9

#### 寄附講座「道路アセットマネジメント政策（橋梁調査会）講座」の概要

1	設置年月日 (寄附受付期間)	平成28年4月1日 (平成28年4月1日から平成31年3月31日)
2	大学名(研究所名)	京都大学
3	寄附講座の名称 (英文名)	道路アセットマネジメント政策（橋梁調査会）講座 [英文名 Policy Studies on Road Asset Management (Japan Bridge Engineering Center)]
4	寄附者	一般財団法人 橋梁調査会
5	担当職員の構成	特定教授（寄附講座） 1名 客員准教授（時間雇用教員） 1名
6	研究目的等	橋梁・舗装マネジメント等の道路管理に関する政策の一環として、今後のより高度で効果的・効率的なアセットマネジメントの立案及び実施方策に関して研究を行う。
7	研究内容等	橋梁に関する技術、経済、環境その他の問題について調査研究を行うことを目的とする一般財団法人からの寄附に基づくという特徴を踏まえ、橋梁・舗装マネジメント等の道路管理に関する政策の一環として、今後のより高度で効果的・効率的なアセットマネジメントの立案及び実施方策に関して研究を行う。
8	研究課題等	・ 橋梁等の道路に関するアセットマネジメント手法に関する研究 ・ 総合的な道路整備・管理の方法論に関する研究 ・ 橋梁等の道路に関するアセットマネジメントの体系化に関する研究 ・ 国際標準に準拠したアセットマネジメントシステムに関する研究

# 変断面を有するRC・PCはりのせん断耐荷機構の解明と設計の高度化に向けた実験的研究

東京工業大学 土木・環境工学系 助教 中村 拓郎

## 1. はじめに

部材軸に対して有効高さが変化する変断面はり、橋台、橋脚、フーチングなど、橋梁を構成する構造部材として広く一般的に供用されている。変断面はりのせん断耐荷機構やせん断耐力は、せん断スパン内の上面勾配あるいは下面勾配の存在によって、有効高さが変化しない定断面はりとは異なることが報告されている。なお、本稿におけるせん断スパン比 ( $a/d$ ) は、特に断りのない限りせん断スパンとはりの最大断面における有効高さの比とする。

せん断補強鉄筋を配置しない変断面RCはりのせん断挙動の特徴として、松井と角田<sup>1)</sup> は、 $a/d$ の増加とともにひび割れせん断応力（せん断ひび割れがはりの中立軸を横切った時の荷重と最大断面から算定した応力）は小さくなり、 $a/d=2.94$ の変断面RCはりでは、はり高さの増加とともにひび割れせん断応力は小さくなるが、変断面はりのひび割れせん断応力は定断面はりに比べて大きくなることを報告している。Macleodら<sup>2)</sup> は、こうした変断面RCはりのせん断耐荷機構の特徴について、圧縮側の勾配の増加にともなって圧縮ストラットの幅が減少し、圧縮応力が局所化することで斜めひび割れが圧縮部コンクリートを突き抜けにくくなり、せん断耐力が増加すると説明している。一方、石橋ら<sup>3)</sup> は、 $a/d$ が小さい変断面RCはりの破壊性状は、定断面はりと類似しており、せん断破壊面は載荷点から支点を結ぶ直線上付近となることを報告している。

岩永ら<sup>4)</sup> は、 $a/d=2.7$ の変断面RCはりに対して、画像解析によってひび割れの形成過程が耐荷機構に及ぼす影響を検討しており、変断面RCはりでは曲げひび割れ幅が減少し、ひび割れ面の骨材の噛合せ効果が大きくなると考察している。また、せん断補強鉄筋を有する変断面RCはりでは、最大荷重時に斜めひび割れが載荷点まで到達するため、載荷点位置の有効高さを用いてせん断耐力を評価することが可能であることを確認している。一方、石橋ら<sup>5)</sup> は、

$1.0 \leq a/d \leq 2.0$ のフーチングでは、せん断補強鉄筋による補強効果が少ないことを報告している。

変断面はりにおけるプレストレスの影響について検討した事例は多くはないが、Houら<sup>6)</sup> は、せん断補強鉄筋のない変断面PCはりでは、定断面PCはりと比較してプレストレスによってせん断耐力が大きく向上することを実験および解析結果から確認している。

従来の変断面はりの設計法では、トラス理論に基づいて弦材が図心軸に対して傾いているトラスとして、トラスの上下弦材の軸方向力のせん断力方向の分力を考慮する方法が定められていた<sup>7)</sup>。しかしながら、有効高さの変化によってせん断力を増減させる方法は、せん断耐力の耐荷メカニズムを全てトラス機構のみで表すことは困難であること、また、せん断スパンが短い領域ではアーチ機構が卓越して想定している耐荷メカニズムとは異なるとして、土木学会のコンクリート標準示方書では2007年版の規定からは削除されている<sup>8)</sup>。

変断面はりの設計せん断耐力を現行の棒部材の設計式を用いて算定する場合には、どの断面を照査断面とするかが課題のひとつとなる。Houらは、有限要素解析による数値解析によって、部材軸の角度と圧縮ストラットの角度の関係を示し、せん断補強鉄筋のない変断面RCはりのせん断耐力の算定手法を提案している<sup>9)</sup>。さらに、Houらは、せん断補強鉄筋が配置された場合には、この照査断面が変化する可能性も示唆している<sup>10)</sup>。変断面はりのせん断設計の高度化のためには、既往研究で示された $a/d$ や勾配の影響に加えて、せん断補強鉄筋やプレストレスの影響についても詳細に検討していく必要がある。

本研究では、せん断補強鉄筋比およびプレストレス量を試験水準とした変断面はりの静的載荷実験を実施し、これらが変断面はりのせん断破壊挙動に及ぼす影響を確認するとともに、現行の棒部材の設計式によるせん断耐力の計算値と実験値を比較した。

表-1 試験体諸元

試験体	種類	$f_{cd}'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\alpha_c$ (°)	$d_l$ (mm)	$d_s$ (mm)	$a$ (mm)	$a/d_l$	$r_w$ (%)	$s$ (mm)	$\delta_{cgd}$ (N/mm <sup>2</sup> )
RW00	RC	35	8.3	250	130	825	3.5	-	-	-
RW18	RC							0.18	175	-
RW25	RC							0.25	125	-
RW33	RC							0.33	97	-
P0	PC	55	7.1	300	175	1050	3.5	-	-	-
P1	PC							-	-	1
P2	PC							-	-	2
P3	PC							-	-	3

$f_{cd}'$ : コンクリートの設計圧縮強度、 $\alpha_c$ : 部材上縁のテーパ角度、 $d_l$ : 最大断面（載荷点位置）の有効高さ、 $d_s$ : 最小断面（支点位置）の有効高さ、 $a$ : せん断スパン、 $r_w$ : せん断補強鉄筋比、 $s$ : せん断補強鉄筋の配置間隔、 $\delta_{cgd}$ : 目標プレストレス量

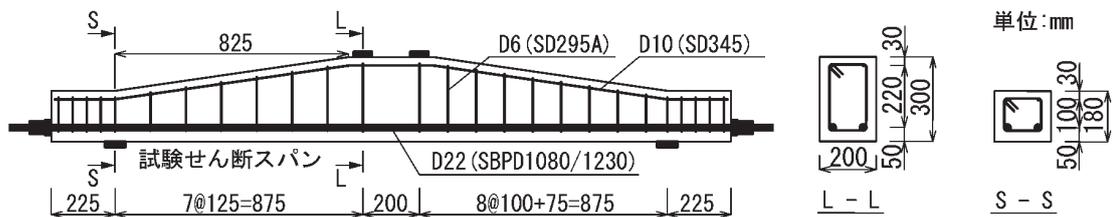


図-1 試験体概要図 (RW25試験体)

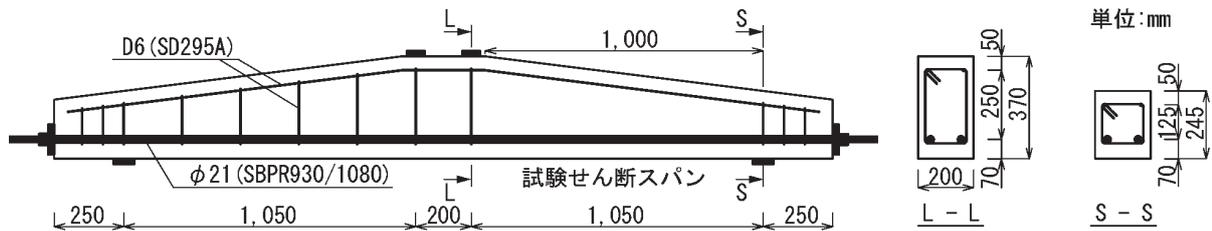


図-2 試験体概要図 (Pシリーズ)

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

本研究では、せん断補強鉄筋を有する変断面RCはり（RWシリーズ）と、せん断補強鉄筋を配置しない変断面PCはり（Pシリーズ）の計8体の変断面はりの載荷試験を実施した。試験体諸元を表-1に、試験体概要図を図-1および図-2にそれぞれ示す。

変断面RCはりを対象としたRWシリーズでは、せん断補強鉄筋の配置間隔によってせん断補強鉄筋比を0%（せん断補強鉄筋なし）、0.18%、0.25%、0.33%に調整した4体のはり試験体を作製した。はりの有効高さは、最大断面（載荷点位置、L-L断面）で250mm、最小断面（支点位置、S-S断面）で150mmとし、8.3°の上面勾配となるように部材軸に対して有効高さを変化させた。ウェブ幅を200mm、せん断スパンを875mm、最大断面に対するせん断スパン比

は3.5とした。引張鉄筋として2本の総ねじPC鋼棒を、圧縮鉄筋として2本の異形鉄筋を有効高さの変化に合わせてかぶりが一様となるように配置した。

変断面PCはりを対象としたPシリーズでは、目標プレストレス量を0（プレストレスなし）、1、2、3N/mm<sup>2</sup>に調整した4体のはり試験体を作製した。はりの有効高さは、最大断面（載荷点位置）で300mm、最小断面（支点位置）で175mmとし、7.1°の上面勾配となるように部材軸に対して有効高さを変化させた。ウェブ幅を200mm、せん断スパンを1050mm、最大断面に対するせん断スパン比は3.5とした。また、引張材として2本のPC鋼棒をシース内に配置し、圧縮鉄筋として2本の異形鉄筋を有効高さの変化に合わせてかぶりが一様となるように配置した。プレストレスは、ポストテンション方式によって導入した。プレストレス量は、最大断面にお

ける断面高さの1/2における平均プレストレス（平均圧縮応力）とし、プレストレス導入時のPC鋼棒のひずみによって調整した。なお、プレストレスを導入しないP0試験体を含めたいずれの試験体もシーすにはグラウト材を充てんしている。

RWシリーズ、Pシリーズともに引張鋼材はアンカープレートとナットによって定着した。また、いずれの試験体も、せん断破壊が生じるせん断スパンを試験せん断スパンとして限定するために、片方のせん断スパンには十分な量のせん断補強鉄筋を配置している。

## 2. 2 使用材料

コンクリートの目標圧縮強度は、RWシリーズでは35N/mm<sup>2</sup>、Pシリーズでは55N/mm<sup>2</sup>とし、いずれも早強ポルトランドセメントを使用し、粗骨材の最大寸法20mmの配合とした。本研究で使用した各鋼材の物性を表-2にまとめる。Pシリーズでは、内径28mmの溶融亜鉛メッキ鋼板製のシーすを、グラウト材には無収縮モルタルを使用した。

## 2. 3 荷重方法と測定項目

荷重は万能試験機を用いた静的4点曲げ荷重とし、荷重点には幅65mmの鋼板を、支点には回転支承の上に幅75mmの鋼板を設置した（写真-1）。支点の鋼板と試験体の間にはグリスを2枚のテフロンシートで挟んだ減摩パッドを配置して水平方向の摩擦を低減している。

測定項目は、荷重、スパン中央における鉛直変位、鋼材のひずみとした。荷重は万能試験機の電圧出力を、スパン中央の鉛直変位は両支点およびスパン中央に設置した接触式ひずみ変換型変位計の出力値を、鋼材のひずみはゲージ長さ2mmのひずみゲージの値をデータロガーによって収録した。

## 3. 実験結果

### 3. 1 せん断補強鉄筋の影響（RWシリーズ）

#### (1) 荷重-変位関係

RWシリーズにおける各試験体の荷重-変位関係を図-3に示す。せん断補強鉄筋を配置していないRW00試験体（ $r_w = 0.00\%$ ）では、曲げひび割れの発生後に剛性が低下し、その後、斜めひび割れの発生とともに荷重が低下した。せん断補強鉄筋を配置したRW18、RW25、RW33試験体においても斜めひび

表-2 鋼材の物性

シリーズ	種類	呼び名 または外径	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )
RW	総ねじPC鋼棒	D22mm	1170*
	異形鉄筋	D10	358
	異形鉄筋	D6	333
P	PC鋼棒	21mm	1021*
	異形鉄筋	D6	379

\*0.2%永久伸びに対する耐力



写真-1 荷重試験時の様子（P0試験体）

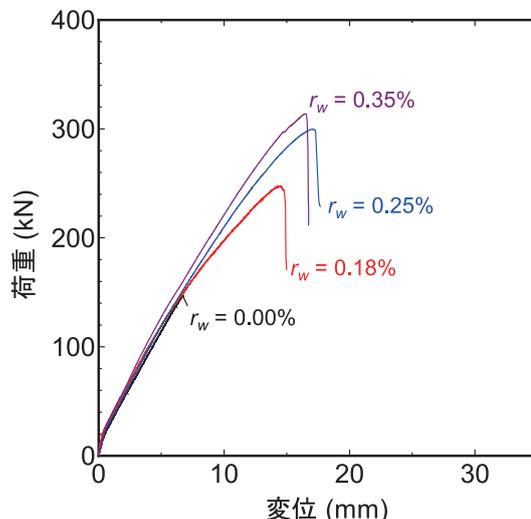


図-3 RWシリーズの荷重-変位関係

割れ発生まではRW00試験体と同様の挙動を示している。せん断補強鉄筋比の違いによって、初期剛性や曲げひび割れ発生荷重、斜めひび割れ発生荷重に顕著な違いは認められなかった。一方、斜めひび割れの発生以降は、せん断補強鉄筋比が大きい試験体ほど剛性を維持する傾向が認められ、せん断補強鉄筋比が大きい試験体ほど耐力も大きくなった。

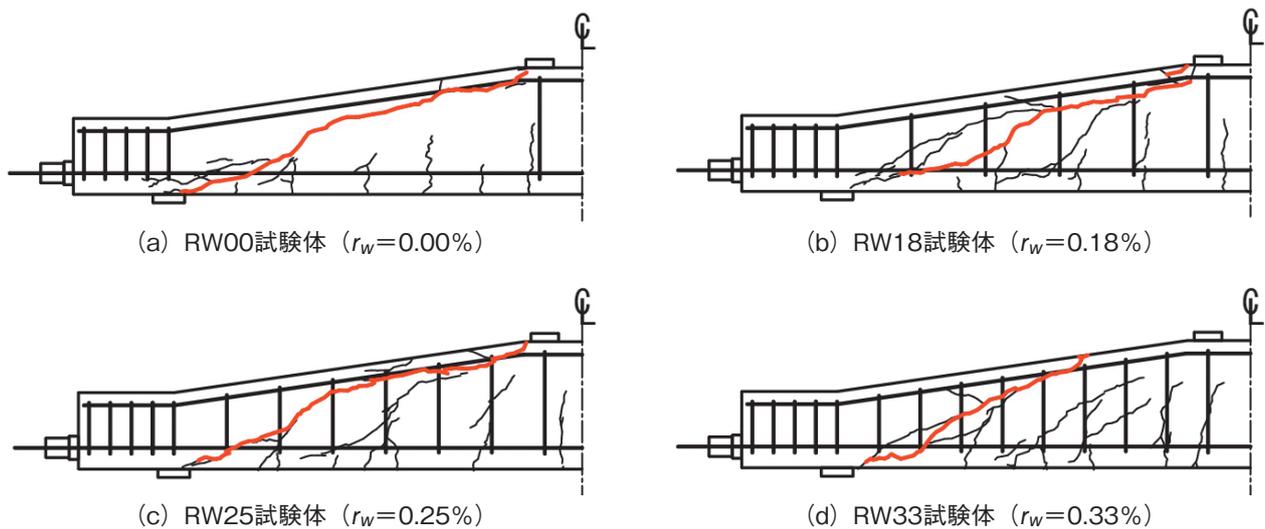


図-4 RWシリーズのひび割れ性状

## (2) ひび割れ性状

RWシリーズの最大荷重後のひび割れ性状を図-4に示す。なお、ポストピーク領域において最も開口した斜めひび割れを赤太線で示している。いずれの試験体においても、曲げひび割れが徐々に荷重点に向けて傾斜し、その後、支点および荷重点に向けてひび割れが進展した。荷重点に向けて進展したひび割れは、試験体の上面勾配に沿うように進展した。せん断補強鉄筋を配置したRW18、RW25、RW33試験体では、無補強のRW00試験体と比較して斜めひび割れが分散しているものの、ポストピーク領域において最も開口した斜めひび割れに着目すると、すべての試験体で概略同様の傾向を示している。ただし、せん断補強鉄筋比が大きいRW33試験体では、斜めひび割れが荷重点に到達する前に試験体上面に貫通し、その後、荷重が低下した。

## 3. 2 プレストレスの影響 (Pシリーズ)

### (1) 荷重-変位関係

Pシリーズにおける各試験体の荷重-変位関係を図-5に示す。プレストレス量の増加にともなって曲げひび割れ発生荷重の増加が認められ、プレストレス量が多いほど曲げひび割れが斜めひび割れへと進展し始める荷重についても増加する傾向が認められた。また、プレストレス量が大きくなるほど最大荷重も大きくなり、目標プレストレス量を1、2N/mm<sup>2</sup>としたP1、P2試験体では、プレストレスを導入していないP0試験体と比べて、それぞれ1.5倍、2倍程度となった。また、P0試験体および目標プレストレス量が1N/mm<sup>2</sup>のP1試験体では、斜めひび割

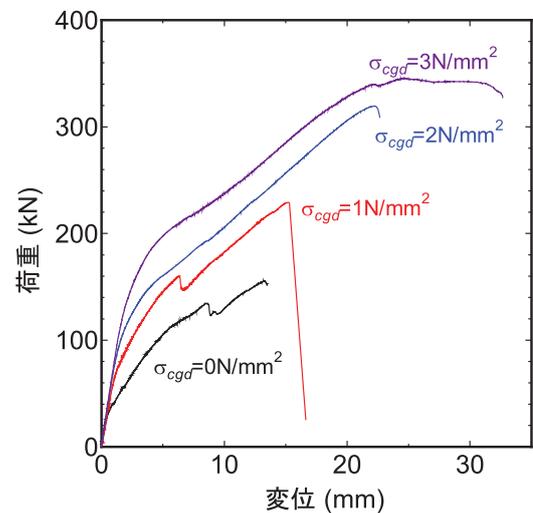


図-5 Pシリーズの荷重-変位関係

れの発生直後に一時的な荷重の低下が認められた。一方、プレストレス量の大きなP2試験体、P3試験体では、斜めひび割れの発生と同時に剛性の変化が認められるものの、荷重の低下は認められなかった。

### (2) ひび割れ性状

Pシリーズにおける各試験体の最大荷重直前のひび割れ性状を図-6に、最大荷重直後の試験せん断スパンの様子を写真-2に示す。なお、ひび割れ図では、最大荷重時に最も開口した斜めひび割れを赤太線で示している。いずれの試験体においても、曲げひび割れのひとつが徐々に荷重点に向かって傾斜して進展するとともに、引張材に沿うように支点方向にもひび割れは進展した。なお、いずれの試験体においてもウェブせん断ひび割れは認められなかった。せん断破壊性状はP0、P1、P2試験体の3体でおよそ類似しており、引張材に沿って進展したひび割

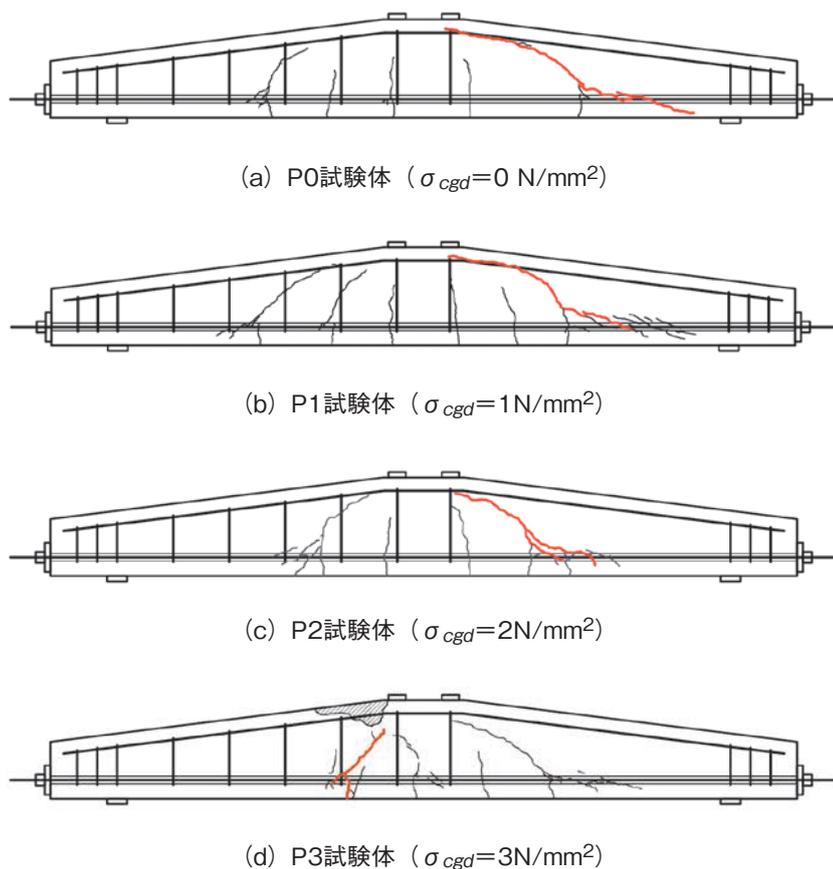


図-6 Pシリーズの最大荷重直前のひび割れ性状

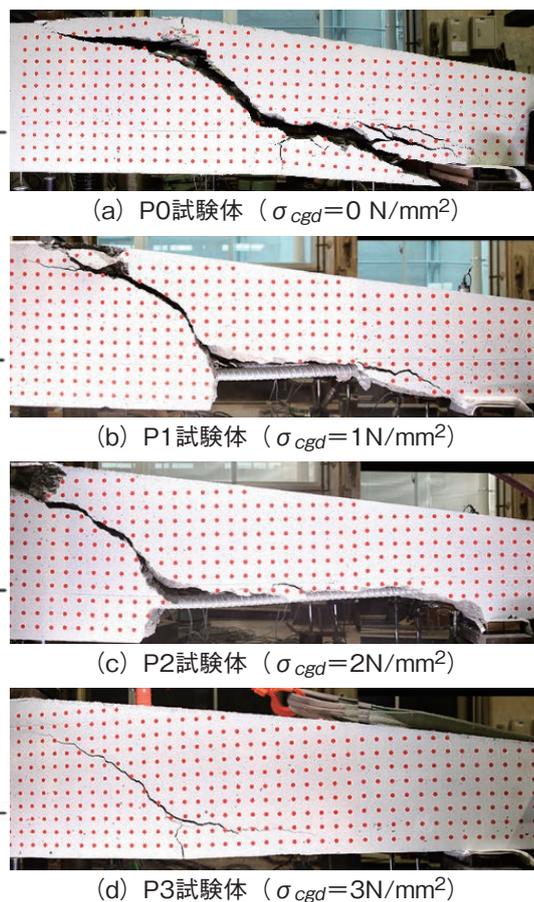


写真-2 最大荷重直後の試験せん断スパンの様子

れが開口して鋼材の付着破壊によるコンクリートの割裂破壊が生じると同時に、斜めひび割れより上面のコンクリートへのひび割れの貫通、あるいは載荷点付近のコンクリートの圧壊によって荷重が低下した。特に、目標プレストレス量を1、2N/mm<sup>2</sup>としたP1、P2試験体では、かぶりコンクリートが剥落するような激しい破壊性状を示した(写真-2 (b) (c))。一方、プレストレス量の最も大きなP3試験体では、せん断補強鉄筋を配置した非試験せん断スパン側の載荷点付近のコンクリートの圧壊とともに荷重が低下し、試験せん断スパン側の斜めひび割れは最大荷重後には閉口していく挙動を示した(写真-2 (d))。

また、斜めひび割れに進展する曲げひび割れの発生位置は、プレストレス量の増加に伴い載荷点に近くなる傾向が認められた。本研究においては、最大荷重直後の引張材に沿った付着・割裂破壊が顕著になっており、前述の斜めひび割れ発生後の荷重の増加は、斜めひび割れに進展する曲げひび割れの発生位置から支点までの距離にも関連していると推察される。

#### 4. 変断面はりのせん断耐力に関する考察

変断面はり、せん断スパン内で有効高さが変化

することから、従来の棒部材のせん断耐力の設計式を適用する場合には、照査断面によってせん断耐力の計算値が異なる。ここでは、一つの基準として、せん断耐力の計算値が最大となる最大断面の有効高さをを用いた場合の計算値と実験値の比較を行う。

せん断耐力の計算値 $V_y$ は、土木学会のコンクリート標準示方書<sup>11)</sup>に基づき、式(1)に示すように、せん断補強鉄筋を用いない棒部材のせん断耐力 $V_c$ とせん断補強鉄筋により受け持たれるせん断耐力 $V_s$ の和とした。 $V_s$ は圧縮斜材角を45°と仮定したトラス理論に基づき式(3)によって算出した。

$$V_y = V_c + V_s \quad (1)$$

$$V_c = \beta_d \cdot \beta_p \cdot f_{vc} \cdot b_w \cdot d \quad (2)$$

ここで、 $f_{vc} = 0.20 \sqrt[3]{f'_c} (\leq 0.72)$  (N/mm<sup>2</sup>)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d} (\leq 1.5)$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_w} (\leq 1.5)、$$

$b_w$  : 腹部の幅 (mm)

$d$  : 有効高さ (mm)

$$p_w = A_s / (b_w \cdot d)$$

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積 (mm<sup>2</sup>)

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$$V_s = A_w f_{wy} z / S_s \quad (3)$$

表-3 セン断耐力の実験値と計算値の比較

試験体	$r_w$ (%)	$\delta_{cg}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	実験値 (kN)			計算値 (kN)			実験値/計算値		
				V	$V_s$	$V_c$	V	$V_s$	$V_c$	V	$V_s$	$V_c$
RW00	-	-	38.7	73.5	0.0	73.5	55.0	0.0	55.0	1.34	-	1.34
RW18	0.18	-	40.2	123.7	71.7	52.0	81.9	26.2	55.7	1.51	2.74	0.93
RW25	0.25	-	36.8	149.9	91.9	58.0	90.8	36.7	54.1	1.65	2.51	1.07
RW33	0.33	-	36.3	156.9	55.2	101.7	101.1	47.3	53.8	1.55	1.17	1.89
P0	-	-	56.3	77.8	-	77.8	61.2	-	61.2	1.27	-	1.27
P1	-	0.88	56.6	114.6	-	114.6	68.7	-	68.7	1.67	-	1.67
P2	-	2.10	52.6	159.8	-	159.8	78.7	-	78.7	2.03	-	2.03
P3	-	2.83	57.3	(172.8)	-	(172.8)	82.8	-	82.8	(2.09)	-	(2.09)

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度、 $r_w$  : セン断補強鉄筋比、 $\delta_{cg}$  : プレストレス量、V : セン断耐力、 $V_s$  : セン断補強鋼材により受け持たれるセン断耐力、 $V_c$  : セン断補強鋼材を用いない棒部材のセン断耐力

ここで、 $A_w$  : 区間  $s_s$  におけるセン断補強鉄筋の総断面積 (mm<sup>2</sup>)  
 $f_{wy}$  : セン断補強鉄筋の設計降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $s_s$  : セン断補強鉄筋の配置間隔 (mm<sup>2</sup>)  
 $z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離 (=  $d/1.15$ )

プレストレスが棒部材のセン断耐荷機構に及ぼす効果については、2012年制定土木学会コンクリート標準示方書では従来のデコンプレッションモーメントによる方法から、修正圧縮場理論を基礎としたプレストレスの効果の導入方法に改訂され<sup>12)</sup>、三方らが提案した圧縮ストラットの角度を簡易的に求める手法<sup>13)</sup>が採用されている。プレストレスを導入したPシリーズの試験体の $V_c$ は、前述の式(2)に式(4)に示すプレストレスの効果を表す係数 $\beta_n$ を乗じて算定した。

$$\beta_n = \sqrt{1 + \sigma_{cg}/f_{vt}} \quad \text{ただし、} \beta_n \leq 2 \quad (4)$$

ここで、 $\sigma_{cg}$  : 断面高さの1/2の高さにおける平均プレストレス (N/mm<sup>2</sup>)

$$f_{vt} = 0.23f'_c{}^{2/3}$$

なお、本稿における計算値の算定では、安全係数をいずれも1.0としている。

セン断耐力の実験値は、最大荷重の1/2の値とし、セン断補強鉄筋が受け持つセン断耐力の実験値は、ポストピーク領域で最も開口した斜めひび割れを横切るセン断補強鉄筋のひび割れ近傍のひずみから算出した。なお、P3試験体については、破壊形態が曲げ破壊であると考えられるため、実際のセン断耐力は不明であるが、参考値として表中に示している。

表-3にセン断耐力の計算値と実験値を示す。セン断補強鉄筋比を試験水準としたRCはり試験体の

RWシリーズ、プレストレス量を試験水準としたPCはり試験体のPシリーズのいずれの試験体においても、セン断耐力の実験値は、最大断面を用いた計算値を上回る結果となった。本研究の範囲内では、セン断補強鉄筋を有する変断面RCはりとはセン断補強鉄筋を配置していない変断面PCはりのセン断耐力は、現行の棒部材の設計式を準用することによって安全側の評価が可能であることが確認された。

RWシリーズにおけるセン断補強鉄筋が受け持つセン断耐力においても、いずれも実験値が計算値を上回る結果となった。RW18、RW25試験体では、実験値と計算値の比がそれぞれ2.7、2.5と大きくなっており、斜めひび割れが載荷点付近まで進展したことによって、算定時の仮定よりも多くのセン断補強鉄筋と斜めひび割れが交差したためと考えられる。一方、RW33試験体では、斜めひび割れがセン断スパン内の上面を突き抜ける様に進展したものの、算定時の仮定と同程度の本数のセン断補強鉄筋を横切ったことによって実験値と計算値の比が同程度となっている。また、セン断補強鋼材を用いない棒部材のセン断耐力に着目すると、RW18試験体で実験値がやや計算値を下回っているものの、概略安全側の評価となっている。

一方、プレストレスの影響を検討するためのPシリーズにおいては、プレストレスの効果を表す係数を乗じた計算値に比べて、プレストレス量が大きいほど実験値と計算値の比が大きくなる傾向が認められた。変断面PCはりでは、定断面PCはりよりもプレストレスによる効果が大きくなる可能性があり、変断面PCはりのセン断耐力を評価する際には、プレストレスの効果についても有効高さが変化する影響を考慮する必要があると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、変断面RC・PCはりのせん断耐荷機構の解明と設計法の高度化を目的に、せん断補強鉄筋比やプレストレス量を試験水準とした変断面はりの載荷試験を実施した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 変断面RCはりでは、せん断補強鉄筋比が大きくなるほどせん断耐力は大きくなった。ただし、せん断補強鉄筋を配置しない試験体やせん断補強鉄筋比の小さい試験体では、斜めひび割れの発生とともに一時的に荷重が低下する現象が確認された。
- (2) 変断面PCはりでは、プレストレス量の増加とともに、曲げひび割れ発生荷重、斜めひび割れ発生荷重、せん断耐力は大きくなった。
- (3) 本研究の範囲内において、変断面RCはりにおけるせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力は、現行の棒部材の設計式を準用した計算値を上回り、安全側の評価が可能であることを確認した。
- (4) 変断面PCはりのせん断耐力は、棒部材の設計式によって安全側の評価が可能であるが、プレストレス量が大きくなるほど、変断面PCはりのせん断耐力を過小評価する傾向が認められた。

今後は、画像解析や有限要素解析によってせん断挙動における応力分布の変化等を分析し、変断面を有するRCはりおよびPCはりのせん断耐荷機構の検討を継続していく予定である。

## 6. 謝辞

本研究の一部は、一般財団法人橋梁調査会の橋梁技術に関する研究開発助成の補助を受けて実施したものです。また、研究計画および実験において、東京工業大学の二羽淳一郎教授、二羽研究室の修士課程学生の川原崇洋氏、碩騰氏にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 松井司、角田与史雄：変断面RC桁のせん断破壊実験、土木学会年次学術講演会講演概要集、V-88、pp.170-171、1977
- 2) I. A. Macleod and A. Houmsi: Shear Strength of Haunched Beams Without Shear Reinforcement, ACI Structural Journal, Vol. 91, No.1, pp.79-89, 1994

- 3) 石橋忠良、斉藤啓一、寺田年矢、渡辺忠朋：有効高さの変化する鉄筋コンクリートはりのせん断耐力について、コンクリート工学年次論文集、Vol.9、No.2、pp.305-310、1987
- 4) 岩永崇志、松本浩嗣、二羽淳一郎：ひび割れの形成過程に着目した変断面RCはりのせん断破壊メカニズムの評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.33、No.2、pp.49-54、2011
- 5) 石橋忠良、松田好史、斉藤啓一：少数本のくいを用いたフーチングのせん断設計について、土木学会論文報告集、第337号、pp.197-204、1983
- 6) Chenwei HOU, Takuro NAKAMURA, Takayuki IWANAGA, Junichiro NIWA: SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE AND PRESTRESSED CONCRETE TAPERED BEAMS WITHOUT STIRRUPS, Journal of JSCE, Vol.5, No.1, pp.170-189, 2017
- 7) 例えば、日本道路協会：道路橋示方書（I共通編・IIIコンクリート橋編）・同解説、pp.147-151、2012
- 8) 土木学会：2007年版コンクリート標準示方書改定資料、コンクリートライブラリー 129、p.28、2008
- 9) Chanwei Hou, Koji MATSUMOTO, Takayuki IWANAGA, Junichiro NIWA: EVALUATION METHOD FOR SHEAR CAPACITY OF TAPERED RC BEAMS WITHOUT SHEAR REINFORCEMENT、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、No.2、pp.19-24、2015
- 10) Chanwei Hou, Takayuki IWANAGA, Takuro NAKAMURA, Junichiro NIWA: SHEAR BEHAVIOR OF TAPERED RC BEAMS WITH STIRRUPS、コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.2、pp.61-66、2016
- 11) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書設計編、2013
- 12) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書改訂資料 基本原則編・設計編・施工編、コンクリートライブラリー 138、pp.122-127、2013
- 13) 三方康弘、井上晋、小林和夫、仁枝保：PCはり部材のせん断耐力に及ぼすプレストレスの効果、土木学会論文集、No.669 / V-50、pp.149-159、2001

# 実用型壁面打音検査ロボットの開発

熊本大学大学院 先端科学研究部  
同

教授 森 和也  
技術補佐員 徳臣 佐衣子

## 1. 緒言

2016年4月14日21時26分の地震が熊本県熊本地方を震央とするマグニチュード6.5の地震が発生した。この地震によって熊本大学の位置する地域では震度5強を記録し、熊本大学においてもかなりの被害が発生した。しかし、建物の立ち入り規制を必要とするほどの被害ではなかった。この地震の復旧に当たっていた翌日の深夜1時25分、再度熊本地方を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生した。この地震で熊本大学のある地域では震度6強を記録した。この地震による熊本大学の影響は甚大であった。多くの建物にはき裂が入り、建物内部のオフィス家具・実験装置は転倒し、棚などから書籍や器具が散乱した。このような地震が起きると、橋梁や建物が使用可能であるかどうかを緊急に確認する必要がある。この緊急性の度合いは、一週間程度、可能であれば一日というものである。余震のある中においても、幹線道路は緊急物資の移動が必要であり、病院や役場はその業務を停止することができないからである。この場合における外壁の点検は、とりあえず、コンクリート片のはく離が起こりえるかを確認することであり、補修箇所を正確に検出する必要はない。また、地震直後の点検を目的とする場合、検査装置の多数の配備も重要となり、コストが安いことも重要となる。

橋梁や建物は定期的な点検が義務付けられているので、作業効率を改善したり、経済性を向上させたりすることを目的としていろいろな検査装置が開発されている。しかしながら、定期的点検は計画的な実施によってそれほどの緊急性は生じないのが一般的である。また、補修を前提としているので、問題箇所を正確に検出する機能を有している場合がほとんどである。そのような理由のため、定期点検のために開発されている検査装置は、検査速度が十分ではないことと、高機能のため比較的成本が高いこ

とから、地震直後の緊急を要する検査には向かないと考えられる。

熊本大学においても、図-1に示すような壁面吸着型登はん型打音検査装置、ライジングクロスを開発した<sup>1),2)</sup>。ライジングクロスのシステムを図-2に示している。この登はん型打音検査装置は、上下連結された吸着盤B-Dと左右に連結された吸着盤



図-1 吸着盤を用いた壁面打音検査装置ライジングクロス

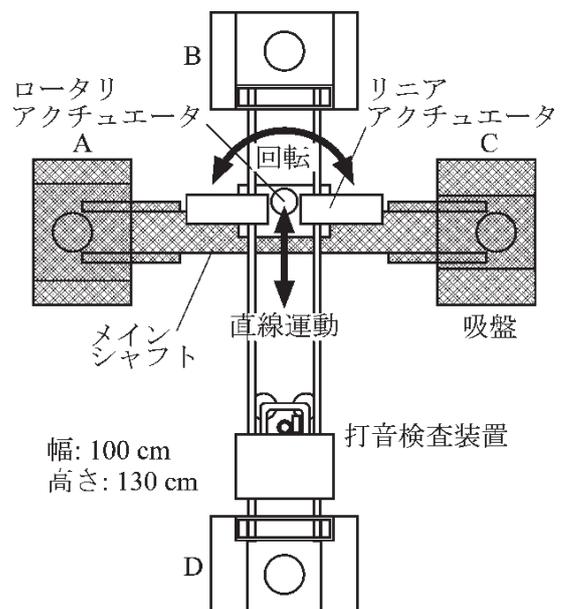


図-2 ライジングクロス

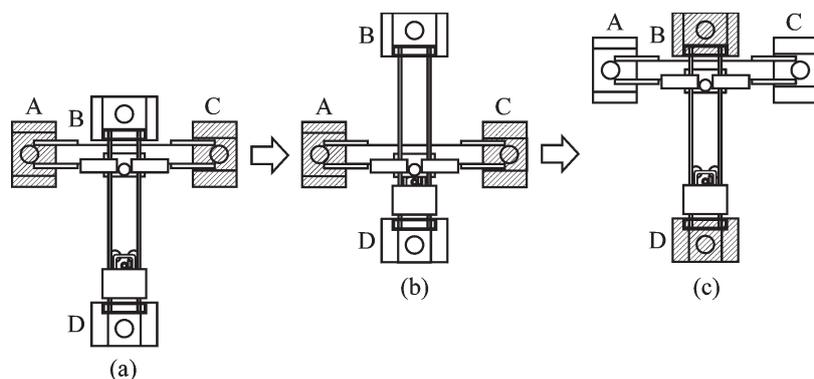


図-3 ライジングクロスの上昇プロセス

A-Cを、互いに回転・並進運動させることによって、壁面を自由に移動できる。図-3は、ライジングクロスの上昇プロセスを示している。吸着盤A-Cを吸着させた状態で吸着盤B-Dを上昇させ（図3 (a)→図3 (b)）、次に、吸着盤B-Dを吸着させた状態で吸着盤A-Cを上昇させる（図3 (b)→図3 (c)）。この繰り返しによって壁面を上昇することができる。

ライジングクロスは1個の打音検査装置を搭載しており、約2秒に一回の打撃が可能である。この装置の問題点は検査速度にある。吸着盤をON-OFFしながら壁面を登はんするため、移送速度は0.5m/min程度である。また、停止して打音検査をする必要があるため、その検査速度は0.1m<sup>2</sup>/min程度である。この検査速度では、地震直後に必要とされる速度を満たすことができない。

高速の検査速度を得る方法として、吸着式の検査装置は原理的に困難である。この問題を解決する方法としては、ドローンを用いる方法と吊下げ式にする方法が考えられる。ドローンを用いる方法は、現時点では長時間打音検査を実施するのは難しい。また、コストもかなりかかる。そこで今回著者らは、高速検査を目的とした吊下げ型打音検査装置、HaT<sup>2</sup> (Hanging Type Hammering Tester) を開発した。

## 2. 従来の吊下げ型検査装置

検査の効率化や経済性の向上を目的として、これまでに開発された吊下げ型の検査装置をいくつか紹介する。図-4は、株式会社熊谷組と日本音響エンジニアリング株式会社の「壁面タイル自動検査システム」である<sup>3)</sup>。このシステムは比較的大きな四個の車輪を有し、上下に張られたワイヤーによって壁面に固定され、ワイヤーの移動によって上昇・降下が可能である。6個の打音検査装置を有していて、地上においてははく離部を検出できる。課題としては、

窓などの段差による障害物であろう。

図-5は、株式会社小川優機製作所の「のぼる君II」である<sup>4)</sup>。のぼる君IIは吸着盤で壁面に固定される。現在では「のぼる君III」が開発され、自走式を実現している<sup>4)</sup>。

図-6は、株式会社大林組の「スカイクライマー」である<sup>5)</sup>。これは、集合住宅などの手すりにクランプして、上昇・降下し検査を行うものである。手すりを有する構造物には有効である。

図-7は、株式会社大林組の「新型外壁検査システム」である<sup>6)</sup>。このシステムの特徴は、本体より検査装置を左右に伸ばすことによって、窓などの段差がある部分を左右から検査できることである。また、タイル一枚一枚のはく離の検査が可能である。

図-8は、打音検査装置ではないが、吊下げ式のカメラを用いた検査装置で、八戸工業大学の「アラネウスII」である<sup>7)</sup>。左右のワイヤーでカメラを吊るして画像データを収集する。

以上紹介した検査装置は、はく離箇所を詳細に記



図-4 熊谷組と日本音響エンジニアリングの「壁面タイル自動検査システム」<sup>3)</sup>



図-5 小川優機製作所の「のぼる君II」<sup>4)</sup>

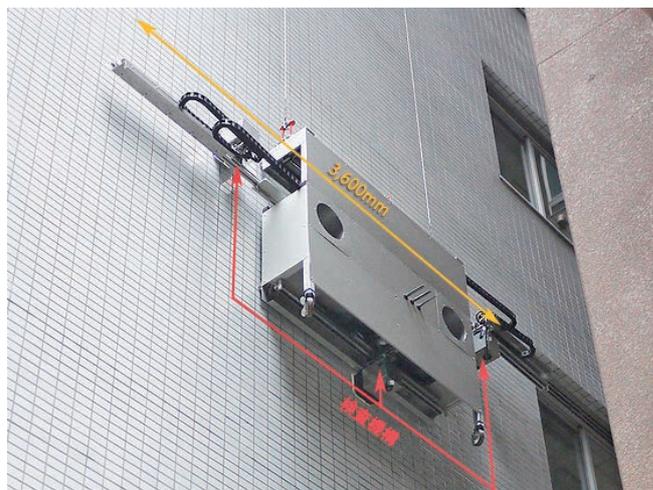


図-7 大林組の「新型外壁検査システム」<sup>6)</sup>



図-6 大林組の「スカイクライマー」<sup>5)</sup>



図-8 八戸工業大学の「アラネウスII」<sup>7)</sup>

録する機能を有し、通常の定期点検では有効な装置である。しかしながら、地震後の高速の点検には十分な速度を有しているとは思われない。

### 3. 実用型壁面打音検査ロボット

地震直後の検査の実用型打音検査において、必要な条件を次のように想定した。

- (1) 高速打音検査が可能であること。  
目標：100平米を一時間で検査可能。
- (2) 段差がある面を検査可能である。  
目標：10～20cmの段差を超えられる。
- (3) 緊急な危険箇所を検出可能であること。  
目標：1m規模のはく離を検出可能。

これらの目標の達成するために著者らは次の機構を採用した。

- ①吊下げ型とする。  
目標：0.5m/sの上昇・降下速度。
- ②高速打音検査装置を搭載する。  
目標：毎秒5回の打撃。
- ③吸着・離反用ファンを搭載する。  
目標：窓部による凹部や配管等による凸部を超えられる。

上記①～③の機構を採用した実用型打音検査ロボットを図-9および図-10に示す。吊下げ型の打

音検査装置（Hanging Type Hammering Tester）であるので、HaT<sup>2</sup>という名称とした。HaT<sup>2</sup>は図-10に示すように、四個の車輪と四個のファン、一列に並んだ四個のインパクトを搭載している。幅は70cmで縦の長さは80cmである。質量は14kgである。左右二つのインパクトの間に、それぞれマイクロフォンが設置されている。マイクロフォンで収集された音響は

ビデオカメラに内蔵されているアンプで増幅されて、画像と共に送信機で地上に送られる。

図-11は、HaT<sup>2</sup>が窓のような凹障害物を超える方法を示したものである。HaT<sup>2</sup>は構造部上部よりウインチで吊るされ、(a) 上部車輪が段差の角に到達すると、上部ファンAを停止させる。(b) ファンBの作用でHaT<sup>2</sup>は壁面に押し付けられたまま上昇する。



図-9 吊下げ型打音試験機によるコンクリート壁面の試験

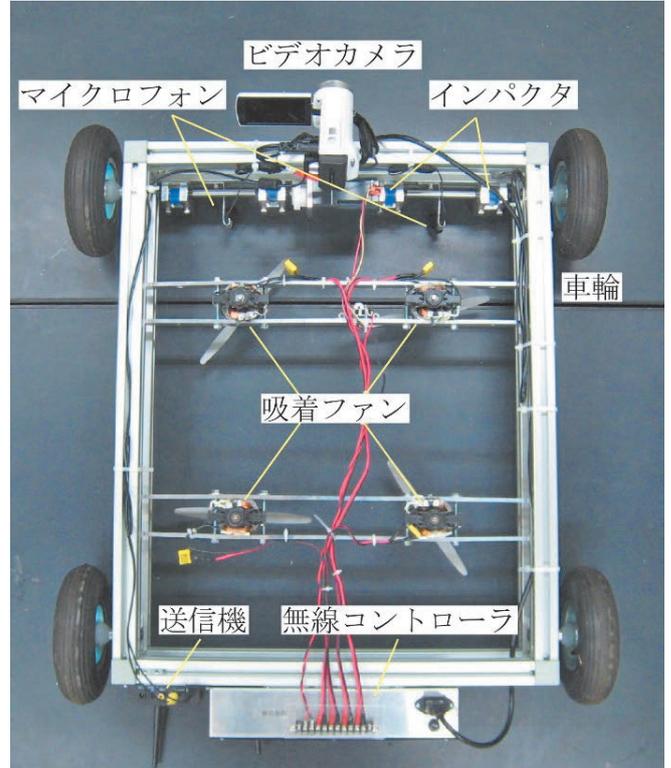


図-10 吊下げ型打音試験機

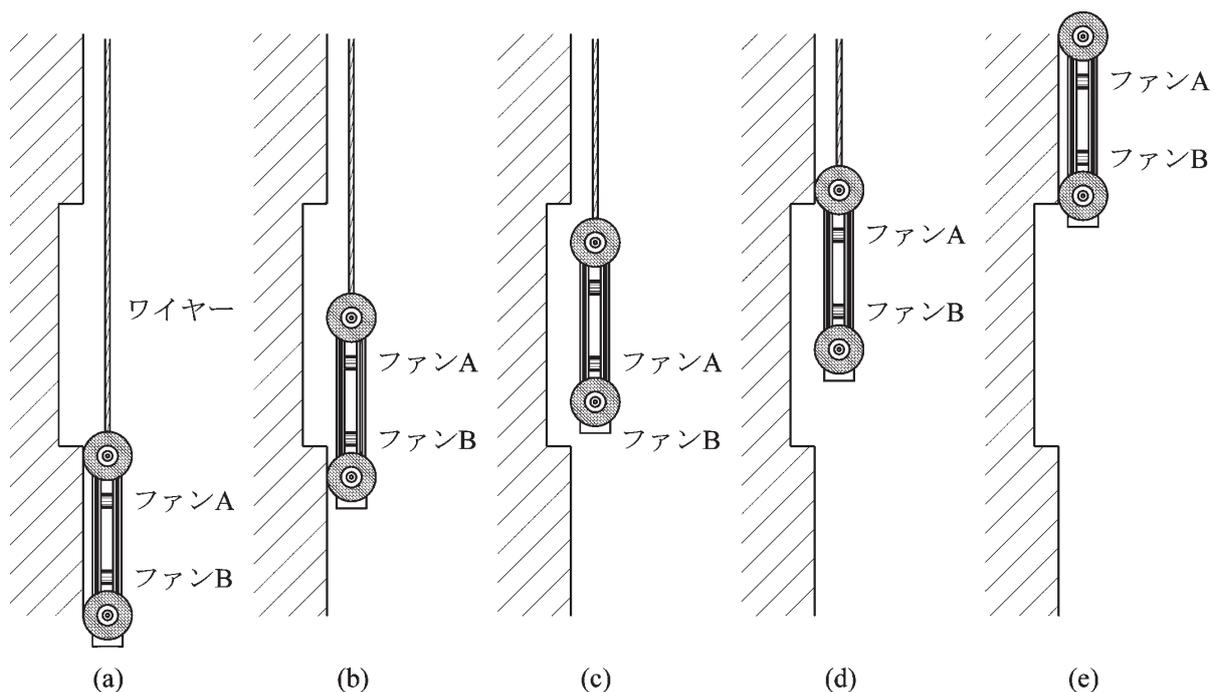


図-11 障害物を乗り越える方法

(c) 両方の車輪が凹障害物に到達すると、両ファンを停止させる。(d) 上部の車輪が段差の角に到達すると、上部ファンAのみ作動させる。(e) 両車輪が壁面に達すると、下部のファンBも作動させる。

現在のところ、ファンの回転は一方方向のみのため、障害物を乗り越えられる高さは、車輪の半分程度の10cmであるが、ファンの回転を逆転させる機構を取り入れれば、壁面からの離反が可能になり、10cm～20cmの障害物の乗り越えが可能になると思われる。

図-12と図-13は、インパクタの写真と断面図である。直径10mm、長さ53mmのステンレス製ハンマをカムで押し出して打撃する構造となっている。打ち出し速度と周期は、シャフトの回転数とカムの形で変更可能である。

四個のインパクタのそれぞれの間隔は約15cmで、最大幅は約45cmである。したがって、一回の走行で約0.5m幅を検査することができる。なお、インパクタのカムの角度は、それぞれ90度の角度がつけられており、個々のインパクタの打撃音を分離できるようになっている。

#### 4. 試験結果および考察

図-9に示した鉛直壁面上昇しながらの走行試験と、打音試験装置（インパクタと音響収集装置）の動作確認を行った。図-14は、ファンによる吸着状況を示したものである。図-14 (a) は、ファンを停止させた状態であり、タイヤが壁面から浮いていることがわかる。図-14 (b) は、ファンを作動させた状態であり、タイヤが壁面に接しているのが確認できる。この状態でウインチを作動させて壁面を、

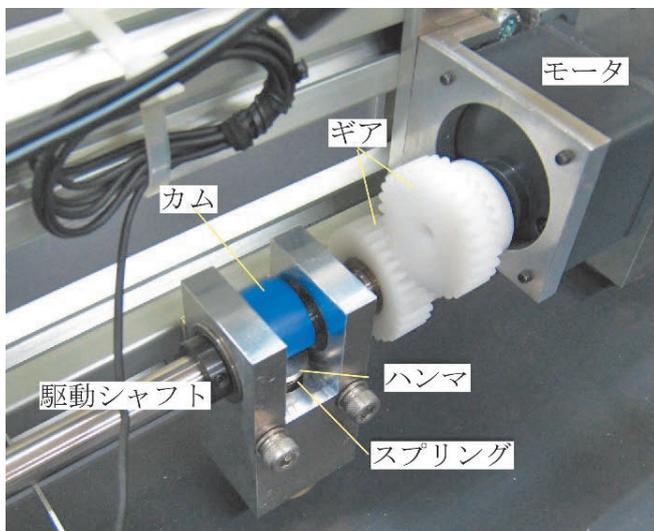


図-12 ギアドモータードライブのインパクタ

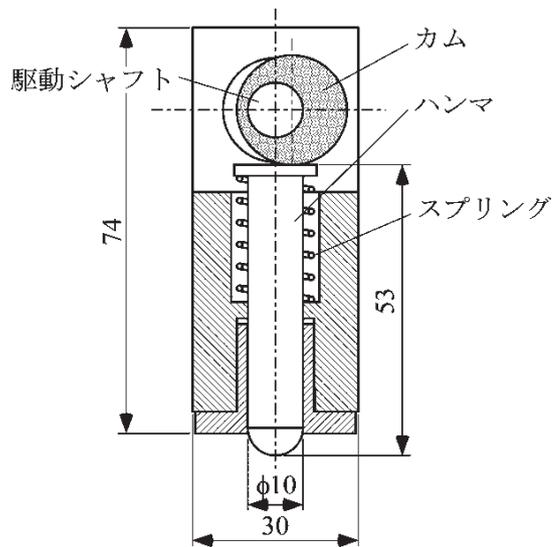


図-13 インパクタの断面図

秒速0.5mで上昇・降下させることができた。また、図-9に示すような、窓による凹障害物も問題なく超えることができた。

図-15と図-16は、HaT<sup>2</sup>を木製のボードの上に置いて打音試験を行った結果である。図-15 (a) はファンを止めた状態での打撃音の音響信号、図-15 (b) はファンを作動させた状態での打撃音とファンの音の音響信号である。

図-15 (a) において、約0.1秒間に2回の振幅の増加が確認できる。これは、インパクタの打撃周期が20Hzであることを示している。インパクタは4個あるので、一個の打撃は毎秒5回である。上昇速度が毎秒0.5mであるので、上昇・降下中の上下方向の打撃間隔は約10cmとなる。

図-16は図-15の周波数スペクトルである。図-16 (a) のファンを止めた状態でのインパクタのみ作動した時の音響の周波数スペクトルから、ボードの固有振動数は約0.2 kHzであることがわかる。

図-16 (b) は、ファンを作動させた状態における、インパクタを作動させた状態 (ON) とインパクタを停止させた状態 (OFF) の音響信号の周波数スペクトルである。インパクタを作動させると、ボードの打撃音によって生じる音響 (0.2kHz) が収集されているのがわかる。また、インパクタの作動にかかわらず、0.55kHzと、その倍調周波数である1.1kHz、1.7kHzにおいてファンの音響によるピークが確認できる。

ファンによる音響の周波数成分である、0.55kHzや1.1 kHzの近くに、欠陥の固有振動数が発生した場合、現状では検出が困難であると思われる。

ここで、現状のHaT<sup>2</sup>の状況をまとめると、

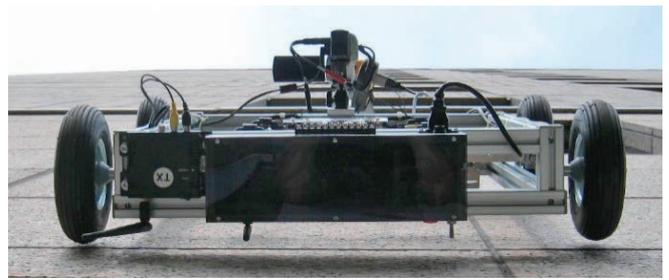
- (1) 毎秒0.5mの速度で、0.5m幅を検査可能であるので、検査速度は0.25m<sup>2</sup>/sである。単純計算では、単位時間当たりの検査面積は0.25m<sup>2</sup>/s × 60s × 60min = 900 m<sup>2</sup>/時。実際には、検査面の上部・下部において、停止および水平方向への移動が必要となるため、検査速度はその数分の一になる。
- (2) 欠陥の周波数が、ファンの音響の周波数である0.55kHzおよびその倍調音に近くない場合は、欠陥の検出が可能である。
- (3) 凹障害物は超えられるが、凸障害物は約10cmが乗り越えられる限界である。
- (4) 実験では横風の影響を受けることはなかったが、横風が強い場合は、凹障害物を超えるときに左右の揺れが生じると思われる。

以上の現在の状況を考慮して、次のような改良を計画している。

- ①ファンの音響対策として、現在は2枚プロペラであるが、小型の8枚プロペラを用いることによってファンの周波数を4倍以上に上昇させて、欠陥の周波数帯域（2kHz以下）との重なりを避ける。あるいは、ファンの回転数を可変とし、変動するピークを除外することによって欠陥を同定する。
- ②同様にファンの音響対策として、音響の遮蔽板の設置やインパクトを取り巻くようにマイクロフォンを複数配置し、ファンの音響の低減を図る。
- ③凹凸障害物を自動で超えられるように、壁面との距離や障害物の高さを計測する距離センサーを搭載する。
- ④ファンを壁面垂直方向のみではなく、壁面に対して垂直かつ鉛直方向にも配置し、横風向きの風に影響されないようにする。

## 5. 結言

地震直後の橋梁や建物の迅速な検査を目的として、実用型壁面打音検査ロボットHaT<sup>2</sup>を開発した。この装置は上部より吊下げて鉛直な壁面を高速で打音検査することができる。現在のところ、壁面に吸着するためのファンの音響が大きいため、打音検査の信頼性は十分ではないが、今後、このファンの騒音を対処する予定である。

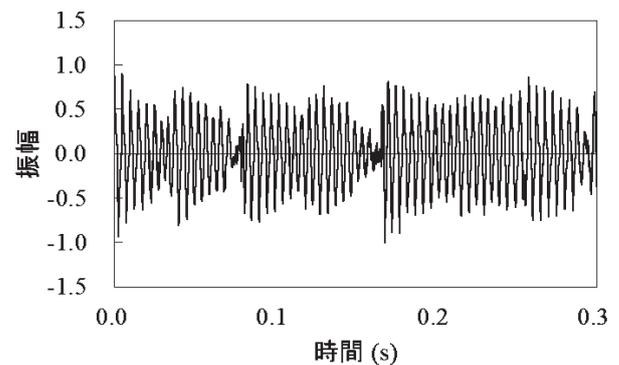


(a) ファン停止時の壁面からの分離

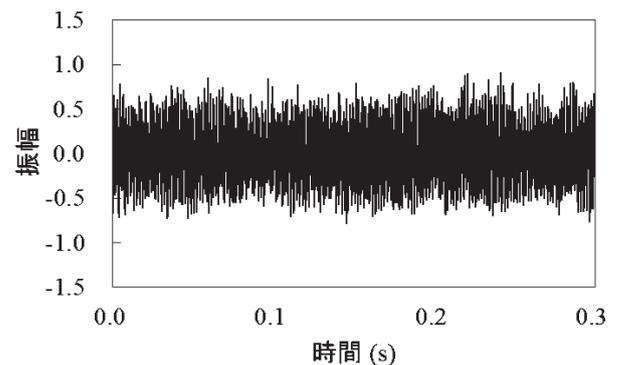


(b) ファン作動時の壁面吸着

図-14 壁面吸着ファンの効果



(a) インパクトのみ作動

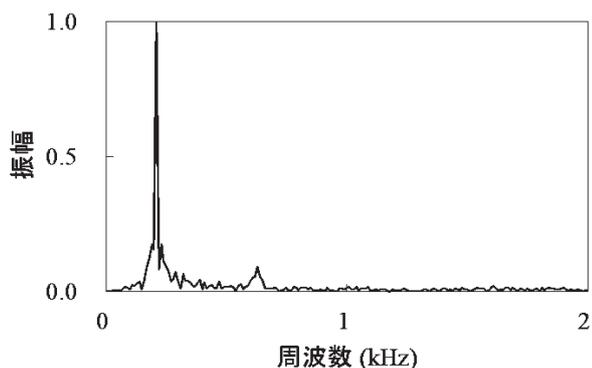


(b) インパクトとファンを作動

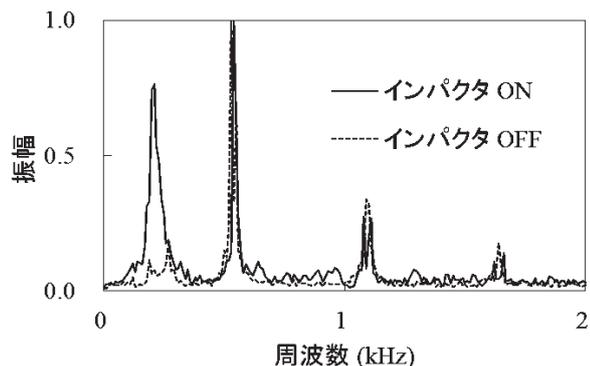
図-15 収集された音響信号

## 6. 謝辞

本研究は、一般財団法人橋梁調査会の橋梁研究開発助成およびJSPS科研費 JP17K06536の助成を受けた。また、装置の製作に際し、熊本大学工学部の技術職員の大嶋康敬様、大学院生の入江航君、工学部の永井ルアさんの協力を得た。ここに感謝の意を表す。



(a) インパクトタのみの音響



(b) ファンを作動させた状態でインパクトタをON-OFF

図-16 収集された音響の周波数スペクトル

## 文 献

- 1) 森和也、三浦明洋、徳臣佐衣子、岩本達也、“支  
承検査のための橋台登はん型遠隔目視装置の開  
発”、コンクリート工学年次論文集、Vol. 34、  
No. 1 (2016)、pp. 1726-1731
- 2) Saeko TOKUOMI, Kazuya MORI, “Suction cup for  
Concrete Wall Testing Robot,” Journal of Robotics  
and Mechatronics, Vol. 28, No. 2 (2016) , pp. 194-  
197
- 3) 時岡誠剛、稲垣博一、酒井幸雄、野々山敏夫、  
中村聖吾、石上信哉、“壁面タイル自動診断シス  
テム”、ロボットシンポジウム論文集、Vol. 3  
(1993)、pp. 295-302
- 4) 株式会社小川優機製作所、<https://www.ogawayuki.com/>のぼる君II-ゆうこさん/、(2011)
- 5) 土井暁、井上文宏、“超高層集合住宅対応外壁診  
断システム「スカイクライマー」、大林組技術研  
究所報、No. 76 (2012)、pp. 1-7
- 6) 株式会社大林組、“外壁タイル診断の省力化・高  
度化を実現する新型外壁検査システムを開発”、  
[http://www.obayashi.co.jp/press/news20160329\\_1](http://www.obayashi.co.jp/press/news20160329_1)、  
プレリリース、(2016)
- 7) 八戸工業大学、“壁面を高速移動できる点検ロボ”、  
日刊工業新聞 (2016/11/30)

# 疲労き裂を有する鋼板の曲げおよびせん断耐荷力に関する解析的研究

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 准教授 橋本 国太郎

## 1. はじめに

わが国では、現在に至るまで交通ネットワークに多くの投資がなされ、急速に発展を遂げてきた。交通ネットワークには欠かせない道路橋の多くは高度経済成長期（1955～1973年）を支えるために急速に建設されたものであり、今後建設から50年を迎える。橋梁の老朽化が進む中、車両の大型化、重量化および交通量の増大により既設鋼橋の劣化が顕在化してきた。

鋼橋の損傷として、腐食や疲労き裂、変形などが挙げられる。疲労とは、時間的に変動する荷重が繰返し作用することにより、構造的な応力集中部や溶接に関する問題に起因する応力集中部にき裂が発生し、それが更なる荷重の繰返しによって徐々に進展し、最終的に脆性破壊につながる破壊現象をいう。発生部位によっては橋全体の安全性を損なうような損傷の原因となり得る。疲労き裂の発生要因は直接的には応力集中の繰返しであるが、影響因子は様々である。発生個所としては部材同士の溶接部や溶接止端部、部材の切欠き部、およびリベット孔などの応力集中部に発生する事例が報告されている。

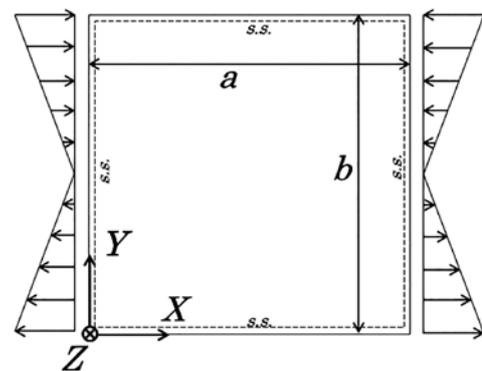
疲労き裂を有する鋼部材の残存耐荷力に関する研究は全橋、部材を対象とした報告<sup>1)、2)、3)</sup>が多く、板要素の耐荷力と部材の耐荷力との関連性に着目した研究が少ない。本研究では、疲労き裂を有する鋼橋の耐荷力を評価し、現場における緊急応急補修の必要性やそれらの対策時期を決定するための基礎的資料の提供を最終的な目的としている。そのため、本論文では、まず疲労き裂を有する板要素に着目し、その残存耐荷力評価を検討する。疲労き裂を有する鋼板の残存耐荷力はき裂の長さおよび発生個所などの条件により異なると考えられるが、本論文では、桁の腹板に発生し進展する疲労き裂を想定し、面内純曲げを受ける鋼板と面内純せん断を受ける鋼板の残存耐荷力を、健全な場合と疲労き裂を有する場合についてそれぞれ比較しながら評価する。

## 2. 有限要素解析

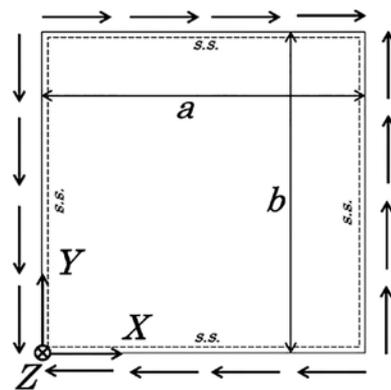
本章では残存耐荷力評価を行うための面内純曲げ負荷を受ける鋼板と面内純せん断負荷を受ける鋼板についての解析モデル化と、その解析方法、および数値計算方法について記す。本研究では汎用有限要素解析コードABAQUSを用い、幾何学的非線形性および材料非線形性を考慮した弾塑性有限変位解析を実施した。

### 2.1 解析モデル

解析モデルとして1辺1000mmの四辺単純支持正方形鋼板（縦横比  $a = 1$ ）を用い、等方硬化に従う材料として仮定する。解析モデルを図-1に示す。式(1)の幅厚比パラメータ  $R$  を0.3から1.5まで0.2刻みで板



(a) 曲げモデル



(b) せん断モデル

図-1 解析モデル

厚 $t$ を変化させて決定する。

$$R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y 12(1-\nu^2)}{E \pi^2 k}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $b$ は板高さ、 $\nu$ はポアソン比、 $\sigma_y$ は降伏応力、 $E$ はヤング率を表す。 $k$ は板の座屈係数と呼ばれ、板の縦横比 $\alpha$ の関数である。面内純曲げ負荷を受ける周辺単純支持板の座屈係数は以下の式(2)に、面内純せん断負荷を受ける周辺単純支持板の座屈係数は以下の式(3)によって定められる。

$$k_\sigma \cong 23.9 \quad (\alpha > \frac{2}{3}) \dots\dots\dots (2)$$

$$k_\tau = 4.34 + \frac{5.00}{\alpha^2} \quad (\alpha \leq 1) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、純せん断応力状態に対する座屈係数 $k_\tau$ を用いた $R_\tau$ を算出すると以下の式(4)になる。

$$R_\tau = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\tau_y 12(1-\nu^2)}{E \pi^2 k_\tau}} \dots\dots\dots (4)$$

式(4)中の $\tau_y$ は降伏せん断応力を表し、 $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ である<sup>4)</sup>。本論文で対象とする鋼板は腹板を想定し、SM400の材料特性を用いて解析を行う。材料特性を表-1に示す。応力ひずみ関係に関しては降伏点を塑性開始点とした応力塑性ひずみ関係を用い、図-2に示すようにバイリニア型であたえている。

## 2.2 初期不整<sup>5)</sup>

鋼構造物は建設において様々な不完全因子が生

表-1 材料特性

使用材料		SM400
座屈係数 $k$	曲げ	23.9
	せん断	9.34
寸法	(mm)	1000×1000
ポアソン比 $\nu$		0.3
降伏応力 $\sigma_y$	(MPa)	235
引張強さ	(MPa)	400
ヤング率 $E$	(MPa)	210000

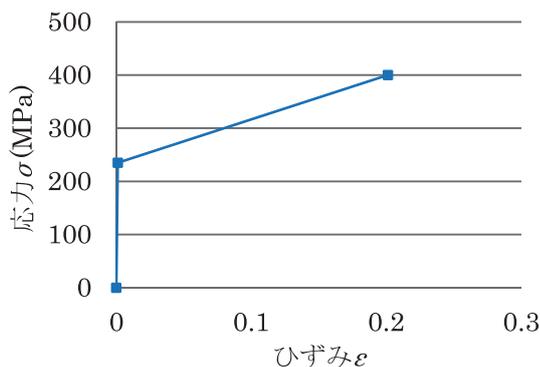


図-2 応力-ひずみ関係

じ、これらを総じて初期不整と称する。この初期不整には、幾何学的初期不整としての初期たわみと、材料的初期不整としての残留応力がある。

初期たわみは、主に鋼材の製造段階、製作、および組み立て時の各段階で、溶接や折り曲げなどの加工を行う際に生ずる。主要な初期たわみの値については、道路橋示方書で部材精度として規定されている。

正方形単純支持板の初期不整として、初期たわみは以下の式(5)と式(6)の2ケースで与える。

$$W_1 = W_{0max} \sin \frac{\pi X}{a} \sin \frac{\pi Y}{b} \dots\dots\dots (5)$$

$$W_2 = W_{0max} \sin \frac{\pi X}{a} \sin \frac{2\pi Y}{b} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 $W_{0max}$ は面外方向の初期たわみの最大値を意味する。面内純曲げ負荷を受ける鋼板の解析モデルでは式(5)の形状を、面内純せん断負荷を受ける鋼板の解析モデルでは式(6)の形状を採用する。初期たわみの最大値 $W_0$ については、腹板を想定した場合の $W_{0max} = b/250$ を想定する。また、曲げモデルのみ既往値との比較のため、圧縮板を想定した場合の $W_{0max} = b/150$ も想定する。

残留応力とは、外力が作用しないときでも物体内に残存している内部応力のことである。その発生原因としては、溶接やガス切断などにより一部分の容積変化から生じる場合、一部の变形または不均一な塑性変形から生じる場合、幾何学的な適合条件が満足されない無理な組み立てから生じる場合などが挙げられる。本論文では、数値計算に用いる解析モデルは不完全系として残留応力を考慮するケースと考慮しないケースについて検討を行う。残留応力は、既往の研究と同様にして板の幅方向にのみ、圧縮残留応力 $\sigma_{rc}$ を $-0.3\sigma_y$ 、引張残留応力 $\sigma_{rt}$ を $\sigma_y$ として自己平衡を保つ矩形分布であたえる。図-3に残留応力の分布を示す。

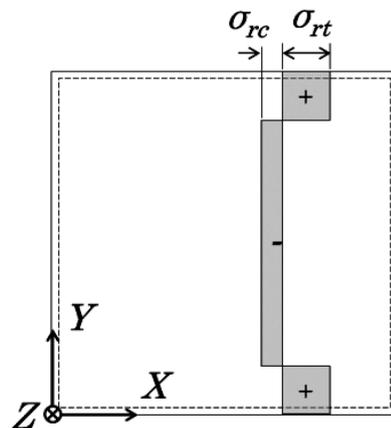


図-3 残留応力分布

## 2.3 解析手法

有限要素による離散化は、低減積分4節点シェル要素を使用する。境界条件はそれぞれ4辺単純支持板とした。

面内純曲げ負荷解析モデルでは、 $X=0$ および1000にて剛体はり要素を設け、 $Y=500$ 点にZ軸まわりの強制回転角を漸増させた変位増分法を採用する。境界条件として、 $Y=0$ および1000の辺と  $(0, 500)$  の点にZ方向の拘束条件 $Z=0$ を、 $(1000, 500)$  の点にX方向の拘束条件 $X=0$ とZ方向の拘束条件 $Z=0$ を、 $(0, 1000)$  の点にY方向の拘束条件 $Y=0$ を設定した<sup>6)</sup>。

面内純せん断負荷解析モデルでは、 $Y=1000$ の辺における全節点に、X軸方向の強制変位を与える変位増分法を採用する。境界条件として、 $X=0$ および1000の辺にY方向の拘束条件 $Y=0$ とZ方向の拘束条件 $Z=0$ とX軸回りの回転拘束を、 $Y=0$ および1000の辺にZ方向の拘束条件 $Z=0$ とY軸回りの回転拘束を、 $Y=0$ の辺にはX方向の拘束条件 $X=0$ を設定した<sup>7)</sup>。

## 3. 解析モデルの検証

本章では健全な鋼板の有限要素解析結果と、既往の研究との比較により、解析モデルの妥当性の検証を行う。

### 3.1 面内純曲げを受ける鋼板

図-4は、き裂のない健全な面内純曲げを受ける鋼板の解析ケースの耐荷力曲線と、既往の研究により求められた終局面内曲げ強度曲線を示す。縦軸は解析結果で得られた図-1の  $(0, 500)$  点の終局面内曲げモーメントから算出した終局応力  $\sigma_u$  を、降伏応力で無次元化して表している。case名の  $m$  は曲げモデルを、 $r$  は残留応力を考慮したモデルを、150と250はそれぞれ最大初期たわみ  $b/150$  と  $b/250$  を示している。

既往の研究<sup>8)</sup> では強度相関曲線から、耐荷力について残留応力がある場合とない場合のそれぞれ以下の式 (7) と式 (8) を求めている。

a) 残留応力のある場合 ( $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.4$ )

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \left(\frac{1.21}{R}\right)^{0.420} \leq 1.5 \quad \dots\dots\dots (7)$$

b) 残留応力がない場合 ( $\sigma_{rc}/\sigma_y = 0$ )

$$\frac{\sigma_u}{\sigma_y} = \left(\frac{0.79}{R}\right)^{0.594} \leq 1.5 \quad \dots\dots\dots (8)$$

図-4中には式 (7) と式 (8) の曲線を図示している。

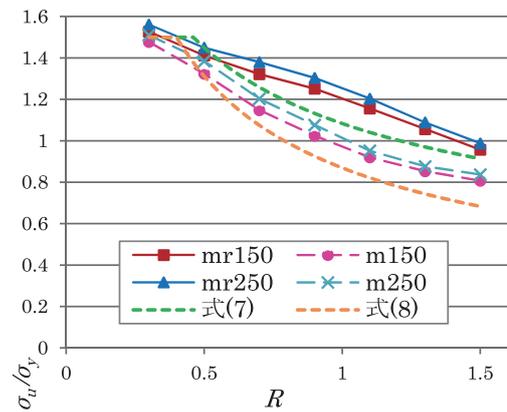


図-4 耐荷力曲線 (曲げき裂なし)

ただし、既往の研究の解析条件は次の通りとする。初期不整として、最大初期たわみ量  $W_{0max}$  は  $b/150$  で初期たわみ波形は式 (9) の形で与えている<sup>9)</sup>。

$$W_0 = W_{0max} \sin \frac{\pi X}{a} \sum_{i=1}^4 c_i \sin \frac{i\pi Y}{b} \quad \dots\dots\dots (9)$$

また、応力-ひずみ関係に、降伏点を塑性開始点としたマルチリニア型を採用している。そのため幅厚比パラメータ  $R$  が大きくなり、板厚が小さくなると応力ひずみ関係の塑性域の違いによる影響が見られ、解析値が既往の研究の値よりも大きい耐荷力を示したと考えられる。これらを考慮しても既往値との大きな違いはあまり見られないので、本研究ではこの解析モデルを採用する。

### 3.2 面内純せん断を受ける鋼板

図-5は、き裂のない健全な面内純せん断を受ける解析ケースの耐荷力曲線と、既往の研究により求められた終局せん断強度曲線を示す。縦軸は解析結果で得られた図-1の  $X=1000$  の辺と  $Y=1000$  の各辺に平行な節点力を2辺の断面積で除した終局せん断応力  $\tau_u$  を、降伏せん断応力  $\tau_y$  で無次元化して表している。case名の  $s$  は曲げモデルを、 $r$  は残留応力を考慮したモデルを、150は最大初期たわみ  $b/150$  を示している。

式 (10) は、最大初期たわみ量  $W_{0max} = b/150$  で残留応力がある場合 ( $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.3$ ) の耐荷力について求めている<sup>4)</sup>。また、式 (11) は、最大初期たわみ量  $W_{0max} = b/250$  残留応力がある場合 ( $\sigma_{rc}/\sigma_y = -0.3$ ) の耐荷力について求めている<sup>7)</sup>。

$$\frac{\tau_u}{\tau_y} = \left(\frac{0.486}{R_\tau}\right)^{0.333} \leq 1, \quad 0.486 \leq R_\tau \leq 2 \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\tau_u}{\tau_y} = \begin{cases} 1 & (R_\tau \leq 0.64) \\ \left(\frac{0.64}{R_\tau}\right)^{0.68} & (0.64 < R_\tau \leq 2) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (11)$$

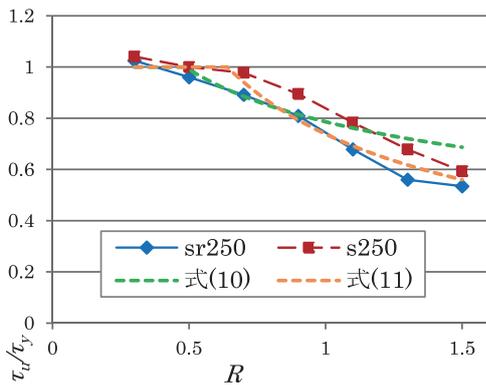


図-5 耐荷力曲線（せん断き裂なし）

なお、既往の研究<sup>10)、11)</sup>より、最大初期たわみ量の違いが極限強度へ与える影響が微小であることが分かっている。図-5より、本解析結果は既往の耐荷力曲線とほとんど変わらない挙動を示すことがわかった。よって本研究ではこの解析モデルを採用する。

#### 4. き裂を有する鋼板の解析結果

本章では、き裂のモデル化を示した後に、そのき裂を導入した鋼板の耐荷力解析の解析結果を、面内純曲げモデルと面内純せん断モデルのそれぞれについて示す。

##### 4.1 き裂のモデル化

き裂のモデル化について、図-6にき裂を想定する位置を示し、き裂ケースを表-2に示す。表中の座標は \$(x, y)\$ を表す。本研究では、耐荷力解析時の疲労き裂の延性的な進展は考慮しないものとし、

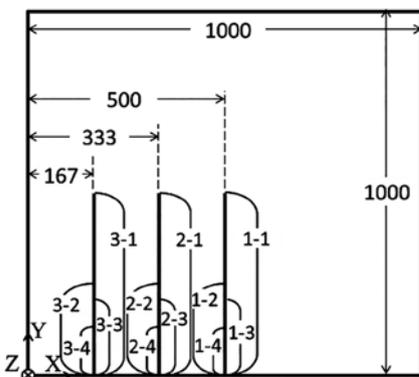


図-6 き裂位置（単位：mm）

表-2 き裂ケース

ケース名	長さ (mm)
case1-1, case2-1, case3-1	500
case1-2, case2-2, case3-2	250
case1-3, case2-3, case3-3	167
case1-4, case2-4, case3-4	125

解析時にき裂の進展を考慮しないモデル化方法を用いた。初期たわみの最大値は、腹板を想定し  $W_{0max} = b/250$  とする。き裂を有する鋼板では、き裂の進展に伴い、初期たわみの形状が変化し、滑らかな曲線を描かないことが想定されるが、き裂のない鋼板と結果を比較する際に検討しやすいように、初期たわみ形状はき裂なしの場合と同様の式を用いる。

また、残留応力を考慮した方が精度の高い結果が得られることが既往の研究より明らかになっており、き裂の進展とともに残留応力が変化すると考えられるが、そのような研究成果が少ないため、ここでは残留応力を考慮していない。

##### 4.2 き裂を有し面内純曲げを受ける鋼板

図-7にはき裂長ささと耐荷力の関係を示している。また、図-8に健全な場合と、各き裂ケースの面内純曲げを受ける鋼板の耐荷力曲線を示している。縦軸

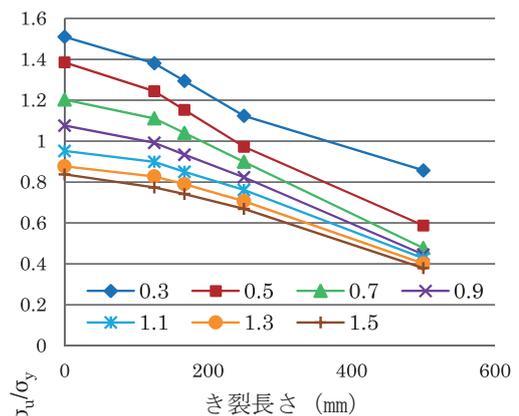


図-7 き裂長ささと耐荷力の関係（曲げ）

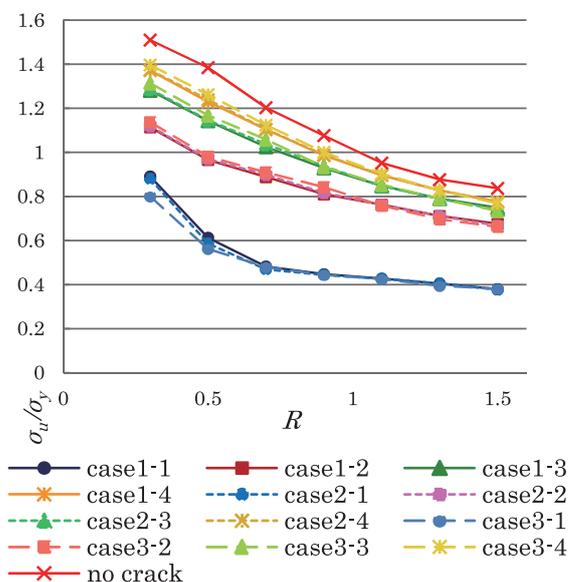


図-8 耐荷力曲線（曲げき裂あり）

は解析結果で得られた図-1(1)の(0, 500)点と(1000, 500)点の2点の平均面内曲げモーメントの最大値から算出した終局応力 $\sigma_u$ を、降伏応力で無次元化して表している。き裂の位置により2点の曲げモーメント値には0.001~0.005%程度の違いが見られた。曲げの解析ではき裂位置による耐荷力の違いがほぼ見られなかったため、き裂長さが同じ箇所耐荷力の平均値を採用している。さらに、図-9には最大曲げモーメント時のミーゼス応力分布を示す。

図-7の耐荷力曲線より、き裂の位置の違いによる終局強度への影響はほとんど見られないが、き裂の長さが長くなるほど耐荷力に大きな影響を与えていることが分かる。

図-8より、き裂の長さが250mmのケースまではRに関わらず同様な耐荷力の低下を示すが、それ以降

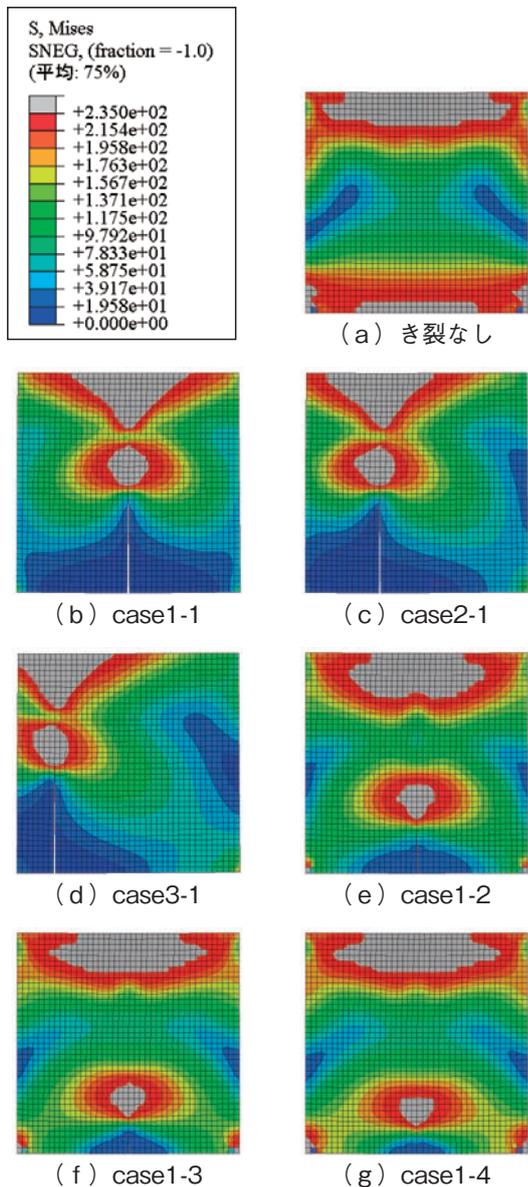


図-9 ミーゼス応力分布 (曲げ) (単位: MPa)

(250mmより大きい場合)  $R=0.3, 0.5$ のケースではグラフの傾きが他に比べ小さくなる。よって板厚が薄いケースではき裂の長さにより、ほぼ線形的に耐荷力は低下するが、板厚が厚いとき裂長さに対する耐荷力の低下は若干非線形的な結果となる傾向が見られることがわかった。

さらに、図-9のミーゼス応力分布を見ても分かるように、き裂の長さが同じケースのき裂付近ではほぼ同様の応力分布が見られることがわかった。このことから、き裂の位置によって曲げ耐荷力があまり変化しなかったと考えられる。

#### 4.3 き裂を有し面内純せん断を受ける鋼板

図-10にき裂長さと耐荷力の関係を示し、図-11に健全な場合と、各き裂ケースの面内純せん断を受ける鋼板の耐荷力曲線を示している。また、図-12には $R=0.9$ のケースにおける最大せん断応力時の

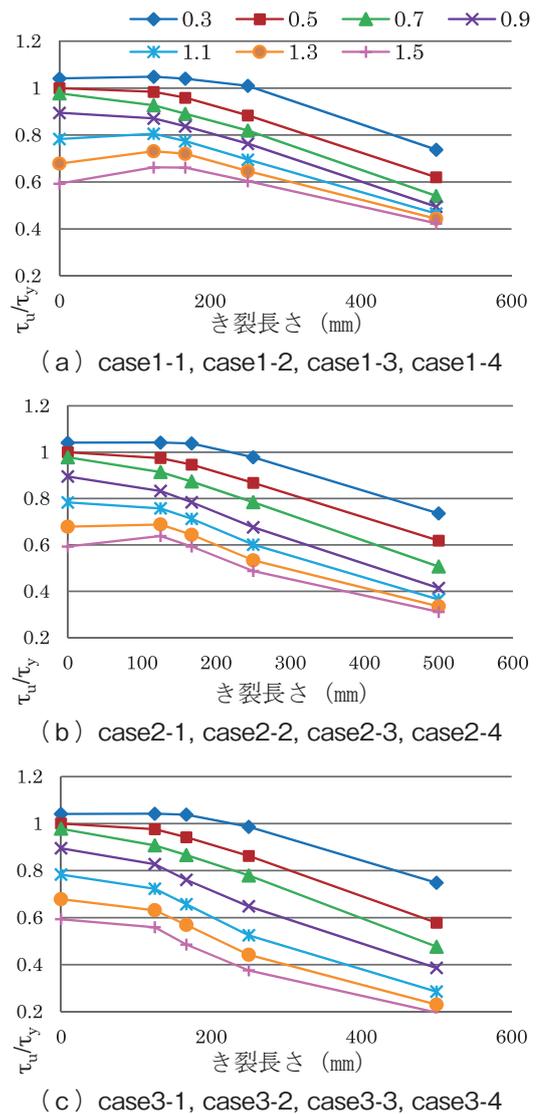


図-10 き裂長さと耐荷力の関係 (せん断)

ミーゼス応力分布を示す。さらに、図-13に $R=0.9$ における面外Z軸方向変位のコンター図を示す。

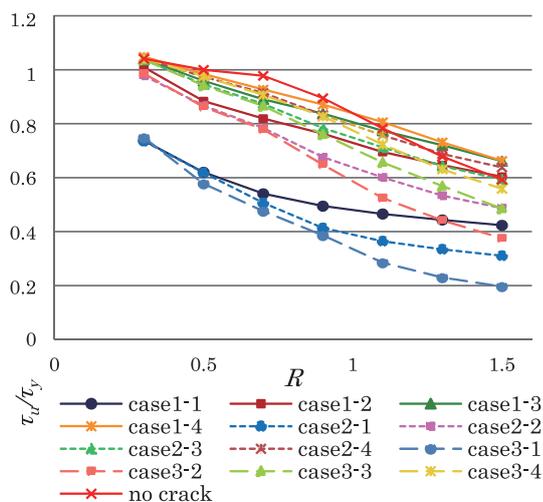


図-11 耐荷力曲線 (せん断き裂あり)

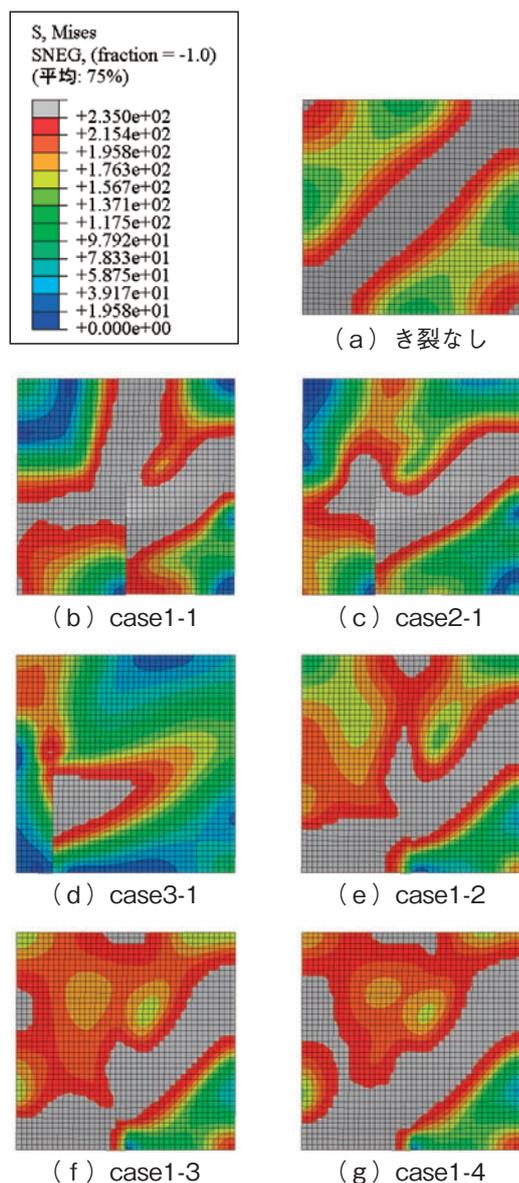


図-12 ミーゼス応力 (せん断) (単位: MPa)

図-10のグラフから、 $R=0.3$ のケースではき裂長さが167mmのケースまで耐荷力にはほぼ影響は見られないが、 $R$ が0.5より大きいケースではき裂の長さが125mmよりも大きくなるとほぼ線形的な耐荷力の低下が見られることがわかった。

図-11の耐荷力曲線において亀裂の長さの違いに着目すると、き裂長さが500mmに至ると他の長さより大幅に耐荷力が落ちていることが分かる。図-12のミーゼス応力分布図のcase1-1~4より、き裂がない鋼板のケースのミーゼス応力分布と比較すると、case1-2~4ではき裂なしと同様な斜め張力場が見られるが、case1-1では斜め張力場の形が変形し、き裂より右側に表れていることが分かる。よってき裂が

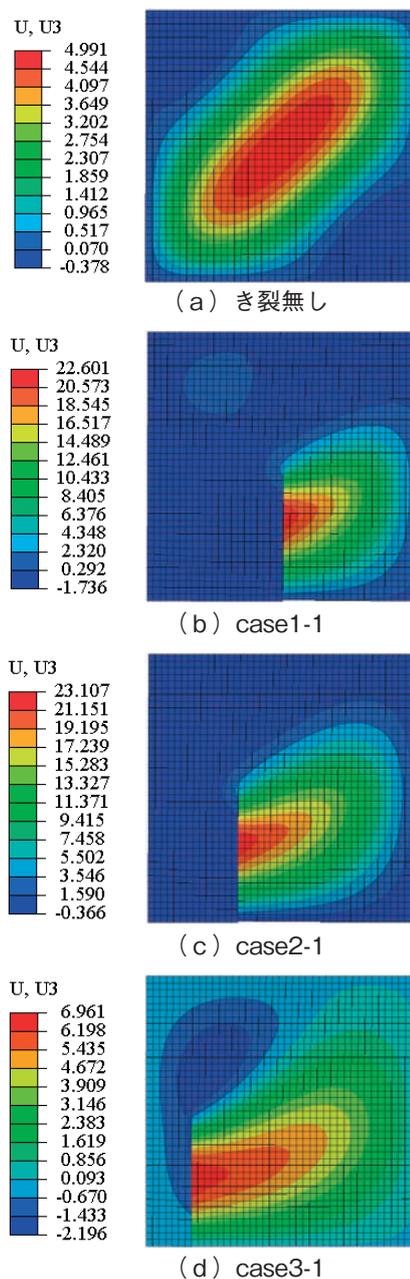


図-13 面外変形コンター図 (単位: mm)

500mmの場合は、せん断に抵抗する領域のアスペクト比が変化したことで急激に耐荷力が変化したと考えられる。

き裂の位置の違いに着目し、図-11の耐荷力曲線を見てみると、 $R=0.7$ まではき裂の位置の違いによる耐荷力への影響はあまり見られないが、それ以降 $R$ が大きくなるにつれ、き裂が長いcaseほどき裂の位置の違いによる影響が顕著にみられる。き裂の位置が中央よりも板の端にあるケースの方が耐荷力は低下している。これは、図-13の面外変形コンター図を見てみると、き裂より右側のみが面外座屈しており、き裂の影響で斜め張力場が変化していると考えられる。よって、き裂の位置によってもせん断抵抗する領域のアスペクト比の変化が耐荷力の違いに影響したと考えられる。

## 5. 結論

本研究ではき裂を有する橋梁全体の耐荷力について検討するために部材を構成する要素に着目し、桁のウェブを想定した板要素の解析を行った。その結果、次の結論が得られた。

- (1) 面内純曲げを受ける鋼板の耐荷力の変化は、き裂の位置ではなくき裂の長さに関係することが分かった。これはき裂発生によるき裂直上の板の断面積の減少により、曲げの力に抵抗する面積が減少したことが耐荷力の低下につながったと考えられる。
- (2) 面内純せん断を受ける鋼板の耐荷力の変化は、き裂の長さに関係しており、また $R$ が大きくなるほどき裂の位置の違いによる影響も顕著に見られた。これはき裂が入ることにより荷重に対して抵抗する板のアスペクト比が変わったことが原因と考えられる。面外座屈面積の変化などを見ても、斜め張力場がき裂の位置の違いにより変化するように、板のアスペクト比の変化していることが分かる。既存の研究により、板のアスペクト比が1より大きくなると（つまり、板が横長になるほど）板のせん断耐荷力が低下することが分かっており、板のき裂位置による板のアスペクト比の変化が耐荷力の低下につながったと考えられる。

## 謝辞

本研究は、一般財団法人橋梁調査会の橋梁技術に関する研究開発助成の補助を受けて実施しました。

また、解析の実施にあたっては神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻・大学院生の星野加奈さんに多大なる協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 橋 吉宏、辻角 学、越後 滋、高橋昭一、三木千壽：主桁損傷を受けた2主桁橋の残存耐荷力に関する考察、土木学会論文集、No.647、I-51、pp.241-251、2000.4
- 2) 金 仁浩：き裂損傷を受けた鋼桁橋の残存耐荷力に関する基礎的研究、博士論文、大阪市立大学大学院工学研究科博士課程後期課程都市系専攻、2009.3.
- 3) 石川敏之、大倉一郎、藤森由浩：き裂を有する桁の曲げ耐荷力、構造工学論文集、Vol.52A、2006.3
- 4) 奈良 敬、出口恭司、福本啓士：純せん断応力を受ける鋼板の極限強度特性に関する研究、土木学会論文集、第392号、I-9、pp.265-271、1988.4.
- 5) 土木学会鋼構造委員会座屈設計ガイドライン改訂小委員会：座屈設計ガイドライン 改訂第2版、丸善、pp.55-65、2005.10.
- 6) 宮寄靖大、奈良 敬：面内純曲げを受けるステンレス鋼板の強度特性、鋼構造年次論文報告集、第20巻、pp.261-268、2012.11.
- 7) 宮寄靖大、奈良 敬：ステンレス鋼板の面内純せん断強度特性および強度評価法、鋼構造年次論文報告集、第22巻、pp.72-78、2014.11.
- 8) 奈良 敬、津田 真、福本啓士：面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度の評価法に関する研究、土木学会論文集、第392号、I-9、pp.259-264、1988.4.
- 9) 奈良 敬、小島治雄、津田 真、小松定夫：面内曲げと圧縮を受ける鋼板の極限強度特性に関する研究、土木学会論文集、第386号、I-8、pp.275-283、1987.10.
- 10) Harding, J. E., Hobbs, R. E. and Neal, B. G. : The Elast-Plastic Analysis of Imperfect Square Plates under In-plate Loading, Proc. ICE, Part2, Vol. 63, pp.137-158, 1977.3.
- 11) Dowling, P. J. , Frieze, P. A. and Harding, J. E. : Imperfection Sensitive of Steel Plates under Complex Edge Loading, Stability of Steel Structures, Preliminary Report, Liege, pp.305-314, 1977.4.
- 12) 日本道路協会：道路橋指示書・同解説、丸善、平成24年3月

# 第4回 国際橋梁シンポジウム 「世界の橋梁建設とメンテナンス」 開催報告

企画部 次長 藤原 亨

橋梁調査会が主催、(公社)日本道路協会が共催する第4回国際橋梁シンポジウムを平成28年11月25日(金)にイイノホール(東京都千代田区)にて開催しました。

本シンポジウムでは、海外の橋梁建設プロジェクトやメンテナンス業務において第一線で活躍されている方々や経験豊かな技術者をお招きして、ご講演いただいています。今回は、フランス、中国及びトルコにおける長大橋建設を中心に海外からの講演者にご講演いただき、国内からはミャンマーにおける鋼橋建設の状況と取組みについてご講演いただきました。

当日は約400名の皆様にご参加いただき、盛会のうちに終わることができ、ご来場いただいた皆様からは、公演後のアンケート結果で、非常に良い35%、良い53%と大変ご好評を賜りました。

貴重なご講演をいただきました講師の皆様、ご後援いただきました国土交通省・(公社)土木学会・(一



講演会会場風景

社)日本橋梁建設協会・(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会・(一社)建設コンサルタント協会の関係者皆様には、多大なご協力をいただきましたことに深く感謝の意を表します。

以下に当日のプログラムと各講演者のご講演の状況を示します。

「世界の橋梁建設とメンテナンス」 プログラム			
(一財) 橋梁調査会 理事長挨拶			伊藤 學
(公社) 日本道路協会 会長・PIARC国内委員会委員長挨拶			谷口 博昭
講演 ①	ノルマンディー橋、ミヨー高架橋、テレネ橋そして第3ボスポラス橋 Normandy Bridge, Millau Viaduct, Terenez Bridge and Third Bosphorus Bridge	フランス 元国際コンクリート工学連盟会長	Michel Virlogeux
講演 ②	中国における長大橋の建設と維持管理 Construction and Maintenance of the Long-span Bridges in China	中国 同済大学教授	Limin Sun
講演 ③	ミャンマーにおける鋼橋の建設 Construction of Steel Bridges in Myanmar	JFEエンジニアリング(株) 鋼構造本部海外事業部 部長	須藤 聡
講演 ④	トルコにおける長大橋の建設 Long Span Bridge Construction in Turkey	トルコ 道路総局(KGM) 主任橋梁技師	Rahşan Yildirim Telek

## 講演1. ノルマンディー橋、ミヨー高架橋、テレネ橋 そして第3ボスポラス橋

【講演者】（敬称略、所属等は開催時点。以下同じ。）

Michel Virlogeux

元国際コンクリート工学連盟会長

【主な講演内容】

・講演者の関わった橋梁の設計施工上の課題と対応等



Michel Virlogeux 氏

## 講演2. 中国における長大橋の建設と維持管理

【講演者】

Limin Sun

中国 同済大学教授

【主な講演内容】

・中国の長大橋建設、モニタリングシステム等



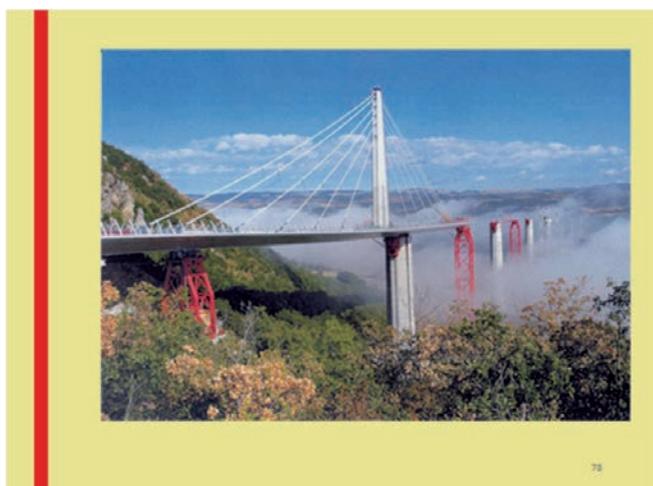
Limin Sun 氏



ノルマンディー橋の全景



建設中の港珠澳大橋（香港・マカオ連絡）



ミヨー高架橋の上部工架設



泰州長江橋（多径間吊橋1,088m×2）

### 講演3. ミャンマーにおける鋼橋の建設

【講演者】

須藤 聡

JFEエンジニアリング (株)

鋼構造本部海外事業部 部長

【主な講演内容】

- ・ミャンマーの橋梁建設事情と同国での活動等



須藤 聡 氏

### 講演4. トルコにおける長大橋の建設

【講演者】

Rahşan Yildirim Telek

トルコ 道路総局 (KGM) 主任橋梁技師

【主な講演内容】

- ・トルコにおける長大橋建設及び日本企業の関わり等



Rahşan Yildirim Telek 氏

**橋梁建設事情** 8

JFE

＜地形的要素＞

◆ミャンマー主要4河川横断

1. Ayeyarwaddy River
2. Chin Dwin River
3. Sittaung River
4. Than Lwin River

道路・鉄道路線ネットワークの整備において河川横断長大橋建設が必須

河川横断長大橋建設の必要性

LOCATION OF LONG SPAN BRIDGES

長大橋の架橋位置

**橋梁建設工事** JFEエンジニアリング 22

JFE

**インsein 跨線橋**  
(ミャンマー国鉄)  
Insein Flyover  
Yangon  
2015  
Box Girder Bridge of 108m

**ミンゲ鉄道橋**  
(ミャンマー国鉄)  
Myitnge Railway Bridge  
Mandalay  
2016  
Box Girder Bridge of 220m

近年の橋梁建設実績例

Another photograph of deck assembly

Deck Assembly

Yavuz Sultan Selim Bridge (第3ボスポラス橋) の建設

# 第8回IABMAS (橋梁の管理・安全に関する国際会議)の参加とリオ・デジャネイロ市内の橋梁報告

中部支部 橋梁部長 高橋 幹雄  
九州支部 調査役 田口 松義

## 1. はじめに

第8回 橋梁の管理・安全に関する国際会議 (International Association for Bridge Maintenance and Safety, IABMAS2016) が、2016年6月26日～29日まで、ブラジルのフォス・ド・イグアスで開催された。会議は、世界三大瀑布のイグアスの滝から約30分ほど離れたホテルで行われた。

今回、この会議に参加したので、その概要と帰路に立ち寄ったリオ・デジャネイロ市内の橋梁について報告する。

## 2. IABMAS2016の概要

IABMASは、橋梁の維持管理、安全性、マネジメントの分野で国際的協力を促進することを目的に2002年から2年ごとに開催されている。

今回は橋梁のメンテナンス、安全性及び管理における理論と実践のギャップを埋めるための国際協力の強化が目的として挙げられ、38カ国、約360編の投稿があった。

### 2.1 基調講演

基調講演は3日間にわたり、9題が発表された。

基調講演の中には、中央支間長10,000mの超長大

吊橋の実現性などの発表もあった。

### 2.2 一般講演

一般講演は、360編におよぶ投稿について12のミニシンポジウムと8のセッションで発表が行われた。日本からの発表は10件で、大学等研究機関、コンサルタント、メーカー、高速道路会社等の出席が見られた。

## 3. リオ・デジャネイロ市内の橋梁

### 3.1 リオ・ニテロイ橋

リオ・ニテロイ橋 (Ponte Rio-Niterói) はリオ・デジャネイロ州のグアナバラ湾に架かる全長13,290mの箱桁橋である。全長約13kmのうち、8.83kmが湾上にある海上橋である。片側4車線で高さは一番高いところで72mである。開通した1974年から1985年まで、アメリカ合衆国のポンチャートレイン湖コーズウェイに次いで世界で2番目に長い橋であった。(現在は20番目位となっている)

桁下を見るため橋脚近くの海岸へ行ったが、そこは海軍の管理下で桁下に立ち入ることができなかった。



写真-1 受付の様子



写真-2 基調講演



写真-3 リオ・ニテロイ橋



写真-4 リオ・ニテロイ橋（上空から）



写真-5 カリオカ水道橋

### 3.2 カリオカ水道橋

オリンピック直前に白色に塗装されていて、非常にきれいな橋となっていた。この橋は1721年に建設され水道橋として利用されていたが、現在は路面電車の陸橋となっている。リオ・デジャネイロの旧市街地（セントロ）のラパ広場にあり、この地区の象徴的な橋梁である。

### 3.3 Knowledge Bridge

この斜張橋は、橋長780m（メインスパン172m）、パイロン（支柱）が独特の形状（女性の足に似ている）となっている。日本では見られないデザインである。この橋梁は、連邦大学のリオ・デジャネイロとレッドライン（リオの最も重要な高速道路）を結ぶ道路にある。

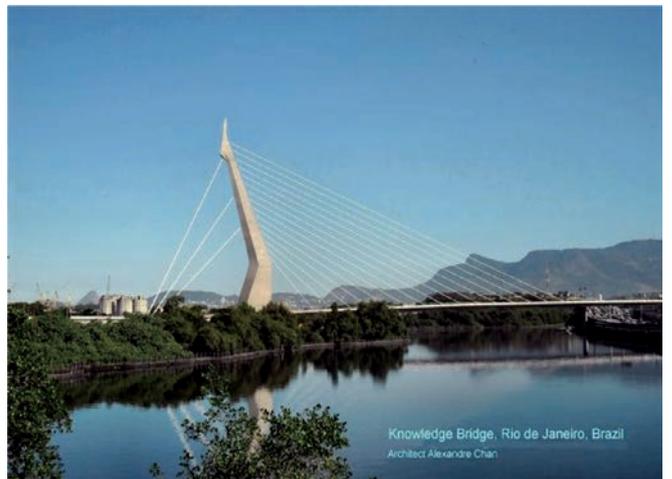


写真-6 Knowledge Bridge

## 4. 終わりに

IABMAS2016で発表されたものは、さまざまな技術開発が多く技術者によって行われているということである。これらの技術は試験室段階においてはかなり良い結果が出ているようである。今後は実際

の橋梁で試験室と同様な結果が得られるよう、まさに理論と実践のギャップを埋める努力や工夫が必要だろうと感じられた。

2018年の第9回はオーストラリアのメルボルン、2020年の第10回は日本の札幌で開催されます。

# IABSE2016ストックホルム会議の参加とスウェーデン・デンマークにおける橋梁視察報告

関東支部 橋梁課長 染谷 保司  
九州支部 橋梁課長 田島 洋

## 1. はじめに

2016年9月21日～23日までの3日間、IABSEが主催する橋梁と構造工学に関する国際会議「19th Congress of IABSE Stockholm 2016」がスウェーデンの首都ストックホルムで開催された。

IABSEはInternational Association for Bridge and Structural Engineeringの略称であり、橋梁と構造に関して国際的に伝統のある学会である。

今回は、本会議に参加するとともに、スウェーデン・デンマークにおける長大橋や歴史的橋梁の視察を実施したので、その概要を報告する。

## 2. IABSE Stockholm 2016の概要

今回のストックホルムで行われた会議は19回目であり、「革新的で持続可能な設計・施工環境構築への挑戦」をテーマに、48カ国から600名程度の技術者の参加によって基調講演、一般講演など最新技術の報告が行われた。

### 2.1 基調講演

本年度の会議テーマに沿った6題の基調講演が3日間に分けて行われた。オープニングセレモニーに続いて行われた初日の講演では、横浜国立大学先端科

学高等研究院の藤野上席特別教授が「持続可能なアセット・マネジメント - アジアからの展望」について講演された。基調講演のテーマは表-1に示すとおりで、いずれも興味深い内容であった。

### 2.2 一般講演

一般セッションでの発表は表-2に示すとおりで、本年度の会議テーマに沿った7つのテーマに大分類され、さらに62のテーマに細分類され、7会場で並行して発表が行われた。今年度の発表件数は全349件あり、日本からの発表は17件あった。

表-1 基調講演

講演タイトル/講演者
「持続可能なアセット・マネジメント - アジアからの展望」 Yozo Fujino, Japan
「持続可能な都市は人々のための都市であり」 Helle Soeholt, Denmark
「沿岸高速道路ルートE39」 Børre Stensvold, Norway
「持続可能な建設環境における革新的なトンネル技術」 Tomas Jesel, Switzerland
「持続可能な橋の維持管理における新たな傾向」 Jens Sandager Jensen, Denmark
「コンクリートの持続性」 Karen Scrivener, Switzerland

表-2 一般講演のテーマと件数

テーマ	細分類数	発表件数
A - Analysis (解析)	11	67
C - Construction and Production (建設と生産)	6	31
F - Forensic (法学)	3	15
L - Loads (負荷)	5	29
M - Materials (材料)	7	35
R - Repair & Maintenance (補修・メンテナンス)	9	55
S - Structures (構造)	21	117
計	62分類	349件



写真-1 IABSE Stockholm 2016会議場  
(City Conference Centre, Stockholm)

### 2.3 Commercial Exhibition (展示等)

技術展示は会場内に23のブースが設けられ、パネル・模型などが趣向を凝らせて展示され、出店スタッフによる説明が熱心に行われた。また、会場外に高欄メーカーによる急速施工、簡易取替えに配慮した高欄の展示が行われており、大変興味深いものであった。(写真-2、3)



写真-2 会場内展示状況



写真-3 会場外展示状況

### 3. オーレスン橋の視察(スウェーデン・デンマーク)

オーレスン・リンクは、デンマークとスウェーデンの国境にあるオーレスン海峡をデンマークの首都コペンハーゲンからスウェーデンのマルメまで沈埋トンネル(約4km) - 人工島(約4km) - 橋梁(約8km)で結ぶ全長約16kmの海峡横断道である。

オーレスン・リンクの橋梁部であるオーレスン橋はハイブリッジ(3径間連続鋼斜張橋:中央支間長490m, 桁下高57m)と、前後側径間(鋼連続トラス橋)からなり、全長7,845mの橋梁である。斜張橋の斜材配置はハープ型2面吊り、主塔はH型で水面からの高さ204mの鉄筋コンクリート製である。主桁は桁高10.2mの鋼トラス構造であり、上路が道路、下路が鉄道となっている。(写真-4)

マルメ側(スウェーデン)から橋全体を視察したが、海峡上の厳しい環境にあるにも係らず、上部工、下部工いずれも大きな変状は見られなかった。

今回の調査では点検用の自走式ゴンドラを見るこ



写真-4 Öresund Bridge全景

とが出来なかったが、各橋脚天端にはゴンドラ通過用の切欠き部が設けられており、厳しい腐食環境下における維持管理上の配慮が感じられた。(写真-6)



写真-5 橋面状況



写真-6 橋脚切欠き部

### 4. グレートベルト橋の視察(デンマーク)

グレートベルト・リンクは、デンマークの首都コペンハーゲンが位置するシェラン島と古都オーデンセが位置するフン島間のグレートベルト海峡を橋とトンネルで跨ぐ全長約20kmの海峡横断道である。

グレートベルト海峡上のスプロー島から東側をイースト橋、西側をウエスト橋と称する。

イースト橋は、スプロー島とシェラン島を結ぶ道路橋である。橋長6,790m、幅員31mであり、吊橋と前後の連続高架橋からなる。吊橋の中央支間は1,662m、コンクリート製2層ラーメン構造の主塔は高さ254mである。連続高架橋の形式は、逆台形の鋼床版1室箱桁(桁高は4.0m)が採用されている。(写真-7)



写真-7 イースト橋全景

ウェスト橋は、スプロー島とフュン島を結ぶ道路橋および鉄道橋である。道路橋と鉄道橋が平行して橋長は6,611m、道路橋の幅員は24.1m、鉄道橋の幅員は12.3mである。構造形式は、10、11径間連続PC箱桁橋が6連である。(写真-8)



写真-8 ウェスト橋全景

イースト橋の視察は、連続高架橋の桁端付近の目視調査を行った。海峡上の厳しい環境にあるにも係らず、上部工、下部工いずれも大きな変状は見られなかった。桁端においては、沓座面と伸縮装置部に桁隠しを設け塩害対策、侵入防止が施されており、桁と橋台桁隠しとの隙間はブラシ版を用い塞いでいた。視察時、点検用のゴンドラ設備が見られ、また、各橋脚付近にはゴンドラが通り抜けるための治具が設けられており、厳しい腐食環境下における維持管理上の配慮が感じられた。(写真-9、10)



写真-9 沓座状況



写真-10 点検用ゴンドラ

ウェスト橋の視察は、連続高架橋の桁端付近の目視調査を行った。主桁は、全体的にコンクリートの変色・劣化が見られ、コンクリートの打継目部の色むらが目立った。所々に断面修復の補修跡が見られた。

桁端部の支承は、亜鉛めっき仕様の円形すべり支承であり、支承部での移動量を把握するための計測ゲージが取り付けられていた。また、主桁-台座コンクリート間に配線が見られた。設置目的の詳細は不明であるが、モニタリング等を行っていると推定される。支承廻りには電流を流した金網にて囲い、沓座面へ鳥などの侵入防止対策が施されていた。細部に渡り維持管理上の配慮が感じられた。(写真-11、12)



写真-11 主桁の表面劣化



写真-12 支承廻り状況

## 5. スtockホルム市内の橋梁視察（スウェーデン）

ストックホルムはスウェーデン王国の首都であり、人口約75万人の北欧最大の都市である。メーラレン湖がバルト海に達する場所に位置し、市の中心部が14の小島の上に建設されているため、「水の都」、「北欧のヴェネツィア」とも称される。(写真-13)

島々は橋によって結ばれ、市内には数多くの橋が存在する。ストックホルムの中心地には、旧市街であるスターズホルメン島があり、『古い街』を意味



写真-13 Stockholm市内の鳥観（市庁舎より）



写真-14 ヴァーサ橋



写真-16 アルタス橋



写真-15 ノース橋



写真-17 Western橋

するガムラスタン（Gamla stan）と呼ばれる古い街区が残っており、この島の周りには歴史的な橋が存在している。（写真-14、15）

また、島々を結ぶ橋には数々の個性豊かなデザインの橋が建造されている。（写真-16、17）

## 6. コペンハーゲン市内の橋梁視察（デンマーク）

コペンハーゲンはデンマーク王国の首都であり、人口約50万人の北欧を代表する都市である。市内には中世に建てられた赤レンガのルネッサンス様式の美しい建造物が多く見られ、独特の重量感のある町並みは華麗なたたずまいを保ち続けている。（写真-18、19）



写真-18 市内の鳥観



写真-19 代表的な町並み



写真-20 Marble橋



写真-21 Storm橋

コペンハーゲンは多くの運河を持つ港町であり、運河を跨ぐ橋が多く架かっている。特にお城を囲む運河には歴史的な橋が多く存在している。（写真-20、21）

## 7. おわりに

今回、IABSEの会議の参加によって海外の技術動向を知ることができた。また、先端技術によって架設された長大橋や、歴史的な橋梁などを視察できたことは大変有意義であった。このような機会を頂いたことに感謝するとともに、貴重な経験を今後の業務に生かしていきたい。

# 南アフリカ共和国の橋梁視察

調査部長 石井 武

fib（国際コンクリート構造連合）のシンポジウムが2016年11月21日から23日までの3日間、南アフリカ共和国のケープタウンにおいて開催された。シンポジウム開催にあたり調査団が結成され、シンポジウム参加および南アフリカ共和国などの橋梁の視察が組まれた。

ここでは、南アフリカ共和国の橋梁視察について報告する。

## 1. はじめに

南アフリカはアフリカ大陸で唯一G20メンバーに含まれている国であり、アフリカを代表する経済大国である。そのため、インフラは欧米なみに整備されている地域が多数存在する。本視察では、南アフリカの橋梁として「Bloukrans（ブルークランズ）橋」と「Gouritz River（ゴウリッツ川）橋」の2橋の視察を行った。両橋梁ともアフリカ大陸の南端をインド

洋沿いに東西に延び、庭のように美しい景色が続くことからガーデンルートと呼ばれている国道2号線に架かる橋梁である。

2橋の視察のため、fibシンポジウムが開催されたケープタウンから東へ400km程度離れたジョージへ空路にて移動、その後はジョージを基点としてバスにてガーデンルートを東西に移動し、視察を行った。基点としたジョージは、2010年のサッカーワールドカップにおいて日本代表がベースキャンプとしていた都市で、比較的治安の良い場所である。ブルークランズ橋はジョージから東へ100km、ゴウリッツ川橋は西へ60kmの位置に架橋されている。移動中のバスからは、広大な草原や綺麗に整備された町並みがある一方、白人居住区のみを高い塀で囲い、アパルトヘイトの名残や生活面の格差を感じさせる住宅街の風景が垣間見えた。

## 2. Bloukrans（ブルークランズ）橋

ブルークランズ橋は、東ケープ州と西ケープ州の境にあるネイチャーズバレー近くに位置するアーチ橋であり、1980年～1983年にかけて建設されている。橋長450m、アーチスパン272m、河床から216mの高さに位置する橋梁であり、完成時においてアーチ長272mは世界で4番目（アフリカでは最長）、高さ216mは世界で7番目であった。また、この高さを利用し、世界屈指のバンジージャンプ場として、世界各地から挑戦者が訪れている場所でもある。本橋のアーチリブおよび鉛直材はRC構造、上部工はPC構造で構成されており、アーチリブはピロン工法にて、両岸から対称的に架設されている。また、鉛直材と補剛桁の連結部24箇所の内、高さの高い鉛直材（両端部から3～7本目）のみが支承構造であり、残りは剛構造であった。その他、コスト縮減を目的として、架設鋼材の一部を構造用鋼材として利用されている。

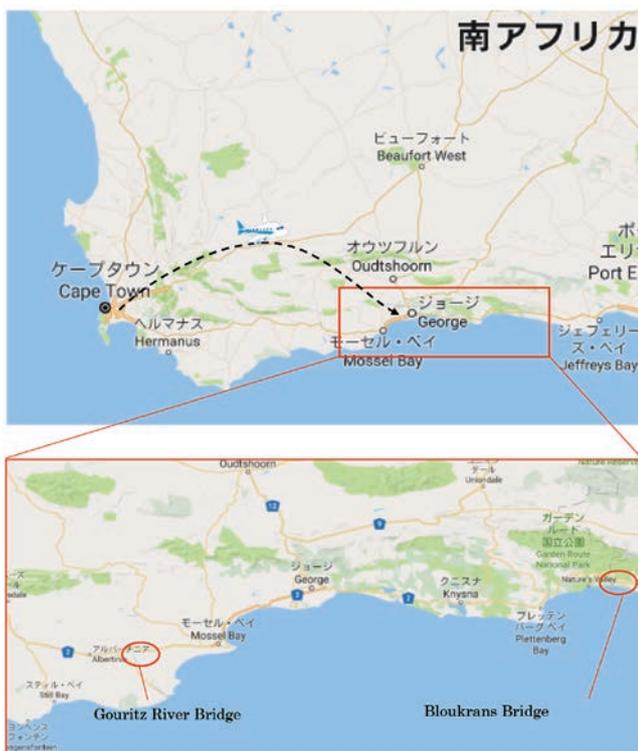


図-1 南アフリカの視察橋梁位置



写真-2.1 橋梁全景



写真-2.2 橋面状況



写真-2.3 アーチ基部 (全景写真奥側)



写真-2.4 アーチ基部 (全景写真手前)



写真-2.5 鉛直材上端 (剛結部)



写真-2.6 バンジージャンプ (順番待ち)

### 3. Gouritz River (ゴウリッツ川) 橋

ゴウリッツ川橋は、西ケープ州の南東に位置するモリソン湾の近くのゴウリッツ川渓谷に架かる橋梁で、1978年に建設されている。

橋長210m、支間割55.0m+105.0m+65.0+45.0m、桁高2.8m～5.8m、幅員13.98mの4径間連続PC箱桁橋である。河床から75.0mの高さに位置しており、斜材基礎部の間隔は170mである。北側には旧ゴウリッツ川橋と、鉄道橋が並走しており、両橋とも鋼トラス構造の橋梁である。旧ゴウリッツ川橋は1892年に建設された鉄道道路併用橋であったが、現在は使用禁止となっている。旧ゴウリッツ川橋は橋としての

役割を果たした後、バンジージャンプ場として使用されていた時期もある。

本橋の斜材部は分割施工された形跡が残っており、打継面が水平方向であったことから、アーチ橋のピロン工法のように斜材をケーブルで支えながら徐々に張り出して施工したと想像された。また、下部工と上部工の連結部は、側径間の橋脚上のみ支承構造であり、残りの斜材部は剛結構造であった。

#### 参考論文

fib Symposium 2016参加と南アフリカ・アラブ首長国連邦におけるPC橋梁視察団報告書



写真-3.1 橋梁全景



写真-3.2 橋梁下側



写真-3.3 斜材基礎部



写真-3.4 旧ゴウリッツ川橋 (奥側:PC橋のゴウリッツ川橋)

# 国土交通行政関係功労者表彰の 受賞について

国土交通行政関係功労者表彰とは、国土交通省から発注された工事や業務等に関して、その施工や成果が特に優秀で他の模範となるものが選定され、企業又は技術者について、発注者より表彰が行われる

ものです。当調査会におきましては、平成28年度に完了した以下の業務に対し、受託者として（一財）橋梁調査会及び技術者として東北支部 堂前橋梁部長が表彰を頂きました。

文責：計画課長 桐原 進彌

業務名	表彰者	表彰対象
平成28年度熊本管内橋梁保全設計施工技術支援業務	九州地方整備局長	一般財団法人 橋梁調査会
東北北部管内橋梁診断業務	東北技術事務所長	一般財団法人 橋梁調査会 堂前 満

## 橋梁技術に関する研究開発助成について

当調査会では、平成20年度から年に一度「橋梁技術に関する研究開発助成」及び「国際会議等への参加に関する助成」の助成対象者を決定しております。これまで「橋梁技術に関する研究開発助成」は16件、「国際会議等への参加に関する助成」は20件の助成を行ってきたところです。この度、平成29年度分の助成が決定となりました。なお、今年度より「国際会議等への参加に関する助成」は廃止し、「橋梁技

術に関する研究開発助成」に一本化することにいたしました。

なお、助成対象者の選定にあたり、橋梁研究開発助成等審査委員会（東京大学 魚本 健人名誉教授、横浜国立大学 藤野 陽三上席特別教授、長岡科学技術大学 丸山 久一名誉教授）を設け、審査委員会での審査を経て助成を決定しました。

平成29年度の助成対象者は以下のとおりとなりました。

文責：計画課長 桐原 進彌

### 橋梁技術に関する研究開発助成

橋梁技術に関する研究開発についての計画を公募し、優秀研究計画と認められる応募者に対して、当該研究開発に要する費用の一部を助成

田井 政行氏（琉球大学 工学部 助教）

- ・研究計画：「腐食高力ボルト摩擦接合継手の解析モデル構築と残存耐荷力評価」

中島 章典氏（宇都宮大学地域デザイン科学部 教授）

- ・研究計画：「非合成桁橋のずれ止めの合成効果を考慮した設計法への転換」

近藤 拓也氏（高知工業高等専門学校 准教授）

- ・研究計画：「ポストテンション方式PC構造物の軸方向ひび割れ発生原因に関する研究」

# 第5回賛助会員特別講演会の報告

定例の賛助会員向けの特別講演会を2017年4月26日にアルカディア市ヶ谷にて開催し定員を超える約160人の方々にご参加いただきました。

冒頭、森永 教夫専務理事から開会のご挨拶を申し上げ、引き続き橋梁調査会前常務理事兼企画部長の大石 龍太郎氏より「最近の橋梁点検に関する動向等」として橋梁調査会の現在の取り組みをご報告すると共に、最近の国内外の道路橋の落橋事例の紹介や地方公共団体の道路橋点検の現状と橋梁調査会の支援事例等の紹介がありました。

本年の特別講演では、国土交通省技術審議官、水管理・国土保全局長などの要職を歴任されました公益財団法人河川財団理事長の関 克己（せき かつみ）様より、「防災・減災における科学技術と専門家」～科学的災害リスクの評価に基づく防災・減災の強化に向けて～と題してご講演いただきました。

ご講演では、まず防災・減災の強化に向けた課題として、平成27年度の鬼怒川の水害など近年の水害の事例から、「何が起こるか」、「何ができないか」を認識した取り組みの重要性を、次に「何が起こるか」を知るリスク評価とハザードマップのご説明があり、防災・減災の強化に向けてとして、「何が起こるか」に基づく防災・減災について、津波防災地域づくり法の紹介と共に、意思決定の強化、リスク評価を担う専門家の役割、タイムライン（事前行動計画）の構築など防災・減災の枠組みに関する視点と枠組み構築に向け必要な制度、仕組みなどについてご講演いただきました。参加者からは、リスク評価の話が興味深かった、リスクに対する評価が大切であることが学習できた、貴重なお話が聞けて有意義でした、



河川財団理事長 関 克己氏のご講演風景

などの声が聞かれました。

本講演会も定例化して5回目を数えますが、例年、道路行政や建設業界等に関わりの深い講師をお招きし、大局的な観点からのご講演をいただいております。今回も多数のご参加をいただき、皆様には厚く感謝申し上げます。

調査会の主催する講演会等で今後希望するテーマについて、本年の講演会参加者に対し実施したアンケート結果を下図に示します。この結果も参考に、今後も情報発信に取り組む所存です。

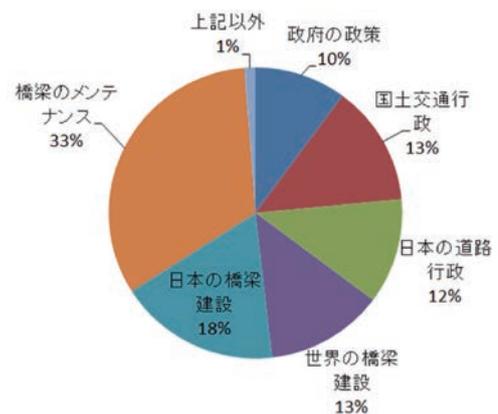
文責：企画部 次長 藤原 亨



講演会会場風景



懇親会会場風景



希望する講演会・セミナーのテーマ

# 第2回北陸橋梁保全会議 ～北陸から橋梁保全情報を発信～

北陸橋梁保全会議は、橋梁保全に関する蓄積してきた技術・技能の伝承・研鑽を図るとともに、新技術の開発、より一層の品質確保・信頼性向上を目指し、優れた橋梁保全技術を次世代へ継承していくため、「産学官」が連携して橋梁保全に関する調査・研究、施工技術、材料、維持管理等について、情報交換・発信を行うためのプラットフォームとして平成24年11月に設立されました。

平成25年11月11日（月）～12日（火）に第1回会議を開催され、今回、平成28年10月25日（火）～26日（水）に第2回北陸橋梁保全会議が開催されましたので、その概要を以下に報告します。

【期 間】平成28年10月25日（火）～26日（水）

【場 所】新潟グランドホテル 新潟市中央区

【主 催】北陸橋梁保全会議 実行委員会

【プログラム】

10月25日（火）

◇開会式

◇基調講演：「道路構造物の経年劣化の現状と課題」  
三木千壽 東京都市大学学長

<概要>

- ・社会インフラの老朽化問題について → 原因を究明、除去し適切処置すればまだ間に合う
- ・笹子トンネルの事故とその後の動き → 道路法改正のとりくみ等紹介
- ・米国では → 米国と日本の現状比較、米国の対応について等
- ・点検と診断の実態 → 設計とは異なる挙動。十分な知識と現場の実績をもつ人材育成が重要
- ・あたらしい技術 → モニタリング技術の紹介
- ・目指すメンテナンス → すべての橋梁を+100年使用する



◇報文発表：45編

◇交流会

10月26日（水）

◇報文発表：15編

◇パネルディスカッション：「維持管理と人材育成」

座長 長岡技術科学大学 丸山久一名誉教授

<パネラー>

- ①（一社）PC建設業協会 藤原保久 氏
- ②（一社）日本橋梁建設協会 本間順 氏
- ③（一社）建設コンサルタンツ協会 近藤治 氏
- ④北陸地方整備局 道路保全企画官 星野成彦 氏
- ⑤新潟県土木部 山ノ内久 氏
- ⑥新潟市土木部 高橋昌芳 氏

<概要>

座 長：橋梁の供用年数を決定し（目標100年）、補修、補強、解体撤去の時期を的確に判断すること。技術は現場でしか伝承できない。技術者は現場でしか育たない  
パネラー：維持管理の現状、現場で直面する課題、人材育成のとりくみ等について紹介  
議 論：橋種、橋長の違いに対し、点検内容は一律でよいのか。必要な技術者数はどれくらいなのか。点検診断全体をコーディネートする人が必要ではないか

◇閉会式

【技術展示】28ブースを設置

【参加者数】のべ988名（交流会参加者 239名）

文責：北陸支部長 池田 重三郎



産、官、学で60報文を発表

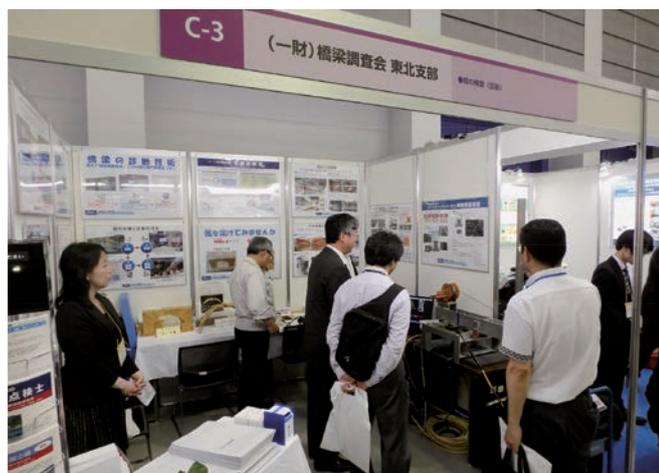
# 建設技術フェア等の参加報告

各地方整備局が主催する建設技術フェア等に、当調査会支部が参加しましたのでお知らせいたします。建設関係者はもとより一般の方々にも、「一般財

団法人 橋梁調査会」とはどのような組織でどんな仕事をしているのかを知って頂く機会として、当調査会が実施する事業を紹介（展示）いたしました。

計画課長 桐原 進彌

開催日	イベント名	主催者
平成28年6月1日～2日	EE東北'16	EE東北実行委員会
平成28年10月20日～21日	建設技術フェア2016in中部	国土交通省中部地方整備局 名古屋国際見本市委員会
平成28年11月11日～12日	ふれあい土木展2016	近畿技術事務所
平成28年11月11日～12日	建設技術フォーラム2016in広島	建設技術フォーラム実行委員会
平成28年10月17日～18日	九州建設技術フォーラム2016	九州建設技術フォーラム実行委員会



展示パネルの説明（東北）



模型橋の組み立ての様子（近畿）



模型橋の説明（中国）



展示パネルの説明（九州）

### 尾張大橋・伊勢大橋

## 水郷を、日本をつないだ2つの橋

#### 東海道の難所、木曾三川越

国道1号における木曾三川越えは、東海道五十三次の時代から長らく交通の難所であった。濃尾平野西部は揖斐川、長良川、木曾川が乱流し、幾本もの流れが行く手を阻んだ。そのため陸路よりも舟運が盛んとなり、熱田～桑名間の東海道は「七里の渡し」と呼ばれる渡船でスキップしていた。

明治時代、干拓と河川改修の進行や渡船の航路確保が困難になったことを背景に、東海道はより海岸側へと変更され、のちに国道1号として指定された。しかし、渡船利用区間は渡河地点だけに限定されたものの、この区間だけは増水による通行止めや物運搬の重量制限をクリアできず、国の大動脈である国道1号の泣きどころとして残されたのである。

木曾三川に橋をかけ、国道1号を陸路でつなぐ計画が立ち上がったのは、ようやく昭和4年になってからである。産業振興と軍事面でのロジスティクス整備を目的とし、この地に大型予算と最新鋭の技術が投入されることになった。

#### 増田淳による兄弟橋

昭和8年10月、木曾川を渡る尾張大橋が、翌9年5月には長良川、揖斐川を渡る伊勢大橋が竣工した。

尾張大橋は橋長878.81mを下路ランガートラス橋13連、下路トラス橋1連で構成される。一方、伊勢大橋は橋長1105.7m、下路ランガートラス橋15連で、途中に締切堤上の県道と連結する門を持つ珍しい橋である。

緩やかに連続するアーチが川面に映える二つの橋

の姿は、兄弟のように見える。というのも両方ともほぼ昭和5年（伊勢大橋が1カ月早い）、戦前で最も著名な橋梁設計家の増田淳によって設計されているからである。設計図でも流用と思われる箇所が多く、床組図面などは特によく似ていると言われる。

#### 最新の技術で地域をつなぐ

この二つの橋の建設は我が国の橋梁史においても実に意義深い。理由の一つ目は我が国で初めてランガートラス形式が採用された点にある。明治28年、関西鉄道が木曾三川に橋梁を作ったが、基礎が極めて深くなり多大な苦勞を強いられたという反省を活かし、この最新の構造を試みたのである。

二つ目に伊勢大橋は当時東洋一の規模を誇り、尾張大橋とともに我が国の近代化の象徴として広く知られることになった。ちなみに伊勢大橋の竣工記念





	尾張大橋	伊勢大橋
橋長	878.81m	1,105.70m
幅員	7.5m	7.5m
橋梁形式	下路ランガートラス橋13連 支間長 63.42m 下路トラス橋 1連 支間長 40.77m	下路ランガートラス橋15連 支間長 72.80m

には桑名市で花火大会が催されている。これは「桑名水郷花火大会」として定着し、こんにち、地域の重要なイベントとして成長している。

そして最後に、長年にわたり川で分断されていた濃尾平野西部を橋で結び、なおかつ国道一号全線が一气通貫で繋げた点である。特に木曾川にはほとんど橋らしい橋がなく、当時の専門誌でも「愛知、三重両県界を流下する木曾川に初めて架せられた」と述べている。

### 老兵未だ衰えず

2つの大橋はその後、東南海地震（昭和19年）、三河地震（昭和20年）、第二次世界大戦による爆撃、伊勢湾台風（昭和34年）など、多くの自然災害や戦災にさらされた。しかしその都度、補修や塗装の塗

替えを重ねながら、交通の要衝として役割を全うしてきた。

しかし、経済成長に伴う交通量の増大によって、渋滞が激しくなっていた。とりわけ伊勢大橋では、中央に設けられた県道との信号付きの丁字路がよく渋滞するようになった。そこで昭和38年には、国道1号の下流側に木曾川大橋、揖斐長良大橋を架けてバイパス（のちに国道23号）とし、渋滞の緩和を図った。

### 文化を育み未来へ

さて、いまやすっかり交通の要衝となった尾張大橋、伊勢大橋周辺は、近年ではかつての水郷のくらしを発信する場として機能している。尾張大橋や伊勢大橋はもちろん、長良川河口堰など、さまざまな史跡や近代遺産、専門の河川クルーズやツアーも多い。また、資料館や公園も充実しており、この地方ならではの川と深く結びついた歴史を知ることができる。

すでに伊勢大橋は、地下水汲み上げによる地盤沈下対策等により、昭和51年から架替計画が議論され、さらに老朽化も著しいことから平成27年9月に架け替えが着工されている。尾張大橋も老朽化が進んでおり、架替が俎上に乗るのもそう遠い未来ではない。

次世代の伊勢大橋、尾張大橋は、どんな文化を紡いでいくのか、今から楽しみである。



1 尾張大橋  
3・4 県道連結部

2 伊勢大橋  
5 長良川河口堰

## 本部・支部 所在地及び連絡先

### 本部 〒112-0013

東京都文京区音羽2-10-2(音羽NSビル8階)

TEL : 03-5940-7788(代表) FAX : 03-5940-7789

03-5940-7794(企画部)

03-5940-7791(調査部)

03-5940-7746(研修担当)

03-5940-4800(道路橋点検士事務局)

URL : <http://www.jbec.or.jp> E-Mail : [info@jbec.or.jp](mailto:info@jbec.or.jp)

### 東北支部 〒980-0014

仙台市青葉区本町2-1-29(仙台本町ホンマビルディング10階)

TEL : 022-221-5301 FAX : 022-221-5302

### 関東支部 〒330-0844

さいたま市大宮区下町1-42-2(TS-5BLDG.5階)

TEL : 048-657-6085 FAX : 048-645-2167

### 北陸支部 〒950-0965

新潟市中央区新光町10-3(技術士センタービルII8階)

TEL : 025-281-3813 FAX : 025-281-3818

### 中部支部 〒460-0002

名古屋市中区丸の内1-16-15(名古屋フコク生命ビル5階)

TEL : 052-218-3151 FAX : 052-218-3153

### 近畿支部 〒540-6591

大阪市中央区大手前1-7-31(OMMビル12階)

TEL : 06-6944-8551 FAX : 06-6944-8556

### 中国支部 〒730-0013

広島市中区八丁堀15-10(セントラルビル5階)

TEL : 082-511-2203 FAX : 082-225-4745

### 四国支部 〒760-0026

高松市鷹屋町3-1(合田不動産鷹屋町ビル6階)

TEL : 087-811-6866 FAX : 087-811-6867

### 九州支部 〒812-0013

福岡市博多区博多駅東2-9-1(東福第二ビル2階)

TEL : 092-473-0628 FAX : 092-473-0629

### 北海道駐在所 〒060-0004

札幌市中央区北4条西7丁目1-5(NCO札幌ホワイトビル8階)

TEL : 011-213-1867 FAX : 011-210-6071



**J-BEC レポート 2017 Vol.13** 平成29年12月発行

編集・発行 一般財団法人 橋梁調査会

印刷 (株)大 應

表紙撮影：初芝成應

# J-BEC

橋をかける  
橋をまもる

