

東京大学生産技術研究所

都市基盤安全工学国際研究センター

加藤(佳)研究室
研究活動レポート2002年-2011年

Michael Henry, 加藤佳孝
東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター

水上翔太
芝浦工業大学

東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター

加藤(佳)研究室

研究活動レポート 2002 年－2011 年

Michael Henry、加藤佳孝
東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター

水上翔太
芝浦工業大学

ICUS Report No. 50

2011 年 3 月

東京大学生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター

Katoyosh Laboratory

Research Activities Report 2002-2011

Michael Henry & Yoshitaka Kato
International Center for Urban Safety Engineering
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

Shota Mizukami
Shibaura Institute of Technology

ICUS Report No. 50

March 2011

International Center for Urban Safety Engineering (ICUS)
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

目次

Contents

| | |
|---|---|
| ～ICUS と共に歩んだ 9 年間とこれから教育と土木技術者に関する雑感～ 加藤 佳孝..... | 1 |
| 42 年間の年輪 西村 次男..... | 4 |
| 2010 年度加藤(佳)研究室の集合写真..... | 7 |
| 加藤研究室の年表..... | 8 |

Thesis Ph.D

論文博士

| | |
|--|----|
| コンクリート構造物の耐久性を考慮したポリマーセメント系断面修復材の選定システム 横島 修..... | 9 |
| 吹付けコンクリートのリバウンドに関する研究 石関 嘉一..... | 13 |
| ひび割れ幅とコンクリートのひずみの計測を利用したコンクリートはり部材の健全性評価に 関する研究 恒国 光義..... | 17 |
| 構造体かぶりコンクリートの品質管理に関する研究 早川 健司..... | 21 |

Ph.D. course

博士課程

| | |
|--|----|
| Probability based maintenance planning for RC structure deteriorated by salt attack Pakawat SANCHAROEN..... | 25 |
| Formation and evaluation of sustainable concrete based on social perspectives in the Japanese concrete industry Michael HENRY..... | 28 |
| Effect of macro-cell corrosion on electrochemical measurements and total corrosion estimate of steel in concrete Ominda NANAYAKKARA..... | 31 |

Master course

修士課程

| | |
|--|----|
| コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究 小根澤 淳志..... | 35 |
| Experimental study on flocculation structure of cement composite materials by using no-flocculation system paste Djanybek JUMABAEVICH | 37 |
| 局所的風況・降雨量予測を基にしたコンクリート構造物への水分浸透に関する研究 竹下 直樹..... | 39 |
| ニューラルネットワークによるかぶり品質変動の定量的評価 藤野 学..... | 41 |
| Effect of environmental non-homogeneity by chloride ions on macro-cell corrosion in reinforcement bar Ominda NANAYAKKARA | 43 |
| Influence of re-curing condition on damage and recovery of mortar exposed to fire Michael HENRY..... | 45 |
| 災害損傷構造物の安全迅速復旧工法の開発 鈴木 僚..... | 47 |
| 土木系学科に所属する学生の建設業界に対する就職志望度低下の要因分析 山崎 啓司..... | 49 |
| Effect of oxygen and moisture on chloride-induced macro-cell corrosion of steel bar in concrete Hung Viet VU | 51 |
| 被災構造物の安全・簡易・迅速復旧工法の開発 鈴木 将充..... | 53 |
| コンクリート用再生骨材普及への制度設計 森本 慎吾..... | 55 |
| Design methodology for concrete containing high volume of waste materials German PARDO | 57 |
| 含水状態を考慮した構造体かぶりコンクリートの透気性評価 水上 翔太..... | 59 |

Undergraduate

卒論生

| | |
|--|----|
| 赤外線法を用いたコンクリートの物質移動抵抗性の評価に関する基礎的研究 小根澤 淳志..... | 61 |
| 完全分散系ペーストを用いたセメントペーストの凝集程度の把握 杉井 良平..... | 62 |
| コンクリート構造物の含水状態の違いが表面温度に与える影響評価 宅森 由理..... | 63 |
| コンクリートの降雨吸水特性に関する実験的検討 建部 麻理沙..... | 64 |
| 赤外線法による日射条件を考慮したコンクリートの内部欠陥検知に関する基礎的研究 金橋 二功..... | 65 |
| 各種施工時の要因がかぶりコンクリートの品質のばらつきに及ぼす影響に関する研究 永森 寛明..... | 66 |
| 景観性能を考慮した既設コンクリート構造物の補修設計の確立 奈良 徹..... | 67 |
| メタゲーム分析による社会運動組織の戦略の有効性に関する一考察 藤田 哲朗..... | 68 |
| 火害を受けたモルタルの耐久性に及ぼす再養生条件の影響 鈴木 将充..... | 69 |
| 災害損傷構造物の迅速復旧工法開発における補修材料と補修法の検討 関 臨..... | 70 |
| ひび割れ発生時期とその後の環境条件が中性化の進行に及ぼす影響 小松 直人..... | 71 |
| 構造体コンクリートの品質確保のためのコンクリート受入れ検査に関する基礎的検討 水上 翔太..... | 72 |
| マクロセル腐食が電気化学的測定結果に及ぼす影響 菊池 厚..... | 73 |
| 迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性と補修効果の実験的検討 山崎 孝史..... | 74 |
| 繊維補強モルタルへの廃棄物とリサイクル材料の活用 平田 渉..... | 75 |

| | |
|--|----|
| ひび割れと鉄筋界面からの中性化進行に及ぼす乾湿繰返しの影響 小林 良輔..... | 76 |
| ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだコンクリートの基礎物性／環境負荷に及ぼす影響 山下 大道..... | 77 |
| 複数の測定方法を用いたマクロセル腐食に関する検討 村上 拓..... | 78 |
| ひび割れ内部の水分挙動に関する実験的検討 斎藤 宗一郎..... | 79 |
| 接着層における水硬性樹脂の力学的特性が補強効果に及ぼす影響 小嶋 洋範..... | 80 |
| コンクリートの圧縮強度と物質移動抵抗性の関係に及ぼす施工条件の影響 樺山 弘基..... | 81 |
| 施工方法の相違がコンクリートの表層透気性に及ぼす影響 川崎 あきな..... | 82 |
| 再生骨材コンクリートの強度特性に関する基礎的研究 萩原 和也..... | 83 |

Research paper list

研究業績リスト

| | |
|-----------------|----|
| 著書..... | 85 |
| 原著論文..... | 85 |
| 査読あり年次論文集..... | 86 |
| 国内会議（査読なし）..... | 89 |
| 国際会議論文..... | 92 |
| 学術雑誌..... | 96 |
| 調査報告書等..... | 97 |
| 委員会報告書..... | 97 |
| 所内報..... | 98 |

Laboratory life

研究室の生活

| | |
|------------------|-----|
| 花見@千葉実験所..... | 103 |
| 流しそうめん@生研 | 105 |
| 国内会議、合宿（等） | 106 |
| 国際会議（等） | 108 |

～ICUS と共に歩んだ9年間とこれから 教育と土木技術者に関する雑感～

准教授 加藤佳孝

東京大学生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター、この長い名称が2002年度から9年間教員として所属した、私の居場所である。振り返ると、修士課程(1994年度)で生産技術研究所(以下、生研)の魚本研究室に配属され初めて生研の空気を吸い、修士2年の1995年7月15日に中退、7月16日付けで生研の助手に採用、1999年度に論文博士(工学)を取得後、2000年度から2年間旧土木研究所(在籍中に、建設省土木研究所が省庁再編により国土交通省土木研究所になり、独法化の流れで国土技術政策総合研究所と土木研究所にわかれたが、私の所属研究室は国土技術政策総合研究所となった)と、激動?の8年間を経た30歳の春に都市基盤安全工学国際研究センター(以下、ICUS)のメンバーとなった。ICUSの設立は私が赴任する1年前で、今年度(2010年度)で一区切りの10年目となる。教員としての9年間は、ICUSとともに歩んだ期間であった。その間(またか?と思われるかもしれないが)、ICUSが協定を結んでいるタイ国にあるアジア工科大学院の客員教員として2年間赴任した。フラフラして、腰を据えて研究しているのか?と声が聞こえそうではあるが、フラフラしていたからこそ学べたこともある。教育者・研究者として、まだまだ半人前である自覚はあるが、広い視野で論理的に物事を考察することの大切さは習得できたと思っている。恩師である魚本健人東大名誉教授(前ICUSセンター長、現土木研究所理事長)には、学生時代から今まで(恐らくこれからも)、節目節目に「神のお告げ」に近いご指導を頂きました。先生に会わなかったとしたら、どんな人生を歩んでいたのか全く想像ができないほど、大学教員が天職だと思っています。目黒公郎東大教授(現ICUSセンター長)には、ちょっと恥ずかしくなるような期待の言葉をかけていただき、モチベーション高く、楽しくICUSでの活動を支援していただきました。ICUSでの活動を縁の下で支えてくださった吉本英子秘書には、本当にお世話になりました。現役メンバーでは、目黒センター長、私に続く古株で、全てを知り尽くしたスーパー秘書。今後も、よろしくお祈りします。この場では語り尽くせぬ多くの先輩・同僚にご指導、ご支援いただきましたことを、この場を借りて感謝いたします。

さて、コンクリートは実に面白い素材であり、研究対象としては魅力的な分野である。極めてローテクな材料であるため、世界での消費量は水に次ぐ第2の材料であるようだが、当たり前のように使っている材料なのに、未だに世界各国で研究している。その紀元は、ローマ帝国時代とも、6000年以上前ともいわれているが、いずれにしてもこれほど長い間、我々の生活の質を向上するために多量に使われ続けてきた材料はあるのだろうか?残念なことに最近では、悪のイメージを植え付けられているが、多くの学生に支えられ、コンクリートに軸足を置きながら、マネジメント、持続可能性、防災などの分野との融合(自称“すき間産業”)を模索した9年間であった。私の無理なリクエストにも、全身全霊で応えてくれた学生諸君、本当にありがとう。皆さんのおかげで、私もずいぶんと成長できたと思っています。

9年間に課程博士3名、論文博士4名、修士15名、卒論24名、延べ人数46名(実数41名)が研究室で活躍した。本音としては、コンクリート好きになってほしいとは思っていたが、反面、そんな小さなことはどうでもよかった。研究を通して、問題の設定(理想と現実のギャップ)、解決策の探索、実行/修正、説明のプロセスを身につけて欲しかった。このようなスキルは、学生がたとえ建設関係に就職しなくても、必ず役に立つ武器であると思っている。単純

そうなのに、思い通りの結果にならないことが多いコンクリートは、スキル習得の題材として打って付けである。既往の知見と自らの経験に基づき見えないもの（わからないもの）を想像して仮説を立て、複雑な仮説を単純化して実験計画をたてる。実験は一人でできないことが多いため、仲間との調整が不可欠であり、安全管理、時間管理、資源（人や材料）管理、調達管理、品質管理、リスク管理、コミュニケーションなどの能力が必要となる。これらの能力のほとんどは、プロジェクトマネジメントの汎用知識の体系化の代表例である PMBOK（Project Management Body Of Knowledge）に記載されている 9 つの知識エリアに該当する。すなわち、学生は研究活動を通して、ミニプロジェクトのマネージャーとしての役割を担い、そのスキルを身につけているのである。これが、古くからコンクリートエンジニアは“つぶしがきく”と言われる所以なのだと思う。ただし、学生が単に研究するだけでスキルを身につけられるかといえば、当然、そんなことはない。御年 60、親仁（おやじ）・西村次男の存在なくしてはあり得ない（最近の学生にとっては年齢的には祖父に近いかもしれないが）。ある時は鬼（虎？）の形相で叱責し（血圧が上がり過ぎて血管が切れるのではないかと思うほどに。でも、それだけ親身になって面倒を見ている裏付け）、またある時は兄のように親身になって相談に応じ、時として友のように一緒にはしゃぎ、学生に「仁（ひと）のみち」を伝承する、昔ながらの頑固親仁。西村氏の存在無くして今の研究室はあり得ず、言葉にしてしまうと軽い気もするが、「本当にありがとうございました」。

最後に“昭和の頑固親仁”に関連して、“公（公共）”について最近考えていることをまとめてみたい。昔は、どこの町（コミュニティ）にも頑固親仁が居た。悪さをすれば叱られ、良いことをすれば褒めてくれる、そんな当たり前のことから、幼い頃から自分と他者の共同で社会が成立していることを、明確に自覚はしていないとしても知らず知らずに学んでいたのだと思う。他者との共同社会、すなわち“公（公共）”を意識することで、自分自身をより深く考えていた。最近では、この“公（公共）”を意識することが少なくなっていると思わざるを得ないような、残酷な事件、他者の欠点を指摘することで自らの主張の正当性を説明することしかできない政治家やメディア、これに同調するような国民感情、大志に基づき自らの主張を発言する人が少なくなったことを非常に残念に思う。論理的な思考とは思えない感情的な“公共事業不要論”や“コンクリートから人へ”などは、その典型的な例である。加えて、大学教員としては企業が即戦力の学生を求めている現状についても強い疑問を持つ。大学とは、企業が即戦力として働ける学生を育成する場では断じて無い。企業の視野が極めて狭く、大志が無く短期的なビジョンしか持ち得ていないとしか思えない。町の在り方は時代と共に変化する。頑固親仁の復活が望めないのであれば、初等教育から“公（公共）”を意識できる教育の在り方を考えることが重要である。最近では、持続可能性（あるいは持続可能な発展）が注目されているが、持続可能性とは環境性、経済性、社会性の 3 側面のバランスを考えた活動をすることに基礎がある。これまで相容れないと考えられてきた 3 側面のバランスの取り方は、絶対的な正解があるわけではなく、“公（公共）”を意識した議論の中から適切だと思われる解を模索する必要がある。このような絶対的な正解の無い問題を考えることから、自と他の関係、社会、公共性などを学ぶことが重要である。古くから土木分野では“公（公共）”を強く意識し各側面を評価し、目的に応じてエンジニアが適切に判断してきている。すなわち、持続可能性という概念が打ち出される前から、社会情勢を踏まえつつ暗黙のうちに評価してきているといえ、土木技術者（シビルエンジニア）こそが、今後の社会を牽引する資質を有しているのだと思う。大学教育者として、これからも大志を抱ける学生の教育に全力を注いでいきたいと思っている。40 歳を迎える春に再び人生の大きな転機を迎える。環境の変化は人を成長させる一つの機会であると、常日頃学生に言ってきた。自らこの発言に責任を持つためにも、生研には絶対

負けない成果を新天地であげたいと思っている。これが、長年生研でお世話になった恩返しにもなっている。

本稿は、私が生産技術研究所に所属していた期間の活動をまとめたものであり、ICUS の特任研究員ヘンリーマイケル博士が企画から編集作業まで、研究実習生（芝浦工業大学大学院）水上翔太君にその補佐を担当していただきました。大学教員として、教え子にこのような事を申し出てもらえることは、教員で良かったと実感する本当にありがたいことでした。仕事あるいは研究で忙しい中、本稿のとりまとめに積極的に取り組んでくれた両名に感謝の意を表し、結びとしたい。



42 年間の年輪

技術専門員 西村次男

昭和 44 年の年明け早々（1 月 18 日）、私は田舎（北九州小倉）でテレビのニュースを見て驚きました。その出来事とは、東大・安田講堂での学生達と学生達を排除するため数千人に及ぶ警察機動隊の激しい攻防戦が繰り広げられているニュースでした。安田講堂に立て籠もっている学生達による投石や火炎瓶で機動隊に抵抗する模様、また、機動隊は学生達に向け催涙ガスや放水によって学生を排除する光景は市街戦さながらの模様でした。

この様な激動の 1969 年（昭和 44 年）、先輩のアドバイスもあり私は生産技術研究所の技術職員になりました。生研は東京のほぼど真ん中に位置する六本木で、昔麻布連隊が駐留し若手将校による 2. 26 事件発祥地である事も初めて知りました。すぐ傍には防衛庁（当時）の建物が目の前にあり、その前の通りには路面電車が走っていました。また、裏の青山墓地の通りにも路面電車が長閑に走っており、これらを利用して通ったのもつい最近の出来ごとのようで懐かしく思われます。

当時を今振り返ってみると国内の社会情勢は、大学紛争は東大紛争の終結により一段落し下火にはなっていました。しかしながら一方では、沖縄が日本国でありながらアメリカ軍の統制下であるため、米軍の横暴が日常的に行われ沖縄県民の怒りが爆発し沖縄返還闘争、アメリカ軍によるベトナム戦争の北爆激化、日米の 70 年安全保障条約の締結問題等でデモが頻繁に行われる日々が続き激動的な日本でした。

さて、その由緒ある六本木の建物から駒場Ⅱキャンパスに移転する 2000 年までの 31 年間で六本木で過ごし、さらに、駒場Ⅱキャンパスに移転後 11 年になりました。この間、私は小林一輔名誉教授（1969. 7～1990. 3）、魚本健人名誉教授（1990. 4～2007. 3）、加藤佳孝准教授（2007. 4～2011. 3）の三人の先生方にお世話になりました。

私の人生で例えて見ると、やんちゃな？ 青年期を小林一輔先生、少し大人になった？ 壮年期を魚本健人先生、我儘な？ 熟年期を加藤佳孝先生の指導のもと育てられたと思っております。また、言葉に言い表せないくらい感謝の気持ちで一杯です。

42 年間の私の足どりを辿ってみますと、1969 から 1976 年代は小林一輔先生指導のもと主にレジンコンクリートの研究開発（その一部が私の卒業論文にもなっている）を行いました。

1977 から 1987 年代は小林一輔先生、魚本健人先生指導のもと、網繊維補強コンクリートの研究開発、エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する研究開発、新しいコンクリートの製造管理システムに関する研究、ショットブラストを利用したコンクリート打継ぎ工法に関する研究を主に行いました。特に、網繊維補強コンクリートの研究開発、エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する研究開発では、『網繊維補強コンクリート設計施工指針』（案）、『エポキシ塗装鉄筋の試験指針』（案）が、日本コンクリート工学協会で作成されました。これらの指針はコンクリートの研究分野だけでなく実構造物にも適用され貢献する事が出来たのではないかと自負しております。

1988 から 1997 年代はプレストレストコンクリート用 F R P 緊張材の研究開発を主に行いました。この研究開発では、F R P 材の引張特性を十分に発揮できるような緊張・定着装置の開発が最優先課題で、F R P 緊張材の緊張・定着装置開発からスタートしました。

緊張・定着装置開発は小林研究室と試作工場の古屋助手との共同で開発を行い、数年の歳月を駆けて開発し特許申請も行われました。その後研究開発は順調に進みその結果、土木学会より吉田研究奨励金を授与されました。

1997 から 2001 年代は『高品質吹付けコンクリートの開発』を目的とした共同研究で民間 17 社と 5 カ年計画で行われました。この共同研究開発では実験責任者となり最初の 4 年間は千葉実験所で実験を行い、最終 5 年目では実際のトンネルで現場実験を行いました。

実験は年 2 回のペースで行われ、一回の実験期間は約 2 カ月間で毎日 30~40 名からなるスタッフ数で、初心者の方にとってそれを取りまとめるのは大変な苦勞でした。優秀なる研究員と民間各社の皆様の協力のおかげで怪我もせず無事 5 年間実験をやり遂げる事ができました。その結果、『吹付けコンクリートの高品質化技術の開発』と題し日本コンクリート工学協会より日本コンクリート工学協会賞（技術賞）を授賞する事ができました。

最後になりましたが 2007 から 2011 年は加藤佳孝先生指導のもと、主にひび割れがコンクリート構造物の劣化（中性化）に及ぼす影響（代表：西村次男、科学研究費補助金基盤研究 C）を実験的に把握するとともに、得られた結果より維持管理の活用方法を提示することを目的とした研究を行いました。

研究室メンバーは少数でしたが、他の研究室とは異なりメンバー全員が一丸となって研究開発に取り組めと思っています。

以上、3 人の先生方にお世話になりながら、42 年間研究開発の一端に携われてきたことを誇りと思っています。

六本木時代では、夕方 5 時過ぎになると魚本先生から飲み会のお誘いが必ずあり、週 2~3 回のペースで飲み会が行われました。

飲み会の会場は床版実験棟の二階がサロンとなり、人との繋がり、人を大切にする心、研究の楽しさまた厳しさ等飲み会を通じて教わりました。飲み会は研究員・院生学生を含めてワイワイ、ガヤガヤといった自由活達な雰囲気で大変な飲み会となり、そのまま泊まり翌日の朝は青山墓地前のデニーズで朝食が定番となっていたことが懐かしく思われます。

また、魚本先生から飲み会の大切さを教わり先生が退官された後も、駒場キャンパスでも週一回西村研究室？による盛大な飲み会を催し、学生自ら酒のつまみを料理し深夜まで和気あいあいと楽しく酒を酌み交わし研究の悩みや学生生活の悩み等が解消されたものと思われます。

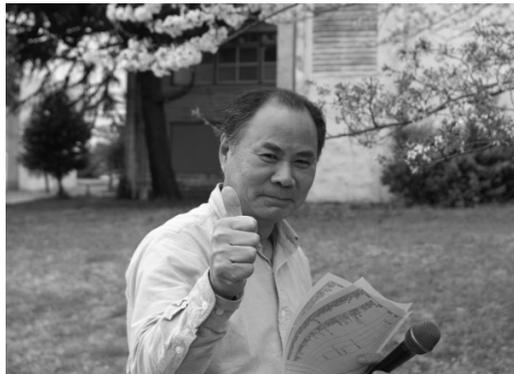
以上、私が 42 年間生研にお世話になってから主に従事した課題であります。小林一輔先生からは研究の厳しさや仕事の厳しさを教わり、魚本健人先生からは自由な研究姿勢の下で人間関係の大切さを学び、加藤佳孝先生からは魚本先生が退官された後、年配の私を快く研究室に受け入れてくれた優しさを学びました。

この間 3 研究室から巣立っていった研究員は約 40 名、修士ならびに博士課程約 66 名、外国人留学生 17 名、他大学卒論生（法政大学、千葉工業大学、日本大学、関東学院大学、東海大学、芝浦工業大学）約 150 名、研究室秘書 22 名、合わせて約 300 名弱の人たちと出会い、人生の中で貴重な体験を得る事ができた事に感謝しております。特に生活・文化の違う外国人留学生との生活は今でも心の奥深く印象に残っています。

定年退職を迎えるにあたり一言。

今、大学は独立行政法人になって様変わりしようとしています。総長は将来の大学像を提唱する、東京大学アクション・プランを掲げ「時代の先頭に立つ大学あるいは世界の知の頂点を目指して」を基に、大学改革を推し進めようとしています。世界のトップを目指して大学改革をすることは非常に素晴らしい事だし推し進めて頂きたいと思います。その為には大学で働く教職員が将来働きがいのある、あるいは働く意欲を喚起できる魅力ある大学にすることが重要ではないでしょうか。

現在、教職員に対して進められている自己評価の見直しや勤務形態の見直し等に見られるように、教職員の合意形成が得られないまま大学改革が独り歩きしているように見えます。将来、東大が世界一を目指すために、教職員が一致団結出来るようもう一度振り返り足元をしっかりと固め上で改革して行く事が大切だと思います。



2010 年度加藤(佳)研究室の集合写真
Katoyosh Laboratory 2010-2011 Group Photo



加藤研究室の年表

| | 2002年度 | | 2003年度 | | 2004年度 | | 2005年度 | | 2006年度 | | 2007年度 | | 2008年度 | | 2009年度 | | 2010年度 | |
|----------------------|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|
| | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 | 夏 | 冬 |
| 加藤 佳孝 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 西村 次男 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 早川 健司 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pakawat SANCHAROEN | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Michael HENRY | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ominda NANAYAKKARA | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 小根澤 淳志 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Djanybek JUMABAEVICH | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 竹下 直樹 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 藤野 学 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鈴木 僚 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 山崎 啓司 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hung Viet VU | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鈴木 将充 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 森本 慎吾 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| German PARDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 水上 翔太 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 辻岡 昌浩 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 杉井 良平 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 宅森 由理 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 建部 麻理沙 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 金橋 二功 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 永森 寛明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 奈良 徹 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 関 臨 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 小松 直人 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 藤田 哲朗 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 菊池 厚 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 山崎 孝史 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 平田 涉 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 小林 良輔 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 寺川 豊 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 山下 大道 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 村上 拓 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 斎藤 宗一郎 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 小嶋 洋範 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 樺山 弘基 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 川崎 あきな | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 萩原 和也 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 槇島 修 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 石関 嘉一 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 恒国 光義 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 石川 なみ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 牧野 詩織 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 河崎 薫 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Thesis Ph.D.

論文博士

加藤(佳)研究室
研究活動レポート

Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

コンクリート構造物の耐久性を考慮したポリマーセメント系断面修復材の 選定システム

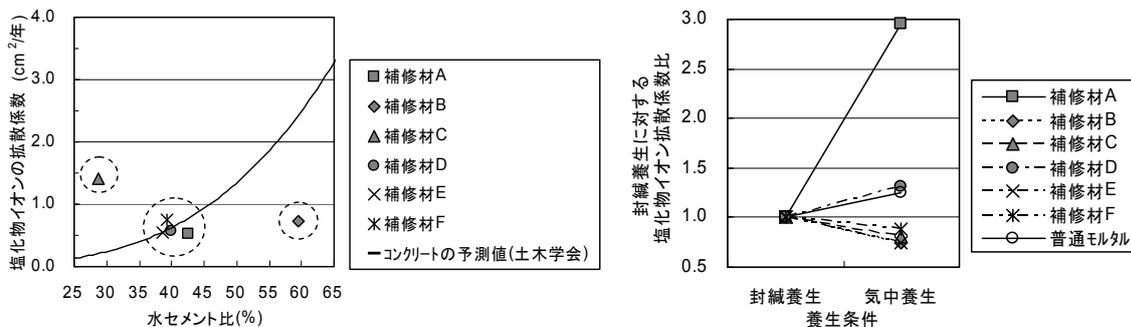
コンクリート構造物の技術は、効率的な製造・施工への取り組みから、品質の安定化への取り組みを経て耐久的なコンクリートを構築するための設計手法が確立し、現在では、信頼性の高いコンクリート構造物が構築出来るようになってきている。しかし、このような耐久性を考慮した設計・施工技術が確立する以前に構築されたコンクリート構造物は、劣化や損傷が顕在化し補修や補強が行われる例が増加している。また、補修した後に再び劣化が生じている事例も見られ、長期的に構造物の性能が保持できる信頼性の高い補修・補強方法が望まれている。高度経済成長期に建設された多くのコンクリート構造物が近い将来何らかの補修を必要とされることが予想されており、劣化状態に応じた効率的かつ経済的な補修工法を選定することも望まれている。

コンクリート構造物に損傷、劣化が生じた場合、損傷部分の除去と断面を回復させる断面修復工法が最も代表的な補修方法である。このような断面修復工法は、様々な劣化原因に対応可能であることから広く適用されている。断面修復工法に用いられる断面修復材は、設計・施工者が市販の断面修復材で表示されるコンクリートとの一体性に関する性能（付着強さ、曲げ強さ、圧縮強度等）や、施工性（厚塗り性、硬化時間等）に関する性能を基に材料を選定して使用されている。なお、市販の断面修復材には、補修の対象とする構造物のコンクリートを上回る圧縮強度が求められるため、コンクリート構造物の耐久性に関わる断面修復材の性能もコンクリートと同等以上であると考えられてきた。そのため、このような断面修復材を用いればコンクリート構造物の耐久性に支障はないものと考えられていた。ただし、このような考えは、コンクリート構造物の劣化現象が明らかになる以前の考え方であるため、補修後にコンクリート中に残存した劣化因子や、断面修復材を通して劣化因子が侵入することによって鉄筋が腐食し、構造物の劣化が再び生じる結果となった。そこで、補修されたコンクリート構造物の劣化因子の侵入に関する性能（以下、物質遮断性能と呼ぶ）が再劣化を防ぐ重要な性能であることが認識され、物質遮断性能の高い表面被覆材が適用されるようになった。このような背景から、断面修復工法には、物質遮断性能の表示がされないまま多くの構造物の補修に適用され、結果として表面被覆材と併用することが基本的な補修方法となっている。断面修復材には一定の物質遮断性能を有することが推察され、構造物のおかれた劣化環境によっては、表面被覆材と併用することなくコンクリート構造物の耐久性を確保することが可能な場合も多いと考えられる。しかし、断面修復材の物質遮断性能が示されていないため、コンクリート構造物の耐久性を考慮した断面修復材の選定ができないのが現状であり、材料の性能を十分に活用した補修がなされていないものと考えられる。

本研究では、コンクリート構造物の劣化機構として中性化および塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食を対象とした。この場合、把握すべき断面修復材の特性は、中性化の進行（中性化速度係数）および塩化物イオンの侵入（塩化物イオン拡散係数）である。また、断面修復材として各種の材料が提案されているが、コンクリートとの一体性や施工性の信頼性が高く、最も多く

使用されているポリマーセメント系断面修復材（以下、ポリマーセメントモルタルと呼ぶ）を評価の対象とした。ポリマーセメントモルタルを用いた構造物の耐久性能照査を実現するために、ポリマーセメントモルタルの基本性能およびポリマー効果の検討と、実際の製造・施工で想定される品質変動の検討を行った。これらの検討結果から、コンクリート構造物の耐久性を考慮したポリマーセメントモルタルの選定システムを提案することを目的とした。

前述したように、これまでポリマーセメントモルタルの物質遮断性能が明らかにされた例は少ないため、まず始めに、市販のポリマーセメントモルタルの基本性能を把握することにした。市販のポリマーセメントモルタルを標準的な単位水量で練混ぜ、左官工法に準じた打込み方法によって作製した供試体を、20℃の封緘条件で養生する方法を基本的な試験条件とした。この試験条件によって評価された市販のポリマーセメントモルタルは、一般的なコンクリートに比べて高い物質遮断性能を持つ材料であることが確認された。なお、実験の結果から、ポリマーセメントモルタルの物質遮断性能は、水セメント比だけでなくポリマーの影響が大きいことが推察された。このため、ポリマーセメントモルタルの物質遮断性能の特徴を把握するためには、ポリマーの効果を評価する必要があるものと考えた。一般的にポリマーを添加したモルタルは、ポリマーのフィルム化によって物質遮断性能が向上することが知られており、このフィルム化は乾燥によって形成されるものである。すなわち、ポリマーの効果を推定するためには、フィルム化の状態の違いが物質遮断性能、細孔容積に及ぼす影響を把握する必要がある。これを実験的に実現するために、湿潤と乾燥の養生条件の違いを実験要因として設定した。この結果、一般的なセメント系材料では見られないような、湿潤よりも乾燥の養生条件で物質遮断性能が向上する材料が認められ、物質遮断性能に影響するポリマーの効果を評価することができた。さらに、湿潤と乾燥の養生条件で総細孔容積の差異が少ない材料は、ポリマーフィルムによる乾燥を抑制する養生効果があることや、物質遮断性能が空隙構造の影響を受けない材料は、ポリマーフィルムによる物質の侵入を抑制する物質侵入抑制効果があるなど、主要なポリマーの働きを推察できることがわかった。



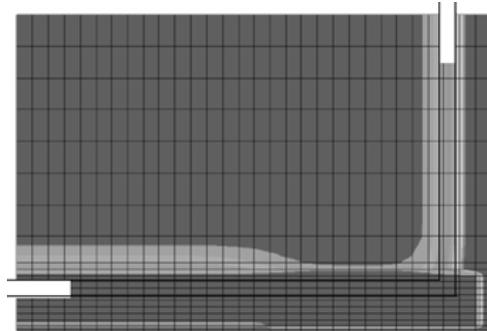
配合推定による水セメント比と換算した塩化物イオン拡散係数の関係
・封緘養生に対する気中養生の塩化物イオン拡散係数比

ポリマーセメントモルタルによって補修された実際のコンクリート構造物の耐久性を考察するためには、材料の基本性能のみでは十分ではなく、実際の製造・施工状況を想定した検討が必要不可欠である。そこで、ポリマーセメントモルタルの製造、施工、養生の過程における物質遮断性能の変動要因を検討した。製造の段階では、ポリマーセメントモルタルがプレミックス材と水を混合する材料であるため、施工可能なワーカビリティを確保するために単位水量が調整されることになる。このことから、施工可能なワーカビリティが得られる範囲の単位水量の変化が物質遮断性能に与える影響を評価すべきと考えた。また施工の段階では、ポリマー

セメントモルタルは、左官工法と吹付け工法のいずれかによって施工されるため、施工方法の差異によって充填状態に差異が生じている可能性が考えられた。この充填状態の差異は、結果として空気量の変化をもたらすため、施工方法の差異による空気量の変化が物質遮断性能へ及ぼす影響を評価すべきであると考えた。また、断面修復工法は、型枠を用いない施工方法であるため、施工直後から乾燥を受けやすい。このような条件では、養生条件の差異が物質遮断性能に与える影響が大きいと考え、その影響を評価すべきと考えた。以上の評価を行った結果、製造、施工、養生の段階で生じる条件の差異が物質遮断性能に与える影響を把握することができた。また、この影響の程度を施工条件に応じた補正係数として設定することによって、基本性能から施工条件の差異に応じた物質遮断性能を予測することが可能となった。この予測された物質遮断性能を以下、予測値と呼ぶ。なお、評価したポリマーセメントモルタルの物質遮断性能の予測値は、実際の劣化環境に適用されたポリマーセメントモルタルの劣化因子の侵入を調査した既往の報告と概ね一致していることを確認している。

次に、実構造物に適用された断面修復材の物質遮断性能は、製造や施工の過程で材料構成のばらつきに伴う変動が生じるものと考えられる。ただし、ポリマーセメントモルタルはプレミックス材として流通しているため、材料の品質は安定していると考えられる。そのため、物質遮断性能の変動要因は、製造時の単位水量の変動と空気量の不均一な分布状態に限定されるものと考えた。単位水量の変動については、施工可能なワーカビリティの範囲で変化する物質遮断性能の影響を評価しているため、空気量の変動に伴う物質遮断性能の変動を評価すれば良いこととなる。そこで、ポリマーセメントモルタルの空気量の変動を密度試験から予測し、空気量と物質遮断性能の関係を評価することによって、ポリマーセメントモルタルの物質遮断性能の変動を推定できるものと考えた。この方法によってポリマーセメントモルタルの密度分布の測定から物質遮断性能の変動が予測でき、要求性能を下回る確率を一定の割合以下とするための物質遮断性能の割増係数が設定できる。この物質遮断性能の割増係数を以下、安全係数と呼ぶ。なお、評価したポリマーセメントモルタルの安全係数については、土木学会で示されている一般的なコンクリートの物質遮断性能の安全係数として想定される範囲と同様の範囲にあり、概ね妥当な値が得られたことを確認している。以上から、本研究で提案した実構造物に適用されるポリマーセメントモルタルの物質遮断性能の予測手法は、概ね妥当な方法であるといえる。断面修復工法は、構造物の劣化状況と劣化環境に応じて劣化・損傷部を対象とした部分補修か劣化・損傷部だけでなく劣化因子の除去を含む全面補修のいずれかを選択することとなる。このような断面修復工法の適用範囲の設定には、既設コンクリートに侵入した劣化因子による将来の劣化予測を基に、劣化・損傷部以外の部位で供用期間内に劣化を生じることがないか、劣化を生じるとすれば劣化が生じる時点で断面修復工法を適用することが効率的かつ経済的であるかを考慮しなければならない。そこで、コンクリート構造物の劣化状況および劣化の進行予測から断面修復工法の適用範囲の設定と断面修復材を選定する方法を提案した。なお、劣化因子の除去を含む全面補修では、断面修復材の適用範囲に応じてかぶり部に断面修復材だけが存在する場合と断面修復材とコンクリートが存在する場合がある。断面修復材だけが存在する場合は、土木学会のコンクリート標準示方書によって示される劣化因子の侵入の予測式を用いることができる。ただし、コンクリートと断面修復材のように二種類の材料が存在する場合の予測式は示されていないため、既往の研究において提案されている予測式を適用することにした。これにより、いずれの条件においても劣化因子の侵入予測が可能となり、要求される物質遮断性能を算出することが出来た。ここで得られた要求される物質遮断性能を以下、特性値と呼ぶ。以上の評価によって、ポリマーセメントモルタルの物質遮断性能の予測値および安全係数が明示でき、劣化因子の侵入予測を基にした物質遮断性能の特性値を満足する材料を選定すること

が可能となった。このことから、補修したコンクリート構造物の耐久性も、土木学会コンクリート標準示方書に示される耐久性照査と同じ枠組みで照査可能であると考えられる。



材齢 22 年後（1 回目の補修直後）

吹付けの状況・解析結果

本研究では、ポリマーセメント系断面修復材の初期性能としての物質遮断性能を実験的に評価することによって、構造物の耐久性を確保するための材料選定方法を提案した。なお、断面修復工法を適用したコンクリート構造物の長期間の性能を保証するためには、断面修復材自体の劣化によって低下する物質遮断性能の影響、およびコンクリートとの一体化の持続性なども解明すべき課題と考える。

吹付けコンクリートのリバウンドに関する研究

A study on shotcrete rebound

ここ数年大断面トンネルや、吹付けコンクリートで永久覆工とするシングルシェルライニングの導入を目的として、新しい急結剤や施工機械の開発、各種混和材の添加やコンクリート製造方法の研究開発が行われるようになった。しかしながらその品質やメカニズムを詳細に検討した研究報告は少なく、吹付けコンクリートの理論的な解明を行わずに新規材料や施工方法を導入している。これは、吹付けコンクリートの施工を主に、経験的要素に頼ることで解決してきたことが原因となっている。今後の材料あるいは機械開発のためには、従来施工されている吹付けコンクリートに、材料および吹付けシステムから研究的アプローチを加えて特性を明らかにし、これまで経験に頼ってきた要素を理論的に体系化することが重要な視点となる。一般に、吹付けコンクリートの施工性は、配合条件あるいは吹付けの空気流量、吹付け距離および吐出量といった、各種吹付け条件に大きく左右されるため、実施工における品質の評価が難しい。特に、コンクリートが吹付け面に付着できずに脱落してしまう現象であるリバウンドの発生原因は、配合条件や施工条件等の多くの要因が関係している。しかし、施工現場は工期に追われ実施工を優先しており、また、実験室レベルで吹付けコンクリートの実験を行うのは困難なため、研究的アプローチからの解明は充分に行われていない。そのため、現状では1,000mのトンネルで、吹付けコンクリートは4,000m³から5,000m³程度使用され、リバウンド率が30%の場合、1,200m³から1,500m³のリバウンドが発生することとなり、岩ズリと共に廃棄されている。リバウンドが大量に発生することにより、天然資源の使用量の増大、トンネルから発生する岩ズリとの分離や処分場選定等の環境面からの問題が起こっている。これらの問題により、建設コストは増大し、経済状況が厳しい国や地方公共団体の大きな負担となっている。これらの状況を改善するためにもリバウンドを低減し、環境負荷およびコストを低減することが建設事業に関わる研究者の責務であると考えられる。

吹付けコンクリートの品質として、重要である圧縮強度はリバウンドの大小の影響を受けないことがわかっている。また、吹付けコンクリートの設計基準強度は通常18N/mm²であり、単位セメント量は360kg/m³と、通常的设计基準強度18N/mm²の打ち込みコンクリートと比較して、100kg/m³程度多い。これは、吹付けコンクリートの施工によるばらつきを考慮した結果である。よって、現行の標準的な配合では、リバウンドが発生し品質がばらついても所定の圧縮強度を確保できると考えられるため、圧縮強度に関する検討は今回の研究から除外した。さらに、耐久性の観点から検討をすると、通常のトンネルは吹付けコンクリートの施工を行った後、2次覆工のコンクリートによって全面を覆われてしまう。よって、現行のトンネル施工体系の基で、

吹付けコンクリートの耐久性を検討する必要はないと考えられている。以上より、現行の基準において、リバウンド発生メカニズムを解明し、リバウンドを低減することが、吹付けコンクリートの研究において、最も重要であるとする。

吹付けコンクリートのリバウンド発生は、既往の研究から配合条件と施工条件に起因していると言われている。特に、配合条件ではコンクリートに混和材を添加することにより、コンクリート中のモルタルの粘性が増加し付着強度が増加するため、リバウンドが低減するとされている。しかし、粘性が増加したコンクリートを吹付け圧送した場合、配管内の圧力が上昇し、閉塞気味になり、吹付けコンクリートの吹付け力が小さくなる。従って、リバウンドの低減は、粘性が増加し付着強度が増加したためだけではなく、粘性の増加によって配管内の圧力が上昇し、施工条件が変化したためであると考えた。よって、配合条件を変化させて、吹付け実験を行い、配管内とリバウンドにどのような影響を及ぼすか検討した。

また、施工条件に起因するリバウンドの発生原因については、ノズルと吹付け面の距離（吹付け距離）が大きく影響しているとされている。しかし、これらのメカニズムを解明した研究はない。さらに、吹付けコンクリートは、コンクリートを圧縮空気で搬送しているにもかかわらず、搬送をしている空気流量とリバウンドの関係について、評価している研究がない。そこで、吹付け距離と配管内の空気流量を測定することにより、吹付けコンクリートの施工性とリバウンドの関係を評価できると考え検討した。



吹付けの様子・高速度カメラによる撮影

先ず、配合条件を評価する目的で、コンクリートに混和材を置換し、吹付け実験を実施し、圧送性状およびリバウンド発生原因について検討した。その結果、コンクリートに混和材を置換することによりモルタルの組成が変化し、管内圧力と空気流量に変化が生じることが明らかとなった。また、空気流量が増加するとリバウンド率も増加する傾向が認められた。よって、混和材を置換することにより、リバウンドを抑制する方向に吹付けコンクリートの圧送性状を導いていることが明らかとなった。混和材の置換による、管内圧力の変動および空気流量の低下のメカニズムについては、コンクリート中のモルタルの塑性粘度が影響していると考え、コンクリート中のモルタルの塑性粘度を測定した。その結果、塑性粘度が上昇すると管内圧力が大きくなった。また、それに伴い空気流量が低下し、リバウンド率も低下することが判った。こ

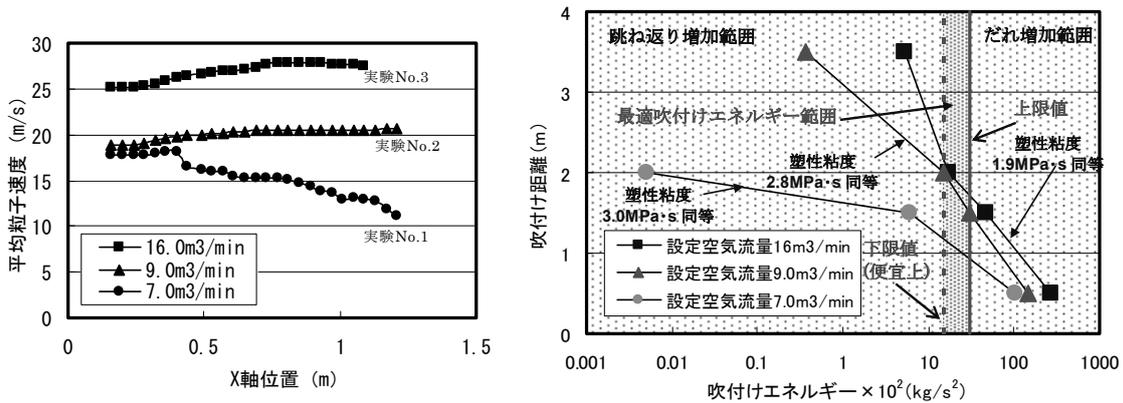
れによって、吹付け時の管内圧力と塑性粘度には相関があることが解明でき、塑性粘度を測定することにより、吹付けコンクリートを圧送する空気流量を推定することが可能となった。しかし、塑性粘度を大きくしすぎると、リバウンドは低減するが、圧送性状が著しく低下してしまう。既往の研究により、空気流量が $7.0\text{m}^3/\text{min}$ 程度以上である場合、脈動が無く安定的な吹付けが行えるとしている。よって、 $7.0\text{m}^3/\text{min}$ 程度以上の空気流量を確保するためには、吹付けコンクリートの塑性粘度は $3.0\text{MPa}\cdot\text{s}$ 未満にする必要があることが明らかとなった。

次に、施工条件の評価をする目的で、ノズルと吹付け面の距離（吹付け距離）と、コンクリートを圧送する空気流量を変化させ、リバウンド発生原因を検討した。吹付け距離は 0.5m 、 1.5m 、 2.0m 、 3.5m の 4 水準とした。コンクリートを圧送する空気流量は、 $7.0\text{m}^3/\text{min}$ 、 $9.0\text{m}^3/\text{min}$ 、 $16.0\text{m}^3/\text{min}$ の 3 水準とした。また、リバウンドの発生原因を特定する目的で、リバウンドを 2 種類に分別して採取した。リバウンドの分別は、ノズルから噴出したコンクリートが吹付け面に付着した後、後から吹きつけられるコンクリートに押し出される「だれによるリバウンド率」と吹付け面から跳ね返ったものもしくは吹付け面に到達する前に脱落した「跳ね返りによるリバウンド率」とした。吹付け距離が 0.5m の時、リバウンド率は最大となり、吹付け距離 1.5m の時、リバウンド率は最小となった。吹付け距離 1.5m 以降は、距離の増加とともにリバウンド量が増加した。リバウンド率の内訳として、吹付け距離 0.5m のとき、だれによるリバウンド率が 93% を占めるのに対して、吹付け距離 3.5m の時、跳ね返りによるリバウンド率が 70% を占める結果となった。これらの原因として、ノズルから噴流される吹付けコンクリートの噴流エネルギーが大きく影響していると考え、吹付けコンクリートの速度を測定することとした。

吹付けコンクリートの速度を計測した結果、空気流量の増加にともない、コンクリートの平均粒子速度が増加することが明らかになった。また、ノズルから噴流する際、コンクリートはほぼ円錐状に拡散していることが確認できた。つまり、吹付け距離が増加すると吹付け面積が増加することとなる。そのため、距離に応じて吹付け面に作用する仕事量は変化すると考えた。そこで、リバウンドに対する空気流量と吹付け距離の影響を検討するためには、吹付け面におけるコンクリートの平均粒子速度と拡散を考慮した上で、単位面積あたりの噴流エネルギー（吹付けエネルギー）の検討をする必要があると考えた。吹付けエネルギーを算出した結果、吹付け距離 0.5m と吹付け距離 3.5m では、吹付け距離 0.5m の方が、吹付けエネルギーが 400 倍程度も大きくなっている。そこで、吹付けエネルギーとリバウンドの発生状態を比較した。その結果、吹付けエネルギーが大きい場合、だれによるリバウンドが増加し、吹付けエネルギーが小さい場合、跳ね返りによるリバウンドが増加していることが確認でき、吹付けエネルギーとリバウンドの関係が明らかとなった。空気流量 $9.0\text{m}^3/\text{min}$ の場合、吹付けエネルギーを $15\times 102\text{kg}/\text{s}^2$ 以上、 $30\times 102\text{kg}/\text{s}^2$ 以下の範囲に設定することにより、吹付けコンクリートのリバウンドが最低になることが確認できた。この指標を用いることで、リバウンドを低減できる空気流量と吹付け距離の組み合わせを設定することが可能であることを明らかにした。

これまでに得られた実験結果を検証する目的で、異なる施工機械および材料を用いて、吹付け実験を実施した。まず、吹付け距離 1.5m および空気流量 $9.0\text{m}^3/\text{min}$ の同一条件で、塑性粘度の

違う 2 種類の配合を用いて吹付け実験を行った結果、2 種類ともほぼ、同程度のリバウンド率となった。また、同一配合で、空気流量を 9.0m³/min と 7.0m³/min の条件の下、吹付け実験を行った結果、吹付けエネルギーが 15×10²kg/s² から 30×10²kg/s² の範囲でリバウンド率がほぼ最低となった。さらに、施工中の実トンネルを用いて、空気流量 10.0 m³/min、吹付け距離を 1m、2m、3m に変化させて、吹付け実験を実施した。吹付けエネルギーを推定した結果、吹付け距離 2m の時にリバウンド率が 24%となり、吹付けエネルギーの上限値とほぼ一致した。よって、吹付け距離および空気流量を設定することで、吹付けエネルギーを制御し、リバウンドを低減できることが実証できた。



平均粒子速度と空気流量・吹付け距離とエネルギーの関係

今回の研究により吹付けコンクリートのリバウンドの発生原因は、吹付け距離、モルタルの塑性粘度および空気流量等が主要因であることが明らかとなった。これらの要因を吹付けエネルギーに置き換えることにより、リバウンドを抑制する方法が明確となった。

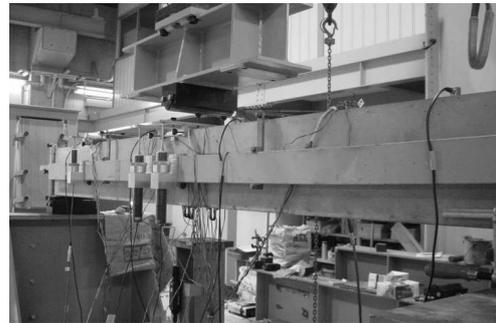
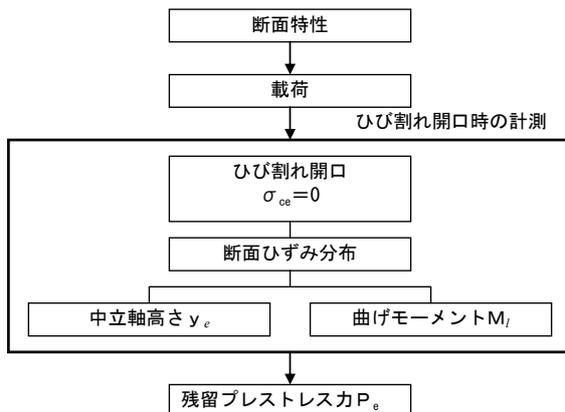
ひび割れ幅とコンクリートのひずみの計測を利用した コンクリートはり部材の健全性評価に関する研究

コンクリートは鋼などの他の建設材料と比較して、コストの優位性や成型の容易さなどから社会基盤などの広範囲の構造物に用いられ、わが国の経済の発展や国民の安全の確保に大きく寄与してきたことは周知の事実である。しかし、近年では、トンネル覆工コンクリートの剥落事故に見られるように、劣化の顕在化が社会的な問題となる場合も見られ、コンクリート構造物の維持管理の重要性が増している。土木構造物の代表的なものの一つであるコンクリート道路橋について見れば、橋長 15m 以上の橋の数は約 71,000 になり、その約半数が 1975 年頃の高度経済成長期後半までに架設されたものであり、既に架設から 35 年以上が経過して老朽化が進行している。また、1995 年の設計荷重の改定前に架設されたコンクリート橋が大半を占めることや、近年の交通量の増大、車両の重量化と相まって、今後、劣化した橋の数と、大規模な補修や架替えのための費用の増大が懸念されている。その一方で、到来する人口減少社会や高齢化社会により、建設投資は抑制される傾向にあることから、今後は、既存構造物の健全性を定量的に評価し、適切な補修や補強といった対策を講じることで延命化を図りながら供用していくことが必要となる。

現状のコンクリート構造物の維持管理における健全性の評価は、主に、点検員の目視による外観上の劣化の状態に基づいた、4 段階程度のグレーディングによる評価が中心であると考えられる。しかし、本研究で取り上げるプレストレストコンクリート（以下、「PC」と略す）はり部材のプレストレス力の低下や、鉄筋コンクリート（以下、「RC」と略す）はり部材の疲労の進行といった劣化については、外観上の状態だけでは判定が難しいことから、これらの健全性を定量的に評価するための技術の開発が急務であると考えられる。

PC はり部材の残存プレストレス力の評価については、鋼材の磁気特性の計測による PC 鋼材の緊張力の評価、コンクリートに設けた切欠きの変形の計測によるコンクリート応力の評価など、残存プレストレス力の絶対値を評価することが可能な技術も確立されている。しかし、前者は PC 鋼材へセンサを取付ける必要があることから、既設の内ケーブル方式への適用が難しく、後者は、切欠き周辺では応力が解放されることから既設構造物の同一断面で繰返して適用することができないといった課題がある。その他の方法として、PC 鋼材が破断するときの弾性波を計測することで、破断に伴うプレストレス力の低下を評価する方法もある。この方法は既設構造物への適用は容易であるが、供用途中からの適用した場合で、破断した PC 鋼材の本数の合計が特定できないと、残存プレストレス力の絶対値を評価することができないことが課題となる。

そこで本研究では、既設 PC はり部材に適用が容易で、残存プレストレス力の絶対値を評価することが可能な手法の開発を目的とした。提案手法は、荷重の増分によって引張縁での圧縮応力がゼロとなったときに曲げひび割れが開口する挙動に着目して残存プレストレス力を推定するものである。曲げひび割れの開口は、示すように、ひび割れ幅と、ひび割れ間のコンクリートのひずみとの関係を計測し、両者の勾配が大きく変化する点として捉える。実構造物と同様にプレストレス力を導入した基準試験体、プレストレス力をその 70%、30%とした 3 体の PC はり試験体を作製し、荷重増分時のひび割れ開口の評価方法や、残存プレストレス力の推定精度について検討を行った。基準試験体と、プレストレス力をその 70%とした試験体については、誤差 10%以下で残留プレストレスを推定することが可能であった（表-1）。さらに、PC はり部材では、曲げひび割れが開口するまでは全断面有効の弾性体に近い挙動を示すことから、残存プレストレス力の推定に必要なひび割れ開口時の曲げモーメントと中立軸高さを、圧縮縁と引張縁のコンクリートのひずみを用いて、平面保持の仮定を利用して推定できることを示した。これは、一般的には煩雑で費用を要することになる実構造物での荷重の計測を行うことなく、残存プレストレス力の推定を可能にする方法を提案したものである。また、ひび割れ幅の計測には π 型変位計、圧縮縁と引張縁のコンクリートのひずみの計測にはひずみゲージを用いており、比較的安価で簡易的な計測であることから、多数の構造物への適用が可能であると考えている。

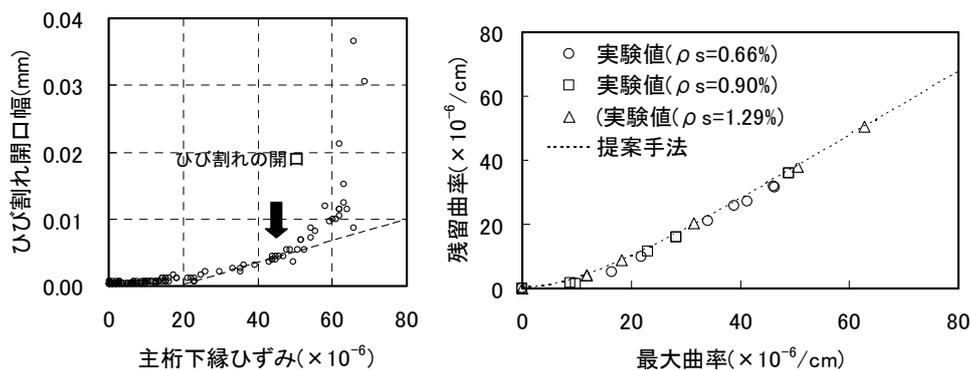


PC はり部材の残存プレストレス力の推定方法・载荷試験の状況

次に、実際の架設から 40 年が経過した PC 道路橋へ本提案手法の適用を図った。対象橋は、延長約 1.1km、50 径間の PC 橋と鋼橋からなる高架橋であり、PC 橋は支間長 20m、片側 2 車線の単純ポステン T 桁橋である。全径間のうちの 6 径間で、1 本の主桁に最大 7 本の曲げひび割れが確認された。室内载荷試験と同様に支間中央付近のひび割れ幅、ひび割れ間のコンクリートのひずみについて、 π 型変位計とひずみゲージを用いて計測を行った。その結果、重量車の走行に対してひび割れが開口する挙動を、室内载荷試験と同様に捉えることができることを確認した。また、検討の結果、対象橋のプレストレス力は設計値の約 80%と推定され、確認された曲げひび割れの要因はプレストレス力の減少によるものであることを推察することができた。本研究では、RC はり部材の疲労の進行評価についても検討を行っている。RC はり部材の疲労進行の評価手法としては、圧縮コンクリートや引張鉄筋といった構成材料の S-N 線式を用いた

線形累積損傷則がある。この方法では、材料の応力振幅や繰返し回数が必要となることから実構造物では連続した計測が必要となり、かつ、引張鉄筋の応力振幅を計測するためにはかぶりコンクリートのはつりを伴うことから、既設構造物に適応する上では労力を要する。また、コンクリートや補強鋼材を対象として、線形破壊力学の破壊靱性パラメータを用いた疲労亀裂進展則に基づく進行の予測方法もあるが、パラメータの妥当性や、コンクリート内部の補強鋼材の亀裂の進展を知るためのはつり作業を必要とする。一方、部材の挙動に基づく疲労進行の評価手法として、圧縮コンクリートのサイクリッククリープと弾性係数の低下、引張域のひび割れと部材の断面 2 次モーメントの低下を用いた評価があるが、応力振幅や繰返し回数を知るための連続した計測が必要となる。また、上述の線形累積損傷則も同様であるが、既設構造物へ適用する場合、構造物の供用開始からの疲労の累積が不明であるといった課題があり、計測開始時点からの疲労の進展の予測にとどまる場合が多いのが現状であると考えられる。

そこで本研究では RC はり部材を対象として、繰返しを受ける初期からの疲労の損傷の進行を、応力振幅や繰返し回数を計測することなく評価できる手法の構築を目的とした。手法の構築に当たって、まず、引張鉄筋比を 0.66~1.29% とした 3 体の RC はり試験体を作製し、室内での疲労試験を行っている。繰返し载荷に対するたわみ増大、ひび割れ性状、圧縮域コンクリートの損傷などを分析している。その結果、従来から用いられている引張域のひび割れと有効断面 2 次モーメントの低下に加えて、本研究では繰返し载荷に伴う圧縮コンクリートの弾塑性挙動を考慮したときの载荷時の最大たわみと残留たわみの関係によって疲労の進行をモデル化した。ただし、既設構造物では部材のたわみを計測することは、計器の設置や費用の面から難しい場合が多い。そこで、本研究では、に示すように、ひび割れ幅から推定した引張鉄筋のひずみと、圧縮縁コンクリートのひずみを用いて平面保持を仮定したときの計測断面の曲率をたわみの代替指標として用いている。さらに、一定の圧縮縁のひずみ（例えば 100 μ ）での曲率と、残留曲率の関係を用いることで、部材に作用する荷重を計測することなく疲労の進行を評価する方法も提案している。



PC 桁のひび割れ幅とひび割れ間のひずみの関係

- ・ 最大曲率と残留曲率の関係に基づく RC はり部材の疲労の進行の評価

次に、最大荷重や載荷速度、断面の異なる繰返し載荷試験結果に対して、上述の提案手法による疲労の進行の評価を行った。その結果、最大荷重や載荷速度が異なる場合であっても、一定の圧縮ひずみに対する曲率と残留曲率との関係の差は小さいと考えられ、断面に作用する荷重や繰返し回数を用いることなく疲労の進行を評価することができる可能性を示した。

ここでの試験体の計測も PC はり部材と同様に、ひび割れ幅は π 型変位計、圧縮縁のひずみはひずみゲージを用いており、比較的安価で多数の構造物への適用が容易な計測方法を目指している。

本研究では、曲げひび割れを有するプレストレストコンクリートおよび鉄筋コンクリートはり部材を対象として、残存プレストレスの推定方法や、疲労の進行の評価方法の構築を図った。PC はり部材の残存プレストレス力の推定では、従来の手法では困難であった既設構造物での絶対値の推定を可能とした。また、RC はり部材の疲労の進行評価では、残留変形と荷重載荷時の最大変形の関係に基づいて、繰返し荷重を受ける初期からの疲労の進行を評価できる可能性を示した。また、いずれの手法も、ひび割れ幅とコンクリート表面のひずみの計測を利用したものであり、 π 型変位計やひずみゲージといった簡易的な計測器具を用いることが可能である。また、提案手法は、断面の曲げモーメントや荷重の計測を行う必要がないことから、同種の劣化が生じた複数の既設構造物への適用が比較的容易で安価な方法であり、定量的な健全性評価に基づく維持管理に資するものであると考えている。今後の課題として、PC はり部材では軸方向鉄筋量の影響、PC および RC はり部材ともに、丸鋼や異形鉄筋といった鋼材種の影響、あるいは鉄筋の腐食の影響を明らかにする必要があると考える。

構造体かぶりコンクリートの品質管理に関する研究

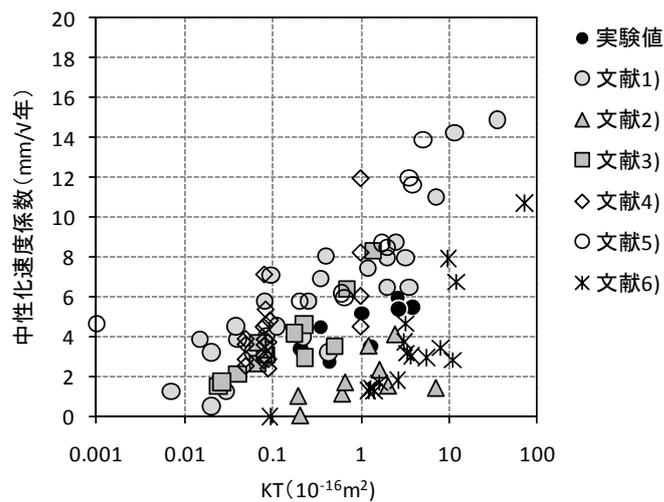
社会基盤整備に十分な投資ができない社会情勢を考えると、今後新設するコンクリート構造物には今まで以上に耐久性が求められ、少なくとも設計で想定した耐用年数を全うできる品質を確保する必要がある。コンクリート構造物の代表的な劣化要因である中性化や塩害は、建設当初は確保されている鉄筋の防食性が空気中の二酸化炭素や塩分の侵入によって失われることが劣化の原因となる。このため、構造物の耐久性は劣化因子の物質移動抵抗性に依存し、鉄筋を防護するかぶりコンクリートの品質の確保が特に重要となる。

コンクリートの物質移動抵抗性は主に水セメント比に支配され、現状の耐久性設計ではコンクリートの水セメント比によって耐久性照査が行われる。一方、構造体かぶりコンクリートの品質は、打込みや締固め、養生等の施工の影響を受けるため、土木学会コンクリート標準示方書では、材料が供試体レベルで有している特性と構造体における品質の差を、安全係数を用いて評価する手法が示されている。しかし、使用材料や部材位置での安全係数の使い分けについては必ずしも明確になっていない。また、現状におけるコンクリートの品質管理は受入れ時のスランプや空気量および供試体による圧縮強度試験等によって行われているが、物質移動抵抗性と圧縮強度は等価でないことが指摘されている。

このような背景から、本研究は、コンクリート構造物の耐久性を確保するためには構造体かぶりコンクリートの物質移動抵抗性に基づいた品質管理を行うことが必要であるとの観点から、物質移動抵抗性の一つである表層透気性に着目し、標準的な材料および施工によって達成される構造体かぶりコンクリートの品質に及ぼす使用材料、構造諸元および施工の影響を明確にすることを目的とした。土木構造物に用いられる一般的なコンクリートを用いた構造体かぶりコンクリートの品質変動に対しては、締固めの程度や打込み、締固めに伴う材料分離、打込み後のブリーディング、養生等の影響が考えられる。本研究ではこれらのうち、締固めやブリーディングも含めた材料分離、またそれらに及ぼす配筋の影響について検討した。

研究においては、まず、構造体かぶりコンクリートの品質を評価する試験方法とそれらの課題を整理した。物質移動抵抗性の評価手法には様々な方法が提案されているが、実構造物においての品質評価を考えると、非破壊試験が望ましいことから、本研究ではダブルチャンバー方式の表層透気試験を用いた。試験結果の評価においては表層透気試験の特性、すなわち測定値に与える要因や表面からの評価深さ、またより直接的な耐久性指標との関係等を理解しておく必要がある。そこで、かぶりコンクリートの品質評価に対する表層透気試験の適用性について既往の研究結果を整理するとともに実験的に検討した。まず、透気試験結果への影響が大きい含

水率について、乾燥期間と表層透気係数の関係を検討し、表層透気係数は含水率の低下に伴って増加し、1年間で約1オーダー程度変化することを示した。このため構造体かぶりコンクリートの表層透気性の評価においては、試験材齢の相違等による含水率の影響を考慮する必要がある、この一つとして、構造体と同条件で養生した小型供試体を用いれば、構造体と同等の含水状態で両者を比較することができると考えた。この際、供試体と構造体では部材寸法が異なり、内部から表面へ移動する水分量の相違が表層透気係数の測定結果に影響すると考えられるため、表層透気係数に及ぼす供試体寸法の影響を検討した。そして、両者の相対比較における部材寸法の影響は、材齢56日程度以降であれば影響が小さいことを示した。次に、表層透気試験で評価しているコンクリート表面からの深さに関する検討を実施し、その深さはコンクリート表面から40mm未満であり、20mm程度までの品質の影響が比較的大きいことを明らかにした。また、表層透気係数とより直接的な耐久性指標である中性化速度係数には相関関係があることを、養生方法を変化させた試験体を対象とした実験、および既往の研究を整理して示した。ただし、それぞれの実験条件下では表層透気係数が大きくなると中性化速度係数は大きくなる関係が確認できるが、測定時期等の影響が大きいことが示された。

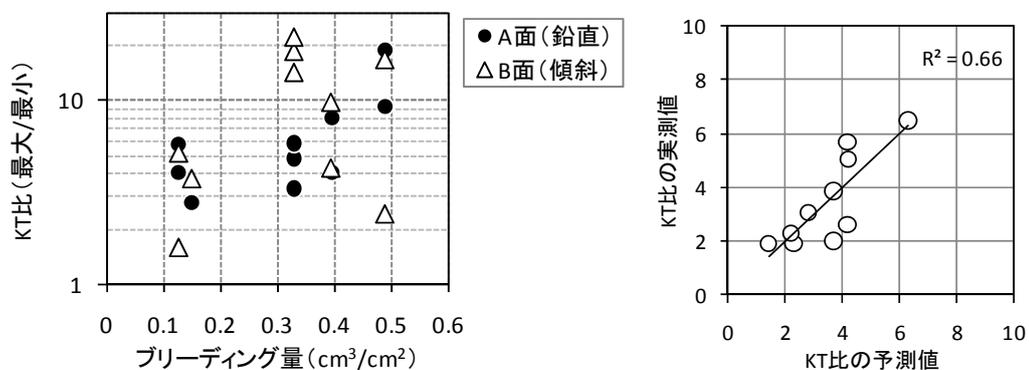


中性化速度係数と透気係数 (KT) の関係

このような表層透気試験の特性を理解した上で、標準的な材料、施工方法によって建造された構造体かぶりコンクリートの品質変動の評価とその影響要因の把握を目的として、実構造物ならびに模擬部材を対象とし、表層透気性を主とした品質評価を行った。その結果、標準的な施工を行ったときの部材内における表層透気係数は、打込みの上層で大きくなること、その変動は小型供試体より大きくなることを定量的に明らかにした。また、表層透気係数の変動原因の一つとしては標準的な締固めを行ったときに散在する残存空気泡が影響していること、また、打込み、締固めにおける粗骨材の分離の影響を示した。ただし、標準的な打込みや締固めが行われた場合、構造体かぶりコンクリートの表層透気性の変動に対してはブリーディング性状の影響が大きく、またブリーディングの影響は配筋の状態によって異なることが示唆された。

そこで、コンクリートのブリーディング性状、また配筋および鉄筋間の通過による粗骨材分離の影響が表層透気性に及ぼす影響を、配筋を有する試験体を用いた室内試験により詳細に検討した。実験では、スランプおよびブリーディング性状を変化させたコンクリートを用い、試験体側面における高さ方向の表層透気性の変化を評価した。この際、表層透気性は締固め程度の影響を受けることから、鉄筋間を通過して充填されるかぶりコンクリートの充填挙動を応答加速度や間隙水圧の測定等により検討し、スランプに対して適度な締固め時間を設定した上で作製した試験体を対象とした。この結果、表層透気係数は、中・下層に比べて上層で大きくなること、高さ方向の変化はコンクリートのブリーディング量で整理可能なことが明らかになった。鉄筋の影響については、鉄筋の通過に伴ってかぶり部の粗骨材量が示方配合より少なくなると、表層透気係数は増加する可能性があることが確認された。ただし、鉄筋と型枠に挟まれたかぶりコンクリートでは、こられの抵抗力によりブリーディングの駆動力となる自重作用が低下することの相互作用等によって高さ方向の表層透気係数の変化、すなわち上層の表層透気係数は無筋の場合より小さくなることが明らかになった。また、再振動締固めによる表層透気性状の改善効果を定量的に示し、再振動が有効な実施時期はスランプ等のコンクリート性状によって異なること、実施時期によっては必ずしも効果的でない場合があることを示した。

さらに、使用骨材等を変化させ、ブリーディングが比較的大きいコンクリートを用い、打重ね間隔の時間や締固め方法を変化させたときの表層透気係数の変動について検討した。そして、先打ち層の上面に析出したブリーディング水の影響を含め、ブリーディング量が大きいコンクリートほど表層透気係数の高さ方向の変化が大きくなることを明らかにした。



ブリーディング量と透気係数 (KT) 比の関係・透気係数比の予測値と実測値の関係

このように、構造体かぶりコンクリートの品質に及ぼす骨材の分離やブリーディングによる変化が定量的に明らかになった。ただし、鉄筋間の通過による粗骨材の分離の影響は鉄筋との相互作用の影響により粗骨材の分離自体が表層透気性に及ぼす影響は不明確であり、また粗骨材の分離は鉄筋間の通過だけでなく、打込み時等においても発生することがある。そこで、粗骨材の分離がコンクリートのブリーディング性状や表層透気性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、材料分離を想定して配合を変化させたコンクリートを対象とし、小型供試体レベルにおける表層透気係数を評価した。この結果、モルタルの構成材料比を一定として単位粗骨材容

積を変化させた場合、コンクリートのブリーディング性状は変化し、この変化は低水セメント比のときは比較的小さく、水セメント比が大きくとセメントによる保水が小さい配合で顕著になることを示した。圧縮強度に対する粗骨材量の変化の影響は比較的小さく、粗骨材量が変化した場合にも、圧縮強度は水セメント比と比較的良好な相関を示した。一方、粗骨材量が増加しブリーディングが大きくなると、表層透気係数は大きくなる傾向にあることが明らかになった。この関係はブリーディング性状の異なるコンクリートにおいても同様であり、同一水セメント比のコンクリートにおいて、ブリーディング性状が異なると表層透気係数は小型供試体レベルにおいても変化することが示された。よって、コンクリートの表層透気性を考える上では水セメント比に加え、ブリーディングを考慮することが合理的と考えられる。

品質管理に関する検討では、前述の検討結果を踏まえ、コンクリート構造物の耐久性をとして中性化を例にとり、コンクリート標準示方書に基づいて設計・施工する場合について、現状考慮されている方策に加え、それぞれの段階で考慮すべき点について示した。コンクリートのブリーディング性状によって構造体かぶりコンクリートの表層透気性が異なるとの見解から、設計、施工段階においてこれを考慮する必要がある、その時の品質管理方法について言及した。すなわち、材料選定時には水セメント比に加え、ブリーディングを考慮する必要がある。また、一般的なブリーディング性状のコンクリートであっても、鉛直部材における打込みの上方となる部位では小型供試体レベルで有する品質より低下し、この低下量は使用するコンクリートのブリーディングによって異なるため、両者の差を考慮する部分安全係数を見込む必要性を示すとともに、ブリーディング量に応じた目安を示した。

以上のように、本研究では表層透気試験を用い、構造体かぶりコンクリートの品質に及ぼす諸要因の影響を定量的に示した。現時点では品質管理方法に関する定性的な記述ではあるが、これらの視点に基づいて品質管理を行うことで構造体かぶりコンクリートの品質向上に寄与できるものと考えられる。

Ph.D. course

博士課程

加藤(佳)研究室
研究活動レポート

Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

Probability based maintenance planning for RC structure deteriorated by salt attack

塩害劣化を受ける RC 構造物の確率論的維持管理計画

Corrosion of reinforcing steel due to salt attack is one of major mechanisms deteriorated RC structure around the world. Due to expansion of corrosion product of reinforcing steel, pressure is generated inside the concrete and covering concrete is under tensile stress. Corrosion crack, spalling, or failure of structure is the results of steel corrosion. In order to ensure safety and serviceability of deteriorated structure, maintenance planning program, which is related to inspect current structural condition, predict future structural condition, and decide necessary action to be performed, has to be conducted. As an increasing number of aged and deteriorated RC structures, maintenance will become the major task which has to be significantly concerned instead of the new construction project in the near future.

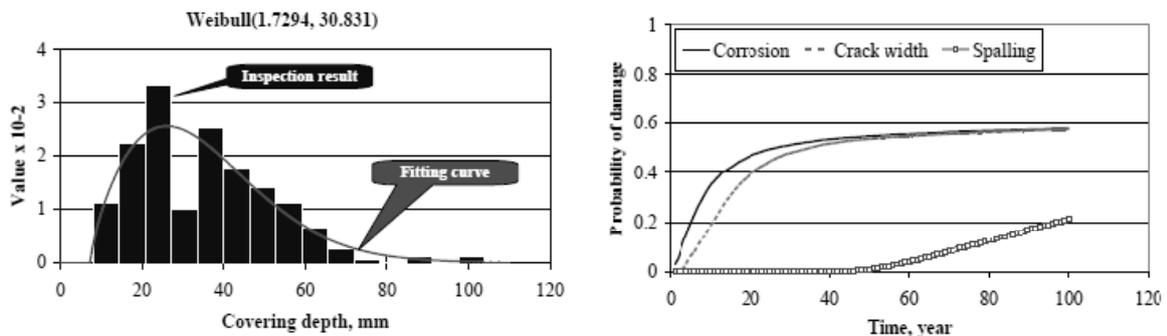
Currently, there are many standard specifications of maintenance for RC structure proposed by various organizations as well as various researchers. Due to variations of structural properties due to workmanship, material properties, or environmental conditions are normally observed in the reality. Most of current maintenance program uses deterministic model to predict future condition of structure and is normally specified safety factor to cover the variations of structural properties. This leads to over-design and high cost of structure than the actual requirement. Some researchers also proposed maintenance program with deterioration prediction model stochastically based on Markov process. The Markov process assumes that deterioration development only depends on the current structural condition and neglects the improvement actions taken in the past. As well as, database of deterioration rate of similar structure and environmental conditions are required. So its application is limited. Therefore, in this study, a probabilistic based deterioration prediction model is proposed. Benefits of both deterministic model of deterioration prediction and stochastic model of variation of structural properties in reality can be achieved by the proposed method.

The main objective of this study is to propose a maintenance planning program based on optimization of life cycle cost that considers actual uncertainties of structural properties, and environmental conditions; considers deterioration mechanisms of structure both before and after being repaired. Variation of deterioration degree and probability of damage can be calculated. As a result, expected repairing cost and failure cost can be estimated. Finally, life cycle cost is determined and maintenance planning is decided based on the intervention that shows the minimum life cycle cost. However, scope of this study is limited to RC structure deteriorated by salt attack.

Firstly, deterioration prediction model for chloride induced steel corrosion of existing RC structure and repaired RC structure are proposed. Various effects such as crack width, macrocell corrosion, and

performance of repairing system are considered to predict the future structural condition along the service life. Chloride diffusion along the crack width, macrocell corrosion due to non uniform chloride distribution, and corrosion crack width propagation are considered in the deterioration prediction model. Surface coating, patching repair, cathodic protection, and its combination are considered as options to repair deteriorated RC structures. For surface coating, durability against chloride penetration and cracking of surface coating are discussed. For patching repair, durability against chloride penetration as well as macrocell corrosion due to different in chloride concentration and material properties are considered.

Inspection program is recommended to determine actual variation of structural performance and environmental conditions. Parameters to be inspected are recommended based on result of sensitivity analysis. The minimum number of sample to be inspected are recommended based on required level of confidence, acceptable level of error, and ratio of target portion to the whole structures. Goodness of fit test is used to determine the most suitable probability density function in order to define the inspection result and use in the calculation.

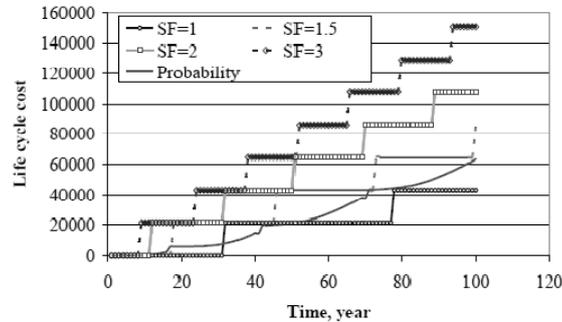


Statistical variation of inspection results and probability of damage due to differing limit states

Monte Carlo simulation is selected to solve the reliability problem. Probabilities of failure of structure due to chloride induced corrosion are determined. Limit states that are considered include corrosion initiation, corrosion crack width, and concrete spalling. Inspection results of actual structure are considered to be utilized as an actual variation of structural properties in the prediction model. Number of evaluation times of Monte Carlo simulation is tested in order to produce reliable and reproducible result. Probability of damage and variation of deterioration degree can be determined annually.

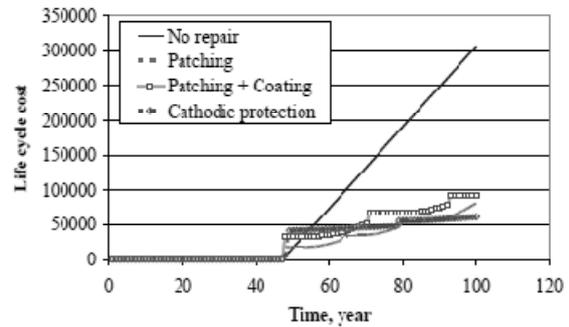
Life cycle cost is used to decide the most suitable maintenance planning. In this study, repairing cost and failure cost are considered as life cycle cost. Repairing is conducted when corrosion crack width reach the limited value. Repairing cost is composed of fixed repairing cost and variable repairing cost. Fixed repairing cost is assumed to be fixed at every time of repairing. Variable repairing cost is assumed to vary with the predicted variation of deterioration degree. History price of repairing cost is used in the calculation. Failure cost is composed of user cost and cost of death. User cost is calculated from time value and user loss time that relating to variation of deterioration degree. Total repairing cost and failure cost are determined throughout the service life of structure with also considering the effect of discount rate. Maintenance methods, schedule of maintenance, cost, and discount rate are considered to affect the result of maintenance planning. The schedule of repairing, method of repairing, expected repairing cost

can be obtained from the result of this study. Both of maintenance planning and budget allocation can be achieved by using the method proposed in this study.



Life cycle cost for safety factor- and probability-based approaches

Finally, examples of application of method proposed in this study to decide maintenance program for the actual RC structures are given. Actual inspection program is conducted and obtained results are used in the prediction. The lowest life cycle cost of scheduled and method of repairing can be decided for each case studies. Different of life cycle cost between different repairing method, and different durability of structure are shown in the result.



Inspection of actual structure in Thailand and prediction of life cycle costs

Formation and evaluation of sustainable concrete based on social perspectives in the Japanese concrete industry

日本のコンクリート産業における社会的視座に基づいた サステナブルコンクリートの評価/形成

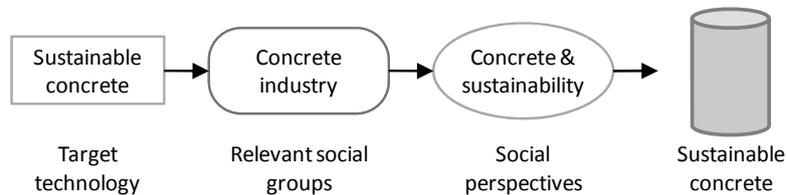
Concrete is the primary material utilized for infrastructure construction. Globally, the usage of concrete has been increasing as developing countries have begun investing in their infrastructure. Further growth and urbanization will increase the demand for infrastructure and thus the usage of concrete will increase. However, this growth and urbanization is also responsible for environmental deterioration. The environment is one aspect of sustainable development, along with society and the economy. These three are not separate entities, but rather a hierarchy exists whereby changes in the environment affect society, and changes in society affect the economy. Sustainable development, therefore, is concerned with how to develop modern societies while reducing the negative impacts felt throughout these systems and allow future societies the same chance at development.

As part of the sustainability movement, the concrete industry has also begun to consider its environmental impact. Concrete's negative impact comes primarily from greenhouse gas emissions, consumption of natural resources, and waste disposal. Approaches to considering sustainable practice in the concrete industry include enhancing durability, utilization of industrial waste, and recycling of construction demolition. Concrete materials form an important part of sustainable practice but, like sustainability itself, it is difficult to determine exactly what constitutes sustainable concrete. There is oftentimes a trade-off between different performance aspects, such as how increasing strength also increases CO₂ emissions. A definition for sustainable concrete which includes both a reference state and balance between evaluation criteria is necessary for the development and implementation of sustainable concretes. Just as concrete construction requires cooperation and interaction between many different groups, so too should the definition of sustainable concrete be developed considering the diversity of perspectives and goals within the concrete industry.

The objectives of this research are to develop a framework which can be used to define and evaluate the sustainability of concrete materials based on the perspectives of the relevant social groups; to investigate the perspectives on sustainable practice and materials in the Japanese concrete industry and the differences between social groups; and to apply these perspectives to the framework to establish a definition and weighted evaluation criteria for sustainable concrete.

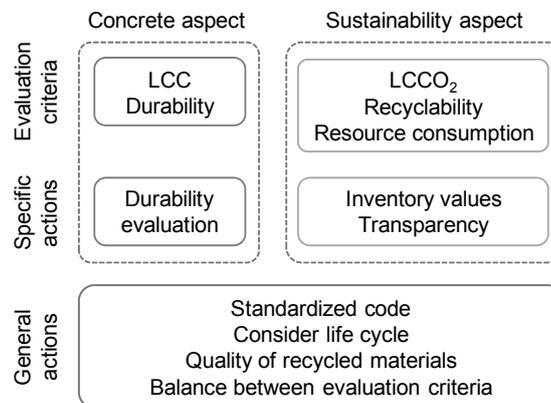
Sociology of technology theory, which considers the technology development process as driven by the negotiation of differing perspectives on the technology, was combined with a technology formation model, which visualizes the formation of technology as the transcription of design information on media, to

produce a framework which could transition from the undefined concept of sustainable concrete to a specific form and balance of criteria. This framework consists of three parts: the identification of relevant social groups, the evaluation of the social groups' perspectives on sustainable concrete, and the integration of the perspectives into the formation model.



Developmental framework for sustainable concrete

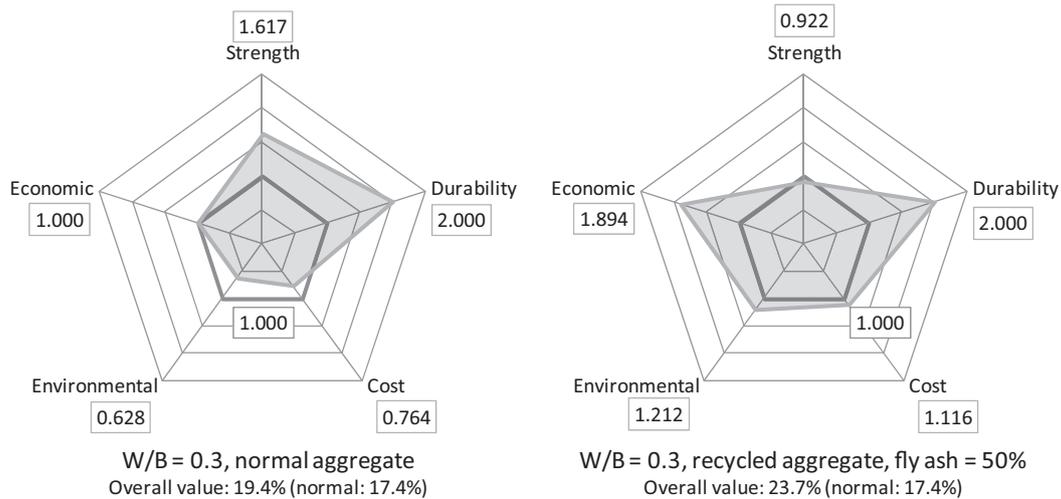
To apply this framework for the Japanese concrete industry, relevant social groups were identified by considering the industry's structure and the relationship between social groups. The perspectives on sustainable materials were investigated using a top-down approach, via interviews with industry researchers, and a bottom-up approach, via surveys across a wide group of concrete industry members. Sustainable concrete practice and materials could be divided into two aspects: concrete performance and sustainability. The most importance was placed on durability, cost, and life cycle cost for concrete performance, and on atmosphere, land, consumption and production, and institutional framework for sustainability, and these were selected as key indicators for defining sustainable concrete. The concrete parameters were given higher importance than the sustainability indicators. Few differences between the social groups were observed; in the cases where conflict occurred, the contractor's viewpoint was selected as most appropriate.



Concept for sustainable concrete based on interview results

To convert the importance factors for the key indicators into knowledge which could be applied to the formation of sustainable concrete, the multi-criteria decision-making tool Analytic Hierarchy Process was applied. Most of the weight was given to the concrete parameters, with cost and life cycle cost carrying the highest weight. These weights don't provide information about the absolute sustainability – only relative sustainability – so general-use concrete was set as the baseline which the concrete industry should aim to surpass. Sustainable concrete could therefore be defined as concrete which exceeds the

performance of general-use concrete, and the evaluation of this performance could be conducted using the weights given to each indicator. An example calculation using this methodology and a simplified set of weights from the social perspectives was conducted using five concretes with different approaches to sustainability. It was found that durability was the key to achieving high sustainable value, and the trade-off between reducing amount of recycled materials and increasing strength nearly balanced out overall. Normalizing these performances by the general-use concrete provided an easy-to-interpret means for understanding the trade-off between different performances.



Visualization of concrete sustainability relative to normal-use concrete

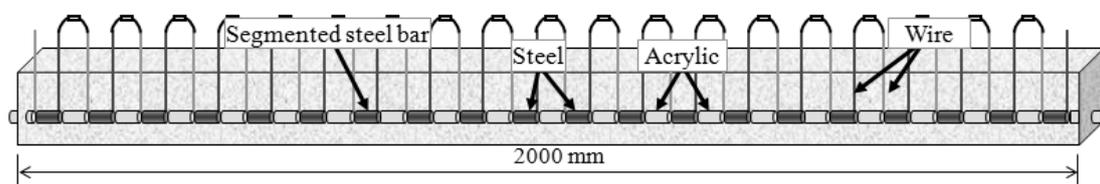
The methodology proposed in this thesis can be used to overcome several barriers to the implementation of sustainable concrete. First, it provides a means for balancing different performance criteria by allowing that balance to be defined by the relevant social groups. In addition, this thesis directly addresses the problem of how to define sustainable concrete by a combination of social investigations, Analytic Hierarchy Process, and the establishment of general-use concrete as the baseline performance. These techniques may be useful to all members of the industry who are concerned with evaluating the sustainability of concrete materials.

Effect of macro-cell corrosion on electrochemical measurements and total corrosion estimate of steel in concrete

コンクリート中のマクロセル腐食が電気化学的測定および鉄筋腐食推測に及ぼす影響

Reinforcement corrosion can be identified by non destructive measurement methods and they generally are half-cell measurements and polarization resistance measurements. The abovementioned electrochemical measurements are used to detect the corrosion degree at a given location. Detected corrosion output does not directly represent their real corrosion process if macro-cell corrosion is generated on the steel bar. Anodic activity of physically separated macro-cell affects to the cathode which may mislead the measurements at the cathodic region; introduced as cathodic polarization.

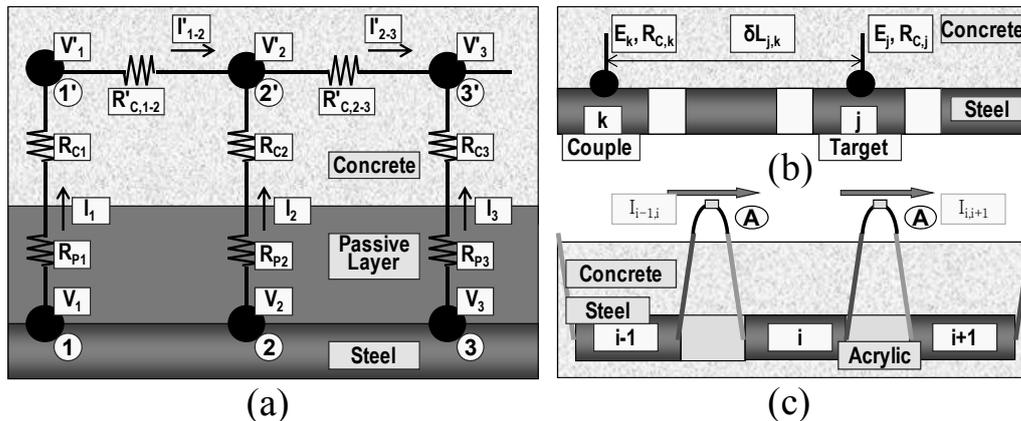
Macro-cell corrosion can experimentally be identified by using a segmented steel bar embedded in concrete. Segmented steel bar was developed to measure the macro-cell current flowing from a give steel element to the adjacent steel element. Thought the segmented steel bar is used, it reflects a continuous normal steel bar when the steel elements are connected to each other.



Segmented steel bar in concrete

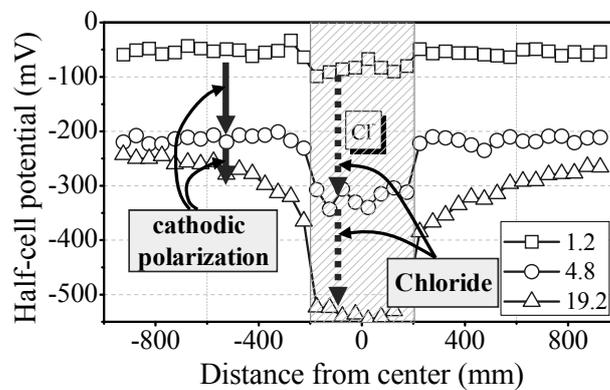
Measured electrochemical parameters when the segmented steel bar at connected stage, can be converted to macro-cell corrosion currents generated at each and every measured location. To perform this, theoretical macro-cell corrosion models are used, including the method of measurement of direct macro-cell currents and they are used to calculate generated macro-cell currents by each element.

The change of half potentials at the region of chloride ion is due to direct effect of chloride ions; however the change in no chloride ion region is due to the effect of cathodic polarization generated by the active corrosion in chloride region. Real rust production at no chloride region can be assumed to be same for different cases; however, electrochemical measurements show that it differs. To obtain actual corrosion process on the steel bar, it is needed to eliminate the effect of cathodic polarization from electrochemical measurements, which is the objective of this research study.



Theoretical macro-cell corrosion models:

(a) electric circuit method, (b) multi-circuit method, and (c) segmented steel bar method



Half-cell potential variation of steel bar

There are several methods to detect reinforcement corrosion or the probability of corrosion. Chloride ion content at steel bar level, moisture content, concrete resistances are used to identify the possibility of corrosion however they are not enough to firmly judge the degree of the ongoing corrosion process. To take the decision about repairing or some other assessment related to corrosion, the magnitude and the approximately correct position of corrosion is necessary. To achieve these, widely used electrochemical measurements where half-cell potential and the polarization resistance data can be obtained. Half-cell potential measurements itself does not provide the corrosion rate but the probability of corrosion. However, the polarization resistance measurements can directly be converted to the corrosion rate based on electrochemical theories.

The identifying corrosion is to know about the corrosion cell formation inside concrete. Rather, not only the corrosion cell but also their anodic and cathodic locations are equally important. The aim of abovementioned electrochemical measurements is to detect the corrosion degree at a given location. However, the corrosion detection may mislead the output if macro-cell cathodic reaction is detected which is not important to amount the rust production or the mass loss of steel. This particular polarization effect even affects the anodic reaction hence to misinterpret the electrochemical measurement.

The polarization effect of by the anodic reaction to the cathodically active area (non corroding area) has been identified. Both major electrochemical measurements; half-cell potential and the polarization resistance is affected by the macro-cell anodic reaction. Therefore an active corrosion process is detected even at the locations with zero amount of chloride ion in concrete. However, as expected, the concrete resistance does not affected by this polarizing effect because the concrete resistance does not directly represent the corrosion process.

Electrochemical measurements; half-cell potential, polarization resistance, and concrete resistance can be combined together using theoretical techniques to calculate the macro-cell corrosion current flow from a defined element to the neighbor element. Specially prepared segmented steel bar is used to measure the macro-cell current flow between elements. Experimentally measured and theoretically calculated macro-cell currents were compared to check the accuracy of each method. Though the tendency proves their compatibility, they are not identical among each method. Techniques are further used to evaluate total corrosion and compared with the measured total corrosion current.

To understand the macro-cell corrosion mechanism and to explain the above results, a detailed analysis of corrosion is necessary. For this aim, polarization curves which can detect more accurate corrosion properties were obtained apart from the usual electrochemical measurements. They were further analyzed to clarify the macro-cell corrosion mechanism, hence to explain the polarization effect on electrochemical measurements. Anodic element is combined with several cathodic elements in the macro-cell corrosion process. Detecting an anodic element represents the availability of cathodic elements. A given anodic element can polarize several cathodic elements; hence the cathodic to anodic ratio on the macro-cell current is important to identify the polarization effect by one anode to several cathodes which is also discussed in this thesis.

Master course

修士課程

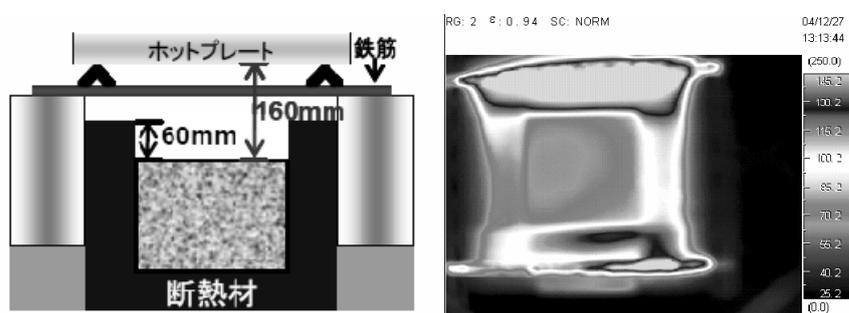
加藤(佳)研究室
研究活動レポート

Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

コンクリートの熱特性を活用した既設建造物の品質評価に関する研究

Evaluating the quality of existing concrete structure based on the heat transfer property of concrete

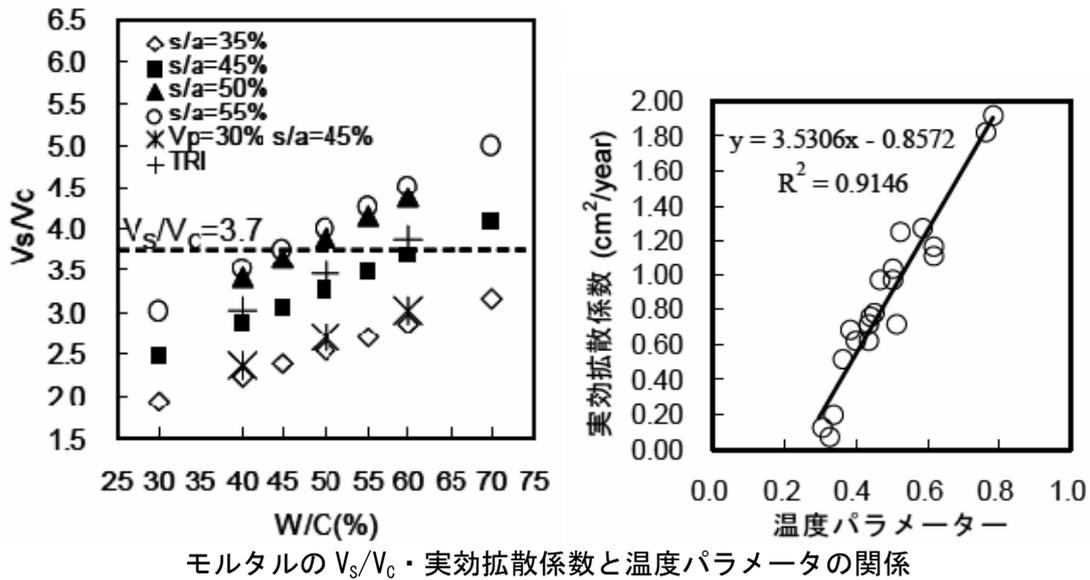
コンクリート建造物の劣化は、そのほとんどが、物質の侵入によって引き起こされる。つまり、コンクリート中の物質移動に対する抵抗性を把握することが、建造物の耐久性を適切に把握するためには必要不可欠となる。これまでコンクリート建造物の非破壊検査は主に、内部欠陥、ひび割れ、鉄筋位置、鉄筋腐食といった建造物の物理的な品質検査を対象として、技術開発がなされてきた。その一方で、コンクリート自体の物質移動抵抗性を評価する検討はほとんど存在しなかった。そのため現状では、コア採取による塩分量の測定結果や電気泳動を利用した拡散係数の算出が主流である。そこで著者らはこれまで、コンクリート中での劣化因子の拡散と熱の拡散が、移動現象のアナロジーにより、数学的に同様に扱えること、また、劣化因子は空隙（液相）を経路として拡散し、熱は固相を拡散することから、コンクリート中の熱の拡散と塩化物イオンの拡散に関連性があると発想し、強制加熱したコンクリートの熱拡散特性と塩化物イオンの拡散現象を実験的に関連づけ、コンクリートの放熱過程における表面温度変化を赤外線サーモグラフィにより収集することで、赤外線法により、既存コンクリート建造物の塩化物イオン拡散係数を定量的に推測する手法の開発を行ってきた 1)。これまでの研究では、限定された範囲内であれば、ある程度の精度で拡散係数を推測することができるが、その精度は必ずしも高くなく、半定量的評価にとどまった。そこで(1)既往の結果に基づいた加熱方法の再検討を行った。(2)さらに適用範囲の検討を行う目的で、普通ポルトランドセメント（以下 OPC）について s/a 、ペースト量を変化させた場合、セメント種類および骨材産地の影響を検討するために早強ポルトランドセメント（以下 HPC）、および産地の異なる骨材を用いた検討を行った。以上のことより熱と塩化物イオンの拡散の関連性の定量的評価を検討した。



実験装置概要・放熱開始直後の赤外線画像

本研究の範囲内では以下の知見が得られた。

- 1) 既往の研究結果よりも少ない熱量（熱流束 $(2.41 \times 10^{-4} \text{ (W/m}^2\text{)})$ 程度）でも塩化物イオン拡散係数の推測が可能である。
- 2) 今後さらなる検討が必要ではあるが、ポルトランドセメントを使用する場合は、その種類や骨材産地の影響は受けない。
- 3) 細骨材—セメント体積比が 3.7 以下の場合には、塩化物イオン実効拡散係数と熱拡散特性を表す温度パラメータとの間には $R^2=0.9157$ の高い相関がある。
- 4) 既存構造物の殆どは、本研究の配合よりも単位水量が大きいため、 $V_s/V_c < 3.7$ であることが考えられる。そのため、本手法は実験室レベルであれば、ポルトランドセメントを使用した殆どのコンクリートに適用できると考えられる。
- 5) 今後は、ひび割れ、内部空隙等を有する供試体を用い、より実構造物に近い条件での実験を検討課題としたい。



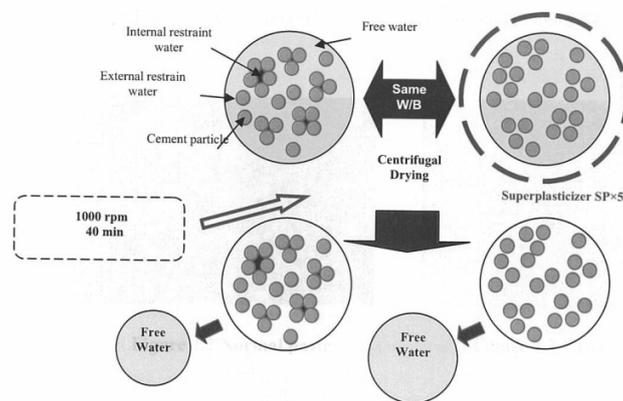
モルタルの V_s/V_c ・実効拡散係数と温度パラメータの関係

Experimental study on flocculation structure of cement composite materials by using no-flocculation system paste

完全分散系ペーストを用いたセメント複合材料の凝集程度に関する実験的検討

A number of researches have been done to improve the efficiency and practical suitability of concrete. The main current achievements are investigations of concrete relating to construction and durability aspects. To deal with the long-term properties it is necessary to know its properties at the fresh state. The rheology provides considerable information about the microstructure of concentrated particulate suspension, and is an important factor to understand the flow behavior of cement paste at the fresh state. The fresh property of the paste influences initial flow behavior and ultimate performance of concrete. The fresh properties are affected by several factors such as water-binder ratio, particle size distribution, dosage of superplasticizer, binder type of powders and replacement ratio.

It is thought that the flocculation structure of cement paste affects the fresh properties of cement paste. Flocculation structure was estimated by centrifugal dehydration test that the material separated by using Centrifugal Separation Machine. When the paste is centrifuged, the free water can be obtained. As for the current research, this free water content is used to evaluate flocculation of the structure. But this free water content depends on the experimental conditions, such as rotation speed and rotation time. To deal with this problem, the author used non-flocculation cement paste, in order to clarify the flocculation structure by using the difference of the measurement result of flocculation cement paste and non-flocculation cement paste (mortar) on fresh property. And then, the state of non-flocculation cement paste was produced by excessively adding the superplasticizer.



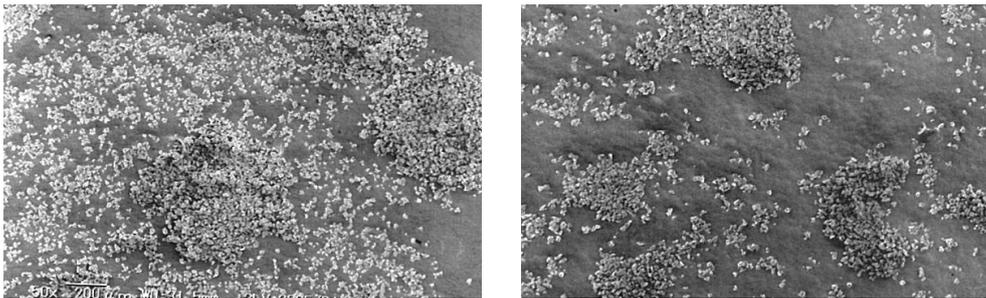
Flocculation and non-flocculation structures

A main objective of this study is to investigate effects of water-binder ratio, particle size distribution, dosage of superplasticizer, binder type of powders, replacement ratio and sand-cement ratio. Other objectives are also to clarify relationship between the above mentioned factors and flow by restrain water.

In experiments, cement paste (mortar) are mixed with OPC and four different types of GGBS, namely BS20, BS40, BS60, and BS80. Different type of replacement ratio which are 0%, 50%, 100%, water-to-binder ratio which are varied from 30%, 40%, 50%. Gradually addition superplasticizer SPx1%, SPx3%, SPx5% (percentages of binders-cement slag) and finally sand-to-cement ratio also varied from 1, 2 and 3.

The details of the evaluation were described separately:

- Degree of flocculation structure is higher when the amount of powder becomes higher.
- The value of restrained water per unit mass of powder decreases with the decrease of particle size. This indicates that the amount of internally restrained water becomes higher with the decrease of grain size.
- Degree of flocculation structure is less when the dosage of SP is increased.
- Degree of flocculation, dosage of SP, and flow can be used to explain the deformation of fresh cement paste (mortar).
- Empirical relations were developed to quantify the degree of flocculations.



Scanning electron microscope (SEM) observation of particle dispersion

From the results in this study, it is evident that the effect of fineness of binder up on the fluidity of cement paste is closely related to early hydration. The authors, pointed out that the fluidity of cement paste containing dosage of SP was closely affected by dispersion on flocculation properties of binder particles, and that the flocculation of cement paste should be treated as a flocculation because the cement paste consisted of particles with different surface potentials. The flocculation of particles took place not only by the difference in surface potential of cement particles but also by the difference of their radius. The radius of particles in binder differs depending on fineness that is specific surface area or particle size distribution. Thus the discussion presented here shows an attempt to obtain a theoretical understanding of the effect above mentioned factors and role of binder fineness on fluidity from a point of view of restraint water.

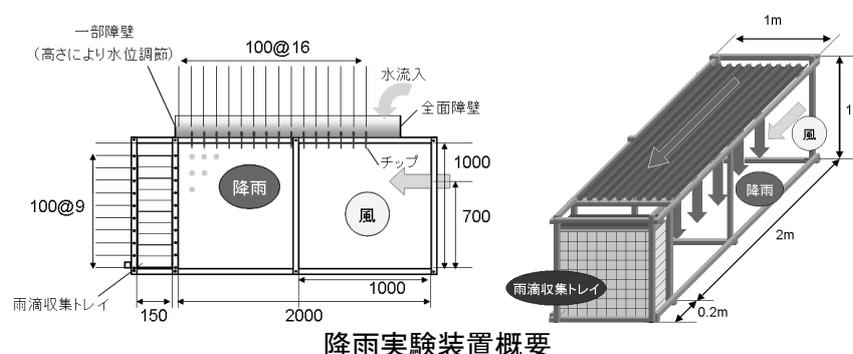
局所的風況・降雨量予測を基にした コンクリート構造物への水分浸透に関する研究

Prediction of moisture deposition to concrete structure with simulation of regional rainfall and wind

現在膨大な量のコンクリート構造物が社会基盤ストックとして蓄積されており、その維持管理コスト低減のために様々な劣化予測手法の開発が行われている。また、仕様規定型設計法から性能照査型設計法への移行に伴い、設計時点で供用期間中の劣化の予測が不可欠となっている。この2点の社会的要請に基づき適切な劣化予測モデルの構築が期待されているが、現在の劣化予測モデルではコンクリート中の劣化因子の挙動のみに着目しており、劣化因子がもたらされる外部環境との関わりについての研究はあまり行われていないのが現状である。

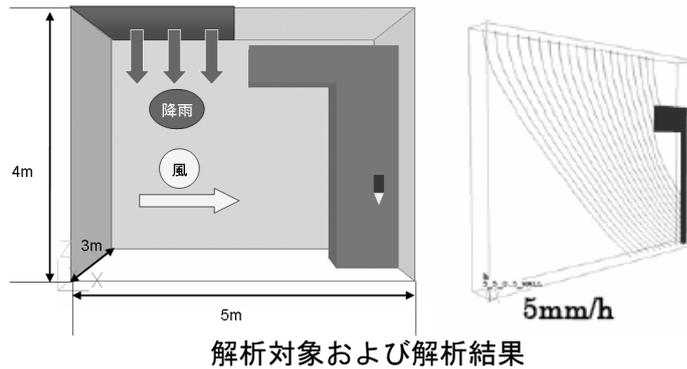
鉄筋コンクリートの劣化を招く環境作用は、塩害劣化の主要因である塩化物イオンに代表される劣化環境と、基本的な環境作用として考えられる気象条件に大別できる。本研究では、環境作用の統一的な評価手法の確立を目指し、その第一歩として鉄筋コンクリートの劣化に直接あるいは間接的に作用する機会の多い「水」に着目した。特に、コンクリート構造物の劣化現象を左右する水の入力条件として降雨を考え、構造物周辺の風による影響を解析的に求め、構造物に付着する雨滴量を求めることを本研究の目的とした。

実際の構造物を模擬した解析を行う前に、解析の妥当性を検証するために模擬降雨付着実験を行い、同様の条件で求められた解析の結果との比較を行った。次に実際のT型橋脚の側面に雨滴が付着する状況を想定し、入力する気象因子として降雨量・風速・風向を様々なパターンで解析を行った。降雨の雨滴モデルとして、降雨量から三種類の雨滴平均粒径を求め、それぞれの平均粒径から終端速度を計算したものを使用した。解析結果としてT型橋脚の柱部分に対する雨滴の付着量、さらに付着時間を算出した。以上の結果を用い、実際の東京およびその近県の気象データと照らし合わせて積算を行うことで、標準的な1年の雨滴の付着時間を求めた。さらにその付着時間と対象地域の気象学的な特徴を踏まえた考察を行った。

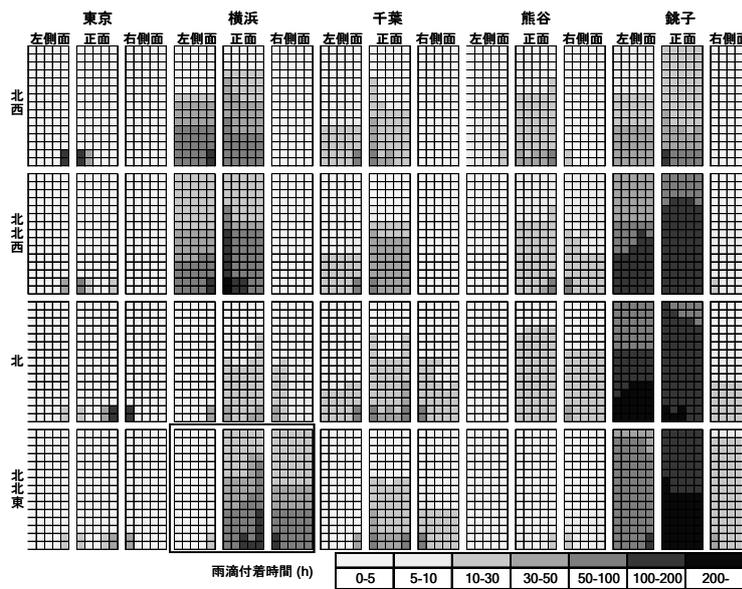


本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 解析において、雨滴の挙動を左右する雨滴直径と終端速度を降雨量から求める降雨モデルを提案し、模擬降雨付着実験の結果から、解析のある程度の妥当性を示した。
- 2) 実構造物を模擬した解析を、降雨量・風向・風速を変化させて行うことで、一般的な気象条件下での構造物に対する雨滴付着量を求めることができた。さらにそこから付着時間を算出した。



- 3) 求められた付着時間と気象データを用いて、東京・横浜・千葉・熊谷・銚子における構造物の付着特性を求めることができた。
- 4) 各地の付着特性と気象上の特徴から、雨滴の付着時間には卓越風が大きな影響を持つことを明らかとした。付着箇所は卓越風の風向によって決定され、付着時間に影響を及ぼすものは卓越風の風速およびその発生回数、ならびに降雨量である。
- 5) 地域的な気象条件からコンクリート構造物の劣化可能性が高い箇所を推定できる可能性を示すことができた。



各地域における年間の雨滴付着時間

ニューラルネットワークによるかぶり品質変動の定量的評価

Quantitative evaluation and utilization of variation in concrete quality by using neural network

総額 900 兆円を超えるとも言われる膨大な量の社会資本ストックを抱える我が国では、効率的・効果的に社会資本の維持管理を行うことが必要不可欠である。効率的・効果的に社会資本の維持管理を行うためには、ライフサイクルコスト（以下、LCC）の最小化を行うことで、維持管理の最適化を図る必要がある。適切な LCC を算出する条件の一つとして、構造物の劣化予測が精度良く行われることが挙げられるが、実際のコンクリート構造物の劣化予測は環境・品質等の情報が不確定なもとにおいて実施されることが多い。環境・品質等の情報が不確定な理由として、複合材料であること、現場施工を行うこと、施工時の全量検査が困難であること等が挙げられ、結果として設計時に想定された品質と異なる可能性があることは良く知られている。特に施工については、コンクリート構造物の品質に影響を及ぼす要因数が多いだけでなく、人的要因も影響するため、各施工要因が品質に与える影響は定量的に明らかにされていないのが現状である。

通常的设计においては、様々な不確実な情報に対して種々の安全係数を導入することにより、実際のコンクリート構造物の品質が設計時に想定した品質を上回るように計画されている。コンクリート標準示方書の耐久性照査では、施工の影響として、ブリーディングの影響による高さ方向の品質変動については、「コンクリートの材料係数」で考慮し、高さ方向に関係の無い品質のばらつきについては、「構造物の耐久性能に関する設計値の精度を考慮する安全係数」で考慮している。コンクリートは本来有している性能に応じて、施工の影響の受けやすさは異なる。例えば、高流動コンクリートは材料分離に対する抵抗性が高く、構造物中のコンクリートの均一性確保に対する信頼性が高いと考えられる。そこで示方書では、設計段階において、コンクリートが標準的な施工性能を有していること、施工が標準的条件で行われることを前提条件として安全係数の標準値が設定されている。

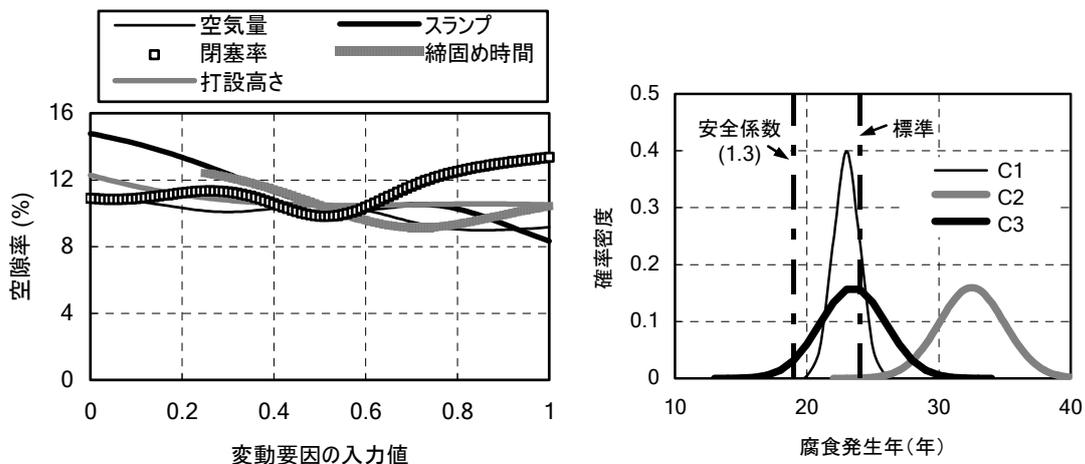
しかし、可能な限り LCC を最小化することを前提とした戦略的な維持管理においては、構造物の経年劣化を過度に安全側で評価することは、結果として無駄な投資となりうる。従って、実際の構造物の品質の変動を定量的に把握し、構造物の劣化を予測することが重要である。

このような現状を考慮し、著者らは品質のばらつきを考慮した劣化予測、および予測結果に基づいて算出した補修リスクを用いることで、品質のばらつきが維持管理に及ぼす影響を定量的に評価できる手法を提案し、その補修リスクにより、検査すべき項目の優先順位の決定、優先的に検査を実施すべき構造物の決定ができる手法を提案している。しかし既報は、方法論の提案を主眼においたものであり、ケーススタディの際に設定した環境条件や品質のばらつきの値は、一般性や妥当性に欠けるものである。

本研究では、コンクリート構造物の耐久性能に最も影響を与えるかぶりコンクリートを対象とし、施工による品質変動を配合、構造物条件、施工条件から推定できる手法を確立することを目的として実験的に検討した。実験結果をニューラルネットワークに学習させることによって、かぶりコンクリートの品質変動の定量的な評価を行い、施工による品質変動を推定する手法を提案した。

本研究により得られた成果は以下の通りである。

- 1) 各施工要因が、かぶりコンクリートの空隙率および空隙率変動係数に及ぼす影響は必ずしも一致せず、品質が悪くなればなるほど（空隙率の増加）、ばらつきも大きくなる（変動係数の増加）という傾向は特に見られない。これは、本研究で対象とした施工範囲が、標準的な範囲内であることによると考えられる。
- 2) 品質のばらつきは、あるひとつの原因によるものでなく、複数の原因による交互作用が複雑に絡み合っ発生するもので、線形分析を行うこと、理論的に理解することは非常に難しい。
- 3) ニューラルネットワークを用いた分析を行うことにより、標準的な施工条件においては、施工条件からかぶり品質とその変動を推定することができる。また、かぶり品質に与える施工要因の影響度の大きさを定量的に評価することができる。
- 4) 本研究の成果を活用することにより、施工による品質変動を考慮した劣化予測が可能となり、より正確な予測結果を算出することが可能となる。



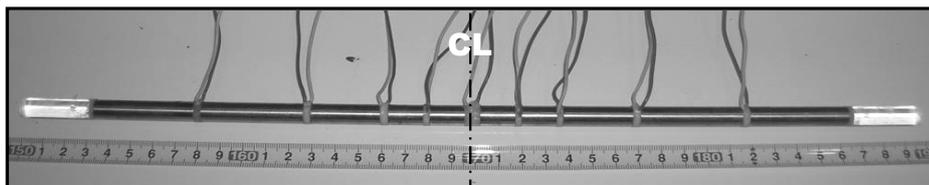
感度解析の結果および予測された腐食発生年の確率分布

Effect of environmental non-homogeneity by chloride ions on macro-cell corrosion in reinforcement bar

材料および環境の非均質性が鉄筋コンクリートのマクロセル腐食に及ぼす影響

Reinforcement corrosion occurs due to the penetration of corrosive materials such as chloride ions and carbon dioxide into concrete. The reinforcement bar is naturally protected by a passive oxide layer on the reinforcement but presence of corrosive materials in concrete starts the destruction of the passive oxide film which continues towards the corrosion process. According to the basics of corrosion process, the corrosion cell is a combination of anodic region and the cathodic regions. Depending on the corrosion cell size, corrosion process can mainly be categorized to two forms as: Micro-cell or Macro-cell corrosion, in other words, uniform or localized corrosion. According to their formation, macro-cell corrosion represents the corrosion cells with physically separated anodic and cathodic regions. Macro-cell corrosion arises due to the electrochemical potential difference generated by different concentrations of corrosive materials as well as oxygen and water along the reinforcement bar. Due to its nature, it occurs with small anodic and comparatively large cathodic sites, as a result a rapid reduction of re-bar cross-section and production of local rust observed. The electrochemical potential difference assumed to takes place due to several practical reasons, however, generally the reasons such as non-uniform way of corrosive material penetration, heterogeneous properties of concrete, effect of partial repair, cracks are considered as highly affecting on macro-cell mechanism. Considering to the importance of corrosion due to macro-cells, most of researches are involving to clarify their mechanisms. However, enough research activities are not conducted in the case of first three factors although there are enough results related to cracks.

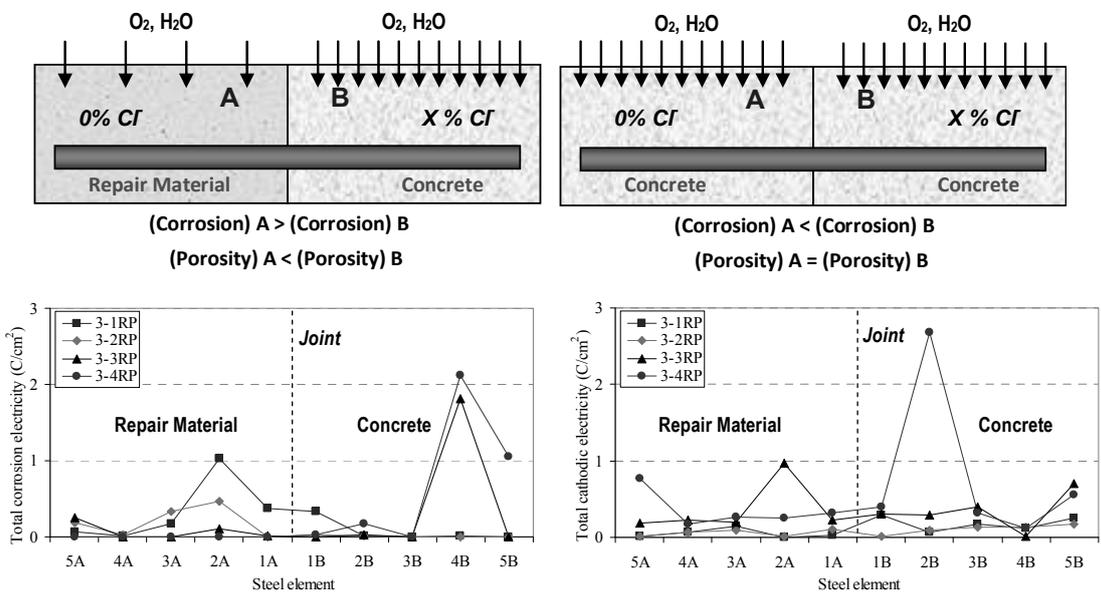
Hence the objective of this research study was to find out the how the macro-cell corrosion is affected by first three factors. To obtain the objective, several specimens were prepared belong to mainly in above mentioned three groups i.e. concrete-concrete with different chloride contents, concrete specimens with uniform chloride content and partially repaired concrete members. The main measurement was the macro-cell corrosion current variation. Specially prepared divided steel bar was used for the measurements of macro-cell corrosion current flowing from element to element. The measured corrosion currents were transformed to corrosion current density for every element in the divided steel bar.



Divided steel bar for measuring macro-cell corrosion current

It was observed that different chloride contents in a single specimen shows more local or macro-cell corrosion where these macro-cells occur in the common region of different chloride contents. Also, it was observed that the corrosion process is not uniform against the time. In other words, it was observed, anodic regions become cathodically active and vice versa with the time. Even though the uniform chloride contents available along the steel bar, it could be obtained macro-cell corrosion variation. Moreover, these corrosion current densities were also agreed the time dependant variation as similar to the results with different chloride contents.

The objective of repair work was to protect the steel bar from corrosion, but comparatively higher macro-cell corrosion was observed in repair material part provided that the combined concrete part does not contain much chloride ions. When concrete is severely deteriorated, corrosion is observed in concrete region; however, in this situation corrosion rates were relatively small.



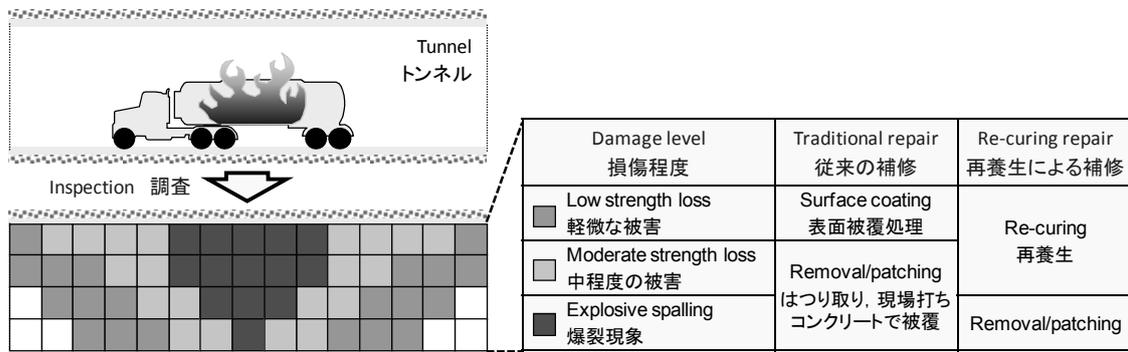
Corrosion phenomenon and cathodic/anodic behavior in repaired concrete

Considering above results and new findings, it is emphasized to carry out more research studies to understand the mechanisms. The anodic-cathodic transformation was observed, however the present theoretical background does not support the phenomenon. The corrosion occurred in repair material part was also observed as a new finding, which is not accepted by most engineers. Hence, the importance of more research work is highly recommended.

Influence of re-curing condition on damage and recovery of mortar exposed to fire

火災を受けたモルタルの損傷および回復機構に及ぼす再養生の影響

As demand on existing infrastructure increases, the frequency of fire-related disasters will also increase. Concrete structures exposed to fire suffer from strength reduction and explosive spalling, and must be repaired before returning to service. The delay caused by closed infrastructure pathways has a broad economic effect, and repairs should be performed as quickly and efficiently as possible in order to minimize this impact. Existing methods of repair typically involve the assessment of damage, and unsatisfactory concrete is removed and replaced with a fresh patching material in order to meet safety factor requirements for load-carrying capacity. However, this method generates waste and consumes resources. A potential repair system utilizing the re-curing of fire-damaged concrete to recover mechanical properties would eliminate the generation of waste and reduce material consumption while optimizing the life cycle performance of the existing structure.



Concept of application for re-curing as a repair method after fire

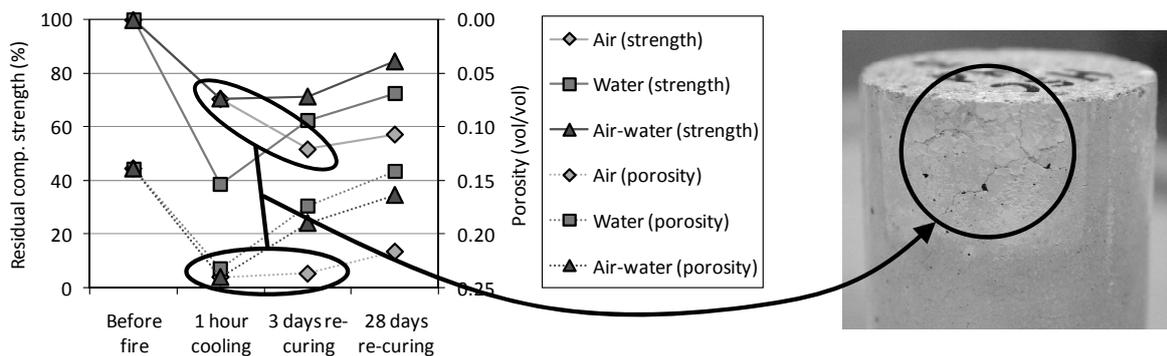
The main objective of this research was to investigate how much strength can be recovered and how long does it take. Three main variables were considered: the re-curing condition (the condition in which the concrete is placed after a fire event), the water-cement ratio of the concrete (normal-strength and high-strength), and finally fiber-related factors (the fiber material type and dosage). Microstructure damage and recovery was assumed to also be affected by the previous factors, and were measured so that recovery behavior at both the structural (strength) and micro level could be observed.

Three re-curing conditions were introduced: cooling and re-curing in air, cooling and re-curing in water, and cooling in air followed by re-curing in water. The strength loss and recovery differed significantly between these three conditions, due to the difference in thermal conductivity between air and water.

Water conducts heat more efficiently, so specimens placed in water immediately were quickly cooled. However, this immediate water submersion was accompanied by a large reduction in strength after one hour of cooling but by re-curing in water, consistent strength recovery was observed up to 28 days. Convection by air exposure is less efficient, so specimens cooled in the air underwent a slower cooling process. After a one hour cooling period, the strength reduction was less than that for the water-cooled specimens. But further re-curing in the air resulted in the formation of surface cracks and little change was observed in the residual strength by the end of the re-curing period. In order to avoid the negative effects of the two previous cooling and re-curing conditions, some specimens were cooled by air for one hour then placed into water re-curing. These specimens shared the same loss after 1 hour as the air cooled specimens, but did not suffer the strength-reducing cracks which increased the loss for the air re-cured condition. Furthermore, strength recovery was observed after submersion in water up to 28 days.

The effect on pore structure damage and recovery of re-curing and mix properties was also observed. Damage due to fire was generally greater for air and air-water re-cured specimens. Shrinkage of the pore structure resulted in the pore distribution shifting from dense to coarse upon heating, and the porosity increased significantly. Upon re-curing, the porosity of air re-cured specimens decreased slightly, but the distribution of pores remained unchanged. Water re-cured specimens underwent much greater recovery of pore structure than air re-curing, and the pore distribution shifted to a denser distribution than before firing. The pore distribution shift of air-water re-cured specimens and the final porosity were both similar to the water re-cured specimens, but the air-water recovered porosity was greater as the initial amount of damage was higher. Several cases showed recovery of porosity to the same level as before firing.

Strength and porosity recovery did not always demonstrate the same tendency. It was observed that some specimens decreased in strength while the porosity decreased, or increased in strength with no notable change in porosity. These discrepancies may be explained by the cracking behavior, which acts independently of the pore structure and directly affects the strength directly. It is possible that rehydration of CH, which is accompanied by a volume increase, causes deterioration. The effect of strength loss and recovery due to chemical changes may also exhibit some influence on this behavior.



Cracking behavior of specimens could explain discrepancy between strength and porosity behavior

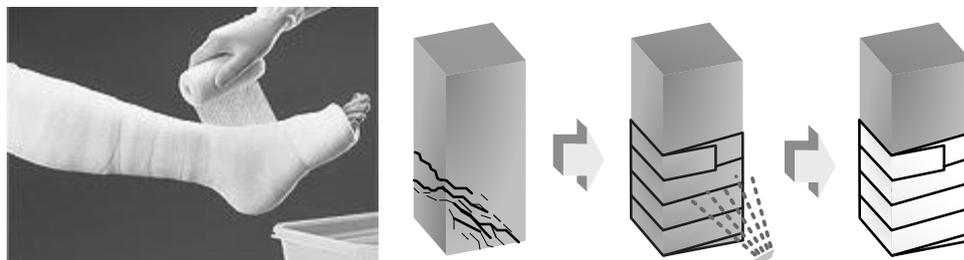
災害損傷建造物の安全迅速復旧工法の開発

Development of safety emergency retrofitting method for damaged structure by disaster

阪神・淡路大震災以降、その甚大な被害を鑑み、コンクリート建造物の耐震補強が行われてきている。これは主として柱部材の脆性的な破壊である「せん断破壊」を回避し、変形性能を向上させるものである。首都圏の主要交通機関や緊急輸送道路の耐震補強は既にほぼ完了しているが地震の規模によっては大きな被害となると予想される建造物が未だ多く存在する。また新設建造物においても大規模地震に対してある程度損傷を許容する設計となっており、損傷は免れない。

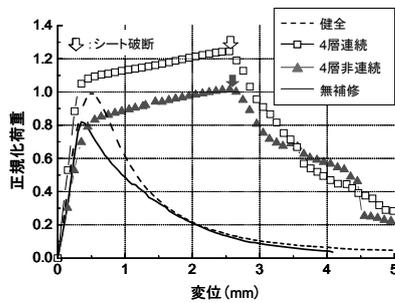
損傷を受けた建造物は、余震に対する安全セ、建造物の機能性の確保を目的として応急復旧する必要があるが、既往の復旧技術は恒久的な工法が多く、施工が大掛かりで、また効果発現までに数日を要する。これでは本震直後に頻発する余震に対して対応できないことになる。このような背景を踏まえ、比最後に迅速に対応が出来、簡便かつ安全に施工可能な復旧工法の開発が望まれている。

そこで水硬性ポリウレタン樹脂が含浸された連続繊維シートを巻き立てて散水するだけで補修効果が現れる新しい迅速復旧工法を提案した。これは医療用ギプスをアイデアの起源としている。水硬性ポリウレタン樹脂は水と接触すると数分で硬化することから早期に補修効果が得られる。連続繊維シートは軽量であるから、人力で運搬可能であり、施工に重機や特殊機械、熟練工などが不要である。また樹脂が連続繊維シートに含浸済みの状態で保存されていることを想定しているため、従来の接着剤を塗布する補修工法と比較して施工がより簡便である。また火気などを用いずに水のみで硬化することから安全性が高い。迅速に対応ができ、施工が簡便で安全性の高い本工法は、被災後の復旧工法に求められる要件を満たしていると言える。



アイデアの起源となった医療用ギプスと提案工法のイメージ

本研究では、提案する迅速復旧工法の開発に当たり、実現可能性を検討すると共に、補修材料の物性を確認し、小型試験体により補修効果に与える要因を実験的に検討した。医療用ギプスを補修材料とした予備実験により、ある程度の補修効果を期待できることが確認された。連続的に巻き立てる施工法は、より拘束効果が期待でき、かつ簡便な方法であることが分かった。



巻き立て方法の異なる試験体の正規荷重-変位曲線および破断の様子

医療用ギプスでは、強度の面から構造物に適用できないことから、新たに水硬性ポリウレタン樹脂とガラス連続繊維シートを選定し、これらの材料の性質が補修効果に及ぼす影響を把握した。樹脂の強度による影響は、付着の有無やガラス連続繊維ストランドの配列方向により異なることが分かった。また小型試験体の施工実験より、水硬性ポリウレタン樹脂を含浸させた連続繊維シートを巻き立てる方法は、より簡便で施工時間を要さない工法であることを示した。

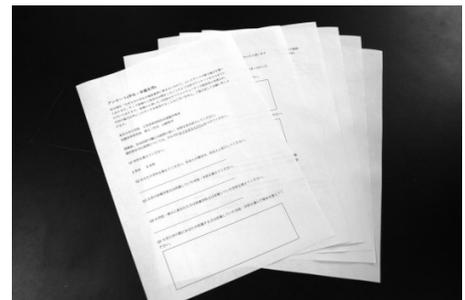
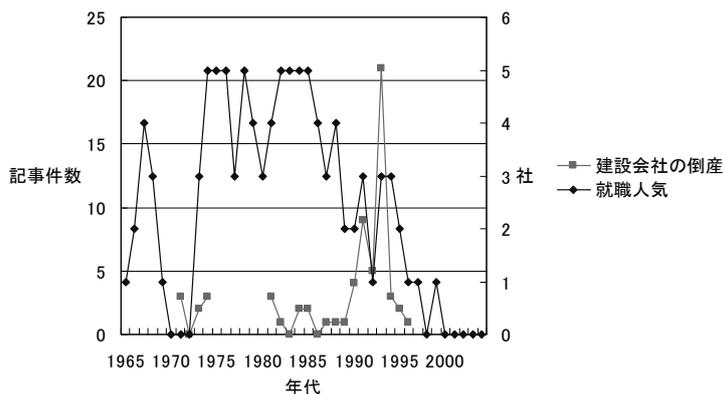
今後の課題として、実物大試験体を用いた繰返し荷重による影響の検討、FEM による解析的検討、最適設計手法の確立、施工マニュアルの構築等が挙げられる。

土木系学科に所属する学生の建設業界に対する就職志望度低下の要因分析

Analysis of the factors driving a decrease in the number of students applying to construction firms

建設会社を志望する土木系学科の学生の減少については、建設会社全体の共通の認識があり、以前と比較して、現在の採用状況は非常に厳しいと考えられる。大手建設会社でさえ、このような状況であるため、建設業界全体としては、非常に深刻な問題である事は容易に想像できる。以上より、本研究では、「学生の建設会社に対する就職志望度の低下によって、建設会社が優秀な人材を確保できない事」を問題と定義し、目的は、「建設会社が優秀な人材を確保できるための改善策を提案する事」とした。そして、その改善策を提案するために、土木系学科に所属する学生の建設業界に対する就職志望度低下の要因を分析した。

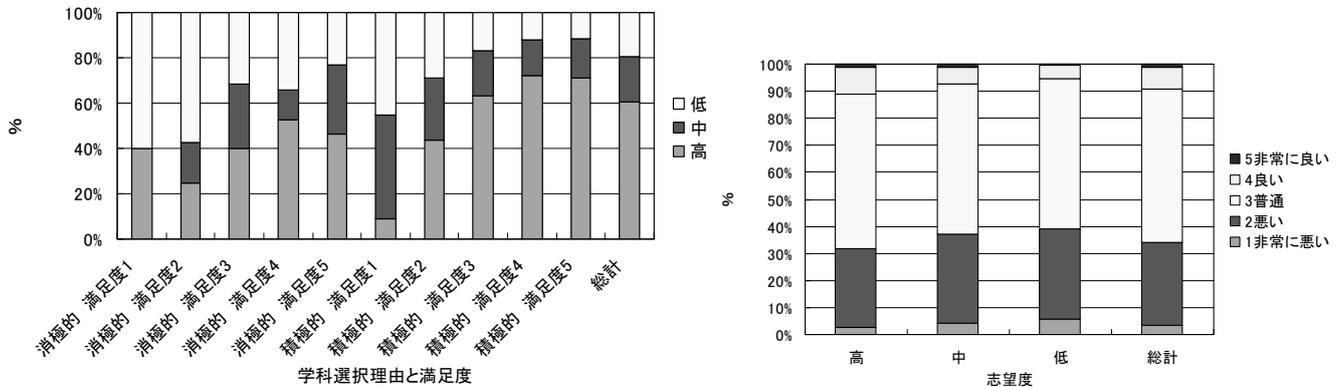
本研究では、まず、主にメディアの否定的な報道が、学生に大きな影響を与えるのではないかと考え、新聞紙の内容分析を行った。内容分析において、メディアの報道が世論の後についてくると推測する事はできたが、メディアの報道が、学生の建設業界に対する就職人気に影響を与えているか否かについて言及する事はできなかった。またこの時、「メディアの報道」だけが本研究の問題の原因ではないと考え、次に、その原因が、「大学の教育」、「メディアの報道」、「建設業界の採用活動」の3つにあると仮定し、アンケート調査を行い、その結果をもとに建設会社に対してインタビューを実施した。



建設会社の倒産に関する記事と建設会社の就職人気の関係・配布したアンケート

アンケート調査の結果から、「大学の教育」については、問題があるとは言えず、逆に、消極的な理由で土木系学科を選択し、学科に満足している学生の建設業界に対する就職志望度が高いという傾向が見られ、大学の教育は学生に対して良い影響を与えていると考えられた。また、「メディアの報道」については、土木系学科の学生が建設業界を志望するか否かは、メディア

の建設業界に対する報道によってほとんど左右されない事が確認され、改善する必要性がそれほどない事が分かった。



土木学科の学生の学科選択理由と学科満足度と建設業界志望度の関係
・土木学科の学生の建設業界志望度と建設業界に対するイメージの関係

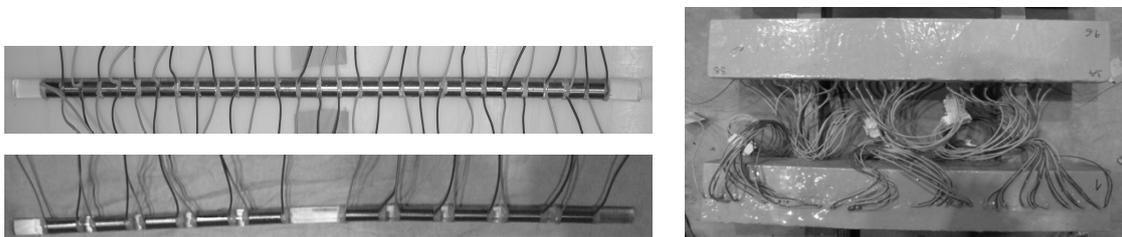
また、アンケート調査とインタビューの結果から、「建設業界の採用活動」については、建設会社が、建設業界に対する志望度が高い学生が求める要素を、積極的に伝えようとしているが、十分に伝えられていないという現状があり、改善する必要があると考えられた。そこで現在、改善策として、建設会社が意識をして行っている活動が、「現場見学」、「インターンシップ」であり、学生に現場を見せることにより、現場でどのような仕事をしているのかを理解し、建設会社に対する志望度が高まるという効果について、建設会社全体が共通の認識を持っていた。また、一部の建設会社において、試験的ではあるが、建設会社の社員が大学に行き、講師をしており、この活動についても、効果があると考えられていた。以上より、「学生が、建設会社の社員の授業を聞く」事がどれほどの効果を示すのか、定量的に把握し、この活動を活性化させる事が、本研究の問題の改善策になると考えられる。また、「工学的な素養があれば、土木の知識は必要ない。建設会社に入ってから教育すれば良い」という意見から、もしそれが正しいならば、土木系学科以外の工学部の学生を採用の対象とする事は、本研究の問題の改善策となり、検討する余地がある。

Effect of oxygen and moisture on chloride-induced macro-cell corrosion of steel bar in concrete

酸素および水が塩害を受ける鉄筋コンクリートのマクロセル腐食に及ぼす影響とその時間依存性に関する検討

In general, oxygen and moisture play an important role in corrosion process. Corrosion rate can be negligible if reinforced concrete structures were exposed to very dry environment or oxygen supply is restricted. It can be noted that oxygen and water are required for the cathodic reaction to proceed in a corrosion process. However, the rate of oxygen and moisture diffusing to concrete is limited because of the soundness of concrete. Therefore, the rate of corrosion is controlled by the cathodic reaction rate. Although considerable research has been devoted to study the role of oxygen and moisture in corrosion process, rather less attention has been paid to effect of them on behavior of macro-cell corrosion in concrete and repaired concrete structures under chloride contamination, thought as more severe than total corrosion in some common cases. Furthermore, time-dependent property of macro-cell corrosion was also discussed in this study.

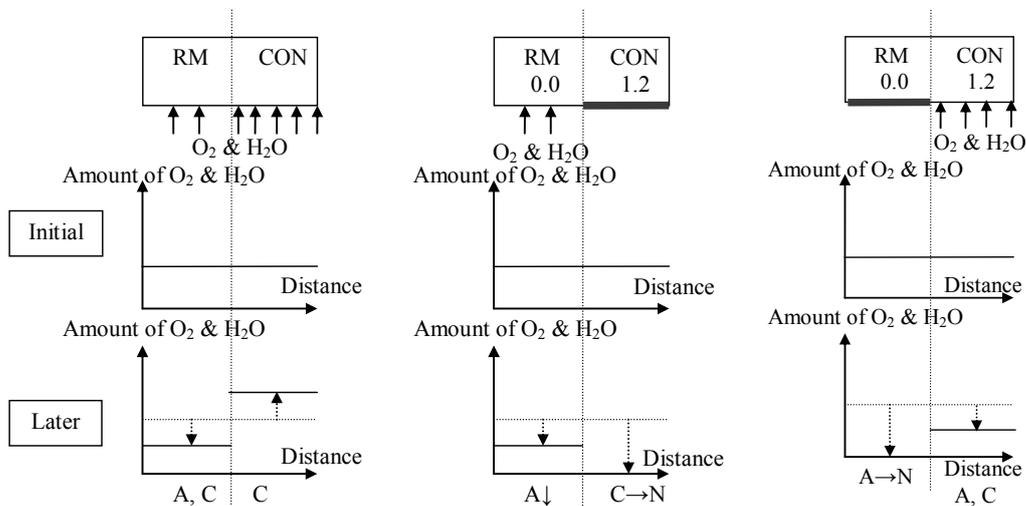
The main variables were cover concrete surface coating, chloride content along the segmented steel bar and different materials. Epoxy coating was deliberately and partially applied on cover concrete surface of specimen with respect to disturb of oxygen and moisture penetration from external environment. Chloride ions were added with water when mixing to accelerate corrosion process. And segmented steel bar was used for measurement of corrosion current flowing from element to element. Repair material with high resistance to invasion of corrosion agents, such as oxygen, moisture and chloride ions, was chosen to protect rebar from further corrosion. All the results were discussed based on macro-cell corrosion current densities.



Arrangement of divided steel bars and specimens with epoxy coating

Results of experiment showed that oxygen and moisture play significantly role in tendency of macro-cell corrosion. When cover concrete surface was coated by epoxy that resists oxygen and moisture penetration, macro-cell corrosion of steel bar in this region was observed reaching toward the interface or transition

zone where oxygen and moisture were available in case of high uniform chloride content. Also, this tendency was clearly observed in case of non-uniform chloride content when higher chloride containing part was covered. Moreover, epoxy coating is recommended as one of the effective countermeasures to decrease the risk of macro-cell corrosion. However, the opposite tendency of macro-cell corrosion of steel was found since coating low chloride content part. Macro-cell corrosion process develops far from interface zone because cathodic reactions in low chloride part no longer supports anodic reactions in higher chloride content zone to sustain corrosion process. Furthermore, the purpose of coating low chloride content part was to decrease the rate of anodic reactions, but comparatively higher macro-cell corrosion was found in higher chloride content region. More severe macro-cell corrosion may be because of potential imbalance caused by variation amount of oxygen and moisture between coated and non-coated parts of specimen. The above two tendencies of macro-cell corrosion were also observed in repair patching in which concrete part was highly contaminated by chloride ions.



Variation in amount of oxygen and moisture

Transformation of anode and cathode on the surface of steel bar was studied by experimental approach, but still not clearly observed due to partially coated surface condition. The results showed that anodic-cathodic transformation mainly occurs on elements that are close to interface or transition zone. At elements of segmented steel bar where oxygen and moisture were not available had a tendency of transferring to neutral. Furthermore, over the time, element which received less oxygen and moisture from the external environment has a tendency of changing its potential from cathode to anode, while elements close to interface act as cathode where oxygen and moisture are sufficient. To confirm proposed mechanism of anodic-cathodic transformation, it is suggested that further experiments should be done such as covering all concrete surface, measuring half-cell potential and separating steel elements further.

Finally, the results of specimens where the ionic current flow between repaired and unrepaired parts is disturbed showed less effective with respect to the reduction of the risk of macro-cell corrosion in repair patching when concrete was contaminated by high chloride concentration. It is recommended that concrete in which chloride content is higher than threshold value should be removed as much as possible.

被災建造物の安全・簡易・迅速復旧工法の開発

Development of a safe and simple rapid emergency retrofitting method for disaster-damaged structures

阪神・淡路大震災以降，その甚大な被害を鑑み，コンクリート建造物の耐震補強が進められ，首都圏の主要交通機関や緊急輸送道路の耐震補強はほぼ完了している。しかし，地震の規模によっては，倒壊等の大被害に至らないまでも中小被害を受ける建造物が，未だ多く存在している。損傷した建造物は，余震に対する安全性，建造物の機能性の確保を目的として応急復旧する必要があるが，既往の復旧技術は施工が大掛かりであり，また効果発現までに日数を要するものが多く，頻発する余震に対応できない可能性が高い。このような背景の下，被災後に迅速に対応ができ，安全でかつ簡易に施工可能な復旧工法の開発が望まれている。そこで，著者らは医療用ギプスをアイディアの起源とし，損傷した RC 建造物に対し，水硬性樹脂が含浸された連続繊維シートを巻き立てた後，給水するだけで補修効果が得られる新しい迅速復旧工法を開発している。

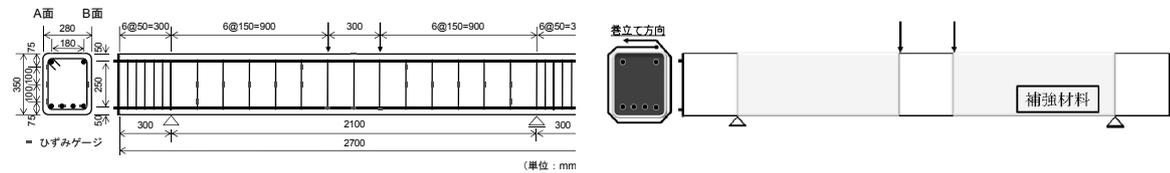
本概要では，水硬性ポリウレタン樹脂の，連続繊維シート巻立て工法の含浸接着樹脂への適用可能性を検討するため，道路・鉄道で連続繊維を用いた補修補強指針に用いられている試験を各種実施し，含浸接着樹脂の物性値の比較を行った。得られた物性値を基に，梁載荷試験によりそれぞれの樹脂を用いた場合の耐力評価および物性値がせん断耐力に及ぼす影響について実験的に検討した。さらに，施工マニュアル案をまとめた。

本研究で用いたエポキシ樹脂(粘度：20000 mPa・s at 20°C)は，二液混合型の連続繊維シート接着用である。水硬性ポリウレタン樹脂(粘度：35000～45000 mPa・s at 25°C)は，一液硬化性であり，水と接触することで反応・硬化が始まり，それに伴い炭酸ガスを発生する。原液のままでは粘性が高く扱いが困難であるため，HPR-A はグリコールエーテル系溶剤により，HPR-B は反応性希釈剤によりそれぞれ希釈して使用した。なお，希釈剤の影響により，HPR-A はウレタン特有の柔軟性を有しているが，HPR-B は硬い塗膜を形成するためゴム弾性を有していないという異なる性質を持っている。

含浸接着樹脂の特性

| 種類 | 引張強度 | 継手強度 | 界面剥離破壊エネルギー | 付着強度 | 接着強度 |
|-------|------|------|-------------|------|------|
| エポキシ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| HPR-A | ○ | ○ | △ | △ | △ |
| HPR-B | ○ | × | × | ○ | ○ |

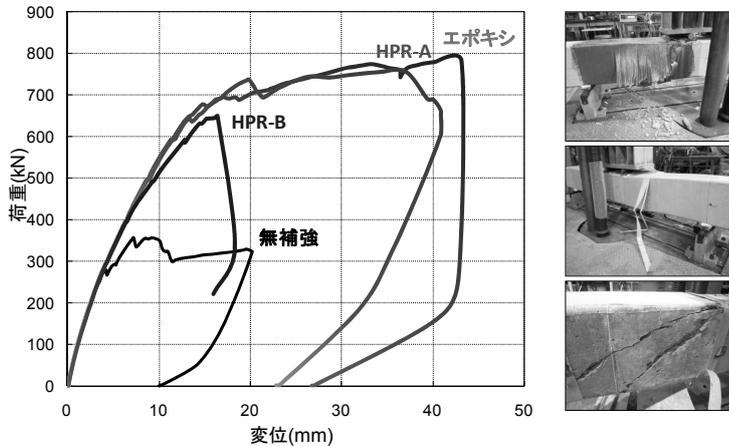
試験体は、単純梁試験体とし、連続繊維シートが受け持つせん断耐力を算定するため、巻立て後もせん断破壊が先行するように設計した。実験は、連続繊維シートをせん断スパンに1層巻き立て、梁上面にて200mmの継手長を設け補強を行い、7日間養生した後、載荷した。載荷方法は、2点集中の単調載荷とし、支点は試験体の回転変形および軸方向変形を拘束しないよう移動および回転支持とした。



試験体概要・補修方法

せん断耐力は土木学会の連続繊維を用いた補修補強指針に基づき算出した。

試験体は全て引張鉄筋が降伏する前にせん断破壊した。無補強は、斜めひび割れが圧縮縁に貫通した時点で荷重が低下した。その後も載荷を継続したが、せん断補強筋のひずみのみが増加し始めたため変位20mmにて試験を終了した。エポキシおよびHPR-Aは、700kN付近で曲線の傾きが変化し、繊維シートのひずみが大幅に増加するなど、ほぼ同様の挙動を示していることが確認できる。しかし、図に示す終局時の破壊状況では、HPR-Aは徐々にシート破断したのに対し、HPR-Bは爆裂とともにシート破断したことから、エポキシおよびHPR-Aの付着と接着強度の違いが影響していると推察された。HPR-Bは、約650kNで継手部が剥離破壊したため急激な荷重低下を生じた。HPR-Aおよびエポキシの繊維シートのひずみと比較し、繊維シートのひずみが大幅に増加し始める前に継手部破壊していることが確認できる。



含浸接着樹脂が荷重-変位関係に及ぼす影響・各破壊状況

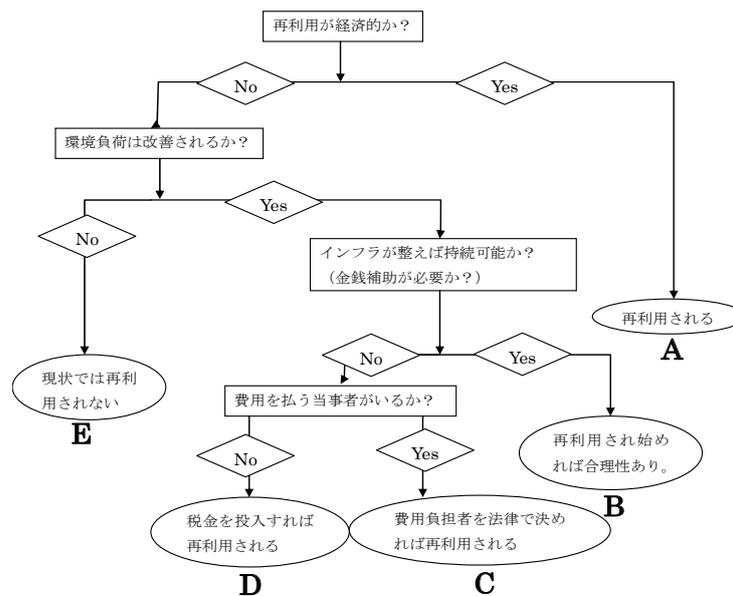
- 1) 樹脂の特性は異なるが、エポキシとHPR-Aはほぼ同様の荷重-変位関係を示す。但し、終局時の破壊状況は樹脂の拘束効果が影響していると考えられる。
- 2) せん断耐力の向上を目的とした場合、含浸接着樹脂の特性として、継手強度が樹脂の性能を代表する物性値となる可能性があると考えられる。

コンクリート用再生骨材普及への制度設計

Design for spreading recycled aggregate for concrete use

コンクリートの再資源化率は 2005 年度で 98%以上を誇り、リサイクルの優等生だといわれている。最終処分場の不足が言われる中でこの高い再資源化率は処分場の延命に大きな貢献をしている。しかしながらコンクリート塊の再利用先は 98%以上が道路路盤材としての利用である。道路の新設が減少する方向にあり、今後は建築解体物からのコンクリート塊も増加すると予想されており、路盤材としての再利用はいつかは行き詰まると考えられ、コンクリートからコンクリートへの再利用が求められている。すでに再生骨材コンクリートの研究がすすめられ、現在では新規骨材を使うのとはほぼ同等の品質にまでなってきた。しかし、再生骨材コンクリートの普及は遅々として進まない。

そこで本研究では、再生骨材コンクリートが普及する制度について分析する。技術的にはほぼ可能だとされながら進まないのは、制度面に原因があるからだと考え、再生骨材コンクリートが普及する仕組みを見つけることを目的とする。初めに、廃棄物行政の経緯を振り返ることで、コンクリート廃棄物のあるべき方向性を歴史的に抽出した。次に、現在行われている他分野のリサイクル制度を分析することで、リサイクル成立のための条件について明らかにした。そして、廃棄物の再利用について分類化を試みている。そのうえで、現在の路盤材へのリサイクルシステムを分析すると、路盤材へのリサイクルの特異な点が明らかになり、それは路盤材の希少性を無視していることだと推測された。



廃棄物再利用の類型化チャート

分類 A：経済合理性にのっとり、自然発生的にリサイクルシステムが構築される。

例：貴金属、自家発生スクラップ、加工スクラップ、産業古紙、高炉スラグ

分類 B：回収システムは自然発生しないものの、一度成立すればリサイクルシステムは合理性にのっとり働く。

例：スチール缶、アルミ缶、老廃スクラップ、コンクリート廃棄物

分類 C：排出者か使用者・製造者いずれかが金銭負担をすることでリサイクルシステムが成り立つ。

例：パソコンリサイクル、家電リサイクル、自動車リサイクル

分類 D：環境影響低減効果が大きいいため、税金を投入してでも再利用をするもの。

例：ペットボトル、粗大ごみ（一部自己負担）

分類 E：経済的にも環境影響的にも効果がないもの

例：路盤材の希少性が評価されない中のコンクリート用再生骨材、プラスチック容器

最後に、路盤材の希少性を評価してコンクリートのリサイクルを分析すると、コンクリート用骨材へのリサイクル制度が実行可能であることが分かった。

路盤材へのリサイクルシステムは、中間処理業者にお金を出して引き取ってもらうにもかかわらずすべての参加者に利益の生じる分類 B タイプであり、他には見られない特徴である。このことは、路盤材への再利用が家電やパソコンの再利用処理と比べて不十分であり、その原因が路盤材の希少性を無視していることだと推測できる。

路盤材の希少性を評価することで、コンクリート用再生骨材のリサイクル制度の確立は家電リサイクル法、パソコンリサイクル法などと同様の排出者による費用負担で成り立つ分類 C の方法で普及していくことが分かった。

Design methodology for concrete containing high volume of waste materials

リサイクル材料を多量に含むグリーンコンクリートの設計方法論

Consumption of concrete is increasing constantly as fast as development takes place, and along with it the environmental and other impacts that its use represents. Despite the fact that concrete facilitates considerably the ongoing development, also has some drawbacks from environmental and social standpoints; the heavy discharge of carbon dioxide (CO₂) into the atmosphere as well as the enormous consumption of natural resources makes it appear as a non sustainable material. Many efforts have been done to overcome this situation, and many achievements have been reached. Alternative materials for mitigating and reducing the environmental impact of producing concrete have been investigated and included into the concrete practice. Fly ash, blast furnace slag, silica fume and other by-products from some industrial processes, as well as recycled aggregates from construction and demolition process are among these alternative materials used to reduce cement consumption and usage of raw materials. However, there exist some barriers that slow down the use of these called “green concrete”. One of these barriers is the lacking of methodologies that permit to design green concrete containing such materials, specifically in the case of recycled aggregates due to the wide variation in their properties that makes difficult to predict the effect on basic properties of concrete.



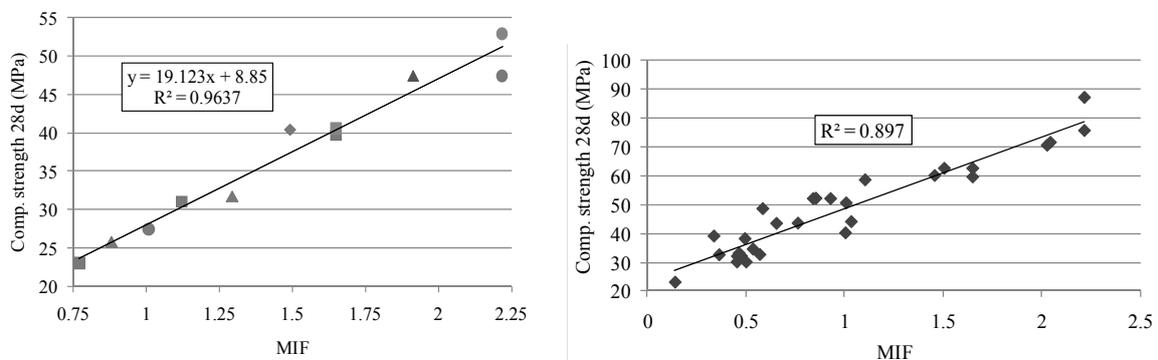
Waste and recycled materials used in concrete: fly ash (left), blast furnace slag (middle), and recycled aggregates (right)

This research attempted to develop a design methodology that allows describing in a better and a reliable way the effect on basic properties of concrete when using recycled aggregates and also fly ash in large amounts. For this purpose, concrete with different mix proportions was cast in order to evaluate the effect of low quality recycled aggregates and fly ash on mechanical performance and environmental impact of concrete by varying different parameters like binder amount, fly ash ratio, aggregate type and replacement ratio and water/binder. Also the effect of including a third binder -blast furnace slag- for a given condition was evaluated in order to determine whether the use of the three binders combined with low grade recycled aggregate can be an alternative for making green concrete.

The design methodology covers green concrete containing fly ash as cement replacing material and recycled aggregates at any replacement ratio satisfying conventional performance requirements as for conventional concrete. The methodology can be a means for design concrete containing recycled aggregates at any replacement ratio based upon its own basic properties namely density and water absorption, being a good approach to bridge the gap between the varying qualities among different sources of recycled aggregates when making concrete.

From the experimental results, it was also found that having fly ash replacement of 50% by mass and low quality recycled replacement 100% can be achieved mechanical properties similar to those of conventional concrete. When increasing water/binder and recycled aggregate replacement, most of the properties of concrete decrease. The usage of fly ash improved considerably the durability of concrete containing low grade recycled aggregate by refining its pore structure. The environmental impact was reduced in noticeably by adding fly ash and low grade recycled aggregate in large volume while satisfying basic performance requirements. The inclusion of blast furnace slag as a third binder resulted in an increase in some mechanical properties of concrete, but durability was not satisfactory when having 100% low grade recycled aggregate for the given condition.

From these results, the design methodology for green concrete containing high volume of recycled materials was proposed by describing their effects on basic properties of concrete through considering the density and water absorption of recycled aggregates as a modified index factor. The results were correlated to information obtained from different research works by using the methodology.



Correlation between modified index factor and strength for experimental results (left) and literature results (right)

含水状態を考慮した構造体かぶりコンクリートの透気性評価

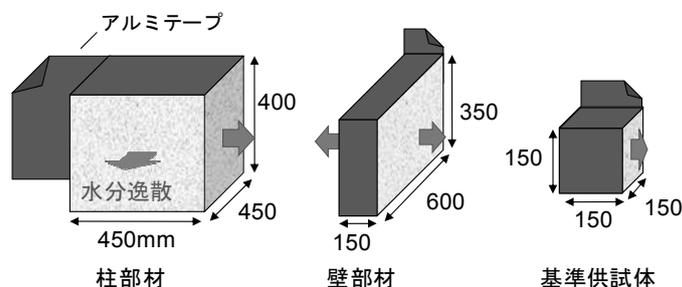
Evaluation for air permeability of cover concrete considering water content

構造体コンクリートの耐久性はかぶりコンクリートの品質と密接に関連しており、使用材料や配合、複数の施工プロセスによる影響を大きく受ける。すなわち、構造体コンクリートの耐久性の確保には、このプロセス管理に拠るところが大きいものの、施工後の品質の確認は圧縮強度とひび割れ以外では定量的な評価が行われておらず、構造物の品質を評価できていないとの指摘がある。したがって、耐久性を原位置にて評価できる手法およびそれらを用いた検査システムの確立が求められている。

近年、かぶりコンクリートの透気性を原位置で検査する手法が着目されており、中性化や塩害劣化等をはじめとする耐久性指標との相関性が確認されている。コンクリートの表層透気性は、含水状態の影響を受けることが一般的に知られており、既往の研究によってこれらの影響が検討されているものの、未だ十分な知見を得るに至っていないのが現状である。検査手法として確立するためには、含水状態の影響を定量的に把握した上で、適切に考慮した評価方法の検討が必要である。ここで、材齢の経過に伴う水分の逸散が表層透気性に及ぼす影響に関する検討は報告されているが、部材寸法、環境条件の違いの影響を把握した例は少ない。また、表層透気試験が測定対象とするコンクリートの深さは、計算によって概略値を得ることが出来るが、実際の測定深さに関する検討を行った例は少ない。

そこで、表層透気試験方法の基礎情報を得るために、W/C および含水状態を変化させたコンクリート供試体を用いて、測定深さに関する検討を行った。次に、含水状態が表層透気性に及ぼす影響を把握するために、空隙構造および水分の逸散状態が表層透気性に及ぼす影響について実験的に検討した。さらに、部材の厚さを変化させた供試体を各環境条件下に曝露し、各材齢における表層透気性への影響を確認した。

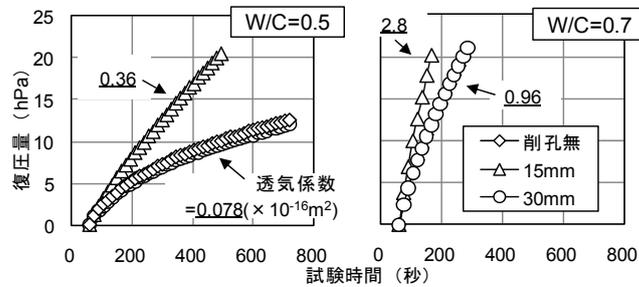
以上の検討により得られた知見をもとに、竣工検査において表層透気試験を適用することを想定し、含水状態の影響を考慮した評価方法について考察した。



供試体概要および試験の様子

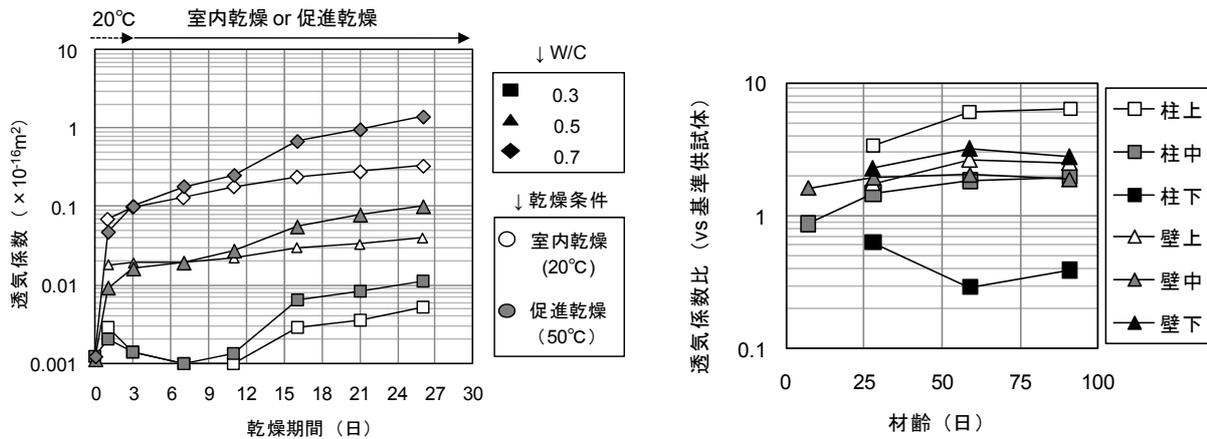
本研究から得られた成果を以下に示す。

- (1) 測定深さは W/C や含水状態の違いによらず、概ね透気係数のみの変化に伴うことを確認した。また、透気係数の増加に伴い、計算によって求められる測定深さよりも、本実験で求めた測定深さの方が大きくなる傾向を示した。



透気試験時における復圧過程による測定深さの推定

- (2) ごく早期を除く透気係数の増加割合は W/C の違いによらず概ね一定で、乾燥条件によらず W/C 毎に 1 オーダー程度の差を保ちながら増加する傾向を示した。
- (3) 20°C, 60% R.H. 環境下において、寸法条件が材齢の経過に伴う透気係数の増加割合に及ぼす影響は、材齢 56 日目以降は収束する傾向を示す。



空隙構造・測定位置・寸法条件の違いが測定結果に及ぼす影響

- (4) 屋外曝露環境下において、降雨が表層透気性に及ぼす影響は供試体種類や測定位置によって異なるが、2 日後には概ね収束することを確認した。

以上の知見より、竣工検査で表層透気試験を用いることを想定した場合、実構造物と基準供試体の結果の比較によって、品質の違いを相対的に評価できる可能性があることを確認した。

Undergraduate

卒論生

加藤(佳)研究室
研究活動レポート

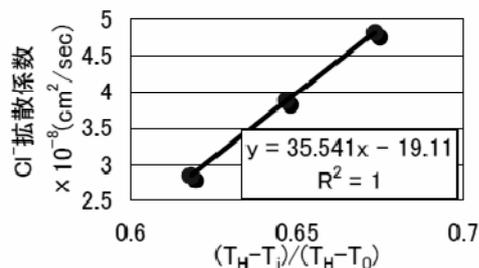
Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

赤外線法を用いたコンクリートの物質移動抵抗性の評価に関する 基礎的研究

高度経済成長以降に急速に建設されたコンクリート構造物に対して、劣化に応じた合理的な補修・補強を実施すること、また新設構造物が所要の品質を有しているかどうかを検査し、適切な維持管理を実施することが、今後の社会基盤整備にとって重要な要因になると考えられる。部材内の材料分布の不均一性が、耐久性に影響を与えることが報告されており、コンクリート標準示方書施工編(以下示方書)では材料係数を用いることで対処している。しかし、実際に建設された構造物内部でどの程度の不均一性が生じているかに関しては定量的に評価できないのが現状である。そこで、本研究では、コンクリート中の熱移動に着目し、赤外線画像により施工後の品質の良否を把握する手法を開発することを目的とした。また、材料分布の不均一性に起因すると考えられる熱移動や拡散などの現象の相違を実験的に把握する目的で、熱移動とあわせて塩分浸漬試験を行った。これにより、熱移動特性から Cl^- の拡散予測を試み、コンクリートの耐久性能を予測することを最終目的とした。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) コンクリートの品質は表面温度の差として検出できる。
- 2) コンクリートの品質ごとに熱移動特性値を持ち、塩分拡散係数との相関がある。このことを利用して、予測式より Cl^- 拡散係数の予測が可能であり、コンクリート標準示方書の「塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査」より、コンクリート構造物の耐久性能を予測することが可能である。



測定の様子・ Cl^- 拡散係数と放熱温度比の関係

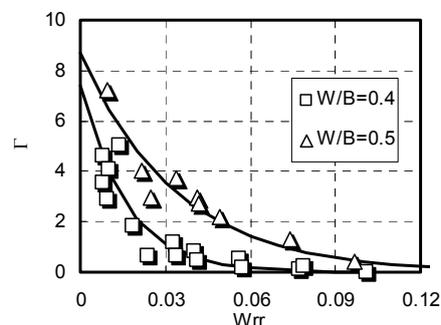
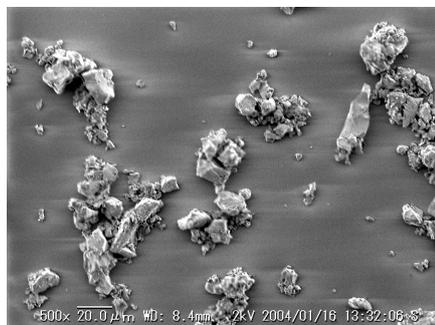
完全分散系ペーストを用いたセメントペーストの凝集程度の把握

フレッシュコンクリートの流動性や材料分離抵抗性は、水セメント比などの配合条件の影響を受け、セメントペーストの凝集構造はこれらの性能の支配的な要因であると言われている。しかし、凝集構造を適切に評価する方法は確立されていない。ここで、通常のペーストと同じ水セメント比で全く凝集体を持たないペースト（完全分散系）が存在したとする。これら 2 つのペーストに自由水のみを完全に脱水できる遠心力を作用させると、通常のペーストにはセメント粒子間に取り込まれた水（内部拘束水）とセメント表面に存在する水（外部拘束水）が残り、完全分散系では外部拘束水のみが残る。つまり、内部拘束水の有無により脱水量に差が生じ、この値を、凝集程度を示す指標とすることができる。

本研究では、通常のペーストと完全分散系のペーストを用いて遠心脱水を行い、両者の脱水量からペーストの凝集程度を求め、材料・配合条件がペーストの凝集構造に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) OPC および BS40 では、水粉体比は凝集程度にほとんど影響を与えないが、BS80 では、水粉体比の増加にともない凝集程度も増加する。また、OPC と BS80 の混合系では、置換率に応じて凝集程度は線形的に変化していく。
- 2) 高性能 AE 減水剤の効果は、粉体量に対して一定の割合添加しているにもかかわらず、水粉体比の増加にともない増加する。
- 3) 拘束水量比とフロー面積比の間には相関関係が見られ、回帰分析の結果から、適度な流動性と材料分離抵抗性を有している場合、凝集程度はペーストの変形性能に対して特に支配的に作用する。



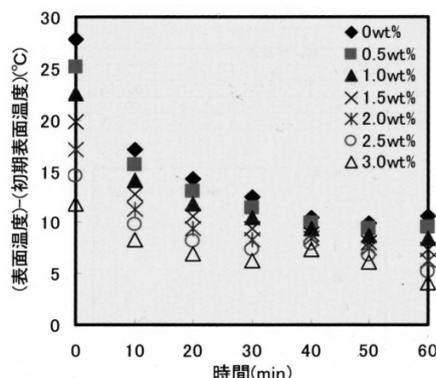
凝集程度の観察結果・回帰曲線と実験値の関係（凝集程度とフローの関係）

コンクリート構造物の含水状態の違いが表面温度に与える影響評価

現状のコンクリート構造物の調査・劣化診断は、一次診断として目視点検等が行われ、これに基づき二次診断として劣化診断が行われ、必要に応じて非破壊検査や局所的な破壊検査が行われている。そして近年、超音波法・打音法・AE法・電磁波レーダー法・赤外線法・X線法等の様々な非破壊検査手法が提案されている。これらは、波長帯は異なるが、波の性質を利用している。そのため、コンクリート中の水分の状態（含水率や水分の分布）が測定結果に影響を及ぼすことが指摘されている。しかし、測定の精度にどの程度の影響があるのかといったことはあまり検討されていないのが現状である。したがって、コンクリート中の含水状態の影響が大きいとされる赤外線法に着目し、含水状態の違いがどの程度表面温度に影響を及ぼすのかを実験的に検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 本研究の範囲内では、コンクリート全体の熱物性値は、W/C, s/a が異なってもコンクリート構成材料の個々の物性値を容積比で重み付けたものに概ね等しく、任意の配合のコンクリートの熱物性を予測することが可能と考えられる。
- 2) 本研究の範囲内では、コンクリートの熱物性、含水率が増加すると、熱物性も増加する傾向を示すことがわかった。
- 3) 含水率が高いと、表面温度の上昇温度差は小さくなることがわかった。
- 4) 表面温度 40°C で加熱した場合、水分の影響を受けにくい最短測定時間は放熱から 30~40 分後であることがわかった。また、表面温度 30°C で加熱した場合、どの時間に測定しても水分の影響は同程度であるため、放熱開始数分後に測定が可能であることがわかった。



放熱時間と上昇温度との関係

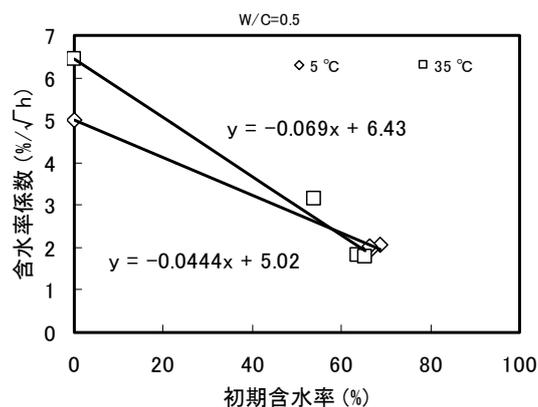
コンクリートの降雨吸水特性に関する実験的検討

本研究では、コンクリート構造物の劣化予測における降雨の影響を実験的に検討することを目的とした。コンクリート構造物への降雨の影響は、降雨環境を変化させた場合のコンクリートの吸水特性の変化を定量的に把握することで検討可能である。降雨環境として降雨量、温度と降雨が接触する面積を、コンクリートの品質として水セメント比および含水率を実験要因として選定し、これらの要因がコンクリートの吸水特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

降雨を模擬した水滴落下実験より、モルタルの吸水過程が異なる境界値は 0.033ml/min～0.046ml/min の間であり、実際の降雨を考えると、極めて微量である。また、水滴と浸水では、吸水過程はほぼ同じ動きをしていることが明らかとなった。

含水率とモルタルの吸水速度およびコンクリートの吸水速度係数および含水率係数の関係は、含水率の増加とともに減少傾向にあり、本研究の範囲内では、概ね線形関係で表現可能であった。また、水セメント比が大きくなるほど、大きな値を示した。

モルタルの吸水速度およびコンクリートの吸水速度係数および含水率係数は、温度が高いほど大きな値を示し、水セメント比が高い方が、その影響が大きいことが明らかとなった。今回測定した範囲の含水率では、コンクリートの初期含水率の増加に伴って、緩やかに吸水速度係数温度比（35℃の吸水速度係数/5℃の吸水速度係数）も増加していた。これは、高温環境下に比べ低温環境下の方が、コンクリート初期含水率の増加にともない、吸水速度係数がより減少することを示している。



温度と含水率係数の関係

赤外線法による日射条件を考慮したコンクリートの内部欠陥検知に関する基礎的研究

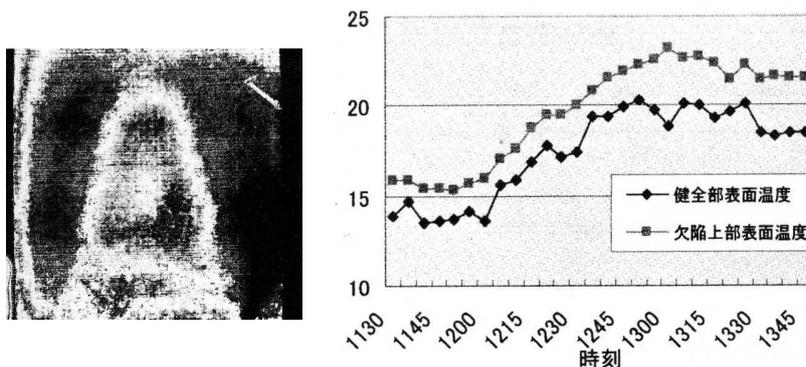
コンクリート中に欠陥がある場合、表面に温度差が生じ赤外線カメラにより検知できる。このような赤外線法は非破壊でコンクリート構造物を検査できることから広く適用されている。赤外線法は太陽光を利用するパッシブ法と、コンクリート表面を強制加熱するアクティブ法がある。しかし、パッシブ法は気象条件によっては変状検知に必要な温度差が生じず、可視化が困難となる欠点を持ち合わせている。そこで本研究では、日照状況がコンクリートの表面温度・内部温度に及ぼす影響に着目し、パッシブ法で検知できない気象条件においてもアクティブ法を用いることにより短時間で効率の良い検査方法を検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

冬季の日射程度の熱量で深さ 7cm 程度の内部欠陥は十分に検知できる。

欠陥内部の温度上昇後、表面温度の低下により欠陥内部から熱の流出が表層部へ向け顕著になったとき内部欠陥は画像として現れやすくなる。

アクティブ法において急激な表面加熱と冷却を繰り返すことにより、内部欠陥検知の短時間化を図ることのできる可能性がある。加熱ムラを失くすことのできる加熱機材の検討が必要である。



パッシブ法による赤外線画像・欠陥部と健全部の表面温度の違い

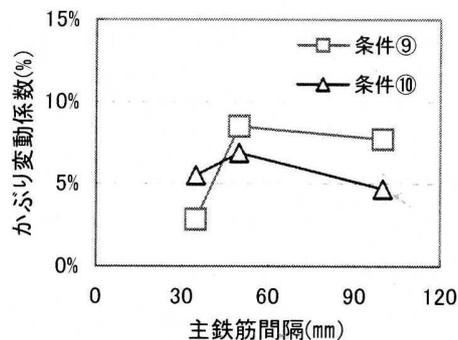
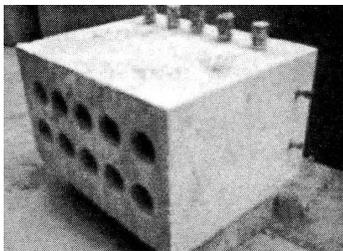
各種施工時の要因がかぶりコンクリートの品質のばらつきに及ぼす影響に関する研究

膨大な量の社会資本ストックを抱えるわが国では、ライフサイクルコストの算定・評価を適切に行い、効果的かつ適切な維持管理をすることが必要不可欠である。その条件として、精度良く劣化予測が行われることが挙げられるが、実際の劣化予測では施工や環境作用等が不確実なもとで行われていることが多く、正確性に欠ける。

そこで本研究では、耐久性に大きく影響を及ぼすかぶりコンクリートの品質に着目し、各種施工時の要因がかぶりコンクリート品質のばらつきに及ぼす影響を把握し、定量的に評価することを目的とした。

その結果、本研究の範囲内では、施工時の要因が品質のばらつきに与える影響の特徴として、締固め時間は 15 秒前後に最も変動係数が小さくなり、スランプ値も 10~15 で最も変動係数が小さくなる。また打ち込み高さは大きくなるにつれて変動係数が大きくなる。主鉄筋間隔は 50mm 程度の時に最も変動係数が大きくなる。

また、施工時の要因やそれらの相互作用により、材料分離の傾向が変動係数の傾向と一致しない場合があり、材料分離を防ぐことが品質のばらつきを防ぐことになるとは一概に言えない。そして示方書等を参考に一般的な施工範囲内で行った本研究の実験において、変動係数が最大 17%・最小 2%の間で変化しており、適切な劣化予測には品質のばらつきそのものの挙動を把握することが重要である。



模擬供試体・かぶり変動に及ぼす主鉄筋間隔の影響

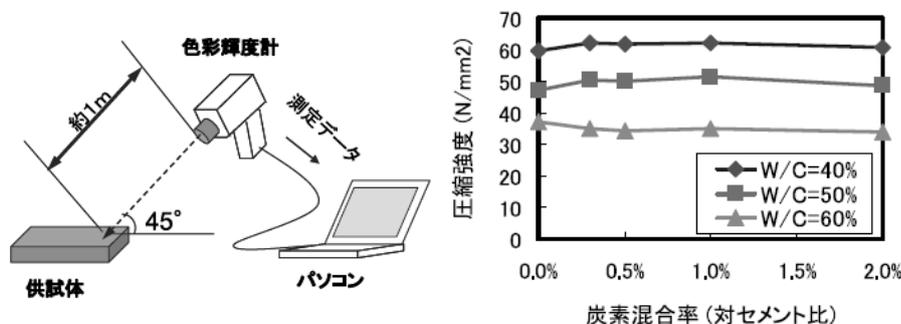
景観性能を考慮した既設コンクリート構造物の補修設計の確立

近年、土木の分野でも歴史的コンクリート構造物の文化的価値が見直されてきている。現在までのコンクリートの補修材料としての評価方法は強度、耐久性などの性能面でしか研究されておらず、補修後の景観、美観的側面にまで言及した研究は少ない。しかし、歴史的コンクリート構造物を一般的な補修方法である断面修復工法で補修してしまうと、新旧コンクリートのコントラストの差の為に逆に補修部分が目立つ「汚い」構造物となってしまう、補修したためにかえって文化的価値が損なわれる危険性が高い。

このような現状を踏まえ、補修対象構造物の明度に合わせて調節可能な補修材料を開発することが本研究の目的である。そのため、対象を断面修復工法に用いるためのコンクリートとし、一般的な黒色汚れの原因物質であるカビや煤塵の主成分である炭素を模擬した黒色顔料（カーボンプラック）をコンクリートに添加することによる色（明度）の変化とその混合率の関係を調べ、要求される明度を備えたコンクリートを作製するために必要となる混合率を確定し、実際の構造物の明度に適合させるための炭素混合率の決定方法を示した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 水セメント比、セメント量は炭素混合による明度変化に影響を及ぼすことが分かった。これは、炭素の混合量が相対的に大きいためであると考えられる。
- 2) 炭素混合による明度変化には単位水量、 s/a とも大きく影響することはないと考えられる。
- 3) 水セメント比を変化させて行った圧縮強度試験、接着強度試験ともに炭素の混合による影響は見られなかった。
- 4) 以上より、炭素の混合によるコンクリートの明度操作は可能であり、圧縮強度、接着強度の面でも問題ないことから、補修材料としての使用は可能であると言える。



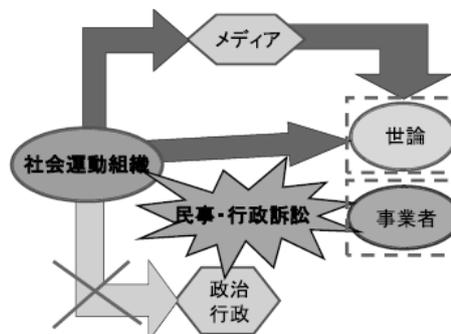
L*a*b*表色系による測色方法・圧縮強度と炭素混合率の関係

メタゲーム分析による社会運動組織の戦略の有効性に関する一考察

多くの都市開発や地域開発において利害対立が発生しており、その調整を図ることは重要な課題となっている。その中でも「開発」対「環境」という構図はこのような対立の典型例の 1 つである。この対立の解決過程の 1 つとして社会運動が挙げられる。

社会運動は主として社会学分野で研究されるが、活動の理念や主張に焦点が当てられることが多く、彼らの取る方法が有効であるのか、目的に対して合理的であるのか、といった戦略面での研究は少ない。そこで本研究では公共事業に関する社会運動のうち、事業が中止となった例と事業が中止にならなかった例を対象に、その運動における社会運動組織の戦略について考察し、以上の事例分析をもとに「事業者」「社会運動組織」「世論」をプレイヤーとしたモデルを構築し、メタゲーム分析を行なった。分析では「事業」「環境」「世論」という 3 つの変数を変化させて均衡解の分布を調べた。

分析結果から、計画中止という均衡解を得るための条件として①事業者自身が「環境」を重視するようにならなければ計画が中止されることはない②計画を中止するためには世論が「環境」をより重視する必要がある③事業者が「世論」の賛同を重視するほど計画は中止されやすい、の 3 つが示唆された。この 3 条件に着目し、対象事例の成功要因、失敗要因について考察を行なった。三番瀬の場合、2 つの社会運動組織群がそれぞれ①、②の条件を満たすべく活動していたことに加え、環境会議が②を、堂本知事が③を支援していた。これらの分業によって効率よく条件が満たされたため計画中止が実現した可能性を指摘した。圏央道の場合は活動の中心が事業の遅延を狙った妨害行為であり、3 条件とは直接関係のないものだった。3 つの条件の中では②の世論へのアプローチが活動の中心であり、この活動だけでは計画中止を実現することは困難であることを指摘した。



社会運動組織の戦略図

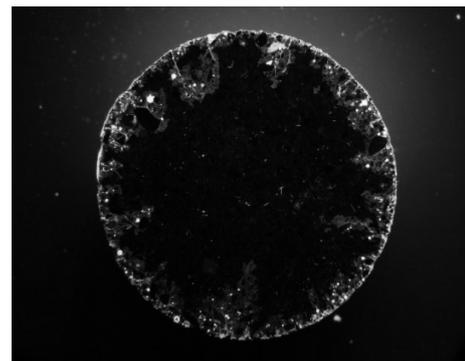
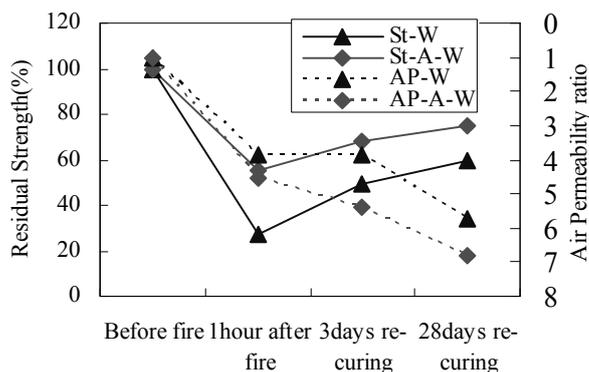
火害を受けたモルタルの耐久性に及ぼす再養生条件の影響

Influence of re-curing on durability of mortar exposed to fire

既往の研究では、火害を受けたコンクリートを水中で再養生することにより、細孔構造が火害を受ける前の状態に戻り、強度も回復すると報告されている。この性質を積極的に補修に活用することができれば、労力および材料の浪費を大幅に軽減することができ、低コストかつ低環境負荷型の対策法が実現できると考えられる。そこで、本研究は火災により中程度の被害を生じたコンクリート構造物（爆裂を生じない程度の被害）を対象として、再養生の条件が透気性および中性化に与える影響に関して実験的に検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 再養生後の圧縮強度および透気性は同様な傾向を示さないことが分かった。この原因として、試験サンプルの違い、細孔構造の変化、計測できなかった各種要因等が推察されるが、解明するまでには至らず今後の課題である。
- 2) 透気性と中性化は強い相関関係にあり、水中再養生を施すことにより透気性および中性化に対する抵抗性が回復することが分かった。このことから、火害後の劣化の中で透気性および中性化に対して、水中再養生を施すことにより耐久性は回復すると考えられた。



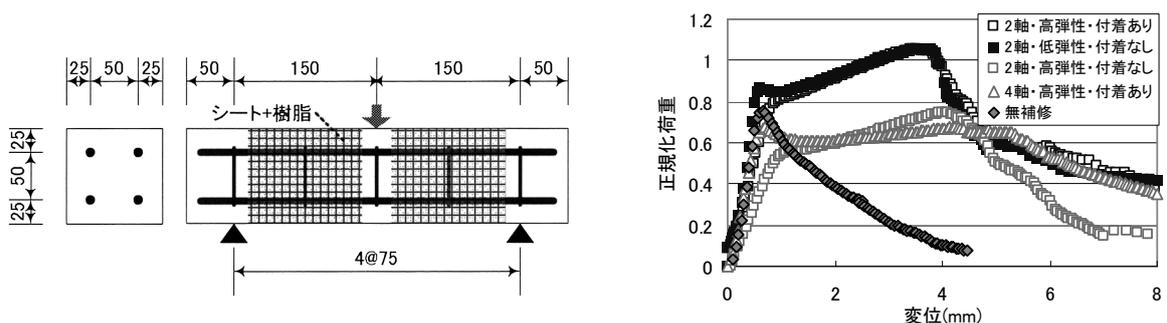
圧縮強度と透気性の比較および蛍光エポキシ樹脂を用いた紫外線照射の様子

災害損傷構造物の迅速復旧工法開発における補修材料と補修法の検討

本研究は迅速復旧工法開発における施工法と補修材料の検討として、損傷を受けた構造物を模擬した小型試験体で補修効果の検討を行った。キャストイングテープを、樹脂含浸型の繊維シート、水硬性等の迅速復旧の要件を満たす材料として着目し、キャストイングテープを用いた施工法の検討を行い、その結果に基づき建設用材料としての検討を行った。

キャストイングテープを用いた施工方法の検討では、キャストイングテープを引張り硬化させること、連続的に巻き立てることが耐力向上に繋がる施工法であると確認できた。またキャストイングテープによる曲げ試験から、シートのずれを抑制することがせん断補強効果を向上させる重要な要因であることが明らかとなった。

以上の実験結果より、キャストイングテープよりも高強度のガラス繊維シート、水硬性ポリウレタン樹脂を使用し樹脂含浸タイプの繊維シートの補修効果の検討を行った。実験結果として、圧縮靱性には 2 軸水平鉛直方向のシートを使用することが適しており、せん断補強には高弾性樹脂を含浸した 4 軸のシートが適している結果となった。また、せん断破壊先行の試験体が、補修後靱性的な挙動を示したことから、本研究で使用したガラス繊維シートと含浸樹脂として使用した水硬性ポリウレタン樹脂を使用した場合でも、補修効果が期待できることが確認できた。これにより、樹脂含浸型の連続繊維シートによる迅速復旧工法の可能性を示すことが出来た。



試験体諸元および圧縮靱性試験結果

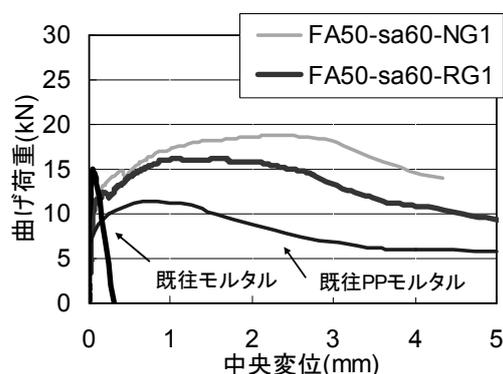
ひび割れ発生時期とその後の環境条件が中性化の進行に及ぼす影響

Influence of time of crack and environmental condition on progress of carbonation

本研究は打設後 1 週間以内に発生したひび割れが、その後の環境の相違によって中性化の進行にどのような影響をもたらすかを、模擬的に曲げひび割れを導入し、その後の環境条件に相違を与えることにより、実験的に検討を行ったものである。また、ひび割れからの中性化進行に及ぼす水分の影響についても実験的に検討を行った。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 材齢 1 日で発生したひび割れは、遅い時期に発生したひび割れと比べるとひび割れ部の中性化の進行が遅いことから、若材齢時に発生したひび割れほど、未水和分の反応がひび割れの閉塞に寄与し、中性化の抵抗性が増す可能性がある。
- 2) 健全部と比べ、幅 0.2mm 程度のひび割れ内部からの中性化は進行しにくいだが、ひび割れが鉄筋まで達している場合、鉄筋周辺の中性化は進みやすい。しかし、本研究の測定期間内では顕著な鉄筋腐食は確認できなかった。
- 3) ひび割れ内部から中性化が進行しにくい要因のひとつとして、ひび割れ内部に供給される CO_2 の量が少なく (CO_2 濃度は高いがひび割れの空間が狭いため、ひび割れ内部からの中性化の進行の影響を受けるコンクリート量に対する CO_2 量が少ない)、健全部に比べ、炭酸化反応が抑制されたためだと考えられる。



曲げ試験後の供試体破壊断面の様子・骨材種類を変えた時のコンクリートと
既往モルタルの曲げ荷重-中央変位曲線

構造体コンクリートの品質確保のための コンクリート受入れ検査に関する基礎的検討

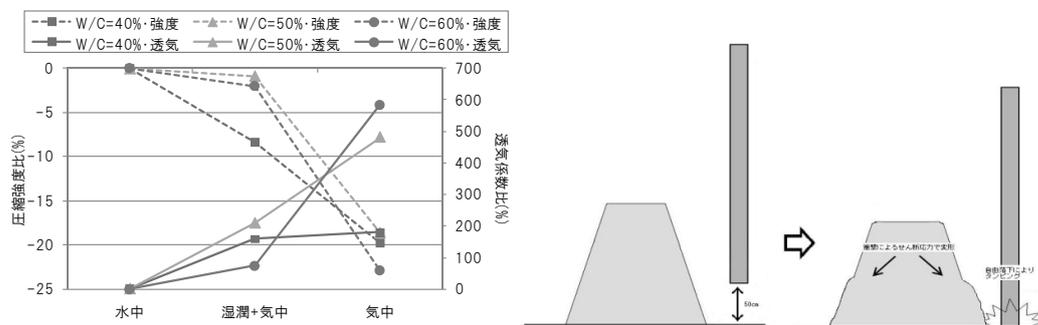
Examination concerning the acceptance inspection for quality assurance of structural concrete

構造体コンクリートの品質は施工の影響を受けるが、必ずしも現状の検査は、構造体コンクリートの品質を保証できる体系となっていない。今後、施工プロセス検査の充実が急務であり、本研究ではその基礎段階として、コンクリート受入れ検査について検討した。

圧縮強度は、耐久性を評価するための代替指標としても用いられているが、養生方法等による圧縮強度の変化に比べ、物質移動抵抗性は大きく変化するため、強度が耐久性の代替指標と成り得ない可能性がある。本研究では、養生環境が圧縮強度及び透気性に及ぼす影響を検討した。さらに、材料分離抵抗性はスランブ試験からは定量的に評価することが難しいため、タンピング試験によって、材料分離抵抗性及び単位水量を簡便に評価する方法について検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 透気性は、材齢初期における湿潤養生が行われなかった場合、養生環境の変化が大きく影響する。また養生環境が圧縮強度と透気性に及ぼす影響は必ずしも一致せず、圧縮強度を耐久性の代替指標として用いることが困難であることが明らかとなった。
- 2) 材料分離抵抗性を評価するために、スランブ試験時の試料上部円の有無が重要であることが確認できた。また、フロー係数の算出により、材料分離抵抗性の違いによる試料の変形の仕方の違いを定量的に評価できる可能性があることがわかった。



養生条件が圧縮強度および透気性に及ぼす影響・タンピング試験模式図

マクロセル腐食が電気化学的測定結果に及ぼす影響

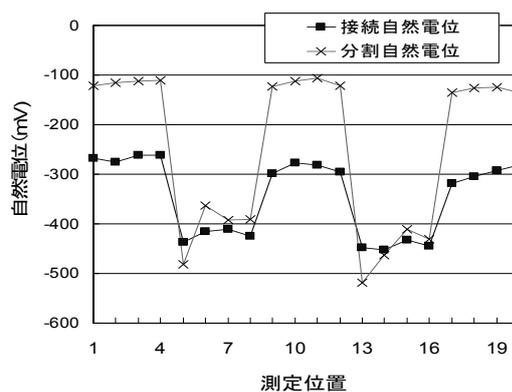
Influence of macro-cell corrosion in reinforced bar on measured electrochemical properties

塩害環境下にある RC 構造物の腐食反応形態は、マイクロセル腐食とマクロセル腐食を示す。既存 RC 構造物の腐食診断には、自然電位法が用いられるのが一般的であるが、マクロセル腐食の場合、自然電位は分極して、アノード部で卑にカソード部で貴に変化するため、正確な鉄筋の腐食状況を評価できなくなる可能性がある。本研究では、通常の鉄筋（連続鉄筋）および分割鉄筋を用いて、マクロセル腐食が自然電位に及ぼす影響を実験的に検討した。

本実験により得られた知見を以下に示す。

健全な鉄筋（塩分無混入箇所）の自然電位は、アノード部（塩分混入箇所）が卑になる程、腐食していると判断されてしまう可能性がある。

分割鉄筋を接続した場合と分離した場合の自然電位は、塩分無混入の箇所のみ変化する。また、マクロセル電流は、自然電位が最も卑な部分がアノード、他の塩分無混入箇所と混入箇所がカソード部となり、マクロセル回路を形成していると推察される。自然電位とマクロセル電流密度が異なるアノード領域を示す結果に関しては、今後更なる検討が必要である。



作製した分割鉄筋および分割鉄筋を用いた自然電位

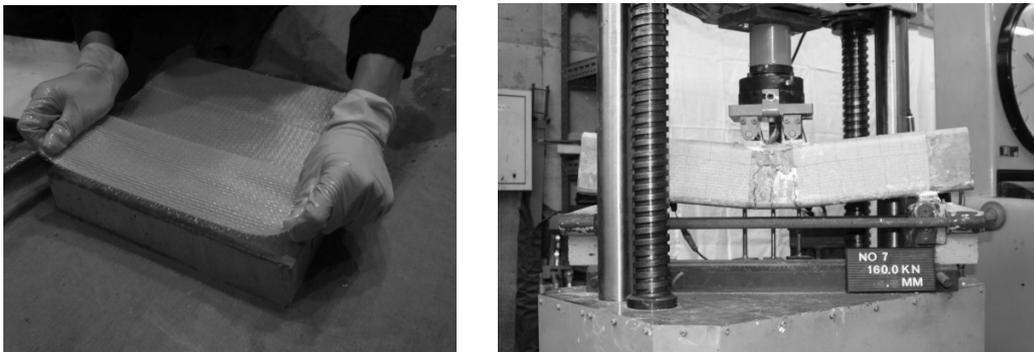
迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性と補修効果の実験的検討

Basic properties and repair effect of an Emergency Retrofitting Method using TST-FiSH

被災した構造物に対して、迅速に復旧することは二次災害を防ぐとともに市民生活やライフラインを確保するためにも重要な技術であり、安全・簡易・迅速に復旧できる工法の開発は望まれている。そこで、本研究では、既往研究で補修材料として期待できると示された水のみで短時間に硬化する水硬性ポリウレタン樹脂を、一般的に使用されている連続繊維シート（炭素繊維シート、アラミド繊維シート、ビニロン繊維シート）に含浸させ、それを TST-FiSH (Fiber Sheets containing Hydraulic-resin) と定義し、TST-FiSH の基礎物性を接着試験により確認し、施工方法、連続繊維シートおよび樹脂濃度選定を行った。また、被災判定表より、被災度 B：中被害を再現し、補修効果検証実験を行った。

接着試験結果より、シートが目付量は 300g/m^2 程度が樹脂と相性がよく、樹脂の濃度は 66% で給水直後に仕上げを施す方法が効果的であった。中被害を想定した補修試験では炭素、アラミド、ビニロンともに耐荷力向上が確認できた。

補修効果検証実験では、せん断破壊するように設計した梁供試体を用いて、被災判定表より、損傷度小・大を与えた後、各 TST-FiSH および損傷度大のみに従来工法で補修を施し、再載荷を行った。損傷度大を与えた従来工法および炭素 2、アラミド 1 TST-FiSH は同様の挙動を示したことから、TST-FiSH は従来工法と同等の補修効果があると確認した。



シート張り付け・載荷試験の様子

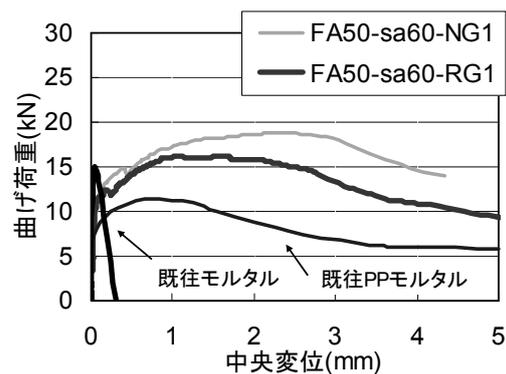
繊維補強モルタルへの廃棄物とリサイクル材料の活用

Utilizing waste and recycled materials in fly ash fiber-reinforced concrete

‘Sustainable Development’ (持続可能な開発) の概念が世に出てからすでに 20 年が経過し、環境に対する意識は確実に変化しつつある。コンクリート分野では、古くから混和材として産業副産物が活用され、知らず知らずのうちに環境配慮を行ってきた。しかし、意識的に環境負荷を配慮した取組みは、他産業と比較して遅れをとっていると言わざるを得ない。

本研究では、廃棄物とリサイクル材料を活用した繊維補強コンクリートの基礎研究として、配合条件を変えて強度試験・透気試験によりフライアッシュ、リサイクル繊維、再生粗骨材を混入させたコンクリートの実用可能性を検討した。これまでの成果をまとめ本論文の結論とする。本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 本研究の範囲内では、繊維補強 FA モルタルの最適 S/B は 80% であった。FA/B が高くなると、強度特性および物質移動抵抗性がともに減少する挙動を示した。また、本研究より、リサイクル繊維とポリプロピレン繊維の種類による影響はほとんど無い事が確認された。
- 2) 本研究の範囲内では、再生粗骨材の最適な混入割合は細骨材率 80% であった。また、再生粗骨材を用いたコンクリートは普通粗骨材を用いたコンクリートと比較して強度は低下した。
- 3) CO₂ 排出量は、S/B が大きいほど、s/a が小さいほど、FA/B が高いほど削減できる。また、粗骨材の種類の影響は環境ポイントとして考慮できる。

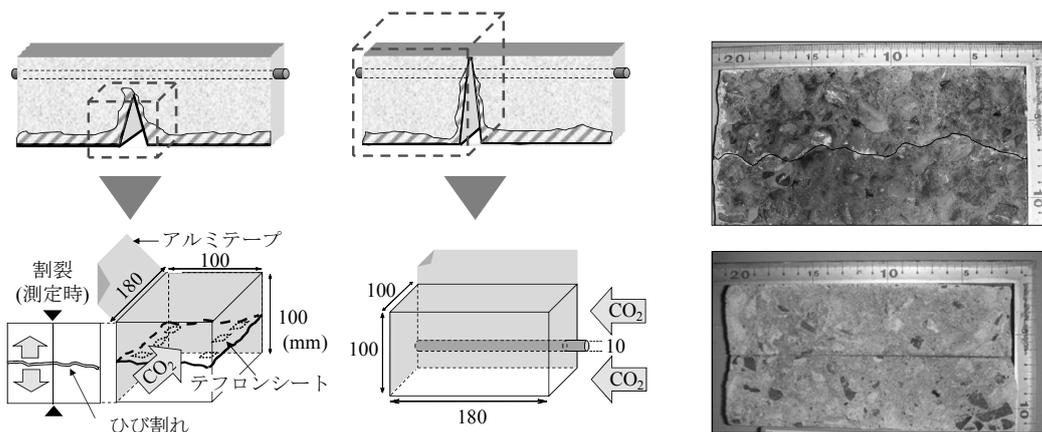


曲げ試験後の供試体破壊断面の様子・骨材種類を変えた時のコンクリートと
既往モルタルの曲げ荷重-中央変位曲線

ひび割れと鉄筋界面からの中性化進行に及ぼす乾湿繰返しの影響

Influence of cyclic dry-wet exposure on carbonation progress from crack surface and concrete-steel reinforcement interface

本研究では、ひび割れからの中性化の進行を解明する一連の実験として、実環境に相当する乾湿繰返しを設定し、ひび割れと鉄筋界面の中性化に及ぼす乾湿繰返しの影響を実験的に検討した。ひび割れからの中性化進行を明らかにするため、健全部からの中性化とひび割れからの中性化を比較したところ、ひび割れからは中性化が進行していないことを確認できた。すなわち、乾湿繰返しがコンクリートの中性化を抑制することが明らかになり、その要因として、ひび割れ内部の水分と二酸化炭素が大きく作用しているという考察に至った。本研究では、ひび割れ内部の水分と二酸化炭素の影響を明らかとするための実験も行ったが、定量的な結果は得ることができなかった。この2つの要因は今後も継続的に実験を行い、検討する必要がある。ひび割れ発生後、ひび割れが鉄筋まで到達した場合を模擬し、鉄筋界面の中性化に及ぼす乾湿繰返しの影響を実験的に検討した。鉄筋界面からの中性化の進行は健全部に比べ数10倍～数100倍速く進行し、材料で比較するとBSの進行がPLよりも速いという傾向があった。材齢の経過とともに鉄筋腐食による膨張が発生するため、鉄筋とコンクリート界面の付着が悪くなり、鉄筋近傍の中性化の促進倍率が高くなる傾向を示した。



供試体作成方法・ひび割れ内部およびひび割れ面からの中性化の様子

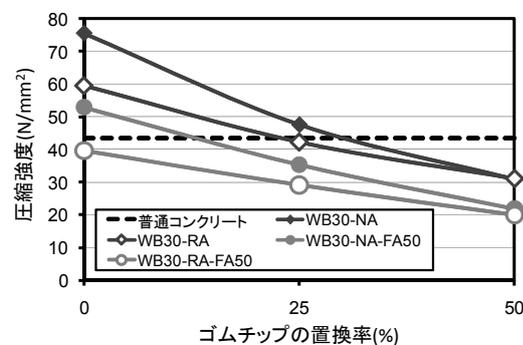
ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだ コンクリートの基礎物性／環境負荷に及ぼす影響

Effect of rubber chip volume on the mechanical/environmental performance of concrete containing high volume of recycled materials

本研究は廃タイヤの新たな活用先、環境に配慮した新たなコンクリートの可能性のために、ゴムチップ、フライアッシュ、再生粗骨材、再生 PET 短繊維といった廃棄物や再生物質を、混和材料として使用することを検討した。加えて、廃棄物、主に混和材として研究が進んでいないゴムチップが、コンクリートの基礎物性に与える影響を検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) ゴムチップの置換率の増加に伴いスランプが低下し、空気量が増加するが、セメントペースト量を増やすとによってより多くのゴムチップを混入することができる。
- 2) ゴムチップの置換率が増加すると、他の廃棄物混入による強度低下の影響が少なくなることが確認されたが、圧縮強度が大幅に低下した。透気係数は、フライアッシュ無しでは若干増加したものの、大きな変化は確認できなかった。しかし、フライアッシュが混入している場合、ゴムチップの置換率が25%から50%に増加したときに大幅に増加した。
- 3) 廃棄物量と圧縮強度による検討の結果、粉体量 550kg・再生粗骨材・ゴムチップ 25%のコンクリート、粉体量 550kg・フライアッシュ 50%・再生粗骨材のコンクリート、粉体量 450kg・フライアッシュ 50%・再生粗骨材のコンクリートが本研究で強度を確保しつつ、廃棄物が多量に入ったコンクリートであることが分かった。これらの特徴は再生粗骨材を使用しているということであり、再生粗骨材を使用することで環境に優しいコンクリートを製造することができる。



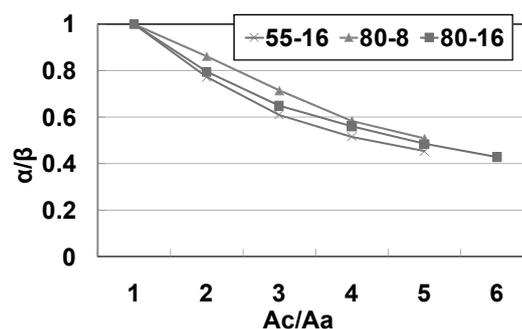
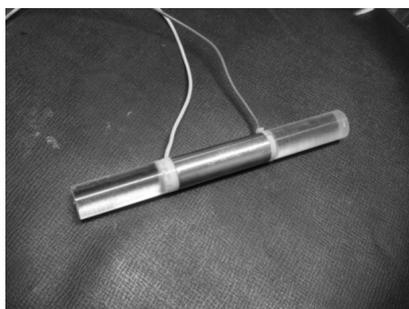
本研究で使用したゴムチップ・ゴムチップの置換に伴う圧縮強度の変化

複数の測定方法を用いたマクロセル腐食に関する検討

鋼材腐食は塩害環境下にある RC 構造物の代表的な劣化原因の 1 つであり、特に、マクロセル腐食が生じた場合には鋼材の腐食速度が速く、急激に劣化が進行することが知られているため、マクロセル腐食の機構解明が不可欠であると考えられる。ここで、マクロセル腐食の腐食速度はアノード部 (Aa) とカソード部 (Ac) の表面積比 (Ac/Aa 以下と称す) によって支配されると考えられているが、実際の腐食速度との関係は明らかにされていない。そこで本研究では、マクロセル腐食が生じた試験体の Ac/Aa が、マクロセル腐食速度に及ぼす影響を、マクロセル電流や分極曲線の計測、一般的に用いられる非破壊試験である自然電位、分極抵抗により検討した。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) マクロセル電流密度に関しては、アノードとカソード要素間の影響を確認した。試験体の状態に関わらず、アノード部と対象とするカソード部を個別に接続した ($Ac/Aa=1$) 場合のアノード電流密度の総和を α 、対象とするカソード全てと接続した場合のアノード電流密度を β と定義すると、 β/α と Ac/Aa の関係はほぼ一定の関係を示しており、 Ac/Aa の増加に伴って、 β/α は低下することが分かった。
- 2) 自然電位や分極抵抗はマクロセル腐食の影響を大きく受けていると考えられ、それらの値だけでは腐食箇所を的確に把握することは困難であることを確認した。
- 3) 分極曲線の測定結果からコンクリート抵抗以外のマクロセル電流と密接な関係のある抵抗の存在が示唆された。



腐食の程度によらず要素間の電流密度の減少率は一定に減少

本試験で使用した分割鉄筋 (左) と電流における試験結果 (右)

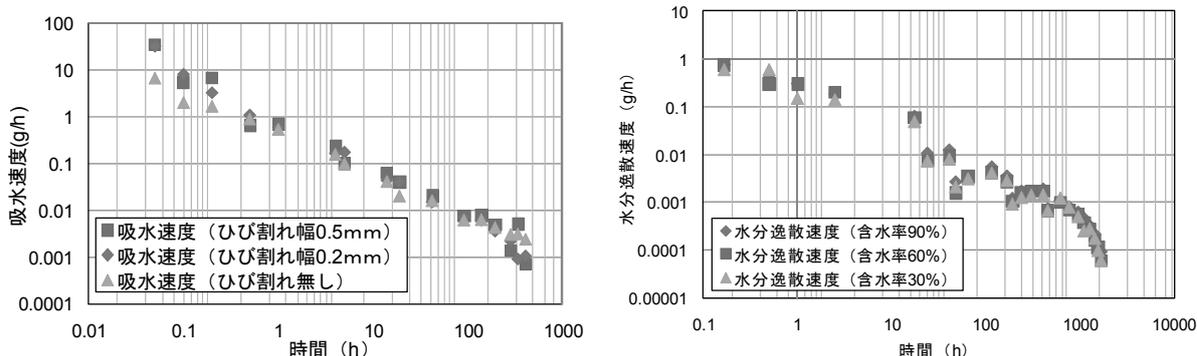
ひび割れ内部の水分挙動に関する実験的検討

An experimental study on the behavior of water inside concrete cracks

本研究では、ひび割れの内部に侵入した水分の挙動を解明する一連の実験として、実環境に相当する状況を設定し、吸水実験および乾燥実験を行い検討した。

本研究により得られた知見を示す。

- 1) 吸水実験の結果より、ひび割れを有した供試体を水中に浸漬させた場合、ひび割れ内部へは短時間で水分が侵入し、24時間程度で飽水状態になる。
- 2) ひび割れ幅 0.5mm 程度と幅が広い場合でも、ひび割れ内部の水分は簡単に逸散せず、吸水に要した時間が、90%で8時間、50%で0.25時間であった場合、逸散によって含水率0%に要した時間は、90%で250時間、50%で150時間とその差は100時間程度生じており、吸水時間で生じる差と比較して非常に大きいことがわかった。また、含水率の相違によって、逸散速度自体は変化せず、逸散に要する時間は単に含水率の違いに伴う初期含水量の差によることがわかった。
- 3) ひび割れの有無や幅が水分逸散挙動に及ぼす影響に関しては、逸散開始後数時間程度は、その影響が表れるが、数十時間経過すると、いずれの場合も逸散が概ね収束した。
- 4) 既往の研究でひび割れからの中性化が進行していなかった乾湿繰り返し条件（24時間浸漬で144時間乾燥や、48時間浸漬で288時間乾燥）では、ひび割れ内部に水分が残留していることが確認できた。



水中浸漬時における吸水速度・水分逸散速度（ひび割れ幅 0.2mm）

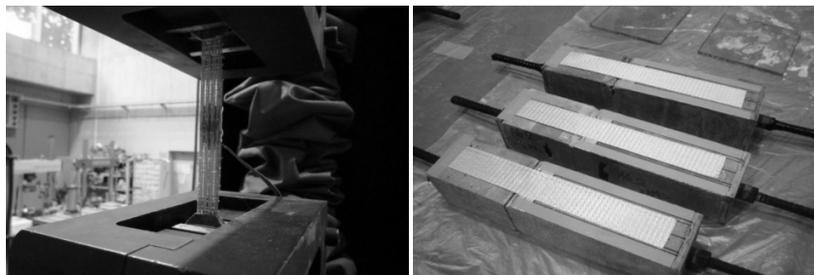
接着層における水硬性樹脂の力学的特性が補強効果に及ぼす影響

震災時、迅速に復旧することは二次災害を防ぐとともに市民生活やライフラインを確保するためにも重要な課題であり、安全・簡易・迅速に復旧できる工法の開発が望まれている。本研究は、既往の研究で用いられてきた水硬性ポリウレタン樹脂原液(AD-284)を、グリコールエステル系溶剤により 66%に希釈された樹脂の問題点を把握し、新たな樹脂の開発に取り組み、その基礎物性および補強効果を検証した。

水硬性ポリウレタン樹脂の新たな希釈剤として反応性モノマー(A, B)を用い樹脂の粘性を評価したが、反応性モノマーBにより 55%に希釈した樹脂が施工性および接着強度の観点から適切だと判断し、各試験における比較対象樹脂とした。

反応性モノマーBにより 55%に希釈した樹脂を用いて接着強度の発現性状を確認した結果、施工後 6 日で接着強度最大となったが、養生 1 日後でも実用強度としては十分な値を得た。また、水硬性ポリウレタン樹脂原液(AD-284)を、グリコールエステル系溶剤により 66%に希釈された樹脂と、反応性モノマーBにより 55%に希釈した樹脂を、それぞれ連続繊維シートに含浸させたときの特性として、グリコールエステル系溶剤により 66%に希釈された樹脂を用いた場合、接着強度は低いがポリウレタン特有のゴム弾性を効果的に発揮することで、良好な付着強度および界面剥離破壊エネルギーを得た。

実験で得られた各樹脂の基礎物性をもとに、RC 梁試験体を用いて、補強効果および連続繊維シートの受持つせん断耐力を確認するための実験を行った。実験の結果、水硬性ポリウレタン樹脂原液(AD-284)をグリコールエステル系溶剤により 66%に希釈された樹脂を連続繊維シートに適用した場合、接着強度は低いですが、ポリウレタン特有の延性的な性質を効果的に発揮し、シートを巻き立てたことで、無補強の場合の 2 倍の値を示し、エポキシ樹脂を用いた従来工法と同等の補強効果を得られた。



引張りおよび付着試験の様子

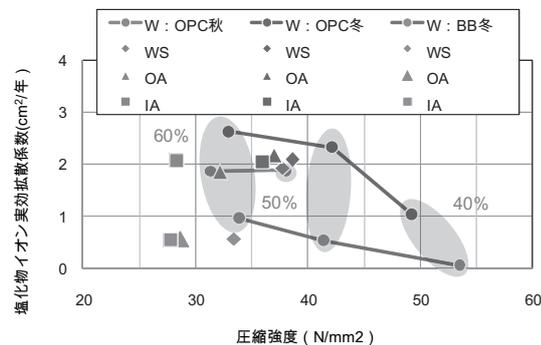
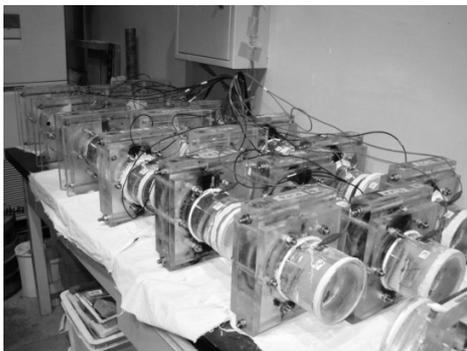
コンクリートの圧縮強度と物質移動抵抗性の関係に及ぼす施工条件の影響

Effect of construction conditions on the relationship between compressive strength and mass transport property

本研究では、コンクリートの品質を評価するために用いられている圧縮強度と、物質移動抵抗性の指標となる透気係数および塩化物イオンの拡散係数の関係を定量的に評価することを目的とした。また、実構造物のコンクリートの品質は施工方法の影響を受ける。単位水量とブリーディングを変化させるとともに、実施工を考慮して、打設方法や、施工条件の影響について、実験的に評価した。得られた知見と今後の検討課題を以下に示す

圧縮強度と透気係数の関係は W/C を変化させ、標準養生した時に相関関係が認められた。養生条件のみを変化させた時の両者の関係は、W/C を変化させた場合に比べ、圧縮強度の低下に対する透気係数の増加の割合が大きい傾向にあった。圧縮強度と塩化物イオンの実効拡散係数の関係は、W/C を変化させ、標準養生の場合概ね相関関係が認められた。しかし、養生を変化させた場合、圧縮強度が低下したのに対して、塩化物イオンの実効拡散係数は概ね一定となり、水セメント比の変化ほど影響が認められなかった。水セメント比による、配合因子の方が、養生変化による環境因子より、強度に対する相関性が高いことが明らかとなった。

模擬部材供試体の反発度と表面透気係数を基準試験体と比較して検討した。模擬部材供試体では、基準供試体では測定できない高さ方向の反発度、表面透気係数の変動を測定し、コンクリートのブリーディング量と自重作用による圧密の影響を確認できた。



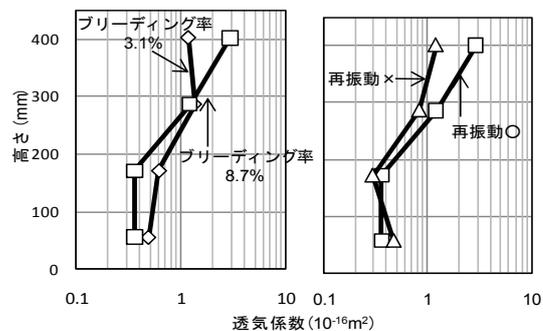
電気泳動試験の様子・塩化物イオン実効拡散係数と圧縮強度の関係

施工方法の相違がコンクリートの表層透気性に及ぼす影響

コンクリート構造物の耐久性は、炭酸ガス、塩化物イオン、水分、酸素といった腐食因子の物質移動によって支配されている。構造物の所要の物質移動抵抗性を確保するためには、かぶりコンクリートの品質が重要となる。かぶりコンクリートの品質は、使用材料、配合、養生方法、施工方法や、環境要因によって異なるが、これらの要因がかぶりコンクリートの品質に及ぼす影響は、定量的に把握されているとは言い難い現状にある。

本研究では、かぶりコンクリートの品質に及ぼす様々な条件のうち、コンクリートのブリーディング性状、締固め方法、打重ね間隔の時間に着目した。そして、物質移動抵抗性の一つである表層透気試験、およびコンクリート構造物の耐久性の一つである中性化に対する影響を検討した。

本実験では、かぶりコンクリートの表層透気性に及ぼすコンクリートのブリーディング性状や施工方法の影響について検討した。表層透気性の変化に対してはコンクリートのブリーディング性状が影響し、ブリーディング水の影響は締固めの方法等によって変化することが確認された。



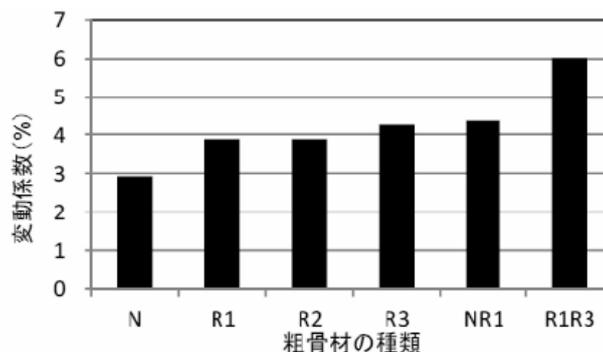
あばた・供試体高さ と 表層透気係数の関係

再生骨材コンクリートの強度特性に関する基礎的研究

現在、再生骨材のほとんどは路盤材に利用されているが、今後、路盤材需要の減少にともなうコンクリート解体材の供給過多が予想される。このような状況は、最終処分場の逼迫や、不法投棄など、より身近な問題を引き起こす可能性がある。再生骨材は 2005 年～2007 年にかけて JIS 規格化され、再生骨材コンクリートを利用する環境は整いつつあるものの、十分に普及していないのが現状である。再生骨材コンクリートが普及しない原因として、再生骨材の製造コストやエネルギー消費量が高いことや、骨材品質のバラツキにともなう信頼性の不足が考えられる。本研究では、製造コストやエネルギー消費量が普通粗骨材と同程度である低品質な再生粗骨材を使用したコンクリートの、圧縮強度のバラツキを考慮した使用方法の把握を目的とし、実験的検討を行った。

本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 再生粗骨材を混合使用した場合の圧縮強度は、より低品質な再生粗骨材の品質に依存する可能性がある。
- 2) 異なる種類の再生粗骨材を混合使用すると、変動係数は大きくなるが、本実験で使用した再生粗骨材を単独使用すれば、変動係数は 4%程度で安定する。



再生粗骨材・圧縮強度の変動係数

Research paper list

研究業績リスト

加藤(佳)研究室
研究活動レポート

Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

Books

著書

1. Raktipong Sahamitmongkol and Yoshitaka Kato: Corroded Flexural RC Members with Patching Repair, Lap Lambert Acad. Publ., 2009.7
2. 魚本健人, 加藤佳孝編著: コンクリート構造診断工学, オーム社, 2008.7
3. 魚本健人編著, 加藤佳孝, 他: 図解コンクリート構造物の非破壊検査技術, オーム社, 2008.1
4. 魚本健人監修, 加藤佳孝編著: コンクリート構造物のマテリアルデザイン, オーム社, 2007.7
5. 魚本健人, 加藤佳孝, 非破壊検査研究会: コンクリート構造物の検査・診断—非破壊検査ガイドブック—, 理工図書, 2003

Original articles

原著論文

1. コンクリート構造物の耐久性を考慮した断面修復工法の適用と断面修復材の性能評価に関する一考察, 槇島 修, 加藤 佳孝, 魚本 健人, 土木学会論文集F, Vol. 66, No. 1, pp.101-111, 2010
2. 加藤佳孝, 西村次男, 魚本健人: 骨材周囲の遷移帯厚さおよび空隙率の簡易算定手法の提案, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.308-315, 2010.2
3. 鈴木将充, Michael HENRY, 加藤佳孝, 勝木太: 高温加熱を受けたモルタルの物理化学的性状に及ぼす再養生条件の影響, セメント・コンクリート論文集, No.63, pp.148-154, 2010.2
4. Ominda Nanayakkara and Yoshitaka Kato: Macro-cell Corrosion in Reinforcement of Concrete under Non-homogeneous Chloride Environment, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.7 No.1, pp.31-40, 2009.3
5. Pakawat Sancharoen, Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto: Probability-Based Maintenance Planning for RC Structures Attacked by Chloride Journal of Advanced Concrete Technology Vol.6 No.3, pp.481-495, 2008.10
6. Raktipong Sahamitmongkol, Siam Suwathanangkul, Porntep Phoothong and Yoshitaka Kato : Flexural Behavior of Corroded RC Members with Patch Repair – Experiments & Simulation, Journal of Advanced Concrete Technology Vol.6 No.2, pp.317-336, 2008.6
7. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Hisashi KANADA, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Application of Near-Infrared Spectral Imaging System for Inspection of Concrete Deterioration, Research and Development Journal, Vol.19, No.1, 2008.
8. 加藤佳孝, 藤野学: ニューラルネットワークによるかぶり品質変動の定量的評価, コンクリート工学論文集, Vol.18 No.1, pp.57-66, 2007.1
9. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Hisashi KANADA, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Development of New Method to Inspect Deteriorated Concrete Using NIR Spectroscopic Technique, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, 2006.12
10. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Hisashi KANADA, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Development of Portable Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Analyzer for Concrete Inspection, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand, 2006.12
11. Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO: Proposal for quantitative evaluation methodology of inspection value in maintenance of concrete structures based on repair-risk, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.3, No.3, pp.363-370, 2005.10
12. 加藤佳孝, 魚本健人: 補修リスクを用いた検査実施の優先順位決定方法の提案, コンクリート工学論文集, Vol.16 No.2, pp.101-107, 2005.5
13. Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO: Modeling of Effective Diffusion Coefficient of Substances in

- Concrete Considering with Spatial Properties of Composite Materials, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.3, No.2, pp.241-251, 2005.6
14. Ema KATO, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO: Development of Simulation Model of Chloride Ion Transportation in Cracked Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Japan Concrete Institute, Vol.3, No.1, pp.85-94, 2005.2
 15. 加藤佳孝, 伊代田岳史, 西村次男, 魚本健人: ひび割れを有するコンクリートに適用した表面被覆材の力学性能と耐久性評価, 土木学会論文集, No.781, V-66, pp.89-99, 2005.2
 16. 加藤佳孝, 魚本健人: 構成材料の空間的特性を考慮したコンクリートの有効拡散係数の予測モデル, コンクリート工学論文集, Vol.16 No.1, pp.11-21, 2005.1
 17. 加藤佳孝, 杉井良平, 矢島哲司: 完全分散系ペーストを用いたセメントペーストの凝集程度の把握, セメント・コンクリート論文集, 2004.12
 18. 加藤絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れを有するコンクリート中の塩化物イオン移動評価手法の提案, セメント・コンクリート, No.678, pp.46-53, 2003.8
 19. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れを有するコンクリート中の塩化物イオン移動評価手法の提案, 土木学会論文集 No.732/V-59, pp.109-120, 2003.5
 20. 加藤絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 内部欠陥を有するモルタルの透気性状に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.56, pp.485-491, 2003.2
 21. 加藤佳孝, 田中芳光, 西野仁, 島崎敏一: 建設分野における技術評価手法の提案, 建設マネジメント研究論文集, 2002
 22. 矢吹信喜, 古川将也, 加藤佳孝, 横田勉, 小西哲司: プロダクトモデルによるPC中空床版橋の設計照査と概略積算の統合化, 土木情報システム論文集, Vol.10, 2001.
 23. 加藤佳孝, 魚本健人: 遷移帯の特性に着目した硬化体の物質移動特性のモデル化, 土木学会論文集V, No.655, V-48, 2000.
 24. 加藤佳孝, 魚本健人: 数値解析による骨材表面に存在する遷移帯特性の評価に関する研究, 土木学会論文集V, No.641, V-46, pp.77-86, 2000.
 25. 加藤佳孝, 魚本健人: セメントペーストの凝集構造がブリーディング現象に与える影響, 土木学会論文集V, No.592, 1998.
 26. 加藤佳孝, 魚本健人: 細骨材の粒径及び細骨材量が遷移帯形成に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.52, 1998.
 27. 魚本健人, 吉沢勝, 増田克洋, 加藤佳孝: 大型車交通量を考慮したコンクリート構造物の耐久設計に関する研究, 土木学会論文集 V-36, 1997.

Reviewed annual paper collections

査読あり年次論文集

1. 水上翔太, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: ひび割れが中性化進行に及ぼす影響に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.599-604, 2010.7
2. Ominda NANAYAKKARA, Yoshitaka KATO: ANALYTICAL METHODS TO EVALUATE MACRO-CELL CORROSION CURRENTS IN CONCRETE, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.1061-1066, 2010.7
3. 早川健司, 加藤佳孝: 振動締固めによるかぶりコンクリートの充填挙動と品質変動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.1325-1330, 2010.7
4. Michael HENRY, Yoshitaka KATO: Assessment of concrete sustainability using social perspectives and Analytic Hierarchy Process, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.1805-1810, 2010.7
5. German PARDO, Michael HENRY, 西村次男, 加藤佳孝: Effect of binder and aggregate type on mechanical and environmental performance of green concrete, コンクリート工学年次論文集 Vol.32,

- pp.1811-1816, 2010.7
6. 鈴木将充, 伊藤正憲, 牧剛史, 加藤佳孝: 含浸接着樹脂の物性値が RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, pp.1841-1846, 2010.7
 7. 鈴木将充, 小島文寛, 伊藤正憲, 加藤佳孝: 迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性と補修効果の検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.31, 2009.7
 8. 水上翔太, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: 構造体コンクリートの品質確保のための受入れ検査に関する検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.31, No.1, pp.793-798, 2009.7
 9. Michael HENRY, Wataru HIRATA, Yoshitaka KATO: Utilizing waste and recycled materials in fly ash fiber-reinforced mortar, コンクリート工学年次論文集 Vol. 31 No. 1, pp. 1861-1866, 2009.07
 10. 鈴木将充, ヘンリー マイケル, 加藤佳孝, 勝木太: 高温加熱を受けたモルタルの耐久性に及ぼす再養生条件の影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.2, pp.711-716, 2008.7
 11. Michael HENRY, Tae-Ho AHN, Yoshitaka KATO and Toshiharu KISHI: Evaluation of Re-curing for the Recovery of High-strength Mortar Exposed to Fire, コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.1, pp. 435-440, 2008.7
 12. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 実環境下におけるポリマーセメント系断面修復材の性能評価, コンクリート工学年次論文集 Vol.29, No.2, pp.835-840, 2007.7
 13. 鈴木僚, 西村次男, 加藤佳孝, 岩波光保: 測定環境条件が鉄筋コンクリートの電気化学的測定結果に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集 Vol.29, No.2, pp.751-756, 2007.07
 14. NANAYAKKARA Ominada Prasad, Yoshitaka Kato: MACRO-CELL CORROSION AND ITS TIME DEPENDENCY UNDER NON-UNIFORM CHLORIDE ENVIRONMENT, コンクリート工学年次論文集 Vol.29, No.2, pp.1383-1388, 2007.7
 15. Pakawat SANCHAROEN, Raktipong SAHAMITMONGKOL, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO: UTILIZATION OF INSPECTION RESULT OF RC STRUCTURE IN THAILAND TO PLAN MAINTENANCE FOR CHLORIDE ATTACK, コンクリート工学年次論文集 Vol.29, No.2, pp.1687-1692, 2007.7
 16. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 各種環境条件下におけるポリマーセメント系断面修復材の性能評価, コンクリート工学年次論文集 Vol.28, No.1, pp.1757-1762, 2006.07
 17. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリートの熱特性を活用した塩化物イオン拡散係数推定に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28 No.1, pp.1913-1918, 2006.07
 18. 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: 既設 PC 桁の構造劣化診断に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.28 No.1, pp.1967-1972, 2006.07
 19. 竹下 直樹, 加藤 佳孝: 局所的風況・降雨量予測を基にしたコンクリート構造物への水分浸透に関する研究, 自然環境とコンクリート性能評価に関するシンポジウム, 2005.6
 20. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 矢島哲司, 魚本健人: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の物質拡散性状評価に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1765-1770, 2005.07
 21. 内田昌勝, 加藤佳孝, 恒国光義, 魚本健人: 各種非破壊試験方法の PC グラウト充填検査への適用性の検証, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1795-1800, 2005.07
 22. 勝木太, 堤洋一, 加藤佳孝, 魚本 健人: 非破壊検査手法を用いた既設 PC 桁の調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1813-1818, 2005.07
 23. 加藤潔, 堤洋一, 加藤佳孝, 魚本 健人: 非破壊検査手法による既設 RC 桁・床版の劣化調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1819-1824, 2005.07
 24. 恒国光義, 堤洋一, 加藤佳孝, 魚本健人: 既設 RC 道路橋のモニタリングによる健全度評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.1879-1884, 2005.07
 25. 横澤祐希, 佐藤貴則, 加藤佳孝, 魚本健人: 劣化診断支援システムを使用した多摩川橋梁調査報告, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.1609-1614, 2005.07
 26. 山本泰彦, 十河茂幸, 牛島栄, 加藤佳孝, 野口貴文, 庄司学: コンクリート構造物のリスクマネ

- ジメント研究委員会活動(委員会報告), コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.9-18, 2005.07
27. 吉國美涼, 加藤佳孝, 西村次男, 魚本健人: 羽根付回転式円筒管を用いたコンクリートの練混ぜ性能に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 2004.7
 28. 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリート構造物の劣化診断における非破壊検査の適用に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 vol.26, No.1, pp.243-248, 2004.7
 29. 吉國美涼, 加藤佳孝, 星野公秀, 魚本健人: 個別要素法を用いたコンクリート運搬システムの基礎理論の解明, コンクリート工学年次論文報告集, 2003
 30. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 矢島哲司, 魚本健人: 赤外線法を用いたコンクリート部材内の材料分布評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, 2003
 31. 村瀬豊, 加藤佳孝, 勝木太, 魚本健人: ひび割れを有する鉄筋コンクリート壁部材の光ファイバによるモニタリング, コンクリート工学年次論文報告集, 2003
 32. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 塩化物イオンの移動評価におけるひび割れのモデル化, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, pp.573-578, 2002
 33. 加藤絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れがコンクリート中の塩化物イオン移動性状に及ぼす影響, コンクリートの耐久性データベースフォーマットに関するシンポジウム論文集, コンクリート技術シリーズ 46, pp.1-4, 2002
 34. 塚原絵万・加藤佳孝・魚本健人: 欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する実験的考察, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.23 No.2, pp.823-828, 2001
 35. 加藤佳孝, 塚原絵万, 魚本健人: 細孔構造に立脚したコンクリートの拡散性状のモデル化に関する一提案, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, 2001.
 36. 矢吹信喜, 古川将也, 山下武宣, 加藤佳孝: 3次元プロダクトモデルおよびプロセスモデルによるプロジェクトマネジメントの統合化の試み, 建設マネジメント問題に関する研究発表会・討論会講演集, Vol.19, 2001.
 37. 加藤佳孝, 魚本健人: 遷移帯の特性に着目した物質移動現象のモデル化に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, 2000.
 38. 許賢太郎, 小森大育, 加藤佳孝, 魚本健人: 配合及び施工条件がコンクリートのコールドジョイントに与える影響, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.22 No.1, pp.259-264, 2000
 39. 松浦誠司, 坂本淳, 加藤佳孝, 魚本健人: 使用材料が吹付けコンクリートの耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.22 No.2, pp.1375-1380, 2000
 40. 加藤佳孝, 魚本健人: 配合条件が遷移帯細孔構造に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, 1999.
 41. 西村次男, 魚本健人, 加藤佳孝: 各種溶液における繊維強度の温度依存性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.21 No.2, pp.283-288, 1999
 42. 加藤佳孝, 魚本健人: 細骨材の量と比表面積が遷移帯形成に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, 1998.
 43. 西村次男, 魚本健人, 加藤佳孝, 山口明伸: 高温環境下における各種繊維の引張強度特性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.20 No.2, pp.265-270, 1998
 44. 加藤佳孝, 魚本健人: セメントペーストの凝集構造に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, 1997.
 45. 山口明伸, 加藤佳孝, 西村次男, 魚本健人: 繊維の損傷確率理論に基づく FRP ロッドのクリープ変形のモデル化, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19 No.1, pp.1231-1236, 1997
 46. 西村次男, 加藤佳孝, 山口明伸, 魚本健人: 紫外線促進試験による FRP ロッドの劣化性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19 No.1, pp.1255-1260, 1997
 47. 後藤充志, 加藤佳孝, 魚本健人, 堤知明: ニューラルネットワークを用いた配合最適化システムの実プラントへの適用, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.19 No.1, pp.1483-1488, 1997
 48. 加藤佳孝, 魚本健人, 堤知明: ニューラルネットワークによるコンクリートの配合最適化に関する

- る研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18 No.1, 1996.
49. 大住道生, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリート中の鉄筋の腐食速度に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.18 No.1, pp.777-782, 1996
 50. 西村次男, 魚本健人, 加藤佳孝, 勝木太: 異なった環境条件で暴露した各種 FRP ロッドの引張強度特性, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.18 No.1, pp.1179-1184, 1996
 51. 岸利治, 加藤佳孝, 前川宏一: 複合水和発熱モデルに基づく温度ひび割れ制御設計, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17 No.1, pp.1115-1120, 1995
 52. 加藤佳孝, 岸利治: 構成鉱物の水和に基づく若材齢コンクリートの強度発現モデル, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.16 No.1, pp.503-508, 1994

Domestic conference (no review)

国内会議 (査読なし)

1. 恒国 光義, 加藤 佳孝, 魚本 健人: 曲げひび割れが生じた PC 梁部材の残存プレストレス力の推定手法に関する研究, プレストレストコンクリート技術協会 第 19 回シンポジウム論文集, 2010.10
2. 鈴木 将充, 小島 文寛, 北沢 宏和, 伊藤 正憲, 西村 次男, 加藤 佳孝, 牧 剛史: 水硬性樹脂の付着特性が RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-701, 2010.9
3. 早川 健司, 加藤 佳孝: 振動締固めにより充填されたかぶりコンクリートの品質変動に関する研究: 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-684, 2010.9
4. 山下 大道, マイケル ヘンリー, 西村 次男, 加藤 佳孝, 勝木 太: ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだコンクリートの基礎物性・環境負荷に及ぼす影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-479, 2010.9
5. German Pardo, Michael Henry, Tsugio Nishimura, Yoshitaka Kato : BEAM DESIGN, COST & CO2 ASSESSMENT FOR GREEN CONCRET CONTAINING HIGH VOLUME OF RECYCLED MATERIALS, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-466, 2010.9
6. Michael Henry, Yoshitaka Kato : BARRIERS TO SUSTAINABLE PRACTICE AND MATERIALS IN THE JAPANESE CONCRETE INDUSTRY, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-443, 2010.9
7. 水上 翔太, 早川 健司, 西村 次男, 加藤 佳孝, 勝木 太: コンクリートの圧縮強度と物質移動抵抗性の関係に及ぼす養生条件の影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-421, 2010.9
8. 村上 拓, Nanayakkara Ominda, 加藤佳孝, 魚本健人: カソード領域がマクロセル腐食速度に及ぼす影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-206, 2010.9
9. 山下大道, マイケルヘンリー, 加藤佳孝, 勝木太: ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだコンクリートの強度に及ぼす影響, 第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-5, 2010.3
10. 齊藤宗一郎, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: ひび割れ内部の水分挙動に関する実験的検討, 第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-8, 2010.3
11. 樺山弘基, 早川健司, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリートの圧縮強度と物質移動抵抗性の関係に及ぼす養生条件の影響, 第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-14, 2010.3
12. 小嶋洋範, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 接着層における水硬性樹脂の力学的特性が補強効果に及ぼす影響, 第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, V-55, 2010.3
13. 村上拓, ナナヤカラ オミンダ, 加藤佳孝, 魚本健人: カソード領域がマクロセル腐食速度に及ぼす影響, 第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, V-43, 2010.3
14. 早川 健司, 加藤 佳孝: 構造体かぶりコンクリートの品質に及ぼす施工条件の影響, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.09
15. 鈴木将充, 笠倉亮太, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 牧剛史: 各種繊維材料を用いた TST-FiSH の補修効果の実験的検討, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009.09

16. 小島文寛, 鈴木将充, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 牧剛史: 迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性に関する検討, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009.09
17. German Pardo, Wataru Hirata, Michael Henry, Yoshitaka Kato Environmental performance indicators for green concrete containing high volume of recycled materials, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009.09
18. 西村次男, 小林良輔, 蔵重勲, 加藤佳孝: 乾湿繰返し環境下におけるひび割れからの中性化進行に関する実験的検討, 第 64 回年次学術講演会講演概要集, pp 465-466, 2009.9
19. 水上翔太, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: 養生および気候条件が圧縮強度と透気性に及ぼす影響に関する研究, 第 64 回年次学術講演会講演概要集, pp 435-436, 2009.9
20. Vu Viet Hung, Ominda Nanayakkara and Yoshitaka Kato : Effective length of steel element for time dependent macro-cell corrosion, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, pp 503-504, 2009.9
21. Michael HENRY and Yoshitaka KATO : Green concrete material design philosophy for use in port structures, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009.09
22. 鈴木将充, Michael HENRY, 加藤佳孝, 勝木太: 高温加熱を受けたモルタルの物理化学的性状に再養生条件が及ぼす影響, 第 63 回セメント技術大会, 2009.5
23. 水上翔太, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: 構造体コンクリートの品質確保のためのコンクリート受入れ検査に関する基礎的検討, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-17, 2009.3
24. 平田渉, ヘンリー マイケル, 加藤佳孝, 勝木太: 繊維補強モルタルへの廃棄物とリサイクル材料の活用, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-21, 2009.3
25. 小林良輔, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: ひび割れと鉄筋界面からの中性化進行に及ぼす乾湿繰返しの影響, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-42, 2009.3
26. 菊池厚, ナナヤッカラ オミンダ, 加藤佳孝, 魚本健人: 材料の非均質性が鉄筋コンクリートの自然電位に及ぼす影響, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-43, 2009.3
27. 山崎孝史, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 勝木太: 迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性と補修効果の実験的検討, 第 36 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集 V-54, 2009.3
28. Michael Henry and Yoshitaka Kato : INTEGRATING SUSTAINABILITY CONCEPTS INTO THE DESIGN PROCESS FOR CONCRETE CONSTRUCTION INNOVATIONS, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, pp.575-576, 2008.9
29. 鈴木将充, 鈴木僚, 伊藤正憲, 加藤佳孝: 水硬性樹脂が含浸された連続繊維シートによる迅速復旧工法の開発, 土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集, pp.645-646, 2008.9
30. 渡部 正, 松林 裕二, 佐藤 幸三, 早川 健司, 加藤 佳孝, 魚本 健人: 部分断面修復工法によって補修を行った鉄筋の腐食形態に関する考察, 土木学会第 62 回年次学術講演会概要集, 2007.9
31. 西村次男, 鈴木僚, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れ発生時期とその後の環境条件がひび割れ部近傍の中性化に及ぼす影響の実験的観察, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp.937-938, 2007.9
32. Ominda NANAYAKKARA and Yoshitaka KATO : Effect of Patch Repair on Macro-cell Corrosion in Reinforced Concrete Members, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp.1057-1058, 2007.9
33. Michael Henry and Yoshitaka Kato : Strength Recovery under different re-curing conditions of high-strength cement mortar exposed to high temperatures, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, pp.1203-1204, 2007.9
34. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 実環境を想定した断面修復材の寸法安定性に関する研究, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, pp.47-48, 2006.09
35. NANAYAKKARA Ominda Prasad , Yoshitaka Kato : EFFECT OF ENVIRONMENTAL NON-HOMOGENEITY ON MACRO-CELL CORROSION IN REINFORCED BAR, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, pp.499-500, 2006.09
36. 松林裕二, 元壳正美, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 断面修復材中の鉄筋の腐食進行に関する

- 実験, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, pp.581-582, 2006.09
37. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 魚本健人: 赤外線法を用いたコンクリートの物質拡散係数推測手法の開発に関する基礎的研究 ―中性化速度係数の推測―, 土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集, pp.1115-1116, 2006.09
 38. 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れの進展に基づく RC 部材の健全度評価に関する検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.59-60, 2005-09
 39. 藤野学, 加藤佳孝: コンクリート構造物の施工に係わる不具合発生要因の分析, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.63-64, 2005-09
 40. 横澤祐希, 加藤佳孝, 魚本健人: 劣化診断支援システムの整合性及び多摩川橋梁調査報告, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.71-72, 2005-09
 41. 竹下直樹, 加藤佳孝: 局所的風況・降雨量予測を基にしたコンクリート構造物への水分付着に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.97-98, 2005-09
 42. 加藤佳孝, 伊藤正憲, 魚本健人: 補修方法の違いが鉄筋腐食に及ぼす影響に関する考察, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.117-118, 2005-09
 43. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 乾燥環境下における断面修復材の基本物性評価に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.131-132, 2005-09
 44. 星野富夫, 宇野祐一, 早川健司, 加藤佳孝, 魚本健人: EPMA による補修を施した試験体の塩分移動の評価, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.533-534, 2005-09
 45. 佐藤貴則, 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: 塩害を受けた PC 橋梁の効率的劣化診断に関する考察, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.1173-1174, 2005-09
 46. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 矢島哲司, 魚本健人: 赤外線法を用いた既設構造物の物質移動特性評価に関する研究, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp.1223-1224, 2005-09
 47. 吉國美涼, 加藤佳孝, 魚本健人: 傾胴式ミキサの練混ぜ性能に関する検討, 第 59 回年次学術講演会講演概要集, 2004-09
 48. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 矢島哲司, 魚本健人: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する基礎的研究, 第 59 回年次学術講演会講演概要集, 2004-09
 49. 竹下直樹, 加藤佳孝: 明度差を考慮したコンクリート構造物の補修方法に関する基礎的研究, 第 59 回年次学術講演会講演概要集, 2004-09
 50. 榊原浩幸, 戸田勝哉, 松林裕二, 加藤佳孝, 魚本健人: 補修を施した鉄筋コンクリートの電気化学的測定に関する研究 (補修形状や塩化物イオン量の違いによる電気化学的特性値), 第 59 回年次学術講演会講演概要集, 2004-09
 51. 吉國美涼, 加藤佳孝, 魚本健人: 個別要素法を用いたコンクリート運搬システムの性能評価に関する研究, 第 58 回年次学術講演会講演概要集, 2003
 52. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 矢島哲司, 魚本健人: 赤外線法を用いたコンクリートの物質移動抵抗性の評価に関する基礎的研究, 第 58 回年次学術講演会講演概要集, 2003
 53. 村瀬豊, 加藤佳孝, 勝木太, 魚本健人: 光ファイバーセンサーによるひび割れを有した壁部材の長期連続モニタリング, 第 58 回年次学術講演会講演概要集, 2003
 54. 弘中義昭, 加藤佳孝, 森本丈太郎, 渡部正, 平間昭信, 魚本健人: 海洋環境下における補修を施したコンクリート中の鉄筋腐食に関する研究, 第 58 回年次学術講演会講演概要集, 2003
 55. 矢吹信喜, 松井健一, 加藤佳孝, 横田 勉, 古川将也: 性能発注のためのプロダクトモデルを用いた設計照査方法に関する基礎的検討, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集, 2002
 56. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れを有するコンクリート中の塩化物イオン移動のモデル化, 土木学会年次学術講演会概要集 第 5 部, Vol.57, 2002
 57. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 内部欠陥を有するモルタルの透気性状に関する一考察, 土木学会年次学術講演会概要集 第 5 部, Vol.56, 2001
 58. 加藤佳孝, 山下武宣, 藤本聡, 矢吹信喜: 設計照査システムに基づく 3 次元プロダクトモデルの

- 構築に関する一考察, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.56, 2001.
59. 加藤佳孝, 松井健一, 藤本聡, 矢吹信喜: 性能規定化に対応した設計照査システムに関する検討, 建設マネジメント問題に関する研究発表会・討論会講演集, Vol.19, 2001.
 60. 加藤佳孝, 魚本健人: モルタルの材料分離性状に関する実験的検討, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.55, 2000.
 61. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 微小硬度計を用いたセメントペーストの弾性評価に関する一検討, 土木学会年次学術講演会概要集 第5部, Vol.55, 2000
 62. 加藤佳孝, 魚本健人: 遷移帯およびセメントペーストの物質移動特性の定量的評価手法に関する一考察, セメント技術大会・講演集, Vol.53, 1999.
 63. 加藤佳孝, 魚本健人: 構成材料の空間的特性に着目した物質移動特性のモデル化, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.54, 1999.
 64. 加藤佳孝, 魚本健人: 遷移帯および細骨材の空間的特性が物質移動に及ぼす影響, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.53, 1998.
 65. 植松敬治, 加藤佳孝, 田沢雄一郎, 魚本健人: ニューラルネットワークによる吹き付けコンクリートの品質推定, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.53, pp.652-653, 1998
 66. 加藤佳孝, 魚本健人: 細骨材の粒度分布がモルタル中の遷移帯に及ぼす影響, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.52, 1997.
 67. 加藤佳孝, 魚本健人: 凝集性粒子の沈降現象に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.51, 1996.
 68. 井波良太, 大賀宏行, 魚本健人, 加藤佳孝: 高流動コンクリートにおける中性化深さの評価に関する一考察, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.51, pp.712 - 713, 1996
 69. 加藤佳孝, 大住道生, 魚本健人, 堤知明: 季節変動を考慮したコンクリートの品質管理システム, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.50, pp.140-141, 1995

International conference papers

国際会議論文

1. S. Mizukami, K. Hayakawa, Y. Kato and F. Katsuki : INFLUENCE OF WATER CONTENT ON AIR PERMEABILITY MEASUREMENT OF COVER CONCRETE, The 4th Asian Concrete Federation International Conference (ACF), Taipei TAIWAN, 2010.11
2. Y. Kato, M. Suzuki, M. Ito and T. Maki : Influence of resin properties on the shear capacity of RC beams repaired by fiber sheets containing hydraulic resin, The 4th Asian Concrete Federation International Conference (ACF), Taipei TAIWAN, 2010.11
3. M. Henry and Y. Kato : Regional context of sustainable concrete: A study considering Japan and Thailand, The 4th Asian Concrete Federation International Conference (ACF), Taipei TAIWAN, 2010.11
4. Yoshitaka KATO, Masamitsu SUZUKI, Masanori ITO and Takeshi MAKI : Influence of resin properties on the shear capacity of RC beams repaired by TST-FISH, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10
5. Michael HENRY, Raktipong SAHAMITMONGKOL, Pakawat SANCHAROEN, Yoshitaka KATO : Potential strategies for promoting sustainable concrete practices in Thailand, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10
6. Tae-Ho AHN, Michael Henry, Yoshitaka Kato, Toshiharu KISHI : Interaction between degradation and self-healing behavior in high strength mortar exposed to high temperatures (up to 500 °C), INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10

7. Mitsuyoshi TSUNEKUNI, Yoshitaka KATO : Fatigue damage estimation of RC beams under cyclic loading, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10
8. Kenji HAYAKAWA, Yoshitaka KATO : Influence of segregation with execution for quality variation of cover concrete, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10
9. Shota MIZUKAMI, Kenji HAYAKAWA, Yoshitaka KATO, Futoshi KATSUKI : Evaluation method of cover concrete air permeability considering water content, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, USMCA 2010, Kobe Japan, 2010.10
10. T.Shimomura S.Miyazato T.Yamamoto S.Saito Y.Kato and H.Tsuruta:SYSTEMATIC RESEARCH ON STRUCTURAL PERFORMANCE OF DETERIORATED CONCRETE STRUCTURES IN JAPAN, 2nd International Symposium on Service Life Design for Infrastructure 4-6 October 2010, Delft, The Netherlands
11. S. Miyazato, T. Shimomura, T. Yamamoto and Y. Kato: Report on a research project by JSCE-331, Marine Environment Damage to Atlantic Coastal and Historical Structures, MEDACHS'10, France, pp.549-556, 2010, 4.28-30
12. M. Henry & Y. Kato: Formation of sustainable concrete by social perspectives in the Japanese concrete industry, Society for Social Management Systems 2010, Kochi, Japan, 2010.03
13. German Pardo, Michael Henry, Tsugio Nishimura, Michael Henry: Simple beam design, cost & CO₂ assessment for green concrete containing high volume of recycled materials, Society for Social Management Systems 2010, Kochi, Japan, 2010.03
14. Mizukami, S., Nishimura T, Kato Y. and Katsuki, F: EXAMINATION CONCERNING THE ACCEPTANCE INSPECTION FOR QUALITY ASSURANCE OF STRUCTURAL CONCRETE, 1st International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Incheon, Korea, 2009.10
15. M. Henry & Y. Kato: Perspectives on sustainable practices and materials in the Japanese concrete industry, 8th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, Incheon, Korea, 2009.10
16. Yoshitaka Kato, Michael Henry and Masamitsu Suzuki: RECOVERY MECHANISM OF FIRE-DAMAGED HIGH-STRENGTH MORTAR, 8th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Incheon, Korea, 2009.10
17. Suzuki, M., Kasakura, R., Ito, M. and Kato, Y.: Experimental Examination on The Repair Effect of Emergency Rapid Retrofitting Method TST-FiSH, 8th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Incheon, Korea, 2009.10
18. Vu Viet Hung, Ominda Nanayakkara and Yoshitaka Kato : Effect of oxygen and water on macro-cell corrosion, 11th International Summer Symposium of JSCE, 2009, Tokyo, Japan, pp 265-268
19. Ominda Nanayakkara, Atsushi Kikuchi and Yoshitaka Kato : Comparison of theoretically and experimentally evaluated macro-cell corrosion currents in concrete, 11th International Summer Symposium of JSCE, 2009, Tokyo, Japan, pp 269-272
20. Michael HENRY and Yoshitaka KATO : The role of new material technologies for sustainable practice in the concrete industry. PICMET'09, Portland, OR, USA, 2009.08.
21. Pardo, G, Henry, M., Kato, Y. : Environmental performance indicators for concrete containing high volume of recycled materials, ICUS Joint Seminar on Civil Infrastructures, 2009.
22. M. Henry and Y. Kato : Simplified triple bottom line assessment for new concrete materials during the development process. Society for Social Management Systems 2009, Kochi, Japan, 2009.03.
23. Y Kato, M Henry and M Suzuki : Evaluation of re-curing for the recovery of fire damaged high-strength

- mortar, Proceedings of the International Conference on Durability of Concrete Structures, Vol.2, pp.1310-1316, 2008.11
24. M. Henry, Y. Kato and H. Yokota : developing sustainable technologies for concrete infrastructure construction and maintenance in coastal regions, 2nd Life Cycle Management of Coastal Concrete Structures, pp.47-52, 2008.11
 25. O. Nanayakkara and Y. Kato : Macro-cell corrosion and its time-dependent behavior in non-homogenous environment of chloride ions, 2nd Life Cycle Management of Coastal Concrete Structures, pp.81-86, 2008.11
 26. Henry, M. and Kato, Y. : Application of Social Theory to The Development Process an Emergency Retro-fitting Method. 7th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Beijing, China, pp.575-584, 2008.10
 27. Kato, Y. and Sahamitmongkol, R. : Flexural Behavior of Corroded RC Members with Patch Repair. 7th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Beijing, China, pp.99-110, 2008.10
 28. Suzuki, M., Suzuki, R., Ito, M., Kato, Y. : Development of Emergency Retrofitting Method Using Fiber Sheets Containing Hydraulic Resin. 7th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, Beijing, China, pp.591-600, 2008.10
 29. Henry, M. and Kato, Y. : Utilizing heterogeneous engineering in concrete material innovations for sustainable development. Joint Student Seminar on Civil Infrastructures, 2008
 30. Henry, M. and Kato, Y. : A social networking-based approach to information management in construction. Society for Social Management Systems 2008: Infrastructure and Environment, 2008.3
 31. Henry, M., Ahn, T.H., Kato, Y., and Kishi, T. : Development of a damage-recovery relationship based on variable re-curing of fire-damaged high-strength mortar. Proceedings of the First International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Varenna, Italy, pp. 165-170, 2008.6
 32. Yoshitaka Kato and Michael Henry : INFLUENCE OF RE-CURING CONDITION ON DAMAGE AND RECOVERY OF MORTAR EXPOSED TO FIRE , 6th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, 2007.12
 33. Pakawat Sancharoen, Yoshitaka Kato, Taketo Uomoto : Life cycle repairing cost of RC structure deteriorated by salt attack based on probabilistic model, 10th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-10), 2006.08
 34. Pakawat Sancharoen, Yoshitaka Kato, Taketo Uomoto : Effect of uncertainties of prediction model on the maintenance program for concrete structure, 5th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, 2006.11
 35. Pakawat Sancharoen, Yoshitaka Kato, Taketo Uomoto : Effect of variation of parameter used in the deterioration prediction model on the R&M plan, 2nd international conference of Asian Concrete Federation (ACF), 2006.11
 36. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Effect of Mix Proportion and Cover Thickness on Electromagnetic Properties of Concrete Measured by Radar Method, The second international conference of Asian concrete federation, 2006.11
 37. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Measurement of Electromagnetic Properties of Concrete by Radar and Key Influencing Factors, Proceedings of the 2nd Annual Concrete Conference, Thai Concrete Association, 2006.10
 38. Ominda NANAYAKKARA and Yoshitaka KATO : Macro-cell Corrosion Considering Chloride Contents Along the Reinforced Bar, 5th International Symposium on NEW TECHNOLOGIES FOR URBAN SAFETY OF MEGA CITIES IN ASIA, pp 415-424, 2006.11
 39. Ominda NANAYAKKARA and Yoshitaka KATO : Time Dependency of Macro-cell Corrosion in Reinforced Concrete Member due to Material and Environmental Non-Homogeneity, 2nd international

- conference of Asian Concrete Federation (ACF), 2006.11
40. Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Modeling of Material Diffusivity in Concrete Considering with Heterogeneous Property of Concrete, Proceedings of the 2nd fib Congress, 2006.06
 41. Ema KATO, Hiroshi YOKOTA, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO, Influence of Crack Formation on Chloride Penetration, Proceeding of International Workshop on Durability of Reinforced Concrete under Combined Mechanical and Climatic Loads, pp.105-111, 2005
 42. Yoshitaka KATO and Naoki TAKESHITA, Simulation Study on Relation Between Local Rainfall Conditions and Amount of Moisture Supplied to Concrete, Proceedings of the 4th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.79-88, 2005
 43. Mistuyoshi TSUNEKUNI, Tsugio NISHIMURA, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO, Structural Performance Monitoring of Reinforced Concrete Bridges, Proceedings of the 4th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.51-60, 2005
 44. Masanori ITO, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO, The Importance of Curing in Preventing the Spalling-off Patching Repair Material, Proceedings of the 4th International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.241-248, 2005
 45. Yoshitaka KATO, Ema Kato, Taketo UOMOTO : Evaluation Method of Chloride Movement in Cracked Concrete, Concrete Under Severe Conditions, pp.385-392, 2004-06
 46. Taketo Uomoto, Takeshi Iyoda, Yoshitaka Kato : A Study of Making a Database for The Deteriorated Concrete Bridges Using by The Inspection Software, Concrete Under Severe Conditions, pp.626-633, 2004-06
 47. M. Yoshikuni, Y. Kato, T. Uomoto : FUNDAMENTAL STUDY ON MIXING PERFORMANCE OF TILTING DRUM MIXER, First International Conference of Asian Concrete Federation, 2004-10
 48. Yoshitaka Kato, Taketo Uomoto : Evaluation of Value of Inspection Technique Under Uncertain Information, First International Conference of Asian Concrete Federation, 2004-10
 49. Yoshitaka Kato : Maintenance Management of Concrete Structures by Using Repair-Risk, New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, 2004-10
 50. Yoshitaka Kato and Atsushi Onezawa : Proposal for Prediction of Water-Cement Ratio of Hardened Concrete Using By Infrared Thermograph, The ninth east Asia-pacific conference on structural engineering and construction, pp.CMT-130-CMT135, 2003
 51. Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Utilization of NDI to evaluate Concrete Structures, Proceeding International Joint Seminar of the KSCE and the JSCE, pp.83-94, 2003
 52. M. Yoshikuni, Y. Kato and T. Uomoto : Performance of Concrete Transportation System Using DEM Analysis, Proceedings of the 2nd International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.271-276, 2003
 53. Takeshi Iyoda, Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : A Study of Making A Database for the Deteriorated Concrete Bridges, Proceedings of the 2nd International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.141-148, 2003
 54. Hidenori Hamada, Shin-ichi Miyazato, Masami Ishikawa, Hiroshi Kasai, Yoshitaka Kato, Takashi Habuchi, Tsuyoshi Maruya, Toshinobu Yamaguchi : A Study on Environmental Conditions Affecting Long-Term Deterioration of Concrete Structures in Japan, OWICS, 2003
 55. Yoshitaka Kato : Proposal of the Format for Durability Database of Concrete, Proceedings of the International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, pp.15-20, 2002
 56. Ema Tsukahara, Yoshitaka Kato, Taketo Uomoto : Elastic Property of Mortar at Aggregate-Cement Paste Interface, Proceedings of 2001 Second International Conference on engineering Materials, Vol.2, pp.589-596
 57. Yoshitaka Kato, Ema Tsukahara and Taketo Uomoto : Evaluation of Characteristics of Transition Zone Existing at Aggregate-Cement Paste Interface, Second International Conference on Engineering Materials,

- 2001.
58. Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Effect of transition zone one mass transport properties of cement composites, Proceeding of East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, 1999.
 59. Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Relation between bleeding and Flocculation of Cement Paste, Proceeding of Concrete under Severe Conditions, No.2, 1998.
 60. Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : The Effect of Particle Size of Sand on Transition Zone and Compressive strength of Cement Composites, Proceeding of East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction Vol.2, 1998.
 61. Yoshitaka Kato, Toshinobu Yamaguchi, Tsugio Nishimura and Taketo Uomoto : The effect of Ultraviolet Rays to FRP Rods, Durability of FRP Composites for Construction, pp.487-497, 1998
 62. Toshinobu YAMAGUCHI, Yoshitaka KATO, Tsugio NISHIMURA, Taketo UOMOTO : Creep Rupture of FRP Rods Made of Aramid, Carbon and Glass Fibers, FRPRCS-3, 1997
 63. Yoshitaka KATO, Toshinobu YAMAGUCHI, Tsugio NISHIMURA, Taketo UOMOTO : Computational Model for Deterioration of Aramid Fiber by Ultraviolet Rays, FRPRCS-3, pp.65-78, 1997

Scientific journals

学術雑誌

1. 魚本健人,加藤佳孝,牧剛史,出雲淳一,勝木太 : PC 構造物の復元設計研究委員会報告-復元設計の体系化と各種計測技術の活用-,プレストレストコンクリート,vol.52,No.5,pp74-81,2010
2. 加藤佳孝, クリップボード 劣化診断 (鋼材腐食を中心として) その 2, セメント・コンクリート, No.757, pp.53-55, 2010.3
3. 加藤佳孝, クリップボード 劣化診断 (鋼材腐食を中心として) その 1, セメント・コンクリート, No.756, pp.54-56, 2010.2
4. 笠倉亮太, 鈴木将充, 小島文寛, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 牧剛史 : 水硬性樹脂を含浸させた連続繊維シートを用いた迅速復旧工法の開発, コンクリート工学, Vol.47, No.12, pp.18-25, 2009.12
5. 加藤佳孝 : 学生・若手のモチベーションを高める!?, コンクリート工学, Vol.47 No.5, pp.140-143, 2009.5
6. 関克己, 蓮輪賢治, 石井良昌, 加藤佳孝 : 人材 (技術者) の育成, 建設マネジメント技術, 経済調査会, 2009.1
7. 小澤一雅, 加藤佳孝 : 対談 : 「公共調達制度と土木技術者の視点」一人を活かす仕組みづくりが急務一, 建設マネジメント技術, 経済調査会, 2008.4
8. 金井誠, 熊谷一男, 野田徹, 加藤佳孝 : 建設システムにおける『現場力 (組織力)』を考える 新春座談会, 建設マネジメント技術, 経済調査会, 2008.1
9. 加藤佳孝, Raktipong SAHAMITMONGKOL : AIT とタイのコンクリート事情 コンクリート工学, Vol.44 No.6, 2006.06
10. 加藤佳孝 : 第 4 回 USMCA 国際シンポジウム報告とシンガポールの交通・都市システム, 土木学会誌, Vol.31 No.3, 2006.03
11. 加藤佳孝, 伊代田岳史 : 宮城県沖地震により損傷したコンクリート構造物の修復状況を観る, 土木施工, Vol.44, No.8, pp.82-85, 2003.8
12. 西野仁, 加藤佳孝 : 米国の設計 VE および英国の VM について, 建設マネジメント技術, No.283, 2001.12
13. 加藤佳孝 : 骨材-ペースト界面に形成される遷移帯の形成メカニズムとそのモデル化に関する研究, コンクリート工学, Vol37, 1999.
14. 魚本健人, 加藤佳孝 : ニューラルネットワークを用いたコンクリートの製造管理システム, 月間生コンクリート, Vol.15 No.11, pp.101 - 107, 1996

Investigation report documents

調査報告書等

1. Raktipong Sahamitmongkol, Yoshitaka Kato, Somnuk Tangtermsirikul and Taketo Uomoto : Report on the Deterioration of Short-span Traffic RC Bridge in Bangkok Metropolitan Area, ICUS Report 2007-02, 2007
2. Pakawat Sancharoen.Raktipong, Sahamitmongkol, Isao Kurashige, Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Report on Inspection of Marine Reinforced Concrete Structures in Thailand, ICUS Report 2007-01, 2007
3. Report on Application of Fly Ash as Concrete Ingredient in Thailand and Japan, ICUS Report 2006-05, 2006
4. Yoshitaka Kato and Raktipong Sahamitmongkol : Proceedings of the fifth International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, 2006.11
5. 恒國光義, Phan H.D. Quoc, 岡崎慎一郎, 西村次男, 加藤佳孝, 魚本健人 : コンクリート道路橋の健全度モニタリング・システムの開発, ICUS REPORT No.9, 2005
6. 横澤祐希, 佐藤貴則, 加藤佳孝, 魚本健人 : コンクリート橋梁の劣化診断調査報告書 多摩川および相模川橋梁のフィールド調査結果 ICUS REPORT No.7, 2005
7. Yoshitaka Kato, Somnuk Tangtermsirikul and Taketo Uomoto : Construction of A Database for Deteriorated Concrete Bridges, ICUS/INCEDE REPORT 2003-02, 2003
8. Ryoza Ooka and Yoshitaka Kato : Proceedings of the 2nd International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, ICUS/INCEDE REPORT 2003
9. Sudhir Misra and Yoshitaka Kato : Proceedings of the International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, ICUS/INCEDE REPORT 2003

Committee reports

委員会報告書

1. PC 構造物の復元設計研究委員会報告-復元設計の体系化と各種計測技術の活用-,プレストレストコンクリート,2010.9
2. 施行の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書, コンクリート工学協会, 2009.7
3. コンクリート構造物の信頼性設計に関する研究小委員会成果報告書, コンクリート技術シリーズ 83, 土木学会, 2008.12
4. 構造物表面のコンクリート品質と耐久性性能検証システム研究小委員会成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズ 80, 土木学会, 2008.4
5. コンクリート施工におけるリスク要因の発生確率調査研究委員会, 2008.1
6. 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能研究小委員会報告書, 2006.09
7. 吹付けコンクリート指針 (案) トンネル編, コンクリートライブラリー121号, 土木学会, 2005
8. コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 2005
9. コンクリートの環境負荷評価 (その2), コンクリート技術シリーズ 62, 土木学会, 2004
10. コンクリート構造物の長期性能照査支援モデルに関するシンポジウム委員会報告書・論文集, 日本コンクリート工学協会, 2004
11. エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版], コンクリートライブラリー112号, 土木学会, 2003
12. コンクリート構造物の高信頼性施工システム研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 2002

13. コンクリートの耐久性に関する研究の現状とデータベース構築のためのフォーマットの提案, コンクリートライブラリー109号, 土木学会, 2002
14. セメント硬化体研究委員会報告書, セメント協会, 2001
15. コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策, コンクリートライブラリー103号, 土木学会, 2000
16. 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム, 日本コンクリート工学協会, 1997

Institute journal 所内報

1. 齊藤宗一郎,水上翔太,西村次男,加藤佳孝,勝木太:ひび割れ内部の水分挙動に関する実験的検討, 生産研究,Vol.62,No.4,pp51-54
2. 村上拓,ナナヤッカラ オミンダ,加藤佳孝,魚本健人:カソード領域がマクロセル腐食速度に及ぼす影響, 生産研究,Vol.62,No.4,pp47-50
3. 早川健司,加藤佳孝:施工に起因する構造体かぶりコンクリートの品質変動に関する研究, 生産研究,Vol.62,No.4,pp43-46
4. 樺山弘基,水上翔太,早川健司,加藤佳孝,魚本健人:コンクリートの圧縮強度と物質移動抵抗性の関係に及ぼす施工条件の影響, 生産研究,Vol.62,No.4,pp39-42
5. 鈴木将充,小島文寛,北沢宏和,伊藤正憲,牧剛史,加藤佳孝,勝木太:被災構造物の安全・簡易・迅速復旧工法の開発(その3)-実構造物への展開可能性-,生産研究,Vol.62,No.4,pp35-38
6. 鈴木将充,小嶋洋範,西村次男,伊藤正憲,加藤佳孝,魚本健人:被災構造物の安全・簡易・迅速復旧工法の開発(その2)-付着特性が補強後のせん断耐力に及ぼす影響, 生産研究,Vol.62,No.4,pp31-34
7. 小嶋洋範,鈴木将充,西村次男,伊藤正憲,加藤佳孝,魚本健人:被災構造物の安全・簡易・迅速復旧工法の開発(その1)-連続繊維シートが受け持つせん断耐力に含浸接着樹脂が及ぼす影響-,生産研究,Vol.62,No.4,pp27-30
8. 山下大道,ヘンリーマイケル,西村次男,加藤佳孝,勝木太:ゴムチップの混入量が廃棄物を多量に含んだコンクリートの基礎物性/環境負荷に及ぼす影響, 生産研究,Vol.62,No.4,pp21-26
9. German PARDO, Michael HENRY, Tsugio NISHIMURA and Yoshitaka KATO:SIMPLE BEAM DESIGN,COST&CO2 ASSESSMENT FOR GREEN CONCRETE CONTAINING HIGH VOLUME OF RECYCLED MATERIALS, 生産研究,Vol.62,No.4,pp17-20
10. Michael HENRY, Yoshitaka KATO:EVALUATION OF SUSTAINABLE CONCRETE BASED SOCIAL PERSPECTIVES PART2 APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS, 生産研究,Vol.62,No.4,pp13-16
11. Michael HENRY, Yoshitaka KATO:EVALUATION OF SUSTAINABLE CONCRETE BASED SOCIAL PERSPECTIVES PART1:SURVEY OF JAPANESE CONCRETE INDUSTRY, 生産研究,Vol.62,No.4,pp9-12
12. Michael HENRY, German PARDO, Tsugio NISHIMURA and Yoshitaka KATO : Effect of Reduced Cement Content and Aggregate Type on Green Concrete Performance Part 2: Environmental Performance and Performance Comparison , 生産研究, Vol. 62 , No. 1, pp.95-98, 2010
13. Michael HENRY, German PARDO, Tsugio NISHIMURA and Yoshitaka KATO : Effect of Reduced Cement Content and Aggregate Type on Green Concrete Performance Part 1: Mechanical Performance, 生産研究, Vol. 62 No. 1, pp.91-94, 2010
14. 山崎 啓司, 加藤 佳孝:土木系学科に所属する学生の建設業界に対する就職志望度低下の要因分析—大学教育と建設業界が学生に与える影響について—, 生産研究, Vol.61, No.4, pp.629-632, 2009.5

15. 山崎 啓司, 加藤 佳孝: 土木系学科に所属する学生の建設業界に対する就職志望度低下の要因分析—メディアの報道が学生に与える影響について—, 生産研究, Vol.61, No.4, pp.625-628, 2009.5
16. Michael HENRY and Yoshitaka KATO: Green Concrete Material Design Philosophy for Use in Port Structures, Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, SEISAN KENKYU, 2009, Vol. 61 No. 5, pp.949-950
17. Michael HENRY and Yoshitaka KATO: Defining “Green Concrete” , Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, SEISAN KENKYU, 2009, Vol. 61 No. 6 , pp.1085-1086
18. 小林良輔, 西村次男, 蔵重勲, 加藤佳孝: ひび割れと鉄筋界面からの中性化進行に及ぼす乾湿繰返しの影響, 生産研究, Vol.61 No.4, pp.649-652, 2009.5
19. 平田渉, ヘンリーマイケル, 加藤佳孝, 勝木太: 繊維補強モルタルへの廃棄物とリサイクル材料の活用, 生産研究, Vol.61 No.4, pp.637-640, 2009.5
20. 水上翔太, 西村次男, 加藤佳孝, 勝木太: 構造体コンクリートの品質確保のための受入れ検査に関する基礎的検討, 生産研究, Vol.61 No.4, pp.645-648, 2009.5
21. 山崎孝史, 鈴木将充, 笠倉亮太, 小島文寛, 伊藤正憲, 加藤佳孝, 勝木太: 迅速復旧工法開発のための TST-FiSH の基礎物性と補修効果の実験的検討, 生産研究, Vol.61 No.4, pp.641-644, 2009.5
22. Ominda Nanayakkara, Atsushi Kikuchi and Yoshitaka Kato : Simplified theoretical approaches for estimating macro-cell corrosion in chloride-attacked reinforcement, Seisan-Kenkyu, Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 2009, Vol. 61, No. 4, pp 653-656
23. Vu Viet Hung, Ominda Nanayakkara and Yoshitaka Kato : Effective length of steel element for time-dependent macro-cell corrosion, Seisan-Kenkyu, Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 2009, Vol. 61, No. 4, pp 657-660
24. 菊池 厚, ナナヤカラ オミンダ, 加藤 佳孝, 魚本 健人マクロセル腐食が電気化学的測定結果に及ぼす影響, 生産研究, Vol. 61, No. 4, pp 661-664, 2009
25. Michael HENRY, Wataru HIRATA, Yoshitaka KATO : Environmental performance indicators for concrete containing high volume of recycled materials. Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, the University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol. 61 No. 4, pp.633-636.
26. Michael Henry and Yoshitaka Kato : Understanding the formation of new technologies through the sociology of technology. Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol. 61 No. 2, pp. 147-148.
27. Michael Henry and Yoshitaka Kato : Review of sustainable practices and approaches in the concrete industry. Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol. 61 No. 1, pp. 67-70.
28. 加藤佳孝, 藤田哲朗: 社会運動組織の戦略の有効性に関する一考察—なぜ圏央道の建設は止まらず, 三番瀬の埋立ては止まったか—, 生産研究, Vol.60 No.4, pp.368-371, 2008.7
29. Michael Henry and Yoshitaka Kato : Integrating Sustainability Concepts into the Design Process for Concrete Construction Innovation, Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science The University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol.60 No.4, pp.372-373, 2008.7
30. Michael Henry and Yoshitaka Kato : A Social Networking-based approach to information management in construction, Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science The University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol.60 No.3, pp.175-179, 2008.5
31. Nanayakara, O., Kato, Y. : Effect of Cathodic-Anodic Ratio and Chloride on Macro-Cell Corrosion, Bimonthly Journal of Institute of Industrial Science The University of Tokyo, SEISAN KENKYU Vol.60 No.3, pp.188-191, 2008.5
32. 山崎啓司, 加藤佳孝: 社会基盤構造物の品質確保を目指した検査システムの提案について, 生産研究 60 巻・3 号, pp.180-183, 2008.5
33. 鈴木将充, ヘンリー マイケル, 加藤佳孝, 勝木太: 火害を受けたモルタルの耐久性に及ぼす再

- 養生条件の影響, 生産研究 60 巻・3 号, pp.192-195, 2008.5
34. 小松直人, 西村次男, 蔵重勲, 加藤佳孝: ひび割れ発生時期とその後の環境条件が中性化の進行に及ぼす影響, 生産研究 60 巻・3 号, pp.184-187, 2008.5
 35. 鈴木僚, 前原聡, 伊藤正憲, 加藤佳孝: 災害損傷構造物の安全迅速復旧工法の開発(1)-工法の提案と可能性検討-, 生産研究 60 巻・3 号, pp.196-199, 2008.5
 36. 鈴木僚, 前原聡, 伊藤正憲, 加藤佳孝: 災害損傷構造物の安全迅速復旧工法の開発(2)-材料の選定と材料の性質が補修効果に及ぼす影響-, 生産研究 60 巻・3 号, pp.200-203, 2008.5
 37. 蔵重 勲, 山本 武志, 市川 和芳, 沖 裕壮, 森 裕壮, 山下 洋, 西村 次男, 加藤 佳孝, 魚本 健人:石炭ガス化スラグの付加価値化利用技術の開発—コンクリート用軽量細骨材への適用性評価—, 生産研究, Vol.59 No. 2, pp.137-140, 2007
 38. 鈴木僚, 西村次男, 加藤佳孝, 横田弘, 岩波光保, 加藤絵万: 測定環境条件が鉄筋コンクリートの電気化学的測定結果に及ぼす影響, 生産研究, Vol59 No.3, pp.267-270, 2007.05
 39. Ominda NANAYAKKARA and Yoshitaka KATO : Macro-cell Corrosion of Partially Repaired Concrete Members, Vol59 No.3, pp.263-266, 2007.05
 40. Michael Henry, Tsugio Nisimura, Yoshitaka Kato and Taketo Uomoto : Effect of cooling condition on residual strength of cement mortar exposed to high temperatures, Vol59 No.3, pp.271-274, 2007.05
 41. Pakawat SANCHAROEN, Raktipong SAHAMITMONGKOL, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO : Inspection results of properties of marine RC structure in Thailand, Vol59 No.3, pp.275-278, 2007.05
 42. R. SAHAMITMONGKOL, A. CHOTESUWAN, Y. KATO and T. UOMOTO : Utilization of Ultrasonic Wave Reflection Technique to Detect Corrosion of Rebar in Concrete, Vol59 No.3, pp.279-282, 2007.05
 43. R. SAHAMITMONGKOL, Y. KATO and T. UOMOTO : Electromagnetic Properties of Cement Paste Measured by Radar Wave, Vol59 No.3, pp.283-286, 2007.05
 44. 西村次男, 佐藤雅義, 加藤佳孝, 岸利治, 魚本健人, 小田部裕一, 田中泰司: アルカリ骨材反応による RC 構造物の鉄筋破断に関する基礎的研究, 生産研究, Vol58 No.3, pp.233-236, 2006.05
 45. 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: 既設プレストレスコンクリート道路橋の構造劣化診断, 生産研究, Vol58 No.3, pp.237-240, 2006.05
 46. Raktipong SAHAMITMONGKOL, Yoshitaka KATO, Somnuk TANGTERMSIRIKUL, Taketo UOMOTO : Preliminary Inspection of Traffic Bridges with Short Span in Bangkok Metropolitan Area, 生産研究, Vol58 No.3, pp.241-244, 2006.05
 47. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 各種環境下におけるポリマーセメント系断面修復材の性能評価, 生産研究, Vol58 No.3, pp.245-248, 2006.05
 48. 石関嘉一, 伊藤学, 戸田勝哉, 宇野洋志城, 榊原弘幸, 星野富夫, 加藤佳孝, 魚本健人: 各種要因が補修した鉄筋コンクリート構造物の劣化に及ぼす影響に関する研究 (8) —電気化学的測定—生産研究, Vol58 No.3, pp.249-252, 2006.05
 49. Pakawat SANCHAROEN, Yoshitaka KATO, Taketo UOMOTO : Probabilistic model for repairing time of RC structure deteriorated by salt attack, 生産研究, Vol58 No.3, pp.265-268, 2006.05
 50. 竹下直樹, 加藤佳孝: 気象条件を考慮した流体解析に基づくコンクリート構造物への水分付着に関する研究, 生産研究, Vol58 No.3, pp.269-272, 2006.05
 51. 竹下直樹, 奈良徹, 加藤佳孝: 景観性能を考慮した既設コンクリート構造物の補修設計の確立 (3) —コンクリートに煤塵を添加することによるその色の変化の基礎的研究—, 生産研究, Vol58 No.3, pp.273-276, 2006.05
 52. 石川幸広, 金田尚志, 加藤佳孝, 魚本健人: 近赤外分光法を用いたコンクリート中の塩分量の定量法の開発, 生産研究 Vol58 No.3, pp.281-284, 2006.05
 53. 小根澤淳志, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究 (5) —塩化物イオン拡散係数の推定 (2)—, 生産研究, Vol5 No.3, pp.285-288, 2006.05
 54. 藤野学, 加藤佳孝: ニューラルネットワークによるかぶり品質変動の定量的評価, 生産研究, Vol58

- No.3, pp.293-296, 2006.05
55. Ominda NANAYAKKARA and Yoshitaka Kato : Effect of Environmental Non-homogeneity by Chloride ions on Macro-cell Corrosion in Reinforcement bar, 生産研究, Vol58 No.3, pp.297-300, 2006.05
 56. 恒国光義, 加藤佳孝, 魚本健人: 既設コンクリート道路橋の劣化診断における非破壊検査の適用, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.293-297, 2005.7
 57. 魚本健人, 加藤佳孝: コンクリートの劣化と構造物の安全性, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.283-286, 2005.7
 58. 横澤祐希, 加藤佳孝, 魚本健人: 多摩川橋梁の変状調査報告, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.298-301, 2005.7
 59. 伊藤正憲, 加藤佳孝, 魚本健人: 乾燥環境下における断面修復材の基本物性評価に関する研究, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.302-305, 2005.7
 60. 伊藤学, 戸田勝哉, 早川健司, 松林裕二, 渡部 正, 星野富夫, 加藤佳孝, 魚本健人: 各種要因が補修した鉄筋コンクリート構造物の劣化に及ぼす影響に関する研究 (5) -電気化学的測定 その2-, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.318-321, 2005.7
 61. 小根澤淳志, 加藤佳孝: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究(4), 生産研究 Vol.57.No.4.pp.314-317, 2005.7
 62. 竹下直樹, 加藤佳孝: 局所的風況・降雨量予測を基にしたコンクリート構造物への水分浸透に関する研究, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.306-309, 2005.7
 63. 竹下直樹, 加藤佳孝: 景観性能を考慮した既設コンクリート構造物の補修設計の確立(2) -コンクリートに煤塵を添加することによるその色の変化の基礎的研究-, 生産研究 Vol.57.No.4.pp.310-313, 2005.7
 64. 森本丈太郎, 槇島 修, 元売 正美, 伊藤 学, 松林裕二, 渡部 正, 加藤佳孝, 魚本健人: 各種要因が補修した鉄筋コンクリート構造物の劣化に及ぼす影響に関する研究 (3) -暴露条件の違いによる影響-, 生産研究 vol.56, No.3, pp.247-250, 2004-05
 65. 吉國美涼, 加藤佳孝, 魚本健人: 個別要素法を用いたコンクリート運搬システムの性能評価に関する研究, 生産研究 vol.56, No.2pp.164-167, 2004-03
 66. 竹下直樹, 加藤佳孝: 景観性能を考慮した既設コンクリート構造物の補修設計の確立(1), 生産研究 vol.56, No.3, pp.187-189, 2004-03
 67. 加藤佳孝: コンクリート構造物のメンテナンスマネジメント手法の確立(1) -不確実情報下における検査情報の価値評価の試み-, 生産研究 vol.56, No.1, pp.125-128, 2004-01
 68. 小根澤淳志, 加藤佳孝: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究(3) -赤外線法を用いたコンクリート構造物のひび割れ角度推定に関する解析的検討-, 生産研究, Vol.55 No.6, pp.591-594, 2003
 69. 加藤佳孝, 小根澤淳志: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究(2) -赤外線法による硬化コンクリートの水セメント比の判定法の提案-, 生産研究, Vol.55 No.3, pp.305-308, 2003
 70. 加藤佳孝, 小根澤淳志: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究(1) -コンクリートの熱特性値と塩化物イオンの見かけの拡散係数の関係-, 生産研究, Vol.55 No.2, pp.198-201, 2003
 71. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する一考察 -その2-, 生産研究, Vol.54 No.1, pp.103-106, 2002
 72. 加藤佳孝: 構成材料の空間的特性を考慮したコンクリートの拡散性状のモデル化, 生産研究, Vol.54, No.5, pp.343-346, 2002
 73. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 欠陥を有するモルタル試験体の透気性に関する一考察, 生産研究, Vol.53 No.7, pp.421-424, 2001
 74. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 微小硬度計のセメントペーストの弾性評価への適用に関する研究, 生産研究, Vol.53 No.1, pp.76-78, 2001

75. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: ひび割れを有する鉄筋コンクリートの腐食に関する基礎的研究 (2) - ひび割れ間隔に関する一考察 -, 生産研究, Vol.53, pp.631-634, 2001
76. 塚原絵万, 加藤佳孝, 魚本健人: 遷移帯を考慮したモルタルのヤング係数の推定に関する研究, 生産研究, Vol.52, pp.333-336, 2000
77. 飯塚康弘, 伊代田岳史, 加藤佳孝, 魚本健人: ニューラルネットワークを用いた塩害補修工法に対する評価, 生産研究, Vol.52, pp.122-125, 2000
78. 加藤佳孝, 魚本健人: 構成材料の空間的特性に着目したモルタルの物質移動特性のモデル化, 生産研究, Vol.51, pp.781-784, 1999
79. 魚本健人, 西村次男, 大賀宏行, 勝木太, 山口明伸, 加藤佳孝: プレストレスコンクリート用 FRP 緊張材の強度と耐久性に関する研究, 生研報告, 1998
80. 魚本健人, 西村次男, 加藤佳孝: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (18) - 高温養生下におけるガラス繊維およびカーボン繊維の引張強度特性 -, 生産研究, Vol.50, pp.471-474, 1998
81. 魚本健人, 西村次男, 加藤佳孝: プレストレストコンクリート用 FRP 緊引材の特性 (17) - 高温環境下におけるアラミド繊維の引張強度特性 -, 生産研究, Vol.50, pp.418-421, 1998
82. 相良健一, 加藤佳孝, 魚本健人: 粒度分布に着目した高流動コンクリートの材料範囲の提案, 生産研究, Vol.49, pp.322-325, 1997
83. 山口明伸, 西村次男, 加藤佳孝, 魚本健人: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (15), 生産研究, Vol.49, pp.25-27, 1997
84. 山口明伸, 西村次男, 加藤佳孝, 魚本健人: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (14) - 繊維の損傷確率理論による FRP ロッドのクリープ特性のモデル化 -, 生産研究, Vol.49, 1997
85. 吉沢勝, 西村次男, 魚本健人, 加藤佳孝: コンクリート構造物への非破壊検査の適用に関する基礎研究 (1), 生産研究, Vol.49, pp.61-64, 1997
86. 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリート内部の不均一性に関する研究 - 硬化セメントペーストの場所的不均一性に関する実験的検討 -, 生産研究, Vol.48, pp.19 - 22, 1996
87. 山口明伸, 西村次男, 加藤佳孝, 魚本健人: AE を利用した FRP ロッド用繊維のクリープ試験方法, 生研リーフレット, 1996
88. 加藤佳孝, 魚本健人: ニューラルネットワークを用いた高流動コンクリートの配合設計評価手法, 生研リーフレット, 1996
89. 魚本健人, 西村次男, 加藤佳孝: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (13) - 耐アルカリ性を向上させた新 AGFRP 緊張材 -, 生産研究, Vol.48, pp.457 - 460, 1996
90. 加藤佳孝, 西村次男, 魚本健人, 森弥広: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (12) - 凍結融解作用が FRP 緊張材の引張特性に及ぼす影響 -, 生産研究, vol.48, pp.339 - 341, 1996
91. 吉沢勝, 加藤佳孝, 魚本健人: コンクリート構造物の耐久設計に関する基礎研究 (2) - 疲労荷重を劣化外力として考慮した場合 -, 生産研究, Vol.48, pp.293 - 296, 1996
92. 加藤佳孝, 吉沢勝, 魚本健人: コンクリート構造物の耐久性設計に関する基礎的研究(1), 生産研究, Vol.48, pp.75-78, 1996
93. 加藤佳孝, 大住道生, 魚本健人, 堤知明: 季節変動を考慮したコンクリートの品質管理システム, 生産研究, Vol.48, pp.37-40, 1996

Laboratory life

研究室の生活

加藤(佳)研究室
研究活動レポート

Katoyosh Laboratory
Research Activities Report

花見@千葉実験所 Hanami at Chiba Experimental Campus



2009年：菊池とオミンダ（左）、西村（右）



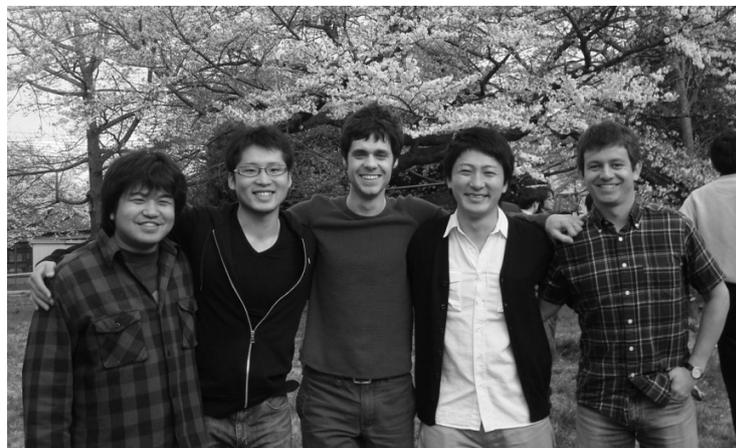
2009年：鈴木(将)と水上（左）、二次会（右）



2009年：集合写真



2010年：鈴木(将)、加藤先生、鈴木(僚)



2010年：山下、平田、マイケル、鈴木(将)、ヘルマン



2010年：集合写真

流しそうめん@生研
Nagashi soumen party at IIS



2008年：加藤先生（左）、山崎(啓)（右）



2008年：山崎(孝)（左）、流しそうめん（右）



2009年：集合写真

国内会議、合宿（等） Conferences and traveling in Japan



2008年：マイケル、加藤先生、鈴木(将)@JCI in 福岡



2009年：樺山（左）、斎藤と山下（右）@日光



2009年：岸・加藤研@日光



2009年：ヘルマンと水上（左）、西村とマイケル（右）@福岡



2009年：飲み会@福岡



2009年：ヘルマン、マイケル、水上、西村@関門橋、九州

国際会議（等）
Conferences overseas



2008年：加藤先生と加藤(絵)@コモ湖、イタリア



2008年：鈴木(将)、加藤先生、マイケル@万里の長城、中国



2009年：鈴木(将)と水上(左)、マイケルと鈴木(将)@ソウル、韓国

東京大学 生産技術研究所
都市基盤安全工学国際研究センター
〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1
<http://icus.iis.u-tokyo.ac.jp/>
E-mail: icus@iis.u-tokyo.ac.jp

Tel: (+81-3)5452-6472

Fax: (+81-3)5452-6476