

コンクリート構造物の LCM 国際標準の確立

実施予定期間：平成 21 年度～平成 23 年度

代表機関：北海道大学大学院工学研究科

代表者：上田 多門

国内参画機関：鹿児島大学工学部

代表者：武若 耕司

国内参画機関：室蘭工業大学

代表者：濱 幸雄

国内参画機関：(独)土木研究所寒地土木研究所

代表者：田口 史雄

国内参画機関：北海道立総合研究機構北方建築総合研究所

代表者：桂 修

国外参画機関：中国・青島理工大学耐久性研究センター

代表者：Folker H WITTMANN

国外参画機関：中国・浙江大学建築工学学院

代表者：JIN Wei-lian

国外参画機関：中国・大連理工大学土木水利工学部

代表者：WANG Li-cheng

国外参画機関：韓国・延世大学工学部

代表者：ANN Ki-Yong (SONG Ha-Won 教授死亡のため)

国外参画機関：タイ・チュラロンコン大学工学部

代表者：Boonchai STITMANNAITHUM

国外参画機関：エジプト・アシュート大学工学部

代表者：Ahmed Sabry Abdel Hamid FARGHALY

I. 概要

多量の資源とエネルギーを必要とする社会基盤施設の延命のために、劣化環境作用(温湿度、腐食性物質)下のコンクリート構造物の寿命予測技術と劣化対策技術を、アジア・アフリカ諸国の建設材料の品質と環境条件の地域性を考慮した上で提示する。その上で、欧米の影響の強い ISO において、技術や経済水準に依存しない新たなライフサイクルマネジメント手法の国際標準を、日本の主導でアジア・アフリカと協働で作成する。

1. 研究の目的

本研究課題は、日本が有している世界をリードする技術である、社会基盤を自然の驚異から長期にわたって守る技術を、それが今後特に必要となるアジアさらにはアフリカと一緒に発展させることで、それらの地域に適した技術開発を促すものであり、今世紀の日本が国際的に目指す役割に合致するものである。具体は以下のようなものである。

社会基盤に使用される資源とエネルギーの量は大量である。今世紀に世界規模で持続可能な発展をするために、全世界の 3 分の 2 の社会基盤の構築が行われているアジアで、コンクリート構造物のライフサイクルマネジメント (LCM) を行うことは重要である。LCM を通し、資源やエネルギーの効率的な使用、環境負荷の低減、社会の経済的負担の最適化が図れるからである。にもかかわらず、LCM の手法は確立されていない。本研究課題において、環境作用(温湿度、腐食性物質)下の構造物の寿命予測と劣化対策の最先端技術を、アジア・アフリカでの材料品質、環境条件の地域性を考慮して提示し、技術や経済水準に依存しない新たな LCM の国際標準を確立する。本研究の参画者は、日本、中国、韓国、タイのこの分野の第一人者であるとともに、これまで ISO/TC71/SC7 の議

長、幹事、WG 主査、アジアコンクリートモデルコード国際委員会 (ICCMC) の委員長、WG 主査等を務めており、欧米が主導である ISO で、日本の主導のもとアジア発の国際標準規格を作成する。これにより、将来の日本やアジア・アフリカでの構造物の診断法や補修補強法(工法と材料)の開発という産業化へのステップとする。

具体的な達成目標は次のようである。現時点で確立されていない凍害と化学的侵食に対する合理的な耐久設計において必要な指標の提示、種々の物理的損傷が力学的及び耐久性に関する特性に与える影響の定量化、腐食開始後の構造物の劣化予測の高度化、疲労・持続荷重下の構造物の経時変化予測の高度化、といった構造物の劣化予測技術の確立、それらを適用した劣化構造物の性能予測技術の高度化、劣化対策技術の確立を達成する。さらに、アジア・アフリカでの材料品質(オリジナルな材料品質と、経済や技術水準に依存する製品としての材料品質)と環境条件を考慮した LCM の国際標準を ISO において作成する。LCM において、構造物の構築を計画する段階から、構造物の供用が終了し取り壊されるまでの期間全体にわたって、経済性(トータルの経費といつ経費を払うか)、社会と環境への影響度評価を行う。なお、現時点で、LCM の標準自体を整備している国がなく、ここでの成果は、日本の国内標準としても提案するとともに、参画国内でも同様の提案を行う。

2. ネットワーク構築の実現可能性

- a. 本研究課題の参画者との間で、本研究課題に関して、以下のような作業を行ってきた。
 - (1) コンクリート工学の分野における国際標準を作成するアジアと全世界の組織であるアジアコンクリートモデルコード国際委員会 (ICCMC) と ISO/TC71/SC7 において、参画者の多くが既に国際標準作成作業に共同で従事している。研究代表者の上田は ICCMC の前委員長と ISO/TC71/SC7 の議長、武若は ICCMC の理事と SC7 の WG1 主査、横田は ICCMC の理事と SC7 委員、杉山と佐藤は ICCMC の委員、Zhao (中国) は ICCMC の理事、Song (韓国) は ICCMC の前副委員長と SC7 の前議長、Boonchai (タイ) は ICCMC と SC7 の委員である。
 - (2) コンクリート工学の分野における国内標準のモデルである土木学会コンクリート標準示方書において、本研究課題と関連の深い維持管理編の主査を武若と横田が務め、上田、杉山、佐藤は示方書の作成メンバーである。
 - (3) 日本コンクリート工学協会において、北海道におけるコンクリート構造物の標準作成作業を共同で行ったが、その際、上田、佐藤、田口、桂が参加した。
 - (4) 本研究課題に関するテーマで、国際会議を共同主催している(2005 年と 2008 年に北海道大学と青島理工大学とが共催、2008 年に北海道大学と浙江大学とが共催、2008 年に港湾空港技術研究所と浙江大学とが共催)。
 - (5) 本研究課題に関するテーマで国際共同研究を実施している(北海道大学+延世大学、北海道大学+青島理工大学、北海道大学+大連理工大学、港湾空港技術研究所+浙江大学、港湾空港技術研究所+青島理工大学)。
 - (6) 本研究課題に関するテーマで、科学研究費補助金に

よる国内共同研究を実施している（北海道大学+土木研究所寒地土木研究所+北海道立北方建築総合研究所、鹿児島大学+北海道大学）

b. 上記の関連する種々の活動を行ってきた上で、本研究課題の申請の準備のために、次のことを行った。

- (1) 2008年2月に参画者全員が北海道大学に集まり、本研究課題の内容を審議し、骨格を決めた。
- (2) 2009年1月より、参画者全員とイーメールを通して、研究内容を再審議し、寿命予測にとどまらず、ライフサイクルを通して、経済性に加え、周辺の社会や環境への影響をも考慮した構造物のマネジメントを視野に入れるべきであることになった。

3. 本制度により取組を支援する必要性

本研究課題は、コンクリート構造物の寿命予測と劣化対策技術とそれに基づいた、ライフサイクルマネジメントの考え方の基本を示し、国際標準とすることを目的としている。この国際標準を制定することにより、これに基づいた寿命を延ばすための補修補強工法もしくは工法に使用する材料の開発を促す意図がある。工法や材料の開発の場合、産業界が主導する研究となりうるが、今回はその前の段階といえる。

科研や他省庁の研究助成によって、寿命予測や LCM の研究は可能であるが、政府の関与が必要な国際標準化を目指した研究となると、本制度が最適である。なお、本提案課題の活動のプラットフォームである ICCMC や ISO/TC71/SC7 の日本が主導するアジアとの国際協働は、経済産業省と国土交通省において重点課題と認知されているが、支援はかなり限定的で、とても本研究課題を経済的に支援できる規模ではない。

日本以外の国の参画者はそれらの国の第一線の研究者であり、本研究課題の基礎となる研究を実施できる状況にある。従って、イコールパートナーとしての共同研究であり、いわゆる ODA 的な研究ではない。

研究代表者は、本研究課題の前段階となる、基礎的な研究を次の助成を受けながら行っている。

- 科学研究費補助金 基盤研究 (A) (平成 16-18 年度)
「凍結防止剤使用環境下における交通施設構造物の LCC 低減技術に関する研究」(研究代表者：上田 多門) (助成総額：3738 万円)
- 科学研究費補助金 基盤研究 (A) (平成 19-21 年度)
「寒冷地のコンクリート構造物の複合劣化に対する耐久設計と維持管理システム」(研究代表者：上田 多門) (助成総額：41330 万円)

4. 継続性の担保（特に課題期間終了後の取組）

本研究課題である構造物の LCM に関する国際標準化作業は、永続的に行わざるを得ない性格のものである。本共同研究参画者の多くが参加しているアジアコンクリートモデルコード国際委員会 (ICCMC) と ISO/TC71/SC7 (コンクリート構造物の維持管理と補修補強) という、アジアと全世界における作業環境があり、既述したように、参画者の多くは、ICCMC と TC71/SC7 の主要メンバーである。従って、これらの場において、種々の国際標準を作成していくとともに、既往の国際標準の更新作業も行っていく。

また、国際標準のための基礎研究も、各参画者が研究資金を獲得することによって継続していく。

研究代表者が所属する北海道大学では現在「国際化」が重点施策であり、長期計画はもとより、中期計画においても明示されている。また、2008年にG8サミットが北海道で開催されたことから、「サステナビリティ」を、大学における教育と研究のキーワードとしている。「国際化」と「サステナビリティ」との双方がキーワードである、本提案課題に対し、本部・工学系研究院ともに組織として適宜必要な支援がなされる。

5. 我が国を中心としたアジア・アフリカ諸国等との政府レベルでの協力関係の強化・構築への発展性

日本の主導でアジアと一体となって行う国際標準化促進事業として、経済産業省や国土交通省が、本研究の背景となる活動を支援してきており、既に政府レベルで重要性が認識されていると言ってよい。また、ISO/TC71/SC7におけるコンクリート構造物の寿命予測とLCMに関する標準化作業には、アジア・アフリカの多くの国々が代表を派遣し、本研究が目指す国際標準の必要性が明らかである。

ISO自身も、TC71/SC7の活動を、地球の「サステナビリティ」に貢献する活動の一つとして、高く評価している(2008年末に出されたISOの広報冊子)。

日本及びアジアとして(広くはアフリカも含めてよい)、欧米、特に、ウィーン協定を背景にした欧州の影響力が大きな、ISOにおける国際標準化作業において、アジア・アフリカにより適した建設分野の国際標準をアジア自身で行うことが望まれている。これは長期にわたるもので、それを具現化する最適な場の一つが、本研究課題の活動の場となるISO/TC71/SC7であるといってもよい。具体には、今後、北東アジア標準協力フォーラム等の政府間協議の場で、アジア・アフリカ発の国際標準化への協力と発展することが考えられる。現時点では、北東アジアでの協議の場しかないが、今後は、より広範囲なアジア、アフリカも入っていくことが望まれる。

6. 生命倫理・安全面への配慮について

本研究課題は関係がない。

7. 研究実施体制

本課題の参画者は既に、本提案課題の役割分担に示された研究を、基本的に参画期間での研究費、人材、施設を用いて実施してきている。その一部は、参画機関間の共同研究の形態を取っている。

各参画者は、21世紀COE(2007年度終了)での共同研究、アジアコンクリートモデルコード国際委員会(ICCMC)、ISO/TC71を通して、本提案課題の研究代表者を中心に、定期的集まる機会がある(一部は過去形)。したがって、各参画者間の連携と、グループとしての責任体制は存在している。ただ、ICCMCとTC71においては、本提案課題に関することだけを議論するわけではないので、本提案課題の活動のために、別途会合を持つ必要がある。ただし、各参画者は、これらの会合参加のための支援を常に持っているわけではないので、本研究への助成を生かす。

コンクリート構造物のLCM国際標準の確立

実施体制



氏名	所属部局・職名	提案課題における役割
上田 多門	北海道大学大学院工学研究院・教授	研究の全体統括, 複合劣化 (凍害と荷重) 機構と性能予測, 劣化対策技術に関する研究
横田 弘	北海道大学大学院工学研究院・教授	塩害劣化機構と性能予測, 予測技術のシステム化とLCMに関する研究
杉山 隆文	北海道大学大学院工学研究院・教授	複合劣化を考慮した耐久設計法, 環境・社会の影響評価との統合に関する研究
佐藤 靖彦	北海道大学大学院工学研究院・准教授	複合劣化 (凍害, 荷重, 化学的劣化) 機構と性能予測, 劣化対策技術に関する研究
武若 耕司	鹿児島大学工学部・教授	塩害, 複合劣化機構と性能予測に関する研究
濱 幸雄	室蘭工業大学工学部・教授	凍害, 複合劣化機構と性能予測に関する研究
田口 史雄	土木研究所寒地土木研究所・上席研究員	複合劣化機構 (凍害とその他) と性能予測に関する研究
桂 修	北海道立総合研究機構北方建築総合研究所生産技術部・技術材料開発科長	複合劣化を考慮した耐久設計法に関する研究
Folker H WITTMANN	中国・青島理工大学耐久性研究センター・教授	複合劣化機構と性能予測
JIN Wei-lian	中国・浙江大学建築工芸学院・教授	塩害劣化機構と性能予測 (信頼性) に関する研究
WANG Li-Cheng	中国・大連理工大学土木水理工学部・准教授	凍害, 複合劣化機構と性能予測に関する研究
ANN Ki-Yong (SONG Ha-Won 教授死亡のため交代)	韓国・延世大学工学部・教授	各種劣化機構と性能予測, 予測技術のシステム化とLCMに関する研究
Boonchai STITMANNAITHUM	タイ・チュラロンコン大学工学部・准教授	複合劣化を考慮した耐久設計法に関する研究
Ahmed Sabry Abdel Hamid FARGHALY	エジプト・アシュート大学工学部・講師	劣化対策技術に関する研究

8. 各年度の計画と実績

a. 平成 21 年度

(1) 計画：各参画機関で行っている各種劣化機構の解明、既設構造物の劣化評価、構造物の寿命予測、構造物の劣化対策に関する研究を引き続き行う。それとともに、環境・社会への影響評価と耐久設計との統合に関する研究を開始する。

(2) 実績：

ライフサイクルマネジメント（LCM）の概念と国際標準の目次の素案を提示し検討を開始した。塩害劣化機構と性能予測のモデル構築のための案が、日本、韓国、タイから提示され、性能の経時変化モデル、モデル化のための実験条件とデータ取得法、劣化の限界状態に関して議論した。また、アルカリ度と鉄筋腐食との関係を明らかにした。凍害劣化機構と性能予測に必要な準微視的解析法に関して、そのコアとなる変形モデルの概念の提示と変形モデル構築のための実験手法の提示をし、有限要素解析法に関しては、凍害劣化した付着性状の実験データ提示と梁の性能低下の実験データ提示をするとともに、現状の有限要素解析法の問題点を明示した。複合劣化機構と性能予測に必要な、化学的劣化の解析法に関して、劣化と材料特性との関係を実験的に明らかにした。耐久設計法に関する、長期耐久性のメカニズム解明法と実験法の一つを提示した。と劣化対策としての増厚補強と接着補強工法に関しては荷重の影響を考慮できる数値解析法の開発と疲労荷重の補強後挙動への影響の解明を行った。

b. 平成 22 年度

(1) 計画：各参画機関で行っている各種劣化機構の解明、既設構造物の劣化評価、構造物の寿命予測、構造物の劣化対策に関する研究を引き続き行う。また、環境・社会への影響評価と耐久設計との統合に関する研究を継続する。LCM 国内及び国際標準の骨格に関し議論する。

(2) 実績：

予測技術のシステム化と LCM に関して、「構造物の定期的な点検による変状の程度および性能の把握」、「将来における変状の進行および性能低下の予測」、「効果的かつ合理的な対策の実施」という流れに基づく LCM 国際標準の枠組みを、劣化機構ごとの性能予測に関する成果および耐久設計法に関する成果を反映させる形で構築した。塩害劣化機構と性能予測に関しては、塩化物イオンの侵入に着目した材料・施工・環境条件に起因する劣化機構の解明と、アジア・アフリカの気象・環境条件への拡張の観点から研究を進めた。凍害劣化機構と性能予測に関しては、凍結融解作用による表層劣化及び内部劣化の再現が可能な準微視的解析法を開発した。また、凍害により劣化したコンクリート構造物の構造性能評価に必要な構成モデルを導入した有限要素解析を開発した。最終的に、2つの解析手法を結合させた評価システムの構築を目的とした検討を行った。複合劣化機構と性能予測に関しては、化学的に劣化したモルタルおよびコンクリートのメソスケール試験を通じて化学的な組成と力学特性との関連付けを行った。また、増厚補強部材のせん断耐力および曲げ耐力に基づき、ひび割れ間隔、幅、分布に着目した破壊モードの予測に関する検討を行うとともに、既往の設計基準に対する考察を加え増厚補強部材の破壊性状の検討を行った。複合劣化を考慮した耐久設計法に関しては、わが国の廃棄物または副産物使用コンクリートを標準化材料と位置づけて、塩害や凍害などの主要な劣化形態、カルシウム成分溶出に伴う複合劣化、鉄筋腐食やコンクリート損傷を、各種実験研究を通じて解明することにより、耐久設計手法の研究開発を行った。

c. 平成 23 年度

(1) 計画：各参画機関で行っている各種劣化機構の解明、既設構造物の劣化評価、構造物の寿命予測、構造物の劣化対策に関する研究成果をまとめ、耐久設計と維持管理システムを構築し、これに環境・社会への影響評価を統合する。以上の成果に基づき、LCM 国内及び国際標準を作成し、国内外の関連団体に提示する。



