

プロジェクト 1

経年に伴うコンクリートの劣化機構の解明

湯浅 昇（建築工学科）

1. 研究目的

本研究は、第一に、経年に伴うコンクリートの劣化（中性化、塩害、凍害、アルカリ骨材反応）機構について、表面から内部にわたる物理的・化学的品質変化を考慮して解明する。次に、解明された劣化機構に基づいて、材料、調合、養生の指針を提案するための実験研究を行う。第三に、実構造物のコンクリートの耐久性（寿命予測）を竣工時および必要に応じた任意の時期に評価する方法を確立させることを目的としている。

2. 構想調書作成時の平成 16 年度研究計画

平成 16 年度における構想調書作成時点での研究計画は、次に示す通りであった。

計画供用期間に対応するコンクリートの材料、調合、養生の指針を策定し、非（微）破壊によるヘルスマニタリングから耐久性（寿命予測）評価方法を確立し、本研究をまとめる。

3. 平成 16 年度実績報告

研究目的にある「経年に伴うコンクリートの劣化機構」及び「材料、調合、養生の指針を提案するための実験研究」については、平成 13 年度の英国派遣中に英国 University of Dundee にて作製し、同 University of Dundee 及び日本大学生産工学部にて暴露（平成 14 年 1 月）した試験体について、暴露 3 年後（平成 17 年 1 月回収）の中性化深さ、ポロシチー地等を試験した。中性化深さに違いは見られず、英国 University of Dundee 周辺と日本大学生産工学部周辺の一般環境下における劣化外力の強さは変わらないことがわかった。

また、「実構造物のコンクリートの耐久性（寿命予測）を竣工時および必要に応じた任意の時期に評価する方法を確立させること」については、これまでに引き続き、細孔構造や吸水率を用いて

圧縮強度、水セメント比、耐久性を評価する方法を開発し、日本建築学会コンクリート試験方法小委員会で検討され、平成 17 年度脱稿をめざす日本建築学会の出版物の中で掲載される試験方法として採用される予定である。

更に、平成 17 年 3 月 3 日、これまでに得てきた知見を、日本建築学会関東支部材料施工専門研究委員会（主査：湯浅昇）主催のパネルディスカッション「リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か」の中で紹介（主旨説明：湯浅昇）し、「実構造物のコンクリートの耐久性（寿命予測）を竣工時および必要に応じた任意の時期に評価する方法を確立させること」を他のパネリスト及び参加した日本建築学会関東支部所属一般会員とともに議論した。

これに先立ち、これまでに検討してきた知見を基に、第 2 章「構造体コンクリートの強度推定方法」を執筆した「コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法」（谷川恭雄名古屋大学名誉教授監修、セメントジャーナル社出版）が平成 17 年 9 月 17 日発刊された。

また、日本コンクリート工学協会自然環境下のコンクリート性能研究委員会において、長期暴露試験マニュアル WG 主査を務め、主導的な立場で、試験体の暴露方法及び評価方法に関して指針原案を平成 17 年 5 月の脱稿を目指しまとめている。

4. 英国 University of Dundee 及び日本大学生産工学部周辺の劣化外力について

日本建築学会によれば、一般環境における劣化外力とは、中性化を示している。ここでは、平成 13 年度に英国で同一に作製したコンクリート試験体について、英国 University of Dundee 及び日本大学生産工学部に 3 年間暴露した結果、主に中性化の進行について述べることにする。

英国の材料（セメント、骨材、混和剤等）を用

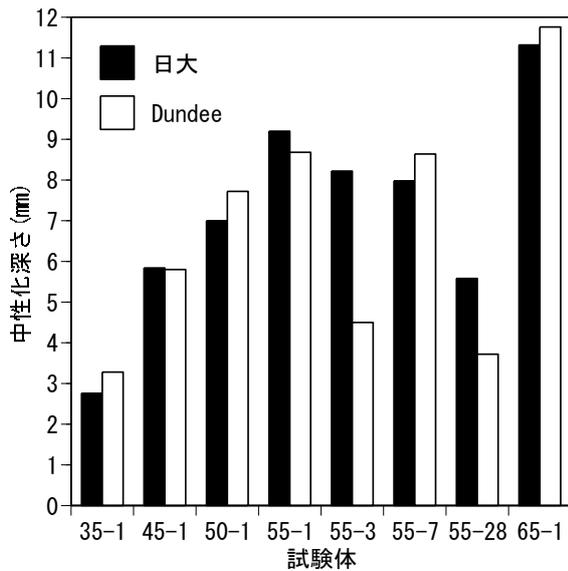


図-1 中性化測深さ測定結果

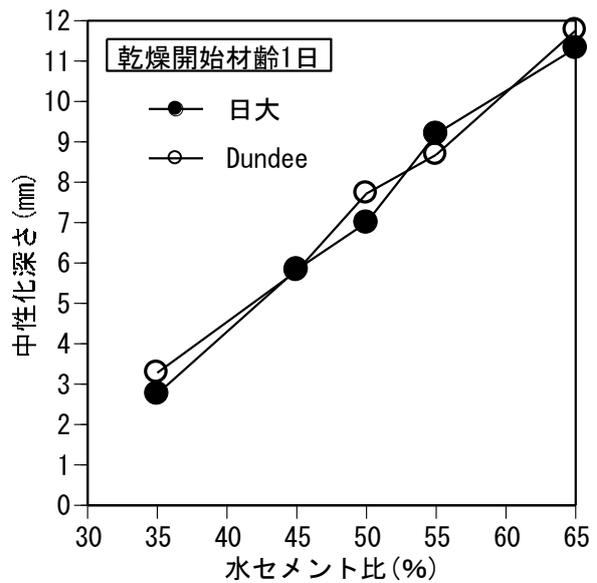


図-2 水セメント比と中性化深さの関係
(乾燥開始材齢1日)

いて英国で作製した試験体 (①W/C : 35%—乾燥開始材齢1日、②W/C : 45%—乾燥開始材齢1日、③W/C : 50%—乾燥開始材齢1日、④W/C : 55%—乾燥開始材齢1日、⑤W/C : 55%—乾燥開始材齢3日、⑥W/C : 55%—乾燥開始材齢7日、⑦W/C : 55%—乾燥開始材齢28日、⑧W/C : 65%—乾燥開始材齢1日) を直接、風雨及び日射を受けない英国 University of Dundee 及び日本大学生産工学部構内に3年間暴露 (平成14年1月～平成17年1月) した。

図-1は、測定された中性化深さを示している。図-2は乾燥開始材齢1日における水セメント比と中性化深さの関係を示している。図-3は乾燥開始材齢と中性化深さの関係を示している。水セメント比が大きいほど、乾燥開始材齢が早いほど、中性化深さは深くなることを示しているが、暴露地による中性化深さの違いは小さかった。これは、表-1に示すように、まず、極端な人口集中地域以外においては、全世界的に、自然豊かな場所を含めて二酸化炭素濃度が400ppm前後で変化が小さいことが挙げられる。その上で、英国 University of Dundee 周辺と日本大学生産工学部周辺の一般環境下における劣化外力の強さは変わらない程度であったことがわかった。

なお、表-1に示す各国各場所の二酸化炭素濃度の測定結果に基づき、これまで外気の二酸化炭素濃度は300ppmとしてきた日本建築学会の解釈

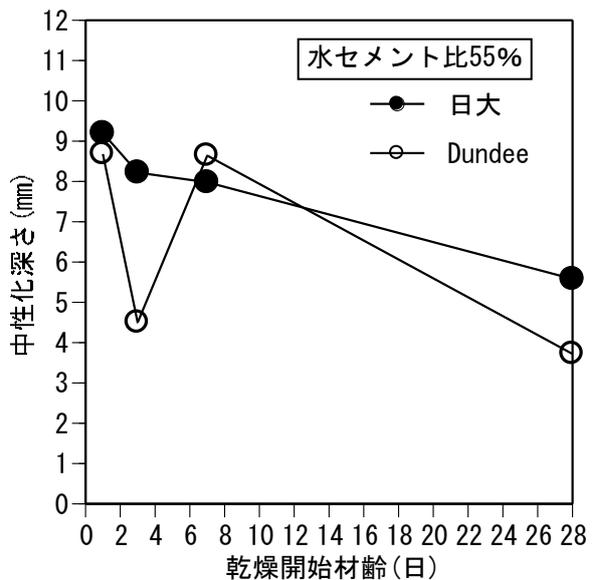


図-3 乾燥開始材齢と中性化深さの関係
(水セメント比55%)

について、変更を申し入れ、2004年2月発刊の日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物耐久設計施工指針(案)・同解説」では、500ppmで設計することになった。

5. 当初の平成16年度研究計画の達成状況

計画供用期間に対応するコンクリートの材料、調合、養生の指針を策定については、平成17年度をまたぎ、平成16年2月の日本建築学会による「鉄筋コンクリート造建築物耐久設計施工指針

表-1 各国各場所の二酸化炭素濃度の測定結果

場所	測定値 (ppm)	測定日時
日本		
北海道 釧路	330	2003.8.17, 9:00
北海道 札幌	300	2003.8.18, 9:01
北海道 泊暴露場	400	2003.9.21,
北海道 共和町潮香荘	360	2003.9.22, 9:15
青森 八戸工大	340	2003.9.24,
新潟 新発田	370	2003.8.26, 12:00
千葉 大学ストックヤード	500	2002.10.15, 12:00
三重県 桑名 木曾川堤防	350	2002.11.28, 14:00
大阪 千里中央	360	2003.3.7, 9:30
広島 広島バスターミナル	500	2002.10.24, 14:00
高知 高知空港	330	2003.10.16, 15:00
福岡 博多	350	2002.10.27, 10:00
鹿児島 第一工業大学	400	2002.11.4, 9:00
沖縄 琉球大学工学部北口	420	2003.2.28, 9:15
沖縄 琉球大学工学部	420	2003.2.28, 9:30
沖縄 竹富島	400	2003.10.18, 17:00
アジア		
中国 五洲飯店	390	2003.10.26, 10:30
中国 北京駅	390	2003.10.27, 13:00
中国 東営市	390	2003.10.28, 14:30
中国 香港空港	360	2003.10.30, 12:30
韓国 大田バス乗り場	510	2002.10.12, 16:00
韓国 飲み屋	1500	2002.10.12, 20:00
韓国 Royal Hotel前	500	2002.10.13, 8:00
マレーシア クアラルンプール メソアホテル前	440	2003.1.13, 16:00
ヨーロッパ		
イギリス University of Dundee 土木前	450	2002.9.11, 14:00 ~15:30
イギリス University of Dundee 暴露階段下	450	
イギリス University of Dundee Station駐車場	450	
イギリス University of Dundee Closing session中	700	
イギリス University of Dundee パーランチ終了時	700	
イギリス Stratford 現場	450	2002.9.13, 12:00
イギリス Royal National Hotel前	505	2002.9.13, 17:00
イギリス Picadiry cercas噴水	600	2002.9.13, 18:30
イギリス ポルトランド島	375	2002.9.15, 12:00
イタリア Vicofort 教会堂	500	2002.9.18, 10:00
イタリア サンマルコ広場	500	2002.9.25, 16:00
イタリア サンマルコ海	500	2002.9.26, 9:00
イタリア フィレンツェ ドーモ前	400	2002.9.26, 16:00
イタリア ピサの斜塔前	400	2002.9.27, 11:30
イタリア コロッセウム	450	2002.9.28, 13:40
イタリア サンピエトロ	500	2002.9.28, 16:30
ドイツ フランクフルト Main中央駅前	420	2003.1.20, 14:30
ドイツ フランクフルト Main station	420	2003.1.20, 15:00
オセアニア		
オーストラリア シドニー オペラハウス	400	2003.1.4, 11:00
オーストラリア シドニー ヴィクトリア女王像前	400	2003.1.4, 12:00
オーストラリア タスマニア DOVA LAKE	280	2003.1.6, 14:00

(案)・同解説」制定に際し、委員を務め、他の委員との議論の上、学協会の指針を作ったという意味、また、委員を務める日本コンクリート工学協会自然環境下のコンクリート性能研究委員会において、長期暴露試験マニュアルWG 主査を務め、試験体の暴露方法及び評価方法に関して指針原案をまとめていく過程(平成17年5月脱稿)で達成できるといえる。また、非(微)破壊によるヘルスマニタリングから耐久性(寿命予測)評価方法を確立し、本研究をまとめるについては、平成17年度に発刊した、セメントジャーナル社「コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法」を執筆し、日本建築学会関東支部「リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か」を日本建築学会関東支部材料施工専門委員会主査としてまとめたこと、委員を務める日本建築学会コンクリート試験方法小委員会にて原稿を取りまとめている中(現在執筆中)で達成できると考える。

6. 研究成果公表リスト

a. 学協会等掲載論文

- 1) T. Aoki, T. Komiyama, Y. Tanigawa, S. Hatanaka, N. Yuasa, H. Hamasaki, M. A. Chiorino, R. Roccati, "Non-destructive Testing of the Sanctuary of Vicoforte", Proc. 13th Int. Brick and Block Masonry Conference, Amsterdam, The Netherlands, 4-7 July, Vol. 4, pp. 1109-1118, 2004. 7

b. 著書等

- 1) 監修：谷川恭雄、執筆：魚本健人、湯浅昇、山田和夫、込山貴仁、永山勝、濱崎仁、コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法、セメントジャーナル社、平成16年9月17日
- 2) 湯浅昇、十代田知三、森濱和正、永山勝、中島修一、笠井芳夫、リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か、日本建築学会関東支部、2005年3月3日
- 3) 監修：湯浅昇、中田善久、執筆：中田善久、毛見虎雄、大塚秀三、加藤博、桜井徹、安部隆博、清水朗、瀬古繁喜、鹿毛忠継、春山信人、中瀬博一、古澤顯彦、藤井和俊、濱崎仁、陣内浩、西田朗、山本佳城、湯浅昇、笠井芳夫、RC工事の[常識]と[非常識]、建築技術、No. 662、pp87-157

c. 学術雑誌の掲載等

- 1) 湯浅昇、非(微)破壊試験のための構造体コンクリートの物性解説、日本非破壊検査協会、非破壊検査、Vol. 53、No. 9、pp. pp. , 2004年9月

d. 協会等口頭発表

- 1) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇、吉野進也：有効吸水量に基づく硬化コンクリートの水セメント比、圧縮強度推定方法、(社)セメント協会、第58回セメント技術大会講演要旨、pp. 74-75、2004年5月
- 2) 吉野進也・湯浅昇・松井勇・笠井芳夫、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、A-1分冊、pp. 201-202、2004年8月
- 3) 濱崎仁、谷川恭雄、湯浅昇、永山勝、棚野博之、春畑仁一、白石倫巳：コンクリートの非破壊試験における測定精度に関する実験的検討 その1 実験概要および反発度法におけるコア強度と反発度の関係、日本建築学会大会概要集A-1、pp. 213-214、2004年
- 4) 春畑仁一、谷川恭雄、湯浅昇、永山勝、棚野博之、濱崎仁、白石倫巳：コンクリートの非破壊試験における測定精度に関する実験的検討 その2 反発度法におけるリバウンドハンマーの個体差、含水状態および中性化深さの影響、日本建築学会大会概要集A-1、pp. 215-216、2004年
- 5) 白石倫巳、谷川恭雄、湯浅昇、永山勝、棚野博之、濱崎仁、春畑仁一：コンクリートの非破壊試験における測定精度に関する実験的検討 その3 小径コア、表面引っかけ傷幅、音速法および複合法によるコンクリート強度の推定、日本建築学会大会概要集A-1、pp. 217-218、2004年
- 6) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇、吉野進也：有効吸水量に基づく硬化コンクリートの水セメント比、圧縮強度推定、日本非破壊検査協会講演概要集、pp. 69-70、2004年
- 7) 吉野進也、湯浅昇、松井勇、笠井芳夫：有効吸水量に基づくコンクリートの品質評価方法の開発、日本大学生産工学部学術講演会講演概要、pp. 127-130、2004年