

## 論文 Article

## 初期の水中養生が材齢5年を経過したコンクリートの品質に及ぼす影響

原稿受付 2020 年 6 月 10 日

ものづくり大学紀要 第 10 号 (2020) 8 ～ 13

澤本武博<sup>\*1</sup>, 辻正哲<sup>\*1</sup>, 坂本大河<sup>\*2</sup>, 舌間孝一郎<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科<sup>\*2</sup> ものづくり大学大学院 ものづくり学研究科<sup>\*3</sup> 前橋工科大学 工学部 社会環境工学科

## Effect of Preliminary Underwater Curing on Property of Concrete at age of 5 years

Takehiro SAWAMOTO<sup>\*1</sup>, Masanori TSUJI<sup>\*1</sup>, Taiga SAKAMOTO<sup>\*2</sup> and Koichiro SHITAMA<sup>\*3</sup><sup>\*1</sup> Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists<sup>\*2</sup> Graduate School of Technologists, Institute of Technologists<sup>\*3</sup> Dept. of Civil and Environmental Engineering, MAEBASHI Institute of Technology

## Abstract

The paper on relation between preliminary moist curing and compressive strength of concrete written by Walter. H. Price is widely known. In the paper written by Price, when the moist curing is stopped, the rate of strength gain slows down as water is lost from the concrete, and further strength gain soon ceases. However, it was experimented about 70 years ago, and that concrete material was different from present one. In this study, the effects of preliminary moist curing period on the strength development of concrete until the age of 5 years were examined with present materials. As a result, a 3-day period of underwater curing allowed the concrete to reach 70% of the potential 5-year strength which could be achieved with continuous underwater curing. A 7-day period of underwater curing could allow the concrete to reach 75% of the potential 5-year strength which could be achieved with continuous underwater curing. A 28-day period of underwater curing could allow the concrete to reach 80% of the potential 5-year strength which could be achieved with continuous underwater curing. In case of long age, a 3-day period of underwater curing allowed the concrete to reach 100% of potential 28-day strength which could be achieved with continuous underwater curing.

**Key Words :** Concrete, Preliminary curing, Underwater curing, Long age, Compressive strength, Coefficient of carbonation velocity

## 1. はじめに

コンクリートの強度発現と初期の湿潤養生期間の関係として、1951年に米国でWalter.H.Price(以下、Priceと称す)が発表した論文<sup>1)</sup>が世界的に用いられ、現在でもほとんどの文献や教科書にPriceが発表したグラフが採用されている<sup>2,3,4)</sup>。Priceの論文は70年程度前のコンクリートに関するものであり、使用材料や配合など現在のコンクリート

とは大きく異なる。

そのため、著者らは、水セメント比70%～31%のコンクリートについて、Priceの論文と同じ初期養生期間の条件で圧縮強度試験を行い、図1に示した結果を得ている<sup>5)</sup>。初期の水中養生期間が圧縮強度に及ぼす影響では、材齢180日まで絶えず水中養生した場合と比較すると、いずれの配合においても、初期の水中養生期間が3日間では80%程度、7日間では90%程度、28日間では100%程

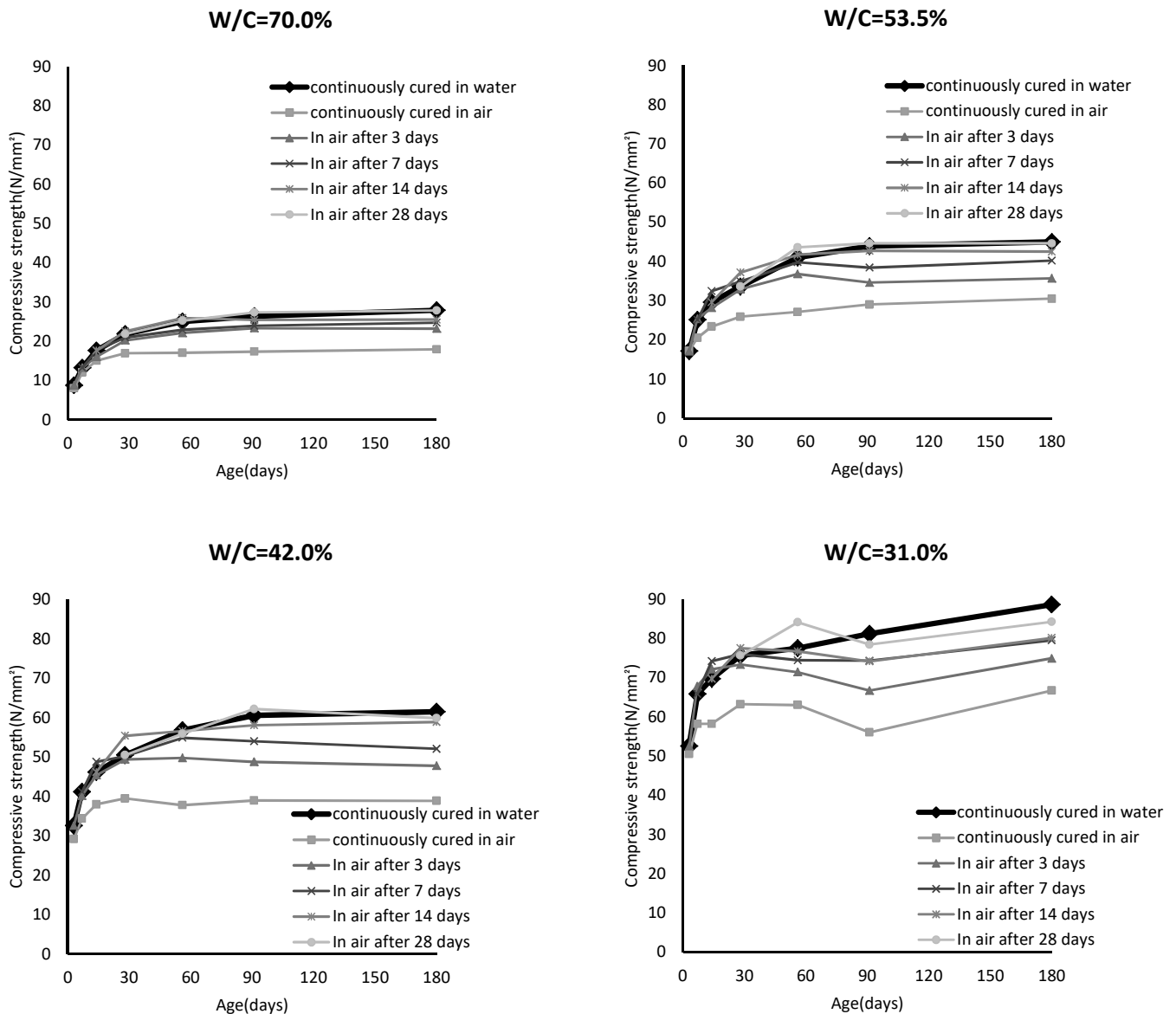


Fig. 1 Effect of preliminary underwater curing on compressive strength of concrete<sup>5)</sup>

度となることを明らかにした。

本研究では、水セメント比 70%および 42%の 2 種類のコンクリートについて、材齢 1 年および 5 年の実験結果を追加して、長期材齢における初期の水中養生期間の影響について検討した。また、水セメント比 70%のコンクリートについて、材齢 5 年における中性化深さを測定し、初期の水中養生期間と中性化速度係数の関係について検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントには、普通ポルトランドセメント（密

Table 1 Mix proportion of concrete

W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	S	G	Ad
70.0	12±2.5	4.5±1.5	171	245	895	958	2.94
42.0	18±2.5	4.5±1.5	170	405	791	935	4.05

度 3.16g/cm<sup>3</sup>) を、細骨材には栃木県栃木市尻内町産山砂（表乾密度 2.61 g/cm<sup>3</sup>、粗粒率 2.75）を、粗骨材には栃木県栃木市尻内町産砕石（最大寸法 20mm、表乾密度 2.64g/cm<sup>3</sup>、実積率 59.0%）を用いた。混和剤としては、水セメント比 70%の場合には AE 減水剤を、42%の場合には高性能 AE 減水剤を用いた。

コンクリートの配合を表 1 に示す。スランプ試験および空気量試験結果は、水セメント比 70%の

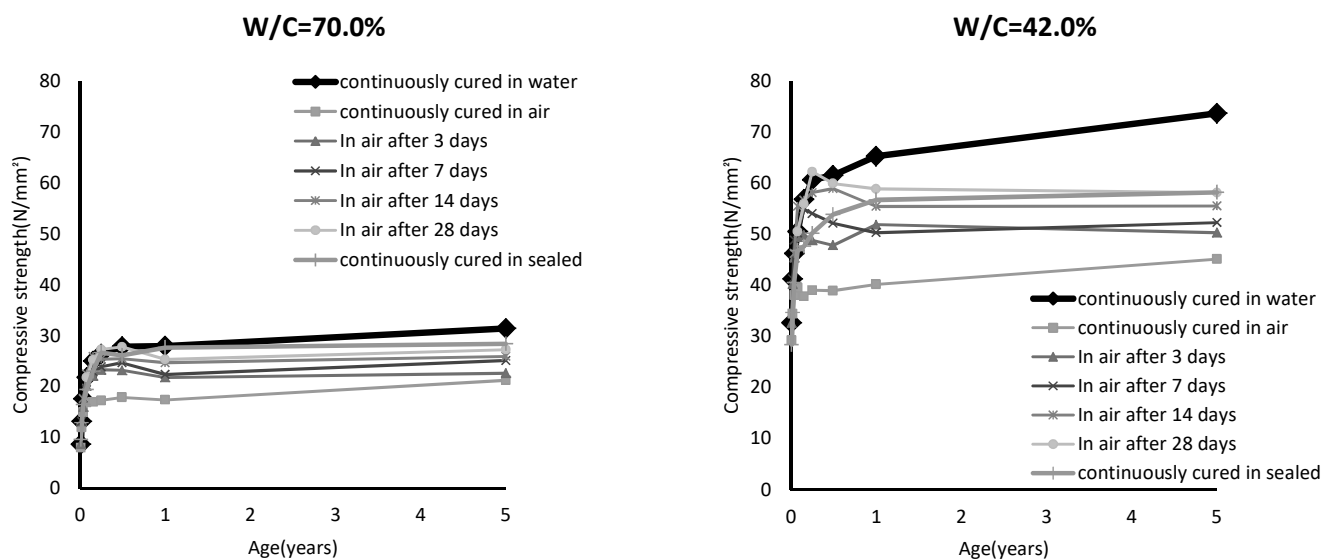


Fig. 2 Effect of preliminary underwater curing on compressive strength of concrete

コンクリートで 12.0cm および 5.3%, 42%のコンクリートで 18.5cm および 3.1%であった。

## 2.2 供試体の作製

実験に用いた供試体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$  の円柱とした。Price の実験では  $\phi 150 \times 300\text{mm}$  の円柱を使用しているが、本研究では現在一般的に使用されている供試体寸法とした。コンクリートは実機練りとし、トラックアジテータで搬入した。コンクリートの打込み締固めは、現行の JIS A 1132 に準じて行った。

## 2.3 供試体の養生

コンクリートの脱型は、材齢 1 日で行った。本研究では、コンクリートの湿潤養生として、一般的な水中養生を採用した。初期養生期間の条件としては、Price の論文に準じ水中養生から気中養生に切り変える材齢を 3 日、7 日、14 日、28 日と変化させる場合、脱型後試験材齢まで絶えず水中養生を行う場合および試験材齢まで絶えず気中養生を行う場合について実験を行った。さらに、Price の論文には記載がないが、型枠を試験材齢まで存置しておく封かん養生についても実験を行った。なお、水中養生は温度  $20^\circ\text{C}$ 、気中養生および封かん養生は温度  $20^\circ\text{C}$ ・相対湿度 60%の雰囲気下で行った。

## 2.4 圧縮強度試験および質量変化の測定

圧縮強度試験は JIS A 1108 に準じて行うこととし、各養生条件・材齢において、それぞれ 3 本ず

つの供試体を使用した。なお、圧縮強度試験における供試体の端面処理は、機械研磨により行った。

質量変化の測定では、それぞれ脱型直後の質量および圧縮強度試験直前（端面処理の直前）の質量を測定し、水中養生による質量の増加および気中養生による質量の減少の程度を求めた。

## 2.5 中性化深さ試験

中性化深さ試験は JIS A 1152 に準じて行うこととし、水セメント比 70%のコンクリートの各養生条件の材齢 5 年において、JIS K 8001 に規定されているフェノールフタレイン溶液を、それぞれ 3 本ずつの割裂面（計 6 断面）に噴霧して行うこととした。測定箇所は、割裂面の両側 5 箇所ずつ（供試体中央部から 10mm ずつ離して 5 箇所）の合計 10 箇所とし、6 断面の合計 60 箇所の平均値を中性化深さとした。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 初期の水中養生が圧縮強度に及ぼす影響

初期の水中養生期間がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響を図 2 に示す。絶えず水中養生を行った場合には、水セメント比 70%のコンクリートに比べて、42%のコンクリートの方が、材齢 1 年、さらには材齢 5 年と長期材齢に強度増加が見受けられた。これは、低水セメント比の方が水和に必要な水分が練混ぜ水では足りないため、外部から

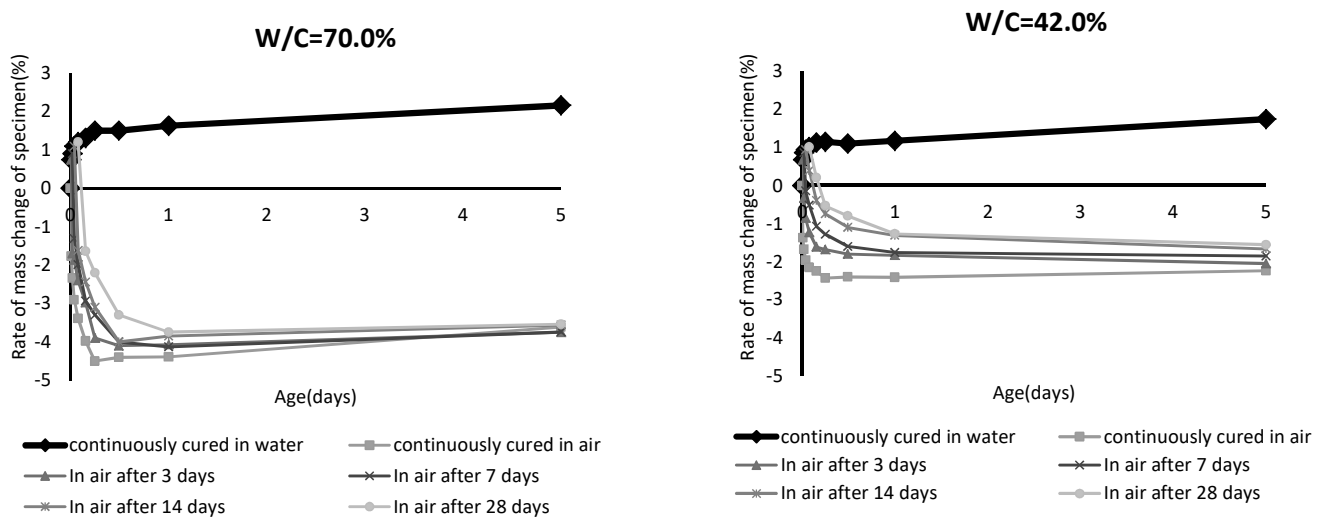


Fig. 3 Effect of preliminary underwater curing on mass change of concrete

の水分供給により水和反応が進むためと考えられる。

絶えず封かん養生を行った場合には、水セメント比 70%のコンクリートは水和に必要な水分が練混ぜ水で足りるため、水中養生を行った場合に比べて若干の強度低下で収まっているが、42%の場合には水和に必要な水分が供給されないため、材齢に伴う強度増加は小さかった。

絶えず気中養生を行った場合、また初期の水中養生を行った場合にも、水セメント比 70%のコンクリートに比べて、42%の方が水中養生に比べてかなり強度が小さくなった。

初期の水中養生期間がコンクリートの質量変化に及ぼす影響を図 3 に示す。質量変化については、水中養生を行うことで 2%程度の増加、気中養生を行うと水セメント比 70%で 4%程度の減少、水セメント比 42%で 2%程度の減少であった。

### 3.2 初期の水中養生とポテンシャル強度の関係

各材齢のポテンシャル強度（絶えず水中養生した場合）に対するそれぞれの初期の水中養生期間における圧縮強度比を図 4 に示す。絶えず封かん養生を行った場合には、水セメント比 70%では材齢 1 年まで、絶えず水中養生を行った場合と同程度の圧縮強度となり、材齢 5 年においても 90%程度であった。一方、水セメント比 42%では、絶えず水中養生を行った場合に比べて 80%程度に留まった。

気中養生を行った場合には、いずれの配合にお

いても、材齢が 1 年を超えると絶えず水中養生を行った場合に比べて 60%程度となった。

初期の水中養生を行った場合には、水中養生期間が長いほど、絶えず水中養生を行った場合に近づく傾向にはあるが、材齢 5 年になると、初期の水中養生期間が 3 日間では 70%程度、7 日間では 75%程度、28 日間では 80%程度となった。なお、水セメント比 70%の方が若干初期の水中養生の効果が大きかった。

### 3.3 初期の水中養生期間と管理強度の関係

管理強度（絶えず水中養生した材齢 28 日）に対するそれぞれの初期の水中養生期間における圧縮強度比を図 5 に示す。材齢 5 年になると、たえず封かん養生で 120%程度、絶えず気中養生であっても 90%程度の圧縮強度となった。

初期の水中養生を 3 日間行くと、材齢 5 年では管理強度と同程度の圧縮強度となり（材齢 180 日から同程度）、土木学会コンクリート標準示方書<sup>6)</sup>や日本建築学会 JASS5<sup>7)</sup>に示されている普通コンクリートで湿潤養生 5 日間以上、高強度コンクリートで 3 日間以上行うという記載にも合致する。さらに、初期の水中養生を 28 日間行くと材齢 5 年においては管理強度の 120%程度となった。また、3.2 と同様に、水セメント比 70%の方が 42%に比べて、若干初期の水中養生の効果が大きかった。

### 3.4 初期の水中養生と中性化速度係数の関係

各供試体の中性化深さを比較した様子を図 6 お

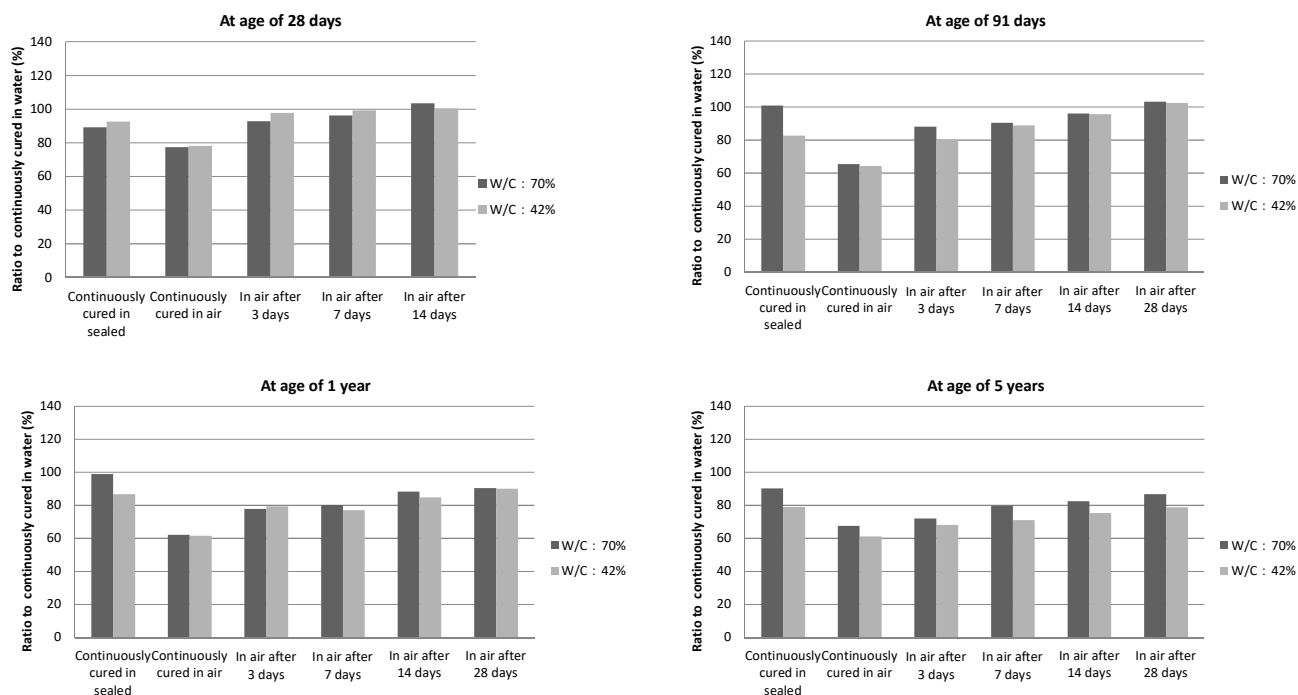


Fig. 4 Ratio to continuously cured in water

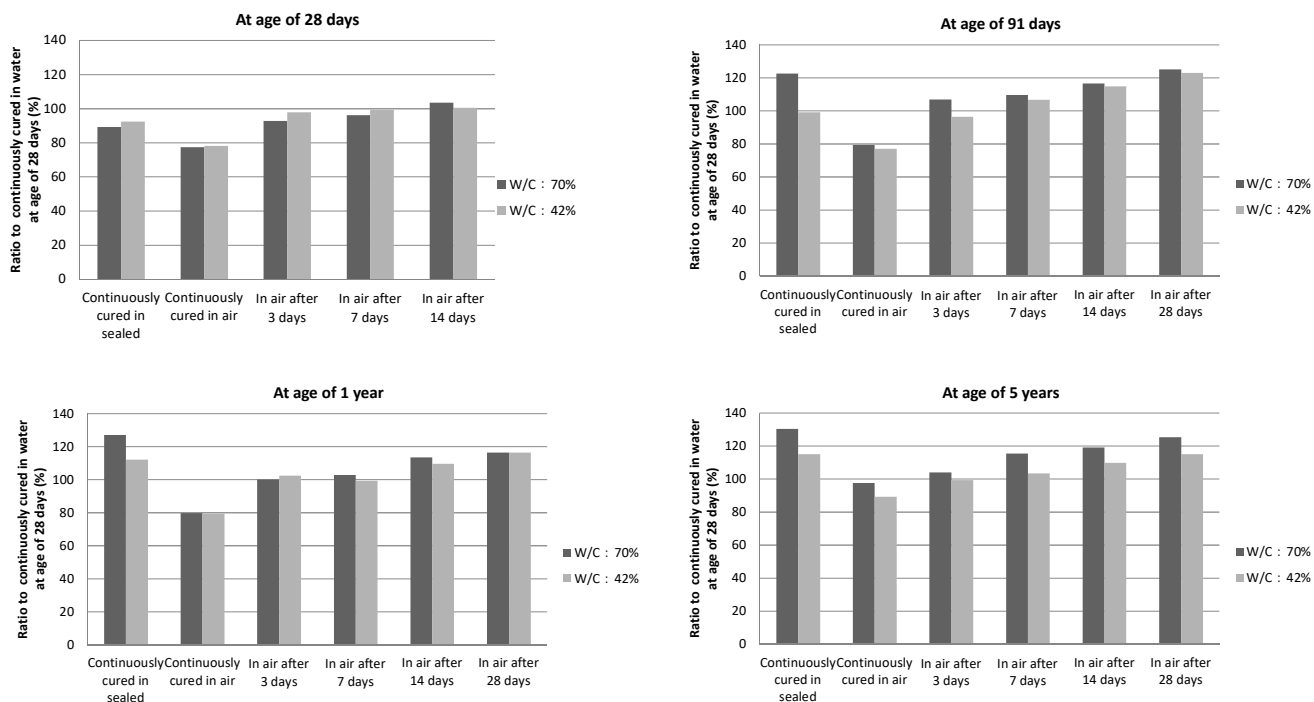


Fig. 5 Ratio to continuously cured in water at age of 28 days

よび図 7 に示す. 左から絶えず気中養生, 初期の水中養生期間 3 日~28 日の順であり, 初期の水中養生期間が長期間になるほど中性化深さは浅くなり, 絶えず気中養生の場合で 33mm 程度, 初期の水中養生期間が 28 日の場合で 20mm 程度となつ

た. これらの中性化深さを用いて, 中性化深さは経過時間の平方根に比例することにより中性化速度係数をまとめると, 図 8 になる.

圧縮強度と中性化速度係数の関係を図 9 に示す. 圧縮強度が大きくなるほど中性化速度係数は小さ

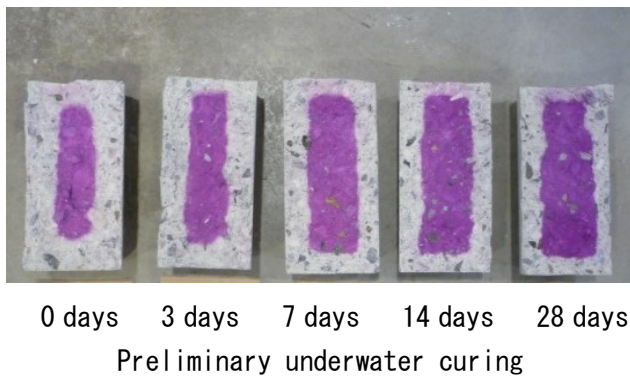


Fig. 6 Picture of carbonation depth of concrete

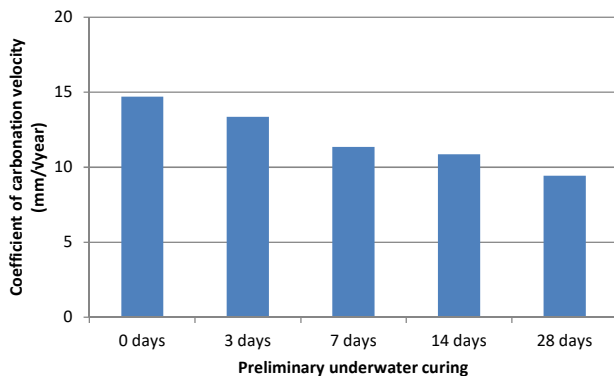


Fig. 8 Effect of preliminary underwater curing on coefficient of carbonation velocity

くなる傾向にあり，初期の養生期間の違いによる圧縮強度と中性化速度係数の相関性は高くなった。

#### 4. まとめ

現在のコンクリートについて，Price の論文と同じ初期養生期間の条件で，コンクリートの長期材齢における圧縮強度に及ぼす影響を検討した結果，以下の(1)～(4)が明らかとなった。

- (1) 気中養生を行った場合には，材齢が1年を超えると絶えず水中養生を行った場合に比べて60%程度となった。
- (2) 初期の水中養生期間が圧縮強度に及ぼす影響では，絶えず水中養生を行った場合に比べて，材齢5年において，初期の水中養生期間が3日間では70%程度，7日間では75%程度，28日間では80%程度となった。
- (3) 初期の水中養生を3日間行くと，長期材齢(材齢180日～5年)になると管理強度(絶えず

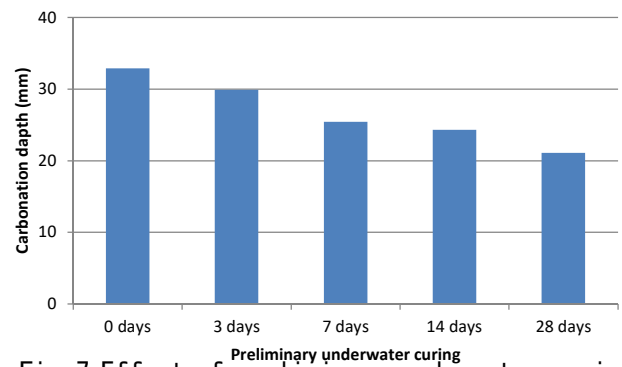


Fig. 7 Effect of preliminary underwater curing on carbonation depth of concrete

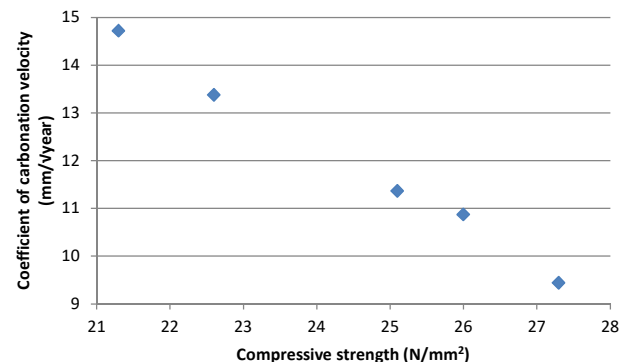


Fig. 9 Relation between coefficient of carbonation velocity and compressive strength

水中養生した材齢28日)と同程度の圧縮強度となった。

- (4) 初期の水中養生期間の違いによる圧縮強度と中性化速度係数の相関性は高かった。

#### 文 献

- 1) Walter.H.Price: Journal of the American Concrete Institute No.47, pp.417-432(1951)
- 2) Sidney Mindess, J. Francis Young, David Darwin: Concrete Second Edition, pp.287-288(2003)
- 3) 樋口芳郎，辻幸和，辻正哲：建設材料学（第六版），p.91(2005)
- 4) 三橋博三，大濱嘉彦，小野英哲：建築材料学（初版），共立出版，pp.74-76(2007)
- 5) 澤本武博ほか：コンクリートの強度発現に及ぼす配合および初期の湿潤養生期間の影響，セメント・コンクリート論文集，Vol.67，pp.311-317(2014)
- 6) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示法書[施工編]，丸善，pp.125-126(2018)
- 7) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，技報堂，pp.26-27(2018)