

論文 Article

初期の水中養生期間がコンクリートの力学的性質に及ぼす影響

原稿受付 2010年4月21日

ものづくり大学紀要 第1号 (2010) 34~38

澤本武博^{*1}, 飛内圭之^{*1}, 辻正哲^{*2}^{*1}ものづくり大学 技能工学学部 建設技能工学学科^{*2}ものづくり大学 非常勤講師

Effect of Preliminary Moist Curing on Mechanical Behavior of Concrete

Takehiro SAWAMOTO^{*1}, Keishi TOBINAI^{*1} and Masanori TSUJI^{*2}^{*1}Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists^{*2} Part-time teacher, Institute of Technologists

Abstract

The paper on relation between preliminary moist curing and mechanical behavior of concrete written by Walter. H. Price is widely known and it is quoted by many teaching materials in the world. In the paper written by the 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. A 3-day period of moist curing will only allow the concrete to reach 75 to 80% of the potential 28-day strength which can be achieved with continuous moist curing. Furthermore, stored continuously in laboratory air will only allow the concrete reach 45% of the potential 28-day strength. However, it was experimented about 60 years ago, and that concrete material was different from present one. In our study, the effects of preliminary moist curing period on the mechanical behavior of present concrete are compared with the paper written by Price, and we describe new properties such as compressive strength, tensile strength, elastic modulus of elasticity of the present concrete.

Key Words : Concrete, Curing, Compressive strength, Tensile strength, Elastic modulus of elasticity

1. はじめに

コンクリートの強度発現と初期の水中養生期間の関係として、図1に示した1951年に米国でWalter.H.Price(以下、Priceと称す)が発表した論文¹⁾が世界的に用いられ、60年近く経過した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^{2~4)}。

Priceの論文によると、水中養生後コンクリートが乾燥の影響を受けると、一旦強度が増加しピークを迎え、その後強度が緩やかに低下していく現象が見受けられる。しかし、乾湿の影響で一時的に強度増加した後に低下傾向が見受けられること

はあるが、材齢の経過に伴い強度低下し続けることは考えにくい。また、Priceの論文によると、絶えず気中養生を行った場合は、絶えず水中養生を行った場合の45%程度になっているが、現在のセメントの性能では考えにくい。

Priceの論文は60年近く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、現在の使用材料を用いた普通コンクリートから高強度コンクリートまで、強度発現と初期の水中養生期間の関係を求める必要がある。

本研究では、現在の一般的な普通および高強度コンクリートについて、Priceの論文と同じ養生条

件で圧縮強度試験を行い、強度発現性の相違を調べた。さらには、圧縮強度と相関性があるとされている静弾性係数および割裂引張強度についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

セメントには、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3 ）を、細骨材には栃木県栃木市尻内町産山砂（表乾密度 2.61g/cm^3 、粗粒率 2.75）を、粗骨材には栃木県佐野市会沢町産石灰岩砕石（最大寸法 20mm、表乾密度 2.70g/cm^3 、実積率 60.0%）を用いた。

コンクリートの配合は、表 1 に示したように、水セメント比を 53.5%とした普通コンクリートおよび水セメント比を 31.0%とした高強度コンクリートの 2 種類とした。なお、混和剤として普通コンクリートでは AE 減水剤を、高強度コンクリートでは高性能 AE 減水剤を用いた。普通コンクリートのスランプ試験および空気量試験結果は、それぞれ 14.0cm および 4.4%であり、高強度コンクリートのスランプフロー試験および空気量試験結果は、それぞれ 56.5cm および 3.5%であった。

なお、Price の実験では、水セメント比 50%、単位セメント量 330kg/m^3 、スランプ 9cm (3.5inch)、空気量 4%となっており、今回実験を行った普通コンクリートの配合に近くなっている。本研究では、スランプは現在の施工に合わせたものを、また近年多く使用されるようになってきた高強度コンクリートについて実験を行うこととした。

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、型枠には軽量型枠を用いた。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

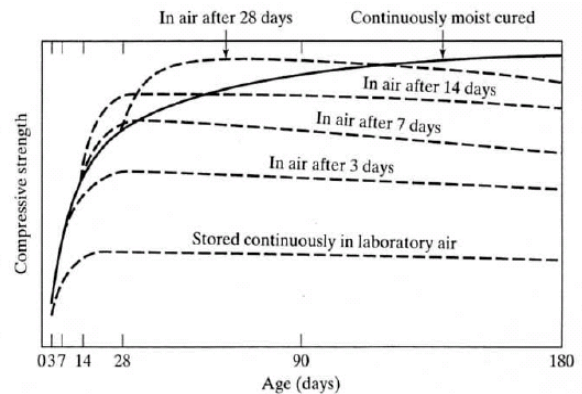


Fig. 1 Effect of preliminary moist curing on compressive strength of concrete (by Walter.H.Price)²⁾

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、普通コンクリートおよび高強度コンクリートいずれの場合もトラックアジテータで搬入した。そして、打込み締固めは、現行の JIS A 1132 に準じて行い、普通コンクリートおよび高強度コンクリートそれぞれ 192 本ずつ合計 384 本の供試体を作製した。

2.3 供試体の養生

実験では、材齢 1 日まで封かん養生を行った後、脱型することとした。養生方法は、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 日と変化させた。また、脱型後絶えず水中養生を行う場合および絶えず気中養生を行う場合についても実験を行った。なお、気中養生は温度 20°C 、相対湿度 60%の雰囲気下で行った。また、各養生条件について、それぞれ 3 本ずつの供試体を使用した。

2.4 強度試験

圧縮強度試験、静弾性係数試験および割裂引張強度試験は、それぞれ JIS A 1108:2006、JIS A 1149:2001 および JIS A 1113:2006 に準じて行った。なお、供試体の端面処理は、機械研磨により行った。

Table 1 Mix proportions

Type of concrete	W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Unit content (kg/m^3)				
				W	C	S	G	Ad
Normal-weight concrete	53.5	15 ± 2.5	4.5 ± 1.5	174	325	820	903	3.912
High-strength concrete	31.0	$60 \pm 10^*$	4.5 ± 1.5	170	549	773	851	7.686

*Slump flow

3. 実験結果および考察

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は、図2に示す通りである。水中養生から気中養生に切り替えると、Priceの論文と同様に、一旦は絶えず水中養生を行った供試体より圧縮強度は増加する傾向にあった。これは、供試体が乾燥していく過程において、供試体の外側は乾燥し内部は湿潤状態が保たれていることによって、載荷前にすでに供試体外側に引張力が働いているためと考えられる。この傾向は、高強度コンクリートの場合、水中養生から気中養生に切り変える材齢が28日の場合に顕著であった。水中養生から気中養生に切り変えると、一旦強度増加した後、材齢の経過に伴い強度低下するものの、今回の実験ではPriceの論文と異なり材齢90日以降に再び強度増加する傾向を示し、特に高強度コンクリートの場合に顕著であった。これは、材齢90日程度で供試体の外部と内部の乾湿の差が小さくなり、載荷前に供試体に引張力がほとんど働かなくなり、その後は材齢180日まで水和の進行によって強度増加が認められたものと考えられる。

Priceの論文において、水中養生から気中養生に切り替え、一旦強度増加した後、材齢の経過に伴い強度低下し続けたのは、当時のコンクリートの使用材料や配合、締固め、供試体寸法の相違などから、材齢180日においても供試体の内部と外部に乾湿の差が生じていたことによる可能性もある。

絶えず気中養生を行った場合の材齢180日における圧縮強度は、Priceの論文によると、絶えず水中養生を行った場合の45%程度になっているが、今回の実験結果では、普通コンクリートの場合に70%程度、高強度の場合に80%程度となった。また、今回の実験で、高強度コンクリートにおいて材齢90日に一度強度低下したのは、絶えず気中養生を行った場合でも、供試体の外部と内部の乾湿の差によって、水中養生から気中養生に切り替えた場合と同様の傾向が見受けられたものと考えられる。

初期の水中養生期間がコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係に及ぼす影響は、図3に示す通りである。同じ強度レベルで静弾性係数を比べ

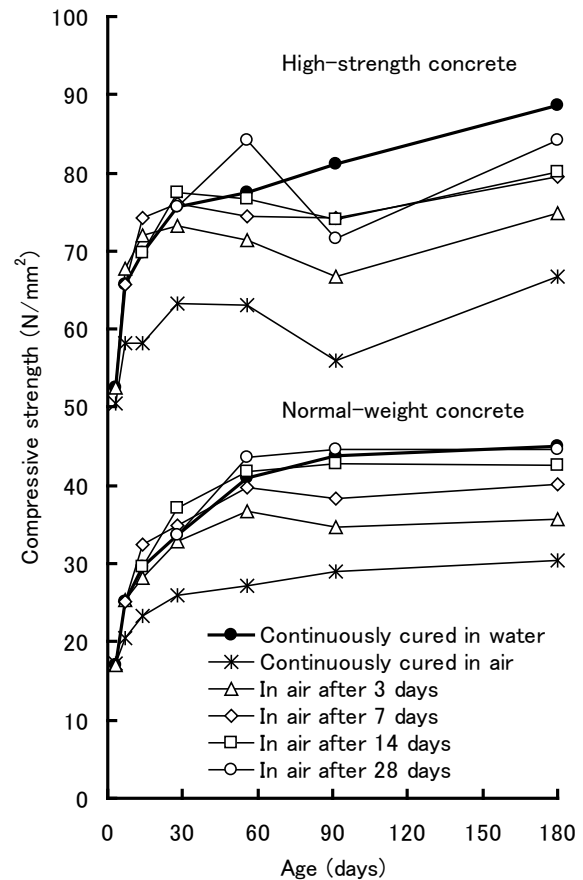


Fig. 2 Effect of preliminary moist curing on compressive strength of concrete

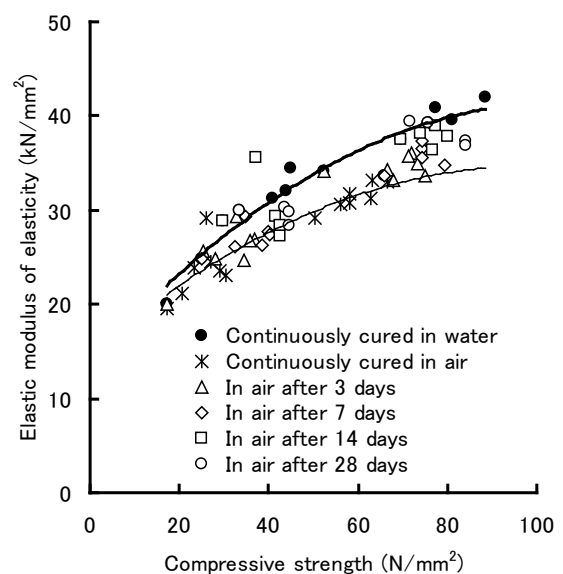


Fig. 3 Effect of preliminary moist curing on elastic modulus of elasticity of concrete

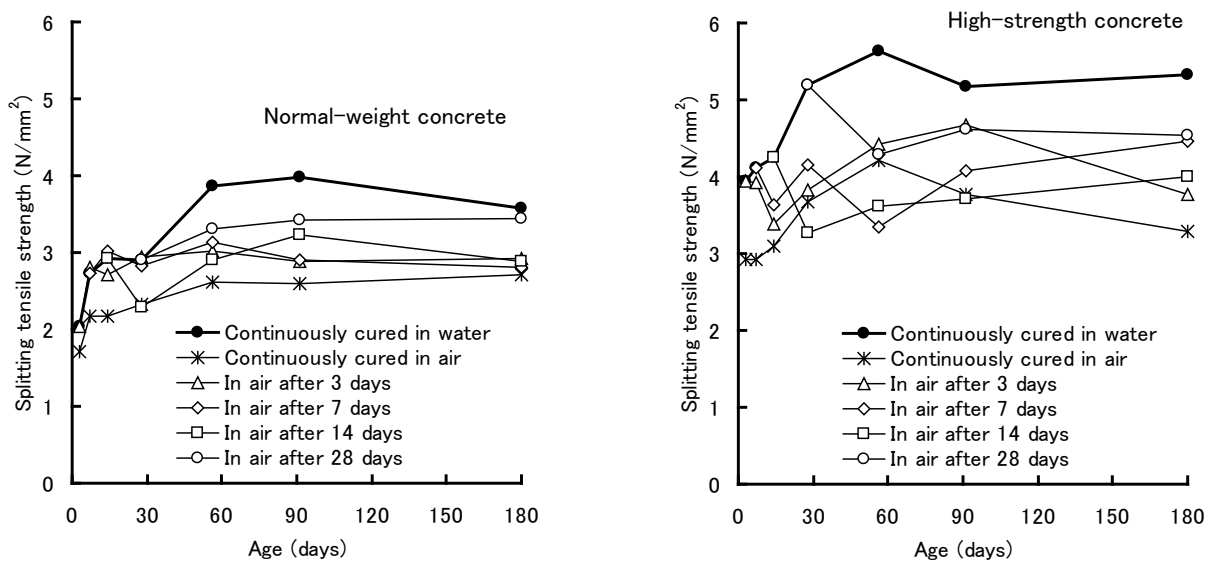


Fig. 4 Effect of preliminary moist curing on splitting tensile strength of concrete

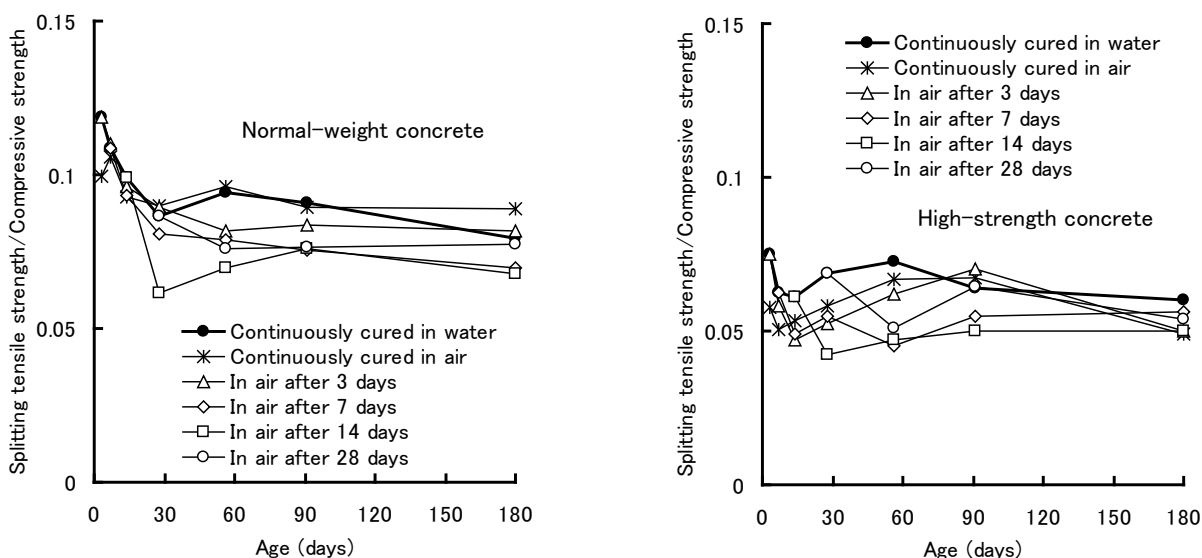


Fig. 5 Effect of preliminary moist curing on relation between compressive strength and splitting tensile strength

ると、絶えず水中養生を行った場合に静弾性係数が大きくなり、逆に絶えず気中養生を行った場合に小さくなった。水中養生から気中養生に切り変えた場合は、その中間に位置した。これらのことより、養生条件の相違は、圧縮強度のみならず圧縮強度と静弾性係数の関係にも影響を及ぼすものと考えられる。

初期の水中養生期間がコンクリートの割裂引張強度に及ぼす影響は、図4に示す通りである。割裂引張強度は、水中養生から気中養生に切り替えると、圧縮強度とは逆に絶えず水中養生を行った

場合より小さくなり、高強度コンクリートの場合にはピーク時の強度の20%程度低下する場合も見受けられた。これは、圧縮強度の場合と同様に、供試体が乾燥していく過程において、載荷前にすでに供試体に引張力が働いていることによると考えられる。また、図5に示したように、養生条件の相違は、圧縮強度と割裂引張強度の関係に大きく影響を及ぼす。

4. まとめ

現在の一般的な普通および高強度コンクリートについて、Price の論文と同じ養生条件で、初期の水中養生期間がコンクリートの力学的性質に及ぼす影響を検討した結果、以下の(1)~(3)が明らかとなった。

- (1)Price の実験結果と同様に、水中養生から気中養生に切り替えると、一旦圧縮強度が増加しピークを迎え、その後が緩やかに低下していく現象は見受けられたが、供試体の外部と内部の乾湿の差が小さくなると、材齢の進行とともに再び圧縮強度は増加する傾向にあり、高強度コンクリートにおいて顕著に見受けられた。
- (2) 養生条件の相違は、圧縮強度のみならず圧縮強度と静弾性係数の関係にも影響を及ぼすと考えられる。
- (3)水中養生から気中養生に切り替え、コンクリートの圧縮強度が増加すると、逆に引張強度は低

下する傾向にあり、高強度コンクリートの場合には 20%程度低下する場合も見受けられた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、澤本研究室の矢幅弘毅氏ならびに藤原翼氏に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

文 献

- 1) Waltar.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
- 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, pp.74-76(2007)