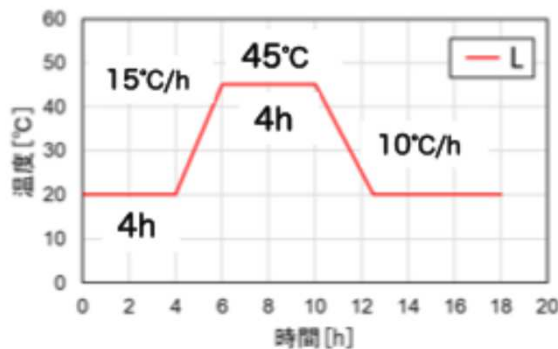


# 蒸気養生したコンクリートの 水分浸透挙動

－ 2022から2024年度の話 －

東京都立大学 上野



# 予備知識

★養生が十分 → 組織が密 → 水分も含め  
物質の透過性が低下



構造物の耐久性が向上

★PCa製品の場合

蒸気養生とその温度履歴      蒸気養生後の水分供給の(有)無



組織が疎になる傾向



結合材の特性によって影響度が異なる

結合材に応じた養生方法

# 検討のアウトライン

## ①硬化過程での温度履歴の組織構造への影響（基礎特性の把握）

- ・ 温度履歴（2水準），結合材（3種），W/C（3水準）
  - ⇒ 温度履歴 → 疎な構造（マクロポア増） →  $q$ ：大， $f'_c$ ：低
  - ⇒  $f'_c$ ， $q$ どちらも組織の疎密による →  $f'_c$ で $q$ の管理ができる？
  - ⇒ BBでは温度履歴養生の場合と水中養生で $q$ が劇的に異なる

## ②GGBFSコンクリートへの養生時の水分供給の効果

- ・ 温度履歴（1水準） + 後養生（湿布,3水準），結合材（2種，GGBFS60%）
  - ⇒ 温度履歴 → 疎な構造（マクロポア増） →  $q$ ：大， $f'_c$ ：低
  - ⇒ BB（BC？）配合では細孔径分布の深さ方向の変化が急激！
  - ⇒ 湿布6日（材齢7日分）で顕著な効果  
(マクロポア体積， $q$ ， $f'_c$ )

# 本日の話

## 高炉スラグ高置換の場合の例で紹介

温度履歴養生した高炉スラグコンクリートの  
水分浸透挙動に対する後養生の影響

そうでないコンクリートのデータも  
一緒に出てきます！

# 文献情報

★酒井，上野，鎌田，大野：硬化過程で温度履歴を受けたコンクリートの水分浸透挙動に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vo.45，No.1，pp.850-855，2023.7

・堀住，上野，大野，鎌田：温度履歴養生がコンクリートの水分浸透速度係数に及ぼす影響，土木学会全国大会第78回年次学術講演会講演概要集，V-270，2023.9

・堀住，上野，大野，鎌田：温度履歴養生がコンクリートの水分浸透速度係数および空隙構造に与える影響，土木学会全国大会第79回年次学術講演会，V-312，2024.9

★堀住，上野，鎌田，大野：温度履歴養生した高炉スラグコンクリートの水分浸透挙動に対する後養生の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.47，No.1，pp.90-95，2025.7

★の2つがおすすめです！

# 背景

近年

プレキャストコンクリート製品の需要が拡大

用途拡大も含め



## ■ プレキャストコンクリート



- ✓ 安定した品質
- ✓ 現場における工期短縮
- ✓ 省力化

(参考：日本コンクリート株式会社HP)



多くの場合、**蒸気養生**のような促進養生が行われる

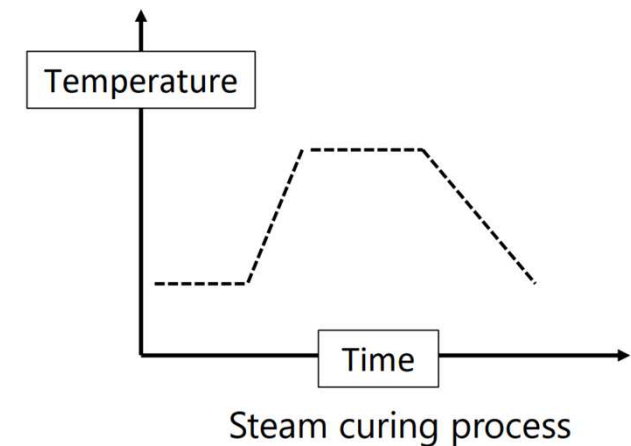
## ■ 蒸気養生

- ✓ 早期の脱型を目的とした**促進養生**

▶ 材齢初期に熱エネルギーを加え  
**水和反応**を促進



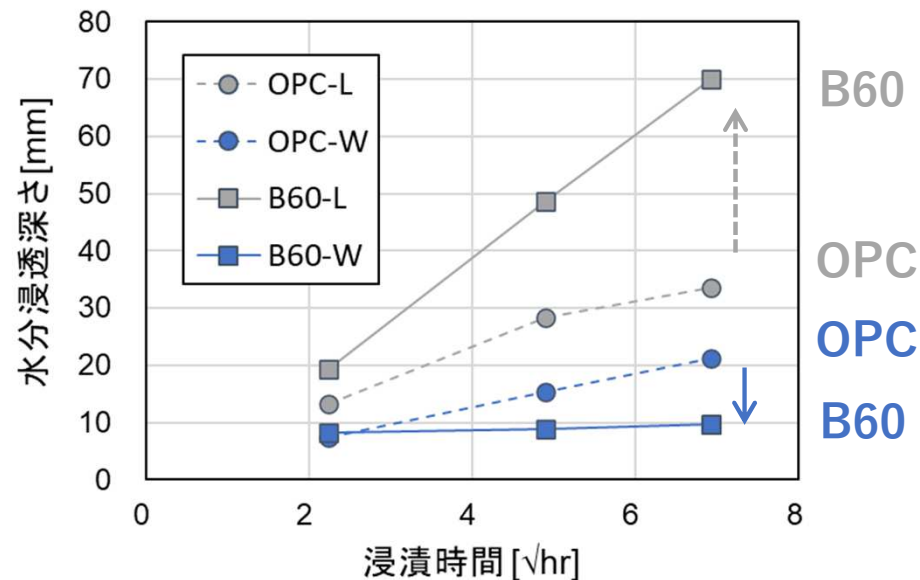
生産性の向上に貢献



# 背景の続きと目的

✓ 高炉スラグ微粉末を高い置換率で用いたコンクリートの利用が進められてる

➤ これまでの研究<sup>1)</sup>



水分浸透深さ

B60 (BFS=60%)はOPCと比較して…

• 温度履歴養生(L) ⇒ 大

• 水中養生(W) ⇒ 小

➤ 高炉スラグ微粉末にとって、養生時の水分供給が重要

## 本研究の目的

高炉スラグ微粉末を高い置換率で用いたコンクリートを対象に、温度履歴養生後の後養生に着目し、水分浸透挙動への影響について検討

1) 堀住ら：温度履歴養生がコンクリートの水分浸透速度係数に及ぼす影響，土木学会全国大会第78回 年次学術講演会，V-270，2023.8

# 使用材料と配合

## ➤ 配合

記号	Gmax (mm)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					SP (B×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
				W	C	BFS	S	G			
OPC	20	45	44.0	160	356	—	806	1053	0.900	18.0	2.5
B60			43.6		142	214	792		0.700	18.5	2.1

### 使用材料

1. 普通ポルトランドセメント (OPC)
2. OPC<sub>40%</sub> + 高炉スラグ微粉末<sub>60%</sub> (B60)

W/B

W/B=45%

スランプ・空気量

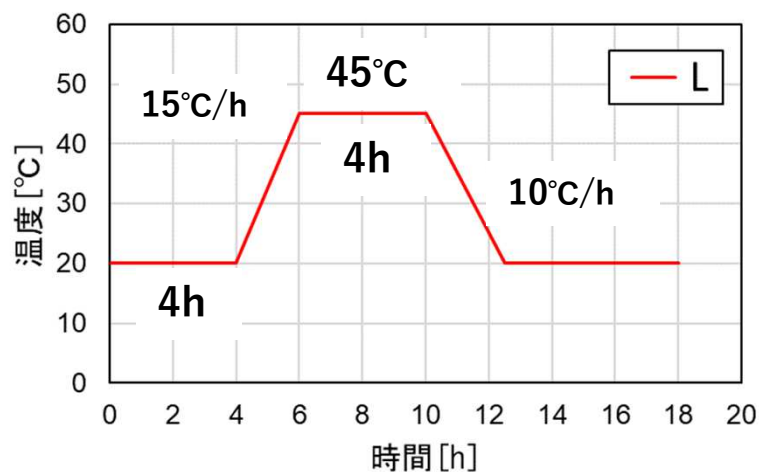
SL = 18.0 ± 2.5 cm

Air = 2.0 ± 1.5 %

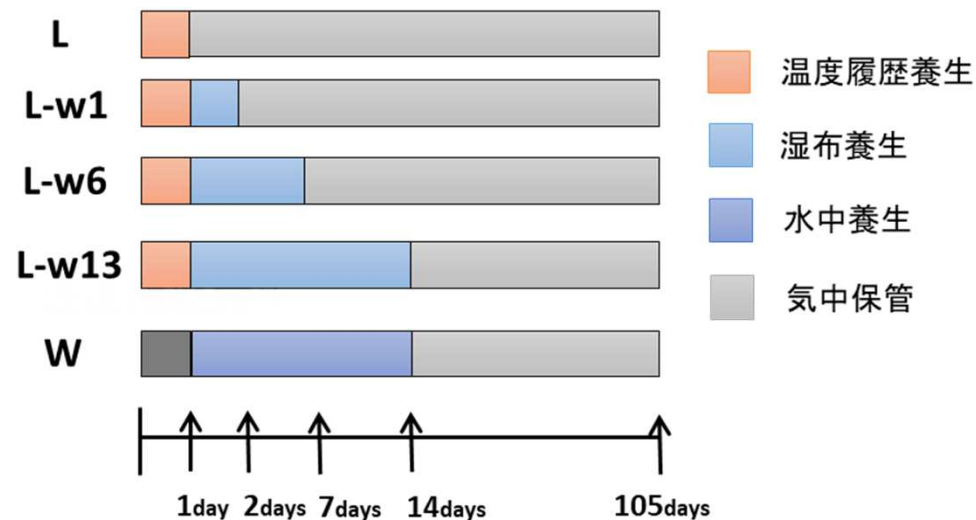


# 養生方法

## 温度履歴パターン



## 養生条件



## 養生条件

- 温度履歴養生
  - 気中保管 (20°C, 60%R.H.) (L)
  - 1日 (L-w1)
  - 6日 (L-w6)
  - 13日 (L-w13)
- 水中養生 (W)

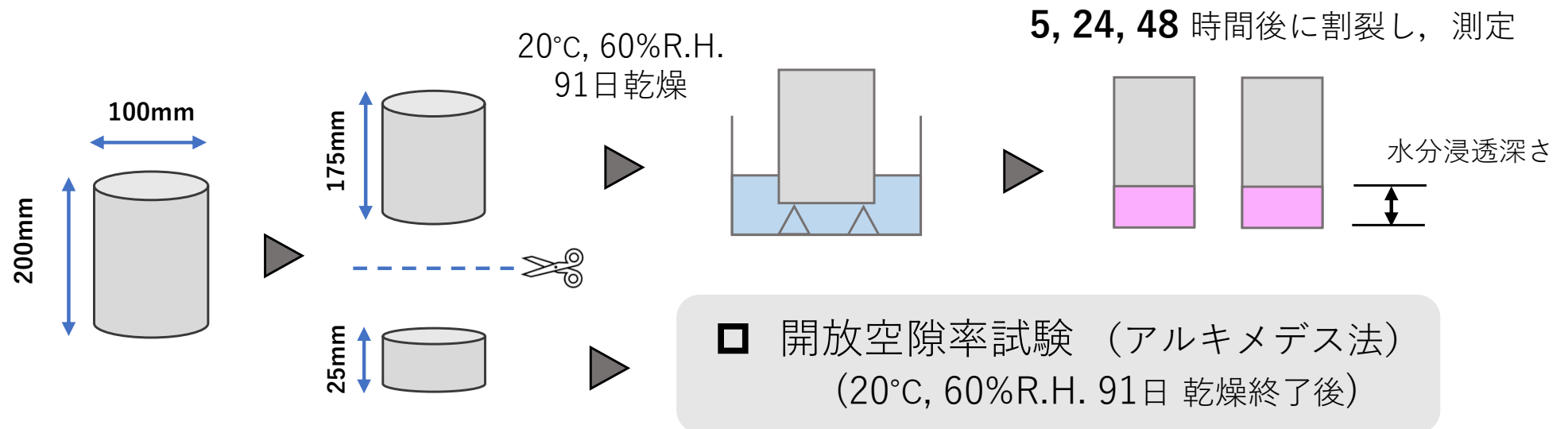


# 測定項目と方法

## ➤ 測定項目

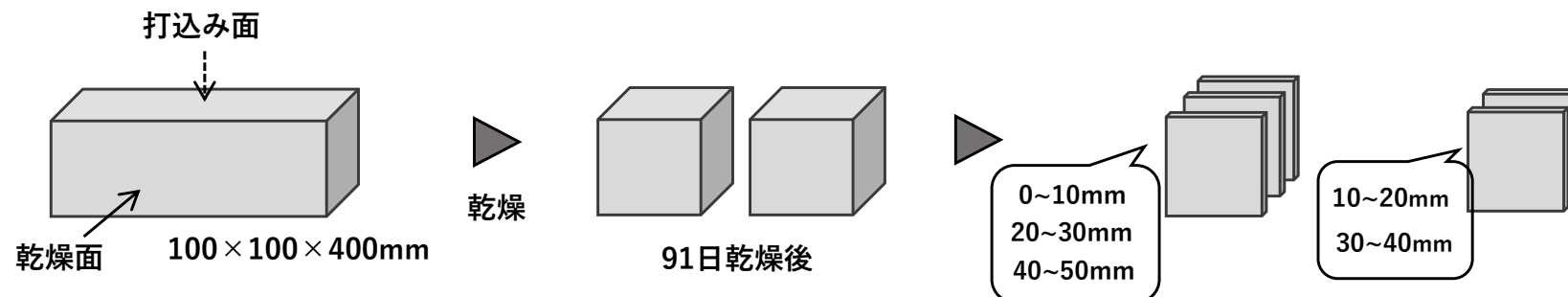
□ 圧縮強度試験 (材齢14日, JIS A 1108)

□ 水分浸透速度係数試験 (JSCE-G582)



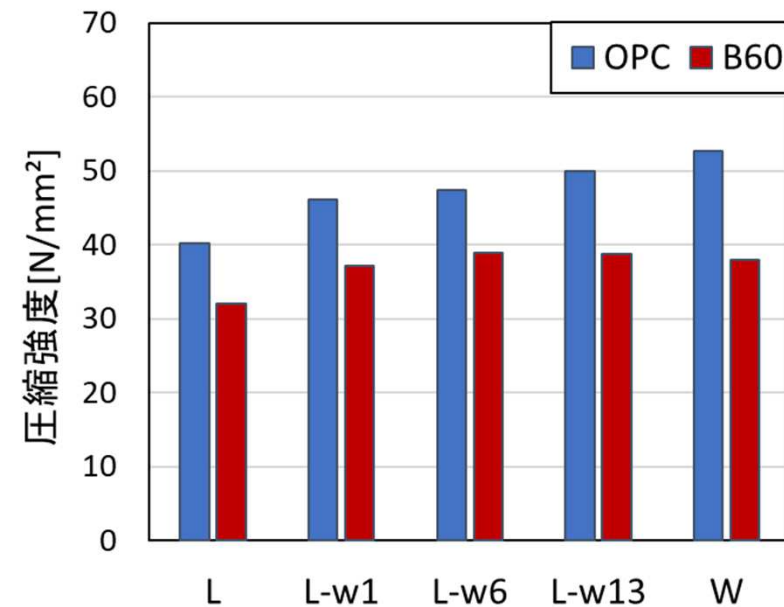
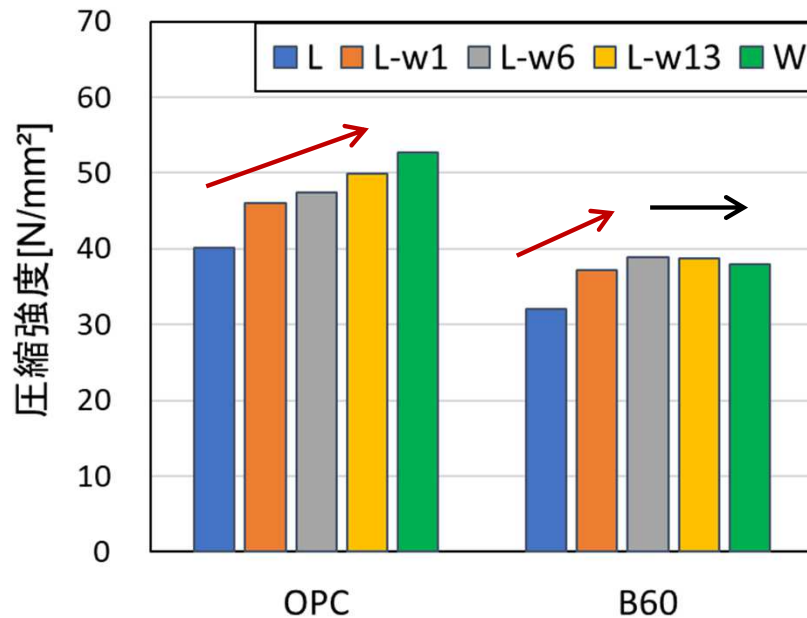
□ 開放空隙率試験 (アルキメデス法)  
(20°C, 60%R.H. 91日 乾燥終了後)

□ 細孔径分布測定 (水銀圧入法)



# 圧縮強度

## 圧縮強度 ( $\sigma_{14}$ )



### 養生条件による違い

$$L < L-w1 \leq L-w6 \leq L-w13 \leq W$$

✓ 温度履歴養生後の湿布養生による  
圧縮強度の向上

### 使用材料による違い

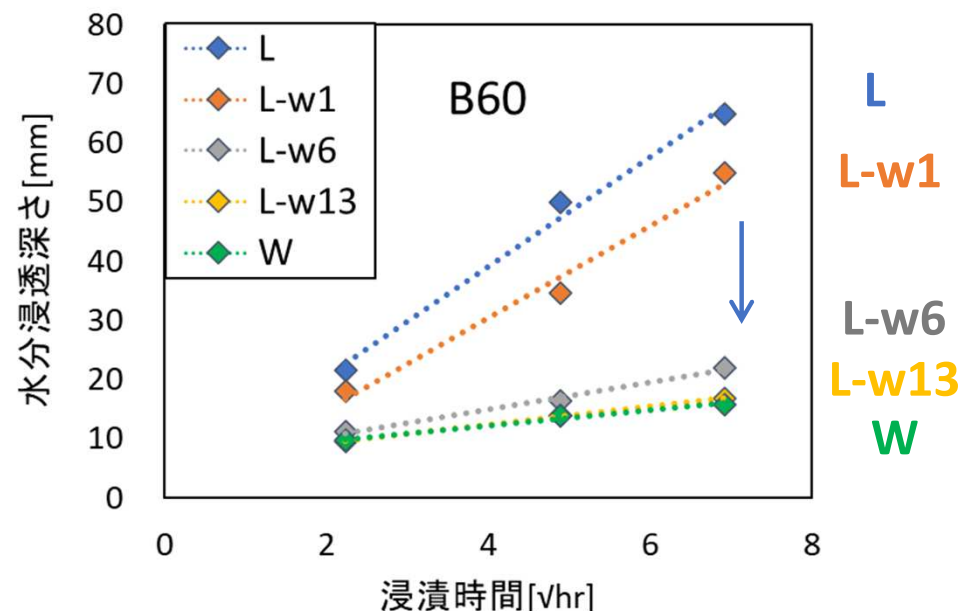
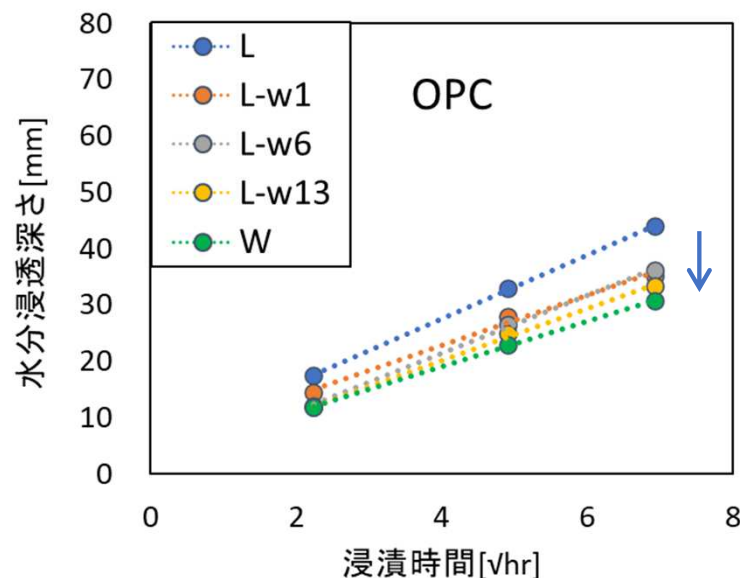
$$OPC > B60$$

OPCに比べ...

**B60** : 20~30%程度の強度低下

# 水分浸透深さ

## 水分浸透深さ



OPC

$$L \geq L-w1, L-w6, L-w13 \geq W$$

- ✓ 温度履歴養生後の湿布養生によって水分浸透深さが低下する.

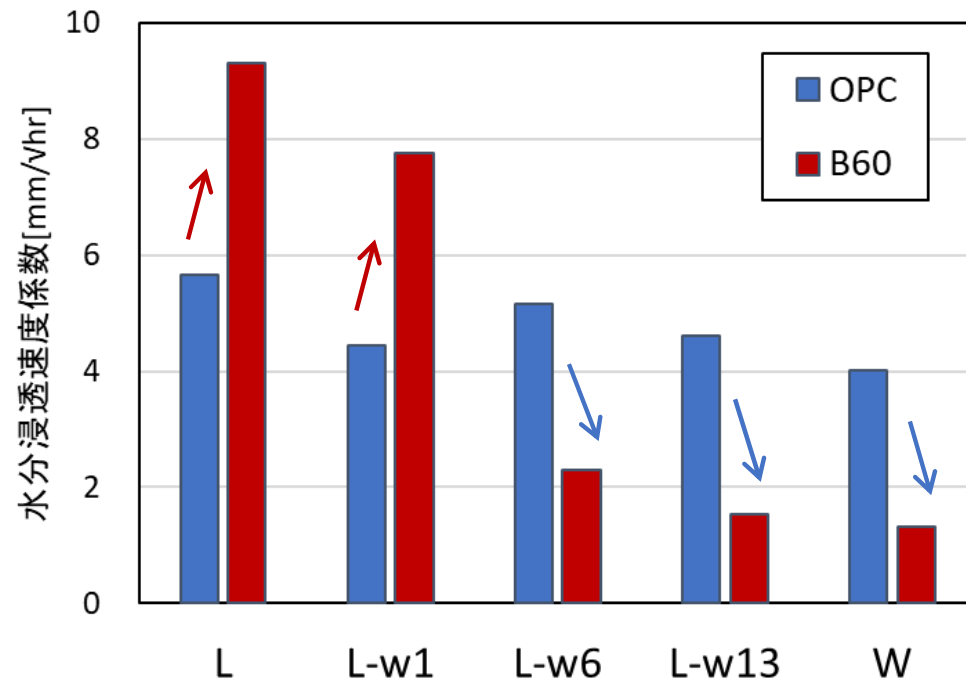
B60

$$L > L-w1 \gg L-w6 \geq L-w13, W$$

- ✓ 温度履歴養生後, 6日以上の湿布養生により大幅に低下

# 水分浸透速度係数

## 水分浸透速度係数



L, L-w1

**OPC < B60**

➡ 乾燥による水分逸散により、高炉スラグ微粉末の反応が停滞

L-w6, L-w13, W

**OPC > B60**

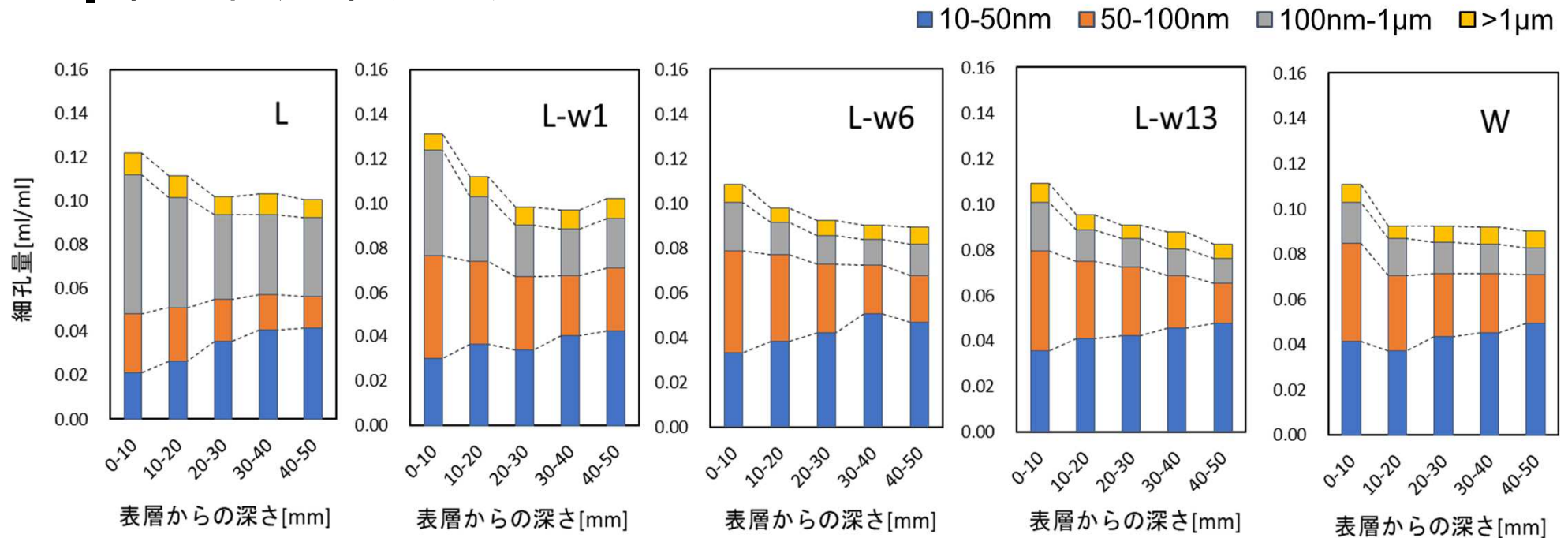
➡ 養生時に十分な水分供給を行うことで水分浸透抵抗性が向上



▶ 高炉スラグ微粉末を用いた場合、温度履歴養生後に6日以上の湿布養生を行うことで、水分浸透速度係数が大幅に低下

# 細孔径分布 (OPC)

## 細孔径分布(OPC)



### 深さ方向の空隙構造の変化

表層から内部にかけて...

10nm-50nm  
の細孔量

増

50nm以上  
の細孔量

減

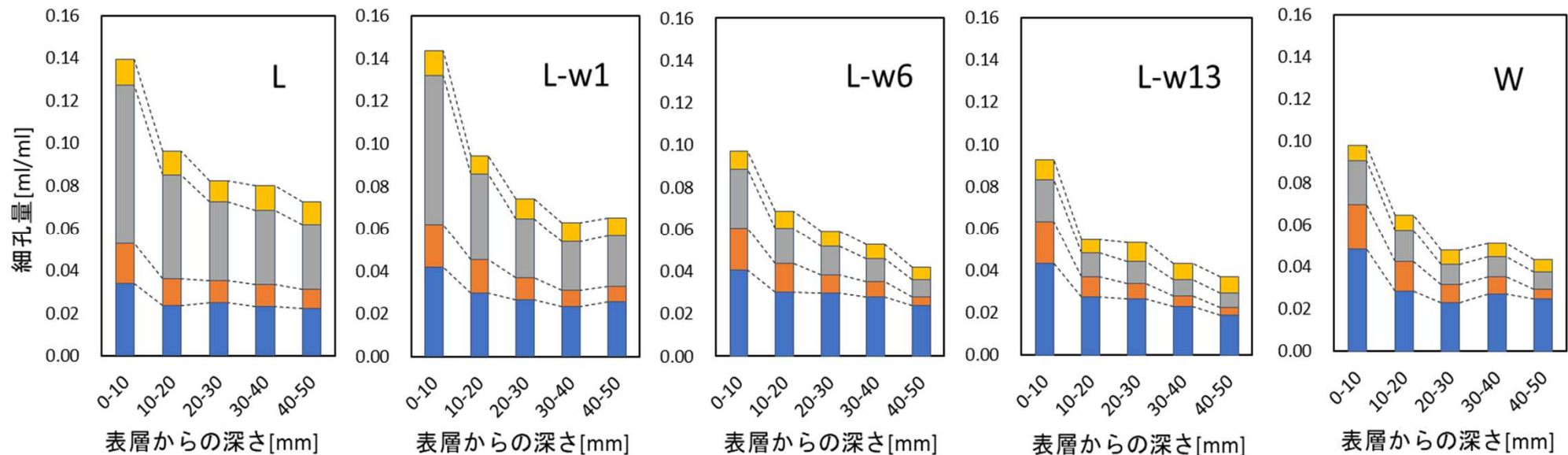
✓ 湿布養生を行うことで深さ方向の  
**緻密化**の影響が顕著

▶ 内部の**水和反応**が継続

# 細孔径分布 (B60)

## 細孔径分布(B60)

■ 10-50nm ■ 50-100nm ■ 100nm-1μm ■ >1μm



### 深さ方向の空隙構造の変化

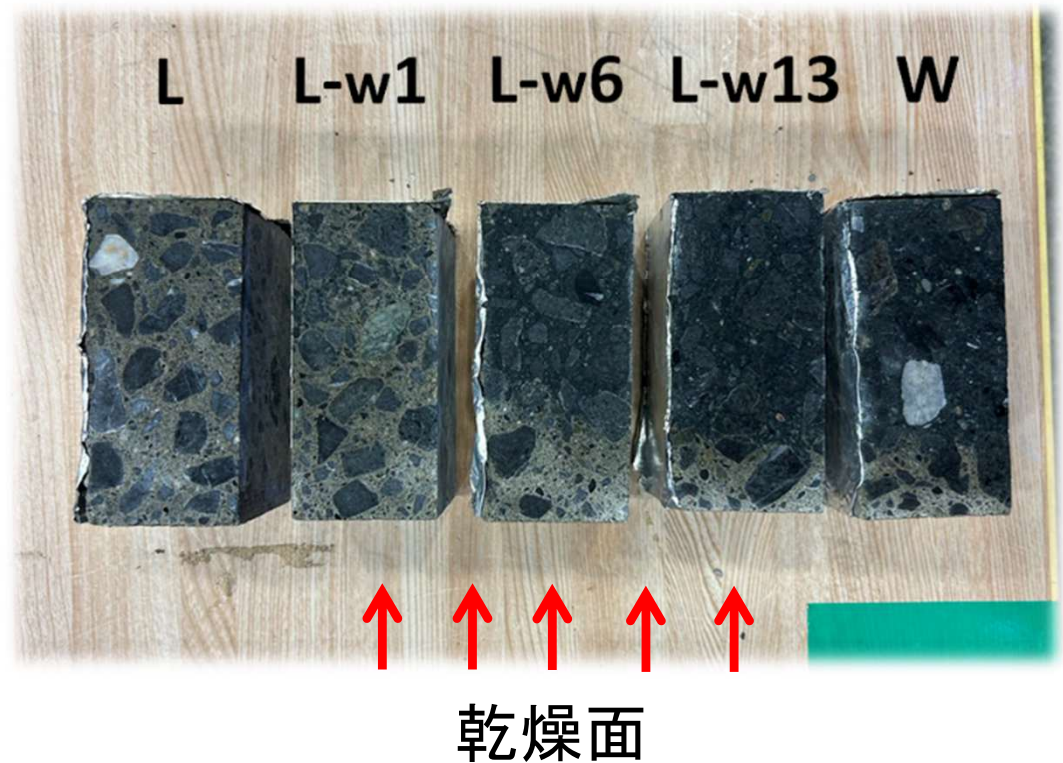
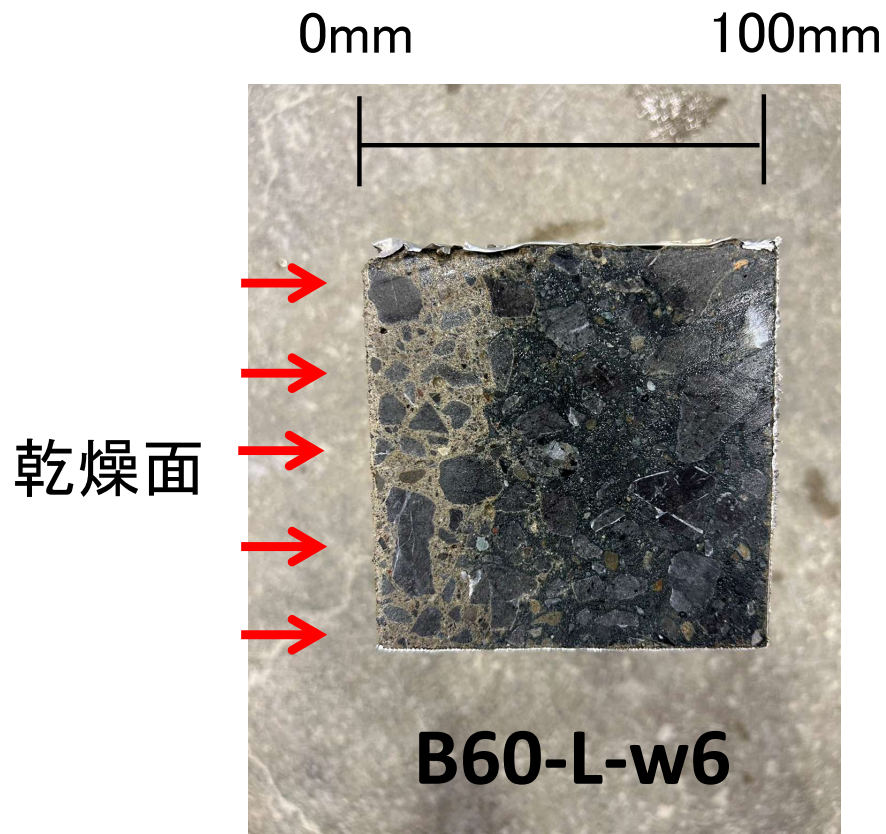
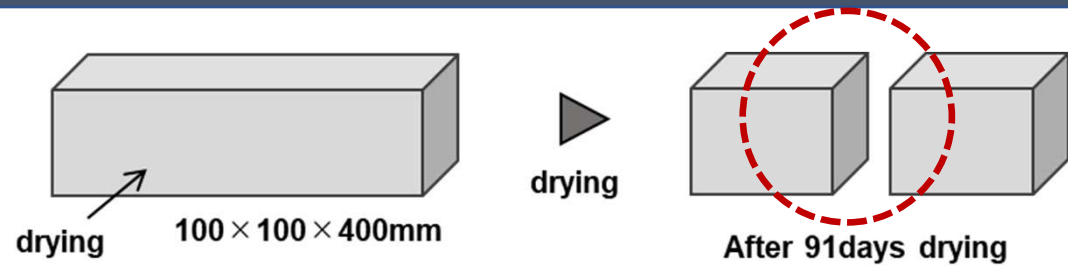
細孔量： **表層** >> **内部** ⇒ 乾燥による**水分逸散**の影響を大きく受け、  
最表層部分で**疎な細孔構造**が形成

✓ 表層から10mm以上の深さの場合には、OPCと比較して顕著に密な細孔構造



# 乾燥と水和反応 (B60)

## 切断面の様子 (91日乾燥後)





# 水分浸透速度係数（実測値vs.変換値）

## 水分浸透深さの変換方法<sup>2)</sup>

$$I = \frac{m_t}{a \cdot \varepsilon \cdot d}$$

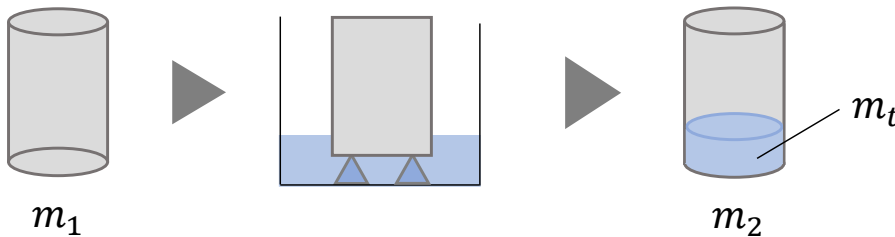
$I$  : 水分浸透深さ [mm]

$m_t$  : 吸水量 [g] ( $m_t = m_2 - m_1$ )

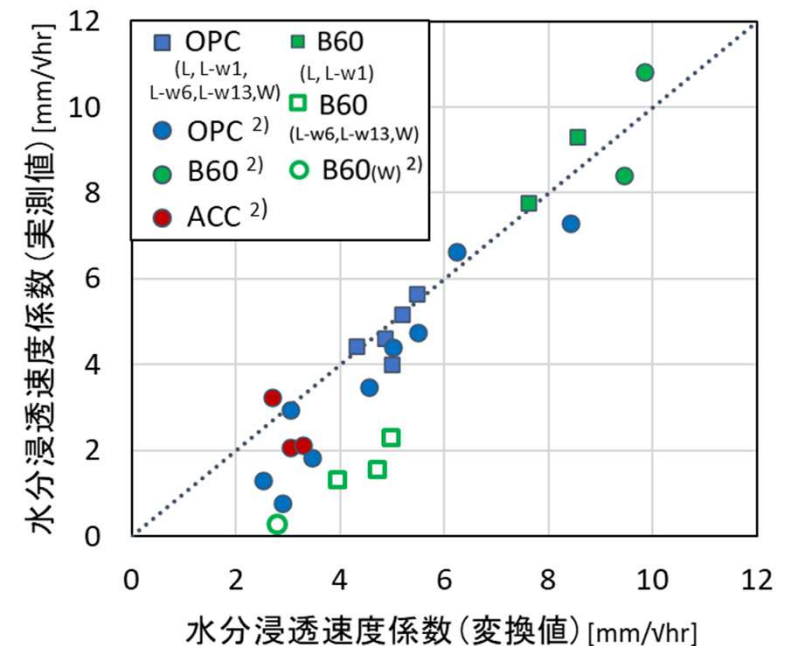
$a$  : 吸水面の断面積 [mm<sup>2</sup>]

$\varepsilon$  : 開放空隙率

$d$  : 水の密度 [g/mm<sup>3</sup>]



## 変換値と実測値の比較

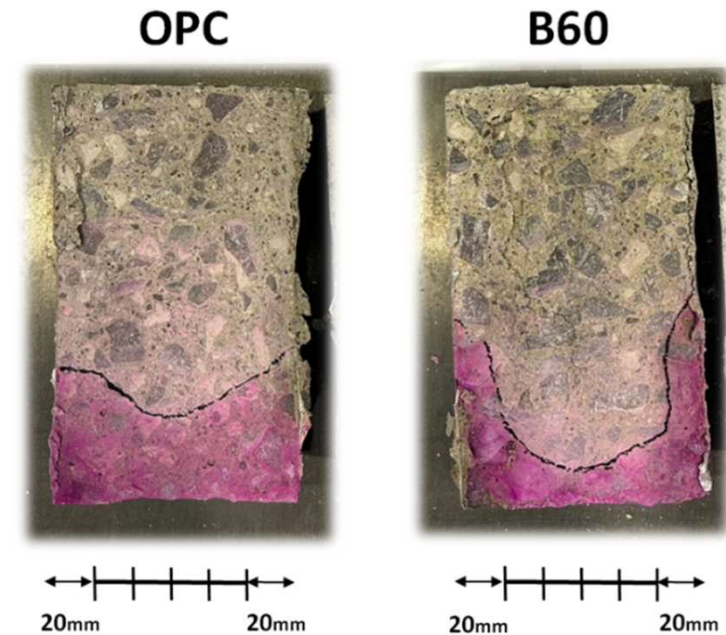
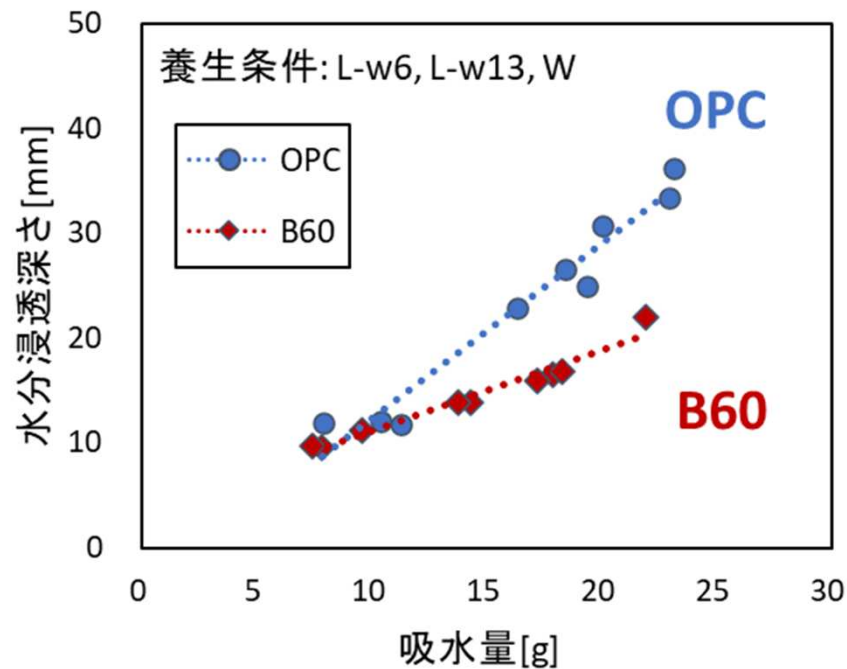


水分浸透速度係数の**変換値**は実測値と同等の値を示した

**B60** : 変換値  $\geq$  実測値  $\blacktriangleright$  吸水量に対して水分浸透深さが小さいことが影響

# 重くなるのに深くならないのはなぜ？

## 吸水量と水分浸透深さの関係



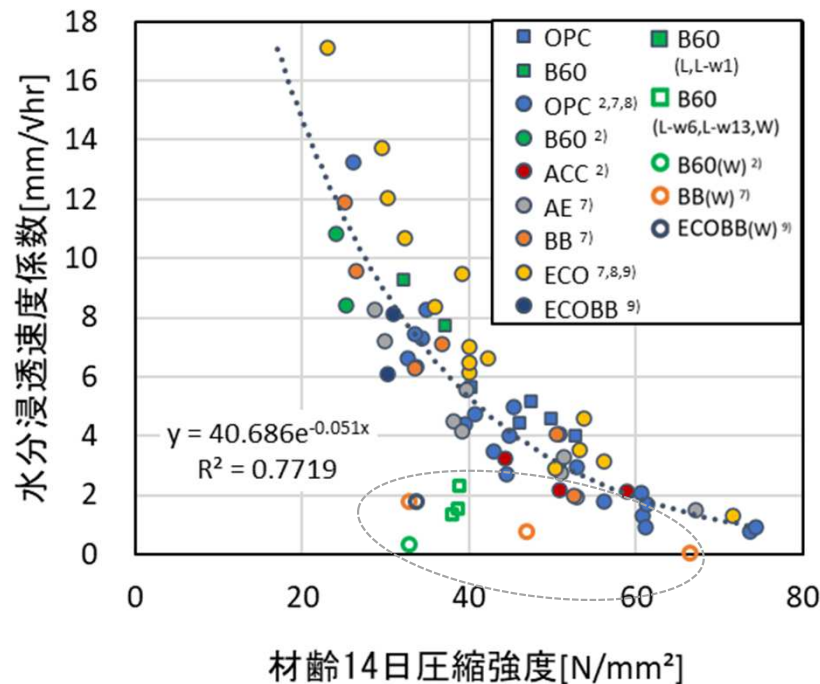
養生条件: L-w6, L-w13, W

**B60** : 吸水量に対する水分浸透深さが小さい傾向を示す

▶ B60では側面での水の吸い上がりが確認された

# 強度と水分浸透速度係数

## 水分浸透速度係数と圧縮強度の関係



## 水分浸透速度係数と圧縮強度の関係

圧縮強度

増加

水分浸透速度係数

減少



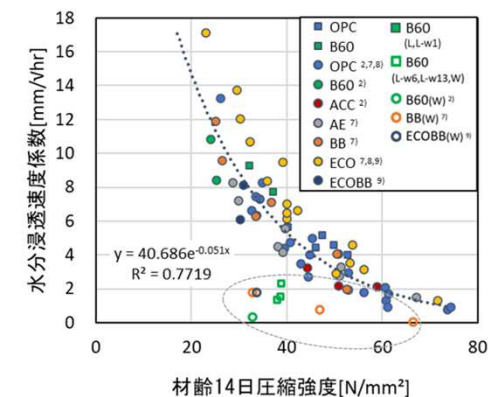
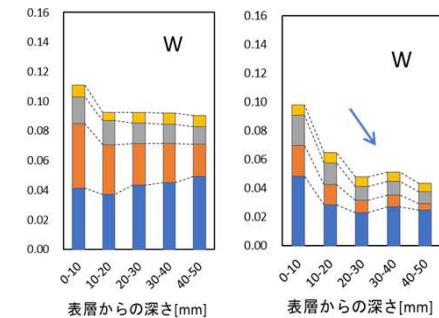
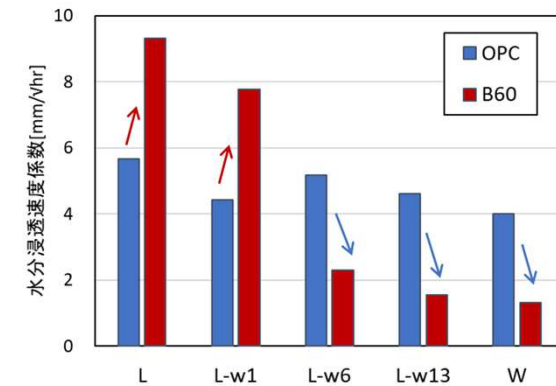
- ・圧縮強度と水分浸透速度係数の間には、使用材料や養生条件に関わらず、おおよそ一定の関係にある。
- ・よくよく見ると、結合材ごとに違うものもあるが。。。

！しかし...  
高炉スラグを用いて十分に湿潤養生を行った水準（□,○）では異なる傾向

➡ 高炉スラグの混和による深さ方向の急激な緻密化が  
水分浸透速度係数の著しい低下に影響していると考えられる。

# まとめ

- 高炉スラグ微粉末を用いた場合，温度履歴養生後に6日以上の湿布養生を行うことで水分浸透速度係数が顕著に低下する。
- 高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートは乾燥による水分逸散の影響が顕著であり，最表層部分の細孔量が増加し，深さ方向に急激に緻密化する。
- 材齢14日圧縮強度から水分浸透速度係数を管理できる可能性が示されるが，高炉スラグを用いて十分に湿润養生を行った場合，異なる傾向を示した。  
(よく見ると結合材ごとで関係が異なりそう)



# 最後に

お礼：

基礎研究に対する継続的な資金援助，  
人的なご支援，感謝申し上げます



おわり