



東京理科大学

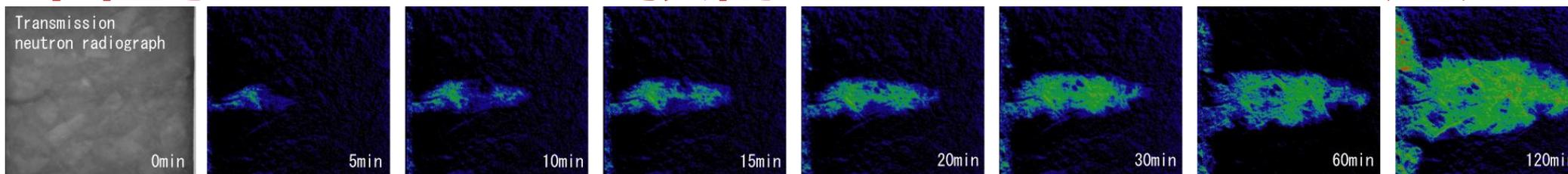
# TNRFによる再生骨材の 自己養生効果の確認

2023年12月26日

東京理科大学 創域理工学部建築学科  
同

教 授 兼松 学  
客員研究員 立屋敷 久志

# 中性子イメージング技術のコンクリートへの適用

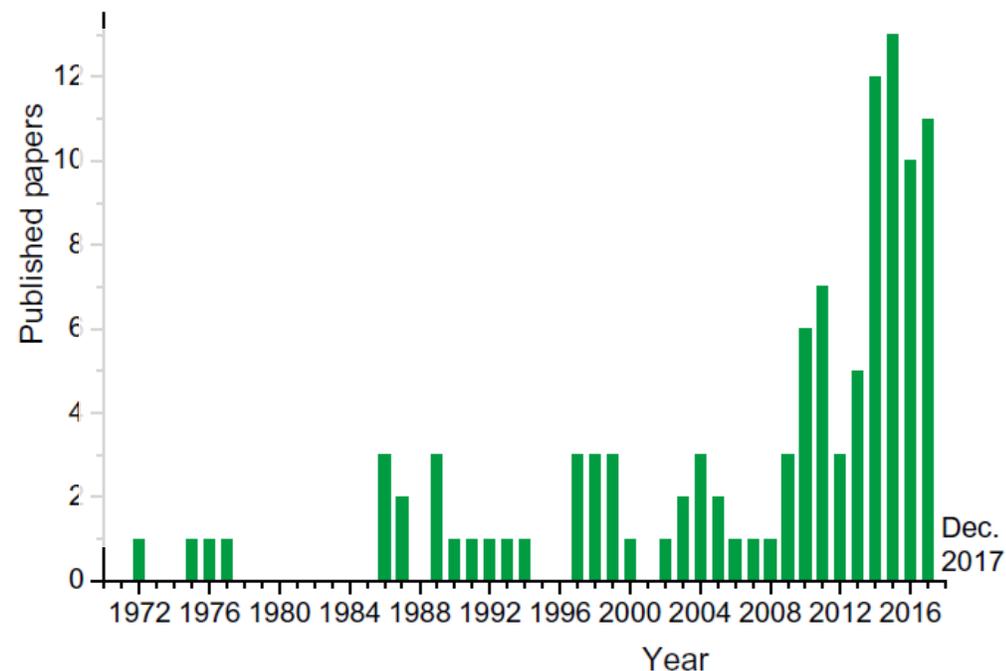


2006年～

- ✓ ひび割れ近傍の水分挙動を測定可能に
- ✓ 定量的分析手法を可能に
- ✓ セメントペーストあたりの水分量を測定
- ✓ ボルツマン変換による拡散解析のツールとして確立

その後

- ✓ コンクリート中の水分挙動の可視化ツールとして広く認知される
- ✓ 高温下挙動の解析、局所水分挙動(自己養生)の定量、ASRの可視化等
- ✓ RANSの開発に伴う土木分野のニーズの掘り起こしが進む



セメント・コンクリート分野における論文数  
Peng Zhang et al. CCR, 2018

# 建設分野・コンクリート工学分野におけるキーワード

高性能・高機能化

高耐久化

高強度化(高層化)

環境配慮性能の向上(副産物利用)

維持管理・高経年化

情報化(BIM他)

新技術(ドローン・3Dプリンティング・ジオポリマー)

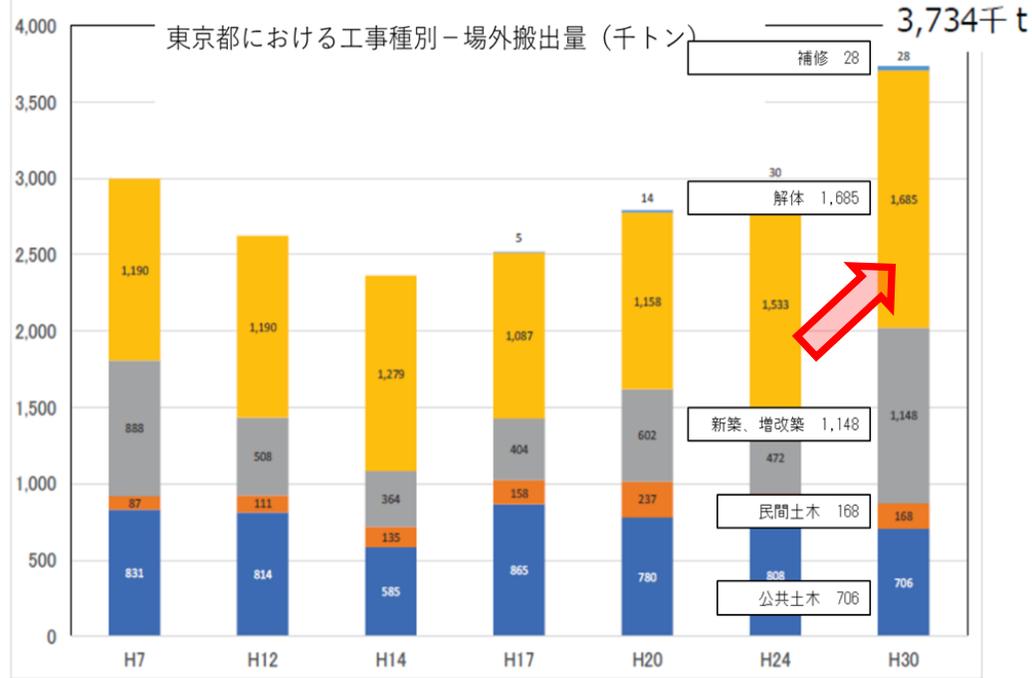


## 高経年化対策への対応・維持保全技術の高度化・レジリエンス

維持保全投資は10兆円程度で推移しているが、建設投資に占める割合は増加傾向

- 高経年した価値の高い建築物：国立西洋美術館、軍艦島ほか近代遺産
- 高経年しても壊せない建築物：超高層建築物、分譲マンション、原子力施設

# 研究の背景



出典：平成30年度建設副産物実態調査（国土交通省）

図 廃棄されるコンクリートの推移(東京都)



図 RC造の解体工事の状況

- ・高度成長期以降に建造されたコンクリート構造物が解体され、多量の解体コンクリートが発生している。
- ・近年の傾向では、建築系の解体工事が多く、その傾向は都市部で顕著となっている。
- ・コンクリートの循環利用方法として、磨砕処理を施した再生骨材をコンクリート用材料として再利用する技術がある。

# 研究の背景

## コンクリート用砕石と再生骨材の外観



図 コンクリート用骨材(砕石)／均一な組成

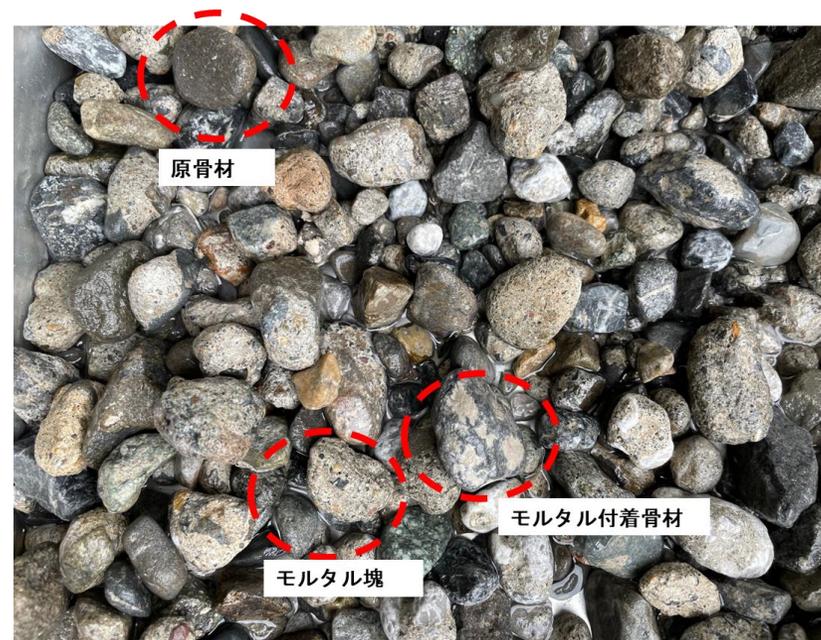


図 再生骨材／複数の組成の集合体

- ・岩石を破碎粒度調整して製造した砕石(図左)は、均一な組成の粒子で構成されている。
- ・コンクリート塊を原料として、製造した再生骨材(図右)は、岩石(原骨材)の他に、モルタル分から成る粒子(モルタル塊)やモルタル付着骨材で構成されてる。

# 研究の背景

## 再生骨材を構成する粒子の吸水特性

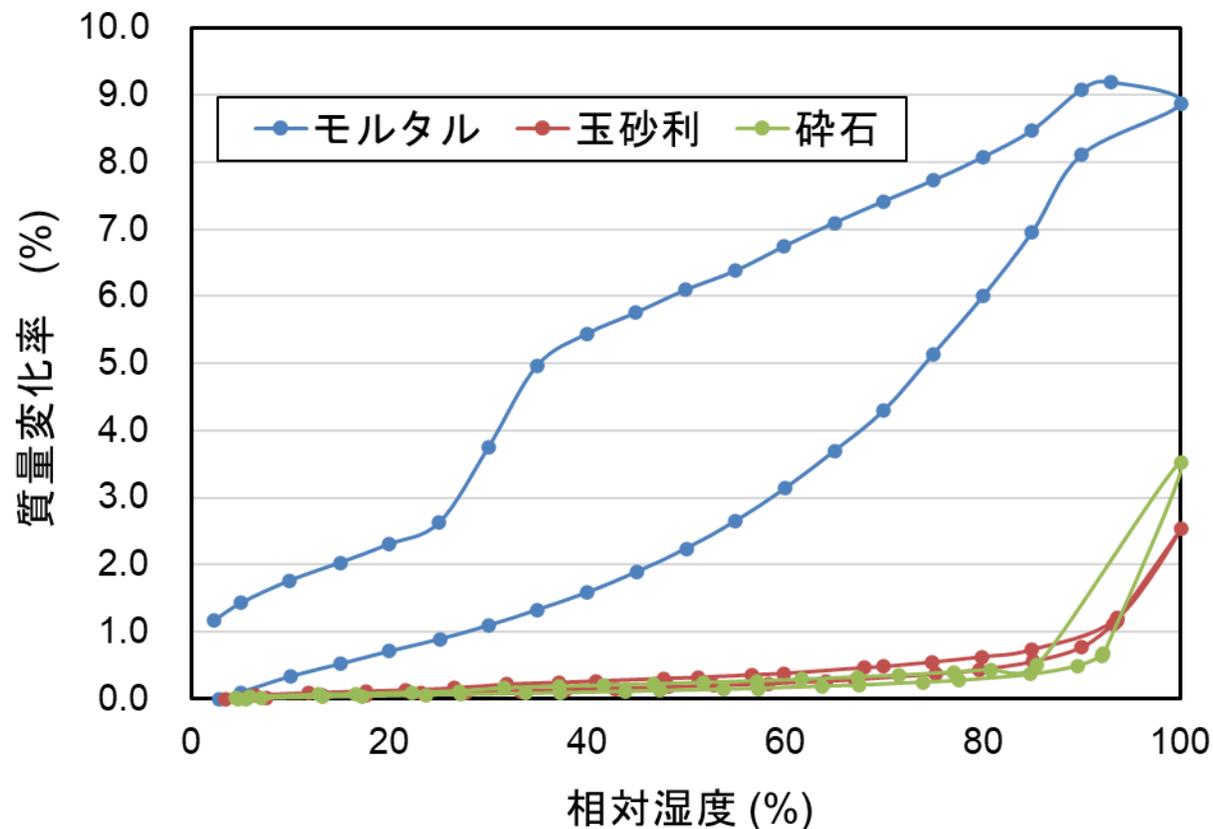


図 再生骨材を構成する粒子の水蒸気吸脱着曲線

モルタル塊は、砂利や砕石と異なる水分の吸脱着性を示す。

- ・砂利や岩石は、相対湿度95%以下では吸着していた水分を容易に離す。
- ・モルタル塊は、相対湿度が下がっても、一旦吸着した水分を放出し難く、相対湿度50%でも60%の水分を保持することができる。

# 研究の背景(既往の研究)

中性子ラジオグラフィによる骨材とセメントペースト間における水分挙動評価、丸山、兼松、AIJ,2009)

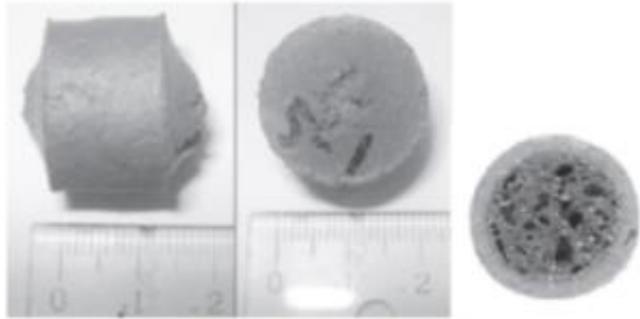


図3 製造した軽量骨材

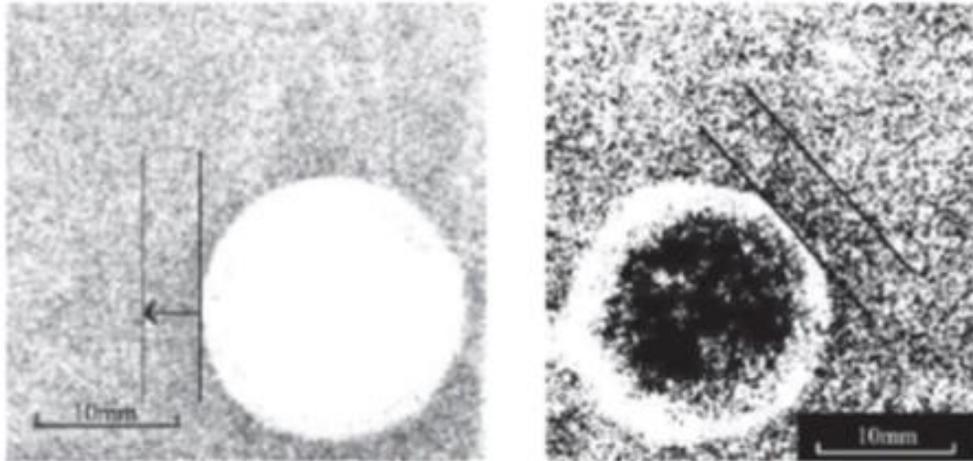
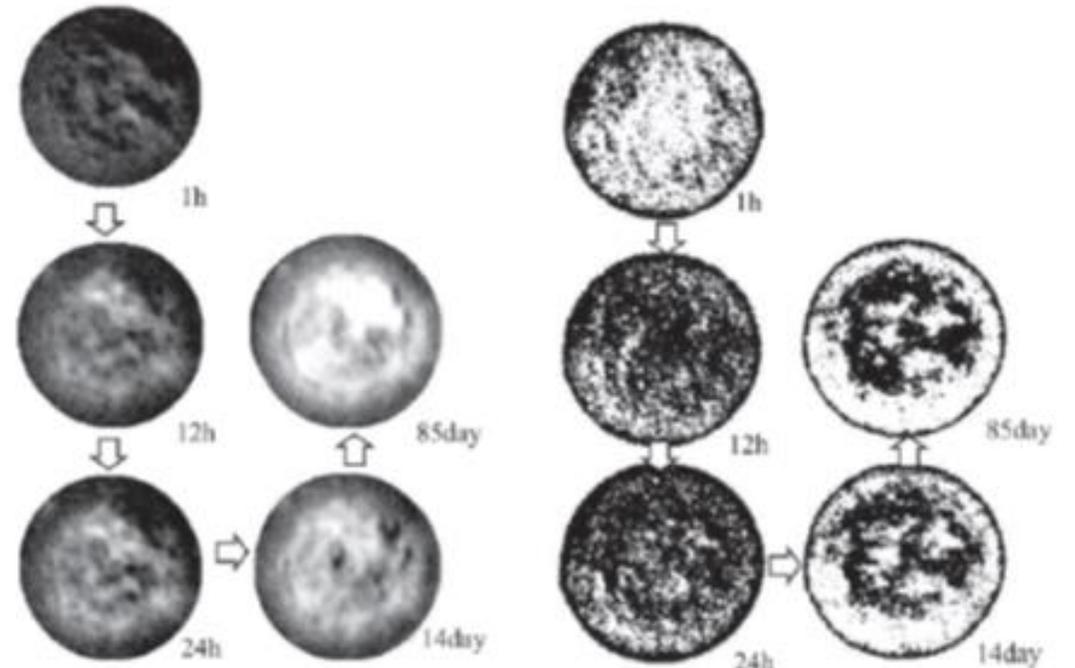


図8 材齢1時間と材齢85日における水分強度分布の差分画像  
(左:飽水軽量骨材,右:気乾軽量骨材)



飽水軽量骨材

気乾軽量骨材

図5 骨材内部の含水状態の経時変化

# 既往の研究(既往の研究)

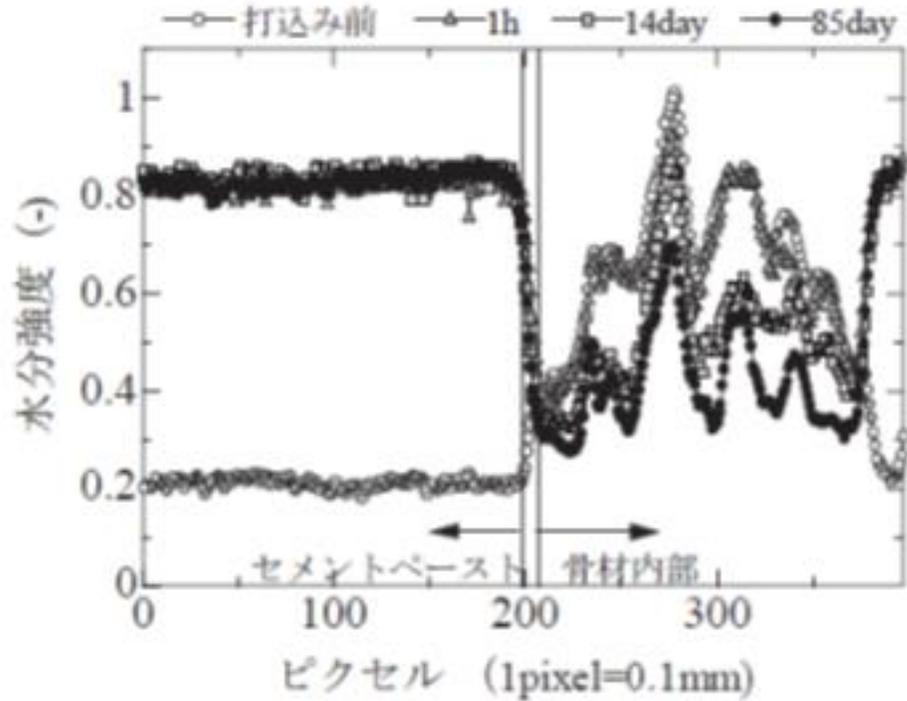


図6 飽水骨材を横断する線上における水分強度の分布

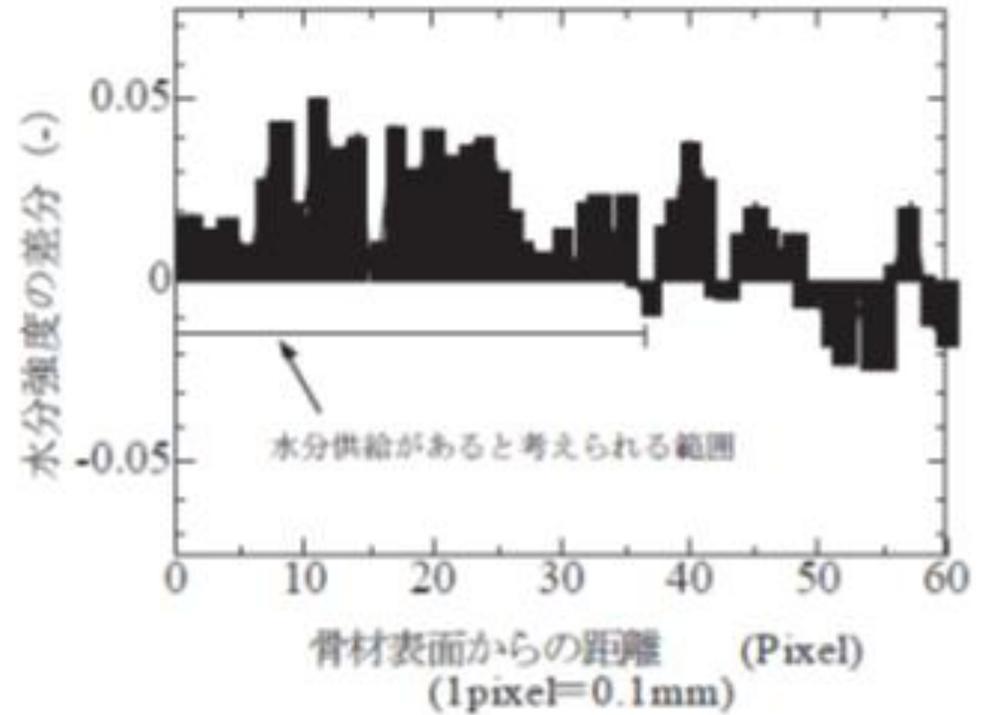


図9 水分供給範囲の定義

# 既往の研究(既往の研究)

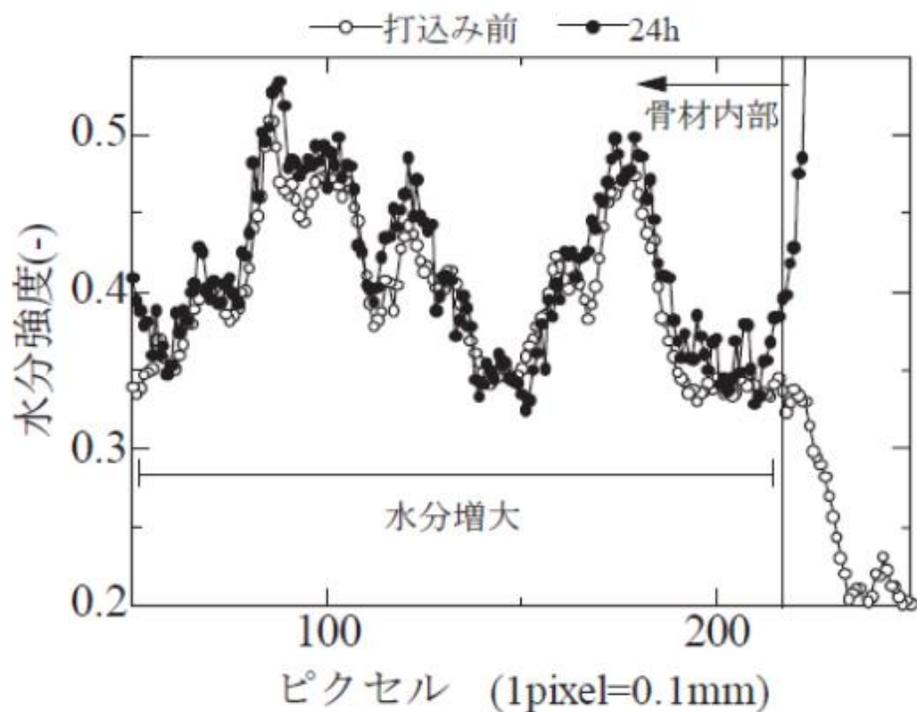


図 10 気乾軽量骨材中の水分強度分布  
(打込み前と材齢 24 時間)

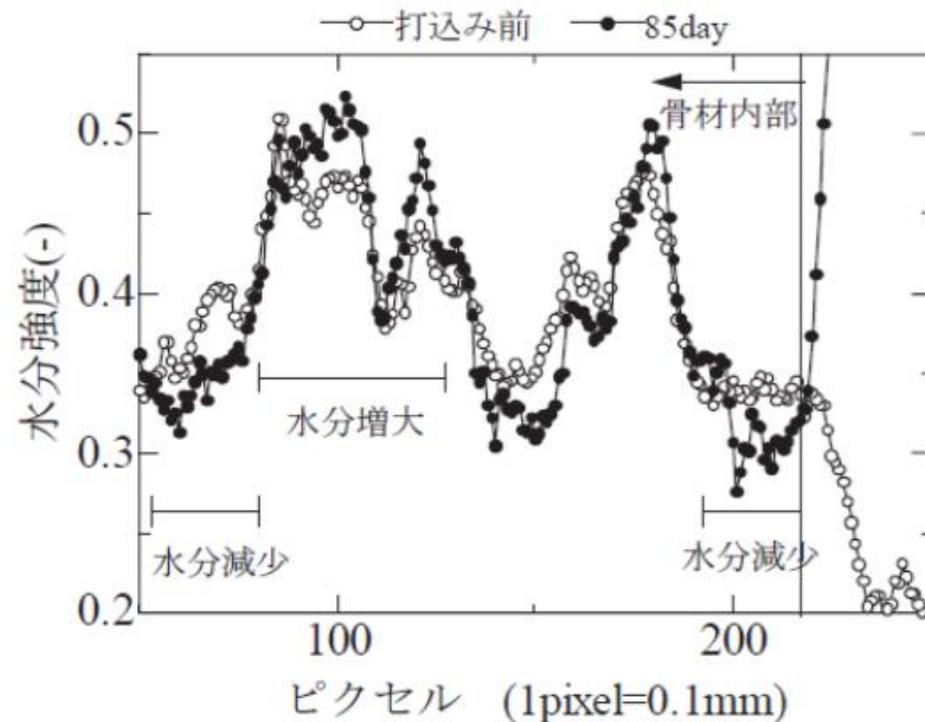


図 11 気乾軽量骨材中の水分強度分布  
(打込み前と材齢 85 日)

## 研究の目的

再生骨材コンクリートの強度特性や乾燥収縮などの諸物性について、再生骨材の吸水特性の違いに関連づけたものや自己養生と推論するものが多い。しかし、構成粒子のモルタル形態の違いによる水分挙動を実験的に検証した研究事例はなく、再生骨材コンクリートの諸物性の解析において十分な知見は共有されていない。

そこで、TNRFを使用した軽量骨材の水分移動のノウハウを活用して、モルタル形態を模擬した試験体を自作し、セメントペーストと再生骨材間での水分移動を実測して、**再生骨材の自己養生効果を確認**することを目的とした。

# 実験概要

## 試験体の概要(1)

### モルタル形態の違いをモデル化(4種類)

- ①原骨材: 磨砕処理によって表面に付着したモルタル分が除去され、岩石そのものの粒子  
⇒ 0mm
- ②付着モルタル粒子: 岩石の凹凸にモルタル分が付着したままの粒子で付着厚は数mm  
⇒ 2mm および 5mm
- ③モルタル塊: 主にモルタル分からなる粒子で、 $G_{max}=20\text{mm}$   
⇒ 10mm

### コンクリート中での粒子間の距離をモデル化

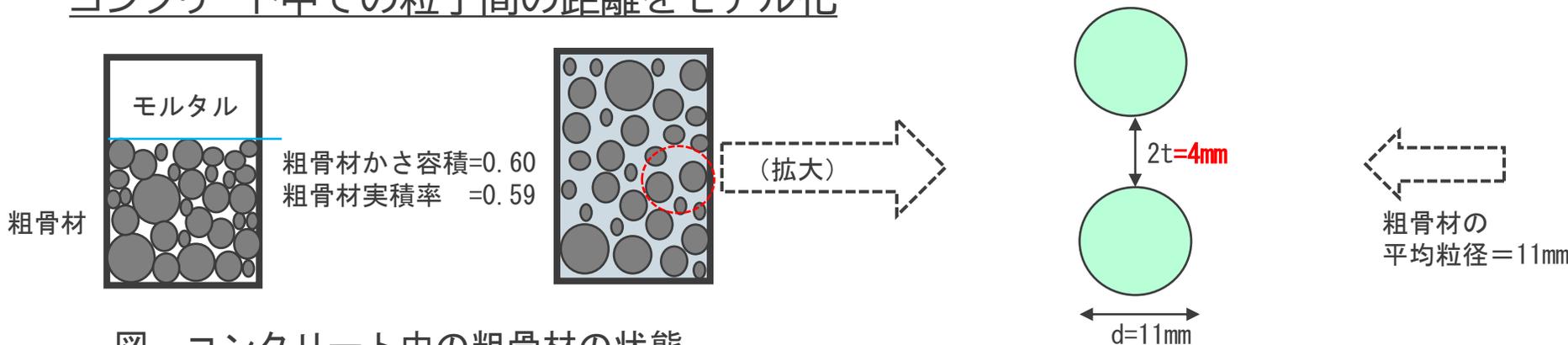


図 コンクリート中の粗骨材の状態

粒子間の距離=4mm

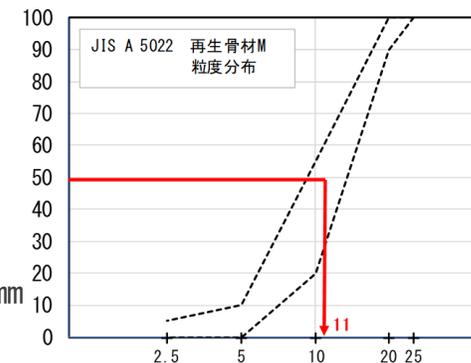


図 粗骨材の粒度分布

# 実験概要

## 試験体の作製(1)

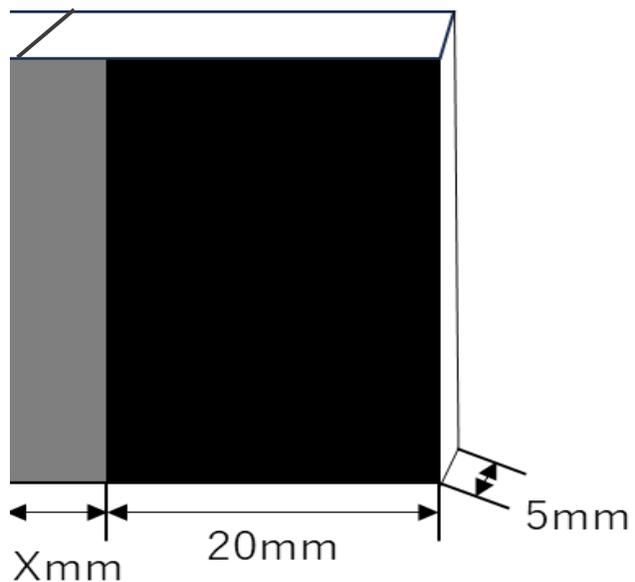


図 モデル骨材の概要

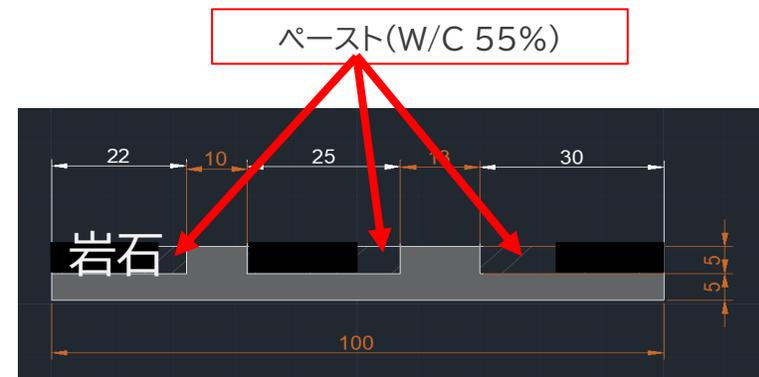
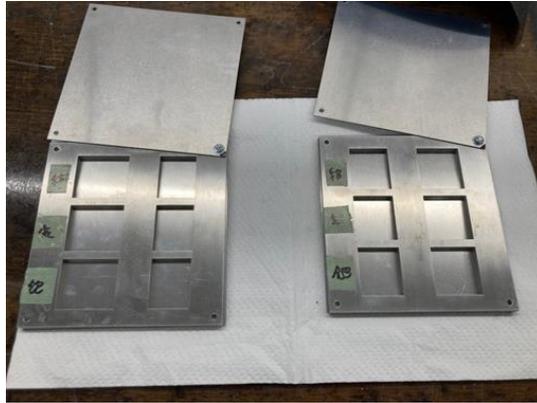


図 モデル骨材の外観および製造方法

- ・モデル骨材は、既存ペースト部分が異なる4種類を作製した。
- ・岩石部分は20mm、既存ペースト(10、5、2mm)として、鋼製容器で成形、養生した。

# 実験概要

## 試験体の作製(2)



ペースト(W/C 30%),4mm

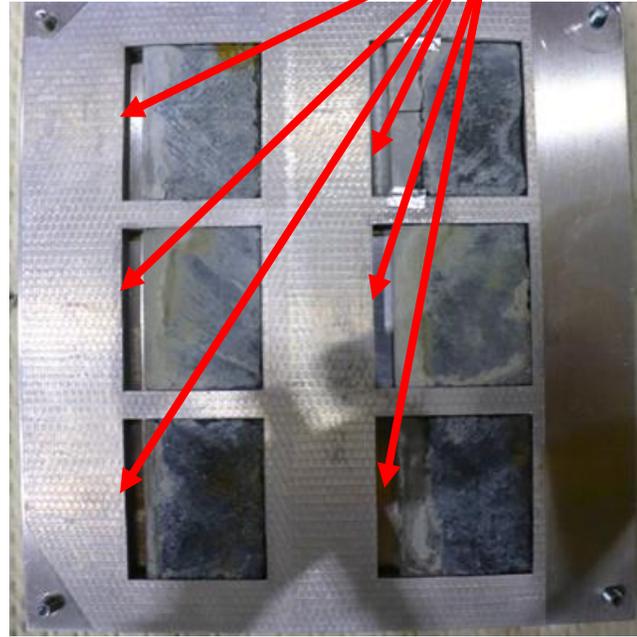


図 試験体の外観および製造方法

- 試験体型枠は、6試験体用の空洞をもった5mm厚のアルミ製。
- モデル骨材を設置して、ペーストを4mmで流し込み、1mm厚のアルミ板で上下部分を挟み込んで固定。

# 実験概要

## 試験水準と照射条件

新規ペースト部分 (W/C=30%)

既存ペースト部分 (W/C=50%)

X=0, 2, 5, 10mm

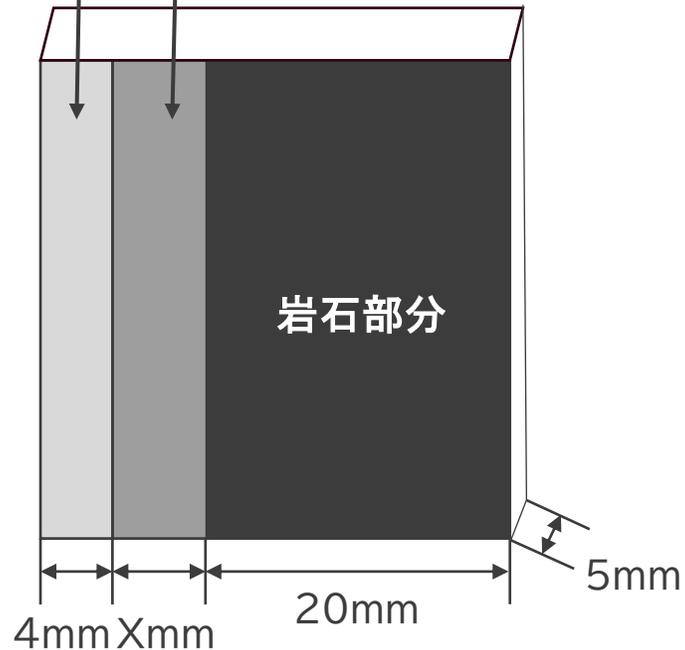


図 試験体の概要

### 試験水準

既存部分厚(mm)	0, 2, 5, 10
養生条件	気乾, 飽水, 絶乾

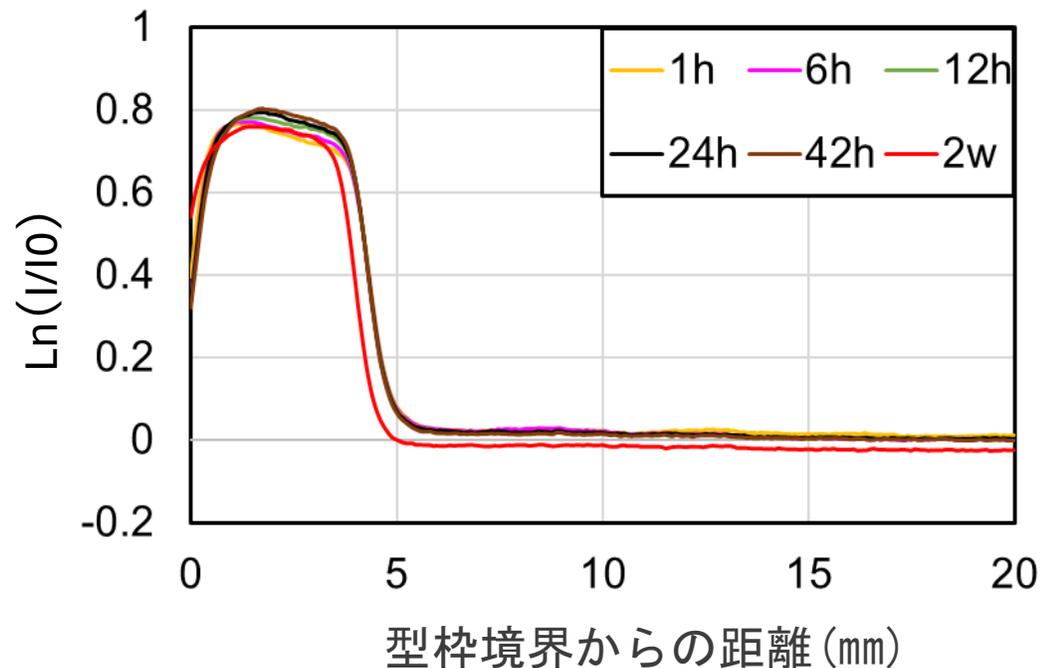
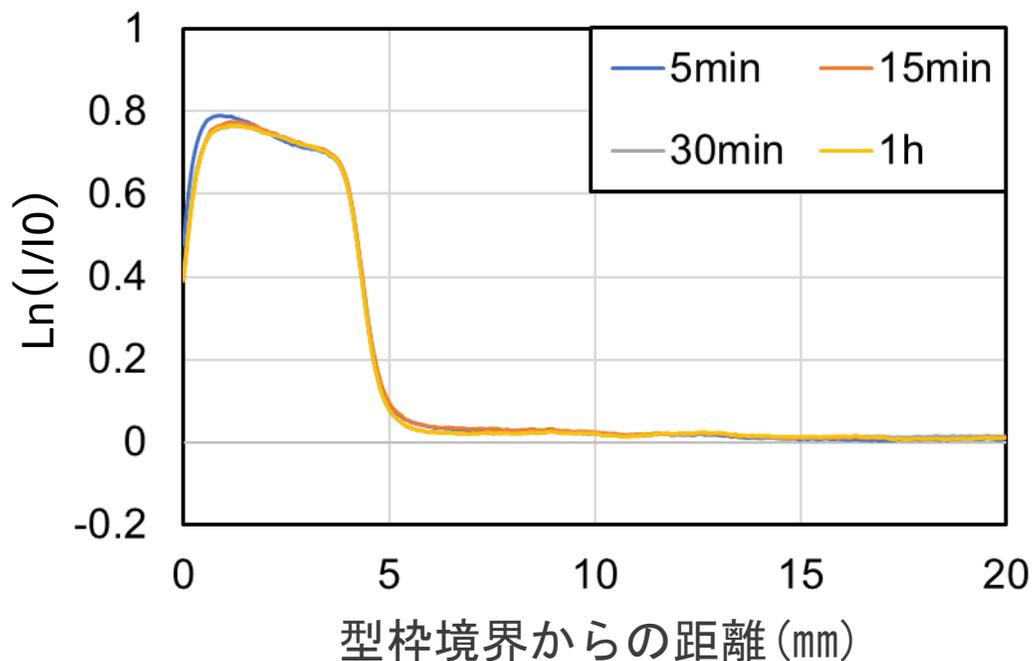
計 12 水準

### TNRF 照射条件

- ・中性子束: 約  $1 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>/sec
- ・画素数: 2048 × 2048
- ・空間解像能: 約 100 μm
- ・撮影時間: 6sec/枚
- ・画像転送時間: 約 2sec

# 実験結果

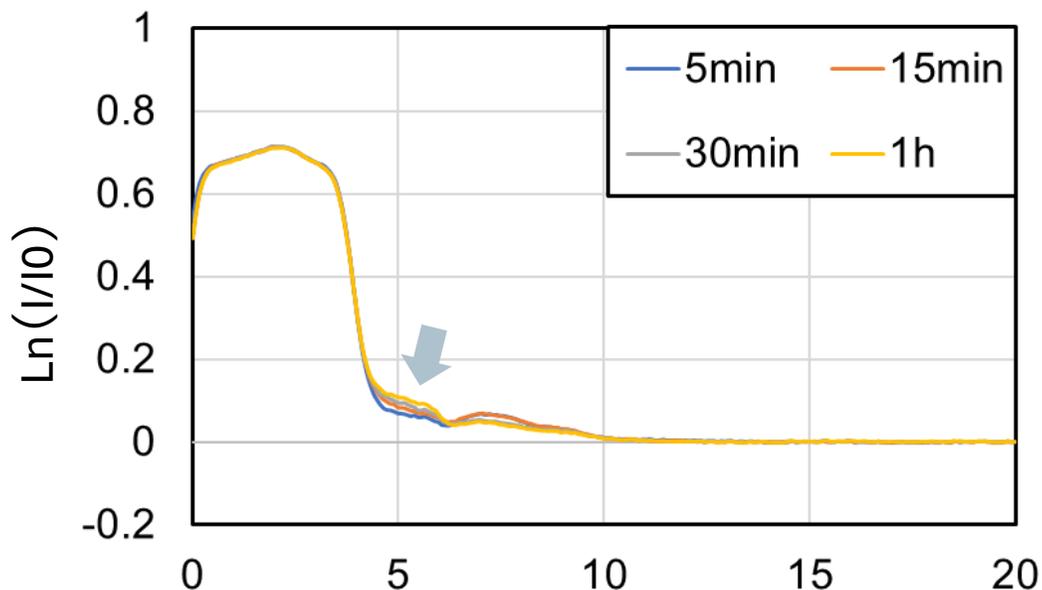
## 気乾-0mmの結果



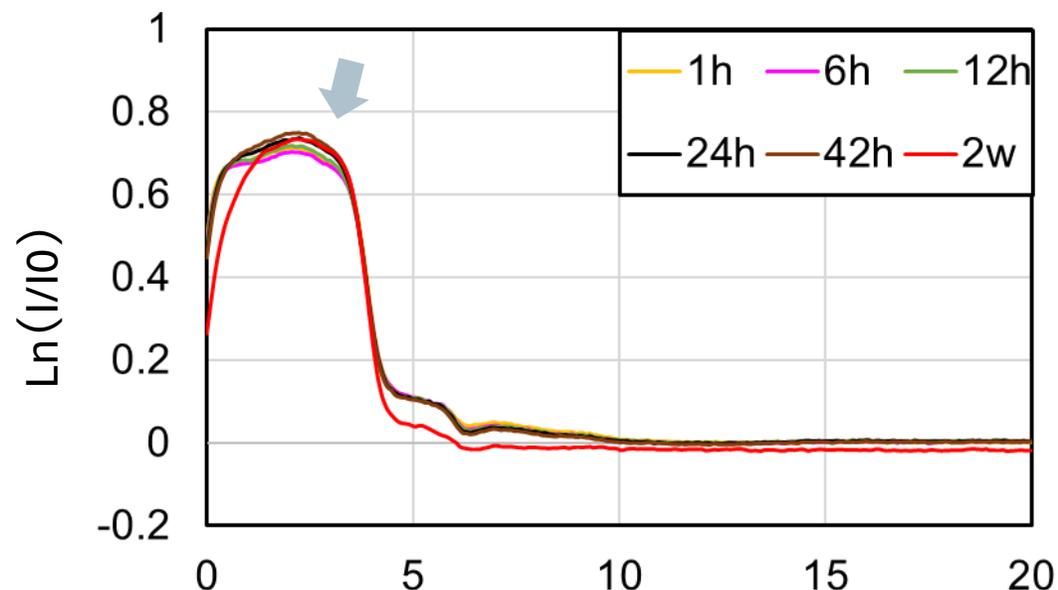
- 1h(左図)および42h(右図)の水分移動量の経時変化は認められない。
- 新規ペースト部分から岩石部分へは5分程度で10mm程度まで水分が移動している。
- 2wの結果は、乾燥した可能性もあるが、測定点の位置合わせや補正を含めて検討中である。
- 型枠から2mm程度の水分移動量の減少は(左端)、型枠間の毛管現象で水分が引き込まれた影響であることを確認した。

# 実験結果

## 気乾-2mmの結果



型枠境界からの距離 (mm)

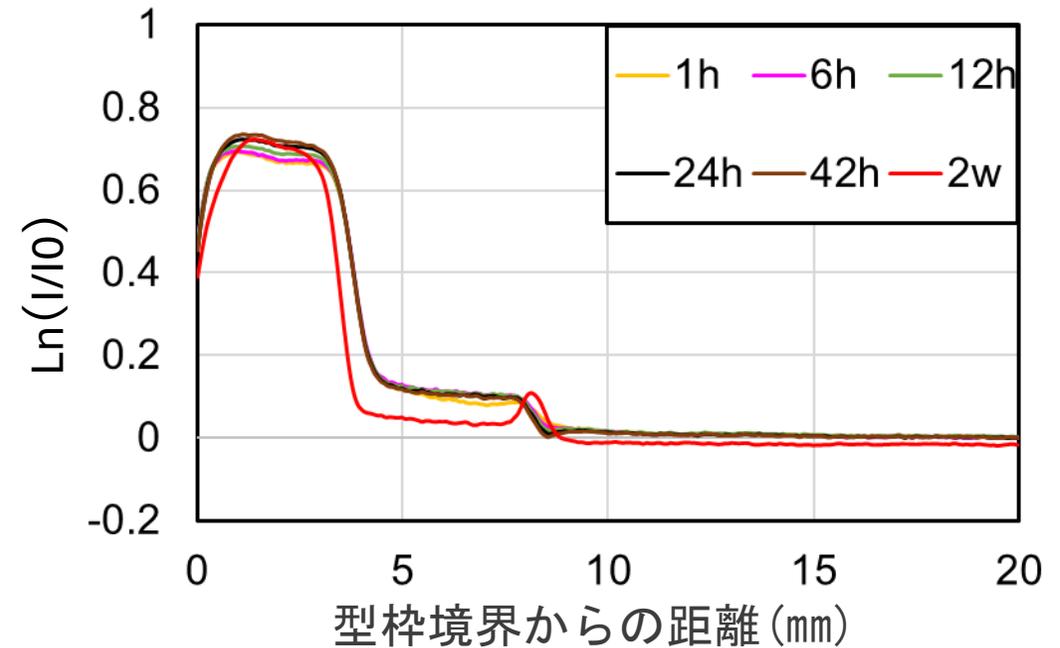
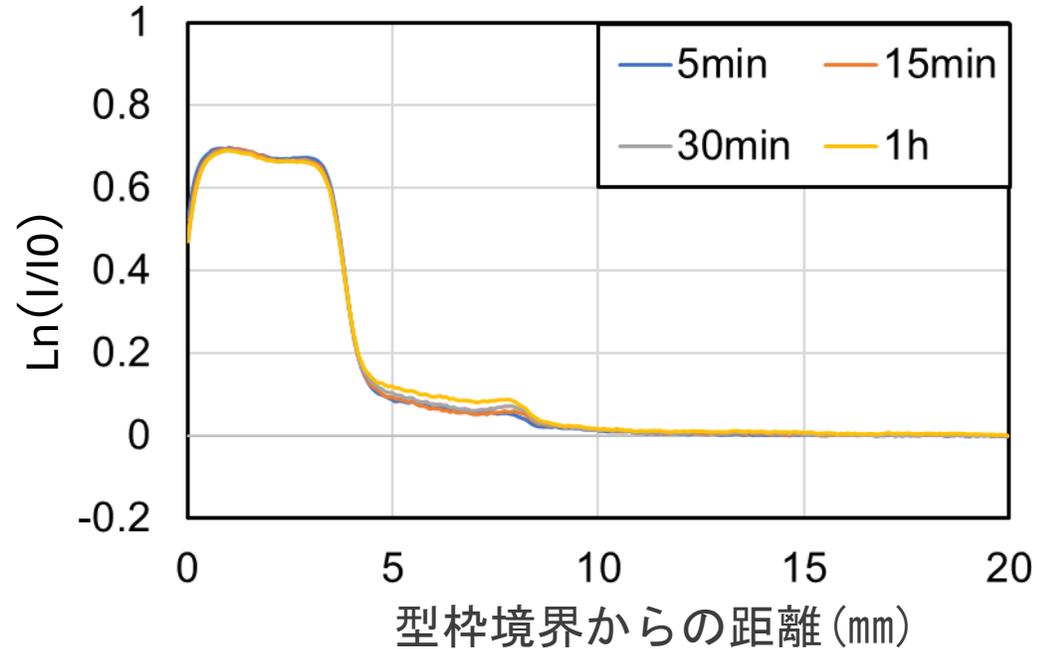


型枠境界からの距離 (mm)

- 1h(左図)および42h(右図)の水分移動量の経時変化は認められない。
- 新規ペースト部分から既存ペースト部分へ水分が移動している。
- 既存ペースト部分から岩石部分への水分移動は境界面の傾きの影響と推測。
- 2W後の結果では、既存ペーストから新規ペーストへの水分が移動している可能性があり、精査中である。

# 実験結果

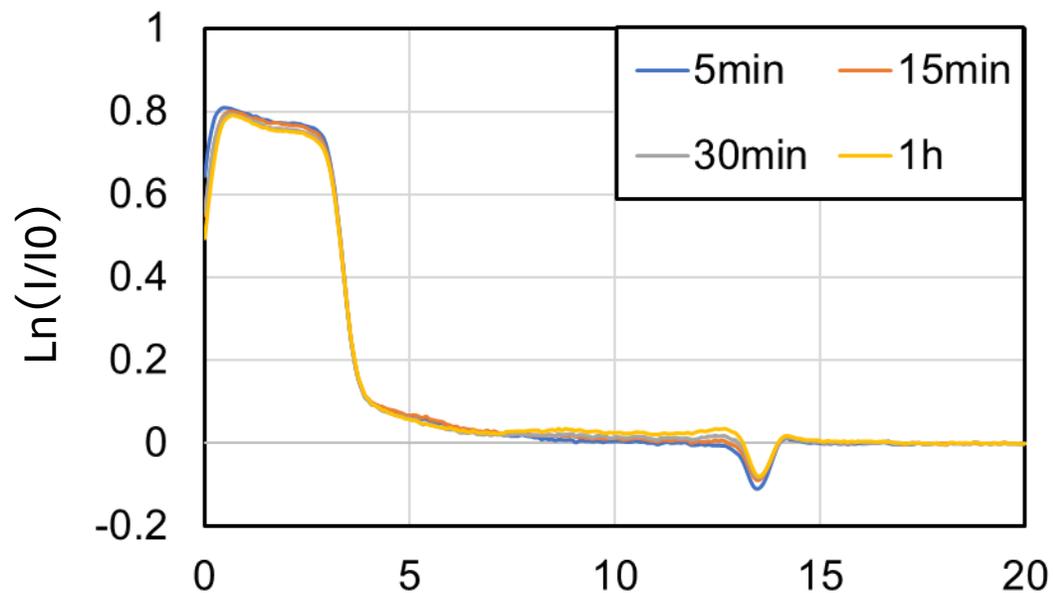
## 気乾-5mmの結果



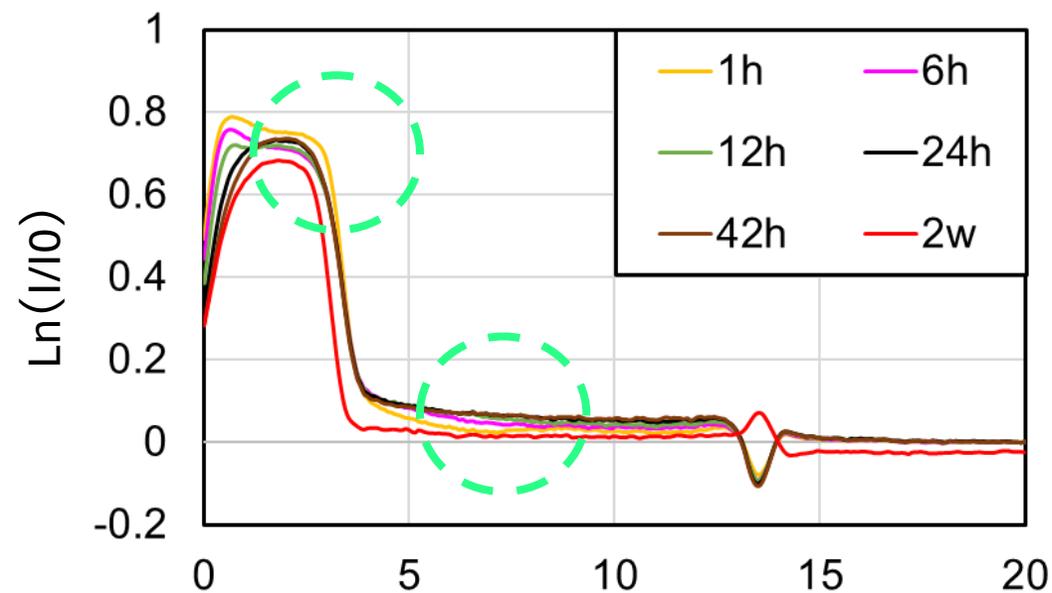
- 1h(左図)までの水分移動量の経時変化は認められない。
- 6h-42h(右図)までは、既存ペースト部分の水分移動量が増加している。
- 2W後の結果では、既存モルタル2mmの場合と同様に、新規ペーストへの水分が移動している可能性がある。

# 実験結果

## 気乾-10mmの結果



型枠境界からの距離 (mm)

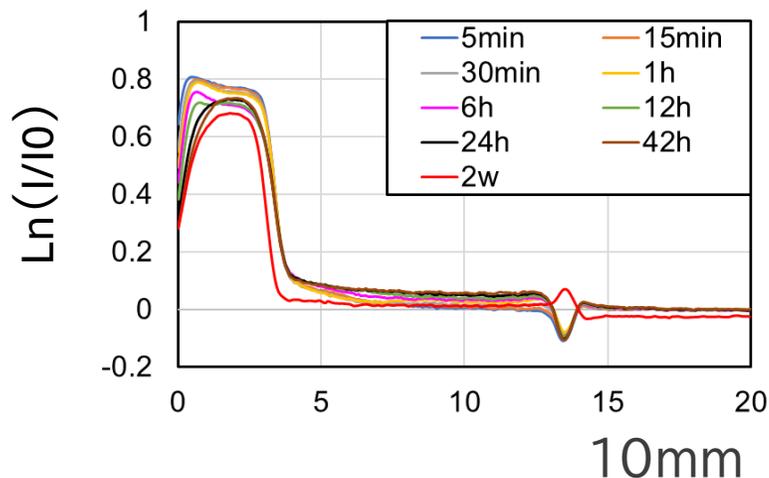
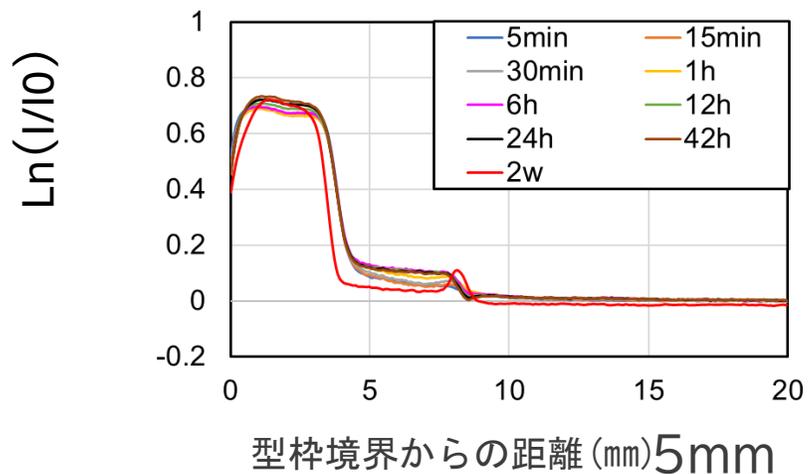
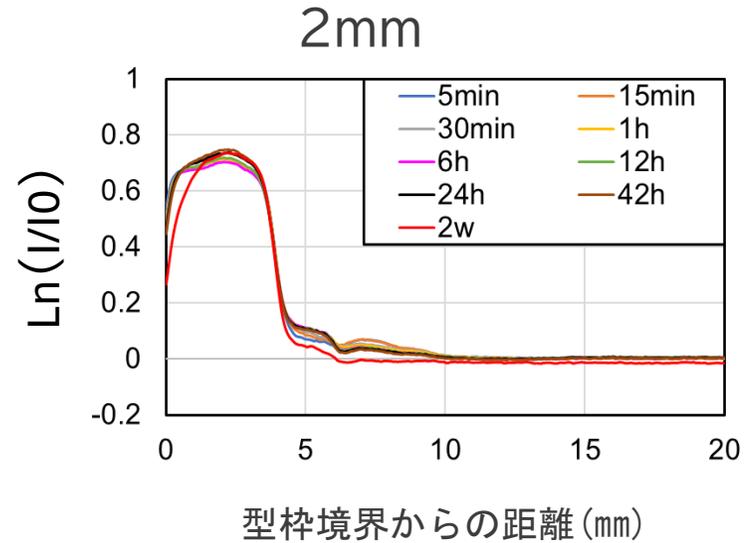
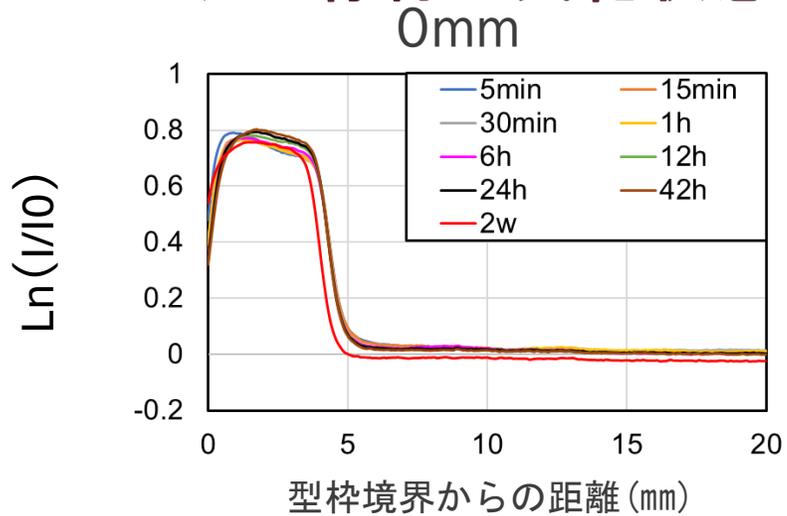


型枠境界からの距離 (mm)

- 1h(左図)までの水分移動量の経時変化は認められない。
- 6h-42hまでは、新規ペーストおよび既存ペーストで水分移動量(緑の円)が認められる。

# 実験結果

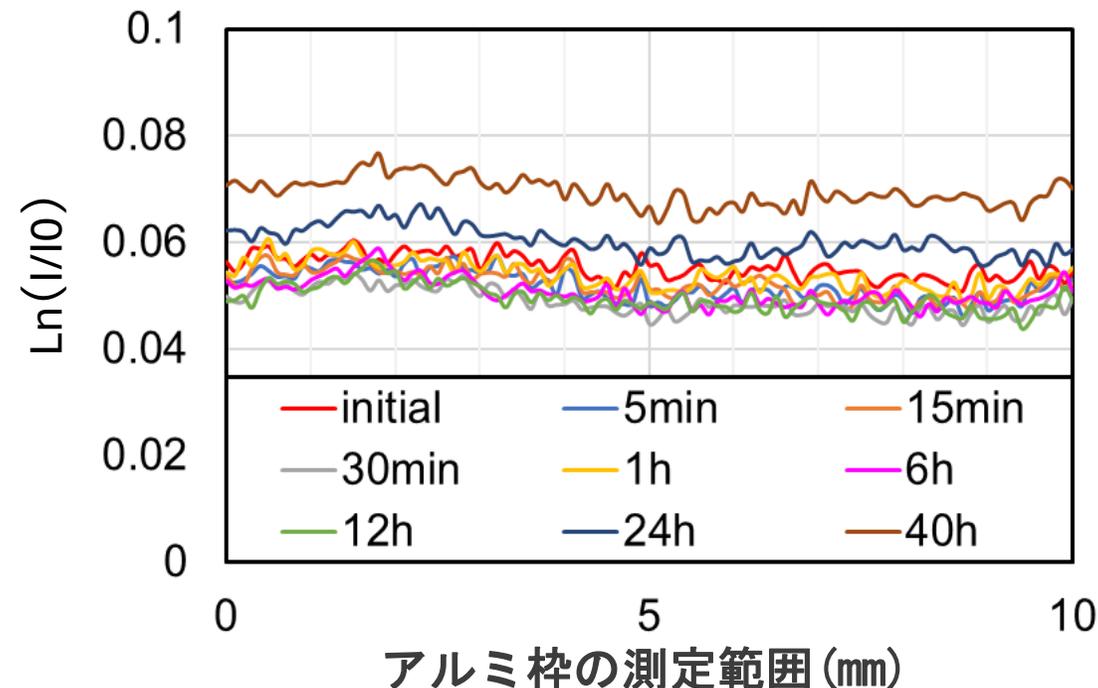
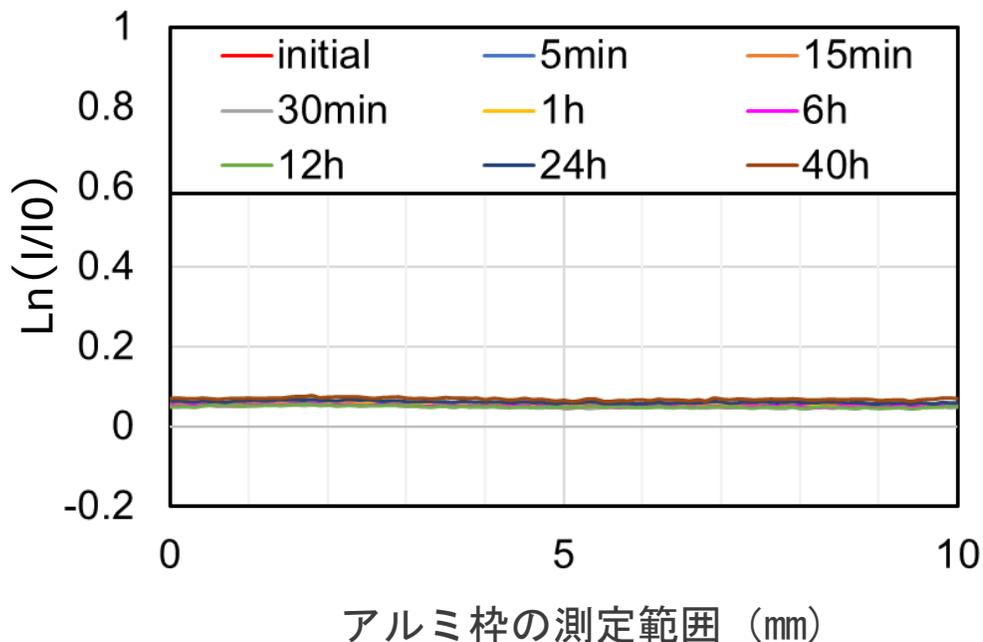
## モデル骨材：気乾状態



- 既存ペーストの厚みの応じて、水分量が多い。
- 既存モルタル10mmの場合、42時間までに新規ペーストへ水分が移動した可能性がある。
- 2週間経過した新規ペーストでは、セメントの水和が進行するために水分が必要になる。既存モルタルからの水分移動による自己養生効果が推定される。
- 既存ペースト10mmは、水分を保持し、新規ペーストへの水分移動が少ないようにも思える

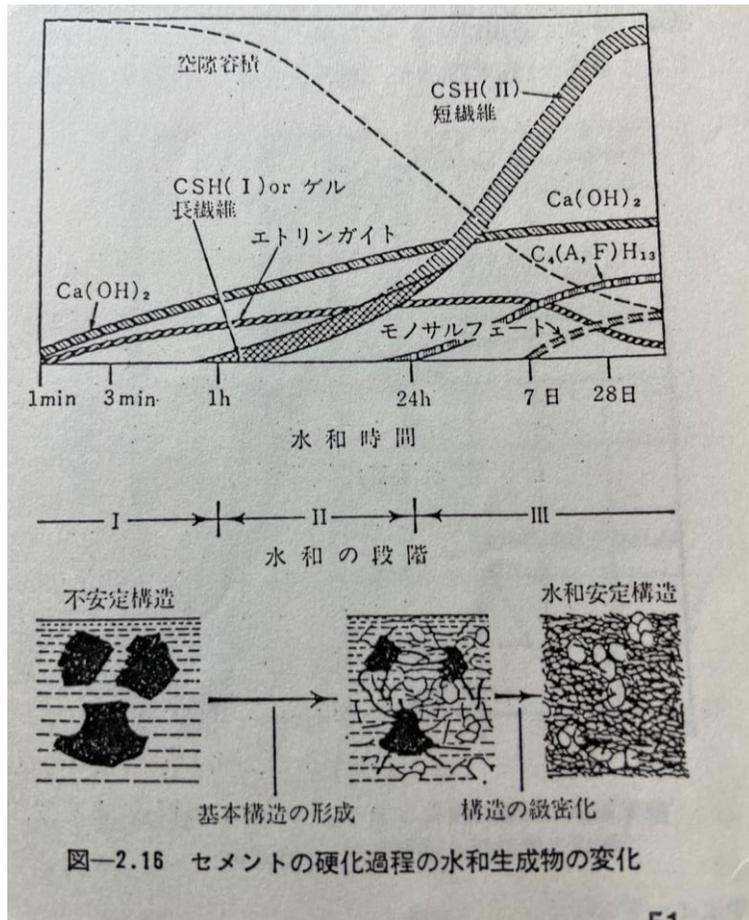
# 実験結果

## 測定値の安定性



- ・アルミケースの中で、ペースト部分から離れた箇所での測定結果
- ・測定値の著しい変動は認められないものの(左図)、拡大してみると、24h、40hでの後方散乱線による影響によって、水分強度が高目に表示されている(右図)。
- ・補正の適用性を検討して、解析精度の向上を図る予定(今回の表示データでは補正を行っていない)。

# 考察



出典：笠井順一，セメント化学概論，コンクリート工学，p51，vol. 22，No. 2，1984

セメントの水和反応は、左図に示すように3段階で進行する。

- ・1h程度の初期段階にカルシウムアルミネート系鉱物が反応(I)
- ・その後12h程度からカルシウムシリケートの水和反応(II)が生じて、強度発現域(III)に繋がる。

本研究では、水和反応(I)でコンクリートの混練水の一部が骨材に移動して、水和反応(II)において、骨材が吸水した水分を吐き出す、微細な水分移動を測定している。

本研究では、試験体を改良しながら測定を行っており、安定した結果が得られてはいないものの、次項を把握した。

- ・セメントペーストの水分は5分程度で骨材に移動している
  - ・モルタルの厚み(既存ペースト)に応じて水分量が多くなる
- 今後、2Wのデータを精査して、水和反応(II)での水分移動を検討する。