

6. 材料施工

■ 2026年8月27日(木) 11:00～12:40 | Ⅲ 第3会場(303教室)

[3-6] 材料・施工⑧

座長:石神 暁郎(国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所)

材料の力学・物理特性②

11:00～11:15

[3-37] 前養生時間を変えて蒸気養生をしたコンクリートの炭酸化進行および毛管浸透性を踏まえた凍結融解抵抗性の評価

*長谷川 凌太¹、緒方 英彦²、兵頭 正浩³、周藤 将司⁴ (1. 鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科国際乾燥地科学専攻、2. 鳥取大学大学院連合農学研究科、3. 鳥取大学農学部生命環境農学科、4. 松江工業高等専門学校環境・建設工学科)

11:15～11:30

[3-38] 無機系被覆材の付着力向上におけるけい酸塩系表面含浸材の有効性

*長谷川 雄基¹、大原 芽¹ (1. 香川高等専門学校)

11:30～11:45

[3-39] 電気抵抗率を指標としたけい酸塩系表面含浸材の改質効果の評価における含水状態の影響

*岩田 侑真¹、長谷川 雄基² (1. アジア航測（株）、2. 香川高等専門学校)

11:45～12:00

[3-40] 有限要素法による農業用コンクリートダム小径コアの圧縮破壊挙動推定

*田中 熙¹、柴野 一真¹、池田 弘毅²、鈴木 哲也³ (1. 新潟大学大学院自然科学研究科、2. 新潟大学大学院総合学術研究科、3. 新潟大学自然科学系（農学部）)

12:00～12:15

[3-41] 長期埋設試験後における樹脂管のリング剛性

*奥田 忠弘¹、西堀 由章¹、藤本 光伸¹、澤田 豊²、毛利 栄征³ (1. (株) 栗本鐵工所、2. 神戸大学大学院農学研究科、3. 茨城大学)

12:15～12:30

[3-42] 超音波法を用いたけい酸塩系表面含浸材の改質深さの推定方法の検討

*兼近 颯一郎¹、長谷川 雄基¹ (1. 香川高等専門学校)

12:30～12:40

セッション総括

**前養生時間を変えて蒸気養生をしたコンクリートの
炭酸化進行および毛管浸透性を踏まえた凍結融解抵抗性の評価**
Evaluation of Freeze-Thaw Resistance Based on Carbonation Progress and
Capillary Permeability in Steam-Cured Concrete with Different Delay period

○長谷川 凌太*、緒方 英彦**、兵頭 正浩***、周藤 将司****

○Hasegawa Ryota, Ogata Hidehiko, Hyodo Masahiro, Suto Masashi

1. はじめに

プレキャストコンクリート（以下、PCa）は、常圧蒸気養生（以下、蒸気養生）により強度発現が促進される。一方、前養生時間と脱型後の二次養生が凍結融解抵抗性に影響することが分かっている¹⁾。既往の研究では、炭酸化進行と凍結融解抵抗性が検討されているが、これらは一定環境である室内での事例が多く、自然環境の影響が凍結融解抵抗性に与える影響は十分に明らかになっていない。そこで、本研究では、前養生時間の異なる PCa において、実環境下と室内の環境条件の違いが炭酸化進行および凍結融解抵抗性に及ぼす影響を評価した。特に、凍結融解抵抗性については、炭酸化による緻密化および炭酸化後の毛管浸透性を踏まえて検討した。

2. 試験概要

本研究で用いた円柱供試体（φ100mm×200mm）の配合およびフレッシュ性状を表1、

表1 配合およびフレッシュ性状
Table 1 Mix and fresh concrete properties

供試体	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					フレッシュ性状	
			W	C	S	G	Ad	空気量(%)	スランプ (cm)
SA, SW, SE, N	46.0	43.0	175	381	730	1023	1.52	4.0	5.5
LA, LW, LE								2.8	4.0

セメント：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³），細骨材：加工砂（密度 2.58g/cm³，粗粒率 3.05），粗骨材：砕石 1505（密度 2.72g/cm³，粗粒率 6.40），混和剤：コンクリート製品向け高性能減水剤 マイティ 21LV（密度 1.05g/cm³），コンクリート用空気連行剤 マイティ AE-03 C×0.028%

表2 養生条件
Table 2 Curing conditions

養生条件を表2に示す。前養生時間は、JIS A 1147 で求めた始発時間および終結時間を基に、始発時間前(S)の87分と終結時間後(L)の318分とした。蒸気養生槽内の温度履歴を図1に示す。蒸気養生中では、供試体は型枠に覆われているが、打設面は露出している。蒸気養生後は材齢1日で脱型し、前養生時間が始発時間前、終結時間後の供試体におい

供試体	前養生 時間	養生条件			
		1 日	2 日-56 日	57 日-63 日	
SA	87 分 (S)	蒸気養生	気中養生	水中養生	
SW			水中養生		
SE			暴露		
LA	318 分 (L)		気中養生		
LW			水中養生		
LE			暴露		
N		気中養生	水中養生		

* 鳥取大学大学院持続性社会創生科学研究科国際乾燥地科学専攻 Department of Dryland Science Graduate school of Sustainability Science, Tottori university **鳥取大学大学院連合農学研究科 The united graduates school of Agricultural Sciences, Tottori university ***鳥取大学農学部生命環境農学科 Department of Agricultural Life and Environmental Sciences, Tottori university****松江工業高等専門学校環境・建設工学科 Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Matsue College
キーワード：プレキャストコンクリート，凝結時間，二次養生，暴露

て、それぞれ二次養生として室内で温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ の気中養生 (A) および水温 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中養生 (W)、屋外での暴露 (E) を 8 週間行った。暴露は、鳥取大学農学部附属フィールドサイエンスセンター教育研究林蒜山の森において、打設面を上側として供試体を鉛直にして行った。暴露期間は 6 月下旬から 8 月中旬までとし、日最低気温は $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、日最高気温は $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度は 1 日を通して、約 45-90% で推移した。試験は、材齢 8 週で中性化深さの測定および毛管浸透試験をそれぞれ JIS A 1152, ASTM C1585 に準拠して打設面を対象に行った。また、8 週間の二次養生後に吸水のため 1 週間水中養生させた材齢 9 週で凍結融解試験を JIS A 1148 に準拠して行った。その際、蒸気養生を行わず、9 週間標準水中養生を行った供試体 (N) を加えた。

3. 結果と考察

全供試体において、中性化深さは 0.0mm となった。したがって、本研究では中性化の影響を考慮せず、毛管浸透性および凍結融解抵抗性を検討した。毛管浸透試験の結果を図 2、試験から求めた初期吸水速度係数を表 3 に示す。吸水量と初期吸水速度係数はいずれも、前養生時間では S が L より大きく、二次養生では A, E, W の順に小さくなった。よって、打設面の緻密性は、前養生時間では L の方が高く、二次養生では E は A より高いが、W には及ばなかった。凍結融解試験について、質量減少率、相対動弾性係数、相対超音波伝播速度の結果をそれぞれ図 3、図 4、図 5 に示す。凍結融解抵抗性は、前養生時間において S が低くなり、二次養生においては E が A よりも高く、W よりも低くなった。これも毛管浸透性で得られた緻密性の傾向と一致しており、E は暴露中に大気中の水分を吸収し、室内で気中養生した A より水和反応が進んだためと考えられる²⁾。

4. まとめ

本研究では、炭酸化進行と毛管浸透性を踏まえた凍結融解抵抗性の評価を行った。凍結融解抵抗性は、前養生時間において終結時間後の方が高く、二次養生において暴露した方が室内で気中養生をするよりも高くなり、この傾向は吸水量の傾向と一致した。

参考文献

- 1) Hidehiko Ogata. et al. (2025) : Effect of delay period and subsequent curing on the freeze-thaw resistance of steam-cured concrete, Case Studies in Construction Materials, Vol.23, e05494
- 2) 伊代田岳史, 魚本健人(2000): 養生環境の違いによるセメント硬化体の水和進行と内部水分, 生産研究, Vol.52, No10, pp.489-492

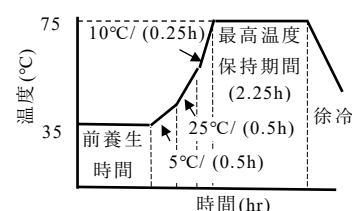


図 1 養生槽内の温度履歴
Fig.1 Temperature history

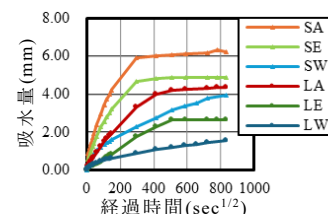


図 2 毛管浸透試験の結果
Fig.2 Capillary water absorption

表 3 初期吸水速度係数
Table 3 The initial rate of absorption

初期吸水速度係数($\times 10^{-2}$)					
SA	SE	SW	LA	LE	LW
2.58	2.00	0.98	1.28	0.53	0.38

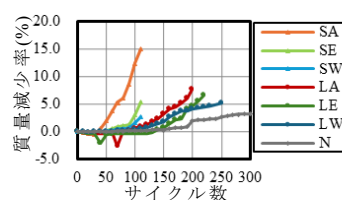


図 3 質量減少率
Fig.3 Mass loss ratio

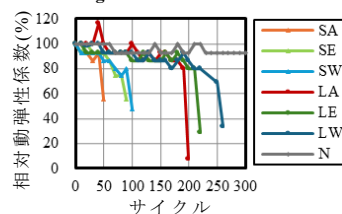


図 4 相対動弾性係数
Fig.4 Relative dynamic modulus of elasticity

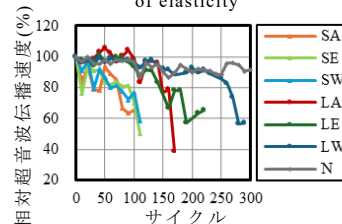


図 5 相対超音波伝播速度
Fig.5 Relative ultrasonic pulse velocity

無機系被覆材の付着力向上におけるけい酸塩系表面含浸材の有効性

Effectiveness of silicate-based surface penetrant in adhesion improving of inorganic coating material

○ 長谷川 雄基*, 大原 芽*

HASEGAWA Yuki*, Ohara Mei*

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸工法は、セメント硬化体の表層部の緻密化や微細ひび割れの充填効果を有しており、水路補修においては、無機系被覆材との併用工法として、既設躯体や無機系被覆材への施工が可能である。この併用工法において、特に既設躯体の強化を目的に含浸材を塗布する場合、既設躯体に劣化部が残存していたり、劣化部を除去する際のウォータージェット等によるはつり作業により躯体に微細ひび割れが生じていたりすると、含浸材の改質効果が満足に発揮されず、既設躯体と無機系被覆材との付着性が低下することが懸念される。

そこで本研究では、主に溶脱による脆弱部が既設躯体に残存している場合を想定し、無機系被覆材と既設躯体の付着力向上において含浸材が有効に作用するかを実験的に検証した。

2. 実験の概要

2.1 供試体および実験条件の概要

本研究では、W/C=55%, s/a=49%の平板コンク

リートを作製し、打設後 24 時間で脱型して気中で 28 日間養生した。養生後の平板を用いて、促進溶脱や含浸材塗布の有無を組み合わせ、**Tabel 1** に示す Case1~5 の条件を設定した。促進溶脱は電気泳動法を採用し、促進期間は 28 日間とした。含浸材については、けい酸ナトリウムを主成分とするけい酸塩系表面含浸材を使用し、含浸材塗布後の養生期間は 28 日間とした。

Case1~5 の通りに準備した各種平板について、ポリマーセメントモルタル（以下、PCM）を用いて表面被覆を行った。母材へのプライマー塗布後、10mm 厚で市販の PCM を施工し、気中で 28 日間養生して、試験に供した。

2.2 表層引張強度試験の概要

母材コンクリートと被覆材との付着力の評価および破壊位置の特定を目的として、PCM 被覆後の平板に対して表層引張強度試験を行った。測定は、寸法 300×300×60mm の平板供試体の 5 点で実施した。

2.3 ビッカース硬さ試験の概要

含浸材の改質効果を評価するため、表面被覆

Table 1 平板供試体の条件

Conditions of plate specimen

条件	促進溶脱	含浸材塗布	備考
Case 1	×	×	無操作の平板自体を使用, Control として用意
Case 2	×	○	健全な基盤に対する含浸材の改質効果の確認
Case 3	○	×	溶脱による変質の確認
Case 4	○	○	溶脱後の改質効果の確認
Case 5	○	◎	含浸材塗布量を Case4 の 2 倍とした

*香川高等専門学校, National Institute of Technology Kagawa College, キーワード: 表面含浸工法, 表面被覆工法, ビッカース硬さ

していない状態の Case1～5 の供試体を使用して、微小硬さ試験機を用いてビッカース硬さを測定した。深さ方向に 10mm 以上となる位置で測定した値を非改質層のビッカース硬さとし、供試体表面（溶脱面，含浸材塗布面）から深さ方向に 10mm まで 1mm 間隔で測定を行った。試験力は 4.903N，保持時間は 15 秒とし，各測定深さにつき 10～15 点測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 表層引張強度試験の結果と考察

Case1～4 の表層引張強度試験の結果を Fig.1 に示す。強度の数値からは明確な傾向は確認できない。破断位置としては，Case1, 2 が母材破壊，Case3, 4 が母材と被覆材との接着界面での破壊であったことから，Case3 と 4 は，含浸材塗布の有無にかかわらず，促進溶脱により母材と被覆材の付着力が低下したと考えられた。

3.2 ビッカース硬さ試験の結果と考察

ビッカース硬さ試験の結果を Fig.2 に示す。Case3～5 の深さ方向におけるビッカース硬さ分布は，ほぼ同様の傾向を示した。よって，本実験条件においては，溶脱後に含浸材を塗布した場合，含浸材は改質効果を発揮していないことが確認された。溶脱後に含浸材を塗布した供試体にフェノールフタレイン溶液を散布した状況を Fig.3 に示すが，アルカリ性である含浸材を塗布したにもかかわらず，含浸材塗布面は一切発色していないことが確認できる。

既往の研究¹⁾では，溶脱後も含浸材の改質効果が発揮された例が報告されている。したがって，溶脱後の含浸材の改質効果の発揮のされ方は，含浸材の主成分の種類や添加剤の有無などにより大きく変化することが示唆された。

4. まとめ

本研究では，溶脱部に対する含浸材の改質効果を検証した。今後は，含浸材の主成分の変更

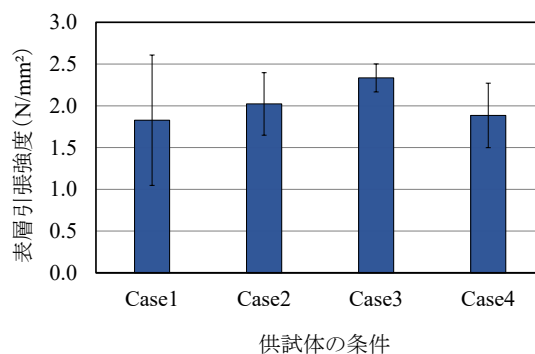


Fig.1 表層引張強度試験の結果

Result of surface tensile strength test

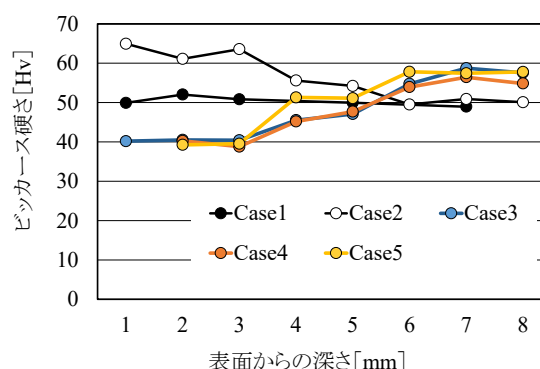


Fig.2 ビッカース硬さ試験の結果

Result of Vickers hardness test

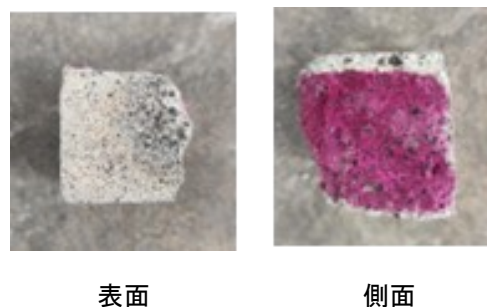


Fig.3 溶脱後含浸材を塗布した供試体のフェノールフタレイン溶液の散布状況

Spraying status of phenolphthalein solution on test specimens coated with impregnated material after leaching

や補助剤の使用等の検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 敷地泰成，長谷川雄基，松本将之，林和彦：摩耗と溶脱が進行した水路コンクリートにおけるけい酸塩系表面含浸材の適用性，コンクリート工学年次論文集，Vol.45，No.1，2023.

電気抵抗率を指標としたけい酸塩系表面含浸材の改質効果の評価における含水状態の影響

Influence of moisture content on the evaluation of the modification effect of silicate-based surface penetrant using electrical resistivity

○ 岩田 侑真*, 長谷川 雄基**

IWATA Yushin*, HASEGAWA Yuki**

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸工法の施工後における改質効果の確認方法として、土木学会発行の「けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)」¹⁾に掲載されている方法の一つに電気抵抗率試験がある。同試験は非破壊であり、かつ簡易に実施できるため、現地調査において有用である。しかしながら、同試験は測定対象の含水状態が強く影響すると考えられるため、農業水利施設のように常時水と接しており、調査時にも躯体内部の含水状態が高い場合、正確な評価ができるか不明である。

そこで本研究では、4プローブ法により表面から測定された電気抵抗率を指標として含浸材の改質効果の評価する際の、含水状態の影響について検討することを目的とした。

2. 実験の概要

2.1 供試体の概要と含浸材の塗布方法

本研究ではモルタル供試体を対象とし、**Table 1**に示す条件で試験を行った。モルタル供試体は打設後24時間静置した後に脱型を行い、気中養生で28日間静置した。試験条件Iでは6体、試験条件IIでは7体作製した。28日間養生後、型枠底面と接していた面を試験面として、メーカーの規定に準じて含浸材を塗布した。含浸材を塗布後、試験条件Iでは気中養生、試験条件IIでは多湿環境下にて28日間静置した。併せて、含浸材無塗布供試体を作製し、含浸

Table 1 試験条件

Test Case			
試験条件	W/C (%)	供試体寸法 (mm)	塗布後の養生条件
I	40, 50, 60	300×300×60	室内気中
II	40, 50, 60	135×160×40	多湿環境

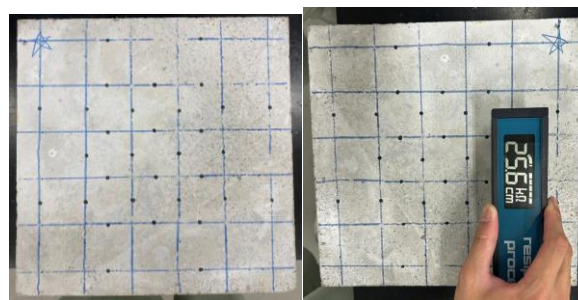


Fig.1 4プローブ法での測定状況

Measurement status of 4-probe method

材の塗布以外は同じ条件で養生を行った。

2.2 電気抵抗率の測定方法

本研究では、試験面に対して4プローブ法により電気抵抗率の測定を行った。電気抵抗率の測定は**Fig.1**のように、試験面を等間隔に分割し、分割した線上を測定対象とした。測定の際には電解質として水道水をプローブ先端に使用した。

3. 結果と考察

3.1 含浸材の塗布による電気抵抗率の変化

材齢28および56日における電気抵抗率の測定結果を**Fig.2, 3**に示す。**Fig.2**の含浸材無塗

*アジア航測(株), Asia Air Survey Co., Ltd., **香川高等専門学校, National Institute of Technology Kagawa College, キーワード: 表面含浸工法, 4プローブ法, ビッカース硬さ

布供試体の結果より、材齢 28 日より 56 日の電気抵抗率の方が大きくなったことから、材齢の増加により電気抵抗率は上昇することが分かる。一方、Fig.3 では含浸材塗布前の電気抵抗率が最も大きくなり、材齢の経過による電気抵抗率の増加は確認できない。これは、試験条件 II が多湿環境下における養生だったため、供試体内部の水分の存在が試験結果に影響を及ぼしていると推察された。

含浸材塗布の有無による電気抵抗率の差異に着目すると、試験条件 I, II (Fig.2, 3) とともに、含浸材塗布による電気抵抗率の増加は確認できず、特に試験条件 II では、無塗布と比較して電気抵抗率は著しく小さくなった。この原因として、含浸材塗布供試体においては、液体材料である含浸材が表面から塗布されたことと、改質により構造が緻密になったことで、28 日という養生期間では、内部の水分が外部に散逸しにくくなったことの二点の影響で、供試体内部に留まった水分が試験結果に影響を及ぼした可能性が考えられた。

3.2 含水状態が電気抵抗率へ及ぼす影響

前節の結果を踏まえ、電気抵抗率測定時に、高周波容量式水分計を使用して測定した供試体の表面水率について、電気抵抗率との関係を Fig.4 に示す。図中では、各配合・養生条件ごとに使用した供試体すべての結果を個別に示す。

Fig.4 より、全体的には、一見すると、二次曲線的に右肩下がり傾向があるように見える。しかし、同一の試験条件や W/C ごとにみると、電気抵抗率と表面水率には相関がないことが確認できる。したがって、前節の結果と併せて考えると、4 プローブ法により測定される電気抵抗率は、高周波容量式水分計で評価可能なごく表層の測定深さよりも、より内部の含水状態の影響を受けると考えられる。そのため、4 プローブ法による含浸材の改質効果確認時には、測定対象内部の水分状態を確認した上での

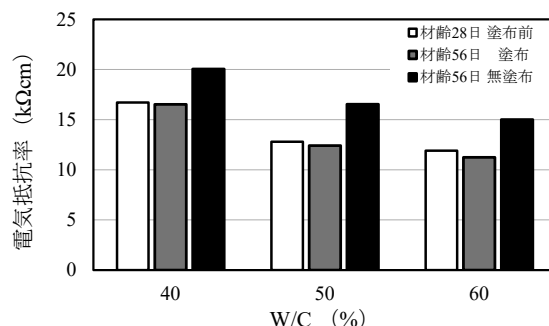


Fig. 2 試験条件 I の電気抵抗率

Electrical resistivity of case I

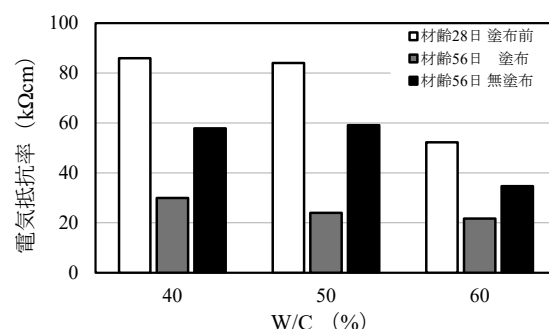


Fig.3 試験条件 II の電気抵抗率

Electrical resistivity of case II

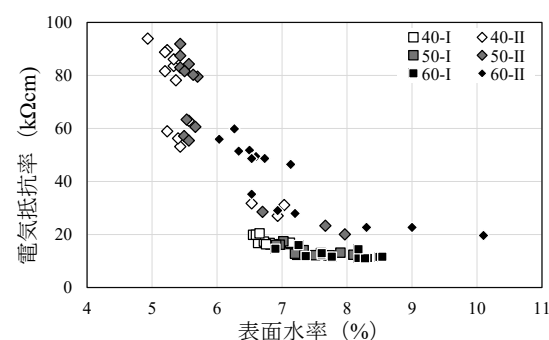


Fig.4 各供試体の電気抵抗率と表面水率の関係

Relationship of Electrical resistivity and surface moisture

評価が必要になると考えられた。

4. まとめ

本研究より、4 プローブ法では測定対象の内部の水分状態が影響し、含浸材の改質効果の確認時に大きく影響を及ぼすことが示された。

参考文献

- 1) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針(案)，第1版，p212，2012

有限要素法による農業用コンクリートダム小径コアの圧縮破壊挙動推定 Estimation of Compressive Fracture Behavior in Small-Diameter Concrete Cores from Agricultural Dams by Finite Element Method

○田中熙*・柴野一真*・池田弘毅**・鈴木哲也***

○Hiromu TANAKA*, Kazuma SHIBANO*, Koki IKEDA** and Tetsuya SUZUKI***

1. はじめに

コンクリートは構造物の建設材料として主要な位置を占めているが、その非線形力学挙動が内部損傷進展過程の推定を困難にしている。この推定に関して、有限要素法に基づいたシミュレーション解析手法の検討が行われている¹⁾。この解析において、解析対象をモデル化する工程が必要となるが、このモデルの材料分布や材料特性がシミュレーションの精度に影響を与える²⁾。材料分布においては、X線CTデータによって内部の材料分布を高精度に再現する手法が検討されている³⁾。

そこで本研究では、X線CTデータを用いて既存構造物より採取したコンクリートコアのモデル化を行い、材料分布と解析精度の関係性について検討した。圧縮破壊試験を実験およびシミュレーションにより実施し、材料の位置や形状、挙動の設定がシミュレーションの解析精度に与える影響について検証した。

2. 解析方法

調査対象構造物は、新潟県新発田市で供用されている内ノ倉ダムである。各コアの直径は約70mmであり、高さは各コアで異なっていた。

取得した各コアに対してオーバーラップ率50%でX線CTスキャンを行い、得られた各画像データに対し材料のセグメンテーションを行った。セグメンテーションでは、

画像の各領域を①背景（コア以外の領域）、②ひび割れ、③骨材、④モルタルの4つのラベルに分類した。これにより得られたセグメンテーションデータを用いてメッシュ生成を行った。メッシュはメッシュ生成ソフトウェアであるSimplewareにより生成した。セグメンテーションされた材料のうち、背景を除いた3つの材料をメッシュ生成の対象としたが、骨材とモルタルの界面(ITZ: Interfacial Transition Zone)は別途定義した。各材料分布の再現度が解析に与える影響を考察した。

圧縮破壊試験のシミュレーションを行うため、CAE解析ソフトウェアであるAnsysを用いた。AnsysにインポートしたモデルをFig. 1に示す。モデルの上端面を載荷面（赤色の面）として、下端面を固定面（青色の面）として定義した。破壊挙動のシミュレーションにおいては、モデルの材料分

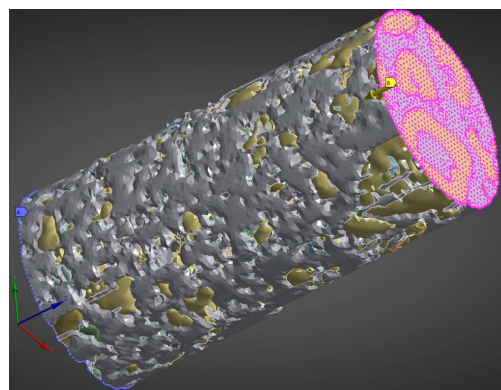


Fig. 1 Ansys 上のコンクリートコアモデル
Concrete Core Model in Ansys

* 新潟大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Science and Technology, Niigata University

** 新潟大学大学院総合学術研究科 Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Niigata University

*** 新潟大学自然科学系（農学部） Institute of Agriculture, Niigata University

キーワード：有限要素法，X線CT，シミュレーション解析，圧縮破壊試験，メッシュ生成

Table 1 解析で用いた材料モデル

Material models used in the analysis

材料	材料モデル	設定パラメータ
骨材	線形弾性	ヤング率, ポアソン比
モルタル	弾性マイクロプレーン	ヤング率, ポアソン比, 圧縮・引張強度, 破壊エネルギー
ITZ	CZM	初期剛性, 引張強度, 最大せん断牽引力, 破壊エネルギー
ひび割れ	CZM	初期剛性, 引張強度, 最大せん断牽引力, 破壊エネルギー

布によって破壊挙動が変化する．本研究では，材料分布の変化による解析精度の変化を考察した．今回用いた材料モデルを **Table 1** に示す．線形弾性モデルは，応力-ひずみ関係がフックの法則に従うという特徴を持つ．荷重除去後は損傷や塑性ひずみが生じず，損傷則を含まないため，骨材内部での損傷はほとんど生じない．弾性マイクロプレーンモデルは，マイクロプレーン理論に基づき，多方向の仮想平面（マイクロプレーン）上での応力・ひずみ関係を独立に定義することで，コンクリートの方向依存性および圧縮・引張下での損傷を表現できるモデルである．CZM（コヒーシブゾーンモデル）は，界面を挟む二面間の牽引力（法線・せん断）と開口変位の関係（牽引-分離則）によって損傷開始および進展を記述するという特徴を持ち，ひび割れ先端の応力特異性を回避しながら，混合モード下での連続的な損傷・破壊を表現する．ITZ は骨材-モルタル界面における弱い結合を，ひび割れは既存ひび割れ面での接触・分離挙動をそれぞれ表現する．

3. 結果および考察

メッシュ生成におけるモデルの材料割合について，解析対象コアにおける骨材の割合が 35.32 %，モルタルの割合が 64.54 %，ひび割れの割合が 0.14 %であった．実際のコアでも同様の分布傾向が確認されている

ことから，X 線 CT データを活用してメッシュ生成することにより，解析対象の材料分布率を高精度に再現できる可能性が示唆された．

4. おわりに

本研究では，X 線 CT データを活用した圧縮破壊試験のシミュレーション解析において，材料分布および材料特性がシミュレーションの解析精度に与える影響を考察した．検討の結果，X 線 CT データを活用することで材料分布特性を高精度に再現できる可能性が示唆された．なお，解析精度については現在検証中であり，発表時に詳細を報告する．

引用文献

- 1) Cervera, M., Barbat, G. B., Chiumenti, M. and Wu, J.-Y. (2022): A Comparative Review of XFEM, Mixed FEM and Phase-Field Models for Quasi-brittle Cracking, *Archives of Computational Methods in Engineering*, **29**(2), 1009-1083.
- 2) Huang, Y.-J., Zhang, H., Li, B.-B., Yang, Z.-J., Wu, J.-Y. and Withers, P. J. (2021): Generation of high-fidelity random fields from micro CT images and phase field-based mesoscale fracture modelling of concrete, *Engineering Fracture Mechanics*, 249, 107762.
- 3) Mishra, A., Carrara, P., Griffa, M. and De Lorenzis, L. (2025): Fracture in concrete: X-ray tomography with in-situ testing, digital volume correlation and phase-field modeling, *Cement and Concrete Research*, 199, 108012.

長期埋設実験後における樹脂管のリング剛性

Ring Stiffness of Resin Pipes after Long-Term Burial Tests

○奥田 忠弘* 西堀 由章* 藤本 光伸* 澤田 豊** 毛利 栄征***

TADAHIRO Okuda YOSHIKI Nishibori MITSUNOBU Fujimoto YUTAKA Sawada YOSHIYUKI Mohri

1. はじめに

温度管理された土槽において長期埋設クリープ試験¹⁾を実施したポリエチレン管(以下、PE 管)を用い、環片外圧試験を実施し、埋設前の変形特性と比較した。

本稿では、長期埋設後の樹脂管のリング剛性に着目し、载荷速度、クリープおよび繰返し载荷が荷重-変位関係に与える影響について報告する。

2. 試験概要

2.1 供試管

供試管は、表 1 に示す 23,044 時間の埋設クリープ試験後の PE 管(D225, SDR11, PE100, 長さ 200 mm, 平均管径 202.9 mm, 平均管厚 21.9 mm)である。長期試験における気中および乾燥砂地盤の埋設環境は、温度 $\pm 23^{\circ}\text{C}$ で管理された。

表 1 供試管の種類

管種	管番号	埋設状態 (地盤密度)	埋設中のたわみ率(%)	
			载荷直後	23,044時間後
PE	1	気中载荷	0.406	1.509
	2	D値85%	0.403	0.900
	3	D値95%	0.334	0.706

2.2 試験方法

長期埋設クリープ試験後の PE 管を用いて、以下の試験を同一試料に対して順次実施した。

(1) 単調载荷試験

JIS 規格よりも低い载荷速度条件を含む環片外圧試験(10, 5, 0.5, 0.05 mm/min)を実施した。

(2) 複合载荷試験(クリープ+繰返し载荷)

図 1 に示すように、単調载荷により所定の荷重まで载荷した後、クリープ载荷に移行し、その後繰返し载荷を行う一連のステップを組み合わせた試験である。

(3) 偏平試験

複合载荷試験後に、载荷速度 1 mm/min で変位 100 mm まで载荷した。

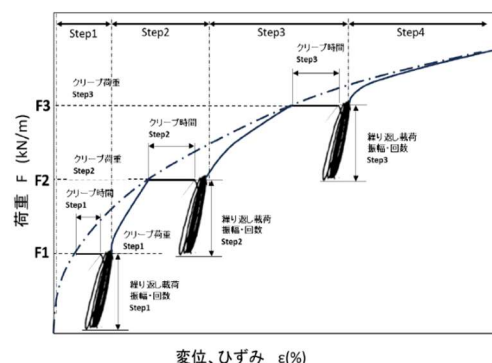


図 1 複合载荷試験の概要
(繰返し载荷のイメージ)

3. 試験結果

3.1 単調载荷試験

埋設試験前の载荷試験(JIS A 5350)と同じ载荷速度(10 mm/min)での試験結果を図 2 に示す。荷重-変位関係は埋設試験前と同様であると判断され、本試験条件の範囲ではクリープによるリング剛性(JIS K 7032 による)に変化は認められなかった。一方、载荷速度を変化させた供試管 3 の試験結果を図 3 に示す。载荷速度が低下するに従い、荷重-変位関係の傾きは小さくなる傾向が認められた。

* (株)栗本鐵工所(KURIMOTO, Ltd), ** 神戸大学大学院農学研究科(Graduate School of Agricultural Science, Kobe University), *** 茨城大学(Ibaraki University)

キーワード: ポリエチレン管、樹脂管、クリープ特性

例えば、変位 6 mm（たわみ率約 3%）において、荷重速度 0.05 mm/min では約 2.7 kN、荷重速度 10 mm/min では約 5.9 kN となり、同一変位において約 2 倍の差が生じた。このように、樹脂管の変形特性がひずみ速度に依存することは埋設試験前の原管においても確認されており、クリープ変形による顕著な特性変化は認められなかった。なお、荷重－変位関係は非線形であるため、JIS K 7032 によって求められる剛性（84 kN/m²）は荷重レベルに依存することに留意する必要がある。

3.2 複合載荷試験（クリープ＋繰り返し載荷）

埋設環境の異なる 3 種類の供試管に対する複合載荷試験結果を図 4 に示す。複合載荷試験は、2.5 kN まで載荷した後、24 時間のクリープ載荷を行い、その後繰り返し載荷を実施した。同様の手順を 5.0 kN、7.5 kN と段階的に荷重を増加させて実施した。その結果、クリープにより発生する変位量および繰り返し載荷中の荷重－変位関係に大きな差は認められず、長期埋設の影響は小さいことが確認された。また、管材のヤング係数は微小荷重（最大荷重の 5% 程度以下）の繰り返し試験により評価する必要があることから、本試験における繰り返し載荷中の荷重－変位関係から算出される剛性は 74kN/m²～106kN/m² の範囲にあり、応力レベルによる顕著な差は認められなかった。これは、単調載荷試験から得られる剛性（JIS K 7032）と比較して 1.1 倍に相当する。

3.3 偏平試験

複合載荷試験後に大変形領域の特性を評価するために実施した偏平試験の結果を図 5 に示す。荷重－変位関係はほぼ一致しており、JIS K 7032 によって求められる剛性においても、供試管の長期埋設履歴の影響は小さいことが確認された。

4. まとめ

長期埋設試験（23,044 時間）後の PE 管を用いて環片外圧試験を実施した結果、本試験条件の範囲では、埋設前後で管の剛性に顕著な差は認められなかった。また、微小荷重の繰り返し載荷から求められる剛性は、クリープおよび荷重レベルに依存せず安定しており、材料の真のヤング係数に整合するものと考えられる。さらに、PE 管の変形特性はひずみ速度に依存する粘弾性的性質を有し、この特性は長期埋設後においても維持されることが確認された。今後は、これらの特性を構造設計に反映するため、ダンベル試験等による材料特性評価を通じて、クリープ現象を考慮した変形予測手法の検討を進めていく予定である。

参考文献 1) 農業農村工学会全国大会講演会要旨：埋設条件下における樹脂管の長期的変形性能について, pp. 109-110, 2024

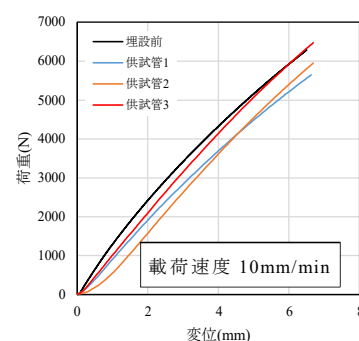


図 2 単調載荷試験結果

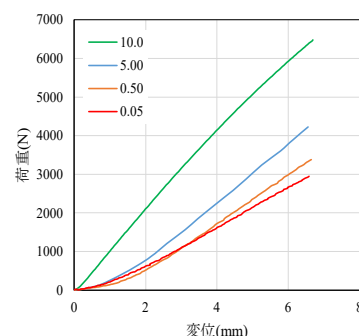


図 3 載荷速度の影響

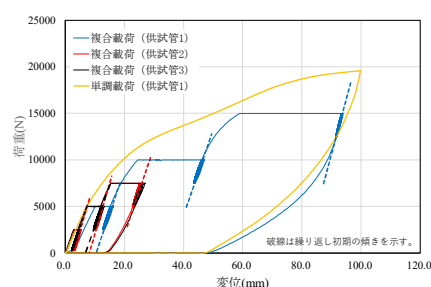


図 4 複合載荷試験結果

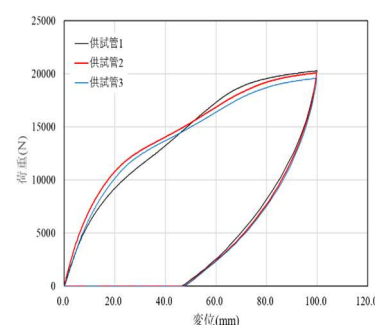


図 5 偏平試験結果

超音波法を用いたけい酸塩系表面含浸材の改質深さの推定方法の検討

A Study on the Estimation Method of Modification Depth of Silicate-Based Surface Penetrants Using Ultrasonic Testing

○ 兼近 颯一朗*, 長谷川 雄基*

KANECHIKA Soichiro*, HASEGAWA Yuki*

1. はじめに

けい酸塩系表面含浸工法は、施工後に外観変化がほとんど生じないため、現地における性能確認が困難である。この課題に対し、筆者らは、非破壊で表層内部の緻密性を評価可能な超音波法の適用を検討してきた^{1), 2)}。

これまでの研究では、特定の1種類の含浸材を使用して、配合や養生条件ごとの含浸材の改質効果の発揮のされ方の違いや、それに伴う、超音波法で改質効果を評価できる条件を整理してきた。加えて、超音波法を表面走査法で適用する場合、超音波の波長と端子間距離の関係が測定精度に影響を及ぼすことを指摘している³⁾。以上より、含浸材による改質効果を超音波法で評価する際の適用条件や測定原理に関する知見が蓄積されつつある。

本研究では、先行研究とは異なる含浸材を使用した場合にも同様の傾向が得られるのかという普遍性を検証するとともに、得られた結果について、改質深さの推定への適用可能性を検討することを目的とする。

2. 実験の概要

2.1 供試体の概要

本研究では、モルタル供試体を対象とし、配合条件として水セメント比(以下, W/C)が40, 50, 60%の3水準を設定した。細骨材には安山岩系砕砂を用い、砂セメント比は2.0とした。供試体は、セメントの強さ試験(JIS R 5201)に準拠した三連型枠を用いて作製し、1体あたりの寸法は40×40×160mmとした。打設後は24

時間室内に静置し、その後脱型を行った。脱型後は、水中養生供試体については20℃の恒温水槽内で、気中養生供試体については室内環境下で、いずれも材齢28日まで養生を行った。

材齢28日経過後、供試体底面の1面のみに含浸材を塗布した供試体および無塗布の供試体を各養生条件につき3体ずつ準備した。

2.2 超音波法の概要

超音波法は、供試体底面および側面の1面において端子間距離80mmの表面走査法を実施した後、両端面間160mmの長手方向で直接法を行った。塗布供試体については、底面と打設面を挟んだ40mm間においても直接法を実施した。以上の条件により、供試体の超音波伝播特性を詳細に評価し、改質深さの推定可能性の検討を試みた。使用した端子は直径38mmの円形であり、周波数54kHzの条件で試験を実施した。なお、水中養生の供試体については、測定後、50℃一定の乾燥炉で乾燥させた後、再度測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 超音波法による改質効果の評価における普遍性の確認

表面走査法で測定した各W/Cおよび養生条件における超音波伝播時間を図1および図2に示す。

気中養生と水中養生後乾燥の条件では、含浸材を塗布した供試体は無塗布供試体と比較して伝播時間が小さくなる傾向が確認された。これは、含浸材の改質反応により表層部

*香川高等専門学校, National Institute of Technology Kagawa College, キーワード: 超音波法, 表面走査法, 波長

が緻密化し、超音波の伝播が速くなったためと考えられる。一方で、水中養生では細孔内の水の影響で、改質効果の正確な評価が困難となる場合があった。これらの結果は、先行研究において示された傾向と一致している。したがって、本研究で対象とした含浸材を用いた場合においても、先行研究と同様の傾向が確認され、超音波法による改質効果の評価の普遍性が示された。

3.2 測定面の違いに基づく超音波伝播特性の詳細評価

気中養生供試体の底面（含浸材塗布面）および側面（無塗布面）における表面走査法の結果を図3に示す。

いずれの W/C においても、同一供試体における底面の伝播時間は側面より短くなる傾向が確認された。これは、底面の測定では超音波が表層の改質層を主に伝播するのに対し、側面の測定ではほぼ未改質の領域が伝播経路となるためと考えられる。また、W/C の増加に伴い底面と側面の伝播時間の差が拡大する傾向が確認された。

以上より、測定面の違いにより得られる超音波伝播特性の差は、表層改質の影響を反映していると考えられる。この差に着目することで、他の指標との関連性や改質深さの推定指標として利用できることが示唆された。今後は、ビッカース硬さ試験により得られる硬

さ分布や改質深さとの対応関係を整理し、本手法の改質深さ推定への適用性を検討する。

4. まとめ

本研究より、超音波法による改質効果の確認に関する普遍性が確認された。今後は、改質深さの推定方法を具体化させていく予定である。

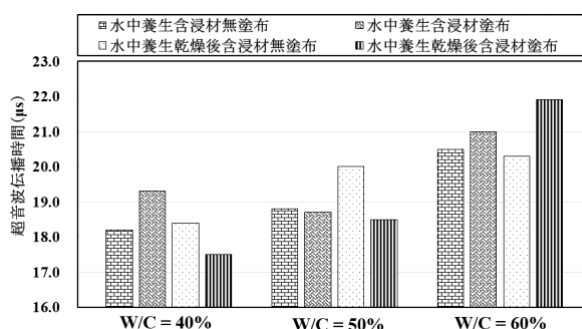


図2 水中養生における超音波伝播時間

Ultrasonic Pulse Time under Water Curing

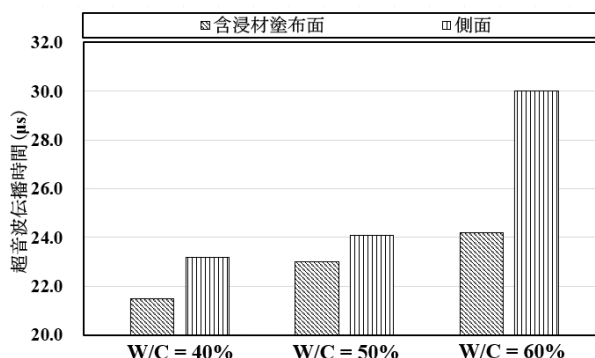


図3 測定面の違いによる超音波伝播時間の比較

Effect of Measurement Surface on Ultrasonic

Pulse Time

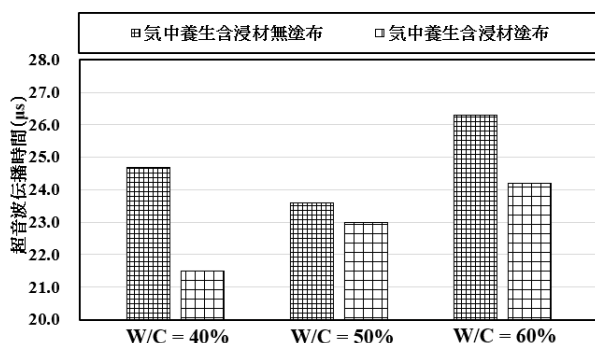


図1 気中養生における超音波伝播時間

Ultrasonic Pulse Time under Air Curing

参考文献

- 1) 長谷川ら：けい酸塩系表面含浸材の改質評価における超音波法の適用性に関する基礎検討，2020年度（第69回）農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.105-106，2020，
- 2) 長谷川雄基：室内実験における超音波法を用いたけい酸塩系表面含浸材の改質効果の確認方法，2025年度（第74回）農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.443-444，2025，
- 3) 兼近ら：超音波法における端子間距離と波長の関係が測定精度に及ぼす影響，2025年度（第74回）農業農村工学会大会講演会講演要旨集，pp.437-438，2025。