

令和元年6月19日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06584

研究課題名（和文）コンクリート表層部に形成される脆弱層の性状に及ぼすブリーディングの影響

研究課題名（英文）INFLUENCE OF BLEEDING ON THE PROPERTIES OF FRAGILE LAYER FOMED ON CONCRETE SURFACE

研究代表者

月永 洋一（TSUKINAGA, YOICHI）

八戸工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60124898

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリートの表層部には脆弱層が形成され、部材断面厚が厚くなると、また部材高さが高くなると表層部の品質は劣ることを明らかにした。表層部の品質低下はブリーディングの影響が大きく、ブリーディング量が多くなると表層部の品質低下は大きくなる傾向にあるが、型枠の側面に沿って上昇するブリーディング水は均一には上昇せず、したがって表層部の品質低下も均一とはならず、各種試験の測定値はばらつきの大い結果となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでコンクリート表層部に形成される脆弱層は定性的には認識されているものの、一般的には断面内の品質は均質なものと仮定されて研究および現場施工が行われてきた。しかし、コンクリートの部材断面厚および部材高さ方向による表層部脆弱層の品質差を考慮することにより、より合理的で精度の高い品質管理・維持管理および劣化進行の評価・予測が可能となり、コンクリートの打設・養生においても高品質な表層部形成のための施工方法の進展が期待される。

研究成果の概要（英文）：It was clarified that the quality of the surface fragile layer declined as the thickness of the cross section of the member became thicker or the height of the member increased. The quality deterioration of the surface layer is largely affected by bleeding, and the quality deterioration of the surface layer tends to increase as the amount of bleeding increases, but the bleeding water rising along the side of the mold does not increase uniformly. Therefore, the quality deterioration of the surface layer is not uniform, and the measured values of various tests show large variations.

研究分野：建築材料学，コンクリート工学

キーワード：建築構造・材料 コンクリート 表層部 脆弱層 部材断面厚 部材高さ

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

コンクリート側面の表層部は劣化外力に対して鉄筋を保護するという機能を有し、その品質は構造物の耐久性を大きく左右する。したがって、コンクリート表層部の品質を確保することは極めて重要な課題である。しかし、表層部には脆弱層が形成され、内部と品質差を生じることが知られている。これらは定性的には認識されているものの、脆弱層の定量的な評価はほとんどなされていない。

申請者らの既往の研究において、改良プルオフ法の開発研究では、供試体側面からの深さ5mm および15mm の位置で内部に比べて強度が減少することから、表層部の脆弱層の存在を考察した。また、吸引鐘を用いた簡易透気試験による部材断面厚さを変えた簡易透気係数の測定では、当初は部材断面厚が増すと供試体の測定面に対する反対側面からの空気の流入が少なくなり、透気係数は減少するものと予想したが、種々の条件を設定した数度の実験においても予想とは反し、図1に示すように部材断面厚が増すと透気係数は増加する結果となった。これは、部材断面厚が増すと型枠側面に沿う水みちが多く形成されて、型枠側面側で多くのブリーディング水が上昇し、このため表層部に多くの脆弱層が形成されて透気係数が増加するものと考えられた。このことは、部材断面厚によって表層部に形成される脆弱層の性状は異なり、コンクリートへの物質透過性も異なってくることを示唆する。このため、さらに検証のための実験を行い、部材断面厚が増すと、表層部コンクリートは、透気性に加えて、反発度や音速、プルオフ強度などの強度指標値および中性化深さや凍結融解によるスケール量などの劣化指標値は劣る傾向を示した。さらに、表層部脆弱層の形成は、型枠側面側で多くのブリーディング水が上昇することに起因することを一部実験において確認したが、これらを明確に示すための検証実験が課題となっている。

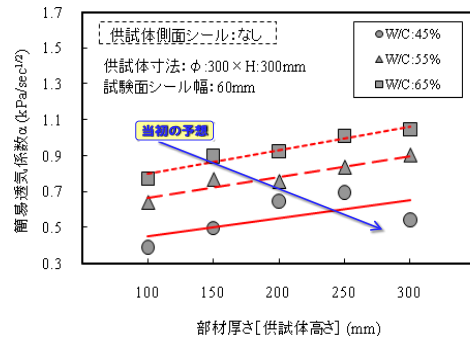


図1 部材厚さと簡易透気係数の関係

2. 研究の目的

コンクリート側面の表層部には脆弱層が形成され、断面内部と比べるとその品質は劣る。また、脆弱層の品質は、部材の高さ方向や水平方向の部材端部と中央部とでも異なる。さらに、脆弱層の品質は部材の厚さによっても異なる。

申請者らは、これまでの研究により上記の知見を得たが、脆弱層が形成される主要因はブリーディングの影響が大きいことを明らかにした。本研究では、コンクリート表層部の脆弱層の形成とその品質を小型試験体および大型試験体を対象としてこれまでの結果を検証し、コンクリートの劣化の評価・予測に資することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 小型試験体の作製と試験項目

写真1に示すように、高さHを300mmに固定し、幅W・奥行Dを300, 250, 200, 150, 100mmと5種類に変化させ、試験体の断面厚の違いによる脆弱層の性状について検討した。

試験項目は、ブリーディング量のほか、物性試験として、音速、透気係数、表面吸水速度、密度、空隙率および劣化促進試験として、スケール量、中性化深さとし、試験体3体の平均値から検討を加えた。



写真1 小型試験体作製用型枠

(2) 大型試験体の作製と試験項目

写真2に示すように、幅W・奥行Dを300mmに固定し、高さHを500, 1000, 1500mmと3種類に変化させ、試験体の断面厚および高さの違いによる脆弱層の性状について、小型試験体と同様の試験を実施し、試験体3体の平均値から検討した。

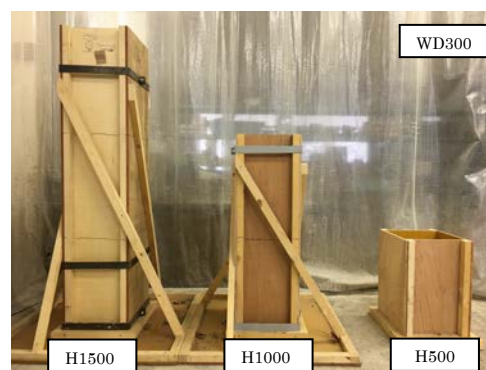


写真2 大型試験体作製用型枠

4. 研究成果

(1) 小型試験体の脆弱層の性状

音速は内部に比べて表層部が低下し、表層部に脆弱層が形成されていることが認められ、また表層部の音速は部材断面厚の増加によって低下する

ことが認められた(図2)。音速から推測される表層部脆弱層の厚さは28~53mm程度であり(図3), ブリーディング量が増加すると脆弱層の厚さは増加することが認められた。

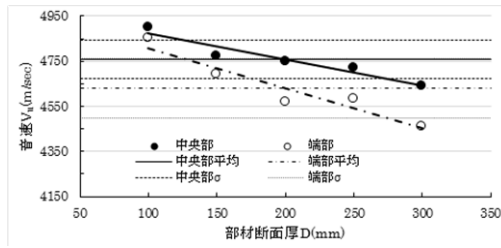


図2 音速と部材断面厚

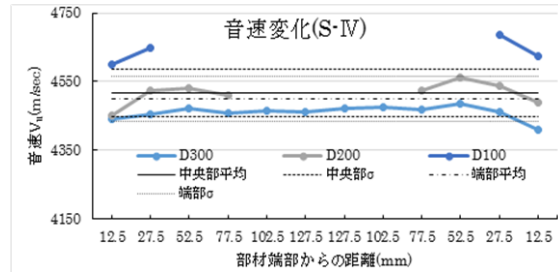


図3 音速と部材端部からの距離

透気係数は部材断面厚増加による明確な変化は認められず, ブリーディング量と透気性の関係には明確な傾向は認められなかった。

表面吸水速度は部材断面厚増加によって増加する傾向を示し, 断面厚増加によって脆弱層の品質は劣ることが認められた(図4)。しかし, 吸水性が低下する原因として, ブリーディング量との明確な関係は認められなかった。

スケーリング量は内部より表層部で多く発生し, 表層部に脆弱層が形成されていることが認められた(図5)。またスケーリング量は部材断面厚が増すと増加する傾向を示し(図5), 凍結融解サイクルの初期段階で多く発生することが認められた。

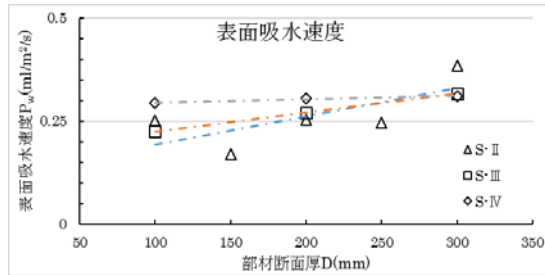


図4 表面吸水速度と部材断面厚

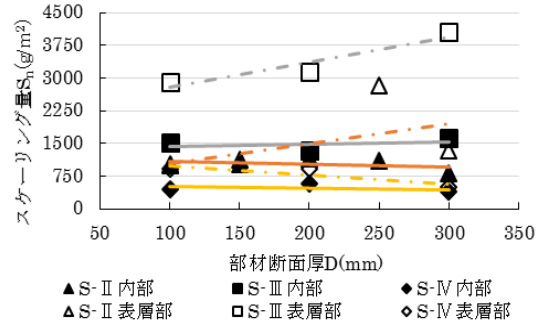


図5 内部スケーリング量と部材断面厚

中性化深さは内部より表層部で大きな値を示し, 表層部に脆弱層が形成されていることが認められた。また部材断面厚が増すと表層部の中性化深さは増加することが確認された(図6)。

密度は表面から深さ方向にかけての明確な変化は確認されなかったが, 表層部の空隙率は部材内部より高い傾向が認められ, 空隙率から推測される表層部脆弱層の厚さは25~50mm程度であると考えられた(図7)。

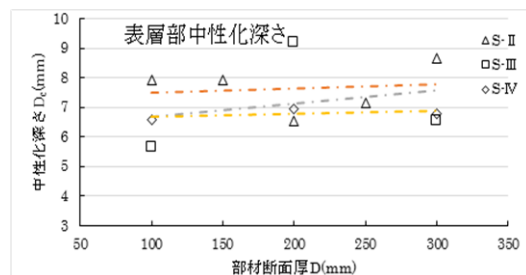


図6 表層部中性化深さと部材断面厚

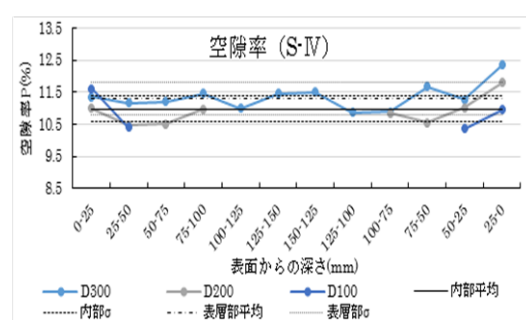


図7 空隙率と表面からの深さ

(2) 大型試験体の脆弱層の性状

1) 測定高さの影響

音速は内部より表層部が減少し, 表層部に脆弱層が形成されていることが認められた(図8)。また部材下部から上部に向かうにつれて音速は低下し, 表層部の品質は低下する傾向にあり(図8), ブリーディングの影響があるものと考えられた。音速から推測される表層部脆弱層の厚さは50mm程度と考えられた(図9)。

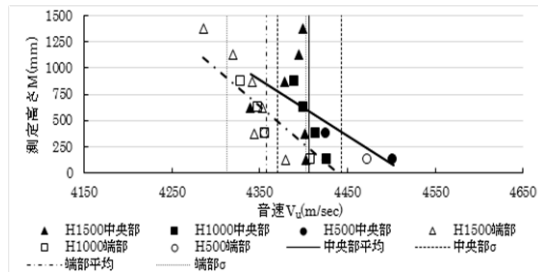


図 8 音速と測定高さ

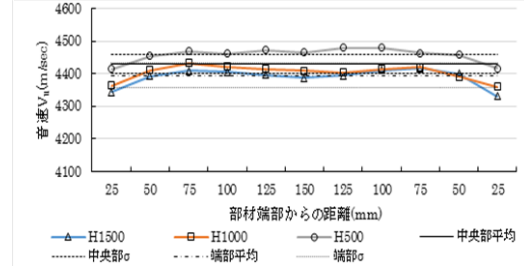


図 9 音速と部材端部からの距離

透気係数および表面吸水速度は、ブリーディング量が増加すると部材下部から上部に向かうにつれて大きくなる傾向を示し、部材上部ほど表層部脆弱層の品質は劣ることが認められた(図 10, 図 11)。

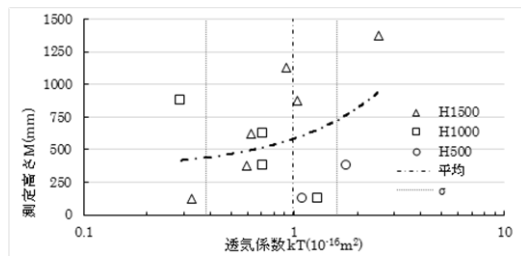


図 10 透気係数と測定高さ

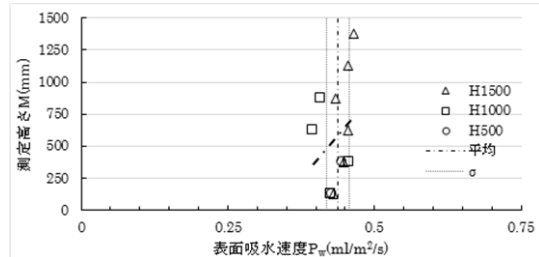


図 11 表面吸水率と測定高さ

スケーリング量は、ブリーディング量が多い試験体において内部より表層部で多く、部材下部から上部に向かうにつれて多くなり、この傾向は凍結融解サイクルの初期段階において顕著であった(図 12)。中性化深さは、内部より表層部で大きな値を示し、部材下部から上部に向かうにつれて大きくなる傾向を示し(図 13)、部材上部ほど表層部脆弱層の品質は低下することが認められた。

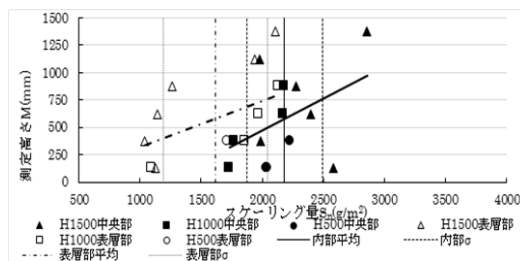


図 12 スケーリング量と測定高さ

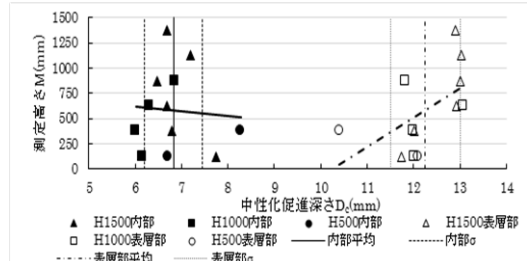


図 13 中性化深さと測定高さ

密度および空隙率は、表面からの深さ 25-50mm あるいは 10-20mm で変化する場合があるが、ばらつきが大きく明瞭な傾向は認められないものの、ブリーディング量が多い試験体においては部材下部から上部に向けて表層部脆弱層の密度は減少し、空隙率は増加する傾向を示し(図 14, 図 15)、部材上部ほど表層部脆弱層の品質は低下することが認められた。

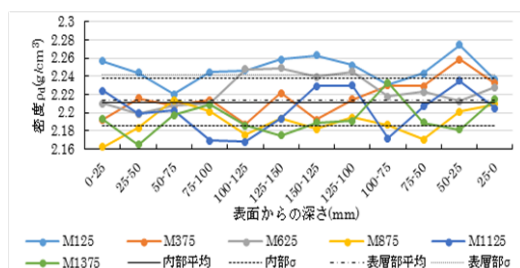


図 14 絶対乾密度と表面からの深さ

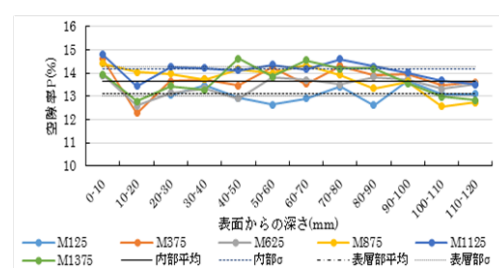


図 15 空隙率と表面からの深さ

2) 試験体高さの影響

音速は内部より表層部が低下し、内部および表層部とも部材高さが増すと低下する傾向を示した。さらに試験体端部の値も同様に低下する傾向を示した(図16)。音速による結果からは、表層部脆弱層は表面からの深さ25~75mmに形成されるものと考えられた。透気係数は、部材高さが増すと増加する傾向を示し、表層部の透気性は増加することが認められた(図17)。表面吸水速度においても部材高さが増すと増加し、表層部の吸水性は増加することが認められた。

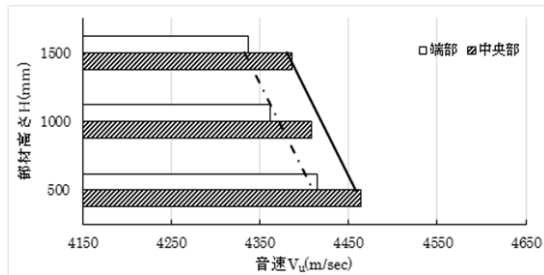


図16 音速と部材高さ

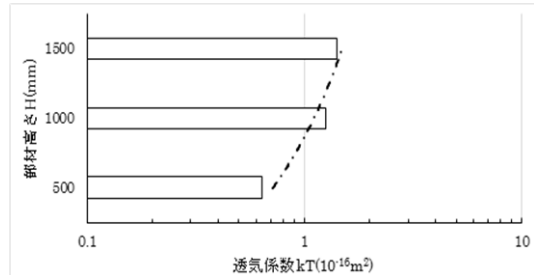


図17 透気係数と部材高さ

スケーリング量は内部より表層部が多く、内部および表層部とも部材高さが増すと増加する傾向を示した(図18)。また凍結融解サイクルの初期段階において、この傾向は顕著であった。

中性化深さにおいても内部より表層部が大きく、表層部の値は部材高さが増すと増加する傾向にあった(図19)。

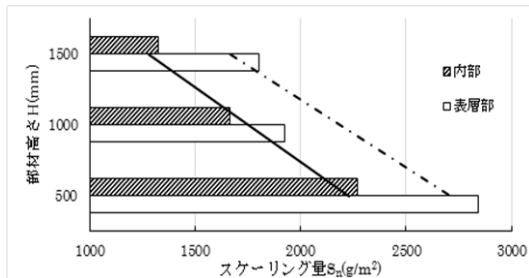


図18 スケーリング量と部材高さ

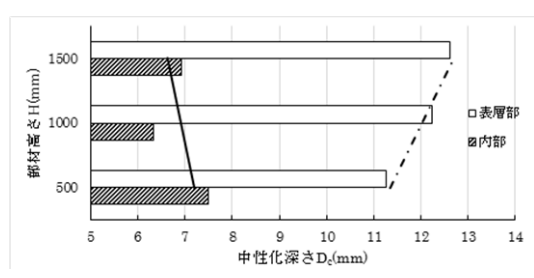


図19 中性化深さと部材高さ

密度は表面からの深さ10-25mmで小さな値を示し、密度の試験結果からは表面からの深さ10-25mmに脆弱層が形成されるものと考えられた。また部材高さが増すと脆弱層の密度は低下し、ブリーディング量が増加すると脆弱層の密度は低下する傾向にあった(図20)。

空隙率においても表面からの深さ10-25mmで大きな値を示し、表面からの深さ10-25mmに脆弱層が形成されるものと考えられ、ブリーディング量が増加すると脆弱層の空隙率は低下する傾向にあった(図21)。

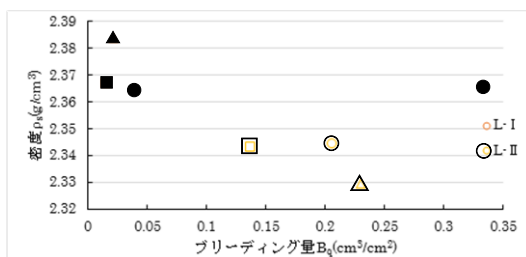


図20 表乾密度と端部ブリーディング量

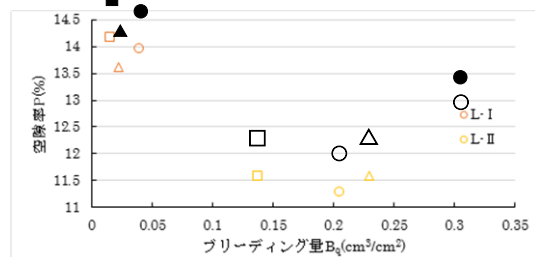


図21 空隙率と端部ブリーディング量

(3) まとめ

小型試験体および大型試験体において、側面表層部には脆弱層が形成され、脆弱層は部材断面厚が増すと、また部材高さが増すとその品質は低下し、脆弱層の厚さは25~75mm程度と考えられた。表層部脆弱層の品質低下はブリーディングの影響が大きく、ブリーディング量が多くなると表層部の品質低下は大きくなる傾向にあるが、型枠の側面に沿って上昇するブリーディング水は均一には上昇せず、したがって表層部の品質低下も均一とはならず、各種試験の測定値はばらつき大きい結果となった。

これまでコンクリート表層に形成される脆弱層は定性的には認識されているものの、一般的には断面内の品質は均質なものと仮定して研究および現場施工が進められてきた。しかし、コ

ンクリートの部材断面厚および部材高さ方向による表層部脆弱層の形成とその品質差を考慮することにより、より合理的で精度の高い品質管理・維持管理および劣化進行の評価・予測が可能となり、コンクリートの打設・養生においても高品質な表層部形成のための施工技術の進展が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① 坂本 光志, 迫井 裕樹, 月永 洋一, 阿波 稔, コンクリート表層部に形成される脆弱層の性状に及ぼすブリーディングの影響, 日本建築学会東北支部研究報告集・構造系, 査読無, 第80号, 2017, pp.103-108
- ② 坂本 光志, 月永 洋一, 迫井 裕樹, 阿波 稔, コンクリート表層部における非破壊試験の適用性, 日本建築学会東北支部研究報告集・構造系, 査読無, 2018, 第81号, pp.127-132
- ③ K.Sakamoto, Y.Tsukinaga, Y.Sakoi and M.Aba, Non-Destructive Evaluation of Surface Fragile Layer of Concrete Structure, The Sixth Japan-US NDT Symposium Emerging NDE Capabilities for a Safer World, 査読有, 2018, CD-ROM
- ④ K.Sakamoto, Y.Tsukinaga, M.Aba and Y.Sakoi, INFLUENCE OF MEMBER HEIGHT ON FORMATION OF FRAGILE LAYER IN SIDE OF FORMWORK, 43th Conference on Our World in Concrete & Structures, 査読有, 2018, pp.381-387

〔学会発表〕(計2件)

- ① 坂本 光志, 月永 洋一, 迫井 裕樹, 阿波 稔, コンクリート表層部に形成される脆弱層の非破壊試験による評価, 日本非破壊検査協会, 平成28年度秋季講演大会講演梗概集, 2016, pp.95-98
- ② 坂本 光志, 阿波 稔, 月永 洋一, 迫井 裕樹, 非破壊試験によるコンクリート表層部脆弱層評価への適用性, 日本建築学会大会学術講演会梗概集(東北)・材料施工, 2018, pp.699-700

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 阿波 稔

ローマ字氏名: (ABA, minoru)

所属研究機関名: 八戸工業大学

部局名: 大学院工学研究科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 10295959

研究分担者氏名: 迫井 裕樹

ローマ字氏名: (SAKOI, yuki)

所属研究機関名: 八戸工業大学

部局名: 大学院工学研究科

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 30453294

(2)研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。