

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360231

研究課題名(和文) コンクリート表層部の脆弱層の形成とその性状の定量化に関する研究

研究課題名(英文) Study on formation and quantification of quality of the fragile layer of a concrete surface

研究代表者

月永 洋一 (TSUKINAGA, YOICHI)

八戸工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60124898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)： コンクリート表層には、ブリーディングや種々の環境条件により脆弱な層が形成され、内部コンクリートとの品質差を生じることが知られている。本研究は、この表層部脆弱層の形成に影響を及ぼす因子として、コンクリート部材の断面厚さに着目し実験的な検討を行った。

本実験の結果から、部材断面の増加に伴って、脆弱層の形成に影響すると思われるブリーディングが増加し、型枠近傍において最も顕著となることを明らかにした。また、部材断面の厚さが増加すると、表層部の強度、透気性、スケーリング抵抗性および中性化はより大きい差を生じ、コンクリート表層部の強度と耐久性は、部材断面の厚さによって相違を生じることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)： It is widely known that the surface fragile layer of concrete is formed by the influence of bleeding and environmental conditions, and that it causes the difference in quality between the surface layer of concrete and the inner layer of concrete. In this study, the factor which was considered to have an influence on the forming of surface fragile layer was the thickness of the member section, and on this hypothesis the experiment was conducted.

Bleeding which seems to influence the forming of the fragile surface layer as the member section increased and became most noticeable in the areas near the mold. The more the thickness of the member section was increased, the greater the difference in the surface strength, the permeability, scaling resistance and carbonation, respectively. As a result, it was shown that the strength and durability of a concrete surface part produce a big difference by difference of the thickness of a member section.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

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 強度 耐久性 劣化

1. 研究開始当初の背景

コンクリート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。また、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が、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。

研究開始当初での研究においては、透気性の評価において、透気係数は部材断面厚が増すと増加する結果となったことから、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。したがって、コンクリートの劣化の評価や予測においては基本的問題を投じることになり、表層部脆弱層の性状を明らかにすることは重要な課題であると考えられた。

2. 研究の目的

外的劣化因子の浸入・拡散によるコンクリートの劣化は、コンクリートの品質が表層部から内部まで均質なものと仮定して評価・予測されている。しかし、コンクリート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おり、精度の高い劣化の評価・予測のためには、表層部に形成される脆弱層の品質や厚さなどの性状を明らかにする必要がある。

本研究では、コンクリートの劣化の評価・予測に資するため、表層部に形成される脆弱層の性状を定量的に明らかにする。特に、この脆弱層は、コンクリートの部材断面厚によって異なると考えられたことから、断面厚による脆弱層の性状の差異に着目する。さらに、

脆弱層の存在が、中性化、塩化物イオン浸透および凍害(スケーリング)の進行速度に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 小型試験体による脆弱層の評価

高さ 300mm×幅 300mm、厚さ 100、150、200、250、300mm とした 5 種類のコンクリート小型試験体を作製した。コンクリートの水セメント比は 45%、55%、65%とし、目標空気量は 5%、目標スランプは 10cm とした。養生は材齢 5 日まで湿潤養生とし、材齢 28 日までは気中養生とした。

脆弱層の評価においては、コンクリート打設時にブリーディングを測定し、材齢 28 日以降に、強度指標値として、反発度、音速、ブルーフ強度、微視的指標値として、細孔構造、ビッカース硬さ、透気性指標値として、簡易透気係数、トレント透気係数、劣化指標値として、スケーリング量、中性化深さ、塩化物イオン浸透深さの以上 10 項目を測定した。

(2) 大型試験体による脆弱層の評価

高さ 1600×幅 600mm、厚さ 100、200、300mm とした 3 種類の実構造物を想定したコンクリート大型試験体を作製した。水セメント比は 52%とし、目標空気量は 4.5%、目標スランプは 12cm とした。養生は材齢 5 日まで湿潤養生とし、材齢 28 日までは屋外暴露とした。

脆弱層の評価においては、反発度、音速、トレント透気係数、および劣化指標値として、スケーリング量、中性化深さ、塩化物イオン浸透深さを測定した。

4. 研究成果

(1) 小型試験体による脆弱層の評価

ブリーディングの評価

脆弱層形成の主な要因はブリーディングであると考えられたため、型枠の近傍と中心部のブリーディング量の差および部材断面厚の

差異によるブリーディング量の差を検証した。

ブリーディングは、型枠の近傍で多くなる傾向をし、型枠近傍では水分の多い脆弱なコンクリートが形成されると考えられる。

水セメント比(以下 W/C と表記) 65%の部材断面厚 150mm では、中心部に比べて型枠近傍で約 7%の増加に対し、部材断面厚の厚い 300mm では 39%の増加となり、部材断面厚の厚いもの程、型枠近傍と中心部のブリーディング量の差が大きくなる傾向を示した。

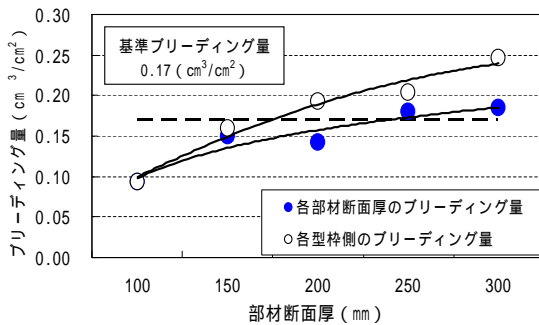


図1 水セメント比 65%のブリーディング量

強度指標値の評価

反発度は、内部に比べて表層部では、W/C45%で 12%、W/C55%で 5%、W/C65%で 5%減少する結果となり、音速、プルオフ強度でも同様の傾向が確認された。これは、表層部に強度の低い脆弱層が形成されたため、内部に比べて強度指標値が低下したものと考えられる。

部材断面厚の差異において、音速は、厚さ 100mm に比べ厚さ 300mm では、W/C45%で 1%、W/C55%で 1%、W/C65%で 2%減少する結果となり、反発度、プルオフ強度でも同様の傾向が確認された。したがって、部材断面厚が厚くなる程、強度指標値が減少することが確認された。

微視的指標値の評価

平均細孔径は、内部に比べて表層部では、W/C45%で 48%、W/C55%で 11%、W/C65%で 42%増大する結果となり、総有効細孔量でも同様の傾向が確認された。これは、表層部に物質移動抵抗性の低い脆弱層が形成さ

れたため、内部に比べて平均細孔径および総有効細孔量が増加したものと考えられる。

部材断面厚の差異において、ピッカース硬さ(深さ 5mm)は、厚さ 100mm に比べて厚さ 300mm では、W/C55%で 15%減少する結果となった。また、総有効細孔量(深さ 30mm)は、W/C45%で 10%、W/C55%で 8%、W/C65%で 23%増加する結果となり、平均細孔径でも同様の傾向が確認された。したがって、部材断面厚が厚くなる程、微視的指標値においても脆弱層が増加することが確認された。

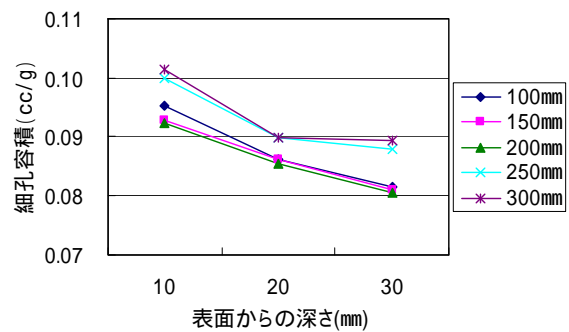


図2 水セメント比 45%の総有効細孔量

透気性指標値の評価

簡易透気係数は、内部に比べて表層部では、W/C45%で 23%、W/C55%で 9%、W/C65%で 26%増加する結果となり、トレント透気係数でも同様の傾向が確認された。これらの結果により、表層部には物質透過性の高い脆弱層が形成されることが確認された。

部材断面厚の差異において、トレント透気係数は、厚さ 100mm に比べて厚さ 300mm では、W/C45%で 44%、W/C55%で 39%、W/C65%で 67%増加する結果となり、簡易透気係数でも同様の傾向が確認された。したがって、部材断面厚が厚くなる程、透気性が増加して物質透過性に影響を及ぼすことが確認された。

劣化指標値の評価

スケーリング量は、内部に比べて表層部では、W/C45%で 2.7 倍、W/C55%で 2.1 倍、W/C65%で 1.2 倍増加する結果となり、中性化

深さでも同様の傾向が確認された。しかし、塩化物イオン浸透深さでは内部の値が表層部の値を上回る結果となり、供試体の切断加工時の骨材の剥離や遷移帯の損傷が、溶液の浸透をまねいたものと考えられる。以上より、表層部では脆弱層が形成されたために、内部に比べ劣化進行速度が速くなったものと考えられる。

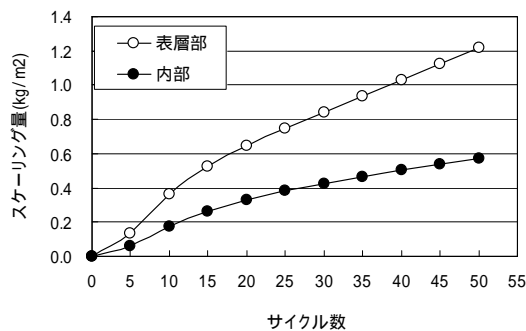


図3 水セメント比 55%のスケールン

部材断面厚の差異において、中性化深さは、厚さ 100mm に比べて厚さ 300mm では、W/C45%で 17%，W/C55%で 16%，W/C65%で 8%増加する結果となり、塩化物イオン浸透深さでも同様の傾向が確認された。しかし、スケールン量は、W/C45%と 65%において部材断面厚の薄いものほどスケールン量が多くなる傾向を示し、断面厚によるコンクリートの吸水性状による差や試験のばらつきが影響したものと考えられた。以上より、部材断面厚が厚くなる程、劣化抵抗性が低下し、部材断面厚の差異が劣化進行速度に影響を及ぼすことが確認された。

(2) 大型試験体による脆弱層の評価

音速の評価

音速は、部材断面厚が厚くなるにつれて、遅くなる傾向が見られた。また、打設面からの高さが増すにつれて速くなりやすいことが明らかとなった。したがって、部材断面厚や部材高さにより、コンクリートの品質が異なるものと考えられる。

反発度の評価

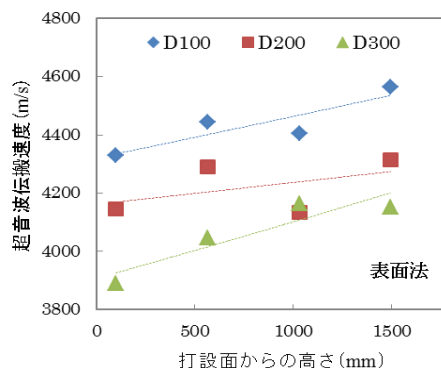


図4 大型供試体の音速

反発度は、いずれの部材断面厚においても、試験体の端部の方が中心部より低くなりやすいことが明らかとなった。また、部材断面厚や打設面からの高さが増すにつれて反発度の値も高くなる傾向にあった。当初は、部材断面厚が増すと反発度は小さくなると予想したが、反発度の測定においては部材のポリュームが影響していると考えられる。

トレント透気係数の評価

トレント透気係数は、一般的なコンクリートでは $0.1 \sim 1.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ の値を示し、値が増加するに従って品質が低下する。各試験体の値は、上記の値の範囲にあるが、部材断面厚が厚くなるにつれて、また、打設面からの高さが低くなるにつれて、透気係数は高くなる傾向がみられた。

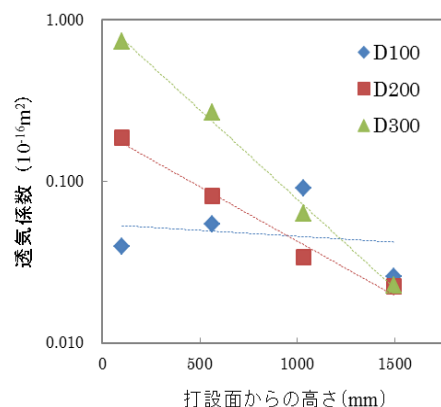


図5 トレント透気係数

劣化指標値の評価

中性化深さは、部材断面厚の違いによる顕著な差は見られなかったが、打設面からの高

さが増すにつれ、中性化深さが浅くなる傾向がみられた。

塩化物イオン浸透深さは、部材断面厚が増すにつれて、また打設面からの高さが低くなるにつれて深くなる傾向が確認された。

スケーリング量においては、部材断面厚が増すにつれて大きくなる傾向にあり、また、打設面からの高さが低くなるにつれて増大する傾向が確認された。

(3) まとめ

コンクリート表層部に形成される脆弱層は、部材の断面厚や高さにより、品質は異なり劣化抵抗性も異なることが確認された。

これまで、外的劣化因子の浸入・拡散によるコンクリートの劣化は、コンクリートの品質が表層部から内部まで均質なものと仮定して評価・予測されている。したがって、精度の高い劣化の評価・予測のためには、今後の研究の蓄積により、表層部に形成される脆弱層の品質や厚さなどの定量的性状をさらに明らかにする必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

後藤忠平, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, コンクリート表層部の脆弱層の品質に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), A-1 材料施工, 印刷中, 2014, 査読無

後藤忠平, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, コンクリート表層部の脆弱層の形成とその評価, 日本建築学会東北支部研究報告集, 構造系, 第77号, pp.143-146, 2014, 査読無

川端拓馬, 渡邊浩平, 迫井裕樹, 阿波稔, 部材厚の違いがコンクリートの表層品質に及ぼす影響, 平成24年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, V-41, 2013, 査読無

市川達朗, 迫井裕樹, 阿波稔, 月永洋一, 建造後80年を経過した実橋梁の耐久性調査, 土木学会 第68回年次学術講演会, V-538, pp.1075-1076, 2013, 査読無

佐藤陽貴, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), A-1 材料施工, pp.475-478, 2012, 査読無

権代由範, 佐藤茂弥, 庄司等, 月永洋一, コンクリートの表層透気性に及ぼす表面含水率および空気量の影響に関する一検討, 日本建築学会東北支部研究報告集, 構造系, 第75号, pp.9-12, 2012, 査読無

佐藤陽貴, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究, 日本建築学会東北支部研究報告集, 構造系, 第75号, pp.13-18, 2012, 査読無

佐藤陽貴, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, 非破壊試験によるコンクリート表層部脆弱層の評価に関する研究, コンクリート構造物の非破壊検査論文集, Vol.4, pp.441-446, 2012, 査読無

H.Sato, Y.Tsukinaga, M.Aba, Y.Sakoi, Y.Gondai, EFFECTS ON FORMING OF FRAGILE LAYER OF SURFACE BY THICKNESS OF MEMBER SECTION OF CONCRETE, 37th Conference on Our World in Concrete & Structures, Vol.31, pp.383-390, 2012, 査読無

権代由範, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 吸引鐘を用いたコンクリートの簡易透気試験法に関する基礎的検討とスケーリング抵抗性評価への適用の試み, 日本建築学会構造系論文集, Vol.77, No.678, pp.1193-1202, 2012, 査読有

佐藤陽貴, 月永洋一, 阿波稔, 迫井裕樹, 権代由範, 小笠原慎, コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究, 日本建築

学会東北支部研究報告集，構造系，第74号，pp.137-142，2011，査読無

権代由範，月永洋一，庄谷征美，阿波稔，コンクリート部材の断面厚さの相違が表層部脆弱層の形成に及ぼす影響，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.391-397，2011，査読有

権代由典，月永洋一，コンクリートの部材厚さによる表層部脆弱層の形成に関する研究，日本建築学会東北支部研究報告集，構造系，第73号，pp.7-10，2010，査読無

〔学会発表〕(計10件)

後藤忠平，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，コンクリート表層部の脆弱層の品質に関する研究，2014年度日本建築学会大会学術講演会 2014年9月14日，神戸大学

後藤忠平，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，コンクリート表層部の脆弱層の形成とその評価，第77回日本建築学会東北支部研究報告会 2014年6月21日，日本大学工学部

市川達朗，迫井裕樹，阿波稔，月永洋一，建造後80年を経過した実橋梁の耐久性調査，土木学会 第68回年次学術講演会，2013年6月9日，日本大学生産工学部

川端拓馬，渡邊浩平，迫井裕樹，阿波稔，部材厚の違いがコンクリートの表層品質に及ぼす影響，平成24年度土木学会東北支部技術研究発表会，2013年3月9日，東北大学

佐藤陽貴，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究，2012年度日本建築学会大会，2012年9月12日，名古屋大学

佐藤陽貴，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，非破壊試験によるコンクリート表層部脆弱層の評価に関する研究，第4

回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム，2012年8月10日，日本大学理工学部

権代由範，佐藤茂弥，庄司等，月永洋一，コンクリートの表層透気性に及ぼす表面含水率および空気量の影響に関する一検討，第75回日本建築学会東北支部研究報告会，2012年6月16日，八戸工業大学
佐藤陽貴，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究，第75回日本建築学会東北支部研究報告会 2012年6月16日，八戸工業大学

佐藤陽貴，月永洋一，阿波稔，迫井裕樹，権代由範，小笠原慎，コンクリート表層部脆弱層の形成に関する研究，第74回日本建築学会東北支部研究会 2011年6月25日，大学コンソーシアムあきたカレッジプラザ

権代由典，月永洋一，コンクリートの部材厚さによる表層部脆弱層の形成に関する研究，日本建築学会東北支部研究報告集，構造系，第73号，pp.7-10，2010年6月19日，東北芸術工科大学

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

阿波 稔 (ABA Minoru)
八戸工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：10295959

迫井 裕樹 (SAKOI Yuki)
八戸工業大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号：30453294