

火害劣化と凍害劣化によるコンクリートの物質移動抵抗性の低下

破壊診断工学研究室 向井 佑真

1. はじめに

コンクリートの劣化の要因には、①環境要因（凍害など）②材料・施工要因（ASR、豆板など）③人為的要因（火災、疲労など）が挙げられる¹⁾。内部鉄筋の腐食等による構造物の性能低下や破壊につながる原因として、これらコンクリートの劣化が起因となり、コンクリート中の空隙やひび割れを移動経路として水分や塩化物等の有害因子が侵入しやすくなることが問題となる。しかし、現行の劣化評価には様々な手法が用いられているものの、コンクリートの強度特性に着目することが多く、適切な劣化評価には劣化後のコンクリートの耐久性に着目する必要があると考えられる。

本研究では、火害劣化と凍害劣化の2つの劣化において、コンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響に着目し、塩化物をトレーサーとした評価手法²⁾を用いて、コンクリート構造物の新たな劣化評価手法に関する有用性を確認することを目的とした。

一般的に、火害による劣化は、熱によりコンクリートが収縮し、表面に微細なひび割れが生じる。凍害による劣化は、コンクリート内部の膨張お

よび表面の収縮による亀甲状のひび割れ、表面層の剥離（スケーリング）、粗骨材表面層のモルタルの剥離（ポップアウト）がある。いずれの劣化もコンクリートの表面から内部へと劣化が進行していくという共通点があり、この2つの劣化を本研究の対象とした。

2. 火害劣化に関する研究

本研究では、高温履歴を受けたコンクリートの物質移動抵抗性を塩化物浸透抵抗性で評価し、火害劣化の新たな劣化評価手法の提案を行うための基礎的資料を得ることを目的とした。

2.1 実験概要

本研究で使用したコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートは約80MPaの高強度コンクリート（以下HSC）、HSCにポリプロピレン(PP)繊維を0.2vol%混入した（以下HSC+PP）の2種類とした。供試体はΦ100×200mmの円柱供試体とした。加熱試験はRILEM試験に準拠し、1°C/minで上昇させ、加熱無、200°C、500°Cの3水準とした。加熱時の供試体中心温度を確認するために、各設定温度に1本ずつ熱電対を設置した。加熱後、温度

表-1 配合（火害研究）

コンクリート種類	水セメント比 W/C(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量(kg/m ³)						fiber (vo%)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G1(5-15mm)	粗骨材 G2(10-20mm)	ad	
HSC	30	63.3	150	500	718	417.6	626.4	5	-
HSC+PP									0.2

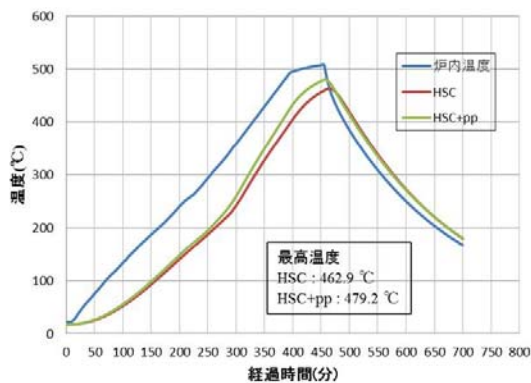


図-1 温度の経時変化(設定温度 500°C)



図-2 500°C加熱によるひび割れ状況

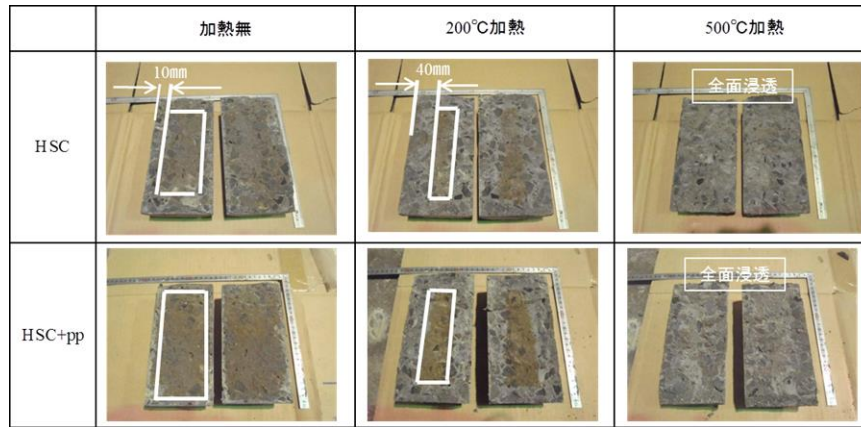


図-3 硝酸銀噴霧試験結果

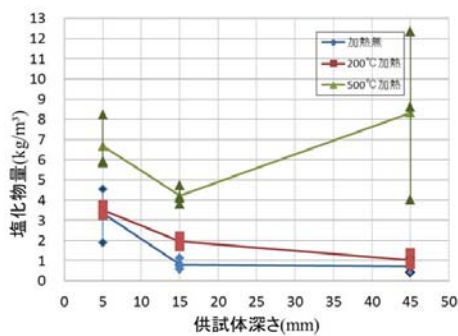


図-4 塩化物量と深さの関係 (HSC)

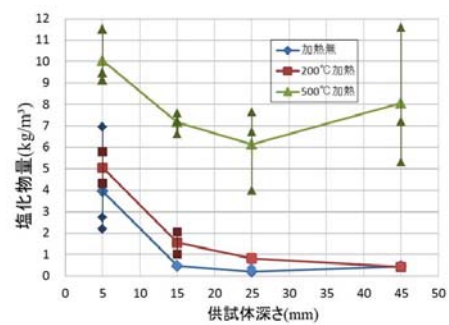


図-5 塩化物量と深さの関係 (HSC+PP)

20°CのNaCl 10%溶液に1か月間浸漬した。浸漬後、供試体を割裂し、割裂面に対し硝酸銀 (0.1mol/L) を噴霧し、発色状況により塩化物浸透深さを確認した。その後、供試体を表面からドリル削孔し、蛍光 X 線分析により供試体表面から深さ方向に浸透した塩化物量を測定した。

2.2 実験結果

図-1 に設定温度 500°Cにおける電気炉内と供試体中心温度の経時変化を示す。HSC、HSC+PPにおいて供試体中心温度は、463°C、479°Cとなった。設定温度 200°Cでは、HSC、HSC+PPにおいて145°C、154°Cとなった。これより、炉内（供試体表面）と供試体中心には約 21~55°Cの温度差が生じていることが分かった。

図-2 に 500°C加熱によるひび割れを示す。供試体全体に亀甲状のひび割れが確認でき、最大ひび割れ幅は 0.05mm 程度だった。200°C加熱ではひび割れはほとんど確認できなかった。

図-3 に硝酸銀噴霧による塩化物浸透深さを確認した結果を示す。白色化したところが、塩化物が浸透していることを示している。図より、500°C加熱した供試体は、割裂面全面に塩化物が浸透していることが分かった。200°C加熱した供試体は、最大浸透深さが約 40mm 程度であった。加熱温度が

高くなるほど、塩化物浸透深さが大きくなる傾向がみられた。これは加熱に伴い、コンクリートの表面に微細なひび割れが生じたためであると考えられる。なお供試体種類による影響はみられなかった。

図-4、図-5 に HSC、HSC+PP における供試体表面からの深さと浸透した塩化物量の関係を示す。いずれの供試体とも加熱温度が高くなるにつれ、浸透した塩化物量が多くなる傾向を示した。また加熱無、200°C加熱は、深さ方向に塩化物量が減少していく傾向がみられた。供試体の比較では、設定温度 200°Cまでは、HSC+PP の方が浸透した塩化物量は小さいが、設定温度 500°Cでは、HSC+PP の方が HSC よりも塩化物量が大きくなることが分かった。つまり 500°Cで加熱を行うと、HSC+PP の方が HSC に比べ、物質移動抵抗性が小さくなることが分かった。これは、HSC+PP で使用した PP 繊維が融点約 170°Cであり、500°Cの加熱により熔融し、コンクリート内部に空隙が生じ、塩化物の浸透が容易となったためであると考えられる。

3. 凍害劣化に関する研究

本研究では、凍害劣化の評価指標として「凍害深さ」に着目し、凍害劣化後のコンクリートの物

質移動抵抗性を塩化物浸透抵抗性で評価するとともに、塩水浸漬法の有用性を確認することを目的とした。

3.1 実験概要

本研究で使用したコンクリートの配合を表-2に示す。コンクリートは材齢 11~13 か月の約 50MPa の普通コンクリートを使用した。供試体は 90×100×200mm の角柱供試体とした。図-6 に供試体概要を示す。1 面劣化（5 面防水加工）とし、防水加工は 1 層目からプライマー、パテ、中塗の 3 層構造とした。試験条件は 1day、吸水無の 2 期間で吸水させ、劣化面は、打設面と型枠底面の 2 面とした。さらに、劣化程度を相対動弾性係数により分類し、劣化小（80~90%）、劣化中（60~70%）、劣化大（60%以下）の 3 水準とした。

凍結融解試験は、JIS A 1148 に準拠し、質量減少率（%）と相対動弾性係数（%）を算出し、劣化程度を確認した。その後、温度 20℃ の NaCl 10% 溶液に 2 週間浸漬させた。浸漬後、供試体を割裂し、割裂面に対し硝酸銀（0.1mol/L）を噴霧し、発色状況により塩化物浸透深さを確認した。その後供試体を表面からドリル削孔し、蛍光 X 線分析により供試体表面から深さ方向に浸透した塩化物量を測定した。

3.2 実験結果

図-7 に 90 サイクル時点の劣化面の凍害劣化状況を示す。劣化面の違いによる劣化状況の違いは顕著であり、スケーリングは打設面の方が型枠面よりも多く、モルタルが剥離し、一部骨材が露出していることが分かる。型枠面を劣化させた供試体でも、スケーリングは微量生じたが、骨材の露出は確認できなかった。これは、ブリーディング等の影響から、打設面の方が型枠面に比べ、コンクリートの緻密さが劣っているためであると考えられる。

図-8 に硝酸銀噴霧による塩化物浸透深さを確認した結果を示す。いずれの供試体においても凍害の劣化程度が大きいものほど塩化物浸透深さが大きくなる傾向が概ね確認できた。打設面を劣化させた供試体では、最大約 40mm の浸透深さが確認できた。劣化程度が小さいものでも、約 20mm の浸透深さが確認できた。

一方で、型枠面を劣化させた供試体では、最大約 20mm の浸透深さが確認できた。劣化程度の小さいものでは、約 10mm の浸透深さが確認できた。なお型枠面を劣化させた供試体では、塗膜をした打設面からの浸透が顕著にみられた。

表-2 配合（凍害研究）

コンクリート種類	W/C(%)	s/a(%)	空気量	単位量(kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	ad1 (AE減水剤)	ad2 (消泡剤)
NC	55	48	2.5	176	320	866	946	1.000	0.320

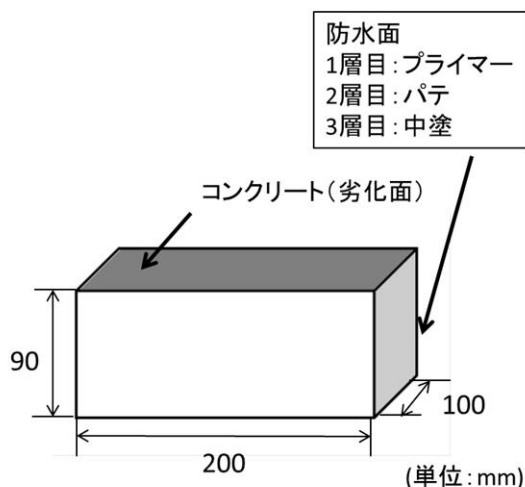


図-6 1 面劣化（5 面防水）供試体の概要

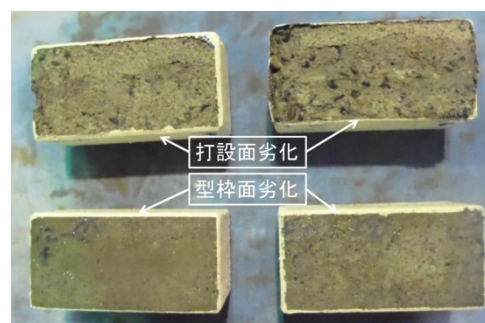


図-7 凍害劣化状況
(90 サイクル, 劣化面の違い)

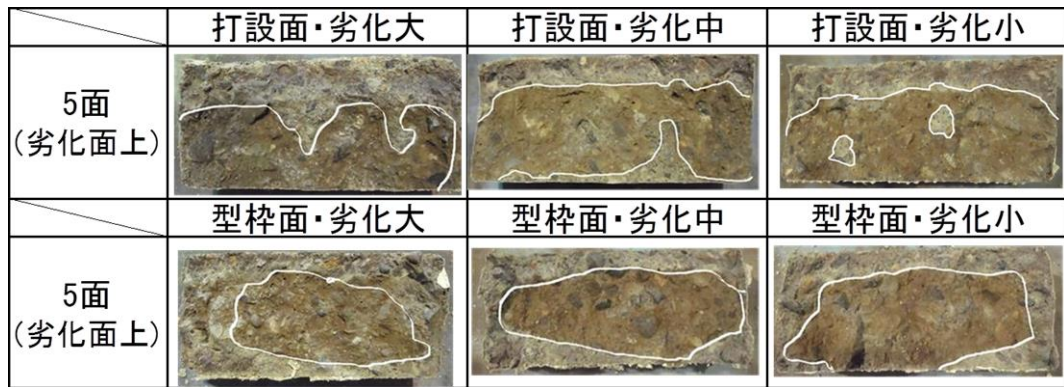


図-8 硝酸銀噴霧試験結果

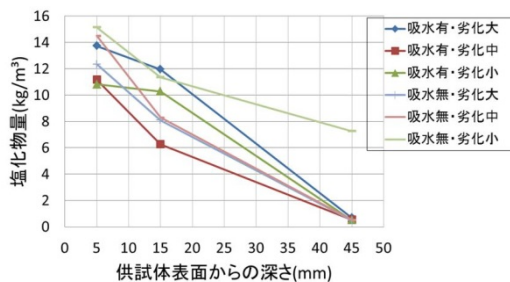


図-9 塩化物量と深さの関係(打設面劣化)

図-9 に打設面を、図-10 に型枠面を劣化させた供試体の表面からの深さと浸透した塩化物量の関係を示す。図から、打設面の方が型枠面を劣化させた供試体よりも、塩化物量が大きくなった。これは打設面を劣化させた供試体は劣化程度が大きく、コンクリート組織が弛緩することで生じた空隙により塩化物が浸透しやすくなったためであると考えられる。一方で、いずれの供試体でも吸水の有無が浸透する塩化物量に及ぼす影響は見られなかった。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

4.1 火害劣化の研究

- 1) 加熱後、塩水に1か月浸漬し、硝酸銀溶液の噴霧による塩化物浸透深さを確認した。その結果、加熱温度が高くなるほど、浸透した塩化物浸透深さは大きくなる傾向がみられた
- 2) 蛍光X線分析により浸透した塩化物量を測定した。その結果、加熱温度が高くなるにつれ、塩化物量は大きくなり、物質移動抵抗性が低下したと考えられる。500°C加熱の場合では、HSCよりもHSC+PPの方が、塩化物量が大きくなった。

4.2 凍害劣化の研究

- 1) 劣化面を変えて凍結融解試験を行った。その

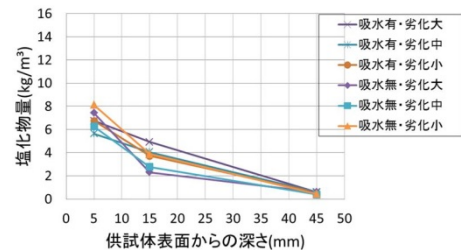


図-10 塩化物量と深さの関係(型枠面劣化)

結果、打設面を劣化させた供試体の方が、型枠面を劣化させた供試体よりも、劣化程度が大きくなることが分かった。

- 2) 硝酸銀噴霧により塩化物浸透深さを確認した結果、劣化程度が大きいほど塩化物浸透深さが大きくなる傾向がみられた。これより塩水浸漬法により凍害深さを可視的に評価できる可能性を示した。
- 3) 蛍光X線分析により浸透した塩化物量を測定した結果、打設面を劣化させた方が型枠面を劣化させた場合よりも塩化物量が高い値を示した。一方で、吸水の有無が浸透した塩化物量に及ぼす影響は小さかった。

本研究を通じ、劣化したコンクリートの物質移動抵抗性の評価手法において、塩水浸漬法の有用性を示すことができた。

参考文献

- 1) 西村新蔵ら:コンクリート工学ハンドブック, 初版第1刷, pp.561, 2009
- 2) 向井佑真,小澤満津雄:火災劣化後のコンクリートの物質移動抵抗性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1147-1152, 2013