

13. 内添型の撥水剤を添加したコンクリートの諸性状

Properties of the Cementitious Materials Contained the Hydrophobic Agent

谷口克彦* 湊 太郎* 村田康平* 後藤佳子*

—概要—

コンクリート構造物は、その置かれた環境の下で、塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害、化学的侵食、疲労などの様々な劣化要因の作用を受けている。最近では、これら劣化要因が単一で作用するのではなく、複数が互いに影響し合うような複合劣化が問題となっている。複合劣化によるひび割れが発生し得る環境で長期的な侵入抑制効果を発揮するためには、表面含浸工法による表層の撥水性や緻密層のみでは不十分である。本研究開発では、セメント系材料の内部において撥水層を形成させることにより、侵入抑制効果を発揮させることを考えた。市販されている溶剤系の撥水剤を練混ぜ時に添加した場合について、撥水剤の添加の有無による品質の変化を検証した。

—撥水剤添加によるコンクリート品質への影響—

撥水剤（主成分：アルキルアルコキシシラン化合物）を添加したコンクリート供試体と無添加の供試体を用いてコンクリート性状試験（スランプ値、スランプフロー、空気量、温度）、圧縮強度試験、撥水性の確認、透水試験および水銀圧入試験を実施し比較し、下記のことが明らかになった。

- ・撥水剤添加により、空気量の上昇が見られたが、スランプやスランプフローの大きな変化はない
- ・撥水剤添加により、コンクリート表面だけでなく内部においても撥水層が形成された
- ・撥水剤添加により、透水量が著しく少なくなった

撥水剤をセメント系材料の練混ぜ時に添加する方法では、打設後のセメント系材料の表面には良好な撥水層が形成されることが確認できた。ただし、撥水剤の添加に伴い圧縮強度の低下が生じることが明らかとなったため、この強度低下を抑制する方法を考案する必要がある。また、内部の撥水性能についても、透水量などの計測を行い詳細に調べなければならない。



写真1 表面の水滴の状態



写真2 内部の水滴の状態

内添型の撥水剤を添加したコンクリートの諸性状

Properties of the Cementitious Materials Contained the Hydrophobic Agent

○谷口 克彦* 湊 太郎* 村田 康平* 後藤 佳子*

Katsuhiko TANIGUCHI Taro MINATO Kohei MURATA Yoshiko GOTO

ABSTRACT In order to inhibit the penetration of some degradation factors into the cementitious materials, the hydrophobic impregnation agent is generally used to protect a surface of cementitious materials. However, the inhibiting effect of surface may be decreased with time or occurrence of cracks. Thus, it should be form the protective layer inside the cementitious materials in order to keep the inhibiting effect. In this study, the cementitious materials were mixed several hydrophobic agents to form the internal protective layer. The properties of cementitious materials contained a certain hydrophobic agent were studied experimentally. From experimental results, it was confirmed that all of the surface and inside of specimens contained each agents had the obvious water repellency. The permeability of specimens was lower than control specimens. Furthermore, it was estimated that the void of specimen contained agents have very unique size distribution and more spherical shape. However, the compressive strength of specimens contained agents decreased to some extent.

Keywords: セメント質材料, 内部撥水性, 撥水剤, 水分浸透抑制

Cementitious materials, Internal water repellency, Water repellency agent, Inhibition of water penetration

1. はじめに

わが国の人口減少、少子高齢化社会の到来、巨額の財政赤字という大きな課題を抱える現状にあって、真に必要なインフラ整備とバランスを取りつつ、戦略的な維持管理・更新を実施し、インフラを安定的に供用するなどの観点から、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化あるいは延命化の必要性が高まっている。

コンクリート構造物は、その置かれた環境の下で、様々な劣化要因の作用を受けている。コンクリート構造物の性能を低下させる劣化要因として、塩害（塩化物イオンの侵入）、中性化（二酸化炭素の侵入に伴う炭酸化）、アルカリ骨材反応（水分、アルカリ供給）、凍害（凍結融解）、化学的侵食（高塩分など）、疲労（輪荷重）などが挙げられる。塩害や中性化は、鉄筋コンクリート構造物の内部の鉄筋を腐食させ、構造物の耐久性を低下させる。アルカリ骨材反応や凍害は、ひび割

れを増進させ、場合により鉄筋の破断に至り、構造物の耐荷性を低下させる。最近では、これら劣化要因が単一で作用するのではなく、複数が互いに影響し合うような複合劣化が問題となっている。例えば、中性化は塩化物イオンやアルカリを濃縮させ、塩害は中性化（炭酸化）速度を増大させる。

これまでに実施された劣化対策において、コンクリート構造物の有害物質侵入抑止を目的として、施工が容易で、外観を損ねることがないという利点から、表面に撥水層を形成するか緻密層を形成する表面含浸工法が多く適用されている。しかしながら、施工状況や撥水層の経年劣化により、十分に撥水効果を発揮できないことも指摘されている^{1)~4)}。さらに、ひび割れが含浸層（撥水層）より深く進行した場合、ひび割れ面は撥水性を付与していないため、ひび割れを通じてコンクリート内部まで有害物質が侵入することになる¹⁾

*技術研究所 土木研究室

~4)。したがって、ひび割れが発生し得る環境で長期的な侵入抑制効果を発揮するためには、表層の撥水性や緻密層のみでは不十分である^{1)~4)}。

本研究開発では、コンクリートなどセメント系材料の内部において、撥水層を形成させることにより、有害物質の深層への侵入を阻止することを考えた。そこで先ず、市販されている溶剤系の撥水剤を練混ぜ時に添加した場合について、コンクリートの品質に対する影響の程度を確認することとした。試験練りに加え、透水試験および水銀圧入試験を実施し、それらの結果を基にして、撥水剤の添加の有無による品質の変化を検証した。

2. 実験概要

2.1 コンクリート試験

コンクリート試験のフローを図1に示す。コンクリート試験は、表1に示す配合により供試体を作製した。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。撥水剤は、アルキルアルコキシシラン化合物を主成分とする溶剤系の材料である。撥水剤の添加量は、セメント質量に対して各々0.5%、1.0%、1.5%の質量割合で添加した。この撥水剤の添加は、コンクリートの配合に対し外割りで加えられるものとなる。

実際の撥水剤の方法は、アジテータ・トラックによりプラントから打設現場に輸送された後、ホップからドラム内のコンクリートに添加する方法となる。そこで、表1の配合に基づきコンクリートを練り混ぜ、1回目のフレッシュ性状を測定した後、再びミキサーに戻して10分間静置し、それから撥水剤を添加しながら練混ぜを行い、2回目のフレッシュ性状を測定した。フレッシュ性

状の測定は、スランプ、空気量および温度を測定した。対照となる撥水剤を添加しないベース試料も、同様に10分間静置した後、撥水剤を添加せずに再度の練混ぜを実施した。

フレッシュ性状を測定した後、φ10×20cmの供試体を作製した。型枠脱型後に水中養生を行い、材齢3日、7日、28日の圧縮強度を測定した。さらに、これらの供試体を用いて、打設面に対してJIS A 6909の透水試験B法に準拠して透水試験を実施した。なお、透水試験は、撥水剤の添加量を1.0%とした供試体と対照供試体（ベース）についてのみ実施した。透水試験は、φ10×20cmの円柱供試体の打設面を上にして静置して、その断面すべてを覆うように漏斗をシリコン材により接着し、その漏斗の先端に容量5mLのメスピペットを短く切断したゴム管で接続した。この漏斗とメスピペット内に水道水を注入し、水頭高さがコンクリート供試体の最上面から250mmの

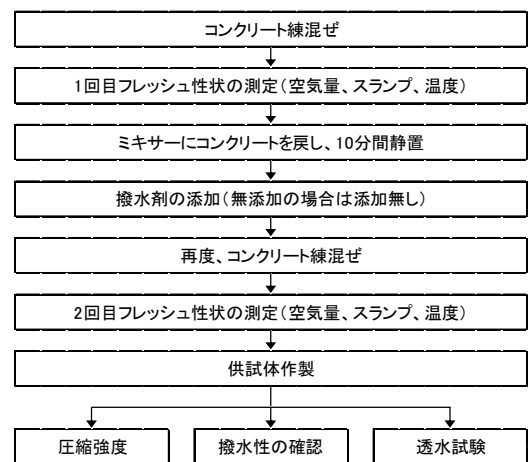


図1 コンクリート試験における試験フロー

表1 コンクリート試験に用いた供試体の配合

No.	水セメント比 W/C (%)	単位量(kg/m ³)					細骨材率 s/a (%)	撥水剤 添加 の有無	撥水剤 添加率 ^{※2} (%)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 ^{※1} AD					
1	50.0	183	366	728	991	3	43.0	無	-	18±2.5	4.5±1.5
2								有	0.5		
3								有	1.0		
4								有	1.5		

※1 混和剤としてAE減水剤を用いた

※2 セメント質量に対する質量割合

高さになるように設定した。試験期間中、この水頭高さが保たれるように注水した。

2. 2 水銀圧入試験

水銀圧入試験に用いる硬化セメントペースト試料は、W/C=0.5になるよう普通ポルトランドセメントと水を練り混ぜ、240日間水中養生した。硬化セメントペースト供試体の配合を表2に示す。撥水剤は、外割りでセメント質量に対して各々0.5%、1.0%、1.5%になるよう添加した。

水中養生した試料は、105℃の炉乾燥で恒量になるまで水分を逸散させた後に粉碎した。各試料とも、4mmふるいを通過し、2.8mmふるいに残留したものを使用した。水銀圧入は、0.1~400kPaの低圧力範囲と0.1~400MPaの高圧力範囲で連続して行い、それぞれの測定値を連結させた。

3. 実験結果および考察

3. 1 フレッシュ性状

コンクリート試験における供試体のフレッシュ性状を表3に示す。この表から、撥水剤を添加せずにミキサーに再度戻した試料の空気量が減少するにも関わらず、同じ手順で撥水剤を添加した試料では、ベースに比べて空気量が上昇することがわかる。この空気量の上昇は、撥水剤の添加量に係わらず同じ程度であった。また、撥水剤の添加の有無にかかわらず、スランプおよびスランプフローに大きな違いは見られなかった。これらのことから、セメント質量に対する0.5~1.5%の撥水剤の添加は、練混ぜ後のコンクリートの品質に著しい悪影響を及ぼすことが無いと判断される。

3. 2 圧縮強度

圧縮試験の結果を表4に示す。表中に示す圧縮強度の値は、供試体3体の平均値である。この表から、撥水剤を添加した場合、添加しない場合に比べて圧縮強度が20%程度低下することがわかる。この圧縮強度の低下は、空気量すなわち空隙量の増加、撥水剤の存在による水和反応の阻害や

表2 水銀圧入試験に用いた硬化セメントペースト供試体配合

	水セメント比 W/C (%)	使用量(g)		撥水剤 添加 の有無	撥水剤 添加率 ^{※1} (%)
		水 W	セメント C		
ベース	50.0	150.75	301.16	無	-
撥水剤0.5%	50.0	192.51	384.81	有	0.5
撥水剤1.0%	50.0	148.73	297.02	有	1.0
撥水剤1.5%	50.0	180.45	360.91	有	1.5

※1 セメント質量に対する質量割合

表3 コンクリート試験における供試体のフレッシュ性状

No.	撥水剤添加の有無 (添加率%)	スランプ (cm)	スランプフロー (mm)		空気量 (%)	C.T. (°C)	
			1回目	2回目			
1	無(ベース試料) (-)	1回目	20.0	352×323	340	4.6	22
		2回目	19.0	320×313	315	3.9	22
2	有 (0.5%)	1回目	20.5	350×335	345	4.2	23
		2回目	19.0	325×306	315	5.2	23
3	有 (1.0%)	1回目	20.0	342×332	335	4.4	22
		2回目	18.5	316×306	310	5.1	22
4	有 (1.5%)	1回目	20.5	351×333	365	4.4	22
		2回目	19.0	332×329	330	4.9	23

表4 圧縮強度および圧縮強度比

No.	撥水剤添加の有無 (添加率%)	圧縮強度 (N/mm ²)			圧縮強度比 [※] (%)		
		3日	7日	28日	3日	7日	28日
1	無(ベース試料) (-)	22.2	32.8	44.3	-	-	-
2	有 (0.5%)	19.1	25.7	35.3	86	78	80
3	有 (1.0%)	19.5	26.6	36	88	81	81
4	有 (1.5%)	17.8	25.1	33.6	80	77	76

※同材齢における撥水剤添加無試料(ベース試料)の圧縮強度に対する比

骨材とセメントペーストの付着力の低下などが原因として挙げられる。これらについては、今後詳細な検討が必要である。

3. 3 撥水性の確認

撥水剤を添加した各供試体に関して、圧縮試験あるいは透水試験に供する前に、コンクリート打設面に対してスポイトを用いて水滴を滴下して撥水性の確認を行った。表面の状況を写真1、内部の状況を写真2に示す。これらの写真に示すように、撥水剤を添加した供試体では、その表面だけでなく、内部においても良好な撥水性を示すことが明らかである。



写真1 表面の水滴の状態

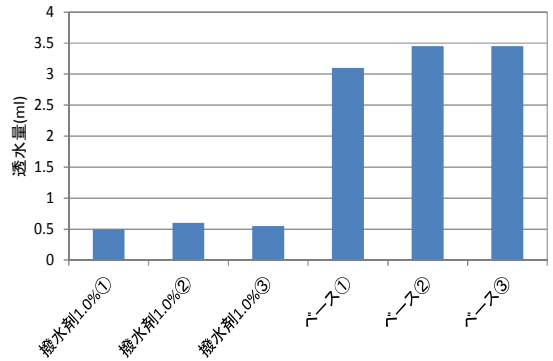


図2 透水量の結果



写真2 内部の水滴の状態

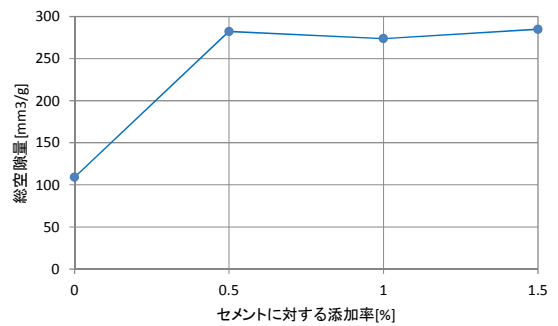


図3 撥水剤の添加による総空隙量の変化

3.4 透水性

透水試験の結果を図2に示す。この図は、使用した供試体3体の結果をすべて示してある。この図から、撥水剤を添加した供試体の透水量は、添加していない供試体に比べて著しく少ない値となっている。このことから、供試体の表面付近には、良好な撥水層が形成されていると判断される。今後、供試体を高さ方向に切削し、内部の透水量も測定する予定である。

3.5 内部空隙の特徴

水銀圧入試験により得られた総空隙量を図3に示す。また、空隙径分布と比表面積の値を図4および図5にそれぞれ示す。

図3から明らかなように、総空隙量は、撥水剤を0.5%添加した場合に著しく増大する。しかし、

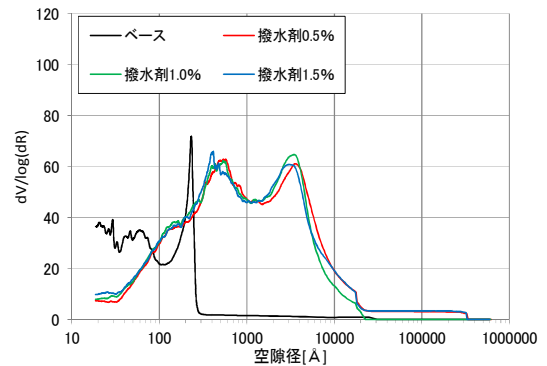


図4 撥水剤の添加による空隙径分布の変化

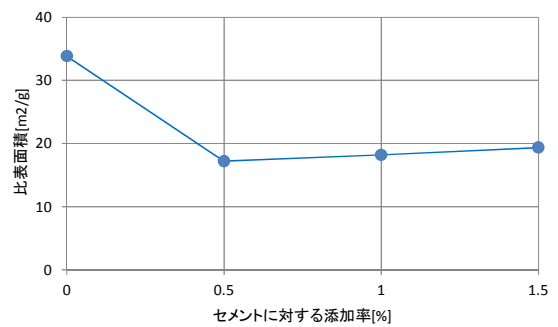


図5 撥水剤の添加による空隙の比表面積の変化

それ以上に添加量を増やしても、総空隙量に変化は見られない。これは、表3に示した空気量の変化の傾向と一致する。

図4を見ると、撥水剤を添加した試料の空隙径分布は、撥水剤を添加しない試料に比べて明らかに特徴的な分布傾向を示す。撥水剤を添加した場合、空隙径の分布が広範囲に及ぶものとなり、ピークも2つ現れている。このピークを示す空隙径は、撥水剤を添加しない場合に比べて大きい値で生じている。また、この傾向は、撥水剤の添加量にかかわらず同じである。

図5に示す比表面積は、撥水剤を添加しない場合に比べて、撥水剤を0.5%添加した場合に著しく減少する。しかし、それ以上に添加量を増やしても、比表面積に変化は見られない。

図3と図5より、撥水剤を添加した場合、総空隙量が増大しているにもかかわらず、比表面積が減少していることがわかる。通常、空隙の総量が増大すれば、それに伴って比表面積も増加すると考えられる。しかし、図3と図5の結果は、それとは逆の傾向となっている。また、図4に示されるように、空隙径が大きくなっていることから、複雑な形状の空隙ではなく、より球体に近い形状の大きな空隙が撥水剤の添加により生じていることが推測される。

4. おわりに

本研究開発では、コンクリートなどセメント系材料の内部において、撥水層を形成させることにより、有害物質の深層への侵入を阻止することを考えた。そこで先ず、市販されている溶剤系の撥水剤を練混ぜ時に添加した場合について、コンクリートの品質に対する影響の程度を確認することとした。実施した一連の試験の結果より、以下のことが明らかとなった。

- 1) 撥水剤を添加した場合、空気量の上昇が見られたが、スランプやスランプフローに大きな違いは認められなかった。
- 2) 撥水剤を添加した場合、添加しない場合に

比べて圧縮強度が約20%低下することが明らかとなった。その理由として、空気量の上昇、撥水剤の存在に伴う水和反応の阻害などが考えられる。

- 3) 撥水剤を添加した供試体では、その表面において良好な撥水層が形成されていると共に、内部においても撥水層が形成されていることが確認された。
- 4) 撥水剤を添加した供試体の透水量は、添加していない供試体に比べて、著しく少ない値を示した。
- 5) 撥水剤を添加した場合、セメント系材料の空隙径や形状に影響を及ぼす可能性が示唆された。

以上のことから、撥水剤を表面に塗布あるいは含浸させるのではなく、セメント系材料の練混ぜ時に添加する方法であっても、打設後のセメント系材料の表面には良好な撥水層が形成されることが確認できた。ただし、撥水剤の添加に伴い圧縮強度の低下が生じることが明らかとなったため、この強度低下を抑制する方法を考案する必要がある。また、内部の撥水性能についても、透水量などの計測を行い詳細に調べなければならない。

謝辞

本研究の実施に際して、(株)フローリックおよび長瀬産業(株)より多大なご協力を得ました。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 沢口政良、庄谷征美、杉田修一：撥水剤を用いたコンクリートの性質に関する一実験，土木学会，東北支部技術研究発表会概要，pp.564-565，1994.
- 2) 斉藤耕治、山本 昭、菊池雅史、小山明男、矢野宇三郎：シリコン系撥水剤の吸水抑制性能に関する基礎的研究，日本建築仕上学会，2003年大会学術講演会研究発表論文集，1416，pp.71-74，2003.

3) 古田悠佳、樂 堯、浅本晋吾、米田大樹：各種撥水材を活用したセメント系材料の内部撥水性の評価と材料特性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.693-698，2016.

4) 浅本晋吾、古田悠佳、樂 堯、米田大樹：撥水材を混入したセメント系材料の内部撥水性と材料特性の検討，コンクリート工学論文集，Vol.29，pp.11-19，2018.