

論文 苛酷環境下におけるコンクリートと無溶剤型ウレタン防水材との 付着性能

合田 裕一^{*1}・田口 史雄^{*2}・遠藤 裕丈^{*3}・榊 茂樹^{*4}

要旨:近年寒冷地の海洋構造物や道路橋床版のコンクリートの保護防食が重要な課題となっている。本研究では、ドイツをはじめ北欧寒冷地で1980年代から実績を有する無溶剤型ポリウレタン樹脂防水材について、過酷な環境下における現地曝露試験と室内負荷試験により塗膜の基本的性能である接着性能とその耐久性についての検証をおこなった。その結果接着性能の低下は少なく、十分な耐久性のあることが確かめられた。

キーワード:海洋構造物, 凍害, 塩害, 加熱, 接着性能, ポリウレタン

1. はじめに

近年塩害によるコンクリート構造物の劣化が顕在化し、その防止が重要な課題となっている。特に寒冷地における海洋構造物や融雪剤が散布される道路橋コンクリート床版などは塩害に加えコンクリート中の水分の凍結融解の繰り返しによるひび割れの発生・拡大(スケーリング現象)によりコンクリートの劣化が促進される。このような塩害と凍害の複合作用を受けるコンクリート構造物の劣化防止には塩化物イオンの浸透抵抗性(遮塩性)と同時にコンクリート内部への水分の浸入抵抗性(防水性やひび割れ追従性)を有する塗膜でその表面を被覆することが、既存構造物の保護、補修への適用性を含め極めて有効な工法であると考えられる。コンクリートの保護塗膜の性能に関しては、塩害防止のための遮塩性についての試験報告¹⁾などがあるが、寒冷地の海洋コンクリート構造物の劣化促進の要因となっている塩害と凍害の複合作用について検討された例は少ない。

筆者らはドイツを始め北欧の寒冷地において、コンクリートの保護防食材として実績を有する無溶剤型ポリウレタン樹脂防水材(以

下ポリウレタンと称す)について、塩害と凍害の複合作用を受ける過酷な条件に曝されるコンクリート構造物の保護防食材としての適用性について検討を進めている。保護防食塗膜としての要求される性能には環境劣化因子の遮断性、ひび割れ追従性と塗膜そのものの耐久性があるが、本報文は塗膜としての基本的な性能である塗膜とコンクリートとの接着性能について、現場曝露試験と室内促進試験を行い、耐久性の検証を行ったものである。

2. 現地曝露試験

2.1 試験概要

2.1.1 試験施工

試験施工は平成11年に一般国道229号線の積丹半島付近二箇所の海岸コンクリートスリット擁壁脚柱に行った。当該脚柱は日本海沿岸のスプラッシュゾーンにあり、且つ冬季の3.5ヶ月は日平均気温が氷点下となり、塩害と凍害の複合作用を受ける過酷な条件にある。図-1に試験施工現場の位置を、表-1に試験施工の概要、図-2に試験施工のフローを示す。

*1 (株)美和テック 専務取締役(正会員)

*2 独立行政法人 北海道開発土木研究所 構造部 材料研究室室長(正会員)

*3 独立行政法人 北海道開発土木研究所 構造部 材料研究室研究員(正会員)

*4 ビュファコンクリート・プロテクション・ジャパン(株) 専務取締役

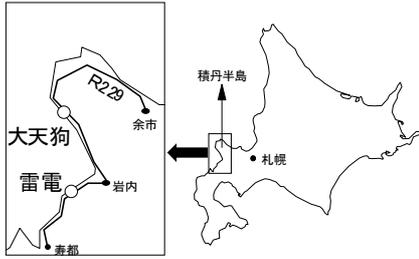


図-1 試験施工現場位置図

表-1 試験施工概要

項目	雷電(写真-1.2)	大天狗(写真-3.4)
場所	一般国道229号 岩内郡岩内町 字敷島内線	一般国道229号 古字郡神恵内 村大字珊内村
対象物	スリット擁壁コンクリート脚柱	スリット擁壁コンクリート脚柱
施工範囲	脚柱4本に1m幅にて鉢巻状に施工	脚柱4本に1m幅にて鉢巻状に施工
仕様	プライマー	湿潤面プライマー
	保護塗覆層	無溶剤型ポリウレタン樹脂防水材料 塗膜厚さ: 10mm, 15mm各2本
	トップコート	アクリルウレタン樹脂塗料(平成11年8月18日施工)
下地の状況	前日降雨のため下地湿潤 コンクリート面はかなり劣化し巣穴が多い	当日降雨のため下地湿潤 コンクリート面はかなり劣化し巣穴が多い
施工日	平成11年7月15日	平成11年7月16日
気象	天候	曇り
	気温	28
	湿度	55%
曝露期間	平成13年5月23日まで(22ヶ月)	平成13年5月23日まで(22ヶ月)

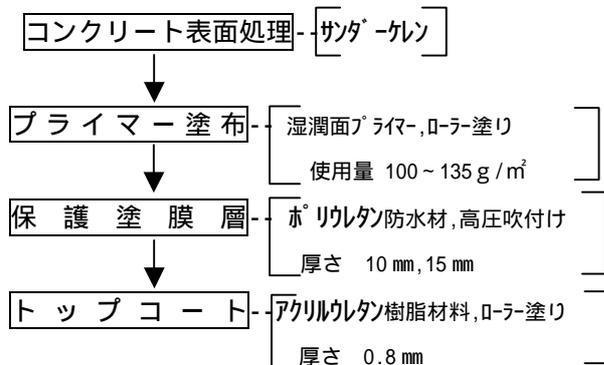


図-2 試験施工フロー

2.1.2 曝露環境

試験施工を実施したのは北海道積丹半島及びそれに隣接する日本海海岸のスリット擁壁

のフレッシュゾーンの脚柱で、常時日本海の厳しい潮風と波浪、更に強風時の飛石に曝される状況にある。

(1) 気温の影響

当該地区の冬季の気温は表-2 および表-3 に示すとおりで12月初めより3月中旬までの約3.5ヶ月間の日平均気温は0 以下の日が85%を占めている。特に1~2月の間は日最低気温が-5 以下の日が70%を占め、さらに最低気温は-11.6 と厳しい冷え込みとなる。

(2) 曝露期間

今回の調査は平成13年5月23日に実施した。したがって曝露期間は22ヶ月、この間2度の越冬による凍害の影響を受けたことになる。

表-2 日平均気温

気温	11月	12月	1月	2月	3月
0 以上	25日	9日	-	4日	19日
0 ~ -5	5日	15日	21日	6日	10日
-5 ~ -10	-	7日	9日	15日	2日
-10 以下	-	-	1日	3日	-

測定場所: 岩内町, 測定年度: 平成11・12年

表-3 日最低気温

気温	11月	12月	1月	2月	3月
0 以上	19日	2日	-	1日	11日
0 ~ -5	11日	19日	10日	5日	13日
-5 ~ -10	-	12日	20日	16日	7日
-10 以下	-	-	1日	6日	-

測定場所: 岩内町, 測定年度: 平成11・12年

2.2 調査概要

平成13年5月23日に塗膜のトップコートおよびポリウレタンの色調と剥離状況について目視調査を行った。色調の判定はドイツの色調判定基準RAL²⁾によった。なお、今回のポリウレタンはドイツのRALの色彩で着色しているため、原色と比較できるようにRALを採用した。

写真-1は雷電の施工時、写真-2は調査時の塗膜の状況、また写真-3は大天狗の施工時、写真-4は調査時の状況である。



写真 - 1 雷電施工時



写真 - 2 雷電調査時



写真 - 3 大天狗施工時



写真 - 4 大天狗調査時

2.3 調査結果

調査結果を表-4 及び表-5 に示す。また、色はRALxxxxの横に記し、その結果をまとめると次の通りとなる。

(1) トップコート

トップコートの目的は塗布される構造物の色調との調整のためであるが、いずれも色調がRAL7040 からRAL9023 と変化し、海側正面

及び側面のトップコートはほとんど剥離していた。これはポリウレタンとトップコートとの施工時期のずれ(約1ヶ月)による塗膜とトップコートとの層間剥離に加え、トップコートに対する継続的な波浪と飛石による外的衝撃によるものと考えられる。また、トップコートの選定については下地のポリウレタンに対する材料間の相性を検討する必要があることが考えられる。

(2) ポリウレタン塗膜

露出したポリウレタンはRAL1013 からRAL1003 または1023 へと色調に若干変化があったが、建設後の経年による下地面の劣化と施工当日の一部の下地の湿潤という悪条件にもかかわらず塗膜の剥れ・膨れなどは全く認められず、外的検査では付着性能は十分保たれているものと判断される。なお、表-4 雷電地区、表-5 の大天狗地区のNo.1~No.4 ピアについては、環境条件が似通っているため、変色の度合いが同じとなったものと考えられる。

表-4 雷電試験塗膜曝露試験結果

ピア番号	塗膜 (厚み)	施工時 (色調)	調査時
No.1	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面全面剥れ
	ウタ露出部 (10mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1003 ■ 剥離,浮き上りなし
No.2	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面及び側面剥れ
	ウタ露出部 (10mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1003 ■ 剥離,浮き上りなし
No.3	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 剥れなし
	ウタ露出部 (15mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1003 ■ 剥離,浮き上りなし
No.4	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面及び側面の大部分剥れ
	ウタ露出部 (15mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1003 ■ 剥離,浮き上りなし

表-5 大天狗試験塗膜曝露試験結果

ピア番号	塗膜	施工時 (色調)	調査時
No.1	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面一部剥れ
	ウタ露出部 (10mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1023 ■ 剥離,浮き上りなし
No.2	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面一部剥れ
	ウタ露出部 (10mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1023 ■ 剥離,浮き上りなし
No.3	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面ほぼ全面剥れ
	ウタ露出部 (15mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1023 ■ 剥離,浮き上りなし
No.4	トップコート	色調: RAL7040 ■	色調:RAL9023 ■ 海側正面及び側面大部分剥れ
	ウタ露出部 (15mm)	色調: RAL1013 ■	色調:RAL1023 ■ 剥離,浮き上りなし

又トップコートについては早期に変色しそれ以上は促進しないため、両施工場所とも一定色に変化している。露出したウレタンはトップコートの剥離時期と日中の照射時間の差によって変色度合が異なると考えられる。

3. 室内促進試験

3.1 試験概要

3.1.1 供試体

凍結融解試験用のコンクリート供試体(10×10×40cm, 配合:W/C=40%)を使用し,ポリウレタンを供試体の4側面の1面・3面・全面(端面2面含む)に厚さ2mmに吹付けた。なお,凍結融解試験用のゴム容器が10×10×40cmであるので,供試体はポリウレタンの吹付け面をあらかじめ丸型コンクリートカッターで吹きつけ厚さ分(2mm)だけ削って容器の容積にあわせた。なお,コンクリートの切削面は平滑であった。

ポリウレタンの吹付けは平成11年7月15日岩内町雷電にて実施した。

3.1.2 試験項目

次の5つの促進試験を行い,コンクリートとポリウレタンとの接着性,ポリウレタンの層間剥離,ポリウレタンの変色状況に関する目視検査,及び引張接着試験による接着性能の調査を実施した。

- (1)凍結融解試験
- (2)淡水浸漬試験
- (3)塩水浸漬試験
- (4)冷却試験
- (5)加熱試験

なお,上記(4)は寒冷地で低温環境が維持されるコンクリート構造物において適用した場合の影響を,上記(5)は道路橋コンクリート床版の防水層として適用した場合のアスファルト舗設時の合材温度の影響を検証するためのものである。

3.1.3 試験方法

凍結融解試験はASTM-C-666に準拠し,計2053サイクルの凍結融解を行った。淡水浸漬

試験は常温の淡水中に,塩水浸漬試験は常温の塩水中に,冷却試験は-18℃,加熱試験は110℃の気中に平成11年10月25日より平成12年11月10日まで383日間浸漬または放置した。塗膜の引張接着試験は建研式引張試験機により実施した。写真-5に試験開始前の供試体の一部を示す。



写真-5 試験開始前供試体(色:RAL1013)

3.2 試験結果と考察

3.2.1 試験結果

(1)凍結融解試験

供試体は1面・3面・全面(6面)に吹付けたものの3種類を用いた。凍結融解2053サイクル終了後いずれの供試体も塗膜の剥れおよび層間剥離は見られなかった。ポリウレタンの変色は2053サイクル時点でRAL1014からRAL1015(初期値:RAL1013)で,ほとんど変化はなかった。

また,凍結融解試験後の塗膜の引張接着強さは表-7のとおりで,1面吹付けのものは0.56MPa(保持率21%)と大幅に減少しているが,3面吹付け2.24MPa(保持率84%),全面吹付け2.47MPa(保持率93%)と良好な値を保っている。ここに保持率とは促進試験後の供試体の塗膜の引張接着強さの無負荷の供試体の塗膜の引張接着強さに対する割合を表すものとする。

(2)淡水浸漬試験,塩水浸漬試験

供試体は淡水浸漬試験には1面・3面・全面(6面)吹付けたものを使用し,塩水浸漬試験には1面に吹付けたものを使用した。

383日間浸漬後の結果は,淡水・塩水のいずれにも塗膜の剥れ,および層間剥離はみられなかった。塗膜の変色は,初期値RAL1013に対し塩水がRAL1014,淡水がいずれもRAL1034

と淡水の変色度合が大きい。

また、それぞれ浸漬後の塗膜の引張接着強さは表-7 に示すとおり淡水浸漬 2.11MPa (保持率 79%)、塩水浸漬 2.23MPa(保持率 84%) と良好な値を保っている。

(3)加熱試験，冷却試験

写真-6 に加熱試験及び冷却試験の 383 日目の状況を示す。供試体は 1 面に吹付けたものを使用し、暗室に放置した。加熱・冷却による塗膜の剥れおよび層間剥離は見られなかったが、加熱試験で塗膜に一部膨れが見られた。なお、8 日目、23 日目の観察では膨れはなかった。変色は初期値 RAL1013 に対し、冷却試験は RAL1014 と大きな変化はないが、加熱試験では RAL3009 に大きく変色した。また、加熱・冷却試験後のポリウレタンの引張接着強さは冷却試験のものについては 2.16MPa (保持率 81%) と良好な値を保っているが加熱試験のものについては 1.31MPa(保持率 49%)と半減した。加熱後の引張接着試験で供試体 3 は膨れ部が引張試験箇所と重なったため今回

の評価から省いた。

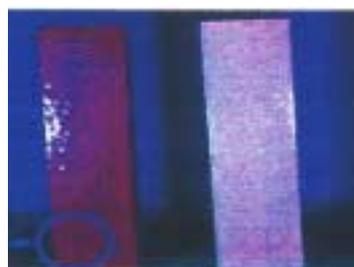


写真-6 加熱試験(左), 冷却試験(右)
383 日目の状況(1 面吹付)

3.2.2 考察

室内試験結果をまとめると表-6、表-7 のようになる。いずれの室内促進試験においても目視観察では塗膜の剥れは認められず接着性に異常は認められなかった。また、室内促進試験後の塗膜の引張接着強さは凍結融解 A(1 面吹付け)、加熱試験を除き無負荷の値 2.66 MPa に対し 2.11~2.47 MPa(保持率 79~93%) と良好な値を保っている。凍結融解 A の塗膜の引張接着試験における破壊形式は下地コンクリートの破壊であり、引張接着強さの低下(保持率 21%)の原因は無塗布のコンクリー

表-6 各試験に対する剥れ・膨れ・変色の結果のまとめ

試験項目	供試体数			期間	剥れ等	膨れ	ウレタンの変色	
	1 面	3 面	全面					
凍結融解(-18~5)	1	1	1	2053 サイクル	なし	なし	RAL1013	RAL1014(1015)
淡水浸漬(常温)	1	1	1	383 日間	なし	なし	RAL1013	RAL1034
塩水浸漬(常温)	1			383 日間	なし	なし	RAL1013	RAL1014
冷却試験(-18)	1			383 日間	なし	なし	RAL1013	RAL1014
加熱試験(110)	1			383 日間	なし	一部	RAL1013	RAL3009
無負荷	1			383 日間	なし	なし	RAL1013	

表-7 表-6 の供試体の引張接着試験結果

供試体名	吹付け面	1		2		3		平均(MPa)	保持率(%)
		引張り強さ(MPa)	破壊形式	引張り強さ(MPa)	破壊形式	引張り強さ(MPa)	破壊形式		
凍結融解 A (-18~5)	1 面	0.45	A	0.64	A	0.62	A	0.56	21
凍結融解 B (-18~5)	3 面	2.08	D	2.36	D	2.29	D	2.24	84
凍結融解 C (-18~5)	全面	2.33	D	2.49	D	2.62	B	2.47	93
淡水浸漬(常温)	1 面	2.16	B	2.03	B	2.15	B	2.11	79
塩水浸漬(常温)	1 面	2.08	B	2.31	B	2.30	B	2.23	84
冷却試験(-18)	1 面	2.41	D	2.30	B	1.79	A	2.16	81
加熱試験(110)	1 面	1.38	B	1.25	B		-	1.31	49
無負荷	1 面	2.51	D	2.59	D	2.90	D	2.66	100

破壊形式 A: 下地コンクリートの破壊 B: プライマーと下地コンクリートの界面破壊
C: 防水層とプライマーの界面破壊 D: アタッチメントと塗膜防水層の界面破壊

トの両側より塗膜の下に浸透した水の凍結融解作用によるコンクリートの母材の劣化によるものと考えられる。浸透水の影響のない凍結融解 B(3面吹付け)及び凍結融解 C(全面吹付け)の塗膜引張接着試験の破壊形式はアタチメントと防水層の界面破壊となっており、塗膜の実際の接着強さはこの試験値より大きいことを示している。特に凍結融解 C のうち塗膜の破壊形式がプライマーと下地コンクリートの界面破壊のものは 2.62MPa を示し、無負荷の塗膜の接着強度の平均値 2.66Mpa とほぼ等しい値となっている。このことは、凍結融解を受けるコンクリートの防護には塗膜裏塗仕上げの重要性を示唆している。なお、以上の引張接着強さは凍結融解 A を除きいずれもコンクリート塗材の規格値³⁾1.0MPa を満足し、耐久性のあることを示している。

室内促進試験による塗膜変色の度合は初期値 RAL1013 に対し凍結融解、塩水浸漬、冷却では RAL1014 と小さく、淡水浸漬では RAL1034 とやや大きくなる。しかしながら、いずれの試験においても塗膜の剥れ、膨れは認められなかった。したがって塗膜自身の劣化については問題なく、コンクリート防食材としての十分な耐久性があるものと考えられる。

加熱試験では、色調が RAL3009 と大きく変化し、且つ一部に塗膜の膨れが見られ、促進試験後の引張接着強さも 1.31MPa (保持率 49%) と大幅な劣化がみられた。しかしながら、加熱後 8 日目、23 日目の観察においては異常がみられなかったこと、床版防水層との引張接着強さの基準値⁴⁾0.6MPa に対し 110・383 日加熱の過酷な促進試験後においても 1.31MPa を保っていることにより、床版のアスファルト合材舗設時の一時的な高温に対しても塗膜の高温による性能の低下はないと思われる。

なお、室内では特に苛酷環境下ということの主眼として、凍結融解試験を行ったが、実際の暴露試験では、凍結融解の温度条件に近い場所を選定した。ただし、施工後 3 年程し

か経過観察しておらず、現場での室内試験の再現はできていない。しかしながら、2 回の越冬をしたにも関わらず、目視上はがれ・膨れなどの問題はなかった。

4. まとめ

本試験より以下の知見を得た。

- (1) 凍結融解の繰り返し、塩害、更には凍害と塩害の複合作用に対してウレタン塗膜は剥れ膨れが生じず、接着性能は耐久性がある。
- (2) 凍害防止のためには、塗膜端部の塗仕上げの施工が重要である。
- (3) 道路橋床版防水に適用した場合、高温アスファルト合材の舗設による塗膜の接着性能の低下は少なく、十分な接着力が保たれると考えられる。

なお、今後引き続き塗膜の遮塩性能、防水性能、ひび割れ追従性能などについても検討を進めることとしたい。

謝辞

本試験の実施にあたり絶大なるご協力をいただきました北海道開発局小樽開発建設部岩内道路事務所荒谷氏に対し、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田・守屋: RC 構造物の塩害防止に関する研究 その 2 -コンクリート面保護塗膜の遮塩性比較試験, 大林組技術研究所報 No.36 PP134-137.1988
- 2) RAL German Institute for Quality Assurance and Certification: RAL Colours
- 3) 日本道路公団: 構造物施工管理要領 pp. 287 2007
- 4) 日本道路協会: 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料 pp. 13 1987.1