

アクリルゴムを用いた コンクリート表面保護工法の開発

DEVELOPMENT OF CONCRETE SURFACE PROTECTION USING ACRYLIC RUBBER

高瀬 和男¹⁾ 三輪 浩二²⁾ 松井 勲³⁾ 谷川 伸⁴⁾
Kazuo Takase Koji Miwa Isao Matsui Shin Tanikawa

1. まえがき

アクリルゴムを用い、コンクリート表面保護を目的とした材料は、東亜合成株式会社により超柔軟厚膜アクリルゴム系表面被覆材「アロンブルコート」として、1990年初頭から開発が進められ、本州四国連絡橋を始め、大きな実績を有している。

このたび当社は、東亜合成株式会社と協力し、今までの「アロンブルコート」の特徴を生かし、さらに付加価値をつけ加えると共に、材料および施工で「より安価な」製品を共同で開発したので本書で報告する。

2. アクリルゴムの特徴

アクリル樹脂の仲間は我々の周りに様々な形に変化して使用されている。アクリル繊維は衣服として使われ、ガラス状になれば水族館の大きな透明な水槽、さらに車のパッキンなどに近年多く利用されている。また、瞬間接着剤もアクリル樹脂からできている。

アクリルゴム (Acrylic rubber) とは、アクリル酸エステルを主成分に持つ合成ゴムの総称であり、天然ゴムに類似した性質を持つ高分子化合物である。アクリルゴムとアクリル樹脂はモノマーの違いがあり、アクリルゴムは高級アクリル酸エステルを用いており、ガラス転移温度が-80℃程度と低く、低温においてもゴム状の弾性が優れており、かつ経時変化が少ないといった性質がある(図-1 参照)。

さらに、アクリルゴムは化学的に強く、安定した結合で結ばれており、紫外線、熱、オゾン等に長期に曝されても結合が切断・分解することなく、優れた耐久性を有している。建築・土木で、アクリルゴム系塗膜は「アクリレートを主な原料とする非加硫アクリルゴムに充てん剤などを配合したアクリルゴム系エマルジョン塗材」というように認識されている。ガラス転移温度 (Tg) が-80℃のような低温でも柔軟性を維持している樹脂は、そのままでは、粘着剤のようにくたくたの塗膜しか形成しない。これを、化学的に架橋(ゴム架橋)させて、強靱で伸びのある塗材としたものがアクリルゴムである。

また、コンクリート保護材や塗料の分野などにおいては、「地球環境にやさしい」、「人にやさしい」という特徴が製品開発に重要な要素になっている。コンクリート保護材料として一般的に使用されているエポキシ樹脂は、材料としてVOC (揮発性有機化合物)、有害重金属、発がん性物質、産業廃棄物、臭気などが含まれており、これらに対する取り組みとして環境にやさしい弱溶剤可溶エポキシ樹脂の開発が進められている。また、近年、欧米諸国が先行する形で新たな環境問題として内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)がクローズアップされており、環境省のリストアップでは弱溶剤可溶エポキシ樹脂塗料の基体樹脂の原料として用いられているビスフェノールAなどにも環境ホルモンが含まれている。それに対しアクリルゴムも有機化合物ではあるが、エマルジョン化してある水系材料である。エマルジョンとは、例えば牛乳は、小さな脂肪の粒子が水に分散されている状態で、このため白く見える。アクリルエマルジョンも同様に小さなアクリルゴム粒子が水に分散されている状態で、施工することにより水だけが空气中に蒸発し、アクリルゴム粒子同士が結合しアクリルゴム塗膜となる。つまり、環境中へは、水が放出されるだけで溶剤等の放出が全くなく、住環境および人的環境に与える影響がほとんど無いことが最大の特徴である。

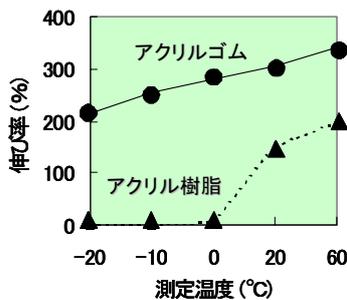


図-1 アクリルゴムの性質

1) 技術グループ 技術研究室
 2) 工事グループ 工事計画部 架設計画課
 3) 技術グループ 橋梁設計部 大阪設計課
 4) 東亜合成株式会社 機能化学品事業部

3. 東亜合成によるアクリルゴムを用いたコンクリート表面保護材の開発の歴史

日本列島は寒冷地である北海道から亜熱帯である沖縄まで南北に長い国土を有しており、我が国の鉄筋コンクリート造はさまざまな環境に置かれている。そのような環境にある鉄筋コンクリートにはさまざまな劣化因子がある。

コンクリートの劣化は、鉄筋腐食（中性化、塩害）とコンクリート自体の劣化（アルカリシリカ反応、凍害）に大別される。アクリルゴムを利用したコンクリート保護材料は、その最大の特徴であるひび割れ追従性を生かして、アルカリシリカ反応によるひび割れに対応する材料として開発が進んできた（写真-1 参照）¹⁾。その開発の中でトップコートにも改良を加え、遮水性、遮塩性、空気透過阻止性などコンクリート保護材としての鉄筋腐食を防ぐ特性が開発されてきた。さらに、アクリルゴムの特徴のひとつであるコンクリート内部の水分を水蒸気として透過させる性格があることも活用された。エポキシ樹脂などでコンクリート保護を行う場合、コンクリート内部に水分を溜め込みそれが鉄筋腐食を助長させることがあるが、アクリルゴムの場合はそれを物理的に発生させないため、更なる鉄筋腐食防止効果があることが分かった（表-1 参照）。

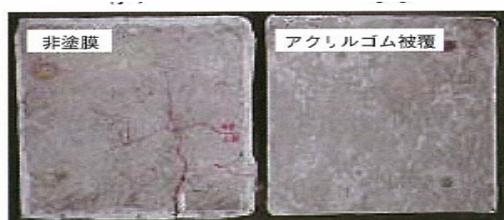


写真-1 アルカリシリカ反応ひび割れの抵抗性

表-1 アクリルゴム系保護塗膜のガス透過性

		透水性 (ml)	空気透過率 (cc/m・hr・ mmHg)	塩素イオン 拡散係数 (cm ² /sec)	水蒸気 透過性 (g/m ² ・d)
アクリルゴ ム系保 護塗膜	伸張 なし	0.0	2.8×10^{-4}	1.4×10^{-11}	12.5
	100%伸 張状態	0.1	4.3×10^{-4}	5.3×10^{-11}	—

上記のように、アルカリシリカ反応のような大きなひび割れにも追従する性能を有し、かつ水分をコンクリート内に取り込まず、それによりアルカリシリカ反応を抑制する以外に、1992～2005年北海道大学と共同で実施した凍害防止試験では、その凍害防止性も確認された（写真-2 参照）²⁾。

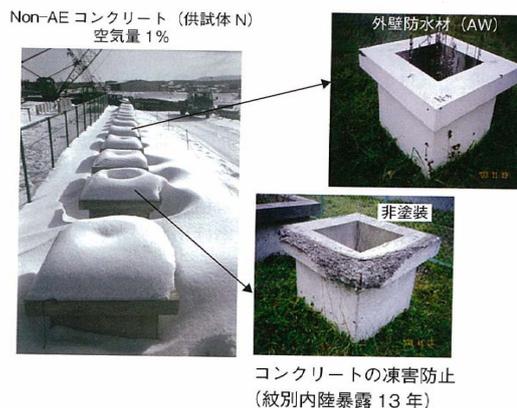


写真-2 凍害に対するアクリルゴム系保護膜の効果

さらに、コンクリートとの付着性が優れていると共に、紫外線により表面の耐候性が劣化した部分を除去し、その上に塗り重ねを行うことで補修ができることなど維持補修性の優位点があることも確認された。

アクリルゴムを用いたコンクリート表面保護材は、そのひび割れ追従性、コンクリートの付着性から本州四国連絡橋瀬戸大橋コンクリートケーソン上部に適用されており、18年の実績を有している（写真-3 参照）。その塗膜採取では、密着性が良好であったことと、初期に 6.5mm であったひび割れ追従性試験の結果が 17 年後に 3.2mm もあったことが確認された³⁾。また、このひび割れ追従性は全国の原子力発電所の原子炉建屋外壁の雨水及び飛来塩分の浸入防止対策にも適用されている。



写真-3 瀬戸大橋施工部分

また、北陸道においては、アルカリシリカ反応の被害に遭っているコンクリート構造物に各種表面保護材を施工しているケースがあり、平成 23 年 5 月末に劣化調査を行った。写真-4 は平成 14 年 9 月に施工されたケースであり、施工から 9 年が経過している。ポリウレタンおよびエポキシ樹脂系の表面保護材は、塗面が硬くひび割れの追従性が無く、塗面がひび割れているが、アクリルゴム系の表面保護材は、塗面からひび割れに追従している

状況が見られると共に、塗面が剥離していたり、膨れが発生している状況が確認できなかった。アクリルゴム系表面保護材の施工場所が、雨のかかる場所であったからかもしれないが、塗面表面は9年が経過しているにもかかわらず、弾力性があり、健全であった。



写真-4 北陸道コンクリート表面保護材の比較

4. 駒井ハルテックとの共同開発

アクリルゴムを用いたコンクリート表面保護材の特徴は、①水系材料を用いた環境にやさしい材料であること、②水蒸気透過性があること、③ゴム材料であるため伸び性能がよくひび割れ追随性に優れていること、④膜層のコンクリートへの付着耐久性が良いこと、⑤表面が劣化した場合その表層だけをケレンし、塗り重ねができることなどである。しかし、アルカリシリカ反応材料に対するひび割れ追随性を優先するあまり、重ね塗り回数が増えている。さらに施工的にローラーおよびコテ仕上げを優先し、結果的に材料と施工費あわせた価格で経済性を検討する部分があった。

共同開発に当たっては、アクリルゴムを用いた製品としての特徴を生かし、「環境に優しい」「コンクリートに優しい」「メンテナンスが容易」「安価である」ことを目指し、検討を行った。

○「環境に優しい」

従来の製品は、トップコートに一部弱溶剤可溶エポキシ樹脂を使って透水性阻止などのコンクリート表面被覆材としての性能強化を図っていたが、オール水系にこだわり、環境に優しい材料開発に取り組んだ。

○「コンクリートに優しい」

水蒸気透過性を優先して開発を進め、コンクリート内部に水を貯めないことに努めた。土木学会表面保護工法の有機系被膜マニュアルによると、水蒸気透過性の高透湿の $1.5g/cm^2 \cdot day$ を目指した。

○「メンテナンスが容易」

エポキシ樹脂剥落防止材の劣化に伴う張替え工事を行

った場合、その剥ぎ取りに塗布以上の施工的苦勞があり、また剥ぎ取った材料も産業廃棄物としての処理が必要である。よって、既設塗面を剥ぎ取ることなく塗り重ねができることは、施工者側にとって有利であるとともに、発注者の立場からも廃棄物を出さず、ECO(エコノミー、エコロジー)である。

○「安価である」

従来の製品は、下地処理を別にして下塗り1層、中塗り3層、上塗り2層の計6層の施工を行っていた。その施工回数を少なくし、かつ吹付け施工を優先することで経済性を優位にすることを目指した。

5. 施工試験

東亜合成において、上記開発の趣旨に従い、従来商品の性能を維持しながら新しい付加価値の性能が発揮できるように材料の改良を実施した。その上で、平成22年10月当社大阪工場において、共同で試験を実施した。表-2に施工材料仕様、表-3に吹き付け、こて塗り、ローラー塗りの施工時間を示す。

施工試験の結果、どの施工結果も良好であり、外観に関して施工半年後の確認を行った結果でも、問題となる結果は見られなかった。また、施工スピードは、当然ではあるが、吹き付け施工が最も早い。今後、材工価格を示す場合に吹き付けを優先しコスト削減を図るが、足場の費用が多少高くなることを示すべきである。

表-2 施工時材料仕様

工程	使用材料		標準使用量 (kg/m ²)	施工方法
下地処理 鉄筋防錆 断面修復	アロンカチオクリート	アクリル樹脂 ポリマーセメント	-	はけ こて
1 下塗材塗布	アロンブルコート P300	水系エポキシ樹脂	0.1~0.2	ローラー
2 中塗材塗布 メッシュ張付け	ビニロンメッシュ 150K アロンブルコート A-450X	ビニロン樹脂 水系アクリル ゴム	1.0	こて
3 中塗材塗布	アロンブルコート A-450X	水系アクリル ゴム	1.0	こて ローラー エア吹
4 上塗材塗布	アロンブルコート T-320	水系アクリル ウレタン樹脂	0.2~0.3	ローラー

表-3 施工条件による時間比率の差 (5m² 当り)

施工条件	エア吹き		こて		ローラー	
	有	無	有	無	有	無
メッシュ						
施工時間	1.15	1.0	1.27	1.30	1.37	1.15

エア吹きのないメッシュなしを1.0とした場合の比率

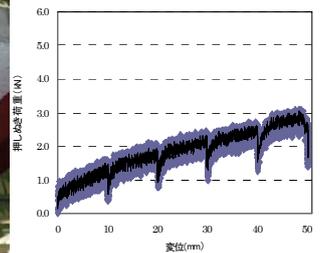
6. 共同開発製品の紹介

完成したアクリルゴムを用いたコンクリート表面保護材について、表-4, 5 にその仕様および性能を紹介する。

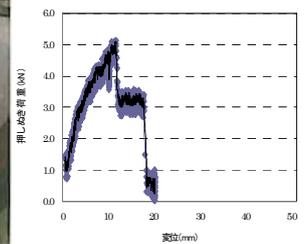
商品名は「アロンブルコート Z-X (劣化防止+剥落防止)」、および Z-Y (劣化防止)」である。

表-4 標準仕様

工程		使用材料 ()内は標準使用量 kg/m ²		施工方法
	下地処理 鉄筋防錆 断面修復	アロンチオクリート (必要に応じて)	アクリル樹脂 ポリマー ポリマーセメント	はけ こて
1	下塗材塗布	アロンブルコート P-300 (0.1)	水系エポキシ 樹脂	ローラー
2	中塗材塗布 メッシュ張付け	アロンブルコート A-450X (0.5) *ヒニロンメッシュ 150K (1.1) *アロンブルコート A-450 X (0.5)	水系アクリルゴム ヒニロン樹脂 水系アクリルゴム	こて *ローラー
3	中塗材塗布	アロンブルコート A-450 X (1.0) *の場合使用量は [1.5]	水系アクリルゴム	こて ローラー エア吹
4	上塗材塗布	アロンブルコート T-1000 (0.2)	水系アクリル シリコン樹脂	ローラー エア吹



(1) アクリルゴム系 (アロンブルコート Z-X)



(2) エポキシ樹脂系

写真-5 押し抜き性能

劣化防止 (Z-Y) 仕様の場合は、*印材料を省略し、[]の使用量とする。

表-5 物性試験結果

機関名		アロンブルコート	国土交通省			NEXCO
基準名			道路橋の塩害対策指針			表面被覆材
種別		試験結果	A種	B種	C種	
内容			PC部材に用いる	RC部材に用いる	塗り替えが困難	
塗膜の健全性	標準養生後	異常なし	均一で、流れ・むら・われ・はがれがない			均一で、流れ・むら・われ・はがれがない
	促進耐候性試験後	異常なし	白垂化はほとんどなく、われ・はがれがない			白垂化はなく、塗膜に膨れ・われ・はがれがない
	温冷繰り返し試験後	異常なし	-			膨れ・われ・はがれがない
	耐アルカリ性試験後	異常なし	ふくれ・われ・はがれ・軟化・溶出の無い			膨れ・われ・はがれがない
	耐湿試験後	-	-			7日間で膨れ・われ・はがれがない ¹⁾
コンクリートとの付着性	標準養生後 ¹⁾	N/mm ² 2.1	-			1.0以上
	基盤目試験	25/25	25/25			-
	促進耐候性試験後 ¹⁾	N/mm ² 2.4	-			1.0以上
	温冷繰り返し試験後 ¹⁾	N/mm ² 1.5	-			1.0以上
	耐アルカリ性試験後 ¹⁾	N/mm ² 1.3	-			1.0以上
遮塩性	mg/cm ² ・day	10 ⁻²	10 ⁻² 以下		10 ⁻³ 以下	5 × 10 ⁻³ 以下
水蒸気透過性(阻止性)	mg/cm ² ・day	1.6	-			5.0以下
中性化阻止性	mm	0	-			1.0以下
ひび割れ追従性	標準養生後(常温)	mm 2.6	-			伸びが0.4(0.8)以上 ²⁾
	% ²⁾	130	伸びが1%以上	伸びが4%以上	伸びが1%以上	-
	標準養生後(低温)	mm 2.1	-			伸びが0.2(0.4)以上 ²⁾
	促進耐候性試験後(常温)	mm 2.4	-			伸びが0.2(0.4)以上 ²⁾
備考	1)は引張試験結果 2)は標線間伸び率					1)高温多湿化mm協で使用する場合は10日間とする 2)ひび割れ追従性が必要となる場合は()内とする

写真-5 にアロンブルコート Z-X とエポキシ樹脂系剥落防止材の押し抜き試験時の写真と試験結果を示す。写真で示すように、アロンブルコートの伸び性能は、エポキシ樹脂系に比べ非常に大きい。また、試験結果からエポキシ樹脂系は、大きな荷重を受けるが、変形性能に乏しい。しかし、アロンブルコートは大きな変形性能を有するため、剥落による変形があった場合に、急激にコンクリート塊が落下することが少ないと予想される。

参考文献

- 1) 谷川伸：ゴム状弾性被覆材によるアルカリ骨材反応の抑制，道路建設材料に関する国際セミナー，北陸道路研究会 50周年と川村満紀教授の退官を記念して，pp.89-106, 2003.10
- 2) 谷川伸ら：北海道紋別市での表面塗材による鉄筋コンクリートの凍害・塩害防止効果に関する暴露実験，第7回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集，pp.150-154, 1992