

コンクリート保護工法(中性化抑制を主)の工事費と耐用年数

I. 従来技術と新技術

従来技術

中性化に対する有機系被覆工法

: 土木学会コンクリートライブラリー-119 表面保護工法 設計施工指針(案)ページ135より、一番薄い被膜系を選定

本工法は鋼道路橋塗装・防食便覧ページⅡ-42にCC-A工法として記載されている

技術名称	エポキシ/ポリウレタン塗装工法					
要求性能	中性化抑制を主とし、凍害・塩害を抑制					
対象コンクリート	塗付仕様について、W/Cの制約なし					
耐候性区分	標準					
付着強さ区分	標準					
ひび割れ追従性区分	なし					
被覆システム	工程	一般名	使用量 g/m ²	膜厚 μm	塗装 間隔	塗装 方法
	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	100			スプレー
	パテ	エポキシ樹脂パテ	500		1~10日	へら
	中塗	標準エポキシ樹脂塗料中塗	260	60	1~10日	刷毛
	上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	120	30	1~10日	刷毛
	合計		980	90	4~	

作業口含む

新技術-1

技術名称	ハーミエイトHS-360含浸工法					
要求性能	中性化抑制を主とし、凍害・塩害・アル骨反応(水蒸気透過性)等を抑制					
対象コンクリート	如何なるW/Cコンクリートへも適用可能 但し、W/C=70以上の場合は塗布量を165g/m ² とすることで、中性化抑制率90%以上を確保					
耐候性区分	細孔内含浸・無機系樹脂を形成するので、耐候性は全く問題なし					
付着強さ区分	細孔内含浸・樹脂形成で細孔を塞いでいるので樹脂剥離はなし					
ひび割れ追従性区分	なし					
塗付仕様 W/C=55コンクリート	工程	一般名	使用量 g/m ²	膜厚 μm	塗装 間隔	塗装 方法
	塗付	ハーミエイトHS-360	110			刷毛
	合計		110		1日	

作業口10%含む

新技術-2

技術名称	ハーミエイトHS-300含浸・被覆工法					
要求性能	中性化抑制を主とし、凍害・塩害・アル骨反応(水蒸気透過性)等を抑制					
対象コンクリート	如何なるW/Cコンクリートへも適用可能 但し、着色塗膜の場合W/Cにより塗布量を変動させる必要あり(空隙率の違いによるHS-300クリアーのコンクリート細孔内への浸透量が変化) クリアー塗膜の場合は、強い光沢感をお望みである場合を除き150g/m ² で対応可能					
耐候性区分	細孔内含浸および被覆は無機系樹脂を形成するので、耐候性は全く問題なし					
付着強さ区分	細孔内含浸による根付塗膜となるので樹脂剥離はなし					
ひび割れ追従性区分	なし					
塗付仕様 W/C=55コンクリート	工程	一般名	使用量 g/m ²	膜厚 μm	塗装 間隔	塗装 方法
	塗付	ハーミエイトHS-300クリアー	82.5	-		刷毛
	塗付	ハーミエイトHS-300クリアー	82.5	25	2Hr	
	合計		165	25	1日	

作業口10%含む

II. 工事費積算 算定基準

1. 材料費

使用量: 使用量は上表通り

価格: 従来技術は建設物価2016年10月号鋼構造物用塗料に公表されている取扱店売値(工事業者購入値)の全国ベースを引用
新技術は設計価格(よって取扱店売値より20~30%程度高い)

2. 工賃

工数: 橋梁架設工事の積算H28年度版における仕上げ塗装工歩掛をベースとして算定

橋梁架設工事の積算H28年度版(2層塗り) 100 m2当たり	単位	数量	1層塗りへ修正
			数量
橋梁世話役(指導的業務)	人	1.1	0.55
橋梁塗装工(塗装業務)	人	3.4	1.70
普通作業員(補助的業務)	人	2.3	1.15

採用した塗装歩掛

刷毛作業歩掛を橋梁架設工事ベースとし、スプレー、へらは塗装工の歩掛を補正

m2/日・人	1層塗り歩掛	塗布方法毎の歩掛		
		スプレー	刷毛	へら
橋梁世話役(指導的業務)	0.55	0.55		
橋梁塗装工(塗装業務)	1.70	1.28	1.70	3.40
普通作業員(補助的業務)	1.15	1.15		

労務単価:

建設物価2016年10月号記載の公共工事設計労務単価-三重県

橋梁世話役(指導的業務)	30,900 円/日・人
橋梁塗装工(塗装業務)	29,200 円/日・人
普通作業員(補助的業務)	18,000 円/日・人

算定結果

施工面積: 100 m2

従来技術

項目	名称	使用量 Kg	単価 円/Kg	金額 円		
材料費	エポキシ樹脂プライマー	10.0	670	6,700		
	エポキシ樹脂ハテ	50.0	785	39,250		
	標準エポキシ樹脂塗料中塗	26.0	1,180	30,680	淡彩色	
	ポリウレタン樹脂塗料上塗	12.0	1,500	18,000	淡彩色	
	小計			94,630		
労務費		人	円/日・人	円		
	橋梁世話役	2.20	30,900	67,980	4回塗布	
	橋梁塗装工	プライマー	1.70	29,200		49,640
		ハテ	3.40	29,200		99,280
		中塗	1.70	29,200		49,640
		上塗	1.70	29,200		49,640
	小計	8.50	29,200	248,200		
	普通作業員	4.60	18,000	82,800	4回塗布	
小計	15.30		398,980			
諸雑費	上記合計の10%			49,361		
合計				542,971		
m2単価				5,430		

新技術-1

項目	名称	使用量 Kg	単価 円/Kg	金額 円
材料費	ハ°-ミエトHS-360	11.0	15,000	165,000
	小計			165,000
労務費		人	円/日・人	円
	橋梁世話役	0.55	30,900	16,995
	橋梁塗装工	1.70	29,200	49,640
	普通作業員	1.15	18,000	20,700
	小計	3.40		87,335
諸雑費				25,234
合計				277,569
m2単価				2,776

新技術-2

項目	名称	使用量 Kg	単価 円/Kg	金額 円
材料費	ハ°-ミエトHS-300クリアー	8.25	15,000	123,750
	ハ°-ミエトHS-300クリアー	8.25	15,000	123,750
	小計	16.50		247,500
労務費		人	円/日・人	円
	橋梁世話役	0.55	30,900	16,995
	橋梁塗装工	1.70	29,200	49,640
	普通作業員	1.15	18,000	20,700
	小計	3.40		87,335
諸雑費				33,484
合計				368,319
m2単価				3,683

III. 耐用年数算定

従来技術

本工程は、コンクリート表面への塗装ですので、塗装の耐用年数を算定することとしますが、

塗装の耐用年数については、日本塗料工業会「重防食塗料がトブック」及び日本橋梁建設協会「橋梁技術者のための塗装がトブック」に纏められているものの、その数値には大きな隔たりがあり、且つ新規塗装系に適用しづらいものとなっています。そこで、これらの整合性を整理、修正することにより各種塗装系の耐用年数を推定できるようにしました。

添付資料： 日本塗料工業会「重防食塗料がトブック」第3版と日本橋梁建設協会「橋梁技術者のための塗装がトブック」抜粋資料

1. 景観維持耐用年数の算定法

日本塗料工業会「重防食塗料がトブック」Page154～168において、塗膜の消耗速度から耐用年数を算出する手法が提案されており、その内容は下記の如くとなっています。

- 1) 塗膜の衰耗年数を算定する塗膜厚さは目標膜厚の80%
- 2) 厳しい腐食環境下(海岸部)における塗膜の消耗速度

	誘導期間	消耗速度
無機ゾクリッチ	75 μm膜厚で15年寿命	
エポキシ樹脂	0年	10 μm/年
ポリウレタン樹脂	2年	2 μm/年
ふっ素樹脂	7年	0.5 μm/年
中塗塗料	全てエポキシ樹脂同等と設定	

誘導期間：塗膜の消耗が開始される迄の期間
消耗速度：誘導期間以後の消耗速度

- 3) 一般腐食環境下での耐用年数： 厳しい腐食環境下の耐用年数 * 1.5

しかしながら、上記算出方法で算出された耐用年数は、施工実績結果から纏められた日本橋梁建設協会「橋梁技術者のための塗装ガイドブック」Page67「防錆を主に美観を加味しての期待耐用年数」と大きな差がみられることから、弊社では、**より現実に合わせるため塗膜の消耗速度を下表の如く修正しました。**

	誘導期間	消耗速度	
無機ゾンクリッチ	75 μm膜厚で15年寿命		全ての塗料で誘導期間はなし
有機ゾンクリッチ	75 μm膜厚で7.5年寿命		有機樹脂なので無機の50%と設定
エポキシ樹脂	0年	10 μm/年	消耗速度:修正せず
ポリウレタン樹脂	0年	2 μm/年	消耗速度:修正せず
ふっ素樹脂	0年	1 μm/年	消耗速度:2倍へ修正
フタル酸樹脂	0年	5 μm/年	消耗速度:施工実績ベースで設定
塩化ゴム	0年	4 μm/年	消耗速度:施工実績ベースで設定
中塗塗料	全てエポキシ樹脂同等と設定		

その結果、下表の如く現実により近い数値となったので、上表値を採用し、景観維持耐用年数を算定することとします。

上塗景観維持耐用年数(厳しい腐食環境下)				
塗料種	膜厚 μm	日本橋梁建設協会 施工実績値	日本塗料工業会 算法による算出	弊社修正法 による算出
フタル酸	25	3~4年	年	4年
塩化ゴム	30	6~7年	年	6年
塩化ゴム	70	9~11年	年	14年
ウレタン	25	13~15年	12年	10年
ふっ素	25	15~20年	47年	20年

2. 防食維持耐用年数の算定法; ;これが塗膜が消失しコンクリート表面が露出する年数

日本塗料工業会「重防食塗料ガイドブック」においては、防食維持耐用年数をI項と同様に塗膜の消耗速度から算出していますが、得られる数値は日本橋梁建設協会「橋梁技術者のための塗装ガイドブック」Page68に記載されている期待値と大きな隔たりがありますので、弊社はI項の修正とともに、更に補正係数を導入し、日本橋梁建設協会試算値と合わせることにしました。

$$(\text{補正後の耐用年数}) = (\text{弊社修正法による耐用年数積算値}) * (\text{補正係数})$$

$$\text{補正係数} = 0.53$$

この補正係数の物理的意味は、日本橋梁建設協会「橋梁技術者のための塗装ガイドブック」Page67、68の景観維持および防食維持耐用年数を比較すると、防食維持は景観維持の50%増し程度となっていることから、中塗・下塗の耐用年数への貢献度が少ないことを意味しており、これは大部分の塗膜が平均的消耗速度で損耗していくなかで、部分的に大きな損耗を受けている箇所があり、この点在部分の損耗が防食維持耐用年数を制約しているものであろうと考えます。

塗装系	膜厚 μm	日本橋梁建設協会期待値	日本塗料工業会による算定	弊社修正法による算出		
C-1	無機ゾンクリッチ	75	年	15年	15年	
	エポキシ下塗	60	年	5年	5年	
	エポキシ下塗	60	年	5年	5年	
	ポリウレタン中塗	30	年	2年	2年	
	ポリウレタン上塗	25	年	12年	10年	
	上記計	250	20年	39年	37年	日本橋梁建設協会試算値
	補正後				20年	15-20年

塗装系	膜厚 μm	日本橋梁建設協会期待値	日本塗料工業会による算定	弊社修正法による算出		
C-4	無機ゾンクリッチ	75	年	15年	15年	
	エポキシ下塗	60	年	5年	5年	
	エポキシ下塗	60	年	5年	5年	
	ふっ素中塗	30	年	2年	2年	
	ふっ素上塗	25	年	47年	20年	
	上記計	250	30年	74年	47年	日本橋梁建設協会試算値
	補正後				25年	25-30年
ふっ素上塗補正後				30年		

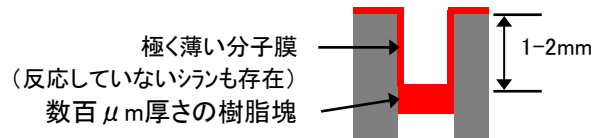
C-4系では日本橋梁建設協会試算値との差が5年となったので、今後の推算においては、ふっ素上塗り時は+5年の再補正を行う。

3. 上記耐用年数算定法による既存技術の耐用年数

	塗膜厚さ μm	塗膜損耗年数 膜厚 * 0.8 / 塗膜 消耗速度	コンクリート露出 耐用年数	
			単純積算	補正後
エポキシ樹脂プライマー	-	0.0	0.0	0.0
エポキシ樹脂パテ	-	0.0	0.0	0.0
標準エポキシ樹脂塗料中塗	60	4.8	4.8	2.5
ポリウレタン樹脂塗料上塗	30	12.0	12.0	6.4
合計	90	16.8	16.8	8.9

新技術-1:HS-360

本工法は、パーミットHS-360がコンクリート微細孔へ浸透しつつ硬化反応し、表面から1~2mm下の細孔を無機系樹脂で塞ぐことにより、水・塩化物および炭酸ガスの侵入を防止・抑制することによりコンクリートの劣化を防止・抑制する工法ですので、



コンクリートの摩耗速度についての研究は、大気中であれば風速・空気中のダスト・ミスト量等により、水中であれば流速・砂礫形態/量に大きな影響を受けるであろうものの、こういう条件下における摩耗研究論文は見つからなかったが、高速水流中の砂礫による摩耗速度の実験結果を報告した下記論文を探索できたので、これを引用して水中におけるコンクリート摩耗速度を概算するこ

笹倉ほか: 高速流水中の砂礫によるコンクリートの摩耗に関する実験的研究、土木学会年次学術講演会、pp83-84、2003/9

本論文におけるコンクリートの摩耗は

- 1) W/C=55(設計基準強度28N/mm²)コンクリート平滑面(鋼製・化粧合板型枠ベース)は、流速7.0m/sec、平均粒径0.21mm砂礫濃度40ppm(ある湾内の平常時実測値は20~40ppm)において、340Hrで0.04mm摩耗。
一方、粗面(木製型枠ベース)は、同一条件で、0.15mm摩耗。

2) 砂礫濃度が400ppmとなると、平滑面で771Hrにおいて0.39mm、粗面で0.30mmが摩耗。と発表されているが、富山県の急流河川で流速1.2m/sec程度である報告があること、壁面の摩擦力は流速の2乗に比例することより

砂礫濃度40ppm、流速1.2m/secの流水中におけるW/C=55コンクリートの摩耗速度は
 流速7m/secの摩耗速度 : 40 μm/340Hr → 40 * (365 * 24/340) = 1,030 μm/年
 流速1.2m/secでの摩耗速度; 1,030 * (1.2/7.0)² = 30 μm/年

となる。

江蔵ほか: 各種河川流速観測手法に関する基礎的検討、河川流量観測の新時代第3巻、pp41-48、2012/9

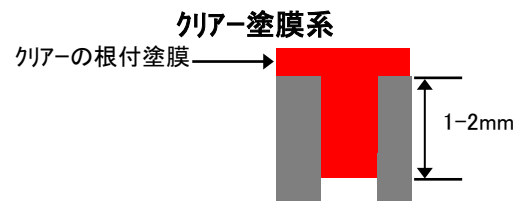
よって、樹脂形成深さを1mmとして、これまで摩耗されるには33年が必要となり、30年を耐用年数と設定する。

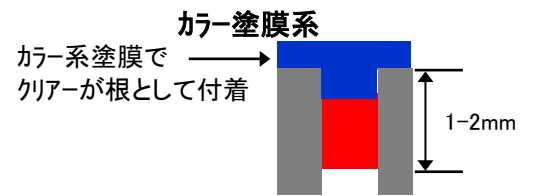
但し、屋外のコンクリート構造物の摩耗速度は上記値より大幅に小さいであろうことより、実際の耐用年数は30年を大幅に伸びるだろうと推察。

コンクリート微細孔への紫外線の侵入深さについての報告は検索できていないが、UV硬化樹脂塗膜における紫外線の侵入深さは3-4mm程度との記述もあることより、形成された樹脂の紫外線劣化は起こると考える必要があるが、HS-360の紫外線劣化速度はふっ素樹脂以下であること(紫外線劣化速度は0.9 μm/Yと設定)、空隙率20%コンクリートへ100g/m²塗布した場合の樹脂厚さは理論的には500 μmとなることより、コンクリートの摩耗より圧倒的に長期耐用となるので、耐用年数はコンクリートの摩耗により制約されている。

新技術-2:HS-300

本工法は、パーミットHS-300がコンクリート微細孔へ浸透しつつ硬化反応し、表面から1~2mm下のまでの孔を無機系樹脂で塞ぎつつ、コンクリート表面に塗膜を形成させることにより、水・塩化物および炭酸ガスの侵入を防止・抑制することによりコンクリートの劣化を防止・抑制する工法ですので、





塗膜部分の損耗は

紫外線劣化: $25 \mu\text{m} / 0.9 \mu\text{m}/\text{Y} * \text{補正}0.53 = 14.7$ 年

摩耗 : $25 \mu\text{m} / 30 \mu\text{m}/\text{Y} = 0.8$ 年 ; 数値として摩耗を採用

コンクリート1mmの摩耗 33.3 年

となり、合計で34年が耐用できることとなるが、HS-360と同様30年を耐用年数であると設定。