

國土交通省

新技術資訊提供系統 (NETIS)

註冊編號 QSK-080005-A

混凝土之物理化學性防蝕工法 鋼筋防鏽鹽害因應工法

混凝土結構體防蝕工法
(GF防護工法)
(Slag Lead工法)

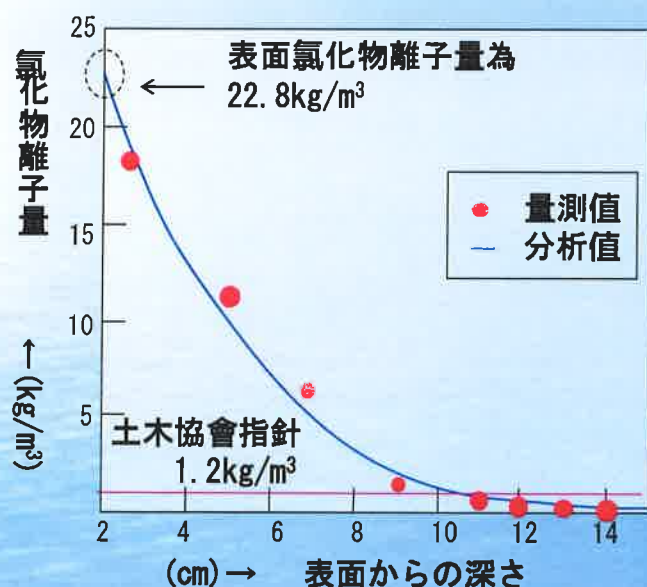
・研究開發概要

本工法主要是於混凝土結構體中性化後或遭受鹽害後，用以延長其使用壽命。施工方式則使用亞硝酸鹽的鋼筋防蝕作業，與透過嵌入模板等進行之斷面復原，達到維護結構體的目的，是種相當環保的修補、補強工法。

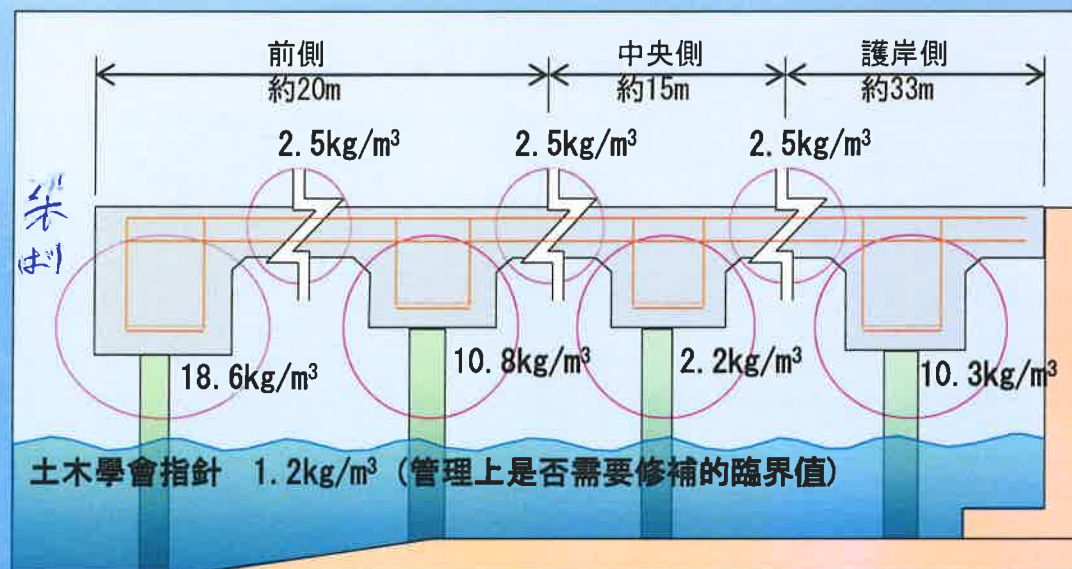
①背景及目的

■氯離子若存在於鋼筋混凝土之中，將會破壞鋼筋的鈍化保護膜，
導致混凝土剝落等，嚴重的損害。

■表面起算的深度與氯化物離子量間的關係



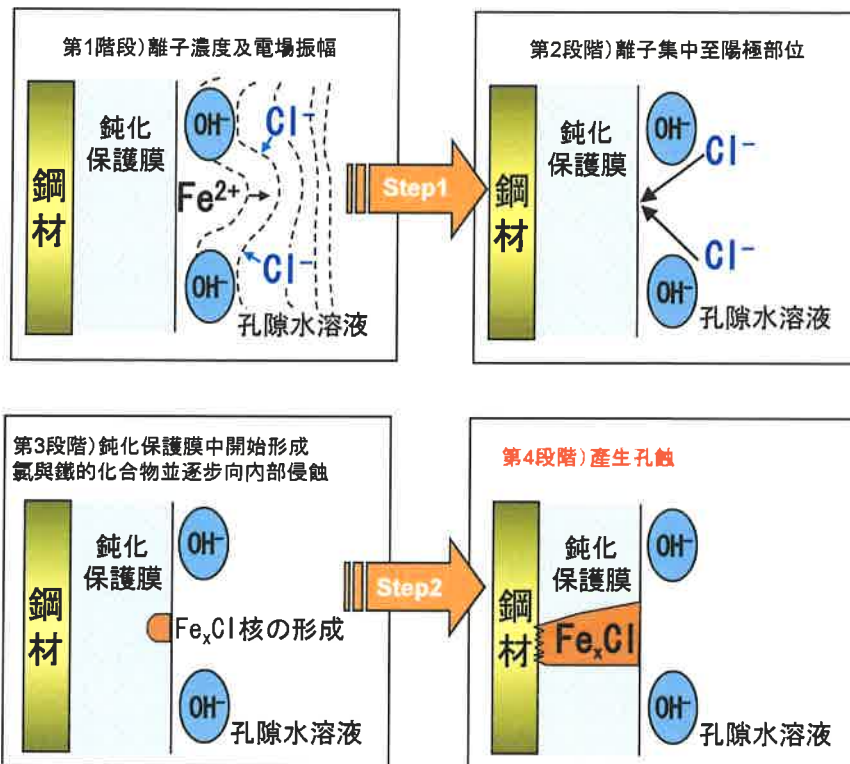
■停泊處(碼頭、棧橋)表面氯化物離子量的實例



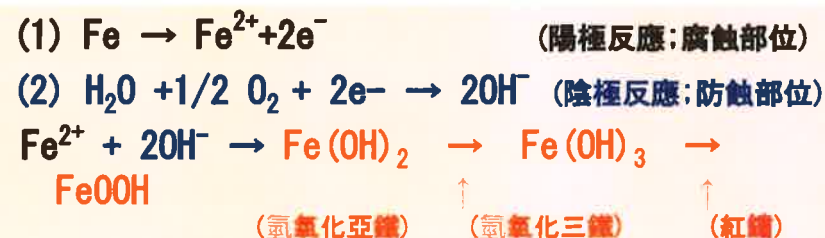
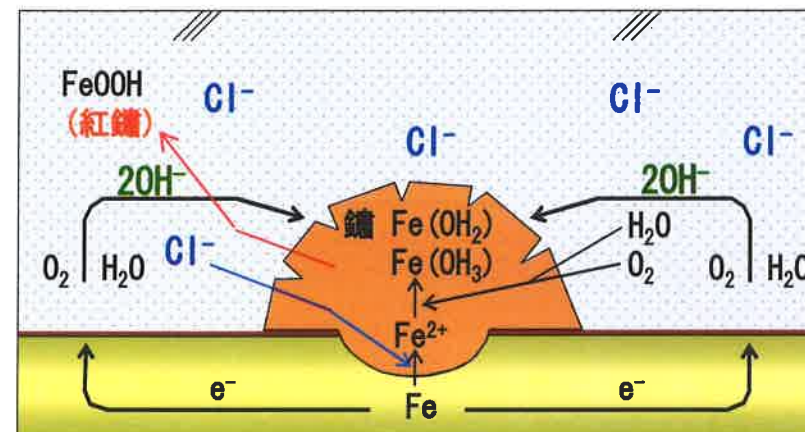
■本公司開發的此工法為防鏽劑（亞硝酸鹽）混和砂漿（薄泥漿）之鋼筋鈍化保護膜再造技術，藉此除可保護既有混凝土結構體不受殘存於內部的氯離子傷害，同時亦可消除或減少之後從外部滲入的腐蝕因子。

②鋼筋的腐蝕電位

正常混凝土中的鋼筋，由於混凝土的強鹼性，會於鋼筋表面形成一種「鈍化保護膜」，因此不易遭受侵蝕。



但是，當混凝土發生中性化(混凝土的酸鹼值下降)或遭受鹽害(氯離子達一定濃度)之後，此鈍化保護膜將會遭到破壞，進而造成電化學腐蝕，鋼筋隨即開始遭受侵蝕。

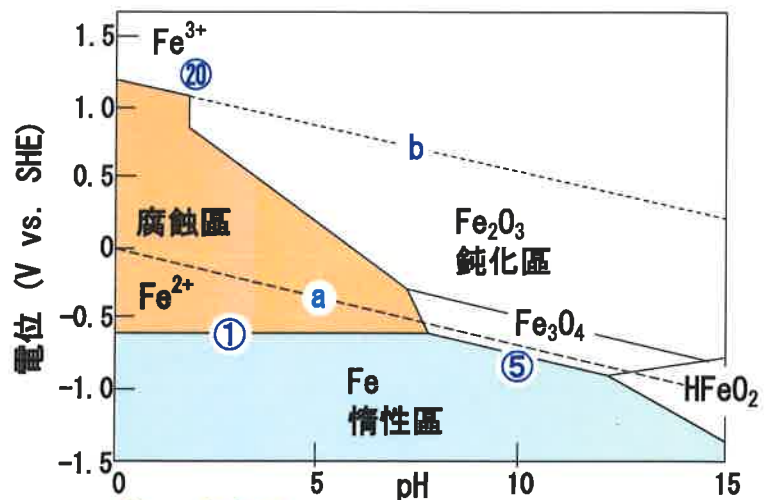


(銅-硫酸銅電極)	(Pb電極)	
-126~-150	+675~+651	90%以上不會遭受腐蝕
-151~-175	+650~+626	
-176~-200	+625~+601	
-201~-225	+600~+576	不確定會不會遭受腐蝕
-226~-250	+575~+551	
-251~-275	+550~+526	
-276~-300	+525~+501	
-301~-325	+500~+476	
-326~-350	+475~+451	90%以上會遭受腐蝕
-351~-375	+450~+426	
-376~-400	+425~+401	
-401~-425	+400~+376	
(mV)	(mV)	

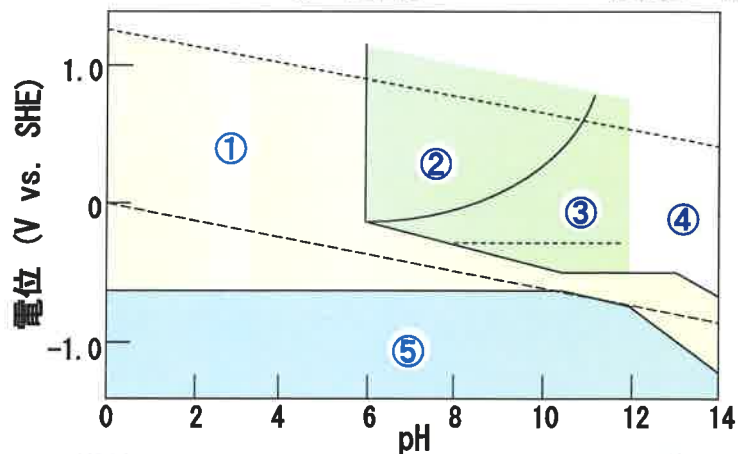
(ASTM C876腐蝕評斷基準)

鐵的電位-pH的關係與電化學防蝕的原理

(a) 藉由化學熱力學得出的計算值



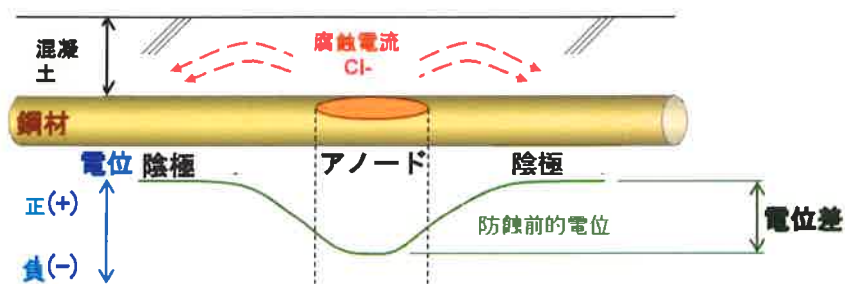
(b) 於含NaCl 10⁻²M的環境下產生局部腐蝕的情況



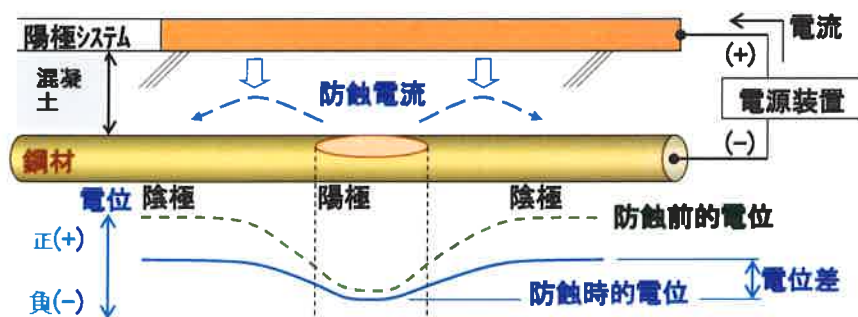
①全面腐蝕區 ②孔蝕區 ③不完全鈍化區 ④完全鈍化區 ⑤惰性區

混凝土結構體上電化學的應用 1998.2
早稻田大學 理工學部 教授 關 博

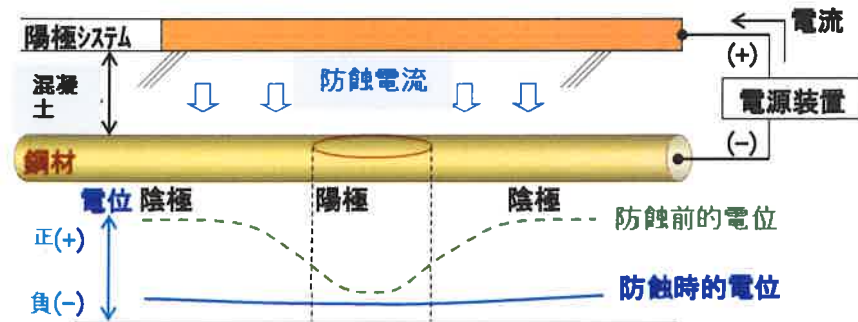
(a) 鋼材的腐蝕(防蝕前)



(b) 防蝕電流不足時



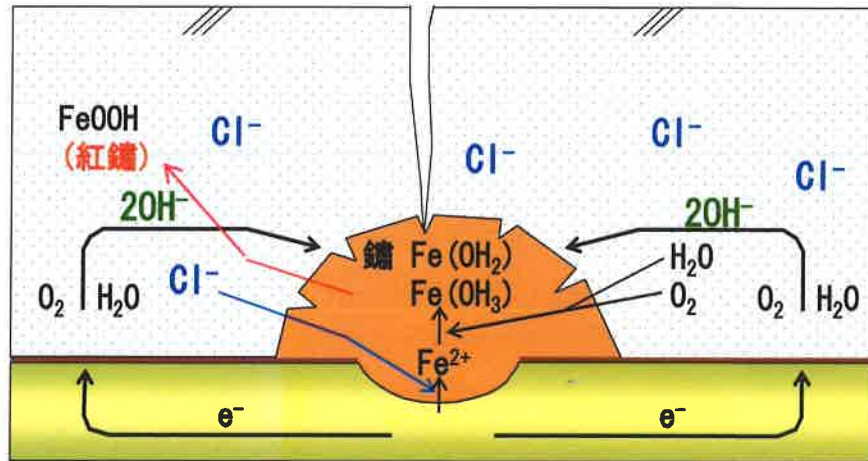
(c) 防蝕電流充足時



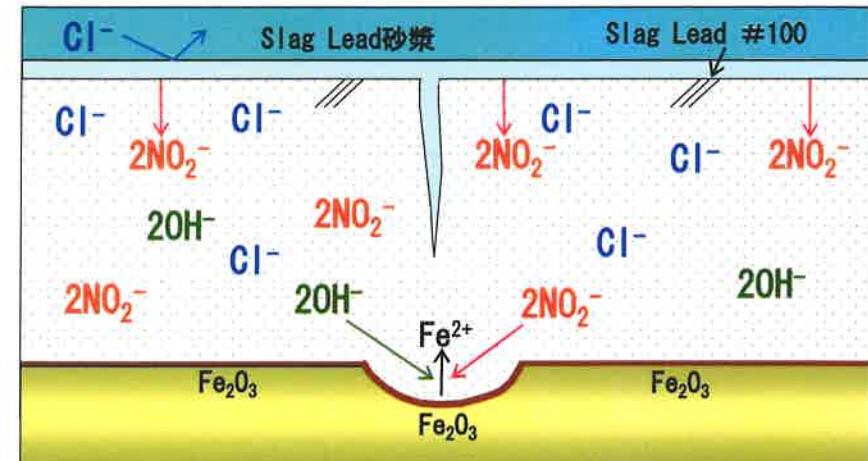
電化學的防蝕工法 設計施工指針 (案) 土木學會

③ Slag Lead #100、#110的防鏽效果

腐蝕概念

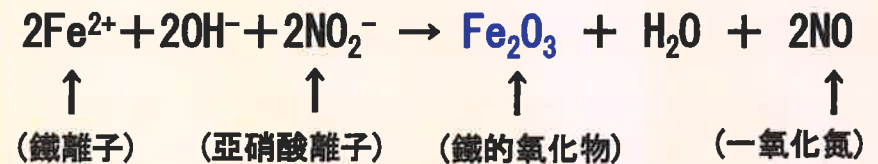
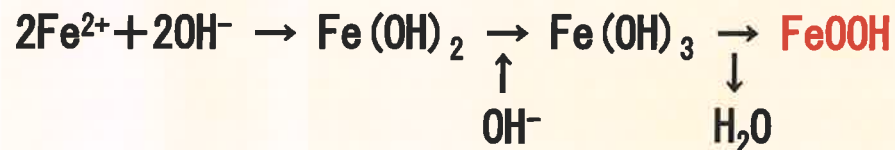
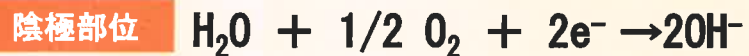
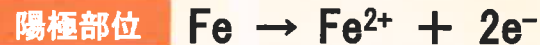


Slag Lead的防鏽概念



Slag Lead #100、#110的防鏽效果

鈍化保護膜為一種細密的氧化物 (Fe_2O_3)，氯化物離子 (Cl^-) 會破壞鈍化保護膜，並且會溶解金屬的鐵（溶出後形成二價的 Fe^{2+} ），而亞硝酸離子 (NO_2^-) 會與二價的 Fe^{2+} 發生反應，促成鈍化保護膜的再生。



④不同種二次噴塗的砂漿產生之鋼筋腐蝕情況差異

■樣本形式



■試驗內容

藉由改變二次噴塗的砂漿種類，
比較鋼筋腐蝕與抑制腐蝕的情況。

二次噴塗的砂漿

- A. 含氯化物的砂漿 (NaCl 0.2%/砂漿)
- B. 普通水泥砂漿
- C. 高分子水泥砂漿
- D. 加入防鏽劑的砂漿

■試驗結果

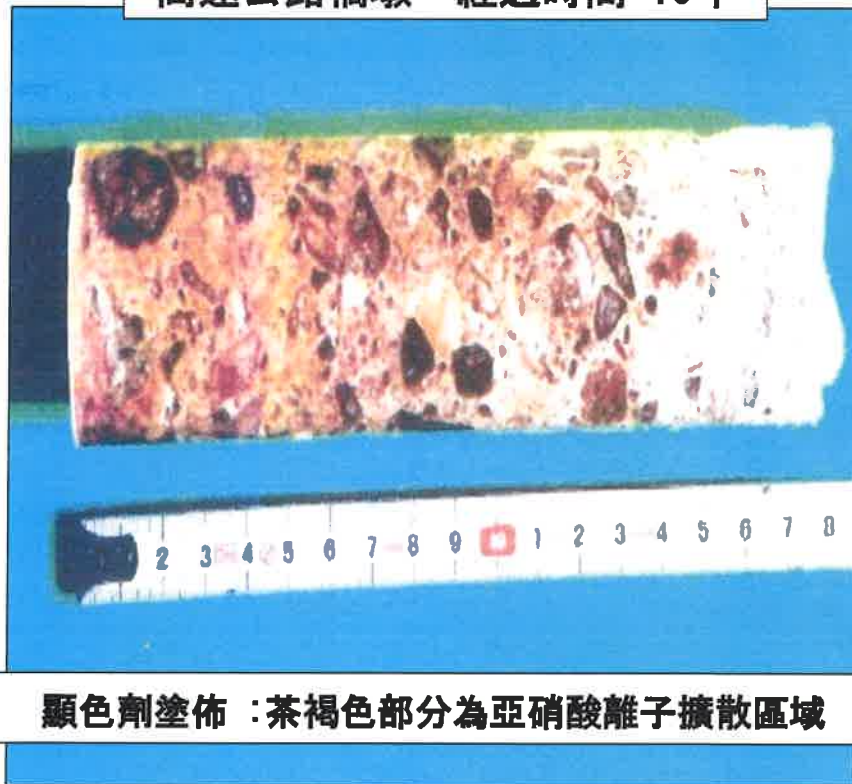
二次噴塗的砂漿	鋼筋的腐蝕情況 170 130 170 ■ : 正常部位 ■ : 腐蝕部位	腐蝕面積率%		
		左	中	右
含氯化物的砂漿 NaCl 0.2%/砂漿		100	81	79
普通水泥 砂漿		99	23	100
高分子水泥 砂漿		72	13	97
加入防鏽劑的砂漿 Slag Lead #100 #450		0	0	41

(70°C - 相對溼度90%以上 - 48hr/15°C - 相對溼度60% - 48hr) × 15週期後的鋼筋腐蝕情況

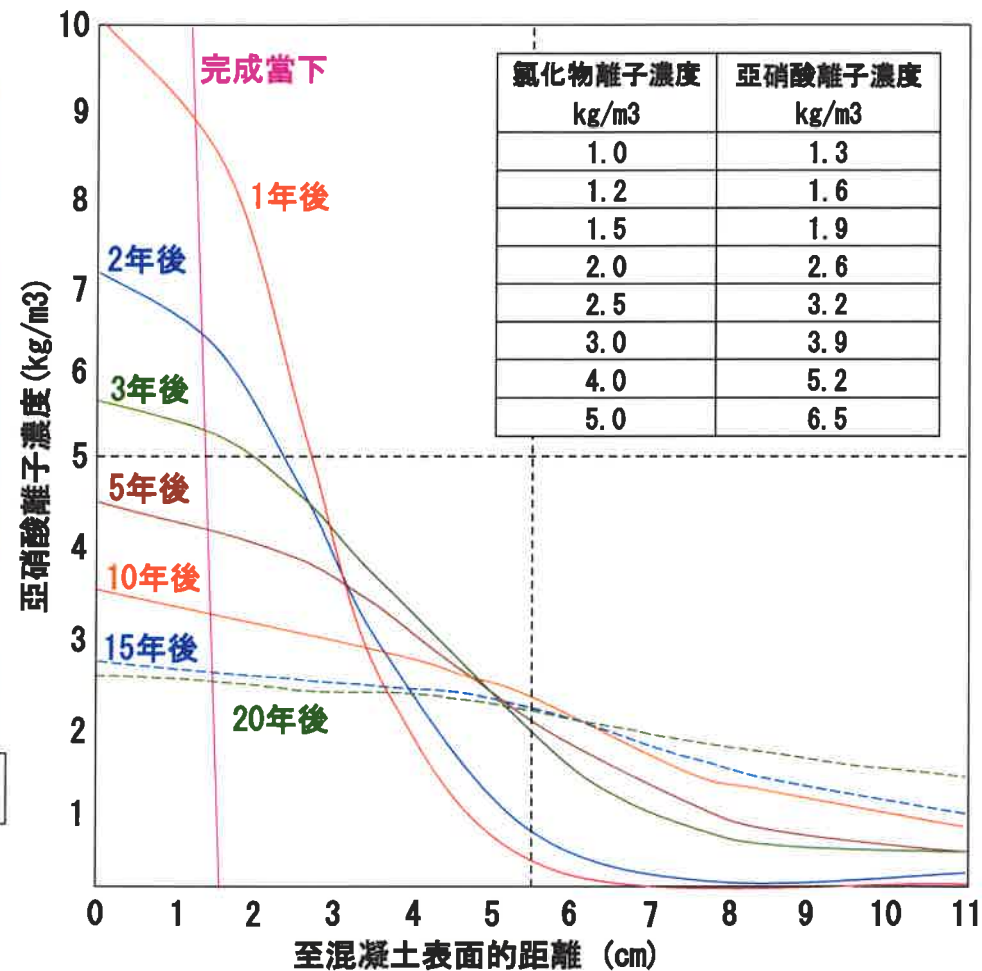
⑤硝酸鉀的擴散

1. 試驗場所 ▪ 高速公路下方結構體
2. 使用年數 ▪ 10年
3. 塗佈量 ▪ 40%硝酸鉀水溶液200g/m²
 ▪ 以刷塗抹砂漿(含有硝酸鉀4.7%)0.5mm厚

高速公路橋墩 經過時間 10年



顯色劑塗佈：茶褐色部分為亞硝酸離子擴散區域



⑥Slag Lead #100 (硝酸鋰) 換算表



抹尼刀塗佈範圍(塗抹厚度5mm以內)



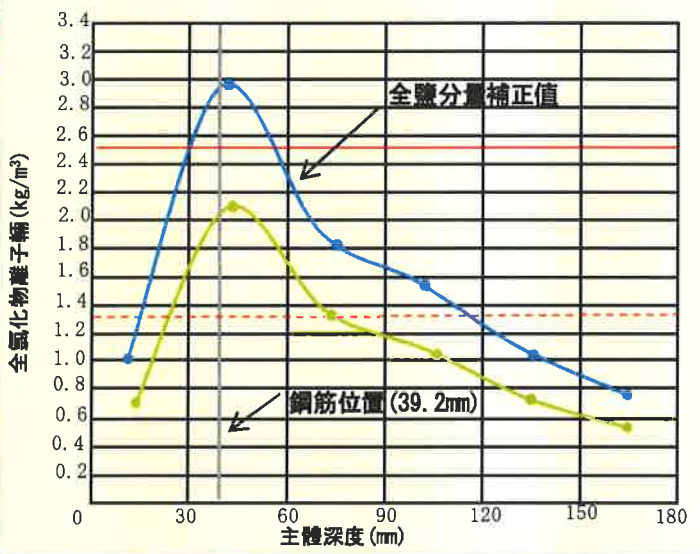
灌入薄泥漿(塗抹厚度20mm以上)

※引用「カンタブ(標準品)」(測量混凝土氯化物含量的產品)砂漿塗抹厚 (砂漿打底、張貼FRP)
度的換算表

(GF防護)

引用値	氯離子				去除鹽分的砂漿(塗抹厚度:mm)												
引用	Cl ⁻	Cl ⁻	NaCl ⁻	NaCl ⁻	LiNO ₃ 25% 水溶液 (kg/m ²)	混凝土覆蓋厚度5cm					LiNO ₃ 25% 水溶液 (kg/m ²)	混凝土覆蓋厚度10cm					
	(%)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)		相對於水泥的比率						相對於水泥的比率					
						1%	3%	5%	8%	10%		1%	3%	5%	8%	10%	
基準	0.010	0.23	0.015	0.34	0.114	3.49	1.16	0.70	0.44	0.35	0.229						0.70
2.6	0.059	1.36	0.088	2.03	0.675	20.62	6.87	4.12	2.58	2.06	1.351						4.12
2.7	0.064	1.47	0.096	2.20	0.733	22.36	7.45	4.47	2.80	2.24	1.465						4.47
2.8	0.069	1.59	0.103	2.37	0.790	24.11	8.04	4.82	3.01	2.41	1.580						4.82
2.9	0.073	1.68	0.109	2.51	0.836	25.51	8.50	5.10	3.19	2.55	1.671	5.10					
3.0	0.078	1.79	0.116	2.68	0.893	27.25	9.08	5.45	3.41	2.73	1.786	5.45					
3.1	0.083	1.91	0.124	2.85	0.950	29.00	9.67	5.80	3.63	2.90	1.900	5.80					
3.2	0.088	2.02	0.131	3.02	1.007	30.75	10.25	6.15	3.84	3.07	2.015	6.15					
3.3	0.093	2.14	0.139	3.19	1.065	32.50	10.83	6.50	4.06	3.25	2.129	6.50					
3.4	0.097	2.23	0.145	3.33	1.110	33.89	11.30	6.78	4.24	3.39	2.221	67.19	22.60	13.56	8.47	6.78	
3.5	0.102	2.35	0.152	3.50	1.168	35.64	11.88	7.13	4.41	3.53	2.323	7.13					
3.6	0.107	2.46	0.160	3.67	1.225	37.39	12.46	7.48	4.61	3.67	2.425	7.48					
3.7	0.112	2.58	0.167	3.85	1.282	39.13	13.04	7.83	4.81	3.81	2.527	7.83					
3.8	0.117	2.69	0.175	4.02	1.339	40.88	13.63	8.18	5.01	3.95	2.629	8.18					
3.9	0.122	2.81	0.182	4.19	1.396	42.63	14.21	8.53	5.21	4.09	2.731	8.53					
4.0	0.126	2.90	0.188	4.33	1.442	44.03	14.68	8.81	5.41	4.23	2.833	8.81					
4.1	0.131	3.01	0.196	4.50	1.500	45.77	15.26	9.15	5.61	4.37	2.935	9.15					
4.2	0.136	3.13	0.203	4.67	1.557	47.52	15.84	9.50	5.81	4.51	3.037	9.50					
4.3	0.141	3.24	0.211	4.84	1.614	49.27	16.42	9.85	6.01	4.65	3.139	9.85					
4.4	0.146	3.36	0.218	5.01	1.671	51.01	17.00	10.20	6.21	4.79	3.241	10.20					
4.5	0.150	3.45	0.224	5.15	1.717	52.41	17.47	10.48	6.41	4.93	3.343	10.48					
4.6	0.160	3.68	0.239	5.49	1.831	55.91	18.64	11.18	6.91	5.17	3.545	11.18					
4.7	0.170	3.91	0.254	5.84	1.946	59.40	19.80	11.88	7.41	5.41	3.747	11.88					
4.8	0.179	4.12	0.267	6.15	2.049	62.54	20.85	12.51	7.81	5.65	3.949	12.51					
4.9	0.189	4.35	0.282	6.49	2.163	66.04	22.01	13.21	8.21	5.89	4.151	13.21					
5.0	0.199	4.58	0.297	6.83	2.278	69.53	23.18	13.91	8.61	6.13	4.353	13.91					
5.1	0.208	4.78	0.311	7.14	2.381	72.68	24.23	14.54	9.01	6.37	4.555	14.54					
5.2	0.218	5.01	0.325	7.49	2.495	76.17	25.39	15.23	9.52	7.62	4.991	152.34	50.78	30.47	19.04	15.23	

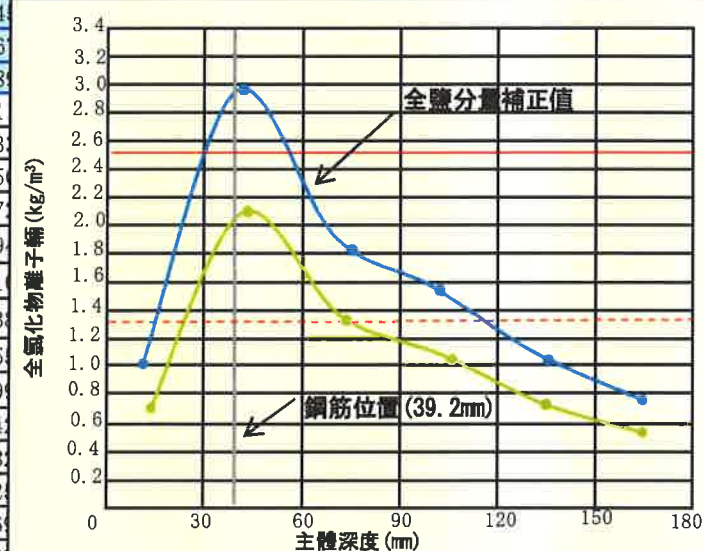
全氯化物濃子幅(kg/m³)



全鹽分量補正值

鋼筋位置(39.2mm)

主體深度(mm)



⑦開發實作工法

(一) 表面塗佈工法



砂漿塗佈

(二) 特殊FRP板張貼工法



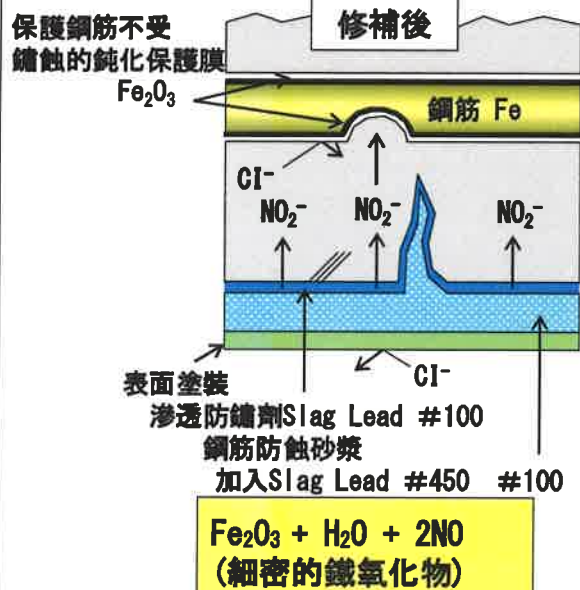
FRP張貼修補

(三) GF防護工法

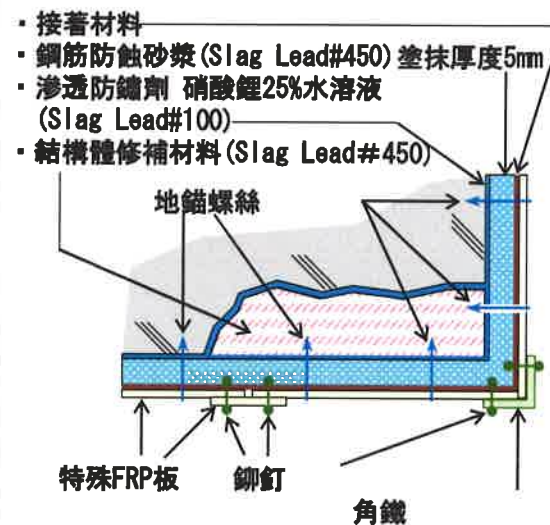


透過注入設備注入防護材料

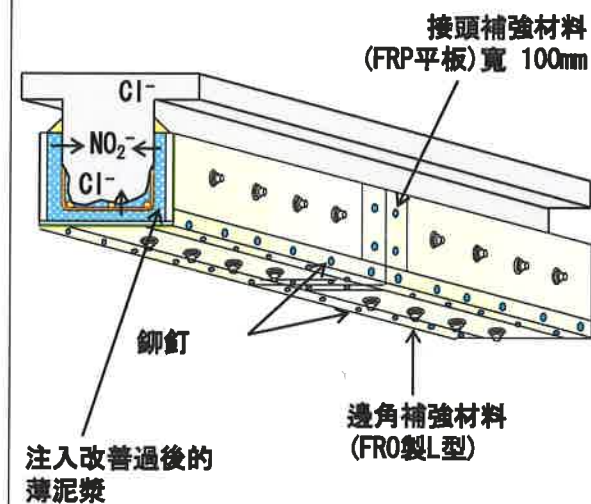
(構造圖)



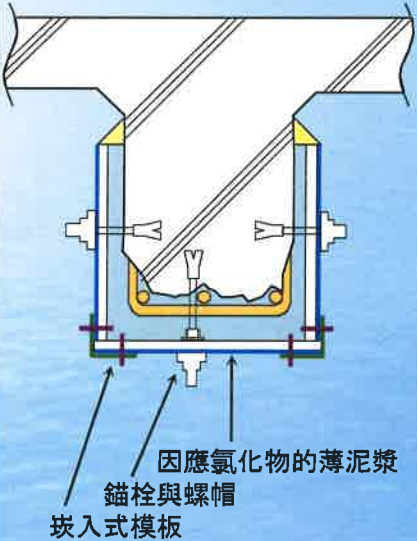
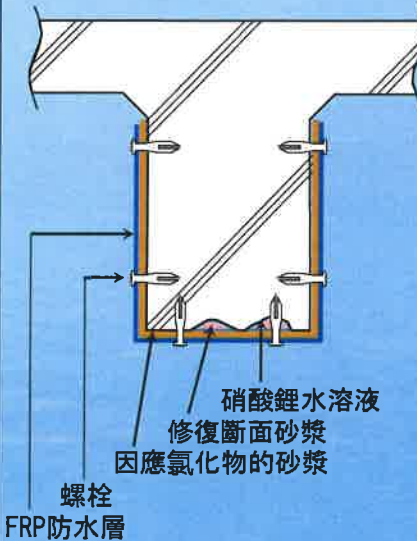
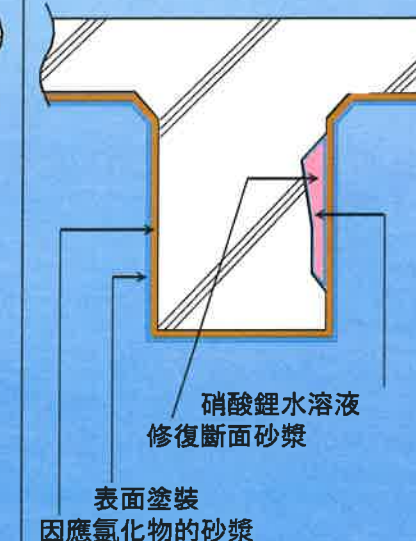
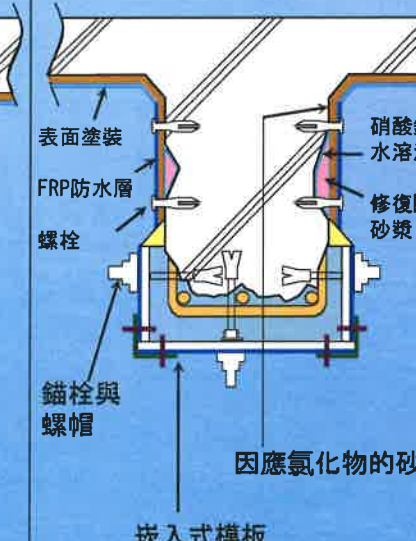
(構造圖)



(構造圖)



⑧混凝土結構體鋼筋防蝕工法(依損傷狀況組合運用)

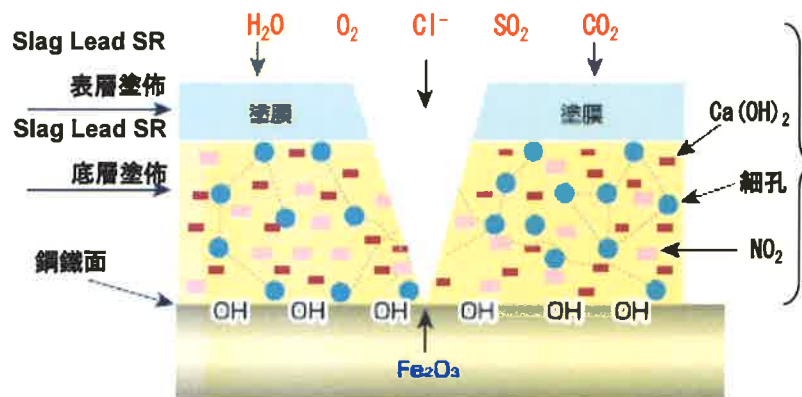
	GF防護工法(厚35mm)	表面張貼FRP板工法	表面處理(表面塗佈)工法	GF防護等複合式工法
工法概要	此為混凝土結構體鋼筋防蝕工法，用以延長劣化後的混凝土結構體壽命，透過嵌入模板等進行之斷面復原，達到維護結構體的目的，是種相當環保的修補、補強工法	此為GF防護的簡略工法，透過直接裝設特殊的FRP板，藉此達到近似GF防護的效果	於目標部位整個的混凝土表面，塗上混有硝酸鋰水溶液的砂漿，讓其滲入鋼筋，藉此達到長期防鏽的效果	例如，以左圖工法， - GF防護工法 20% - 表面張貼FRP板工法 20% - 表面塗佈工法 60% 的面積比例所構成的複合式工法
概略圖				
估價單價 (直接工程費)	141,783日圓/m ² (水泥板下面平均厚度75mm) 參考價格：104,700日圓/m ² (平均厚度35mm)	參考價格：41,716日圓/m ²	參考價格：28,697日圓/m ²	(GF防護工法價格×20%) + (表面張貼FRP工法×20%) + (表面塗佈工法×60%) =34,815日圓/m ²
NETIS 單價 (直接工程費)	85,488日圓/m ² (約新台幣24364元) *匯率以1(日圓):0.285計算	32,523日圓/m ² (型錄單價) (約新台幣9269元)	18,687日圓/m ² (型錄單價) (約新台幣5325元)	34,815日圓/m ² (約新台幣9922元)

⑨Slag Lead SR工法

■Slag Lead SR工法的特徵

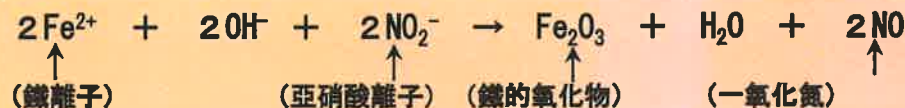
塗膜中由於包含水泥、無機粉體及亞硝酸鹽，可同時達到鹼性防蝕與自我修補的防蝕作用，因此可讓構造體的防蝕效能急速提升。

複合式（自我修補）防蝕工法



複合式
(自我修補)
防蝕工法

就算刻意刮傷
塗膜也不會生鏽



■鹽霧試驗 (200次×8小時=1600小時)

※CASS溶液噴霧4Hr、乾燥 (60°C、濕度50%) 2Hr

耐濕試驗 (50°C・濕度95%) 2Hr

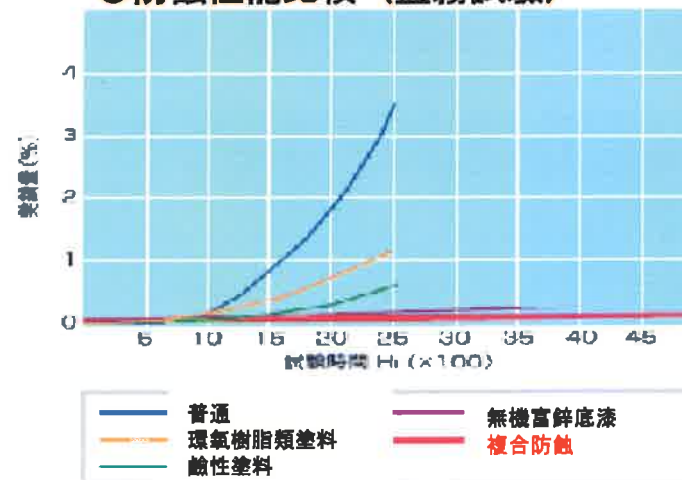


複合式防蝕

鹼性塗料

環氧樹脂類塗料

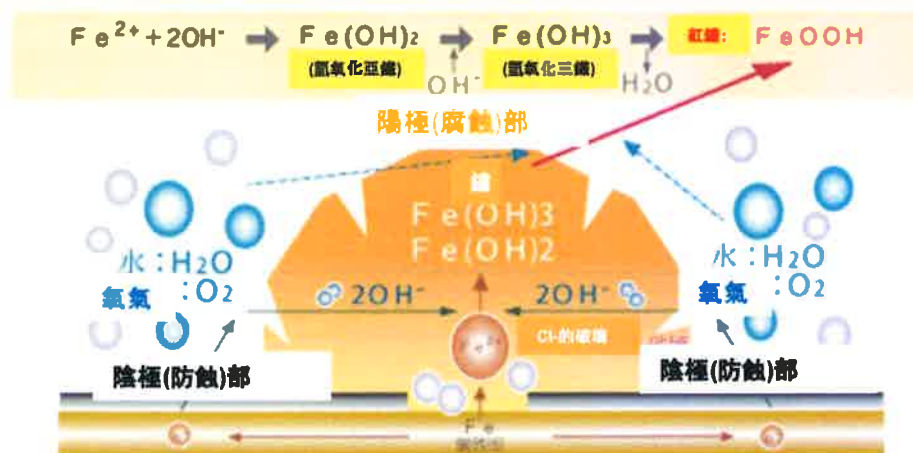
●防蝕性能比較 (鹽霧試驗)



※本實驗結果僅為公司內部測試數據，並不保證其品質優劣。

腐蝕概念

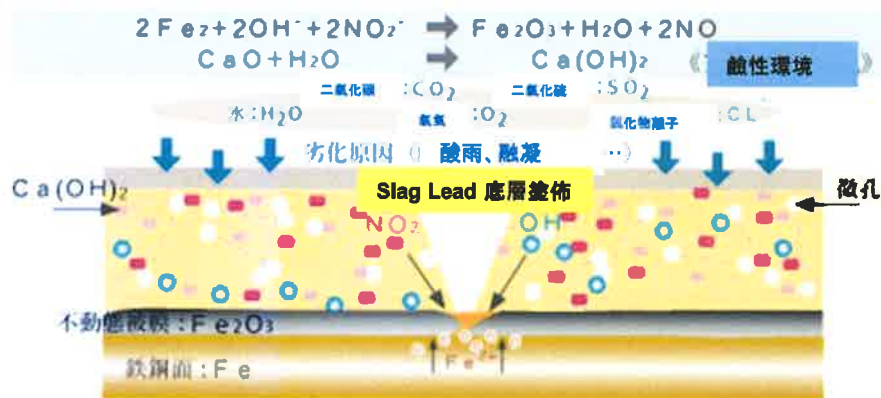
陽極反應的生成物 Fe^{2+} 與陰極反映的生成物 OH^- 相互結合形成 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ，其氧化後則會生成 $\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot \text{FeOOH}$ 等的鏽。
依整體而論，其實就是鐵與水、氧氣結合後形成水合氧化物的反應。



技術概要

◆Slag Lead 底層塗佈

透過鐵離子與亞硝酸離子相互結合形成鐵的氧化物，藉此重新建構鈍化保護膜。



◆Slag Lead 表層塗佈

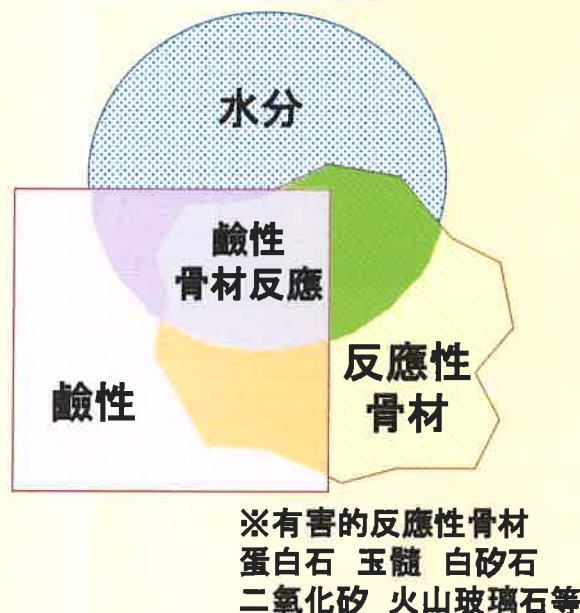
此表層塗佈為兼具疏水性及親水性的配比設計。由於具有此種功能，因此有助於增強底層塗佈的附著性及防蝕性。



疏水性: 排除存在於底層塗膜上的水分，讓物體較容易直接接觸塗佈其上的物質。
親水性: 吸收疏水性無法排除的剩餘水分，因此塗佈層容易潮濕。

⑩鹼性骨材反應調查實例

產生鹼性骨材反應



●鹼性骨材反應

由於混凝土中的鹼性金屬離子 (Na^+ , K^+) 與骨材內的二氧化矽礦物產生以下的反應，因而生成矽酸鈉。



照片1
因鹼性骨材反應導致的
骨材龜裂



照片2
因鹼性骨材反應產生的
黑色環(rim)



照片3
因箍筋膨脹導致的橫梁混凝土龜裂

在判定鹼性骨材反應時，必須完成調查混凝土中的鹼含量、以偏光顯微鏡判定骨材的岩石種類、圓形取樣後量測樣本膨脹量等檢測，才能判斷是否為鹼性骨材反應。

■福岡北九州高速道路社 北九州道路 混凝土護欄修補工程

塗佈鋼筋防鏽劑Slag Lead #100



剝落情形



補充Slag Lead #100・#450實況



完成断面修復



Slag Lead #100・#450

完成因應鹽害的砂漿澆置



完成B規格的表面保護塗裝



■執行報告■

施工前(整體情況)



完成當下



完成後7年



施工前(局部)



完成當下



完成後7年

唐津港棧橋

施工前



施工中

施工前



施工中

施工中



完成

■施工實例■

施工前



完成

施工前



完成

施工前



完成

■施工事例■

施工中



完成

施工前



完成

施工中



完成

聯絡方式

⊕ DAIKI工業株式會社
福岡縣北九州小倉北區赤坂五丁目6番64號
TEL:093-541-6081
FAX:093-541-6516
Email : gf-protect@daiki-kogyo.co.jp

⊕ エス・エルテック株式會社
福岡縣北九州小倉北區赤坂五丁目6番64號
TEL:093-541-6101
FAX:093-541-6120
E-mail : sl-tech@mwd.biglobe.ne.jp

