

[167] 鉄筋コンクリート構造物の耐久性向上のための 高耐食性金属板被覆

正会員 白山和久 (筑波大学構造工学系)

正会員 ○平賀友晃 (戸田建設技術研究所)

矢野瑞穂 (戸田建設技術研究所)

板谷俊郎 (戸田建設技術研究所)

1. はじめに

最近、鉄筋コンクリート構造物は、骨材の品質低下、海塩粒子の浸透等によって、著しい劣化を生じている例が見られるようになった。この鉄筋コンクリート構造物の耐久性を高める方法として、現状ではタイルやモルタル等による仕上げ工法が多く行なわれているが、これらの材料は剥離・剥落の危険があり、耐久性・水密性・気密性等にも問題が残されている。

表-1 使用材料の物性 (メーカーのカatalog値による)

材 料	①アモルファス合金	②IF亜鉛メッキ	③IFアクリルフィルム	④銅 箔	⑤ニッケル箔	⑥ステンレス	⑦モネ ル
1. 成 分	Ni, Cr, Si, B, Fe	Fe	②にアクリルフィルムを貼合わせたもの	Cu	Ni	Fe, Cr, Ni, Mo	Ni, Cu, Fe
2. 比 重	7.81	7.87		8.89	8.90	7.93	8.83
3. 軟化温度 (°C)	約 400	800				1370~1400	
4. ヤング率 (kg/mm ²)	1.25×10^4	1.5×10^4	1.5×10^4	1.33×10^4		1.97×10^4	1.82×10^4
5. 熱膨張係数 (1/°C)	11×10^{-6}	$10 \sim 12 \times 10^{-6}$		17×10^{-6}	13.3×10^{-6}	16×10^{-6}	14×10^{-6}
6. 形 状 (厚mm×11mm)	30×50	20×1000	128×1000	35×1000	35×1000	250×1000	600×1000

本研究では、高耐食性を有する表-1に示す金属で、鉄筋コンクリート部材を被覆することで、耐久性の向上を考えた。

尚、本研究は筑波大学 (小寺沢良一, 奥田重雄, 田崎 明各教授および山本泰彦助教授) と戸田建設との共同研究である。

2. 金属素材の腐食性実験

2.1 実験方法

実験方法は、金属片を表-2の大きさに切って、これを2%の食塩水溶液と、消石灰の飽和水溶液に、各3片ずつ浸漬しておき、2週間ごとに取出して、重量を測定し、かつ溶液を交換した。重量減少量は次式により求めた。

$$\text{重量減少量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{重量の増減量 (g)}}{\text{試料の全表面積 (cm}^2\text{)}}$$

2.2 実験結果

A 食塩水溶液による腐食 (図-1)

- ・箔の重量減少量は、IF (鉄箔) 亜鉛メッキ、銅箔、IFアクリルフィルムの順に多く、その他の金属には、腐食がほとんど見られない。
- ・IFアクリルフィルムの重量減少量は、IF亜鉛メッキのほぼ $\frac{1}{2}$ となっており、腐食速度の抑制効果がある。

B 消石灰水溶液による腐食 (図-2)

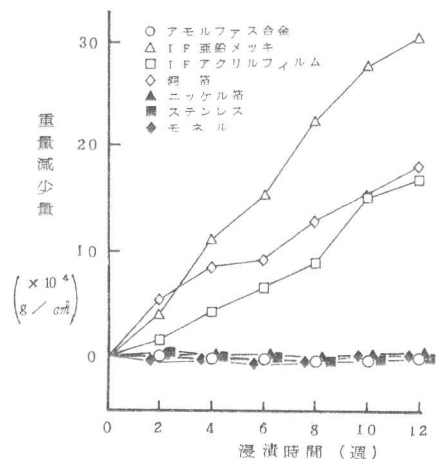
- ・全体的に、重量はほとんどが変化していないが、銅箔については、重量が増えている。これは反応生成物が生じたためである。反応生成物が剥落すると、重量は減少する。

以上の2つの試験結果から、次のことが言える。

- ①アモルファス合金、ニッケル箔は、食塩水溶液にも消石灰水溶液にも強い耐食性を示す。

表-2 供試体の形状 [腐食性実験]

材 料	寸 法 (mm)	数 個	全表面積 (cm ²)
アモルファス合金	0.060×50×150	3	150
IF亜鉛メッキ	0.128×50×150	3	150
IFアクリルフィルム	0.128×50×150	3	151
銅 箔	0.040×50×150	3	150
ニッケル箔	0.038×50×150	3	150
ステンレス	0.420×50×150	3	152
モネ ル	0.600×50×150	3	152

図-1 食塩水溶液による耐食試験
[単位表面積当りの減少重量]

- ②ステンレス、モネルは、消石灰水溶液に若干の腐食を受ける。
 ③食塩水溶液に腐食されるものは、消石灰水溶液にも腐食される
 が、食塩水溶液の方がかなり大きく影響を受ける。

3. コンクリートへの金属板等の付着性実験

3.1 実験方法

金属板の取付は、(A)型枠内に予め金属板等を取付けた後、コンクリートを打込む先付け方法および、(B)コンクリートが硬化した後に、金属板等の被覆材を取付ける後付け方法とし、金属板等とコンクリートとの付着性能を調べた。

後付けの場合は裏打材を用いたので、図-3に示すように、(i)石綿スレートと裏打材および、裏打材と金属それぞれの接着力、(ii)裏打材を挟んだ場合の石綿スレートと金属、の複合層としての強度および破断位置、(iii)金属どうしの接着力とオープンタイム、の諸要因について検討した。

3.2 実験結果

A 先付け方法による金属板等の付着力 (表-4)

供試体は図-4に示すもので、その実験計画を表-3に示す。表中の試験方法で、接着力試験は、アンカープレート建研式引張試験機にて垂直に引張ることにより、金属と下地との接着強さを測定する。接着性試験は、金属片に基盤目状に切れ目を入れておき、供試体に空中で温度サイクルを与えた後、水中に入れる操作を繰返して、基盤目状の金属小片の剥落数によって、金属と下地との接着性を見るものである。

①ピーリング、接着力、接着性の各試験とも、金属表面にアクリル樹脂を塗布した方が、金属板等とコンクリートとの付着性がよい。

②アモルファス合金と厚もの (ステンレス、モネル) は、コンクリートとの付着性が悪い。

③銅箔の表面にコンクリートの水分が直接接触すると、腐食を起して、銅箔がコンクリートに付着しにくくなる。

以上の結果と以下の理由とにより、現在の段階では、先付け方法の採用は不適と思われる。

1)箔等の薄ものの材料は、軀体精度が表に出てしまう。2)金属板等の型枠への取付け、コンクリート打込時の損傷等が起り易い。

B 後付け方法による金属板等の付着力

(i)石綿スレートと裏打材ならびに裏打材と金属との接着力試験 (図-5)

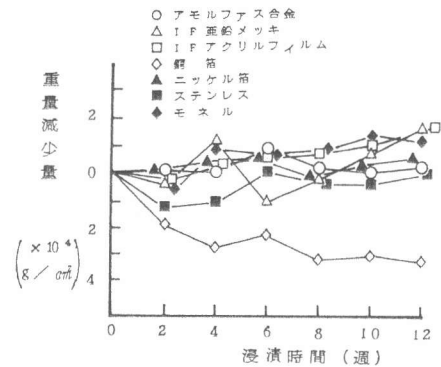
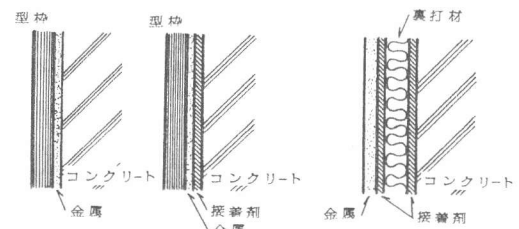


図-2 消石灰水溶液による耐食試験
[単位表面積当りの減少重量]



(A) 先付け方法 (B) 後付け方法

図-3 取付方法の説明図

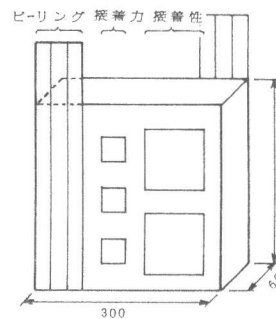


図-4 供試体の形状

表-3 実験計画

要 因	水 準
金 属	①アモルファス合金 ②I F ③I F アクリル ④銅箔 ⑤ニッケル箔 ⑥ステンレス ⑦モネル
金属表面	アクリル樹脂なし、あり
試験方法	ピーリング、接着力、 接着性

* いじめ条件: 空中で温度サイクル
(-20°C ~ 80°C) の後、水中に
5 分間浸漬

表-4 付着力の試験結果

a) ピーリング試験 [単位: g]

材料	アモルファス	I F 亜鉛	I F アクリル フィルム	銅 箔	ニッケル箔
金属表面 アクリル 樹脂	なし	0	98.3	0	2.8
	あり	5	214.4	11.7	79.4
				79.4	73.6

b) 接着力試験 [kg/cm²]

材料	金属表面	アクリル樹脂
	なし	あり
アモルファス	8.4	21.9
I F 亜鉛	17.8	20.2
I F アクリル	15.8	17.6
銅 箔	2.0	19.5
ニッケル箔	—	13.4
ステンレス	4.1	—
モネル	5.3	19.2

c) 接着性試験 [4 サイクル後の剥離の割合 %]

材料	金属表面	アクリル樹脂
	なし	あり
アモルファス	100	0
I F 亜鉛	0	0
I F アクリル	45	8
銅 箔	100	0
ニッケル箔	100	7
ステンレス	65	0
モネル	30	0

表-5に示す供試体を作り、表-6に示す条件でピーリング試験を行なった結果、

①エポキシ系接着剤を用いた場合は、石綿スレートと裏打材ならびに裏打材と金属とのピーリング荷重は、エポキシ系接着剤の接着強度が大きいいため、裏打材の強度で決まる。

②ブチルゴム系接着剤では、接着面から剥れた。

(ii) 裏打材を挟んだ場合の石綿スレートと金属との接着力試験(図-6)

表-7, 8により実験を行ない、次の結果を得た。

①石綿スレートが乾燥している場合よりも、水分を含んだものの方が、接着強度が大きくなった。

②3.2とほぼ同じいじめ条件を与えた結果、いじめ条件を与えた方が、常温養生のものよりも強度が増進した。

(iii) 金属どうしの接着力とオープンタイム(図-7)

表-9, 10により実験を行ない、次の結果を得た。

オープンタイムが、エポキシ系接着剤の場合20分、ブチルゴム系接着剤の場合60分の方が、接着強度が大きくなった。

表-5 供試体の形状

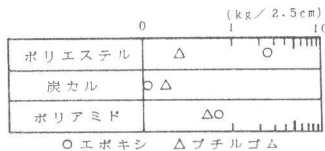
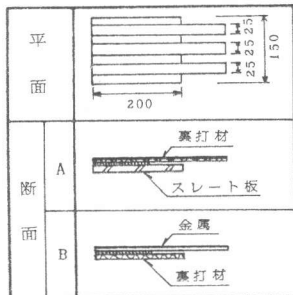


図-5 接着強度(後付け方法(i))

表-7 供試体の形状

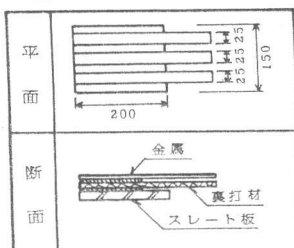


表-6 実験の条件

要因	水準
1. 接着剤	エポキシ系, 非加硫ブチルゴム系
2. 裏打材	ポリエステル, 炭酸カルシウムペーパー, ポリアミド

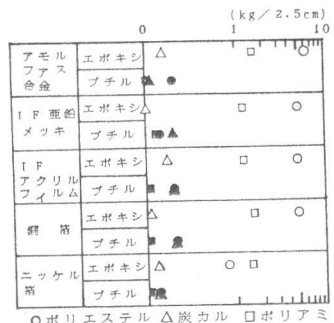
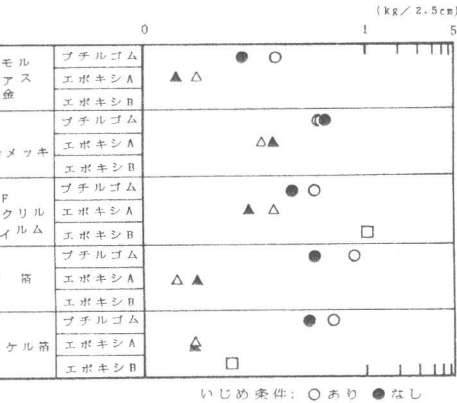
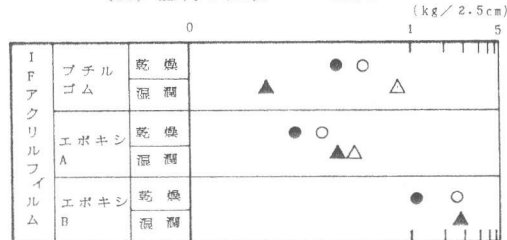


表-8 実験の条件

因子	水準
金属	アモルファス合金, IF, IFアクリル, 銅箔, ニッケル系
裏打材	芳香族ポリアミド
接着剤	非加硫, ブチルゴム系, エポキシ系
下地の状態	乾燥, 湿潤
いじめ条件	なし, あり



(A) 金属の種類による差異



(B) 下地の状態による差異

図-6 接着強度(後付け方法(ii))

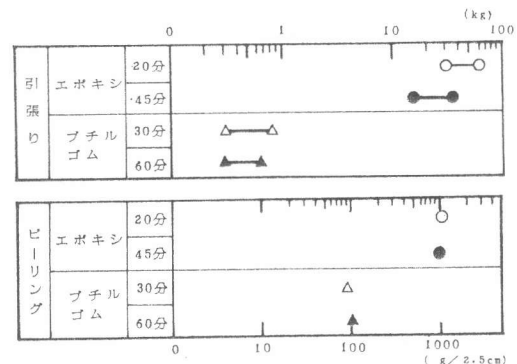


図-7 接着強度(後付け方法(iii))

表-9 供試体の形状

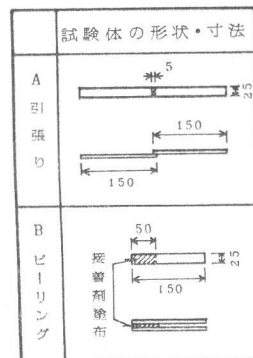


表-10 実験の条件

因子	水準
1. 金属	アモルファス合金
2. 接着剤	エポキシ系, ブチルゴム系
3. オープンタイム(分)	エポキシ 20, 45 ブチルゴム 30, 60

4. 金属板等で被覆された鋼管の腐食促進実験

4.1 実験方法

図-8のような鋼管の内部に、スチール繊維を2%混ぜたモルタル（水セメント比55%，フロー値200，重量調合比がセメント：水：砂＝1：0.6：2.7）を充填したものを、表-11に示す方法で被覆した。被覆のない供試体の表面発錆状態をみて、供試体を取り出し、被覆を剥がして、鋼管表面の腐食状況を目視観察した。

4.2 実験結果

被覆のないものは塩水浸漬後6時間で、黒色状の変色が始まり、7日後では、赤錆が全体の約 $\frac{1}{3}$ に広がった。14日後には、全面が赤錆で覆われた。これに対して、アモルファス合金、IFアクリルフィルムは、7日後に一部黒色状の変色が発生したが、それ以後は腐食の進行が見られない。腐食の生じている箇所は、金属被覆の突合せ継ぎ目部分に多く見られ、工法上の検討の余地がある。

5. 現場適用実験

以上の検討から、後付け方法により、金属被覆を戸田建設筑波技術研究所に適用してみた。

本実験では、作業性と貼り具合を見た。

作業の際に、風雨等天候の影響を受け易い、材料の取扱いに注意を要する等の問題があるが、被覆した面は、意匠的な効果も期待できる。

6. おわりに

今回は主として、金属板等の取付方法について検討したが、今後は鉄筋コンクリート構造物の耐久性に対する金属板等の被覆効果について、研究を進めていく予定である。

尚、本研究には、三井物産と各メーカーの協力を得た。

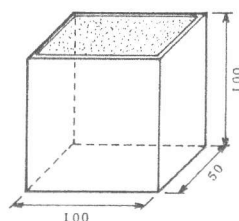


図-8 供試体の形状

表-11 実験の条件

因	子	水準
1. 被覆材	材料	アモルファス合金、IFアクリルフィルム
2. 継ぎ目	突合せ	重ね

・ 塩水浸漬……塩水、空中の繰返し
(24 時間サイクル)
・ 濃度：3%
・ 温度：30℃

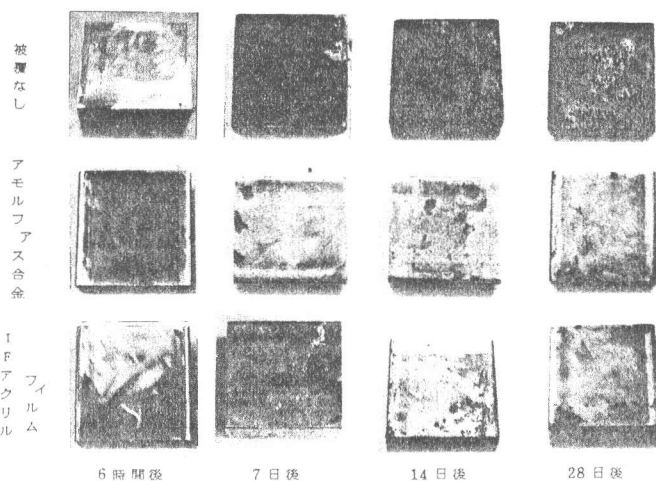
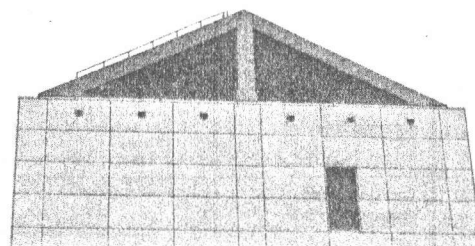


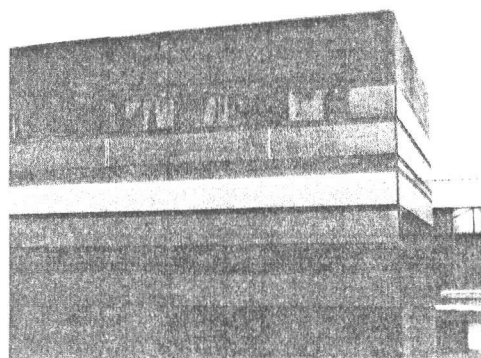
写真-1 腐食試験の結果



(A) 玄関



(B) 屋上妻壁



(C) 屋上塔屋

写真-2 現場施工例