

[1074] 高耐食性金属箔による鉄筋コンクリート部材の被覆方法に関する研究

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)  
 正会員 ○板谷俊郎 (戸田建設技術研究所)

1. はじめに

最近、海岸地域や温泉地帯などで、鉄筋コンクリート (RC) 構造物の著しい劣化の例が見られるようになり、RC構造物の耐久性が見直されている。この対策の1つとして、RC部材を何らかの材料で被覆して、有害物質が外部から侵入してくるのを遮断することが考えられる。一方、近年の新素材の発展は目覚ましく、高耐食性を有する金属が多く現われている。そこで著者らは、箔状のアモルファス合金等をRC構造物の被覆材として用い、耐久性を向上させる研究を行っている。

箔状の金属をコンクリート表面に被覆する場合には、その接着・取付けが重要である。本報では被覆方法のうち、金属箔とコンクリートとを直接張付ける接着剤および折曲げやあしなどを利用した取付けなどの最適な工法を選定し、これらがコンクリートとの接着性に及ぼす影響を実験的に検討した。

なお、本研究は筑波大学 (白山和久、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として行われた。

2. 金属箔によるコンクリートの被覆方法

金属箔によるコンクリートの被覆方法には、一般に、先付けと後付けの2つの方法が考えられる(1)。しかし、いずれの方法においても、コンクリートへの接着強さを増すためには、金属箔の加工・取付けに工夫が必要となる。ここでは、接着強さを増すために、接着剤の使用、金属箔端部の折曲げ、金属箔の裏打ちを考え、図-1に示す6種類の接着方法の接着性を先付けについて検討した。

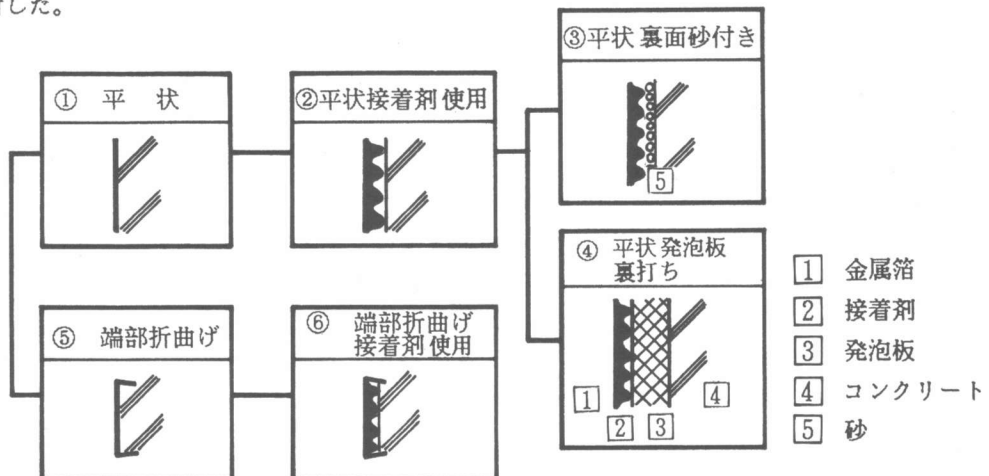


図-1 金属箔によるRC構造物の被覆方法

ここに、③、④は裏打ちの例で、③は箔裏面に接着剤を塗布した上、砂を散布したもの、④は箔裏面に接着剤によって発泡板を張ったもので、これらはコンクリートの取付けに当っては接着剤は用いない。⑤、⑥は箔の両端部を90°に折曲げたもので、コンクリートへの取付けに当って、⑤は接着剤を使用せず、⑥は接着剤を使用する。なお、②、③、④は後付けも可能であるが、その場合は取付け時に接着剤の使用が必要である。本研究で用いた金属箔の成分を、表-1に示す。

### 3. 金属箔の引張り強さ

#### 3. 1 実験方法

供試体の作製は、図-2に示すとおりとした。左右のつかみ部には、箔の補強およびすべり防止のために、厚さ3mmのアルミ片を接着した。

引張り試験には、インストロン万能材料試験機を用い、荷重速度は0.05~0.1mm/minとした。なお、金属箔の弾性係数は、次式によって算出した。

$$E = \frac{P}{\frac{\epsilon_3 - \epsilon_4}{3}} \cdot A$$

ここに、P: 最大荷重 (kgf)

$\epsilon_3$ : 最大荷重の $\frac{1}{3}$ における歪み

$\epsilon_4$ : 荷重4kgfにおける歪み

A: 断面積 (mm<sup>2</sup>)

#### 3. 2 実験結果

引張り試験の応力-歪み曲線を、図-3に示す。鉄箔に比べ、3種の箔とも引張り強さは大きく、伸びが小さいのが大きな特色である。

#### 4. 金属箔用接着剤の選定

図-1の②、③および⑥の工法で用いる接着剤を選定するため、次の実験を行った。

使用した接着剤は、エポキシ樹脂系の5種類である。このうち接着剤a、c、eは常温硬化型耐熱2液性で一般用途向きのもの。接着剤bは常温硬化型2液性でコンクリート用のもの。接着剤dは常温硬化型2液性・プライマー併用で、一般用途向きのものである。

表-1 使用金属箔の諸物性

項目 \ 金属	アモルファス合金	ステンレス	チタン
1. 主成分	Ni, Cr, Si, B, Fe	Fe, Cr, Ni, Mo	Ti
2. 比重	7.81	7.93	4.51
3. 熱膨張係数 (1/°C)	$11 \times 10^{-6}$	$16 \times 10^{-6}$	$8 \times 10^{-6}$
4. 形状 (厚さ×巾(mm))	0.038×100	0.050×1000	0.100×250

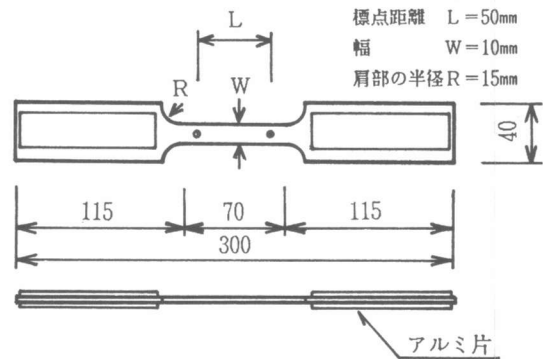


図-2 金属箔の引張り試験片の形状 (JIS Z 2201 6号試験片)

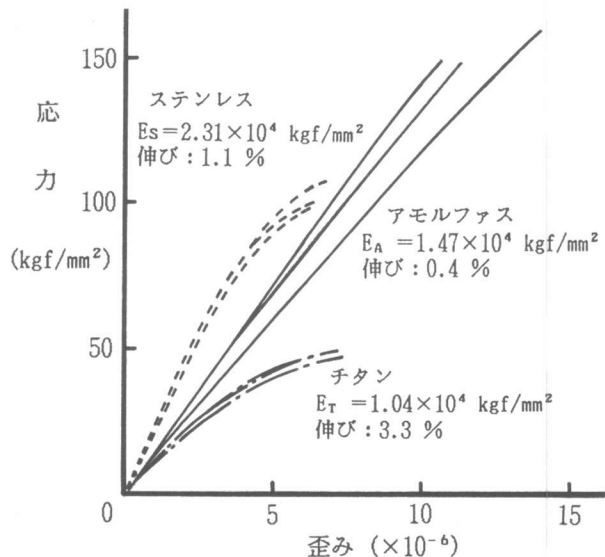


図-3 金属箔の引張り応力と歪み

カップリング剤はシランカップリング剤2種類を使用した。カップリング剤S1はアミン基系、S2はエポキシ基系である。

カップリング剤の使い方は、1)プライマーのように、カップリング剤を金属片に塗布して、20分後にその上に接着剤を塗布する方法と、2)予め接着剤にカップリング剤を混和して、金属片に塗布する方法の2通りを行った。接着剤の塗布量は約150g/m<sup>2</sup>とし、オープンタイム約30分で金属片を張合せた。

なお、④の発泡板裏打ちに用いた接着剤は、これの加工を行った工場で使用されているエポキシ樹脂系接着剤である。

#### 4. 1 実験方法

接着力の実験は表-2に示す方法で行い、最も接着が困難なアモルファス合金を被覆材として、箔どうしのはく離接着強さおよび引張りせん断接着強さ、ならびに硬化した接着剤の引張り強さ、弾性係数を求め、接着力の解析を行った。

##### (A) はく離接着強さ試験

テンシロン万能引張試験機を用い、荷重速度を10mm/minとした。

図-4 (A) に示すT型試験片を、180°方向に引張り試験した。

##### (B) 引張りせん断接着強さ試験

テンシロン万能引張試験機を用い、荷重速度を10mm/minとし、図-4 (B) に示すように、ラップ長さを1, 2, 4 cmの3種類として試験した。

##### (C) 接着剤の引張り試験

図-4 (C) に示すように、接着剤を成形した供試体について、ストレインゲージを用い、縦歪みおよび横歪みを測定した。

#### 4. 2 実験結果

##### (A) はく離接着強さについて

はく離接着強さの試験結果を、図-5に示す。

- ・はく離接着強さは、接着剤bにカップリング剤S2を10%混和した場合が、一番大きな値を示した。
- ・カップリング剤の結果については、いずれの接着剤においても、S2の方がs1よりも大きな値を示した。カップリング剤の使用法については、接着剤aでは塗布した場合の方が、接着

表-2 実験計画

(A) はく離接着強さ試験 (JIS K 6829)

要因	水準
1. 接着剤	エポキシ樹脂系 (a, b, c, d, e)
2. カップリング剤	シランカップリング剤 (S1, S2)
3. カップリング剤の使用法	なし, 塗布, 接着剤に混和 (5%, 10%, 20%)

(B) 引張りせん断接着強さ試験 (JIS K 6829)

要因	水準
1. 接着剤	エポキシ樹脂系 b *
2. ラップ長さ	1 cm, 2 cm, 4 cm

\* 接着剤bにカップリング剤S2を10%混和

(C) 接着剤の引張り試験 (JIS K 7113)

接着剤……………エポキシ樹脂系 b \*

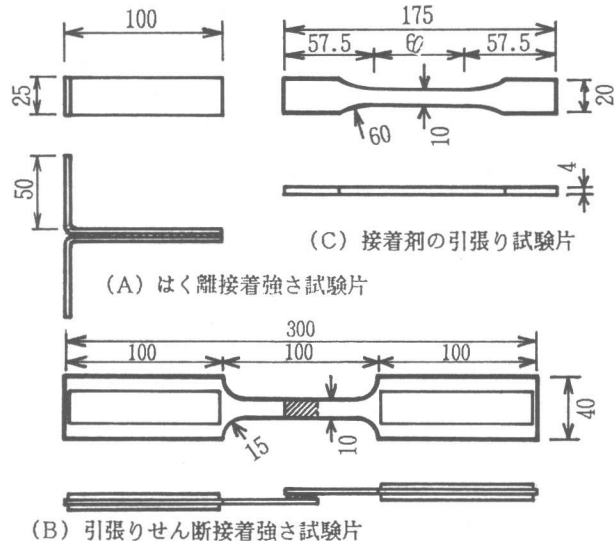


図-4 接着強さ試験片の形状

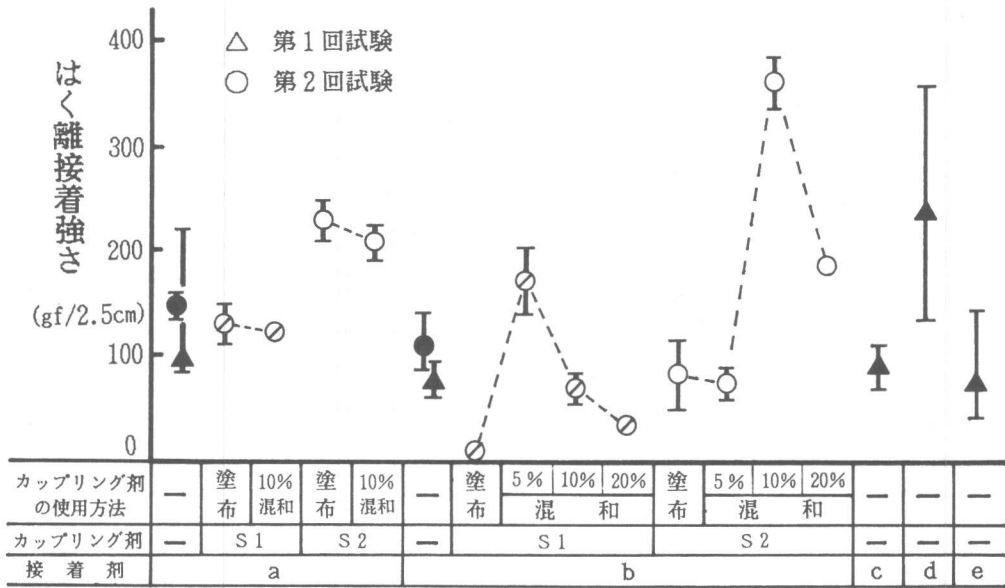


図-5 接着剤のはく離接着強さ

剤に混和した場合よりも接着強さがやや大きいのに対して、接着剤bでは接着剤に混和した場合の方が、接着強さがかなり大きい場合が多い。また、カップリング剤の混和率によっては、カップリング剤を使用しないものよりも強度が低くなる場合もあり、適切な混和率によって使用する必要がある。

(B) 引張りせん断接着強さについて  
接着剤の引張り試験結果から、接着剤の縦弾性係数およびポアソン比を求め、式(1)より接着剤のせん断弾性係数Gを求めた。次いで、Bikermanなどによる式(2)により、引張りせん断接着強さにおける応力集中係数αを算出した。

$$G = \frac{E a d}{2(1+\nu)} \quad \text{----- (1)}$$

$$\alpha = \left( \frac{G}{2 E d t} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \ell \quad \text{----- (2)}$$

ここに、Ead：接着剤の縦弾性係数 (1.59×10<sup>2</sup>kgf/mm<sup>2</sup>)  
 ν：接着剤のポアソン比 (0.38)  
 E：被着材の縦弾性係数、d：接着層の厚さ  
 t：被着材の厚さ、ℓ：ラップ長さ

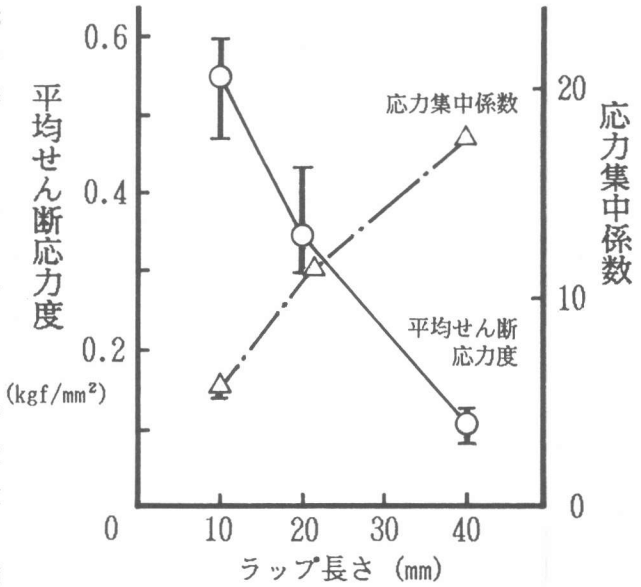


図-6 ラップ長さと平均せん断応力、応力集中係数

・図-6をみると、既に知られているように、ラップ長さが長くなると平均せん断応力は小さくなり、逆に、最大せん断応力と平均せん断応力との比の応力集中係数は大きくなっている。以上の結果を総合して、カップリング剤S 2を10%混和した接着剤bを、以下の実験に用いることにした。

5. 金属箔のコンクリートへの接着性実験

5. 1 実験方法

A. 供試体の形状

表-3に示す断面形状をした金属箔試験片(6cm×6cm)4枚を、予め型わくの内側に張付けておき、コンクリートを打込む。金属箔の取付位置は、脱型後図-7に示すとおりになるようにした。また、金属箔試験片の裏面には周囲1cmの巾でセロテープを張り、コンクリートとの付着面積を4cm×4cmとした。供試体は材令7日で脱型し、材令8週で試験に供した。

金属箔をコンクリートに接着する接着剤および金属箔の裏面に張付ける裏打材は、表-4に示すものである。接着剤aは、はく離接着強さが単独で用いた場合に最も高い値を示したので、比較用に用いた。

コンクリートは川砂・砕石AEコンクリートで、配合は表-5のとおりである。

B. 試験

引張り試験は、金属箔の表面に張付けたアタッチメント(4cm×4cm)を、アムスラー型試験機を用いて垂直に引張り行った。

5. 2 実験結果

実験結果は図-8に示す。これより次のことが言える。

(i) 箔が平状態で接着剤がない場合チタン箔は高い接着強さを示した。これに対して、アモルファス合金箔およびステンレス箔は接着強さが小さかった。しかし、予備実験において、30cm×30cmのコンクリート表面全体に金属箔を取付け、その中央部に張付けた

表-3 実験計画

No.	金属箔試験片の断面形状	接着剤 (表-4)	被覆 No. (図-1)
1	—	—	①
2	—	b+S2	②
3	—	a	②
4	〰️ *1	—	③
5	—	—	⑤
6	—	—	⑤
7	—	b+S2	⑥
8	—	b+S2	⑥
9	—	—	①
10	—	b+S2	②
11	〰️ *2	b+S2	④
12	—	—	⑤
13	—	—	⑤
14	—	b+S2	⑥
15	—	—	①
16	—	b+S2	②

\*1 : 砂付き, \*2 : 発泡板裏打ち  
試験片の数: 各4枚

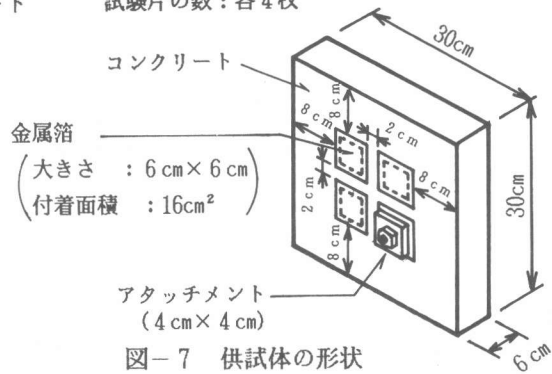


図-7 供試体の形状

表-4 接着剤と裏打材

材 料	種 類
接 着 剤	a エポキシ樹脂系接着剤 (一般用)
	b+S2 シランカップリング剤S2 (10%) 混和エポキシ樹脂系接着剤 (コンクリート用)
裏 打 材	砂 豊浦産標準砂
	発泡板 炭酸カルシウム発泡板, 比重 0.09

表-5 コンクリートの配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材 率 (%)	重 量 (kg/m <sup>3</sup> )				* 混 和 剤 (g/m <sup>3</sup> )
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
25	20	2.1	55	45.1	195	364	765	971	910

\* AE減水剤, 標準供試体強度 (気中8W) :  $F_c = 296 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $F_T = 28.9 \text{ kgf/cm}^2$

アタッチメント (4 cm×4 cm) を引張った結果では、アモルファス合金箔およびステンレス箔でも10kgf/cm<sup>2</sup>以上の接着強さが得られている。従って、これらのことから、平状で接着剤がない場合は、接着強さが不安定であると言える。

(ii) 箔が平状で接着剤使用の場合

3種の金属箔は、いずれも高い接着強さを示し、コンクリートの表層部で凝集破壊した。

(iii) 箔が平状で裏打ち材のある場合

裏面砂付きの金属箔は、平状で接着剤使用と同程度に高い接着強さを示した。その破壊状況は砂層で生じた。

裏面発泡板付きの金属箔では、砂付きの場合に比べ、接着強さは低かったが、それでも平均で3.1kgf/cm<sup>2</sup>あった。

(iv) 箔端部折曲げの場合

接着剤を用いた場合には、高い接着強さを示した。折曲げ形状については、1回の折曲げより2回の折曲げの方が接着強さが高い。接着剤を用いない場合には、箔がコンクリート面から浮いてしまうために、アタッチメントと箔との間にピーリングが生じ、アタッチメントが低荷重で剥れ落ちてしまった。そのため、データとして低い値が示されている。なお、No.13の試験片について表面の金属箔を切断し引張ったところ、埋込み部分の引抜荷重は12~16kgf/cm程度であった。

6. まとめ

本実験の範囲で、以下のことが言える。

- 1) エポキシ樹脂系接着剤に対して、エポキシ基系シランカップリング剤の混和は接着強さの向上に有効である。カップリング剤には、最適な使用量がある。
- 2) 金属箔をコンクリートに取付ける場合には、適当な接着剤または適当な裏打ち材を用いることにより、十分な接着強さが得られる。
- 3) 金属箔の折曲げ加工は、コンクリートとの接着性の向上、特にはく離の防止に役立つ。

以上、今回は金属箔被覆の接着強さについて報告したが、金属箔被覆の耐久性およびコンクリートの劣化防止に及ぼす金属箔の被覆効果については、現在実験を実施中であり、これらの結果の報告は、別の機会に譲ることとした。

なお、本研究において協力戴いた筑波大学 飯高稔技官、卒論生開米淳君、安達幹治君および三井物産(株)電線・電子素材部に謝意を表す。

- (1) 白山和久, 平賀友晃他: 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, コンクリート工学年次講演会論文集, p.p. 665-668, 1985.
- (2) K. Shirayama, T. Itatani et al.: Metal Foil Covering for Improving Durability of Reinforced Concrete Structures, RILEM, 1987.

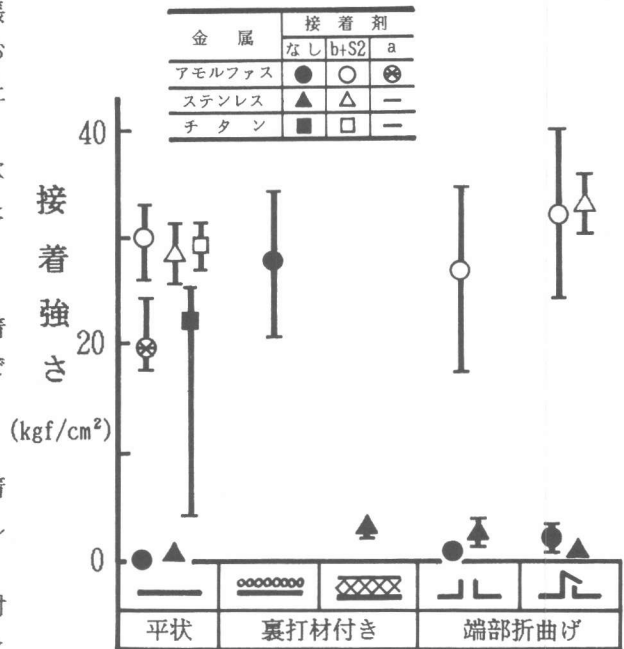


図-8 金属被覆とコンクリートとの接着強さ