

溶射によるコンクリートの表面仕上げ工法に関する研究（その2）

——溶射皮膜の耐候性に関する検討結果——

長尾 覚 博 小川 晴 果 住野 正 博
中根 淳 青山 幹 川地 武

Study on Thermal Spray Coatings for Concrete (Part 2)

——Durability of Thermal Spray Coatings——

Kakuhiro Nagao Haruka Ogawa Masahiro Sumino
Sunao Nakane Tsuyoshi Aoyama Takeshi Kawachi

Abstract

Experimental studies of the durability of thermal spray coatings of metals were carried out and are described in this report. The following items were studied: ① gloss retention, ② color difference, ③ permeability of thermal spray coating, ④ crack resistance of coating.

As a result, it was found that good durability can be obtained by use of a special primer for base treatment and by sealing treatment. Furthermore, it was ascertained that crack resistance of coatings was obtained by adequate application of base treatment primer.

概 要

本報では、フレーム溶射により形成した金属溶射皮膜の耐候性に関し、① 光沢残存率、② 色差の変化、③ 溶射皮膜の透気性、④ 皮膜の耐ひびわれ追従性、について実験的に検討した。

その結果、特殊プライマーによる下地処理および封孔処理を行うことにより、金属皮膜の光沢および色差の変化を著しく改善できることを明らかにした。また、下地コンクリートのひびわれに対する皮膜の追従性について検討し、下地処理用プライマーによりひびわれ追従性が改善されることを確認した。

1. はじめに

コンクリートの仕上げ材として金属溶射を行う場合には、皮膜の耐久性確保のためコンクリートの湿分・アルカリ分を遮断すると共に十分な接着強度と膜厚を確保する必要がある。

前報では、フレーム溶射によりコンクリート下地面に金属溶射皮膜を形成する際の下地処理方法について検討した。その結果、特殊プライマーによる下地処理を行うことによりコンクリート下地の含水率にかかわらず十分な膜厚を得ることができ、熱冷繰返しを受けてもその接着耐久性は十分なことを確認した。

本報では、フレーム溶射により形成した金属溶射皮膜の耐候性に関し、下地処理方法および溶射皮膜に樹脂系のトップコートを被覆する封孔処理の効果、および下地処理、封孔処理を施した溶射皮膜の透気性について調査した。

さらに、皮膜の耐候性に大きな影響を及ぼすと考えられるコンクリートのひびわれに対し、皮膜のひびわれ追従性を高める下地処理方法について検討した。

2. 実験概要

2.1 皮膜の耐候性に関する実験

2.1.1 使用材料

(1) 下地の材料 溶射皮膜を形成する下地材として下記仕様のモルタル板を用いた。

・形状寸法—70×150×20 mm

・調 合—細骨材：セメント = 2 : 1

水セメント比：50%

ここに、細骨材：陸砂、

セメント：普通ポルトランドセメント

・養生—成型後翌日脱型とし、試験時まで20±3°C、60±5%RH 気中養生とした。

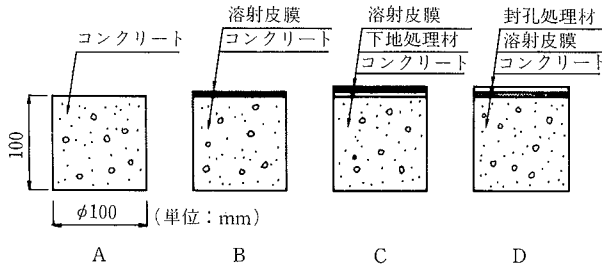
(2) 下地処理材 下地処理用プライマーは、特殊変性エポキシ樹脂に珪砂を微粒分として混入したものをを用いた。

(3) 封孔処理材 封孔処理材としてフッ素樹脂クリアーを用いた。

(4) 溶射材料 溶射材料として JIS H 3260（銅および銅合金線に準拠した溶射用銅線（融点1083°C）、JIS H

表一 耐候性試験用供試体の種類

No.	溶射材料	封孔処理有	封孔処理無
A	錫	○	○
B	アルミニウム	○	○
C	銅	○	○



- ・溶射皮膜：錫
- ・下地処理材：エポキシ樹脂(タルク混入)
- ・封孔処理材：アクリル樹脂, フッソ樹脂

図一 透気試験用供試体の種類

4040 (アルミニウムおよびアルミニウム合金の棒および線)に準拠した溶射用アルミ線 (融点 658°C), および溶射用錫線 (融点 232°C) を用いた。

2.1.2 実験方法 下地モルタル表面のレイタンスを除去し, 特殊プライマーを塗布後フレーム溶射により金属皮膜を形成し, 研磨処理を行った後, 表一に示す種類の供試体を作成した。

耐候性試験はキセノンロングライフ・ウエザーマター (スガ試験機(株)製 WEL-6X-HCS 型)を用い, JIS D 0205 (自動車部品の耐候性試験方法)に準じ, 60分照射中に12分間試験体の表側に水を噴射する連続照射とした。所定の時間を経過後に JIS Z 8741 (鏡面光沢測定方法)準じて60度鏡面光沢度を測定し, 光沢残存率を求めた。また, JIS Z 8730 (色差表示方法)に準じ, X Y Z を測定し色差△E (Lab) を求めた。

2.2 皮膜の透気性に関する実験

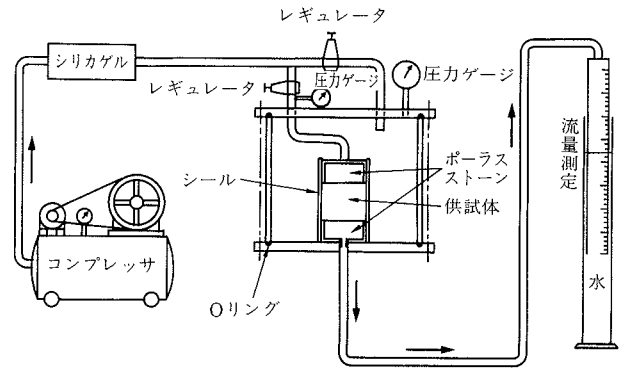
2.2.1 使用材料 下地コンクリートの使用材料, 下地処理材, 封孔処理材は以下の通りとした。

(1) 下地コンクリート 溶射皮膜を形成する下地材として一般建築物の外壁を想定した普通コンクリートとし, 下記仕様のシリンダー供試体を用いた。

- ・形状寸法—φ10×10 cm シリンダー
- ・調 合—スランプ:18±2.5 cm, 空気量:4 ± 1 %
設計基準強度:210 kgf/cm² (材令28日)
ここに, 粗骨材:石灰岩碎石, 細骨材:砂岩砕砂
セメント:普通ポルトランドセメント
- ・養 生—成型後翌日脱型とし, 試験時まで20±3°C, 60±5%RH 気中養生とした。

(2) 下地処理材 前項2.1.1(2)と同一とした。

(3) 封孔処理材 フッ素樹脂およびアクリル樹脂を用いた。



図二 透気試験装置

(4) 溶射材料 融点が低く, 形成される皮膜も融点の高い材料よりは緻密になると推察される錫を用いた。

2.2.2 実験方法 コンクリート下地表面のレイタンスを除去し, フレーム溶射により供試体の一面に皮膜を形成した。また, 比較用としてコンクリート供試体のみ, 下地処理用プライマーの有無, 封孔処理の有無を組み合わせる4種類とした(図一)。透気試験の方法は定圧法により, 図二に示す試験装置により, 供試体の両端面間に差圧を負荷し, 経時的な透気量を測定した。

また, 透気試験結果に基づき(1)式³⁾により透気係数を算出した。

$$K = \frac{2 \cdot \ell \cdot P_2 \cdot \gamma_A}{P_1^2 - P_2^2} \cdot \frac{Q}{A} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに

- K: 透気係数 (cm/s), Q: 流量 (cm³)
- ℓ: 供試体厚さ (cm), A: 透気面積 (cm²)
- γ_A: 空気の単位容積質量 (1.205×10⁻⁶kg/cm³)
- P₁: 大気圧 (kgf/cm²)
- P₂: 負荷する圧力 (kgf/cm²)

なお負荷する差圧は, 1 kgf/cm², 2 kgf/cm² の2ケースとした。

2.3 溶射皮膜のひびわれ追随性に関する実験

2.3.1 使用材料 下地の材料, 下地処理材, 溶射材料は以下の通りとした。

(1) 下地の材料 溶射皮膜を形成する下地材として下記仕様のモルタル板を用いた。

- ・形状寸法—JIS A 1404 (建築用吸水材の試験方法)の透水試験に用いる試験体製作用型枠を用い, φ150×40 mm 円板とした。
- ・調 合—細骨材:5号珪砂, セメント:普通ポルトランドセメント, 水セメント比:50%
- ・養 生—成型後翌日脱型とし, 試験時まで20±3°C, 60±5%RH 気中養生とした。

(2) 下地処理材 下地処理用プライマーとして硬質のエポキシ樹脂および軟質のエポキシ樹脂を用いた。

(3) 溶射材料 下地との接着性が良好な錫 (Sn) を用いた。

表-2 供試体の種類

No.	下地処理方法	下地処理層の厚さ(mm)	溶射材料	供試体数
1	無処理	0	Sn	3
2	硬質エポキシ樹脂	1	"	3
3	"	2	"	3
4	軟質エポキシ樹脂	1	"	3
5	"	2	"	3
供試体合計				15

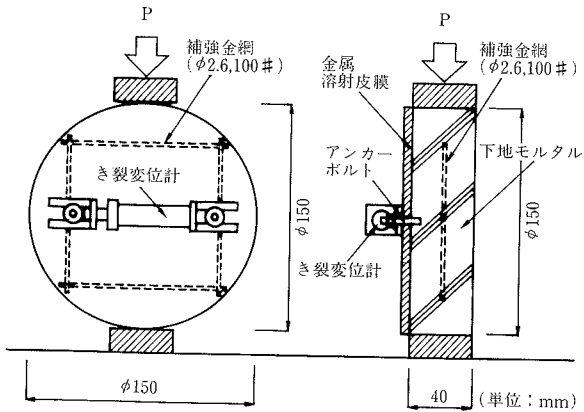


図-3 ひびわれ追従試験方法

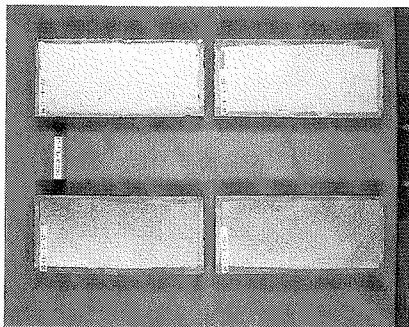


写真-1 促進耐候性試験後の錫の皮膜

2.3.2 実験方法 下地表面のレイタンスを除去し、下地処理の有無、下地処理プライマーの種類および厚さを実験要因として表-2に示す供試体を作成した。ここで、下地処理プライマーは積極的に皮膜のひびわれ追従性を高める観点から1および2mmと厚くした。溶射皮膜はフレーム溶射により形成し、溶射皮膜の厚さは150μとした。皮膜の厚さは事前に予備検討により溶射時間で管理した。なお、封孔処理は行っていない。

実験は、図-3に示すように下地モルタル板に載荷し、人為的に割裂ひびわれを生じさせ、下地モルタル板のひびわれ幅を亀裂変位計、金属溶射皮膜表面のひずみを張付型表面ひずみゲージにより測定し、デジタル歪測定器およびXYレコーダを用いて記録した。また、溶射皮膜の、下地モルタルのひびわれに対する追従性は表面ゲージの破断の有無およびXYレコーダの測定結果により評価した。

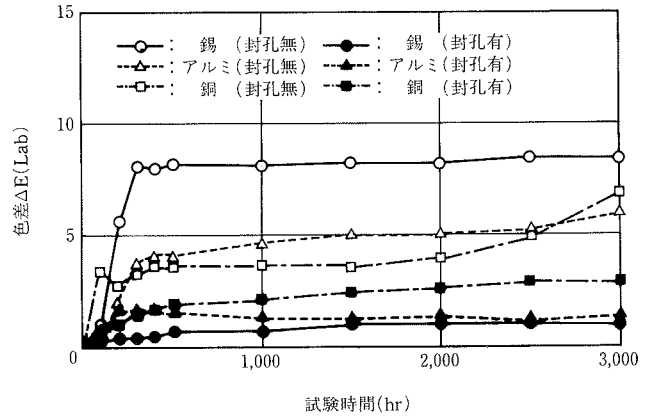


図-4 色差の経時変化

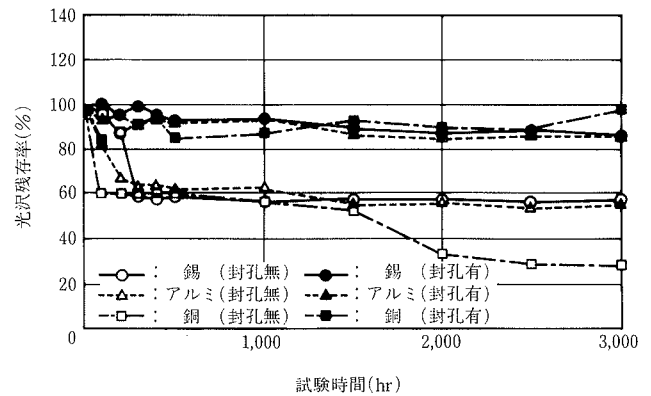


図-5 光沢残存率の経時変化

3. 実験結果および考察

3.1 耐候性試験の結果

キセノンウエザーメーターによる促進耐候性試験の3,000時間までの結果を図-4(色差の経時変化)~5(光沢残存率の経時変化)に示す。

3.1.1 色差の経時変化 図-4に示した結果によると封孔処理を施していないものでは照射初期の段階から色差が大となり、特に錫ではその傾向が顕著であった。写真-1は3,000時間促進耐候性試験後の錫の皮膜の色の变化を示したものであるが、封孔処理を施さないものは封孔処理したものに比較し、かなりの色の变化が顕著であることがわかる。封孔処理を施したものでは色差は小さく、溶射金属間で大きな差異は認められなかった。このことから、金属の色差を押える上で、封孔処理がきわめて有効なことがわかる。

3.1.2 光沢残存率 光沢度の初期値は封孔処理の有無および溶射金属間で大きな違いがなく概略10前後であり常乾フッソ樹脂の一般的な初期光沢度(75~85程度)よりも小となっているが図-5に示した結果によると、封孔処理を施していないものでは照射初期の段階から溶射金属の種類にかかわらず光沢残存率の低下が大きく、3,000時間で55~60%まで低下した。

封孔処理を施したものでは残存率が85~95%で大きな変化は認められなかった。また、溶射金属の種類による

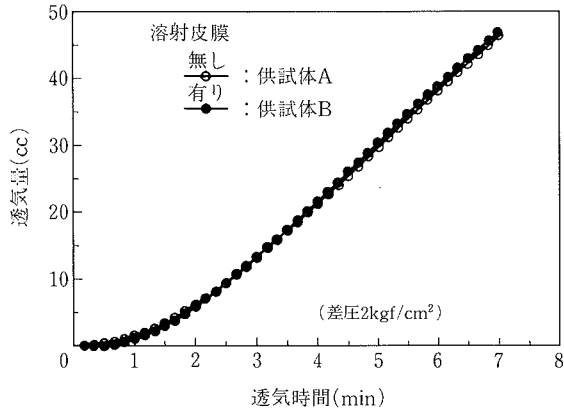


図-6 溶射皮膜の有無による透気量

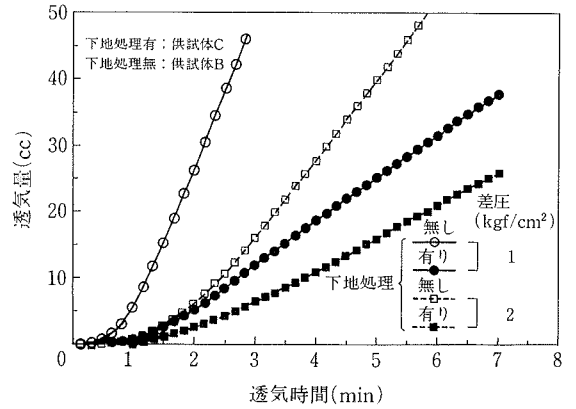


図-7 下地処理の有無による透気量

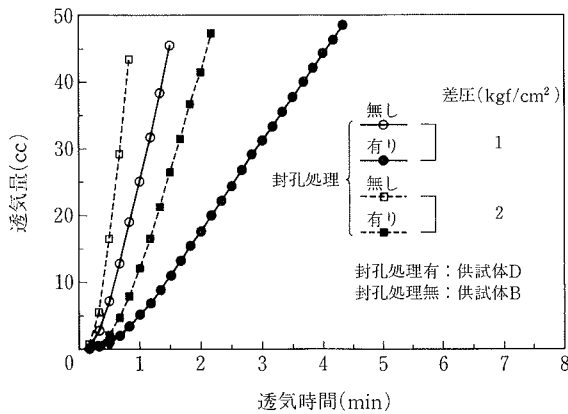


図-8 封孔処理（アクリル樹脂）の有無による透気量

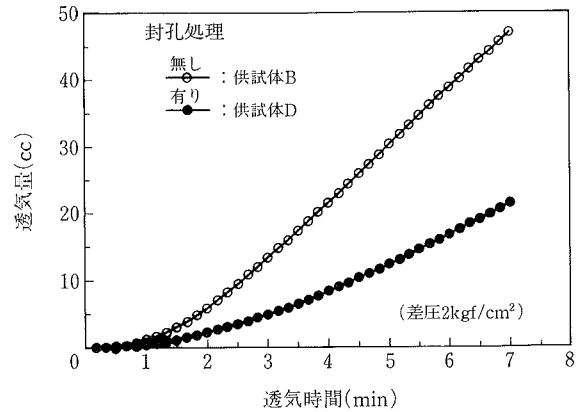


図-9 封孔処理（フッ素樹脂）の有無による透気量

違いはほとんど認められなかった。

これらの結果により、適正な下地処理を施した上、封孔処理を行うことにより、色差の変化の制御、光沢等の金属溶射皮膜の耐候性の向上を確保することが可能であることが確認できた。

3.1.3 透気試験結果 透気試験の結果を図-6～8に示す。いずれも経時的な透気量の測定結果であるが、これより以下の傾向が認められる。

(1) 溶射皮膜の透気性 図-6の溶射皮膜の有無による透気試験結果によると、溶射皮膜の有無による透気量にはほとんど差がなく、溶射皮膜が非常にポーラスであることがわかる。

今回の実験では、融点が低く、形成される皮膜も融点の高い材料よりは緻密になると考えられる錫を用いたが、高融点の材料についても同様の結果が得られることが容易に推察される。

したがって、前報で指摘したように外気および下地コンクリートからの水分は皮膜内部に容易に浸透し、皮膜の劣化をまねくことになるため、適切な下地処理および封孔処理が不可欠となる。

(2) 下地処理および封孔処理による透気性 下地処理および封孔処理が皮膜の接着性に及ぼす効果については前報に示した。また、耐候性に関する効果についても前項3.1.2の結果からも明らかである。

ここで、これら下地処理および封孔処理の透気性に及ぼす効果を示したのが図-7～9である。

図-7の下地処理の有無による透気試験の結果によると、前項(1)で指摘したようにコンクリート自体の透気性の影響が認められるものの、下地処理の有無による透気量には差圧が1 kgf/cm²、2 kgf/cm²の場合ともかなり差異が認められ、下地処理の効果が顕著であることがわかる。

また、図-8は封孔処理材としてアクリル樹脂を用いた場合の透気試験結果、図-9は封孔処理材としてフッ素樹脂を用いた場合の透気試験の結果であるが、使用材料によってその透気量には差異が認められるもののいずれも封孔処理を施すとその透気量は小となる。

今回の実験では、差圧を1 kgf/cm²、2 kgf/cm²としたが、実際に発生する蒸気圧などの差圧はごく微小と考えられることから、下地処理および封孔処理を施すことにより十分な耐候性の向上が図れるものと考えられる。

さらに、前述の(1)式を用いて透気量が定常状態に達した時点で各条件ごとの透気係数を差圧2 kgf/cm²の場合について算出した結果が表-3である。これより、下地処理を施すことによって約40%、封孔処理を施すことによって約60%程度透気係数が小となった。

すなわち、前節の耐候性試験の結果とも併せ考慮すると、耐候性向上を図るためにはこの程度の性能を持った処理を施す必要があると考える。

表一3 透気係数の算出結果 (差圧 2 kgf/cm²)

条 件		透気係数(×10 ⁻⁹ m/sec)	
下地処理	有	5.00	
	無	8.16	
溶射皮膜	有	3.66	
	無	3.68	
封孔処理	フッソ樹脂	有	1.50
		無	3.66
	アクリル樹脂	有	7.53
		無	20.52

表一4 皮膜破断時のモルタル下地のひびわれ幅 (供試体 3 体の平均値)

下地処理の種類	モルタル下地のひびわれ幅(mm)
無 処 理	0.02
硬質エポキシ樹脂(t=1mm)	0.02
硬質エポキシ樹脂(t=2mm)	0.39
軟質エポキシ樹脂(t=1mm)	0.29
軟質エポキシ樹脂(t=2mm)	0.42

3.2 ひびわれ追従性に関する実験結果

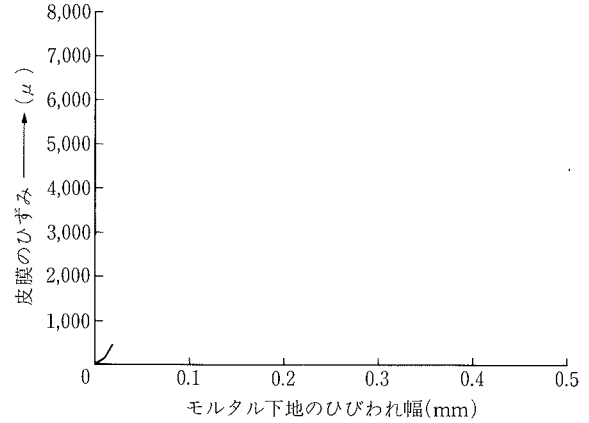
溶射皮膜の接着耐久性および耐候性を確保する上で、下地コンクリートに発生するひびわれによって溶射皮膜が破断するなどの影響をできるだけ軽減することが金属溶射仕上げを行う上で重要な課題と考える。一方、溶射皮膜と下地との接着機構は前報で機械的な投錨効果によることを示した。すなわち、直接コンクリート下地に溶射皮膜を形成すると、コンクリート下地にひびわれが発生した場合、ゼロスパンテンションにより容易に皮膜が破断することが推察される。図一10は下地が無処理時における下地のひびわれ幅と皮膜面のひずみの関係を示したものであるが、下地のひびわれ幅が約 0.02 mm で皮膜が破断しており溶射皮膜自身の下地のひびわれに対する追従性は非常に小さいことが分かる。

したがって、下地に発生するひびわれの影響が溶射皮膜に及ばないようにするためには下地の挙動を緩衝する緩衝材を下地と皮膜との間に設ける必要がある。

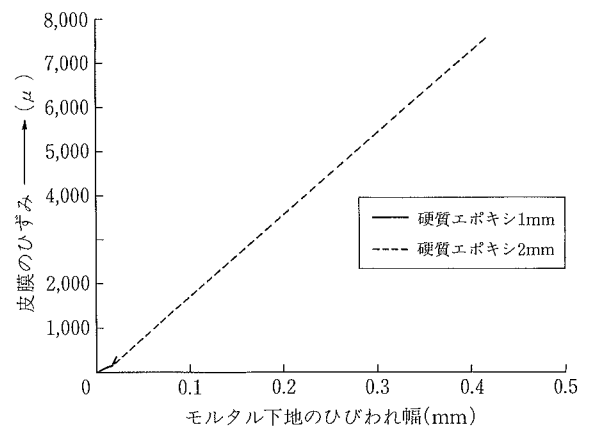
皮膜の接着耐久性、耐候性を得るためにはプライマーによる下地処理が不可欠であるが、プライマーの種類と厚さを変えることにより、下地コンクリートのひびわれに対する皮膜の追従性がどの程度改善されるかを検討した。

図一11に下地処理材として硬質エポキシ樹脂をプライマーとして用いた場合、図一12に軟質エポキシ樹脂をプライマーとして用いた場合の下地のひびわれ幅と皮膜表面ひずみとの関係、表一4に皮膜破断時のモルタル下地のひびわれ幅を示した。

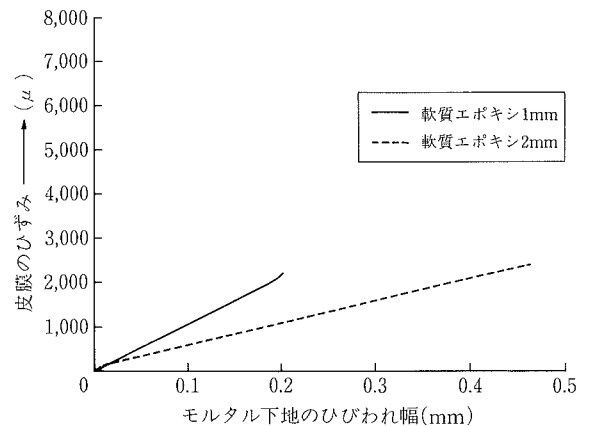
これより、硬質エポキシ樹脂をプライマーとして用いた場合、プライマーの厚さ 1 mm では下地モルタルのひびわれ幅が 0.02 mm で皮膜が破断し、プライマーの厚さが 2 mm では下地モルタルとプライマーとの界面で一



図一10 溶射皮膜のひびわれ追従性 (無処理)



図一11 溶射皮膜のひびわれ追従性 (硬質エポキシ樹脂による下地処理)



図一12 溶射皮膜のひびわれ追従性 (軟質エポキシ樹脂による下地処理)

部剝離が生じゼロスパンテンションが見かけ上緩和され約 0.4 mm で皮膜が破断する結果となっている。

一方、軟質のエポキシ樹脂をプライマーとして用いた場合には、プライマーの厚さ 1 mm では下地モルタルのひびわれ幅が約 0.3 mm で、プライマーの厚さ 2 mm では、下地モルタルのひびわれ幅が約 0.4 mm で皮膜の破断が認められ、下地のひびわれに対する緩衝効果が硬質エポキシ樹脂より大であり、ひびわれ追従性を得る上で

有効なことがわかる。今回の検討結果により下地処理プライマーに軟質エポキシ樹脂の適用,あるいはプライマーの厚みの増大によりひびわれ追随性能の向上が図れることが確認できた。しかし,過大なひびわれに対しては下地処理プライマーによっても十分な追随性が得られないことが予想されるため,溶射皮膜によりコンクリート表面に仕上げを行う場合にはコンクリート下地自体のひびわれ制御に十分配慮する必要があると考える。

4. 結 語

溶射皮膜の耐候性に関する一連の検討の結果をまとめると以下ようになる。

① 促進耐候試験の結果,封孔処理を施した金属溶射皮膜の色差および光沢残存率は金属の種類が変わってもほとんど変化が認められなかった。

従って,耐候性のある材料による溶射皮膜表面の封孔処理は金属溶射皮膜の色差の変化を押え,光沢残存率を保持する上できわめて有効であり,溶射皮膜の耐候性を向上する上で不可欠である。

② 溶射皮膜はポーラスなため,外気および下地コンクリートからの水分の影響を受けやすい。これらの影響を遮断するために,下地処理用プライマーおよび封孔処理材を施すことにより溶射皮膜の透気性は 2 kgf/cm^2 の差圧下においても無処理に比較してほぼ半減し,耐候

性向上に下地処理および封孔処理が有効であることを確認した。

③ 皮膜の接着耐久性および耐候性に重大な影響を及ぼす下地コンクリートのひびわれに対する溶射皮膜の追随性は,下地処理として,ある程度の厚さを持った軟質エポキシ樹脂の適用あるいは下地処理用プライマーの厚みの増大によりゼロスパンションが緩衝されてかなり向上する。ただし,下地の過大なひびわれに対し,十分な追随性を得ることが困難なことが予想されるため,溶射による仕上げを行う場合にはコンクリート下地のひびわれ制御対策にも充分配慮する必要がある。

参考文献

- 1) 青山 幹, 林 好正, 小川晴果:コンクリート構造物の金属溶射仕上げ,日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 125~126, (1990)
- 2) 日本溶射協会編:溶射ハンドブック, (株)新技術開発センター, (1977)
- 3) 長滝, 氏家:コンクリートの透気性, セメントコンクリート, No. 455, p. 24~31, (1985)
- 4) 小川晴果, 長尾覚博, 他:溶射によるコンクリートの表面仕上げ工法に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 47, p. 51~56, (1993)
- 5) 日本建築学会編:鉄筋コンクリート造のひび割れ対策 (設計・施工) 指針・同解説, (1990)