

報 告

[1184] 溶射によるコンクリートの表面仕上げに関する基礎的検討

長尾覚博*1・小川晴果*2・斉藤裕司*1・中根 淳*3

1. はじめに

近年、各種の材料を用いる溶射技術が開発され実用に供されている。一方、建築構造物のニーズの多様化に伴い、コンクリート表面に対して美観の改善および耐久性をはじめとする性能の向上が求められている。

このような状況から、溶射によってコンクリート表面に皮膜を形成し、これらのニーズに対応する新しい仕上げ技術の可能性について検討するため、現場打ちおよびプレキャストコンクリート部材に適用可能な溶射技術を選択し、溶射によって形成される皮膜の基本特性について調査した。

2. 溶射の概要とコンクリートに適用する際の
問題点

JIS H 8200 (溶射用語) によると、溶射の定義は「燃烧または電気エネルギーを用いて溶射材料を加熱し、熔融またはそれに近い状態にした粒子を素地に吹き付けて皮膜を形成すること」と示されている。したがって、溶射は熱源の種類に応じて図-1のように分類される¹⁾。

これら溶射方法のうち、建築構造物の壁面などの広い面積を連続的に溶射でき、コンクリートにも適用可能と思われるものを検討した結果、フレーム溶射、アーク溶射、プラズマ溶射が挙げられ(図中の■■■■)、その特徴をまとめると表-1となる。図-2はフレーム溶射装置の概要であるが、ガスによる熱源で溶射材料を熔融し、圧縮空気で溶射粒子を素地に付着させ皮膜を形成するものである。アーク、プラズマとも熱源が異なるものの基本的な原理は同様である。これより溶射は高温の熱源によって溶射材料を熔融し素地に溶着させる工法であるため、コンクリート面に適用する場合には皮膜の形成が可能であることを確認することはもとより、高温の溶射粒子がコンクリート面に接触し皮膜を形成する際にコンクリートの

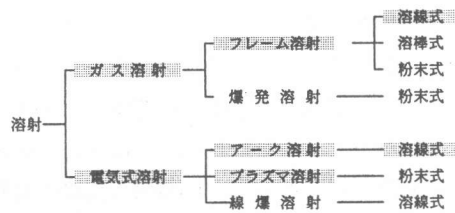


図-1 溶射の分類

表-1 各溶射方法の特徴

溶射方式	溶射材料		熱源(温度℃)	溶射粒子の加速方法
	形状	種類		
フレーム	粉末 線材	金属 セラミックス プラスチック	アセチレン、プロパンなどの燃料ガスと酸素の混合フレーム(3000℃)	圧縮空気(線材) 燃焼炎(粉末)
アーク	線材	金属	直流電圧によって発生するアーク(4200℃)	圧縮空気
プラズマ	粉末	金属 セラミックス	プラズマガス(10000~20000℃)	ジェット

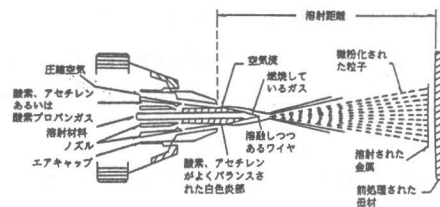


図-2 フレーム溶射装置の概要

*1 (株)大林組技術研究所 建築第2研究室主任研究員 工修(正会員)
 *2 同 建築第3研究室研究員 工修(同)
 *3 同 建築第2研究室室長 工修(同)

熱による劣化が懸念される。また、形成される溶射皮膜のコンクリート下地との接着性が仕上げ材として十分なことが必要である。このような問題を検討するため、以下に示す皮膜の基本特性に関する実験を行った。

3. 溶射皮膜の基本特性に関する実験

3.1 実験内容

溶射皮膜の基本特性として、a. 皮膜の形成状態および膜厚、b. 溶射時のコンクリート下地への熱影響、c. 皮膜の接着強度、d. 皮膜の透気性、について検討した。

3.2 実験方法

(1) 供試体

溶射皮膜の形成状態および膜厚、溶射時のコンクリート下地への熱影響、皮膜の接着強度については図-2に示す壁体を想定したコンクリートパネルを用い、皮膜の透気性についてはφ10×10cmシリンダー供試体を用いた。

(2) 実験条件

①コンクリートの仕様・コンクリートパネルおよび透気試験用供試体の作成に用いたコンクリートは、建築構造物の壁体を想定し、・スランプ：18±2.5cm、・空気量：4±1%、・設計基準強度：210kgf/cm²（28日）・使用材料：セメント-普通ポルトランド、細・粗骨材-石灰岩碎石+山砂（コンクリートパネル用）、硬質砂岩碎石+山砂（透気試験用）混和剤-AE減水剤、とした。

②コンクリートの養生条件・溶射時（材令28日以降）まで20±3℃、65±5%RH気中養生とした。

③溶射方法・フレーム、アーク、プラズマ溶射の3種類とした。ただし透気性の実験についてはフレーム溶射のみとした。

④溶射材料・融点の高低により、錫（融点約230℃、透気試験のみ）、アルミ（融点約660℃）、クロムステンレス鋼（融点約1400℃）、セラミック（融点約2000℃、プラズマ溶射のみ）の4種類を選定した。

⑤溶射時間・皮膜厚を変化させるため、溶射装置がコンクリートパネルの同一箇所を通過する往復回数（パネル一往復の所要時間は約20sec）を1, 1.5, 2.0往復の3水準とした。

また、素地と溶射装置との距離はフレーム、アーク溶射で約20cm、プラズマ溶射で約10cmとした。

⑥コンクリートの下地の前処理・溶射時にコンクリート表面のレイタンスを除去した。

(3) 供試体の種類と数量

上記の実験条件にもとずきコンクリートパネルの種類と数量は表-2に示す

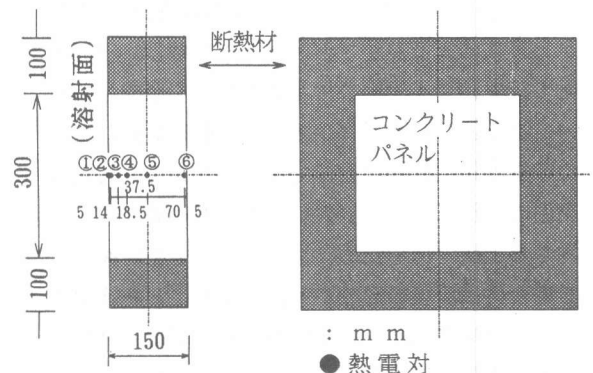


図-3 コンクリートパネルの形状寸法

通りとし、透気試験については $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体を打込み方向に高さ 10 cm に2分割し、そのそれぞれを供試体とした。

(4) 測定方法

①皮膜の形成状態および膜厚・皮膜の形成状態は表面および皮膜断面を顕微鏡にて観察した。また、膜厚は顕微鏡観察により求めた。

②溶射時のコンクリート下地への熱影響・溶射時のコンクリートパネルの表面温度をアルメルクロメル表面温度測定用熱電対および断面内の温度分布を銅-コンスタンタン熱電対により前述の図-3に示す位置で測定した。

③皮膜の接着強度・建研式引張り試験機によった。

④皮膜の透気性・定圧法により供試体両端面間に 2 Kg/cm^2 の差圧を負荷し経時的な透気量を測定した。

4. 実験結果および考察

4. 1 溶射時のコンクリート強度

コンクリートパネルが 236 Kg/cm^2 (パネルから抜き取ったコア供試体の平均値)、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体 (透気試験用) が 212 Kg/cm^2 (3本の平均値)であった。

4. 2 皮膜の形成状態および膜厚の測定結果

顕微鏡を用い溶射皮膜の状態を観察した一例を写真-1~2に示す。これより、皮膜は熔融した粒子が素地に溶着して扁平になった層が蓄積し、素地との接着は機械的な投錨効果により形成されることがわかる。また、各溶射方法別の皮膜の形成状態を比較すると、アーク、プラズマに比較してフレーム溶射ではコンクリート表面に形成される皮膜厚が大きく、また凹部にも十分入り込んでいる様子が観察された。

表-2 コンクリートパネルの種類と数量

シリーズ	溶射方法	溶射の往復回数	溶射材料	コンクリートパネル数
I	フレーム	1	SUS アルミ	6
		1.5		
		2.0		
II	アーク	1	SUS アルミ	6
		1.5		
		2.0		
III	プラズマ	1	アルミ	9
		1.5	SUS	
		2.0	セラミック	
総数				21体

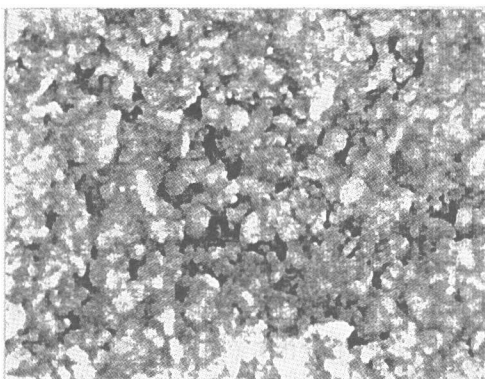


写真-1 溶射皮膜表面の様子 (フレーム溶射, アルミ)

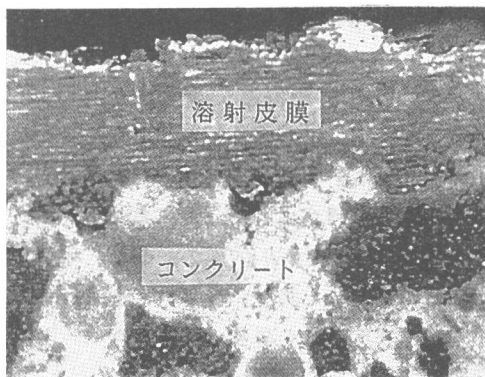


写真-2 溶射皮膜断面の様子 (フレーム溶射, アルミ)

図-4に溶射装置が一往復した時の膜厚の測定結果を示す。これより、フレーム溶射-アルミニウムおよびプラズマ溶射-アルミニウムの条件で膜厚が大となり、他の条件ではそれらに比較して膜厚は小となっている。すなわち溶射方法および溶射材料によって膜厚にはかなりの差が生じ、融点の低い材料ほど皮膜が形成しやすいことが推察される。したがって、溶射材料の選択にあたってはそれらの特性を十分把握する必要があると考えられる。さらに、金属皮膜による仕上げで、皮膜を研磨し光沢を得る場合には、ある程度厚い皮膜が必要と考えられ、そのような観点から各溶射方法を比較するとフレーム溶射が装置の簡便さおよび施工能率の観点から最適ではないかと判断される。

4.3 溶射時のコンクリートへの熱影響

溶射時のコンクリートの受熱温度は溶射粒子温度の影響を受けると考えられる。

図-5は溶射方法、溶射材料を異にする溶射粒子の温度を溶射装置からの距離によってどのように変化するかを、便宜的な方法であるが熱伝対を用いて測定した結果である。これより溶射装置の熱源の温度が高く、溶射材料の融点が高いほど溶射粒子の温度は高くなることがわかる。

コンクリートの受熱温度の測定例を図-6~7に示す。これより、コンクリート表面温度は溶射装置が通過する瞬間に一時的な温度上昇があるが、表面温度の上昇に伴うコンクリート内部の顕著な上昇はほとんど認められない。また一時的に上昇する表面温度も最大で約200℃程度で、溶射粒子の温度はかなり高温であってもコンクリートの熱容量がはるかに大きいため、粒子が素地に溶着する

溶射方法	溶射材料	溶射皮膜厚の範囲 (μm)	
		100	200
フレーム	アルミニウム	[約100, 約250]	
	ステンレス	[約50, 約100]	
アーク	アルミニウム	[約50, 約100]	
	ステンレス	[約50, 約100]	
プラズマ	アルミニウム	[約100, 約200]	
	ステンレス	[約50, 約100]	
	セラミック	[約50, 約100]	

図-4 溶射皮膜厚の測定結果 (溶射回数一往復)

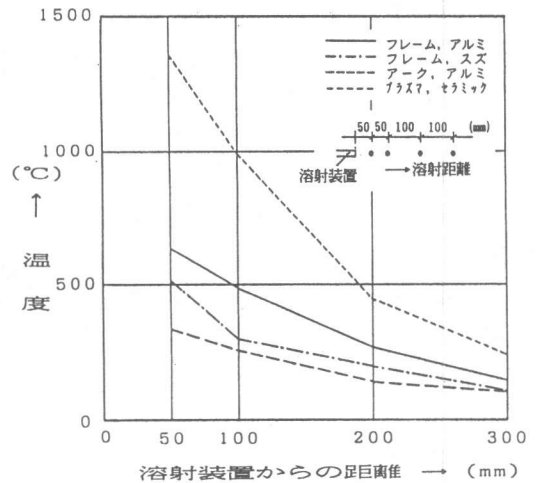


図-5 溶射装置からの距離と溶射粒子の温度

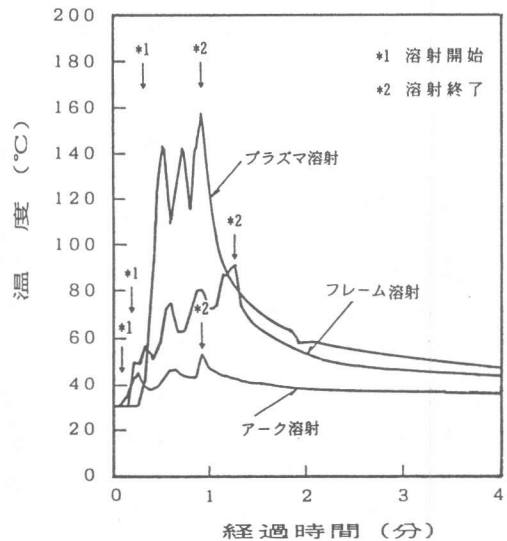


図-6 溶射時のコンクリート表面温度

と直ちに冷却されることがわかる。また既往の研究によると、この程度の温度範囲ではコンクリートの顕著な強度特性の劣化はないと推察される³⁾。

4. 4 溶射皮膜の接着強度

溶射装置がコンクリートパネル表面を往復する回数と接着強度との関係を図-8に示す。これより往復回数が増大するほどフレーム溶射-アルミ、プラズマ溶射-アルミの組み合わせでは接着強度が低下し、他は往復回数にかかわらずほぼ20 kgf/cm²前後であった。特にフレーム溶射-アルミの場合、2往復目における接着強度が低く、この理由は2往復目の所要時間が設定よりも長かったため、皮膜厚が大となりその冷却時の熱変形により接着強度が低下したと推察され、接着性と皮膜厚との関係を更に検討する必要があることが指摘される。さらに今回はコンクリートの下地処理をレイタンスを取り除くのみとしたが皮膜厚を増しても接着性が確保できる下地処理方法を検討する必要があると考える。

なお、今回の実験では膜厚が薄いものでは引張試験時に用いたアタッチメントを接着する際のエポキシ樹脂がコンクリート面の凹凸に浸透し、コンクリート表層部の引張強度が影響して見かけ上接着強度が高かったことが推測される。しかし、このことはコンクリート表面の熱劣化がほとんどなかったと言い換えることができる。

5. 5 皮膜の透気性

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

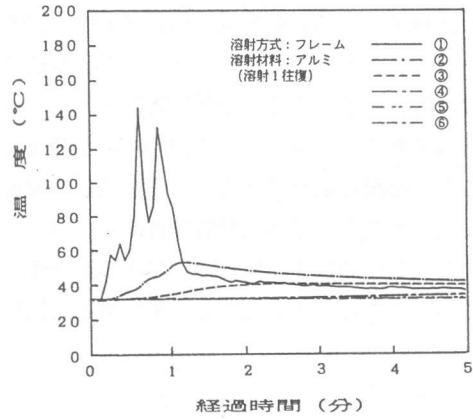


図-7 溶射時のコンクリート内部温度

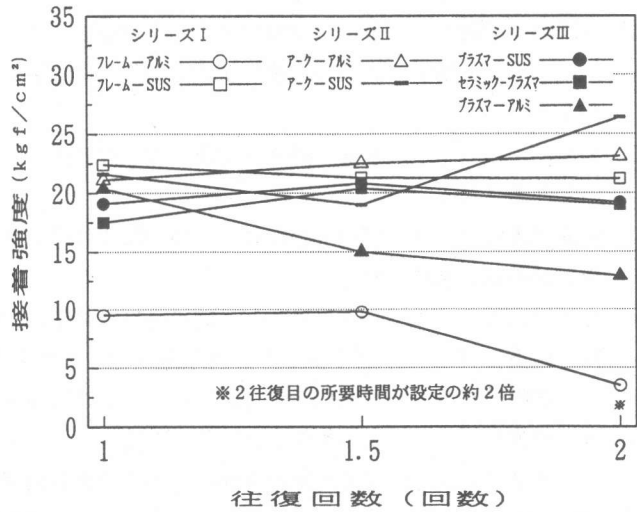


図-8 皮膜の接着強度試験結果

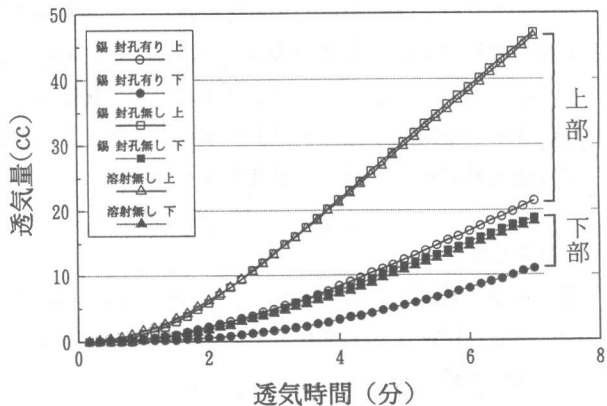


図-9 透気試験結果

なると推察される錫の皮膜についてその、透気性を調査した結果が図-9である。これよりコンクリート供試体の打込方向上部が下部より透気量が大きとなったが、溶射皮膜の有無による透気量にはほとんど差がなく、溶射皮膜はポーラスなものであることがわかる。したがって、外気および含水状態のコンクリート下地からの水分は皮膜内部に容易に浸透することが考えられるため、これらの影響を遮断することが皮膜の耐候性を向上させる上で重要な課題であると考えられる。例えば、外気の水分等の影響を遮断する方法として溶射皮膜表面にフッ素樹脂による封孔処理を施すと、図-9に併記したようにその透気性はかなり小となることから、金属皮膜による仕上げに当たっては光沢を保持するためにも封孔処理が有効と考えられる。

5. まとめ

溶射皮膜の基本特性について調査した結果、以下の点が指摘される。

- 1) フレーム、アーク、プラズマ各溶射方法によりコンクリート面に金属、セラミックなどの皮膜の形成が可能であることを確認した。
- 2) 皮膜厚は溶射方法および溶射材料により差が生じ、同一溶射材料では、フレーム溶射がアーク、プラズマ溶射に比較して膜厚が大となり、かつ融点の低い材料ほど膜厚は大となる傾向がある。
- 3) 溶射によるコンクリートの熱劣化は溶射粒子が直接コンクリートに溶着する場合でも殆どないと判断される。
- 4) 金属皮膜による仕上げの場合には、皮膜の形成状態および施工能率等を考慮するとフレーム溶射が最適と判断される。
- 5) 今回の実験のようにコンクリート下地に直接溶射皮膜を形成しても 10 kgf/cm^2 程度以上の接着強度は得られそうであるが、皮膜厚が増すと接着強度は低下する傾向が認められるため、皮膜厚を増大しても接着性を確保できる下地処理方法等を検討する必要がある。
- 6) 溶射皮膜はポーラスなためコンクリート下地からの水分および外気から皮膜への影響を遮断し、耐久性を向上させるための下地処理および表面処理が必要と考えられる。
- 7) 溶射技術が新しいコンクリートの仕上げ方法として適用可能なことを確認できたが、実構造物への適用を図るためには、さらに下記の点について検討する必要があると考える。
 - ①皮膜の耐候性に関する検討。
 - ②コンクリート下地からの水分を遮断し、十分な接着性を得るための下地処理方法の検討。
 - ④金属皮膜による仕上げの場合、研磨仕上げに必要な皮膜厚および所要接着強度の検討。
 - ⑤下地コンクリートのひび割れによる皮膜の破断防止方法。
 - ⑥レリーフを形成したコンクリートへの適用方法の検討。
 - ⑦各種溶射材料の色調、テクスチャーの検討。

(参考文献)

1. 北原 繁 : 溶射方式, 表面技術, Vol.41, No.10, pp.9~13, 1990
2. 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, pp.21~31, Jan.1985
3. U. シュナイダー: コンクリートの熱的性質, 技報堂出版, 1983.12