

(28) 防錆処理を施した鋼板とコンクリートとの付着強度

Experimental Study on Adhesion between Steel and Concrete members
with Rust Prevention Coating

坂本 香*, 村山 陽**, 中田 謙司***, 柳澤 則文****, 山岸 武志*****

Kaoru Sakamoto, Akira Murayama, Kengi Nakata,
Norihami Yanagisawa and Takeshi Yamagishi

*日本道路公団北陸支社信越工事事務所 (〒943-0847 新潟県上越市南新町 3-46)

**日本道路公団静岡建設局建設部構造技術課 (〒420-0857 静岡県静岡市御幸町 11-30)

***石川県土木部河川課 (〒920-8580 石川県金沢市鞍月 1-1)

****川田工業 (株) 橋梁事業部技術部技術開発課 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

*****川田工業 (株) 橋梁事業部技術部東京技術部 (〒114-8562 東京都北区滝野川 1-3-11)

In the design stage of The MATTO Pedestrian Overpass constructed nearby the sea, prevention method for corrosion via salt was important subject. Zn-Al alloy coating was adopted for the rust prevention. However, adhesion between Zn-Al alloy coated steel and concrete, has not been verified. Therefore, the authors have carried out the adhesion test depending on coat thickness, type of coating, concrete strength and concrete casting. This paper shows the test result, and also results of past tests are included.

Key Words : Rust Prevention, Painting, Zn-Al alloy coating, Adhesion, Composit Structure

1. まえがき

従来、鋼とコンクリートによる合成構造では、コンクリートに被覆される部分の鋼材には防錆処理を施していないものが多かった。ところが、製作・施工における工程上の制約から鋼桁の製作後、コンクリート打設までの期間を延長しなければならない場合も多くなっている。そこで、現在、コンクリートに被覆される鋼材には、一時的にウォッシュプライマーや無機ジंकリッチプライマーなどによる防錆処理が施されている場合が多い。また、道路橋示方書の改訂にともない、コンクリート構造物の塩害に対する耐久性の検討が規定化され、塩害の影響が特に懸念される地域においては、鋼材の防錆処理が非常に重要なものとなる。

以上のような観点から、海岸に隣接し、塩害の影響が非常に激しい地区に施工される松任連絡横断橋（プレビーム合成桁：図-1）では、近年、鋼橋で用いられることが多くなった防錆処理の一手法である亜鉛・アルミ常温溶射¹⁾を鋼桁に施し、コンクリートで被覆することを計画した。しかしながら、亜鉛・アルミ溶射膜とコンクリートとの付着強度については未確認であることから、付着強度試験を事前に実施し付着力の確認を行った。

試験は、過去に実施した各種防錆処理鋼板による付着強度試験と同様な方法で実施することとした。そこで、本研究では、亜鉛・アルミ常温溶射鋼板とコンクリートとの付着強度について過去の試験結果も合わせて報告するものである。

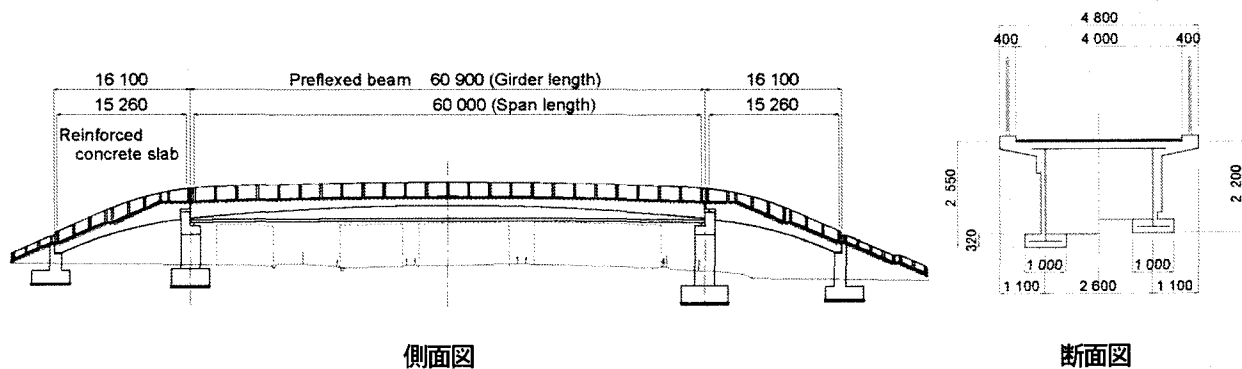


図-1 松任連絡横断橋一般図

2. 亜鉛・アルミ常温溶射とコンクリートとの付着強度試験²⁾

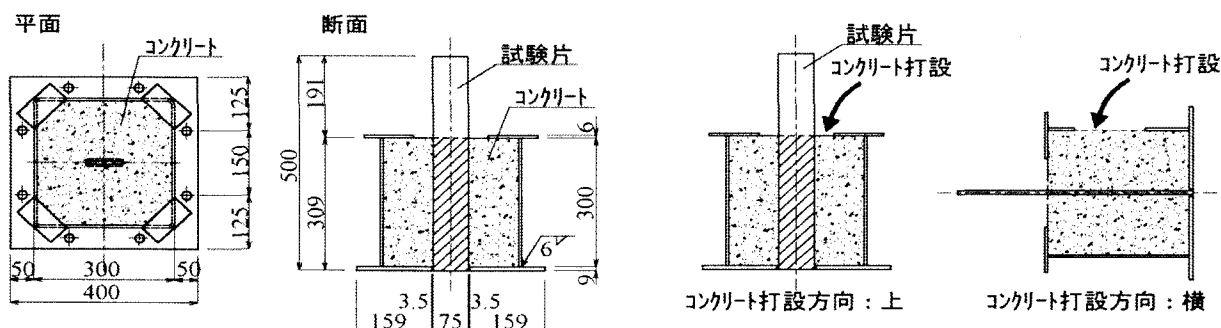
今回の試験は、塗装膜厚、コンクリートの圧縮強度およびコンクリートの打設方向を変えて行い、付着強度の影響を確認することとした。また、試験体は、過去の試験結果³⁾と相関が得られるようほぼ同様な寸法形状とし、ウォッシュプライマー仕様も試験に含めることとした。

なお、過去の試験では、ウォッシュプライマー、無機ジンクリッチプライマー、有機ジンクリッチペイント、亜鉛メッキ、鉛系および一般錆止塗料など、さまざまな防錆処理を施した鋼板とコンクリートとの付着性状を確認してい

る。また、防錆処理を施さない鋼板（黒皮付鋼板、ブラスト処理鋼板等）についても同等の条件で試験し、防錆板との比較を行っている。

2.1 試験体

試験体の形状寸法およびコンクリートの打設方法を図－2に、引抜き鋼板の表面処理状態の種類を試験体番号とともに表－1（表－2：過去の試験）に示す。試験体の種類は6種類で、各々3体ずつ製作した。表－3（表－4：過去の試験）にコンクリートの配合と圧縮強度を示し、写真－1にはコンクリートの打設状況を示す。なお、今回、コンクリートの打設方向は、実構造物を想定し2方向とした。



図－2 試験体の形状寸法およびコンクリートの打設方法

表－1 試験体の種類

試験体番号	試験体数	目標コンクリート強度 (N/mm ²)	鋼板の表面状態	目標膜厚 μm	打設方向
1	3	30	亜鉛アルミ常温溶射	100	上
2	3	30	ウォッシュプライマー	15	上
3	3	50	亜鉛アルミ常温溶射	100	横
4	3	50	亜鉛アルミ常温溶射	100	上
5	3	50	亜鉛アルミ常温溶射	200	上
6	3	50	ウォッシュプライマー	15	上

注) 亜鉛・アルミ常温溶射の表面処理は、中塗り(エポキシ系30 μm)を施している。

表－2 試験体の種類(過去の試験)

試験体番号	試験体数	目標コンクリート強度 (N/mm ²)	鋼板の表面状態	目標膜厚 μm	打設方向
A	3	30	黒皮		上
B	3	30	錆発生		上
C	3	30	ウォッシュプライマー		上
D	3	30	有機ジンクリッチペイント		上
E	3	30	無機ジンクリッチプライマー		上
F	3	30	ブラスト処理		上
G	3	30	亜鉛メッキ		上
H	3	30	サビラーズ		上
I	3	30	鉛系塗料		上
J	3	30	一般錆止塗料		上

2.2 試験方法

試験は、過去の試験と同様、鉄筋の付着強度試験法⁴⁾に準じ、大阪工業大学八幡工学実験場にて引抜き試験を実施した。試験方法は、図-3に示すように電子式オープンチャック型万能試験機に試験体をセットし（写真-2参照）、

載荷は0kNから最大荷重に達し、かつ引抜き量が1mmを超える程度まで荷重を単調増加させた。また、載荷速度は1.47～1.96kN/minとし、引抜き量の測定には高精度型変位計（500 μ /mm）2台を使用した。なお、膜厚については5点法で測定を行った。

表-3 コンクリートの配合と圧縮強度

試験体番号	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	混和剤 kg/m ³	スランブ cm	試験時圧縮強度 N/mm ²	試験時ヤング係数 N/mm ²
1, 2	325	150	811	1019	2.438	15	50.5	30315
3～6	500	145	676	1022	5.000	(フロー)40	64.8	34568

注) 試験時の圧縮強度、ヤング係数：試験開始前および終了後に実施した平均値
試験体番号1, 2：25～27日強度、試験体番号3～6：20～24日強度

表-4 コンクリートの配合と圧縮強度（過去の試験）

試験体番号	セメント kg/m ³	水 kg/m ³	細骨材 kg/m ³	粗骨材 kg/m ³	混和剤 kg/m ³	スランブ cm	試験時圧縮強度 N/mm ²	試験時ヤング係数 N/mm ²
A～G	362	163	730	1079	0.905	10	32.8	25850
H～J	327	152	720	1119	0.818	8	32.7	

注) 試験時の圧縮強度、ヤング係数：試験期間中に実施した平均値
試験体番号A～G：42日強度

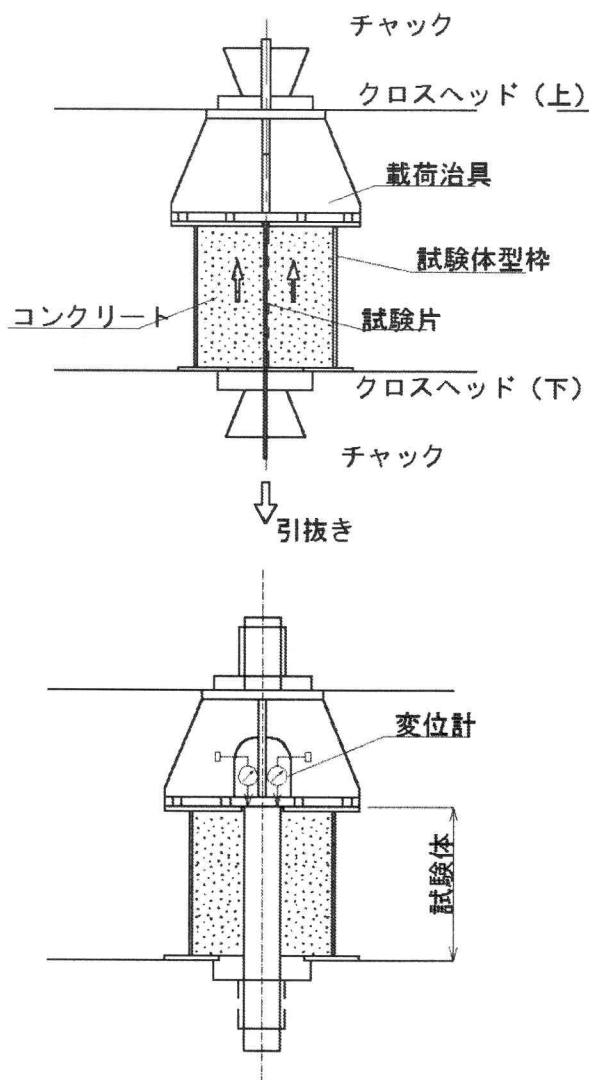


図-3 試験方法

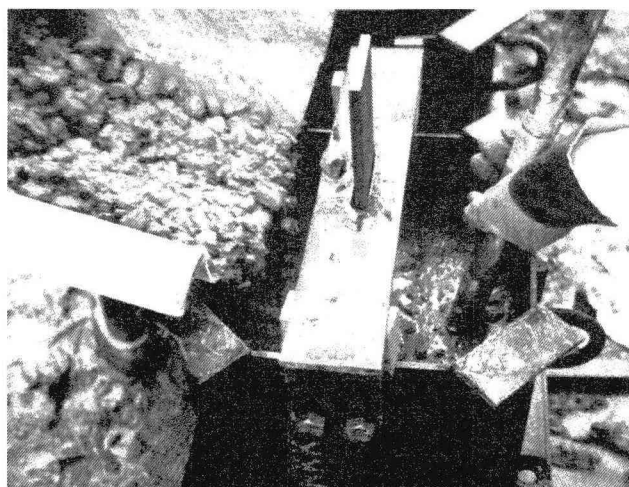


写真-1 コンクリートの打設状況

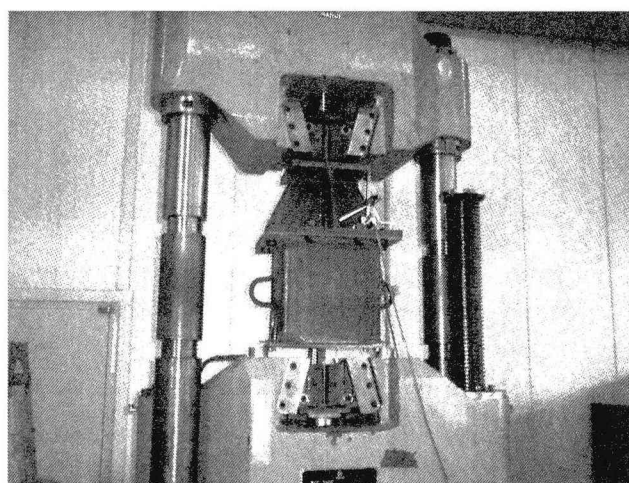


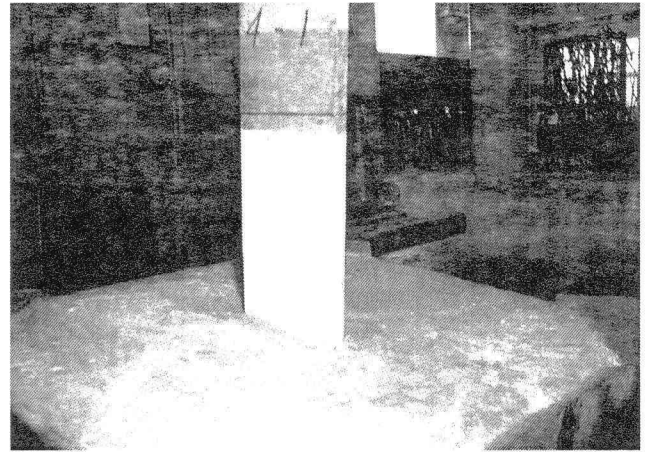
写真-2 付着強度試験の状況

2.3 試験結果

付着強度試験の結果を表－5（表－6：過去の試験）に、各種類の代表的な試験体の付着強度と引抜け量の関係を図－4（図－5：過去の試験）に示す。また、写真－3には引抜き試験後の試験片の状況を示す。なお、表中の付着強度および引抜け量は最大荷重時の値を示す。

(1) 塗装仕様による違い

試験結果では、ウォッシュプライマーに対して亜鉛・アルミ常温溶射の付着強度は、1.5～1.8倍程度となっている（表－5参照）。また、過去の試験結果では、ブラスト処理材および錆発生材の付着強度はほぼ同じで3.5N/mm²と最も高い値を示している。次いで無機ジンクリッチプライマー塗布材の2.9N/mm²、亜鉛メッキ材の2.8N/mm²、有機ジンク



写真－3 試験後の試験片の状況

表－5 付着強度試験の結果

試験体 番号		鋼板の表面状態	打設方向	塗装膜厚	最大荷重	付着強度 (N/mm ²)		引抜け量 (mm)		コンクリート強度
				(μ)	(kN)	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値
1－	1	亜鉛アルミ常温溶射	上	140	165.27	3.67	3.91	1.41	1.62	50.5N/mm ²
	2			139	182.50	4.06		1.67		
	3			145	180.11	4.00		1.79		
2－	1	ウォッシュプライマー	上	15	110.27	2.45	2.16	1.02	0.85	
	2			15	80.36	1.79		0.71		
	3			12	100.45	2.23		0.82		
3－	1	亜鉛アルミ常温溶射	横	128	150.47	3.34	3.47	0.58	0.78	64.8N/mm ²
	2			144						
	3			142	162.20	3.60		0.98		
4－	1	亜鉛アルミ常温溶射	上	121	180.13	4.00	4.16	1.27	1.23	
	2			114	195.20	4.34		1.16		
	3			113	185.90	4.13		1.26		
5－	1	亜鉛アルミ常温溶射	上	220	189.20	4.20	4.25	0.98	0.95	
	2			228	193.70	4.30		0.92		
	3			223						
6－	1	ウォッシュプライマー	上	17	135.70	3.01	2.86	0.68	0.73	
	2			14	130.10	2.89		0.74		
	3			17	120.10	2.67		0.76		

注) 亜鉛・アルミ常温溶射の表面処理は、中塗り(エポキシ系30μm)を施している。

試験片の板厚(t=9mm)を無視して付着強度を算出している。

表－6 付着強度試験の結果(過去の試験)

試験体 番号		鋼板の表面状態	打設方向	塗装膜厚 (μ)	最大荷重 (kN)	付着強度 (N/mm ²)		引抜け量(mm)		コンクリート強度
						測定値	平均値	測定値	平均値	測定値
A－	1	黒皮	上		93.85	1.66	1.45	0.32	0.29	32.8N/mm ²
	2			77.86	1.38	0.35				
	3			73.06	1.31	0.20				
B－	1	錆発生	上		195.45	3.47	3.49	0.72	0.68	
	2									
	3			199.47	3.51	0.64				
C－	1	ウォッシュプライマー	上		101.89	1.81	1.84	0.26	0.32	
	2			113.27	2.01	0.44				
	3			95.32	1.71	0.26				
D－	1	有機ジンクリッチペイント	上		116.01	2.07	2.37	0.69	0.52	
	2			133.37	2.37	0.46				
	3			150.92	2.68	0.41				
E－	1	無機ジンクリッチプライマー	上		153.18	2.72	2.92	0.56	0.58	
	2			168.18	2.98	0.69				
	3			170.93	3.05	0.49				
F－	1	ブラスト処理	上		195.45	3.49	3.52	0.89	0.77	
	2			200.15	3.55	0.65				
	3			150.04	2.63	0.60				
G－	1	亜鉛メッキ	上		165.24	2.91	2.78	0.75	0.70	
	2			158.28	2.78	0.75				
	3									
H－	1	サビラーズ	上		69.63	1.22	1.44	0.80	0.75	
	2			85.61	1.51	0.80				
	3			87.77	1.57	0.65				
I－	1	鉛系塗料	上		37.76	0.66	0.62		32.7N/mm ²	
	2			36.48	0.64					
	3			33.15	0.57					
J－	1	一般錆止塗料	上		84.14	1.47	1.44			
	2			86.49	1.52					
	3			74.24	1.31					

リッチペイント塗布材の 2.4N/mm^2 、ウォッシュプライマー塗布材の 1.8N/mm^2 の順となっている。最も低い付着強度は鉛系塗布材の 0.6N/mm^2 、次いで一般錆止塗布材および表面処理を施さない黒皮材で 1.5N/mm^2 の値を得た（表-6参照）。また、図-5より錆発生材とブラスト処理材との性状がほぼ同じで、錆による表面状態がブラスト処理後の状態に近かったことがわかる。以上より、コンクリートの圧縮強度に違いはあるものの、亜鉛・アルミ常温溶射の付着強度は無機ジンクリッチプライマー塗布材と同程度以上であるものと推察される。このように、今回の試験結果と過去の試験結果を比較すると、塗装仕様による違いが相対的に判断できるものと思われる。一般に、合成桁では鋼とコンクリートの付着強度を 0N/mm^2 として設計されているため、耐荷力としては防錆処理鋼板の種類にかかわらず、設計計算上一定となる。しかしながら、コンクリートの剥落等の安全性を考慮すると、亜鉛・アルミ常温溶射あるいは無機ジンクリッチプライマーを防錆処理として使用することが、現状では、最も有効な手法だと考えられる。

(2) コンクリートの圧縮強度による違い

コンクリートの圧縮強度が 50.5N/mm^2 のとき、付着強度は亜鉛・アルミ常温溶射の場合 3.9N/mm^2 、ウォッシュプライマーの場合 2.2N/mm^2 であり、圧縮強度が 64.8N/mm^2 のときは、それぞれ 4.2N/mm^2 および 2.9N/mm^2 である。コンクリートの圧縮強度が大きくなるにつれて付着強度が大きくなる傾向を示す。また、ウォッシュプライマーについては、過去の試験結果（コンクリートの圧縮強度： 32.8N/mm^2 、付着強度： 1.8N/mm^2 ）からも同様のことが言える。付着強度と引抜き量の関係は、各々圧縮強度の違いによる付着強度の差はあるものの、亜鉛・アルミ常温溶射、ウォッシュプライマーともに引抜き性状についてはほぼ同様な傾向を示している（図-4参照）。

(3) 塗装の膜厚の違い

塗装の膜厚の違いによる付着強度の差はほとんど認められなかった。また、図-4の付着強度と引抜き量の関係からもほぼ同様の性状を示しており、膜厚の影響は少ないものと考えられる。

(4) コンクリートの打設方向の違い

コンクリートを横打設した場合の付着強度は、鉛直打設と比べ約83%と小さくなる。これは、鋼板下面で発生したブリージングなどによる気泡が影響したものと予想される。

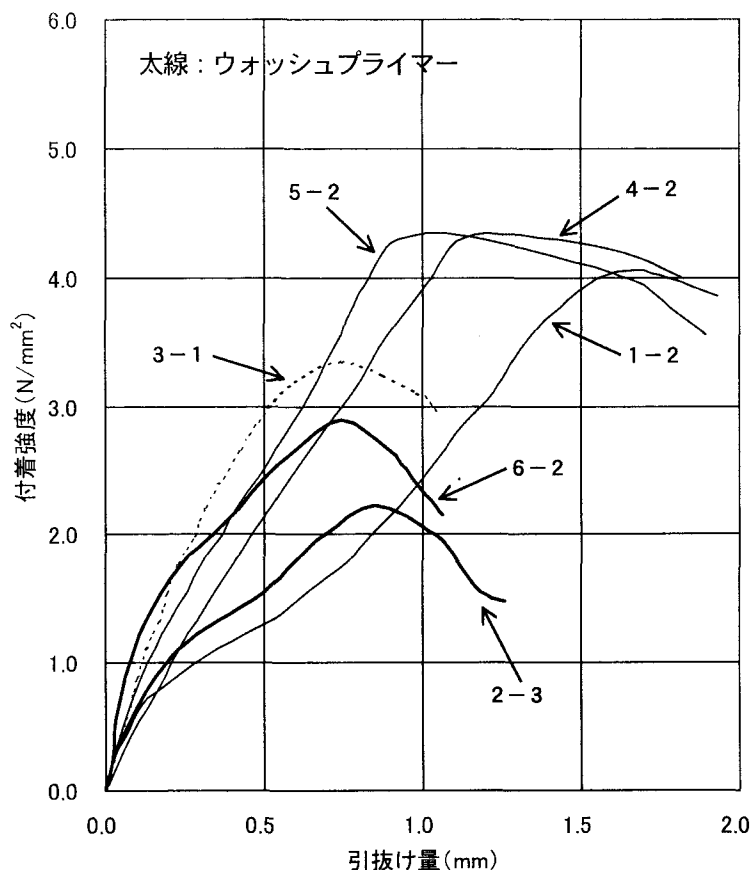


図-4 付着強度と引抜き量

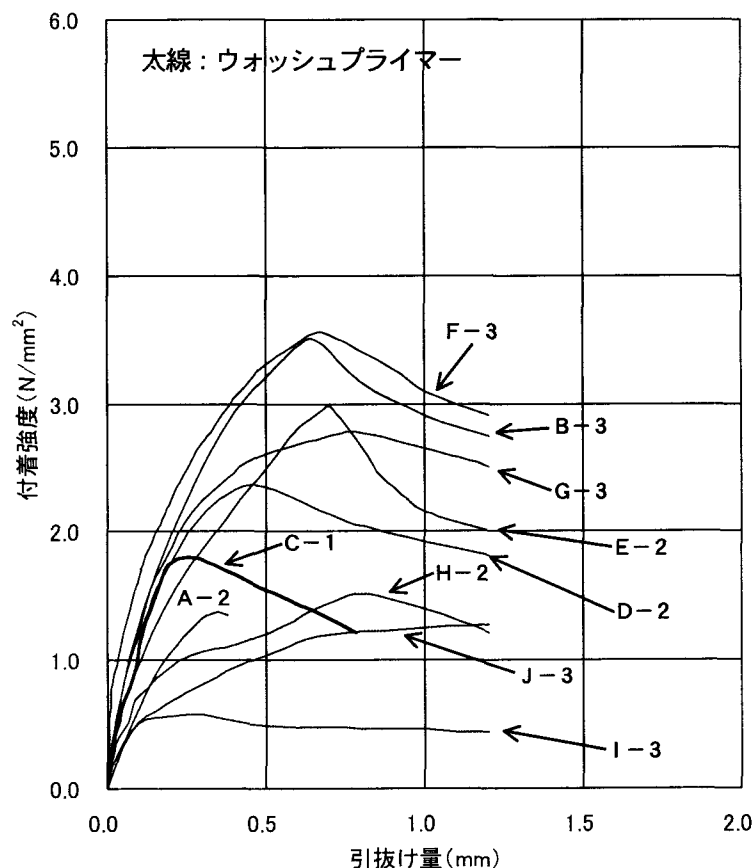


図-5 付着強度と引抜き量（過去の試験）

以上のことから、亜鉛・アルミ溶射は、ウォッシュプライマー塗布と比較して1.8倍程度の付着強度を有しており、膜厚の違いによる付着強度の差はほとんど認められないことがわかった。また、コンクリートの打設方向による付着強度の差は幾分認められるが、この傾向は他の塗装仕様についても同様と思われる。

3. まとめ

今回、塩害に対する耐久性の向上を図るため、鋼桁に亜鉛・アルミ常温溶射を施しコンクリートで被覆することを計画した。しかしながら、亜鉛・アルミ溶射膜とコンクリートとの付着強度については未確認であることから、付着強度試験を実施した。過去に実施した各種防錆処理鋼板とコンクリートとの付着強度試験の結果も踏まえ、得られた結果を以下に要約することとする。

(1) 塗装仕様による違い

過去に実施した付着強度試験結果では、ブラスト処理材および錆発生材の付着強度はほぼ同じで、最も高い値を示している。次いで無機ジंकリッチプライマー塗布材、亜鉛メッキ材、有機ジंकリッチペイント塗布材、ウォッシュプライマー塗布材の順となっている。また、最も低い付着強度は鉛系塗布材、次いで一般錆止塗布材および表面処理を施さない黒皮材となっている。今回の試験結果では、ウォッシュプライマーに対して亜鉛・アルミ常温溶射の付着強度は、1.5～1.8倍程度有しており、コンクリートの圧縮強度の違いにより明確には言及できないが、亜鉛・アルミ常温溶射の付着強度は無機ジंकリッチプライマー塗布材と同程度以上であるものと推察される。

(2) コンクリートの圧縮強度による違い

亜鉛・アルミ常温溶射およびウォッシュプライマーの試験結果のみであるが、コンクリートの圧縮強度が大きくなるにつれて付着強度が大きくなる傾向を示す。また、付着強度と引抜け量の関係は、付着強度の差はあるものの、引抜け性状については各々ほぼ同様な傾向を示している。この傾向は他の塗装仕様についても同様と思われる。

(3) 塗装の膜厚の違い

亜鉛・アルミ常温溶射およびウォッシュプライマーの試験結果のみであるが、付着強度の差はほとんど認められなかった。また、付着強度と引抜け量の関係からもほぼ同様の性状を示しており、膜厚の影響は少ないものと考えられる。他の塗装仕様についても膜厚の影響は少ないものと推察される。

(4) コンクリートの打設方向の違い

亜鉛・アルミ常温溶射の試験結果のみであるが、付着強度の差は幾分認められた。これは、鋼板下面で発生したブリージングなどによる気泡が付着強度の低下に影響したものと予想される。他の塗装仕様についても同様な傾向が見られるものと思われる。

以上に述べたように、2つの付着強度試験の結果から鋼とコンクリートとの付着強度に与える影響は、コンクリートの圧縮強度の違いおよび塗装仕様の違いが大きく影響するものと思われる。一般に、合成桁は鋼とコンクリートの付着強度を 0N/mm^2 として設計されているため、耐荷力としては防錆処理鋼板の種類にかかわらず、設計計算上一定となる。しかしながら、とくに塩害等が懸念される地域では、コンクリートの剥落等の安全性も考慮し、できるだけ大きな付着力が得られる防錆処理鋼板を採用することが大切だと考えられる。

松任連絡横断橋は、海岸に隣接し塩害の影響が非常に激しい地区に施工されることから、鋼桁は無機ジंकリッチプライマー塗布材より防錆として耐久性に優れている亜鉛・アルミ常温溶射を施すことを計画し、無機ジंकリッチプライマー塗布材と同等以上の付着力をほぼ得ることができた。今後の課題としては、塗装仕様の違いによる塩害の進行度合いと、付着力の経年変化の関係を暴露試験や追跡調査等で明確にし、ライフサイクルコストも踏まえた適切な塗布材の選定ができるよう、さらに検討を進めることが重要だと考える。

最後に、過去および今回の試験実施にあたり、色々とご指導をいただき大阪工業大学栗田教授に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鋼橋の常温溶射設計・施工マニュアル(案), 土木構造物温溶射研究会, 2001.4
- 2) 坂本香, 村山陽, 中田謙司, 山岸武志: 亜鉛アルミ常温溶射鋼板とコンクリートとの付着強度について, 土木学会第57回年次学術講演会概要集, pp.293-294, 2002
- 3) 武田芳久, 栗田章光, 渡辺滉: 各種防錆処理板とコンクリートとの付着強度について, 土木学会第43回年次学術講演会概要集, pp.386-387, 1988
- 4) (社)日本材料学会: 建設材料実験, pp.175-181, 1986
- 5) Kaoru Sakamoto, Akira Murayama, Takeshi Yamagishi, Kengi Nakata: Design and Construction of MATTO Pedestrian Overpass, The first fib Congress 2002