

溶融亜鉛めっき鉄筋と コンクリートの付着性能について

(株)デンロコーポレーション
那須電機鉄工(株)
横浜ガルバー(株)
シーケー金属(株)
(株)ガルバ興業

○今野貴史
盛永康文、森純一郎
渡会竹志、田中剣治
大橋一善、西田雄治
菊川美仁

1. はじめに

- ・ 我が国の社会資本は今、一斉に更新時期を迎えているが、莫大な更新投資を勘案すると長寿命化が課題の一つであることは明らかである。
- ・ 欧米諸国では「溶融亜鉛めっき鉄筋（以下、「めっき鉄筋」と略）に関する各々の国内規格が整備されている上、国際標準化機構によるISO14657「コンクリート補強用めっき鋼材」もあり、世界的にはシドニーオペラハウスやニュージーランド国会議事堂をはじめ、「めっき鉄筋」が建築・土木のさまざまな施設に使用されている。
- ・ 我が国においては、「めっき鉄筋」は一部の土木分野に限って使用されているに過ぎない。

- ・ 「めっき鉄筋」はコンクリート中においても恒久性があることは多くの研究でも解明されており、耐食性に優れ、付着性能もめっき無し異形棒鋼（以下、黒鉄筋と略）に比べても遜色はない。30年前には（一社）日本建築学会の「亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造の設計施工指針（案）」にも掲載されていた。
- ・ 社会資本の耐久性向上を高めることを目的に、改めて「めっき鉄筋」に着目し、（一財）日本建築センターの特別評定を取得したので評定の内容について報告する。
- ・ これまで「めっき鉄筋」は、鉄筋表面に亜鉛系皮膜層が形成され、コンクリートとの付着性能が課題とされてきた。そこで、今回の評定では、（一社）日本溶融亜鉛鍍金協会を中心に、めっき条件を絞り込み、コンクリートとの付着性能がJIS G 3112に定められた鉄筋と同等となるめっき条件を見出し、各種試験を実施し検証した。

2. 溶融亜鉛めっきとは

- ・ 溶融亜鉛めっき処理は、前処理した鉄鋼素材を、溶融した液体金属亜鉛（約450℃）のめっき浴へ一定時間浸漬し、その後引き上げ、素材の表面で液体金属を凝固させて金属被覆するめっき方法である。

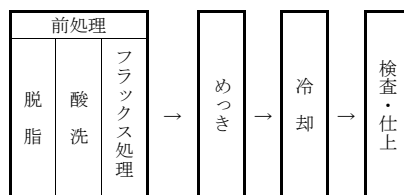


図1 溶融亜鉛めっきの工程

- 溶融亜鉛めっきは、簡便な方法により表面処理が可能であり、かつ素材の延命化を考慮した場合、非常にコストメリットが大きい表面処理方法である。

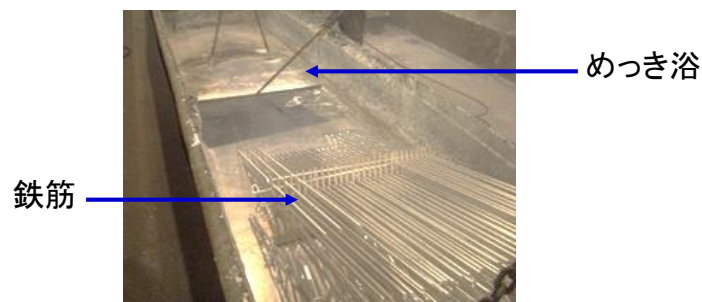


図2 めっき浴からの鉄筋の引上げ（例）

- 亜鉛めっき浴に黒鉄筋が浸漬されると、鉄筋素材とめっき浴（液体金属亜鉛）との界面で合金化反応（素材中の鉄成分と液体亜鉛の拡散反応）が進み、鉄－亜鉛合金層が形成され、素材と密着力の高い、また比較的厚いめっき層の形成が可能となる。

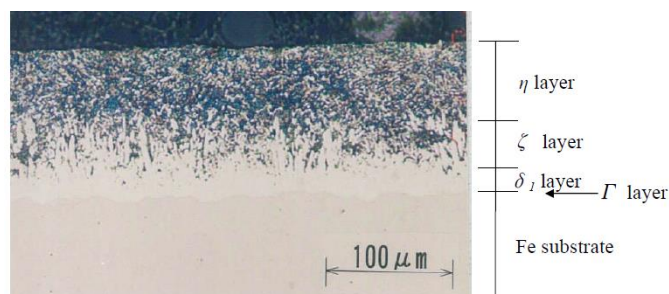


図3 溶融亜鉛めっき層の組織断面

3. 溶融亜鉛めっき鉄筋の特長

表1 各種鉄筋と「めっき鉄筋」との比較

	黒鉄筋	塗装鉄筋	めっき鉄筋
耐塩化物 (砂の塩分含有量)	× 0.04 %以下	◎ 皮膜損傷ない場合	○ 0.3 %以下
耐熱	○	× 約 300℃で軟化	○ 約 420℃まで可
コスト比	1 倍	× (約 2 倍)	○ (約 1.5 倍)
付着力 (比率)	1.0	0.8 JASS5 による	1.0 今回の評定内容

1) 耐食性能

表2 自然暴露試験における鉄筋の耐食性

供試体	環境	暴露 期間		結果または結果の一部要約											
				岸谷らの報告											
				打上り面種鉄筋 (SD40) の腐食面積率%		底面側鉄筋 (SD30) の腐食面積率%									
				かぶり 1 cm	かぶり 2 cm	かぶり 1 cm	かぶり 2 cm								
鉄筋コン クリート 10×20× 60 cm ひび割れ 入り	都市地区 (三鷹市)	1 年	黒 鉄 筋	15.8	21.4	4.1	7.3								
			め っ き 鉄 筋	2.4	0.6	1.4	0.0								
	海洋地区 (下関市)		黒 鉄 筋	21.7	51.1	12.2	24.7								
			め っ き 鉄 筋	3.3	0.5	2.3	0.6								
	臨海工業地区 (川崎市)		黒 鉄 筋	33.8	18.0	7.6	27.8								
			め っ き 鉄 筋	7.3	1.4	2.3	0.8								
	寒冷地区 (神岡市)		黒 鉄 筋	14.8	20.6	3.8	12.2								
			め っ き 鉄 筋	0.4	0.0	0.9	0.2								
	ILZRO の報告書														
	海洋地区 (下関市) 大気中に SO ₂ 海塩粒子 を含む		ひび割れ幅 0.2 mm の供試体		ひび割れ幅 0.5 mm の供試体										
ひび割れ部			ひび無し部												
腐食グレード			2	1	0	2	1	0							
黒 鉄 筋			3	14	19	0	0	24	11	8	17	0	1	23	
め っ き 鉄 筋			—	3	33	0	0	24	0	8	28	0	3	21	

表3 腐食グレードの基準

グレード No	外 観 (劣化状況)	
0	黒 鉄 筋	赤褐色の粉または小粒様のさびが一部 (約 30%) 見られる。
	め っ き 鉄 筋	白黒色の重鉛さびが一面に見られる。
1	黒 鉄 筋	赤褐色のさびが網目状に広がり、鉄筋面上に密着している。(約 30%)
	め っ き 鉄 筋	白黒色に混じり一部黄色の鉄さびが見られ、一部 (20-30%) めっき剥離あり。
2	黒 鉄 筋	一部剥離できるくらいのさびがあり、厚みを感じとれる。(約 50%)
	め っ き 鉄 筋	めっき部の腐食が完了し、鉄面への進行が認められる。約 50%めっき剥離。

2) 機械的性能

試験方法：JIS Z 2241

表4 SD295Aの引張試験結果

めっき加工条件 () 内供試体数	めっき条件 (規格値) →	引張試験結果		
		降伏点	引張強さ	伸び
		N/mm ²	N/mm ²	%
440℃×120 秒 (n=5)	平均値	363	520	26
	標準偏差	3	2	1
460℃×90 秒 (n=5)	平均値	365	522	27
	標準偏差	2	1	0
470℃×240 秒 (n=5)	平均値	369	523	25
	標準偏差	2	3	2

表5 SD345の引張試験結果

めっき加工条件 () 内供試体数	めっき条件 (規格値) →	引張試験結果		
		降伏点	引張強さ	伸び
		N/mm ²	N/mm ²	%
440℃×120 秒 (n=5)	平均値	418	611	22
	標準偏差	4	1	2
460℃×90 秒 (n=3)	平均値	425	611	22
	標準偏差	4	3	2
470℃×240 秒 (n=7)	平均値	430	617	20
	標準偏差	5	2	2

黒鉄筋にめっき加工を施すと SD295AおよびSD345共に降伏点および引張強さは、原材料の値よりも増加傾向を示し、伸びは殆ど変化しなかった。またヤング率の値は、めっき加工を施しても殆ど変わらない値を示した。

3) コンクリートとの付着性能

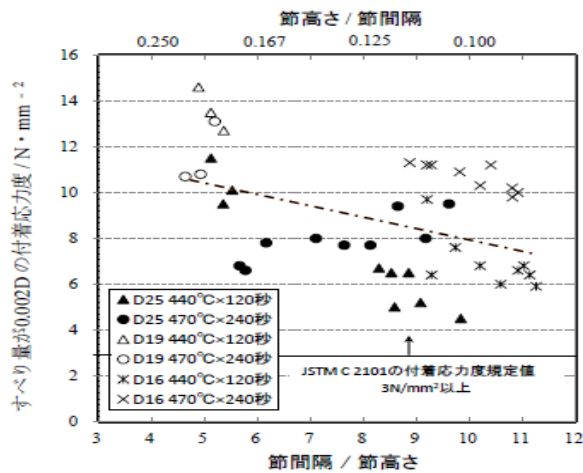
付着強度の規定は2種類

- ①（一財）建材試験センター JSTM C 2101
- ②（公社）土木学会 JSCE-G 503-2010

ほぼ同一内容であるが、JSTM C 2101には判定基準が明記されている。



試験方法：（一財）建材試験センター
JSTM C 2101 引抜き試験による鉄筋と
コンクリートとの付着強さ試験
判定基準：すべり量が0.002Dで3N/mm²以上
コンクリート圧縮強度：30±3N/mm²



最低値 : 4.5N/mm²

平均値 : 8.8N/mm²

JSTM C 2101
の付着判定基準を
満足する。

図4 めっき条件および鉄筋種別の付着応力度

4. めっき鉄筋の使用材料および品質

1) 鉄筋の種類

表6 鉄筋の種類

鋼種	種類の記号	節形状	呼び名
鉄筋コンクリート用 棒鋼	SD295A	竹／横	D10～D16
	SD345	竹／横、ねじ	D16～D25

鉄筋製造会社およびめっき加工会社は、その製造に係る
日本工業規格適合性認証取得工場であることが前提

2) 溶融亜鉛めっきの種類と付着量

表7 溶融亜鉛めっきの種類、付着量および密着性

種類	記号	付着量	密着性
2種55	HDZ55	550 g/m ² 以上 1,200g/m ² 以下	内側直径：6D、角度： 180° の曲げで「めっき 皮膜が素材から離れた 状態：はがれ」なし。

3) 溶融亜鉛めっきの規定付着量

素材への溶融亜鉛めっき付着量は、下限値を550 g/m²とし、
節形状に影響を与えないように上限値（1,200 g/m²以下）を規定

- ・ 平均膜厚値は、下限値77 μm以上 ～ 上限値166 μm以下
- ・ 付着量と平均膜厚の関係は次式による。
付着量（g/m²）＝平均膜厚（μm）× 7.2（密度：g/cm³）

4) 溶融亜鉛めっきの加工条件

めっき加工条件（めっき浴温度、浸漬時間）と付着量の関係に
ついて検証し、今回の評価申込者は以下の加工条件を選定

- ・ めっき浴温度：445±5℃および450±5℃
- ・ めっき浴浸漬時間：120秒

5. 結論

- 1) 付着応力度は、JSTM C 2101「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法」の判定基準により黒鉄筋と同等の性能を満足した。
- 2) 降伏点・引張強さ、伸びおよび曲げ性などの機械的性質は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規定を満足した。
- 3) 寸法・形状・質量は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」の規定を満足した。

6. おわりに

- ・ 評定取得会社は、「めっき鉄筋」が通常の黒鉄筋と同様に（一社）日本建築学会の“鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”に準拠して使用できると考えている。
- ・ 2014年3月時点では共著4社が評定を取得しているが、今後11社（計15社）が評定を取得予定である。なお、「めっき鉄筋」の加工については、施工マニュアルを作成している。