

石川橋に使用された鉄筋およびエキスパンドメタルの化学組成および内部組織の特徴

金沢大学正会員 鳥居和之、川崎製鉄（株）正会員佐藤政勝
真柄建設（株）正会員上田信二、金沢大学正会員 川村満紀

1. まえがき

明治44年に建設された鉄筋コンクリートアーチ橋（石川橋）の解体調査では、長い年月が経過したコンクリートの劣化と鉄筋の腐食状況に着目し、材料、施工法および構造形式の全般にわたる詳細な調査を実施した^{1)、2)}。鉄筋コンクリートアーチ部（2層の格子状の鉄筋組み）の解体調査より、上層部の主鉄筋、配力鉄筋およびエキスパンドメタルには錆はほとんど発生しておらず、鉄筋の状態は健全に保たれていた。また、下層部の鉄筋の下面は中性化のフロントに達していたが、この際にも鉄筋の腐食は非常に軽微であった。80数年経過したコンクリート構造物において鉄筋腐食が認められなかったことは土木構造物の経年変化と維持管理の基本を考える上で興味深い問題を提起している。

本研究は、石川橋の解体調査にて得られた主鉄筋、配力鉄筋およびエキスパンドメタルの力学的試験、化学組成および金属組織の検討を行うことにより、当時の鉄筋の品質とその腐食性状に及ぼす影響について考察したものである。

2. 化学成分

鉄筋およびエキスパンドメタルなどの化学成分分析の結果を表-1に示す。現在の鋼と比較すると、O、N、S成分が多く、エキスパンドメタル以外はP成分も多く含まれている。また、Si、Al成分が少ないことから、脱酸処理はされていないことが分かる。主鉄筋では、C、Mn成分が少ないことから、加工しやすいがあまり強度がでない鋼であるとも言える。明治時代の末期の我が国では電気炉による製鋼が行われており、この場合はCuの含有量が0.3%と高くなることが知られている。今回の分析ではCu成分がいずれも0.01~0.03%とその値よりもかなり低くなっており、外国（英国または米国）の平炉で製造されたものと推定することができる。また、番線の表面のSEM-EDXA分析より、表面のZn層が確認されており、番線が亜鉛メッキされていたことも判明した。

3. 金属組織と介在物

鉄筋およびエキスパンドメタルの金属顕微鏡による観察結果を写真-1に示す。主鉄筋（1インチの角鋼）の組織は非常に粒が大きく、介在物も多いのが特徴である（写真-1（a））。主鉄筋のS成分の分析では中央と1/4の厚さの部分に偏析帯があり、リム状の組織が観察されることから、リムド鋼であることが判明した（断面形状の測定より、主鉄筋の寸法精度は0.1mm以内と優れており、極めて丁寧に製造された圧延材であることも分かった）。主鉄筋中の介在物はMnの酸化物および硫化物からなり、その周囲にS、Pなどの成分が存在していた。これらの成分は鉄筋の強度に悪影響を及ぼすことが知られているが、鉄筋の腐食の進行を抑制する働きがあり、緻密な表面組織と不純物の存在が石川橋の鉄筋腐食が軽微であったことの原因であると思われる。配力鉄筋（1/4インチの角鋼）の組織は主鉄筋よりも細粒であり、硬い鋼になっている（写真-1（b））。また、エキスパンドメタルのスリット部は繊維状の組織であり、塑性変形の痕跡が存在することから、圧延材にスリットを入れ、それをX、Y方向に引き伸ばして製造したことが分かる（写真-1（c））。さらに、リベットの組織には焼き入れ・焼き戻しによる粒の変形が認められた（写真-1（d））。

表-1 鉄筋およびエキスパンドメタルの化学成分（%）

試料	C	Si	Mn	P	S	Al	Cu	Ni	O	N
主鉄筋 (1 in.)	0.021	0.001	0.24	0.045	0.066	0.001	0.01	0.04	0.0417	0.0105
配力鉄筋 (1/4 in.)	0.053	0.001	0.63	0.045	0.084	0.001	0.02	0.04	0.0217	0.0098
エキスパンドメタル	0.120	0.009	0.33	0.006	0.032	0.001	0.03	0.01	0.0178	0.0040
リベット	0.030	0.003	0.46	0.053	0.059	0.001	0.01	0.05	0.0175	0.0198
番線 (1/10 in.)	0.025	0.001	0.32	0.045	0.033	0.001	0.01	0.05	0.0254	0.0140

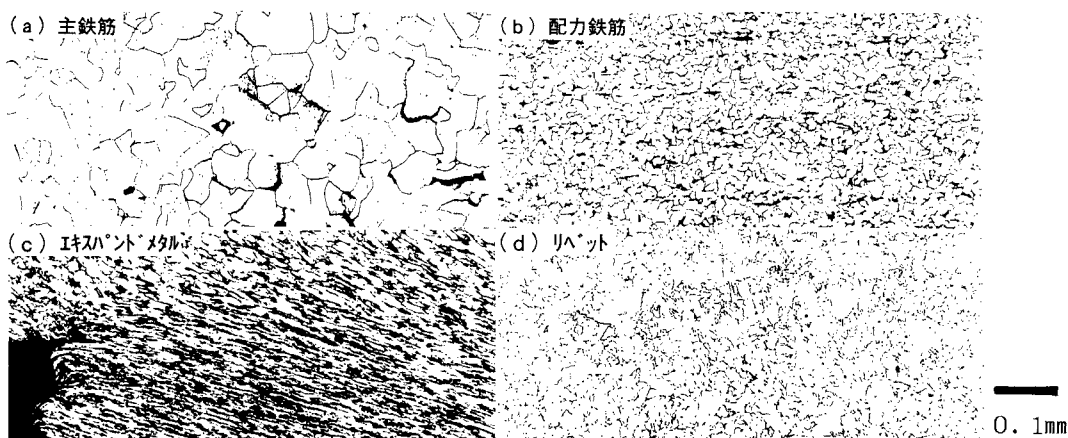


写真-1 主鉄筋、配力鉄筋、エキスパンドメタルおよびリベットの内部組織の金属顕微鏡による観察

4. 降伏点およびヴィッカース硬度

主鉄筋の引張試験（JISA4号）およびヴィッカース硬度試験の結果を表-2および3に示す。主鉄筋の強度（降伏点：243N/mm²、引張強さ：381N/mm²）を現在の規格に照らし合わせると、熱間圧延丸鋼（JISG3112）のSR235に相当する。配力鉄筋の強度（降伏点：288N/mm²、引張強さ：384N/mm²）は主鉄筋よりも大きく、この結果は化学成分（Mn、Cが多い）および内部組織（細粒である）の特徴とも一致する。一方、ヴィッカース硬度は、主鉄筋、配力鉄筋、エキスパンドメタルの順番で大きくなり、エキスパンドメタルのヴィッカース硬度より推定した引張強度は440N/mm²であった。

5. あとがき

石川橋の主鉄筋には極めて優れた圧延材（リムド鋼）が使用されており、化学成分の特徴より鉄筋およびエキスパンドメタルはすべて外国からの輸入品であると推定された。石川橋の建設には当時の最新の技術および工法が導入されていたが、鉄筋などの使用材料も最高級のものであったことが判明した。また、石川橋の鉄筋腐食は非常に軽微であり、当初は何らかの処置（鉛丹塗装など）が施されていたのではないかと調べたが、鉄筋の表面分析ではそのような処置は確認されなかった。従来の製鋼技術は強く硬い鋼を製造することにあり、不純物を少なくすることに努力が払われてきた。しかし、強く硬い鋼が鉄筋腐食の点からは必ずしも耐久的であるとは限らないことを今回の調査は教えている。

謝辞：鉄筋の分析は川鉄テクノロジーサーチ（株）に依頼したものであり、ご協力いただいた方々に感謝致します。

参考文献

- 鳥居和之他、80数年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋（石川橋）の解体調査、コンクリート工学年次論文報告集、16(1)、pp.983-988、1994。
- 鳥居和之他、80数年経過したコンクリートの劣化性状、第48回セメント技術大会講演集、pp.574-579、1994。

表-2 鉄筋の降伏強度および引張強度

種 別	試 験 片	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
主鉄筋	JIS14 A号 (3本)	247	382	32B
		243	381	33A
		238	380	35A
		243	381	33
配力鉄筋	JIS2号 (3本)	288	383	測定せず
		286	390	測定せず
		289	380	測定せず
		288	384	---

表-3 鉄筋などのヴィッカース硬度

試 料	主鉄筋	配力鉄筋	エキスパンドメタル
測定位置	C断面	L断面	接統部断面
測定値	89.7, 85.7	117.6	148.5
	90.7, 85.5	114.2	130.2
	99.5	119.9	125.0
	90.2	117.2	134.6
	(Hv 5Kg)	(Hv 10Kg)	(Hv 10Kg)