

大河津可動堰における鋼材の機械的・化学的性質

長岡技術科学大学大学院 学生会員 ○石井 孝明
正会員 岩崎 英治, 宮下 剛

1. はじめに

大河津可動堰(写真1)は、昭和6年に完成して以来、洪水氾濫の防御と、水利用に大きな役割を果たしてきた。しかし、老朽化により、平成15年に可動堰の改築工事が決定し、平成24年にその役目を終えた。可動堰のゲートを支える架台は、鋼製の橋脚とトラスの梁部から構成され、橋脚と桁が一体化し、堰柱上部に埋め込まれた構造となっていることからユニークな構造形式である。

その設計思想と今日までの維持管理の取り組みなどを後世に残すために、本報では、架台や管理橋で使用された鋼材をサンプル抽出し、機械的、化学的分析を通じて当時の鋼材の品質や性能の確認を目的とする。

2. 調査概要

架台ならびに管理橋に埋設された鋼部材を切出し、表1に示す調査を実施した。写真2に、架台から切出した鋼部材と試験片の採取位置を示す。

1) 引張試験

試験片形状はJIS Z 2241に定める1A号試験片及び5号試験片とした。引張試験機は島津 UH-F500kNC を使用し、変位の測定ではビデオ撮影による非接触伸び計を用いた。

2) シャルピー衝撃試験

試験片形状はJIS Z 2242に定めるVノッチ試験片とした。試験片寸法は長さ55mm×高さ10mm×幅10mmとし、試験は0℃で実施した。試験機はJT トーシ CI-300 を使用した。

3) 鋼材の化学的成分分析

鋼材の化学的成分の分析では、鋼の5元素と呼ばれるC, Si, Mn, P, Sに加えCu, Cr, Ni, Mo, V, Bの含有量を調べる。このうちC, Sについては炭素・硫黄同時分析装置、Si, Mn, P, Cu, Crについては蛍光X線分析装置、Bについてはプラズマ発光分光分析装置により分析を行った。Ni, Mo, Vについては、予め行った蛍光X線分析装置による簡易定性分析により、含有量が微量であることから、定量分析を実施しなかった。また、蛍光X線分析装置による簡易定性分析によって検出された上記以外の元素については、含有量を参考値として表示した。



写真1 大河津可動堰
表1 調査内容

対象	内容	数量	関連する規格
架台 管理橋	降伏点・引張強さを測定	2試料	JIS Z 2241
架台	シャルピー吸収エネルギーの測定 試験温度0℃	3試料×2箇所 =6試料	JIS Z 2242
架台 管理橋	元素含有量の分析 5大元素:C, Si, Mn, P, S その他の元素:Cu, Cr, Ni, Mo, V, B	2試料	JIS G 1211 JIS G 1215 JIS G 1256 JIS G 1258

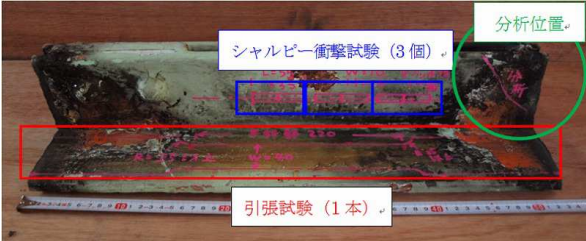


写真2 架台のサンプル採取位置

3. 試験結果

1) 引張試験

表2に試験結果を示す。建設当時の鋼材のJIS規格との引張強さを比較すると、架台サンプル②と管理橋サンプル①、②では上下限の範囲を外れているものもあるが、その差は小さいことから、概ね、当時の引張強さの規格値を満足している。伸びは建設当時の規格値を満足している。現在のJIS規格と比較した場合、架台サンプル①、②と管理橋サンプル①は、引張強度を満足している。しかし、管理橋サンプル②は強度不足となった。伸びは現在の規格を満足している。架台サンプルの引張強さ、降伏点、伸びについては現在のSS400とほぼ同等の値となっているが、本調査におけるサンプルは、引張方向と圧延方向が一致しているため、最も有利な値を示したものと推察される。

2) シャルピー衝撃試験

鋼材のじん性を評価するシャルピー吸収エネルギー値は、当時の鋼材は勿論、SS400 材でも規定されていない。SM400 材、SMA400 材の B 種、C 種において、それぞれ 27J 以上、47J 以上と規定されている。架台サンプル①は平均 18.9J、サンプル②は平均 7.1J となり、規定値を大きく下回っている。

衝撃試験片の破壊形態については、サンプル①は 3 本とも完全に破断しなかったが、板厚方向に剥離状に裂けるような破壊形態が見られた。これはラミネーションが原因でもともと板厚方向の一体性が低かったために生じたものと推察される。なお破面が露出した部分については 100%脆性破面であった。一方、サンプル②は 3 本とも完全に破断し、破面は 100%脆性破面で、殆ど変形が見られなかった。

3) 鋼材の化学的性質試験

分析の結果、鋼の 5 元素と呼ばれる C、Si、Mn、P、S に加えて、Cu、Cr、Al、As が含まれていることがわかった。鋼材の成分分析結果を表 4 に示す。

鋼材の主要 5 元素（C、Si、Mn、P、S）については、架台サンプル①は、建設当時の鋼材や SS400 材、SM400 材の規格値を満足しているものの、SMA400 材の規格値は満足していない。管理橋サンプル②はリンと炭素の量が多く、当時の鋼材の規格、現在の SS 材も含め全鋼種の規格値を満足していなかった。管理橋サンプル①は、炭素の含有量が多く、建設当時の鋼材規格や SS400 材の規格値を満足していたが、SM400 材や SMA400 材の規格値は満足していなかった。架台サンプル②は SS400 材や SM400 材の規格値を満足したが、SMA400 材の規格値は満足していなかった。なお、炭素の含有量が 0.03%と、構造用材料としては極めて少ない。炭素量による分類では 0.08%C 以下の特別極軟鋼に該当する。検出されたその他の元素に関しては、建設時の製鋼技術は現在に比べて未熟であったと考えられ、意図しない不純物が多く含まれている可能性が高い。As（ヒ素）はおそらく鉱物中に含

まれていたものと推察されるが、Cu、Cr、Al については添加によって鋼材の性質が改善することから、意図的に添加された可能性も考えられる。

4. まとめ

大河津可動堰の架台と管理橋の鋼材は、建設当時の JES 規格の基準を満足しているが、現在の構造用鋼材の規格は当時と強度ランクが異なっているため、一部で現在の引張強度の基準を満たしていない。シャルピー衝撃試験による吸収エネルギーを調べた結果、非常に小さく、じん性に劣る鋼材である。化学成分分析より、架台サンプルの一部でリンの含有量が多く、建設当時の規格（P<0.06%）を満足していない。他のサンプルは全て建設当時の規格を満足している。一方、架台と管理橋のサンプルの一部に炭素の含有量が多く、現在の溶接構造用鋼材の規格を満足していないものもある。これらのサンプルは溶接割れ感受性組成の値も大きく、溶接接合には適さないため、現場保存に向けた補修の際には、溶接には留意する必要がある。

謝辞

本研究は、国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所の委託を受けて組織した土木学会・大河津可動堰記録保存検討委員会（委員長：丸山久一 長岡技術科学大学教授）の成果の一部である。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

村越 潤・澤田 守：古い年代の鋼部材の材料・強度特性から見た状態評価技術に関する研究、平成 22 年 独立行政法人 土木研究所 重点プロジェクト研究報告書

表 2 引張試験、シャルピー衝撃試験結果

サンプル名称		上降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	シャルピー衝撃試験 シャルピー吸収エネルギー (J)
架台	①	286.3	402.3	29.25	18.9 (28.8 12.8 15.0)
	②	279.2	475.7	25.25	7.1 (7.2 7.2 7.0)
管理橋	①-1	348.5	479.5	25.50	
	①-2	280.3	475.1	23.95	
	①-3	285.4	480.8	28.18	
	②-1	263.6	373.3	28.98	
	②-2	292.6	396.4	38.70	
	②-3	289.6	394.5	37.60	

表 3 建設当時と現在の鋼材の規格

規格 (鋼種)		引張強さ (N/mm2)	伸び (%)	シャルピー吸収 エネルギー (J)	化学成分(%)								
					C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	その他
JES (大正 14 年)		382-460	21 以上	-	-	-	-	0.06 以下	0.06 以下	-	-	-	-
JIS G 3101	SS400	400-510	17 以上	-	-	-	-	0.05 以下	0.05 以下	-	-	-	-
JIS G 3106	SM400A	400-510	18 以上	-	0.23 以下	-	2.5C 以上	0.035 以下	0.035 以下	-	-	-	-
	27 以上			0.20 以下	0.35 以下	0.60-1.50							
	47 以上			0.18 以下	0.35 以下	0.60-1.50							
JIS G 3114	SMA400W A	400-540	18 以上	-	0.18 以下	0.15-0.65	1.25 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.30-0.50	0.45-0.75	0.05-0.30	Mo,Nb,Ti,V の総計が 0.15% 以下
	SMA400W B												
	SMA400W C												

表 4 鋼材の成分分析結果

項目		定量分析										定性分析 (参考値)				炭素当量 (%)	溶接割れ感受 性組成 (%)
サンプル名称		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	B	Al	Mo	V	Zr	As		
架台	①	0.10	0.15	0.51	0.034	0.047	0.10	0.02	検出 せず	<0.0005 定量下限未満	0.0327	検出 せず	検出 せず	検出せず	0.1018	0.195	0.137
	②	0.28	<0.01 定量下限未満	0.49	0.082	0.030	0.25	0.02	検出 せず	<0.0005 定量下限未満	0.1018	検出 せず	検出 せず	検出せず	0.0247	0.366	0.318
管理橋	①	0.31	0.01	0.46	0.010	0.026	0.12	0.01	0.05	<0.0005 定量下限未満	<0.01 定量下限未満	検出 せず	検出 せず	0.0080	0.0231	0.390	0.341
	②	0.03	<0.01 定量下限未満	0.46	0.041	0.024	<0.04 定量下限未満	0.02	0.04	<0.0005 定量下限未満	<0.01 定量下限未満	検出 せず	検出 せず	0.0186	0.0804	0.112	0.055