2.3 支承部材の材料および品質調査

2.3.1 目的

損傷が確認された支圧板およびローラーを対象に、目視で損傷が確認されていない部分から切 り出した試験片を用いて、成分分析、硬さや強度の試験、残留応力の計測、断面観察、超音波探 傷試験を実施する。試験片は破面近傍より取り出した。

- ・材料同定のために、化学成分分析(スパーク発光分光分析法による)を行い、表 2.3-1 に示す「道路橋支承便覧 表-3.3.12(平成 30 年 12 月、日本道路協会)」と比較する。
- ・支承材料の機械的性質を確認するために、硬さ計測(ビッカース硬さ計による)、引張強度 試験を行い、表 2.3-2 および表 2.3-3 に示す「道路橋支承便覧 表-3.3.7 および表-3.3.13 (平成 30 年 12 月、日本道路協会)」と比較する。
- ・X線回析法による残留応力分析を行う。
- ・欠陥の把握のために断面観察および超音波探傷試験を行う。

表 2.3-1 化字成分	(直路橋支承便覧	表-3.3.12、	平成 30 年 12 月、	日本道路協会)
--------------	----------	-----------	---------------	---------

記号	С	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni	Mo
C-13B1(マルテンサイト	0.15~	a.1.00	a.1.00			11.0~	汁の	(汁 2)
系)	0.30	1.00	, ~1.00	- 0.040	- 0.020	15.0	(土 2)	(工 3)
C-13B2(析出硬化	- 0.08	3.00~	- 2.00	×0.040	~0.030	10.0~	2.00~	a 1 00
系)	~ 0.08	5.00	\sim 2.00			13.0	7.00	×1.00

注:1) 必要に応じて表に示す成分以外の合金元素を添加することができる。

2) Ni は 1.50%以下を添加することができる。

3) Moは2.00%以下を添加することができる。

▽硬さ測定:道路橋支承便覧 表-3.3.7より下表のとおり

表 2.3-2 硬さ(道路橋支承便覧 表-3.3.7、平成 30年 12月、日本道路協会)

記号	必要硬さ (ブリネル硬さ)				
	表面	内部			
C-13B1(マルテンサイト系)	> 110 4 7 5	> UP 9 1 7			
C-13B2(析出硬化系)	\leq nD475	\leq HB217			

▽引張試験:道路橋支承便覧 表-3.3.13より下表のとおり

表 2.3-3 機械的性質(道路橋支承便覧 表-3.3.13、平成 30 年 12 月、日本道路協会)

記号	0.2%耐力(N/mm²)	引張強さ(N/mm²)	伸び (%)	
C-13B1(マルテンサイト系)	> 5.40	>740	>10	
C-13B2(析出硬化系)	≥ 340	≤ 140	≤ 12	

▽残留応力分析:規格値なし

2.3.2 結果

(1) 損傷支承部材の成分分析

表 2.3-4に化学成分分析結果を示す。ローラー、支圧板ともに成分から道路橋支承便覧(平成 30年12月、日本道路協会)に示される C-13B₂(析出硬化型ステンレス鋼)と判断でき、その規 格を満足している。

		С	Si	Mn	Р	S	Cr	Ni	Mo
P5	ローラー	0.030	3. 38	0.93	0.020	0.007	10.28	6.20	0.39
	支圧板	0. 030	3. 29	0.81	0.019	0.011	10. 48	6.16	0.37
P6	ローラー	0. 020	3. 48	0.92	0.020	0.006	10.62	6. 22	0.41
	支圧板	0.029	3. 30	0.82	0.019	0.016	10. 45	6.16	0.37
4.9	ローラー	0. 021	3. 42	0.92	0.020	0.008	10.64	6. 43	0.40
AZ	支圧板	0.019	3. 52	0.53	0.018	0.013	10.48	6.66	0.39
ŧ	見格値	≦0.080	3.00~5.00	≦2.00	≦0. 040	≦0.030	10.00~13.00	2.00~7.00	≦1.00

表 2.3-4 化学成分分析結果(単位:%)

※規格値は表 2.3-1 に示す支承便覧に記載の C-13B2の値を示す。

(2) 損傷支承部材の強度分析

1) 硬さ計測

硬さ計測の調査箇所を図 2.3-1 に示し、計測結果を表 2.3-5 に示す。ローラーでは、表層およ び内部の硬さは道路橋支承便覧で示されている下限値を上回っていた。硬さの断面方向の分布を みると、表面は内部よりも硬く、焼き入れに伴う硬化層が形成されていた。支圧板は受入検査で は要求値の範囲内であったが、損傷した支圧板で分析を行った結果、表層の硬さの要求値を一部 下回った。ただし、表層および内部の硬さともに内部の硬さの要求値以上であった。道路橋支承 便覧(昭和 48 年、日本道路協会)では、支圧強度を高めるためにローラーや支圧板の表面に焼 き入れし、鋼材の内部に比べて表層を硬くすることとなっている。以上のことより、「2.5 破断 面の観察調査」の断面マクロ観察や超音波探傷試験により内部欠陥の把握をするときに、内部欠 陥の有無やその影響を注意して観察する必要が確認ある。



図 2.3-1 硬さ計測の調査箇所



表 2.3-5 硬さ測定結果

2) 引張試験

引張試験結果を表 2.3-6 に示す。規格値に対して、支圧板の9 試験体/全17 試験体(追加分: 4 試験体/全6 試験体)で伸びが規格値を下回ったが、ローラーも支圧板も他の試験片ではすべ て項目で規格値以上の値であった。

		0.2%耐力(N/mm²)	引張強さ(N/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)
	R5-L1	1,022	1, 186	12	14
P 5	R5-L2	1,049	1, 208	17	32
ローラー	R5-L3	1, 154	1, 311	18	43
	平均	1, 075	1, 235	16	30
	R6-L1	1,128	1,273	18	50
P 6	R6-L2	1,040	1, 223	22	45
ローラー	R6-L3	1,023	1,207	18	36
	平均	1, 064	1, 234	19	44
	R2-L1	887	1,176	25	54
A 2	R2-L2	721	1,132	25	53
ローラー	R2-L3	723	1,135	24	50
	平均	777	1, 148	25	52
P 5 支圧板	5H-L1	1, 523	1,696	9	34
	5H-L2	1, 519	1,700	11	36
	5H-L3	1, 505	1, 889	12	34
	5M-L1	1, 520	1,686	11	30
	5M-L2	1, 515	1,684	11	38
	5M-L3	1, 530	1,710	7	7
	平均	1, 519	1, 728	10	30
	6H-L1	1,241	1,470	14	43
	6H-L2	1,245	1, 474	5	8
	6H-L2-1	1,271	1, 505	6	6
DG	6H-L2-2	1,261	1, 493	6	7
支圧板	6H-L3	1,234	1, 474	12	39
	6M-L1	1,274	1, 499	11	40
	6M-L2	1,274	1, 501	14	42
	6M-L3	1,286	1, 513	15	47
	平均	1, 261	1, 491	10	29
	2M-L1	1, 344	1,559	13	38
A 2	2M-L2	1, 336	1, 564	16	42
支圧板	2M-L3	1, 353	1, 567	12	39
	平均	1, 344	1, 563	14	40
規格値		540 以上	740 以上	12 以上	-

表 2.3-6 引張試験結果

※規格値は表 2.3-3 に示す支承便覧に記載の C-13B2の値を示す。



(3) 残留応力分析

X線回折法により得られた材料表面の残留応力測定結果を表 2.3-7 に示す。ローラーや支圧板 は表面に焼き入れを行うことで表面の組織にマルテンサイト膨張が生じ、圧縮応力が残留するが、 測定結果では、ローラーは圧縮の残留応力が確認された一方で、支圧板は P5(橋軸直角方向)と P6(橋軸方向)に引張の残留応力が確認された。ローラー材では x 方向(橋軸直角方向)に-671 ~-749N/mm²、 y 方向(橋軸方向)に-438~-883N/mm²の、いずれも強い圧縮応力が認められた。 支圧板では x 方向(橋軸直角方向)に+79~-761N/mm²、 y 方向(橋軸方向)に+18~-631N/mm²の 引張~圧縮応力が認められた。

測定位置		項目	応力測定値 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)
P6 橋脚		橋軸直角方向	-749	19
		橋軸方向	-438	12
	支压拒 GM	橋軸直角方向	-244	40
	又庄极的	橋軸方向	18	21
		橋軸直角方向	-708	41
DF 括助	$\Box - f Kb$	橋軸方向	-534	16
P5 憍脚	支圧板 5M	橋軸直角方向	79	27
		橋軸方向	-385	11
A2 橋台	D. 5 D9	橋軸直角方向	-671	8
	$\Box = \int KZ$	橋軸方向	-883	9
		橋軸直角方向	-761	25
	文止极 2M	橋軸方向	-631	27

表 2.3-7 残留応力測定結果

※圧縮の残留応力は負、引張の残留応力は正を示す。

(4) 断面観察

ローラーおよび支圧板の断面マクロ試験結果を図 2.3-2、図 2.3-3 ならびに図 2.3-4 に示す。 ローラー、支圧板のいずれの断面にも割れなどの異常は認められなかった。

ローラーの円筒面に深さ 3~4mm 程度の、表面硬化層と推察されるエッチングコントラストの 異なる領域が認められた。支圧板は表面硬化層が認められなかった。これらは硬度の計測結果に 符合する。



【損傷ありローラー】

図 2.3-2 ローラーの断面マクロ試験結果



図 2.3-3 P6 橋脚破損ローラー軸部の断面マクロ組織



図 2.3-4 P6 橋脚破損支圧板 6H の断面マクロ組織

(5) 超音波探傷試験

探傷は支承部材の全面にわたって行った。支圧板は平面と深さ方向の全面に対して超音波を入 射し、ローラーについては、ローラーを円周方向に回転させながら、全周で断面中心方向に超音 波を入射した。また、ローラー端部から長手方向にも超音波を入射した。支圧板は水平方向と鉛 直方向を探傷方向とした。図 2.3-5 および図 2.3-6 に調査箇所と実施状況を示す。



図 2.3-5 ローラーおよび支圧板の超音波探傷試験調査箇所

ローラー

支圧板



図 2.3-6 超音波探傷試験実施状況

代表として、P5 橋脚支承のローラーと支圧板の超音波探傷試験の結果を図 2.3-7 に示す。底 面反射以外の底面より浅い位置での反射エコーは確認されておらず、内部に傷と思われる反射エ コーは検出されなかった。その他ローラーも同じ結果であった。



図 2.3-7 ローラーおよび支圧板の超音波探傷試験結果

2.3.3 考察

損傷が確認された支承部材は成分分析の結果、ローラー、支圧板ともに C-13B₂(析出硬化型ス テンレス鋼)と判断できた。機械的性質については、支圧板の試験片の一部で伸びの規格値を満 足していないが、それ以外の試験片ではいずれの項目も規格値を満足していた。硬度は下限値規 定が与えられていることに対して、規格値を上回っていた。

一方で、断面方向の硬度の分布をみると、道路橋支承便覧では、支圧強度を高めるためにロー ラーや支圧板の表面に焼き入れし、鋼材の内部に比べて表層を硬くすることとなっているが、支 圧板では断面表面と内部の硬度の差が明瞭でなかった。この点については、断面のマクロ観察や 超音波探傷試験では内部の割れや傷等は確認されていないことから、断面の表面と内部で硬度の 差がないことが今回の損傷の主たる要因となったことは考えにくい。

以上から、支承の材料、製造品質が今回の損傷の直接の原因であった可能性は除外できると考 えられる。