

新上橋・武之橋解体調査結果*

Results of investigations based on dismantling of the Shinkan Bridge and the Takeno Bridge

○ 今村 裕一郎** 中島 一誠** 柚木 兼治*** 吉元 和久*** 吉原 進****

IMAMURA, Yuuichiro NAKASHIMA, Issei YUNOKI, Kaneharu YOSHIMOTO, Kazuhisa YOSHIHARA, Susumu

本文は、鹿児島市を南北に貫流する甲突川の下流部に位置する甲突川五石橋の中で、解体調査を実施した新上橋、武之橋について報告するものである。

両橋は、平成5年8月、鹿児島地方を襲った集中豪雨により落橋流失したもので、架橋後約150年の歴史の幕を閉じた。調査結果により、石造アーチ橋の構造技法の紹介と流失の原因について推察を加え、流失を免れた玉江橋と対比し考察を加えるものである。

1. はじめに

鹿児島市を南北に貫流する甲突川には、10数橋の石造アーチ橋が架かっていた。中でも下流部に位置していた4～5連アーチの甲突川五石橋は、全国に例を見ない石造橋群として有名であった。甲突川五石橋はいずれも藩の財政が立ち直った後、城下の治水、架橋等土木事業を進めるため肥後から招いた名石工岩永三五郎によって架けられたもので、弘化2年(1845年)頃から嘉永2年(1849年)頃までの4年間に及ぶ指揮のもとで建造されたものである。建造後約150年の歴史を有する石造アーチ橋は、甲突川の兩岸地区を結ぶ交通の要所として機能していた。又、史と景の街づくりを推進している鹿児島の観光資源の一つでもあった。

平成5年8月5～6日にかけて鹿児島地方を襲った未曾有の集中豪雨(8.6水害)により甲突川が氾濫し、甲突川五石橋のうち新上橋、武之橋が落橋流失する災害を被った。

甲突川五石橋については、これまでも交通対策治水対策、文化財保護の観点から幾度となく移設すべきか、あるいは現地保存すべきかについて論争が起きていた。

県は8.6水害を契機に短期間で抜本的な河川改修を行うこととし、河川激甚災害対策特別緊急事業を導入し、併せて流失を免れた3石橋は移設して保存されることになった。

本文は、玉江橋、新上橋、武之橋の解体調査で判明した石造橋の内部、基礎構造の中で、護床敷石、ハカマ石、基礎石、梯子胴木、局所洗掘等の調査結果をもとに、多連石造アーチ橋の安定要因を考察する。また他の石造橋の流失事例とその形態を考慮した上で新上橋、武之橋の流失原因を推定し、流失を免れた玉江橋についても考察を加えるものである。

2. 甲突川五石橋の概要

石造橋を構成する石材は、加久藤火砕流堆積物に

* keyword : 新上橋、武之橋解体調査結果 . 技術史

** 橋建設技術コンサルタント

*** 鹿児島市 核りょう建設課

**** 正会員 工博 鹿児島大学工学部海洋土木工学科教授

(〒890 鹿児島県鹿児島市伊敷町7022番地1)

(鹿児島市石橋調査技術委員会座長)

対比される溶結凝灰岩が多い。強度もあり加工性に富むことから、石造橋の材料として多用されたと考えられる。

甲突川流域の地質は、シラスなどの火砕流堆積物や沖積層などから構成される。石造橋の支持層である沖積層の標準貫入試験のN値は10以下を示し、軟弱で現代の技術規準では4～5連の石造橋の支持力を有しているとは考えられない。しかし、現実には石造橋は約150年間安定した姿で存在してきた。したがって今後、石造橋に施された工法や様々な工夫を解明していく必要があると考えられる。

甲突川五石橋の特徴は他県の場合と比べると次の点にある。

- ① 4～5連アーチで長大。わずか4kmの間に群をなして架かっている。
- ② アーチがいくつもあるために、橋脚が河中に立つことになり、基礎部の建設等、規模が大きくなる。又、水切り石も必要となり、景観も優れる。他県で見られるものは単一アーチ橋が多く、橋脚が河中に立つものは稀である。従ってこの場合は水切り石もない。
- ③ 石造橋の上幅と下幅に差を設け、安定させている。
- ④ 図-1に示すように、壁石が扇状に積まれている。他県のものでは布積みか乱積みがほとんどである。

二重アーチと思わせる装飾アーチの壁石が景観を際立たせている。

壁 石 組 の 特 徴

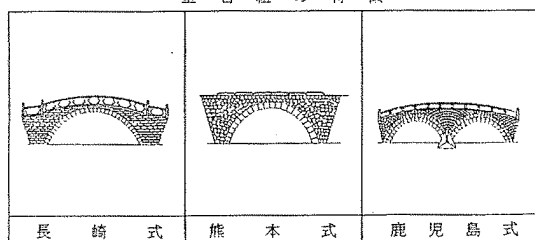


図-1

(1) 新上橋

新上橋は弘化2年(1845年)に、岩永三郎の指揮により甲突川に最初に架橋された4連の石造アーチ橋である。甲突川五石橋中最も川幅が狭少で流速が早くなる所である。アーチの上面とアーチ基部の幅の差が一番大きく、壁石を傾斜させる安定対策を講じていた。壁石勾配は新上橋は約2分5厘、上流の玉江橋は約1分であった。又、新上橋は他の石造橋と異なり外観上のアーチは一重である。

流失前の新上橋を写真-1に示す。又8.6水害後の新上橋を図-2と写真-2に示す。

写真-1 流失前の新上橋

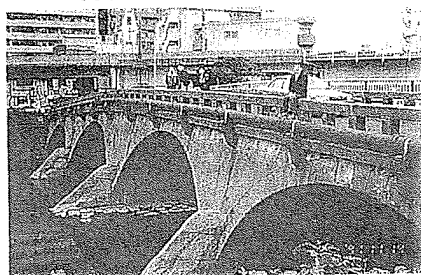


写真-2 流失後の新上橋

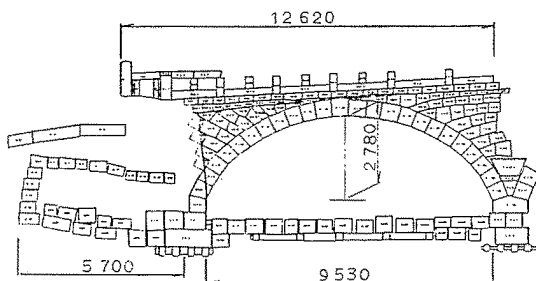
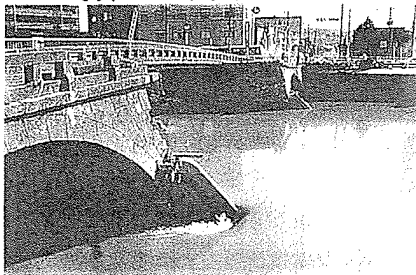


図-2 流失後の新上橋
(残存した1連目の上流側断面図)

(2) 武之橋

武之橋は嘉永元年（1848年）に、甲突川の最下流に架橋された5連の石造アーチ橋で、江戸時代には石造橋としては日本一の長さを誇っていた。他の甲突川五石橋と同様に中央のスパンを最大にし、兩岸に向かってだんだん小さくすることにより、洪水による倒壊の危険性を避けた構造としていたが、武之橋は5連アーチであるため、創建時は写真-3のような形状となっていた。

流失前の武之橋を写真-4に示す。又8.6水害後の武之橋を図-3と写真-5に示す。

写真-3 明治初期の武之橋

出典：「鹿児島市戦災復興誌」

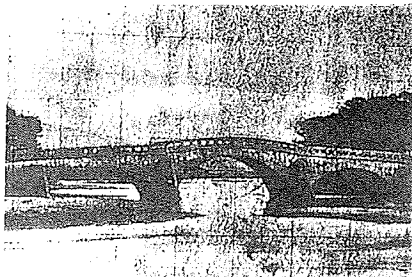


写真-4 流失前の武之橋

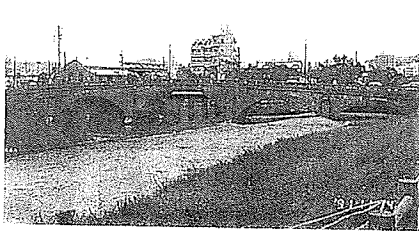


写真-5 流失後の武之橋

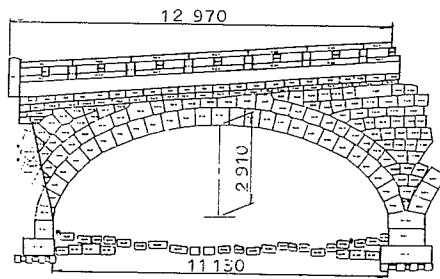


図-3 流失後の武之橋（残存した1連目の上流側断面図）

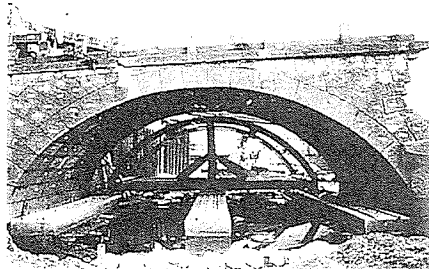
3. 解体調査¹⁾

新上橋、武之橋の解体調査は、平成6年3月に始まり一時的な工事中止や、出水期の作業中止などがあったが、平成7年3月に完了した。

解体調査は多連石造アーチ橋の構造特徴を知り、その記録を後世に伝承する目的から、移設復元する玉江橋と同様の調査内容で行われた。

解体工事はアーチリング下面に、鋼製アーチ支保工を構築し、不安定な石造アーチ橋の崩壊を防止して実施した（写真-6参照）。

写真-6 新上橋のアーチ支保工



4. 調査結果¹⁾

解体調査結果一覧表を表-1に示す。解体調査より石造橋の構造は、連結材などを用いておらず簡単な造りとなっていた。総重量が2000tを超過する石造橋を支持する基礎の部分が、城壁を構築する技法と同じ梯子胴木のみで、基礎杭等を用いていない。洪積平野の軟弱層にそのままの状態構築しており地盤改良等は行っていない。

石材の加工は、非常に合理的な施工をしている。外観上見える場所、壁石の合端及び構造上重要なアーチ石合端等の石材の加工（仕上げ）は入念であっ

表 - 1 (2 - 1) 解体調査結果一覧表

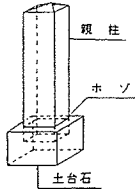
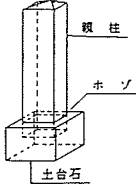
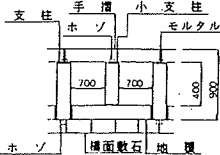
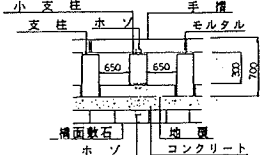
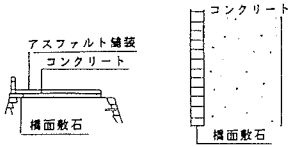
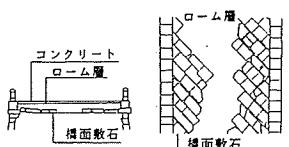
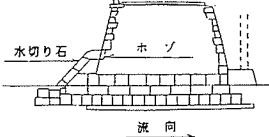
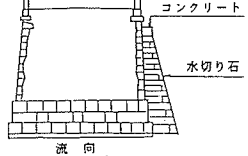
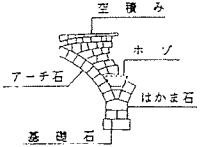
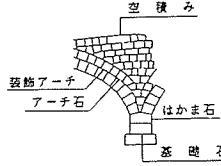
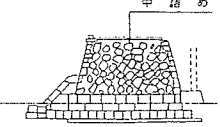
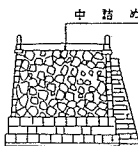
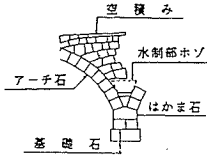
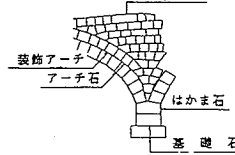
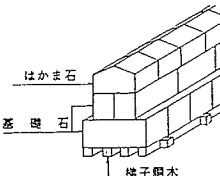
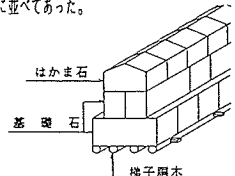
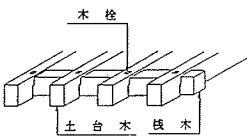
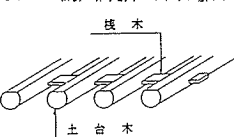
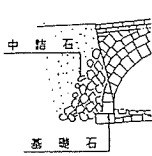
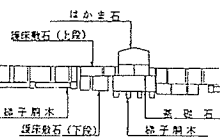
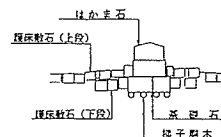
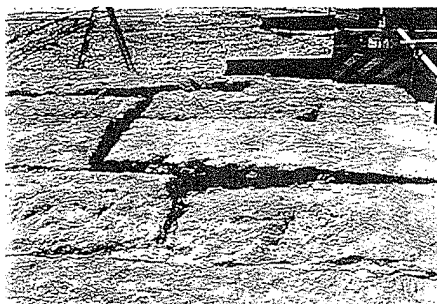
	新 上 橋	武 之 橋
親 柱	・右岸親柱の基礎部は、ホゾ構造の基礎石が用いられていた。 	・左岸親柱の基礎部は、ホゾ構造の基礎石が用いられていた。 
高 欄	・支柱と手摺石、支柱と地覆石の接合部は、ホゾ構造を用いていた。 ・石材と石材の接合部は目地材にモルタルを充填されていた。 	・支柱と手摺石、支柱と地覆石の接合部は、ホゾ構造を用いていた。 ・石材と石材の接合部は目地材にモルタルを充填されていた。 ・地覆石と橋面敷石の間は、橋面高を上げるためにコンクリートで嵩上げされていた 
橋 面 敷 石	・アスファルト舗装 $t=5\text{ cm}$ の下面には、上流側の1列のみ橋面敷石が残存した。 ・橋面敷石が確認できなかった部分は、コンクリートを用いて補修されていた。 	・敷石の上には中詰土 $t=30\sim40\text{ cm}$、コンクリート舗装 $t=10\text{ cm}$ で橋面舗装を行っており、橋面積の約30%は敷石が敷設されていた。 ・上下流端の敷石は橋軸方向に1列に並べてあり、その他の敷石は斜め方向に敷設されていた。 
水 制 工	・下流側の水制工は歩道橋が併設されていたため、存在しなかった。 ・上流側の水制工は壁石と接合されており、接合部はホゾ構造となっていた。 ・石材と石材の接合部は、モルタルにて目地材が設けられていた。 	・上流側の水制工は流失しており、下流側のみ残存していた。 ・長方形の石材をコ字に組み合わせて積み上げており、空欄部には縫割石が詰められていた。 
壁 石	・形状が不規則な石材が空積みされており、石材表面の加工はノミ仕上げで背面は石切り場より搬入したままの状態であった。 	・形状が不規則な石材が空積みされており、石材表面の加工はノミ仕上げで背面は石切り場より搬入したままの状態であった。 
中 詰 土	・中詰土には大小様々な割り石が不規則に詰めであり、アーチ石や壁石などの加工材の残材もあった。 	・中詰土には大小様々な割り石が不規則に詰めであり、アーチ石や壁石などの加工材の残材もあった。 

表-1 (2-2) 解体調査結果一覧表

	新 上 橋	武 之 橋
アーチ石	・甲突川五石橋のなかで新上橋だけが外観上1重アーチ構造であった。 ・表面(アーチ下面、側面)はノミによる仕上げが施してあり、アーチ背面は石切り場より搬入したままの状態で見えていた。 ・アーチ背面は凹凸が多いが、合羽は橋脚に一致するように加工してあった。 ・アーチ基部には、浸石が用いられ支点の移動防止に対する工夫が施されていた。 	・表面(アーチ下面、側面)はノミによる仕上げが施してあり、アーチ背面は石切り場より搬入したままの状態で見えていた。 ・アーチ背面は凹凸が多いが、合羽は橋脚に一致するように加工してあった。 ・アーチ基部には、浸石が用いられ支点の移動防止に対する工夫が施されていた。 
基礎石	・橋台及び橋脚の基礎には、はかま石の下に基礎石が2段に積まれており、上段は橋軸直角方向に平行に2列並べであり、下段については橋軸方向に平行に並べてあった。 	・橋台及び橋脚の基礎には、はかま石の下に基礎石が2段に積まれており、上段は橋軸方向に平行と橋軸直角方向に2列平行に交互に並べであり、下段については橋軸方向に平行に並べてあった。 
梯子脚木	・橋台及び橋脚の脚木の組み方は、橋軸直角方向に土台木が4本平行に並べであり、残木は土台木の松丸木をくり抜いて、4本の土台木を5~6ヶ所で連結していた。 ・土台木と残木の接合部は、土台木の先端に3cm×3cmの穴をあけ木栓を打ち込んでいた。 ・土台木表面に墨だしやひらがなで文字が書いてあった。 	・橋台及び橋脚の脚木の組み方は、橋軸直角方向に土台木が4本平行に並べであり、残木は土台木の松丸木をくり抜いて、4本の土台木を5~6ヶ所で連結していた。 ・土台木と残木の接合部の際には、浸木が打ち込まれており、上下流端の残木には木栓で土台木と固定されていた。 ・左岸橋台の脚木の約2/3は梯子状に組まれた脚木であったが、残り1/3は幅約60cm、厚さ約10cmの松板が梯子脚木のかわりに敷かれていた。 
反力石	・両岸の橋台背面には、地表面から約2mの所に石橋の水平力を受け止めるための反力石が、壁中に石材を積んで構築されていた。 ・石材の大きさも様々な形状で乱積みされていた。中詰めは割石と土砂を詰めていた 	・橋台背面には、中詰め石が不規則に積まれていた。 
護床敷石	・2連中央からP3橋脚の間は、流失していた。 ・残存した護床敷石は、橋台及び橋脚の周囲は2段に敷設され、各連の中央は敷石の下面に梯子脚木が用いられていた。 ・敷石の下流端には、止め杭が設けられていた。 ・護床敷石は流水方向に対し、橋梁端部より上流側約6m、下流側約7mの範囲にまで敷設されていた。 	・1、4連目は残存していたが、2、3、5連目は流失していた。 ・敷石は1段敷設されていたが、橋台及び橋脚の周囲には2段目の敷石が3~4列敷設されていた。 ・2連目と4連目の敷石下面より、アーチ支保工に用いられたと思われる木杭(φ35cm)が残っていた。 ・護床敷石は流水方向に対し、橋梁端部より上下流約4mの範囲にまで敷設されていた。 
材料	・石橋に使用された石材は、ほとんどが小野石であった。 ・梯子脚木は樹種鑑定の結果、マツを使用していた。	・石橋に使用された石材は、花崗石、たんたど石、小野石といった様々な石材で構成されているが、石橋に占める割合は、たんたど石が一番多い。 ・梯子脚木は樹種鑑定の結果、マツを使用していた。

たが、それ以外の場所は、石切場より搬入した石材をそのままの状態で使用しており、無駄な加工をしていなかった（写真－7 参照）。

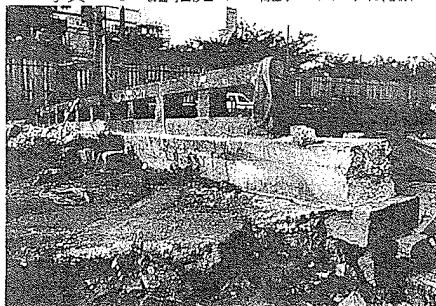
写真－7 武之橋のアーチ石背面の加工状況



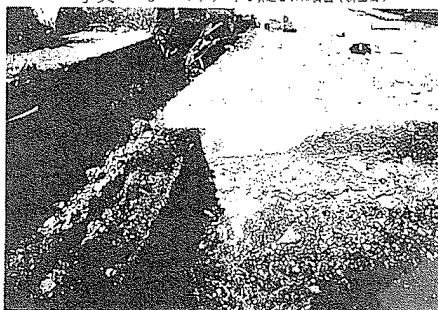
両橋は、建造後かなり改造された形跡があった。武之橋は明治時代の写真によると、3連目中央部のアーチ橋面はラクダのコブようになっていたが、その後人馬、荷車、自動車等交通の利便性の向上を図るため改造されており、橋面敷石と高欄地覆石の間はコンクリートで嵩上げされていた（写真-8参照）。

新上橋の残存部も補修の形跡が見られ、橋面敷石は損耗が激しかったことよりコンクリートで改造されていた（写真－9 参照）。

写真－8 橋面勾配修正のための嵩上げコンクリート（武之橋）



写真－9 コンクリートで改造された橋面（新上橋）

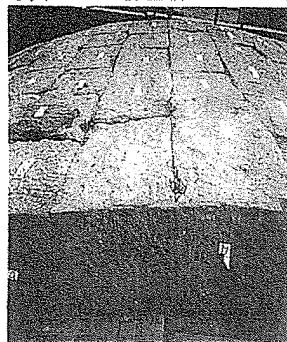


石造橋の主要部材であるアーチ石の接合部は、切石を積み上げたのみで、ダボ、ホゾ等の工法は用いられていなかった。アーチを構成する石材は厚み約60cm、幅約60cm、長さ約90～120cmの切石を用いており、アーチリング1列当り4～5石使用していた（写真－10参照）。

基礎部より出土した梯子胴木の材質は、二葉松系の赤松もしくは黒松と鑑定された（鹿児島県工業試験場鑑定結果による）。木材の強度について試験結果を表－2に示す。試験結果を見ると、水中で使用された胴木は古くから言い伝えられるように強度低下は少ない。

解体調査で回収した石材の総数は、新上橋で3124個、武之橋で2253個となっている（表-3、4参照）。

写真－10 新上橋のアーチ石



表－2 梯子胴木強度試験結果表

1) 試料採取		強度試験に用いる試料は、P、横切部の梯子胴木より5ヶ所採取を行った。（採取位置を次頁に示す）				
2) 試験内容		試験体は、JIS 22101の規格に準じて曲げ試験（JIS 22113）、圧縮試験（JIS 22111）、せん断試験（JIS 22114）について行った。				
3) 試験結果		曲 げ 試 験 結 果				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
曲げ強さ (kgf/cm ²)		825	978	692	631	626
クロマツの一般的な曲げ強さ (kgf/cm ²)		850				
		圧 縮 試 験 結 果				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
圧縮強さ (kgf/cm ²)		293	395	278	248	307
クロマツの一般的な圧縮強さ (kgf/cm ²)		450				
		せん断試験結果				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
せん断強さ (kgf/cm ²)		101	79	75	69	96
クロマツの一般的なせん断強さ (kgf/cm ²)		90				

表－3 新上橋の石材数量表

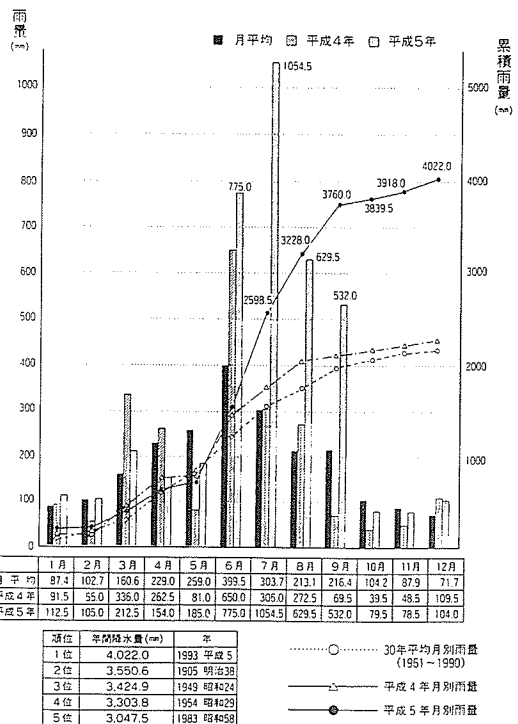
		原形を留めた石材		原形を留めない石材		本数	備考
		本数	率	本数	率		
高欄石	親柱石	1	50%	1	50%	2	
	支柱	5	100%	0	0%	5	
	小支柱	5	71%	2	29%	7	
	手摺	3	100%	0	0%	3	
	地覆	7	100%	0	0%	7	
橋面敷石		55	97%	1	3%	56	
壁石		146	99%	2	1%	148	
巻石(アーチ石)		184	99%	2	1%	186	
水切石		8	100%	0	0%	8	
護床敷石		1692	100%	0	0%	1692	
基礎石		135	100%	0	0%	135	
護岸石		123	100%	0	0%	123	
橋台中詰石		29	100%	0	0%	29	
橋脚中詰石		10	100%	0	0%	10	
橋台反力石		713	100%	0	0%	713	
計		3116	99%	8	1%	3124	

表－4 武之橋の石材数量表

		原形を留めた石材		原形を留めない石材		本数	備考
		本数	率	本数	率		
高欄石	親柱石	2	100%	0	0%	2	
	支柱	12	100%	0	0%	12	
	小支柱	14	100%	0	0%	14	
	手摺	14	93%	1	7%	15	
	地覆	11	85%	2	15%	13	
橋面敷石		197	96%	8	4%	205	
壁石		192	97%	7	3%	199	
巻石(アーチ石)		186	98%	1	1%	187	
水切石		48	98%	1	2%	49	
護床敷石		1218	100%	0	0%	1218	
基礎石		155	100%	0	0%	155	
護岸石		85	100%	0	0%	85	
橋台中詰石		88	100%	0	0%	88	
橋脚中詰石		11	100%	0	0%	11	
橋台反力石		0	0%	0	0%	0	
計		2233	99%	20	1%	2253	

5. 8.6水害

平成5年の6～8月における九州南部での降雨量は、鹿児島気象台で平年の約3倍(図－4参照)を記録するなど異常なものであった。九州南部の梅雨明けは7月9日に発表されたものの、その後長期間に渡り降雨が続き、8月31日に九州南部の梅雨明けは「はっきりしない」と修正されたほどである。¹⁾



図－4 鹿児島地方気象台における月別雨量グラフ

出典：「平成5年度 土砂災害記録集」

同年8月5～6日の鹿児島市を中心とした局地的な集中豪雨(日雨量384mm, 時間雨量99.5mm, 郡山町役場)は、本県の特長土壌からなるシラス崖地帯を中心に各地で甚大な土砂災害を発生させるとともに、河川が氾濫し特に甲突川流域では、市街地の42.4haが浸水するなどの大被害を与えた。また県下では、山腹崩壊や土石流災害によりJR、主要幹線道路等が寸断され、行方不明1人を含む48人の人命を奪った。

6. 石造アーチ橋の流失例

平成5年の豪雨により、鹿児島県内では新上橋、武之橋を含め、27橋の石造橋が被災した（表－5参照）。ほとんどのものが跡形もなく崩壊しており、石造アーチ橋は局部崩壊が全体に波及し、途中の状態で止まることが少ないことがわかる。

表－5 平成5年の豪雨により被災した県内の石造橋（出典：鹿児島県 河川課）

橋名	場所	河川名	架設時期	延長	幅員
武之橋	鹿児島市	甲突川	1848	71.0	5連
新上橋	鹿児島市	甲突川	1845	47.0	4連
空田橋	鹿児島市	甲突川	1901	34.6	3連
船井橋	鹿児島市	甲突川	1922	21.2	2連
船岡橋	鹿児島市	船岡川	1842	15.0	1連
永安橋	鹿児島市	船岡川	1842	25.4	2連
水原入口橋	鹿児島市	船岡川	1854	11.7	1連
水原入口橋	鹿児島市	船岡川	1859	12.3	1連
荒方橋	鹿児島市	船岡川	1849頃	8.0	1連
川岳橋	鹿児島市	船岡川	1852	14.0	2連
神門橋	枕崎市	花房川	1901	23.7	2連
神門橋	知覧町	瀬川	不明	20.1	2連
安立橋	郡山市	甲突川	不明	9.4	1連
宮山橋	郡山市	甲突川	1917	12.0	1連
常盤橋	郡山市	甲突川	不明	7.0	1連
上常盤橋	郡山市	甲突川	不明	9.0	1連
西保橋	郡山市	神之用	不明	13.4	1連
岩下橋	瀬田子町	宮脇川	不明	7.1	1連
神前田橋	東市来町	大里川	1927	14.0	1連
古越橋	東市来町	江口川	1927	13.5	1連
沼角目橋	東市来町	立仙名川	不明	4.0	1連
神宮橋	次上町	堀川	1911	15.2	1連
鎌守橋	次上町	湧之浦川	不明	13.3	1連
鬼川内橋	鹿野町	基川	不明	4.5	1連
山川橋	松山町	豊田川	1921	16.3	1連
宮田上橋	松山町	山角川	不明	1.7	1連
平部橋	財部町	境川	不明	15.0	2連
27橋					

※「鹿児島県橋新耐土木史」より

今回の流失例の他に、8.6水害以前にも下記のような事例がある。

（1）大乘院橋（鹿児島市）

昭和63年7月の集中豪雨により被災し、同年11月に解体された。下流側のアーチ石及び壁石が約4分の1崩壊した（写真－11参照）。

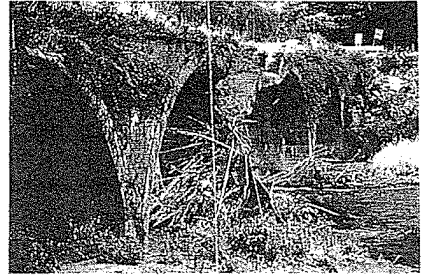
写真－11 被災後の大乘院橋



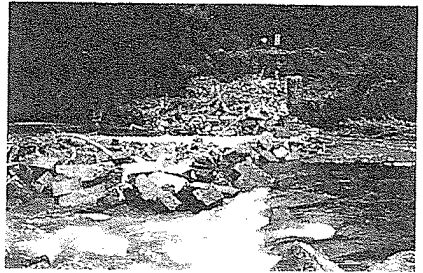
（2）大迫橋（志布志町）

平成元年に実測調査が行われ、破損部分の復旧を行うはずであったが、平成2年9月の豪雨より流失した（写真－12、13参照）。

写真－12 流失前の大迫橋（一部壁石が崩壊している）



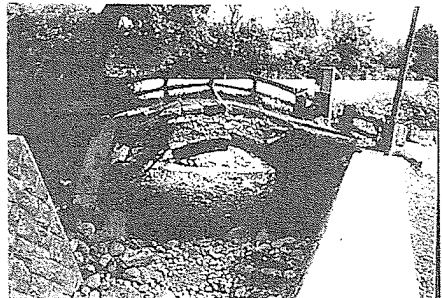
写真－13 流失後の大迫橋



（3）岩剣神社前の橋（始良町）

岩剣神社前にある石橋で、被災原因については不明である。アーチ石及び壁石が、一部崩壊している（写真－14参照）。

写真－14 被災後の岩剣神社前の橋



7. 流失原因

甲突川五石橋が約150年間機能してきたのは、岩永三五郎が河川の水利に対し工夫した護床敷石の役割による事が大きい。橋面下はもちろんの事、橋の上下流側に敷石を敷きつめ、橋脚部の洗掘を防止していた。特に最初に架橋した新上橋は、他橋より入念に施工されていた。橋脚部は2段に敷石を設け又、この橋のみ護床敷石下面より胴木が出土した（写真-15参照）。

新上橋、武之橋の解体調査で、護床敷石が一部流失しているのが確認された。未曾有の豪雨により、流木や自動車等が石造橋の橋脚部に引っ掛かった。その結果、アーチ部を閉塞した濁流は橋脚部で流速を早め、その結果護床敷石が流失し、局所洗掘の作用により橋脚が沈下した。橋脚が沈下する事で石造橋はアーチバランスを失い、落橋し流失に到ったものと推察される。

新上橋、武之橋の基礎の状況を図-5～8及び写真-16、17に示す。

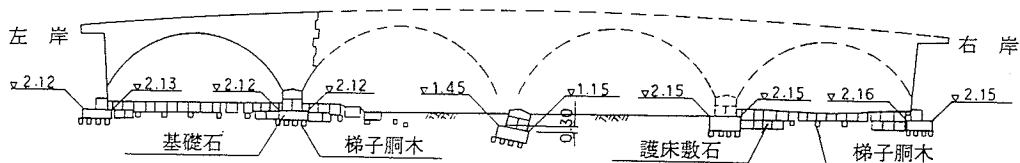


図-5 基礎部の横断面図(新上橋)

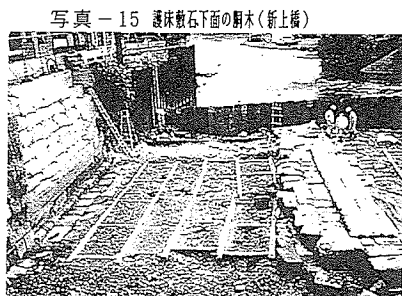


図-6 P2橋脚基礎石の形状図(新上橋)

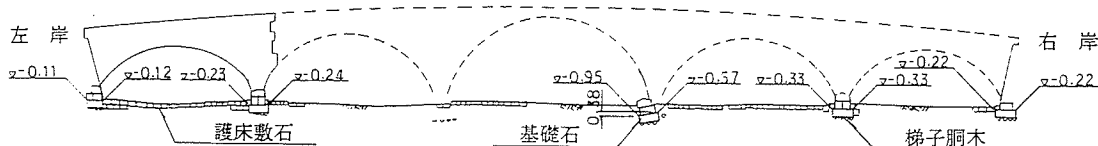


図-7 基礎部の横断面図(武之橋)

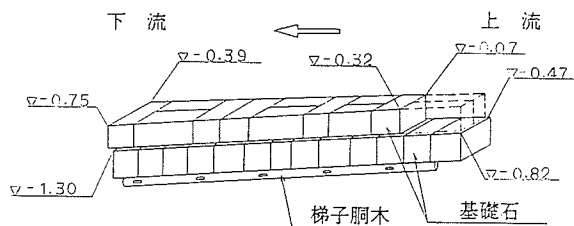
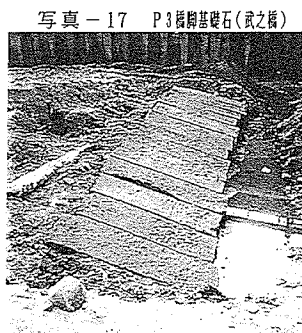


図-8 P3橋脚基礎石の形状図(武之橋)



新上橋では、2段になっていた護床敷石の下面から木、竹などと共に布のような流下物が出てきた（写真-18、図-9参照）。これは水流が敷石面を高速で流下し、その流れによって敷石が流失、洗掘され、その洗掘が進行し基礎を沈下させた。これは石造橋にとって最悪のパターンをたどったものと推察される。

両橋ともにアーチ部が閉塞した事による局所洗掘により、基礎は不等沈下でねじ曲げられるように変形していた（写真-19参照）。

写真-18 新上橋木下から発見された流下物（新上橋）

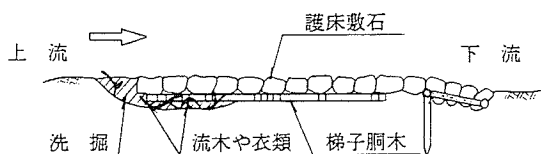
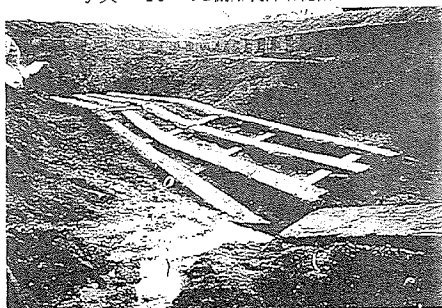


図-9

写真-19 P2橋脚梯子脚木（武之橋）



石造アーチ橋は図-10に示すように、アーチ石は圧縮部材として機能し、上部工反力と基礎構造が釣り合って安定するものである。8. 6 水害により基礎の沈下、流水圧による偏圧、浮力等の複雑な加重により、安定のバランスが崩れ、崩壊したものと推察される。

今回流失を免れた玉江橋は、架橋位置としては最上流にあり、流木等の影響が最も大きかったが、河床部分がコンクリートで補強されており、洗掘防止に役立ったため流失しなかったものと考えられる（図-11参照）。

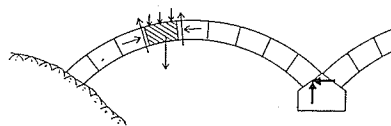


図-10 アーチ石に作用する力

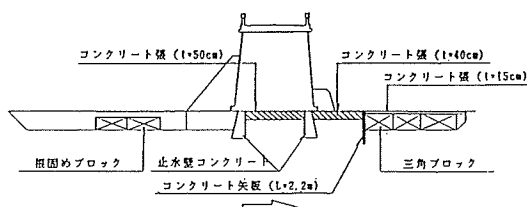


図-11 玉江橋の護床構造

参考文献

- 1) 鹿児島市建設局橋りょう建設課：「平成6年度 玉江橋池2橋現況調査測量業務委託報告書」
- 2) 鹿児島県土木部砂防課：「平成5年度 土砂災害記録集」