

(5) 通潤橋の使用石材の圧縮強度特性

①圧縮試験の石材の種類と本数

通水石管、輪石及び壁石等の修復材選定の基礎資料として使用するために実施した圧縮試験の報告書(山尾敏孝・2014)があり、これより使用石材の材料特性を述べる。主材料である阿蘇溶結凝灰岩の石材を、オリジナル採取地と思われる五老ヶ滝川河床付近のほか、町内にある石山等から採取し、【表5-1-3】に示す8種類を用いて実施している。圧縮試験用供試体は石材番号ごとに6本作成し、石材番号8のみ4本ずつの計8本とした。

表5-1-3 阿蘇溶結凝灰岩の圧縮試験石材の一覧

採取場所	石材番号	摘要	石工による石材の概観見立て
五老ヶ滝川河床(滝口付近) Aso-1	1-①	建設当初の石材採集地	「クサレ」がある。水が入った時に割れるのではないか。
	1-②		阿蘇の溶結凝灰岩のなかでは硬岩。石の目を利用すれば大きく取ることは可能
	1-③		1-②と同じ
福良の採石場 Aso-3	2-①	町内操業中の石切場(矢部石材)	石垣用硬岩 石山の下層の石(白っぽい)
	2-②		やわらかくて、ねばい石はつる時に形が切りにくい。形がとれれば縁石などに使用 石山の上層の石(黒っぽい)
観音滝付近露頭①(道脇) Aso-1	3	入手困難	
貫原採石場 Aso-1	5-①	前回(H12~H13)工事時の石材採集地(西岡建設) ※ただし、操業は終了	前回工事時に石管に使用 石山の中段より採取
	5-②		前回工事時に石管に使用 石山の下段より採取 ノミがよく効いて作業(加工等)がしやすい
	5-③		作業がしにくい石 堅くて粘りが強い石 石山の上段より採取
貫原露頭(水田脇) Aso-1	6-①	町内石材の産出地(西岡建設) ※操業されていない	貫原採石場の石よりも硬い印象目では綺麗に割れる石
	6-②		ピンク色の石、石垣石として使用可能な上等な石 石の素性が良く素人でも(目では)よく割れる石 目が細かい、均質
こぶれがし(実験場跡)右岸 Aso-1	7	通水試験の跡地 試験用通水管石材の採取地	普通は使用しない硬い石 ハヅチはよく効く感じ 五老ヶ滝川の石より粘りが強い
既設通水管(尾上建設保管) Aso-1	8	H12~H13工事時に取外した五老ヶ滝川河床より採取か?	放水口石管を半分に分断 硬いが加工しやすい印象 きれいに平らに割れる
町内河川改修により出た硬岩	9		阿蘇-1と思われる硬岩 平らに取れないので、周りからたたくと形がまるくなる。 ※後日、渡邊先生等に確認
数量計	80本		

②圧縮試験の結果と考察

実験で用いた供試体は8種類の13分類あり、Aso-1とAso-3の石材である。【表5-1-4】には、全供試体の最大圧縮応力度 σ_{max} 、ヤング率E、ポアソン比 ν の結果をまとめている。また、石工による石材の外観判断や採取時の石材の硬軟等についても併記しており、【表5-1-3】にも記している。また、表中の方向でVは堆積方向、Hは堆積層方向をそれぞれ表す。

【表5-1-4】より、得られた最大圧縮応力度の最小値は13.8 (N/mm²) で、最大値は126.5 (N/mm²) となり、大きなバラツキがあった。圧縮応力度の平均値は、石材番号2の福良の採石場 (Aso-3) で石山の上層部から採取した石材が最も小さかった。同じ石山でも下層部は倍以上あり、今後の石材採取に注意が必要と思われる。石材番号5の貫原採石場 (Aso-1) や石材番号7の「こぶれがしの実験場跡」 (Aso-1) の石材の最大圧縮応力度は40~50 (N/mm²) であり比較的小さかった。また、石材番号6の貫原露頭 (Aso-1) の平均値は100 (N/mm²) 程度あり、今回の実験供試体で最も大きな強度であった。

表5-1-4 全供試体の実験結果のまとめ

採取場所	石材番号	本数	方向	E	σ_{max}	ν	石工による石材の概観見立て
五老ヶ滝川河床 (滝口付近) Aso-1	1-①	3	V	21300	85.0	0.2	「クサレ」あり. 水が入ると割れ易い.
		3	H	11100	81.0	0.4	
	1-②	3	V	18700	73.5		硬岩. 石目を利用し大きく採取可能
		3	H	17700	73.4	0.2	
	1-③	3	V	21000	80.4	0.5	1-②と同じ
		3	H	21800	84.8	0.3	
福良の採石場 Aso-3	2-①	3	V	13300	50.2	0.2	石垣用硬岩、石山の下層の石 (白っぽい)
		3	H	18200	50.6	0.2	
	2-②	3	V	7060	22.7	0.2	柔らかくねばい石はつる時に形が切りにくい. 縁石等に使用可 石山の上層石 (黒っぽい)
		3	H	6790	13.8	0.6	
観音滝付近露頭 ① (道脇) Aso-1	3	—	—	—	—		
貫原採石場 Aso-1	5-①	3	V	9000	55.6	0.2	前回工事時に石管に使用 石山の中段より採取
		3	H	16200	52.7	0.2	
	5-②	3	V	13900	49.0	0.2	前回工事時に石管に使用 石山下段より採取、ノミ作業 (加工等) がしやすい
		3	H	21700	56.2	0.4	
	5-③	3	V	9440	43.0	0.2	作業困難石、堅く粘り強い石、石山上段より採取
		3	H	11200	47.6	0.6	
貫原露頭 (水田脇) Aso-1	6-①	3	V	18700	122.6	0.3	貫原採石場石よりも硬い目では綺麗に割れる石
		3	H	25400	126.5	0.4	
	6-②	3	V	14400	70.0	0.2	ピンク色の石、石垣石として使用可、石の素性が良くよく割れる石
		3	H	26800	104.3	0.2	
こぶれがし (実験場跡) 右岸 Aso-1	7	3	V	15300	42.1	0.3	普通は使用しない硬い石 ハツチはよく効く感じ 五老ヶ滝川石より粘り強
		3	H	26600	56.3	0.3	
既設通水管 (尾上建設保管) Aso-1	8	4	V	17700	74.3	0.2	旧放水口石管、硬いが加工し易い石、きれいに平らに割れる
		4	H	17700	63.0	0.6	
町内河川改修により出た硬岩	9	3	V	15900	59.4	0.5	Aso-1と思われる硬岩 平らに取れない、周りからたたくと形が丸い.
		3	H	17000	57.6	0.7	
備考	E : ヤング率 (N/mm ²)、 σ_{max} : 最大圧縮応力度 (N/mm ²) ν : ポアソン比						

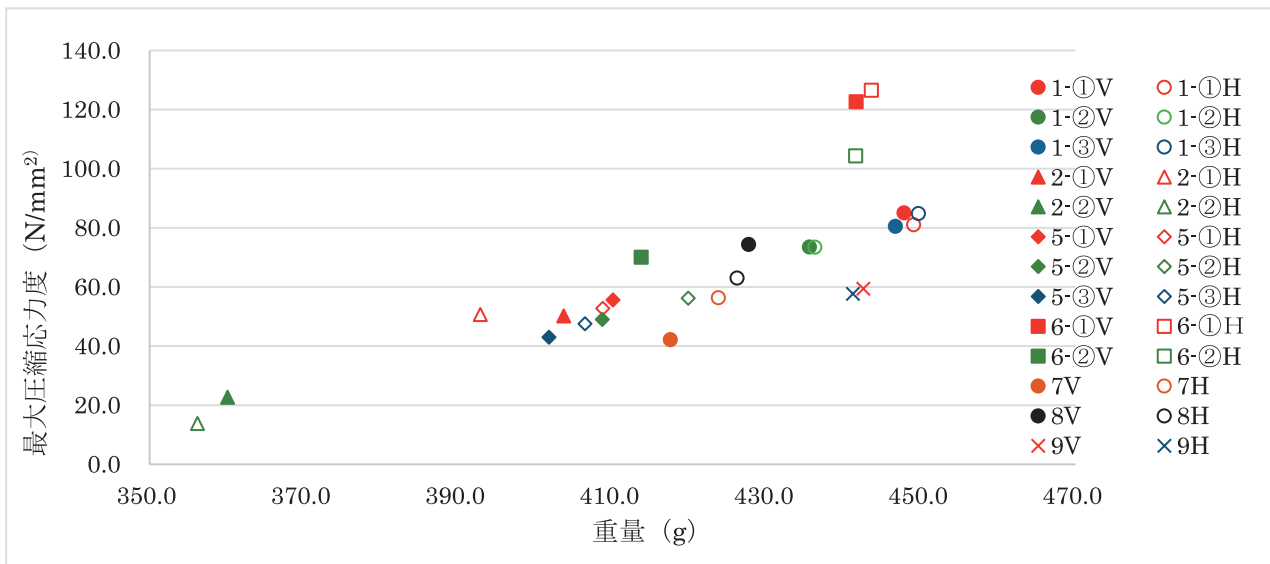


図5-1-15 石材の最大圧縮応力度と重量の関係

石材番号5の貫原採石場（Aso-1）の石材は、平成12年から平成13年の通水石管補修工事に使用したものであるが、最大圧縮応力度は比較的小さく、5-③の石材は「作業が困難である石、堅く粘り強い石、石山上段より採取」との石工の見立てであるが、粘り強さと最大圧縮応力度が対応しない場合があることが判明した。また、通潤橋の架設位置である五老ヶ滝川付近の河床部（石材番号1）と既設通水管の石材（石材番号8）の最大圧縮応力度の平均値は79.7（N/mm²）と68.7（N/mm²）で非常に高い強度特性を有した。

【図5-1-15】と【図5-1-16】には、石材の最大圧縮応力度と重量の関係および石材の最大圧縮応力度とヤング率の関係を示した。石材の最大圧縮応力度と石材重量およびヤング率と多少の相関関係があるが、ヤング率の方が堆積方向（V）と堆積層方向（H）によっても大きなバラツキがあり、最大圧縮応力度も通常と逆な結果となっていることがわかる。今後、さらに壊れ方など含めて詳細に検討し、この原因も検討する必要がある。以上より、概して最大圧縮応力度が大きい石材は、重量があり、高い剛性（ヤング率）を持つ石材ともいえる。

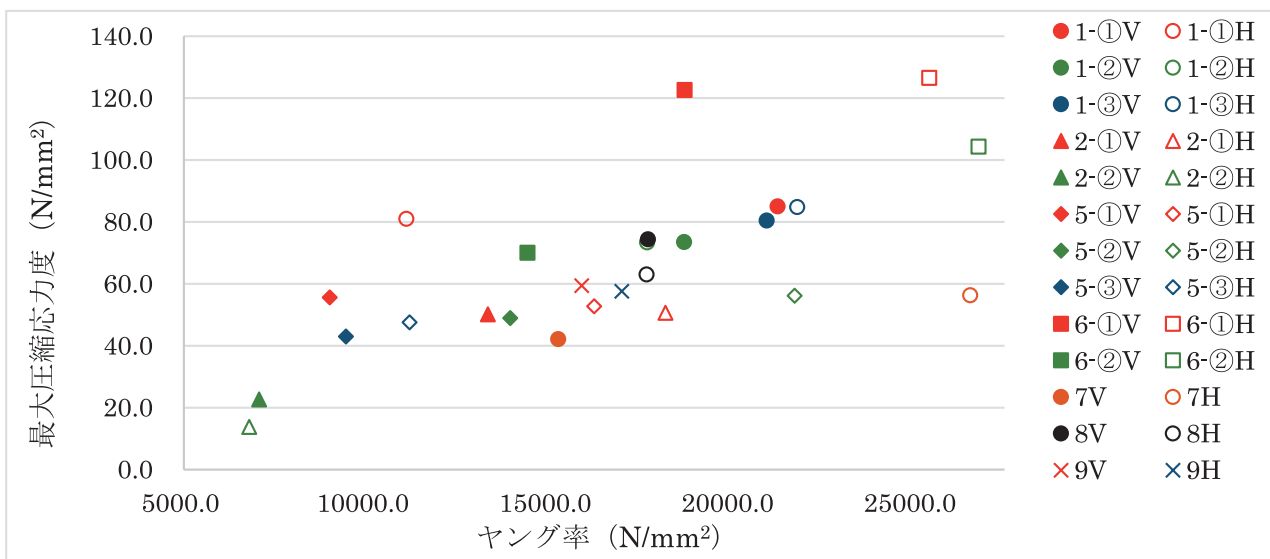


図5-1-16 石材の最大圧縮強度とヤング率の関係

(6) 使用石材の吸水率と圧縮強度

①試験の目的と試験体

通水石管をはじめとするオリジナルの石材は、通潤橋現地周辺の五老ヶ滝川一帯の河床において採取された阿蘇溶結凝灰岩のうち、学術的に「Aso-1」に区分されるものであり、公共事業では同種の石材は入手が不可能である。また、統一規格に基づく各種試験のデータはこれまでになく、文化財保存の観点から将来の保存修理に備え詳細な試験データが必要である。吸水率試験は、これまで3回に亘る大規模修理工事においても未実施であり、常に湿潤状態にある通水管が厳寒期において凍結融解による劣化をする状況を踏まえ、通潤橋の保護に必要な不可欠なデータを得るための試験とし、今後の通潤橋の通水石管の保存修理工事に活用するための基礎資料を得るために行なった実施報告書（山尾敏孝・2020）があるのでこれを参照した。

使用した岩石材は御船町大字上野で採取したもので、吸水率試験と圧縮強度試験を実施した。また、オリジナル採取地と思われる五老ヶ滝川一帯の河床付近で採取したものは含水率試験のみ実施した。使用した供試体は、御船町大字上野で採取した石材は2種類あり、それぞれ試料A、試料Bとし、五老ヶ滝川一帯の河床付近で採取したものを試料Cとした。各試料とも堆積方向（V）と堆積層方向（H）に各3本ずつ計6本の試験体を製作した。圧縮試験は（5）で用いた方法と同様であるので、次に吸水率試験の概要を述べるが詳細については実施報告書を参照されたい。

②吸水率試験

吸水率試験は日本工業規格JIS 5003（1995）の規格に基づいて実施した。石材試験体の質量は、乾燥時の質量（g）と、試験体を浸水させて、 $20\text{℃} \pm 3\text{K}$ $\{20 \pm 3\text{℃}\}$ で多湿の恒温室内に置き、48時間後の質量の差を計算して、吸水率を求めた。なお、試験体3個の平均値をもって表した。なお、圧縮強度は（5）で示した方法と同様に算出した。

$$\text{吸水率（\%）} = \frac{\text{吸水後の質量（g）} - \text{乾燥時の質量（g）}}{\text{乾燥時の質量（g）}} \times 100$$

③通水石管石材の試験結果と考察

【表5-1-5】と【表5-1-6】は、試料Aと試料Bの各6本の試験体の形状寸法の測定結果、重量、密度、吸水率、最大荷重と圧縮強度をまとめたものである。【表5-1-7】は、試料A、試料B及び試料Cの吸水量や含水率等の堆積方向Vと堆積層方向Hの3本の平均値をまとめて示した。

御船町大字上野で採取した石材の密度は同じ $2.3 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ あり、ほぼ標準的な値である。また、含水率の測定結果によれば、試料Aと試料Bの堆積方向（V）は4.35（%）と4.39（%）であり、堆積層方向（H）は4.54（%）と4.43（%）となったことより、両方の試料とも堆積方向よりも堆積層方向の吸水率が大きくなったことがわかる。しかしながら、その差は小さく、両者ともほぼ同程度の吸水率であることが分かった。一方、通潤橋の傍で、今までも石橋の石材として用いられてきたオリジナル採取地の石材試料Cは、試料Aと試料Bに比べると吸水率の平均値は多少小さく、3.92（%）であった。

【表5-1-5】と【表5-1-6】の結果によれば、最大圧縮強度（3本の平均値）は、試料Aと試料Bの堆積方向では $66.9 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ と $71.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ で、これに対して、堆積層方向では $70.9 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ と $74.3 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となり、両方の試料とも堆積層方向の方が堆積方向より大きくなった。また、試料Bの方が試料Aよりも平均値で大きな圧縮強度となった。なお、両方の試料について言えることは、同じ堆積方向の試験体あるいは堆積層方向の試験体において最小値と最大値の差が $10.0 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度の大きなバラツキがあることがわかった。

表5-1-5 試料Aの寸法諸元と実験結果

試料A		d (cm)	H (cm)	A (cm ²)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm ²)
V	1	4.95	10.01	19.24	446.9	2.3	4.17	149300	77.6
	2	4.95	10.02	19.24	444.9	2.3	4.56	129300	67.2
	3	4.95	10.01	19.24	445.6	2.3	4.33	107600	55.9
平均		4.95	10.01	19.24	445.8	2.3	4.35	128730	66.9
H	4	4.95	10.03	19.24	446.0	2.3	4.72	132700	69.0
	5	4.95	10.02	19.24	448.5	2.3	4.42	141300	73.4
	6	4.95	10.02	19.24	447.0	2.3	4.49	135100	70.2
平均値		4.95	10.02	19.24	447.1	2.3	4.54	136370	70.9

表5-1-6 試料Bの寸法諸元と実験結果

試料B		d (cm)	H (cm)	A (cm ²)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm ²)
V	1	4.95	10.02	19.24	444.4	2.3	4.47	128100	66.6
	2	4.95	10.01	19.24	444.4	2.3	4.34	134000	69.7
	3	4.95	10.03	19.24	447.0	2.3	4.37	149500	77.7
平均		4.95	10.02	19.24	445.3	2.3	4.39	137200	71.3
H	4	4.95	10.02	19.24	447.0	2.3	4.51	152500	79.3
	5	4.95	10.02	19.24	447.8	2.3	4.38	132700	69.0
	6	4.95	10.03	19.24	447.5	2.3	4.41	143500	74.6
平均値		4.95	10.02	19.24	447.4	2.3	4.43	142900	74.3

表5-1-7 試料A、試料B及び試料Cの吸水率の試験結果

		乾燥重量 (g)	吸水重量 (g)	吸水量 (g)	吸水率 (%)
V	試料A	427.2	445.8	18.6	4.35
	試料B	426.5	445.3	18.7	4.39
	試料C	464.9	483.1	18.2	3.92
H	試料A	427.7	447.2	19.4	4.54
	試料B	428.4	447.4	19.0	4.43

これは試料に含まれる異質岩片や黒曜石のガラス質のレンズの量や大きさにより変化が生じたと思われる。これについては、次に述べるように圧縮後の試験体の破壊状況からも推察できた。

最後に、今回の試験体結果を既往の試験（山尾敏孝・2014）で得られた石材の圧縮強度の平均値と重量の関係にプロット（○(H)、●(V)）して示したものが【図5-1-17】である。なお、既往の試験では乾燥後の試験体を用いての圧縮強度である。御船町の石材試験体の乾燥重量は平均値で446（g）程度であることから、オリジナル採取地の石材の同様な乾燥重量を有する強度と比較すると10%程度小さくなっており、吸水率の差が影響したと考えられる。つまり、溶結凝灰岩は溶結の仕方が強度に影響し、吸水率が大きい石材は内部に空隙が多いことを示しているため強度も小さくなったと思われる。なお、既往の石材試験で堆積方向と堆積層方向の圧縮強度も逆な結果となっている石材があり、今回の試験結果が特別でないことがわかる。