

空石積み護岸の力学的挙動に関する研究

日本大学 学生会員 ○竹田 知樹
 日本大学 正会員 関 文夫
 甘楽町 振興課 松井 均
 甘楽町 振興課 田中 睦宏

1. はじめに

群馬県甘楽郡甘楽町には、江戸時代初めに武家屋敷の防火・生活用水の為に構築された小堰とよばれる空石積み護岸をもつ水路網が現存する。空石積み護岸は、小堰総延長 6.1km のうち 2.4km の区間に現存する。しかし、一部石積みが崩れており修復が必要な箇所がある。本研究では空石積みの力学的性状と耐荷力を耐荷重実験により明らかにし、その結果を基にして崩れた箇所の修復作業を行った。以下結果を報告する。

2. 小堰護岸石積み技術の特徴

護岸に用いられている石積みは、その積み方から穴太衆積みの特徴が見られる。根石を置き、積み石は前面を鉛直にしな

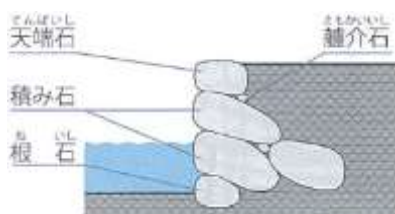


図-1 小堰断面図

がら胴下げを行い、合端は2番でかます。石と石の間には樋介石を挟み、隙間には粘土が詰められている。この胴下げという積み方は、土砂側に石を斜めに積む方法で、地震が来て水平に揺られても、石が飛び出さない構造となっている(図-1)¹⁾。

3. 石積み耐荷重実験

(1) 空石積み供試体

上州福島の宅地造成地(小堰建設時に止水用の「かね」を採取した粘土質地盤)に深さ 0.4m、幅 1m、長さ 2m の溝を掘削し、小堰空石積み護岸を模した空石積み供試体を製作した(図-2)。この空石積み供試体は小堰で実際に使われていた石を使用し、石の積み方は森泉の研究²⁾を基にした。



図-2 空石積み供試体

(2) 実験に使用する石の諸元

供試体に使用した石の諸元を以下に示す(表-1)。

表-1 石の諸元

番号	種類	重量(N)	胴囲(mm)	外寸(mm)		
				長さ	幅	高さ
27	天端石	178.36	640	340	250	140
30		268.52	710	490	300	100
32		145.04	580	380	250	150
23	積み石	317.52	790	530	350	140
20		327.32	800	460	370	110
36	根石	107.8	830	390	200	110
6		60.76	850	400	140	70

(3) 摩擦係数実験

ロードセルを組み込んだジャッキで供試体の石を正面から水平に押し込んだ(図-3)。石の水平変位は架台に固定した変位計を石の正面から当て、計測した。記録には、データロガーを用い、リアルタイムで計測値を記録した。



図-3 実験装置

(4) 載荷実験

架台に固定した変位計で石の水平変位を、ロードセルで荷重を計測した(図-4、図-5)。実験は①～③の3種類を行った(表-2)。

表-2 載荷実験荷重

実験番号	荷重の種類	接地圧(kg/cm ²)
①	人	0.429
②	軽トラック後輪	0.574
	軽トラック 前輪	0.857
	軽トラック後輪+人	1.31
③	ダンプトラック前輪	3.77



図-4 載荷実験①



図-5 載荷実験②

4. 実験結果

(1) 摩擦係数実験

積み石(32番)の水平荷重 - 水平変位の関係を示したグラフを(図-6)に示す。このグラフから、水平荷重が 0.9kN を越えたあたりで傾きが変化していることが読み取れる。これは、水平荷重が石の最大静

キーワード 空石積み、穴太衆積み、摩擦係数実験、耐荷重実験、力学的挙動

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-4-18 TEL 03-3259-0666

止摩擦力を超え、摩擦力が静止摩擦力から動摩擦力に切り替わったものと考えられる。静止摩擦係数は、ばらつきがあるものの

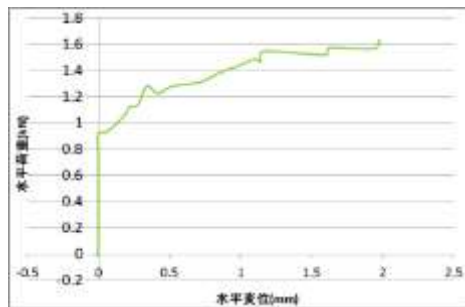


図-6 水平荷重 - 水平変位グラフ

高い値を示した(表-3)。これは水平荷重を受けた石が周囲の石と噛み合い、水平荷重に抵抗した為であると考えられる。この中でも積み石の中央は 2.98 という値を示した。これは長さ 530 mmの石を長手方向に胴下げ積みしていることが影響していると考えられる。

表-3 最大摩擦係数・摩擦係数

石番号	石の種類	垂直抗力(N)	最大静止摩擦力(N)	静止摩擦係数	動摩擦係数
23	積み石	541	1.20	2.22	2.31
32		307	0.913	2.98	0.44
27	天端石	178	0.366	2.05	0.06
30		269	0.366	1.37	0.12
36	根石	531	1.25	2.35	0.53
6		544	0.980	1.80	0.31

(2) 載荷実験

地盤内の応力は接地圧に正比例する³⁾が、実験①～②と実験③の積み石の水平変位を比較すると、正比例の関係では無い事が分かる(図-7)。

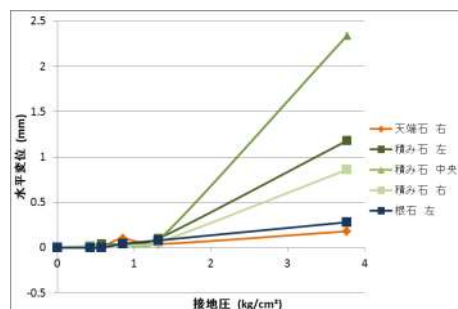


図-7 水平変位-接地圧グラフ

これは、実験②で上載荷重による地盤内水平応力が最大静止摩擦力を下回っていたものが実験③では上回った為と考えられる。実験③では積み石の変位が大きかったが、中でも載荷点に一番近い中央の積み石が 2.4 mm変位した。これに対し天端石は 0.2 mm, 根石は 0.3 mmしか変位しなかった。これより、積み石は上載荷重による地盤内応力が石に伝わる為に動く、根石は地面との摩擦の為に動かない、天端石は上載荷重による地盤内応力が伝わらない為、動かないと考えられる。今回の実験の荷重レベルでは、空石積み供試体は崩壊には至らなかった。これは合端を 2 番で噛ませている為、石が多少変位しても再度別の位置で石同士が噛み合ったと考えられる。

5. 石積み研修

(1) 実施概要

まず、実験で明らかとなった点を基に作成した空石積みの資料を用いて勉強会を行った。次に、小堰で実際に使われていた石を用いて仮組試験を行い、実際に石を積んで空石積み技術を理解する。以上の研修の後、空石積み護岸崩壊箇所の修復作業を行った。

(2) 仮組試験

空石積み技法の注意点に留意して、3人1組で仮組作業を行った。人により石の顔を揃える事にばらつきがあったが、長さ 1m 高さ 0.5m



図-8 仮組した空石積み

の空石積みを 2 時間で製作することが出来た(図-8)。

(3) 空石積み崩壊箇所の修復

まず、崩壊している箇所の石、背面の止水用粘土を取り除いた上で空石積みを再構築した。仮組試験と異なる点は、石の間に止水用粘土を詰めながら石を積み、



図-9 修復が完了した空石積み

背面土砂を締め固めながら埋め戻した事である。2mの区間を修復するのに 4 人で 3 時間かかった(図-9)。

6. まとめ

本研究の実験により、空石積み技術が力学的に有用なものであることが確認された。さらに、この実験結果を踏まえて空石積み護岸崩壊箇所を修復したことで、耐久力のある空石積みを崩壊箇所に築くことが出来た。今後は不連続変形法(DDA)を用いて石の挙動を解析し、空石積み技法をより詳細に分析することが期待される。

参考文献

- 1) 織田宗家ゆかりの歴史的水路雄川堰ガイドブック
- 2) 関, 森泉論: 甘楽町の空石積み護岸の特徴とその再現に関する研究, pp.24-49, 2012
- 3) 大成・五洋・フジタ 第二名神高速道路甲南トンネル上り線工事共同企業体: 甲南トンネル明かり部に係る伝統工法「穴太衆積み」の検討 実験結果報告書, pp.13-20, 2003