石積み擁壁の道路構造物への適用に関する研究（2）
～　石積み（穴太衆積み）の耐力評価実験について　～

大成建設（株）土木設計部　正会員　○池谷　清次
日本道路公団　関西支社　梁川　俊晃
大成建設（株）土木設計部　正会員　関　文夫
大成・五洋・フジタ共同企業体　正会員　内田　渉
（有）粟田建設　粟田　純司

1. はじめに

本実験は、空積み構造である石積み（穴太衆積み）を道路構造物として採用するにあたり、石積みが有する耐力及び耐震性を評価するための一過程として、壁高3.5m（根入れ深さ0.5m）の石積みによる実物大モデル実験を行ったものである。なお、比較評価を行うために、練り積み構造であるコンクリートブロック積みについても同様の実験を行った。この実験により、石積みが道路構造物として十分な耐力性能を有していることを確認するとともに、石積みの力学的メカニズムを解明していく上で貴重なデータを得ることができた。

2. 実験概要

本実験では実物大の供試体に対し、その天端面上に設置した載荷装置による載荷を行い、変位計を用いて各載荷重における供試体の変位量の計測を行った。

図-1～図-3は、本実験に用いた供試体と計測機器設置位置の概要である。壁高3.5m、天端部延長8.5mの「石積み」及び「コンクリートブロック積み」による各供試体を、目地を介して横並びに設置した。載荷装置は、縦2m×横2mの載荷板（鋼製）を有し、隅部にジャッキ4台を設置している。各ジャッキ下にはロードセルを設置し、変位計と土圧計は図-2及び図-3に示す位置に設置し、自動計測を行った。表-1に、本実験に使用した計測機器をまとめる。

表-1. 計測用機器一覧表

計測項目	計測機器名	仕様	台数
変位量	変位計	CDP-100	9
載荷重	ロードセル	KCM-1MNA	4
土圧	土圧計	KDC-1MPA	2
		KDG-1MPA	4

3. 実験結果

コンクリートブロック積みは裏込めコンクリートにより剛体の版を形成している壁体であるのに対し、石積みは個々の石の組合わせにより形成される半剛体の壁体である。本実験では、構造形態の全く異なる2つの供試体を対象としているため、得られた結果も異なった性格を示すものとなった。

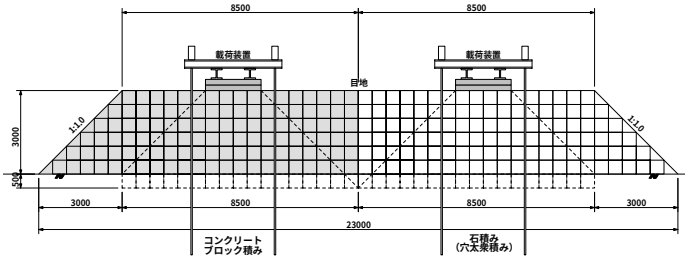

図-1. 供試体全体正面図

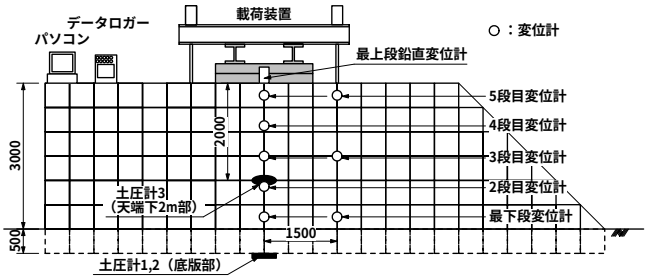

図-2. 変位計・土圧計設置位置正面図

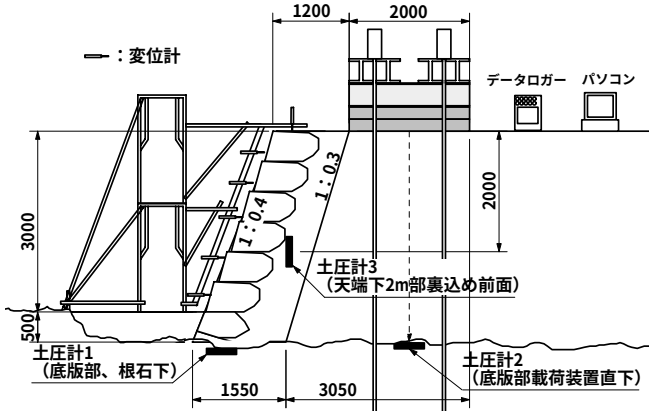

図-3. 変位計・土圧計設置位置断面図

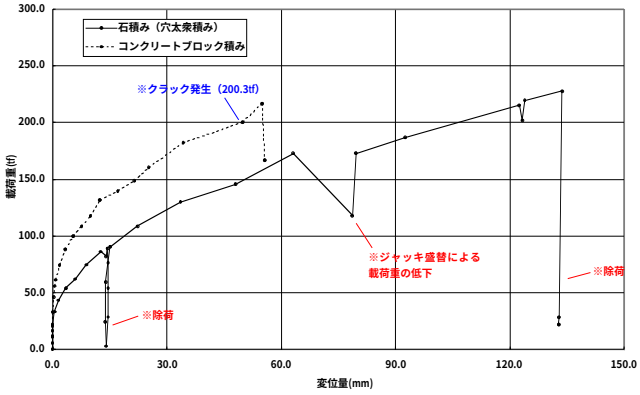

図-4.3段目位置における載荷重と変位量の関係

キーワード：石積み擁壁、空積み、穴太衆積み、耐力評価実験、変位量
連絡先　：〒163-0606　東京都新宿区西新宿1-25-1　大成建設（株）土木設計部　TEL03-5381-5423

図-4は、各供試体に対する載荷重と、載荷装置中心線上の変位計のうち3段目の変位量との関係を示したグラフである。この位置は最大変位量を生じており、同じ載荷重に対する変位量は、コンクリートブロック積みに比べ石積みは約2.4倍の値を示している。

(1) 設計荷重レベルでの評価

図-5,6は、実験における各載荷重に対する3段目位置での載荷重に対する理論上の水平土圧と変位量との関係を示したグラフである。理論上の水平土圧を求めるにあたり使用した、供試体の裏込め土の土質常数と各供試体3段目位置の天端からの深さを、表-2にまとめる。これに対し、常時における設計値により求められる3段目位置での設計水平土圧を、砂質土と粘性土との場合に分けてグラフ中に併記した。それぞれの土質に対する、常時における設計値と得られた設計水平土圧を、表-3にまとめる。

表-2. 供試体の裏込め土の土質常数と3段目位置の天端からの深さ

単位体積重量	粘着力	内部摩擦角	天端からの深さ：H(m)	
γ (tf/m3)	C(tf/m2)	φ(°)	石積み（穴太衆積み）	コンクリートブロック積み
1.9	2.3	33	1.328	1.448

表-3. 常時の設計値と設計水平土圧

石積み（穴太衆積み）	単位体積重量 γ (tf/m3)	粘着力 C(tf/m2)	内部摩擦角 φ(°)	土圧係数 KA	天端からの深さ Z(m)	上載荷重 q(tf/m2)	設計水平土圧 ph(tf/m2)
砂質土	1.9	0	30	0.193	1.328	1.000	1.128
粘性土	1.9	0	25	0.256	1.328	1.000	1.497

コンクリートブロック積み	単位体積重量 γ (tf/m3)	粘着力 C(tf/m2)	内部摩擦角 φ(°)	土圧係数 KA	天端からの深さ Z(m)	上載荷重 q(tf/m2)	設計水平土圧 ph(tf/m2)
砂質土	1.9	0	30	0.193	1.448	1.000	1.172
粘性土	1.9	0	25	0.256	1.448	1.000	1.556

設計水平土圧に対する変位量は、コンクリートブロック積みでは砂質土・粘性土共に0.1mm、石積み（穴太衆積み）では砂質土で0.5mm、粘性土で0.9mmである。コンクリートブロック積みと比較すると石積み（穴太衆積み）の変位量は5～9倍大きな値となるが、共に設計荷重レベルでは極めて微少な変位量である。

(2) 終局荷重レベルでの評価

図-7、図-8は各供試体の変位量を図化したものである。剛体であるコンクリートブロック積みは版として土圧に抵抗するが、200.3tf(50.1tf/m2)の載荷時に構造体にクラックを発生し構造破壊を起こした。これに対し半剛体である石積み（穴太衆積み）は、それ以上の載荷重を与えても、変形を続けるものの構造体を維持したままであり、最大載荷重256.0tf(64tf/m2)においても破壊状態を確認するには至らなかった。設計荷重に対する終局荷重の耐荷力の比率は、コンクリートブロック積みはクラック発生時として、砂質土で11.4、粘性土で8.6であるのに対し、石積み（穴太衆積み）は実験における最大載荷重時で、砂質土で15.4、粘性土で11.6となり、最終的には更に大きな値となることが予想される。石積み（穴太衆積み）は変位量が大きいものの、コンクリートブロック積みと比較した場合、終局荷重レベルでの耐荷力はコンクリートブロック積み以上の評価が出来ると言える。

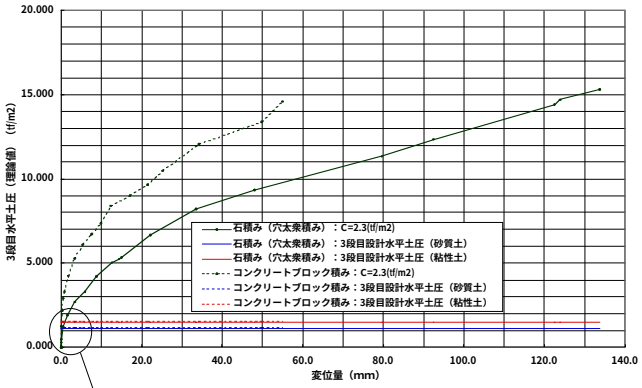

図-5. 水平土圧と変位量の関係及び設計水平土圧

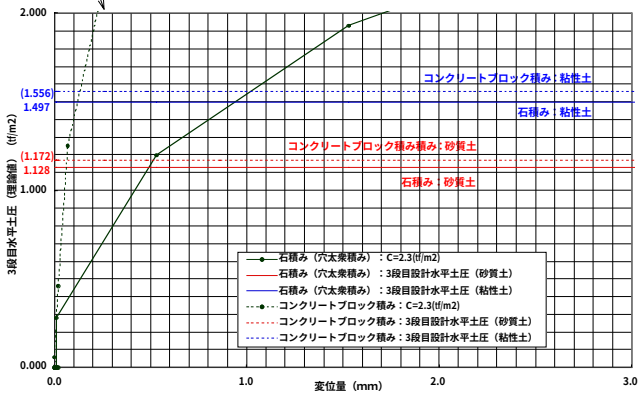

図-6. 水平土圧と変位量の関係及び設計水平土圧（原点付近拡大）

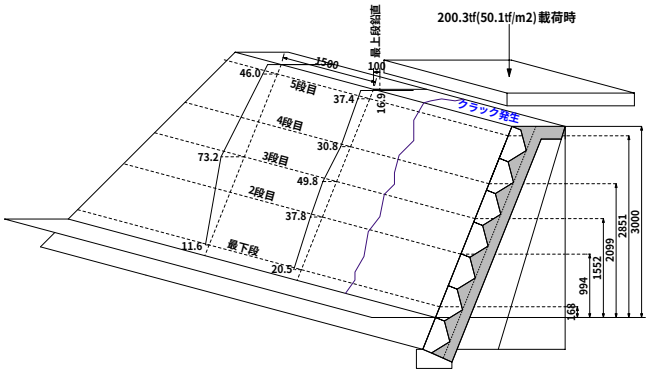

図-7. コンクリートブロック積み変形状態
（クラック発生時載荷重：200.3tf）

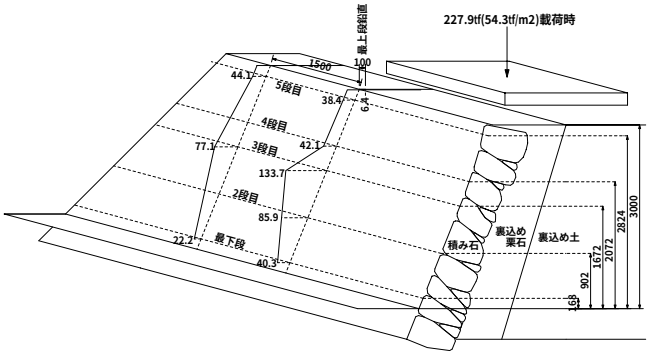

図-8. 石積み（穴太衆積み）最終変形状態
（変位計測可能範囲内最大載荷重：227.9tf）

4. おわりに

本実験により、空積みである石積み（穴太衆積み）の高い耐力性能を確認したと共に、貴重なデータを得ることが出来た。今後、得られたデータをもとに、モデル化・解析結果を検証し、終局荷重及び破壊形態の確認と地震時の検討を行うことで、石積みの標準設計指針の確立を目指していきたい。