

モルタル製セグメントで構成したアーチ橋の模型実験と解析

熊本大学 学生会員○池内 康洋 熊本大学 正会員 崎元 達郎
熊本大学 正会員 渡辺 浩 熊本大学 学生会員 岡崎 邦広

1. まえがき

近年、現存する石造アーチ橋が長年の風化、劣化の影響を受けていることや、河川側からの要請による移築保存などが、社会的な問題となっている。そのため、解析法により構造物の健全度評価を行うことが必要とされている。過去の研究^{1) 2)}において、モルタル製セグメントによるアーチ橋の挙動について実験とその解析の比較がなされたが本実験では、セグメントのサイズを変えて実験と解析をすることで、サイズの変化に対する適応性を検討してみた。解析法として、剛体バネ要素法³⁾(RBSM)を使用し、石と石の重心間にバネを導入することにより、個々の石材の挙動を表した。なお、実験では、実際に石橋に使用されている自然石の入手と加工が自在ではないため制作が容易で均質性のあるモルタルブロックを用いる事とし、解析では、過去の研究におけるモルタルの材料実験をもととした材料定数を用いた。

2. モルタルブロックによる実験

実験において、平らな表面のもの(平滑面)と、お互いの接触面を実際の石橋に近づける為に表面をのみではつったもの(人工粗面)の二種類について試験を行い比較検討した。

モルタルブロックの平均寸法を図-1に示す。図-2に示すセグメント数9個のアーチの模型を作成し図-4に示すような装置により載荷した。載荷は0~14 tonまでブロックの状態を確認しながら徐々に載荷していき、これを数回繰り返しおこなった。その際、図-3に示すように3点の求心方向の面内変位を変位計で測定し、軸力方向のひずみをひずみゲージで測定した。

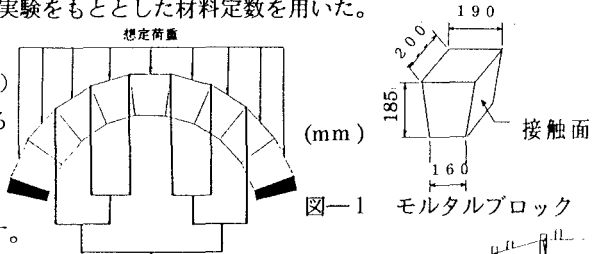


図-1 モルタルブロック

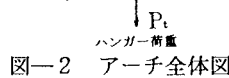


図-2 アーチ全体図

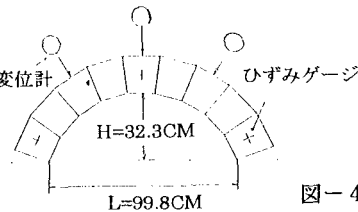


図-3 アーチ寸法と測定点

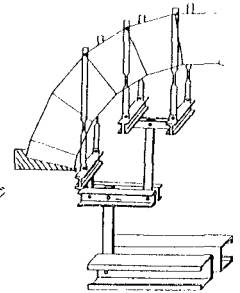


図-4 模型載荷実験模式図

3. バネ係数の決定

図-5に示すように3種類の試験を行い、この時の角柱圧縮試験のヤング係数を E 、平滑面、人工粗面の変形係数(ヤング係数)を E' とする。これより、平滑面、人工粗面の接触部垂直バネ係数は $k'_n = E \cdot E' / \{ (E - E') L \}$ (E : 角柱のヤング係数、 E' : 人工粗面の変形係数、 L : 人工粗面圧縮試験の測定長: 約18cm)となる。さらに重心間の垂直バネ係数は $K_n = 1 / \{ (L_c / E) + (1 / k'_n) \}$ となる。単位は $E(\text{kgf/cm}^2)$, $K_n, k'_n(\text{kgf/cm}^2/\text{cm})$ である。これらの値とせん断試験から求めたせん断バネ係数 K_s の値を表し、2に示す。

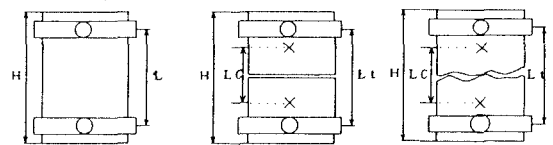


図-5 供試体図

表-1 角柱単調載荷圧縮試験

E	k_n
201000	12200

表-2 繰り返し載荷圧縮, せん断試験

	E'	k'_n	K_n	K_s
平滑面	68500	7630	5920	1420
粗面	39000	3220	3220	830

* 応力範囲(平滑面: 0~50 kgf/cm², 粗面: 0~60 kgf/cm²)で3回繰り返し変動がなくなった応力-ひずみ曲線から求める。^{1) 2)}

4. RBSMによる挙動解析

表-3 解析ケースの係数値(kgf/cm)

模型載荷試験と同様なモデルでRBSMにより挙動解析をおこなった。境界条件は両端を水平、鉛直方向に拘束し、両端固定アーチと仮定した。材料定数は、見かけの単位面積

	K_N	K_S
平滑面	2190400	525400
粗面	1050800	307100

当たりのバネ係数として $\text{kgf/cm}^2/\text{cm}$ を単位として求められている。今回は断面が20CM角（過去の研究¹⁾²⁾では10CM角）を使用しているので、見かけの接触面積倍したものをを用いた。ここで、RBSMにおいては要素間のバネは軸力方向とせん断方向各一本ずつだから、石材の接触面積を $A(=370\text{cm}^2)$ とすると、バネ定数は $K_N = k_n \cdot A$ 、 $K_S = k_s \cdot A$ となる。解析に用いた係数値は、表-3に示した。

3. 載荷試験と解析の結果の比較

載荷した時のアーチ求心方向の変位を模型載荷試験によるデータとRBSM挙動解析により求めた値で比較してみた。今回表-1に示したように平滑面、粗面2つのケースについて解析をおこなった。実際の試験値と解析値の比較は、表-3、表-4に示した。まず、平滑面（表-4）については、解析値は実験値に比べかなり小さい値が得られた。接触面は、平滑といえども接触度をあげるための修正は困難であったため、実験で用いたブロックの接触度は材料試験の時の接触度よりも少なかったと考えられる。このことから、バネ係数が実際の値よりも大きかったと推測できる。接触面積が少なくなったことで圧縮応力が大きくなり局部的にひずみの大きいくでるところが生じ変位の増大につながったとも考えられる。粗面（表-5）についても同様の見解からすれば、ブロックどうしが実際に咬み合った断面はブロック断面を増加させてもそれに正比例して増加するとは言えないようである。表-6にL/2点の荷重-たわみ曲線（粗面）を示した。このことを明確にするためにはこの実験で用いた断面と同スケールの共試体を用いて材料実験をする必要がある。

表-4 平滑面における変位の比較 ($P_t = 14\text{t}$)

	L/4	L/2	3L/4
実験	-0.615	-0.665	-0.349
解析	-0.075 (12.1%)	-0.094 (14.1%)	-0.078 (22.3%)

表-5 粗面における変位の比較 ($P_t = 14\text{t}$)

	L/4	L/2	3L/4
実験	-0.701	-0.678	-0.429
解析	-0.166 (23.7%)	-0.208 (30.7%)	-0.144 (33.6%)

* () 内は実験に対する比率

* 単位は mm

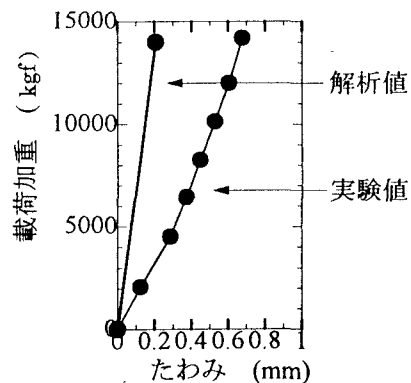


表-6 L/2点の荷重-たわみ曲線
(粗面)

参考文献 1) 潮崎宏治：石造アーチの安定と応力及び力学定数に関する実験、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1996.3 2) 持田拓児：石材の材料定数と石造アーチの挙動解析、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 1、1996.9 3) 川井忠夫・竹内則雄：離散化極限解析プログラミング、培風館、1990