

鹿児島県湧水町に新設した煉瓦アーチ橋の構造特性

湧水町都市計画課

駒走健一

大福コンサルタント(株) 正会員

○阿久根芳徳

鹿児島大学工学部

正会員

木村至伸

鹿児島大学工学部

正会員

山口明伸

鹿児島大学名誉教授

正会員

吉原 進

1. はじめに

鹿児島県の中央北部に位置する湧水町では、町を縦断する鉄道（肥薩線）に近代化産業遺産群に選定された 14 基もの煉瓦アーチ暗渠や煉瓦で被覆されたトンネル（明治 36 年建造）が今でも供用されている¹⁾²⁾。湧水町では、平成 17 年度から駅や丸池を中心として、循環型社会を目指したまちづくり事業に着手し、近代化産業遺産である煉瓦アーチ構造物をまちづくりの中核として位置づけ、リサイクル煉瓦によるアーチ構造を駅前道路の橋梁形式に採用した。ところが、煉瓦アーチ構造のような拘束離散体構造物については、その安全性に関する基準がないことから、同規模の煉瓦アーチ橋を丸池地区の公園の一角に建設し、実橋載荷試験を行い、併せて三次元のシミュレーション解析により安全性の検証を行った。一連の検証は、学識経験者からなる「煉瓦アーチ橋技術検討会」³⁾において、安全性の検証方法等について検討を行った。ここでは、煉瓦アーチ構造物に関する載荷試験とシミュレーション解析の結果について紹介し、今後の同種煉瓦アーチ橋建造の参考とされたい。

2. 煉瓦アーチ橋の諸元

煉瓦アーチ橋の規模については、地形的条件や道路条件等から表 2.1 に示すとおりとした。下部工形式については、施工性ならびに基礎工形式よりコンクリート重力式橋台を採用した。また、基礎工形式については、丸池地区橋梁では支持層が比較的浅く、載荷試験を行うため、鋼管杭を採用し、駅前道路橋梁では、支持層は深いものの橋台底面が砂礫層であったことから木杭を採用した。

表2.1 煉瓦アーチ橋の諸元

項 目	駅前道路橋梁	丸池地区橋梁
橋 長	10.000m	7.860m
径 間 割	1径間	1径間
径 間 長	5.000m	5.000m
有 効 幅 員	11.000m	5.000m
上部工形式	練積み煉瓦アーチ	練積み煉瓦アーチ
下部工形式	重力式橋台	重力式橋台
基礎工形式	杭基礎(木杭)	杭基礎(鋼管杭)
活 荷 重	TL-25t	TL-25t

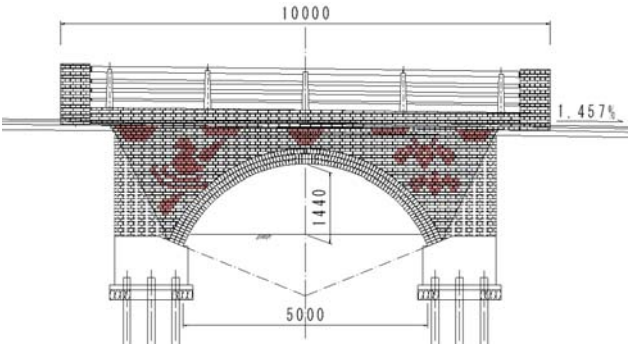


図 2.1 駅前道路煉瓦アーチ橋側面図

3. 載荷試験

載荷試験は煉瓦アーチ構造（中詰なしの状態）の上部 2 点に所定の荷重を与え、安定の状態を確認するとともに、要所に取りつけた変位計や歪みゲージにより、載荷時の変位や応力歪みのデータを取得した。載荷試験の結果は三次元個別要素法によるシミュレーション解析に反映させ、当該構造体の安全性の評価を行うこととした。また事前に使用するリサイクル煉瓦の材料特性を調べるため、強度試験を行った。表 3.2 に強度試験の試験結果を示す。圧縮強度、弾性係数共にバラツキの多い結果となっている。

キーワード リサイクル煉瓦，アーチ構造，載荷試験，シミュレーション解析
連 絡 先 〒890-0068 鹿児島市東郡元町 17 番 15 号 大福コンサルタント(株) TEL 099-251-7075

載荷試験は1層積と3層積の2種類と幅1.0m,2.5m,5.0mの3種類を組み合わせて行った。載荷試験のケースと結果はシミュレーション解析結果と合わせて表4.1に示す。ケースA-11では47.4kNの荷重で座屈破壊を生じた。載荷荷重が小さいためリサイクル煉瓦自体の強度に問題が発生する状況になく、目地材の付着強度が荷重に耐えられず破壊に至ったものと考えられる。ケースA-31では設計荷重の250kNを載荷した際に、リサイクル煉瓦の圧縮強度28N/mm²に対し、最大圧縮応力が3.82N/mm²と極めて小さな値を示した。本装置の最大荷重に近い950kNを載荷した際には最大圧縮応力が20.84N/mm²と圧縮強度の75%程度を示し、破壊直前にあったことが推察される。ケースA-35では設計荷重の250kNを繰り返し載荷させた結果、最大圧縮応力は1.07N/mm²と極めて小さい結果が得られた。いずれのケースにおいても、リサイクル煉瓦による煉瓦アーチ構造が極めて高い耐荷性を有しており、安全性に問題はないことがわかった。

4. シミュレーション解析

載荷試験の結果を踏まえ、個別要素法解析システム(UDEC/3DEC)によりシミュレーション解析を行った。解析に用いた物性値は、リサイクル煉瓦の材料試験結果や載荷試験との整合性より求められた数値を用いた。また、構造モデルではリサイクル煉瓦を弾性体として扱い、基礎は固定条件で解析を行った。解析は3層積アーチ構造について、幅を変化させて載荷試験結果との整合性及び応力変化や変位の状況を確認した。解析結果をみると、アーチ幅が広くなるに従って破壊荷重は大きくなる傾向にあり、その関係は図4.1に示すような結果となっている。3ケース共に最大変位は6.0～6.2mm、最大圧縮応力は2.5～3.3N/mm²であり、幅による大きな変化はみられない。これは、単位幅(約1.0m)で受ける最大の荷重がほぼ一定であるため、最大圧縮応力や最大変位に大きな変化がなかったものと考えられる。最大圧縮応力については、材料試験で得られたリサイクル煉瓦の最小の圧縮強度28N/mm²に対し極めて小さい値を示しており、シミュレーション解析からも煉瓦アーチ構造が極めて高い耐荷性を有していることを裏付ける結果が得られた。

5. おわりに

載荷試験及びシミュレーション解析を通してリサイクル煉瓦を使用したアーチ構造の極めて高い耐荷性能を検証することができた。これらのリサイクル煉瓦アーチ構造の載荷試験や解析の結果が今後の同種の構造物建設の参考となり、各地で循環型社会形成の取り組みが実施されることを期待したい。

参考文献及び注記

1)土木史研究 vol24「鹿児島県下に残る煉瓦アーチ暗渠を通してみる技術論」、2)土木史研究 vol26「歴史的土木遺産を核にした新しい街づくりの試み」、3)「煉瓦アーチ橋技術検討会」平成21年の各委員；吉原進(鹿児島大学名誉教授),彦坂熙(九州大学名誉教授),山口明伸(鹿児島大学准教授),木村至伸(鹿児島大学助教),植村芳彦(元(株)長大),井上省平(鹿児島県),米満重満(湧水町),玉越隆史(アドバイザー 国土交通省)

表3.2 リサイクル煉瓦強度試験結果

項目	単位	気乾状態	湿潤状態
圧縮強度(最大)	N/mm ²	63.29	92.48
圧縮強度(最小)	N/mm ²	28.25	64.10
圧縮強度(平均)	N/mm ²	48.72	77.91
弾性係数(最大)	kN/mm ²	38.17	42.49
弾性係数(最小)	kN/mm ²	17.99	21.72
弾性係数(平均)	kN/mm ²	26.83	28.90

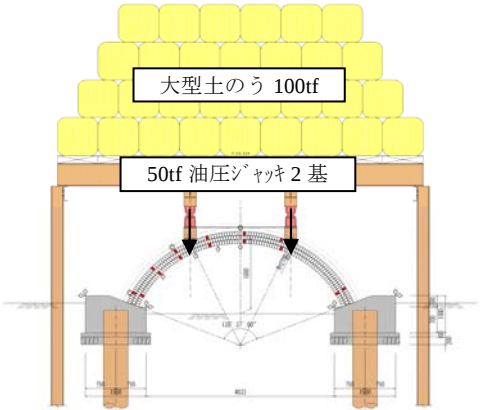


図 3.1 載荷試験装置図

表4.1 載荷試験・シミュレーション解析結果一覧

試験・解析ケース		単位	A-11	A-31	A-32.5	A-35
	層数	層	1	3	3	3
	幅	m	1.08	1.08	2.60	5.42
		列	5列	5列	12列	25列
	煉瓦使用数	個	490	1535	3838	7675
試験結果	最大荷重	kN	48	950	-	500
	最大変位	mm	0.24	2.10	-	0.33
	最大圧縮応力	N/mm ²	1.37	20.84	-	2.86
解析結果	破壊・非破壊		破壊	非破壊	-	非破壊
	破壊荷重	kN	-	1000	2350	5100
	最大変位	mm	-	5.99	6.16	6.15
	最大圧縮応力	N/mm ²	-	3.32	2.49	2.47
	破壊・非破壊		-	破壊	破壊	破壊

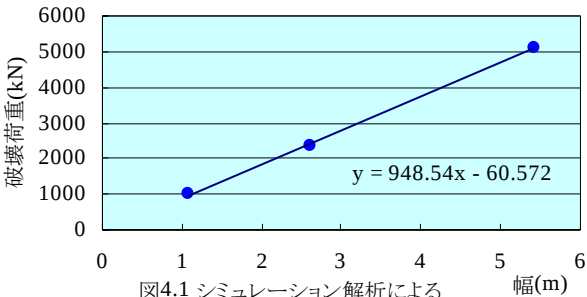


図4.1 シミュレーション解析による煉瓦アーチの幅と破壊荷重の関係