

5 土木材料としての復権の可能性

～煉瓦造りのアーチ式車道橋～



阿久根 芳徳
AKUNE Yoshinori

大福コンサルタント株式会社
取締役 / 技術部長

煉瓦造りの土木構造物が建設されなくなって久しいが、ここでは現代における煉瓦アーチ車道橋の建設事例を紹介する。現行の基準では安全性の評価が困難であるという課題を、どのように克服して「古くて新しい橋」を建設していったのだろうか。

湧水と近代化産業遺産の町

平成17年3月に鹿児島県姶良郡吉松町と栗野町が合併して誕生した湧水町は県の中央北端にあり、宮崎



図1 鹿児島県湧水町の位置

県えびの市との県境に位置している（図1）。東の栗野岳や国見岳を擁する霧島連峰と北西の矢岳山脈に挟まれ、火山灰土壌（シラス）に覆われた盆地を形成している。山の麓には年中絶えることなく冷水が湧き出る竹中池や、国の名水百選にも選ばれている丸池湧水（写真1）などがあり、水道水や灌漑用水として利用されている。

町を縦断するJR肥薩線には、近代化産業遺産群に選定された14基の煉瓦造りのアーチ暗渠やトンネルが今でも使われている¹⁾²⁾。これらの煉瓦構造物は何れも鉄道の開通に合わせ、明治36～42年にかけて建造されたものである。なかでもJR栗野駅前にある丸池湧水暗渠（写真2）は2連で丸池からの湧水流下を担い、機関車の重量にも耐えうる4層積みの構造になっており、大変美しく貴重なものである。



写真1 丸池湧水



写真2 丸池湧水暗渠

表1 煉瓦アーチ橋の諸元

項目	駅前道路橋梁（車道橋）	丸池地区橋梁（人道橋）
橋長	10.00m	7.86m
径間割	1径間	1径間
径間長	5.0m	5.0m
有効幅員	11.0m	5.0m
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

循環型社会の実現に向けた取り組み

国では、美しく良好な環境を保全するため、建設リサイクル等の推進に取り組んでいる。鹿児島県内では九州南部一帯に分布する火砕流堆積物のシラスやゴミ焼却灰熔融スラグ、碎石廃泥を材料の一部としたりサイクル煉瓦を製造し、これを舗装材料や壁材等の土木・建築工事に活用して、循環型社会の形成や地球温暖化対策に向けた取り組みを行ってきた。

湧水町でも、人口減少や少子高齢化が進むなかで、合併直後から町の活性化を図るため、まちづくり事業に着手した。JR栗野駅や丸池湧水を中心に、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、湧水町を含む4市町のゴミ焼却施設から排出される焼却灰熔融スラグを使用した、町オリジナルの「湧水ごんの子（ゴミ由来の）レンガ」と称するリサイクル煉瓦を製造し、アーチ式車道橋や人道橋、駅前広場や歩道の舗装に活用して循環型社会の実現に向け積極的に取り組んだ。

煉瓦アーチ式車道橋の実現に向けて

煉瓦アーチ構造物は明治から昭和初期にかけて、全国の随所で建設されている。ところが、現行の技術基準である道路橋示方書等では、その構造が拘束離散体であることから、その安全性を評価することが出来なかった。しかしながら、石造アーチ橋の移設復元（鹿児島市甲突川5石橋）や国内外のアーチ橋の視察等を通して拘束離散体構造の耐荷性の高さを確信した。この構造特性を参考に、煉瓦造りのアーチ式車道橋建設実現に向けて、実橋での載荷試験並びにシミュレーション解析により安全性の検証⁴⁾を行うこととした。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」⁵⁾において、煉瓦アーチ構造物の特性や安全性の検証方法、試験結果、施工方法等について検討を重ねた。

煉瓦によるアーチ式車道橋と載荷試験を行ったアーチ式人道橋の規模については、地形的条件や道路条

件等から表1に示すとおりとした。基礎工形式については、地盤の支持力を確認した上で、アーチ式人道橋では支持層が比較的浅く、載荷試験を行うことから鋼管杭を採用し、駅前のアーチ式車道橋では、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伝統的な工法でもある木杭を採用した。

煉瓦アーチの載荷試験

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、要所に取り付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。載荷試験の装置図を図2に、実際の載荷試験装置の状況を写真3に、載荷試験の様子を写真4に示す。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2に強度試験の試験結果を示す。圧縮強度と弾性係数にバラツキの多い結果となっているが、これらはリサイクル煉瓦の製造過程における焼成温度等の微妙な違いによるものと考えられる。

載荷試験は1層積みと3層積みの2種類と、幅1.0m、2.5m、5.0mの3種類を組み合わせで行った。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3に示す。1層積みのケース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

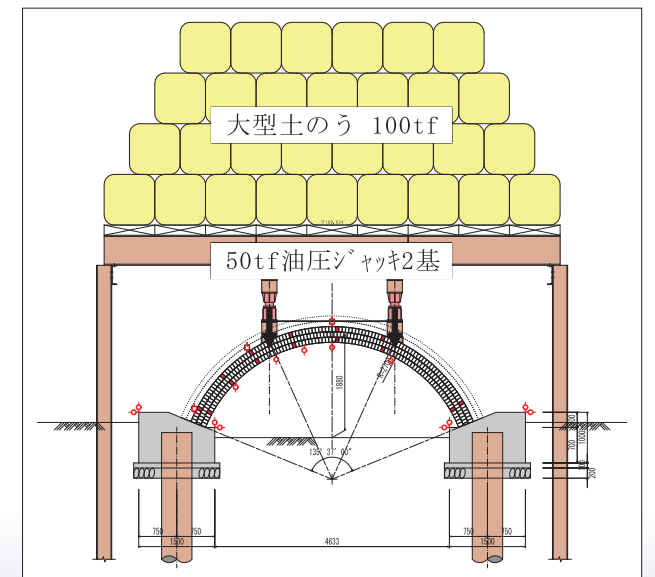


図2 載荷試験装置図



写真3 載荷試験装置の状況



写真4 載荷試験の様子

表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

表3 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	1,535	3,838	7,675
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
破壊・非破壊	—	破壊	非破壊	—	非破壊
破壊荷重	kN	—	1,000	2,350	5,100
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

えられる。3層積みのケース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。なお、当初計画段階では既存の煉瓦アーチ構造物の径間や層積み数を参考³⁾に、5層積みアーチを想定していたが、載荷試験の結果、

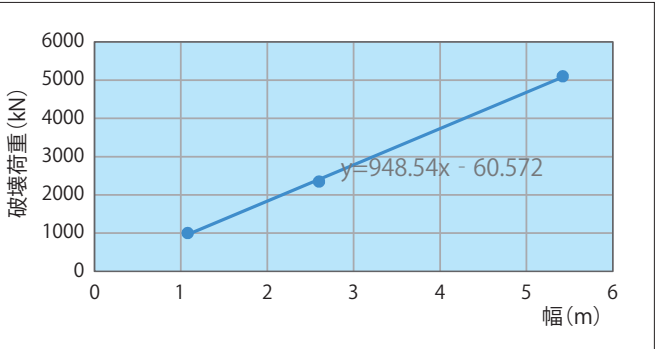


図3 シミュレーション解析による煉瓦アーチの幅と破壊荷重の関係

3層積みアーチで十分な耐荷性を有していることが明らかになったことから、煉瓦アーチ橋技術検討会に諮り、3層積みアーチを基本構造とすることとした。

シミュレーションによる安定性解析

載荷試験の結果を踏まえ、個別要素法解析システム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層積み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3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



写真5 丸池地区橋梁(人道橋)



写真6 駅前道路橋梁(車道橋)

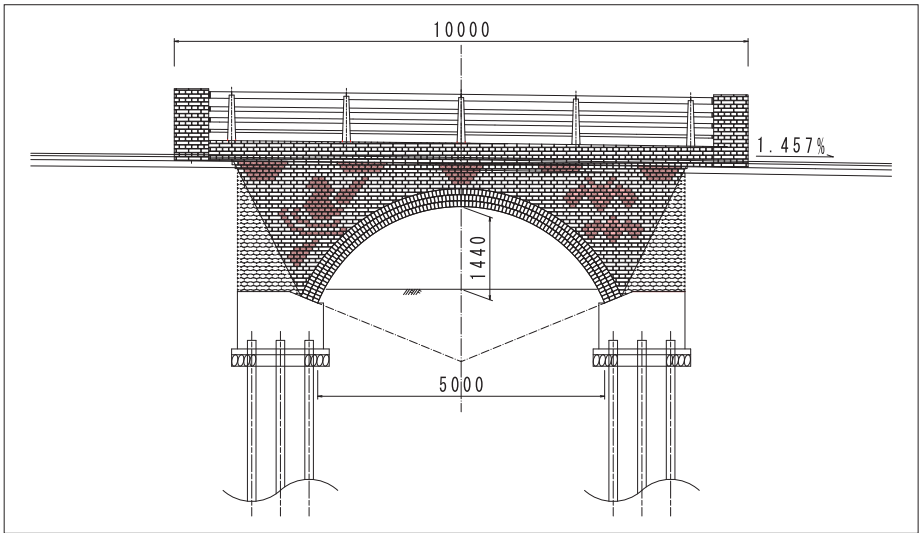


図4 駅前道路橋梁側面図

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。

煉瓦積み構造物の再来

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。載荷試験を行った煉瓦アーチは2008年、丸池湧水に橋長7.86m、幅員5.0m、径間長5.0mの人道橋として完成した(写真5)。また、載荷試験やシミュレーション解析の結果を踏まえ2011年JR栗野駅前に橋長10.0m、幅員11.0m、径間長5.0mの煉瓦アーチ車道橋が完成した(写真6)。これらの煉瓦アーチ橋に使用したリサイクル煉瓦には、今後の循環型社会の形成やまちづくりを担う1,000名超の学童の他、町内会有志が夢や希望を書き込んでいる。

今回、100年超の時間を経て、風水害や地震に耐え、今なお供用され続けている近代化産業遺産の煉瓦アーチ構造物をまちづくりの中核として位置付け、町の中心部に地域住民の夢が詰まった、古くて新しいリサイクル煉瓦造りのアーチ式車道橋の建設が実現した。忘れ去られた技術が今日の技術で甦り、100年後の未来へ引き継ぐ「近代化遺産」の建設となった。小さな町での取り組みが、今後の同種の構造物建設に繋がることを期待したい。

<参考文献>

- 1) 阿久根芳徳、福田博、吉原不二枝、中島一誠、吉原進「鹿児島県下に残る煉瓦アーチ暗渠を通してみる技術論」土木史研究 vol24 2004年
- 2) 中原和見、福吉康祐、駒走健一、阿久根芳徳、吉原不二枝、吉原進「歴史的土木遺産を核にした新しい街づくりの試み」土木史研究 vol26 2006年
- 3) 駒走健一、阿久根芳徳、浜崎洋、吉原進「リサイクル煉瓦によるアーチ橋の計画から完工まで」土木学会第66回年次学術講演会 V-604 2011年
- 4) 駒走健一、阿久根芳徳、木村至伸、山口明伸、吉原進「鹿児島県湧水町に新設した煉瓦アーチ橋の構造特性」土木学会第66回年次学術講演会 V-605 2011年
- 5) 「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)、彦坂照(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)