

リサイクル煉瓦によるアーチ橋建設の可能性

鹿児島大学工学部 〇吉原 進
鹿児島市役所 垂野大輔
鹿児島大学大学院 西村 亨

1. 研究の背景

・廃棄・排出物蔓延 分別の徹底により廃棄物のリサイクルが相当程度に促進されているが、埋設処分量も多く、その場所不足が心配される。例えば、下水汚泥がリサイクルされているのは6割程度で残りは埋設処分されている。処分場建設には反対の声が高く、計画が頓挫するケースも多い。

・資源枯渇 主要な建設資材である海砂の採取が全面的に禁止されたり、規制が強化される事例が増えている。有限な自然材に代る持続的な資源開発が急がれる。

・炭酸ガス排出 我々の持続性を担保するために、炭酸ガスの排出抑制が不可欠となった。今後の構造物はそれ自体が環境適応性に優れているものが求められる。既往の環境負荷をも低減させ得るなら申し分ない。

・既設橋梁の更新 これまでに建造した膨大な数の橋梁が架替えのピークを迎える。国交省は早急に、維持管理技術と長寿命構造物の開発に取り組むとしている。

環境問題が深刻化する前に、リサイクル資材による環境適応性の高い構造物建造の可能性を検討しておくことは持続社会構築にとって必要不可欠と考えた。

2. 普通煉瓦およびリサイクル煉瓦の強度

下水汚泥、ゴミ焼却灰(+添加物)やヘドロから製造された煉瓦の検査データから圧縮破壊強度を示す。

リサイクル固化物(煉瓦)の圧縮破壊強度

普通煉瓦4種(市販品)	> 300kg/cm ²	JISR1250
下水汚泥煉瓦A(自治体A)	4,015kg/cm ²	JISA5209
下水汚泥煉瓦B(自治体B)	865kg/cm ²	H9実績
ゴミ焼却灰溶融物(試行品)	7,827N/cm ²	JISA5003
ゴミ焼却灰粘土混合物	> 700kg/cm ²	(市販品)

注)下水汚泥煉瓦Aの結果は3資料の平均で、強度最小～最大は2,346～7,267kg/cm²である。ゴミ焼却灰溶融物の結果は8資料の平均で、含水比0.40～0.60、強度最小～最大は3,120～12,150N/cm²である。

これらのリサイクル煉瓦は、強度の点でコンクリートを凌駕しているが、コンクリートのように流動性がなく加工性が悪い。しかし約200万個の煉瓦からなる碓氷第三橋梁や約900万個の煉瓦からなる東京駅舎のように、これらリサイクル煉瓦は多様な大型構造物の主要資材となり得る。特に下水汚泥からの煉瓦製造には相当の実績があり、一人の排泄量から年間

2個の煉瓦が生産される。家畜の排泄物も含めれば、資材量は無尽蔵で供給は持続的とみることができる。

高炉スラグ、フライアッシュ、石炭燃え殻など固化できる廃棄物が多いが、強度は低下するようである。

3. 拘束離散体アーチの特徴

これまでに石や煉瓦によるアーチ橋の建設は数多く、現在も供用されている事例は多い。その機能寿命、物理寿命、感性寿命は驚くべき長さである。耐荷性、耐久性が高い理由は、アーチリングに作用する応力が小さいからである。甲突川五石橋として親しまれた西田橋の移設に伴う調査の際に得られた結果¹⁾は、

自重による最大応力	8kg/cm ²
20トン載荷時最大応力	3kg/cm ²
石材(溶結凝灰岩)の許容応力	100kg/cm ²

のように作用応力が石材許容応力より極端に小さい。

石や煉瓦のアーチ橋は耐震性に劣ると誤解される。

京阪神間鉄道の石・煉瓦構造の調査に際し兵庫県南部地震時にそれらが無害であったことや鹿児島県北西部地震の震源付近多数のアーチ石橋中1橋の軽い損傷が確認された。800gal超の直下地震にも耐えている²⁾。

関東大地震の際、東京市の道路橋675中の石橋144の内2橋の震害例が報告されている³⁾。また鎌倉圓覚寺石橋、千葉安房川尻橋の震害も報告されているが、いずれも壁石の崩壊に伴う路面損傷である。火害を受けた日本橋や堀端石積み崩壊した二重橋と同様、アーチリングの震害はない。また山手線連続煉瓦アーチ高架橋は現在もなお頻繁な列車走行を支えている。

水平拘束のない積上げ構造と異なりアーチなど拘束離散体構造は優れた耐震性を持つが、砂質地盤の大規模な液状化には別途周到な対策が必要である⁴⁾。

一方、アーチ石橋が洪水によりアーチ石抜け出しや洗掘など致命的損傷を受けた例は多い。アーチが水没するほどの高水位と流下物を含む高速泥流が拘束離散体構造の欠点を衝くのである。しかしアーチ橋が河川橋梁に適さないのではない。低い高水位、高い橋脚、開口壁石、洗掘防止の水切りや護床敷石などその欠陥を補う工夫に満ちた伝統技術に学べば建設できる。

キーワード 海砂採取規制、廃棄物蔓延、環境3R促進、リサイクル煉瓦、拘束離散体アーチ
連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40 鹿児島大学工学部 Tel. 099-285-8469

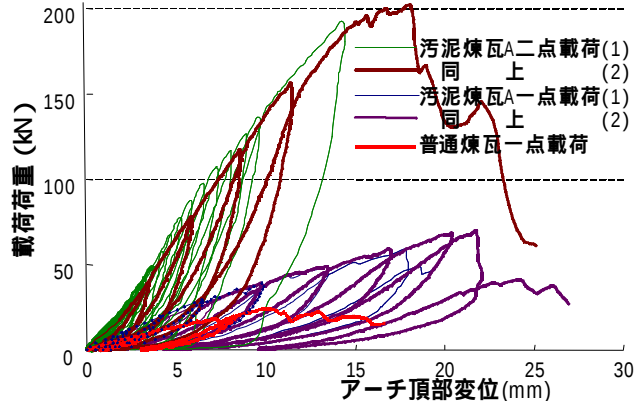
4. アーチ橋模型の耐荷能力

1) アーチ橋模型の概要

28 個の煉瓦小口を円弧支保工上に垂直に下端が直接接触するように立て、煉瓦の間に石膏水比 10:7 の水溶き石膏を流し込んでアーチリングを造った。そのスパンは 1,588 mm、ライズは 213 mm である。堅固に造られた支点間にこのリングを造り、アーチ頂点の一点およびアーチ 3 等分点付近の対称位置の二点に荷重を加え、繰り返し載荷実験を行った。

2) 載荷実験の結果

実験結果の内、荷重-変位曲線を一括して次に示す。



この結果から、破壊時荷重を次にまとめる。

汚泥煉瓦A二点載荷	201kN(2例の平均)
汚泥煉瓦A一点載荷	65kN(2例の平均)
普通煉瓦一点載荷	24kN(1例のみ)

一点載荷ではアーチの変形(対称)が生じやすく、小荷重レベルで煉瓦端部の応力集中が起り全体の破壊に至るが、二点載荷では変形が拘束されて応力集中が起りにくく破壊荷重は大きくなった。

実験供試材の圧縮破壊強度とヤング率(JIS1250)

下水汚泥煉瓦A	147.1N/mm ²	38.6kN/mm ²
普通煉瓦	54.8N/mm ²	18.4kN/mm ²
石膏固化物(10:7)	2.0N/mm ²	1.8kN/mm ²

別に行った材料試験の結果を参照すれば、普通煉瓦と汚泥煉瓦によるアーチリングの破壊荷重の比は、煉瓦の破壊強度の比にほぼ比例している。また目地材の石膏は煉瓦に比べ強度が極めて小さいが、目地が破壊してアーチリングの変形が急増することはない。煉瓦下端部の応力がリング全体の崩壊を支配している(煉瓦上下面のひずみゲージで得た破壊時平均応力は 80N/mm² で、煉瓦の破壊時応力の 1/2 程度であった)。

5. リサイクル煉瓦によるアーチ橋建設の方向性

小さな模型実験であるが、下水汚泥煉瓦によるアーチ橋建設の可能性は高いことが確認できた。現実のアーチ橋は、中詰めがアーチリングの変形を拘束し活荷重を分散させるので高次の大変形が起らない。この結果からアーチリングの幅や厚みが増える実橋の耐荷力

は、二点載荷の結果に幅倍数と厚み倍数を乗じて得られ、極めて大きな値となる。必要以上の耐荷力は、その余裕が耐久性を増大させ、また、低強度のリサイクル煉瓦でもアーチリングに使用できることを示す。

コンクリートや鋼材など強度、コスト面で近代化の要請に応えうる合理的な材料開発が進み、柔軟にして堅固な石積み、煉瓦積み構造を見捨てた。他方、甲突川五石橋なるアーチ石橋の解体に際して詳細な調査を行いアーチ石橋のメカニズムを解明し、復元を通してその建造上のノウハウに習熟した¹⁾。そしてアーチ石橋の建設可能性を論じた⁵⁾。しかしアーチ石橋用石材採掘が新しい環境負荷となるので、その建造は特別な場合に限定して、膨大な数の既設橋梁の更新や新設は、環境負荷を削減できるリサイクル煉瓦によるべきである。一旦見捨てた技術の評価しなおし、その上に物理的、化学的安全性評価法を確立しなければならない。

煉瓦製造に要するエネルギーや経費は新しい負荷であるが、これらは処分すべき廃棄物を資材に変え、長寿命・低コスト構造物建造によって環境 3R が促進されていずれは還元される。廃棄物の構造物化(橋梁、トンネル、ドーム、擁壁、堤体など)は埋設量削減と自然資源削減に貢献できるし、高炉スラグ固化物の構造物材化は削減困難な大気中 CO₂ 吸収に貢献できる。このような環境適応性の高い構造物建造は、環境問題解決の一つの糸口となる。

6. 結語

環境問題が深刻になった今日もなお合理性、経済性を拠に高級材(環境高負荷材)を多用して、寿命が数十年のリサイクルしにくいものを造っていてよいわけがない。低品位の地元材やリサイクル材を使って長寿命で、リサイクルし易い構造物を現実のものとするには、廃棄物を処分すべきものと考えたり、高い理想を描くだけではなく、発想の転換と着実な積み重ねが必要である。先端技術は古い技術から生まれることもある。

前田建設工業(株)および前迫石材(株)から資材提供および供試体研磨で協力を得た。ここに記して謝辞とする。

参考文献

- 1) 鹿児島県および鹿児島市刊行の工事報告の他に、土木史研究(土木学会)No.16からNo.21に20数編の関係論文がある。
- 2) 小野田滋の土木史研究No.20および吉原進の学内報告書。
- 3) 大正12年関東大地震震害調査報告(第3巻)、土木学会。
- 4) 西田橋は液化化対策として広大なRC床版上に復元された。
- 5) 吉原進、阿久根芳徳「甲突川五石橋の復元を通してみたアーチ石橋建設の可能性」、土木学会平成13年度全国大会研究討論会資料「平成に石造アーチ橋は甦るか!」。