

論文 レンガアーチ高架橋の耐震性能に関する一考察

岩田道敏*1・松田芳範*2・八巻一幸*3・山内俊幸*4

要旨：明治から大正にかけて造られたレンガアーチ高架橋からレンガブロックを採取し、載荷試験を行った結果を2次元弾塑性解析で再現することによりレンガのブロックとしての物性を確認した。また、その物性値を用いて同年代に造られ、その後鉄筋コンクリートで内巻補強されたレンガアーチ高架橋について、汎用有限要素法プログラムを用いて一方向載荷による2次元弾塑性解析を行い、崩壊過程の検証を行った。その結果、破壊過程としては、橋脚中央部の内巻鉄筋コンクリートの曲げひび割れ貫通後、レンガ部にも曲げひび割れが進行して破壊に至ることがわかった。

キーワード:レンガアーチ高架橋、レンガ・鉄筋コンクリート複合構造、弾塑性解析

1. はじめに

レンガアーチ高架橋は、明治から大正、昭和初期にかけて数多く造られ、現在も供用されているものもある。しかし、当時の耐震設計法の考え方が明らかではなく、レンガのブロックとしての材料特性も明確でなかったこともあり、どの程度の耐震性を有するか検討した例がほとんどないのが現状である。また、供用されているレンガアーチ高架橋も、変状や目地切れ対策として、内側にコンクリートを巻き立てる等の補強を行っていることが多いが、このようなレンガとコンクリートの複合構造のアーチ高架橋の耐震性能を検討した例は見あたらない。

今回、昨年まで実際に供用されていたレンガアーチ高架橋からレンガブロックを採取し、各種試験を行い、レンガのブロックとしての材料特性を得ることができた。[1] そこで、その結果を用いて鉄筋コンクリートで内巻補強されたレンガアーチ高架橋の耐震性能把握の前段階として、レンガと破壊過程の検討を行ったので以下に報告する。

2. レンガブロックの材料特性と解析への適用性

2. 1 材料特性の仮定と検討方法

レンガ構造物は、レンガ本体とそれを繋ぐ目地材とからなり、フランス積、イギリス積等に代表されるようにある一定の秩序をもって構成されている。レンガ構造物は厳密に言えば、レンガ本体と目地材とからなる複合構造物といえる。しかし、上述の試験[1]において、構造物全体をマクロ的に見た場合その異方性は認められず、方向性を持たない均質な材料として取り扱うことができるといふ結果が得られている。この仮定に基づき、

表-1 レンガ物性値[1]

圧縮強度	343.9 (kgf/cm ²)
引張強度	18.5 (kgf/cm ²)
弾性係数	1.55E4 (kgf/cm ²)
ポアソン比	0.17

*1 東日本旅客鉄道(株)千葉支社施設課 課員、工修 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター 主席 (正会員)

*3 東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター 担当課長 (正会員)

*4 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室 係長 (正会員)

試験結果から得られた物性値を用いて、レンガブロックの曲げ試験について2次元弾塑性解析を行い、実際の試験結果と比較することにより、解析への適用性の検討を行った。解析に用いたレンガブロックの物性値を表-1に、解析モデルを図-1に示す。

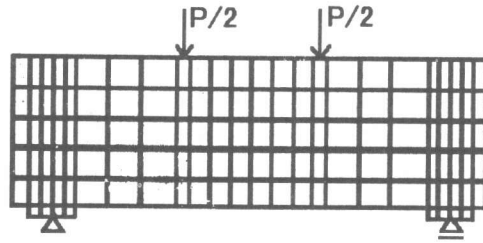


図-1 解析モデル

解析には汎用有限要素法解析プログラムを使用した。また、要素は2次元ソリッド要素（平面応力要素）、材料モデルはコンクリート等の圧縮強度に比べ比較的引張強度の低い材質に適した弾塑性(concrete)モデルを用いた。[2][3] 解析は、載荷点の荷重を徐々に上昇させ引張り側にひび割れが発生し、耐力が低下するまで行った。なお、解析上、最大耐力に達した時点を破壊とし、供試体試験の破壊荷重との比較を行うこととした。

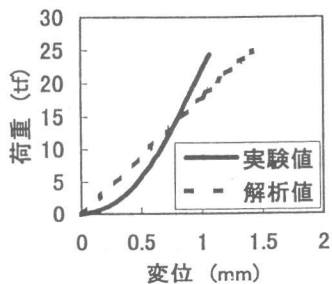
2.2 検討結果

レンガブロック供試体の諸元を表-2に、試験および解析の荷重-変位関係を図-2にそれぞれ示す。なお、変位は供試体下端中央部のものを用いた。

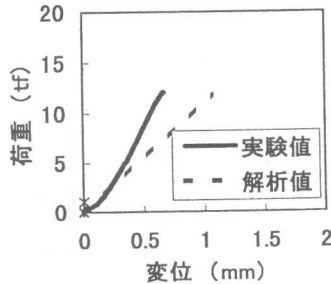
表-2 供試体諸元

	縦 (cm)	横 (cm)	長さ (cm)	スパン (cm)
No. 1	35.5	38.0	65.0	45.0
No. 2	40.0	36.5	124.0	103.0
No. 3	33.0	30.0	97.0	60.0

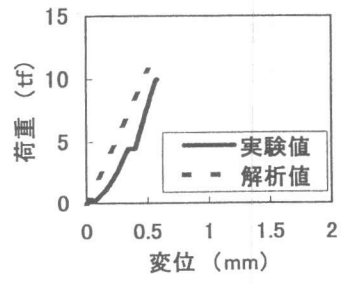
図-2に示すように、多少のばらつきはあるものの、表-1の弾性係数値を用いた解析結果は実験値とおおむね一致している。また、最大荷重はどの場合も解析値は実験値とほぼ一致している。以上より、レンガブロックを異方性のない部材と考えると、以下の解析においては、レンガの物性値は表1に示した値を用いることとした。



供試体 No.1



供試体 No.2



供試体 No.3

図-2 荷重変位関係

表-3 材料物性値

	レンガ	コンクリート	鉄筋
圧縮強度	343.9 (kgf/cm ²)	240.0 (kgf/cm ²)	---
引張強度	18.5 (kgf/cm ²)	19.0 (kgf/cm ²)	---
弾性係数	1.55E4 (kgf/cm ²)	2.50E5 (kgf/cm ²)	2.10E6 (kgf/cm ²)
ポアソン比	0.17	0.2	---
降伏強度	---	---	2400.0 (kgf/cm ²)

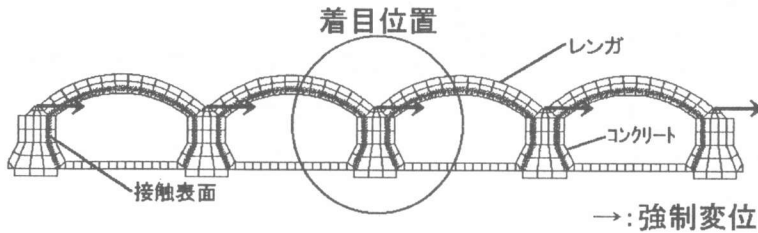


図-3 レンガアーチ高架橋解析モデル

3. 静的弾塑性解析による耐震性能の検討

3.1 解析方法

レンガアーチ高架橋は、多いものでは10数スパンにもわたり連続して造られている。その間、5スパン程度に1箇所柱幅が太くなっているものや、また、端部の柱は架道橋の橋台を兼ねているものも多い。このような端部の柱は、柱幅も一般の柱より相当大きくなっており、水平力の負担も大きいと考えられる。しかし、今回の解析におけるモデル化では、この部分は柱幅も広く破壊することが考えにくく、また、レンガとコンクリートの複合構造である補強レンガアーチ高架橋の一般的な破壊過程を検証する目的から、一般部に着目し解析を行うこととした。

解析を行った高架橋は、スパン(柱センター間隔)9.36m、レンガ柱幅1.31m、レンガアーチ厚0.8mのレンガアーチ高架橋であり、内側に0.4m厚の内巻鉄筋コンクリートで補強されている。内巻鉄筋コンクリートの鉄筋は、主筋Φ16-etc-150、帯筋Φ13-1m当り1.667組みピッチ0.6mである。解析に用いた物性値を表-3に、解析モデルを図-3にそれぞれ示す。なお、境界条件は下端固定とした。

解析にあたり、レンガおよびコンクリートには2次元ソリッド要素(部材厚:単位幅)を、鉄筋にはトラス要素を用いた。材料モデルは、レンガおよびコンクリートは2. で用いたコンクリート等の圧縮強度に比べて引張強度が比較的小さい材料に適した弾塑性(concrete)モデルを、鉄筋にはバイリニア弾塑性モデルを用いた。各部材の接合条件としては、コンクリートと鉄筋は各節点で剛結とし、コンクリートとレンガは地震時には付着が切れることを想定し、摩擦のない2次元接触表面[2]とした。2次元接触表面とは、相互の部材間で圧縮力のみを伝達し、引張力および摩擦力は伝達しないものであり、変形も接触している(圧縮)場合は干渉しあうが、非接触(引張)の場合は互いに干渉しないとするものである。

載荷は、橋脚の頂部に強制変位を与えることにより行い、変位ピッチは構造系の破壊過程を検

証することを考えて 0.01cm 以下で解析を行った。また、上載荷重は等分布荷重としてレンガアーチ上部に載荷した。なお、実際の地震時においては正負の繰り返し荷重を受けるが、今回は一方向載荷により解析を行った。そのため、実際に地震を受けた時の破壊過程とは異なることも考えられるが、レンガと鉄筋コンクリートの複合構造としての挙動、破壊のメカニズムは把握できるものと考えた。

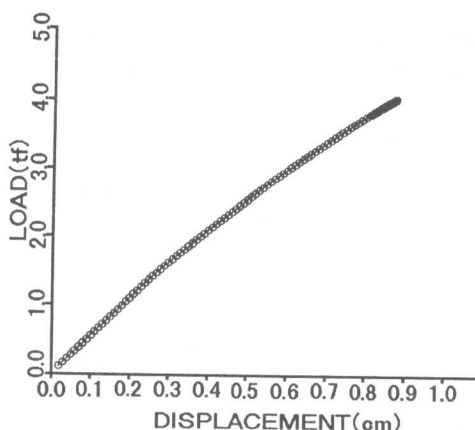


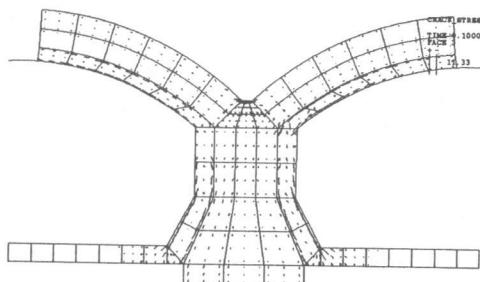
図-4 荷重変位曲線

3. 2 解析結果

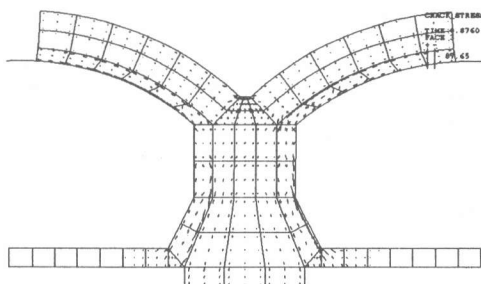
図-4 に中央橋脚頂部の P- δ 曲線を、図-5 に着目位置である中央橋脚の主応力図をそれぞれ示す。なお、図-4 における荷重は、強制変位位置の反力の合計を、変位は強制変位載荷位置での水平変位をそれぞれ示している。

図-4 に示すように、水平変位が 0.3cm 程度まではほぼ直線的に推移し、その後、徐々に勾配が緩やかになり、最大水平変位が 0.86cm で最大荷重に達し以降急激に耐力が減少し崩壊に至った。

また、応力分担は、図-5 に示すようにコンクリートにひびわれが発生するまでは曲げ引張りはコンクリート部で大きく負担しているが、ひびわれ発生後は引張の負担が分散している。

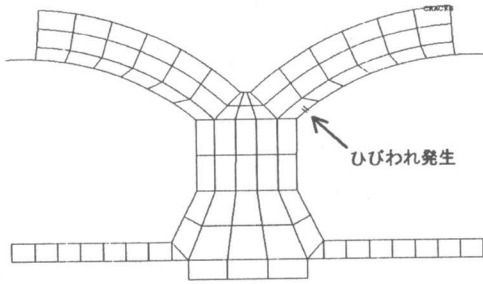


ひびわれ発生前

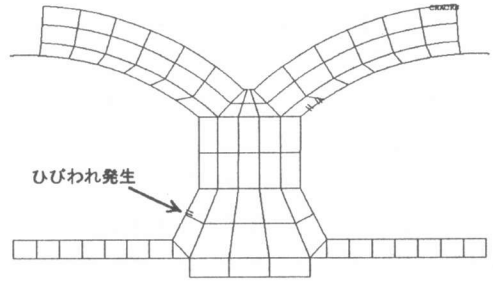


破壊直前

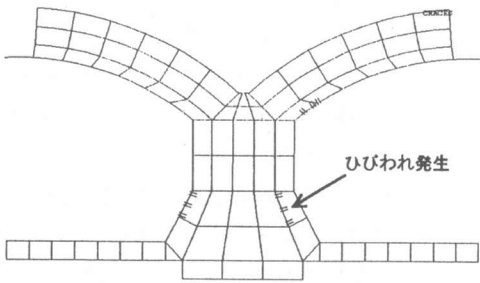
図-5 主応力図



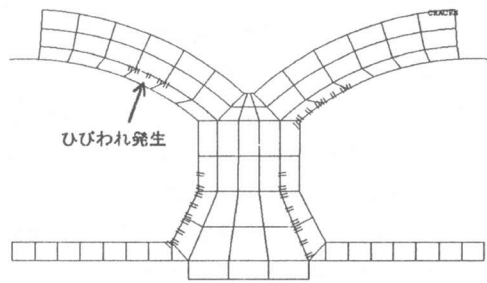
橋脚頭部水平変位 0.22(cm)



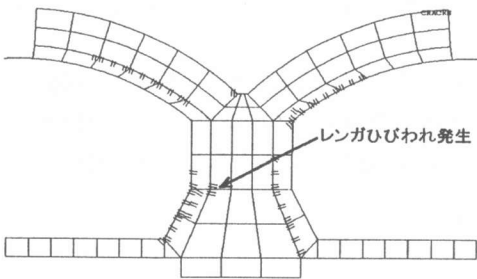
橋脚頭部水平変位 0.24(cm)



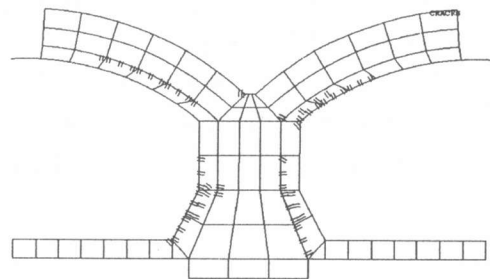
橋脚頭部水平変位 0.25(cm)



橋脚頭部水平変位 0.50(cm)



橋脚頭部水平変位 0.80(cm)



終局直前

図-6 ひびわれ過程

3. 3 破壊形態

破壊過程を図-6に示す。解析の結果、ひび割れはまず始めに橋脚頭部水平変位 0.22cm で変位方向前面（図右側）の内巻コンクリートアーチ付け根部内側に発生し、次に、橋脚頭部水平変位 0.24cm で変位方向背面（図左側）の内巻コンクリートの橋脚下部内側に発生する。そして、橋脚頭部水平変位 0.25cm で、変位方向前面（図右側）の内巻コンクリート橋脚下部外側にそれぞれ発生した。その後、ひびわれは徐々に広がっていき、橋脚頭部の水平変位 0.50cm で変位方向背面（図左側）の内巻コンクリートアーチクラウン部付近外側にひびわれが発生した。コンクリートのひびわれは、その後範囲および深さを徐々に増していき、橋脚頭部水平変位 0.80cm で、変位方向背面（図左側）の橋脚中央部および、変位方向前面（図右側）のアーチ部付け根付近のコンクリートのひびわれがほぼ貫通した。また、変位方向背面（図左側）のレンガの橋脚付け中央部にひびわれが発生した。アーチ部付け根のレンガにもひび割れが発生し、ひびわれは徐々に進行し崩壊に至った。ひびわれの発生状況からもわかるように、曲げに対してはコンクリートの負担割合が大きく、コンクリート部材が曲げ降伏した後徐々にレンガに負担割合が増加していくようである。

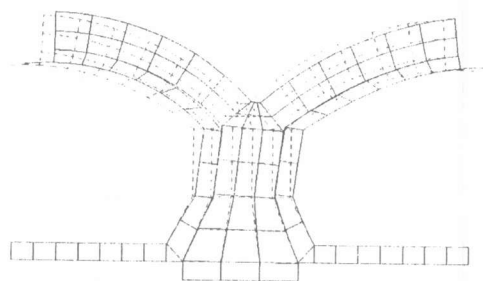


図-7 変形図

また、変形図を図-7に示す。変形がすすむと図-7に示すように载荷方向背面（図左側）アーチ部付け根や、载荷方向前面（図右側）橋脚中央部では、コンクリートとレンガの剥離がみられ、この部分では図-6に示されているように、レンガとの接触面側のコンクリート面にひびわれが発生している。

4. まとめ

本検討を整理すると、以下の通りとなる。

- (1)レンガブロックはマクロ的に見た場合、異方性のない均質な材料として扱って検討を行った結果、レンガのブロックとしての物性値は、今回の検討においては表-1に示した実験値と、解析結果はおおむね一致した。
- (2)鉄筋コンクリートで内巻補強を行ったレンガアーチ高架橋の崩壊過程は、解析上、橋脚下部、アーチ付け根部の内巻鉄筋コンクリートにひび割れが発生し、その後、ひび割れが徐々に広がるとともに深度化が進み、曲げの負担割合がレンガに移行するとともにレンガ部にもひび割れが発生し崩壊に至る。

【参考文献】

- [1]松田芳範、岩田道敏、八巻一幸、山内俊幸：既設レンガ部材の力学的性状について、第19回コンクリート工学年次論文報告集、
- [2]ADINA-IN for ADINA 日本語解説書、構造計画研究所、1994.10
- [3]ADINA-PLOT 日本語解説書、構造計画研究所、1994.10