

日本橋の構造特性に関する基礎的研究

早稲田大学大学院理工学研究科

学生員

○山下 哲舎

早稲田大学大学院理工学研究科

学生員

笠野 英行

早稲田大学大学院理工学研究科

学生員

中山 大介

早稲田大学理工学部

フェロー

依田 照彦

1. はじめに

本研究は、国の重要文化財として指定されている日本橋の構造特性に関する研究である。日本橋の固有振動数を計測したところ、橋軸直角方向に特徴的な振動がみられた。そこで、本研究では、実験値と界面要素を用いた有限要素法による解析値を比較・検討することにした。

2. 解析方法

本研究では、汎用有限要素法プログラム DIANA を使用し、自重解析、並びに 1 次～ 5 次までの固有振動の解析を行った。

モデル作成においては、図 1 に示すように石と石との接触面や石とコンクリート、コンクリート同士の接触面を幅 10mm の界面要素で表した。

解析モデルは図 2 に示すように、全長が 45.5m、径間長が 20.8m、幅員が 27.3m である。約 3700 個の石要素と約 6500 個のコンクリート要素およびレンガ要素、約 30000 個の界面要素から構成されている。実際の日本橋の中詰材には、煉瓦も用いられているが、今回は全て、コンクリートと石でモデル化している。それぞれの材料特性を表 1 に示す。石の材料特性は、花崗岩の中でも比較的、強度の大きい稲田石の値を用いた。コンクリートに関しては、一般的な値を用いた。界面要素の密度に関しては、コンクリートと同じ値を用いた。

また、図 2 において、赤で囲んだ端支点部と中間支点部に界面要素を用いて境界条件を設定した。これにより、支点部は完全固定とは異なり、若干ヒンジに近い条件となっている。本研究では、実験値と比較・検討をするために、橋全体の挙動に最も影響を与えるであろう界面要素に注目し、六種類の界面要素の剛性を設定することにより、自重による変位や、水平応力、固有振動数の変化を比較した。なお、界面要素の法線方向、接線方向の剛性は、表 2 の値を用いた。

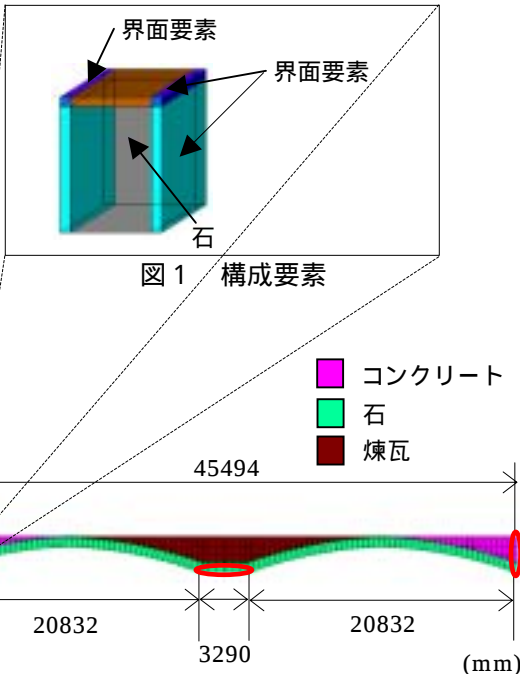


図 2 解析モデル図（側面）

表 2 界面要素の剛性

	変位方向		剛性(N/mm ³)
	法線方向D11	接線方向D22	
その1	法線方向D11	4.02 × 10 ⁴	40.2
	接線方向D22	40.2	
その2	法線方向D11	4.02 × 10 ⁴	4.02
	接線方向D22	0.402	
その3	法線方向D11	4.02 × 10 ⁴	40.2
	接線方向D22	40.2	
その4	法線方向D11	402	40.2
	接線方向D22	4.02 × 10 ³	
その5	法線方向D11	4.02 × 10 ³	40.2
	接線方向D22	40.2	
その6	法線方向D11	4.02 × 10 ³	40.2
	接線方向D22	40.2	

表 1 材料特性

	石	コンクリート	界面要素
密度 (kg/mm ³)	2.63 × 10 ⁻⁶	2.4 × 10 ⁻⁶	2.4 × 10 ⁻⁶
ヤング係数(N/mm ²)	5.10 × 10 ⁴	3.60 × 10 ⁴	
ポアソン比	0.20	0.167	

キーワード ; 日本橋 石造アーチ橋 有限要素解析

連絡先 ; 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学社会環境工学科 依田研究室

3. 解析結果

図3、図4では、界面要素の法線方向剛性 $D_{11}=4.02 \times 10^4(\text{N/mm}^3)$ 、接線方向剛性 $D_{22}=40.2(\text{N/mm}^3)$ を用いたその1の結果を示した。図4では、1次～5次のモードを示した。3次モードから、ねじれが発生していることが分かる。表3、表4に解析結果をまとめた。

表3 たわみと応力(自重)

	たわみ(mm)	水平方向応力(N/mm^2)	
	最大	最大(引張)	最小(圧縮)
その1	0.652	0.676	-1.34
その2	0.697	0.587	-1.23
その3	0.783	0.343	-1.28
その4	2.38	0.773	-1.25
その5	0.836	0.697	-1.28
その6	0.675	0.679	-1.34

表4 固有振動

	固有振動数(Hz)				
	1次モード	2次モード	3次モード	4次モード	5次モード
その1	23.1	23.3	23.6	23.8	26.3
その2	18.3	18.4	20.1	20.2	21.5
その3	6.31	6.44	10.7	10.7	11.9
その4	12.1	13.2	13.2	13.3	16.8
その5	20.4	21.1	21.1	21.3	23.9
その6	22.8	23.0	23.3	23.5	26.0

4. 考察

6種類の解析結果を比較したところ、どの結果においても実験で得られたような橋軸直角方向に目立った固有振動数は出なかった。その1では、界面要素の剛性が最も大きく、ひび割れの全く入っていない健全な状態を擬していると考えられる。また、その2とその6を比較すると、法線方向の剛性が小さくなった時の方が、応力が大きくなり、たわみも大きくなった。さらに、法線方向の剛性に最も小さい値を入れたその4では、引張応力が最大となり、たわみも最大となった。界面要素の接線方向の剛性は固有振動数に影響す

ることが分かった。実際の日本橋では、架設後、約96年が経過しており、現在ではひび割れも多く発生している。界面要素の剛性を小さくすることにより、ひび割れが発生していることも模擬できるのではないかと考えられる。ひび割れが多く発生することにより、固有振動数も小さくなる傾向にある。今後は、界面要素の剛性値、境界条件などを更に正確にモデル化し、解析を行う予定である。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]: 社団法人 土木学会 2002.3
- 2) 道路橋示方書・同解説 共通編 コンクリート橋編: 社団法人 日本道路協会 2002.3

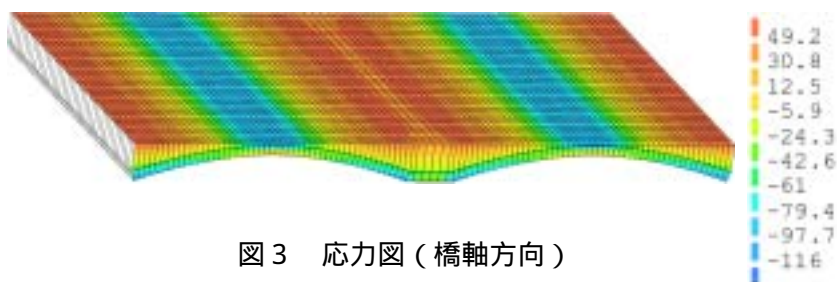


図3 応力図(橋軸方向)

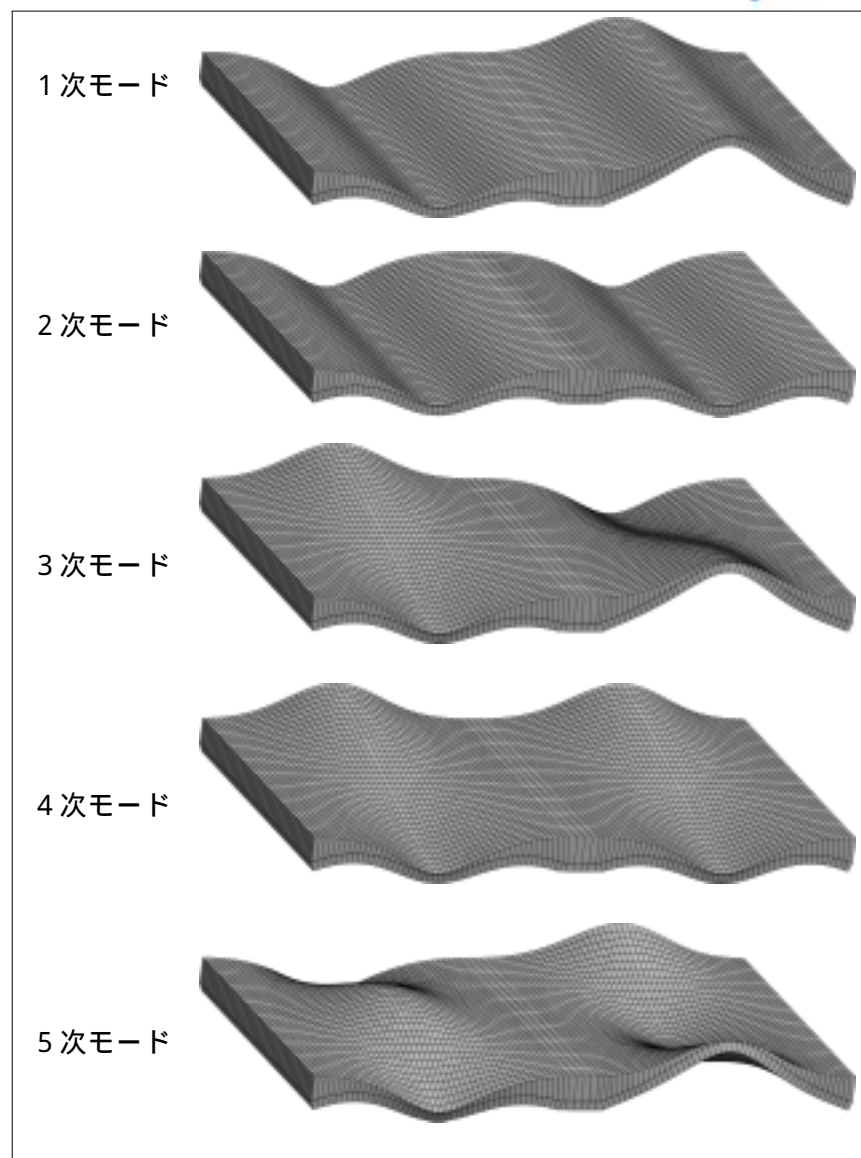


図4 固有振動モード(300倍)

