

石造アーチ橋の模型実験と動的解析による地震時挙動の検討

熊本大学大学院 フェロー会員○山尾 敏孝 NEVCO 西日本 藤田 千尋
熊本大学大学院 学生員 小倉 孟

1. はじめに

国内の石橋の 95%は九州地方に存在するといわれているが、近年では経年劣化による石橋の様々な損傷が報告されるようになってきており合理的な石橋の健全度評価手法がないことから、定量的かつ正確な健全度評価が可能な数値解析手法の開発が求められている。本研究では、アーチ輪石のみの模型を用いて、振動台により動の実験を行い、力学的挙動の実験的評価を行った。また、一般連続体要素を用いてアーチ輪石を表現し、接触が起こりうる要素間に接触モデルと摩擦モデルを導入する離散型有限要素法¹⁾の適用を実施し、実験値との比較により解析手法が妥当であるか検討した。最後に、アーチ輪石上に壁石の簡易的なモデル化を行い、壁石の有無による振動特性の違いを確認した。

2. アーチ輪石模型の動の実験の概要

アーチ輪石模型の周波数特性と地震波加振時の挙動を確認するために減衰定数の算出実験、正弦波加振実験および地震波加振実験を行った。使用した模型は、図-1に示すようなスパンライズ比(f/L)が0.2と0.35の2体とし、図-2に示すような模型の $L/4$ 点、 $L/2$ 点、 $3L/4$ 点、振動台上の計4点にひずみゲージ式の加速度計を設置し、アーチ輪石の応答加速度を計測した。入力地震波の加振方向は橋軸方向とし、地震発生機構の違いを考慮して、図-3に示すようなプレート境界型と内陸直下型の2種類とした。プレート境界型は東北地方太平洋沖地震の新潟県橋周辺地盤上で観測されたType I-I-3(以下、「東北地震波」と示す。)を、内陸直下型は兵庫県南部地震の神戸海洋気象台地盤上で観測されたType II-I-2(以下、「神戸地震波」と示す。)の地震波を用いた。これらの最大加速度振幅を50galに換算したものを、東北地震波は16, 32, 40, 64, 80秒、神戸地震波は10, 20, 25, 40, 50秒と継続時間を変化させた合計10波で加振した。

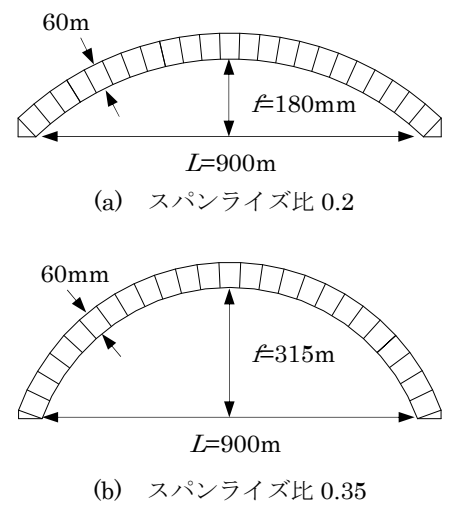


図-1 アーチ輪石模型の形状寸法

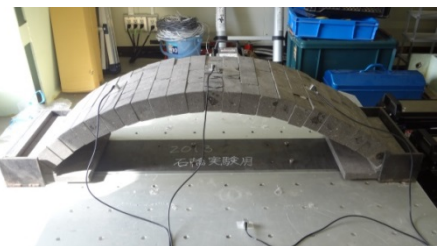


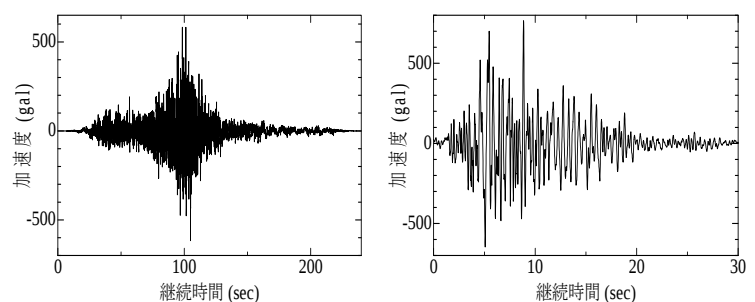
図-2 模型と加速度計の設置状況

3. アーチ輪石模型の動的解析の概要

解析手法の妥当性を検討するため、正弦波加振解析と地震波加振解析を行い、応答加速度やスペクトル解析の実験値との対応を確認した。なお、解析プログラムはABAQUSを用いた解析プログラムを使用した²⁾。解析対象は模型実験と同様に、スパンライズ比0.2と0.35の2体とした。解析モデルは2次元連続体要素で作成し、基部の底面と側面には剛なはり要素と接触させ、はりを介して外力を作用させた。個々の石材の要素分割数は、解析時間や解の精度等を検討した結果、 4×4 分割とした。なお、石材

表-1 材料特性

ヤング係数 E (N/mm ²)	17140
ポアソン比 ν	0.16
密度 ρ (g/cm ³) ($f/L=0.2, 0.35$)	1.90, 2.17
動摩擦係数 μ	0.65
すべり発生変位 U_s (mm)	0.36



(a)Type I-I-3 東北地震波 (b)Type II-I-2 神戸地震波
図-3 入力地震波

キーワード：アーチ輪石模型、周波数特性、正弦波加振実験、地震波加振実験、動的解析、スペクトル解析
連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1 熊本大学大学院自然科学研究科 TEL:096-342-3533

の材料特性は表-1 に示した．また，実験で用いたアーチ輪石模型に壁石を作用させた場合を想定し，アーチ部分の寸法はスパン $L=900\text{mm}$ として，スパンライズ比 0.2 と 0.35 の 2 つのモデルを用いた．壁石はひとつの連続体として簡易的に 2 次元連続体要素でモデル化し，正弦波加振解析を行った．図-4 に解析モデルを示す．

4. 実験および解析結果

図-5 は共振曲線の実験値と解析値を比較したものを示した．スパンライズ比 0.2 と 0.35 モデルはそれぞれ 13Hz と 8Hz でピークが表れた．どちらモデルでも応答倍率は解析値の方が実験値より大きくなったが，概ね共振点を解析で捉えることができたことがわかる．図-6 は神戸地震波を 50 秒間入力した時のスパンライズ比 0.2 モデルを，図-7 は東北地震波を 40 秒間入力した時のスパンライズ比 0.35 モデルの $L/2$ 点の応答加速度とフーリエスペクトルの結果を示した．図-6 では応答加速度およびフーリエスペクトルともに，実験値と解析値は比較的良好な対応を示していた．また，伝達関数により共振点と同振動数でのピークが確認できた．図-7 の東北地震波では加速道応答およびフーリエスペクトルのピークに差が出ていることが分かった．なお，結果は示していないが，壁石を有するスパンライズ比 0.2 と 0.35 石橋モデルの共振点はそれぞれ 40Hz, 47Hz となり，アーチ輪石のみと比べて高振動数側に变化した．この結果から石橋の固有振動数は非常に大きく，地震に強い構造体だということが裏付けられた．

以上より，要素間に接触モデルと摩擦モデルを導入した解析手法を用いて動的解析を行い，実験値との対応を確認できた．また，壁石を想定した 2 次元連続体モデルを作成し振動特性に及ぼす影響を把握することができた．

参考文献

- 1)古賀圭一郎：石材間摩擦に着目した石アーチの動的解析手法の検討，熊本大学大学院自然科学研究科，平成 23 年度修士論文，2012．
- 2)Dassault Systems Simulia Corp：Abaqus analysis User's Manual Version 6.12，20

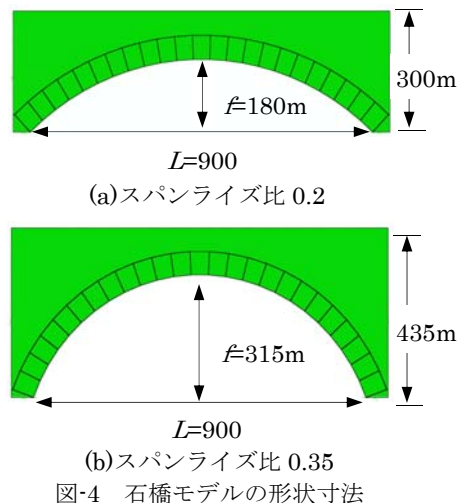


図-4 石橋モデルの形状寸法

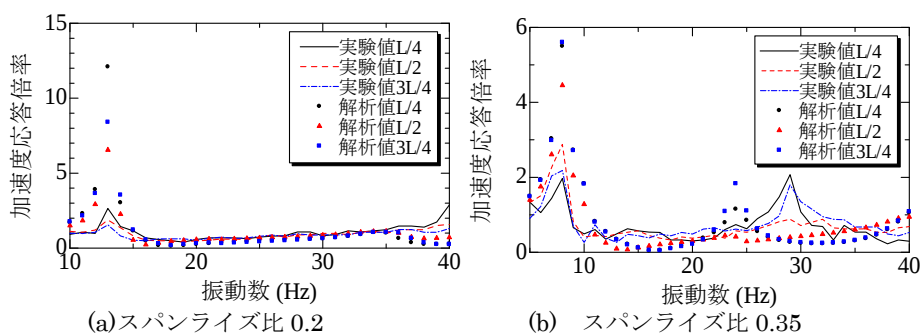


図-5 共振曲線の実験値および解析値

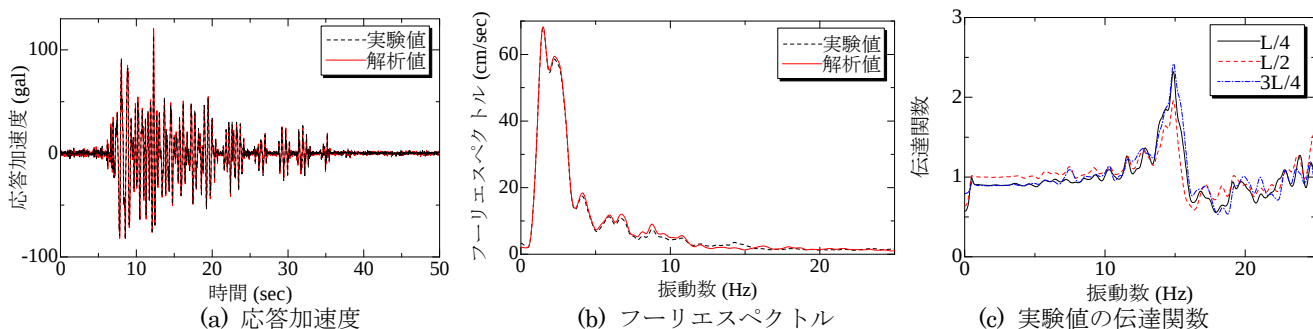


図-6 神戸地震波 (50sec) 加振時のスパンライズ比 0.2 モデルの応答

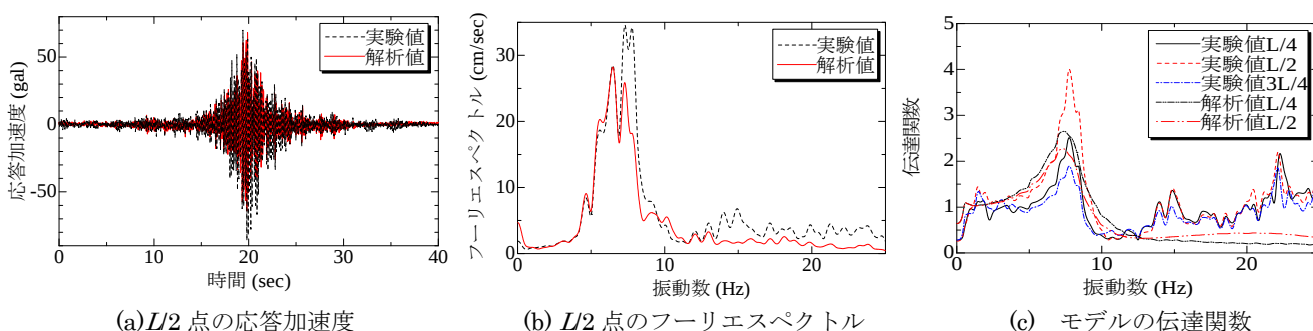


図-7 東北地震波 (40sec) 加振時のスパンライズ比 0.35 モデルの応答