石橋の3次元静的・動的挙動解析手法の模型実験による検討

熊本大学大学院 学生員〇工藤祐資 熊本大学大学院 フェロー 山尾敏孝 トヨタ自動車九州㈱ 正員 工藤輝彦 ㈱大林組 楠 隆志 九州大学大学院 正員 浅井光輝

1. はじめに

筆者ら¹⁾は、実石橋の石材の組み方や損傷具合などの影響 を正確に解析する手法として、有限要素法と接触・摩擦モデ ルを組み合わせた離散体解析手法を提案し、検討を行ってき た.本研究では、石橋模型を対象に、3次元静的・動的解析 して、その特徴や問題点等を明らかにすることを目的とした. まず、石材間の摩擦特性をせん断実験により求め、これを用 いて、アーチスパンライズ比を変化させた石アーチ模型によ る集中載荷実験結果との比較検討を行った.次に、地震動を 受ける場合の3次元動的解析を実施し、解析手法のモデル化 や解析手法の特性について考察した.

2. 模型実験の概要

模型実験に使用した2種類の石材の圧縮試験の結果を表-1 区に示す.図-1は石材間の摩擦特性のせん断実験の様子を,図-2は供試体寸法を示し,石材Iは幅X=270(mm),石材IIは幅X=100(mm)である.軸力を上載荷重として載荷した状態で,下部の石材に水平荷重を加えて石材を滑らせた.なお,既往の研究結果²⁾より石材IIの上載荷重は400N,700N,1000Nで実施した.各試験により荷重-変位関係を求め,すべり発生変位を得た.

石アーチ模型の組み方は実構造を参考にしており、スパンライズ 比(r/L)を0.2,0.4 および0.5の3個の模型を製作した.図-3はス パンL=590(mm),ライズ r=295(mm)の模型寸法で壁石なしの模型である. 拘束板は上載荷重による膨らみで崩壊を防ぐためスパンLの1/4点に 取り付けた.さらに、壁石の有無を考慮した載荷実験を行い、応力 分布や変形モードを調べた.また、0.4のアーチ模型は、動的試験用 として用いた.写真-1はアーチ模型の集中載荷実験の様子である.

3. 離散型有限要素解析の概要

図-4 示すように、各石材を独立な要素に離散化し、接触摩擦モデ

ルとして石材間の力の伝達を表現した. 摩擦特性と滑り変位は次に述べるよう に石材間のせん断試験結果から決定し た.2次元および3次元解析モデルは実 験と同様に壁石の有無を考慮し,拘束条 件は模型実験における変位の拘束から 再現した.最後に各模型モデルで地震動 を受ける場合の3次元動的解析を実施 した. 表-1 石材の材料特性

物性値	石材 I	石材Ⅱ
ヤング率 E(N/mm ²)	3.14×10^4	1.71×10^4
ポワソン比 v	0.16	0.16
圧縮強度(N/mm ²)	89.3	62.6



図-1 せん断試験

図-2供試体寸法(mm)



(b)側面図 図-3 アーチ模型 (r/L=0.5) (mm)



キーワード:石アーチ模型,摩擦モデル,すべり変位,せん断試験,離散型有限要素解析 連絡先 〒860-8555 本市黒髪 2-3-1 熊本大学大学院自然科学研究科 Tel:096-342-3553 Fax:096-342-3507

4. 結果と考察

石材Ⅱのせん断試験と解析結果を図-5 に示す.実験・解析と もに、上載荷重 P の増加に応じて滑り発生時のせん断応力 τ も 増加し、すべり現象が起きにくくなっていることがわかる.こ のことから、解析での接触摩擦モデルのすべり発生変位 Us を決 定し、接触圧の変化に応じた石材間のすべり現象を再現するこ とができることになる.ここではすべり変位は 0.3mm であった.

図-6は r/L=0.2 モデルの荷重 10 (kN)載荷時の鉛直変位の分布 と軸応力分布である.変位図は鉛直下向きを(+),軸応力図では(-) は圧縮力を示す.鉛直変位は2次元解析の方が3次元解析より実験値 と近い値を示した.これは,解析モデルと実際の模型の形状の精度 に差があるためと考えられる.また,解析では自重を各要素に重力 加速度として与え,接触面では節点で力を伝達させ,初期軸力を与 えてアーチを安定させている.つまり,石材同士がよくかみ合った 状態から解析開始しているのに対し,実験では石材同士のかみ合う 前から測定したことも影響したと考えられ,今後の課題である.軸 応力分布は,解析・実験ともアーチクラウン部が最大となっている ことがわかる.これはアーチの軸方向によく力が伝達され,アーチ 全体で荷重載荷点であるアーチクラウン部石材の変位を抑えよう とする力が働き,アーチクラウン部石材の上面の圧縮力が大きくな ったと思われる.

次に、図-7に示すようなレベル2地震動を受ける場合について、 r/L=0.2 および0.5 モデルの動的挙動解析を試みた.図-8(a)はr/L= 0.2 モデルの水平方向の時刻歴応答であり、2 次元と3 次元解析を比 較である.図(b)は崩壊挙動と最小主応力分布を示すが、加震後も原 形をとどめており、圧縮強度89.3(N/mm²)に対する作用応力は0~ 0.05(N/mm²)で分布しており、十分小さいことが分かる.また、3 次元 解析の方がアーチ基部石材に局所的な応力が生じる傾向が見られた. 図-9 は 0.5 モデルの崩壊挙動を示す.図中の黒矢印は慣性力が働いて いる方向を示すが、幅方向のねじれやずれなどが生じた.これは組み 方による石材ごとの寸法がそれぞれ異なるためであり、実現象に近い 挙動を示したと考えられる.以上の結果より、今後、さらに模型実験 結果等との比較により検討する必要があると思われる.



図-6静的実験の結果(P=10kN, r/L=0.2)



参考文献

1)浅井光輝,山下和也,他2名:離散型有限要素モデル・・・・,構造工学論文集,Vol.55A,pp.172-180,2009. 2)工藤輝彦,他3名:3列組石アーチの挙動特性・・・・,土木学会第63回年次学術講演会,I-465,pp.929-930,2008

