# 小型 RC 製アーチ版模型に関する三次元弾塑性衝撃応答解析の妥当性検討

川瀬 良司

 室蘭工業大学
 学生会員 ○千葉 知子

 寒地土木研究所
 正 会 員 岡田 慎哉

(株) 構研エンジニアリング 正会員

室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光 寒地土木研究所 正 会 員 今野 久志

#### 1. はじめに

トンネル坑口などのアーチ構造物における耐衝撃性や限界衝撃耐力評価を精度良く行うためには、実験的方法に基づいて行うべきであるものと判断される。しかしながら、アーチ形式の場合には、小型実験を実施する場合においてもそれほど容易ではない。これより精度の高い実験を実施した結果を基に数値解析法を確立し、各種検討を解析的に行う方がより合理的であるものと判断される。このような観点から、本研究ではRC製アーチ構造の衝撃応答解析手法の確立を目的に、小型RC製アーチ版模型(以後、アーチ版)に関する重錘落下衝撃実験を実施し、実験結果と比較することによりその妥当性を検討した。なお、本数値解析には、衝撃応答解析用汎用コードLS-DYNAを用いている。

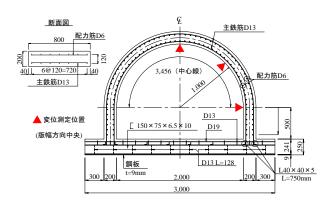
## 2. 実験概要

図-1には試験体の寸法、配筋状況および変位測定位置を示している。なお、変位測定位置は版幅方向中央位置としている。アーチ版の形状は、実構造物の1/4程度の大きさとした。すなわち、アーチ部材の断面寸法は200×800mmの長方形断面とし、アーチ部の内半径は1,000mm、側壁部の高さは500mmとしている。アーチ部主鉄筋には、実トンネルと同程度の主鉄筋比となるようにD13を用い、芯かぶりを40mmとしている。配力筋にはD6を用い、主鉄筋量の1/3以上となるように80mm間隔で配筋している。なお、実験は300kg重錘を所定の速度で落下させる単一載荷法により実施した。

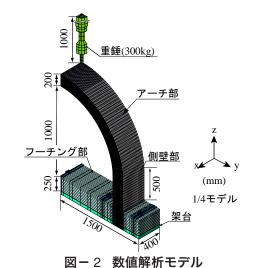
### 3. 解析概要

## 3.1 数値解析モデルおよび解析条件

図-2には、本数値解析における要素分割状況を示している。図中、コンクリート要素の軸方向要素長は載荷点近傍で約13mm程度、それ以外は約40mm程度としている。解析モデルは試験体の対称性を考慮し、1/4モデルとした。各要素において、鉄筋要素には梁要素を適用し4点積分を採用した。それ以外の要素は全て三次元固体要素を適用し1点積分としている。また、各接触面には面と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を



図ー1 試験体の形状寸法および配筋状況



表一 1 解析ケースおよび設定した各コンクリート要素の強度一覧

解析	衝突速度	圧縮強度 $f_c'(MPa)$	引張強度 f <sub>t</sub> (MPa) 軸方向要素長		
ケース名	v (m/s)		13mm	35mm	40mm
V6.0	6.0	20.6	3.38	2.06	1.93
V7.0	7.0				
V7.5	7.5	21.8	3.58	2.18	2.04
V8.0	8.0				

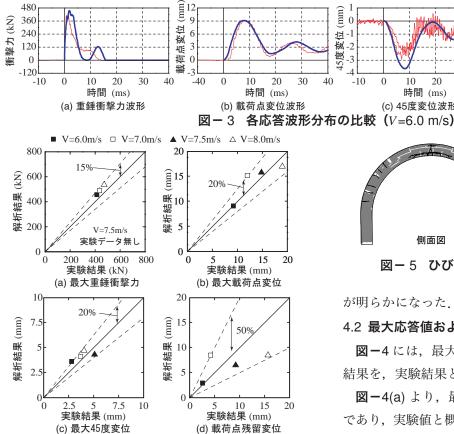
定義している。質量に比例する粘性減衰定数は、試験体の最低次固有振動数に対して 0.5 % を設定している.

### 3.2 材料物性モデル

コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮側に対しては 0.15% ひずみ時に圧縮強度で降伏するバイリニア型とし、引張側は応力が引張強度に達した時点で引張応力を伝達しないカットオフを定義している。本研究では、圧縮試験から得られた圧縮強度 fc を圧縮側の降伏応力と

キーワード:小型RC製アーチ版,三次元弾塑性衝撃応答解析,ひずみエネルギー

連絡先:〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227



図ー4 最大応答値および残留変位の比較

し、引張側の引張強度 ft に関しては、一要素の周方向に 一個の曲げひび割れが発生するものと仮定し、周方向要 素長が異なる場合においても等しいひずみエネルギーで ひび割れが発生するように, 各コンクリート要素に対し て仮想の引張強度を設定することとした。また、基準要 素長は 35 mm と設定した. 表-1 には,解析ケースおよ び設定した各コンクリート要素の強度一覧を示している。

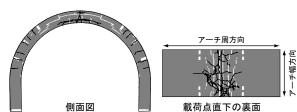
鉄筋要素に関しては、塑性硬化係数 H' を弾性係数の 1/100とするバイリニア型とし等方硬化則を適用している.

#### 4. 解析結果と実験結果の比較

#### 4.1 各応答波形分布の比較

**図-3** には、V6.0 の場合における各応答波形に関する 解析結果を実験結果と比較して示している.

図-3(a) の重錘衝撃力波形の比較図より、解析結果は 実験結果に比較して, 第二波目に差異があるものの, 波形 性状および最大値は精度良く再現されている。 図-3(b), (c), (d) の載荷点変位波形, クラウンより斜め 45 度の位 置における変位波形(以後,45度変位)および側壁部変位 波形の比較図より,解析結果は実験結果と良く対応して いることが分かる。これより、提案の解析手法を適用す ることにより, 重錘衝撃力波形および変位波形ともに実 験結果と大略類似した結果を得ることが可能であること



(mm)

壁部変位

-10

0

30 40

時間 (ms)

(d) 側壁部変位波形

40

時間 (ms)

(c) 45度変位波形

図-5 ひび割れ分布の比較 (V=6.0 m/s)

が明らかになった.

### 4.2 最大応答値および残留変位の比較

図-4には、最大応答値および残留変位に関する解析 結果を,実験結果と比較して示している.

図-4(a) より,最大重錘衝撃力の誤差幅は 15 % 程度 であり、実験値と概ね一致している。 図-4(b), (c) の最 大載荷点変位および、最大45度変位の誤差幅はともに 20%程度であり、解析結果は実験結果と大略対応してい ることが分かる。 図-4(d) の載荷点部の残留変位に関す る実験結果と解析結果の誤差は大きい. これは, 実験で は押し抜きせん断面が形成されているのに対して、解析 結果はこれを適切に再現できないためと推察される.

## 4.3 ひび割れ分布の比較

図-5 には、V6.0 の場合における実験終了後のひび割 れ分布に、解析結果の載荷点応答変位最大時における第 一主応力分布図を重ねて示している。図より、実験結果 では、側面部では載荷点近傍の曲げおよび割裂ひび割れ、 クラウンより左右 45°~90°のアーチ部外縁に曲げひび 割れの発生が見られる. また, 裏面には載荷点を中心に 網の目状のひび割れが発生しており、押し抜きせん断破 壊の傾向が見られる。一方、解析結果では、側面に発生 するひび割れは実験の結果と類似の性状を示しているも のの、裏面ではアーチ周方向に進展するひび割れが見ら れない. 以上のことから, 本解析では曲げひび割れの再 現は可能であるものの、せん断破壊の性状には若干の差 異が見られることが明らかとなった.

#### 5. **まとめ**

本研究より、アーチ版に関する三次元弾塑性衝撃応答解 析において、提案の手法を用いることにより実験結果と 概ね対応した解を得ることができるものと判断される。