

RC アーチ構造の衝撃応答解析手法に関する検討

(株)構研エンジニアリング 正会員 ○高橋 浩司 室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光
 (株)構研エンジニアリング 正会員 川瀬 良司 室蘭工業大学 正会員 岡田 慎哉
 (株)構研エンジニアリング 正会員 刈田 圭一 (株)構研エンジニアリング 非会員 中村 哲也

1. はじめに

本研究では、落石による衝撃荷重載荷時の実トンネル坑口部の要求性能を照査可能な数値解析手法の確立を目的として、破壊エネルギー等価の概念を導入した三次元弾塑性衝撃応答解析法の適用性について検討を行った。弾塑性衝撃応答解析には、陽解法に基づく非線形動的構造解析用汎用コード LS-DYNA(ver. 970)を用いている。

2. 実験概要

写真-1には衝撃実験状況を示している。衝撃実験は、跳ね上がり防止用治具を用いてフーチング部を固定し、アーチクラウン中央位置に所定の高さから質量300 kgの鋼製重錘を自由落下させることにより行っている。

計測項目は、重錘に内蔵された起歪柱型ロードセルによる重錘衝撃力とレーザ式変位計によるアーチ内縁変位とした。衝撃荷重載荷実験終了後には、アーチ側面部および内縁面に発生したひび割れをスケッチし、ひび割れ分布図を作成している。

3. 数値解析概要

3.1 数値解析モデル

図-1には、本数値解析における解析モデルを示している。解析モデルは、構造および荷重条件の対称性を考慮して1/4モデルとし、面对称を設定している。境界条件は実験と同様に、架台底面を完全固定とした。また、重錘-コンクリート間、コンクリート-固定治具間には接触面を定義している。

モデル化に際し、鉄筋要素には梁要素を適用し4点積分を、コンクリート要素、重錘要素には三次元固体要素を適用し1点積分として解析を行うこととした。減衰定数は質量比例型とし、最低次固有振動数の0.5%を設定している。

3.2 材料物性モデル

図-2(a)には、コンクリートに関する等価1軸応力-ひずみ特性を示している。コンクリート要素は完全



写真-1 実験概要

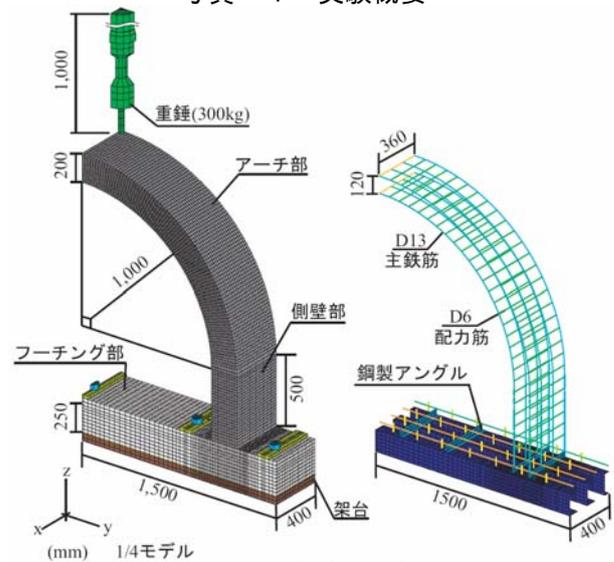


図-1 解析モデル

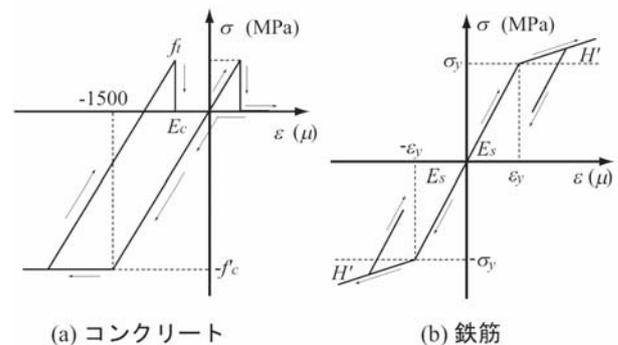


図-2 各材料の応力ひずみ関係

弾塑性体のバイリニア型にモデル化した。また、引張側に対しては破壊圧力に達した段階でカットオフし、引張力を伝達しないモデルを適用している。なお、本

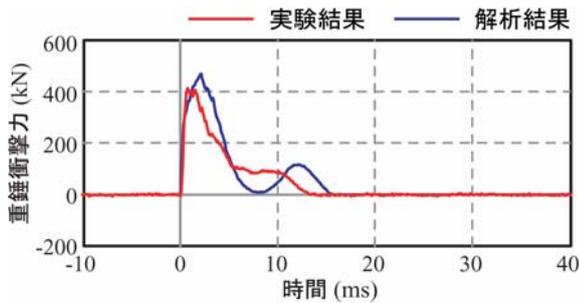


図-3 重錘衝撃力波形

解析においては著者らの過去の研究¹⁾より、破壊エネルギー等価(Gf)の概念を適用し、破壊圧力には要素の大きさに合わせた換算引張強度を用いている。

図-2(b)には、鉄筋に関する等価1軸応力-ひずみ特性を示している。軸方向鉄筋要素に用いた物性モデルは、等方硬化則を適用した弾塑性体モデルである。塑性硬化係数 H' は、弾性係数 E_s の1%と仮定している。

4. 実験結果と解析結果の比較検討

4.1 重錘衝撃力

図-3には、重錘衝撃力波形を衝突初期の40ms間について数値解析結果と実験結果を比較して示している。図より、波形性状に着目すると、実験結果はピーク後に徐々に応答が減衰してゆく性状を示しているが、解析結果ではピーク後は正弦波状の応答となり、第2波のピークが生じている。このことは、実験では、重錘衝突点近傍の損傷が顕在化することにより、荷点部の復元力が著しく低下しているのに対し、数値解析では局所的な損傷まで再現されないことによるものと考えられる。しかしながら、数値解析結果は最大値こそ若干の過大評価となっているものの、実験結果を精度よく再現していることが分かる。

4.2 荷点変位

図-4には、アーチ内縁の荷点変位波形を衝突初期の100ms間について数値解析結果と実験結果を比較して示している。変位の方向は、内縁方向がプラス、外縁方向がマイナスとなるように整理している。

実験結果と解析結果を比較すると、最大値と除荷後の自由振動状態における振幅・周期および残留変位まで良く一致している。

4.3 ひび割れ分布

図-5には、黒実線に示した実験終了後のひび割れ分布図と解析結果の荷点最大変位時におけるアーチ部の第一主応力分布図を重ねて示している。図中、白色の領域(コンクリート要素の第一主応力が -0.001

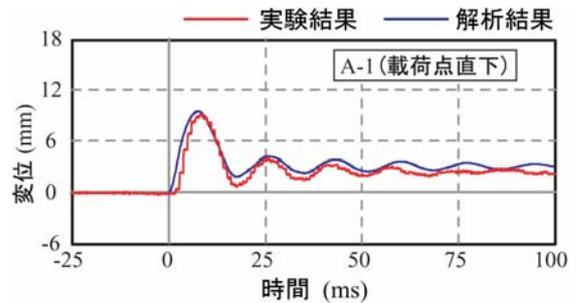


図-4 荷点変位波形

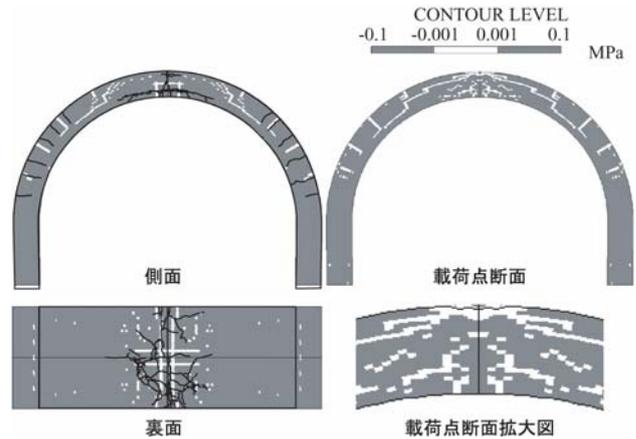


図-5 ひび割れ分布性状

～ 0.001 MPaの範囲)は応力零近傍要素を示しており、最大応答時点において大きな応力が出現する領域ではひび割れが発生しているものとして評価可能である。

図より、アーチ部側面および裏面のひび割れ分布について、数値解析結果と実験結果を比較すると、解析結果は両者とも同様の傾向を示していることが確認できる。また、解析結果の荷点断面のひび割れ状況に着目すると、押し抜きせん断状の斜めひび割れが確認でき、押し抜きせん断破壊をある程度再現できているものと判断される。

5. まとめ

- (1) 重錘衝撃力に関しては、波形性状は実験結果を精度良く再現可能であるが、最大値に僅かながら差異が生ずる。
- (2) 変位波形に関しては、最大値と除荷後の自由振動状態における振幅・周期および残留変位において、実験結果を精度良く再現可能である。
- (3) 押し抜きせん断ひび割れが発生する場合においても実験結果をある程度再現可能である。

参考文献

- 1) 岸 徳光, A.Q.Bhatti, 三上 浩, 今野久志, 岡田 慎哉: 破壊エネルギー等価の概念を用いた大型RC桁に関する衝撃応答解析手法の妥当性検討, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1227-1238, 2007.3