

繰返し衝撃载荷を受ける RC ラーメン梁に関する解析的検討

(株) 構研エンジニアリング 正会員 ○牛渡 裕二
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 川瀬 良司
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 刈田 圭一

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 鈴木 健太郎
 (株) 構研エンジニアリング 正会員 保木 和弘

1. はじめに

本研究では耐衝撃用途 RC 構造物の性能照査型耐衝撃設計法の確立に向けた検討の一環^{1)~3)}として、繰返し衝撃荷重を作用させた小型 RC ラーメン梁模型 (以降 RC ラーメン梁) を対象として、三次元弾塑性有限要素法に基づいた解析法を提案し、既往実験結果との比較によってその妥当性に関する検討を行った。なお、本数値解析は、陽解法に基づく非線形動的応答解析用汎用コード LS-DYNA を用いている。

2. 解析概要

2.1 数値解析モデル

図-1に、本数値解析で用いた RC ラーメン梁の構造寸法および配筋状況を、図-2に要素分割状況を示している。せん断補強筋要素には剛性、断面積、質量を等価とした梁要素を用い、その他の要素には全て 8 節点の三次元固体要素を用いて離散化している。解析モデルは、スパン方向および断面幅方向にそれぞれ 2 等分した 1/4 モデルとし、面対称を設定している。境界条件として、架台下面を完全固定とし、固定のための治具をモデル化し、試験体の固定条件を再現している。また、重錘-コンクリート間、固定治具-コンクリート間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定義している。なお、コンクリート-鉄筋要素間は完全付着と

した。減衰定数は質量比例分のみを考慮するものとし、鉛直方向最低次固有振動数に対して 1.0 % と設定している。

2.2 材料モデル

図-3 (a)には、本数値解析で用いたコンクリートに関する応力-ひずみ関係を示している。圧縮側に関しては、相当ひずみが 1,500 μ に達した状態でコンクリートが降伏するものと仮定し、完全弾塑性体のバイリニア型にモデル化した。引張強度は圧縮強度の 1/10 と仮定している。図-3 (b)には、鉄筋に関する応力-ひずみ関係を示している。鉄筋要素に用いた物性モデルは、塑性硬化係数 H' を弾性係数 E の 1 % とするバイリニア型の弾塑性体とした。硬化則には等方硬化則を適用している。

重錘、支点治具および定着鋼板に関する全要素に関しては、弾性体とした。なお、各材料の降伏の判定には von Mises の降伏条件を採用している。

2.2 繰返し衝撃荷重載荷時の解析概要

本数値解析は、以下の手順で実施している。

- 1) 重錘要素を繰返し載荷回数分だけ、予め RC 梁上に重複して設置する。
- 2) 一次載荷時に衝突させる重錘要素の全節点に所定の衝突速度を付加し数値解析を実施する。数値解析時間は、重錘が RC 梁に衝突した時点から RC 梁がほぼ定常状態に至るまでの 200 ms とする。
- 3) 一次載荷時の数値解析終了後、鉛直方向最低次固有振動数に対する臨界減衰定数を入力して 200 ms 間の数値解析を実施し、RC 梁を数値解析的

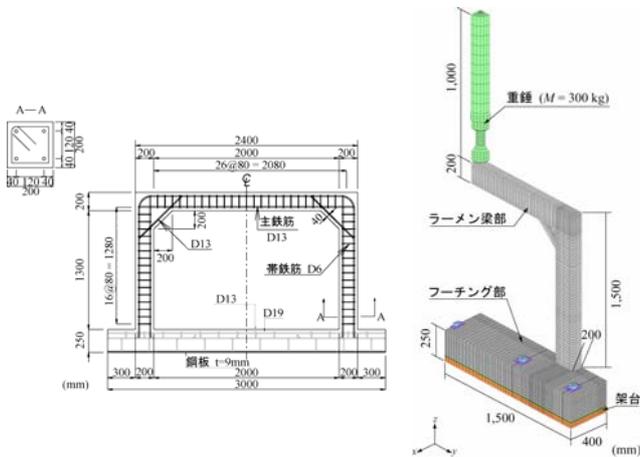


図-1 構造寸法及び配筋状況

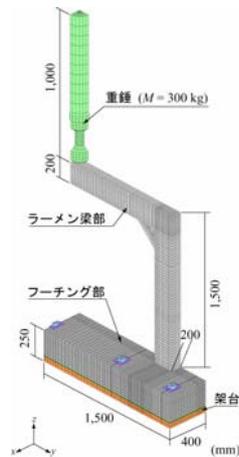


図-2 数値解析モデル

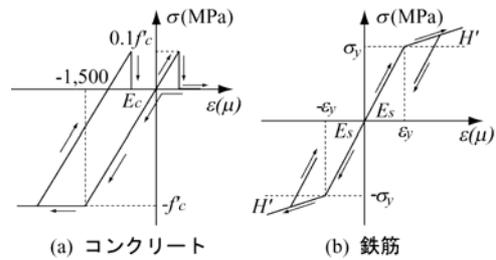


図-3 材料物性モデル

キーワード RC ラーメン梁構造, 三次元弾塑性衝撃応答解析, 繰返し衝撃載荷, 応答変位波形, ひび割れ分布性状

連絡先 〒065-8510 札幌市東区北 18 条東 17 丁目 1 番 1 号 (株) 構研エンジニアリング 防災施設部 TEL.011-780-2813 FAX.011-785-1501

に静止させる。同時に一次載荷時に使用した重錘要素を除去する。

- 4) 二次載荷時に衝突させる重錘要素の全節点に所定の衝突速度を付加し数値解析を実施する。数値解析時間は一次載荷時と同様に 200 ms とする。
- 5) 以降 n 次載荷終了まで 3), 4) の手順を繰り返す。

3. 数値解析結果

3.1 重錘衝撃力

図-4には、各種応答波形を既往実験結果と解析結果を重ねて示す。図-4(a)には、重錘衝撃力波形を示す。第1波に関しては衝突回数1回目 ($V = 1$ m/s) においては、大略等価な評価となっているものの、衝突回数の増加に伴い、過少評価する傾向が見られる。その後の第2波においては、衝突回数に係わらず大略等しい評価となっている。

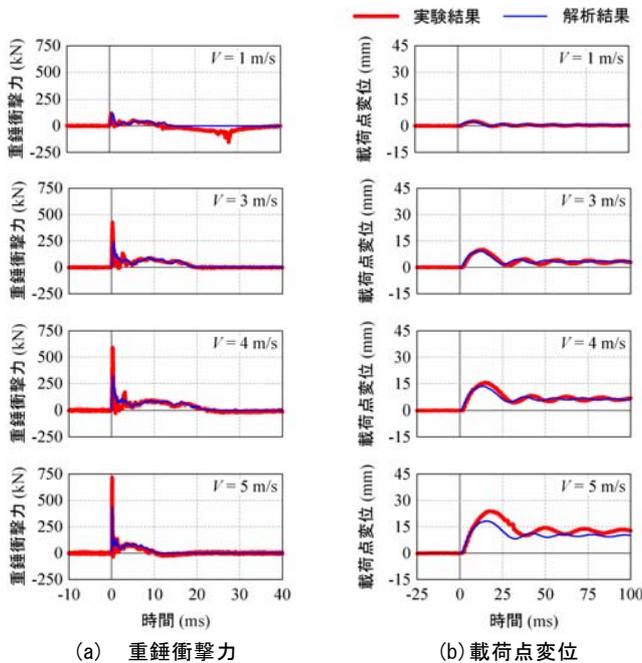


図-4 各種応答波形

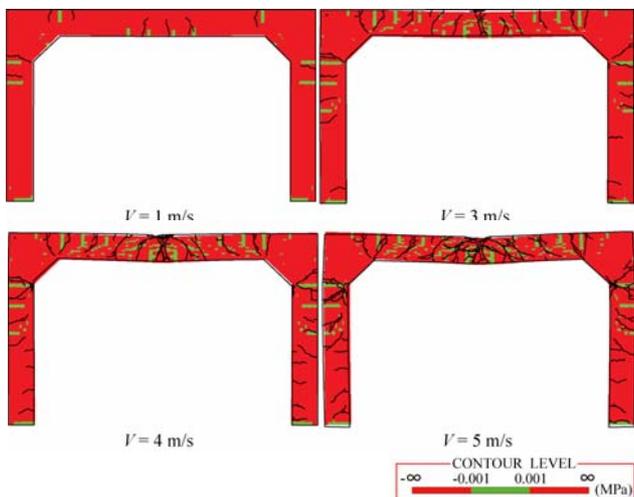


図-5 ひび割れ分布性状

3.2 載荷点変位

図-4(b)には、載荷点変位波形を既往実験結果と解析結果を重ねて示す。衝突回数5回目 (速度 $V = 5$ m/s) の場合において若干の過小評価となっているものの、この波形性状を良く再現している。また、その残留変位や自由減衰振動についても良く再現している。

これより、本解析手法は損傷が累積していく状態を極めて良好に再現可能であるものと判断される。

3.3 ひび割れ分布

図-5には、実験終了後のひび割れ分布図および数値解析結果の最大変位時における第一主応力図を示している。なお、数値解析結果は、図中緑色で示された要素がひび割れと等価と判断される要素である。衝突回数1回目 (速度 $V = 1$ m/s) の場合について見ると、ひび割れ発生位置およびそのひび割れ長に関して、実験結果を良く再現していることが分かる。さらに衝突速度が増加するにつれてひび割れが進展する状況についても、その進展状況やひび割れ発生範囲の増加についても実験結果を良く再現している。衝突回数4回目 (速度 $V = 4$ m/s) 以降において、側壁下部の内縁に生じるひび割れについて、数値解析結果はこれを再現できていないものの、衝突回数5回 ($V = 5$ m/s) までの損傷範囲の傾向を良く再現しているものと判断される。

4. まとめ

本研究で得られた結果を、以下に示す。

- 1) 提案の解析手法を用いることにより、各載荷時の最大重錘衝撃力に関しては既往実験結果を過小評価する傾向を示すものの、重錘衝撃力波形性状は大略再現可能である。
- 2) 載荷点変位波形に関しては、各載荷時の最大応答変位や、除荷後の減衰自由振動特性、残留変位を精度よく評価可能である。
- 3) 各載荷時点における累積のひび割れ分布に関しても、既往実験結果を大略再現可能である。
- 4) 提案の手法を用いることで、RC ラーメン梁構造の繰返し衝撃荷重載荷時の累積損傷の程度や残存耐力に関する評価が可能であるものと推察される。

参考文献

- 1) 岸徳光, 三上浩, 松岡健一, 安藤智啓: 静載荷時に曲げ破壊が卓越する RC 梁の弾塑性衝撃応答解析, 土木学会論文集, No.619/I-47, pp.215-233, 1999.4
- 2) 岡田慎哉, 岸徳光, 今野久志, 川瀬良司: RC アーチ構造の衝撃応答解析手法の開発に関する研究, 構造工学論文集 Vol.53A CD-ROM, 2007.3.
- 3) 西弘明, 岸徳光, 岡田慎哉, 千葉知子: 重錘落下衝撃荷重載荷時の RC ラーメン模型に関する弾塑性衝撃応答解析, コンクリート工学年次論文集, 2008.7.