

繰り返し衝撃荷重載荷時の PVA 短繊維混入 RC 梁に関する数値解析的検討

横河工事 (株) 正 会 員 ○ 可 知 典 久 室 蘭 工 業 大 学 大 学 院 フ ェ ロ ー 岸 徳 光
三井住友建設 (株) フェロワー 三 上 浩 室 蘭 工 業 大 学 大 学 院 正 会 員 栗 橋 祐 介

1. はじめに

本研究では、繰り返し重錘落下衝撃荷重を受ける PVA 短繊維を混入した RC 梁の耐衝撃挙動を適切に評価可能な解析手法の確立を目的に、静載荷時に曲げ破壊で終局に至る PVA 短繊維混入 RC 梁の三次元弾塑性衝撃応答解析を行い、実験結果との比較によりその妥当性を検討した。なお、本数値解析には、非線形動的応答解析用汎用コード LS-DYNA (ver. 971) を用いている。

2. 数値解析概要

2.1 RC 梁の概要

解析対象とした RC 梁は、断面寸法(幅×高さ)が 150×350 mm、純スパン長が 2.5 m、軸方向鉄筋として D13 を上下端に 2 本ずつ配筋した複鉄筋矩形 RC 梁である。スターラップには D6 を用い 150 mm 間隔で配筋している。また、短繊維混入率は 2% としている。実験方法は初期衝突速度および増分衝突速度 1 m/s とした漸増繰り返し載荷により実施している。なお、本試験体における終局衝突速度は 5 m/s であった。

2.2 解析モデルおよび解析条件

図-1には、本数値解析で用いた試験体の要素分割状況を示している。数値解析モデルは RC 梁の対称性を考慮して梁幅方向およびスパン方向にそれぞれ 2 等分した 1/4 モデルである。本解析では PVA 短繊維を混入したコンクリートの引張靱性を簡易かつ合理的に評価するために、梁幅方向の要素境界面に PVA 短繊維の架橋効果をモデル化したシェル要素を配置している。なお、シェル要素の板厚は、短繊維混入体積と等価になるように決定している。減衰項は、質量比例成分のみを考慮し、梁の最低次固有振動数に対して 0.5% と設定している。

2.3 材料物性モデル

コンクリートの応力-ひずみ関係には、圧縮側に関しては、圧縮ひずみが 1,500 μ に達した時点で降伏するバイリニア型とし、引張側には応力が引張強度に達した時点で零レベルにカットオフしている。圧縮強度、引張強度は材料試験結果を用い、それぞれ 52.3 MPa、3.22 MPa としている。

鉄筋の応力-ひずみ関係には、塑性硬化係数 H' を弾性

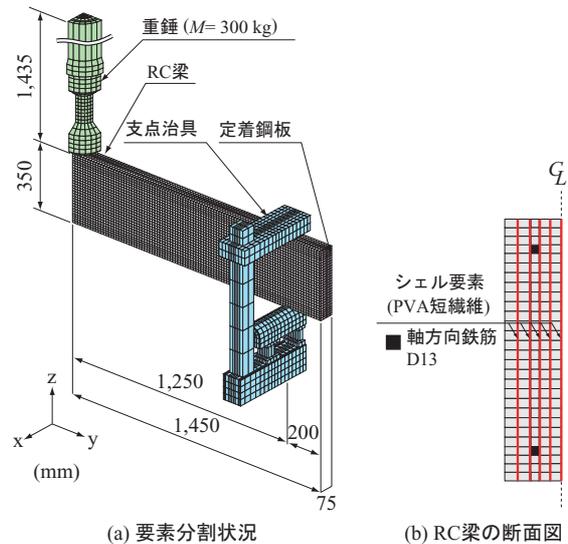


図-1 要素分割状況

係数 E_s の 1% とするバイリニア型の等方硬化則を適用している。また、鉄筋の降伏応力は、材料試験結果に基づき、D6 および D13 で、それぞれ 335, 361 MPa とした。

PVA 短繊維の架橋効果は、降伏後は残存引張強度を保持する完全弾塑性体にモデル化した。また、圧縮側についても引張側と同様の特性を示すものと仮定した。弾性係数 E_p には PVA 短繊維の公称値を用い、降伏強度 σ_{yp} は、円柱供試体の一軸引張試験において、残存引張強度が短繊維の架橋効果によってのみ寄与するものとして算定した。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。

2.4 繰り返し衝撃荷重載荷時の解析概要

本数値解析では繰り返し衝撃荷重載荷実験を適切に再現するために、以下の手順で数値解析を実施している。

1) 重錘要素を繰り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に所定の衝突速度を付加し、数値解析を実施する。なお、減衰定数は、鉛直方向最低次固有振動数に対して 0.5% とした。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数値解析を実施し、RC 梁を数値解析的に静止させる。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に所定の衝突速度を付加し、数値

キーワード：PVA 短繊維混入 RC 梁、繰り返し重錘落下衝撃荷重、弾塑性衝撃応答解析、PVA 短繊維の架橋効果

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 工学研究科 ぐらし環境系領域 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

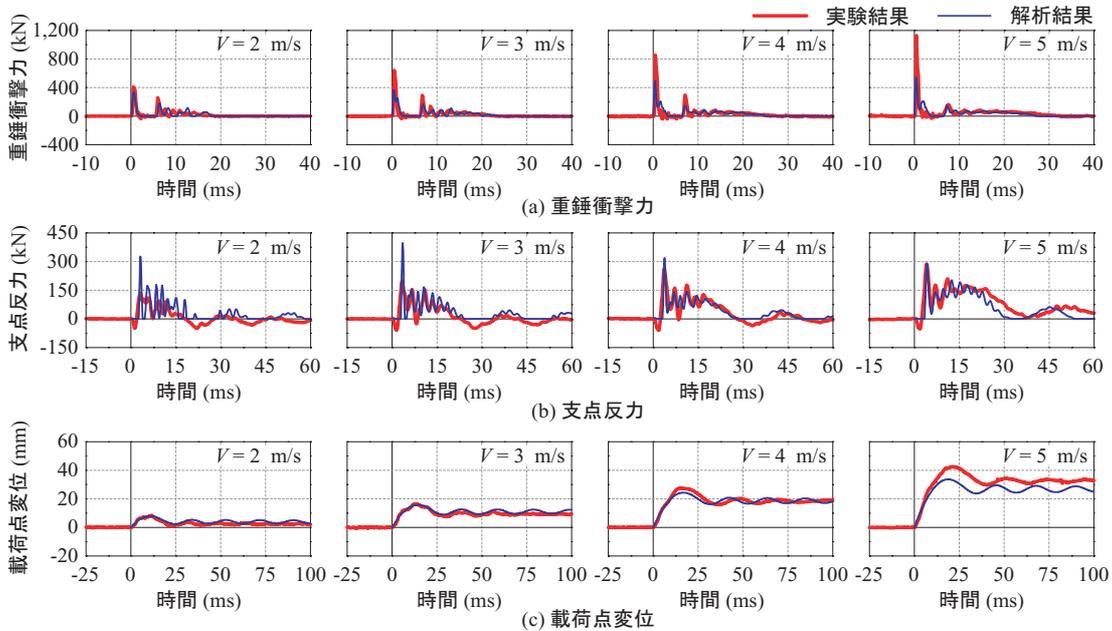


図-2 各種応答波形

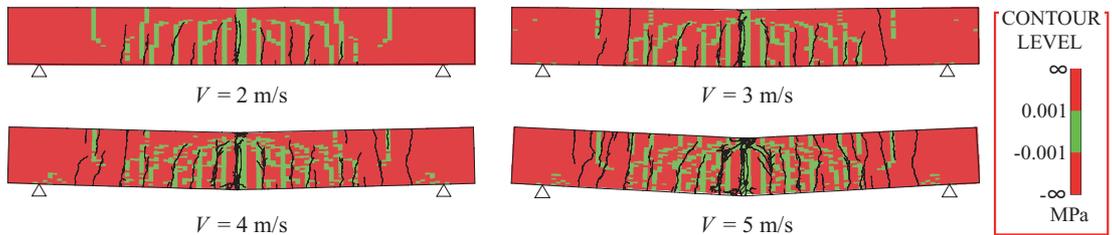


図-3 ひび割れ分布図および第一主応力分布図

解析を実施する。なお、減衰定数は、本数値解析では一次載荷時と同様の値を入力することとした。5)以降 n 時 載荷終了までは3), 4)の手順を繰り返す行う。

3. 実験および数値解析結果

3.1 各種応答波形の比較

図-2には、各種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。重錘衝撃力波形に着目すると、解析結果は衝突直後の周期が短く振幅の大きい第一波と、周期が長く振幅の小さい第二波で構成される波形性状をよく再現していることが分かる。しかしながら、最大応答値に関しては実験結果と解析結果に差異が生じている。

支点反力波形は、実験および解析結果ともに継続時間が20～40ms程度の正弦半波および後続する減衰自由振動成分から構成されている。また、衝撃初期には高周波成分も励起している。但し、解析結果の高周波成分の振幅が大きく示されている。

変位波形は、実験結果を見ると、いずれの衝突速度の場合も衝撃荷重初期に正弦半波状の第1波が励起した後、減衰自由振動を呈していることが分かる。また、衝突速度の増加に伴って最大振幅、残留変位成分および第1波の継続時間が増加する傾向を示している。解析結

果を見ると、 $V = 5$ m/sの場合には実験結果が解析結果よりも若干大きな応答を示しているものの、いずれの場合も重錘衝突後に最大変位を示す第1波の正弦半波から除荷後の減衰自由振動状態に至るまで、実験結果をよく再現していることが分かる。

3.2 ひび割れ分布性状

図-3には、最大変位時における第一主応力分布図を実験終了後のひび割れ分布図と比較して示している。なお、解析結果は、ひび割れ位置を特定できるように、第一主応力が零近傍となる要素を緑色として示している。図より、実験結果は衝突速度の増加と共に曲げひび割れの発生範囲が支点に向かって進展する傾向にあることが分かる。

一方、解析結果は、 $V = 4, 5$ m/sでは支点近傍に見られる曲げひび割れを完全には再現できていないものの、いずれの衝突速度においても、ひび割れの分布状況や累積損傷を概ね良く再現していることが分かる。

4. まとめ

本研究より、提案の手法を用いることにより、繰り返し重錘落下衝撃荷重を受けるPVA短繊維混入RC梁の耐衝撃挙動や累積損傷の程度を高い精度で再現可能であることが明らかとなった。