

厚さ 50 mm の緩衝ゴムを設置した AFRP シート補強 RC 梁の衝撃応答解析

室蘭工業大学

室蘭工業大学

(株) 構研エンジニアリング

正会員

○瓦井 智貴

名誉会員

岸 徳光

正会員

鈴木 健太郎

室蘭工業大学

室蘭工業大学大学院

正会員

小室 雅人

永井 泰圭

1. はじめに

本研究では、载荷点部に厚さ 50 mm の緩衝ゴムを設置した AFRP シート補強 RC 梁の耐衝撃挙動を適切に評価可能な数値解析手法の確立を目的として、三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。また、別途実施した衝撃荷重载荷実験結果と比較することによって、提案手法の妥当性について検討を行った。

2. 試験体および実験概要

図 1 には、本研究で対象とした試験体の形状寸法、配筋、および緩衝ゴムの設置位置等を示している。試験体の形状寸法（梁幅 × 梁高 × スパン長）は、200 × 250 × 3,000 mm である。軸方向鉄筋は上下端に D19 を各 2 本配置し、軸方向端面に設置した厚さ 9 mm の定着鋼板に溶接固定している。また、せん断補強筋には D10 を用い、100 mm 間隔で配筋している。RC 梁下面には AFRP シート接着を支点の 50 mm 手前まで施し、载荷点部には 200 mm 四方で厚さを $t = 50$ mm とした緩衝ゴム（天然ゴム、硬度 65）を設置した。なお、AFRP シートは目付量 830 g/m^2 のシートを一層接着した。シートの公称弾性係数は $E_f = 118 \text{ GPa}$ 、破断ひずみは $\varepsilon_{fu} = 1.75 \%$ である。

図 2 には、衝撃荷重载荷実験の状況および緩衝ゴムの形状寸法を示している。実験は、質量 300 kg の鋼製重錘を試験体スパン中央部に一度だけ自由落下させることで

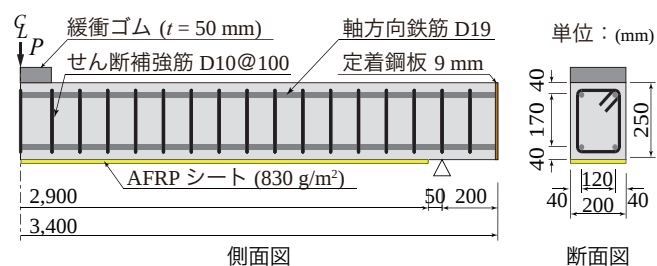


図 1 試験体の形状寸法および配筋

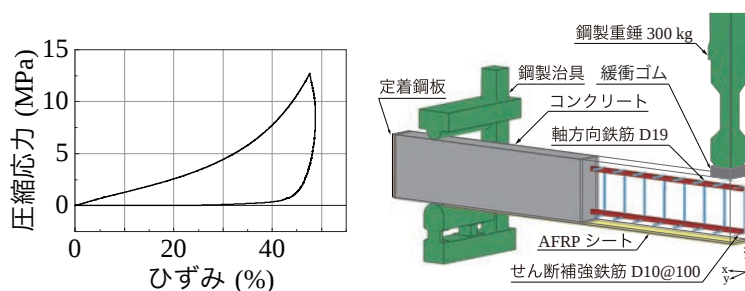


図 3 ゴムの応力-ひずみ関係

実施した。また、重錘落下高 H は $H = 0.5, 1, 2, 3 \text{ m}$ の 4 ケースとした。本実験の測定項目は、1) 重錘衝撃力、2) 合支点反力、3) 载荷点変位波形であり、実験終了後には梁側面のひび割れ分布図を作成した。

図 3 には、別途実施した静的な圧縮载荷試験から得られた緩衝ゴムの応力-ひずみ関係を示している。図より、ひずみが 50 % 程度において 12.5 MPa 程度の応力が発生していることが分かる。

3. 数値解析概要

図 4 には、本数値解析で用いた有限要素モデルを示している。ここでは、梁の対称性を考慮した 1/4 モデルとし、せん断補強筋は 2 節点梁要素、それ以外は 8 節点固体要素を用いてモデル化した。境界条件は、対称切断面において法線方向変位成分を拘束し、支点治具底部に関しては実験と同様にピン支持に設定した。また、重錘・梁-緩衝ゴム間、梁-支点治具間には、接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している。衝撃荷重に関しては、実験から得られた実測衝突速度を重錘全要素に付加することで与えている。なお、減衰定数は既往の研究を参考に、鉛直方向最低次固有振動数に対して 0.5 % と定義した。

図 5 には、コンクリート、鉄筋および AFRP シートの材料構成則を示している。コンクリートに関して、圧縮側は相当ひずみが 0.15 % に達した段階で降伏するものとし、引張側に関しては引張強度に到達した段階で引張応力を伝達しないカットオフモデルを採用した。さらに、引

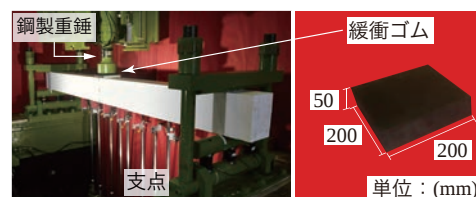


図 2 実験状況および緩衝ゴムの形状寸法

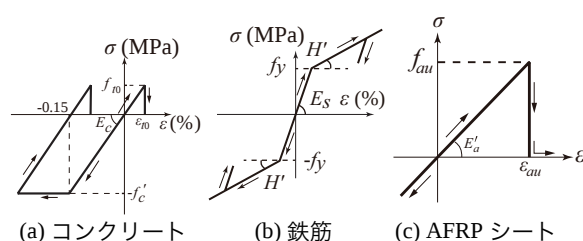


図 5 材料構成則

キーワード RC 梁、緩衝ゴム、FRP シート、衝撃応答解析

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5227

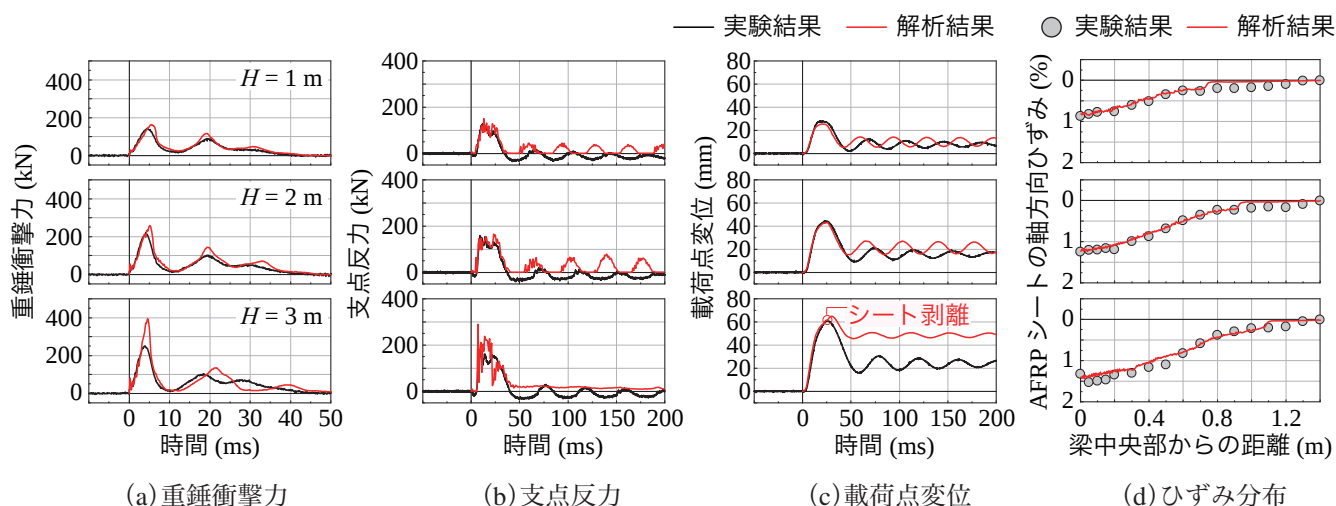


図6 各時刻歴応答波形および最大変位到達時刻における AFRP シートのひずみ分布 ($H = 1, 2, 3$ m)

張強度到達時までに消費されるエネルギーを破壊エネルギーと簡易に評価し、既往の研究¹⁾で提案されている破壊エネルギーを考慮した換算引張強度を設定している。鉄筋は降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の構成則とした。また、AFRP シートは弾性体と仮定し、引張側に関しては破断ひずみに到達した時点でカットオフされるモデルとした。なお、実験時のコンクリート強度および主鉄筋、せん断補強筋の降伏応力はそれぞれ 30, 390, 375 MPa 程度であった。緩衝ゴムに関しては、図3より各応力-ひずみ関係を設定した。

4. 実験結果および数値解析結果

図6には、落下高 1～3 m 時の各時刻歴応答波形および最大変位到達時におけるシートひずみ分布に関して、数値解析結果を実験結果と比較して示している。

(a) 図より、重錘衝撃力波形に着目すると、いずれの試験体に関しても、解析結果の最大衝撃力やその後の波形性状、あるいは継続時間は実験結果とほぼ対応していることが見て取れる。(b) 図の支点反力波形に着目すると、減衰自由振動状態における周期に関しては、数値解析結果は実験結果よりも若干短い傾向にあるものの、重錘衝突後の主波動は両者で概ね一致していることが分かる。(c) 図より、荷点変位に着目すると、最大落下高である $H = 3$ m の場合を除き、残留変位や減衰自由振動周期に多少の差異があるものの、数値解析結果は実験結果とほぼ対応していることが分かる。なお、 $H = 3$ m の場合には、数値解析結果はシート剥離が生じ終局に至る評価となっている。(d) 図より、最大変位時におけるシートのひずみ分布を見ると、いずれの落下高においても両者で一致していることが分かる。

図7は、最大変位と残留変位に関して、横軸に実験結果を、縦軸に数値解析結果を取って整理したものである。なお、白抜きは数値解析においてシート剥離が発生したこ

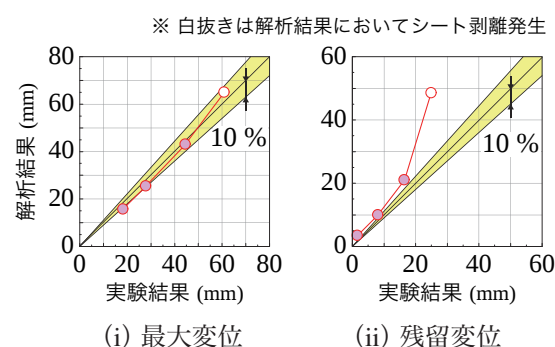


図7 最大および残留変位の比較

とを示している。(i) 図より最大変位に着目すると、落下高にかかわらず数値解析結果は実験結果を 10 % 程度以内の誤差で評価していることが分かる。また、(ii) 図の残留変位の場合には、落下高 $H = 3$ m の場合を除き、概ね両者は対応している。

5. まとめ

落下高が大きくシート破断や剥離を伴わない範囲内においては、本数値解析手法を用いることによって、荷点部に緩衝ゴムを設置した AFRP シート曲げ補強 RC 梁の耐衝撃挙動をほぼ適切に再現可能であることが明らかとなった。今後は、コンクリート要素長や緩衝ゴムの構成則を詳細に検討し、シート破断や剥離等により終局に至る場合に関する解析精度の向上を図っていく予定である。

謝辞

本研究で用いた AFRP シートはファイベックス(株)、接着剤等は住友ゴム工業(株)、緩衝ゴムはシバタ工業(株)からご提供頂いた。ここに記して、感謝する次第である。

参考文献：1) Kishi, N. and Bhatti, A.Q.: An equivalent fracture energy concept for nonlinear dynamic response analysis of prototype RC girders subjected to falling-weight impact loading, *International Journal of Impact Engineering*, Vol.37, pp.103-113, 2010.