

AFRP ロッドを用いて下面埋設曲げ補強を施した RC 梁の衝撃応答解析

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院

正会員 ○小室 雅人
フェロー 岸 徳光

室蘭工業大学大学院 学生会員 瓦井 智貴
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、AFRP ロッドを下面埋設して曲げ補強された 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として、別途実施した重錘落下衝撃実験を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。

ここでは、RC 梁に生じるひび割れ分布やロッドの補強効果を適切に評価するために、コンクリート要素に引張破壊エネルギー(G_f)等価の概念を適用して軸方向要素長を小さくした場合について、解析結果と実験結果を比較することにより、その解析手法の妥当性を検討した。なお、本解析には LS-DYNA を使用した。

2. 実験概要

図1には、ロッド補強 RC 梁の形状寸法と配筋を示している。試験体の形状寸法(梁幅×梁高×スパン長)は、 $200 \times 250 \times 3,000$ mm である。軸方向鉄筋は上下端に D19 を各2本配置し、梁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。さらに、せん断補強筋には D10 を用い、100 mm 間隔で配筋している。また、RC 梁の下面には、支点の 100 mm 手前まで2本の AFRP ロッド($\phi 11$ mm)を埋設している。

重錘落下衝撃荷重載荷実験は、質量 300 kg、先端直径 200 mm の鋼製重錘を所定の高さから一度だけ梁のスパン中央部に自由落下させる単一載荷法に基づいて実施した。試験体の両支点部下部はピン支持であり、その上端には鋼製治具を設置し浮き上がりを拘束している。なお、落下高さ H を 0.5 ~ 2.5 m と変化させた全5ケースの実験を対象に解析を実施した。

3. 数値解析概要

図2には、本研究で用いたロッド補強 RC 梁に関する有限要素モデルを示している。解析モデルは、対称性を考慮

し 1/4 モデルを採用した。適用した要素タイプは、せん断補強筋には2節点梁要素、それ以外には全て8節点固体要素を用いている。なお、軸方向鉄筋および AFRP ロッドは公称断面積と等価な正方形断面に簡略化している。

図3には、コンクリートの材料構成則を示している。コンクリートは、圧縮側に関しては相当ひずみが 0.15 % に達した段階で降伏するものとし、引張側に関しては換算引張強度 f_t に達するとカットオフされるモデルとした。換算引張強度 f_t は、 G_f が要素長に依存せず等価であると仮定すると次式で与えられる。

$$f_t = f_{t0} \cdot \sqrt{y_0/y_i} \quad (1)$$

ここで、 f_{t0} : 圧縮強度 f'_c を基に評価したコンクリートの引張強度($= f'_c/10$)、 y_i : 任意の要素長(ここでは 6.25 mm と設定)であり、 y_0 : 基準要素長($= 25$ mm)である。なお、単位体積質量 ρ_c には公称値である 2.35 g/cm^3 を、ポアソン比 ν_c には 0.167 を、圧縮強度 f'_c には実測値である 32.8 MPa を用いた。

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モデルとした。弾性係数 E_s は 206 GPa とし、降伏の判定は von Mises の降伏条件に従うものとした。また、塑性硬化係数 H' は弾性係数 E_s の 1 % と仮定した。なお、主鉄筋およびせん断補強鉄筋の降伏応力は、それぞれ 402.6, 461 MPa である。AFRP ロッドは弾性体と仮定し、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。

4. 数値解析結果及び考察

図4は、重錘落下高さ $H = 1.0, 2.0$ m に関して、重錘衝撃力、支点反力、載荷点変位の時刻歴応答波形を実験結果と解析結果を比較する形で示したものであり、黒線が

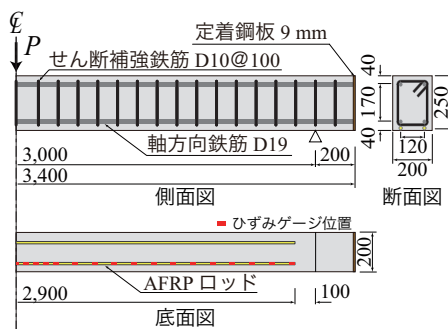


図1 試験体の形状寸法および配筋

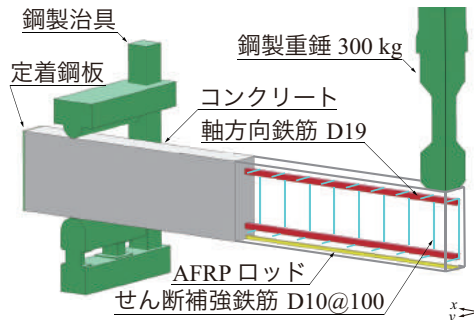


図2 有限要素モデル

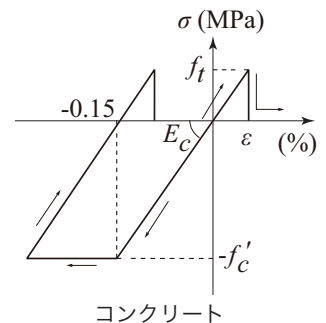


図3 応力-ひずみ関係

キーワード：RC 梁, AFRP ロッド下面埋設, 有限要素法, 衝撃応答解析, 破壊エネルギー

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 暮らし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

重錘落下高さ

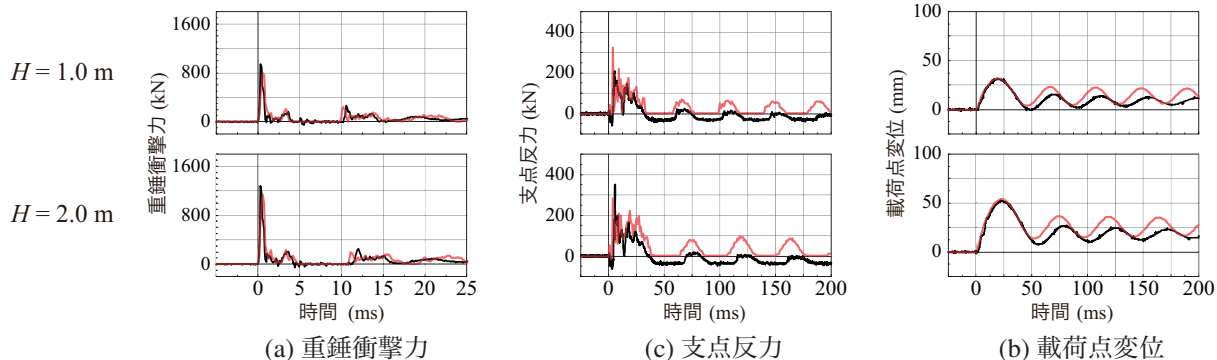


図4 各種時刻歴応答波形

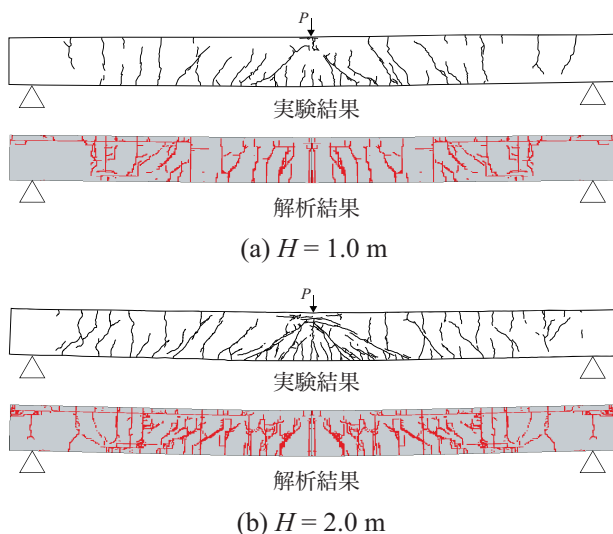


図5 ひび割れ状況比較

実験結果, 赤線が解析結果を表している. 図より, 数値解析結果は, 実験結果の最大到達時刻や継続時間および自由減衰振動部などを概ね再現可能である.

図5には, 重錘落下高さ $H = 1.0, 2.0$ m に関して, 実験終了後の梁側面のひび割れ分布と解析結果から評価されるひび割れ分布を比較して示している. なお, 解析結果のひび割れは, 図3に示すコンクリートの材料構成則に基づき, 引張応力がカットオフされた状態(第1主応力が零近傍応力)となる要素として評価した.

図5より, 実験結果に着目すると, いずれの落下高さにおいても梁下縁から鉛直方向に進展する曲げひび割れや载荷点近傍から梁下縁に向かって進展する斜めひび割れが発生していることが分かる. また, $H = 1.0$ m の場合よりも $H = 2.0$ m のほうが梁全体の損傷が大きいことも読み取れる. 解析結果に着目すると, いずれの落下高さにおいても実験結果と大略一致していることが分かる.

図6には, 重錘落下高さ $H = 2.0$ m の場合における, AFRP ロッドの軸方向ひずみ分布について実験結果(黒丸)と解析結果(赤線)を時系列的に比較して示している. 図より, いずれの時刻においても実験結果と解析結果は非常によく一致していることが分かる.

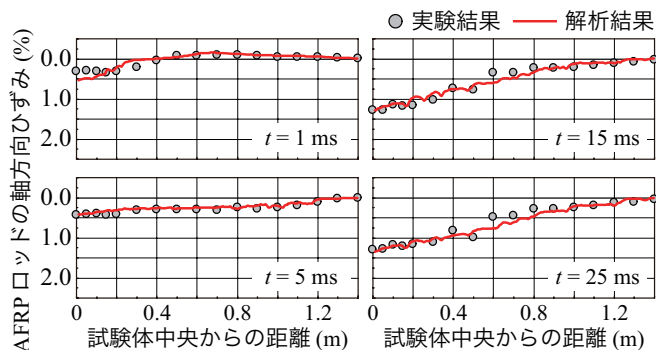
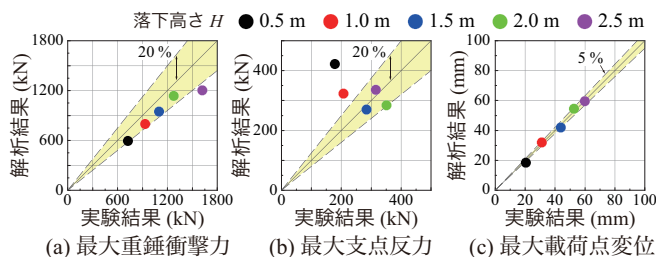
図6 AFRP ロッドの軸方向ひずみ分布 ($H = 2.0$ m)

図7 各種応答最大値比較

図7は, 本研究において対象とした全5ケースに関する各種応答最大値を, 実験結果を横軸に解析結果を縦軸に取って整理したものであり, 図の45度の直線は解析結果と実験結果が等しいことを意味している.

図7(a)の最大重錘衝撃力に着目すると, いずれのケースにおいても解析結果は実験結果を20%程度過小に評価していることが分かる. 図7(b)の最大支点反力の場合には, 落下高さ $H = 0.5, 1.0$ m を除き, その誤差は20%以内である. 図7(c)の最大载荷点変位の場合には, いずれのケースにおいても誤差は5%以内であり, 解析結果は実験結果と大略対応していることが分かる.

5. まとめ

- (1) 提案の解析手法を用いることで, AFRP ロッド補強 RC 梁の耐衝撃挙動を概ね再現可能である.
- (2) また, 载荷点変位に関しては5%以内の誤差で再現可能である.

謝辞: 本研究は, JSPS 科研費 JP15K06199, JP17K06527 の助成を受けたものである.