

CFRP ロッドを下面埋設した RC 梁の耐衝撃挙動に関する数値解析的検討

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 小室 雅人  
 釧路工業高等専門学校 フェロー 岸 徳光 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、CFRP 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変化させた場合について、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、ロッド補強試験体の形状寸法を示している。図に示すように、形状寸法(梁高 × 梁幅 × スパン長)は 250 × 200 × 3,000 mm であり、軸方向鉄筋(D19)は4本、せん断補強鉄筋(D10)は 100 mm 間隔で配筋されている。また、CFRP ロッドは RC 梁の下面に支点の 100 mm 手前まで埋設した。

実験は、質量 300 kg の鋼製重錘を所定の高さ(落下高さ  $H = 1.0, 2.0, 2.5$  m) からスパン中央に一度だけ自由落下させて実施した。なお、試験体は浮き上がりを拘束するピン支持に近い状態となっている。

3. 数値解析概要

図2には、有限要素モデルを示している。ここでは、対称性を考慮し 1/4 モデルとした。せん断補強鉄筋は2節点

梁要素、それ以外はすべて8節点固体要素を用いた。減衰定数は、質量比例成分のみを考慮するものとし、事前解析により鉛直方向最低次固有振動数に対して 0.5 % と設定した。また、重錘—梁間および梁—支点治具間に面と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義した。境界条件は、対称切断面において法線方向変位成分を、支点部では治具回転中心軸に沿って鉛直方向変位成分を拘束しピン支持とした。

なお、本研究では上述のようにひび割れの再現性やロッドの補強効果を適切に評価することを検討するために、梁軸方向の要素長  $L$  を 25, 12.5, 6.25 mm と3段階に変化させて解析を実施した。

図3には、コンクリート、鉄筋および CFRP ロッド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、引張側に関しては既往の研究より  $G_f$  を考慮した換算引張強度  $f_t$  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  $f_t$  は次式で与えられる。

$$f_t = f_{t0} \cdot \sqrt{y_0/y_i}$$

ここで、 $f_{t0}$  : 圧縮試験結果を基に評価したコンクリートの引張強度(=  $f'_c/10$ )、 $y_i$  : 任意の要素長であり、 $y_0$  : 基準要素長(= 25 mm)である。なお、単位体積重量  $\rho_c$  には公称値である 2.35 g/cm<sup>3</sup> を、ポアソン比  $\nu_c$  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。CFRP 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

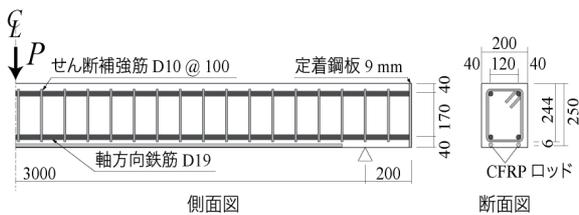


図1 試験体寸法

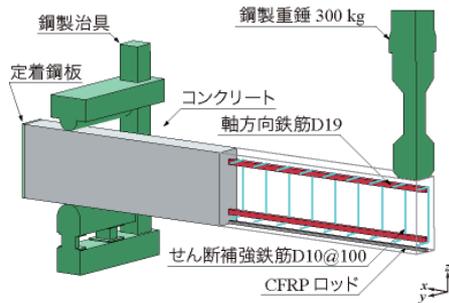
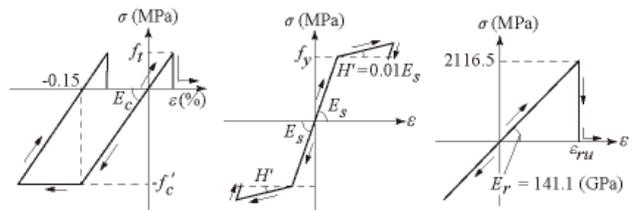


図2 有限要素モデル



(a) コンクリート (b) 鉄筋 (c) CFRP ロッド

図3 材料構成則

キーワード：RC 梁, CFRP 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

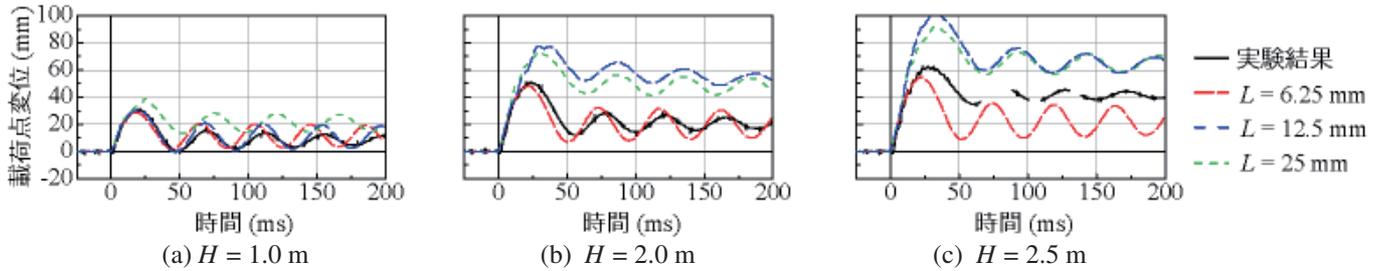


図4 実験結果と解析結果の荷点変位波形比較

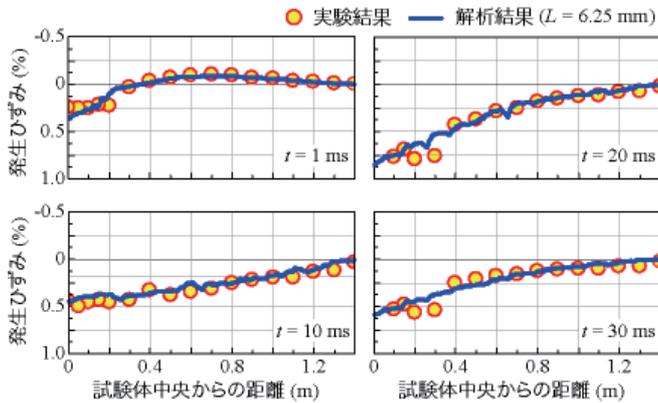


図5 ロッド補強試験体ひずみ分布性状(H = 1.0 m)

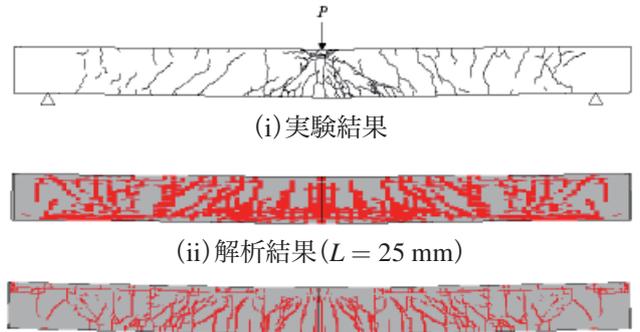


図6 ひび割れ分布の比較(H = 2.0 m)

るモデルとした。

4. 数値解析結果及び考察

4.1 荷点変位波形

図4には、各落下高さにおける荷点変位波形について、実験結果と要素長Lを変化させた解析結果を比較して示している。なお、横軸は重錘が梁に衝突した時刻を基準に整理している。

まず、実験結果に着目すると、いずれの落下高さにおいても最大振幅を示す第1波が励起した後、減衰自由振動状態に至っていることが分かる。また、落下高さが大きくなるにつれて最大変位および残留変位も大きくなる傾向にある。

解析結果に着目すると、H = 1.0 mの場合には、要素長L = 25 mmにおいて最大変位および残留変位を過大に評価する傾向が見られる。一方で、要素長を小さくし、換算引張強度を適用したL = 12.5, 6.25 mmの場合には、実験結果を適切に再現していることが分かる。入力エネルギーが大きいH = 2.0 mに着目すると、L = 6.25 mmの場合を除き、いずれも実験結果を過大に評価している。これは、要素長が大きい場合には、ロッド近傍のコンクリート要素にひび割れが発生する場合にはその引張応力が解放されるため、ロッドの補強効果を適切に評価できないことによるものと推察される。このことは、後述する図6に示すひび割れ分布からも理解できる。なお、H = 2.5 mの場合には、CFRPロッドが破断したことにより、変位が大きく示されており、いずれの場合も実験結果と一致していない。

4.2 ひずみ分布とひび割れ分布

図5には、落下高さH = 1.0 mの場合において、L = 6.25 mmとした要素分割時のひずみ分布を、実験結果と比較して時系列的に示している。図より、解析結果は、重錘衝突直後(t = 1 ms)に発生する試験体中央部の引張ひずみや、0.2~1.4 mの部分に生じる圧縮ひずみをほぼ適切に再現していることが分かる。また、時間の経過とともに、引張ひずみが支点方向に伝播する状況も、解析結果は実験結果をよく再現している。

図6には、実験終了後のロッド補強試験体側面のひび割れ分布と、要素長をL = 25 mmとした場合と6.25 mmの場合における解析結果を比較して示している。図より、実験結果は荷点直下における曲げひび割れや、梁下縁から上縁に進展する斜めひび割れおよび支点部近傍の上縁から進展する曲げひび割れが確認できる。一方、L = 25 mmとする解析結果の場合には、実験結果では見られないロッドに沿う水平ひび割れが発生している。これは、前述のようにロッド近傍コンクリート要素にひび割れが発生したことにより、ロッドの補強効果を適切に表現できないために、変位が大きくなることを裏付けている。しかしながら、L = 6.25 mmの場合には、実験結果のひび割れ分布をほぼ適切に再現できることが分かる。

5. まとめ

- (1) 提案の解析手法を用い、軸方向要素長をL = 6.25 mm程度にすることによって、荷点変位波形をほぼ適切に再現可能である。
- (2) また、CFRPロッドのひずみ分布性状やひび割れ分布に関しても、実験結果をほぼ適切に再現可能となった。