

AFRP シートを用いて下面接着曲げ補強を施した RC 梁の衝撃応答解析

室蘭工業大学大学院 学生会員 ○瓦井 智貴 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
 室蘭工業大学大学院 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、AFRP シートを用いて下面接着曲げ補強を施した 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シート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、シート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 $250 \times 200 \times 3,000$ 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、AFRP シートは RC 梁下面に支点の 50 mm 手前まで接着し曲げ補強を施している。

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、試験体は両支点下部をピン支持とし、その上部には鋼製治具を設置し浮き上がりを防止している。

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。

図3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、既往の研究により次式で与えられる。

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

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(ここでは 25, 6.25 mm と設定)であり、 y_0 : 基準要素長($= 25$ mm)である。なお、単位体積重量 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 35.4 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

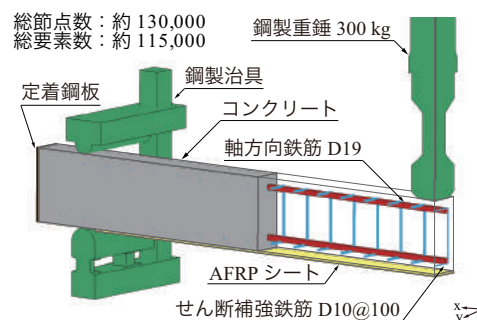


図2 有限要素モデル

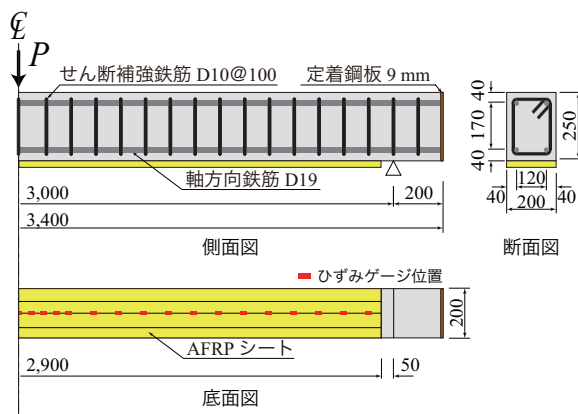
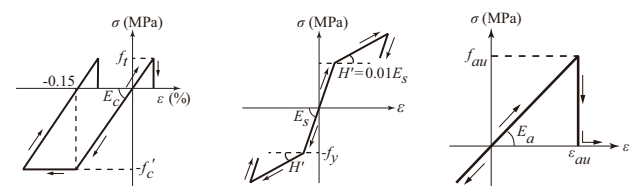


図1 試験体寸法



(a) コンクリート

(b) 鉄筋

(c) AFRP シート

図3 材料構成則

キーワード: RC 梁, AFRP シート下面接着, 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

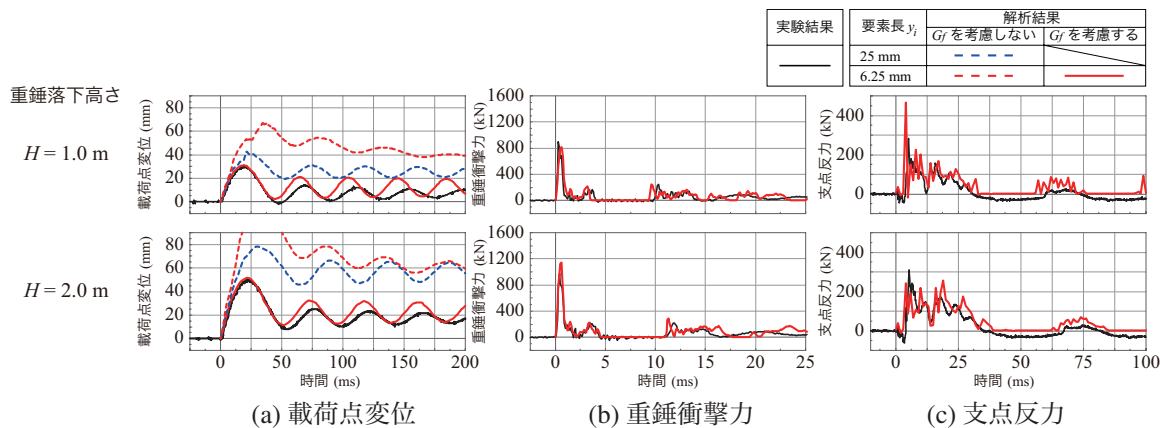
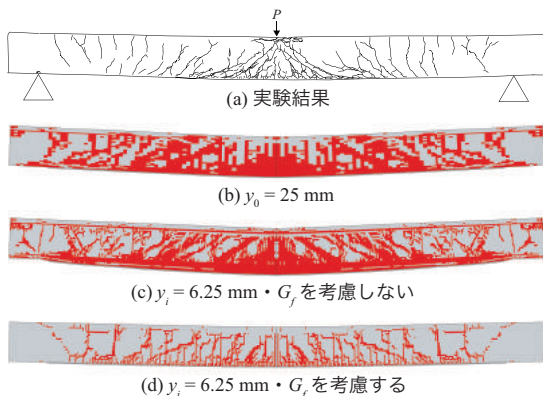
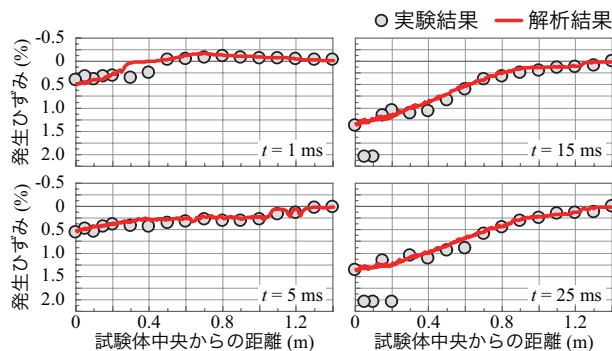


図4 各種時刻歴応答波形

図5 ひび割れ分布の比較 ($H = 2.5$ m)図6 ひずみ分布性状 ($H = 2.5$ m)

鉄筋およびせん断補強鉄筋の降伏応力は、それぞれ 381.7, 461.9 MPa である。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 (= 1.75 %) 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には、重錘落下高さ $H = 1.0, 2.0$ m における各種時刻歴応答波形について実験結果と数値解析結果を比較する形で示している。なお、黒実線は実験結果、赤実線は G_f 等価の概念を考慮し、要素長 $y_i = 6.25$ mm (換算引張強度 $f_{ti} = 7.08$ MPa) の場合における解析結果である。また、载荷点変位波形のみ G_f 等価の概念を考慮しない場合(要素長 $y = 6.25, 25$ mm)の結果(点線)も併せて示している。

図4(a)の変位波形に着目すると、実験結果ではいずれの落下高さ H においても最大変位を示す主波動が励起した後には減衰自由振動に至っている。数値解析結果では、要素長 $y_0 = 25$ mm の場合や G_f を考慮せず $y_i = 6.25$ mm とした場合には、いずれの落下高さ H においても最大変位が実験結果よりも過大に評価されることが分かる。一方、 $y_i = 6.25$ mm で G_f 等価の概念を適用する場合には、いずれの落下高さ H においても実験結果をほぼ適切に評価可能であることが分かる。また、重錘衝撃力や支点反力に関しても、要素長を小さくし同概念を適用することで実験結果を概ね再現可能であることが分かる。

図5には、落下高さ $H = 2.5$ m の場合において、実験終

了後の梁側面のひび割れ分布を要素長および G_f 考慮の有無を変化させた3種類の解析結果と比較して示している。

図5より、実験結果に着目すると、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確認できる。一方で、要素長 $y_0 = 25$ mm あるいは $y_i = 6.25$ mm とし G_f 等価の概念を考慮しない場合の解析結果に着目すると、実験結果よりも損傷を過大に評価しており、実験結果には見られない下縁鉄筋に沿うようなひび割れも確認できる。しかしながら、要素長 $y_i = 6.25$ mm とし、かつ G_f 等価の概念を適用する場合には、概ね実験結果を再現可能であることが分かる。

図6には、落下高さ $H = 2.5$ m に関する AFRP シートの軸方向ひずみ分布について、実験結果を要素長 $y_i = 6.25$ mm とし、 G_f を考慮した場合の解析結果と時系列的 ($t = 1 \sim 25$ ms) に比較して示している。図より、数値解析結果と実験結果はほぼ一致していることが分かる。

5. まとめ

- (1) 要素長を小さくし、既往の研究にて提案されている G_f 等価の概念を適用することで、シート補強 RC 梁の各種時刻歴応答波形をほぼ適切に再現可能である。
- (2) また、ひび割れ分布や AFRP シートのひずみ分布性状に関しても、実験結果をほぼ適切に再現可能である。

謝辞

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