

CFRP シート下面接着曲げ補強 RC 梁の弾塑性衝撃応答解析

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学大学院
(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

室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人
三井住友建設(株) フェロー 三上 浩

1. はじめに

本研究では CFRP シート下面接着曲げ補強 (以後、シート補強) RC 梁の耐衝撃挙動およびひび割れ分布の再現を目的として、別途実施した重錘落下衝撃荷重載荷実験結果を対象に、三次元弾塑性衝撃応答解析を実施した。また、実験結果と比較する形で本解析手法の適用性を検討した。なお、本数値解析には LS-DYNA を用いている。

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。図より、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。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、CFRP シートは、試験体底面に支点 50 mm 手前までエポキシ系含浸接着樹脂を用いて接着している。なお、シートの目付量は 600 g/m^2 である。

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 (落下高さ $H = 1, 2, 2.5, 3$ m) から一度だけ梁のスパン中央部に自由落下させることで実施した。試験体の両支点部は、回転を許容し、浮き上がりを拘束するピン支持に近い構造となっている。

3. 数値解析概要

図2には、本研究で用いた数値解析モデルを示している。ここでは、対称性を考慮してスパンおよび桁幅方向にそれぞれ2等分の 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、軸方向鉄筋は公称断面積と等価な正方形断面に簡略化している。

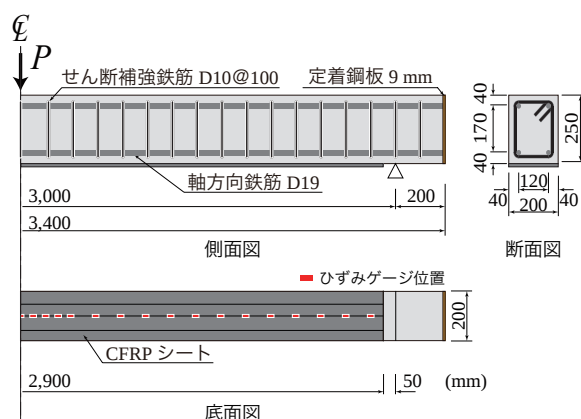


図1 試験体の形状寸法、配筋および補強状況

コンクリートと重錘間およびコンクリートと支点治具間には、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。ただし、摩擦は考慮していない。また、コンクリートと鉄筋要素間およびコンクリートと CFRP シート要素間には完全付着を仮定した。

衝撃荷重は重錘要素を RC 梁に接触する形で配置し、その全節点に実験時に得られた実測衝突速度を付加することで発生させている。また、減衰定数 h は質量比例分のみを考慮するものとし、予備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。

図3には、各要素の材料構成則を示している。図3(a)より、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、引張側に関しては破壊エネルギー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 (ここでは、6 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 $2.35 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 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 32.4 MPa を用いた。

図3(b)より、鉄筋は降伏後の塑性硬化を考慮したバイリ

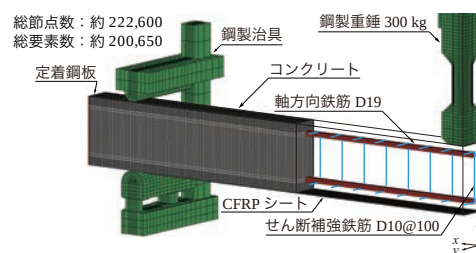


図2 有限要素モデル

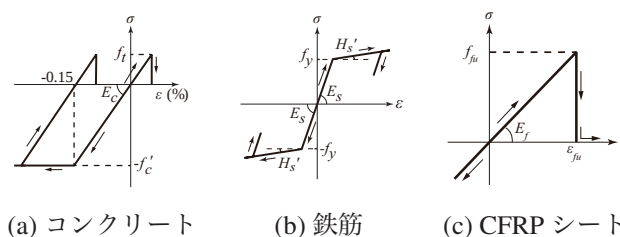


図3 材料構成則

キーワード: RC 梁, CFRP シート下面接着, 有限要素法, 衝撃応答解析

連絡先: 〒050-8585 室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5228

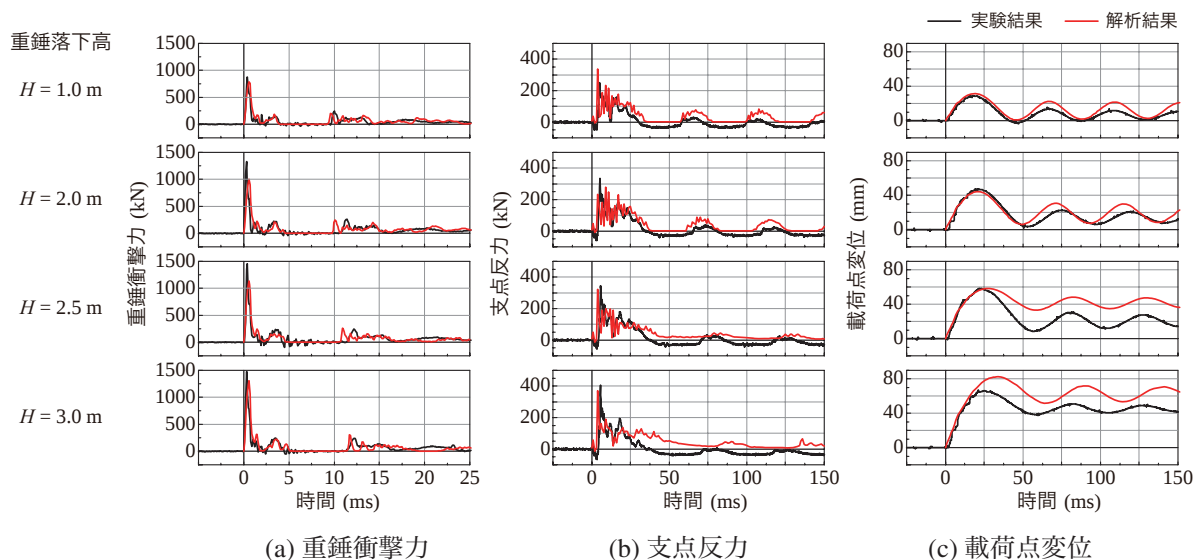


図4 各重錘落下高における各種時刻歴応答波形

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 381.7, 461.9 MPa である。図 3(c) より、CFRP シートは弾性体と仮定し、引張側に関しては破断ひずみ (= 1.39 %) に到達した時点でカットオフされるモデルとした。

4. 数値解析結果および考察

図 4 は、落下高さの異なる全 4 ケースに関する各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、黒線が実験結果、赤線が解析結果を表している。

図 4(a) の重錘衝撃力波形に着目すると、実験結果では、いずれの落下高さ H においても振幅が大きく継続時間が 1 ms 程度の第 1 波に、振幅が小さい第 2 波目が後続する性状を示していることが分かる。また、数値解析結果は実験結果をほぼ適切に再現可能であることが分かる。

図 4(b) の支点反力波形に着目すると、実験結果は、継続時間が 30 ~ 40 ms 程度の主波動に高周波成分が合成された分布性状を示している。数値解析結果に着目すると、落下高さ $H = 1, 2$ m の場合には実験結果を概ね評価可能であるものの、 $H = 2.5, 3$ m の場合には、40 ms 以降反力が零に収束していない。これは、载荷点において実験結果よりも梁が大きく変形することによって、支点の支柱と一体になった飛び跳ね防止治具を上方に押し上げたことが一因と考えられる。

最後に、図 4(c) の载荷点変位波形に着目すると、落下高さ $H = 1, 2$ m の場合には数値解析結果は実験結果を精度良く再現可能であることが分かる。一方で、 $H = 2.5$ m の場合には、実験時にシート剥離が生じていないものの、数値解析結果においては下縁鉄筋に沿うようにひび割れ相当領域が広がったため、残留変位を実験結果よりも過

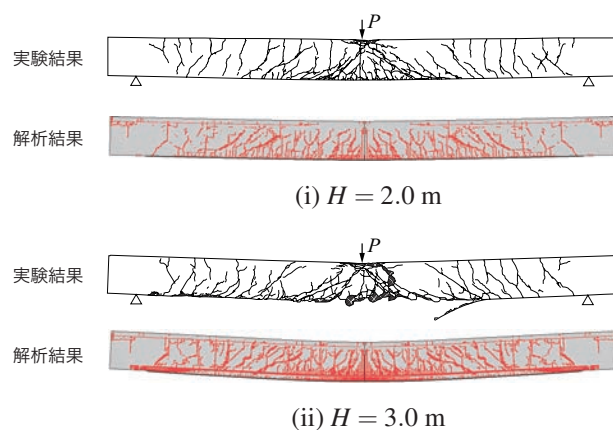


図5 梁側面のひび割れ分布比較

大に評価する傾向にある。また、 $H = 3$ m の場合には実験および数値解析結果ともにシート剥離現象が生じている。

図 5 には、落下高さ $H = 2, 3$ m における実験終了後および解析結果から評価される梁側面のひび割れ分布を比較して示している。図より、落下高さ $H = 2$ m の場合には実験結果および解析結果は、曲げひび割れや斜めひび割れなどの分布性状が概ね一致している。また、シート剥離で終局に至った落下高さ $H = 3.0$ m の場合には、解析結果において下縁鉄筋に沿うように赤色のひび割れ領域が広く分布していることが分かる。すなわち、実験結果と同様にシート剥離現象が生じているものと判断される。

5. まとめ

コンクリートの要素長を 6 mm 程度まで小さくし、破壊エネルギー等価の概念を適用することで、早期にシート剥離現象が生じる傾向にあるものの、CFRP シート補強 RC 梁の耐衝撃挙動をほぼ適切に再現可能である。

謝辞

本研究で用いた接着剤等は住友ゴム工業 (株) からご提供頂いた。ここに記して、感謝する次第である。