FRP ロッドによって曲げ補強された RC 梁の耐衝撃挙動に関する弾塑性応答解析

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 室蘭工業大学大学院 学生員 田中 優貴

1. はじめに

本研究は,FRP ロッドを下面埋設して曲げ補強された RC 梁の耐衝撃性向上効果を適切に評価可能な解析手法の 確立を目的として,AFRP ロッド下面埋設補強 RC 梁の重 錘落下衝撃実験結果¹⁾を対象に三次元弾塑性衝撃応答解析 を実施した.実験結果と比較することによって,提案の 解析手法の妥当性を検証すると共に,その向上効果を数 値解析的に確認した.

2. 数値解析手法の概要

2.1 試験体概要

図1には、本数値解析で対象とした AFRP ロッド下面埋 設 RC 梁試験体の形状寸法を示している.実験は、質量 300 kg の鋼製重錘を所定の高さ(落下高さ H = 2.5, 3.0, 3.5 m)からスパン中央部に一度だけ落下させて実施した. なお、実験時の測定衝突速度から逆定した自由落下時の 落下高さは、それぞれ 2.21, 2.68, 3.15 m である.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



支持に近い構造である.実験における測定項目は,(1)重 錘衝撃力,(2)支点反力,(3)スパン中央点変位,および (4)ロッドの軸方向ひずみである.実験時におけるコンク リートの圧縮強度 f_c は無補強試験体で 23.3 MPa,補強試 験体で 23.4 MPa,また軸方向鉄筋の降伏応力 f_y はそれぞ れ 355 MPa, 395 MPa であった.

2.2 有限要素モデル

図2には、数値解析モデルの要素分割状況を示している。解析モデルは、RC 梁の対称性を考慮し 1/4 モデルとした. なお、梁軸方向の要素分割長は約6mm である. せん断補強筋は2節点梁要素、それ以外は全て8節点固体要素を用いた.減衰定数は、質量比例分のみを考慮するものとし、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、境界条件は重錘-コンクリート間およびコンクリートー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ている.

2.3 材料構成則

図3には、本解析モデルで使用した材料構成則を示している.(a)図には、コンクリートの応力–ひずみ関係を示している. 圧縮側は、相当ひずみが0.15%に達した段階で完全降伏するものとした.一方、引張側は、破壊エネルギーを考慮した換算引張強度 f_tでカットオフされるモデルとした.なお、換算引張強度の算出には、既往の文献²⁾を参考に、本解析では基準要素長を25 mmと設定した.(b)図には、軸方向鉄筋およびせん断補強鉄筋に関する応力–ひずみ関係を示している.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である.AFRPロッドは、(c)図に示すように弾性体と仮定し、破断ひずみに達した時点でカットオフされるものとした.

3. 数値解析結果及び考察

図4には, 落下高さ H = 2.5 m における数値解析結果



キーワード: AFRP ロッド, RC 梁, 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 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228



図 4 各種時刻歴応答波形 (H = 2.5 m)

の各種時刻応答波形を実験結果と比較して示している.な お,横軸は重錘がコンクリートに衝突した時刻を零とし ている.

(a) 図の重錘衝撃力に着目すると、補強の有無にかかわ らず、解析結果は、実験結果の波形性状を適切に再現して いることが分かる.また、最大重錘衝撃力は無補強試験 体よりも補強試験体の方が大きい.これは、ロッド埋設 補強によって曲げ剛性が増大したことによるものである.

(b) 図の支点反力に着目すると,数値解析結果には高周 波成分が含まれており,かつ最大値は実験結果より若干 大きく評価している.しかしながら,継続時間を含めた 全体的な波形性状は大概一致していることが分かる.

(c) 図における載荷点変位に着目すると、補強の有無に かかわらず変位の立ち上がりから最大値に至るまで、数 値解析結果は実験結果とよく一致していることが分かる. また、補強試験体の最大変位が無補強試験体よりも2割 程度小さい結果をよく再現している.

図5には、補強試験体の落下高さH = 2.5 mにおける ロッドのひずみ分布について、数値解析結果と実験結果 を時系列的に比較して示している. 重錘衝撃直後から最 大変位到達時刻(t = 25 ms)に至るまで、数値解析結果は 実験結果をよく再現していることが分かる. なお、t = 15ms 以降で実験結果の一部に 2%を超える大きなひずみが 発生している. これは、パテ状接着樹脂の割れによって ひずみゲージ泊が破断されたことによるものである.

図6には、全ての解析ケースにおける重錘衝撃力、支点 反力および載荷点変位の最大値について、実験結果と解 析結果を比較して示している.(a)図の重錘衝撃力に着目 すると、補強の有無にかかわらず、数値解析結果の誤差 は 20% 以内であることが分かる.

一方,(b)図に示す支点反力の場合には,数値解析結果 が実験結果を20%程度大きく評価している.また,数値



図 5 ひずみ分布性状 (ロッド試験体, H = 2.5 m)

解析結果は,落下高さが低いほど実験結果を大きく評価 する傾向にあることが分かる.(c)図に示す載荷点変位に 関しては,両者の誤差は10%以内であり,数値解析結果 は実験結果をほぼ適切に再現できている.

- 4. まとめ
- 提案の解析手法を用いることにより、重錘落下衝撃 荷重載荷時における FRP ロッド下面埋設補強 RC 梁 の載荷点変位波形,重錘衝撃力波形,支点反力波形 をほぼ適切に再現可能である。
- 2) また、下面埋設された FRP ロッドのひずみ分布性状 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,日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (C)(課題番号 15K06199)の援助を受けたものである。

参考文献

-1000-

- 1) 佐藤元彦,岸 徳光,栗橋祐介,三上 浩,小室雅人:AFRPロッドで曲げ補強した RC 梁の重錘落下衝撃実験,土木学会北海道支部論文報告集,第72号,A-03(CD-ROM),2016.
- 2)岸 徳光, A.Q. Bhatti,三上浩,岡田慎哉:破壊エネルギー等価の概念を用いた大型 RC 桁に関する衝撃応答解析手法の妥当性検討,構造工学論文集, Vol. 53A, pp.1227-1238, 2007.