

ポリウレア樹脂で被覆された RC 部材の 繰り返し衝撃挙動に関する数値シミュレーション

九州大学大学院 学生会員 ○井福 達也
日本工営(株) フェロー会員 奥石 正己

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
清水建設(株) 正会員 久保 昌史
三井化学産資(株) 正会員 井出 一直

表-1 繰り返し衝突速度

衝突回数	1	2~6	7~11	12~16	17~
落下高さ(mm)	300	50	100	150	200
衝突速度(m/sec)	2.43	0.99	1.4	1.72	1.98



(a) 無被覆供試体 (b) ポリウレア樹脂被覆
(載荷 11 回) (載荷 19 回)

写真-1 片持ち梁の破壊状況

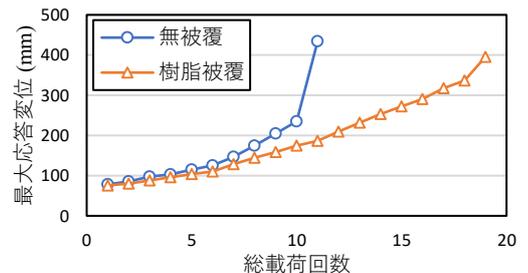


図-2 片持ち梁の変位

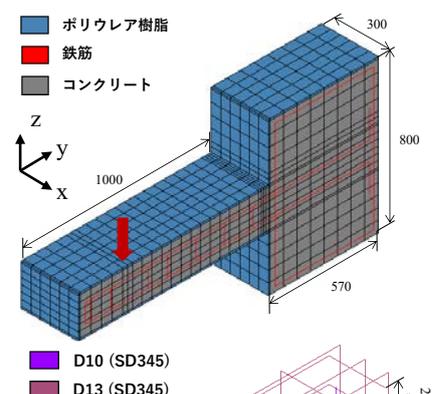


図-3 解析モデル

1. 目的

ポリウレア樹脂は引張強度 25MPa, 破断ひずみ 200%以上の破断強度を持つ¹⁾。その高い変形能力により、ポリウレア樹脂は様々な RC 防護構造物に利用されており、RC 構造部材のエネルギー吸収性を大幅に増加させることが繰り返し重錘落下試験によって確認された。しかしながら、ポリウレア樹脂を被覆した RC 構造物の数値解析的研究はまだ少ない。そこで本研究では、繰り返し重錘衝突試験の再現解析を FEM を用いて実施し、数値解析的な観点からポリウレア樹脂の被覆効果を検討した。

2. 繰り返し衝撃実験

2.1 実験概要

はじめに、ポリウレア樹脂を被覆した RC 梁の衝撃荷重に対する有効性を確認するため、厚さ 2mm の樹脂を被覆した RC 梁及び、無被覆の RC 梁を用いて低速度繰り返し重錘衝撃試験を行った。質量 1000kg の重錘を表-1 に示す速度で、部材が崩壊するまで繰り返し衝突させた。

2.2 実験結果

実験結果を写真-1 (a) (b) に示す。無被覆供試体は載荷 11 回で片持ち梁の梁基部が破壊したが、樹脂を被覆したものについては載荷 19 回まで増加した。また、梁基部の破壊後にポリウレア樹脂が剥離後もつながったままである。この現象が梁の崩落を防いでいると考えられる。変位の比較を図-2 に示す。単発の載荷では、殆ど違いが見られないが、載荷を繰り返すと、徐々に変位差が大きくなっていることが分かる。

3. 繰り返し衝撃実験の再現解析

3.1 解析概要

ポリウレア樹脂の被覆効果を数値解析的に検証するために、汎用 FEM 解析プログラム DIANA(ver.10.4)を用いた弾塑性応答解析を行った。再現解析では、実験試験体の対称性を考慮した 1/2 モデルを用いた(図-3)。コンクリート、ポリウレア樹脂はソリッド要素、鉄筋は島の付着-すべりを考慮した埋込鉄筋要素でモデル化している。

キーワード RC 梁, 繰り返し衝撃載荷, 衝撃応答解析, 有限要素法, ポリウレア樹脂

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 九州大学ウエスト 2 号館 1102 号室 構造解析学研究室 TEL092-802-3370

図-4 にダンベル試験体を用いた単軸引張試験によって得られたポリウレア樹脂の応力-ひずみ関係、表-2 に各部材の材料物性値、図-5 に応力-ひずみ関係を示す。コンクリートのひび割れには分散ひび割れモデルを用い、引張側には引張破壊エネルギー G_f を考慮した Exponential モデル、圧縮側には圧縮破壊エネルギー G_c を考慮した Parabolic モデルを用いた。鋼材は von Mises の降伏条件式に従い、硬化係数を $E/100$ としている。ポリウレア樹脂は図-4 を参考にバイリニアでモデル化した。実験ではポリウレア樹脂は 2mm の厚さで被覆されるが、解析では要素のアスペクト比を考慮して厚さ 10 mm の有限要素でモデル化した。その結果、実際よりも部材剛性が増してしまうが、ポリウレア樹脂の静弾性係数を断面積の増加率を考慮して低減させることで調整した。樹脂とコンクリートの境界面にはインターフェイス要素を設け、2 要素間の力が実験値を参考にした付着強度を上回る場合には伝達力をゼロとすることで、付着切れを表現した。なお梁基部には樹脂の接着不良がある可能性を考慮し、初期状態から伝達力をゼロとしている。また、本解析では衝撃荷重により繰り返し载荷試験を再現している。1 撃目は実験より得た加速度波形を三角形と矩形で近似し、衝撃荷重とした。2 撃目以降は衝撃継続時間を一定とし、力積が等しくなるように衝撃力のみを調整することで衝撃荷重を算出した。

3.2 解析結果

本解析で得られた初撃時応答変位と実験値との比較を図-6 に示す。本研究で提案する解析手法を用いて、単発の衝撃荷重に対しては最大変位、残留変位ともに精度よく再現できることがわかった。図-7 に繰り返し衝撃解析による最大応答変位と実験値を示す。この図より、徐々に変位差が大きくなっていく傾向を概ね捉えていることがわかる。図-8 に樹脂被覆モデルの最大主ひずみ分布を示す。梁基部に過大なひずみが発生しているが、ポリウレア樹脂はつながったまま曲げに対する強度を発揮している様子が確認できる。

4. 結論

本研究で提案した解析手法による繰り返し衝撃応答解析で、初撃時の変位応答および、繰り返し载荷時に変位差が徐々に開いていく挙動を再現可能であることが確認できた。また、ポリウレア樹脂がつながったまま強度を発揮している様子も再現できた。

ただし、図-7 の 11 撃目に見られる無被覆供試体の破壊挙動を再現するために、今後、鉄筋破断のモデル化を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 興石正己, 他 4 名: ポリウレア樹脂で表面被覆した RC 壁の衝撃挙動と樹脂被覆による安全性向上効果, 土木学会第 69 回年次学術講演会, I-283, pp565-566, 2014.9

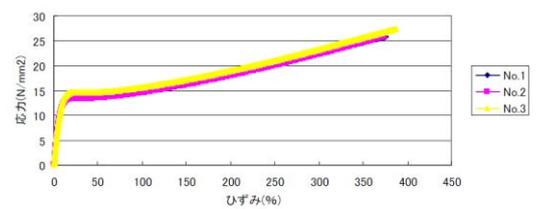


図-4 ポリウレア樹脂の応力-ひずみ関係

表-2 材料物性値

	密度 [kg/m³]	静弾性係数 [Gpa]	硬化係数 [Gpa]	強度 [Mpa]
鉄筋	7850.8	186.5	1.865	394.1
コンクリート	2320	29.5	-	25.1
ポリウレア樹脂	1000	0.11	0.03	24.0

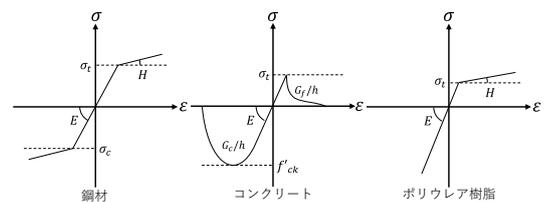


図-5 応力-ひずみ関係

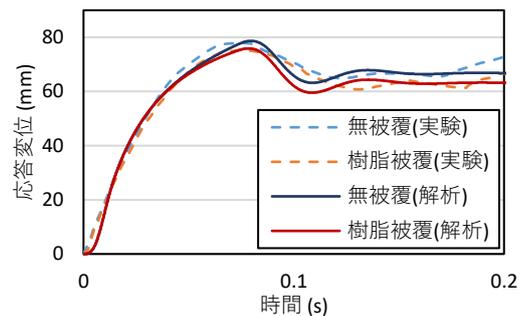


図-6 初撃時変位応答

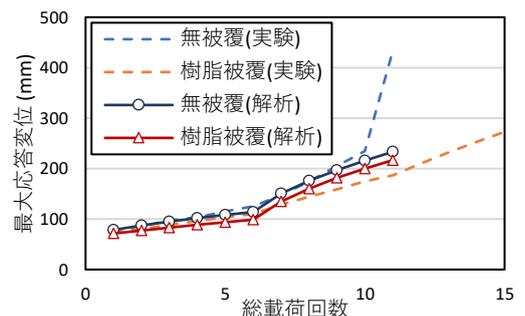


図-7 载荷回数-最大応答変位関係

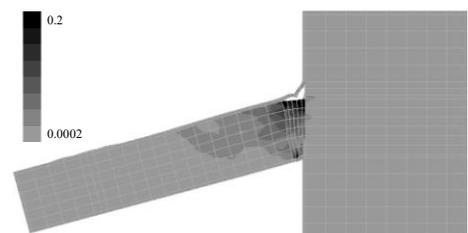


図-8 最大主ひずみ分布