

SPH 法を用いた重錘の繰り返し落下衝突に対する RC 片持ち梁の衝撃応答解析

九州大学大学院 学生会員 〇川井田 健 九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨
 清水建設(株) フェロー会員 奥石 正己 三井化学産資(株) 正会員 井出 一直

1. はじめに

近年、構造物の設計が性能照査型に移行するにともない、構造物の限界状態と要求性能を明確にすることが求められているが、都市内の高架橋等においては、車両の衝突事故に対する防護柵の安全性を確保するだけでなく、衝突時のコンクリート片の飛散による第三者被害を防止することが重要な要求性能の一つとして挙げられている。著者らは、ポリウレタ樹脂を塗布することによりコンクリート製防護柵の安全性を向上する技術「タフネスコート」を開発中¹⁾で、RC 部材の表面に塗布した樹脂の効果で、部材の崩壊に要する衝撃エネルギーが大幅に増加することを確認している。今回は、本実験の再現を行うための予備段階として、繰り返し重錘落下衝撃試験による RC 梁部材の衝撃挙動に関するシミュレーションを試みた。

2. SPH 法の概要

ここでは、ひび割れ進展による RC 部材の破壊の評価に適していると思われる SPH 法²⁾を用いた衝撃解析を行った。SPH 法は、図-1 に示すような影響範囲内の粒子に対して kernel 関数を用いた重み付け計算で、式(1)、式(2)を用いて対象粒子の物理量やその勾配を近似的に求める手法である。

$$\langle f(x) \rangle = \int_{\Omega} f(x') W(x-x', h) dx' \tag{1}$$

$$\langle \nabla f(x) \rangle = - \int_{\Omega} f(x') \nabla W(x-x', h) dx' \tag{2}$$

ここに、 h :影響半径、 W :kernel 関数、 $\langle \rangle$:平滑値。

3. 実験概要

本研究では、RC 片持ち梁の繰り返し衝撃実験¹⁾を対象に衝撃応答解析を行い、重錘の繰り返し衝突による片持ち梁の残留変位の増大状況を実験結果と比較することで、RC 部材の衝撃破壊解析への SPH 法の適用可能性について検討した。図-2 に試験体の概要を示す。試験体は、幅 600 mm、高さ 200 mm、長さ 1000 mm のコンクリート部材内に D10(SD345)を主鉄筋およびせん断補強鉄筋として配置したスパン長 0.75 m の RC 片持ち梁部材である。実験は、試験体に最初に質量 1000 kg の重錘を 300 mm の高さから自由落下衝突させた後、50mm の高さから 3 回自由落下衝突させる形式で行われた。本実験による RC 片持ち梁の最大変位と残留変位の推移を表-1 に示す。実験後の RC 片持ち梁の破壊状況を写真-1 に示すが、梁基部上縁からひび割れが発生していることが確認された。

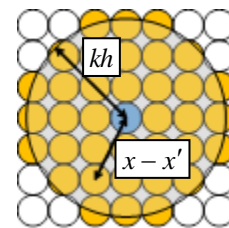


図-1 SPH 法近似

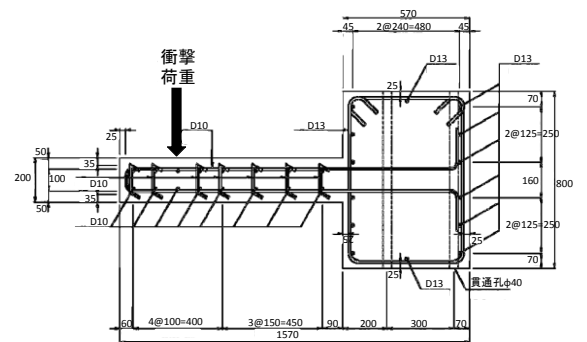


図-2 試験体概要図

表-1 载荷パターンと累積変位

	重錘質量(kg)	落下高さ(mm)	最大変位(mm)	残留変位(mm)
1回目	1000	300	78.5	67
2回目		50	85.7	75
3回目			97.5	82
4回目			103.0	90

4. 解析概要

解析は、3 節に示した実験供試体について対称性を考慮した 1/2 モデルで離散化し、SPH 法を用いて行った。固定境界条件を与え、底面の黒色の粒子には完全固定境界条件を与えた。

キーワード RC 梁, 繰り返し衝撃载荷, 衝撃応答解析, SPH 法

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

また、粒子径は全て 10.0 mm とした。RC 片持ち梁に衝突させる重錘の条件は、実験と同様に先端が R=100 mm の球面形状の重量 1000 kg の重錘とした。実験では表-1 に示すように、最初に RC 梁に 300 mm の高さから重錘を落下衝突させ、その後 50mm の高さから繰り返し衝突を与えているが、解析ではエネルギー保存則を考慮して重錘が RC 梁に接触した時の速度を一致させるように設定し、繰り返し衝突解析を行った。

解析に用いた材料物性値を表-2 に示す。材料特性には、鋼材粒子にはひずみ硬化を考慮した von Mises の降伏条件を用い、コンクリート粒子には圧縮側に完全弾塑性、引張側に引張軟化を考慮した損傷モデル³⁾を仮定し、圧縮・引張両面に平面キャップを有する Drucker-Prager の降伏条件を適用した。鋼材とコンクリートの単軸換算の応力-ひずみ関係を図-4 に示す。

図-5 に、解析結果として重錘の繰り返し落下衝突を受けた RC 片持ち梁の荷重下部における変位応答と、実験における最大変位の推移を示す。4 回の繰り返し衝突の過程における最大変位と残留変位を実験結果と比較すると、それぞれ最大で約 19%と 10%の相違が見られるが、概ね RC 梁の変位応答を再現できることが認められた。図-6 に RC 梁の破壊状況を把握するために最大変位時の主ひずみ分布を示す。この図より、固定端近傍の上縁側のコンクリート粒子が 10%を超える引張ひずみを示しており、実験の破壊状況と同様に片持ち梁の固定端上縁からひび割れが発生することが確認された。

5. 結論

本研究で用いた SPH 法による衝撃応答解析で、ひび割れの進展状況などの RC 部材の衝撃破壊挙動を再現可能であることが確認できた。今後は、ポリウレア樹脂を塗布することで期待されるコンクリート構造物の崩壊抑制効果について、数値解析による検証を行い、ポリウレア樹脂を用いた RC 部材の終局限界性能の評価を行う予定である。

表-2 材料物性値

	粒子径 [mm]	密度 [kg/m ³]	ポアソン比	圧縮(降伏)強度 [MPa]	引張(降伏・破壊)強度[MPa]	静弾性係数 [GPa]	硬化係数 [GPa]
鉄筋	10.0	7850.8	0.3	394.1	394.1	186.5	4.379
コンクリート	10.0	2320.0	0.193	25.1	3.14	29.5	0.0
重錘	10.0	7850.8	0.3	394.1	394.1	186.5	-

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
- 2) G.R.Liu, M.B.Liu : Smoothed Particle Hydrodynamics a meshfree particle method, World Scientific, 2003
- 3) 深澤仁, 園田佳巨 : SPH 粒子法の構造部材の弾塑性解析への適用に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp1358-1365, 2009.3



写真-1 破壊状態

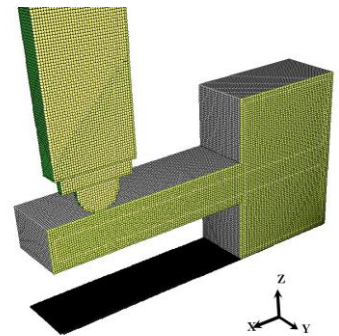


図-3 解析モデル

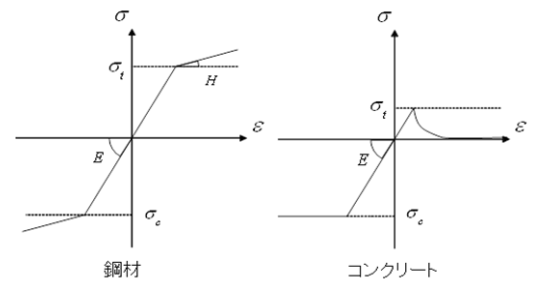


図-4 応力ひずみ関係

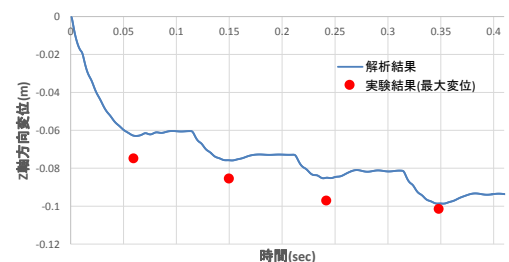


図-5 繰り返し荷重変位時刻歴

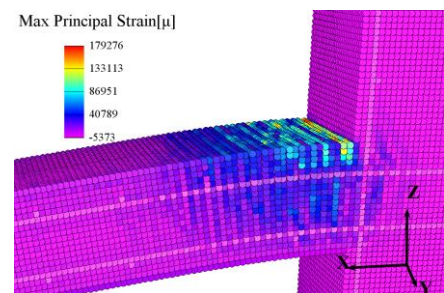


図-6 RC梁最大主ひずみ分布