

先端部形状の異なる重錘を用いた曲げ破壊型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動解析

室蘭工業大学 学生員 千葉 潤一 室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 防衛庁第4研究所 正員 安藤 智啓 三井建設（株） フェロー 三上 浩

1. はじめに

本研究では先端部曲率が異なる3種類の重錘を用いた曲げ破壊型 RC 梁の重錘落下挙動解析を行い、実験結果と比較する形で本数値解析手法の妥当性を検討した。なお、本解析には、市販されている衝撃応答解析汎用コード LS-DYNA(Ver.950)を用いている。

2. 解析ケース

図 - 1 には、本数値解析において対象とした RC 梁の形状寸法および配筋状況を測定項目と合わせて示している。用いた RC 梁の形状寸法（梁幅×梁高×全長）は、150×250×2,400 mm である。図 - 2 には、曲率半径 r が 1) 1,407 mm（曲率小;CS）、2) 90 mm（曲率中;CM）、3) 30 mm（曲率大;CL）と異なる3種類の重錘先端部を示している。表 - 1 には、用いた RC 梁の静的設計値および衝突速度を一覧にして示している。本解析における衝突速度は、 $V = 4, 5 \text{ m/s}$ を設定している。表 - 2, 3 には、実験時におけるコンクリートおよび鉄筋（軸方向鉄筋、せん断補強筋）の力学的特性値を示している。

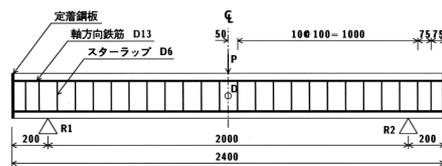


図 - 1 RC 梁の形状寸法および測定項目

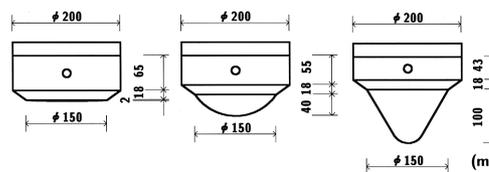


図 - 2 重錘先端形状一覧

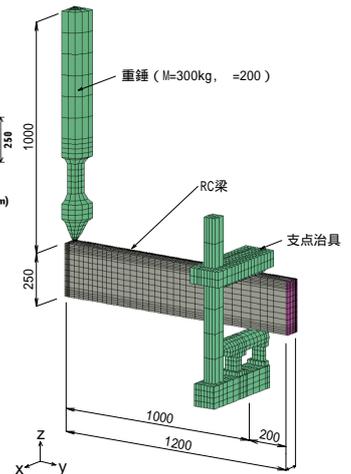


図 - 3 有限要素モデル

図 - 3 には、曲率大の重錘を用いた場合の全体の有限要素モデルを示している。解析対象は、RC 梁の対称性を考慮してスパン方向および断面方向に2等分した 1/4 モデルである。適用した要素タイプは、8 節点あるいは6 節点の三次元固体要素である。せん断補強筋には、解析時間の短縮を考慮して、剛性、断面積、重量が等価な梁要素を適用した。なお、要素の積分点数は1 点積分を基本としているが、軸方向鉄筋に関しては断面方向に1 要素でモデル化しているため、解析精度を考慮して8 点積分としている。コンクリートと重錘および支点治具の要素間には、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ている。また、コンクリートと軸方向鉄筋およびせん断補強筋の要素間には、完全付着を仮定している。衝撃荷重は、重錘を RC 梁上に接触させた状態で、重錘要素の全節点に所要の衝突速度を付加することにより与えている。

表 - 1 解析ケース一覧

| 試験体名 | 静的せん断耐力 V_{usc} (kN) | 静的曲げ耐力 V_{usc} (kN) | せん断余裕度 | 衝突速度 V (m/s) |
|--------|------------------------|-----------------------|--------|----------------|
| CS-4,5 | 137.4 | 38.2 | 3.6 | 4, 5 |
| CM-4,5 | | | | |
| CL-4,5 | | | | |

表 - 2 コンクリートの力学的特性値

| 実験時材令 (日) | 圧縮強度 f'_c (MPa) | 弾性係数 E_c (GPa) | ポアソン比 ν_c |
|-----------|-------------------|------------------|---------------|
| 36 | 41.4 | 23.1 | 0.23 |

表 - 3 鉄筋の力学的特性値

| 鉄筋名称 | 材質 | 降伏強度 σ_s (MPa) | 弾性係数 E_s (GPa) | ポアソン比 ν_s |
|------|--------|-----------------------|------------------|---------------|
| D13 | SD345 | 373 | 206 | 0.3 |
| D6 | SD295A | 368 | | |

3. 数値解析モデル

キーワード：RC 梁，曲げ破壊型，弾塑性衝撃解析，先端部形状
 連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 建設システム工学科 TEL 0143-46-5226 FAX 0143-46-5227

4. 材料物性モデル

コンクリート要素は、圧縮領域に対しては相当歪が $1,500 \mu$ に達した状態で降伏するものと仮定し、完全弾塑性のバイリニア型にモデル化している。一方、引張領域に関しては破壊圧力に達した段階で圧力が零に除荷されるカットオフモデルを用いている。なお、降伏応力には圧縮強度 f'_c を、また引張側の破壊圧力には降伏応力の $1/10$ ($= 0.1 f'_c$) を仮定している。軸方向鉄筋要素には、降伏後の塑性硬化係数 H' を考慮した等方弾塑性体モデルを採用している。降伏応力 σ_s 、弾性係数 E_s およびポアソン比 ν_s には、材料試験結果に基づき表 - 3 に示す値を採用している。塑性硬化係数 H' は弾性係数 E_s の 1% と仮定した。その他の要素（せん断補強筋、重錘、支点治具および定着鋼板）には弾性体モデルを適用している。

5. 数値解析結果と実験結果の比較

ここでは、紙面の都合上、 $V = 4 \text{ m/s}$ の結果に着目して検討を行う。図 - 4 には、各試験体の重錘衝撃力 P 、支点反力 R および変位 D の応答波形に関する数値解析結果を実験結果と比較して示している。なお、各波形は原波形を用いて整理している。

(a)図の重錘衝撃力波形 P について見ると、数値解析結果と実験結果は、重錘先端部の曲率の大きさに拘わらず、最大振幅値には若干の差異が見られるものの、波動の立ち上がりから減衰に至るまで両者で良く対応した分布性状を示していることが分かる。また、曲率の大きさの影響に着目すると、第一波の最大振幅が曲率の増大に伴い大幅に減少していることが分かる。しかしながら、第二波目のピーク値は、曲率の大きさに拘わらずほぼ同様となっている。次に、(b)図の支点反力波形 R について見ると、ここでも数値解析結果と実験結果は、曲率の大きさに拘わらず両者で大略類似した分布性状となっていることが分かる。さらに、(c)図の変位波形 D に関しても、いずれ試験体においても、波動の立ち上がりから減衰に至るまで両者で良く対応している。

図 - 5 には、RC 梁の最大変位発生時近傍における RC 梁側面の第 1 主応力分布を実験終了後の RC 梁側面のひび割れ分布（図中黒色実線）と比較して示している。図より、曲率小(CS)の場合について見ると、実験終了後の曲げひび割れがスパン全体に渡って発生していることが分かる。解析結果では、載荷点部から梁下縁の斜め方向に進展するひび割れを除くと、このような曲げひび割れ分布を大略再現しているものと判断される。一方、曲率中(CM)および曲率大(CL)の場合について見ると、実験終了後の曲げひび割れは、曲率小の場合に比べてスパン中央部に集中して発生している様子が観察される。ここでも数値解析結果はこのような傾向を良くシミュレートしている。

6. まとめ

本研究では、先端部曲率が異なる 3 種類の重錘を用いた曲げ破壊型 RC 梁の重錘落下挙動解析を行い、実験結果と比較する形で本数値解析手法の妥当性を検討した。その結果、本数値解析手法を用いることにより、曲げ破壊型 RC 梁の重錘落下挙動が重錘の先端部形状に拘わらず比較的精度良く評価可能であることが明らかとなった。

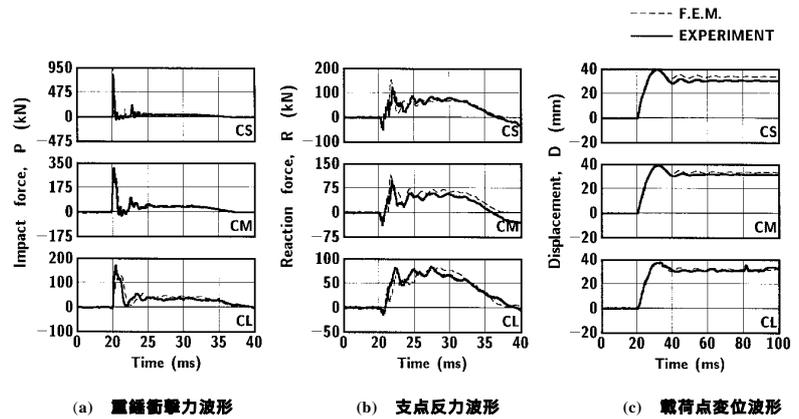


図 - 4 各応答波形に関する比較($V = 4 \text{ m/s}$)

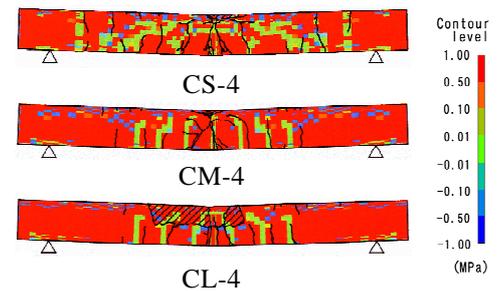


図 - 5 ひび割れ分布の比較