

I - B 287 有限要素法による RC 梁の重錘落下衝撃挙動解析

北海道開発コンサルタント（株） 正 員 小 林 竜 太
 室蘭工業大学 正 員 岸 徳 光
 三井建設（株） フェロー 三 上 浩
 室蘭工業大学 正 員 矢 吹 信 喜

1. はじめに

本研究では、重錘落下衝撃荷重を受ける RC 梁のより信頼性の高い数値解析手法を確立することを目的として、スパン長および断面寸法が異なる計 4 体の RC 梁模型を対象として、従来より著者らが推奨している解析手法を適用した弾塑性衝撃応答解析を試み、各種応答性状に関する実験結果との比較によりその適用性について検討を行った。なお、本数値解析には陽解法非線形動的構造解析コード LS-DYNA (Ver.940) を用いている。

2. 数値解析条件および仮定

2.1 数値解析モデル

本数値解析で対象とした RC 梁模型は、図-1 に示すようなスパン長および断面寸法が異なる計 4 体の複鉄筋矩形 RC 梁である。表-1 に試験体の一覧を示す。図-2 には試験体 A-L2.0 に関する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 モデルとした。適用した有限要素タイプは、スターラップを除いた全要素に対しては 6 節点あるいは 8 節点の 3 次元固体要素を用いている。しかしながら、スターラップ (D6) 要素に対しては要素サイズが他と比較して小さいため簡略化して梁要素でモデル化を行った。要素間の接触条件に関しては、コンクリートと重錘および支点治具の要素間に面一面間の接触、剝離を伴う滑りを考慮した接触面を定義することで処理している。また、RC 梁に作用する衝撃荷重は重錘要素の全節点に対して所定の載荷速度を付加する形で入力している。全数値解析時間は実験結果との長期的な変形状態について比較検討を行うため 160msec 間としている。

2.2 材料構成則モデル

本数値解析では、コンクリートや上下端鉄筋要素に対する弾塑性体モデルとして LS-DYNA に予め組み込まれている簡易な材料構成則モデルを用いることとした。コンクリート要素には、圧縮側に対してはバイリニア近似による応力-歪関係、引張側に対してはカットオフ値に達した段階で引張力を伝達しないとすする引張破壊を考慮した材料モデルを用いた。ここでは、表-2 に示す一軸圧縮試験結果に基づき 1500μ 歪に達した状態で降伏するものと仮定して完全弾塑性型にモデル化した。なお、降伏応力には圧縮強度を仮定し、引張側のカットオフ値は圧縮強度の 1/10 とした。降伏判定は von Mises の降伏条件に従うこととしている。一方、上下端鉄筋要素には、降伏後の塑性硬化を考慮した等方弾塑性体モデルを用いた。ここで、降伏後の塑性硬化

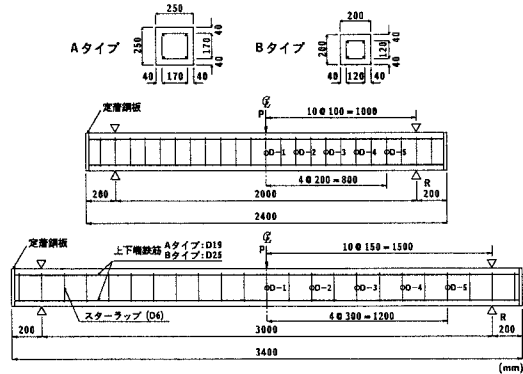


図-1 RC 梁模型の形状寸法および測定項目

表-1 試験体の一覧

試験体名	断面タイプ	純スパン長 L(m)	鉄筋径	主鉄筋比 P_t (%)	載荷速度 V(m/sec)
A-L2.0	A	2.0	D19	1.09	6
A-L3.0	A	3.0	D19	1.09	6
B-L2.0	B	2.0	D25	3.17	6
B-L3.0	B	3.0	D25	3.17	6

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 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比
36	354	2.75×10^5	0.25

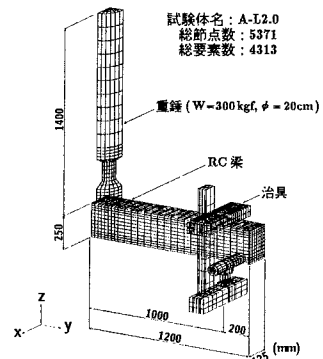


図-2 有限要素モデル

キーワード：重錘落下衝撃、有限要素法、弾塑性応答解析、RC 梁
 連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27 番 1 号 室蘭工業大学 建設システム工学科 Tel 0143-47-5226 Fax 0143-47-5227

係数 H' は弾性係数の1%と仮定した。材料定数には静的な公称値を採用している。図-3には本数値解析で用いたコンクリートおよび上下端鉄筋の応力-歪特性を图示している。なお、その他の要素に対しては弾性体モデルを適用した。また、系の振動に伴う質量に依存した粘性減衰効果は、過去の研究成果を参考にして、最低次の弾性固有振動周期に対する粘性減衰定数を5%と仮定して考慮している。

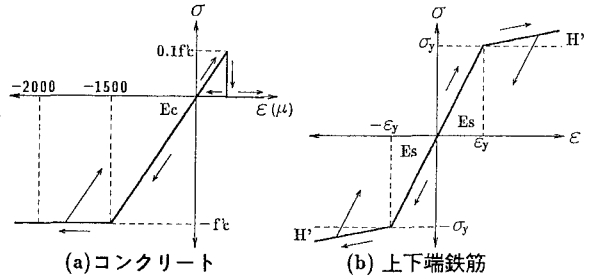


図-3 数値解析に用いた応力-歪曲線モデル

3. 数値解析結果と実験結果の比較

図-4には、各試験体における変位(D)、重錘衝撃力(P)および片側支点反力波形(R)の各種応答波形を実験結果と比較して示している。なお、変位波形に関しては紙面の都合上、梁スパン中央部のD-1についてのみ示している。図より、変位波形に着目すると、いずれの試験体においても最大応答変位は数値解析結果が実験結果より若干小さく示されているが、残留変位に関しては両者で良く一致している。また、波形分布性状に関しても、波動の立ち上がり勾配や除荷後の自由振動性状ともに良く対応していることがわかる。

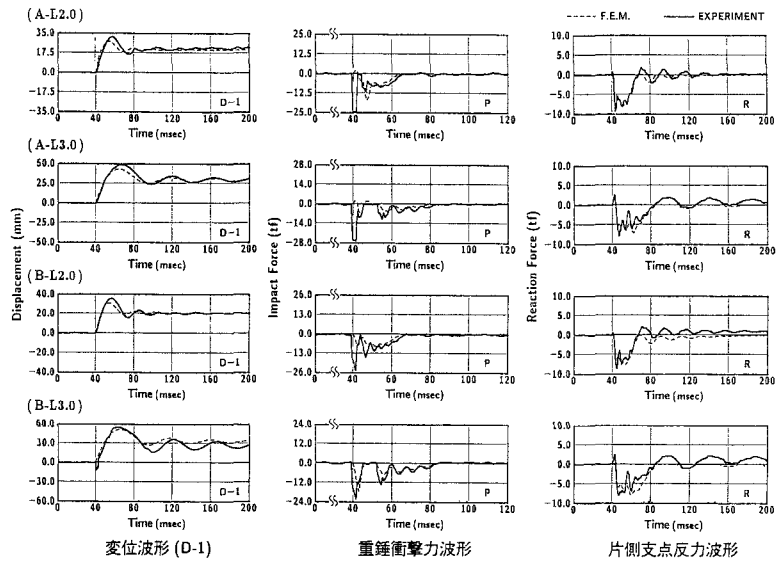


図-4 各種応答波形に関する数値解析結果と実験結果の比較 ($V = 6 \text{ m/sec}$)

一方、重錘衝撃力波形および片側支点反力波形に着目すると、数値解析では衝撃初期における高周波成分が再現されていない箇所があるが、それらを除いた主波動の領域に関しては、いずれの試験体においても波形分布性状、継続時間および除荷後の振動性状ともに数値解析結果は実験結果を比較的精度良く再現していることがわかる。図-5には、RC梁の最大応答変位発生時近傍における梁側面の第1主応力分布を実験終了後のひび割れ分布と重ねて示している。図中、緑色の等色領域がひび割れの発生箇所に対応している。図より、いずれの試験体においても、载荷点直下近傍の曲げひび割れや支点部近傍での負載荷状態における曲げひび割れ、梁上端部から斜め下方へ向かうせん断ひび割れ分布は実験結果と比較的良く対応していることがわかる。

4. まとめ

重錘落下衝撃荷重を受けるRC梁のより信頼性の高い数値解析手法を確立することを目的として、スパン長および断面寸法が異なる計4体のRC梁試験体に着目して、著者らによって推奨されている解析手法を適用した弾塑性衝撃応答解析を試み、その適用性について検討を行った。検討結果、本解析手法は実験結果を比較的精度良くシミュレート可能であり、スパン長が異なるRC梁に対しても十分適用可能であることが明らかとなった。

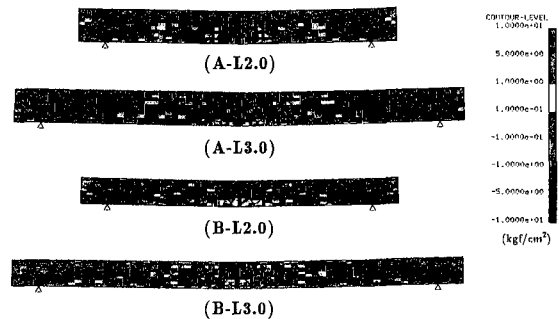


図-5 コンクリート（梁側面）のひび割れ分布の比較