RC 梁の衝撃挙動への各重錘衝撃力波形成分の影響に関する数値解析的検討

（株）ドーコン　正員　○千葉　潤一　　室蘭工業大学　フェロー　岸　徳光
三井建設（株）　フェロー　三上　浩　　防衛庁第４研究所　正　員　安藤　智啓

1. はじめに

本研究では，重錘落下衝撃荷重を受ける RC 梁に関する各重錘衝撃力波形成分の衝撃挙動への影響を把握することを目的として，重錘衝撃力波形の各成分を入力する場合の弾塑性衝撃応答解析を実施し，実験結果と比較する形でそれらの影響度合いに関する検討を行った．なお，重錘衝撃力波形には速度入力によって求められた応答波形を用いている．また，本解析には非線形衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA (Ver.960) を用いている．

2. RC 梁の形状寸法および解析ケース

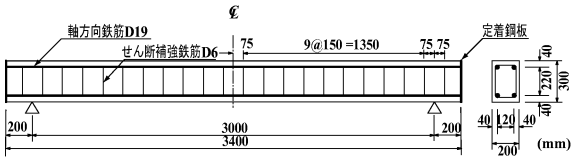
図－1 には，本数値解析で対象とした RC 梁の形状寸法および配筋状況を示している．RC 梁は，断面 (梁幅×梁高×全長) が 200 × 300 × 3,400 mm の複鉄筋矩形 RC 梁である. また軸方向鉄筋には D19 を，スターラップには D6 を使用している． **表－1**， **表－2** にはコンクリートと軸方向鉄筋の材料特性値を示している．**表－3** には，本解析ケースの一覧を示している．速度入力の場合には，重錘要素の全節点に設定衝突速度 (V = 7 m/s) を付加する形で解析を行っている．また，重錘衝撃力波形（以下，単に衝撃力波形）入力の場合には，速度入力の場合の解析結果を基に，**図－2** の載荷点部近傍の黒色部分に等分布荷重を作用させて解析を行っている．

3. 数値解析モデル

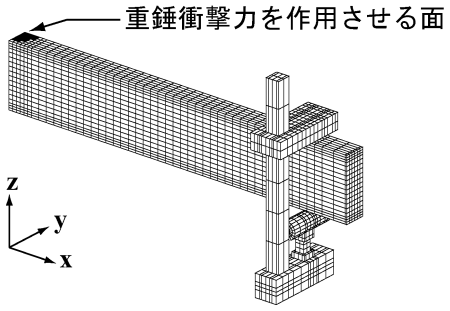
図－2 には，重錘衝撃力波形入力時の数値解析に用いた有限要素モデルを示している．解析対象は，RC 梁の対称性を考慮してスパン方向および断面方向に 2 等分した 1/4 モデルである．適用した要素タイプは，８節点あるいは６節点の三次元固体要素である．しかしながら，スターラップ要素には，計算時間を短縮させるために，剛性，断面積，重量が等価な梁要素とした．また，要素の積分点数は１点積分を基本としているが，軸方向鉄筋要素に関しては解析精度を考慮して８点積分としている．コンクリートと重錘および支点治具の要素間には，接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を設定している．

4. 材料物性モデル

コンクリート要素に用いる物性モデルは，圧縮側に対しては相当歪が 1,500 μ に達した状態でコンクリートが降伏すると仮定し，完全弾塑性のバイリニア型にモデル化している．一方，引張側は破壊圧力に達した段階で引張力を伝達しないとする弾塑性体モデルとした．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 を仮定した．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た．降伏応力は材料試験結果を，弾性係数およびポ



図－１　RC 梁の形状寸法および配筋状況



図－２　衝撃荷重および変位入力に用いるモデル

表－１　コンクリートの材料物性の一覧

密度 ρ_c (g/cm^3)	圧縮強度 f'_c (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν_c
2.35	32.3	28.3	0.18

表－２　軸方向鉄筋の材料物性の一覧

名称	密度 ρ_s (g/cm^3)	降伏強度 σ_y (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
D19	7.85	379	206	0.3

表－３　解析ケース一覧

弾塑性解析 (V = 7 m/s)	① 速度入力
	② 重錘衝撃力波形入力
	(1) 全重錘衝撃力波形を入力
	(2) 重錘衝撃力波形の第１波のみ入力
	(3) 重錘衝撃力波形の第２波群のみ入力

キーワード：重錘衝撃力波形，RC 梁，弾塑性衝撃応答解析
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

アソン比は公称値を用いることとし，**表－2** 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．その他の要素に関しては弾性体モデルを適用し，弾性係数，ポアソン比にはそれぞれ $E = 206$ GPa，$\nu = 0.3$ を用いている．

5. 各入力方法における RC 梁の応答性状

図－3 には，速度入力による数値解析結果の衝撃力波形を示している．**図－4, 5** には，各入力方法による数値解析結果および実験結果を比較して示している．まず，**図－4, 5** より，速度入力，全重錘衝撃力波形 (以後，全波形) 入力による解析結果の支点反力波形や変位波形は実験結果と良く対応していることが分かる．

これより，RC 梁の支点反力や変位等の衝撃挙動は，速度入力や全波形入力にかかわらず精度よく実験結果を再現可能であることが明らかになった．

6. 各重錘衝撃力波形成分が衝撃挙動に与える影響

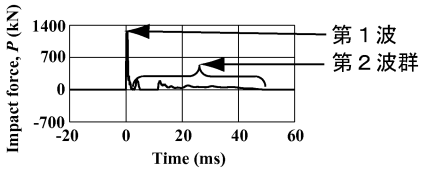
図－3 における衝撃力波形において，第１波，第２波群のみを入力する場合の RC 梁の挙動性状について検討を行う．**図－6, 7** には，各入力波形に対する数値解析結果を比較して示している．**図－6** より，第１波のみを入力する場合には，最大振幅は全波形を入力する場合と同程度であることが分かる．しかしながら，波動の継続時間は全波形を入力する場合や第２波群のみを入力する場合に比べて 1/2 以下と小さい．一方，第２波群のみを入力する場合には，波動の継続時間が全波形を入力する場合と同様であるものの，最大振幅は全波形を入力する場合や第１波のみを入力する場合に比べて 1/2 程度と小さい．**図－7** より，第１波のみを入力する場合には，最大振幅は全波形を入力する場合に比べて 1/2 程度と小さく，振動周期も若干短く示されている．一方，第２波群のみを入力する場合には，全波形を入力する場合に比べて最大振幅は 1/7 程度と小さく，振動周期は若干長くなっている．

以上より，RC 梁の衝撃挙動を精度よくシミュレートするためには，入力に用いる重錘衝撃力波形を実際に即して全波形を忠実に入力させる必要のあることが明らかになった．

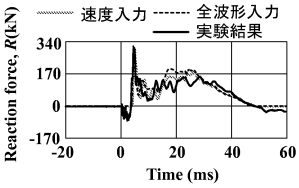
7. 載荷方法が第１主応力分布図に与える影響

図－8 には，それぞれの入力方法による最大変位発生時近傍の第１主応力分布図を示している．白色の部分は第１主応力が零であることを示しており，ひび割れの発生が予想される箇所である．また，全波形を入力した場合における黒色の実線は実験終了後のひび割れ分布を表しているが，実験結果と解析結果は大略類似していることが分かる．一方，第１波のみを入力した場合の第１主応力分布図に着目すると，全波形入力の場合に見られる荷重載荷部から約 45 度の方向に発生する斜めひび割れを除いて全波形入力時のひび割れ分布を大略再現していることが分かる．また，第２波群のみを入力した場合の第１主応力分布図に着目すると，スパン中央に曲げひび割れが集中して発生していることが分かる．これは，第２波群が第１波に比べて振幅が小さく荷重継続時間が長いことにより，静的な曲げ載荷と類似の挙動を示すためと推察される．

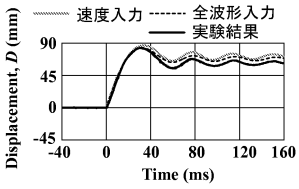
以上より，RC 梁のひび割れ分布性状には，重錘衝撃力波形の第１波が大きく寄与することが明らかとなった．



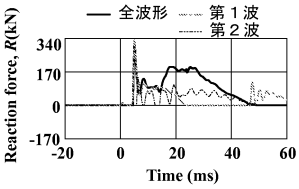
図－３　重錘衝撃力波形



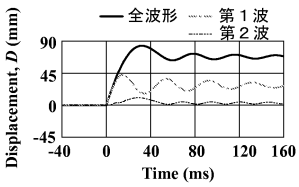
図－４　支点反力波形



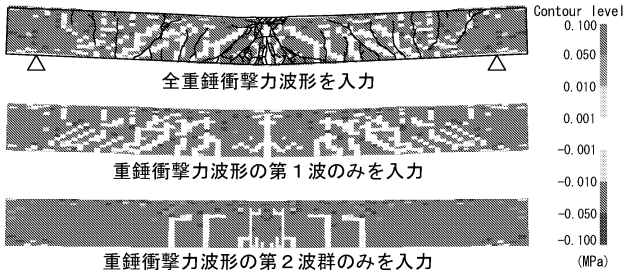
図－５　変位波形



図－６　支点反力波形



図－７　変位波形



図－８　最大変位発生時近傍の第１主応力分布図

8. まとめ

本研究での検討結果を要約すると，以下のとおりである．

速度や全衝撃力波形を入力する場合の RC 梁の支点反力や変位等の衝撃挙動は，入力方法にかかわらず精度よく再現可能である．また，衝撃力波形入力による数値解析において，1) RC 梁の衝撃挙動を精度よく再現するためには，波形を実際に即して忠実に入力させる必要のあること，2) RC 梁のひび割れ分布性状は，波形の第１波が大きく寄与すること，が明らかになった．