

RC はりの衝撃応答性状に及ぼす各種解析パラメータの影響評価に関する基礎的研究

福岡大学	学生会員	篠崎 誠
福岡大学	正会員	玉井宏樹
福岡大学	正会員	坂田 力

1. 緒言

ロックシェッド等の防護構造物の設計法は性能照査型設計へと移行しつつあり、その設計法を確立するためには、できるだけ簡易かつ正確に評価できる解析手法の確立ならびにその標準化が重要であると言える。基本的な構造部材である RC はりの弾塑性衝撃応答のラウンドロビン解析を通して、衝撃応答解析手法の標準化に向けた検討¹⁾が土木学会構造工学委員会においてなされてきたが、構造物の弾塑性衝撃応答を正確に予測することは、現時点においても容易ではなく、性能照査に適用しうる高精度な衝撃応答解析手法の確立が試みられている段階にあると言える。

そこで、本研究では、直接時間積分法や仮定するコンクリートの構成則等の各種解析パラメータが RC はりの弾塑性衝撃応答に及ぼす影響を把握することを目的に、FEM を用いた RC はりの衝撃応答解析を実施した。

2. 離散化レベルと直接時間積分法がはりの弾性衝撃応答へ及ぼす影響

2.1 離散化レベルの影響

まず、基礎的な取り組みとして、有限要素離散化レベルがはりの弾性衝撃応答に及ぼす影響を評価するために、図-1 に示す支間長 2000mm、はり高さ 250mm、はり幅 150mm の単純ばりを対象とした検討を行った。材料定数には、弾性係数 20.6GPa、ポアソン比 0.17、質量密度 2.4g/cm³ を仮定した。メッシュ分割数をパラメータとした離散化モデルとしては、支間長 2~250 分割、はり高さ 2~50 分割、はり幅 2~50 分割の計 225 ケースの解析を実施した。なお、時間積分法はシングルステップフーボルト法とした。

検討結果の一例として、図-2 に支間の分割数とはり高さの分割数と最低次固有振動周期の関係を示す。ここで、最低次固有振動周期は、解析結果として得られた変位応答から算出したものである。この図から、支間が 40 分割、はり高さが 8 分割で最低次固有振動周期は一定の値に収束し、また、その値がはり理論値と同程度であることが確認できた。はり幅の分割数が最低次固有振動周期に与える影響は小さいので、はり幅の分割数は支間とはり高さの分割数から決定するのが望ましいと考えられる。以上を踏まえて、今回の解析対象において、支間 40 分割、はり高さ 8 分割、はり幅 8 分割程度あれば解析精度は保証されると言える。

2.2 直接時間積分法の影響

衝撃応答解析を実施するには、時間に関する離散化を考えなくてはならない。一般的には直接時間積分法が用いられているが、その手法としては、フーボルト法、Newmark 法、中央差分法など様々なものがある。そこで、2.1 で得られた分割数でモデル化したモデルを用いて、直接時間積分法が弾性衝撃応答に及ぼす影響を考察した。解析ケースとしては、フーボルト法と Newmark 法 ($\beta=0$, $\beta=0.25$, $\beta=0.5$) と中央差分法の計 5 ケースとした。

解析結果として、図-3(a)に鉛直方向変位応答、図-3(b)に支点反力応答を示す。これらの図から、直接時間積分法が弾性衝撃応答に及ぼす影響は小さいと言える。ただし、破壊を伴うような衝撃解析を実施する際には、時間積分法の選択は重要になると言われているため、別途検討が必要であると考えられる。

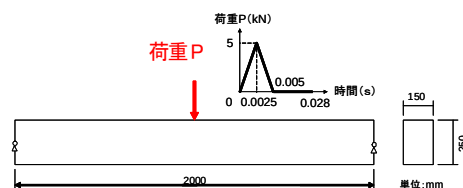


図-1 解析対象および入力荷重

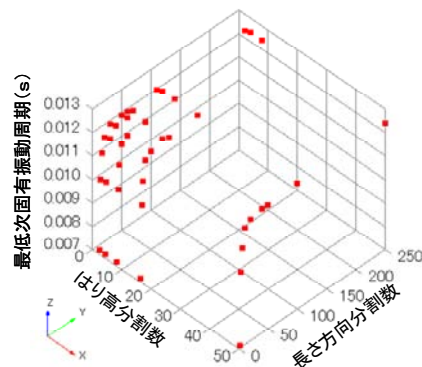
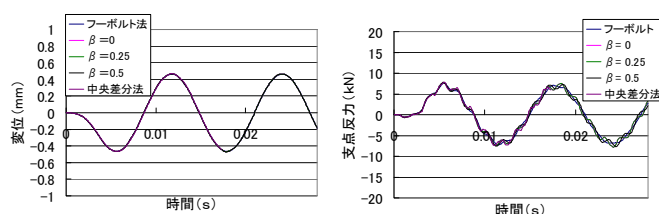


図-2 分割数が最低次固有振動周期に与える影響



(a) 変位応答

(b) 支点反力応答

図-3 直接時間積分法の影響

キーワード 解析パラメータ, 衝撃応答解析, FEM

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1

3. 仮定するコンクリートの構成則がRCはりの弾塑性衝撃応答に及ぼす影響

3.1 解析概要

解析対象 RC はりは図-4 に示す支間長 2000mm, はり高さ 250mm, はり幅 150mm の矩形断面を有する複鉄筋矩形 RC はりであり, 支持条件は, はり両端のはり高中心部がピン支持を仮定した. 図-5 に対称性を考慮した 1/4 部の解析モデルを示す. 鉄筋は弾性係数 206GPa, ポアソン比 0.3, 質量密度 7.85g/cm³, 降伏強度 345MPa を有する Von Mises の降伏条件に従うバイリニア型の弾塑性モデルとした. コンクリートの材料定数は弾性係数 20.6GPa, ポアソン比 0.17, 質量密度 2.4g/cm³, 圧縮強度 29.4MPa, 引張強度 2.94MPa とした.

FEM で衝撃応答解析をする場合, 一般的に圧縮域を弾塑性モデル, 引張域には軟化モデルを用いた図-6 に示すような構成則 (応力 - ひずみ関係) を用いている. 本研究では, 圧縮域に仮定する降伏条件や引張域に仮定する軟化モデルが弾塑性衝撃応答に及ぼす影響に関して検討を行った. なお, これらの検討の際は, 2.1 の検討結果を反映させた離散化モデルとし, 時間積分法にはフーボルト法を用いた.

3.2 降伏条件の影響

降伏条件として, Von Mises と Drucker-Prager の 2 つの降伏条件を設定した. この際, 引張域は図-6 のケース 3 に示すような軟化モデルを用いた. 図-7(a) に鉛直方向変位応答, 図-7(b) に支点反力応答を示す. これらの図より, 降伏条件の違いが最大変位に与える影響は小さいが, Von Mises のほうが最大変位以降の波形周期が大きくなることが確認でき, 最大変位以降の波形特性に少なからず影響を与えることがわかった.

3.3 引張軟化勾配の影響

引張軟化勾配を図-6 に示すような 4 ケース設定した. ケース 1 は軟化しないモデル, ケース 2 は軟化勾配 2.06GPa, ケース 3 は軟化勾配 1.18GPa, ケース 4 は引張強度に達した後, すぐに応力零になるものである. なお, クラック発生後のせん断保持率は 0.125 で一定とした.

図-8(a) に鉛直方向変位応答, 図-8(b) に支点反力応答を示す. 図-8(a) より, ケース 1, 2, 3, 4 の順に軟化勾配が急であると考え, 軟化勾配が急になるほど, 最大変位やその発生時間が大きくなり, 最大変位発生以降の振動周期も大きくなる傾向になることが確認できた. また, 設定した荷重レベルが低かったためわかりづらいが, 残留変位も大きくなることが確認できた. 支点反力応答でもほぼ同様な傾向にあると言える. 従って, 引張軟化勾配が変位応答や支点反力応答に与える影響は著しく大きいと考えられる.

4. 結論

本研究の成果を要約すると以下のようになる.

- (1) 解析精度が保証される離散化モデルを用いれば, 直接時間積分法が弾性衝撃応答へ与える影響は小さいと言える.

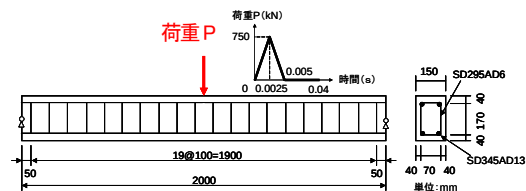


図-4 解析対象および入力荷重

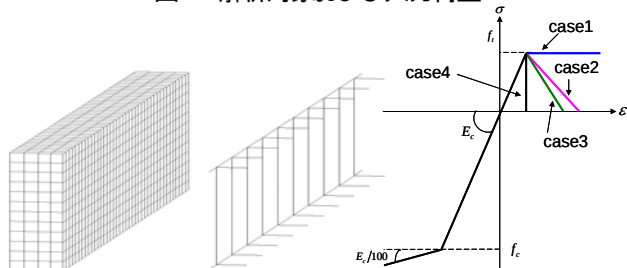


図-5 解析モデル図

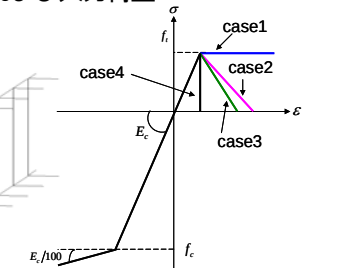
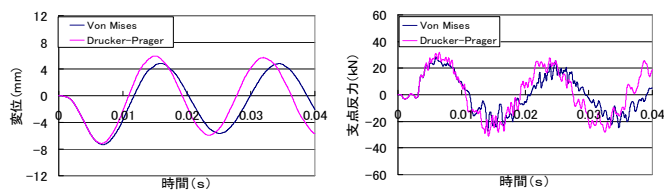


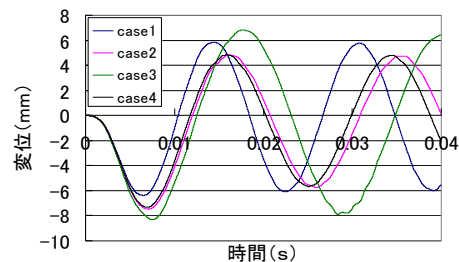
図-6 コンクリートの材料モデル



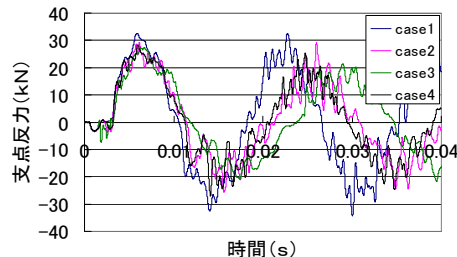
(a) 変位応答

(b) 支点反力応答

図-7 降伏条件の影響



(a) 変位応答



(b) 支点反力応答

図-8 軟化勾配の影響

- (2) RC はりの弾塑性衝撃応答へコンクリートの構成則が与える影響として, 圧縮域のモデル化はさほど影響を及ぼさないが, 引張域のモデル化は影響を及ぼすと考えられる. 特に, 引張軟化勾配が与える影響は著しく大きいことが確認できた.

これらの結果はあくまで本研究で設定したはり形状や荷重条件におけるものであるため, 今後, 更なる取り組みが必要である.

参考文献

- 1) 土木学会: 衝撃実験・解析の基礎と応用, 構造工学シリーズ 15, 2004