

コンクリートの構成則がRC はりの弾塑性衝撃応答性状に及ぼす影響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

1. 緒言

ロックシェット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、RC はりの終局時の挙動を正確に予測することは容易ではなく、精度良く評価するには材料の適切なモデル化が重要であることがわかっている。

そこで、本研究では、コンクリートの力学特性のモデル化、つまり、仮定する応力 - ひずみ関係が 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. 解析概要

解析対象は参考文献 1) に掲載されてある室蘭工業大学により実施された衝突実験であり、本研究では質量 400kg、衝突部の直径 150mm の重錘が初速度 7m/s で図-1 に示す複鉄筋矩形 RC のスパン中央部に衝突するような衝突解析を実施した。図-2 には対称性を考慮した 1/4 部の解析モデルを示す。材料定数として鉄筋は弾性係数 206GPa、ポアソン比 0.3、質量密度 7.85g/cm³、降伏強度 345MPa を有しており、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。また、鉄筋およびコンクリート共に 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。支持条件は、はり端部から 200mm の位置の節点を拘束してピン支持を表現しており、衝突解析を行う際の直接時間積分法にはシングルステップフーボルト法を用いた。

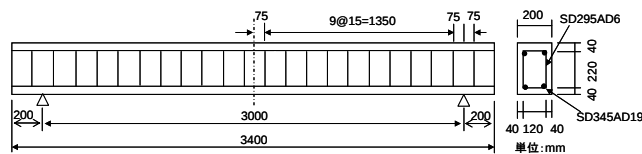


図-1 解析対象図

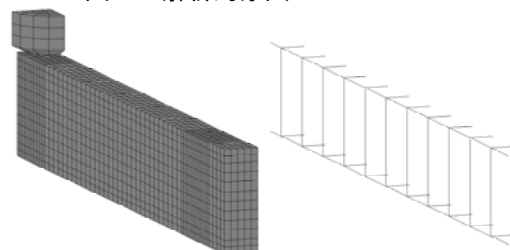


図-2 解析モデル

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

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-3 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、引張域に仮定する軟化モデルやせん断保持率、圧縮域に仮定する硬化勾配や除荷勾配が弾塑性衝撃応答に及ぼす影響に関して検討を行った。

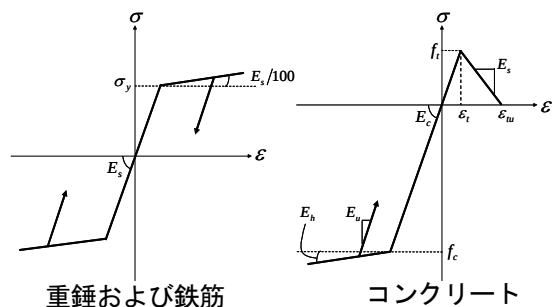


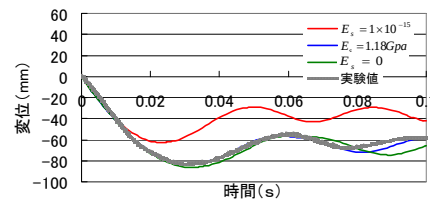
図-3 材料モデル

3.1 引張域のモデル化が及ぼす影響

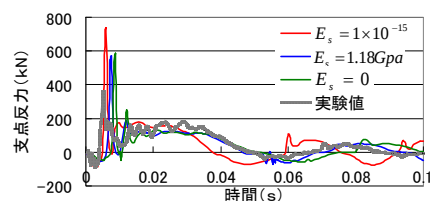
(1) 軟化勾配の影響

図-3 のコンクリート引張域に示すような軟化モデルとして、軟化しないモデル、引張強度以降 1.18GPa で軟化するモデル、引張強度に達した後、すぐに応力零になるものの 3 ケースを設定した。なお、クラック発生後のせん断保持率は 0.125 で一定とし、圧縮域は圧縮強度以降に $E_c/100$ で硬化するモデルとした。

図-4(a)に鉛直方向変位応答、図-4(b)に支点反力応答を示す。図-4(a)より、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あり、残留変位も大きくなるのが確認できた。支点反力応答でもほぼ同様な傾向にあると言える。なお、引張軟化勾配による重錘衝撃力への影響はさほど認められなかった。従って、引張軟化勾配が変位応答や支点反力応答、衝撃力応答に与える影響は大きいと考えられる。



(a) 変位応答波形



(b) 支点反力応答波形

図-4 引張軟化勾配の影響

キーワード 衝撃応答解析, 構成則, FEM

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1

(2) セン断保持率の影響

クラック発生後のせん断保持率の値として 0, 0.125, 0.5 の 3 ケースを設定し解析を実施したが、せん断保持率が 0 の場合は解析の収束性が悪かったため今回は比較対象から除外している。なお、引張域は引張強度以降に 1.18GPa で軟化するモデルとし、圧縮域は圧縮強度以降に $E_c/100$ で硬化するモデルとした。

図-5(a)に鉛直方向変位応答、図-5(b)に支点反力応答を示す。図-5(a)より、せん断保持率の小さい方が最大変位とその発生時間が大きくなることが確認できた。支点反力応答では最大支点反力にせん断保持率の違いが与える影響は小さく、それ以降の振動周期にもさほど影響を与えないことが確認できた。また、せん断保持率による重錘衝撃力応答への影響はさほど認められなかったため、せん断保持率は最大変位や最大支点反力に少なからず影響を与えるといえる。

3.2 圧縮域のモデル化が及ぼす影響

(1) 硬化勾配の影響

コンクリート圧縮域に図-3 に示すような硬化モデルを設定し、硬化モデルとしては、圧縮域のみ弾性体と仮定したモデル、弾性係数の 1/100 で硬化するモデル、硬化しないモデルである。なお、引張域は引張強度以降に 1.18GPa で軟化するモデルとし、クラック発生後のせん断保持率は 0.125 で一定とした。

図-6(a)に鉛直方向変位応答、図-6(b)に支点反力応答を示す。図-6(a)より、硬化勾配の違いによる最大変位や振動周期への影響は小さいことが確認できる。支点反力応答では圧縮域を弾性体と仮定したケース 7 の最大支点反力がケース 8, 9 に比べて約 2 倍大きな値を示したが、弾塑性体と仮定した 2 ケースは比較的近い値を示した。また、衝撃力応答に関しても同様のことがいえるため、硬化勾配は最大支点反力や最大衝撃力に影響を与えるといえる。

(2) 除荷勾配の影響

コンクリート圧縮側において塑性域に達した後の除荷勾配 E_u に E_c , $0.9E_c$, $0.7E_c$, $0.5E_c$ の値を設定した。なお、このときの硬化勾配は $E_c/100$ で固定してある。引張域は引張強度以降に 1.18GPa で軟化するモデルとし、クラック発生後のせん断保持率は 0.125 で一定とした。

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。図-7(a)より、除荷勾配の違いにより最大変位への影響はさほどないが、それ以降の振動周期や残留変位に影響を及ぼすことが確認できた。また、支点反力応答や衝撃力応答に関しても同様の傾向が見られたため、除荷勾配は残留変位や波形特性に影響を及ぼすといえる。

4. 結論

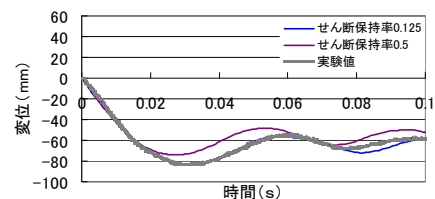
本研究の成果を要約すると以下ようになる。

- (1) 引張軟化勾配が最大変位や波形特性に与える影響は大きい。また、クラック発生後のせん断保持率が各種応答に与える影響は小さいが、せん断保持を少なからず持たせることが安定した解析を提供すると考えられる。
- (2) 圧縮域の硬化勾配が変位応答に与える影響はほとんどなく、今回対象にしたような曲げ破壊型 RC はりの衝撃問題を解く際には、圧縮域のモデル化はさほど重要ではないと言える。ただし、圧縮域を弾性体でモデル化したケースのみ、支点反力は大きく、衝撃力は若干小さくなることが確認できた。また、除荷勾配は応答の最大値以降の波形特性に影響を及ぼすことが確認できた。

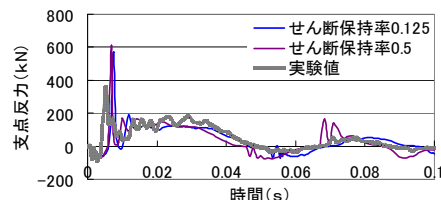
これらの結果はあくまで本研究で設定したはり形状や衝突条件におけるものであるため、今後、更なる取り組みが必要である。また、離散化レベルと引張軟化勾配との関係性を明確にする、圧縮域の除荷勾配を塑性ひずみの関数として与えるなどを熟考する必要がある。

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

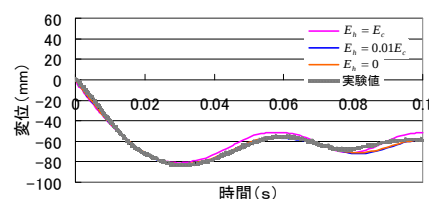


(a) 変位応答波形

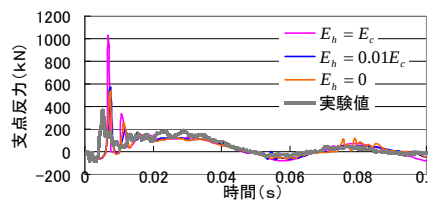


(b) 支点反力応答波形

図-5 セン断保持率の影響

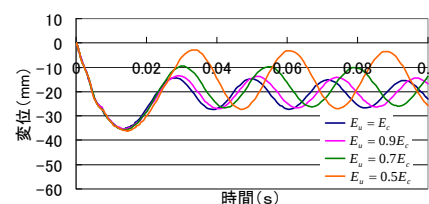


(a) 変位応答波形

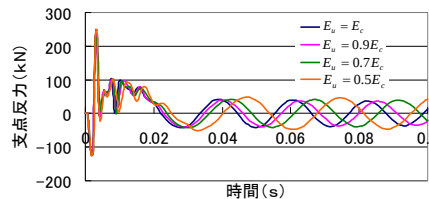


(b) 支点反力応答波形

図-6 硬化勾配の影響



(a) 変位応答波形



(b) 支点反力応答波形

図-7 除荷勾配の影響