車両衝突を受ける RC 骨組のファイバー要素を用いた衝撃応答解析

(株)JSOL	正会員	○ 武田	雅弘
室蘭工業大学大学院	正会員	小室	雅人

1. はじめに

本研究では、最も単純な構造形式である RC 骨組を対象に、柱のスパン中央部に車両衝突荷重が作用した場合を想定し、ファイバー要素を用いた衝撃応答解析を実施した.また、同一条件下で実施した三次元弾塑性衝撃応答解析(以下、FEM)より得られた結果をベンチマークとして両者を比較することにより、ファイバー要素解析の適用性について検討を行った。ここでは、入力荷重として自動車およびトラックの2種類を想定し、衝突速度を V = 20~80 km/hr まで変化させた衝撃応答解析を実施し、載荷点変位に着目して検討を行った。なお、本数値解析には、汎用解析ソフト Engineer's Studio および弾塑性衝撃応答解析用コード LS-DYNA (Ver. 971)を使用した。

2. 数值解析概要

図1には、本数値解析で対象とした RC 骨組の形状寸法 および配筋状況を示している.本モデルは、標準的な3 階建事務所建築設計例の1階部分を取り出したものであ る.RC 骨組の柱中心間隔は5,500 mm,柱長が2,950 mm, 内空幅が4,900 mm である.柱,梁の断面寸法はそれぞれ 600×600 mm, 350×650 mm である.各断面の配筋状況 は、梁部は上下端主鉄筋にそれぞれ D19, D16,基礎梁部 には上下端主鉄筋に D19 が配筋されており、両梁部とも 帯筋には D10 が配筋されている.柱部は主鉄筋に D22, 帯筋には D13 が配筋されている.また,基礎スラブには 短辺方向、長辺方向ともに D13 が配筋されている.梁部 主鉄筋および柱部主鉄筋の芯かぶりは、それぞれ 60 mm, 50 mm としている.骨組には、鉛直荷重として上層階か らの荷重 420 kN を柱頭部に、梁部には 2 階床部に作用す る常時荷重 20.3 N/mm を梁上面に作用させている.

図3(a)には、対象骨組の有限要素解析における要素分 割状況を示している。要素分割において、柱および梁の各 軸方向の要素長は、コンクリートのひび割れの影響が適 切に評価できるように、45~60 mm 程度としている。ま た、鉄筋には2節点梁要素を、コンクリートおよび定着鋼 板の要素には8節点固体要素を用いてモデル化している。 なお、鉄筋とコンクリートは完全付着とした。各要素の 積分点に関しては、固体要素には1点積分、梁要素には 精度を向上させるために2×2 Gauss 積分を用いている。 図3(b)には、本数値解析で用いたファイバーモデルに

(株)構研エンジニアリング	正会員	牛渡	裕二
釧路工業高等専門学校	フェロー	岸	徳光



凶 3 安糸 刀 刮 1 八 儿

おける要素分割状況を示している.ファイバー要素の要 素長に関しては,要素長を変化させた事前解析を踏まえ, 桁高 D の 1/2 を採用することとした.各断面の分割に関 しては,幅および高さ方向をそれぞれ一辺が 25 mm の正 方形となるように分割している.柱と梁の接合部には,図 に示すように剛体要素を配置し,剛域を考慮している.衝 撃荷重の載荷方法に関しては,図2に示す衝突体を用い て実施したフルラップ衝突解析より得られた衝撃力波形 を図に示すように柱のスパン中央の節点に作用させる(自 動車:350 mm,トラック:950 mm)ことによって再現し た.境界条件に関しては,両解析モデルともに基礎スラ ブの底面を完全拘束とした.

ファイバー要素解析に用いたコンクリートの応力-ひ ずみ関係は、土木学会式に準拠し、圧縮側に関しては降 伏点までを 2 次曲線で近似し、簡略化のため圧縮軟化は 考慮しないモデルとした.なお、圧縮応力 f'_c にかかる係 数 k に関しては k = 1 とし、圧縮ひずみ 1,500 μ と設定す ることで FEM 解析と同一の条件とした.引張強度に関し ても圧縮応力の 1/10 と設定することで FEM 解析と同一 の条件に設定している.鉄筋には、FEM 解析と同様に塑 性硬化係数 H'を弾性係数の 1%とするバイリニア型の等 方硬化則を適用した.なお、FEM 解析には既往の研究成 果¹⁾と同一の応力-ひずみ関係を用いた.

キーワード:ファイバー要素, RC 骨組, 衝撃応答解析, 車両衝突 連絡先:〒 050-8585 室蘭工業大学大学院 くらし環境系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX:0143-46-5228

-953-



図 4 各種応答波形(V = 60,80 km/hr)

3. 数値解析結果および考察

図4(a)には、フルラップ解析より得られた衝撃力波形 を比較して示している。自動車の場合に着目すると、衝突 初期に衝撃力が一度減少し、その後再び衝撃力が増加し、 最大衝撃力に達していることが分かる。これは衝突初期 には自動車の前面に設置されているバンパーの緩衝効果 が発揮されたことによるものと推察される。また、衝突 速度の増加に伴って、衝撃力の最大値は増加する傾向が 見られる。一方、衝撃力の継続時間は短くなる傾向にあ ることが分かる。次に、衝突体がトラックの場合に着目 すると、最大衝撃力は自動車の5~10倍程度になってお り、荷重継続時間に関しても2倍程度の値を示している。 本解析では、この衝撃力波形を入力荷重として両解析モ デルに作用させることにより、衝撃応答解析を実施した。

図4(b)には、衝撃応答解析より得られた骨組の衝突側 柱スパン中央点での水平変位の時刻歴波形を、ファイバー 要素解析とFEM解析を比較する形で示している。両解析 結果を比較すると、初期勾配や最大変位、自由振動状態で の周期が良く対応していることが分かる。最大変位発生 後の勾配に若干の違いが確認できるものの、最大値や周期 などの全体的な応答性状に関しては、FEM解析結果を十 分再現できているものと判断される。以上より、ファイ バー要素解析は車両の種類や衝突速度にかかわらず、FEM 解析結果の応答性状を十分に再現可能であるものと判断 される。

図5 には最大変位 δ_{max} および残留変位 δ_{res} について, ファイバー要素解析と FEM 解析の結果をそれぞれ縦軸お よび横軸に取って整理して示している.なお,図中の 45° 勾配を有する実直線は,両解析モデルの結果が一致して いることを,網掛の部分はそれに対する誤差幅 10%を意



図 5 各種応答波形 ($V = 20 \sim 80$ km/hr)

味している.図より,最大変位 δ_{max} および残留変位 δ_{res} に関するファイバー要素解析と FEM 解析の結果の関係を 見ると,その誤差は衝突速度や入力モデルにかかわらず 10%以内の領域に分布しており,両者の値は非常によく 対応していることが分かる.さらに,すべての結果でファ イバー要素解析の場合が FEM 解析より大きな値を示して いることから,ファイバー要素を用いた場合には安全側 の評価を与えることが分かる.従って,ファイバー要素 を用いる場合には,10%程度の解析係数を考慮すること により,工学的に十分適用可能であることが分かる.

4. まとめ

ファイバー要素を用いた数値解析手法は、衝突速度や 入力モデルにかかわらず 10%以内の誤差で柱の変位を評 価できることが明らかになった。

参考文献

 岸 徳光, A.B. Qadir, 三上 浩, 岡田慎哉:破壊エネル ギー等価の概念を用いた大型 RC 桁に関する衝撃応答解析手 法の妥当性検討,構造工学論文集, Vol. 53A, pp. 1227-1238, 2007.3.