

せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動に関する数値解析的研究

(株)ドーコン 正 員 ○佐井 拓磨

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 安藤 智啓

1. はじめに

本研究では,せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動を適切に評価可能な簡易かつ合理的な数値解析手法を確立することを目的として,せん断補強筋量が異なる2種類のせん断破壊型 RC 梁に着目し,三次元有限要素法による弾塑性衝撃応答解析を試み,その妥当性について検討を行った.妥当性の検討は,別途実施した実験結果と比較する形で行った.なお,本解析には衝撃応答解析用汎用コード LS-DYNA (ver.950) を用いている.

2. 解析ケース

図-1には本数値解析において対象とした RC 梁の形状寸法を測定項目と合わせて示している. A, B 試験体はスターラップ間隔をそれぞれ 150mm および 75mm に配置したものである. 表-1には,本数値解析で対象とした試験体の一覧を示している. なお,試験体名の数字は衝突速度を 10 倍した値を意味している.

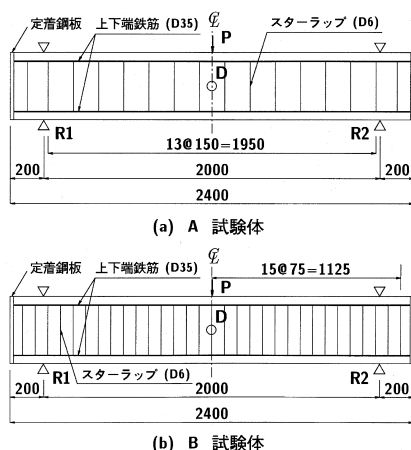


図-1 試験体の形状寸法

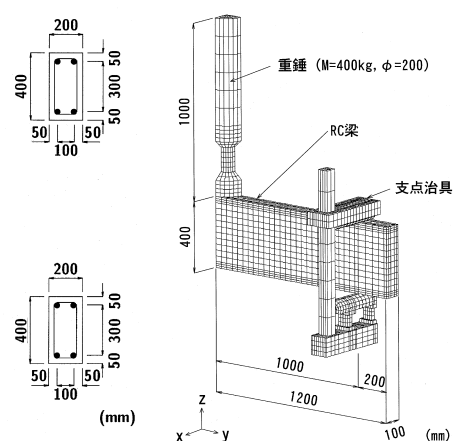


図-2 有限要素モデル

3. 解析モデル

図-2には, B 試験体に関する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, スターラップを除き, 全て8節点あるいは6節点の三次元固体要素である. スターラップには, 計算時間を短縮するため梁要素を適用している. コンクリートと重錘および支点治具の要素間には, 面一面間の接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している. また, コンクリートと上下端鉄筋およびスターラップ要素間は, 完全付着を仮定している. 衝撃荷重は, 重錘要素の全節点に実験に対応した衝突速度を付加する形で与えている.

4. 材料物性モデル

コンクリート要素に用いた物性モデルは, 圧縮側に対しては折線近似による相当応力-相当歪関係, 引張側に対して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である. ここでは, 相当歪が $1,500 \mu$ 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た. なお, 降伏応力には表-2に示す圧縮強度 f'_c を, 引張側の破壊圧力には降伏応力の $1/10$ を仮定した. 一方, 上下端鉄筋およびスターラップ要素に用いた物性モデルは, 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である. ここでは, 塑性硬化係数 H' を表-3に示す弾性係数 E_s の 1%と仮定している. その他の要素に関しては, 弾性体モデルを適用した.

表-1 解析ケース一覧

試験体名	せん断補強筋比 p_s	静的せん断耐力 V_{usc} (kN)	衝突速度 V (m/s)
A37~A84	0.00211	253.8	3.7, 4.6, 5.6, 6.5, 7.4, 8.4
B37~B102	0.00422	343.0	3.7, 4.6, 6.5, 7.4, 8.4, 9.3, 10.2

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 f'_c (MPa)	弾性係数 E_c (GPa)	ポアソン比 ν_c
37	41.2	25.7	0.19

表-3 鉄筋の力学的特性値

鉄筋名称	材質	降伏強度 σ_s (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
D35	SD345	373	206	0.3
D6	SD295A			

キーワード: RC 梁, 弾塑性衝撃解析, せん断破壊, 耐衝撃挙動

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 0143-46-5226 Fax 0143-46-5227

5. 数値解析結果と実験結果の比較

図-3には、重錘衝撃力 P 、合支点反力 R （以下、支点反力）および载荷点変位 D （以下、変位）の各応答波形に関する数値解析結果を実験結果と比較して示している。ここでは紙面の都合により、全試験体のうち衝突速度の最も小さい A37, B37 および最も大きい A84, B102 に着目して検討することとする。

(a)図の重錘衝撃力波形 P について見ると、数値解析結果と実験結果は、全ての試験体に関し波動の立ち上がりから減衰に至るまで両者で良く対応していることがわかる。(b)図の支点反力波形 R に関しても両波動は、継続時間や最大値等両者で良く対応している。(c)図の変位波形 D に関して、両波動は立ち上がりから最大応答値に至るまでは勾配や最大値等両者で良く対応している。また、最大値発生時以降に関しても、解析結果は実験結果のような振動状態を呈していないものの、残留変位値は B37 を除き両者でほぼ一致している。

図-4には、解析結果の重錘衝撃力および支点反力と変位に関する履歴曲線を実験結果と比較して示している。(a)図の P - δ 履歴曲線について見ると、両結果の履歴曲線とも変位初期の第1ループとその後励起される第2ループから成る類似の分布性状を示していることがわかる。第1ループでは両者は大略類似の三角形の分布性状を示している。また、第2ループでは分布性状は両者で完全には一致していないものの、第2ピーク値や最大変位値は良く対応している。次に、(b)図の R - δ 履歴曲線を見ると、衝突速度の小さい A37, B37 では立ち上がりから最大応答値、さらに除荷に至るまでの分布が両者で良く対応した性状を示している。これに対し、A84 と B102 では、前者の場合は支点反力の立ち上がり時の変位値に、後者の場合は支点反力除荷後の残留変位値に数値解析と実験結果の間に差異が見られる。しかしながら、全体的な分布性状は両者で比較的類似しているものと判断される。

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 RC 梁側面に発生したひび割れ分布（図中、黒色実線）と重ねて示している。図中、緑色の等色領域が数値解析結果より評価されるひび割れ発生の推定箇所である。図より、B102 を除き载荷点部から両支点半部に向かい明瞭なアーチ状の斜めひび割れが発生していることがわかる。また、いずれの試験体にも载荷点部から 45° 程度の角度で梁下縁に進展するひび割れが見られる。数値解析より評価されるひび割れ分布は、B102 を除くと実験終了後のひび割れ分布を非常によく再現していることがわかる。

6. まとめ

本研究では、2種類のせん断破壊型 RC 梁に対して三次元有限要素法による弾塑性衝撃応答解析を試み、実験結果と比較する形でその妥当性について検討した。その結果、本数値解析手法を用いることにより、せん断破壊型 RC 梁の耐衝撃挙動を比較的精度良く評価可能であることが明らかとなった。

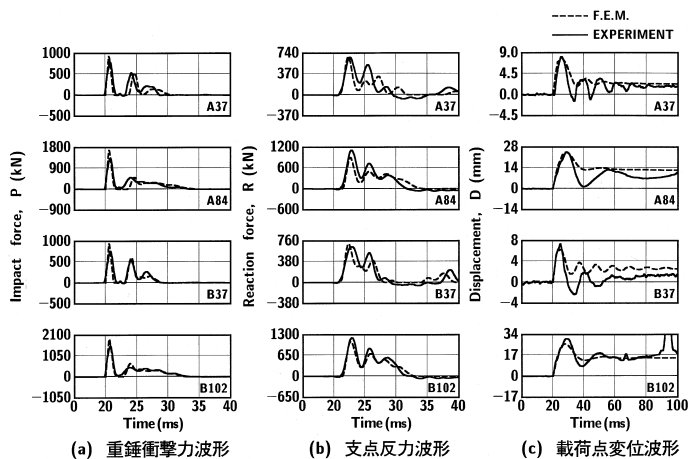


図-3 各種応答波形に関する比較

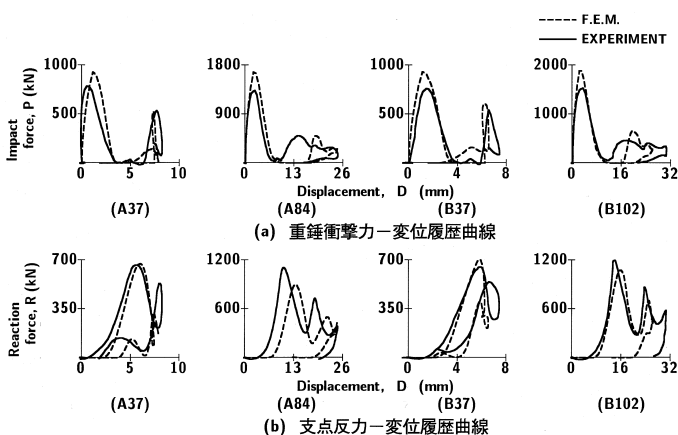


図-4 重錘衝撃力および支点反力の変位に関する比較

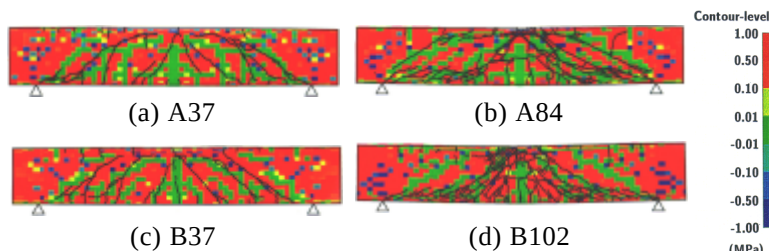


図-5 ひび割れ分布の関係