軽量コンクリートせん断破壊型 RC 梁の衝撃耐力に関する数値解析的評価

室蘭工業大学	学 生 員	南波	宏介	室蘭工業大学	フェロー	岸	徳光
三井住友建設(株)	フェロー	三上	浩	ドーピー建設工業(株)	正員	竹本	伸一

1. はじめに

本研究では,軽量コンクリート RC 梁の断面形状が耐 衝撃挙動に及ぼす影響を数値解析的に検討することを目 的として,静載荷時にせん断破壊で終局に至るせん断補 強筋のない軽量コンクリート RC 梁を対象に,3次元有 限要素法による弾塑性衝撃応答解析を試み,検討を行っ た.本数値解析には,陽解法に基づく衝撃応答解析用汎 用コード LS-DYNA(ver.960)を用いている.

2. 解析ケース

図 - 1 には,本数値解析で対象とした軽量コンクリート RC 梁の形状寸法および配筋状況を測定項目と合わせて示している.対象とした RC 梁の形状寸法は断面(梁幅×梁高)がA 断面で 200 × 300 mm, B 断面で 220 × 270 mm, C 断面で 250 × 250 mm となっており,純スパン長は2m,2.5m,3mの3種類である.また,軸方向鉄筋は各梁に対してそれぞれ D22, D25, D29 を用いている.

表 - 1 には,解析ケースを示している.試験体名は,断面名称に純スパン長の値 を組み合わせて示している.表中の計算せん断耐力 V_{usc} は,表 - 2 および表 - 3 に示しているコンクリートおよび鉄筋の力学的特性値を用いて,コンクリート標 準示方書(以後,示方書)に準拠し,計算値の70%に低減して評価している. 3.数値解析および仮定

図 - 2には,一例としてA2梁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,8節点あるいは6節点の3次元固体要素である. RC梁部は実験に用いた梁の形状寸法に基づき忠実にモデル化している.ただし, 軸方向鉄筋は公称断面積と等価な正方形要素として簡略化している.なお,支点 治具の底部には,実験時と同様に治具全体のx軸回りの回転のみを許容するよう に境界条件を設定している.要素の積分点数は1点積分を基本としているが,軸 方向鉄筋に関しては断面方向に1要素でモデル化しているため,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,面 と面との接触・剥離を伴う滑りを考慮した接触面を定義している.衝撃荷重は,重



図 - 1 試験体の形状寸法(例:A2梁)

表-1 解析ケース				
試験体名	衝突速度 (m/s)	計算静的せん断耐力 <i>V_{usc}</i> (kN)		
A2, 2.5, 3 梁	$3.00 \sim 4.25$	80.7		
B2, 2.5, 3 梁	$3.00\sim5.00$	87.9		
C2, 2.5, 3 梁	$3.00\sim5.00$	99.5		

表 - 2 コンクリートの力学的特性値					
実験時材令	圧縮強度	引張強度	弾性係数	ポアソン比	
(日)	$f'_c(MPa)$	f_t (MPa)	$E_c(\text{GPa})$	v_c	
52	41.8	2.53	21.1	0.21	

表 - 3 鉄筋の力学的特性値

鉄筋名称	材質	降伏強度 $\sigma_y(MPa)$	弹性係数 Es(GPa)	ポアソン比 _{Vs}
D22, D25, D29	SD345	367	206	0.3



錘要素の全節点に設定した衝突速度を付加することにより RC 梁上に設置した形で与えている.

4. 材料物性モデル

材料物性モデルは,コンクリートの物性モデルにおける引張強度 fi の値を除いて普通コンクリートを用いた曲げ破 壊型 RC 梁の場合と同様である.引張側の破壊圧力に関しては,普通コンクリートの場合には圧縮強度の 1/10 と仮定 キーワード:断面形状,軽量コンクリート,せん断破壊型,衝撃せん断耐力,数値解析 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 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

1-366

してきたが,本研究で用いている 軽量コンクリートの場合には,予備 解析結果を参考に圧縮強度の1/16 と仮定している.また,重錘,支点 治具および定着鋼板の要素に関し ては弾性体モデルを適用している. これらの要素の弾性係数*E*,ポア ソン比*v*には公称値を用いること とし,それぞれ*E* = 206 GPa,*v* = 0.3 と仮定している.本研究では, 市販の汎用コードに組み込まれて いる程度の単純な構成則を用いた RC 梁の弾塑性衝撃応答解析手法の



確立を目的としていることより,コンクリートおよび鉄筋のひずみ速度効果やコンクリートのひずみ軟化現象は考慮 していない.また,質量に比例する粘性減衰定数は,予備解析を行いRC梁の最低次固有振動数に対して 0.5%と仮定 している.

5. 数值解析結果

まず,本解析の妥当性として,A梁に関しては既往の研究により,梁下面のコンクリートが剥落するような著しい破 壊に至る場合を除き、本数値解析手法を適用することによって実験結果の各応答波形を大略評価可能であることが確 認されている.図-3には,実験結果と数値解析結果の各衝突速度における最大支点反力値を各梁ごとにプロットし ている.図-3に見られるように,各梁における最大支点反力値が衝突速度に対して,極大値,あるいは一定値を示 していることより,本論文ではこれを衝撃せん断耐力として評価できるものと判断した.実験結果の終局耐力は,RC 梁の損傷状態も考慮に入れて衝突速度 V = 3.5 ~ 3.75 m/s 時に発生しているものとして評価することとする.この時の 全梁の平均耐力を求めると $V_{cd} = 215$ kN となる. 一方,数値解析結果の場合には,せん断スパン比の小さい A2 梁がせ ん断スパン比の大きい A2.5, A3 梁の場合よりも大きい値を示している.これは,スパン長が小さいことにより,重錘 衝撃力の値が直接支点に伝達される傾向を示したことによるものと考えられ,純粋なせん断耐力が評価できないこと を暗示している.従って,ここでは,A2.5,A3梁のみの結果を用いて評価するものとする.図-3(b)より,A2.5梁, A3 梁の場合には,それぞれ V = 3.50,3.75 m/s で極大値を示していることより,これらの平均値を衝撃せん断耐力と して評価することとすると 227 kN となる.これより,数値解析によって評価された衝撃荷重載荷時の衝撃せん断耐力 は実験結果より得られた耐力とよく対応していることが明らかになった.この時の静的耐力に対する割合(以後,動 的応答倍率)は計算せん断耐力に対して 2.81 程度となる . 図 - 3(c), (d)には, このような数値解析結果の妥当性をよ りどころに実施した B 梁, C 梁に関する解析結果を示している.図より, B 梁では V = 3.75 m/s 時に, C 梁では V = 4.25 m/s に限界せん断耐力が発生しているものと推察される.なお,ここでもせん断スパン比の小さい B2 梁, C2 梁の 場合には,大きな値を示していることより,これらを除いて評価することとした.これより,衝撃せん断耐力はB梁 で 240 kN, C 梁で 275 kN となった.この時の動的応答倍率はそれぞれ 2.73, 2.76 となる.これより,動的応答倍率は 本研究範囲の中では、2.73~2.81程度であることが分かる.また、図-4には、各梁の支点反力-変位履歴曲線を示 している.ループに囲まれた部分を吸収エネルギーとし,最大支点反力発生時の吸収エネルギー *Ea* と入力エネルギー E_k (= MV²/2)の比をエネルギー吸収比(E_a/E_k)とすると, 各梁の平均はA梁で 0.62, B梁で 0.54, またC梁で 0.58 となった.これより,エネルギー吸収比は0.54~0.62程度であるものと推察される.

6. まとめ

本研究での検討結果を要約すると以下の通りである.既往の研究で提案された本数値解析手法を適用し,最大支点反 力を用いることにより,各梁の衝撃せん断耐力を評価可能である.また,梁の断面形状に関わらず衝撃せん断耐力の 動的応答倍率は本研究範囲の中では2.73~2.81程度,エネルギー吸収比は0.54~0.62程度であるものと推察される.

-732-