

せん断補強筋を有する軽量コンクリートせん断破壊型 RC 梁の重錘落下衝撃挙動解析

(株)ドーコン 正 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、せん断補強筋を有するせん断破壊型軽量コンクリート RC 梁に関する重錘落下衝撃挙動解析法を確立することを目的に、せん断補強筋量の異なる軽量コンクリート RC 梁に関する 3 次元弾塑性有限要素法解析を試み、実験結果との比較検討を行い、提案の解析法に関する妥当性検討を行った。なお、本数値解析には、陽解法に基づく非線形動的構造解析用汎用コード LS-DYNA を用いている。

2. RC 梁の形状寸法および実験・解析ケース

図-1 には、本研究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の一例を測定項目と合わせて示している。対象とした RC 梁はせん断補強筋間隔が異なる 2 種類である。梁の形状寸法（梁幅×梁高×全長）は全て 240×390×2,800 mm である。せん断補強筋はその間隔を 170 mm，85 mm 間隔とし、それぞれを S170，S85 梁と呼称する。なお、せん断補強筋および軸方向鉄筋にはそれぞれ D6，D25 を使用している。表-1，表-2 には、用いたコンクリートおよび鉄筋の力学的特性値一覧を示している。また、表-3 には、実施された全実験および解析ケースを示している。

3. 数値解析モデル

図-2 には、本解析に用いた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、せん断補強筋を剛性、断面積、重量を等価とした梁要素、その他を 8 節点あるいは 6 節点の 3 次元固体要素で再現している。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。

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 f_t 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。コンクリート要素には引張破壊を考慮した等方弾塑性体モデルとした。その破壊圧力に関しては、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、鉄筋要素に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を採用している。塑性硬化係数 H' は弾性係数の 1 % と仮定した。その他の重錘，支点治具に関しては弾性体モデルを適用し、弾性係数，ポアソン比をそれぞれ $E = 206 \text{ GPa}$ ， $\nu = 0.3$ としている。

5. 数値解析結果と実験結果の比較

図-3 には、S170 および S85 梁の重錘衝撃力 P ，支点反力 R および載荷点変位 D の各種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。これらの応答波形に関する検討は、ここでは紙面の都合により各 1 体ずつ

キーワード：せん断補強筋，軽量コンクリート，せん断破壊型，数値解析，衝撃せん断耐力

連絡先：〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央 1 条 5 丁目 4-1 (株)ドーコン 構造部 TEL 011-801-1540 FAX 011-801-1541

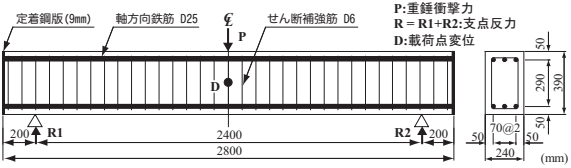


図-1 試験体の形状寸法（例：S85 梁）

表-1 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
33	49.4	21.2	0.2

表-2 鉄筋の力学的特性値

鉄筋名称	降伏強度 σ_y (MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	弾性係数 E_s (GPa)	ポアソン比 ν_s
D25	402	619	206	0.3
D6	440	508		

表-3 実験および解析ケース

梁タイプ	衝突速度 V (m/s)	
	実験ケース	解析ケース
S170 梁	5.5, 6, 6.25, 6.5, 6.75	2~8 の 16 ケース
S85 梁	6.5, 7.5, 8.5, 9.5, 10.5	2~12 の 16 ケース

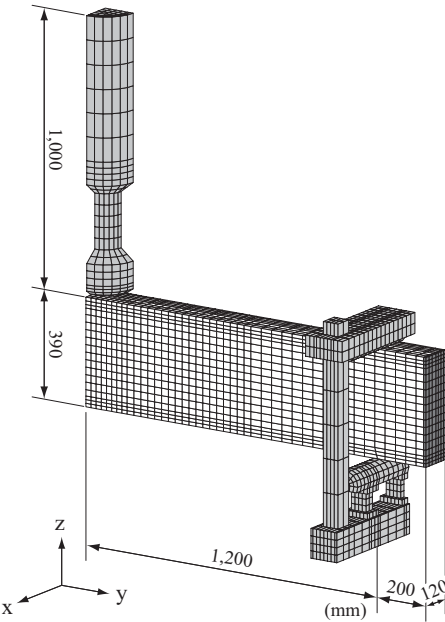


図-2 有限要素モデル

のみとする。各応答波形において、衝撃初期における最大応答値の発生から波形の継続時間に至るまで、数値解析結果は実験結果を大略再現していることが分かる。なお、この他の衝突速度に関しても同様の結果が得られているこ

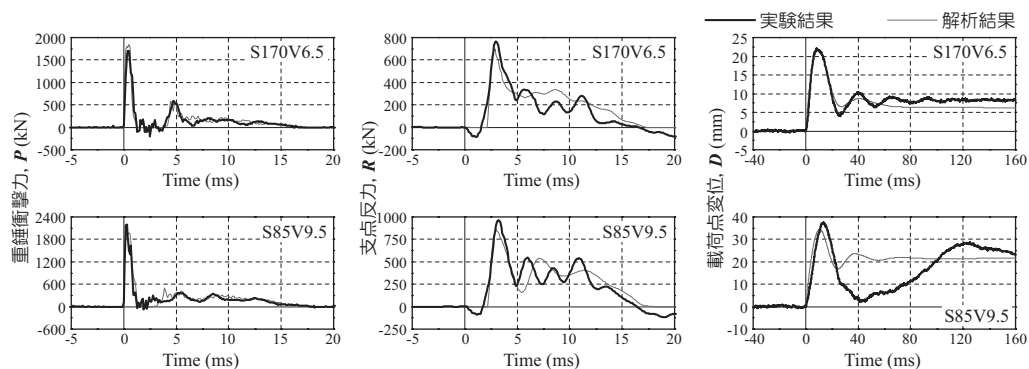


図-3 各試験体における応答波形

とを確認している。図-4は、各衝突速度時に発生した最大支点反力値をプロットしたものである。解析結果を見ると、両梁ともに衝突速度を低速から増加させるに従い、あるレベルまではほぼ線形に増加していることが分かる。その後、衝突速度の増加に関わらず大略一定値に収束する傾向を示している。一方、実験結果は、いずれも解析結果と同程度の応答値を示していることが分かる。なお、応答値が著しく低下している場合には、梁底面のかぶり部の剥落等が生じていることを確認している。

5.1 実験終了後のひび割れ分布と第1主応力分布図

図-5には実験終了後のひび割れ分布と数値解析により得られた最大変位時における第1主応力分布を用いたひび割れ分布予測図を合わせて示している。ここで、白色領域は第1主応力が零応力の場合を示しており、ひび割れの発生が予測される領域である。数値解析結果のひび割れ分布予測図は実験結果と同様に载荷点から45°の角度で進展する斜めひび割れやアーチ状に進展するひび割れ等非常に良く再現していることが分かる。

5.2 衝撃せん断耐力評価

衝撃せん断耐力をひび割れ分布性状と最大支点反力値を用いて総合的に評価すると、図-4および図-5より、S170梁では衝突速度 V が6.25 m/sに達した段階（以後、 $V6.25$ ）で、载荷点より支点部に伸びるアーチ状のひび割れが顕在化しており、最大支点反力値もそれ以前の場合に比べ低下している。これよりS170梁では $V6$ 時に終局に至ったものと判断される。一方、S85梁の場合には $V9.5$ で既にコンクリート上面に大きな塊状の剥落が認められ、最大支点反力も $V8.5$ 時に極大となっている。これより、実験結果の衝撃せん断耐力は、S170梁、S85梁でそれぞれ $V6$ 、 $V8.5$ 時の781.2、999.1 kNとして評価される。これに対して、解析結果では、図-5のひび割れ分布予測図を見ると、S170梁では $V6.5$ において最大の载荷点から支点部に伸びるアーチ状のひび割れが発生し広範囲に広がっている。このことより、 $V6.25$ において最大衝撃せん断耐力が発生しているものと推察される。同様にS85梁についても、 $V10.5$ においてひび割れ分布が広範囲かつより密に分布していることから、 $V9.5$ において最大衝撃せん断耐力が発生しているものと推察される。

以上より、解析的検討においてS170梁の衝撃せん断耐力は $V6.25$ 時の702.8 kN、また同様にS85梁においては、 $V9.5$ の862.3 kNとなる。これらを実験結果より得られた衝撃せん断耐力と比較すると、15%程度の誤差幅で評価可能であることが分かる。

6. まとめ

以上より、提案の解析手法を用いることにより、せん断補強筋を有する軽量コンクリートせん断破壊型RC梁の衝撃挙動性状把握や衝撃せん断耐力評価のために十分適用可能であることが明らかになった。

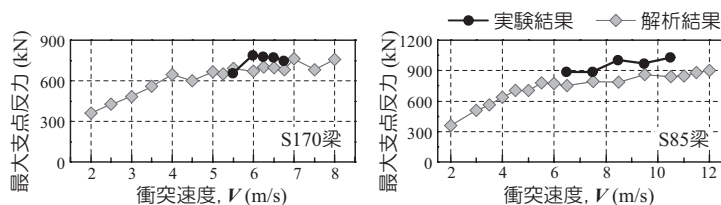


図-4 最大支点反力と衝突速度の関係

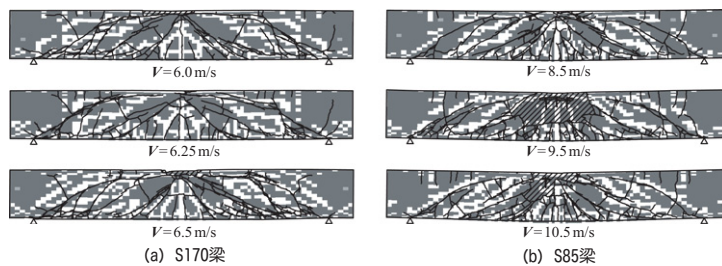


図-5 実験終了後のひび割れ分布と第1主応力分布図