

V-241 鉄筋コンクリート版の衝撃挙動解析と耐衝撃性評価

神戸大学大学院 学生員 OM. W. KING
 神戸大学工学部 正会員 宮本 文徳
 神戸大学大学院 学生員 梶井 弘樹

1. まえがき： 衝撃作用を受けるコンクリート構造物の挙動解明及び設計手法確立は今だに十分とはいえない。本論文では、耐衝撃設計を最終目的として、これに必要不可欠となる耐衝撃性評価を種々の指標を設定して比較検討した。ここでは、特にコンクリート版の破壊に対する耐衝撃性を積層化有限要素法の適用によって評価することを試みた。

2. 積層化有限要素モデル及び解析方法： 本解析は、積層化手法¹⁾を用いた板の曲げ有限要素解析に動的弾塑性を考慮して行ったものである。FIG.1に解析に用いた有限要素モデル²⁾（1/4部分）を示す。このモデルは130×130×13cmの2辺単純支持されたコンクリート版を対象とし、スパンは120cmで版中央等分布载荷とする。コンクリート版を厚さ方向に8つの平面応力場にある薄層（鉄筋2層と仮定のコンクリート層6層）に分け、各層のひずみをFIG.2のように仮定した。板の曲げ要素には、3自由度（たわみ w 、軸まわり

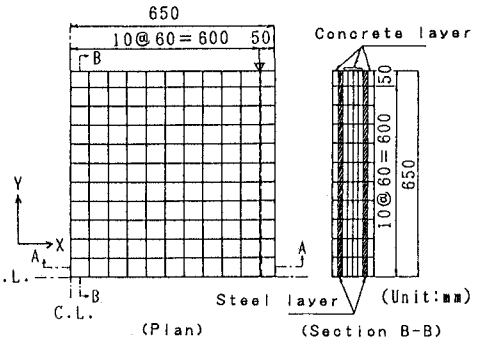


FIG.1 Layered finite element meshes for RC slab (1/4 section)

の回転角 θ_x, θ_y)を有する4節点非適合長方形要素を用いた。解析においては、法線保持を仮定し、微小変形理論が適用できるものとし、入力データとして、衝撃力とそれぞれの材料特性とを設定した。各材料特性は実験より得られる静的一軸特性を用い（FIG.3）、衝撃力特性は各版に対応させた単一波形状のデータを用いた。ひびわれ発生後のコンクリートモデルは直交異方性体と仮定し、また各積層要素の破断及び破壊現象の取扱いは、その要素に蓄積されていた弾性ひずみエネルギーを内部応力に等価な要素節点力に置換する方法を用いた。

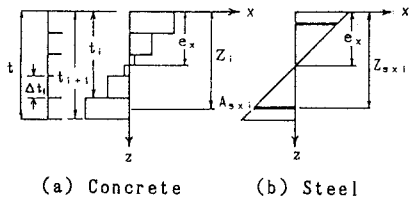


FIG.2 Strain in concrete and reinforcement layers

本解析法は、各種版に対する実験結果での検証²⁾より、比較的高精度でコンクリート版の衝撃破壊挙動が推定できることが明らかになっており、数種類の材料及び荷重データに基づいた解析結果より、各種コンクリート版の耐衝撃性評価を試みた。

3. 指標の設定と耐衝撃性評価： コンクリート版の耐衝撃性を次の3つの指標を設定して評価することを試みた。すなわち、①破壊時衝撃力、②破壊時変位、③破壊エネルギー。解析及び比較検討の対象としたコンクリート版の種類は普通コンクリート(RC)版、軽量骨材コンクリート(LRC)版、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)版及び高強度コンクリート(HRC)版であり、それぞれ材料特性及び衝撃力特性の変化による効果を上述3指標で評価した。それぞれの材料特性は、FIG.3に示すとおりである。また、载荷速度との関連を調べるために、3種類の载荷速度で解析を行い、最適な時間ステップごとに直線近似した衝撃力

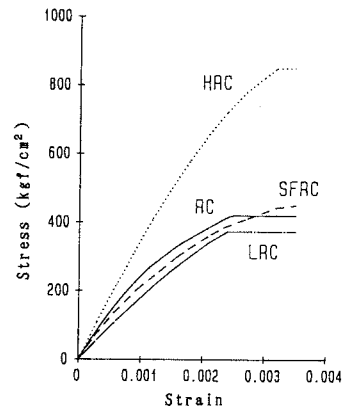


FIG.3 Stress-strain relation for materials

を入力した。なお、破壊に対する定義として、ここでは破壊を圧縮側コンクリートの圧壊（圧縮終局ひずみ

：3500 μ を越えた段階）または鉄筋降伏に達した状態とした。

FIG.4は、破壊時衝撃力～載荷速度の関係を示したものである。一般に、慣性力の影響によって載荷速度の増大とともに破壊時衝撃力も増加することが知られている。FIG.4よりこの現象は各種コンクリート版に現れているが、その増加率は多少異なっている。すなわち、HRC版とすることによって、全般的に耐衝撃力の著しい向上をはかることができ、また、SFRC版はRC版よりもわずかに耐衝撃力向上に優れているのに対して、LRC版の方はあまり耐衝撃力の向上は期待できないことが分かる。

FIG.5は、破壊時の版中央変位～載荷速度関係を示すものであり、衝撃作用に対する各種コンクリート版の変形能を表す目安となる。すなわち、載荷速度の増加に伴って、耐衝撃力とは逆に破壊時変位が減少する傾向にある。その傾向は、SFRC版では全般的に変形能低下はわずかしか現れず慣性力に対してほとんど安定した状態が見られる。これに対してLRC版の場合、載荷速度が比較的遅い領域での変形能が大きくなる傾向にある。また、HRC版は全体的に変形能が小さくなる傾向がある。

次に各種コンクリート版の破壊エネルギー～載荷速度関係を比較したものをFIG.6に示す。破壊エネルギーは、単一衝撃でコンクリート版を破壊させるに必要なエネルギー（吸収エネルギー）であるので、耐衝撃力及び変形能両方を考慮した指標と見なすことができる。FIG.6より破壊エネルギーは載荷速度の増加とともに増加する傾向が明らかであり、載荷速度の遅い場合はHRC版、載荷速度の速い場合はSFRC版が吸収エネルギーの面からは他に比べて優れていることが分かる。特にSFRC版では載荷速度が速くなるにつれて、エネルギーの吸収能力が急激に増える。この現象は鋼繊維の効果が載荷速度の速い領域で著しく表われることによるものと思われる。これに対してLRC版の吸収エネルギーは全般に小さい値を示している。破壊エネルギーは、破壊時衝撃力及び破壊時変位の両方の影響を受け変化する指標であるので、この指標は前述の2つの指標を総合的に表すものと考えられる。破壊エネルギーを指標とする耐衝撃性評価はより合理性のある評価と言えるが、設計の重点あるいは目的によってはこれを2つの独立した指標として評価することも考えられる。

4.結論：（1）コンクリート版の耐衝撃性を破壊時衝撃力、破壊時変位及び破壊エネルギーを指標として評価することの妥当性が明らかとなった。（2）これらの指標に基づいて総合的に耐衝撃性を評価すると本研究の範囲ではSFRC版が優れていることが明らかになった。

参考文献 1) F.R.Hand, D.A.Pecknold et al.:Nonlinear Layered Analysis of RC Plates and Shells, J. of Structural Div(ASCE) Vol.99, July 1977 2) 藤井 学、宮本 文穂、他：鉄筋コンクリート版構造の衝撃破壊挙動解析に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、第9巻、第2号、1987

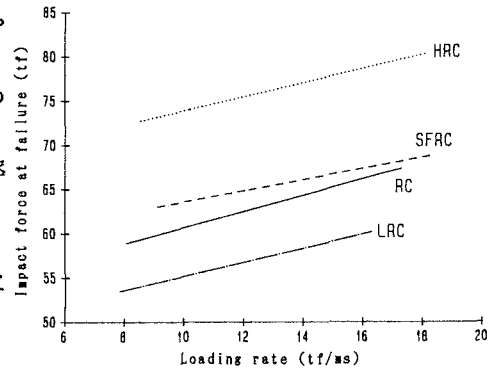


FIG.4 Effect of loading rate on impact force at failure

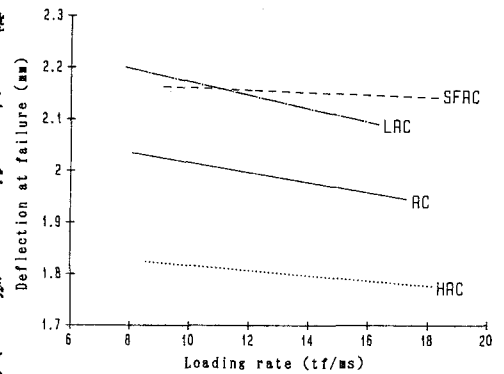


FIG.5 Effect of loading rate on deflection at failure

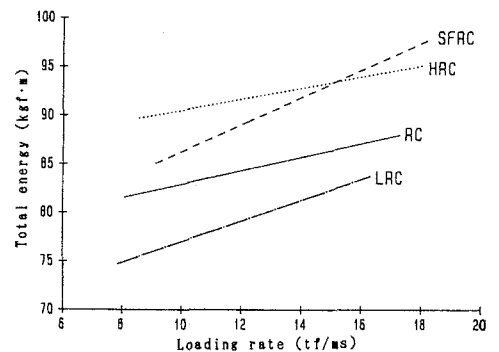


FIG.6 Effect of loading rate on total energy