

I - 655

コンクリート版構造の耐衝撃性評価に関する研究

神戸大学工学部 正 員 〇宮本文穂 神戸大学大学院 正 員 Michael W. King
阪神高速道路公団 正 員 石橋照久 神戸大学大学院 学生員 三戸雅文

1. まえがき 本研究は、ソフトな衝撃作用下でのコンクリート版構造の耐衝撃性を解析的に評価するため、鉄筋コンクリート(RC)製高欄を対象として、コンクリートの種類、載荷速度などをパラメータとした衝撃破壊挙動解析を行い、これに基づいて耐衝撃性の評価に有効であると考えられる種々の指標を設定することによって各種コンクリート版構造の耐衝撃性の評価を試みるものである。

2. 衝撃破壊挙動解析の概要^{1), 2)} 衝撃破壊挙動解析は、準三次元的解析法である積層化非線形有限要素法に動的解析法であるNewmark-β法($\beta = \frac{1}{4}$)を適用した。解析の対象としたRC高欄の寸法は、高さ107.5cm、幅400cm、厚さ25cmであり、版厚方向にコンクリート層6層、鉄筋層2層の計8層に積層化し、第2層と第7層を鉄筋層として解析した。コンクリートの材料特性は、静的一軸特性に基づくものを三軸応力状態における相当応力～相当ひずみ関係に変換して解析に適用した。コンクリートの破壊条件は、Ottosenによって提案された多軸応力状態の破壊曲面を用いた。一方、鉄筋の材料特性には、多折線近似した一軸材料特性を用いた。なお、解析で使用したコンクリートは、過去に行った実験結果を参考にして、普通強度コンクリート(RC, $f_{ck} \approx 350 \text{ kgf/cm}^2$)、高強度コンクリート(HRC, $f_{ck} \approx 900 \text{ kgf/cm}^2$)、鋼繊維混入コンクリート(SFRC, $f_{ck} \approx 400 \text{ kgf/cm}^2$)の3種類とした。破壊条件については、解析上、コンクリート要素の圧縮破壊あるいは鉄筋層の破断を部材の破壊とみなした。また、破壊形式は、ソフトな衝撃作用を考慮し、最終の破壊形式を曲げ破壊(B)および押し抜きせん断破壊(PS)に分類した。

3. 耐衝撃性評価指標の設定 衝撃作用下におけるコンクリート構造物の挙動は静的荷重下とは大きく異なり、同一コンクリート構造物でも衝撃体の種類や載荷速度の変化によって破壊モードが異なるため、耐衝撃設計法を確立するには、耐衝撃性を定量的あるいは定性的に評価する指標が必要となる。そこで、耐衝撃性評価指標として、(1)破壊時衝撃力、(2)破壊時変位、(3)ひびわれ発生荷重、(4)全エネルギー、(5)力積、(6)局部変形指数、(7)たわみ体積および(8)衝撃破壊モードを取り上げ、RC高欄、HRC高欄およびSFRC高欄について、それぞれの指標の観点から耐衝撃性の評価を試みる。

4. 耐衝撃性評価 (1)破壊時衝撃力：RC高欄、HRC高欄およびSFRC高欄のいずれの場合でも、載荷速度の増加に伴い慣性力の影響で破壊時衝撃力が上昇する傾向がみられた。しかし、SFRC高欄およびRC高欄では、載荷速度 $v_L = 60 \text{ tf/msec}$ 付近、HRC高欄では載荷速度 $v_L = 80 \text{ tf/msec}$ 付近からの破壊時衝撃力の増加傾向は小さくなっており、これ以上載荷速度が増加しても大幅な破壊時衝撃力の向上はないことが予想された。(2)破壊時変位：解析の範囲内では、HRC高欄およびSFRC高欄はRC高欄よりも全般的に破壊時変位が大きく、両者の変形能が優れていることが明らかとなった。また、載荷速度 $v_L = 60 \text{ tf/msec}$ 以下の場合には、SFRC高欄の破壊時変位が最も大きく、鋼繊維混入による靱性改善効果が優れていることが明らかとなった。(3)ひびわれ発生荷重：ひびわれ発生に関しては、HRC高欄のひびわれ発生荷重がRC高欄およびSFRC高欄よりも全体的に高く、HRCを適用することによりひびわれの効果的な抑制が可能となることがわかった。(4)全エネルギー：全エネルギーは衝撃力～載荷点変位関係で囲まれる部分の面積で表され、構造物が1回の衝撃作用で破壊に至るのに必要なエネルギーであり、構造物の吸収エネルギーにほぼ等しいと考えられる。図1は、各種高欄の全エネルギーの変化をまとめて示したものである。この図から、HRC高欄およびSFRC高欄ではRC高欄よりも全エネルギーが大きく、エネルギー吸収能が優れていることがわかる。また、いずれの高欄の場合にも載荷速度がある程度高くなると、全エネルギーは顕著な上昇を示さなくなり、各高欄でのエネルギーの吸収能の限界を示しているものと思われる。(5)局部変形指数：衝撃作用下でのコンクリート構造物は、衝撃初期の高次振動モードの卓越による局部変形を生じ易く、衝撃破壊モードが押し抜きせん断破壊となり易い。局部変形を定量的に取り扱う指標としては、破壊時曲率($1/R$)があるが、破壊時曲率には破壊時の変位の影響が含まれるために直接的な比較ができない。そこで、破壊時曲率

を破壊時変位(δ_u)で除した値を局部変形指数(I_L)と定義した。

図2に、RC高欄、HRC高欄およびSFRC高欄それぞれの鉄筋降伏時の高欄配力筋方向の局部変形指数を示す。これより、SFRC高欄の一部を除いて載荷速度の増加に伴って局部変形指数が増大する傾向が認められる。つまり、載荷速度の上昇によって局部的な変形を生じ易いことがわかる。例えば、HRC高欄の場合、載荷速度 40tf/msec前後で極端に局部変形指数の値の傾向が変化し、曲げ破壊から押し抜きせん断破壊に移行していることがわかる。この載荷速度 40 tf/msecに対応する局部変形指数は、 $3.49 (\times 10^{-4}/\text{cm}^2)$ であるが、RC高欄の場合にも、局部変形指数の値が $3.42 (\times 10^{-4}/\text{cm}^2)$ となる 20tf/msec以上の載荷速度での破壊モードは押し抜きせん断破壊モードとなる。また、SFRC高欄でも局部変形指数が $3.78 (\times 10^{-4}/\text{cm}^2)$ となる50tf/msec以上の載荷速度で押し抜きせん断破壊モードとなっている。以上のことから、局部変形指数が $3.5 (\times 10^{-4}/\text{cm}^2)$ 前後となる載荷速度を境として衝撃破壊モードが変化していることがわかり、衝撃破壊モードと良い対応を示すことがわかった。(6)たわみ体積：たわみ体積は、無載荷状態でのコンクリート面を基準とし、構造物破壊時の全面にわたるたわみ分布を積分し、その変形状態を体積表示するものである。高欄の破壊形式が曲げ破壊の場合には、破壊時の変形状態は高欄全体が滑らかに大きく変形するために、たわみ体積は大きくなるのに対して、押し抜きせん断破壊に至る場合には、変形が局部的になるためにたわみ体積は小さくなると考えられる。そのため、たわみ体積は構造物の衝撃破壊モードおよび衝撃吸収エネルギーとの相関性が強いと考えられる。

図3は、各種高欄のたわみ体積をまとめて示したものであるが、RC高欄およびSFRC高欄の場合には、載荷速度が 60tf/msec以上になるとたわみ体積が減少していく傾向がある。これらの載荷速度では、RC高欄およびHRC高欄の衝撃破壊モードは押し抜きせん断であり、局部変形指数の値も大きく高欄の変形が局部的になっていると考えられる。

5. 結論

本研究で検討した破壊時衝撃力、破壊時変位、ひびわれ発生荷重、全エネルギー、局部変形指数、たわみ体積などは、いずれもコンクリート版構造の耐衝撃性評価指標として有効であることが明らかとなった。

【参考文献】 1)Miyamoto, A., King, M. W., and Fujii, M. : Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 88, No. 4, July - Aug. 1991, pp. 411-419 2)Miyamoto, A., King, M. W., and Fujii, M. : Analysis of Failure Modes for Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, Vol. 88, No. 5, Sept. -Oct. 1991, pp. 538-545.

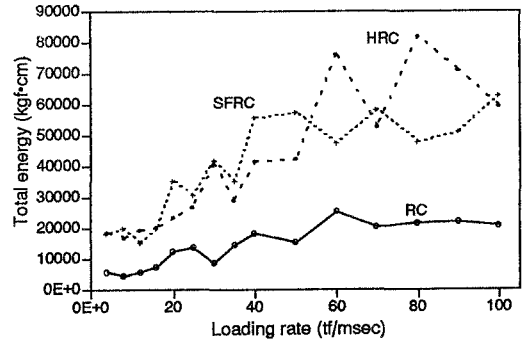


図1 各種高欄の全エネルギーと載荷速度の関係

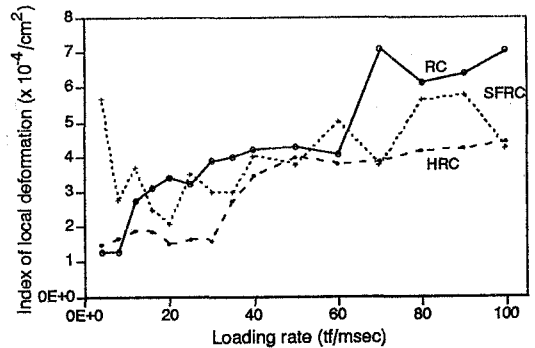


図2 各種高欄の局部変形指数と載荷速度の関係

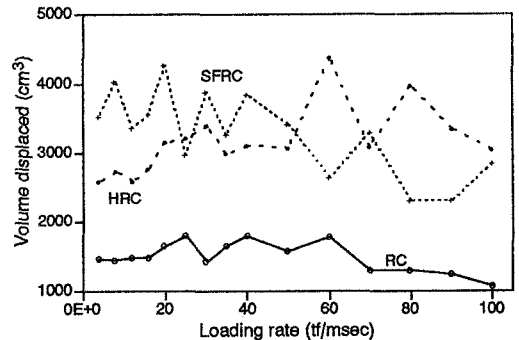


図3 各種高欄のたわみ体積と載荷速度の関係