

神戸大学大学院 学生員○北山 篤
建設 省 正会員 三戸雅文
神戸大学工学部 正会員 宮本文徳

1. まえがき

衝撃荷重を受けるコンクリート構造物は非常に複雑な挙動を示し、静的荷重に衝撃係数を乗じて衝撃効果として割増しを行う従来の設計手法では不十分であると考えられる。したがって、衝撃荷重の作用に対しては、独自の考え方にに基づく設計手法の開発が望まれ、特に、効果的な耐衝撃性の評価が必要とされる。本研究では、種々の特性を有するコンクリートから成る積層構造が耐衝撃性向上に有利になると考えられることから、まず、普通コンクリート(RC)と、高強度コンクリート(HRC)および鋼繊維混入コンクリート(SFRC)とを、その特性に応じて組み合わせた積層コンクリート版を対象とする衝撃破壊挙動解析を行うことによって、各種積層版の破壊挙動特性を明らかにする。次いで、主にエネルギー的考え方に基づいた耐衝撃性指標を設定することによって、衝撃荷重下の各種積層コンクリート版の耐衝撃性がどのように変化するかを定量的、定性的に検討をするものである。

2. 解析方法

本研究では、積層化非線形有限要素法¹⁾に鉄筋の付着特性およびコンクリートの引張軟化特性を組み込んだ解析手法を用いて、各種積層コンクリート版の衝撃破壊挙動解析を行った。今回解析対象とした積層コンクリート版は、図-1に示すように版を6層に分割し、版上部から順に第1層…第6層とした。積層版の種類とコンクリートの特性の組み合わせを表-1に示す。また、入力する衝撃荷重は、過去の実験によって得られた衝撃荷重～時間関係を基本波形とし、各版の破壊が、そのピーク時を示す2.0msec時で生じるようにそれを線形増加させたものを用いる。

3. 解析結果および考察

版の破壊挙動に関連する解析結果をまとめて図-2に示す。図-2より、RC版の上部にHRCを積層したコンクリート版において、上部に積層するHRCの厚さを増加させることにより破壊時衝撃荷重が増加しており、この面での耐衝撃性が向上することがわかる。また、破壊時変位の面からは、上部1層にHRCを積層することで破壊時変位がRC版に比べて大きく増大する様子がみられる。しかし、H2R4版、H3R3版などのようにRC版上部へのHRCの積層厚を増加させていくにしたがって、破壊時変位量の増加割合が減少する傾向にあり、HRCを多層にわたって積層する効果は小さくなるものと考えられる。次に、RC版の下部にSFRCを積層したコンクリート版において、版下部へのSFRCの積層厚が厚くなるほど破壊時衝撃荷重がわずかに増加する傾向にある。しかし、下部へ

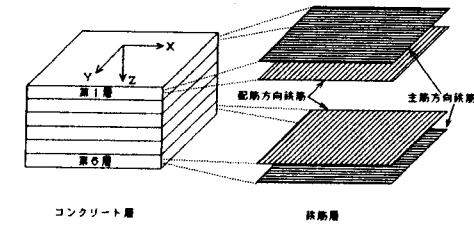


図-1 積層版のモデル

表-1 解析に用いた積層版の種類とコンクリートの組み合わせ

版	RC	HRC	SFRC	H1R5	H2R4	H3R3	H4R2	H5R1	R5S1	R4S2	R3S3	R2S4	R1S5
第1層	○	△	×	○	△	△	△	△	○	○	○	○	×
第2層	○	△	×	○	△	△	△	△	○	○	○	○	×
第3層	○	△	×	○	○	○	○	△	○	○	○	×	×
第4層	○	△	×	○	○	○	○	△	○	○	×	×	×
第5層	○	△	×	○	○	○	○	△	○	×	×	×	×
第6層	○	△	×	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×

注) ○ RC (普通コンクリート)
△ HRC (高強度コンクリート)
× SFRC (鋼繊維混入コンクリート)

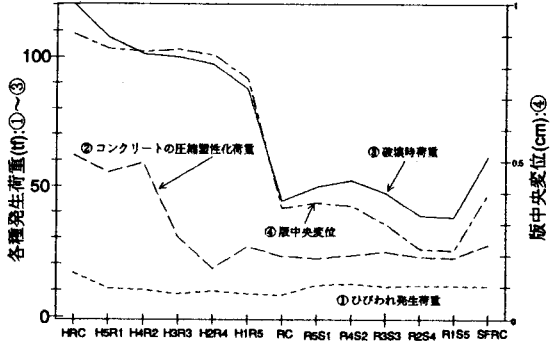


図-2 積層コンクリート版の各種発生荷重と版中央変位

のSFRCの積層厚が50%を越えるR3S3版からはSFRCの積層厚の増加とともに、破壊時衝撃荷重はわずかに減少していく傾向にある。これに対し、破壊時変位は、下部に積層するSFRCの厚さの増加にともなって、減少していく傾向がみられる。この原因として、下部に積層したSFRCのひびわれ発生にともなう剛性の低下が小さいため版下部に引張の抵抗力が存在することによって版の中央変位が小さい時点で破壊に至る脆性的な破壊現象が考えられる。

4. 耐衝撃性指標による評価

衝撃荷重を受けるコンクリート版は、同一のコンクリート版でも載荷速度の変化によって破壊挙動が変化するため、このような現象を定量的、定性的に取り扱うためには耐衝撃性の評価が可能な指標を定義し、それによって効率よく耐衝撃性を評価することが不可欠であると考えられる。一般に、衝撃荷重下でのコンクリート版は、押し抜きせん断破壊モードに至りやすい傾向があるため、コンクリート版の局所的な変形状態を評価する指標が重要であると思われる。そこで本研究では、コンクリート版に衝撃荷重が作用する前の状態を基準面とし、破壊時におけるコンクリート版のたわみ分布を積分して変形状態を体積で表した指標をたわみ体積と定義し、この指標による耐衝撃性の評価を試みた。RCとSFRCを組み合わせた積層版のたわみ体積に及ぼす載荷速度の影響を図-3に示す。これより、RCとSFRCを組み合わせた積層コンクリート版は、R2S4版よりR4S2版の方がたわみ体積の値が大きくなっていることから版全体に曲げ変形が支配的となっていることが考えられる。しかし、たわみ体積のみでは局所的な変形状態の厳密な評価が困難なため、上述と同様の積層版の破壊時変位に及ぼす載荷速度の影響についても検討した。その結果を図-4に示す。

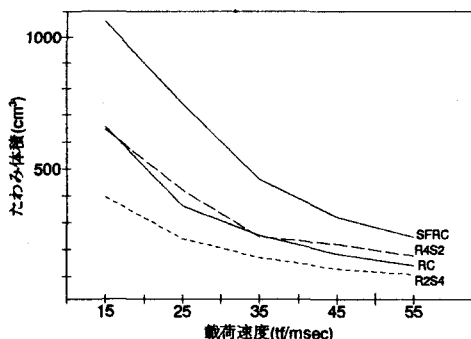


図-3 各種積層版のたわみ体積に及ぼす載荷速度の影響の比較

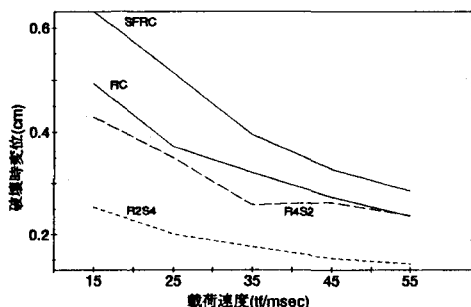


図-4 各種積層版の破壊時変位に及ぼす載荷速度の影響の比較

図-4よりR4S2版の破壊時変位は、RC版より小さい値を示しているのに対して、図-3よりたわみ体積はRC版より大きな値を示している。このことから、R2S4版の方がRC

版に比べて全体的な変形を伴う曲げ破壊状態であることが考えられ、SFRCの鋼繊維混入が局所的な変形の抑制に影響を及ぼしているものと考えられ。また、たわみ体積は、破壊時変位と関連づけることによって変形モードや局部変形の抑制を目的とする場合の評価、判定に有効に利用できるものと考えられる。

5. 結論

- ①RC版の上部にHRCを積層したコンクリート版は、HRCの積層厚の増加にともなって破壊時荷重、破壊時変位はともに大きくなる傾向がみられる。
- ②RC版の下部にSFRCを積層したコンクリート版は、SFRCの積層厚の増加にともなって破壊時荷重、ひびわれ発生荷重は大きくなるが、その効果は積層厚さが版厚の50%まででそれ以上の積層厚では減少する傾向があらわれた。これに対し、破壊時変位は、積層厚さの増加にともなって減少する傾向がある。
- ③たわみ体積は、破壊時変位と関連づけることによってコンクリート版の耐衝撃性の評価、判定に有効に利用できる指標である。

【参考文献】1) M. W. King, A. Miyamoto and A. Nishimura: Failure Criteria and Analysis of Failure Modes for Concrete Slabs under Impulsive Loads, Memoirs of the Graduate School of Science and Technology, Kobe Univ., Vol. 9-A, pp. 1-40, March 1991.