

FRP筋を用いたコンクリート版の衝撃破壊挙動解析

神戸大学大学院 学生員 ○三戸 雅文

神戸大学大学院 学生員 M. W. King

神戸大学大学院 学生員 石橋 照久

神戸大学工学部 正会員 森川 英典

神戸大学工学部 正会員 宮本 文穂

1. まえがき

連続繊維補強プラスチック材(FRPロッド)¹⁾は、高耐食性、非磁性、高強度、軽量等の優れた材料特性を有することから新しいコンクリート用補強材として期待されている。本研究は、このような特性を有するFRPロッドをコンクリート版の補強筋として用いた場合の十分な衝撃作用²⁾下での破壊挙動および耐衝撃性を解析的に検討したものである。

2. 衝撃破壊挙動解析方法の概略

本解析では、積層化非線形有限要素法³⁾に、動的解析法の1つであるNewmark-β法(β=1/4)を組み合わせた解析方法を用いる。対象とするコンクリート版は、130×130×13cmの2辺単純支持複鉄筋コンクリート版で、スパン長を120cmとする。本解析に使用するコンクリートは、普通コンクリート(RC)、高強度コンクリート(HRC)、鋼繊維混入コンクリート(SFRC)の3種類であり、補強筋は鉄筋2種類(SD35, SD70)とFRPロッド8種類(Type A1~D)である(Fig. 1参照)。一般に、FRPロッドは繊維の素材や繊維含有率、成形方法等により無限に近い組合せがあると考えられ、解析においては、特定の製品を対象とすることは合理的とはいえない。そこで、本解析で設定した材料特性は、FRP筋Type Dを除くFRPロッドはすべて普通鉄筋(SD35)の静的一軸応力~ひずみ曲線で囲まれる面積と等しくなるように設定し、鉄筋に対するヤング係数比をType A1~A3は1.3、Type Bは1.0、Type C1~C3は0.5としてある。また、FRP筋Type A1, A2, A3およびType C1, C2, C3は、それぞれ破断ひずみが異なるように設定してある。なお、Type Dは、炭素繊維とガラス繊維を組み合わせることにより降伏点をもたせたもので、他の降伏点を有するFRP筋との比較のために取り上げている。

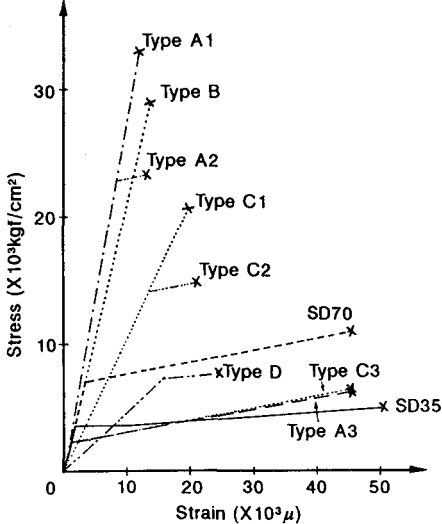


Fig.1 Idealized stress-strain diagram for reinforcement

3. 各種コンクリート版の衝撃破壊挙動と耐衝撃性評価

3.1 補強筋の違いによる比較

Table 1およびFig. 2に、1例として普通コンクリートに各種補強筋を組み合わせたコンクリート版に対する衝撃破壊挙動の解析結果を示す。ここで、「RC-A1」等の記号については、「RC」は普通コンクリートの使用を表し、「A1」はFRP筋Type A1の適用を表している。まず、各種コンクリート版の破壊時衝撃力を比較すると、ヤング係数の大きい補強筋を使用したRC版ほど破壊時衝撃力は大きいことが分かる。これは、ひびわれ発生荷重においても同様の傾向が現れている。また、コンクリート版の破壊モードは、ヤング係数の大きい補強筋を用いることにより曲げ破壊モードとなりやすい傾向がみられる。一方、ヤング係数の小さい補強筋を用いると、押し抜きせん断破壊モードが先行しており、ひびわれ発生後の剛性低下の割合も著しいことが分かる。

Table 1 Details of analytical results for concrete slabs

Slab	Load at Failure (tf)	Deflection at Failure (mm)	Cracking Load (tf)	Failure Mode ¹⁾	Failure Condition ²⁾
RC-A1	50.00	2.46	17.78	B	C
RC-A2	50.00	2.46	17.78	B	C
RC-A3	45.00	2.13	17.73	B	C
RC-B	33.76	1.84	16.00	B→PS	R
RC-70	39.44	1.92	15.76	B→PS	C
RC-35	34.51	1.68	15.13	B→PS	R
RC-C1	19.00	1.06	11.79	B→PS	R
RC-C2	18.00	1.15	11.86	B→PS	R
RC-C3	24.48	1.27	12.70	B→PS	R
RC-D	13.74	1.34	10.46	PS	R

¹⁾ B: Bending, B→PS: Bending to Punching Shear, PS: Punching Shear
²⁾ C: Concrete Crushing, R: Reinforcement Failure

3.2 耐衝撃性評価

ここでは、各種RC版の耐衝撃性を定量的に評価するため、①破壊時衝撃力、②たわみ体積の2つの指標を取り上げて考察してみる。

① 破壊時衝撃力：Fig. 3は、各種コンクリート版の破壊時衝撃力の変化を図示したものである。これより、SFRCを用いることによる破壊時衝撃力の改善効果の大きいことが分かる。SFRC版およびHRC版において、補強筋の種類による破壊時衝撃力の改善効果を比較すると、補強筋Type B以上のヤング係数をもつ補強筋を用いた場合の破壊時衝撃力にあまり変化がなくなることが分かる。したがって、SFRC版、HRC版に用いる補強筋としては、FRP筋Type B(鉄筋とのヤング係数比が1.0)程度の材料特性を有する補強筋が最適であると考えられる。また、FRP筋Type C1～C3にSFRC、HRCを組み合わせたコンクリート版は、「RC-35」版と同程度もしくはそれ以上の破壊時衝撃力が得られることが明らかであることから、FRP筋Type C1～C3を用いる場合、HRC

もしくは、SFRCと組み合わせるのが妥当と考えられる。

② たわみ体積：たわみ体積とは、版全体の変位が0の状態を基準面とし、破壊時におけるコンクリート版の版全面のたわみ分布を積分し、その変形状態を体積で表示したものである。したがって、コンクリート版の破壊形式が曲げ破壊である場合、コンクリート版全体が大きく変形するためたわみ体積は大きくなるのに対し、押し抜きせん断破壊に至る場合には、コンクリート版が局部的に変形するためたわみ体積は小さくなると考えられる。Fig. 4に各コンクリート版のたわみ体積の変化を示す。この図よりFRP筋Type Dを除く補強筋に対してSFRC版を適用すると、RCと組み合わせた場合よりもたわみ体積を著しく大きくすることが可能となり、エネルギー吸収能、すなわち靱性の改善が認められる。特に、FRP筋Type C1～C3はHRC版、SFRC版に適用することにより、たわみ体積は「RC-35」版と同程度もしくはそれ以上とすることができる。

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた主な結果を以下に示す。

①HRCは鉄筋のヤング係数以下のヤング係数を有するFRP筋に適用した場合、耐衝撃性の改善が期待できる。また、SFRCを用いることによって、破壊時衝撃力、靱性等を大きく改善することができる。②破壊時衝撃力、たわみ体積は、耐衝撃性評価の指標として有効であることが分かった。③現在、製品化が行われているFRP筋(Type C1～C3等)を従来の普通鉄筋コンクリート版(FRC-35)版に鉄筋の代替とする場合は、HRCあるいはSFRCに適用すれば、破壊時衝撃力およびたわみ体積は、鉄筋コンクリート版(FRC-35)版と同程度かそれ以上になることが期待できる。

参考文献 1)日本建築学会、連続繊維複合材料研究委員会：新補強材のコンクリート構造物への適用に必要な評価項目の整理と現状の評価方法、142pp.、1990年3月。2)藤井学・宮本文穂：衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動、コンクリート工学、Vol.21, No.9, pp.25～36, 1983年9月。3)Miyamoto, A., King, M. W., Fujii, M.: Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Slabs under Impulsive Loads, ACI Structural Journal, Vol.88, No.4, pp.411-419, Jul./Aug. 1991.

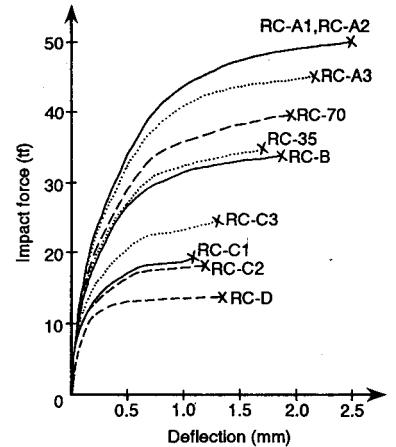


Fig.2 Impact force-midspan deflection curves for concrete slabs

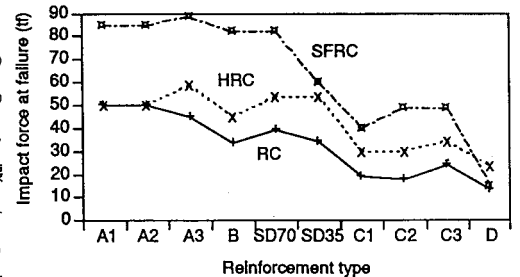


Fig.3 Impact force at failure for various concrete slabs

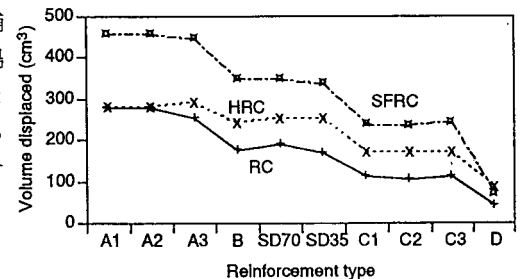


Fig.4 Volume displaced for various concrete slabs