

神戸大学大学院 学生員 ○石橋照久 神戸大学大学院 学生員 M. W. King
 神戸大学工学部 正会員 宮本文穂 神戸大学大学院 学生員 三戸雅文

1. はじめに

連続繊維補強プラスチック材(FRPロッド)¹⁾は、高強度、高耐食性、非磁性、軽量等の優れた材料特性を有することから、コンクリート構造分野で鉄筋の代替として、腐食環境にある海洋構造物やリキナーターの非磁性がトウェイ等への適用が期待されている。本研究は、FRPロッドを補強筋として用いた各種コンクリート版について、偶発的外力であるソトな衝撃荷重下での耐衝撃性評価を、理想的と考えられる材料の提案を含めて解析的に検討するものである。

2. 衝撃破壊挙動解析²⁾の概要と補強筋の力学的特性

衝撃破壊挙動解析には、非線形積層化有限要素法に動的解析法の1つであるNewmark-β法(β=1/4)を適用した²⁾。対象とするコンクリート版は、130×130×13cmの2辺単純支持複補強筋コンクリート版(補強筋比:ρ=1.1%, ρ'=0.55%)で、スパン長を120cmとする版中央部分等分布(ハッチ)荷重とした。コンクリートの種類は、普通(RC)、高強度(HRC)、鋼繊維混入(SFRC)の3種類とし、それぞれのコンクリートに、補強筋としてFig. 1に示すような力学的特性を有する鉄筋2種類(SD35, SD70)とFRPロッド8種類(Type A1~D)を組み合わせた各種コンクリート版について衝撃破壊挙動解析を行った。FRPロッドの力学的特性は、現在、明確な規格がないため、FRP筋Type Dを除くFRPロッドの静的一軸応力~ひずみ曲線で囲まれる面積をすべて普通鉄筋(SD35)のものと同しくするという条件で、普通鉄筋(SD35)に対するFRPロッドのヤング係数比を、Type A1~A3は1.3、Type Bは1.0、Type C1~C3は0.5とし、さらに、FRP筋Type A2, A3, C2, C3は、それぞれ段階的に降伏領域を持つように設定した。

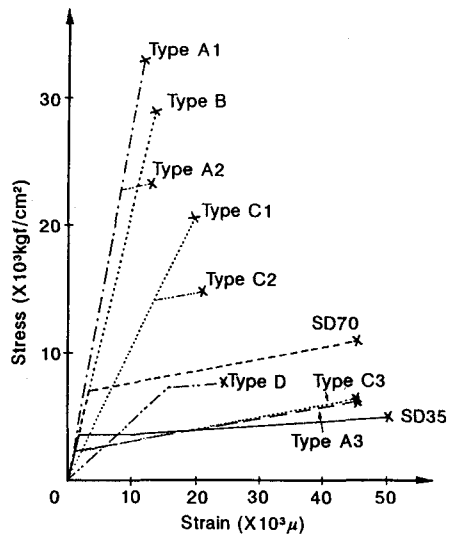


Fig. 1 Idealized stress-strain diagram for reinforcement

3. 各種コンクリート版の耐衝撃性評価

ここでは、耐衝撃性評価指標として、①破壊時衝撃力、②ひびわれ発生荷重、③衝撃破壊モード、④たわみ体積に着目し、それぞれの観点から耐衝撃性の検討を行った結果をまとめて示す。

①破壊時衝撃力: 各種コンクリート版の破壊時衝撃力の変化をFig. 2に示す。この図から、FRP筋Type A1から高張力鉄筋SD70までの補強筋を使用したSFRC版は、RC版の場合よりも破壊時衝撃力が著しく向上していることから、ヤング係数が鉄筋と同程度かそれ以上の補強筋を使用したSFRC版は、破壊時衝撃力の大きな改善が期待できることが分かる。また、補強筋のヤング係数が同じでも、組み合わせるコンクリートの種類によっては、降伏領域を持つようにした補強筋を有するコンクリート版の方が高い破壊時衝撃力を示すものもある。さらに、FRP筋Type C1~C3のように補強筋のヤング係数が鉄筋の0.5倍程度でも、SFRC版、HRC版とすることにより、「RC-35」版と同程度かそれ以上の破壊時衝撃力を得ることが可能である。

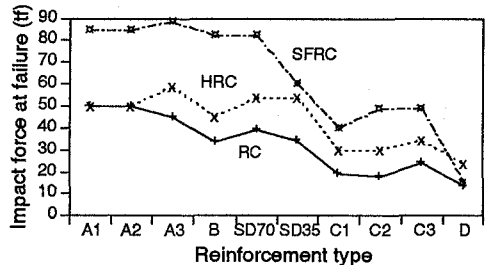


Fig. 2 Impact force at failure for various concrete slabs

②ひびわれ発生荷重:各種コンクリート版のひびわれ発生荷重をFig. 3に示す。この図より、今回の解析の範囲内では、HRC版のひびわれ発生荷重がSFRC版やRC版よりも全体的に大きく、高強度コンクリートの使用がひびわれ発生の抑制手段として有効であることが分かる。また、FRP筋Type C~D1のように鉄筋よりもヤング係数が小さい補強筋でも、高強度コンクリートと組み合わせれば、「RC-35」版よりも高い衝撃荷重までひびわれを抑制することが可能である。

③衝撃破壊モード:Fig. 4は、各種コンクリート版の破壊モードを、曲げ破壊(B), 曲げ挙動先行の押し抜きせん断破壊(B→PS), 押し抜きせん断破壊(PS)の3種類に分類して示したものである。この図より、FRP筋Type A1~A3では、3種類のどのコンクリートと組み合わせても曲げ破壊モードとなり、一方、それ以下のヤング係数の補強筋を使用した場合には、HRC, SFRCとの組み合わせにより、破壊モードが曲げに改善されることが分かる。また、FRP筋Type C1~C3を使用したSFRC版では、降伏領域を持つFRP筋Type C2, C3の方が破壊モード改善という点では優れていると言える。

④たわみ体積:たわみ体積はコンクリート版に衝撃力が作用する前の状態を基準として、破壊時における版全面のたわみ分布を積分し、変形量を体積表示したものである。したがって、破壊時の版中央変位が同じでも、版全体が滑らかに変形する曲げ破壊モードのコンクリート版の方が、版中央付近で局部的に変形する押し抜きせん断破壊モードのコンクリート版よりも、たわみ体積が大きくなり、エネルギー吸収能が高くなると言える。Fig. 5は各種コンクリート版のたわみ体積の変化を示したもので、FRP筋Type Dを除く補強筋をSFRC版に適用することにより、たわみ体積をかなり増大させることが可能となり、エネルギー吸収能の向上、つまり、靱性の改善が期待できる。また、補強筋のヤング係数が等しい場合、降伏領域の有無による各コンクリート版のたわみ体積の大きな変化は見られない。さらに、FRP筋Type C1~C3でも、HRC版, SFRC版に適用することにより、たわみ体積を「RC-35」版と同等あるいはそれ以上にすることが可能である。

4. まとめ

連続繊維補強筋を用いた各種コンクリート版の耐衝撃性評価を行い、次のような結論を得た。

①ヤング係数が鉄筋の1.3倍程度以上のFRP筋をSFRC版に適用すると、耐衝撃性の大幅な向上が期待できる。また、SFRC版は各補強筋に対してRC版の場合よりもそれぞれの指標値が増大し、耐衝撃性の改善に有効であることが分かった。②普通鉄筋SD35の半分程度のヤング係数のFRP筋(Type C1~C3等)でも、SFRCまたはHRCに適用すれば、普通鉄筋コンクリート版(「RC-35」版)と同程度かそれ以上の耐衝撃性が期待できる。③破壊時衝撃力、ひびわれ発生荷重、衝撃破壊モード、たわみ体積は、耐衝撃性を評価する上で有効な指標であることが確認できた。

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、1990年3月。2)Miyamoto, King, Fujii:Nonlinear Dynamic Analysis of RC Slabs under Impulsive Loads, ACI Structural Journal, Vol.88, No. 4, pp.411-419, Jul./Aug. 1991.

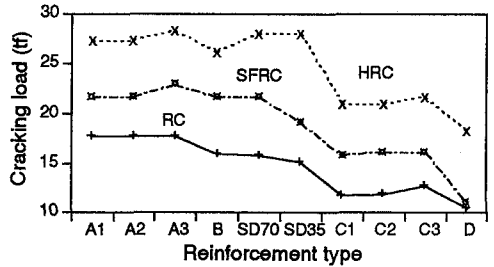


Fig.3 Cracking load for various concrete slabs

B: Bending, B→PS: Bending → Punching Shear, PS: Punching Shear

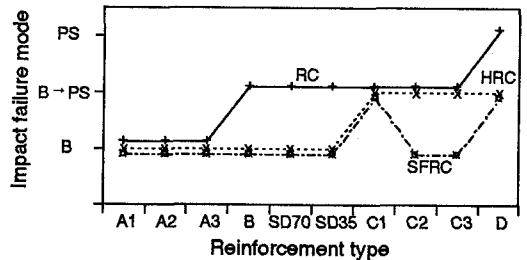


Fig.4 Failure mode for various concrete slabs

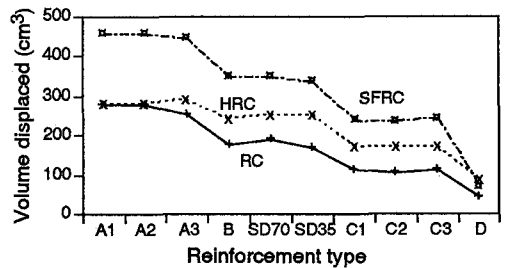


Fig.5 Volume displaced for various concrete slabs