飛翔体衝突を受ける鋼繊維補強無孔性コンクリート版の耐衝撃性に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 〇藤田 蓮 清田 翔吾 正会員 別府 万寿博 市野 宏嘉 太平洋セメント株式会社 正会員 河野 克哉

1. 緒言

近年,原子力発電所は航空機衝突や竜巻飛来物 に対しても十分な安全性を有することが求められ ている.このような飛来物に対する対策指針類に おいて,防護構造物の設計法は確立されていない ため,飛来物衝突に対する合理的な耐衝撃設計法 および耐衝撃補強法を検討する必要がある.本研 究は,飛翔体の衝突を受ける 350N/mm²程度の極め て高い圧縮強度を有する鋼繊維補強無孔性コンク リート (Porosity Free Concrete, PFC)版の耐衝撃性 について実験的な検討を行ったものである.

実験の概要

実験は,図-1に示す高圧空気式飛翔体発射装置 を用いて行った. 質量 300g, 先端部の直径 25mm の鋼製飛翔体を,鉄筋コンクリート (RC) 版およ び PFC 版に対して衝突させる実験を行った. 図-2 に試験体の外観および寸法を示す.図-3に試験体 の設置要領を示す. 試験体の寸法は,縦 500mm× 横 500mm であり, RC 版の版厚は 100mm とし, PFC 版の版厚は 60, 50 および 40mm に変化させた.図 -4 に RC 版の寸法図を示す. PFC 版は, 無孔性の 超高強度モルタルに鋼繊維(直径:0.2mm,長さ: 15mm, 引張強度: 2800N/mm²) を体積比で 2.0%お よび 3.5%混入して作製した. コンクリートの圧縮 強度は 28N/mm² である. PFC の圧縮強度は、繊維 量 2.0%および 3.5%でそれぞれ 347N/mm² および 337N/mm² である. RC 版の実験ケースは, 版厚 100mmに対して衝突速度150m/s~240m/sで衝突さ せた. PFC 版の実験ケースは、版厚 40mm~60mm に対して衝突速度 50m/s~240m/s で衝突させた. 表-1 に、以下で考察する実験ケース名を示す.



ケース	繊維混入量(%)	版厚 (mm)	圧縮強度(N/mm ²)	衝突速度(m/s)
RC-100-1	0.0	100	28	151.4
RC-100-2	0.0	100	28	181.4
PFC2.0-60-1	2.0	60	347	150.2
PFC2.0-60-2	2.0	60	347	184.7
PFC3.5-60-1	3.5	60	337	153.0
PFC3.5-60-2	3.5	60	337	179.2



3. 実験結果および考察

図-5 に、衝突速度約 150m/s のケースで生じた試験体の破壊性状を示す.図に示す破線は試験体に生じたひび割

れを示している. RC-100-1 のケースでは、断面の斜めひび割れが裏面に進展している. しかし, 裏面には1本のひ

び割れしか生じていないため、破壊モードを裏面 剥離限界とした. PFC2.0-60-1の破壊モードは裏面 剥離であり、断面には多数の斜めひび割れが生じ、 裏面には破線で示すひび割れが認められた. PFC3.5-60-1の破壊モードは表面破壊であり、断面 に明瞭な斜めひび割れが生じているが、裏面には 微小なひび割れのみが生じていた. すなわち、版 厚 60mm、繊維量 3.5%の PFC 版は衝突速度約 150m/s において、版厚 100mm の RC 版と同様ある いはより小さな破壊を示すことがわかる.

図-6 に、衝突速度約 180m/s における試験体の破壊性状を示す. RC-100-2 の破壊モードは裏面剥離

であり、断面のひび割れが分散することなく斜めひび割れが生じ、 裏面のコンクリートが飛散した. PFC2.0-60-2 のケースでは、断面 に複数のひび割れが生じており、裏面をみると裏面剥離が生じる とともに試験体の中心部に貫通孔が生じていた. PFC3.5-60-2 のケ ースは裏面剥離限界であり、断面には衝突部から裏面にかけて斜 めひび割れが生じており、ひび割れが大きく開口しているが、繊 維の架橋効果により剥離片の飛散が抑制されていた. また、PFC 版の断面には多数のひび割れが発生しており、ひび割れ分散効果 が発現されている. すなわち、繊維混入量の増加により、同等の 圧縮強度でも裏面剥離の抑制効果が高くなることがわかる.

図-7 に、修正 NDRC 式 ¹⁾による PFC 版の裏面剥離限界版厚の 評価を示す.なお図中には、各 PFC 版の実験結果に適合するよう に、修正 NDRC 式により算出した RC 版の裏面剥離限界版厚およ び貫通限界版厚に、それぞれ低減係数αおよびβを乗じた限界版 厚を示している.図-7より、繊維量 2.0%および 3.5%の PFC 版の 裏面剥離限界に関する低減係数αは、それぞれ 0.65 および 0.55 であった.すなわち、RC 版の裏面剥離限界版厚と比較すると、

繊維量 2.0%および 3.5%の PFC 版の裏面剥離限界版厚は、それぞ







れ 35%および 45%低減したことを示している.また,図-7より,繊維量 2.0%および 3.5%の PFC 版の貫通限界版厚 に関する低減係数βは,それぞれ 0.70 および 0.65 であった.すなわち,RC 版の貫通限界版厚と比較すると,繊維 量 2.0%および 3.5%の PFC 版の貫通限界版厚は,それぞれ 30%および 35%低減したことを示している.

4. 結言

本研究は,飛翔体の衝突を受ける鋼繊維補強無孔性コンクリート(PFC)版の耐衝撃性を検討したものである. 実験結果から, PFC版の破壊損傷は RC版と比較して飛躍的に抑制された.修正 NDRC式に乗じる低減係数から, 繊維を 2.0%および 3.5%混入した PFC版の破壊限界版厚は, RC版と比較して,裏面剥離に対してそれぞれ 35%お よび 45%,貫通に対してそれぞれ 30%および 35%低減した.

参考文献

 Kennedy, R. P. : A review of procedures for the analysis and design of concrete structures to resist missile impact effects, *Nuclear Engineering and Design*, Vol37, pp183-203, 1976.