

## 圧縮強度と鋼繊維混入率を変化させた無孔性コンクリート梁の静的および衝撃荷重載荷実験

室蘭工業大学大学院 正会員 ○瓦井 智貴 室蘭工業大学大学院 正会員 小室 雅人  
 太平洋セメント(株) 正会員 河野 克哉 室蘭工業大学大学院 名誉会員 岸 徳光  
 太平洋セメント(株) 正会員 岸良 竜 太平洋セメント(株) 正会員 溝口 愛実

### 1. はじめに

本研究では、超高強度繊維補強コンクリートを用いた場合における圧縮強度や鋼繊維混入率の違いによるRC部材の耐衝撃性への影響を検討することを目的に、圧縮強度が300 MPa以上の鋼繊維補強無孔性コンクリート (porosity-free fiber-reinforced concrete, PFFRC) を用いた場合と100 MPaクラスのコンクリート (high-strength fiber-reinforced concrete, HSFRC) を用いた場合におけるRC梁を対象に、静的および重錘落下衝撃荷重載荷実験を実施した。なお、鋼繊維混入率は1, 2, 3.5%の3種類の場合について検討を行った。また、基準梁として、無補強の普通コンクリート (normal-strength concrete, NSC) を用いた場合も検討を行うこととした。

### 2. PFCの概要

PFFRCとHSFRCの使用材料としては、結合材には最密粒度にしたPFC専用のプレミックス粉体を、細骨材には珪砂、混和剤には高性能減水剤および消泡剤を用いている。また、鋼繊維には引張強度2,800 MPaの高強度鋼繊維を用い、体積比の外割で1, 2, 3.5%混入した。なお、水結合材比は、PFFRCとHSFRCでそれぞれ15, 33%としている。その他、練混ぜや養生方法の詳細については文献1)を参照されたい。

### 3. 実験概要

図1には、本研究で対象とした試験体の形状寸法を示している。試験体の形状寸法(幅×高さ×スパン長)は、150×200×1,800 mmである。補強筋は複鉄筋配置とし、

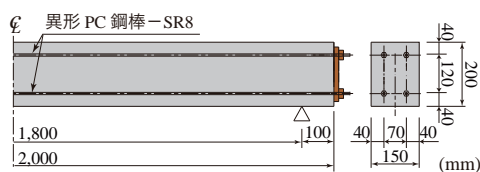


図1 試験体の形状寸法および配筋

表1 試験体一覧

試験体名	鋼繊維混入率 (%)	コンクリート			PC鋼棒降伏強度 $f_y$ (MPa)
		圧縮強度 $f'_c$ (MPa)	割裂引張強度 $f_t$ (MPa)	弾性係数 $E_c$ (GPa)	
N-F0	0	40.8	2.70	31.2	1,457
H-F1	1	99.1	4.71	30.2	1,429
H-F2	2	94.0	7.04	29.8	1,457
H-F3.5	3.5	99.7	8.19	30.3	1,429
P-F1	1	332	9.70	60.8	1,457
P-F2	2	337	11.0	60.9	
P-F3.5	3.5	327	11.3	62.8	

PFCの高圧縮強度特性を活かすことを目的に異形PC鋼棒を使用した。なお、補強筋量は、静的に曲げ引張破壊型で終局に至るように設定した。また、鋼繊維の架橋効果によって十分なせん断補強効果が期待できることより、NSC梁も含めてせん断補強筋は配置していない。

表1には、本研究で対象とした試験体の一覧を示している。ここでは、圧縮強度および繊維混入率を変化させた7種類の試験体を対象に静的および衝撃荷重載荷実験を実施した。試験体名において、第一項目はコンクリートの圧縮強度(N:40 MPaクラス, H:100 MPaクラス, P:300 MPaクラス)を、第二項目のFに付随する数値は繊維混入率(%)を表している。なお、表にはコンクリートの各材料特性値やPC鋼棒の降伏強度も併せて示した。

静荷重載荷実験には、梁幅400 mm×梁軸100 mmの載荷治具をスパン中央部に設置し、油圧ジャッキを用いて荷重を作用させている。また、衝撃荷重載荷実験は、質量300 kgの鋼製重錘を、 $H=1$  mの落下高さからスパン中央部に1度だけ自由落下させる形で行った。なお、N-F0の場合のみ落下高さを $H=0.5$  mと設定した。試験体の両支点部は、試験体の跳ね上がりを防止するために鋼製の矩形梁状治具を用いて締め付けている。また、支点部は回転を許容するピン支持に近い構造となっている。

### 4. 静荷重載荷実験結果および考察

図2には、本研究で実施した全7体に関する静荷重載荷実験結果の荷重-変位関係を示している。図より、H試験体とP試験体の場合には、最大荷重はコンクリートの圧縮強度にかかわらず鋼繊維混入率の増加に対応して増加傾向にあり、最大荷重時変位は減少傾向にあることが分かる。各試験体のたわみ剛性に注目すると、鉄筋降伏前には、P試験体の場合がH試験体よりも大きいことが分かる。また、ひび割れの発生が少ないことにより、各試験体で鋼繊維混入率によるたわみ剛性の著しい差は確

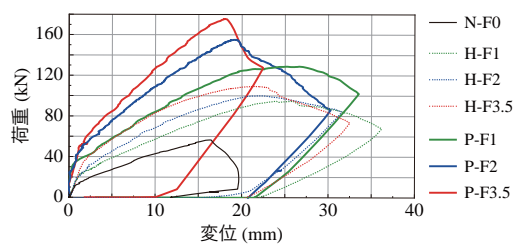


図2 荷重-変位関係

キーワード：無孔性コンクリート、鋼繊維、耐衝撃性、重錘落下

連絡先：〒050-8585 室蘭工業大学大学院 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL/FAX 0143-46-5227

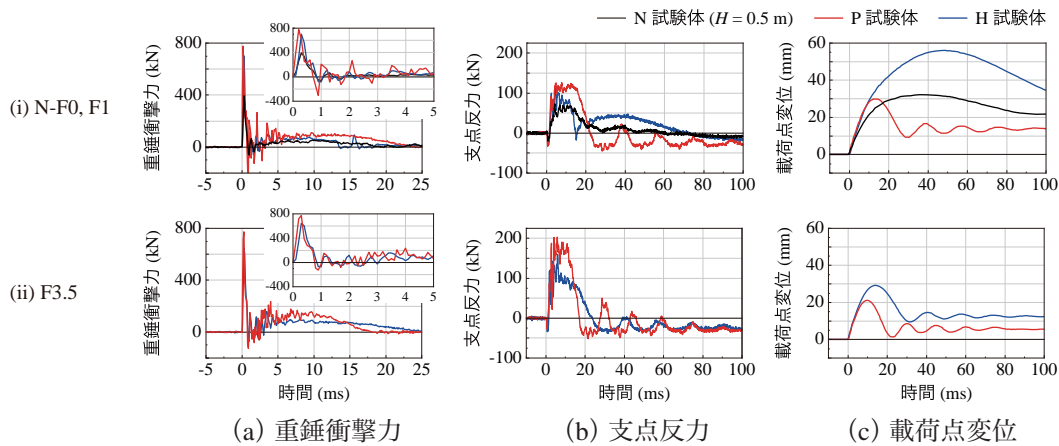


図3 各種時刻歴応答波形の比較

認できない。一方で、鉄筋降伏後のたわみ剛性は、コンクリート強度あるいは鋼繊維混入率の増加に対応して大きくなる傾向を示していることが分かる。なお、N試験体の場合には、降伏荷重と最大荷重ともに最も小さい。

### 5. 衝撃荷重実験結果および考察

図3には、衝撃荷重実験より得られた各時刻歴応答波形を、鋼繊維混入率1, 3.5%について比較して示している。なお、N-F0試験体( $H=0.5$  m)の場合には、F1試験体と共に示した。

(a)図より、重錘衝撃力波形に着目すると、荷重初期には、鋼繊維混入率にかかわらず振幅が大きく継続時間が極めて短い第一波が励起し、その後継続時間が長く振幅が小さい第二波目が励起していることが分かる。なお、H-F1試験体の場合には、 $t=13$  ms前後で除荷に至り、その後も再荷重の波形を示し他試験体の波形性状とは異なっている。これは、実験終了後にPC鋼棒の破断を確認していることから、この時点で重錘衝撃力波形も特異な性状を示したことによるものと推察される。

(b)図より、鉄筋が破断したH-F1試験体を除き、いずれも継続時間が20~30 ms程度の主波動が励起した後、減衰自由振動状態に至っていることが分かる。各試験体の最大支点反力を、(a)図の重錘衝撃力波形における第二波目の振幅と比較すると、最大支点反力の振幅が若干大きい程度で類似の波形性状を示していることが分かる。また、減衰自由振動状態に着目すると、特にP試験体の場合において鋼繊維混入率の増加と共に周期が短くなっていることから、曲げ剛性の増加も確認できる。

(c)図の変位波形に着目すると、N試験体と鉄筋が破断に至ったH-F1試験体を除き、最大振幅を示す第一波が励起した後、変位が残留した状態で減衰自由振動状態に至っていることが分かる。ここで、最大変位および残留変位に着目すると、圧縮強度と繊維混入率の増加に対応して小さくなっている。これより、コンクリートの圧縮強度を300 MPa以上に向上させることによって、対応して引

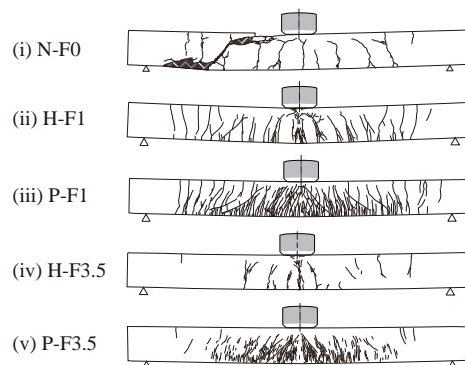


図4 衝撃荷重実験終了後のひび割れ分布性状

張強度も増加するためマトリクスと鋼繊維間の付着強度も増加し、かつ鋼繊維混入率の増加に対応して梁の耐衝撃性も向上することが明らかとなった。

図4には、実験終了後におけるN試験体および繊維混入率が1, 3.5%の場合の各試験体のひび割れ分布図を示している。図より、N試験体の場合には、著しいせん断破壊によって終局に至っていることが分かる。また、H試験体とP試験体のひび割れ分布を比較すると、P試験体の場合には鋼繊維混入率にかかわらず、曲げひび割れが密にかつ広く分散して発生している。一方、H試験体の場合にはP試験体に比較してひび割れ間隔が大きくかつひび割れの数も少ないことが分かる。P試験体における密にかつ広く分散するひび割れの発生は、マトリクスの圧縮強度が大きくなることによって鋼繊維との付着強度が向上し、対応して鋼繊維の架橋効果が大きくなることによるものと推察される。

### 6. まとめ

- 1) 静荷重載荷時の最大荷重は、圧縮強度と鋼繊維混入率の増加に対応して増加する。
- 2) PFFRC製で鋼繊維混入率3.5%の梁が最も耐衝撃性に優れている。

参考文献 1) 柳田龍平, 中村拓郎, 河野克哉, 二羽淳一郎: 鋼繊維で補強した無孔性コンクリートの圧縮・引張に対する力学モデル, 土木学会論文集E2, Vol. 74, No. 1, pp. 10-20, 2018.