

PC 鋼棒の鉄筋比を変化させた鋼繊維補強無孔性コンクリート梁の耐衝撃挙動

室蘭工業大学大学院
室蘭工業大学
太平洋セメント(株)
室蘭工業大学

学生員
正会員
正会員
名誉会員

○松原 涼
瓦井 智貴
岸良 竜
岸 徳光

室蘭工業大学
太平洋セメント(株)
太平洋セメント(株)

正会員
正会員
正会員

小室 雅人
河野 克哉
小島 克仁

1. はじめに

近年、圧縮強度 400 MPa 以上を有する無孔性コンクリート (porosity free concrete, PFC) が開発された。本研究では、PFC に鋼繊維を混入させた鋼繊維補強 PFC (porosity-free fiber-reinforced concrete, PFFRC) および PFC の高圧縮強度特性を活用するために異形 PC 鋼棒 (以後、PC 鋼棒) を併用した梁を対象に、鉄筋比が梁全体の耐衝撃性に及ぼす影響の検討を目的として衝撃荷重実験を実施した。なお、基本的な特性を把握するために静荷重実験を行うとともに、基準梁として普通コンクリートと普通鉄筋を用いた RC 梁についても同様に検討を行った。

2. PFC の概要

PFFRC の使用材料に関して、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、補強繊維には引張強度 2,800 MPa の高強度鋼繊維を用い、体積比の外割で 3.5 % 混入した。なお、水結合材比は 14 % 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 4 種類の試験体に関する形状寸法を示している。普通コンクリートおよび鉄筋を用いた基準梁である N 試験体の形状寸法 (幅 × 高さ × スパン長) は、150 × 200 × 1,400 mm であり、PFFRC および PC 鋼棒を用いた P 試験体の形状寸法は、120 × 120 × 1,400 mm とした。また、P 試験体の場合には PFC の高圧縮強度特性を活かすことを目的に PC 鋼棒を配置し、鉄筋比を 1%, 2.1%, 3.1% と変化させた。

表 1 には、本研究で対象とした実験ケースの一覧を示している。ここでは、上記 4 種類の試験体を対象に静荷重および衝撃荷重実験を実施した。

試験体名に関して、第一項目はコンクリートの種類 (N : 普通コンクリート, P : 鋼繊維混入率 3.5 % の PFFRC) を表し、P 試験体の場合には第二項目を設け、U に付随する数値により PC 鋼棒の鉄筋比 (%) を示している。また、最終項目は実験方法を示しており、H に付随する数値は衝撃荷重実験における設定重錘落下高さ (m) を、S は静荷重実験を表している。

静荷重実験には、梁幅方向に 400 mm、梁軸方向に 100 mm の荷重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ることにより実施した。また、衝撃荷重実験は、質量 300 kg の鋼製重錘を、1 m あるいは 2 m からスパン中央部に 1 度だけ自由落下させることで実施した。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。本実験の測定項目は、1) 荷重荷重または重錘衝撃力、2) 合支点反力、3) 荷重点変位、である。なお、実験終了後には梁側面のひび割れ分布図を

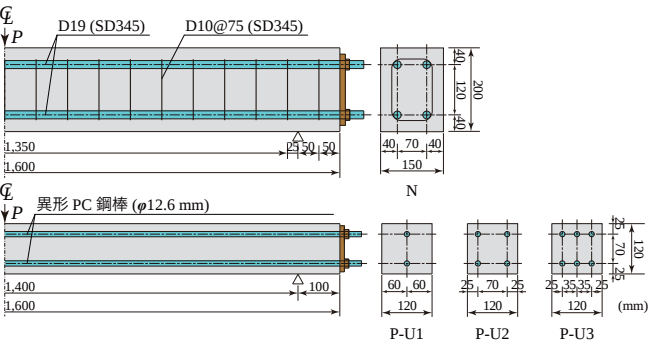


図 1 試験体の形状寸法および配筋

表 1 実験ケース一覧

試験体名	鋼棒 本数 (本)	設定重錘 落下高 (m)	実測重錘 衝突速度 (m/s)	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)	
N-H1	2	1	4.45	30	2.2 *	393 (鉄筋)
N-H2		2	6.10			
N-S		-	-			
P-U1-H1	1	1	4.42	318	9.9	1392
P-U1-H2		2	6.27			
P-U1-S		-	-			
P-U2-H1	2	1	4.46			
P-U2-H2		2	6.32			
P-U2-S		-	-			
P-U3-H1	3	1	4.63			
P-U3-H2		2	6.24			
P-U3-S		-	-			

*コンクリート標準示方書を参考に圧縮強度より算出

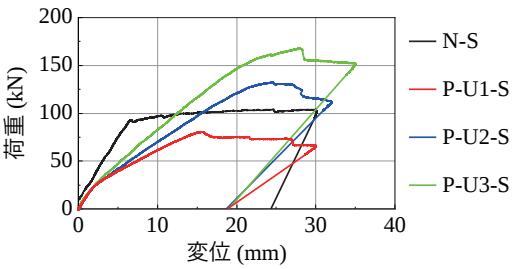


図 2 荷重-変位関係

キーワード 無孔性コンクリート、鋼繊維、梁、重錘落下衝撃荷重実験

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 もの創造系領域 社会基盤ユニット TEL 0143-46-5228

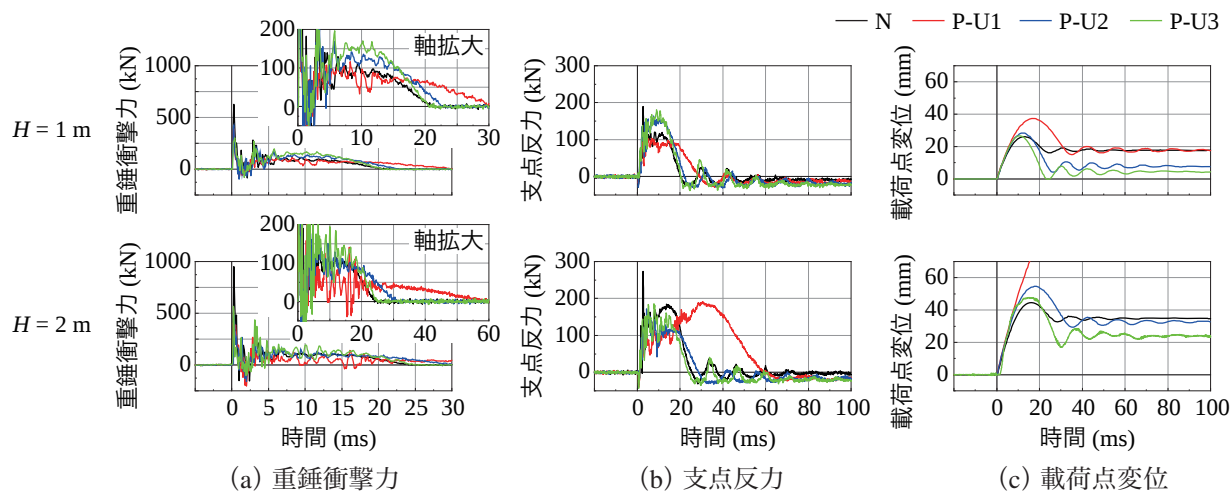


図3 各種時刻歴応答波形の比較

記録した。

4. 静荷重載荷実験結果

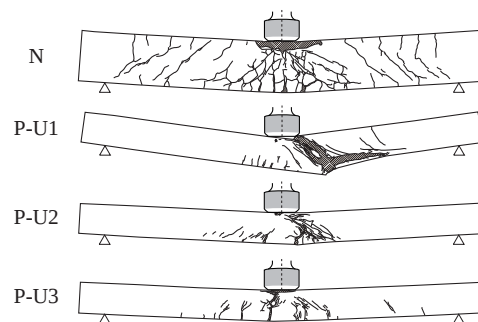
図2には、本研究で実施した計4体の静荷重載荷実験結果に関する荷重-変位関係を示している。図より、N試験体の場合に注目すると、90 kN程度の荷重で鉄筋が降伏しており、その変位は6 mm程度である。一方で、P-U2/U3試験体の場合には、最大荷重がそれぞれ、133, 168 kNとなっていることより、N試験体よりも最大荷重が30~70%程度大きく示されている。すなわち、N試験体と比較すると、断面積が1/2程度になった場合においても、PFFRCおよびPC鋼棒を併用することによって静的耐荷力は大きく向上することが明らかとなった。

5. 衝撃荷重載荷実験結果

図3には、全ケースに関する衝撃荷重載荷実験より得られた各時刻歴応答波形を比較して示している。(a)図より、重錘衝撃力波形に着目すると、载荷初期には重錘落下高に関わらず、振幅が大きく継続時間が短い第一波が励起しており、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、P試験体の継続時間に注目すると、PC鋼棒の鉄筋比の増加に対応して、短くなる傾向が確認でき、P-U3試験体とN試験体は载荷後に同程度の剛性を有することが見て取れる。

(b)図より、支点反力波形に着目すると、試験体の損傷が大きいP-U1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。また、減衰自由振動状態に着目すると、P試験体の場合において鉄筋比の増加とともに周期が短くなっている様子が見て取れる。これは、断面をスリム化した場合においても、PC鋼棒とPFFRCを併用することによって、PFCの高強度特性が有効に発揮され、曲げ剛性が増大したためと推察される。

(c)図より、変位波形に着目すると、 $H = 1\text{ m}$ 落下時には、最大変位はP-U1試験体を除き、いずれも同程度の

図4 衝撃実験終了後のひび割れ分布図($H = 2\text{ m}$)

値を示している。また、残留変位については、N/P-U1試験体の場合で両者同程度の値となっていることが分かる。 $H = 2\text{ m}$ 落下時には、P-U3試験体の場合には、最大変位がN試験体の場合と同程度、残留変位がN試験体の場合よりも10 mm程度小さく示されており、全試験体中最も優れた耐衝撃性を有していることが分かる。

図4には、衝撃荷重載荷実験終了後の設定重錘落下高 $H = 2\text{ m}$ における各試験体のひび割れ分布図を示している。図より、N試験体の場合には梁全体にひび割れが多数生じており、著しい圧壊の傾向も確認できる。一方で、P試験体の場合には、全体的に曲げひび割れが進展する傾向にあり、かついずれの試験体もひび割れの本数が少ない。

6. まとめ

- 1) 静荷重載荷実験結果より、本研究の範囲内においては、普通RC梁に比較して断面形状を小型化した場合においても、PFFRCとPC鋼棒を併用することで耐荷性能を1.3~1.7倍程度向上可能である。
- 2) また、衝撃荷重載荷実験結果より、PFFRCとPC鋼棒を用いることで、普通RC梁に比較して断面の小型化と共に耐衝撃性の向上を図ることが可能である。

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.