

論文 重量コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはりの構造性能

川端 雄一郎^{*1}・加藤 絵万^{*2}・河村 直哉^{*3}・岩波 光保^{*4}

要旨: 本論は、重晶石や人工重量骨材を用いた重量コンクリートで製作した鉄筋コンクリート (RC) はりの曲げおよびせん断耐荷性状について実験的に検討を行ったものである。RC はりの曲げ耐力について、重量コンクリートは普通コンクリートとほぼ同じであり、ひび割れ分散性も同等であった。一方、RC はりのせん断耐力については、人工重量骨材を用いたコンクリートが普通コンクリートとほぼ同等であったのに対し、重晶石を用いたコンクリートは大幅に小さくなった。また、重晶石を用いたコンクリートに対して PP 短繊維や PVA 短繊維を混入することで、RC はりのせん断耐力を大幅に改善できることがわかった。

キーワード: 重量コンクリート, 重晶石, 人工重量骨材, 曲げ耐力, せん断耐力, 短繊維

1. はじめに

防波堤は、港湾内の水域の静穏を維持するために建設され、防波堤の存在によって港湾内で船舶の安全な航行、停泊または係留、貨物の円滑な荷役がなされている。また、国土が外洋に囲まれる我が国において、防波堤は国土保全の観点からも重要な役割を果たしている。

防波堤の設計では、波力に対して堤体が滑動もしくは転倒しないような質量が求められる。一方、施工条件によっては、ケーソンの堤体幅を十分に確保できない場合もある。現状の対策として、中詰め材料の質量を増加させることが一般的である。その他に、堤体質量を増加させる方策の一つとして、高密度骨材を用いたコンクリート (以下、重量コンクリート) を適用することで堤体質量を確保する場合がある。

重量コンクリートは基本的に高密度の骨材を用いることで、その質量増加が達成される。従来は、高密度骨材として磁鉄鉱や赤鉄鉱などが使用されてきたが、需給逼迫や価格高騰などの問題から現在では入手困難な状況となっている。このような状況の中、近年では、重晶石や人工重量骨材である金属スラグ系骨材や酸化鉄粉を用いた重量コンクリートの開発が進められている。以降、本研究における重量コンクリートは、重晶石や人工重量骨材 (金属スラグ系骨材や酸化鉄粉) を用いた重量コンクリートを指す。

このような背景の下、重量コンクリートの物性に関する基礎的検討が進められている。これまでの研究事例として、例えば破壊エネルギーの検討¹⁾、乾燥収縮特性²⁾や鉄筋との付着性状³⁾、X線遮蔽性能⁴⁾などがある。また、著者らの検討によれば⁵⁾、人工重量骨材を用いたコンクリートの力学特性は普通コンクリートとほぼ同等

であったが、重晶石を用いたコンクリートでは破壊エネルギーが普通コンクリートよりも60%弱小さいことが分かった。また、重晶石を用いたコンクリートに対して短繊維を混入することで破壊エネルギーを普通コンクリートと同等以上のレベルまで改善できることが明らかとなった。

一方、重量コンクリートの防波堤ケーソン等の実構造物への適用を踏まえると、鉄筋コンクリート (RC) 部材としての構造性能の把握が不可欠である。しかし、現在のところ検討事例は報告されておらず、重量コンクリートを用いた RC 部材の構造性能に関する基礎的なデータの蓄積が必要である。特に、重晶石を用いたコンクリートの破壊エネルギーは小さい⁵⁾ことから、RC 部材のせん断耐荷性状の把握は必要不可欠である。

本論では、重量コンクリートを用いた RC 部材の載荷試験を行い、部材の曲げ耐荷性状およびせん断耐荷性状を把握した。また、重晶石を用いた重量コンクリートに対して短繊維を混入した場合の RC はりのせん断耐力の改善効果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料, 配合

表-1 にコンクリートの使用材料を示す。重量コンクリートに用いる粗骨材には重晶石もしくは金属スラグ系骨材を、細骨材には重晶石もしくは酸化鉄粉を使用した。金属スラグ系骨材は鉄分を多く含むダストと還元スラグを特殊な酸素バーナで混合熔融した後、破碎および粒度調整を行って製造されている人工骨材である。短繊維には、ポリビニルアルコール (PVA) 繊維、ポリプロピレン (PP) 繊維、ポリエチレン (PE) 繊維の3種類を

*1 独立行政法人港湾空港技術研究所 構造研究チーム 博士(工学) (正会員)

*2 独立行政法人港湾空港技術研究所 構造研究チーム 博士(工学) (正会員)

*3 独立行政法人港湾空港技術研究所 空港舗装研究チーム 修士(システム生命科学) (正会員)

*4 東京工業大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 博士(工学) (正会員)

表-1 コンクリートの使用材料

使用材料	記号	備考	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率
水	W	水道水	1.00	-	-
セメント	C	早強ポルトランドセメント	3.14	-	-
細骨材	S1	山砂	2.58 (表乾)	2.22	2.64
	S2	重晶石	4.03 (表乾)	1.41	3.13
	S3	酸化鉄粉	4.95 (表乾)	1.87	2.94
粗骨材	G1	碎石 2005	2.64 (表乾)	0.62	6.59
	G2	重晶石 20-05	4.12 (表乾)	0.54	6.65
	G3	金属スラグ系骨材	4.27 (表乾)	0.45	6.52
混和剤	Ad1	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤	-	-	-
	Ad2	ポリカルボン酸エーテル系高性能 AE 減水剤	-	-	-
	Ad3	消泡剤	-	-	-
短繊維	PVA	ポリビニルアルコール繊維, 直径 0.66mm, 繊維長 30mm	1.30	-	-
	PP	ポリプロピレン繊維, 直径 1.0mm, 繊維長 30.5mm	0.91	-	-
	PE	ポリエチレン繊維, 直径 12μm, 繊維長 12mm	1.00	-	-

表-2 コンクリートの示方配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	短繊維混入率 (%)	単位量 (kg/m ³)								混和剤 (C×%)			
				W	C	細骨材			粗骨材			Ad1	Ad2	Ad3	
						S1	S2	S3	G1	G2	G3				
N2.3	50.0	45.0	-	165	330	818	-	-	1027	-	-	1.0	-	-	
HWC3.4		44.0	-	165	330	-	1259	-	-	1638	-	-	0.80	-	
HWC3.4-PVA		48.0	1.00	180	360	-	1326	-	-	1468	-	-	-	0.90	-
HWC3.4-PP		48.0	1.00			-		-	-		-	0.90	-		
HWC3.4-PE		48.0	0.10			-		-	-		-	0.92	-		
HWC3.8		48.0	-	155	310	-	-	1725	-	-	1612	1.0	-	0.060	

表-3 コンクリートのフレッシュ性状および物理的性質

	スランブ (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	破壊エネルギー (N/mm)
N2.3	7.0	2.2	21.5	42.7	30.2	0.15
HWC3.4	9.0	2.2	21.5	40.1	21.9	0.07
HWC3.4-PVA	7.5	1.5	22.0	43.4	23.3	1.36
HWC3.4-PP	8.0	1.3	22.0	40.5	22.3	1.23
HWC3.4-PE	9.0	2.4	23.0	41.9	23.5	0.22
HWC3.8	6.5	2.7	21.5	43.8	50.4	0.12

用いた。また比較のため、普通コンクリートも作製した。

表-2 にコンクリートの示方配合を示す。コンクリートの配合は、水セメント比を 50%とした。コンクリートの練混ぜは温度 20±3°C, 相対湿度 60%以上の恒温室にて実施した。表中の記号は、(コンクリートの種類) - (短繊維の種類) で表している。

コンクリートの基本配合は、普通コンクリート (N2.3 : 密度 2.3), 重晶石を用いたコンクリート (HWC3.4 : 密

度 3.4), 金属スラグ系骨材および酸化鉄粉を用いたコンクリート (HWC3.8 : 密度 3.8) の 3 種類とした。HWC3.4 については、3 種類の短繊維をコンクリート体積の外割で混入した。スランブは短繊維混入率について、PVA 短繊維, PP 短繊維では 1.00%, PE 短繊維では 0.10%とした。以降では、それぞれのコンクリートの配合を表-2 に示す記号にしたがって記載する。

コンクリートは打設後 3 日で脱型し、所定の材齢まで

温度 20°C, 相対湿度 60%以上の恒温室にて湿布養生を行った。表-3 にコンクリートのフレッシュ性状および材齢 10 日における物理的特性を示す。なお、破壊エネルギーの算出法などについては既報⁵⁾を参照いただきたい。表-4 に鉄筋の物理的性質を示す。

2.2 荷重試験

(1) RC はりの諸元

図-1 に示すように、曲げ破壊型 RC はりは 250×250×3300 mm の試験体とし、引張鉄筋に D19 (SD345), 圧縮鉄筋に D6 (SD295) を使用した。また、はりのせん断破壊を防ぐため、150mm ピッチで D10 (SD345) のせん断補強鉄筋を配置した。せん断破壊型 RC はりは 200×300×2400mm の試験体とし、引張鉄筋に D22 (SD345), 圧縮鉄筋に D6 (SD295) を使用した。せん断破壊型 RC はりではせん断スパン内にせん断補強鉄筋を配置しないこととし、荷重点および支点付近に組立筋として D10 (SD345) を配置した。

(2) 荷重条件

曲げ破壊型 RC はりでは、曲げスパン 2500mm, 等曲げ区間 500mm とした。せん断破壊型 RC はりでは、はりの有効高さに対するせん断スパンの比 (a/d) を 3.4 とし、曲げスパン 2000mm, 等曲げ区間 300mm としたケース、また a/d を 2.0 とし、曲げスパン 1800mm, 等曲げ区間 800mm としたケースの 2 種類とした。なお、短繊維を混入した RC はりについては a/d が 3.4 のみとした。不陸調整のため荷重点および支点と鋼板 (幅 100mm) をモルタルで接着し、水平方向の変位を拘束しないよう鋼板の間にテフロンシートを挟んだ。荷重は単調荷重とした。

(3) 計測項目

図-1 に RC はりの計測箇所を示す。緑色の矢印 (↑) は変位の測定箇所、赤色の線は鉄筋ひずみの計測箇所、青色の線はコンクリートひずみの計測箇所を示している。曲げ破壊型 RC はりでは、スパン中央の引張鉄筋お

よび圧縮鉄筋、スパン中央より支点側に 250mm, 600mm の距離の箇所の引張鉄筋で鉄筋ひずみを計測した。せん断破壊型 RC はりでは、スパン中央の引張鉄筋および圧縮鉄筋で鉄筋ひずみを計測した。コンクリートの表面ひずみは、スパン中央の試験体上面、上面より 100 および 200mm の箇所で計測を行った。変位は支点、荷重点、スパン中央、せん断スパン中央にて計測した。

試験終了後、a/d=3.4 の RC はりを軸方向に切断した。切断面について、せん断ひび割れ近傍における粗骨材の損傷状況を観察した。具体的には、せん断ひび割れをデジタル画像において位置標定し、このひび割れから上下方向に 5mm の範囲内に存在する粗骨材の損傷状態を割れ、界面剥離、健全の 3 種類に分類した。観察方法の模式図を図-2 に示す。なお、粗骨材であっても切断面においては粒径が小さく、細骨材と判断される場合もあるが、本研究においては切断面から判断される粒径を基に粗骨材と細骨材の分類を行った。

3. 実験結果および考察

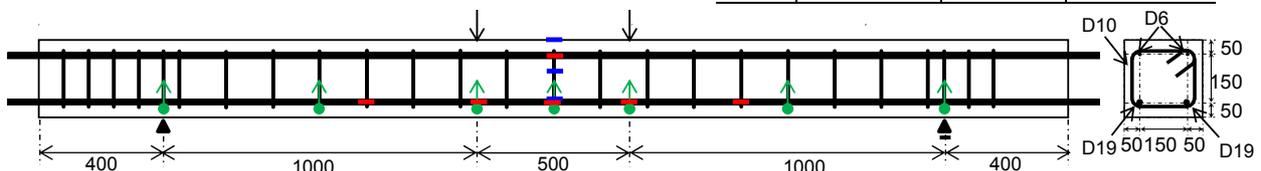
3.1 曲げ耐荷性状

(1) 荷重-変位およびひずみ関係

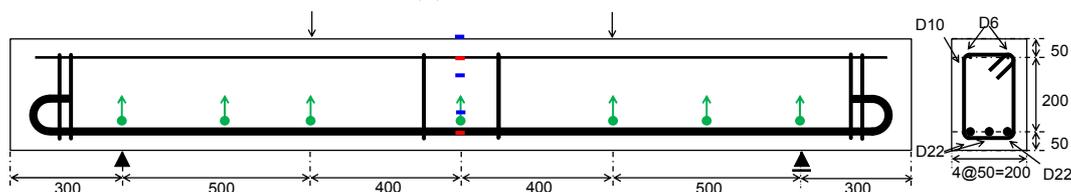
図-3 に荷重 (2 荷重点の合計) とスパン中央の変位の関係を示す。N2.3 では荷重 23kN にてひび割れが発生し、剛性が低下した。その後、荷重 84kN にて鉄筋が降伏し、荷重の伸びが緩やかになった。最終的には変位約 43mm で最大荷重 93.8kN を迎えて等曲げ区間の RC はり

表-4 鉄筋の物理的性質

	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D6	291	495	186
D10	405	566	194
D19	380	552	195
D22	399	594	193



(a) 曲げ破壊型 RC はり



(b) せん断破壊型 RC はり (荷重点、支点の位置は a/d=2.0 を記載)

図-1 RC はりの諸元 (単位: mm)

の上端においてコンクリートが圧壊して荷重が低下した。圧壊時のコンクリートひずみは 3315μ であった。HWC3.4 では、荷重 13kN にてひび割れが発生した。また、ひび割れ発生前後の曲げ剛性はともに N2.3 よりも若干小さかった。その後荷重 80kN にて鉄筋が降伏し、荷重の伸びが緩やかになった。最終的には変位約 36mm で最大荷重 88.9kN を迎え、等曲げ区間の RC はりの上端においてコンクリートが圧壊して荷重が低下した。圧壊時のコンクリートひずみは 2748μ であった。HWC3.8 では、荷重 21kN にてひび割れが発生した。ひび割れ発生前後の曲げ剛性は N2.3 とほぼ同等であった。その後荷重 84kN にて鉄筋が降伏し、荷重の伸びが緩やかになった。最終的には変位約 27mm において等曲げ区間の RC はりの上端においてコンクリートが圧壊して荷重が低下した。最大荷重は 89.8kN であり、圧壊時のコンクリートひずみは 2589μ であった。

本研究で対象とした RC はりの曲げ耐力について計算した結果、計算値は 79.6~79.7kN であり、実験値はほぼ同じ値を示した。このことから、重量コンクリートの曲げ耐力についても、普通コンクリートと同様の手法で計算できるといえる。また、重量コンクリートを使用したコンクリートでは、最大荷重時の変位が小さくなる傾向が認められた。

(2) ひび割れ発生状況

図-4 に載荷試験終了後における曲げ破壊型 RC はりのひび割れ発生状況を示す。N2.3 に着目すると、最も曲げモーメントの大きな等曲げ区間において多数のひび割れが発生し、またせん断スパン中央付近までひび割れが発生している状況を確認できる。HWC3.4 のひび割れ状況も N2.3 と同様の傾向を示した。HWC3.8 のひび割れ本数は N2.3 よりも若干少なかつたものの、ひび割れ分散性に大きな差異はないと判断された。早川らの検討³⁾においても、重量コンクリートの付着性状は普通コンクリートとほぼ同等との報告がある。また、本論ではデータを示していないが、配合間における載荷試験中の鉄筋ひずみ発生挙動の差はほぼ同様の傾向を示した。

以上から、重量コンクリートを用いた RC はりのひび割れ分散性や付着性状は普通コンクリートのそれとほぼ同等であると考えられる。

3.2 せん断耐荷性状

(1) 荷重-変位関係

図-5 に $a/d=3.4$ のせん断破壊型 RC はりの荷重-スパン中央変位関係を示す。なお、HWC3.4 の中央変位は変位計の誤作動により適切に計測できていなかったため、載荷点変位を用いた。N2.3 では荷重 159kN、中央変位 4.5mm にて斜めひび割れが発生し、その後急激に荷重が

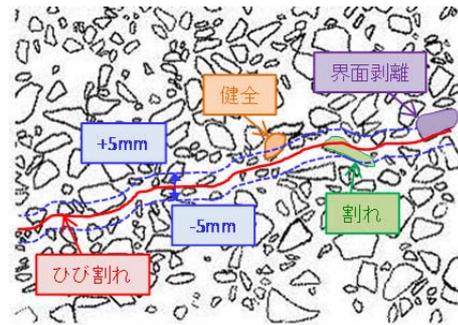


図-2 ひび割れ近傍における粗骨材観察の模式図

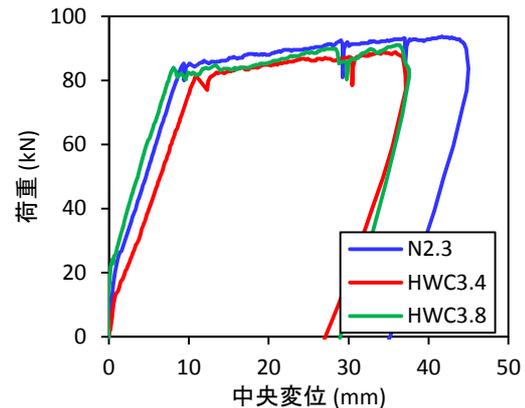


図-3 荷重-中央変位関係 (曲げ破壊型)

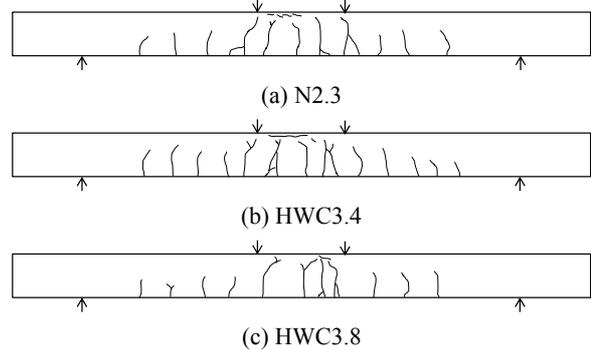


図-4 ひび割れ図 (曲げ破壊型 RC はり)

低下した。破壊形態は斜め引張破壊であった。HWC3.4 では荷重 106kN、載荷点変位 3.3mm で斜めひび割れが発生し、急激に荷重が低下した。破壊形態は N2.3 と同様であった。HWC3.8 では荷重 155kN、中央変位 3.9mm にて斜めひび割れの発生とともに急激に荷重が低下し、破壊形態は N2.3 と同様であった。いずれの試験体も、引張鉄筋、圧縮鉄筋ともに降伏していなかった。また、各配合において、ひび割れ本数等に若干の差は認められたものの、せん断ひび割れの角度などに大きな差はなかった。

図-6 に $a/d=2.0$ のせん断破壊型 RC はりの荷重-中央変位関係を示す。N2.3 では、荷重 185kN、中央変位 3.0mm にて斜めひび割れが発生した。しかし、荷重の低下は認められず、その後も荷重が増加した。最大荷重は 370kN であり、その時の中央変位は 8.7mm であった。HWC3.4 では、荷重 113kN、中央変位 2.2mm にて斜めひび割れが

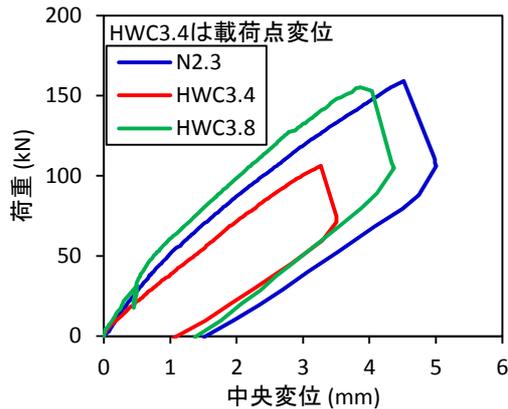


図-5 荷重-中央変位関係 (せん断破壊型, a/d=3.4)

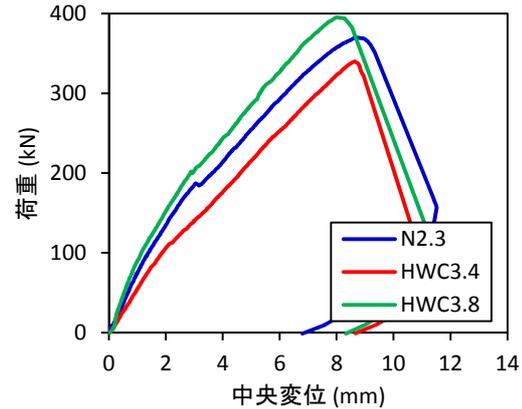


図-6 荷重-中央変位関係 (せん断破壊型, a/d=2.0)

発生したが、HWC3.4においても斜めひび割れ発生後の荷重の低下は認められず、その後も荷重が増加した。最大荷重は340kNであり、最大荷重時の中央変位は8.6mmであった。HWC3.8では、荷重195kN、中央変位2.8mmにて斜めひび割れが発生した。最大荷重は395kN、最大荷重時の中央変位は8.0mmであった。いずれの試験体においても引張鉄筋、圧縮鉄筋ともに降伏しておらず、各配合のひび割れ発生状況に大きな差は認められなかった。また、a/d=3.4の場合と比較して配合間における最大荷重の差は小さかったが、HWC3.4のせん断ひび割れ発生荷重はN2.3およびHWC3.8よりも約60%小さかった。

表-5に実験値と計算値の比較結果を示す。せん断耐力の計算にあたっては、a/d=3.4の場合には式(1)⁶⁾を、a/d=2.0の場合には式(2)⁷⁾を用い、材料物性については表-3、表-4の値を用いた。

$$V_c = 0.20f'_c{}^{1/3}p_w{}^{1/3}d^{-1/4}\left(0.75 + \frac{1.4}{a/d}\right)b_wd \quad (1)$$

$$V_c = \frac{0.24f'_c{}^{2/3}(1+\sqrt{100p_w})\left(1+\frac{3.33r}{d}\right)b_wd}{\left(1+\left(\frac{a}{d}\right)^2\right)} \quad (2)$$

ここに、

p_w : 引張鉄筋比

d : 有効高さ (mm)

b_w : はりの幅 (mm)

r : 載荷板の幅 (mm)

f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

b_w : 試験体の幅 (mm)

注目すべき点として、a/d=3.4におけるHWC3.4の実験値が計算値の69%となっており、HWC3.4のせん断耐力の低下はa/dが大きい場合に顕著である。また、上述した通り、HWC3.4のせん断ひび割れ発生荷重はN2.3およびHWC3.8よりも約60%小さかった。これらの原因として、重晶石中の劈開の存在や粒子間結合の脆弱さ⁵⁾が考えられる。破壊進行領域において、重晶石による骨材架橋効果は普通骨材よりも期待することができない。

表-5 最大荷重の実験値と計算値 (せん断破壊型)

配合	a/d	計算値 (kN)	実験値 (kN)	実験値/計算値
N2.3	3.4	156	159	1.02
HWC3.4		153	106	0.69
HWC3.8		161	155	0.96
N2.3	2.0	364	370	1.02
HWC3.4		351	340	0.97
HWC3.8		387	395	1.02

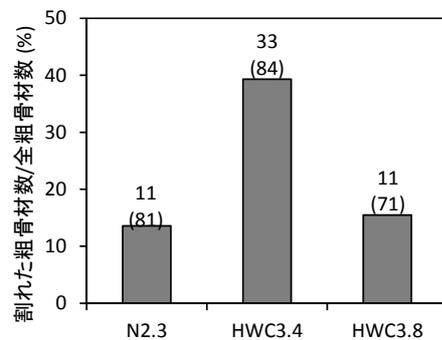


図-7 ひび割れ近傍の粗骨材のひび割れ割合

上記の機構を検証するため、載荷試験終了後のRCはりの切断面における粗骨材の損傷状況を観察した結果を図-7に示す。図中の数値のうち、括弧内は対象としたひび割れ近傍の全粗骨材数を、括弧外は割れを生じた粗骨材数をそれぞれ示している。図より、HWC3.4の粗骨材には割れが多く認められ、N2.3やHWC3.8の約3倍である。これらの結果は、既報における骨材の損傷状態と破壊エネルギーの関係と整合している。したがって、HWC3.4では、重晶石の岩石学的特徴である劈開の存在や粒子間結合の脆弱さに起因して、RCはりのせん断ひび割れ発生荷重が低下する。ただし、小a/d領域では、コンクリートの圧縮破壊で最大荷重が決定されるため、その影響が弱くなると考えられる。

3.3 短繊維混入による RC はりのせん断耐力改善効果

図-8に短繊維を混入したHWC3.4の荷重-スパン中央変位関係を示す。HWC3.4-PVAでは最大荷重が175kNとなり、短繊維無混入のHWC3.4の約1.6倍のせん断耐力の改善効果が得られた。また、最大荷重後においても急激に耐力が低下することなく、徐々にせん断ひび割れが開口し、中央変位約7mmで荷重が低下した。HWC3.4-PPでは最大荷重196kNを示し、短繊維を混入した重量コンクリートの中で最も高い値となった。HWC3.4-PPの破壊エネルギーはHWC3.4-PVAのそれよりも若干小さい(表-3)が、既報⁵⁾で示した通り、PP短繊維の方がPVA短繊維よりもピーク以降の荷重低下が小さい。このような短繊維の架橋効果の差がRCはりのせん断耐力改善効果に影響したものと思われる。HWC3.4-PEでは最大荷重142kNであり、短繊維を混入した系の中では最も荷重が小さいものの、HWC3.4よりも高い荷重を示した。ただし、普通コンクリートよりも高いせん断耐力は得られなかった。この原因として、PE繊維の繊維長が短いこと、また繊維混入率が小さいことが挙げられる。

a/d=3.4において、PP短繊維やPVA短繊維を混入したHWC3.4のせん断耐力は無混入の計算値よりも高い値を示した。これらの結果から、骨材架橋効果の小さな重晶石を用いたコンクリートに対して、PP短繊維やPVA短繊維を混入することで、RCはりのせん断耐力を普通コンクリートと同等以上のレベルにまで改善できることが示された。

4. 結論

本研究は、重晶石や人工重量骨材を用いた重量コンクリートで製作した鉄筋コンクリートはりの曲げ耐荷性状およびせん断耐荷性状について実験的に検討を行った。また、重晶石を用いたコンクリートに対して短繊維を混入することで、RCはりのせん断耐力の改善を図った。本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 重量コンクリートの曲げ耐力は普通コンクリートとほぼ同等であり、普通コンクリートと同様の手法で曲げ耐力を計算できる。また、重量コンクリートを用いたRCはりのひび割れ分散性は普通コンクリートと同等であるが、最大荷重時の変位は普通コンクリートのそれよりも小さくなる。
- (2) 人工重量骨材を用いたコンクリートのRCはりのせん断耐力は普通コンクリートとほぼ同等である。
- (3) 重晶石のように内部に劈開や隙間を有する骨材では、その岩石学的特徴に起因して、RCはりのせん断ひび割れ発生荷重が普通コンクリートのそれよりも小さくなる。RCはりのせん断耐力の低下はa/dが大きくな

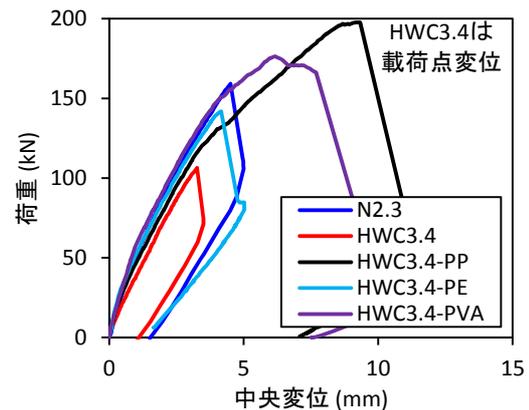


図-8 荷重-中央変位関係(せん断破壊型, a/d=3.4)

場合に特に顕著となる。

- (4) 重晶石を用いたコンクリートに対してPP短繊維やPVA短繊維を混入することで、せん断耐力を普通コンクリートと同等以上のレベルにまで改善できる。

謝辞：本研究の一部は科学研究費補助金(課題番号24686052)の助成を受けて行ったものである。ここに付記し、深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 保坂綱鎮, 杉山彰徳, 肥後康秀, 高木亮一: 鉄鋼二次製品および重晶石を用いた重量コンクリートの破壊力学特性, 土木学会第67回年次学術講演会V部門, pp.843-844, 2012
- 2) 肥後康秀, 早川隆之, 高木亮一, 田中敏嗣: 重量コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験, 土木学会第67回年次学術講演会V部門, pp.841-842, 2012
- 3) 早川隆之, 肥後康秀, 杉山彰徳: 重量コンクリートにおける鉄筋とコンクリートの付着性状に関する実験的検討, 土木学会第67回年次学術講演会V部門, pp.839-840, 2012
- 4) 橘高義典, 横室隆, 小川洋二, 井川秀樹: X線透過デジタル画像によるコンクリートのX線遮蔽性能の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1507-1512, 2013
- 5) 川端雄一郎, 加藤絵万, 岩波光保, 河村直哉: 重晶石および人工重量骨材を用いたコンクリートの力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1477-1482, 2013
- 6) 二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫: せん断補強鉄筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, Vol.372/V-5, pp.167-176, 1986
- 7) 土木学会: コンクリート標準示方書【設計編】, 2012