

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

太平洋セメント株式会社 正会員 ○保坂 綱鎮
 太平洋セメント株式会社 正会員 杉山 彰徳
 太平洋セメント株式会社 正会員 肥後 康秀
 株式会社太平洋コンサルタント 非会員 高木 亮一

1. はじめに

重量コンクリートは、高密度である利点を活かし原子力施設等の放射線遮蔽用に用いられることが多いが、近年ではその重量を活かした土木構造物の地下水浮力対策や港湾構造物などのウェイト材としての利用が増加している。これまで、重量コンクリートには、天然資源である磁鉄鉱や赤鉄鉱といった鉄鉱石系骨材が用いられてきたが、現在では新興国での鋼材需要の拡大により需給が逼迫しており、入手困難な状況にある。そこで、鉄鋼二次製品や重晶石といった新規骨材に着目し、それらを使用した重量コンクリートの力学特性を把握することを目的として試験を行った。本稿では力学特性評価指標の一つとして実施した破壊エネルギー試験結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料と骨材物性

試験に使用した材料を表-1に示す。重量骨材は鉄鋼二次製品である金属スラグ系骨材と酸化鉄粉、天然骨材である重晶石を使用した。また、重量骨材との比較用として、普通骨材である山砂および砕石を使用したコンクリートを作製した。使用した骨材の各物性値を表-2に示す。表-2に示す通り、重晶石は微粒分量が多い、実積率が高く粒形が良い、粗骨材のBS破砕値が29.1%と他の骨材と比較して強度が低い、といった特徴がみられる。

表-1 使用材料

材料	記号	材料	備 考
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
細骨材	HS1	酸化鉄粉	骨材物性は表-2 参照
	HS2	金属スラグ	
	HS3	重晶石	
	NS	山砂	
粗骨材	HG1	金属スラグ	骨材物性は表-2 参照
	HG2	重晶石	
	NG	硬質砂岩砕石	
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系
	Ad	AE 減水剤	リグニンスルホン酸系
	DF	空気量調整剤	消泡剤

2.2 コンクリート配合

コンクリートの配合とフレッシュ性状を表-3に示す。重量コンクリート(HWC)は、細骨材と粗骨材の組合せにより設計単位容積質量 3.6, 3.4, 3.2t/m³の3水準とし、比較用に2.3t/m³の普通コンクリート(NC)を1水準設けた。いずれの水準においても、目標スランプは18.0±2.5cm、目標空気量は2.0±1.5%の設計とし、目標値を満足することを確認した。

表-2 使用骨材物性

骨材種類	表乾密度(g/cm ³)	吸水率(%)	微粒分量(%)	実積率(%)	粗粒率	BS破砕値(%)
HS1	4.90	0.60	2.3	64.3	2.94	—
HS2	4.19	1.16	9.2	73.9	3.38	—
HS3	3.98	0.93	16.0	73.9	3.24	—
NS	2.58	2.28	2.0	67.6	2.56	—
HG1	4.25	0.32	1.7	60.6	6.56	18.0
HG2	4.13	0.42	3.8	62.6	6.48	29.1
NG	2.65	0.69	0.2	61.0	6.67	12.0

表-3 コンクリートの配合とフレッシュ性状

配合	W/C (%)	s/a (%)	骨材組合せ	単位量(kg/m ³)							フレッシュ性状		
				W	C	S	G	Ad	SP	DF	スランプ ^a (cm)	空気量(%)	単位容積質量(kg/m ³)
HWC-3.6	50	48	HS1 HG1	175	350	1643	1549	—	3.5	0.21	20.0	3.0	3763
HWC-3.4	50	50	HS2 HG1	175	350	1454	1489	—	1.8	0.14	18.5	1.5	3529
HWC-3.2	50	53	HS3 HG2	175	350	1457	1335	—	2.5	—	18.5	2.5	3315
HWC-2.3	50	46	NS NG	175	350	817	991	3.5	—	—	16.0	2.3	2352

キーワード 重量コンクリート, 重量骨材, 重晶石, 破壊エネルギー

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL 043-498-3855 FAX 043-498-3849

2.3 破壊力学特性の試験方法

破壊エネルギー（以下、 G_F ）の測定は JCI「プレーンコンクリートの破壊エネルギー試験方法（案）」に準じて、図-1 に示す切欠きはり供試体の 3 点曲げ試験から荷重-ひび割れ肩口開口変位（以下、CMOD）曲線を求め、以下の式により G_F を算出した。供試体は、打設後 7 日間湿布養生を行い、その後、材齢 28 日まで 20℃ 気中養生とした。各供試体は荷重前にカッターにて切欠きを導入した。

$$G_F = (0.75W_0 + W_I) / A_{lig} \quad (\text{N/mm})$$

ここで、 G_F :破壊エネルギー(N/mm)、 W_0 :供試体が破断するまでの荷重-CMOD 曲線下の面積(N・mm)、 W_I :供試体の自重および荷重治具がなす仕事(N・mm)、 A_{lig} :リガメントの面積(mm²)。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度および引張強度

図-2 にコンクリートの圧縮強度および割裂引張試験結果を示す。材齢 28 日における HWC-3.6, 3.4, 3.2 の圧縮強度は、NC-2.3 に対する比率で 116, 98, 82%であった。同様に、材齢 28 日における割裂引張強度も NC-2.3 に対する比率で 88, 94, 63%であり、HWC-3.4 は圧縮および引張強度共に NC-2.3 と同程度の強度発現であった。

3.2 破壊エネルギー

図-3 にコンクリートの曲げ試験における荷重-CMOD 曲線の関係を示す。HWC-3.4 は NC-2.3 のピーク荷重とほぼ同等であり、その後、CMOD が 0.2mm 以上となってもひび割れの進展が緩やかとなっていることから、NC-2.3 と同等以上の靱性を有していると考えられる。また、HWC-3.6, HWC-3.2 のピーク荷重はそれぞれ NC-2.3 の 86, 52%であった。図-4 に算出した G_F の値を示す。HWC-3.4 の G_F は NC-2.3 とほぼ同等であり、HWC-3.2 が最も低い値となった。HWC-3.2 は骨材強度が低いために、ひび割れが骨材中を貫通しやすく G_F が小さくなったものと考えられる。また、既往の研究¹⁾では、粒形の良い骨材よりも粒形の悪い碎石等の方が、ひび割れ面で骨材がかみ合い、ひび割れ進行に対する抵抗性が高くなるため G_F が大きくなる傾向にあると示されている。このことから、重晶石は酸化鉄粉や碎石に比べ粒形が良く、ひび割れ進行に対する抵抗性が小さかったことも、 G_F が小さくなった原因の一つと考えられる。

4. まとめ

鉄鋼二次製品および重晶石を用いたコンクリートの破壊力学特性の把握を目的とし、本試験を実施した。その結果、金属スラグ系骨材を使用した HWC-3.4 の力学特性(圧縮、引張強度、 G_F)は NC-2.3 と同程度であり、重晶石を使用した HWC-3.2 の力学特性は NC-2.3 の 50~80%となることが明らかとなった。

【参考文献】1) 森, 石川ほか: 軽量骨材コンクリートの破壊エネルギー挙動について, 太平洋セメント研究報告, 第 139 号, 2000, p44-51

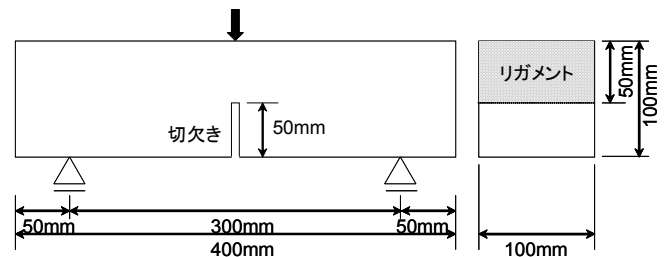


図-1 切欠きはりの3点曲げ試験方法

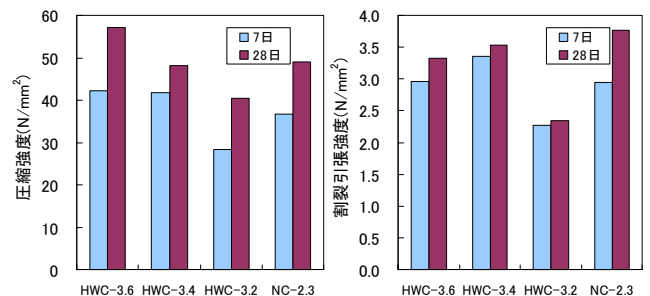


図-2 コンクリートの強度試験結果

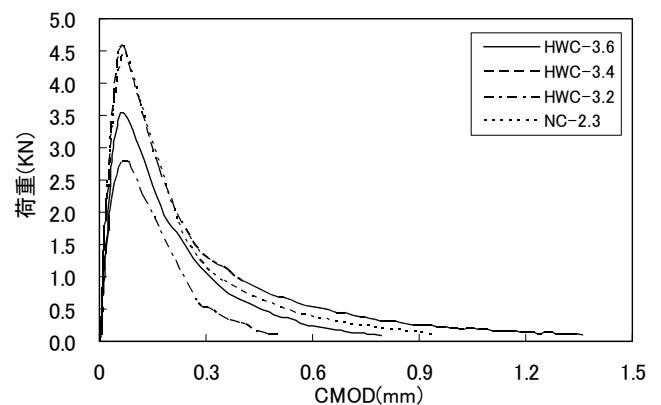


図-3 コンクリートの荷重-CMOD 曲線

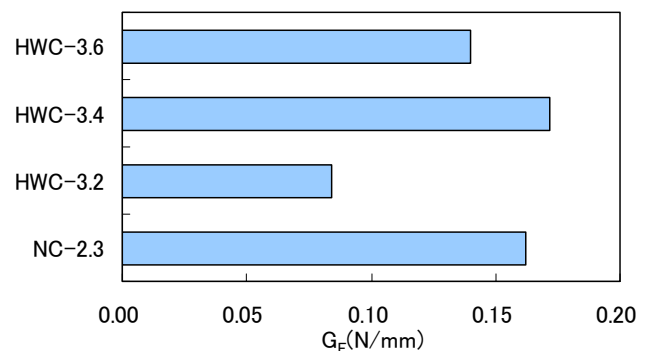


図-4 算出したコンクリートの破壊エネルギー