

V-71 再生骨材コンクリートに関する基礎的研究

竹中技術研究所 神山行男
竹中技術研究所 岡田克也
竹中工務店 山本雄一

1. まえがき

近年、都市空間の有効利用を図るため構造物を大型化、高層化する都市再開発が盛んとなり、これに伴い発生する建設廃棄物量も飛躍的に増大し、投棄場所の減少ともあいまって、大きな社会問題となってきた。本研究は、このようなすう勢にかんがみ、大量に発生するコンクリート廃材がコンクリート用骨材として再利用できれば省資源のみならず環境保全の見地からも極めて有用であると考え、再生骨材を用いたコンクリートの基礎的な性状について実験・検討を行ったものである。

2. 使用材料

本実験では、水セメント比50%、スランプ10cm、空気量4%のコンクリートを用いて15×15×30cm直方体を900個成形し、28日間湿布養生した後、ジョークラッシャーで1次破碎したのち、破碎方法の異なる2種類の実骨材製造プラントでそれぞれ半量づつ2次破碎して再生骨材を製造した。製造した再生骨材の物理的性質は表-1に示すようであって、骨材にモルタルが付着しているため天然骨材に比べて、比重は小さく、吸水率は著しく大きな値を示した。また、再生骨材同士を比べるとクラッシャーBで製造した再生骨材はクラッシャーAで製造した再生骨材に比べて、モルタルの付着量が少なく、粒形も比較的良好であった。

3. 試験方法

本実験では、コンクリートの種類を表-2に示す要因と水準を組合せた9種類とし、コンクリートの配合はスランプ12cm、空気量4%と一定として性状比較を行った。表-3に試験項目及び方法を示す。

4. 試験結果及び考察

所要の品質条件を満足したコンクリートの配合を表-4に示す。表-4において、再生骨材を用いたコンクリートは粒形が悪いため、天然骨材を用いたコンクリートに比べて同一スランプを得るに必要な単位水量は30~40kg/m³も大幅に増加した。また、再生骨材を用いたコンクリート同士を比較すると、モルタル付着量の少ないクラッシャータイプBを用いて製造したコンクリートの方が若干単位水量は小となった。

次にフレッシュコンクリートの試験

表-3 コンクリートの試験項目及び方法

種 別	試験項目	試験方法
フレッシュコンクリート	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	単位容積重量	JIS A 1116
硬化コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108
	ヤング係数	差動トランス法
	引張強度	JIS A 1113
	乾燥収縮	JIS A 1129
	透水係数	インプット法

表-1 天然骨材及び再生骨材の物理試験結果

破碎方法	骨材種別	比 重		吸水率 (%)	単位容積 質量 (kg/m ³)	実線率 (%)	粗粒率 F. M
		絶対比重	表乾比重				
天然骨材	細骨材	2.59	2.62	0.92	1841	70.9	2.62
	粗骨材	2.52	2.58	2.30	1610	63.8	6.60
クラッシャータイプA	細骨材	2.10	2.30	7.76	1315	60.2	3.73
	粗骨材	2.28	2.39	5.19	1346	59.5	6.83
クラッシャータイプB	細骨材	2.15	2.33	8.06	1416	64.0	3.58
	粗骨材	2.32	2.45	5.31	1408	60.1	6.27

表-2 実験の要因及び水準

要 因	水 準		
	1	2	3
細骨材	山 砂	クラッシャータイプA	クラッシャータイプB
粗骨材	陸砂利	クラッシャータイプA	—
水セメント比(%)	40	50	60

表-4 コンクリートの配合

骨材最大 寸法 (mm)	骨材種類		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)					
	細骨材	粗骨材			水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
25	山 砂	陸砂利	40	38.9	177	443	655	1014	1.105	
			50	40.9	163	326	743	1058	0.815	
			60	42.9	163	272	799	1048	0.679	
	クラッシャータイプA	クラッシャータイプA	40	48.6	210	525	656	717	1.313	
			50	50.6	206	412	729	736	1.030	
			60	52.6	202	337	792	738	0.842	
	クラッシャータイプB	クラッシャータイプA	40	51.9	207	518	713	677	1.294	
			50	53.9	203	406	789	692	1.015	
			60	55.9	203	338	847	685	0.846	

結果は表-5に示すようであって、細粗骨材ともクラッシャータイプAで製造した再生骨材を用いたコンクリートは空気が入りやすく他の骨材を用いたコンクリートに比べて空気量は1%程度大となった。また、今回の実験では細骨材率は細骨材の粗粒率にリンクして定めたが、再生骨材を用いたコンクリートはいずれも粘性が大となり、細骨材率を2%程度下げることが認められた。

硬化コンクリートの試験結果は表-6に示すようであって、再生骨材を用いたコンクリートの圧縮強度は骨材とモルタルの付着が良いため、初期材令においては天然骨材を用いたコンクリートよりも大となるが、材令が進みコンクリートマトリックスの強度が再生骨材に付着したモルタルの強度を上廻ると徐々に低下する傾向が認められた。また、ヤング係数は天然骨材を用いたコンクリートに比べて圧縮強度が大きな領域を含めて約20~30%小さな値を示した。

引張強度は、再生骨材へのモルタル付着量が一定でないため、試験値のばらつきが大きく、強度自体も天然骨材を用いたコンクリートに比べて総体的に低く、ぜい度係数も1/13~1/25と小さな値を示した。

次に、試験結果は省略したが再生骨材を用いたコンクリートの透水係数は、天然骨材を用いたコンクリートに比べて若干大となったが、いずれも 10×10^{-12} cm/secのオーダーとなり十分な水密性を示した。これは再生骨材にはモルタルが付着しており、コンクリートの水密性にとって支配的な要因であるブリージングによって生ずる骨材下面の水隙ができにくいことによるものと思われる。同じく試験結果は省略したが再生骨材を用いたコンクリートの乾燥収縮は、再生骨材自身の吸水率が大きく、単位水量も30~40kg/m³多いため、天然骨材を用いたコンクリートに比べて著しく大きな値を示した。また、この傾向は細粗骨材ともクラッシャータイプAで製造した再生骨材を用いたコンクリートにおいて顕著に認められた。

5. まとめ

今回の実験結果から、再生骨材はモルタルが付着しているため天然骨材に比べて比重が小さくなり、吸水率が著しく増大すること、これを用いたコンクリートは同一スランプを得るための単位水量が30~40kg/m³も大幅に増加し、力学強度も長期材令では低下傾向にあること等が明らかとなった。

また、透水係数はほぼ同等であるが乾燥収縮量は大幅に増大することも併せて明らかにした。

表-5 フレッシュコンクリートの試験結果

骨材最大寸法 (mm)	骨材種類		水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)	単位容積 重量 (kg/ℓ)
	細骨材	粗骨材						
25	山 砂	陸砂利	40	38.9	13.0	3.0	19.0	2.360
			50	40.9	13.0	3.8	20.0	2.331
			60	42.9	13.8	3.8	20.5	2.348
			40	48.6	10.4	4.2	20.3	2.154
			50	50.6	12.5	5.5	19.8	2.082
			60	52.6	11.5	5.8	19.5	2.069
	クラッシャータイプ A	クラッシャータイプ A	40	51.9	10.0	4.0	17.8	2.178
			50	53.9	10.5	3.5	18.0	2.171
			60	55.9	11.8	3.6	18.0	2.148

表-6 硬化コンクリートの試験結果

骨材種類		水セメント比	圧縮強度(kgf/cm ²)			ヤング係数($\times 10^5$)			引張強度(kgf/cm ²)		
細骨材	粗骨材		7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日
山 砂	陸砂利	40	383 371 352 (1.00)	406 462 439 (1.00)	490 462 500 529 (1.00)	2.97 3.07 3.02 (1.00)	3.21 3.38 3.33 (1.00)	3.38 3.45 3.37 3.28 (1.00)	17.4 25.2 21.6 22.2 (1.00)	30.8 20.0 25.4 25.4 (1.00)	24.3 27.2 30.7 40.6 (1.00)
		50	284 283 304 (1.00)	357 389 418 (1.00)	382 396 414 451 (1.00)	2.75 2.83 2.82 (1.00)	3.20 3.12 3.04 (1.00)	3.51 3.32 3.38 3.32 (1.00)	16.6 17.6 18.4 20.9 (1.00)	25.6 17.2 24.2 29.9 (1.00)	23.5 29.6 26.6 26.6 (1.00)
		60	194 199 186 (1.00)	278 319 290 (1.00)	334 316 320 306 (1.00)	2.57 2.58 2.56 (1.00)	2.71 2.61 2.70 2.70 (1.00)	3.00 3.04 2.98 2.55 (1.00)	14.8 15.3 15.6 16.7 (1.00)	17.1 15.7 16.9 17.9 (1.00)	20.6 26.3 24.8 26.9 (1.00)
		40	399 387 389 (1.00)	471 462 464 (1.00)	503 507 521 561 (1.00)	2.40 2.39 2.39 (1.00)	2.37 2.47 2.46 (1.00)	2.46 2.60 2.59 (1.00)	28.7 30.4 28.0 (1.00)	20.7 18.3 21.8 25.9 (1.00)	28.9 29.6 23.8 25.2 (1.00)
		50	329 328 328 (1.00)	403 325 364 (1.00)	434 397 413 408 (1.00)	2.07 1.98 2.04 (1.00)	2.24 2.10 2.17 2.10 (1.00)	2.20 2.21 2.23 2.21 (1.00)	22.4 17.3 20.3 20.3 (1.00)	16.9 14.4 17.9 21.1 (1.00)	18.0 22.9 19.4 19.4 (1.00)
		60	217 231 231 (1.00)	292 280 280 (1.00)	332 307 288 (1.00)	1.78 1.78 1.67 (1.00)	2.10 2.23 2.06 (1.00)	2.27 2.13 2.13 (1.00)	13.7 17.8 15.6 (1.00)	20.0 19.4 17.2 (1.00)	17.8 21.9 19.9 (1.00)
クラッシャータイプ A	クラッシャータイプ A	40	399 387 389 (1.00)	471 462 464 (1.00)	503 507 521 561 (1.00)	2.40 2.39 2.39 (1.00)	2.37 2.47 2.46 (1.00)	2.46 2.60 2.59 (1.00)	28.7 30.4 28.0 (1.00)	20.7 18.3 21.8 25.9 (1.00)	28.9 29.6 23.8 25.2 (1.00)
		50	329 328 328 (1.00)	403 325 364 (1.00)	434 397 413 408 (1.00)	2.07 1.98 2.04 (1.00)	2.24 2.10 2.17 2.10 (1.00)	2.20 2.21 2.23 2.21 (1.00)	22.4 17.3 20.3 20.3 (1.00)	16.9 14.4 17.9 21.1 (1.00)	18.0 22.9 19.4 19.4 (1.00)
		60	217 231 231 (1.00)	292 280 280 (1.00)	332 307 288 (1.00)	1.78 1.78 1.67 (1.00)	2.10 2.23 2.06 (1.00)	2.27 2.13 2.13 (1.00)	13.7 17.8 15.6 (1.00)	20.0 19.4 17.2 (1.00)	17.8 21.9 19.9 (1.00)
		40	399 387 389 (1.00)	471 462 464 (1.00)	503 507 521 561 (1.00)	2.40 2.39 2.39 (1.00)	2.37 2.47 2.46 (1.00)	2.46 2.60 2.59 (1.00)	28.7 30.4 28.0 (1.00)	20.7 18.3 21.8 25.9 (1.00)	28.9 29.6 23.8 25.2 (1.00)
		50	329 328 328 (1.00)	403 325 364 (1.00)	434 397 413 408 (1.00)	2.07 1.98 2.04 (1.00)	2.24 2.10 2.17 2.10 (1.00)	2.20 2.21 2.23 2.21 (1.00)	22.4 17.3 20.3 20.3 (1.00)	16.9 14.4 17.9 21.1 (1.00)	18.0 22.9 19.4 19.4 (1.00)
		60	217 231 231 (1.00)	292 280 280 (1.00)	332 307 288 (1.00)	1.78 1.78 1.67 (1.00)	2.10 2.23 2.06 (1.00)	2.27 2.13 2.13 (1.00)	13.7 17.8 15.6 (1.00)	20.0 19.4 17.2 (1.00)	17.8 21.9 19.9 (1.00)
クラッシャータイプ B	クラッシャータイプ B	40	399 387 389 (1.00)	471 462 464 (1.00)	503 507 521 561 (1.00)	2.40 2.39 2.39 (1.00)	2.37 2.47 2.46 (1.00)	2.46 2.60 2.59 (1.00)	28.7 30.4 28.0 (1.00)	20.7 18.3 21.8 25.9 (1.00)	28.9 29.6 23.8 25.2 (1.00)
		50	329 328 328 (1.00)	403 325 364 (1.00)	434 397 413 408 (1.00)	2.07 1.98 2.04 (1.00)	2.24 2.10 2.17 2.10 (1.00)	2.20 2.21 2.23 2.21 (1.00)	22.4 17.3 20.3 20.3 (1.00)	16.9 14.4 17.9 21.1 (1.00)	18.0 22.9 19.4 19.4 (1.00)
		60	217 231 231 (1.00)	292 280 280 (1.00)	332 307 288 (1.00)	1.78 1.78 1.67 (1.00)	2.10 2.23 2.06 (1.00)	2.27 2.13 2.13 (1.00)	13.7 17.8 15.6 (1.00)	20.0 19.4 17.2 (1.00)	17.8 21.9 19.9 (1.00)
		40	399 387 389 (1.00)	471 462 464 (1.00)	503 507 521 561 (1.00)	2.40 2.39 2.39 (1.00)	2.37 2.47 2.46 (1.00)	2.46 2.60 2.59 (1.00)	28.7 30.4 28.0 (1.00)	20.7 18.3 21.8 25.9 (1.00)	28.9 29.6 23.8 25.2 (1.00)
		50	329 328 328 (1.00)	403 325 364 (1.00)	434 397 413 408 (1.00)	2.07 1.98 2.04 (1.00)	2.24 2.10 2.17 2.10 (1.00)	2.20 2.21 2.23 2.21 (1.00)	22.4 17.3 20.3 20.3 (1.00)	16.9 14.4 17.9 21.1 (1.00)	18.0 22.9 19.4 19.4 (1.00)
		60	217 231 231 (1.00)	292 280 280 (1.00)	332 307 288 (1.00)	1.78 1.78 1.67 (1.00)	2.10 2.23 2.06 (1.00)	2.27 2.13 2.13 (1.00)	13.7 17.8 15.6 (1.00)	20.0 19.4 17.2 (1.00)	17.8 21.9 19.9 (1.00)