

[39]

細骨材がコンクリートの配合・強度および耐久性におよぼす影響

正会員 赤井公昭 (日本道路公団)
正会員 O豊福俊泰 (日本道路公団)

1. まえがき

筆者らは、骨材事情の悪化に伴い、骨材品質の劣化がコンクリートの配合、強度および耐久性におよぼす影響について、種々の検討を加えてきた。これらの一連の研究成果として、コンクリートの品質(特に圧縮強度)に対しては、粗骨材の品質よりも細骨材の品質の方が影響が強いという従来から一般に言われていることは逆の結論を得た。そこで本文は、各種の細骨材を使用してコンクリートの配合・強度・耐久性試験を行った結果から、細骨材がコンクリートの品質におよぼす影響についてまとめたものである。

2. 試験概要

表-1は、本試験の試験条件であり、試験Iは単位セメント量を一定とした場合、試験IIは単位

表-1 試験条件

試験名	使用材料				配合条件			
	セメント	細骨材 (種類)	粗骨材 (種類)	混和剤	スランション (%)	空気量 (%)	単位セメント量 (kg/m ³)	配合数 (部百)
試験I	普通ポルトランドセメント (小野田セメント)	18 (表-2参照)	1 (表-2参照)	ポリアス No.52 No.202	10±1	5±0.5	300 350 400	54
試験II	"	"	"	"	"	"	239 ~538	18

表-2 試験使用骨材

骨材の種別	記号	産地	産地種別	産地名	岩種	粒度(ふるい通過百分率)(%)					相対率	比重	吸水率 (%)	単位容積 (kg/l)	実容積率 (%)	洗ひ試験 によるもの (%)	粘土塊 (%)	比重1.45 の液体中 浮遊する もの (%)	有機不 純物 (%)	塩分 含有量 (%)	安定性 (%)	すりへり 減量 (%)	石破砕 値 (%)	透水係数 (10 ⁻³ cm ² /sec)	凍結融解 試験 による 劣化率 (%)	圧縮 強度 (kg/cm ²)	
						5.0	2.5	1.2	0.6	0.3																	0.15
細骨材	A-1	川砂	岩木川	安山岩	99	95	83	61	19	3	2.40	2.44	4.21	1.506	64.4	9.0	2.7	5.14	合格	—	8.2	11.8	32.8	4.8	23.9	34.32	
	A-2	"	阿婆野川	花崗岩	95	91	82	48	8	1	2.75	2.54	2.41	1.605	64.7	0.8	0	0	—	4.2	10.2	30.2	5.6	19.8	33.01		
	A-3	"	富士川	粘板岩、砂岩	99	82	60	38	18	5	2.98	2.60	2.47	1.713	67.4	4.8	1.7	0	—	8.8	9.6	26.5	4.9	20.4	35.29		
	B-1	陸砂	天竜	砂岩、頁岩	96	80	71	51	18	5	2.79	2.61	1.57	1.750	68.1	3.1	1.0	0	—	1.6	10.6	23.4	5.7	19.6	34.60		
	B-2	"	北条	砂丘砂	100	96	77	50	12	1	2.64	2.54	2.06	1.704	68.4	1.2	0.4	0	—	1.1	15.0	32.4	6.1	28.8	33.02		
	B-3	"	追分	海砂、粘板岩、安山岩	99	87	69	42	14	3	2.86	2.51	5.49	1.588	66.4	1.6	4.6	4.99	—	5.5	18.2	30.5	6.2	18.7	34.60		
	C-1	山砂	君津	海砂、粘板岩、安山岩	92	74	62	52	30	2	2.88	2.63	1.57	1.945	71.2	1.2	1.0	0	—	6.1	9.4	22.0	5.5	18.0	33.33		
	C-2	"	城陽	花崗岩	100	92	77	51	12	2	2.66	2.54	2.03	1.599	64.2	2.0	1.6	0	—	3.2	13.8	31.0	5.6	20.1	34.60		
	C-3	"	南関	花崗岩	100	92	68	40	13	2	2.85	2.56	1.78	1.583	62.8	1.8	0.1	0	—	7.0	21.0	35.6	6.3	30.0	36.26		
	D-1	海砂	勇弘	花崗岩	94	81	69	54	23	3	2.76	2.71	1.49	1.810	68.0	2.4	1.2	0	0.006	3.2	13.0	22.5	5.6	6.9	33.32		
	D-2	"	三原沖	花崗岩	99	93	80	61	22	2	2.43	2.49	2.55	1.436	59.1	1.4	1.1	0.71	—	0.100	8.9	19.0	41.4	6.0	11.9	34.32	
	D-3	"	唐津	花崗岩	100	99	92	63	19	1	2.26	2.58	1.45	1.531	60.3	1.2	1.7	0	—	0.240	3.6	14.8	36.7	6.3	17.6	34.01	
	D-4	"	大根占	花崗岩	99	97	89	55	15	2	2.43	2.50	4.47	1.424	59.6	1.6	8.1	1.20	—	0.190	6.8	13.2	36.7	6.4	28.2	34.60	
	E-1	砕砂	秋川	硬質砂岩	100	87	53	34	21	10	2.95	2.57	2.00	1.903	67.6	8.1	4.5	0	—	4.8	18.8	30.9	6.0	12.9	39.31		
	E-2	"	男鹿島	石英斑岩	100	80	48	29	17	10	3.16	2.57	1.49	1.701	67.2	7.9	1.8	0	—	6.6	16.6	21.9	4.1	19.4	39.31		
E-3	"	新見	石灰石	99	78	56	36	21	10	3.00	2.62	1.84	1.901	74.0	7.8	0.1	0	—	1.7	15.4	26.6	5.6	11.9	38.40			
最大値						100	99	92	63	30	10	3.16	2.71	5.49	1.901	74.0	8.1	8.1	5.14	—	0.240	8.8	19.0	41.4	6.4	30.0	39.31
最小値						92	78	48	29	8	1	2.40	2.44	1.49	1.424	59.1	0.8	0.1	0	—	0.006	1.1	9.4	21.9	4.1	6.9	33.01
平均値						98	88	71	48	18	4	2.74	2.56	2.44	1.650	65.8	3.1	2.0	0.75	—	0.134	5.1	14.4	30.1	5.7	19.2	35.14
湖砂	F	人工製砂	妙子川	粘板岩	100	94	63	37	17	7	2.81	1.78	19.27	1.017	68.3	5.4	3.9	10.40	—	10.9	11.5	36.2	6.4	45.0	36.26		
	G	天然製砂	樺名	火山礫	100	72	55	38	23	13	2.99	1.70	39.32	0.880	72.1	13.8	2.8	6.65	—	28.4	36.0	60.0	6.0	32.4	38.40		
粗骨材	一	碎石	八王子	硬質砂岩	100	45	69	29	4	0	6.72	2.65	0.85	1.535	58.4	0.8	0.1	0	—	—	2.4	16.0	12.2	—	12.2	—	

- 注1) 土木学会標準を満足しない項目 注2) 上段:細骨材,下段:粗骨材 注3) 乾石量(%)
- 注4) 細骨材のすりへり試験は、内径21cm×21cmのホットミルの中に、1.2~0.6mmの絶乾試料500gと1個当り約110gの鋼球を18個(合計2±0.03kg)を入れ、毎分50~52回の回転数で10分間回転させた後、0.3mmふるいを使用して損失量を測定
すりへり減量(%) = $\frac{\text{すりへり損失重量}}{\text{試験前の試料の重量}} \times 100$ 注5) 細骨材の石破砕試験は、図-1に示す内径6cm×9cmの金属製容器の中に、粒径1.2~0.6mmの絶乾試料300gを3層に分けて各層を突き棒で25回空いて詰め、プランジャーを挿入して1分間10tの荷重をかけた後、0.3mmふるいを使用して通過重量を測定
石破砕値(%) = $\frac{0.3\text{mmふるいを通過した試料の重量}}{\text{試験前の試料の重量}} \times 100$
- 注6) 細骨材の透水試験は、土質試験に用いるJIS A 1218 透水水位法により測定
- 注7) 細(粗)骨材の凍結融解試験は、粒径ごとに500g(1000g)の絶乾試料をビニール袋に入れ、自重凍結融解試験機で試料の中心温度が-17~+5℃となるように試験し、損失部分を洗い出した試料の水中重量を測定
凍結融解損失重量百分率(%) = $\frac{\text{凍結後の試料の重量}}{\text{凍結前の試料の重量}} \times 100$ 注8) 細骨材のドラゴンコンステンス試験は、図-2に示すドラゴンコンステンス、查板の中央におき、コンの中に2層に分けて各層を突き棒で10回空いて詰め、コンを鉛直に貫通に引き上げた後、查板上面から試料の頂点までの高さhを測定
ドラゴンコンステンス(°) = $\tan^{-1} \frac{h}{r}$ 注9) 注10) 注11) 注12) 注13) 注14) 注15) 注16) 注17) 注18) 注19) 注20) 注21) 注22) 注23) 注24) 注25) 注26) 注27) 注28) 注29) 注30) 注31) 注32) 注33) 注34) 注35) 注36) 注37) 注38) 注39) 注40) 注41) 注42) 注43) 注44) 注45) 注46) 注47) 注48) 注49) 注50) 注51) 注52) 注53) 注54) 注55) 注56) 注57) 注58) 注59) 注60) 注61) 注62) 注63) 注64) 注65) 注66) 注67) 注68) 注69) 注70) 注71) 注72) 注73) 注74) 注75) 注76) 注77) 注78) 注79) 注80) 注81) 注82) 注83) 注84) 注85) 注86) 注87) 注88) 注89) 注90) 注91) 注92) 注93) 注94) 注95) 注96) 注97) 注98) 注99) 注100)

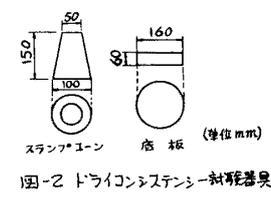
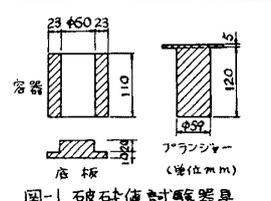


表-3 コンクリートの配合・強度・耐久性試験結果

項目	単位	試験 I															試験 II (注)					
		単位セメント量 300 kg/m ³					単位セメント量 350 kg/m ³					単位セメント量 400 kg/m ³					単位セメント量 299~598 kg/m ³					
		A, B, C, D, E			F	G	A, B, C, D, E			F	G	A, B, C, D, E			F	G	A, B, C, D, E			F	G	
		最大値	最小値	平均値			最大値	最小値	平均値			最大値	最小値	平均値			最大値	最小値	平均値			
最適細骨材率	%	46.0	36.5	42.6	49.5	50.5	44.0	35.0	40.7	47.0	49.0	43.0	34.0	39.7	46.0	48.0	50.0	36.0	44.2	47.5	46.0	
単位水量	kg/m ³	183	151	164	159	165	183	151	164	159	166	183	151	165	160	166	186	154	165	159	171	
A E 剤添加量	A	1.1	0	0.3	0	0.2	1.4	0	0.4	0	0.3	1.4	0	0.4	0	0.3	0.9	0	0.3	0	0.5	
圧縮強度 (28日)	kg/cm ²	390	256	352	338	199	463	338	412	437	220	521	420	468	480	254	339	296	316	386	308	
引張強度 (28日)	"	32.1	25.0	29.1	29.2	20.4	36.9	28.9	32.4	34.4	23.7	41.2	29.8	35.2	35.5	25.2	—	—	—	—	—	
曲げ強度 (28日)	"	53.6	39.4	47.9	46.9	33.0	62.7	42.0	52.7	53.0	35.8	67.7	49.8	56.6	54.7	42.4	—	—	—	—	—	
ヤング係数 (28日)	$\times 10^5$ kg/cm ²	3.53	2.52	3.02	2.18	1.37	3.54	2.72	3.15	2.40	1.50	3.73	2.90	3.23	2.40	1.74	—	—	—	—	—	
耐久性指数	%	93	82	89	33	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	79	89	30	80	
乾燥収縮 (4週)	$\times 10^{-4}$	8.76	5.44	6.76	5.68	8.69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.51	4.25	6.36	5.12	6.67	
" (52週)	"	13.69	9.46	10.76	10.41	12.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14.75	11.01	12.82	12.57	16.24	

(注) 目標強度 320 kg/cm², F のみ 390 kg/cm²

セメント量を増減して圧縮強度が一定(目標強度 320 kg/cm²)となるようにした場合である。

試験使用骨材は、表-2 に示したように、良質な細骨材から低品質の細骨材までできるだけ広範囲になるように選定し、細骨材の物理的性質を詳細

に判断するため、J I S 等以外の新しい試験も試みた。また、粗骨材としては、最大寸法 20mm の良質な砕石を使用した。

3. 試験結果および考察

(1) コンクリートの配合・強度・耐久性試験結果

コンクリートの配合・強度・耐久性試験結果を表-2 に、また、圧縮強度と最適細骨材率、単位水量、単位セメント量との関係を、それぞれ図-3、図-4、図-5 に示す。これらの図表から、一般の細骨材(川砂、陸砂、山砂、海砂、砕砂)であっても、細骨材の相違によってコンクリートの品質に著しい影響を与えていることがわかる。すなわち、スランプ、空気量、単位セメント量が同一であっても(試験 I の場合)、最大・最小値の差が最適細骨材率 9~9.5%、単位水量 32 kg/m³、A E 剤添加量 1.1~1.4 A、28日

圧縮強度 101~134 kg/cm²、28日引張強度 7.1~11.4 kg/cm²、28日曲げ強度 14.2~20.7 kg/cm²、耐久性指数 11%、乾燥収縮(4週) 3.92×10^{-4} 、乾燥収縮(52週) 4.21×10^{-4} 生じている。特に、最適細骨材率を採用しても単位水量の差が 32 kg/m³ にも達するため、圧縮強度および乾燥収縮の差が大きく生じており、凍結融解作用に対しては逆に差が比較的小さい点は、細骨材がおよぼす影響として特徴的である。一方、人工軽量骨材は、粒度・粒形がよいので最適細骨材率が大きいと単位水量が少なくて、圧縮・引張・曲げ強度、乾燥収縮とも一般の細骨材と大差ないが、耐久性指数のみが小さく抗凍性が認められない。天然軽量骨材は、乾燥収縮のみが一般の細骨材と同程度である以外はいずれの性質も劣っている。

また、コンクリートの配合決定に当って所要の圧縮強度を満足するように単位セメント量を定めた場合、本試

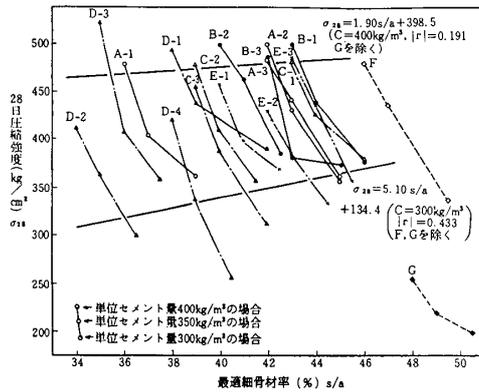


図-3 圧縮強度と最適細骨材率との関係

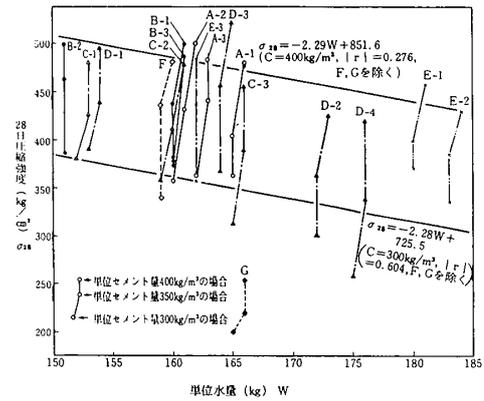


図-4 圧縮強度と単位水量との関係

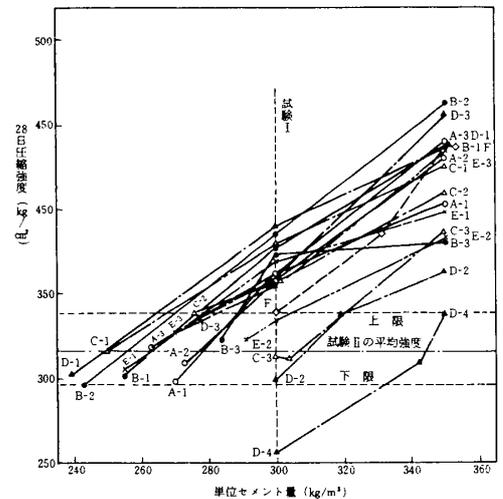


図-5 圧縮強度と単位セメント量との関係

積重量・実積率・破砕値, 28日曲げ強度—吸水率・粘土塊・比重1.95の液体に浮くもの, 28日ヤング係数—粘土塊, 耐久性指数—粘土塊, 乾燥収縮(52週)—単位容積重量・洗い試験で失われるもの・ドライコンシステンシーであり, また, 単位セメント量400kg/m³の場合, 最適細骨材率—粗粒率・単位容積重量・実積率・破砕値, 単位水量—ドライコンシステンシー, 28日ヤング係数—安定性である。

配合設計(試験練り)に当っては, 使用骨材がどの程度の品質のコンクリートを造ることができるかを推定する必要があるが, この場合, 細骨材物性とコンクリートの品質との関係が求められれば容易に推定できる。関係式は, 簡易な計算で求められるものであり, 細骨材物性は容易な試験方法で短期間に求められ, しかもできるだけ精度よく推定できることが要求される。これらのことを考慮して, 細骨材の物性からコンクリートの品質を推定する方法としては, 細骨材の粒度・粒形要因として粗粒率・単位容積重量・ドライコンシステンシー(洗い試験で失われるもの), 石質・強度要因として単位容積重量・吸水率を考慮すれば, 細骨材の品質をほぼ代表することができるものと考えられる。

(3) 骨材物性がコンクリートの品質におよぼす影響の推定計算

表-6 コンクリートの単位水量・圧縮強度の推定計算結果

項目	区分	記号	単位	特性値				単位水量				28日圧縮強度			
				関東①	九州・沖縄②	係数③	関東④	九州・沖縄⑤	品質差⑥-⑧	係数⑨	関東⑩	九州・沖縄⑪	品質差⑫-⑭		
定数	—	—	—	—	—	377.9	377.9	377.9	0	0	286.2	286.2	286.2	0	0
細骨材	洗い試験で失われるもの	S _t	%	2.6	1.7	3.667	9.5	6.2	-3.3	7.6	1.517	3.9	2.6	1.3	-15.6
	単位容積重量	S _w	kg/l	1.74	1.58	-70.12	-122.0	-110.8	11.2		85.51	148.8	135.1	-13.7	
	吸水率	S _p	%	2.21	2.34	-2.62	-5.9	-6.1	-0.3		-6.50	-14.4	-15.0	-0.6	
粗骨材	実積率	G _s	%	62.8	57.3	-1.894	-118.9	-108.5	10.4	10.4	-2.506	-157.4	-143.6	13.8	13.1
	吸水率	G _p	%	1.24	1.34	-0.18	-0.2	-0.2	0		-7.72	-9.6	-10.3	-0.7	
	空気量	A	%	4.0	4.0	-2.43	-9.7	-9.7	0		-5.12	-20.5	-20.5	0	
配合条件	コンクリート温度	C _r	°C	20.0	20.0	0.540	10.8	10.8	0	0	-1.343	-26.9	-26.9	0	-33.2
	スランパ	SL	cm	10.0	10.0	0.991	9.9	9.9	0		-1.8456	-277.6	-310.6	-33.2	
	単位セメント量	C	kg/m ³	300	300	-0.0038	-1.1	-1.1	0		1.4421	432.6	432.6	0	
計算値(合計)	—	—	—	—	—	150.4	163.0	18.0	—	339.0	329.4	-35.7	—	—	

注1) 文節(4), (5)参照 注2) 文節(5)参照 注3) 文節(6), (7)のデータを引用

本試験結果の他道路公園において近年実施したコンクリート試験結果を含む全データを総合解析し, コンクリートの品質におよぼす諸要因から推定計算を行う方法について必ず報告したが, これらのうちから計算例を表-6に示す。骨材の影響

程度を定量的に表わすため, 関東地方と九州・沖縄地方^{(4),(7)}におけるコンクリートの単位水量および28日圧縮強度を空気量4.0%, コンクリート温度20°C, スランパ10cm, 単位セメント量300kg/m³として求めたものであるが, 九州・沖縄地方で主として用いられている砕石は単位水量を増加させるが圧縮強度は高いのに対し, 細骨材として用いられる海砂は単位水量を増加させしかも圧縮強度も低くなる⁽⁴⁾。亦存のうち, 細骨材および粗骨材が圧縮強度におよぼす影響は次式で求められ, 細骨材がコンクリートの強度低下の原因となっていることが判明する。

$$\text{細骨材が圧縮強度におよぼす影響} = -33.2 \times \frac{7.6}{18.0} - 15.6 = -14.0 - 15.6 = -29.6 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{粗骨材が圧縮強度におよぼす影響} = -33.2 \times \frac{10.4}{18.0} + 13.1 = -19.2 + 13.1 = -6.1 \text{ kg/cm}^3$$

4. あとがき

コンクリートの強度として最も重要な圧縮強度が高く, 乾燥収縮が小さい(単位水量が小さい)良質のコンクリートを造るためには, 細骨材物性のうち単位容積重量が大きい細骨材を使用することが不可欠であるという結論を, 本文で得た。今後, コンクリートの品質に影響をおよぼす骨材の品質の着目点として, 「細骨材の単位容積重量が大きいか, 小さいか」を提案する。

参考文献

- 1) 三和・豊福: コンクリートの耐久性に関する試験, 試験所報告, 日本道路公園試験所, (昭和49年度), 1975年12月
- 2) 飯岡・豊福: コンクリートの強度および耐久性におよぼす骨材粒の特性, セメント技術年報31, 1977年12月
- 3) 赤井・豊福: 数量解析によるコンクリートの配合設計法の提案, 第32回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, 1978年9月
- 4) 飯岡・豊福: コンクリートの配合・強度および耐久性の推定法, セメント技術年報32, 1978年12月
- 5) 飯岡・豊福・村木: コンクリートの打設性能等の調査(第3報), 試験所報告, 日本道路公園試験所, (昭和52年度), 1978年12月
- 6) セメント協会コンクリート専門委員会: 細骨材品質調査報告, コンクリート専門委員会報告, F-28, 1976年12月
- 7) 〃: 粗骨材の品質調査報告, コンクリート専門委員会報告, F-29, 1977年10月