

砕石・細砂コンクリートにおける混和剤の影響について

INFLUENCE OF ADMIXTURES IN CONCRETE WITH CRUSHED GRAVEL
AND FINE SAND

榎 場 重 正*・川 村 満 紀**・斎 藤 満***

By Shigemasa Hasaba, Mitsunori Kawamura and Mitsuru Saito

1. ま え が き

多年にわたる川砂利、川砂の使用および砂防堰堤の建設による掃流土砂の減少などによりコンクリート用天然骨材の不足の傾向が伝えられる今日、砕石と海岸砂丘砂がコンクリート用骨材として使用できるならば、非常に有利であろうという考えのもとに、著者らは過去において一連の実験研究¹⁾²⁾を行ってきた。

その結果、海岸砂丘砂は一般に斉粒かつ細粒子であり、そのような砂と砕石を組合せたコンクリートの最も不利な点と考えられるワーカビリティに関しては、適当な細骨材率（以下 S/A という）を選定することにより、ワーカブルでプラスチックなコンクリートが得られ十分使用が可能であるという結果を得た。しかし適当な S/A の範囲外はもちろん、適当な S/A の範囲 30%~36% においても、まれにワーカビリティの点で天然の砂利、砂を使用したコンクリートに比較して悪いと考えられる場合があり、コンシステンシーを良好にするための単位水量の増加という結果になり、ひいては分離および強度低下という現象が見られたのである。

本実験研究ではこれらの点より、砕石・細砂を使用したプレーンコンクリートに、AE 剤および減水剤を添加し、それらの添加によるまだ固まらないコンクリートの諸性質、および硬化後の力学的な諸性質を知り、上述のような欠点を補い、より広範な配合設計上、ひいては配合調整上必要な資料をあたえることを主目的とするものである。また実際にコンクリートを使用するにあたって、きわめて重要な性質である耐久性は、構造物が長期間外界の作用に抵抗するために重要な性質で、コンクリートの配合を設計するにあたり、強度とともに重要視せ

ねばならぬ性質である。ここでは耐久性の一指標となる凍結融解試験を行ない、減水剤を用いた場合および用いなかった場合の砕石・細砂コンクリートの耐久性を比較検討し、砕石・細砂コンクリートがより広範に使用できるよう検討しようとするものである。

なおわれわれが従来使用している石川県内灘海岸砂丘砂は、軟弱な貝殻類の混在はほとんど認められず、有機不純物に関しても、JIS に定める有機不純物試験の標準色以下、塩分に関しても、汀線より 300 m 程度離れば許容値の 0.01% よりはるかに小さく³⁾、これらの影響を考慮する必要のないもので、砂粒子が斉粒かつ細粒子である点が問題となるものである。

2. 実験使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント

セメントの物理的性質および強度試験結果を Table 1 に示す。

粗骨材：石川県手取川産の玉砕。比重 2.63, 吸水率 0.5%。

細骨材：石川県内灘砂丘砂。比重 2.61, 吸水率 1.0%, 全量が 0.6 mm ふるいを通過するもの。

3. 実験方法およびその結果

○粗骨材の最大寸法

20 mm, 25 mm, 40 mm を採用（耐久性試験の場合は 25 mm）、粒度はそれぞれの粗骨材最大寸法に対して、土木学会コンクリート標準示方書に示す標準範囲の中間粒度とした²⁾。

○細骨材の粒度

細骨材は全量 0.6 mm ふるいを通過するものを、さらに 0.3 mm ふるいでふるい分け Table 2 に示すように再配合して、粗粒率（以下 F.M. という）を 1.49, 1.66,

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 金沢工業大学助教授 土木工学科

Table 1 Physical properties of cement used

Specific gravity	88 μ residue (%)	Setting time			Flow value (mm)	Flexural strength (kg/cm ²)			Compressive strength (kg/cm ²)		
		Water-cement ratio (%)	Initial (hr-min)	Final (hr-min)		3 days	7 days	28 days	3 days	7 days	28 days
3.15	4.1	27.5	2-20	4-22	197	27.4	43.7	60.7	86	199	361

Table 2 Grading of fine sand

Type	A	B	C
Siere			
0.6	0	0	0
0.3	50	67	75
0.15	99	99	99
F.M. of sand	1.49	1.66	1.74

1.74 の 3 種類とした²⁾。

なお実験は次の順序にしたがって進めた。

A. 従来実験を進めてきたプレーンコンクリートの配

合²⁾ をそのままにして AE 剤を添加した場合

B. 減水剤, AE 剤を添加し, プレーンコンクリートと同一のスランブを得るように配合の調整を行なった場合

C. 砕石・細砂コンクリートの耐久性について

A. 従来実験を進めてきたプレーンコンクリートの配合をそのままにして AE 剤を添加した場合

単位セメント量を 300 kg/m³ とし, プレーンコンクリートのスランブ 7.5 cm, 2.5 cm の 2 種類について AE

Table 3 Mix proportions

Unit cement content (kg/m ³)	F.M. of fine sand	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Sand ratio S/A (%)	Unit water content (kg/m ³)	Water-Cement ratio W/C (%)	Amount of A.E. agent 0%			Amount of A.E.			
						Compressive strength at 28 days age (kg/cm ²)	Tensile strength at 28 days age (kg/cm ²)	Slump (cm)	Compressive strength at 28 days age (kg/cm ²)	Tensile strength at 28 days age (kg/cm ²)		
300	1.49	20	33	181	60.3	314.9	25.6	2.5	285.1	26.6		
		"	30	177	59.0	282.1	26.0	"	282.4	32.3		
		"	30	189	63.0	294.3	27.3	7.5	205.4	24.5		
		"	27	185	61.7	255.1	26.9	"	204.3	24.5		
		"	25	172	57.3	351.8	23.4	2.5	279.4	26.2		
		"	30	168	56.0	323.4	24.9	"	276.0	27.8		
		"	30	180	60.0	327.2	31.3	7.5	200.7	29.4		
		"	27	175	58.3	310.6	30.4	"	234.2	27.9		
		"	40	168	56.0	326.8	26.2	2.5	310.2	25.7		
		"	30	164	54.7	317.4	26.6	"	271.1	24.1		
		"	30	174	58.0	294.4	29.7	7.5	252.3	25.5		
		"	27	167	55.7	306.7	26.1	"	262.8	25.3		
			1.66	20	33	180	60.0	287.1	25.2	2.5	267.9	28.8
				"	30	175	58.3	328.9	26.6	"	255.1	26.6
"	33			194	64.7	245.9	25.3	7.5	245.3	24.6		
"	30			188	62.7	223.6	23.2	"	233.4	26.8		
"	25			173	57.7	328.1	29.2	2.5	294.8	26.6		
"	33			167	55.7	329.9	29.9	"	313.9	29.3		
"	33			183	61.0	235.8	26.5	7.5	233.1	27.4		
"	30			176	58.7	251.6	25.1	"	257.3	25.7		
"	40			167	55.7	363.3	24.9	2.5	312.1	26.4		
"	33			161	53.7	369.2	26.9	"	315.1	26.7		
"	33			176	58.7	292.9	26.4	7.5	228.4	23.8		
"	30			169	56.3	313.3	26.3	"	264.1	24.9		
	1.74			20	36	179	59.6	320.6	25.4	2.5	311.0	27.2
				"	33	174	58.0	308.9	32.0	"	332.9	26.5
		"	33	188	62.7	269.0	24.7	7.5	235.3	23.3		
		"	30	181	60.3	283.0	27.2	"	230.8	23.7		
		"	25	169	56.3	368.7	28.1	2.5	341.0	29.2		
		"	33	163	54.3	357.5	36.1	"	326.3	24.9		
		"	33	180	60.0	282.8	30.1	7.5	219.2	24.8		
		"	30	173	57.7	273.4	28.5	"	241.0	28.0		
		"	40	161	53.7	365.8	30.8	2.5	321.9	28.6		
		"	33	156	52.0	378.1	28.4	"	335.7	27.2		
		"	33	173	57.7	327.8	23.4	7.5	—	—		
		"	30	165	55.0	320.7	31.9	"	286.0	26.5		

Entrapped air is about 1.0%

剤（ビソゾル）を添加するもので、AE 剤はプレーンコンクリートの各配合に対し、セメント重量の 0.02%、0.04%、0.06% の 3 種類を添加し、まだ固まらないコンクリートの試験および硬化後の性質について試験を行なった。Table 3 は配合の種類、強度試験結果、空気量およびスランプの値を示すものである。表よりわかるように添加 AE 剤量が 0.06% の場合については、プレーンコンクリートのスランプ 2.5 cm の場合についてのみ実験した。

実験結果

a) 空気量とスランプの関係

Fig. 1 はプレーンコンクリートのスランプ 2.5 cm、7.5 cm のコンクリートに AE 剤を添加したときの空気量とスランプの関係を砂の F.M. 別に示したものの一例

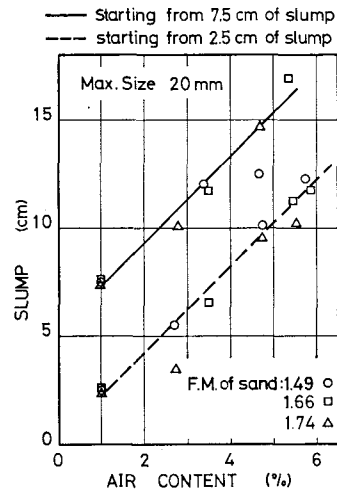


Fig. 1 Relationship between air content and slump

and properties of concrete

agent 0.02%		Amount of A.E. agent 0.04%				Amount of A.E. agent 0.06%			
Slump (cm)	Amount of air (%)	Compressive strength at 28 days age (kg/cm ²)	Tensile strength at 28 days age (kg/cm ²)	Slump (cm)	Amount of air (%)	Compressive strength at 28 days age (kg/cm ²)	Tensile strength at 28 days age (kg/cm ²)	Slump (cm)	Amount of air (%)
5.4	2.9	255.3	23.9	10.0	4.6	179.3	19.5	12.8	5.7
5.6	2.5	245.8	25.2	10.3	4.9	159.9	19.2	11.8	5.8
12.2	3.5	183.3	21.2	12.7	4.8	—	—	—	—
11.9	3.3	201.5	22.8	12.3	4.6	—	—	—	—
5.0	3.2	249.4	29.4	7.9	4.2	195.0	22.0	12.8	5.9
5.0	2.7	238.4	26.8	7.9	4.2	177.6	22.5	12.0	5.7
11.5	3.0	229.7	24.2	14.2	4.7	—	—	—	—
11.7	2.1	178.0	24.2	14.1	4.5	—	—	—	—
4.1	3.4	284.4	24.3	7.0	4.1	255.5	16.9	7.8	5.0
6.5	3.2	267.7	25.4	7.9	4.3	215.8	18.9	10.7	5.2
12.3	3.3	196.9	22.5	13.5	5.5	—	—	—	—
10.0	3.0	209.5	23.7	13.0	4.4	—	—	—	—
6.9	3.8	224.6	22.2	11.7	5.7	199.9	19.7	12.2	6.2
6.2	3.2	229.5	23.1	10.5	5.2	213.0	19.6	11.2	5.6
12.0	3.6	187.8	21.0	17.3	5.2	—	—	—	—
11.5	3.4	180.1	21.6	16.6	5.5	—	—	—	—
3.5	2.8	253.1	25.3	7.0	3.9	219.9	22.2	9.9	5.4
3.7	2.8	242.6	26.7	7.0	3.6	184.0	22.2	11.2	5.3
9.6	3.2	200.5	22.1	14.3	4.8	—	—	—	—
9.0	2.9	210.3	23.4	14.0	4.3	—	—	—	—
2.5	2.4	248.4	22.2	5.2	4.2	241.8	20.2	8.5	6.0
2.5	2.0	276.0	23.4	4.6	4.0	255.6	21.5	7.0	5.7
10.0	3.3	225.6	19.1	11.3	4.3	—	—	—	—
9.9	2.7	232.2	21.9	12.5	4.0	—	—	—	—
3.6	3.0	230.0	20.9	9.8	4.9	206.2	19.3	10.6	5.7
3.3	2.5	231.1	22.4	9.3	4.6	205.8	18.7	9.8	5.4
10.2	3.0	203.1	20.8	15.8	4.8	—	—	—	—
10.0	2.6	187.1	20.8	13.6	4.6	—	—	—	—
3.0	2.4	283.7	26.1	6.0	3.8	251.9	22.8	6.9	4.5
3.1	2.2	268.2	28.7	5.6	3.7	229.8	21.1	7.3	4.4
10.5	3.2	200.4	20.9	13.5	4.1	—	—	—	—
10.7	2.6	187.3	22.4	13.3	4.3	—	—	—	—
2.6	2.4	272.6	23.7	4.7	4.1	265.8	22.6	5.2	4.2
2.3	2.0	285.0	26.4	4.6	4.3	298.9	24.7	4.6	4.1
9.9	3.0	193.3	20.4	12.7	4.3	—	—	—	—
10.1	3.0	221.2	19.7	11.8	4.1	—	—	—	—

で、プレーンコンクリートのエントラップドエアがほぼ1%であることを考慮したものである。図にもみられるとおり一般に砂の F.M. の相違による影響は明確ではない。

Fig. 2 は砂の F.M. を考慮せずすべてのデータを粗

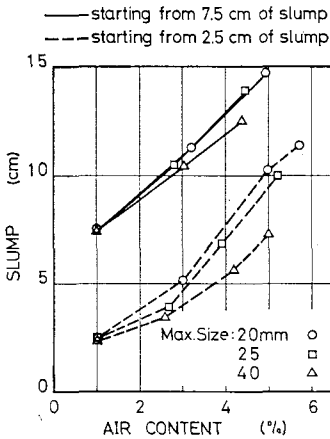


Fig. 2 Relationship between air content and slump.

骨材の最大寸法別に平均して示したものである。図にも示されるように、スランプ 2.5 cm のプレーンコンクリートに AE 剤を添加した場合、粗骨材の最大寸法 20 mm および 25 mm においては空気量 1% の増加によるスランプの増加は 1.5~2.5 cm, 40 mm では 1.0 cm~1.5 cm と考えられ、同じくプレーンコンクリートのスランプ 7.5 cm の場合では、粗骨材の最大寸法 20 mm および 25 mm においては約 2 cm, 40 mm では約 1.5 cm の増加という結果になる。

粗骨材の最大寸法に対応した土木学会が推奨する標準の空気量の範囲においては、空気量 1% の増加に対するスランプの増加は、プレーンコンクリートのスランプに関係なく粗骨材の最大寸法 20 mm および 25 mm では約 2.0 cm, 40 mm では約 1.5 cm と考えられる。

b) 粗骨材の最大寸法と空気量の関係

一般に AE 剤を使用した場合、その空気連行性は骨材寸法が小さいほど著しいといわれている。Fig. 3 は粗骨材の最大寸法と空気量の関係を示すものである。

図は AE 剤添加量別に平均したものであるが、添加量 0.02% におけるように連行空気量が少ない場合は最大骨材寸法による変化はほとんどなく、AE 剤添加量 0.04%、0.06% と連行空気量が多くなると、最大骨材寸法の増加による空気量の減少がやや明確になる。

Table 4 は AE 剤添加量 0.04% の場合における、砂の F.M. と空気量を示すものである。一般には粒径 0.3~0.6 mm の砂量が増加すると空気量も増加の傾向を示すといわれているが、本実験においては、砂の全量が

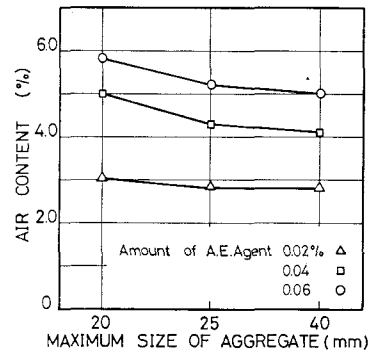


Fig. 3 Relationship between maximum size of aggregate and air content.

Table 4 Relationship between F.M. of sand and air content entrained by A.E. admixture

(The amount of A.E. admixture : 0.04% by weight of cement)

Maximum size of aggregate (mm)	F.M. of Sand		
	1.49	1.66	1.74
20	4.7 ^(%)	5.4	4.7
25	4.4	4.2	4.0
40	4.3	4.1	4.2

0.6 mm ふるいを通過するものであり、表に示すように砂の F.M. の相違による変化は実験データのバラツキに含まれ、ほとんど認めることはできない。

c) 4 週圧縮強度、4 週引張強度および静弾性係数について

Fig. 4 は空気量と 4 週圧縮強度の関係を粗骨材の最

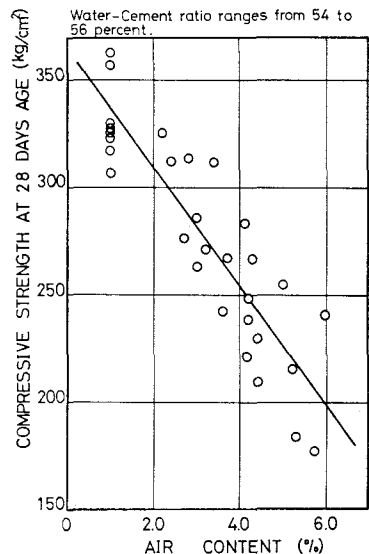


Fig. 4 Relationship between air content and compressive strength at 28 days age.

大寸法,砂の F.M., S/A の区別なく示したもので,水セメント比 54%~56% の範囲のものである。

一般に普通粒度の砂を使用したコンクリートにおいては,コンクリートの水セメント比を一定に保って空気量のみを増加させると,空気量 1% の増加につき 4~6% の割合で 4 週圧縮強度の低下がみられることが報告されている。本実験においては, AE 剤無添加の場合のエントラップドエアが 1% 前後であったことを考慮に入ると,水セメント比 54~56% の範囲では図に示すような傾向があり,空気量 1% の増加に対する 4 週圧縮強度の低下は約 27 kg/cm² である。同じく水セメント比 58~60% の範囲では約 21 kg/cm² の低下となり,総じていえば,4 週圧縮強度の低下は空気量 1% の増加につき 25 kg/cm² 程度,すなわち空気量 1% の増加による強度減少は 7~8% 程度となり,さきに述べた普通粒度の砂を使用したコンクリートと比較してかなり大きい値であることがわかる。

Fig. 5 は水セメント比 54~56% の範囲における空気量と 4 週引張強度の関係を示すものである。なおここにおいて述べる引張強度は JIS A 1113 による試験法に準じたもので,供試体は圧縮強度と同様のものを使用している。

空気量と 4 週引張強度の関係では,空気量 1% より 2% 程度までの範囲ではそれほど明確に強度の減少傾向が見られず,空気量 2% 以上のコンクリートにおいて図に示すような減少傾向が見うけられる。空気量が 2%

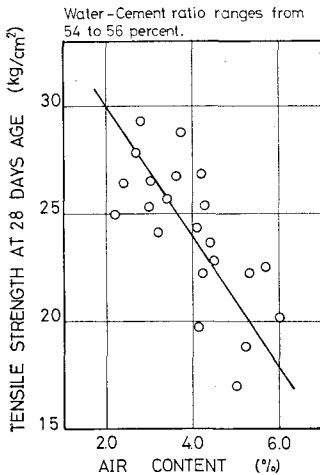


Fig. 5 Relationship between air content and tensile strength at 28 days age.

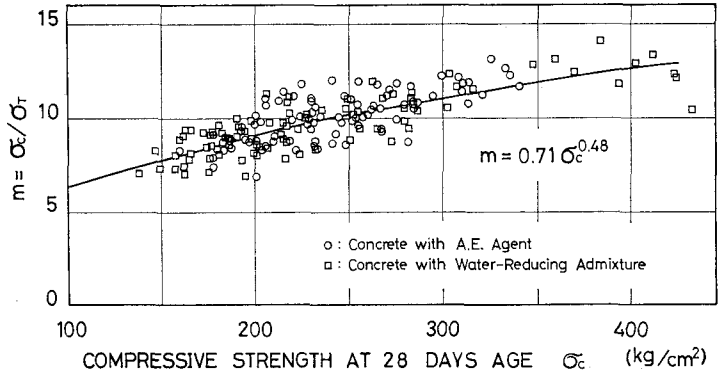


Fig. 6 Relationship between compressive strength at 28 days age and m .

から 6% の増加においては,水セメント比 54~56% の範囲では空気量 1% につき約 3 kg/cm²,水セメント比 58~60% の範囲のコンクリートにおいては約 2.5 kg/cm² 程度の強度減少が見られる。

Fig. 6 は 4 週圧縮強度に対する 4 週引張強度の比を $m = \sigma_{ct28}/\sigma_{T28}$ と表わし, m と 4 週圧縮強度の関係を示したもので, m と 4 週圧縮強度が指数関係にあるとすれば,先に発表した混和材料を使用しない場合²⁾,および減水剤を使用した場合⁴⁾の m と 4 週圧縮強度の関係は $m = 0.71 \sigma_{c28}^{0.48}$ とほぼ同様と考えられる。

静弾性係数に関しては,本実験ではプレーンコンクリートの配合をそのままにして AE 剤添加を行なったため著しいスランプの増加が見られたが,プレーンコンクリートにおける単位セメント量 300 kg/m³ における静弾性係数 22~29 × 10⁴ kg/cm² に比較して,全体的にそれほど大きい低下はなく,静弾性係数はほぼ 20~30 × 10⁴ kg/cm² の範囲にある。なお本実験における静弾性係数測定には,電気抵抗線ひずみ計を使用し,その値は破壊荷重の 1/3 点と原点を結ぶセカントモジュラスを求め静弾性

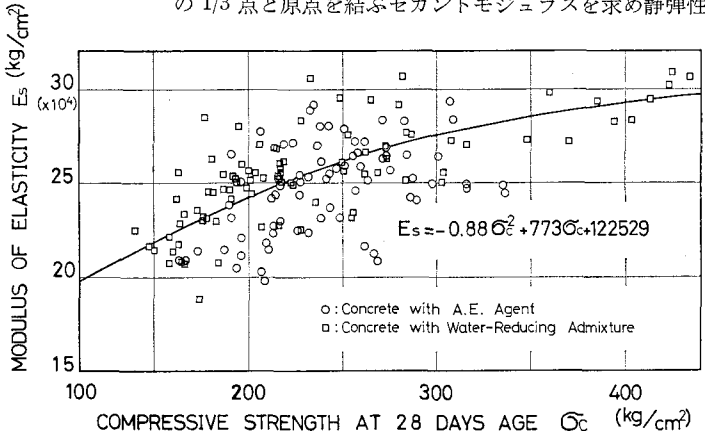


Fig. 7 Relationship between compressive strength at 28 days age and modulus of elasticity.

係数としたものである。

Fig. 7 は静弾性係数と4週圧縮強度の関係を示すもので、かなりのバラツキが見られるが、これらの関係は先に発表した減水剤を使用した場合⁴⁾の静弾性係数と4週圧縮強度の関係

$$E_s = -0.88 \sigma_{c28}^2 + 773 \sigma_{c28} + 122\,529$$

なる曲線の式で大局的には示されると考える。

Fig. 8 は4週圧縮強度と空げきセメント比の関係を示すものでそれらの間には

$$\sigma_{c28} = 121\,800 / (2.0 + v/c)^{4.3}$$

なる関係があると考ええる。

なお、Fig. 6, 7, 8 にはプレーンコンクリートの配合をそのままにして減水剤を添加した場合のデータをもあわせて示した。

B. 減水剤, AE 剤を添加し、プレーンコンクリートと同一のスランプを得るように配合の調整を行なった場合

減水剤はポゾリス No. 5 L を使用し、セメント重量の

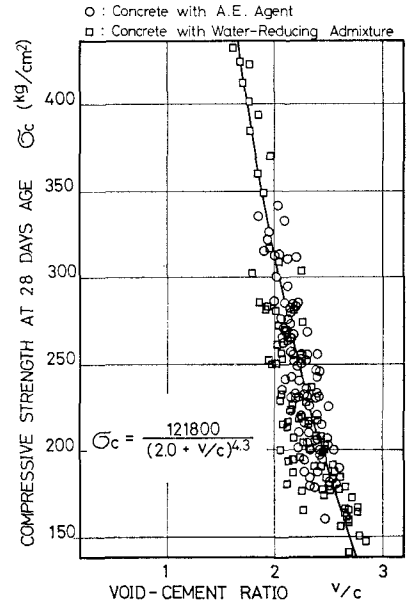


Fig. 8 Relationship between void-cement ratio and compressive strength at 28 days age.

Table 5 Mix proportions

Type of admixture	Unit cement content (C) (kg/m ³)	F.M. of fine sand	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Sand ratio S/A (%)	Unit water content (kg/m ³)	Water-cement ratio W/C (%)	Compressive strength at 28 days age (kg/cm ²)	
None	300	1.49	20	2.5	33	184	61.3	291	
			"	7.5	"	200	66.7	235	
			25	2.5	"	177	59.0	297	
			"	7.5	"	192	64.0	240	
			40	2.5	"	174	58.0	298	
			"	7.5	"	188	62.7	253	
	None	1.66	"	20	2.5	"	183	61.0	310
				"	7.5	"	199	66.3	249
				25	2.5	"	174	58.0	305
				"	7.5	"	191	63.7	230
		1.74	"	40	2.5	"	175	58.3	230
				"	7.5	"	190	63.3	273
				20	2.5	"	178	59.3	328
				"	7.5	"	193	64.3	268
				25	2.5	"	174	58.0	267
				"	7.5	"	189	63.0	245
Water reducing admixture	270	1.49	20	2.5	31	162	60.0	299	
			"	7.5	"	174	64.4	219	
			25	2.5	"	151	55.9	298	
			"	7.5	"	169	62.6	242	
			40	2.5	"	155	57.4	310	
			"	7.5	"	164	60.7	269	
	Water reducing admixture	1.66	"	20	2.5	"	157	58.1	323
				"	7.5	"	173	64.1	244
				25	2.5	"	149	55.2	296
				"	7.5	"	165	61.1	204
		1.74	"	40	2.5	"	154	57.0	278
				"	7.5	"	164	60.7	218
				20	2.5	"	160	59.3	286
				"	7.5	"	170	63.0	236
Water reducing admixture	"	"	25	2.5	"	155	57.4	283	
			"	7.5	"	166	61.5	238	
			40	2.5	"	151	55.9	291	
			"	7.5	"	163	60.4	207	

0.25% を添加し、AE 剤はポゾリス No. 114 をさらに加えて目標とする空気量 4.0% が得られるようにした。

本実験におけるコンクリートの配合は Table 5 に示すとおりである。表に示すように、減水剤添加コンクリートと比較対照のため、あらためてプレーンコンクリートの打設を行なった。プレーンコンクリートの配合において、単位セメント量 300 kg/m^3 は過去の一連の実験研究に使用された単位セメント量の中間値であり、 S/A 33% はワーカビリティが良好と考えられる範囲の値である。減水剤添加コンクリートでは、単位セメント量を 270 kg/m^3 、 S/A を 31% とし、目標スランプ 2.5 cm および 7.5 cm に対しては単位水量の調整によってのみ目標スランプを得た。

実験結果

a) 4 週圧縮強度とセメント水比の関係、および分散効果による単位セメント量の減少量について

4 週圧縮強度とセメント水比の関係を Fig. 9 に示す。

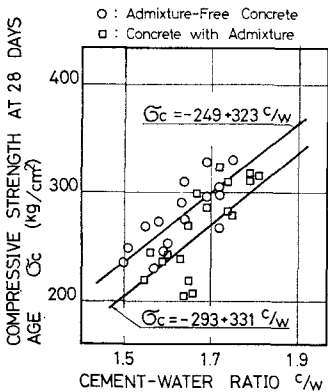


Fig. 9 Relationship between cement-water ratio and compressive strength at 28 days age.

これらの間における関係式を求めると、プレーンコンクリートの場合は

$$\sigma_{c28} = -249 + 323 C/W$$

減水剤添加コンクリートの場合は

$$\sigma_{c28} = -293 + 331 C/W$$

で示される。

この両式よりプレーンコンクリートのスランプ 2.5 cm の場合の平均 4 週圧縮強度 303 kg/cm^2 を得るためには、プレーンコンクリートの場合 $C/W = 552/323 = 1.71$ 、減水剤添加コンクリートの場合 $C/W = 596/331 = 1.80$ となる。ここでプレーンコンクリートの水量 W にスランプ 2.5 cm における平均単位水量 177 kg/m^3 を、減水剤添加コンクリートの水量 W に同じくスランプ 2.5 cm の平均単位水量 155 kg/m^3 を代入すると、プレーンコンクリートの場合の単位セメント量は $C_{\text{plain}} = 302 \text{ kg/m}^3$ 、

減水剤添加コンクリートの場合の単位セメント量は $C_{WR} = 279 \text{ kg/m}^3$ となり、その比 $C_{WR}/C_{\text{plain}} = 92.4\%$ となる。同様な方法により両式からスランプ 7.5 cm の場合のコンクリートについて C_{WR}/C_{plain} を求めるとその値は 92.3% となる。

以上の結果より、同一スランプで同一圧縮強度を期待するとき、分散効果によって減少できる単位セメント量は 7~8% と考えることができる。従来のコンクリートの場合が 5~10%⁹⁾ といわれていることから、砕石・細砂コンクリートにおいても普通コンクリートと大差ないといえる。

減水剤添加コンクリートに空気量 4% を連行させ、プレーンコンクリートと同一のスランプとするための単位水量の減少率は、砂の F.M. および粗骨材の最大寸法などに関係なく、10~15% の範囲となった。これは普通コンクリートにおいて、空気量 3~4% 連行された場合の単位水量の減少率が 10~15% であることを考えると、砕石・細砂コンクリートの場合も普通コンクリートと大差ないといえる。

b) 4 週圧縮強度、4 週引張強度および静弾性係数について

Fig. 10 に 4 週圧縮強度と 4 週引張強度の関係を示す。図よりわかるように減水剤を添加したコンクリート

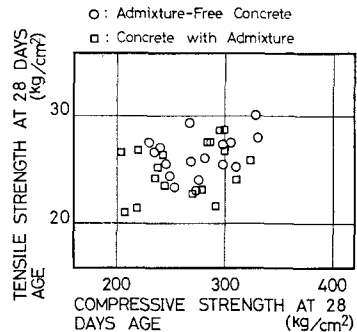


Fig. 10 Relationship between compressive strength at 28 days age and tensile strength at 28 days age.

においてもプレーンコンクリートの場合と大差なく、同程度の圧縮強度が得られるならば引張強度もほぼ等しく、4 週圧縮強度 $200 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ の範囲においては、 $20 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ の 4 週引張強度を得る。

Fig. 11 に 4 週圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。減水剤添加および無添加の両コンクリートにおける相違は明確ではなく、4 週圧縮強度が $200 \sim 350 \text{ kg/cm}^2$ の範囲においては、静弾性係数 $20 \sim 30 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ なる値を得る。

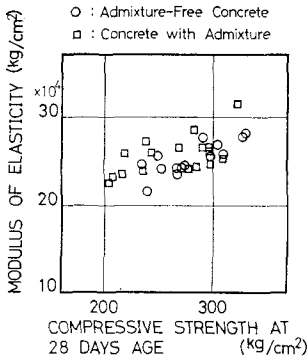


Fig. 11 Relationship between compressive strength at 28 days age and modulus of elasticity.

C. 砕石・細砂コンクリートの耐久性について

Table 6 は凍結融解試験におけるコンクリート配合表である。凍結融解試験用供試体作成は JIS A 1125 に準拠して行ない、供試体は打設後ただちに温度 20°C、湿度 85% の恒温恒湿室に養生し、材令 2 日より 21 日まで水中養生を行なった。なお供試体は 10×10×40 cm の角柱形である。

凍結融解試験は ASTM C 290 に準拠して行ない、供

試体の測定は凍結融解試験開始前 (O サイクル) と凍結融解 30 サイクルごとに、動弾性係数測定装置を使用してたわみ一次共鳴振動数を求め、供試体重量を 1 gr まで計算し、相対動弾性係数および供試体重量減少率を次式によって算出した。

$$P = (f_n^2 / f_0^2) \times (W_n / W_0) \times 100$$

$$W = (W_0 - W_n) / W_0 \times 100$$

P : 相対動弾性係数 (%)

f₀ : O サイクルにおける一次共鳴振動数 (c/s)

f_n : n サイクルにおける一次共鳴振動数 (c/s)

W : 重量減少率 (%)

W₀ : O サイクルにおける供試体重量 (kg)

W_n : n サイクルにおける供試体重量 (kg)

実験結果

相対動弾性係数と凍結融解サイクルの関係を Table 7、Fig. 12, 13 に、重量減少率と凍結融解サイクルの関係を Table 8、Fig. 14, 16 に示す。

プレーンコンクリートポゾリス No. 5 L および AE 剤 No. 114 を使用して連行空気量 4% としたコンクリートの凍結融解に対する抵抗性の差は当然明確であるが、双方のコンクリートにおいて、配合の相違による耐久性

Table 6 Mix proportion

Type of admixture	Specimen	Unit cement content (C) (kg/m ³)	F.M. of fine sand	Maximum size of coarse aggregate (mm)	Slump (cm)	Sand ratio (%)	Unit water content W (kg/m ³)	Water-cement ratio W/C (%)
None	1	300	1.49	25	2.5	33	177	59.0
	2	"	"	"	7.5	"	192	64.0
	3	"	1.66	"	2.5	"	174	58.0
	4	"	"	"	7.5	"	191	63.7
	5	"	1.74	"	2.5	"	174	58.0
	6	"	"	"	"	7.5	"	189
Water reducing admixture	1	270	1.49	"	2.5	31	151	55.9
	2	"	"	"	7.5	"	169	62.6
	3	"	1.66	"	2.5	"	149	55.2
	4	"	"	"	7.5	"	165	61.1
	5	"	1.74	"	2.5	"	155	57.4
	6	"	"	"	"	7.5	"	166

Table 7 Relative dynamic modulus of elasticity at each freezing-and thawing-cycle

Type of admixture	Specimen	Dynamic modulus of elasticity of concrete not subjected to freeze-thaw cycle × 10 ⁴ (kg/cm ²)	relative dynamic modulus of elasticity (%)										Durability factor
			30 cycles	60	90	120	150	180	210	240	270	300	
None	1	34.4	96	94	91	87	82	78	75	72	68	64	64
	2	33.5	90	89	85	80	73	68	64	61	58	54	50
	3	36.0	95	88	85	82	76	73	68	66	62	47	55
	4	34.4	96	94	90	86	82	77	67	62	57	52	50
	5	36.9	96	90	83	76	72	68	63	58	54	48	46
	6	34.3	96	94	91	88	83	81	80	75	68	62	62
Water reducing admixture	1	36.4	97	96	94	94	91	90	86	85	85	83	83
	2	31.8	94	90	87	85	84	80	78	76	74	72	72
	3	35.0	97	96	93	92	90	89	88	88	86	83	83
	4	31.2	96	95	94	89	86	84	85	85	84	83	83
	5	35.8	94	90	88	84	82	80	79	78	77	75	75
	6	30.0	96	94	94	94	93	92	92	92	91	90	88

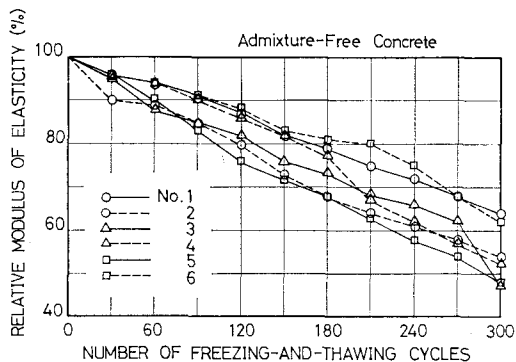


Fig. 12 Relationship between number of freezing-and-thawing cycles and relative modulus of elasticity in admixture-free concrete.

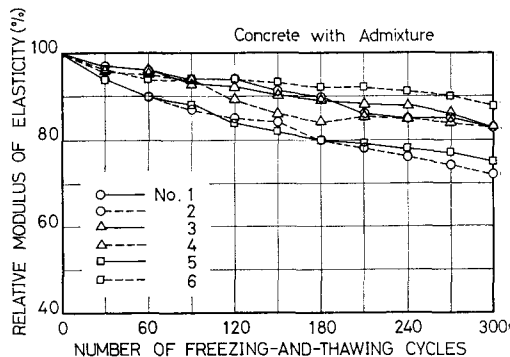


Fig. 13 Relationship between number of freezing-and-thawing cycles and relative modulus of elasticity in concrete in volving a water-reducing admixture.

Table 8 Weight reduction percentage at each freezing-and thawing cycle.

Type of admixture	Specimen	Weight of original specimen (kg)	Weight reduction percentage (%)									
			30 cycles	60	90	120	150	180	210	240	270	300
None	1	9.433	0.36	0.54	0.81	1.06	1.43	1.74	2.04	2.72	3.16	3.28
	2	9.403	0.22	0.57	1.08	1.50	1.88	2.28	2.74	3.40	4.09	4.40
	3	9.560	0.17	0.47	0.98	1.50	1.77	2.08	2.25	2.86	3.31	3.46
	4	9.570	0.26	0.46	0.83	1.23	1.56	1.85	2.08	2.85	3.41	3.81
	5	9.616	0.21	0.30	0.68	1.12	1.33	1.64	1.90	2.48	2.84	3.04
	6	9.564	0.11	0.21	0.21	0.52	0.78	1.08	1.40	2.59	3.24	3.54
Water reducing admixture	1	9.568	0.06	0.13	0.18	0.16	0.28	0.42	0.70	1.15	1.50	1.76
	2	9.346	0.04	0.06	0.12	0.18	0.42	0.71	0.91	1.36	1.86	1.98
	3	9.476	0.06	0.13	0.21	0.24	0.35	0.48	0.78	1.36	1.76	1.88
	4	9.272	0.02	0.04	0.05	0.06	0.14	0.38	0.66	1.34	1.84	1.98
	5	9.620	0.04	0.06	0.06	0.14	0.38	0.67	1.03	1.38	1.98	2.06
	6	9.252	0.11	0.17	0.17	0.88	0.94	1.26	1.60	2.63	3.12	3.37

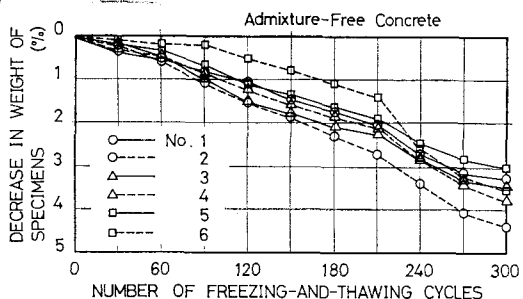


Fig. 14 Change in the weight of specimens.

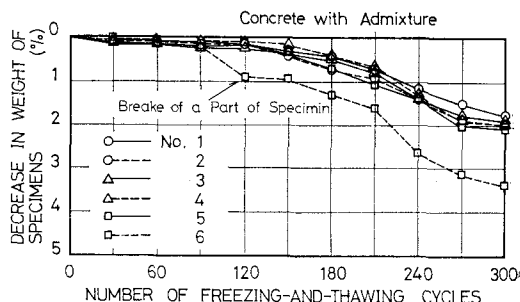


Fig. 15 Change in the weight of specimens.

指数の差異は明確ではない。

永倉⁶⁾によれば、水セメント比が大なるほど、耐久性指数が小さくなる傾向があるとしているが、本実験における碎石・細砂コンクリートのスランプの範囲 2.5 cm, 7.5 cm では、上述の傾向が明確ではない。

Table 9 は本実験と同一装置を使用して行なわれた川砂利、川砂使用のコンクリートの凍結融解試験結果である。まず減水剤無添加コンクリートについては Table 9 においてもそうであるが、一般に普通コンクリートの

耐久性指数は 20% 程度もしくはそれ以下であり、それに比較して碎石・細砂を使用したコンクリートの場合は Table 7 に示すように 46~64% ときわめて大きい値を示している。減水剤添加コンクリートについては、その重量減少率は、1.76~2.06% (供試体番号 6 のデータは Fig. 15 に示すように供試体一部破損のため除く) を示し、プレーンコンクリートの約 50% である。しかしその重量減少率と Table 9 に示す普通粒度の細骨材を使用したコンクリートの場合と比較すると、碎石・細

Table 9 Freezing and thawing test results for concrete with river gravel and sand

Type of admixture	Unit cement content C (kg/m ³)	Unit water content W (kg/m ³)	Water cement ratio W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Sand ratio S/A (%)	Dynamic modulus of elasticity ($\times 10^3$ kg/cm ²)	relative dynamic modulus of elasticity (%)												
								cycles 30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			
None	300	144	48.0	7.0	1.1	37	392	92	18											
Water reducing admixture	270	118	43.0	6.9	4.3	35	403	99	100	100	99	100	99	99	99	99	99	99	99	100

Weight Reduction Test

Type of admixture	Unit cement content C (kg/m ³)	Unit water content W (kg/m ³)	Water cement ratio W/C (%)	Slump (cm)	Air content (%)	Sand ratio S/A (%)	Weight of original specimen (kg)	Weight reduction percentage (%)												
								30	60	90	120	150	180	210	240	270	300			
None	300	144	48.0	7.0	1.1	37	10.187	0.61*	1.22*											
Water reducing admixture	270	118	43.7	6.9	4.3	35	10.018	0.04	0.04	0.14	0.24	0.44	0.76	0.87	0.98	1.05	1.13			

Note: the value with star shows increase in the weight.

砂コンクリートにおける減少率はいくぶん大きく、減水剤の効果はやや少ないようであるが、永倉によれば連行空気量 4% の普通粒度の砂を使用したコンクリートでは、耐久性指数が 80% 前後であり、本実験における耐久性指数が 72~88% 程度であることを考えると、碎石・細砂コンクリートは空気連行により普通粒度の砂を使用したコンクリートと同程度まで耐久性が改善されるものとする。

以上を総括すると、碎石・細砂コンクリートの耐久性に関して興味ある事実を 2 つ得た。つまり

① コンクリートに混和剤を添加しない場合、普通粒度の細骨材を使用したコンクリートに比較して、碎石・細砂コンクリートの耐久性がきわめて大きい。

② 普通粒度の細骨材を使用したコンクリートにおいては、水セメント比が大なるほど耐久性指数が小さくなるという傾向が存在するが、本実験における砂の F.M. が 1.6 より 1.74 の範囲では上述の傾向がみとめられない、という 2 点である。これらに関してその原因を考えてみると、① に対しては、コンクリートの気泡の粒径分布と気泡間の平均間隔があげられる。T.C. Powers は気泡間の平均間隔を表すために、間隔係数なるものを導入し、これにより耐久性が支配されると考え、また 300 μ 以下の粒径の気泡がコンクリート中に含まれる個数が多いほど、耐久性が良好であると述べている⁷⁾。この点より、碎石・細砂コンクリートでは使用する細骨材が細粒であるため、上記のような微粒の気泡を多数含む結果となり間隔係数が小さくなり耐久性を大ならしめている可能性がある。その他細骨材が細粒であり、粗骨材が面の粗い碎石であることからブリージング率が小であるとか、骨材とセメントペーストの付着強度の増大など

が耐久性を大きくすることの理由にあげられる。

② に対しては、従来粒径 0.3~0.6 mm の砂量の増加は、連行空気量を増大するといわれている。本実験では空気量の差はないが、Table 2 に示すように、砂の F.M. が 1.66 から 1.74 と大きくなるにしたがって、0.3~0.6 mm の砂量が増加している。0.3~0.6 mm の砂量の増加により碎石・細砂コンクリートではスランプの大きなコンクリートほど気泡が微粒となり多数連行されると考え得るなら、その微粒気泡が一般に耐久性に大きく影響する水セメント比の影響をはるかに越えるため上述の傾向を示すものと考えられる。しかしこれらは推論であり、さらに今後の実験研究に待たねばならない。

4. 結 論

以上得られた結果をまとめると次のようである。

A. 従来実験*を進めてきたプレーンコンクリートの配合をそのままにして AE 剤を添加した場合

① 連行空気量 1% の増加により、スランプ 1.5~2.0 cm の増加がみられる。

② AE 剤添加量の増加に伴い、粗骨材の最大寸法の増大による空気連行量の減少がかなり明確になる。

③ 空気量 1% の増加により 4 週圧縮強度の低下は大局的には 25 kg/cm² で、普通粒度の砂を使用したコンクリートに比較するとかなり大である。

④ $m = \sigma_{c28} / \sigma_{T28}$ と 4 週圧縮強度の関係は $m = 0.71 \sigma_{c28}^{0.48}$ なる式を満足し、4 週圧縮強度と空げきセメント比の関係は

*: 文献 2) の配合表参照のこと。

$\sigma_{c28} = 121\,800 / (2.0 + w/c)^{4.3}$ を満足する。

B. 減水剤, AE 剤を添加し, プレーンコンクリートと同一のスランプを得るように配合の調整を行った場合

① 分散効果により減少できる単位セメント量は, 砕石・細砂コンクリートも普通コンクリートと大差なく, 空気連行による単位水量減少率もほとんど同様である。

② 4 週圧縮強度と 4 週引張強度および静弾性係数の関係は, 砕石・細砂コンクリートのプレーンコンクリートの場合⁹⁾ と大差ないと考える。

C. 砕石・細砂コンクリートの耐久性について

① 混和剤を添加しない砕石・細砂コンクリートは, 普通粒度の細骨材を使用したコンクリートに比較して, 耐久性指数が非常に大である。

② 空気を連行することにより, 砕石・細砂コンクリートは, 普通コンクリートと同程度まで耐久性が改善される。

③ 砂の F.M. が 1.66 から 1.74 となるにしたがい, 普通コンクリートに示された水セメント比が大なるほど耐久性が小さくなるという傾向が明確ではなくなる。

スコンサルタンツ(株)大深伸尚氏, 藤田組(株)林正平氏, 東洋建設(株)今井一嘉氏, 日本ピーエスコンクリート(株)渡辺孝仁氏, 日本舗道(株)早稲田高茂氏および日曹マスタービルダーズ(株)中央研究所の方々に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 柳場重正・高桑重三・山田裕定：コンクリート用細骨材としての細粒海岸砂の使用に関する研究, 金沢大学工学部紀要第4巻, 2号, 4号
- 2) 柳場重正・川村満紀・大深伸尚・夏川亨介・齋藤 満：砕石・細砂を使用したコンクリートの諸性質について, 土木学会論文報告集第182号
- 3) 柳場重正・大深伸尚・高桑重三・山田裕定：海岸砂丘砂のコンクリート用細骨材としての利用に関する基礎的研究, 金沢大学工学部紀要第5号, 第3号
- 4) 柳場重正・高桑重三・川村満紀・齋藤 満：砕石・細砂を使用したコンクリートに減水剤を添加した場合の諸性質について, セメント技術年報, 1969
- 5) 松井嘉孝・笠井芳夫：表面活性剤を用いたコンクリートについて, 建築雑誌, 昭和37年5月
- 6) 永倉 正：コンクリートの配合諸条件が凍結抵抗性におよぼす影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集第98号
- 7) Powers, T.C.: Void Spacing as a Basis for Producing Air-Entraining Concrete, J. ACI, May, 1954

(1971.12.7・受付)

最後に本実験を行なうにあたりご協力いただいたアル