

空港舗装を対象とした高強度コンクリートの配合設計

佐々木健一¹・八谷好高²・坪川将丈³・亀田昭一⁴・棚木 隆⁵

¹工修 社団法人セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ (〒114-0003 東京都北区豊島 4-17-33)

²正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 空港研究部空港施設研究室
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)

³正会員 工修 国土交通省 国土技術政策総合研究所 空港研究部空港施設研究室

⁴正会員 工修 新東京国際空港公団 空港計画室 (〒282-8601 千葉県成田市成田空港内 NAA ビル)

⁵正会員 太平洋セメント株式会社 中央研究所 第1研究部 セメント・コンクリート技術センター
(〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

現在の空港コンクリート舗装は、設計曲げ強度 5 N/mm^2 を標準としており、それ以外のコンクリートを適用した事例はほとんどない。本研究は、水セメント比を小さくして曲げ強度を高めたコンクリートの空港舗装へ適用性を明らかにすることを目的に、配合設計をする上において注目すべき事項について検討し、最適配合を見出した。まず、基礎的な考察から、粗骨材の選定が高強度を得るのに重要であること、単位水量および細骨材の選定が施工性に及ぼす影響が大きいこと等の知見を得た。最終的には、小型施工機械を用いた検討を行って、空港舗装用に最適な高強度コンクリートの配合を明らかにした。

Key Words: high-strength concrete, flexural strength, airport pavement, laboratory test, mix proportion

1. はじめに

現在、空港舗装のエプロンに適用されている無筋コンクリート舗装は、設計曲げ強度 5 N/mm^2 を標準としており、それ以外のコンクリートを適用した事例はほとんどない。一方、他分野においては近年、高性能 AE 減水剤を使用し水セメント比を小さくすることや混和材料を用いること等によって、高強度コンクリートを容易に製造できるようになり、その適用事例も年々増加している。

上記空港舗装においても、高強度コンクリートが実用化され、設計曲げ強度を大きくとることができれば、コンクリート版厚の減少が可能となり、加えて版厚軽減によって実質上、寸法効果による強度低下も低減できる。そしてこの場合、特別な材料を使用することなく、また特別な製造・施工方法によることなく高強度コンクリートを導入できれば、近年の社会的要請である、コンクリート舗装が多用される空港における舗装建設費の低減にもつながるものと考えられる。

しかしながら、曲げ強度に着目した高強度コンクリートの研究は少なく、また一般に高強度コンクリートは粘性が高いために、舗装コンクリートにおいては、施工面、特に表面仕上げでの問題が生じることが懸念されること等から、他分野の技術を直接流用することは有効でない。

筆者らは、以上の状況を鑑み、特別な材料や製造・施

工方法を用いないことを前提とし、空港舗装を対象とした高強度コンクリートを開発することを目的に研究を実施した。

この場合に注目すべき課題としては、まず粗骨材の影響を取り上げた。これは、高強度コンクリートにおいては、粗骨材の岩種・品質が強度特性に及ぼす影響が大きいと予測され、また、全国への適用を考えた場合に、これらの変動についての十分な配慮が必要と判断されたためである。そこで、粗骨材の岩種が異なる場合の曲げ強度、静弾性係数に及ぼす影響について検討し、併せて乾燥収縮特性についても調査した。なお、コンクリートの水セメント比(W/C)として、ここでは、普通コンクリート(W/C=40%)、高強度コンクリート(W/C=30%)としたが、前者は空港舗装工事で通常用いられているW/Cであり、後者は予備的検討結果より、空港舗装において一般的に用いられている施工機械により施工可能な限界と思われるW/Cである。すなわち、高強度コンクリートでは予め実施した試練りの結果、W/Cが30%になるとコンクリートの粘性が過大となり、高性能 AE 減水剤によるスランプの調整が困難になって、現行の施工機械による施工が事実上困難になると判断されたためである。同様に、単位粗骨材容積、単位水量についても、過去の実績と予備試験結果に基づいている。

次に注目すべき課題としては、施工性を取り上げた。これは、現行の施工機械はW/C40%程度と一般的な舗装

表-1 使用した細骨材

記号	産地および種類	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	ふるい通過量(%)						粗粒率	微粒分量 (%)
				5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15		
SKI	君津市産山砂	2.61	1.83	94	81	68	54	23	3	2.66	0.1
SKA	鹿島産陸砂	2.63	1.07	100	89	74	51	24	3	2.60	0.3
S0	小笠産山砂	2.60	1.96	100	89	60	39	24	9	2.78	1.9
S1		-	-	100	88	59	38	23	9	2.83	1.0
S3		-	-	100	89	58	36	21	5	2.91	0.4
S5		-	-	100	88	56	34	19	4	2.99	0.1

注1) S0～S5は、同一の山砂の洗浄回数を変化させることにより調整した粒度および微粒分量の異なる4種類の砂である。調整方法は、バケツに同量の砂および水を入れ、電動式攪拌機により15秒間攪拌した後、直ちにバケツの水を除去する方法とした。この洗浄を、0回、1回、3回、5回行い、それぞれ粒度および微粒分量の異なる細骨材を調整した。

注2) 微粒分量は、JIS A 1103「骨材の微粒分量試験方法」に従って求めた。

表-2 使用した粗骨材

記号	産地および岩種	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	すりへり減量 (%)	破砕値 (%)
G1	宮野産硬質砂岩 40-05 碎石	2.72	0.62	1.69	8.2	8.6
G2	糸魚川産硬質砂岩 40-05 碎石	2.66	1.21	1.64	18.7	14.3
G3	初狩産安山岩 40-05 碎石	2.68	0.94	1.58	14.1	13.2
G4	秩父産石灰石 40-05 碎石	2.70	0.32	1.66	23.6	23.8
G5	笠間産硬質砂岩 40-20 碎石と 伊佐町産石灰石 20-05 碎石を等量混合	2.69	0.32	1.68	17.6	18.3 (平均)
G6	笠間産硬質砂岩 40-20 碎石と 青梅産硬質砂岩 20-05 碎石を等量混合	2.67	0.38	1.66	14.3	10.6 (平均)

表-3 使用した減水剤

記号	メーカーおよび種類			主成分	備考
SP1	A 社製	高性能 AE 減水剤	標準形	ポ リカルボ ン酸エステル系と架橋剤 リア-の複合体	-
SP2	B 社製		遅延形	ポ リカルボ ン酸系水溶性ビ ニル共重合体	-
SP3					SP2 より遅延性が大
P1	A 社製	AE 減水剤	標準形	リグ ニンスルホン酸化合物とポ リオール複合体	-
P2	C 社製			リグ ニンスルホン酸塩	-

用コンクリートを使用することを対象にして整備されているが、これを本研究の対象である W/C30%程度のコンクリートへ適用可能にする必要があったからである。そこで、使用する材料が変化した場合の施工性への影響を把握することを目的に、単位水量、細骨材、粗骨材の各々の材料がフレッシュコンクリートの性質に及ぼす影響について検討した。なお一部では、モルタルによる検討結果により考察を加えた。

これらの基礎的検討を踏まえながら、小型施工機械（フィニッシャー）による施工性試験を行ない、空港舗装に適用可能な高強度コンクリートの配合を決定した。

本論文では、配合設計を実施する場合に特に注意すべき事項に関して得られた知見を整理し、粗骨材の岩種が強度および乾燥収縮に及ぼす影響、使用材料（単位水量、細骨材、粗骨材）が施工性に及ぼす影響について示した後、小型施工機械による施工試験を実施して見出した最適配合について述べる。

2. 使用材料

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³）練混ぜ水は上水道水である。また、細骨材、粗骨材、減水剤はそれぞれ、表-1～表-3に示す通りである。また、空気量の調整に空気量調整剤を、さらに一部の実験では施工試験による配合の改善を併せて実施した関係から、凝結遅延剤（主成分：ポリカルボキシル酸塩とその塩の誘導体）を使用している。以降では、これらを記号で明記するものとする。なお、練混ぜは、強制二軸ミキサを使用し、空練りを30秒間行なった後、練混ぜ水を加えて90秒間の本練りを行なった。

表-4 力学特性の検討に用いたコンクリートの配合

配合 記号	W/C (%)	V _G (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)		Ad (C %)	使用材料		
			W	C		S	G	Ad
30	30	0.70	135	450	1.0	SKI	G1	SP3
30							G2	
30							G3	
30					0.6		G4	
30							G5	
40	40	0.76	133	333	0.25		G1	P1
40			137	343			G2	
40			133	333			G3	
40			133	333			G4	
40			0.71	132			330	
40								

ただし、V_G：単位粗骨材容積、Ad：高性能 AE 減水剤あるいは AE 減水剤の添加量、W：練混ぜ水、C：セメント、S：細骨材、G：粗骨材

表-5 試験項目および方法

試験項目	試験方法
曲げ強度	JIS A 1106 に準拠
圧縮強度、静弾性係数	JIS A 1108 に準拠
乾燥収縮	JIS A 1129 に準拠

3. 粗骨材が硬化コンクリートの力学特性に及ぼす影響

硬化コンクリートの力学特性に及ぼす影響が最も大きい要因と考えられる粗骨材を取り上げて、その点について検討した。

(1) 配合、試験項目および方法

コンクリートの配合は、表-4 に示す通りである。

W/C は 30%および 40%の 2 水準とした。また、目標スランプは、W/C が 30%の場合は 8 ± 1.5cm、W/C が 40%の場合は 5 ± 1.0cm とした。これは、実施工での荷卸し時点のスランプをそれぞれ 5 ± 1.5cm、2.5 ± 1.0cm と想定し、事前に実施した経時変化の結果から定めたものである。また、空気量が 4.5 ± 0.5%となるように空気量調整剤を用いて調整し、いずれの配合においても、凝結遅延剤を C × 0.3%添加した。なお、試験項目および方法は、表-5 に示す通りである。

(2) 試験結果および考察

a) 曲げ強度

同一配合のコンクリートについて使用する粗骨材の岩種を変化させた場合の曲げ強度試験結果を図-1 および図-2 に示した。また、それら粗骨材の破砕値とコンクリートの曲げ強度の関係を図-3 および図-4 に示した。

図-1 および図-2 より、粗骨材岩種がコンクリートの曲げ強度に及ぼす影響については、高強度コンクリートと普通コンクリートとではその傾向が異なった。

すなわち、高強度コンクリートの場合、粗骨材に石灰

石を全量 (30)あるいは半量 (30)使用した場合の材齢 28 日の曲げ強度は、硬質砂岩 (30) 安山岩 (30) を使用した場合に比べてやや小さく、硬質砂岩 (30) と同程度の結果であった。一方、普通コンクリートの場合、粗骨材に石灰石を半量 (30) 使用した場合の材齢 28 日の曲げ強度は他の岩種の粗骨材使用の場合と概ね同程度、また石灰石を全量 (30) 使用した場合では最も曲げ強度が大きくなる結果を示した。

また上記の傾向とともに、高強度コンクリートに比べて普通コンクリートでは材齢 7 日から 28 日の強度の伸びが少ないという差異が認められた。

図-3 および図-4 より、粗骨材の破砕値と曲げ強度の関係についても、上記で述べた結果と対応して高強度コンクリートと普通コンクリートで傾向が異なった。

すなわち、高強度コンクリートの曲げ強度は、使用する粗骨材の破砕値の影響を受け、破砕値が小さい粗骨材の方が概ね曲げ強度が大きくなる傾向を示した。ただし詳細に見ると、材齢 28 日では破砕値が 14.3%から 23.8%と変化しても曲げ強度ではほぼ同程度の値が得られており、材齢 7 日に比べて相関が小さかった。一方、普通コンクリートの場合では、粗骨材の破砕値が変化しても曲げ強度には大きな差が認められず、破砕値が最も大きい全量石灰石(30)が前記のように最も大きな曲げ強度を示す結果となった。

以上のように、普通コンクリートに比べて高強度コンクリートの方が曲げ強度の発現性において粗骨材の破砕値の影響を受け易いことが判明した。この原因としては、高強度域になると、粗骨材とモルタルとの界面の破壊に比べて、粗骨材自体の破壊が先行する傾向にあるためと考えられる。破断面の目視観察によっても、普通コンクリートの場合では供試体の破断は多くが粗骨材とモルタルとの界面で発生しているのに対して、高強度コンクリートの場合では粗骨材自体が破断している傾向が認められたこともこの結果を裏付けている。また、石灰石骨材を用いた場合には、骨材とセメントペーストとの界面での化学反応による付着力が強度増進に寄与する¹⁾²⁾との報告もあり、普通コンクリートにおいてはこのような作用も働いて石灰石骨材を使用したコンクリートの強度が大きい結果になったが、高強度コンクリートにおいては上述の理由によりこれが有効に作用しなかったものと推測される。

b) 静弾性係数

同一配合のコンクリートについて使用する粗骨材岩種を変化させた場合の静弾性試験結果を図-5 および図-6 に示した。

静弾性係数は、高強度コンクリートの方が普通コンクリートに比べて若干大きくなる傾向を示したが、同一配合においては使用する粗骨材による顕著な差は認められなかった。

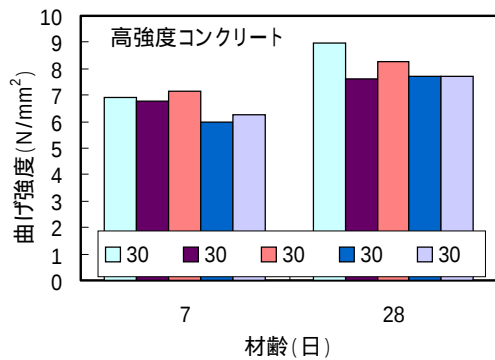


図-1 高強度コンクリートの曲げ強度

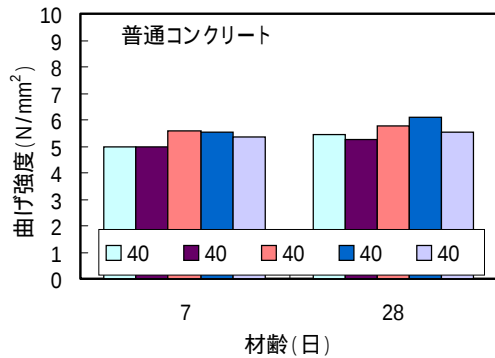


図-2 普通コンクリートの曲げ強度

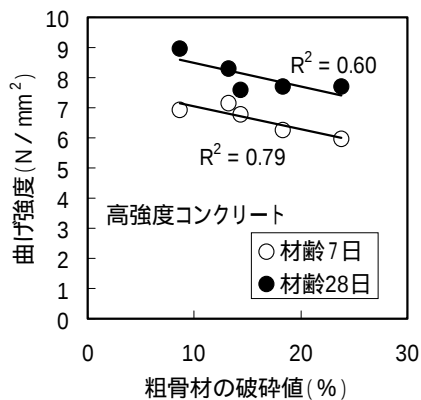


図-3 粗骨材の破砕値と曲げ強度の関係 (高強度コンクリート)

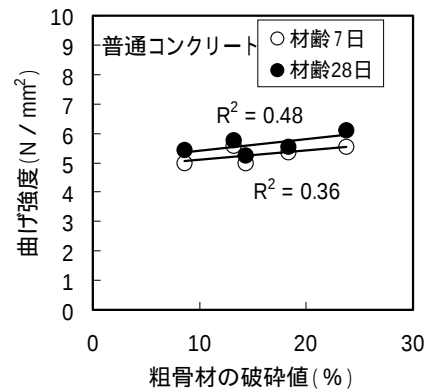


図-4 粗骨材の破砕値と曲げ強度の関係 (普通コンクリート)

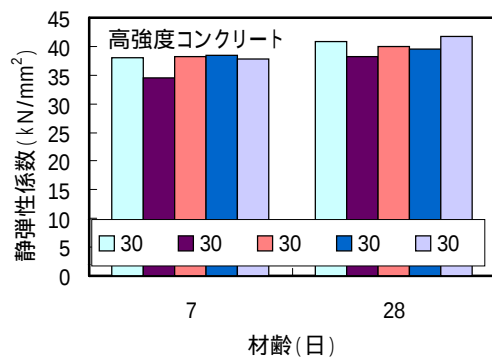


図-5 高強度コンクリートの静弾性係数

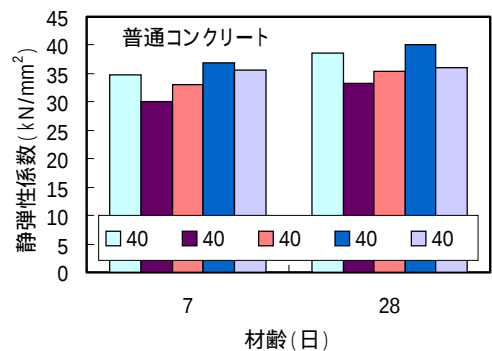


図-6 普通コンクリートの静弾性係数

ただし詳細に見ると硬質砂岩で破砕値が比較的大きいもの (粗骨材 G2) では破砕値が小さい硬質砂岩の場合に比べてやや静弾性係数が小さくなる傾向が認められた。また、一般に石灰石骨材を用いたコンクリートは、他の岩種の骨材を用いたコンクリートに比べて静弾性係数が大きくなると言われている^{1) 2) 3)}が、本研究では顕著な差は認められなかった。

c) 乾燥収縮

図-7 に、W/C30%の高強度コンクリートについて同一配合条件下で使用する粗骨材を変化させた場合 (粗骨

材；硬質砂岩 (30) 石灰石 (30) 石灰石と硬質砂岩の等量混合 (30)) の乾燥収縮試験結果を示した。併せて、W/C40%の普通コンクリートについて粗骨材として石灰石と硬質砂岩を等量混合したものを用いた場合 (40) についても比較した。

乾燥収縮ひずみは、使用する粗骨材の岩種や W/C によって異なり、同一 W/C では石灰石粗骨材を全量用いた場合 < 石灰石粗骨材を半量用いた場合 < 硬質砂岩を用いた場合の順となった。また、同一粗骨材を使用した場合高強度コンクリートの方が普通コンクリートに比べて乾燥収縮ひずみが小さくなった。

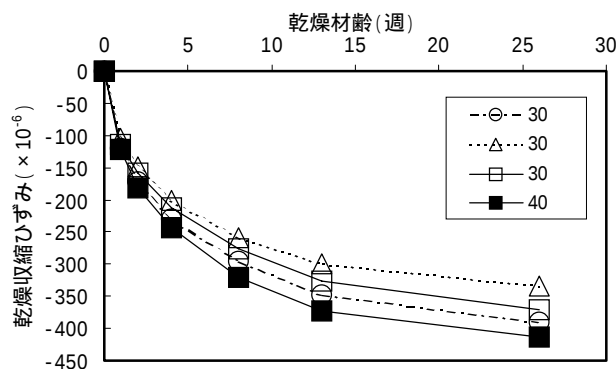


図-7 乾燥収縮試験結果

石灰石を用いるとコンクリートの乾燥収縮ひずみが小さくなることは知られている¹⁾²⁾が、本研究においても、石灰石を単独または混合して用いることにより、乾燥収縮ひずみは小さい値となっており、高強度コンクリートにおいてもその効果が現れていた。

以上より、高強度コンクリートおよび石灰石骨材の使用は、乾燥収縮を低減する点では有効であると考えられる。

4. 使用材料がフレッシュ性状に及ぼす影響

フレッシュコンクリート（一部フレッシュモルタル）の性質に影響を及ぼす要因として、単位水量、細骨材、粗骨材を取り上げ、それらについて検討した。

(1) 単位水量の影響

使用材料が同一で、単位水量が変化した場合のスランブ、空気量および沈下度への影響について示した。

a) 配合、試験項目および方法

コンクリートの配合は、表-6 に示す通りである。

W/C は 30% とし、目標スランブを $6 \pm 1.0\text{cm}$ とした。そのため、高性能 AE 減水剤使用量は単位水量が少ないほど多くなっている。また、空気量が $4.5 \pm 0.5\%$ となるように空気量調整剤を用いて調整した。

試験項目および方法は、表-7 に示す通りである。それぞれ練上がり直後から 90 分後までの経時変化を測定した。

b) 試験結果および考察

図-8~図-10 に、スランブ、空気量および沈下度の経時変化を示した。

スランブは、いずれの配合においても、練上がり直後から 30 分にかけて増加した後低下する傾向を示し、空気量は、いずれの配合においても、練上がり直後から 90 分にかけて 1~2% 程度低下する傾向を示した。また、いずれも配合間による顕著な差は認められなかった。なお、

表-6 単位水量の影響を検討したコンクリートの配合

配合	W/C	V _G	単位量(kg/m ³)		Ad	使用材料		
			W	C		S	G	Ad
W115	30	0.70	115	383	2.0	S0	G6	SP1
W120			120	400	1.8			
W125			125	417	1.6			

表-7 試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランブ試験	JIS A 1101 に準拠
空気量試験	JIS A 1128 に準拠
沈下度試験	JSCE-F 501 に準拠

練上がり後 30 分でのスランブの増大は、使用した高性能 AE 減水剤 SP1 のスランブ保持性能が有効に作用した結果と考えられるが、この傾向は配合条件や使用する混和剤によっても異なるものと考えられる。

一方、沈下度は、配合間で顕著な差が認められ、練上がり 30 分後および 90 分後ともに、単位水量が多い方が小さくなる傾向を示した。特に、練上がり 90 分後の沈下度は、その時点のスランブが同等にもかかわらず、大きな差異が認められた。

以上より、良好な施工性を有するコンクリートを得るためには、高性能 AE 減水剤の添加量を増やし単位水量を低減するだけでなく、ある程度の単位水量を確保することによって所要のスランブを得る方が良いと考えられる。

(2) 細骨材の影響

材料と配合は同一であるが、細骨材の物性が変化した場合にコンクリートのフレッシュ性状へ及ぼす影響について示した。なお、コンクリート試験に先立ち、モルタルによる検討を行なった。

a) モルタルの性状に及ぼす影響

細骨材としては、同一の山砂ではあるが、洗浄回数を変えることにより粒度、特に微粒分量を変えたものを用いて、それがモルタルのフレッシュ性状に及ぼす影響を検討した。

i) 配合、試験項目および方法

モルタルの配合条件は、W/C = 0.3、S/C = 1.64 とした。モルタルの練混ぜは、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に従って行った。このとき、モルタルスランブが $5 \pm 1\text{cm}$ となるように、高性能 AE 減水剤で調整した。また、空気量は、 $8.0 \pm 1.0\%$ （コンクリート 1 m³ 当りの空気量 $4.5 \pm 0.5\%$ をそのコンクリートから粗骨材を取り除いたモルタル中の空気量に換算した値に相当する）となるよう空気量調整剤で調整した。

スランブの測定にはミニスランブコーン（形状はコン

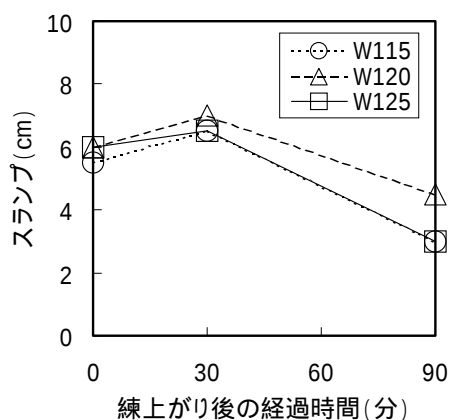


図-8 スランプの経時変化

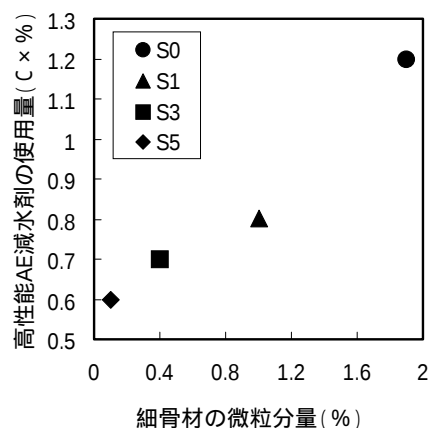


図-11 細骨材の微粒分量の影響

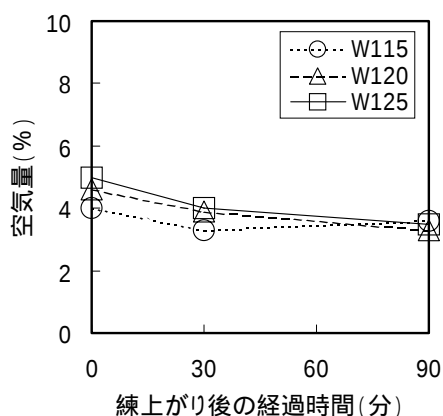


図-9 空気量の経時変化

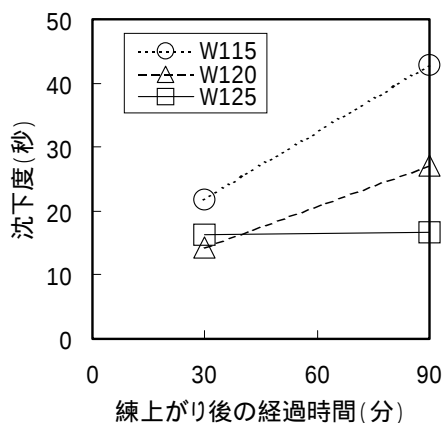


図-10 沈下度の経時変化

表-8 細骨材種類と高性能 AE 減水剤使用量の関係

細骨材	微粒分量 (%)	減水剤使用量 (C × %)	スランプ (cm)
S0	1.9	1.2	5.5
S1	1.0	0.8	
S3	0.4	0.7	
S5	0.1	0.6	

クリート用スランブコーンと同じで、高さを 12cm としたものを)を用いた。また、空気量の測定には、空気室圧力方法によるモルタル用空気量測定器を用いた。

）試験結果および考察

粒度および微粒分量 (0.075mm ふるい通過量) の異なる細骨材を用いた場合の、同一モルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤の使用量を表-8 に、それら細骨材の微粒分量と同一モルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤使用量の関係を図-11 に示した。

所要のモルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤の使用量は、表-8 に示すように、使用する細骨材によって大きく異なった (表-1 参照)。特に S0 と S1 を比較すると、5 ~ 0.15mm の各ふるい通過量が同じにもかかわらず、所要のモルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤使用量が大きく異なった。この 2 つの細骨材は微粒分量のみが異なっていることから、細骨材の微粒分量が所要のモルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤使用量に大きく影響していると考えられる。

また、上記の結果に加え、図-11 に示すように細骨材の微粒分量と高性能 AE 減水剤使用量との間にはほぼ直線関係が認められた。

以上のように、細骨材の性質がモルタルの性状に及ぼす影響は大きく、所要のモルタルスランブを得るために必要となる高性能 AE 減水剤使用量も異なることが判明した。また、所要のモルタルスランブを得るための高性能 AE 減水剤使用量は、特に細骨材の微粒分量に大きく影響されることが判明した。

b) コンクリートの性状に及ぼす影響

細骨材の岩種を 2 種類とし、それぞれについて高性能 AE 減水剤を変化させて製造したコンクリートのフレッシュ性状について検討した。

i) 配合、試験項目および方法

コンクリートの配合は、表-9 に示す通りである。

表-9 細骨材の影響を検討したコンクリートの配合

配合 記号	W/C (%)	V _G (m³/m³)	単位量(kg/m³)		Ad (C × %)	使用材料		
			W	C		S	G	Ad
S0-1.6	30	0.70	125	417	1.6	S0	G5	SP1
S0-1.7					1.7			
S0-1.8					1.8			
SKA-0.8					0.8	SKA		
SKA-1.1					1.1			
SKA-1.25					1.25			
SKA-1.4					1.4			

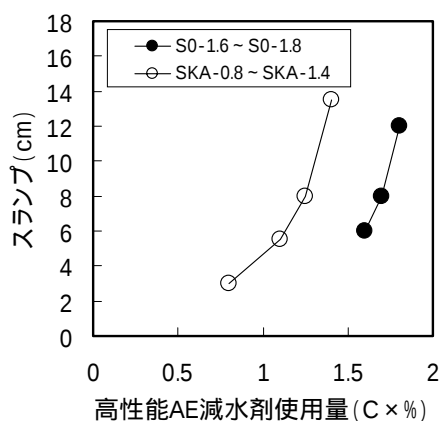


図-12 高性能AE 減水剤使用量とスランプ

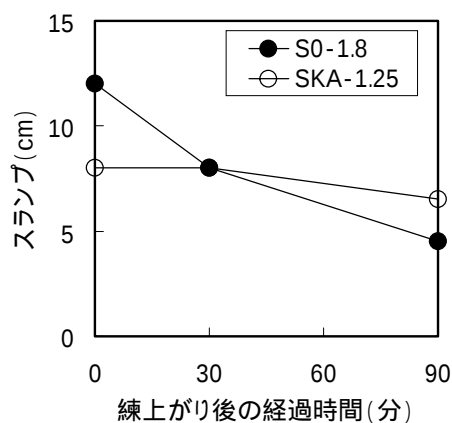


図-13 スランプの経時変化

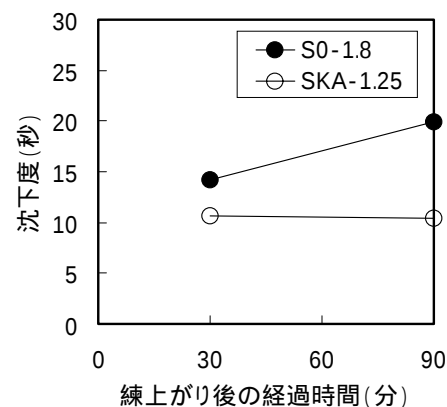


図-14 沈下度の経時変化

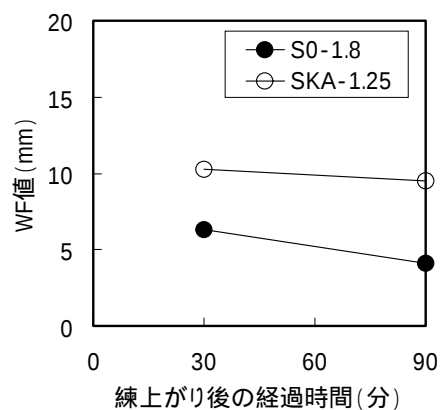


図-15 WF 値の経時変化

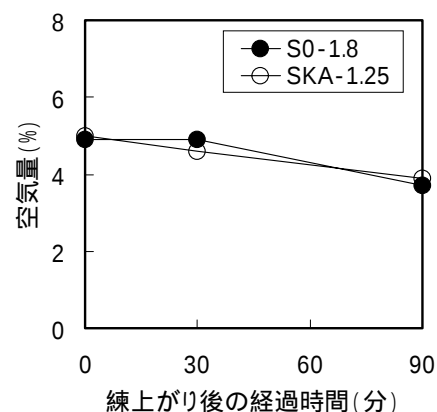


図-16 空気量の経時変化

表-10 粗骨材の影響を検討したコンクリートの配合

配合 記号	W/C (%)	V _G (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)		Ad (C×%)	使用材料		
			W	C		S	G	Ad
30	30	0.70	135	450	1.0	SKI	G1	SP3
30							G2	
30							G3	
30					0.6		G4	

表-11 フレッシュコンクリートの試験結果

配合記号	Ad (C×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)
30	1.0	7.0	4.0
30		7.0	4.7
30		7.5	4.0
30	0.6	6.5	5.0

W/C は30%とし、空気量が4.5±0.5%となるように空気量調整剤で調整した。

試験項目は、スランプ試験、空気量試験、沈下度試験および振動ワーカビリティ試験^{4) 5)}である。

なお、振動ワーカビリティ試験とは、円筒型枠に打

設したコンクリートの上部から振動を与えた場合のモルタルの浮きを WF 値 (mm) として求め、フィニッシャビリティを評価するものである。WF 値が大きいコンクリートは、フィニッシャによるモルタルの浮きが生じやすく、表面仕上げが容易となるという考えのもと、配合の検討を行った。

）試験結果および考察

図-12 に、配合条件が同一であっても使用する細骨材が異なる場合の、コンクリートのスランプと高性能 AE 減水剤使用量との関係を示した。

所要のスランプを得るための高性能 AE 減水剤の使用量は、使用する細骨材によって大きく異なる傾向を示した。これは、a) で示したモルタル実験の結果と同様、使用した細骨材の粒度、特に微粒分量が大きく異なっていることが原因であるものと考えられる (表-1 参照)。

次に、図-13、図-14 および図-15 に、これら粒度の異なる 2 種類の細骨材を使用したコンクリートについてのスランプ、沈下度および WF 値の経時変化を示した。両コンクリートにおける高性能 AE 減水剤使用量として、ここでは、練混ぜ 30 分後のスランプが等しくなるものを選択した (S0-1.8 と SKA-1.25)。

図-13 から、細骨材が S0 の場合は、SKA に比べて、練上がり直後のスランプが大きいにもかかわらず、その経時変化が大きいいため、90 分後には逆転してスランプが小さくなった。このように使用する細骨材の違いによってフレッシュ性状の経時変化が異なる状況は沈下度ならびに WF 値においても明らかであり、細骨材としては SKA を用いた方が施工性、特に現場での施工性の点からみて有利であることが認められる。なお、練混ぜ後 30 分においては、両コンクリートのスランプが同一であるにもかかわらず、沈下度および WF 値には有意な差が認められた。

このほか、空気量の経時変化については配合間の差異が認められなかった (図-16)。

以上から、高強度コンクリートを使用する場合、その現場における施工性を良好に保つためには、微粒分量の少ない細骨材を使用することが有効であるとまとめられる。

(3) 粗骨材の影響

粗骨材の岩種が変化した場合のコンクリートのフレッシュ性状について検討した。

a) 配合、試験項目および方法

コンクリートの配合は、表-10 に示す通りである。

W/C は 30% とし、目標スランプを $8 \pm 1.5\text{cm}$ とした。また、空気量が $4.5 \pm 0.5\%$ となるように空気量調整剤で調整し、いずれの配合も凝結遅延剤を $C \times 0.3\%$ 添加した。

試験項目は、スランプ試験ならびに空気量試験である。



写真-1 ミニフィニッシャによる施工性評価試験

b) 試験結果および考察

表-11 に各配合の高性能 AE 減水剤使用量とスランプとの関係を示した。

粗骨材の岩種が変化した場合、所要のスランプを得るための高性能 AE 減水剤使用量はほとんど変化しなかった。ただし、粗骨材に石灰石を使用した場合は、所要のスランプを得るための高性能 AE 減水剤使用量を若干減ずることが可能となった。

以上より、使用する粗骨材の岩種が施工性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

5. 施工性に関する評価試験

以上のような施工性への影響要因を踏まえながら、現行の設計基準曲げ強度 (5N/mm^2) 以上の曲げ強度を持ち、現行の施工機械編成により現場施工が可能であるコンクリート配合を検討した。なお、この場合、次期検討課題として取り上げてある試験施工を視野に入れながら実施している。

そして、空港舗装に適用可能な高強度コンクリートの配合を、実際の舗装工事で使用されるコンクリートフィニッシャと同一機能を有し、小型化した装置 (ミニフィニッシャと称す) を用いた施工性評価試験に基づいて最終決定した。

(1) 試験方法

ミニフィニッシャによる試験⁴⁾では、写真-1に示すように幅 1.6m、長さ 1m、厚さ 150mm の型枠内にコンクリートを敷き均し、コンクリートフィニッシャの振動体でコンクリートを締固めた後、フィニッシングスクリードによりコンクリート表面を仕上げた。コンクリートの練上がりからミニフィニッシャによる試験までは 90 分の間隔をあけた。これは、コンクリートプラントからのコンクリート出荷から施工場所到着までの時間を 30 分、それから仕上げ工程開始までの時間を 60 分と想定した

表-12 施工性評価試験に用いたコンクリートの配合および試験結果

項目		No.						
		1	2	3	4	5	6	7
粗骨材		G6			G5			
細骨材		S0		SKA	SKI			
フィニッシュ速度 (cm/分)		80				50		
水セメント比 (%)		30						
単位水量		115	125		135			
単位粗骨材容積		0.76	0.70		0.76	0.70		
高性能	種類	SP1			SP2		SP3	
AE 減水剤	添加量 (C×%)	2.0	1.8	1.25	0.5	0.6	0.625	0.8
凝結遅延剤 (C×%)		-	-	-	-	-	0.3	0.3
スランプ (cm) (直後/30分後/90分後)		7.5/6.5/3.5	12.0/8.0/4.5	8.0/8.0/6.5	6.5/2.5/1.0	8.5/3.5/1.5	7/3.5/1.5	13.0/8.0/4.0
空気量 (%) (直後/30分後/90分後)		4.9/3.9/3.3	4.9/4.9/3.7	5.0/4.6/3.9	4.4/3.1/2.6	4.3/2.8/2.6	5.4/3.0/2.7	5.3/3.4/2.5
WF 値 (mm, 90分後)		3.3	4.1	9.1	4.1	<2.3	<2.3	2.9
駆動シャフトの軸力 (kN)		3.5	2.5	2.3	4.1	3.1	2.8	2.2
目視評価		×	×	×			○	○

からである。前者の場合は敷き均したコンクリートをビニールで覆い、後者の場合は日射と風を人工的に与える処置を施した（投光機と扇風機使用）。

施工性試験の評価は、フィニッシングスクリードの駆動シャフトの軸力を測定し、これに基づいて定量的に行った。このほか、仕上げ作業時ならびに完了後のコンクリートの表面状態を観察することによっても行った。また、練り上がったコンクリートを適量確保しておき、製造直後、30分後、90分後にスランプと空気量を測定するとともに、90分後にはWF値を測定した。

(2) 試験結果

この施工性評価試験には表-12に示す7種類の配合のコンクリートを使用した。これらの配合において粗骨材最大寸法40mmと水セメント比30%は共通している。

試験の当初は単位水量を115～125kg/m³としていたが、コンクリートの粘性が非常に高く、ミニフィニッシュによる試験では、60分間の日射・送風により、敷き均したコンクリート表面が乾燥・硬化してしまい、フィニッシュによって振動を与えても十分なモルタル分が表面まで浮き上がってくることはなく、結果としてフィニッシングスクリードによる仕上げが十分に行えなかった。

そのため、試験途中から単位水量を135kg/m³まで増加させた。このほか、高性能AE減水剤の種類ならびに添加量については、より減水性能が高く、練上がり時に所定のスランプ・空気量が得られるように各配合で変えている。また、骨材の種類ならびにその量については、この後に続く試験施工を行う予定の地域の骨材事情を考えるとともに、上述の室内試験により得られた知見を

反映させるべく、一連の試験の中で変更している。さらに、フィニッシュの走行速度も、試験施工を前提として、より仕上がりがよくなるよう80cm/分から50cm/分へと変更している。

各配合の評価結果として、表-12にスランプ、空気量、WF値、駆動シャフトの軸力ならびに目視評価について示した。図-17にはフィニッシングスクリードの駆動シャフトの軸力に基づく仕上げ性能評価結果を示した。この駆動シャフトの軸力と仕上げ性能との間には直線関係があり、軸力が小さいほど仕上げ性能が良いことが、過去の実績から確かめられている。

いずれのコンクリートも従来のコンクリートに比べて粘性が高いために、駆動シャフトの軸力による仕上げ性能評価は全体的に低かったが、概ね仕上げ性能が改善されていく様子が認められた。No.5の配合では、その評価ならびに目視評価によって適切であるとの見通しが得られた。さらに、これに凝結遅延剤を加えることにより、練上がり90分後でも表面仕上げがより十分に行える配合を得ることができた。これがスランプ8cmを目標としたNo.6であり、予め確認した上でダンブトラックによる運搬の可能な限り、スランプを増大させたものがNo.7である。

(3) 最適配合の決定

最終的に決定したコンクリートの配合(No.6とNo.7)を表-13に、この配合によるフレッシュ性状の経時変化を表-14に示す。なお、この配合における曲げ強度は、材齢28日で7.95N/mm²であった。

この高強度コンクリートを使用すれば、現行の普通コンクリート（設計基準曲げ強度5N/mm²）による舗装版

表-13 コンクリートの最適配合

配合	W/C (%)	V _G (m ³ /m ³)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				高性能 AE 減水剤 (C × %)	凝結遅延剤 (C × %)	空気量調整剤 (A)
				W	C	S	G			
No.6	30	0.70	35.5	135	450	627	1176	0.625	0.3	4.5
No.7								0.80		4.0

注) 空気量調整剤 : 1A はセメント 1kg に対して空気量調整剤 1%水溶液を 2cm³ 添加することを意味する

表-14 最適配合コンクリートのフレッシュ性状の経時変化

配合	直後		30 分後		90 分後		WF 値 (mm)
	スランプ (cm)	空気量 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	
No.6	7.0	5.4	3.5	3.0	1.5	2.7	<2.3
No.7	13.0	5.3	8.0	3.4	4.0	2.5	2.9

注) 温度は 22 ~ 23

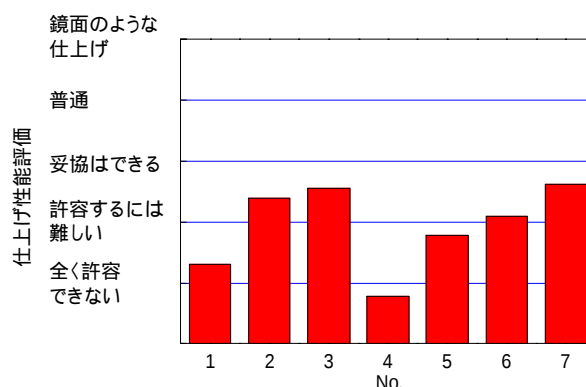


図-17 フィニッシングスクリードによる仕上げ性能評価

厚を 20%程度軽減でき、加えて版厚軽減によって実質上、寸法効果による強度低下も低減できることから、設計曲げ強度を大きくしたコンクリート舗装の実用化が期待できる。なお、本検討では、試験施工を次期検討課題としたことから、施工を予定した地域の骨材事情によって粗骨材に石灰石を使用したため、若干強度面で不利となるコンクリートとなったが、他地域においてはさらに高い強度が期待できるものと考えられる。

6. まとめ

- (1) 高強度コンクリートの曲げ強度は、普通コンクリートと異なり、粗骨材に石灰石を使用した場合が他岩種の骨材を使用した場合に比べて小さくなる。この場合、使用する粗骨材の破砕値と曲げ強度には相関がある。
- (2) 高強度コンクリートの静弾性係数は、普通コンクリートに比べて大きいものの、粗骨材強度の影響は明確でない。
- (3) 高強度コンクリートの乾燥収縮ひずみは、普通コンクリートよりも小さく、また粗骨材として石灰石を用いると小さくなる。
- (4) 高強度コンクリートの場合、材料ならびにスランプが同一であれば、単位水量が多い方が沈下度やその経時低下が小さい。
- (5) 細骨材は高強度コンクリートのフレッシュ性状に大きく影響し、結果として所要のスランプを得るために必要となる高性能 AE 減水剤使用量が違ってくる。この場合、特に細骨材の微粒分量の影響

が大きい。

- (6) 使用する粗骨材の岩種が変化しても、高強度コンクリートのフレッシュ性状はほとんど変化しない。
- (7) 小型の施工機械（ミニフィニッシャ）を用いることによって、実施工における施工性が良好な高強度コンクリートの最適配合を見出した。

7. おわりに

空港コンクリート舗装を対象とした高強度コンクリートの配合設計上の幾つかの留意点が明らかとなった。すなわち、従来の空港コンクリート舗装の場合と高強度コンクリートの場合とでは、使用する材料によってコンクリートの性状が大きく異なることが判明した。高強度コンクリートの施工においては特に、設計段階から細骨材、粗骨材や混和剤の選定を十分吟味することが必要であると考えられる。

この基礎的検討に基づいて、小型施工機械を用いた施工性評価試験を実施することにより、空港への適用を考えた場合の高強度コンクリートの最適配合を見出すことができた。今後は、実際の自然条件下における試験施工を行うことによって実務への適用性を検証していく必要があると考えている。

なお、本研究は、(社)セメント協会(コンクリート専門委員会、委員長：榎木 隆)、国土交通省国土技術政策総合研究所、新東京国際空港公団の共同研究の成果の一部を取りまとめたものである。本研究に携われた小野義徳氏および松永篤氏(元コンクリート専門委員会委

員長)ならびに委員各位、実験実施にあたってご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表す次第であります。

参考文献

- 1) 大塩 明、松井 淳、小早川浩一：石灰石を用いたコンクリートの基礎的実験、第44回セメント技術大会講演集、pp.152～157、1990年
- 2) 社団法人セメント協会：石灰石骨材コンクリートに関する研究、コンクリート専門委員会報告 F-46、1992年
- 3) (財)国土開発技術研究センター：高性能 AE 減水剤を用いた高強度コンクリートの諸性質、建設省総合技術開発プロジェクト 鉄筋コンクリート造

建築物の超軽量・超高層化技術の開発「平成4年度高強度コンクリート分科会報告書」, pp.4-4-1～4-4-13、1993年3月

- 4) 喜渡基弘、久川裕史、亀田昭一：完全付着オーバーレイ工法による既設エプロン舗装の改修、セメント・コンクリート No.635、pp.21～33、2000年
- 5) 渡辺 昇：ワーカビリティ測定の一つの試み、セメント・コンクリート No.172、pp.8～11、1961年

MIX DESIGN OF HIGH-STRENGTH CONCRETE FOR AIRPORT CONCRETE PAVEMENTS

Kenichi SASAKI, Yoshitaka HACHIYA, Yukitomo TSUBOKAWA,

Shoichi KAMETA and Takashi TOCHIGI

In airport pavements, Portland cement concrete with 5N/mm² of flexural strength is generally used, whereas that with higher strength is seldom adopted. To show the applicability of high-strength concrete to airport pavements, some factors necessary for mix design are studied and mix proportion is investigated. First, it is found from the basic researches that large-sized aggregates should be properly selected to obtain high-strength concrete, and both an amount of water and fine aggregates should be rightly selected. Then, the optimum mix proportion for high-strength concrete is determined, based on the laboratory tests using small-sized equipment.