

論文

[1218] 転圧コンクリートの締固め特性の改善に及ぼす分級フライアッシュの混入効果

寺野 宜成*¹・福手 勤*²・三浦幸治*³・石井光裕*⁴

1. はじめに

近年、転圧コンクリート舗装 (Roller Compacted Concrete Pavement、以下、RCCPとする) が注目されているが、締固めと平坦性の観点から一層施工による版厚が最大25cm程度と制限されている。このため、空港・港湾などの重荷重を対象とした舗装では上下二層による施工が必要な場合があった。このことがRCCPを重荷重を対象とした舗装に適用していく上で大きな欠点となっており、空港・港湾舗装へのRCCPの普及、発展の妨げとなっている。

一方、一般のコンクリートにおいて、コンシステンシーの改善効果や耐久性の向上の効果をもつ混和材として、フライアッシュを分級することにより品質が均一となり、コンクリート中に混入した場合の強度発現性が良い分級フライアッシュ (Classified Fly Ash、以下、CFAとする) がある [1]。このCFAをRCCP用のコンクリート材料として用いることにより、締固め性の向上、一層施工厚さの増大の可能性の検討を行った。

本研究では、空港・港湾舗装へのRCCPの適用を目的とし、CFAを混入した転圧コンクリートを用いて、まず締固め性試験 (Compactibility Test) [2] により締固めエネルギーと充填率との関係からコンクリートの締固め特性を明瞭にし、CFA混入による締固めエネルギーの変化および締固め性の改善効果を確認する。さらに、実際に試験舗装を施工し、CFAの混入の効果を確認、一層で締固め可能な舗装版厚の増大について検討するものである。

2. 室内試験に用いた材料と試験方法

2.1 使用材料

本実験では普通ポルトランドセメント (OPC) を用い、細骨材には千葉県君津産の山砂 (比重: 2.58、F.M.=2.64) 粗骨材には山口県美祢産の一般コンクリート用に用いられている石灰石 (比重: 2.70、F.M.=6.60) を使用した。表-1 にセメントおよび分級フライアッシュの化学的、物理的性質を示す。

表-1 セメントおよび分級フライアッシュの物理的、化学的性質

	比重	ブレン値 (cm ² /g)	ig.loss	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl	メチレンブルー 吸着量 (mg/g)	圧縮強度比 (材齢28日)
OPC	3.16	3240	1.5	1.6	2.1	0.65	0.007	—	—
CFA	2.36	5400	3.3	1.5	0.0	2.68	—	0.50	90.5%
JIS規格	1.95 以上	2400 以上	5 以下	—	—	—	—	—	60%以上

*1 大阪セメント (株) 研究開発本部中央研究所研究員、工修、(正会員)

*2 運輸省港湾技術研究所構造部材料研究室室長、工博、(正会員)

*3 運輸省第四港湾建設局鹿児島港工事事務所、(正会員)

*4 テクノ・リソース (株) (正会員)

2. 2 室内試験に用いたコンクリートの配合

表-2 に室内試験に用いたコンクリートの配合を示す。

表-2 コンクリートの配合

	CFA 置換率 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
			C	CFA	W	S	G
OPC	0	45	270	0	95	723	1463
+	20		202	51			
CFA	40		143	95			

2. 3 試験方法

a) 振動締固め性試験

転圧コンクリートの締固め性の検討に用いた試験装置は、加振部とコンピュータによるデータ処理部からなっている。そして加振部に固定した円筒形型枠 (φ15×30cm、試料厚20cm) 中の試料の締固めにもなう沈下量から求められる充填率と、振動数の違いを一括して評価できるように式1で計算される締固めエネルギーとの関係を求めるものである。

	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		C	CFA	W	S	G
OPC	45	320	-	90	939	1201
				95	933	1193
				100	931	1190
				105	927	1186
OPC + CFA	45	256	64	82	940	1203
				87	934	1196
				92	929	1187
				97	923	1180

$$E = m \cdot \alpha_{max}^2 \cdot t / 4 \pi n^2 \quad (1)$$

ここに、

E : 締固めエネルギー (J/ℓ)

m : 試料の単位容積質量 (kg/ℓ)

α_{max} : 振動機の最大加速度 (cm/s²)

t : 締固め時間 (s)、 n : 振動数

	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		C	CFA	W	S	G
OPC	45	320	-	97	827	1299
					931	1190
					1034	1082
					1138	974
OPC + CFA	45	256	64	92	824	1295
					927	1187
					1031	1077
					1134	970

b) マーシャル突固め試験

マーシャル突固め試験は、日本道路協会の転圧コンクリート舗装指針 (案) 付録に示されている手順に従って行った。

3. 室内試験の結果および考察

3. 1 分級フライアッシュの置換率と締固めエネルギーの関係

図-1 は振動締固め性試験による締固めエネルギーと充填率の関係を示す。この図は単位水量、骨材量を一定とし、セメントおよびセメント+CFAの容積を一定とした状態、つまり粗骨材粒子の間隔がほぼ等しいような状態で、CFAの置換率を変化させたものであり、置換率の増加に伴い、コンクリートが締固めやすい性状に変わることがわかる。

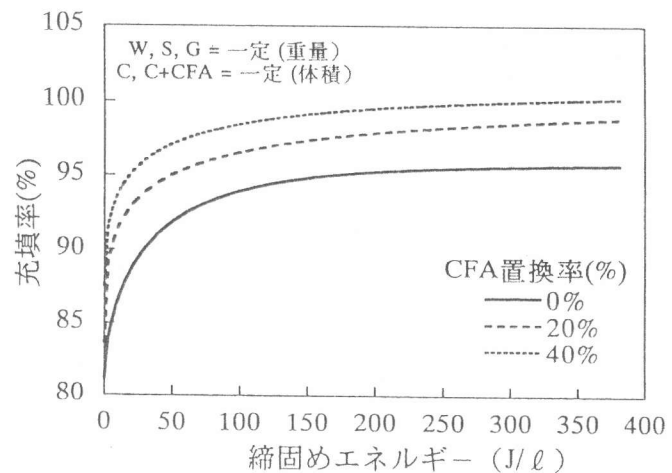


図-2 は、図-1 を CFA 置換率と締固め

図-1 締固めエネルギーと充填率の関係

エネルギーの関係に置き換えたものである
 図中の E_{98} および E_{95} は充填率98%および95%に達するのに必要とされた振動エネルギーの量を示すものである。この図より E_{95} はCFAの置換率に伴って減少することがわかる。また、CFAを混入していないものでは、充填率98%まで締固めることができないが、CFAを混入することによって98%以上の充填率が得られることがわかる。このことは、単位水量や骨材量などを一定とした条件下であることから、CFAを混入することによる締固め性の向上、すなわち、球形のCFA粒子の持つボールベアリン効果により、必要締固めエネルギーが減少し、転圧コンクリートの締固め性が向上、改善されたことを明確に示したものである。

3.2 分級フライアッシュ混入による単位水量の低減効果と締固め特性の改善効果

図-3は細骨材率を45%一定として、CFAを混入したものと普通セメント単味のものとの単位水量とマーシャル充填率の関係を示したものである。この図において、二本の近似された直線を比較するとCFAを混入したもののほうが傾きが小さい。このことは水量の変動に対しての充填率の変化は小さく、品質管理の面で有効であることを示している。

図-4は、図-3に用いたコンクリートの単位水量と各振動エネルギー量での充填率を示したものである。図-4により、CFAの混入により充填率のピークを得る単位水量は減少することがわかる。このことは、コンクリート版自体の耐久性上有利であると思われる。また、マーシャル試験法で与えるエネルギー量は約 $1075\text{J}/\text{m}^3$ であり、図中の破線で表すように振動締固め性試験の結果とほぼ等しくなるが、水量の少ない配合では差異が見られる。これは水

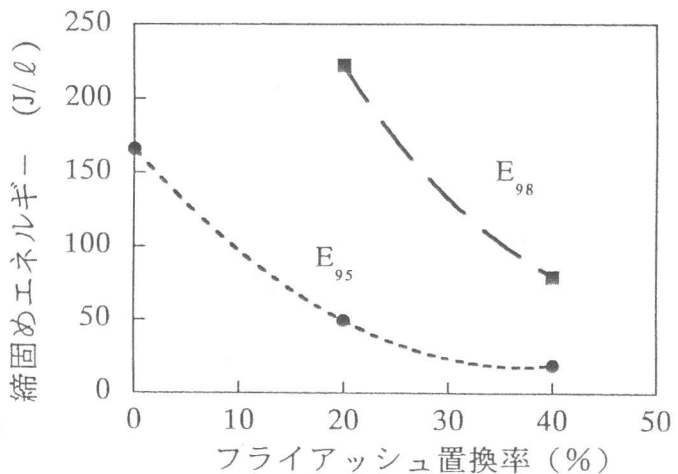


図-2 置換率と締固めエネルギーの関係

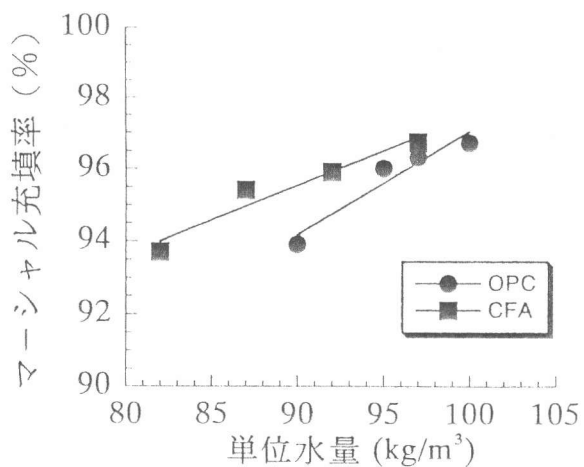


図-3 単位水量とマーシャル充填率の関係

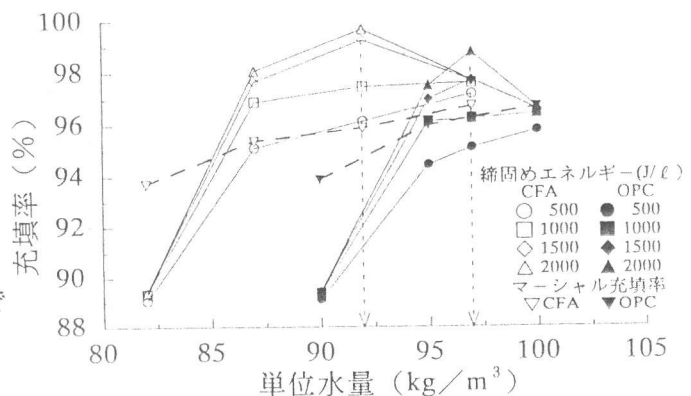


図-4 単位水量と充填率の関係

量の少ない状態では突固めによって骨材が破碎して充填率が上昇しているためと思われる。このようにマーシャル試験法より大きいエネルギーを与えることによって明確に最適な単位水量を決定できることがわかる。

3. 3 分級フライアッシュの混入と細骨材率

図-5は、各エネルギー量における細骨材率と充填率の関係を示したものである。

この図よりCFAを混入することによって最適締固め性能を得る細骨材率を増加させることが可能であることがわかる。これは、細骨材率を増加させると微細な空隙が増加するが、CFAを混入することによりその空隙がCFA粒子によって充填され、細骨材率をあげても最終充填率が低下しないためと考えられる。

一方、加形ら[3]の研究によると、細骨材率を増加することによって、施工されたRCCP版の上層と下層の充填率の差は減少することがわかっており、重荷重を対象とした大きい版厚を必要とする舗装では、細骨材率はできるだけ施工性を損なわない程度に大きくすることが望ましいと考えられる。そのような理由からCFAをRCCPに用いてより大きい細骨材率の配合で施工を行うことが、一層施工可能な版厚の増大につながるものと考えられる。また、振動締固め性試験の結果と比較してマーシャル充填率の変動は小さく、特に細骨材が多くなるにしたがってその差は顕著になる。このことは突固めと振動という締固め方法の違いによるものと思われるが詳細については今後の検討課題である。

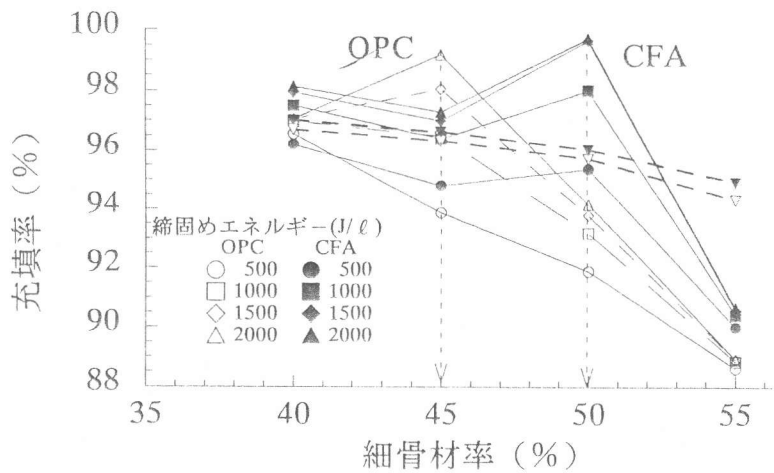


図-5 細骨材率と充填率の関係

4. 試験舗装

4. 1 概要

室内試験によりCFAを転圧コンクリートに混入する効果が明らかになった。このことから実際の施工におけるCFAの混入の効果、すなわち締固め特性の改善効果および水量低減効果について確認するために、総延長120m、幅3m、版厚25、30cmに変化させて試験舗装を施工した。

4. 2 試験舗装に用いたコンクリートの配合

コンクリートの配合は普通セメント単味で曲げ強度63kgf/cm² (材令28日、設計基準曲げ強度50kgf/cm²)を満足するものとし、CFAを混入したのもも水結合材比を同じとした。また、コンシステンシーの評価は従来通りのマーシャル突固め試験を用い、細骨材率を40%一定、充填率96±1%となるように配合設計を行った。コンクリートの示方配合を表-3に示す。

表-3 コンクリートの配合

	細骨材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
		w	C	CFA	S	G
OPC	40	109	290	—	819	1260
OPC+CFA	40	105	223	56	819	1262

4. 3 試験方法

(a)ビデオ測定による移動計測

フィニッシャー敷き均し後、型枠の一部をはずしてコンクリート版の側面からマークを打ち込み、その後透明アクリル板を代わりにはめ込んだ。振動ローラ通過時のマークの移動を側面からビデオカメラで撮影した後、変形挙動を分析した。

(b)切り取り供試体の曲げ強度試験

深さ方向に7.5、22.5cmの部分に10×10×40cmの曲げ強度試験用供試体を切り取り、材齢7日および28日で曲げ強度試験を行った。

4. 4 試験結果

(a)移動計測結果

図-6および図-7に振動ローラの通過回数（前輪および後輪をそれぞれ1回と数え、初めの4回までは無振状態の通過）とマークの垂直方向の変位を示す。この図よりCFAを混入したコンクリートでは垂直方向の変位が大きく、CFAを用いると締固めエネルギーの伝播性が高まり、より締固まりやすい、すなわち応答挙動が良くなることわかる。

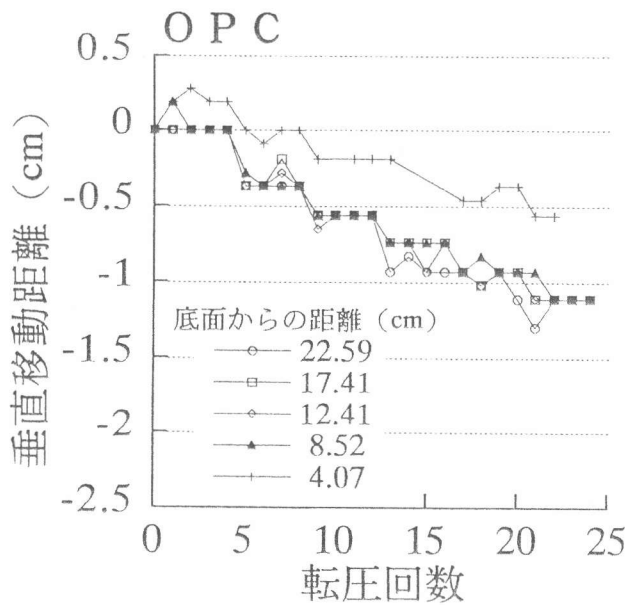


図-6 垂直変位 (OPC)

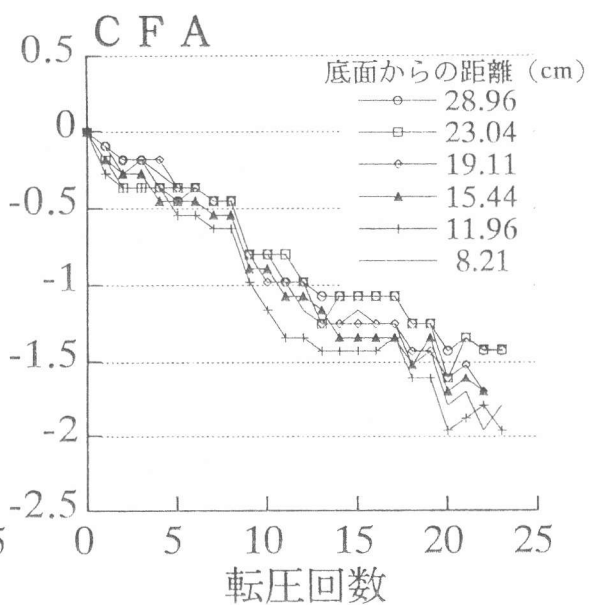


図-7 垂直変位 (CFA)

(b)曲げ強度試験結果

図-8に曲げ強度試験結果を示す。図より、下層部分の強度低下はみられなく、全ての値は設計基準強度を超えており、十分な強度発現性状を確認できたといえる。

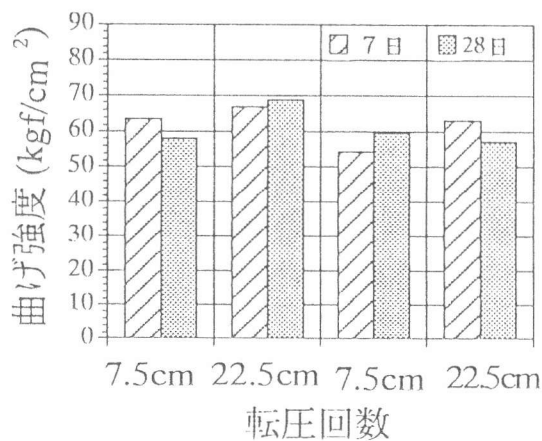


図-8 曲げ強度試験結果

5. 結論

転圧コンクリートの締固め特性の改善に対して分級フライアッシュの混入の効果、振動締固め試験機による一連の室内試験および試験舗装を行うことにより検討した結果、次のようなことがわかった。

室内試験の結果より

- (1) C F Aを混入することにより、適切な充填率を得るのに必要な振動エネルギーが大幅に減少され、締固め特性が改善されることが確認できた。
- (2) C F Aを混入することにより同じ締固め性能を得るための単位水量が減少できる。
- (3) C F Aを混入することにより、混入しないものと比較して細骨材率の大きい配合が可能となる。このことは、上層と下層の充填率の差を減少させ、一層施工可能な版厚を増大できる可能性があることを示している。

試験舗装の結果より

- (1) C F Aを混入することによって、振動に対する応答挙動がよくなる。
- (2) 30 cm版厚施工の下層部分でも十分な強度発現性を示しており、25 cmを超える版厚を一層施工できる可能性が認められた。

以上の結果より、C F Aを用いることにより25 cmを超える版厚が一層により施工可能であることが明かとなった。今後、より厚い版厚や出来形についても確認していくつもりである。

最後に、本研究において御指導、御協力頂いた東京都立大学 國府 勝郎教授および上野 敦助手、白鳥氏に深謝いたします。

[参考文献]

- 1) 浮田和明, 石井光裕, 重松和男, 野尻陽一: 分級フライアッシュを混入したコンクリートの基礎物性, コンクリート工学年次論文報告集, 第10回, pp. 1~6, 1988
- 2) Kokubu K, Ueno A, and Kondoh T: STUDIES ON COMPACTIBILITY AND ITS TEST METHOD OF EXTREMELY DRY CONCRETE USED FOR ROLLER COMPACTED CONCRETE PAVEMENTS, Fifth International Conference on Pavement Design and Rehabilitation, Vol.2, pp. 271-280, 1993
- 3) 加形 護, 瀧上 学, 坂田廣介: 舗装用転圧コンクリートの配合設計法に関する一検討, セメント技術大会講演集, 第43回, pp. 812~817, 1989