RCCP 用コンクリートの配合およびワーカ ビリティ特性に及ぼす各種混和剤の効果

加 賀 谷 誠* 徳 田 弘*
因 幡 芳 樹** 國 分 修 一***

Effect of Various Chemical Admixtures on Characteristics of Mixture Proportion and Workability of Roller Compacted Concrete for Pavement

by

Makoto KAGAYA*, Hiroshi TOKUDA*, Yoshiki INABA**

and Shuichi KOKUBUN***

In this report, air-entraining, high-range water reducing admixture A, water reducing agent for extremely stiff consistency concrete B, admixture B with viscosity increasing admixture C and normal water reducing agent D were used and each one was added to the concrete for roller compacted pavement having the water cement ratio of 0.37. In order to compare the effect of each admixture on the mixture proportion and workability of concrete, the unit water content and sand percentage were varied and vibrating compaction value measured by a Swedish-type Vebe apparatus, compaction ratio, surface vibrating compaction time to get a fully compacted state and segregation degree taken place by falling were determined. The conclusions were as follows;

(1) In the case of a constant unit water content, the minimum vibrating compaction value, minimum surface vibrating compaction time and maximum compaction ratio were obtained at a sand percentage for each admixture but the segregation degree became maximum. This phenomenon was closely related to the fluidity and viscosity of mortar component and mixture proportion such as the ratio of mortar content to coarse aggregate content.

(2) In the case of a constant vibrating compaction value and maximum compaction ratio, the sand percentage was least by adding admixture B and the unit water content was least by adding A or C, and the surface vibrating compaction time was least by adding admixture D and the segregation degree was least by adding A or C, respectively.

(3) It can be thought that admixture B is effective to improve the abrasion resistance and A or C is of use to reduce the unit cement content and segregation degree. An admixture with viscosity increasing admixture is more effective to reduce the segregation degree.

Key words : Roller compacted concrete pavement, Mixture proportion, Chemical admixture, Compaction ratio, Segregation degree, Workability

1 緒 論

RCCP 用コンクリートは、単位水量を著しく減らした超硬練りコンクリートであるため、配合設計においては、容易に所要の締固め度が得られること、材料分離に対する抵抗性をもつことなどが配慮されなければならない。たとえば、豊福らは、この種のコンクリートの配合¹⁾について、所要の強度を満足するものであっても、必ずしも最適なワーカビリティを与えるものではないこと、また、中原らは、通常の細骨材率の範囲においては、粗骨材の材料分離程度は問題になるほど大きくならないことを報告している。しかし、締固めの容易さや材料分離抵抗性と配合の関連性ならびに配合やこのようなワーカビリティ特性に及ぼす化学混和剤の効果について、十

分に検討が加えられていないように思われる。

本研究では、RCCP 用コンクリートの配合およびワーカビリティ特性に及ぼす各種混和剤の効果を明らかにすることを目的とした。この目的のため、高性能 AE 減水剤 A、超硬練りコンクリート用混和剤 B、混和剤 B に増粘剤を添加した超硬練りコンクリート用混和剤 C および AE 減水剤 D を用いた。先ず、通常の配合設計方法に従ってコンクリートの配合を定めることとし、水セメント比と単位水量を一定として、細骨材率を変えた場合の修正 VC 値、締固めの容易さを測定し、さらに、新たに開発した材料分離程度測定装置により材料分離程度を測定して、これらの変化傾向を明らかにした。次に、所要の修正 VC 値が得られるコンクリートの配

† 原稿受付 平成 7 年 2 月 27 日 Received Feb. 27, 1995

* 正 会 員 秋田大学鉱山学部土木環境工学科 〒010 秋田市手形学園町, Dept. of Civil Eng., Akita Univ., Tegata Gakuen-cho, Akita, 010

** 日本製紙(株)コンクリート技術研究所 〒355 東松山市東平1551, Nippon Paper Industries Co. Ltd., Concrete Tech. Lab., Higashidaira Higashimatsuyama, 355

*** 大林道路(株)技術研究所 〒336 浦和市沼影, Obayashi Road Corp. Res. Lab., Numakage, Urawa, 336

Table I. Physical properties of aggregate.

	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	F. M.	Type of aggregate
Fine aggregate	2.55	3.11	1560	2.71	River sand
Coarse aggregate	2.58	2.61	1530	6.60	Crushed stone

Table II. Chemical component and dosage of admixture.

Type of admixture	Principal components	Dosage by cement content (%)
A	Aromatic sulfonic acid condensate Lignin sulfonic acid derivative	1.5
B	Lignin sulfonic acid compound Carboxylic high molecular weight lignin sulfonic acid compound	1.8
C	Lignin sulfonic acid compound, Carboxylic high molecular weight lignin sulfonic acid compound, Acrylic acid ester condensate	1.8
D	Lignin sulfonic acid compound	0.25

Table III. Mixture proportions.

MS (mm)	Range of VC value (sec.)	W/C (%)	Range of s/a (%)	Range of unit content (kg/m ³)		Type of admixture used
				W	C	
20	40~131	37.0	32~48	99~113	268~305	A
	30~107		32~46	99~116	268~314	B
	29~150		34~46	99~110	268~297	C
	38~150		34~50	99~118	268~319	D

合は、単位水量と細骨材率の組合せにより無数に存在するため、そのうちのいくつかについて、細骨材率、単位水量、締固めの容易さならびに材料分離程度を比較し、これら特性に対する混和剤種別の影響ならびにその効果について比較検討を行った。

2 実験概要

2・1 使用材料、コンクリートの配合およびコンシステンシーの測定

普通ポルトランドセメント、川砂および碎石を使用した。骨材の物理的性質を Table I に示す。混和剤として、高性能 AE 減水剤 A、超硬練りコンクリート用混和剤 B、混和剤 B に増粘剤を添加した超硬練りコンクリート用混和剤 C、RCCP 用コンクリートに対して比較的使用頻度の高い AE 減水剤 D を用いた。これらの主成分および使用量（セメント量に対する質量百分率）を Table II に示す。

コンクリートの配合は、水セメント比を 37.0 % の一定とし、締固めの容易さおよび材料分離程度を使用混和剤ごとに比較するため、単位水量および細骨材率を数種類に変えたものとした。また、混和剤量は水量の一部とした。コンクリートの配合を Table III に示す。コンクリートの練混ぜには、容量 50 l の強制練りミキサを使用し、全材料投入後 90 秒間練り混ぜた。

コンクリートのコンシステンシー測定方法として VC 振動締固め試験方法を用い、修正 VC 値および締固め率を測定した。

2・2 締固めの容易さおよび材料分離程度の測定

締固めの容易さを測定するため、断面 10×10 cm、

長さ 40 cm のはり供試体をバイブレーティングタンパ（振動数 50 Hz、質量 15 kg）を用いて製造した。すなわち、供試体体積の 1/2 となるコンクリート試料を計り取り、これを型わくに入れ、その表面に 9.5×39.5 cm、厚さ 4 mm の鋼板を設置した。その後型わく高さのおよそ 1/2 になるまでバイブレーティングタンパを移動させながら、鋼板と型わくせき板の間隙からモルタルの浮き上がりが観察されるまで十分に締固めた。引続き二層目のコンクリートを打込み、同様に締固め、モルタルの浮き上がりが観察されるまでの一層および二層の合計振動時間を供試体 1 個当りの締固め時間とした。供試体製造個数を 3 個とし、これらの平均締固め時間 (T) を求め、これを締固めの容易さの指標とした。

RCCP 用コンクリートの材料分離は、主としてミキサあるいはホッパーからダンプトラックへコンクリートを落下排出するときや、施工現場においてダンプトラックからフィニッシャーへコンクリートを荷おろしするときに発生することが指摘されており、この状態を実験室内で再現するために、Fig. 1 に示す材料分離程度測定装置を試作した。これは、長さ 80 cm の鉛直シュートおよび長さ 80 cm の斜めシュート（斜度 45°）によって構成されている。材料分離程度測定に際し、JIS A1115「まだ固まらないコンクリートの試料採取方法」に準じて試料を 10 kg 採取し、床から高さ 160 cm の位置の試料落下口よりシュートを通して試料を一度に落下させた。試料受け皿に排出された試料を排出方向に対して直角に 2 分割し、排出口側から約 5 kg、これと離れた部分から約 5 kg を分取した。JIS A1112「まだ固まらないコ

Fig. 1. Apparatus for measuring segregation degree.

ンクリートの洗い分析試験方法」に準じて、試料中に含まれる粗骨材量を求め、試料質量との比をそれぞれ CA_1 および CA_2 とし、材料分離程度を次式で評価した。

$$\text{材料分離程度 } S_g(\%) = (CA_2 - CA_1) / CA_0 \times 100$$

上式において、 CA_0 は示方配合における単位粗骨材量とコンクリートの単位容積質量との比を示す。なお、排出口側から採取した試料より得られた CA_1 は、排出口から離れた部分から採取した試料より得られた CA_2 より常に小さい値となった。

3 実験結果および考察

3・1 細骨材率とワーカビリティ特性の関係

水セメント比および単位水量が一定の RCCP 用コンクリートについて細骨材率を変えたときの修正 VC 値、締固め率、表面振動機による締固め時間および材料分離程度の変化傾向を明らかにするため、各種混和剤を用いて実験を行い、一例として、混和剤 B を用いた場合について記述する。

Fig. 2 に細骨材率 (s/a) と修正 VC 値 (VC) および締固め率 (CR) の関係を示す。同図から、修正 VC 値は細骨材率の増加に伴って減少した後、増加傾向に転じること、締固め率は細骨材率の増加に伴って増加した後、減少傾向に転じること、また、修正 VC 値が最小値となり、かつ締固め率が最大値となる細骨材率は 42 % 程度であることがわかる。RCCP 用コンクリートの配合設計においては、このように締固め率が最大となる配合のコンクリートを練り混ぜ、材料分離程度を観察して適当な細骨材率が選定される。そこで、実際に材料分離程度を測定し、表面振動機による締固めの容易さとの対応関係について検討した。

Fig. 3 に細骨材率 (s/a) と締固め時間 (T) および材料分離程度 (S_g) の関係を示す。同図に示したコンクリートは、Fig. 2 に示したものと同一である。図から、表面振動機による締固め時間は、細骨材率の増加に伴って減少した後、増加する傾向が認められる。すなわち、表面振動機によって最も容易に締固めることができる配合が存在し、そのときの細骨材率は 42 % 程度であることがわかる。一方、材料分離程度は、細骨材率の増加に伴って増加した後、減少する傾向が認められ、締固めが最も容易な細骨材率において、材料分離程度が最大と

Fig. 2. Sand percentage s/a versus vibrating compaction value VC and compaction ratio CR for a given unit water content. Fig. 3. Sand percentage s/a versus surface vibrating compaction time T and segregation degree S_g for a given unit water content.

なった。既往の研究⁴⁾によると、表面振動機による締固めが最も容易な配合において材料分離傾向が生じたと報告されており、本研究においても同様の結果が得られた。したがって、材料分離程度を低減するためには、最も容易に締固めることができるときの細骨材率を増加あるいは減少させることになるが、これに伴って締固めの容易さが幾分低下することは避けられないと思われる。

次に、締固めの容易さに大きな影響を及ぼすと考えられるモルタル成分について、その細骨材セメント質量比 (S/C) と流動性の関係を明らかにするためフロー試験を行い、その結果に対して検討を加えた。

Fig. 4 に S/C とフロー値 (FL) の関係を示す。フロー値は JIS R5201 に準じて測定した。図中の $S/C=2.2 \sim 3.2$ のモルタルは、Fig. 2 および 3 に示した細骨材率 30.0 ~ 45.5 % のコンクリートのモルタル成分の S/C に対応している。図より、 S/C の増加に伴ってフロー値

Fig. 4. Sand cement ratio S/C versus flow value FL .

の減少傾向が認められる。また、 S/C が 3.2 以上のときフローテーブルの落下衝撃によってモルタルは流動せずフロー値は 100 であって、モルタル表面にひび割れが観察された。これらの結果に基づき、Fig. 3 で得られた締固め時間および材料分離程度の変化傾向について定性的考察を加えた。すなわち、 $s/a=30.0\%$ のとき、モルタル成分の $S/C=2.2$ であり、フロー試験結果よりモルタルに流動性が認められることから、振動による流動に対する抵抗性が低いと考えられるが、コンクリートの単位粗骨材量が多くモルタル量が少ないため、その空隙を振動により流動したモルタルが充てんするまでに長時間を要し、締固め時間が長くなったと考えられる。一方、モルタル成分の粘着性が高いため、粗骨材粒子とモルタル成分の付着力が大きく、したがって高所からの落下による両者の分離程度が少なくなったものと思われる。上記の考察から、この種のコンクリートに対して粘着性を付与した混和剤の使用は、材料分離低減の観点より望ましいと判断される。細骨材率の増加に伴ってモルタル成分の S/C が増加するためフロー値は減少することから、振動による流動に対する抵抗性は増加するが、単位粗骨材量が減少するため、モルタル量が増加し、その流動作用により締固め時等は減少すると考えられる。しかし、 S/C の増加に伴うモルタル成分の粘着性の低下は、粗骨材粒子とモルタル成分の付着力を低下させるため、材料分離程度の増加につながると考えられる。細骨材率がさらに増加して 45.5 % になると、モルタル成分の S/C は 3.2 に達し、フロー値は測定不可能となり、流動に対する抵抗性が極めて大きくなるため、粗骨材の空隙をモルタルが充てんしにくくなり、締固め時間が増加に転じるものと思われる。このとき、粗骨材粒子とモルタル成分の付着力は小さいが、モルタル量が粗骨材量より多くなり、粗骨材粒子がモルタル成分によって包み込まれた状態に近づくため材料分離程度は減少するものと思われる。

Fig. 2 および Fig. 3 に示した変化傾向は、他の混和剤を用いた場合においても同様に認められるのであって、RCCP 用コンクリートの締固めの容易さおよび材料分離程度は、モルタル成分の流動性および粘着性、さらに、モルタル成分と粗骨材の容積比など配合と密接な関係が

Fig. 5. Sand percentage s/a versus unit water content W for a given vibrating compaction value. Fig. 6. Sand percentage s/a versus compaction ratio CR for a given vibrating compaction value.

あることがわかる。

3・2 混和剤種別と配合およびワーカビリティ特性の関係

所要の修正 VC 値が得られる RCCP 用コンクリートの配合は、単位水量と細骨材率の組合せによって無数に存在するため本節では、修正 VC 値 50 ± 10 秒としたコンクリートについて、細骨材率と単位水量、締固め率、表面振動機による締固め時間および材料分離程度の関係に及ぼす混和剤種別の影響について検討を行った。

Fig. 5 に各種混和剤を用いたコンクリートの細骨材率 (s/a) と単位水量 (W) の関係を示す。同図より、単位水量は細骨材率の増加に伴って減少し、最小値に達した後、増加傾向に転じること、また、その変化程度は混和剤ごとに異なることがわかる。単位水量の最小値は、混和剤 A, B, C および D をそれぞれ用いたとき、102, 99, 101 および 109 kg/m^3 であり、混和剤 B を用いたとき最小であり、次に混和剤 C, A, D の順に大きくなった。また、これらに対応する細骨材率をこの順序にみるとそれぞれ 42, 36, 36 および 38 % であった。

Fig. 6 に各種混和剤を用いたコンクリートの細骨材率 (s/a) と締固め率 (CR) の関係を示す。図から、締固め率は細骨材率の増加に伴って増加し、最大値に達した後、減少傾向に転じること、また、その変化程度は混和剤ごとに異なることがわかる。締固め率の最大値は、混和剤 A, B, C および D をそれぞれ用いたとき 97.2, 96.6, 97.4 および 98.0 % であり、これらに対応する細骨材率は、それぞれ 42, 33, 41 および 46 % となった。RCCP 用コンクリートの配合設計においては、最も高

Fig. 7. Sand percentage s/a versus surface vibrating compaction time T for a given vibrating compaction value.

い締固め率が得られる細骨材率を決定し、材料分離程度を観察して細骨材率を調整するとともに、単位水量を所要のコンシステンシーが得られるように決定している。したがって、締固め率が最大値となるときの細骨材率は前述の単位水量が最小値となる細骨材率と異なるのであって、Fig. 5 に基づけば締固め率が最大となるときの単位水量は、各混和剤ごとに最小単位水量より大きくなることわかる。

Fig. 7 に各種混和剤を用いたコンクリートの細骨材率(s/a)と締固め時間(T)の関係を示す。図より、締固め時間は、細骨材率の増加に伴って減少し、最小値に達した後、増加傾向に転じることから、修正 VC 値が一定であっても締固めが最も容易な配合が存在することがわかる。締固め時間の最小値は、混和剤 A, B, C および D をそれぞれ用いたとき 154, 176, 150 および 120 秒であって、締固め時間が最も短くなるのは、混和剤 D を用いたときであり、次に混和剤 C, A, B の順に長くなる。これらに対応する細骨材率をこの順序にみると、46, 41, 42 および 33 % であって、締固め率が最大となるときのそれと一致することがわかる。したがって、締固め率が大きくなる混和剤を使用すると締固め時間が短く、締固めが容易になることがわかる。

Fig. 8 に各種混和剤を用いたコンクリートの細骨材率(s/a)と材料分離程度(S_g)の関係を示す。材料分離程度は、細骨材率の増加に伴い減少すること、混和剤 A および C を用いた場合、混和剤 B および D を用いた場所より各細骨材率においておよそ 6 % 小さくなることわかる。材料分離程度にこのような差が生じたのは、混和剤 A および C を用いた場合モルタル成分の粘着性が増し、粗骨材との付着が良好となったことによると思われる。したがって、修正 VC 値が一定の場合、細骨材率を増加させること、あるいは混和剤 A および C を使用することは、材料分離の抑制に効果的であると判断される。とくに、混和剤 C は混和剤 B に増粘性を付与したものであることから、この種のコンクリートの粘性

Fig. 8. Sand percentage s/a versus segregation degree S_g for a given vibrating compaction value.

の増加は、材料分離程度を低減するものと考えられる。

3・3 混和剤種別ごとのコンクリートの諸特性の比較

Fig. 5~8 に示した結果に基づき、最も高い締固め率が得られたコンクリートの細骨材率(s/a)、単位水量(W)、締固め時間(T)、材料分離程度(S_g)、ならびに試験により得られた曲げ強度(f'_b)を使用混和剤ごとに Fig. 9 に示す。これらについて、比較的使用頻度の高い混和剤 D を用いた場合と A, B および C を用いた場合を比較検討した。混和剤 A と C を使用したとき、細骨材率、単位水量、締固め時間および材料分離程度はほぼ同程度であり、これを混和剤 D を用いたときと比較すると、細骨材率は 5 % 程度、単位水量は 7 kg/m³ 程度それぞれ小さく、また、締固め時間は 30 秒程度増加し、材料分離程度は 5 % 程度減少した。一方、混和剤 B を使用したとき、細骨材率は 13 % 程度、単位水量は 4 kg/m³ 程度それぞれ小さく、また、締固め時間は 60 秒程度増加し、材料分離程度は 5 % 程度増加した。

混和剤 A, B および C を用いると D よりも細骨材率は小さくなり、したがって単位粗骨材量が増加するからコンクリートのすりへり抵抗性の観点から有利であるし、また、単位水量は、作業ができる範囲でできるだけ少なくすることが基本であるから、その減少は、コンクリートの所要の品質を確保する上で効果的であると判断される。また、材料分離に関しては、混和剤 A および C がより有効であると判断される。しかし、表面振動機による締固めの容易さに関しては混和剤 D が他の混和剤を使用するよりも優れていることがわかる。

このように、配合、ワーカビリティなどの諸特性に対して効果的な混和剤は異なるのであって、選定にあたっては使用目的に適合するように試験により定める必要がある。

曲げ強度に関しては、混和剤 A を用いたとき、空気連行作用により若干の強度低下が生ずるものの、混和剤 B, C および D をそれぞれ用いたときと著しい差は認められなかった。

4 結 論

RCCP 用コンクリートの配合およびワーカビリティ

Fig. 9. Comparison of sand percentage s/a , unit water content W , surface vibrating compaction time T , segregation degree S_g and bending strength f'_b of the mixture adding each type of admixture and having the maximum compaction ratio.

に及ぼす各種混和剤の影響を明らかにするため、高性能 AE 減水剤 A、超硬練りコンクリート用混和剤 B、混和剤 B に増粘剤を添加した混和剤 C および AE 減水剤 D を用いて実験的検討を試みた。まず、水セメント比を 0.37 とした RCCP 用コンクリートについて、単位水量を一定として細骨材率を変えた場合の修正 VC 値、

締固めの容易さならびに材料分離程度の変化傾向を明らかにした。次に、細骨材率の異なる修正 VC 値 50 ± 10 秒のコンクリートについて単位水量、締固めの容易さならびに材料分離程度に及ぼす混和剤種別の影響を明らかにした。得られた結果は次のとおりである。

(1) 単位水量を一定として細骨材率を変化させた場合使用混和剤ごとに修正 VC 値の最小値が存在し、このとき締固め率が最大値となり、表面振動機による締固め時間は最小値となるが、材料分離程度は最大値となる。この現象は、モルタル成分の流動性や粘着性、さらにモルタル量と粗骨材量の割合など、その配合と密接な関係がある。

(2) 修正 VC 値を一定として細骨材率を変化させた場合、使用混和剤ごとに単位水量の最小値および締固め率の最大値が存在するが、最大締固め率に対応する単位水量は、その最小値より大きくなる。また、最大締固め率となる配合のとき表面振動機による締固めが最も容易となる。材料分離程度は、細骨材率の増加に伴って減少する。

(3) 修正 VC 値一定で最も高い締固め率が得られるときの配合において、混和剤 B を用いたとき細骨材率が最も小さく、混和剤 A あるいは C を用いたとき単位水量が最も小さくなる。細骨材率および単位水量の低減はそれぞれすりへり抵抗性およびセメント量の低減に効果的である。

(4) 修正 VC 値一定で、最も高い締固め率が得られるときの配合において、混和剤 D を用いたとき、表面振動機による締固め時間が最も短く、混和剤 A あるいは C を用いたとき材料分離程度が最も小さくなる。このように粘性を付与した混和剤は材料分離の低減に効果的である。混和剤の選定にあたっては、使用目的に適合するよう試験によって定める必要がある。

参考文献

- 1) 豊福俊泰, 吉岡博幸, 土木学会論文集, No. 414/V-14, p. 59 (1990).
- 2) 中原 康, 万木正弘, 桜井和実, セメント技術年報, 42, 539 (1988).
- 3) 日本道路協会編, “転圧コンクリート舗装技術指針(案)”, (1990).
- 4) 加賀谷 誠, 徳田 弘, 石川 健, 土木学会論文集, No. 472/V-20, p. 87 (1993).