

超硬練りコンクリートの配合要因と締固めの容易さの関連性についての基礎実験

加賀谷 誠*・徳田 弘*・石川 健**

本研究は、RCCP および RCD 用コンクリートの配合と表面振動機による締固めの容易さの関連性を検討したものである。その結果、両コンクリートのコンシステンシーは、モルタル成分の細骨材セメント質量比と粗骨材モルタル容積比の支配を受けること、コンシステンシー一定の配合の中に最も締固めが容易な配合が存在することを明らかにした。また、上記両配合要因と圧縮強度の関係を示し、さらに本研究結果に基づき、実施工データの配合の位置付けを試みた。

Key Words : roller compacted concrete, mix proportion, mortar component, compactability, consistency

1. ま え が き

近年、コンクリート施工の機械化および合理化を目指した RCCP 工法や RCD 工法が盛んに用いられるようになってきた。前者は舗装工事に、後者はダム建設用に開発された工法であるが、今後、これらの工法の採用は益々増加すると考えられるし、さらに用途の拡大も期待される。

一般にコンクリートの配合は、作業に適したワーカビリティが得られ、硬化後に所要の品質を満たすよう、これを定めなければならない。特に、RCCP 工法および RCD 工法に用いられるコンクリートは、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、施工にあたって所定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、などが重要である。この種のコンクリートの締固めは、施工機械の自重による転圧効果、振動による骨材間の摩擦の減少およびモルタルの流動作用などにより進行すること、また、材料分離に対する抵抗性は、モルタル成分の粘性に基づく粗骨材との凝集力やモルタルおよび粗骨材両成分の構成割合に影響されることが指摘されている^{1),2)}。このようにコンクリートの配合は、締固め性状や分離程度を支配する主要な要因の一つであるにもかかわらず、その関連性は十分に明らかにされていないように思われる。

本研究では、従来、研究の対象としてほとんど取り上げられなかった RCCP 用コンクリートおよび RCD 用コンクリートの表面振動機による締固め易さに着目し、これと配合の関係を明らかにしようとした。すなわち、本文中に述べるように、水セメント比が一定のとき、修

正 VC 値あるいは VC 値一定の超硬練りコンクリートの配合は無数に存在するが、その中から最も短い振動時間で十分な締固め状態に達するコンクリートの配合を見出すことを主要な目的とした。このため、まず、コンクリートのコンシステンシーに大きな影響を及ぼすモルタル成分のフロー値と細骨材セメント質量比 (S/C) の関係について検討し、さらに、これらのモルタルを構成成分とするコンクリートのコンシステンシーは、S/C および粗骨材モルタル容積比 (g/m) 両要因の支配を受けることを明らかにした。つづいて、コンシステンシー一定のコンクリートについて表面振動機によって締固めたときの締固めの容易さを比較し、最も容易に締固めが可能なコンクリートの配合を特定した。次に、硬化後のコンクリートの品質確保の観点から、これらのコンクリートの圧縮強度と S/C および g/m 両要因の関係を検討した。最後に、本研究結果と実施工データの配合を比較し、締固めの容易さならびに材料分離傾向の観点から、実施工データの配合の位置付けを試みた。これらの結果は、施工の合理化を図るための一資料になり得ると考える。

2. 実験概要

(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、リグニンスルホン酸塩を主成分とする減水剤、天然樹脂酸塩を主成分とする AE 剤を使用した。骨材は、川砂 (RS)、川砂利 (RG) 砕砂 (CS)、碎石 1 (CG1)、碎石 2 (CG2) であり、これらの物理的性質を表-1 に示す。

本研究で対象とした超硬練りコンクリートは、RCCP 用コンクリートおよび RCD 用コンクリートであって、これらの示方配合をそれぞれ表-2 および表-3 に示す。粗骨材最大寸法は、前者で 20 mm、後者で 40 mm である。後者の配合は、粗骨材最大寸法 80 mm

* 正会員 工博 秋田大学講師 鉱山学部土木環境工学科
(〒010 秋田市手形学園町 1-1)

** 正会員 工博 秋田大学教授 鉱山学部土木環境工学科

*** 正会員 工修 大林道路 (株) 技術研究所研究員

表一 骨材の物理的性質

骨材種別	比重	吸水率 (%)	粗粒率	単位容積質量 (kg/m ³)	注
川砂(RS)	2.56	2.91	2.73	1599	*, **
砕砂(CS)	2.59	2.98	2.76	1575	**
川砂利(BG)	2.55	3.71	7.20	1591	**
砕石 1(CG1)	2.60	2.56	6.60	1527	*
砕石 2(CG2)	2.60	2.17	7.30	1579	**

*: RCCP用コンクリート, **: RCD用コンクリート

表二 RCCP用コンクリートの配合

MS (mm)	終干 (秒)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	S/C (%)	g/m	単位量(kg/m ³)					骨材種別	
							W	C	S	G	Ad		
25	4.4	33.6	1.05	118	318	635	1273	0.795					
51	4.0	32.7	1.10	115	311	623	1307	0.778					
100	3.0	30.6	1.20	111	300	601	1376	0.750					
46	2.2	35.8	1.05	107	287	717	1304	0.718					
35	2.5	34.8	1.08	106	286	715	1300	0.715					
72	3.5	33.8	1.15	99	270	675	1343	0.675					
110	3.3	32.8	1.20	98	264	660	1372	0.660					
26	2.8	39.9	0.95	106	267	773	1232	0.718					
35	3.8	37.5	0.99	103	278	748	1244	0.695					
78	3.4	35.7	1.09	99	266	717	1310	0.685					
164	3.9	34.5	1.15	95	257	693	1338	0.643					
37	3.4	44.1	0.80	107	289	867	1117	0.723					
52	4.0	41.8	0.88	102	275	825	1168	0.688					
119	5.7	39.8	0.85	96	259	778	1198	0.648					
185	6.3	37.5	1.03	92	248	745	1237	0.620					
38	4.9	47.9	0.70	107	289	924	1019	0.723					
54	4.2	45.6	0.77	103	280	895	1094	0.700					
71	4.5	44.6	0.80	101	274	877	1104	0.685					
109	6.2	42.8	0.85	97	262	838	1122	0.665					
56	4.7	51.6	0.625	106	287	1005	957	0.718					
69	6.5	50.6	0.65	102	276	966	958	0.690					
170	6.1	46.7	0.75	97	261	915	1061	0.653					

のフルミックスコンクリートを 40 mm ふるいでウェットスクリーニングしたものに相当するが、これは、ダムコンクリートの品質管理は、40 mm ふるいでウェットスクリーニングしたコンクリートについて実施するのが一般的であるからである。水セメント比は、既往のデータを参考にし、前者で 37.0%，後で 80.0% とした。なお、混和剤は、前者に対して減水剤、後者に対して AE 剤をそれぞれ使用した。

水セメント比を上記の値とし、細骨材セメント質量比 (S/C) を変えたモルタルをモルタルミキサによって練りませ、JIS R 5201 に準じてフロー試験を行った。次に、S/C 一定のモルタルを構成成分とし、粗骨材モルタル容積比 (g/m) を変えたコンクリートを強制練りミキサによって練りませ、修正 VC 値³⁾または VC 値¹⁾を測定した。また、修正 VC 値または VC 値測定後、重量法により空気量を測定した。なお、配合要因として S/C および g/m を取り上げたのは、後述のようにモルタル成分あるいはコンクリートのコンシステンシーが両要因の支配を受けること、さらにこれらを配合から直接算定できることを考慮したからである。

(2) 供試体および強度試験

表一に供試体の種別を示す。M は、RCCP 用コンクリートおよび RCD 用コンクリートのモルタル成分の強度を試験するため、三連型わくにより作製した供試体である。S-1, B-1 および B-2 は、いずれも RCCP 用コンクリートに用いられる供試体で、S-1 は圧縮強

表三 RCD用コンクリートの配合

MS (mm)	VC 値 (秒)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	S/C (%)	g/m	単位量(kg/m ³)					骨材種別	
							W	C	S	G	Ad		
5	4.0	29.3	1.24	128	159	638	1350	0.110					
20	4.0	29.3	1.41	119	149	596	1459	0.102					
33	2.5	28.0	1.50	116	146	582	1492	0.101					
9	3.7	32.0	1.27	123	154	646	1374	0.107					
20	3.0	30.2	1.38	117	146	613	1460	0.100					
32	4.4	28.0	1.46	113	141	592	1447	0.098					
3	3.2	33.8	1.20	122	153	689	1346	0.107					
20	4.0	31.4	1.35	113	141	639	1418	0.100					
35	4.1	29.5	1.46	109	136	610	1451	0.094					
15	2.0	35.9	1.14	119	149	744	1326	0.105					
23	4.5	34.2	1.23	112	140	700	1369	0.098					
33	3.5	31.8	1.37	106	132	662	1417	0.095					
9	5.0	41.7	0.92	121	152	832	1161	0.105					
20	4.0	38.8	1.04	115	144	793	1248	0.100					
33	4.4	35.8	1.18	108	134	737	1320	0.093					
12	6.0	47.0	0.87	139	162	973	960	0.112					
21	5.0	47.0	0.77	123	154	923	1057	0.108					
33	3.2	42.5	0.90	115	144	865	1145	0.100					
6	6.0	57.3	0.51	141	176	1091	810	0.122					
20	8.4	49.4	0.70	122	152	944	962	0.105					
37	8.6	45.8	0.81	114	143	885	1043	0.099					
5	8.0	58.0	0.50	136	171	1063	782	0.118					
21	9.8	47.2	0.63	123	154	977	893	0.108					
35	9.4	52.6	0.76	114	143	909	996	0.099					
9	7.8	59.1	0.48	136	170	1108	763	0.118					
20	9.8	54.4	0.58	125	156	1013	849	0.109					
33	9.6	49.8	0.70	116	146	946	949	0.101					
8	5.6	26.8	1.50	122	153	536	1473	0.107					
22	2.7	25.5	1.60	121	152	531	1557	0.106					
39	4.5	24.7	1.70	115	143	502	1563	0.100					
5	6.5	29.3	1.40	117	146	586	1418	0.102					
19	4.3	27.9	1.50	115	144	575	1483	0.101					
33	4.0	26.6	1.60	111	139	555	1536	0.097					
6	4.0	34.9	1.12	130	162	896	1319	0.113					
20	4.3	32.6	1.24	123	154	862	1387	0.107					
34	4.8	31.3	1.32	117	147	831	1406	0.113					
12	2.7	37.8	1.00	126	170	787	1265	0.104					
20	2.4	35.6	1.10	130	163	733	1329	0.114					
33	4.3	33.7	1.20	122	152	686	1357	0.106					
6	4.7	44.6	0.78	142	177	872	1086	0.123					
17	5.5	41.1	0.90	133	165	809	1164	0.116					
34	5.2	38.6	1.00	126	158	772	1232	0.110					
6	4.8	48.8	0.67	146	182	930	981	0.127					
21	6.2	42.7	0.86	130	162	827	1128	0.113					
33	6.0	39.9	0.96	124	155	793	1197	0.108					
9	6.4	49.9	0.65	143	179	951	969	0.125					
22	8.0	44.6	0.80	138	172	908	1131	0.120					
30	7.6	41.9	0.90	124	155	815	1136	0.109					

表四 供試体種別

供試体	寸法 (cm)	備 考	
M	モルタル供試体	4×4×16	*, **
S-1	円柱供試体	φ10×20	
B-1	曲げ試験用供試体	10×10×40	*
B-2	曲げ試験用供試体	15×15×53	
S-2	円柱供試体	φ15×30	**
P	角柱供試体	15×15×30	

*: RCCP用コンクリート, **: RCD用コンクリート

度試験用円柱供試体、B-1とB-2は曲げ試験用供試体で、次項で述べる締固めの容易さを判定するためのものである。S-2およびPは、RCD用コンクリートに用いられる供試体で、S-2は圧縮強度試験用円柱供試体、Pは次項で述べる締固めの容易さを判定するための角柱供試体である。

供試体 M, S-1, B-1 および S-2 の締固めには、それぞれの供試体の締固め面にほぼ一致する大きさで、厚さ 4 mm の締固め鋼板を取り付けた振動ランマー (振動数 50 Hz, 質量 35 kg) を用い、文献^{1),3)}に準じて十分に締固めた。強度試験は、供試体 M では JIS R 5201, S-1 および S-2 では JIS A 1108, B-1 では JIS A 1106 に準じてこれを行った。試験材令を 28 日とし、それまで標準水中養生を行った。なお、供試体個数は同一条件につき 3 個とした。

(3) 締固めの容易さの判定

表面振動機による締固めの容易さを判定するため、RCCP用コンクリートでは曲げ強度比較方法、RCD用コンクリートでは可視化観察方法を用いた。両コンクリートで異なった判定方法を用いたのは、配合およびコンシステンシーが大きく異なるため、同じ判定方法を適用できなかったためである。

曲げ強度比較方法には供試体 B-1 と B-2 を用いた。B-2 を締固めるとき、コンクリート表面に 14.5 × 52.5 cm、厚さ 4 mm の締固め鋼板を設置し、振動数 50 Hz、振幅 0.10 cm、質量 58 kg に設定した容量可変型表面振動機を往復移動させながら締固めた。振動機の移動速度はおよそ 200 m/hr であり、締固め時間は、初め締固め鋼板の上から 5 分間、次に鋼板を取り除いたコンクリート面を 5 分間、最後に再び鋼板の上から 3 分間、合計 13 分間とした。強度試験はコンクリートの打込み方向と同じ方向に載荷して、これを行った。その結果と供試体 B-1 による強度を比較し、その差が小さいほど締固めが容易であるとした⁴⁾。なお、試験材令を 28 日とし、それまで標準水中養生を行った。

可視化観察方法には供試体 P を用いた。この型わくの側壁部せき板の一枚は透明なアクリル板であり、これを通してビデオカメラにより締固め過程を録画した。その再生画像の観察から、アクリル板の全面がセメントペーストで覆われる時間を求め、この時間が短いほど締固めが容易であるとした^{5), 6)}。コンクリート表面に 14.5 × 14.5 cm、厚さ 4 mm の締固め鋼板を設置し、振動数 50 Hz、振幅 0.18 cm、質量 38 kg に設定した容量可変型表面振動機によって締固めた。

実施工において通常使用されている振動ローラの振動数および振幅のおよその範囲は、40~55 Hz および 0.05~0.25 cm であって、本研究で用いた両判定方法における表面振動機の両特性値は、この範囲内にある。なお、表面振動機の質量は、十分締固まるまでの振動時間を考慮して予備実験に基づいて定めた。

3. コンシステンシーに及ぼす配合要因の影響

コンクリートの配合要因がコンシステンシーに及ぼす影響を明らかにするため、次のような実験を行った。まず、水セメント比を一定としたコンクリートのコンシステンシー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) とフロー値の関係を明らかにした。次に、これらのモルタルを構成成分とするコンクリートについて、その S/C および粗骨材モルタル容積比 (g/m) 両要因と修正 VC 値ならびに VC 値の関係を明らかにし、さらにコンシステンシーが一定となるコンクリートの配合を S/C すなわちモルタル成分の流動性と g/m の関連性の観点から検

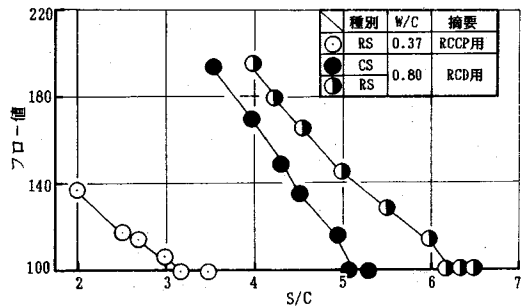


図-1 S/Cとフロー値の関係

討した。

(1) モルタル成分の S/C とコンシステンシーの関係

図-1 に、RCCP用コンクリートおよび RCD用コンクリートの構成成分と仮定して定めた水セメント比 37.0% および 80.0% のモルタルの S/C とフロー値の関係を示す。前者には川砂 (RS)、後者は 2 ケースあり、それぞれ砕砂 (CS) および川砂 (RS) を使用した。これらの水セメント比は実施工データを参考にして決定した。

図より、モルタルのフロー値は S/C の増加に伴って減少傾向を示し、S/C がある値を越えるとフロー値は測定不可能になること、測定不可能となる S/C のおよその値は、水セメント比 37.0% のモルタルで 3、水セメント比 80.0% のモルタルで砕砂を用いたとき 5、川砂を用いたとき 6 であって、この値は、同一細骨材を用いた場合、水セメント比が大きいくほど大きく、同一水セメント比の場合、川砂を用いたときの方が砕砂を用いたときより大きいことがわかる。

なお、フローテーブルの落下衝撃によるモルタル試料の挙動を観察したところ、S/C の増加に伴ってフロー値が減少する範囲ではモルタルの流動化が認められるが、フロー値が測定不可能な範囲ではモルタルの表面にひび割れが発生したり、その一部が割れ落ちるなどの現象が認められた。

(2) コンクリートの S/C および g/m 両要因とコンシステンシーの関係

図-2 は、川砂 (RS) と碎石 1 (CG1) を用いた RCCP用コンクリートの g/m と修正 VC 値の関係をモルタル成分の S/C ごとに示したものである。水平な破線は修正 VC 値 50 秒を示す。図-3 は、RCD用コンクリートの g/m と VC 値の関係をモルタル成分の S/C ごとに示したもので、左図は川砂 (RS) と川砂利 (RG)、右図は砕砂 (CS) と碎石 2 (CG2) を用いた場合の結果である。水平な破線は VC 値 20 秒を示す。

これらの図から、S/C が一定のとき、g/m が増加すると修正 VC 値または VC 値は増加傾向を示すこと、

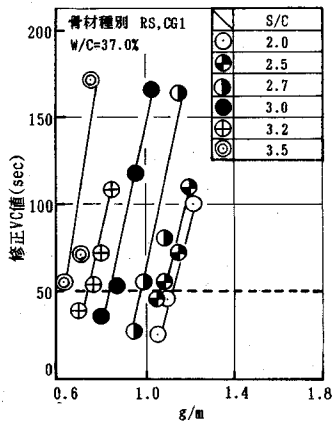


図-2 RCCP用コンクリートのg/mと修正VC値の関係

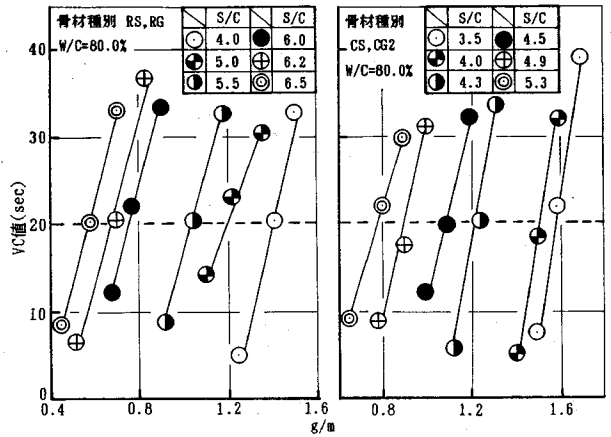


図-3 RCD用コンクリートのg/mとVC値の関係

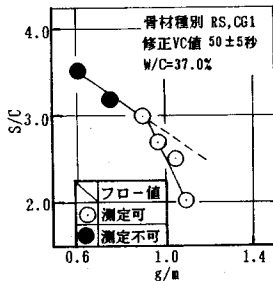


図-4 RCCP用コンクリートのg/mとS/Cの関係

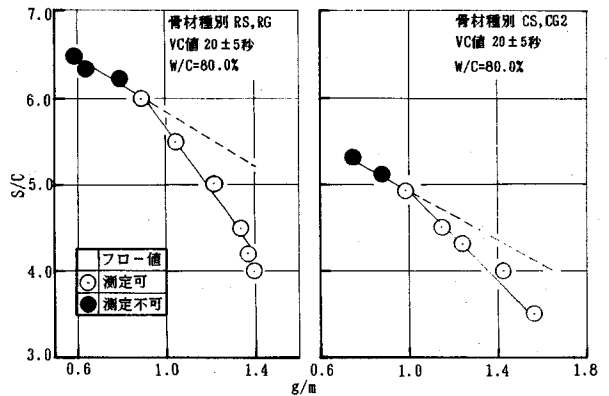


図-5 RCD用コンクリートのg/mとS/Cの関係

修正VC値またはVC値が一定のとき、S/Cが小さいほどg/mは大きくなること、g/mが0.1大きくなると修正VC値はおよそ30秒、VC値はおよそ10秒増加すること、VC試験によるコンシステンシー一定のコンクリートの配合は無数に存在することがわかる。S/Cが一定のとき、g/mの増加に伴って修正VC値またはVC値が増加するのは、単位粗骨材量の増加に伴ってモルタル成分量は減少するので、締固め時にこの成分が粗骨材粒子の間隙を充填しながらコンクリート表面まで上昇する時間が長くなるからである。また、修正VC値またはVC値が一定のとき、S/Cが小さいほどg/mを大きくしなければならないのは、図-1に示したように、S/Cが小さいほどモルタルの流動性は大きいから、このようなモルタルは単位粗骨材量が増してもその間隙を容易に充填しながらコンクリート表面まで上昇するからである。

(3) g/mとS/Cの関係

図-4に川砂(RS)と碎石1(CG1)を用いた修正VC値50秒のRCCP用コンクリートのg/mとS/Cの関係を示す。また、図-5の左に川砂(RS)と川砂利

(RG)、右に砕砂(CS)と碎石2(CG2)をそれぞれ用いたVC値20秒のRCD用コンクリートのg/mとS/Cの関係を示す。両図は、前項の図-2および3に基づいている。

これらの図から、S/Cの減少に伴うg/mの増加傾向が認められるが、その増加割合が大きい領域と小さい領域が存在することがわかる。図-4に示した結果を一例として、このような変化傾向について考察する。g/mの増加割合が大きい領域(S/C>3)のモルタル成分は、図-1から明らかのように、フロー値が測定不可能な範囲にあり、また、その割合が小さい領域(S/C≤3)ではS/Cの減少とともにフロー値が大きくなる範囲にある。したがって、両領域の境界に位置するS/Cは、3.1)で述べたフロー値が測定不可能となるS/C=3とおおよそ一致する。g+m=1であることから、両領域についてg/mの変化に対応するモルタル成分量の変化を比較すると次のようになる。すなわち、g/mが0.1増加するとき、フロー値測定不可能領域におけるモルタル成分量はおおよそ0.038m³減少するのに対して、測定可能な領域においてはおよそ0.029m³減少する。当然粗骨材

は、これらの値に見合う量だけそれぞれ増加することになる。したがって、g/mが増加あるいは減少したとき、コンシステンシーを一定に保つには、フロー値測定不可能な領域における方が測定可能な領域におけるよりもモルタル成分量を多く減少あるいは増加させなければならないことがわかる。図-5に示した変化傾向についても、上述の場合と同様に説明できる。

以上述べたように、S/Cの変化にともなうモルタル成分の流動性ならびに粗骨材とモルタル両成分の構成割合(g/m)は、コンクリートのコンシステンシーを支配するきわめて重要な配合要因であることがわかる。

4. 締固めの容易さおよび圧縮強度に及ぼす配合要因の影響

コンクリートに要求される性能は、フレッシュな状態では施工性にすぐれていること、硬化後は力学的性質など所要の諸性質を満足していること、などである。本章では、前章で述べた水セメント比とコンシステンシーを一定としたコンクリートについて、まず、施工性の観点から、表面振動機によって締固めるときの締固めの容易さと細骨材セメント質量比(S/C)および粗骨材モルタル容積比(g/m)両要因の関係を明らかにした。なお、本研究では、締固めの容易さを十分な締固め状態に達するまでの振動時間によって判断することにし、この時間が短いほど締固めが容易であるとした。次に、コンクリートに要求される諸性質のうち圧縮強度に着目し、上記コンクリートの圧縮強度とS/Cおよびg/m両要因の関係を明らかにした。

(1) S/Cおよびg/m両要因と締固めの容易さの関係

a) RCCP用コンクリートのS/C, g/m両要因と締固めの容易さの関係

図-6は、2.(3)で述べた曲げ強度比較方法を適用してRCCP用コンクリートのg/mと締固めの容易さの関係を検討した結果である。このコンクリートには川砂(RS)と碎石1(CG1)を用い、水セメント比37.0%、修正VC値50秒とした。図中にS/Cの値を併記した。

曲げ試験用供試体B-1は、コンクリートの打込み方向と直角方向に荷重して強度を求めた。一方、曲げ試験用供試体B-2は、B-1より寸法の大きい供試体であった一定時間締固めを行い、コンクリートの打込み方向と同じ方向に荷重して強度を求めた。このように試験したのは次の理由による。この種のコンクリートを表面振動機で締固めるとき、供試体寸法が大きいほど実施工により近い状態となり、下方へ締固め効果が伝ばんしにくく、したがって、下方ほど強度上の欠陥が生じやすいから、g/mの等しい両供試体の強度を比較し、その差が小さいほど必要な振動時間が短く、締固めがより容易なコン

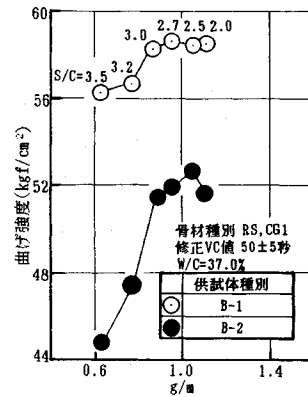


図-6 g/mと曲げ強度の関係

クリートと判断できるからである。

図から供試体B-1の曲げ強度は、g/mの増加とともにわずかに増大するが、その後、ほぼ一定値になること、供試体B-2の曲げ強度は、いずれもB-1の場合を下回っているから、未だ十分な締固め状態に達していないこと、この曲げ強度はg/mの増加とともに急激に増大し、さらにわずかに増大しながら最大値に達した後、減少傾向に転ずること、両供試体の強度差は、g/mの増加とともに減少して最小値に達してから増加に転ずることが認められる。これらの結果から、コンシステンシーが一定であっても、配合の相違によって十分な締固め状態とするための振動時間は異なること、最小強度差に対応する締固めの最も容易なコンクリートを得るには、g/m, S/Cをそれぞれ1.05, 2.5とすればよいことがわかる。

供試体B-2の曲げ強度が、図-6のような変化を示したのは次の理由によると思われる。g/mの増加とともに強度が急激に増大する領域(S/C>3)では、図-1に示したように、モルタル成分のフロー値が測定不可能な範囲にあり、さらに、強度がわずかに増大しながら最大値に達し、次いで減少傾向に転ずる領域(S/C≤3)では、S/Cの減少に伴ってフロー値が増加する範囲にある。フロー値が測定不可能な範囲にあっても、S/Cが小さいほどモルタルの単位水量は多くなっているから、流動に対する抵抗性はS/Cの減少に伴って小さくなると考えられる。したがって、上記二つの領域を合わせた全領域において、モルタル成分の振動による流動性はg/mの増加とともに大きくなると判断される。同図において、g/mの増加とともに強度が増大して最大値に達したのは、モルタル成分の流動性が大きくなり、締固めが容易になったからである。次いで減少傾向に転じたのは、3.(3)において、コンクリートのコンシステンシーを一定に保つには、S/Cが小さいほどモルタル成分量を少なくし、これに見合う量だけ粗骨材を増きな

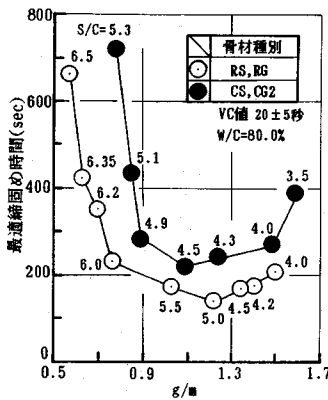


図-7 g/mと最適締固め時間の関係

ければならないことを述べたが、適用した締固め条件のもとでは、粗骨材量に比べてモルタル成分量が少ないため、表面振動機によって締固めにくい配合になったからであると考えられる。なお、図-6に示したS/C=3.5~2のRCCP用コンクリートの締固め率は、それぞれ94.5, 94.7, 96.1, 96.5, 97.0および96.5%であって、修正VC値が一定であっても締固め率は異なること、締固めが最も容易なコンクリートすなわちg/mおよびS/Cが1.05および2.5の配合のとき締固め率が最大となることが明らかとなった。

b) RCD用コンクリートのS/C, g/m両要因と締固めの容易さの関係

図-7は、2.(3)で述べた可視化観察方法を適用し、2種類のRCD用コンクリートのg/mと締固めの容易さの関係を検討した結果である。縦軸の最適締固め時間は、十分な締固め状態に達するまでの振動時間であって、これが短いほど締固めが容易であると判断される。これらのコンクリートには、川砂(RS)と川砂利(RG), 砕砂(CS)と砕石2(CG2)をそれぞれ使い、水セメント比80.0%, VC値20秒とした。図中にS/Cの値を併記した。

図から、両コンクリートの最適締固め時間は、g/mの増加とともに急激に減少し、さらに、わずかに減少しながら最小値に達した後、増加傾向に転ずることがわかる。これらの結果から、コンシステンシーが一定であっても、骨材種別および配合の相違によって最適締固め時間は異なること、締固めが最も容易なコンクリートを得るには、RSとRGを用いたとき、g/m, S/Cをそれぞれおよそ1.23, 5, CSとCG2を用いたとき、それぞれおよそ1.10, 4.5とすればよいこと、最適締固め時間が最小となるときのg/mの値は、RSとRGを用いた場合の方がCSとCG2を用いた場合より大きいこと、両コンクリートのg/mが等しいときの最適締固め時間は、RSとRGを用いた場合の方がCSとCG2を用いた場

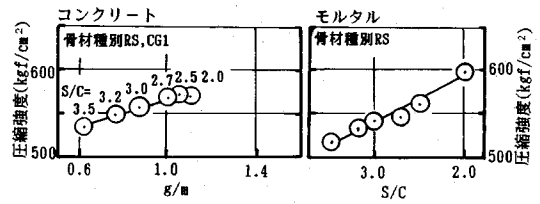


図-8 RCCP用コンクリートのg/mと圧縮強度およびモルタル成分のS/Cと圧縮強度の関係

合より短いことがわかる。

両コンクリートの最適締固め時間が、図-7のようになったのは次の理由によると思われる。RSとRGを用いたコンクリートにおいて、g/mの増加とともに最適締固め時間が急激に減少する領域(S/C>6)では、図-1に示したように、モルタル成分のフロー値が測定不可能な範囲にあり、さらに、最適締固め時間がわずかに減少しながら最小値に達し、次いで増加傾向に転ずる領域(S/C≤6)では、S/Cの減少とともにフロー値が増加する範囲にある。フロー値が測定不可能な範囲であっても、S/Cが小さいほどモルタルの単位水量は多いから、これら二つの領域を併せた全領域において、モルタル成分の振動による流動性はg/mの増加とともに大きくなると判断される。同図において、g/mの増加とともに最適締固め時間が減少して最小値に達したのは、モルタル成分の流動性が大きくなり、締固めが容易になったからである。次いで増加に転じたのは、3.(3)で述べたように、粗骨材量に比べてモルタル成分量が少ないため、表面振動機によって締固めにくい配合になったからであると思われる。CSとCG2を用いたコンクリートの最適締固め時間の変化傾向についても、上述のRSとRGを用いたコンクリートの場合と同様に、モルタル成分の流動性ならびに粗骨材とモルタル両成分の構成割合の観点から説明できる。

次に、最適締固め時間が最小となるg/mの値をRSとRG, CSとCG2をそれぞれ用いた場合について比較すると前者の方が後者より大きい。これはコンシステンシーが同一のとき、一般に単位粗骨材量(容積)は川砂・川砂利を用いる場合の方が砕砂・砕石を用いる場合より大きくなるからである。また、g/mが等しいときの最適締固め時間をRSとRG, CSとCG2をそれぞれ用いた場合について比較すると前者の方が後者より短い。これは一般に丸味を帯びた骨材を用いる場合の方が角張ったものを用いる場合より締固めが容易になるからである。

(2) g/mおよびS/C両要因と圧縮強度の関係

図-8は、RCCP用コンクリートのg/mと圧縮強度の関係およびこのコンクリートのモルタル成分のS/Cと圧縮強度の関係を併せて示したものである。使用骨材

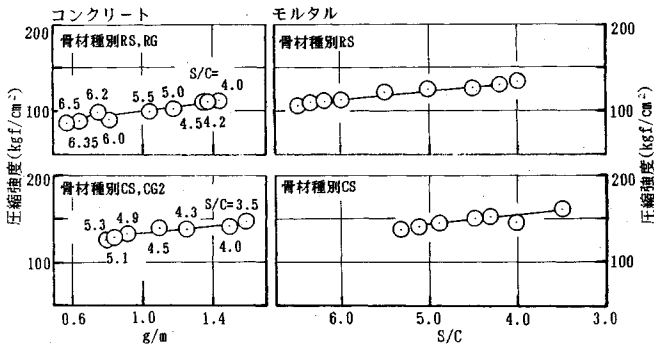


図-9 RCD用コンクリートのg/mと圧縮強度およびモルタル成分のS/Cと圧縮強度の関係

は川砂 (RS) と砕石 1 (CG 1), 水セメント比 37.0%, コンクリートの修正 VC 値 50 秒である。左図に S/C の値を併記した。また, 図-9 は, 2 種類の RCD 用コンクリートの g/m と圧縮強度の関係およびこれらのコンクリートのモルタル成分の S/C と圧縮強度の関係を併せて示したものである。使用骨材は, それぞれ川砂 (RS) と川砂利 (RG), 砕砂 (CS) と砕石 2 (CG 2) であり, 水セメント比 80.0%, VC 値 20 秒である。左図に S/C の値を併記した。これらの図から, g/m が 0.1 増加すると, RCCP 用コンクリートの圧縮強度はおよそ 10 kgf/cm² 大きくなり, RCD 用コンクリートでは 2~3 kgf/cm² 大きくなることからわかる。g/m の増加とともに単位粗骨材量が増加し, これに伴ってモルタル分量が減少したにもかかわらず圧縮強度が増加傾向を示したのは, 右図から明らかなように, モルタル成分の圧縮強度は S/C が小さいほど大きくなるからであると思われる。

このように強度的にはコンクリートの g/m が大きく, モルタル成分の S/C が小さいほどわずかに有利であるが, g/m, S/C 両要因の値を設定するにあたっては, 前項で述べた締固めの容易さの観点から決まる両要因の値をも考慮することが重要であると考えられる。

5. 本研究結果と実施工データの比較

前章において, 修正 VC 値または VC 値が一定であっても配合の相違によって表面振動機による締固めの容易さが異なること, 締固めが最も容易となる細骨材セメント質量比 (S/C) と粗骨材モルタル容積比 (g/m) の組合せが存在することを明らかにした。本章では, 前章で述べた水セメント比とコンシステンシーを一定としたコンクリートについて, 粗骨材モルタル容積比 (g/m) と細骨材率 (s/a) および単位水量 (W) の関係を明らかにし, この結果に基づき, 本研究で得られた締固めが最も容易なコンクリートの配合といくつかの実施工データを比較し, 締固めの容易さの観点から実施工データの位置付けを試みた。

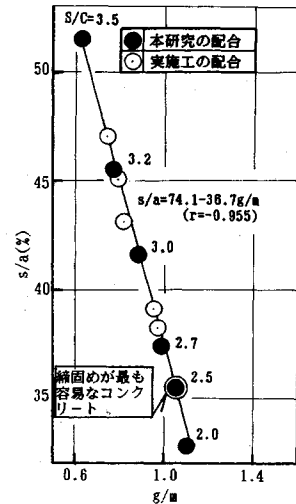


図-10 RCCP用コンクリートのg/mとs/aの関係

図-10 は, 前章で述べた水セメント比 37.0%, 修正 VC 値 50 秒の RCCP 用コンクリートならびに実施工に用いられた RCCP 用コンクリートの g/m と s/a の関係である。実施工に用いられたコンクリートでは普通ポルトランドセメント, 天然砂 (川砂, 陸砂あるいは海砂), 最大寸法 20 mm の砕石を使用し, 水セメント比 30.0~41.3%, S/C 2.6~3.2, 修正 VC 値 50 秒あるいはマーシャル突固め試験による締固め率 96% であった⁷⁾⁻¹¹⁾。図中に本研究における配合要因 S/C の値を併記した。なお, 本研究の配合で得られた締固め率は, 4.(1) a) で示した値と同じである。

図-11 は, 前章で述べた砕砂 (CS) と砕石 2 (CG 2) を使用し, 水セメント比 80.0%, VC 値 20 秒とした RCD 用コンクリートならびに実施工に用いられた RCD 用コンクリートの g/m と s/a の関係である。ただし, 前章で述べた RCD 用コンクリートでは粗骨材の最大寸法 40 mm であったが, 粗骨材の粒径別使用割合において 40~80 mm を 35% と仮定し, 最大寸法 80 mm のフルサイズコンクリートに換算した結果を示してある。また, 実施工に用いられたコンクリートの場合, 中庸熱ポルトランドセメント, フライアッシュ, 砕砂, 最大寸法 80 mm の砕石を使用し, 水結合材比 75.0~85.0%, S/C 5.4~6.1, VC 値 20 秒であった^{1), 12)-16)}。

両図より, g/m の増加とともに s/a は直線的に減少すること, g/m が 0.1 増加すると s/a は, RCCP 用コンクリートでおよそ 4%, RCD 用コンクリートでおよそ 1.5% それぞれ減少することがわかる。また, 4.(1) で述べたように, 締固めが最も容易なコンクリートの g/m, S/C は RCCP 用コンクリートの場合, それぞれおよそ 1.05, 2.5 であり, フルサイズに換算した RCD 用コンクリートの場合, それぞれおよそ 1.70, 4.5 とな

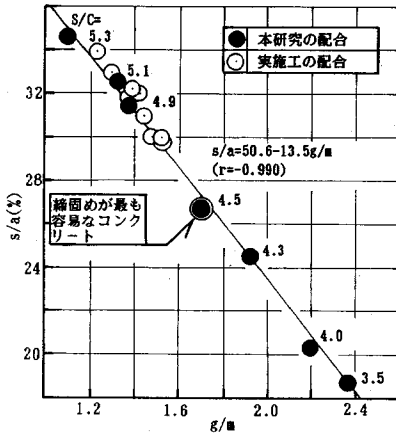


図-11 RCD用コンクリートのg/mとs/aの関係

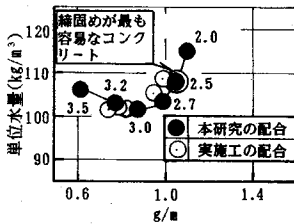


図-12 RCCP用コンクリートのg/mとWの関係

る。これらの値を実施工の場合と比較すると、いずれのコンクリートにおいても実施工における方がg/mは小さく、S/Cは大きい。したがって、図から明らかなように、s/aは実施工における方が大きくなっている。

図-12にRCCP用コンクリートのg/mとWの関係を示す。使用したコンクリートは図-10に示したものと同一である。図より、g/mの増加とともにWはわずかに減少しながら最小値に達し、その後増加に転ずることがわかる。また、図-13にRCD用コンクリートのg/mとWの関係を示す。使用したコンクリートは、図-11に示したものと同一である。図より、g/mの増加とともにWは減少傾向を示すが、その減少割合は徐々に小さくなることわかる。

上述の結果に基づき、本研究から得られた最も容易に締固めが可能なコンクリートのWを実施工の場合と比較してみる。図-12より、RCCP用コンクリートの場合、締固めが最も容易なコンクリートのg/m=1.05に対応するW=108 kg/m³であるのに対して、実施工ではW=102~109 kg/m³である。また、図-13より、RCD用コンクリートの場合、締固めの最も容易なコンクリートのg/m=1.70に対応するW=100 kg/m³であるのに対して、実施工ではW=95~105 kg/m³である。

これらの比較結果より実施工においては、本研究から得られた最も容易に締固めが可能なコンクリートの場合よりg/mは小さい範囲、S/Cとs/aは大きい範囲、ま

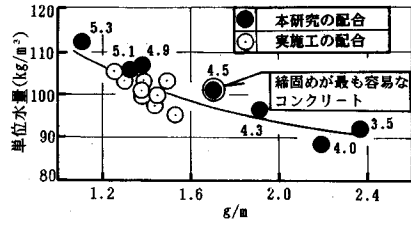


図-13 RCD用コンクリートのg/mとWの関係

た、単位水量は、本研究のデータを含む範囲に分布していることが明らかとなった。本研究では最も容易に締固めが可能なコンクリートをミキサから排出するとき、粗骨材粒子とモルタルの材料分離傾向が観察された。したがって、このコンクリートを実用に供するとすれば、s/aを増加する必要がある。すなわち、g/mを減じてS/Cを増加するとともに、単位水量を減少あるいは増加することになるから、実施工のデータにより近づくと考えられるが、このようなコンクリートは締固めにくくなると判断される。このように、実施工においては、締固めの容易さの観点から判断して、幾分締固めにくい配合のコンクリートを採用しているように思われる。実施工データと本研究から得られた最も容易に締固めが可能なコンクリートの間このような相違が生じたのは、使用材料、水セメント比、練りませ方法および締固め方法が異なることも一因として上げられるがg/mを小さくしてS/Cとs/aを大きくするほど材料分離に対する抵抗性が大きくなり、所要の品質を確保する上で安全側になることによると考える。

6. 結 論

水セメント比一定のRCCP用コンクリートおよびRCD用コンクリートのモルタル成分の細骨材セメント質量比(S/C)と粗骨材モルタル容積比(g/m)に着目し、両要因がコンクリートのコンシステンシー、締固めの容易さおよび圧縮強度に及ぼす影響を実験的に検討した。さらに、締固めが最も容易なコンクリートの配合と実施工データを比較検討した。得られた結果は次のとおりである。

- (1) コンクリートを構成するモルタル成分のフロー値は、S/Cの増加とともに減少傾向を示し、これがある値を越えるとフロー値は測定不可能になる。測定不可能となるS/Cの値は、使用細骨材の種類や水セメント比によって決まる。
- (2) S/Cが一定のとき、g/mが0.1だけ大きくなると修正VC値およびVC値は、それぞれおよそ30秒および10秒増加する。また、VC試験によるコンシステンシー一定のコンクリートは無数に存在する。
- (3) g/mが減少または増加するとき、修正VC値ま

たはVC値を一定に保つには、S/Cを増加または減少させなければならないが、これにともなってモルタル成分量は増加または減少する。この時のモルタル成分の増減量は、フロー値の測定が不可能な場合の方が可能な場合より多くなる。

(4) 修正VC値またはVC値が一定であっても配合の相違によって十分な締固め状態とするための表面振動機の振動時間は異なる。必要な振動時間が短いほど締固めが容易であるとすると、これが最短となるS/Cとg/mの組合せが存在する。すなわち、モルタル成分の流動性ならびに粗骨材とモルタル両成分の構成割合は、締固めの容易さと密接な関連がある。

(5) g/mが大きく、S/Cが小さいほど、強度的にわずかに有利となるが、これらを設定するにあたっては、(4)で述べた締固めの容易さから決まるこれらの値をも考慮することが重要である。

(6) 実施工においては、本研究から得られた最も容易に締固めが可能なコンクリートの場合よりg/mは小さい範囲、S/Cと細骨材率は大きい範囲、また、単位水量は、この場合を含む範囲で分布している。したがって、実施工においては幾分締固めにくいコンクリートを採用しているように思われる。このような相違は、使用材料、水セメント比、練りませ方法および締固め方法が異なることも一因として上げられるが、材料分離に対する抵抗性を配慮したからであろうと思われる。

参考文献

- 1) (財) 国土開発技術研究センター：改訂 RCD 工法技術指針(案) 1989.
- 2) 國府勝郎・安崎裕：転圧コンクリートの舗装の現状と課題，コンクリート工学，Vol. 27, No. 5, pp. 22~30, 1989.
- 3) (社) 日本道路協会：転圧コンクリート舗装技術指針(案)，1990.

- 4) 加賀谷誠・佐藤正一・徳田弘：RCCP用コンクリートの配合と締固め特性の関連性に関する実験的考察，土木学会第47回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp. 516~517, 1992.
- 5) 徳田弘・加賀谷誠・川上洵・辻子雅則：超硬練りコンクリートの締固め度に及ぼす打込み方法および締固め方法の影響に関する基礎実験，土木学会論文集，第408号/V-11, pp. 91~99, 1989.
- 6) 加賀谷誠・徳田弘・川上洵・佐々木良徳・辻子雅則：超硬練りコンクリートの締固め特性に及ぼすモルタル成分のコンシステンシーの影響，(社) 日本コンクリート工学協会フレッシュコンクリートの挙動とその施工への応用に関するシンポジウム論文集，pp. 139~144, 1989.
- 7) 大林道路(株)：男鹿八竜線県単舗装工事転圧コンクリート舗装施工概要，1989.
- 8) 鹿島道路(株)：秋田県立中央公園屋根付グラウンド外周道路転圧コンクリート舗装施工概要，1989.
- 9) 建設省長岡国道工事事務所：堀之内舗装修繕及び歩道工事転圧コンクリート舗装試験施工概要，1989.
- 10) 桜井和実・中原康・万木正弘：舗装用転圧コンクリートの施工性に関する検討，土木学会第43回年次学術講演会講演概要集，第5部，pp. 90~91, 1988.
- 11) 大槻盈紀・近田孝夫・永浜一考：ローラ転圧コンクリート舗装に用いたコンクリートの性状，第44回セメント技術大会講演集，pp. 740~745, 1990.
- 12) 桜井聖：道平ダムのRCD工法，ダム技術増刊，No. 1, pp. 128~140, 1991.
- 13) 福田正之・武蔵正徳・中山誠信：境川ダムのインクライン設備と施工実績，ダム技術増刊，No. 1, pp. 141~151, 1991.
- 14) 阿部宏：RCD用コンクリートの品質管理，ダム技術増刊，No. 1, pp. 176~189, 1991.
- 15) 大坪一郎・中村健美・関口幸夫：朝日小川ダムのRCD用コンクリートに関する試験，ダム技術増刊，No. 1, pp. 152~175, 1991.
- 16) 鈴木志美：RCD用コンクリートの性質と品質管理，ダム技術増刊，No. 1, pp. 190~203, 1991.

(1992. 12. 14 受付)

FUNDAMENTAL EXPERIMENTS ON CORRELATION BETWEEN MIX FACTOR AND COMPACTABILITY OF EXTREMELY STIFF CONSISTENCY CONCRETE

Makoto KAGAYA, Hiroshi TOKUDA and Takeshi ISHIKAWA

This study was carried out to examine the correlation between roller compacted pavement and dam concrete mixes and compactability by surface vibrator. Two significant mix factors, such as sand cement ratio of their mortar component by weight and coarse aggregate mortar ratio by volume, were led to provide the consistency of both concretes. The most compactable concrete mix for each concrete was specified among from the mixes having the same consistency level, and the relation between the both mix factors and compressive strength was clarified at the same water cement ratio. Some mix data used at exact executions were compared with those resulted from this study and the exact mix data were characterized from the view point of the compactability.