

V-95

超硬練りコンクリートのコンシステンシーに影響を与える使用細骨材の性質と配合条件

首都高速道路公団 正会員 白鳥 明
 東京都立大学 正会員 国府勝郎

1. 目的

超硬練りコンクリートは、通常のコンクリートに比べてセメントペースト量が少なく、細骨材の特性のコンシステンシーに与える影響が大きいと考えられる。また、川砂や陸砂などの粒子形状の良好な骨材は、資源の枯渇から使用量が減少し、砕砂やスラグ骨材を使用する機会が多くなると考えられる。

本研究は、9種類の天然細骨材および6種類の銅スラグ細骨材を使用した超硬練りコンクリートの締固め性状を検討し、コンシステンシーに影響を与える細骨材の性質と配合条件を検討したものである。

2. 実験方法

1) 締固め性試験

コンシステンシーの評価には、締固め性試験¹⁾を使用した。締固め性試験は、振動台上で試料を締め固める際の締固めエネルギーによる充填率の変化を締固め関数で近似し、これを締固め曲線としてコンクリートの締固め性を評価するものである。具体的には、初期充填率 C_i 、達成可能充填率 C_f 、締固めの効率を示す締固め係数 C_e および実用上完全な締固め状態に達するエネルギー E_{98} の4指標によって締固め性を評価する。

2) 画像解析による粒子形状の判定

表1 細骨材の試験結果

細骨材の粒子形状の判定は、細骨材を平面としてとらえた画像を解析する方法により行った²⁾。また、本研究で評価の指標に用いた形状係数1は、物体が円だと1、角張りが多く不規則な形状だと1から離れて大きい値を示すものである。

産地・種類	比重		吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	粗粒率	形状係数 1
	表乾	絶乾					
鹿島産・陸砂A	2.65	2.63	0.88	1.841	70.1	2.21	1.11
小笠産・陸砂B	2.59	2.55	1.63	1.787	69.4	2.72	1.20
鹿島産・陸砂C	2.62	2.60	1.07	1.782	68.7	2.90	1.15
金沢産・砕砂	2.63	2.60	1.22	1.685	64.8	2.85	1.33
瑞穂産・砕砂B	2.58	2.55	1.47	1.712	67.5	2.51	1.33
上野原産・砕砂C	2.61	2.57	1.97	1.748	68.3	2.99	1.19
混合砂A ^{*1}	2.61	2.56	1.89	1.758	68.6	2.53	1.24
混合砂B ^{*2}	2.61	2.57	1.41	1.764	68.5	2.75	1.19
佐原産・山砂	2.64	2.54	3.77	1.506	59.2	1.66	1.17
直島・銅スラグA	3.58	3.54	0.55	2.28	64.4	2.44	1.28
小名浜・銅スラグB	3.55	3.53	0.45	2.32	65.6	2.33	1.25
佐賀関・銅スラグC	3.63	3.61	0.50	2.43	67.3	2.41	1.23
小坂・銅スラグD	3.65	3.63	0.52	2.40	66.1	2.21	1.18
玉野・銅スラグE	3.46	3.44	0.50	2.30	66.8	2.59	1.24
東予・銅スラグX	3.38	3.36	0.52	2.20	65.4	2.57	1.29

*1 富士川産川砂：本町産陸砂=7:3
 *2 上野原産砕砂：佐原産山砂=8:2

3) 使用材料

セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.16)、粗骨材は青梅産砕石(比重2.62)および八王子産砕石(比重2.64)を使用した。細骨材は、天然細骨材9種類、銅スラグ細骨材6種類の合計15種類を使用した。細骨材の試験結果を表1に示す。

4) 配合

本研究では、天然細骨材9種類を用いた実験(以下: SERIES 1)および銅スラグ細骨材6種類を用いた実験(以下: SERIES 2)を行っている。配合を表2に示す。

表2 コンクリートの配合

SERIES 1では、単位水量、水セメント比および細骨材率を一定とした。各配合間で、モルタル中の粗骨材粒子の配列は同様で、モルタル/粗骨材空隙比 K_m は一定であるが、細骨材の形成する空隙量が細骨材ごとに異なるため、セメントペースト/細骨材空隙比 K_p は変化し、セメントペースト中の細骨材粒子の配列が異なっている。 K_p 値が大きくなり粒子間隔が十分に離れている配合で、かつ、内部摩擦抵抗という点から、粒子形状の丸く良好な細骨材を使用しているコンクリートでは粒子の移動がスムーズに行われ、締固め性が良好になると考えられる。つまり、 K_p 値を決定する実積率および粒子形状が締固め性状に対して支配的といえる。また、空隙量の指標となる実積率が59.2%と小さい山砂は、 $K_p=0.84$ と1未満となり、コンク

細骨材の種類	K_m	K_p	W/C (%)	s/a (%)	水	単位容積質量	粗骨材率	細骨材率	粗骨材率
SERIES 1									
陸砂A	1.60	1.36	35	40.5	100	286	869	1262	
陸砂B	1.60	1.31	35	40.5	100	286	849	1262	
陸砂C	1.60	1.28	35	40.5	100	286	859	1262	
砕砂A	1.60	1.07	35	40.5	100	286	862	1262	
砕砂B	1.60	1.20	35	40.5	100	286	846	1262	
砕砂C	1.60	1.25	35	40.5	100	286	856	1262	
混合砂A	1.60	1.27	35	40.5	100	286	856	1262	
混合砂B	1.60	1.27	35	40.5	100	286	856	1262	
山砂	1.60	0.84	35	40.5	100	286	865	1262	
SERIES 2									
A	1.38	1.40	35	34.2	110	314	963	1373	
B	1.46	1.40	35	36.2	110	314	1015	1332	
C	1.60	1.40	35	36.9	110	314	1117	1275	
D	1.50	1.40	35	36.9	110	314	1065	1317	
E	1.56	1.40	35	36.1	110	314	1042	1292	
X	1.45	1.40	35	35.8	110	314	957	1340	

リート中に必然的に空隙が残存することとなる。つまり、名目上配合は計算されているが、 K_p という概念でとらえると適切な配合でないことが分かる。SERIES 2の配合は、 K_p 、単位水量および水セメント比を一定とした。この配合を決めるために、予備実験を行い、十分な締固め性状を得られる単位水量および K_p を検討し、 $K_p=1.4$ 、単位水量 $110\text{kg}/\text{m}^3$ とした。また、SERIES 2の配合では、細骨材の種類によって K_m (細骨材率)が変化しているが、締固め性状に与える K_m の影響が小さいものと仮定すると、セメントペースト中の細骨材粒子の配列は同様であるから、締固め性に対し細骨材の粒子形状や粒度分布が支配的と考えられる。

4. 結果および考察

1) SERIES 1

締固め性試験の結果を表3に、また、締固め曲線を比較したものを図1に示す。試験結果と細骨材の特性値との相関性を、重回帰分析により整理した結果を表4に示す。なお、重回帰分析には、変数増減法を用いている。この結果、1)粒子形状が良好な細骨材ほど初期充填率は大きくなる、2)粗粒率および実積率が大きいほど C_f 値は大きくなる、3)粗粒率が大きいほど、また、粒子形状が良好なほど締固め効率は向上する、ということが分かった。

2) SERIES 2

締固め性試験の結果を表5に、また、締固め曲線を比較したものを図2に示す。これらの結果から、E98は変化しているが、 C_i 、 C_f および C_e には相違のないことが分かる。これは、予備実験を行って、十分な締固め性を得られる単位水量および K_p を求め、これらの値を一定としたこと、また、銅スラグ細骨材間の粒子形状は相違のないものとみなせることから粒度や実積率などの細骨材の特性値の影響があらわれなくなったと考えられる。本実験のように、細骨材の性質を配合に反映させるため、 K_p 値を十分考慮して配合設計することが有効であると思われる。

5. まとめ

本研究は、15種類の細骨材を用いた超硬練りコンクリートの締固め性状を検討し、コンシステンシーに影響を与える使用細骨材の性質と配合条件を明らかにしたものである。結果をまとめると次の通りである。

1) 使用細骨材ごとにセメントペースト/細骨材空隙比 K_p が異なる配合条件では、①粒子形状が丸く良好であるほど初期の充填率は大きくなる、②粗粒率および実積率が大きいほど締固め後の充填率が大きくなる、③粗粒率が大きく、粒子形状が良好なほど締固め効率は向上する。2) K_p を一定とした配合条件では、使用する細骨材の粒子形状に相違がなければ、締固め性状に大きな変化は見られない。3) K_p によって細骨材の性質を反映させた配合設計方法が望ましいと思われる。

なお、本研究は、発表者が東京都立大学大学院在学中に行ったものである。

[参考文献]

1) 國府、近藤、上野：RCCP用コンクリートの締固め性試験方法に関する研究、No.46 セメント・コンクリート論文集 pp. 964-969、1992.12 2) 白鳥、国府、久恒：画像解析による銅スラグ細骨材の形状判定について、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集 第5部 pp.484-485、1993.9

表3 試験結果(SERIES 1)

細骨材種類	C_i	C_f	C_e	E98
細砂A	80.75	94.97	0.8389	
細砂B	79.19	96.04	0.8704	1388.81
細砂C	80.95	99.45	1.0539	319.29
中砂A	77.22	89.42	0.7805	
中砂B	76.87	91.22	0.7708	
中砂C	78.57	98.38	0.9763	1379.26
混合砂A	78.04	90.76	0.7859	
混合砂B	78.33	95.38	0.8949	
山砂	78.90	86.92	0.6678	

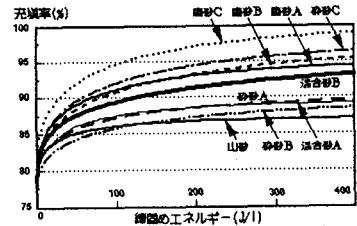


図1 締固め曲線(SERIES 1)

表4 重回帰分析結果

目的変数	説明変数	偏相関係数	決定係数 R^2
C_i	粒子形状	-0.9170	0.8408
C_f	粗粒率 K_p ・実積率	0.8678 0.9208	0.8884
C_e	粗粒率 粒子形状	0.8817 -0.8939	0.8887

表5 試験結果(SERIES 2)

区分	C_i	C_f	C_e	E98
A	83.08	98.28	1.1361	338.38
B	82.48	98.10	1.1071	472.84
C	82.35	97.84	1.0979	—
D	84.16	98.17	1.1480	211.60
E	83.04	98.42	1.1235	169.61
X	82.72	98.55	1.1113	210.76

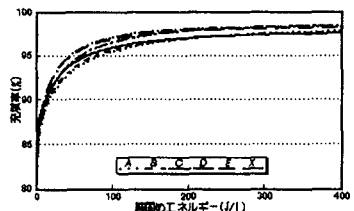


図2 締固め曲線(SERIES 2)