

論文

[1002] 広範な粗骨材粒度に適合する調合設計の研究

正会員 ○星野 政幸 (北海道工業大学)

正会員 長島 弘 (北見工業大学)

1. はじめに

昨今の骨材資源の枯渇化に伴い好ましい粒度の骨材が入手出来ずにコンクリート調合を行わなければならない場合が増えている。しかし、骨材の粒度と実積率から計算した調合が実際のスランブに適合するのはあくまでも標準粒度の範囲に限られている。この報告では粗骨材の粒度に偏りがある場合を想定し標準粒度をはずれる10種類について川砂利コンクリート及び碎石コンクリートの最適調合を求めた。この場合、C.T.Kennedyの余剰ペーストの膜厚理論¹⁾を参考にしたが、同理論は細骨材と粗骨材の実積率、表面積がもとになっている。この研究では細骨材及び粗骨材の実積率、表面率だけでなく細粗混合状態の実積率、表面率、粗粒率を求めこれらがスランブ(単位水量)にどのような影響を及ぼすかを検討した。この場合、骨材の性状が多岐にわたるため重回帰分析法を利用し、単位水量と各性状間の相関を検討した。

2. 実験の概要

粗骨材として川砂利及び碎石、細骨材として海砂(水洗い後)を使用した。粗骨材は5-10mm, 10-20mm, 20-40mmの粒径にふるい分け、それぞれの粗骨材を表1の割合で組み合わせた。使用した細骨材及び粗骨材の粒度分け後の性状を表2に示す。実験は川砂利をシリーズ1-

10、碎石をシリーズ11-20とする。JASS5 図1及び標準仕方書の標準粒度範囲とこの実験で使用した粗骨材の粒度曲線は図1に示す。使用した粗骨材はいずれも標準粒度範囲からはずれている。細粗混合状態の実積率は細骨材率、細骨材の微粒分などによって

表1 実験シリーズ

実験シリーズ	粗骨材種別	粗骨材粒度分布(%)		
		5-10 ^{mm}	10-20	20-40
1	川砂利	100	0	0
2		0	100	0
3		0	0	100
4		33	67	0
5		0	33	67
6		33	0	67
7		67	33	0
8		0	67	33
9		67	0	33
10		33	33	33
11	碎石	100	0	0
12		0	100	0
13		0	0	100
14		33	67	0
15		0	33	67
16		33	0	67
17		67	33	0
18		0	67	33
19		67	0	33
20		33	33	33

1-10は実験シリーズ番号

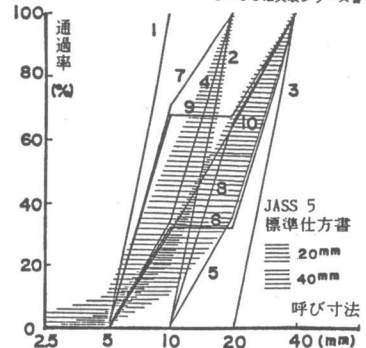


図1 実験シリーズの粗骨材粒度と標準粒度 (JASS 5, 標準仕方書)

表2 使用した細、粗骨材の諸性状

骨材	産地	粒度別	粒度別							吸水率(%)
			~0.15	0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	
砂	厚真	粒径(mm)								1.11
		通過率(%)	3	18	51	75	89	100		
		比重	2.66	2.70	2.70	2.57	2.66	2.68	2.67	
		実積率(%)	68.5	62.1	60.8	61.0	61.9	65.1	64.9	
砂利	当別	粒径(mm)	5	10	20	40				1.99
		比重	2.62	2.64	2.61	2.60				
		実積率(%)	63.3	64.8	64.2	62.5				
		比重	2.65	2.64	2.65	2.68				
碎石	張確	粒径(mm)	5	10	20	40				2.09
		実積率(%)	56.8	60.1	56.9	56.7				

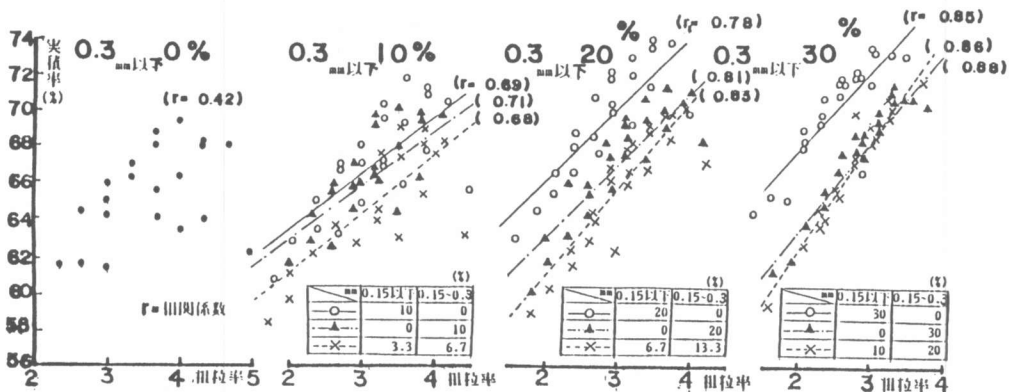


図2 細骨材の粒度変化に伴う粗粒率と実積率の関係

大きく影響される。ここでは、細骨材に0.3mm以下の微粒分を細骨材の0%-30%の範囲で加えて使用した。更に、10mm, 20mm及び40mmのそれぞれの単粒粗骨材に細骨材率25%-75%で変えて混合し実積率を求め、机上にて計算される細粗混合粗粒率と比較した。コンクリートの調合はいずれもW/C=55%でAE剤(ピンソル80)を使用した。

細骨材率は30%-60%の範囲で5%おきに設定した。各細骨材率ごとにペースト量を増加させてスランブを測った。スランブ8cm、18cmの単位水量はグラフ上で直線補間により求めた。このようにして求めた単位水量を各細骨材率ごとにプロットしてグラフを作成する。グラフ上で最小単位水量の細骨材率を選び出す。尚、VB試験の結果も参考にする。骨材の表面積はL.N. Edwardsが提案した表面率²⁾を使用した。下記に示す比表面積率 S_m に単位骨材量を乗ずると表面積が算出される。

$$S_m = P_1 + P_2/2 + P_3/4 + P_4/8 + P_5/16 + P_6/32 + P_7/64 + P_8/128 + P_9/256 + P_{10}/512$$

(但し、 P_1 ; 0.15mm以下の /wt, P_2 ; 0.15mm-0.3mmの /wt, P_3 ; 0.3-0.6mmの /wt, ...
 P_9 ; 20mm-40mmの /wt, P_{10} ; 40mm以上の /wt (wt は重量百分率を示す))

3. 結果及び考察

細骨材の実積率に及ぼす微粒砂(ここでは0.3mm以下を微粒砂と称し、0.15mm以下を微粒分と称す)の影響をみる。0.3mm, 1.2mm, 2.5mm及び5mmを頂点と

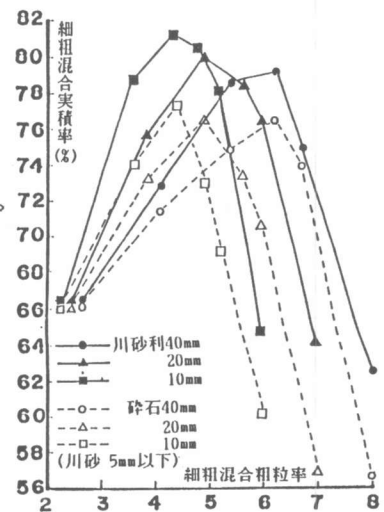


図3 細粗混合実積率と細粗混合粗粒率の関係

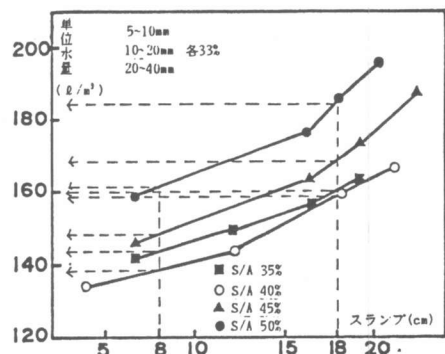


図4 単位水量とスランブの関係 (シリーズ10の場合)

する立体三角形を想定し各辺の1/3点、2/3点と他の3つの粒径の組合せ22種に0.3mm以下を0%-30%で変えた220種の実積率を測定した。粗粒率と実積率との関係は図2になる。粗粒率と実積率は0.3mm以下が増加するほど相関が高くなる。微粒砂量0%では、 $|r|=0.42 < r_{0.05}=0.43$ となり相関が認められない（危険率5%）が、微粒砂量

10%以上になると相関が認められる（危険率5%）。細粗混合粗粒率FFMは細骨材の粗粒率FMS、粗骨材の粗粒率FMG及び細骨材率S/Aから次の式より求まる。

$$FFM = (S/A)FMS + (1-S/A)FMG$$

図3は細粗混合粗粒率と混合実積率との関係を示す。図中の混合粗粒率の最も小さい値は細骨材のみ、最も大きい値は粗骨材のみを示し中間の各点は細骨材率25%-75%の実積率を示す。実積率は川砂利も碎石も40mmの場合、 $FFM=6.3$ ($S/A=30\%$)で最大となり、20mmの場合 $FFM=4.9$ ($S/A=50\%$)で、10mmの場合 $FFM=4.4$ ($S/A=50\%$)でそれぞれ最大となる。いずれも $S/A=30\%-50\%$ で実積率が高く他では低い。

図4はシリーズ10の場合の単位水量とスランブの関係を示す。

図5は川砂利を使用したコンクリート、図6は碎石を使用したコンクリートの細骨材率と単位水量の関係を示す。ほとんどのシリーズで単位水量の極小が認められるが、細骨材率の増加に伴い一様に増加する場合もある。スランブ8cmで単位水量の極小値が明瞭でない場合（シリーズ2、5、9、20）はVB値の低い方のS/Aをもって最適値に判定している。スランブ18cmで細骨材率とともに単位水量が増加する場合（シリーズ5、8、9、15）は分離の生じない最小の細骨材率を最適値にしている。このように各シリーズごとに最適細骨材率を定め、その細骨材率における粗骨材量を算出した。単位水量と細粗混合実積率、細粗混合粗粒率、細

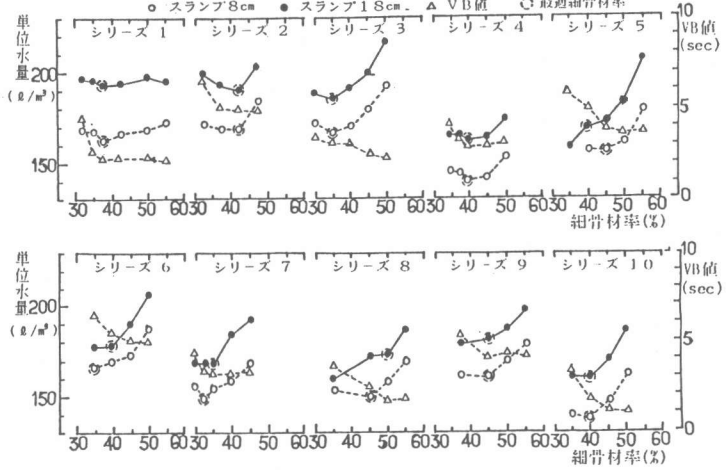


図5 細骨材率と単位水量の関係（川砂利コンクリート）

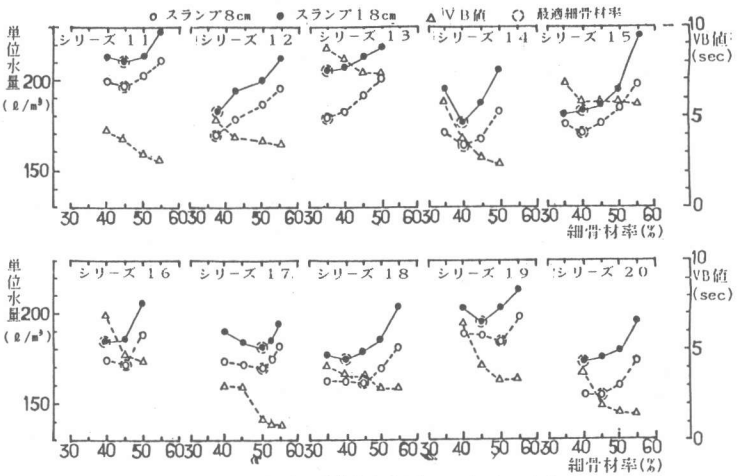


図6 細骨材率と単位水量の関係（碎石コンクリート）

粗混合表面率（0.15mm以下含む）、細粗混合表面率（0.15mm以下含まない）、細骨材率、粗骨材実積率、粗骨材粗粒率及び粗骨材表面率のそれぞれの相関係数は表3及び表4に示す。その結果、スランブ8cmで単位水量に相関の大きい変数は細粗混合表面率（0.15mm以下含まない）、細粗混合表面率（0.15mm以下含む）、細粗混合実積率、細粗混合粗粒率、粗骨材表面率、粗骨材量の順となる。危険率5%で有意な相関の限界は粗骨材表面率までとなった。

表3 各要因間の相関係数マトリックス（スランブ8cmの場合）

	単位水量 X1	細骨材率 X2	粗骨材量 X3	粗骨材 実積率 X4	粗骨材 粗粒率 X5	細粗混合 実積率 X6	細粗混合 粗粒率 X7	粗骨材 表面率 X8	細粗混合 表面率 X9	細粗混合 表面率 X10
X1	1.000	0.194	-0.409	-0.363	0.351	-0.504	-0.478	-0.417	0.534	0.551
X2	0.194	1.000	-0.526	-0.240	-0.101	-0.382	-0.490	-0.143	0.776	0.763
X3	-0.409	-0.526	1.000	0.511	0.061	0.642	0.420	0.746	-0.680	-0.797
X4	-0.363	-0.240	0.511	1.000	-0.763	0.738	0.628	0.476	-0.517	-0.573
X5	0.351	-0.101	0.061	-0.763	1.000	-0.742	0.914	-0.958	-0.423	-0.544
X6	-0.504	-0.382	0.642	0.738	-0.742	1.000	0.810	0.697	-0.753	-0.767
X7	-0.478	-0.490	0.420	0.628	0.914	0.810	1.000	-0.781	-0.584	-0.686
X8	-0.417	-0.143	0.746	0.476	-0.958	0.697	-0.781	1.000	-0.822	0.912
X9	0.534	0.776	-0.680	-0.517	-0.423	-0.753	-0.584	-0.022	1.000	0.863
X10	0.551	0.763	-0.797	-0.573	-0.544	-0.767	-0.686	0.112	0.863	1.000

* 0.15mm以下含む
** 0.15mm以下除外

表4 各要因間の相関係数マトリックス（スランブ18cmの場合）

	単位水量 X1	細骨材率 X2	粗骨材量 X3	粗骨材 実積率 X4	粗骨材 粗粒率 X5	細粗混合 実積率 X6	細粗混合 粗粒率 X7	粗骨材 表面率 X8	細粗混合 表面率 X9	細粗混合 表面率 X10
X1	1.000	0.147	-0.417	-0.404	-0.312	-0.539	-0.492	0.487	0.559	0.579
X2	0.147	1.000	-0.639	-0.259	-0.261	-0.120	-0.644	0.062	0.780	0.739
X3	-0.417	-0.639	1.000	0.413	0.223	0.401	0.575	-0.073	-0.623	-0.893
X4	-0.404	-0.259	0.413	1.000	-0.820	0.733	-0.679	0.408	-0.509	-0.535
X5	-0.312	-0.261	0.223	-0.820	1.000	-0.867	0.904	-0.932	-0.437	-0.604
X6	-0.539	-0.120	0.401	0.733	-0.867	1.000	0.830	-0.700	-0.816	-0.868
X7	-0.492	-0.644	0.575	-0.679	0.904	0.830	1.000	-0.764	-0.774	-0.803
X8	0.487	0.062	-0.073	0.408	-0.932	-0.700	-0.764	1.000	0.858	0.920
X9	0.559	0.780	-0.623	-0.509	-0.437	-0.816	-0.774	0.858	1.000	0.872
X10	0.579	0.739	-0.893	-0.535	-0.604	-0.868	-0.803	0.920	0.872	1.000

* 0.15mm以下含む
** 0.15mm以下除外

4. 結論

1. 細骨材の実積率と粗粒率の関係は0.3mm以下が少ない場合（10%未満）には相関はない。しかし、10%を超えるにつれて相関は高くなる。細骨材と粗骨材を混合して実積率を測った場合、混合割合によって実積率が異なる。混合状態の実積率は細骨材のみの実積率、粗骨材のみの実積率よりも大きくなる。混合実積率の最大はコンクリートの最適細骨材率が存在するS/A=30%-60%にある。この範囲での混合実積率と混合粗粒率の相関性は高いと言える($r=0.810, 0.830 > 0.444$)。
2. 最適細骨材率における単位水量は細粗混合表面率（0.15mm以下含む）、細粗混合表面率（0.15mm以下含まない）、細粗混合実積率、細粗混合粗粒率及び粗骨材表面率とそれぞれ有意な相関にある。細粗混合表面率（0.15mm以下含む）と最も強い相関を有する。このため、細粗混合表面率（0.15mm以下含む）から単位水量を算出するのが最も適当と考えられる。

参考文献

- 1) C.T.Kennedy..“The Design of Concrete Mixes” Proc.ACI.Vol.36.pp.373-400,1940
- 2) L.N.Edwards..“Proportioning the Material of Mortar and Concrete by the Surface Areas of Aggregate” Proc.ASTM..Vol.18.pp.236-248,1918