

[83] ローラコンパクテッドコンクリートの締固め特性に関する実験

正会員 ○ 福田 萬 大 (大成道路技術研究所)
 正会員 中 丸 貢 (大成道路技術研究所)
 辻 井 豪 (大成道路技術研究所)

1. はじめに

ローラコンパクテッドコンクリート(以下、RCCと略す)は近年重力式ダム of 合理的施工を目的として採用されはじめている¹⁾が、これを舗装に使用した場合にはダムの場合と同様建設コストの低減が期待できるだけでなく、単位水量の減少等により舗装用コンクリートとして望ましい性質(ひびわれの減少、耐磨耗性、その他)が得られる可能性がある²⁾。

本報告は試作したハンマ式締固装置および型わくを用いてRCCの締固め特性を実験的に調べ、RCCの配合設計を行うための資料を得るとともに、上記ハンマ式締固装置および加圧振動式締固装置を用いて作製した圧縮用供試体(φ10×20cm)および曲げ用供試体(10×10×40cm)の強度を、通常のコンクリートの値と比較した結果を述べたものである。

2. 試験装置の概要

RCCのコンシステンシー試験装置はダム用RCCで使用されているVC試験装置¹⁾、コンクリートブロックに使用される供試体成形機³⁾等の振動機を用いた装置が実用化されているが、舗装材料の試験機としてはできるだけ簡易で入手しやすいものが望ましい。通常、アスファルトコンクリートの配合試験にはマーシャル突固装置と呼ばれる試験機が一般に使用されている。これは、アスファルトコンクリートの供試体(φ10×6.35cm)を突固めて作製するものであり、筆者らも基本的にはこの締固め機構を利用し、供試体寸法がφ10×20cmのものを2層で締固めることが出来るよう改造したハンマ式締固装置(図-1)を製作して実験に用いた。

また、コンクリート舗装の版厚の設計は曲げ強度にもとづいて行われるので、曲げ強度試験用供試体を作製するため加圧振動式締固装置(図-1)を試作した。

以上の実験に使用した型わくは、通常の分割式型わくでは締固め時に型わくネジ部がゆるむ恐れがあるため、図-2のようにJIS A 1132の規定内で型わく内面にテーパを持たせた一体式型わくを製作し、油圧式脱型機で押し抜いて脱型する方法を採用した。

なお、通常の分割式型わくと押抜式型わくとで強度差がどの程度あるかを、同一配合のコンクリート(粗骨材の最大寸法=15mm, W/C=50%, スランプ=3cm, 空気量=3%)を打設して測定したところ、表-1のようにどの材令でも強度差はほとんど無いという結果であった。

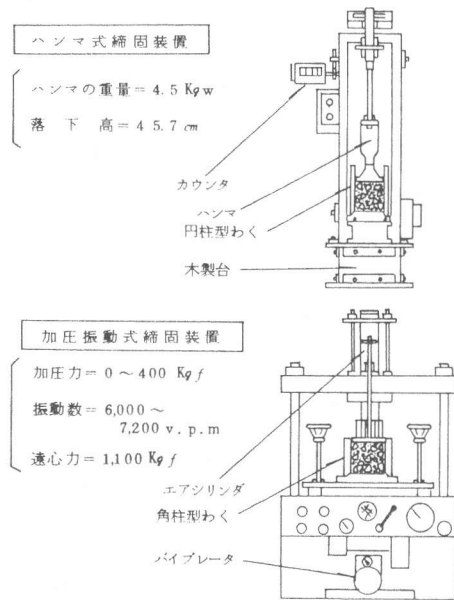


図-1. 締固装置の概要

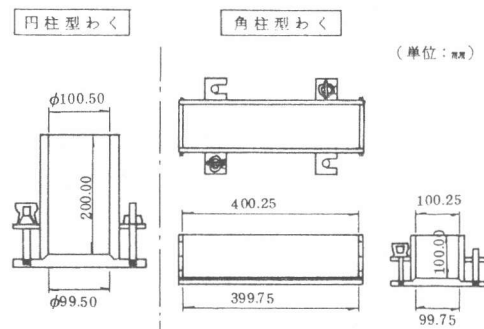


図-2. 押抜型わくの形状

3. R C C の締固試験結果

R C C のコンシステンシー（締固め易さ）に影響を及ぼす主な要因は、単位水量、骨材粒度（粗骨材の最大寸法，細骨材率），骨材の形状，水セメント比（セメントペーストの粘度）などがあげられる。

締固試験はハンマ式締固装置を使用し、水セメント比および単位水量一定の条件のもとで、締固回数を変化させたシリーズⅠ，骨材粒度を変化させたシリーズⅡ，高性能減水剤を用いたシリーズⅢに分けて行った。

3-1 シリーズⅠ

骨材は石灰岩砕石（5号，6号，7号）および石灰岩砂砂（いずれも、栃木県葛生産）を使用し、これらを組み合わせた6粒度（表-2）を選定した。セメントは普通ポルトランドセメント（比重3.15）を使用した。

水セメント比は50%（一定）とし、各骨材粒度ごとに単位水量を変化させた配合（表-3）のR C Cを練りませ、所定の回数だけ一層で締固めた後の供試体の厚さが $10 \pm 0.5 \text{ cm}$ となるだけの試料重量を計量して $\phi 10 \text{ cm}$ の円柱型わくに詰め、ハンマ式締固装置を用いて締固回数を10~150回まで変化させたときの供試体高さから、計算により供試体密度を求めた。

図-3は締固めの程度を締固率（=供試体密度÷理論最大密度×100，%）として表わし、締固回数（ n ）の常用対数（ $\log n$ ）と締固率との関係を各粒度ごとに示したものである。図から各粒度ごとに見ると、水セメント比が一定の場合同じ単位水量のもとで締固回数（ n ）を増加させると締固率も増大し、 $\log n$ と締固率とはほぼ直線的比例関係にあることがわかる。また、締固回数が20，50，150回の場合を例にとって単位水量と締固率の関係を示す。

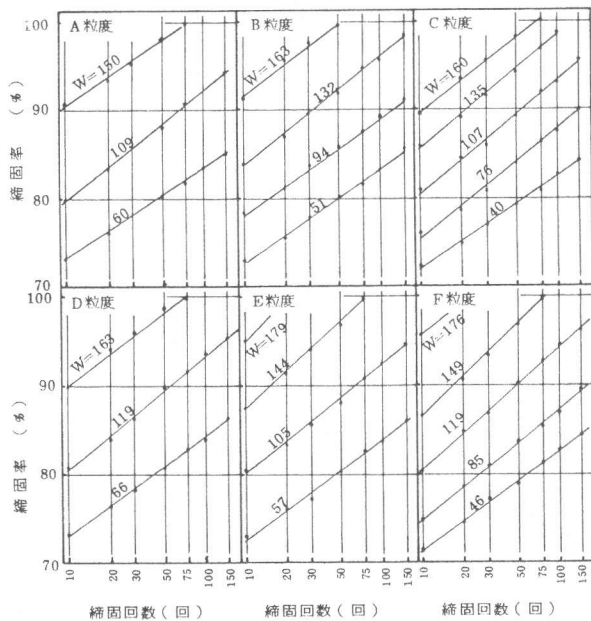


図-3. \log （締固回数）と締固率の関係（数字は単位水量， kgw/m^3 ）

表-1. 押抜型わくと分割型わくの強度比較結果（平均値 kgf/cm^2 ）

種類 材令	圧縮供試体 ($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)		曲げ供試体 ($10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$)	
	押抜型わく	分割型わく	押抜型わく	分割型わく
2日	92.4	93.1	19.6	19.0
7日	20.6	21.7	38.8	38.3
28日	36.5	37.9	52.4	51.4

表-2. 骨材の合成粒度および骨材配合比（シリーズⅠ）

粒度記号	A	B	C	D	E	F
骨（加積）	100%	100	100	—	—	—
材（成）	98	97	96	—	—	—
積（通）	95	90	88	100	100	100
過（率）	82	71	64	94	90	88
度	65	52	43	74	61	51
率	41	32	22	47	37	27
(%)	18	14	9	20	16	11
	6	5	3	7	6	4
	3	2	1	3	2	2
	1	1	1	1	1	1
骨材配合比	5号	14	25	32	—	—
(%)	6号	18	21	23	22	38
	7号	19	16	20	22	18
	砂砂	49	38	25	56	44
						30

表-3. 示方配合（シリーズⅠ， $w_c = 50\%$ ，設計空気量 = 0%）

粒度記号	単位量 (kgw/m^3)					
	水 w	セメント c	細骨材, S		粗骨材, G	
			砕砂	7号	6号	5号
A	60	120	1194	463	439	341
	109	218	1087	421	399	310
	150	300	998	387	367	285
B	51	102	941	396	520	619
	94	188	869	366	480	571
	132	264	806	339	445	530
C	163	326	753	317	416	495
	40	80	632	505	581	809
	76	152	593	474	545	759
D	107	214	558	446	513	714
	135	270	527	422	485	675
	160	320	500	400	460	640
E	66	132	1348	530	530	—
	119	238	1218	479	479	—
	163	326	1109	436	436	—
F	57	114	1077	440	930	—
	105	210	984	403	850	—
	144	288	907	371	783	—
F	179	358	840	344	726	—
	46	92	750	575	1174	—
	85	170	698	535	1093	—
	119	238	652	500	1022	—
	149	298	613	470	960	—
	176	352	578	443	905	—

示すと図-4のようであり、単位水量の増加とともに締固率もほぼ直線的に増大する傾向が見られた。

3-2 シリーズⅡ

骨材は硬質砂岩砕石(6号, 7号, 奥多摩産)および川砂(鬼怒川産)を使用し、これ等を組み合わせた5粒度(表-4)を選定した。セメントは普通ポルトランドセメント(比重3.15)を使用した。実験に用いた配合を表-5に示す。

シリーズⅡでは通常のコンクリートのような最適細骨材率がRCCの場合でも存在するかを調べるため、水セメント比および単位水量一定の条件で細骨材率(骨材合成粒度の5mmふるい通過率)を変化させ、同一締固回数における締固率の変化を測定した。試験方法はシリーズⅠと同様である。

この結果を示すと図-5のようで、締固回数を一定とした場合明らかに最も締固めやすい細骨材率(最適細骨材率)が存在することがわかる。しかし、この最適細骨材率は締固回数が大きいとやや小さくなる傾向が見られる。

3-3 シリーズⅢ

シリーズⅡで使用した骨材の粒度Ⅰについて、表-5に示す配合で高性能減水剤(高縮合芳香族スルホン酸塩系)の添加率をセメントに対し重量比で0~3%まで変化させ、締固率の変化を測定した結果は図-6のようである。図から、締固回数を一定とした場合、高性能減水剤の添加率を増すと締固率は大きくなる(締固まり易くなる)傾向が見られ、高性能減水剤の減水効果がRCCについても確認できた。

4. RCCの強度試験結果

シリーズⅠで使用したBおよびE粒度について、表-6のように水セメント比を40、50、60%と変化させた配合でRCCを練りませ、図-1の締固装置を使用し圧縮用供試体($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)は2層で、曲げ用供試体(10×

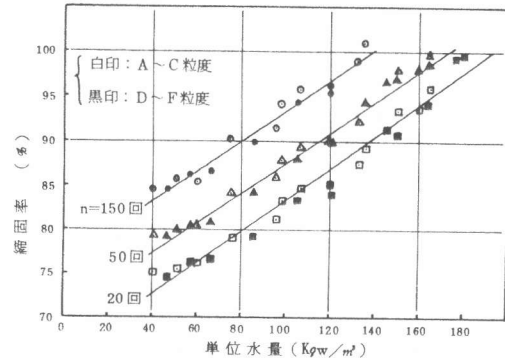


図-4. 単位水量と締固率の関係

表-4. 骨材の合成粒度および骨材配合比 (シリーズⅡ)

粒度記号	G	H	I	J	K
15 mm	100%	100	100	100	100
10	96	91	85	76	70
5	85	76	62	44	30
2.5	52	46	38	26	19
1.2	41	36	30	20	15
0.6	36	31	27	18	13
0.3	15	13	11	8	6
0.15	2	1	1	1	1
骨材配合比 (骨材合成粒度)					
6号	10%	20	35	55	70
7号	50	45	35	25	15
川砂	40	35	30	20	15

表-5. 示方配合 (シリーズⅡ, Ⅲ, $w/c = 40\%$, 設計空気量 = 0%)

シリーズ	粒度記号	細骨材率 (%)	単位水量 (Kg/m³)					
			水 w	セメント c	細骨材 S (川砂 7号)	6号 G	高性能減水剤	
Ⅱ	G	85	130	325	801	1001	200	-
	H	76	#	#	701	901	400	-
	I	62	#	#	600	701	701	-
	J	44	#	#	402	503	1105	-
	K	30	#	#	301	302	1407	-
Ⅲ	I	62	110	275	628	734	734	0~8.3

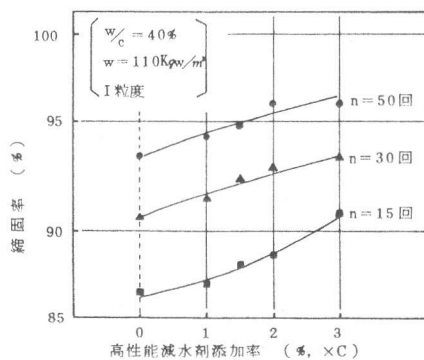


図-6. 高性能減水剤添加率と締固率の関係

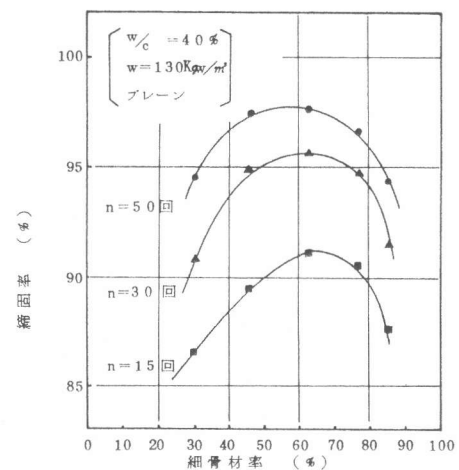


図-5. 細骨材率と締固率の関係

10×40cm)は1層で締固めて作製した。また、供試体の空隙率は0～15%の範囲となるように締固エネルギー(締固回数等)を変化させた。作製した供試体は翌日油圧式脱型機で脱型後水中養生(20℃)し、材令7日で強度試験を行った。なお、1測定値を得るための供試体数は3個とした。

図-7～8は水セメント比40%, 50%, 60%のそれぞれについて空隙率と強度との関係を示したものであるが、水セメント比を一定とした場合、RCCの強度は空隙率(=100-締固率)に大きく影響されるといえる。

また、曲げ強度/圧縮強度の値は空隙率=5%の場合で見ると1/4～1/5程度であり、通常のコンクリートの場合(1/5～1/8)にくらべ曲げ強度のわりあいが大きい。

5. まとめ

アスファルトコンクリートの試験で一般に使用されているマーシャル突固装置と基本的に同一の締固め機構を有するハンマ式締固装置および押抜型わく(φ10×20cm)を使用し、RCCの締固め特性を調べた結果をまとめると以下のようである。

なお、本文中の示方配合(表-3、5および6)は全て設計空気量=0%の場合(いわゆる、理論最大密度)で示したため、通常のコンクリートの場合のように空気量も含めた示方配合の表し方とは異なっている。これは、RCCのように大きな締固めエネルギーを要する材料の配合試験を行う場合、締固めエネルギーの変化で容易に空隙率が増減するため、同一バッチのコンクリートであっても空隙率の増減によって単位量が増減するという複雑さを無くすためである。

① 単位水量(設計空気量=0%)を一定とし、締固回数(n)と締固率の関係を求めると、 $\log n$ と締固率の間にはほぼ直線関係が認められる(図-3)。また、締固回数を一定とした場合、単位水量(設計空気量=0%)と締固率とはほぼ直線関係にある(図-4)。

② 単位水量(設計空気量=0%)および締固回数が一定の条件で細骨材率を変化させると、細骨材率と締固率の関係は上に凸の曲線となり、最適細骨材率を容易に求めることができる(図-5)。

また、圧縮および曲げ強度試験の結果をまとめると以下のようである。

③ RCCの曲げ強度/圧縮強度の値(1/4～1/5)は通常のコンクリートの値(1/5～1/8)と比較し大きく、舗装用のコンクリートとして望ましい性質を有する(図-7～8)。

<参考文献>

- 1) 広瀬利男・柳田力;「コンクリートダムの新しい施工方法」セメントコンクリート No. 377 July 1978
- 2) C.D. Burns, K.L. Sancier;「Vibratory Compaction Study of Zero-Slump Concrete」ACI Journal March 1978
- 3) 木村恵雄;「供試体成形機の実験結果について」月刊「土木コンクリートブロック」第10巻第3～5号, 昭和49年10月

表-6. 示方配合(設計空気量=0%)

粒度記号	w/c (%)	単位量 (kg/m ³)					
		水 w	セメント c	細骨材, S		粗骨材, G	
				砕砂	7号		6号
B	40	112	280	821	346	454	540
	50	122	244	—	—	—	—
	60	131	218	—	—	—	—
E	40	112	280	950	389	820	—
	50	122	244	—	—	—	—
	60	131	218	—	—	—	—

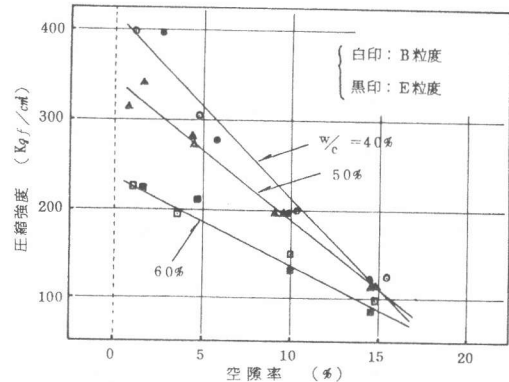


図-7. 空隙率と圧縮強度の関係(材令7日)

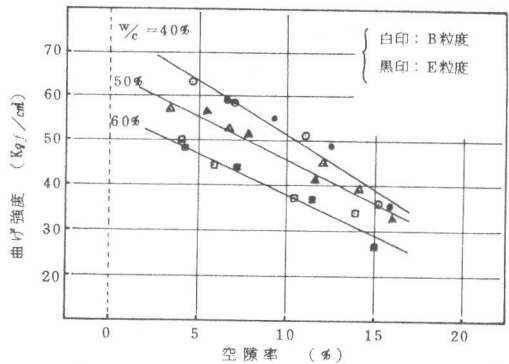


図-8. 空隙率と曲げ強度の関係(材令7日)