

寒中コンクリートの強度に影響する因子の交互作用について (モルタルによる実験)

堀 内 照 夫

I 緒 言

コンクリートは養生温度、セメント使用料、使用水量および骨材の粒径組成によつて強度に著しい差を生ずる。特に寒冷期のコンクリート工事においては、保温養生は欠くことのできない要件であり、打ち込み禁止温度、保温の基準が規定されている。しかしながら地理的、地形的悪条件において施工される治山工事は、渇水期であることと労力を確保しやすいということのために農閑期を利用しなければならないという事情から、多くの工事が冬期間に集中するが、規定に従つて保温養生を行なうことが困難で、合理的なコンクリート工事の施工が期待できない状態である。たまたま長野県伊那市周辺において使用されている細骨材について、河川別の川砂を材料にしてコンクリートの強度を比較した結果、表1および図1に示したとおり強度に著しい差を認め、骨材の性質を明らかにしたところ、骨材の材質ならびに粒径の組成が重要な役割を果たしていることが明らかになつた。

この報告は、寒中コンクリートの施工に関する研究の第一段階として行なつた実験の結果である。骨材の粒径組成がコンクリートの強度に大きな影響をおよぼすということは、治山工事において玉石コンクリート工事が行なわれることからその適性を明らかにして改善を図るための手がかりと、更には前述したところの諸因子の併用による効果を明らかにし、悪条件のもとで実施するコンクリートの施工を合理的に行なうための指針を得るため、養生温度、配合比、水セメント比および骨材の粒径組成の4つの因子について要因分析による実験計画に従つてコンクリートの圧縮強度を試験し、因子それぞれの主効果と、これらの因子の組合せによる交互作用について考察した。

本研究を行なうにあつて懇切なる御指導をいただいた本学部辰野良秋教授に心からの謝意を申しのべる。

表1 骨材の特性

特性 \ 河川 (地質)	梓川 (古生層)	奈良井川 (古生層)	三峯川 (結晶片岩)	太田切川 (花崗岩)	中田切川 (花崗岩)
真 比 重	2.66	2.67	2.72	2.67	2.66
カ サ 比 重	2.59	2.58	2.64	2.63	2.61
単 位 重 量 ton/m ³	1.628	1.755	1.598	1.577	1.485
粗 粒 率 %	2.03	2.55	1.49	2.00	1.41
空 隙 率 %	37.07	32.06	39.54	40.11	43.10
含 水 量 %	1.59	1.95	1.62	1.39	1.24
風 乾 状 態 %	0.66	0.46	0.40	0.58	0.95
粘 土 量 %	1.15	2.88	3.29	3.89	1.93
1週間強度 kg/cm ²	125.3	117.3	97.8	89.3	65.5

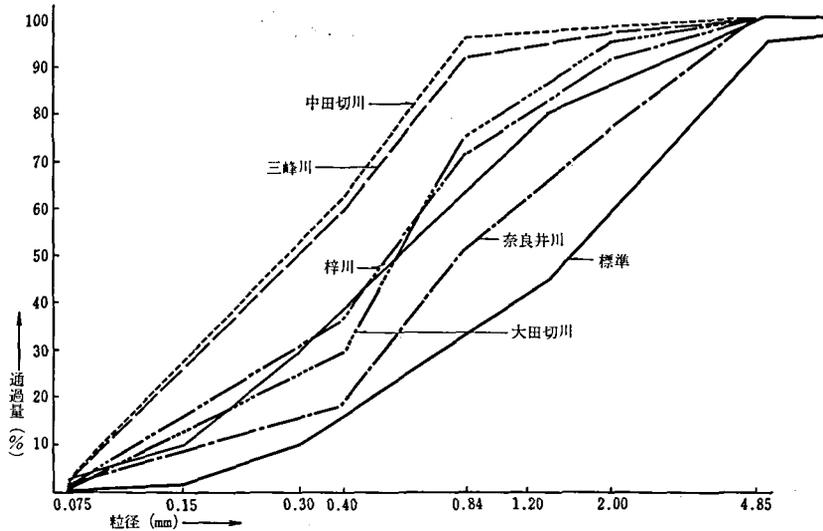


図1 河川別細骨材の粒度曲線

II 実験方法

実験に必要な供試体が大量(180個)に必要なことおよび圧縮試験機の性能にあわせて実験の器具、材料はつぎのように準備した。

(1) 実験の器具および材料

- (イ) 型枠. $\phi 6 \times 12$ cm ブリキ製の円筒型枠60個を用意し、各群の供試体数を5個とし、12群を同時に作製した。全体の実験は3回に分けて行なった。
- (ロ) セメント. 日本工業規格ポルトランドセメント(電気化学製)
- (ハ) 骨材. 長野県南安曇郡梓川産の川砂を水洗し、篩分けして使用した。材質は硬質の砂岩、粘板岩が主体であった。
- (ニ) 使用水. イオン交換樹脂を通過させた純水
- (ホ) 強度試験機. アムスラー型万能試験機(10ton)
- (ヘ) その他. 恒温器, 低温室

(2) 実験方法

(イ) 所定の材料について手練りしてから練りおよび水を加えて練り混ぜを十分に行ない、打ち込みは型枠の1/2ずつ2層に分け、 $\phi 9$ mmの鉄棒でおのおの25回突き込んで1個を仕上げ、各群5個ずつの供試体を完成させた。供試体は1個ずつポリエチレン製の袋に入れて密閉し、恒温器、低温室に静置した。

(ロ) 打ち込み後24時間で、水セメント比0.3のセメントペーストにてキャッピングを行ない、更に24時間後に型枠をはずし、通算1週間の養生を行なった。

(b) 実験はつぎの各群について実施した。

要 因	記 号	摘 要
温 度 (A)	A ₁	常 温 (21°C)
	A ₂	低 温 (3°C)
	A ₃	凍 結 温 (-5°C)
配 合 比 (B)	B ₁	1 : 3
	B ₂	1 : 2
水セメント比 (C)	C ₁	0.4
	C ₂	0.5
粒 径 組 成 (D)	D ₁	0.5cm以下の砂
	D ₂	0.5~0.2cm範囲の砂
	D ₃	0.2cm以下の砂

型枠60個を使用し、要因B, C, Dの処理については同時に供試体を作製し、要因Aのみ3回に分けて実施した。供試体180個はおおの重量、仕上り直径、長さを測定して検査しながら圧縮試験機にかけて破壊荷重を求め、平均断面積にて除して圧縮強度とした。

III 実験の結果および考察

コンクリートの養生温度、配合比、水セメント比および骨材の粒径組成について圧縮強度を求めた結果は表2の(1), (2), (3)であり、これらの実験値について分散分析を行なった結果は表3のとおりである。

この結果、各因子の主効果については既に知られているとおり、それぞれに有意性が認められた^{1),2),3)}。そしてこの実験の範囲内では、その効果のあらわれ方は、養生温度、水セメント比、配合比、骨材の粒径組成の順になった。温度については、その範囲が常温(21°C)と凍結温(-5°C)という極端な条件で比較しているのでこの結果は当然であるが、低温(3°C)との差も有意であつて養生温度の重要性が強調された。

表2の(1) 圧 縮 強 度 (kg/cm²)

要 因	A ₁											
	B ₁						B ₂					
	C ₁			C ₂			C ₁			C ₂		
試験片	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	243	195	100	141	123	147	320	242	283	204	180	173
2	258	171	147	152	94	79	339	250	274	236	158	113
3	198	149	114	190	113	112	309	275	302	219	146	189
4	223	269	98	164	128	147	269	228	278	203	143	167
5	189	165	108	144	121	143	257	250	225	165	142	152
平 均	222	190	113	158	116	126	299	249	272	205	154	159

表2②(2) 圧縮強度 (kg/cm²)

要因 試験片	A ₂											
	B ₁						B ₂					
	C ₁			C ₂			C ₁			C ₂		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	73	135	84	116	93	122	238	201	175	154	131	113
2	115	111	71	128	113	137	273	224	227	131	94	121
3	96	130	61	141	111	138	233	209	235	136	119	176
4	150	164	51	128	123	109	245	206	233	89	170	169
5	84	120	64	150	114	119	215	228	180	129	117	135
平均	104	132	66	133	111	125	241	214	210	128	126	143

表2②(3) 圧縮強度 (kg/cm²)

要因 試験片	A ₃											
	B ₁						B ₂					
	C ₁			C ₂			C ₁			C ₂		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
1	66	68	84	50	38	73	101	60	87	50	38	40
2	97	80	88	51	51	72	103	63	91	46	39	41
3	99	79	102	46	44	67	106	51	76	42	39	39
4	73	75	90	42	42	63	75	48	92	43	38	44
5	78	57	90	37	39	65	98	61	87	45	43	47
平均	83	72	91	45	43	68	97	57	87	45	39	42

表3 分散分析表

要因	自乗和	自由度	不偏分散	分散比	5%F	1%F
A	479277	2	239638	**573.98	3.06	4.76
B	82091	1	82091	**196.62	3.91	6.85
C	96142	1	96142	**230.28		
D	18505	2	9252	**22.16		
A×B	52972	2	26486	**63.43		
A×C	14340	2	7170	**17.17		
A×D	20970	4	5242	**12.55	2.43	3.45
B×C	39545	1	39545	**94.71		
B×D	4308	2	2154	**5.15		
C×D	6302	2	3151	**7.54		
A×B×C	20076	2	10038	**24.04		
A×B×D	5550	4	1387	*3.32		
A×C×D	4864	4	1216	*2.91		
B×C×D	8555	2	4277	**10.24		
A×B×C×D	4816	4	1204	*2.88		
誤差	60108	144	417.5			
全	918421	179				

水セメント比については、粒径組成によつて workability が急激に悪化するため 0.4, 0.5 の 2 通りについてのみの実験であつて、0.4 の場合においては、硬練りのため突き固め操作に難点があつたが、実験の結果は水セメント比説の有意性を明らかに示した。

粒径組成については粗粒率による分類をすることなく、 D_1 、 D_3 によつて粒径の上限を変え、 D_2 について微細粒子分を欠いた粗粒砂とし、特に低温、凍結温における有意性のあらわれ方について考察した。その結果 D_1 が最も良く、 D_2 、 D_3 の差は条件によつて長短を示し、 D_2 は凍結温において著しく劣つていた。すなわち骨材の優劣性は粒径組成が微粒のものから粗粒に至るものを示的に含有し、仕上りコンクリートが、セメントペーストによつて最大密度を示しうるような集合性を持たなければならないことを明らかに示した。この実験の場合 D_1 がこの条件に相当した。 D_2 のように粗粒部分だけで微細粒を欠いたものは、空隙を作りやすく、凍結温度では空洞を生ずる結果強度は著しく低下するものである。

配合比は一般に知られているとおりであつた。

これら 4 つの因子の組合せによる交互作用は表 3 のとおりでそれぞれの有意性が明らかにされた。すなわちコンクリートの強度は、因子それぞれの主効果が加算的に作用するばかりでなく、相乗的に作用するものであることが認められた。たとえば 2 つの因子間では、配合比と水セメント比については、水セメント比の相違による強度差は富配合の場合に非常に大きくあらわれるが、貧配合ではその差は前者に比較してはるかに小さくなつてゐる。また、粒径組成の差による強度差も貧配合における場合よりも富配合の場合に大きくあらわれ、更に、配合比が強度におよぼす効果は常温におけるよりも低温の場合に大きくあらわれているなどである。

3 つの因子間では、粒径組成に対するほかの 2 つの因子のそれぞれの組合せは、配合比と水セメント比において最も差が顕著で、養生温度と配合比、養生温度と水セメント比では同じ程度であつた。すなわち粒径組成が異なることによつて生ずる強度差は、養生温度の高低においてあらわれるよりも、配合比、水セメント比の組合せに対して大きな差をあらわすことを示した。

更に 4 つの因子の交互作用も有意であつた。これは要するにコンクリートの強度は適正な骨材を使用し、セメントの配合を豊富にし、使用水量をできる限り少なくして良く練り混ぜて十分に締め固め、適温で養生すれば最高強度を示すコンクリート施工ができるというきわめて常識的な結果が得られ、更に材料、施工の条件に恵まれない場合において、因子の組合せを適切にすれば、冬期間においても粒径組成、配合比、水セメント比の選択を吟味することによつてその条件における合理的なコンクリート施工を実施することができることを示した。しかしながら、凍結温度におけるコンクリートの強度は常温において養生されたものの 1/2 以下に過ぎないことを忘れてはならない。

IV 摘 要

コンクリートの強度に影響する因子の効果のあらわれ方について、モルタルによる実験を行なつた。結果は表 3 に示した分散分析表で明らかであるが、そのうち顕著なものおよび寒中コンクリートについて考察するとつぎのとおりである。

(1) 養生温度、配合比、水セメント比および骨材の粒径組成の各因子について、その主効果は有意であり、その交互作用も有意性を示した。すなわち各因子の組合せによる効果のあらわれ方は加算的のみならず相乗的である。したがって与えられた条件のもとでは当然各因子の組合せを吟味すべきである。

(2) 寒中コンクリートにおいて最も強度に影響をおよぼす因子は養生温度である。凍結温度における富配合、水セメント比小なるものは、低温における貧配合、水セメント比大なるものにはるかにおよびない。

(3) 寒中コンクリートでは、できる限り水セメント比を小さくすることが要求される。貧配合で水セメント比小なるものは、富配合で水セメント比大なるものより強度に良い結果をもたらす。

(4) 寒中コンクリートでは特に骨材の粒径組成に留意することが必要である。とりわけ大きい粒子の様なものは避けなければならない。

(5) 養生温度、水セメント比、粒径組成が同一条件ならば富配合コンクリートの強度が大きいことはいうまでもない。

(6) 使用水量を増せばコンクリートのスランプは一般に大きくなるが、その程度は骨材の粒径組成によつて著しく影響される。一般にコンクリートの強度は水セメント比によつて、また使用水量はスランプの大きさを決定するが、強度を減少させないで workability を良くするために、使用水量とセメント量を同時に増加させて水セメント比を一定に保つ方法が用いられていたが、それよりも、セメント量、使用水量はそのままにして¹⁾²⁾³⁾おいて、粒径組成を変化させてスランプを加減する方法が用いられるようになったが、本実験でも明らかにこのことを確認した。

(7) 一定水量の場合、コンクリートの強度を増すにはセメント量を増し、粒径組成を加減すれば良い。程度の差は低温になる程著しくない。この場合スランプを増すには粒径を加減すれば良いが強度に著しい変動が伴う。

(8) 一定セメント量の場合、強度を増すには使用水量を減少させ、粒径組成を変えれば良い。粒径の変化によつてスランプを変えることができる。

(9) 一定セメント量の場合、大きい粒径の様な骨材は、使用水量を減少することによつて水量の多い、粒径組成の適正な骨材を使用する場合よりも大きい強度を出し得る。スランプは理想的になり材料の分離が避けられ、強度に好結果をもたらす。

この結果、与えられた条件のもとで合理的なコンクリートを造る要件は、影響をおよぼす因子の特性を理解し、材料の選択、施工の方法を吟味して実行することであるといえることができる。

V 結 言

寒中コンクリートの強度について、養生温度、配合比、水セメント比および骨材の粒径組成について各因子の主効果とそれらの交互作用について考察した。しかしながら、コンクリートの強度試験は、供試体の均一作製が困難であるため、まずモルタルを使用して実験を行なったのであるが、限られた設備において組み合わせ因子の複雑な条件のもとで数多い供試体

を同時に作製したため、データーのバラツキが大きかったがそのまま統計処理を行なつたので追試を必要とする部分もあると思う。近年においては、化学工業の進歩により、有効なセメント分散剤、コンクリート急結剤等の混和剤が使用されているので、実験の規模を拡大し、これらの因子とあわせてこの種の研究を進めると同時に、合理的な保温方法を確立するため寒中コンクリートの保温対策について研究する考えである。

参 考 文 献

1. 近藤泰夫・坂静雄編 (1957)：コンクリートハンドブック 朝倉書店
2. 近藤泰夫訳 (1953)：コンクリートマニュアル 国民科学社
3. 吉田徳次郎 (1957)：コンクリートハンドブック 養賢堂
4. 丸安隆和 (1962)：コンクリート工学 コロナ社
5. 堀松和夫 (1951)：寒中コンクリート 理工図書
6. 山田順治 (1951)：コンクリート工学 //
7. 吉田徳次郎 (1940)：最高強度コンクリートの製造について 工学会大会講演集
8. Delmar L. Blome and Richard D. Gaynor (1963)：Effects of aggregate properties on strength of concrete Jour. A. C. I.

Interactions of Factors Influence of the Strength of Concrete for Winter Concreting (by Mortar)

By TERUO HORIUCHI

Summary

The effects of factors, i. e., curing temperature, mixing proportion, water-cement ratio and grading of aggregate, and their interactions on the strength of concrete in winter work are investigated.

The results are obtained the effects of the combinations of these factors are not only additional but multiplicative. Therefore, it is very important to select the combination of factors for winter concreting.