

貧配コンクリートの研究 (第2報)

大 手 桂 二・瀬 尾 克 美・遠 藤 隆 一

Studies of the Lean-Concrete (2nd Report)

Keiji ÔTE, Katsumi SENOO and Ryûichi ENDO

目 次

要 旨	257	IV 総 括	268
I はじめに	257	引 用 文 献	268
II 試験方法	258	Résumé	268
III 結果の解析および考察	262		

要 旨

貧配合コンクリートのモルタルの性質については、すでに本研究第1報(新砂防61号)にその強度に影響をおよぼすと考えられる要因をとりあげて、それぞれの効果を示したが、本報告では、これらモルタルの性質がそのままコンクリートに適用できるかどうかを検討したものである。

コンクリートの圧縮強度におよぼすと考えられる要因を8つとり上げ、これら要因と、まだ固まらないコンクリートの単位容積重量、空隙量、および空気量、さらに材齢28日強度との関係を検討した結果、以下のような結論がえられた。

1) 材齢28日における貧配合コンクリートの圧縮強度に影響をおよぼす要因としては、単位セメント量 (150kg/m^3 , 135kg/m^3 , 120kg/m^3) 細骨材の粗粒率 (2.6 および 2.9), しめ固め回数 (21, 42, 63回) などがあげられる。

2) まだ固まらないコンクリートの単位容積重量、空隙量、および空気量はしめ固め回数によって、ある程度規制されるということから、まだ固まらないコンクリートの単位容積重量、空隙量および空気量とコンクリートの圧縮強度との間に何らかの関係がみ出されそのそれぞれには、かなりの程度の相関関係がみられる。

3) (2)の結果から、単位セメント量 150kg のコンクリートの圧縮強度について、圧縮強度と単位容積重量、空隙量および空気量との間の関係は、それぞれ図—11, 図—12, 図—13にみられるように直線関係がえられる。

4) 圧縮強度とセメント空間比との間にも相当に強い相関関係が見られこの場合も直線関係によって近似されることが認められた。

1. は じ め に

貧配合モルタルについて、新砂防61号に、¹⁾

(1) 貧配合モルタルにおける空隙および空気量には、セメントの種類、細骨材の粒度、しめ固め回数が重要な因子となる。

(2) 圧縮強度に影響をおよぼす因子としては、セメント使用量と細骨材の粒度があげられとくに、細骨材粒度は最も高い寄与率を示す。

(3) 圧縮強度と空隙、空気量との間には何らかの関係が見出される。

などの点を報告した、筆者らは以上の点を考慮して、これら貧配合モルタルがそのままコンクリートにした場合、すなわち同じ品質の貧配合モルタルでコンクリートを作成したとき、どんなコンクリートができるか、どのような強度を発現するか、また以上にあげた事項がそのままあてはまるかどうかを検討するために、今回はこの貧配合コンクリートの圧縮強度についてのみ試験を行なったものである。

2. 試験方法

i) 試験計画

試験の順序としては、第1報（新砂防61号）¹⁾において用いた、貧配合モルタルの性質を知る上での7つの因子を、この試験でもそのまま採用した。すなわち、A：粗細骨材比、B：単位セメント量、C：水セメント比、D：単位AE 剤量、E：セメントの種類、F：細骨材の粒度、G：しめ固め回数、H：養生条件、の8因子とした。このうちABCの3因子については第1報と全く同じ水準をもったが、D因子については、AE剤量使用しないものと0.04%の2水準 E因子については、第1報ではフライアッシュ混入セメントを用いたが、本試験にさいしてフライアッシュセメントの入手困難なこと、フライアッシュを用いた場合、材齢28日強度で試験を行なった場合、強度の発現が緩まんなため、他のポルトランドセメントおよび高炉セメント（B種）と比較検討がつきにくいことなどを考慮してこの代りに高炉セメント（A種）を用いることとした。

F因子については、第1報では細骨材の細粒度が標準粒度以下、標準粒度、標準粒度以上の3水準にとったが、その結果やはり標準粒度のものが良い結果がえられたので、本試験の水準としては標準粒度の範囲内で細粒度の多いもの、少ないものの水準にとった。

G因子については、筆者が以前に貧配合コンクリートの圧縮強度について（新砂防55号）²⁾試験したさいに供試体作成にあたって JISA1108 にもとづいて行なったのであるが、そのさいコンクリートが非常な硬練りコンクリートになることを知りこのコンクリートとしめ固めるには上記の方法では不適当であることを認め今回は内山実氏⁵⁾が提案した硬練りコンクリート圧縮試験方法により行なった。

図-1のような突き棒を用いて、供試体型枠（15cm×30cm）に3層にわけてつめ、この各層ごとに図-2のような順序でしめ固めと行ない。その突き固め回数を、21回、42回、63回、の3水準をとることとした。なお JIS 規格ではこの回数は42回を採用している。

H因子は、材齢28日間標準水中養生したものと、材齢7日で標準水中養生を打ち切り以後の3週間を室内（空气中乾燥状態）に放置したものとのわけて2水準とした。

以上の各因子、水準 L_{27} 型直交表によってわりつけ各試験を行なった。表1、表2にその総括表および因子水準のわりつけ表を示す。

ii) 試験材料

a) セメント

市販のセメントを購入したもので、アサノセメント株式会社の製品を使用した、セメント試験として

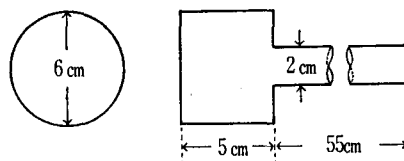


図-1 硬練りコンクリート用突き棒

Fig. 1 Tamping rod for dry consistency concrete

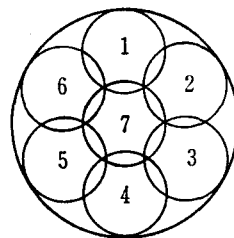


図-2 標準型枠（15φ×30cm）内での突き固め順序

Fig. 2 Tamping method in the standard mold (15φ×30cm)

表一 要因およびその水準

Table 1 Factors and its levels

要 因	水 準								
A 粗 細 骨 材 比	A ₁ (2.1)	A ₂ (2.3)	A ₃ (2.5)	A ₁ (2.3)	A ₂ (2.5)	A ₃ (2.7)	A ₁ (2.5)	A ₂ (2.7)	A ₃ (2.9)
B 単 位 セ メ ン ト 量	B ₁ (150kg)			B ₂ (135kg)			B ₃ (120kg)		
C 水 セ メ ン ト 比	C ₁ (60.0)	C ₂ (62.5)	C ₃ (65.0)	C ₁ (62.5)	C ₂ (65.0)	C ₄ (67.5)	C ₁ (65.0)	C ₂ (67.5)	C ₃ (70.0)
D 単 位 A E 剤 量	D ₁ (0%)			D ₂ (0%)			D ₃ (0.04%)		
E セ メ ン ト の 種 類	E ₁ (ポルトランドセメント)			E ₂ (高炉セメントB種)			E ₃ (高炉セメントA種)		
F 粗 骨 材 の 粒 度	F ₁ (F. M. 2.9)			F ₂ (F. M. 2.9)			F ₃ (F. M. 2.6)		
G し め 固 め 回 数	G ₁ (21回)			G ₂ (42回)			G ₃ (63回)		
H 養 生 条 件	H ₁ (室内乾燥養生)					H ₂ (標準養生)			

表一 2 各実験に対するわりつけ表

Table 2 Table of assignment for each tests

No.	A	B	C	D	E	F	G
1	1 (2.1)	1 (150)	1 (60.0)	1 (0.00)	1 (PC)	1 (2.6)	1 (21)
2	"	"	2 (62.5)	2 (")	2 (FCB)	2 (")	2 (42)
3	"	"	3 (65.0)	3 (0.04)	3 (FCA)	3 (2.6)	3 (63)
4	1 (2.3)	2 (135)	1 (62.5)	2 (0.00)	2 (FCB)	2 (2.9)	3 (")
5	"	"	2 (65.0)	3 (0.04)	3 (FCA)	3 (2.6)	1 (21)
6	"	"	3 (67.5)	1 (0.00)	1 (PC)	1 (2.9)	2 (42)
7	1 (2.5)	3 (120)	1 (65.0)	3 (0.04)	3 (FCA)	3 (2.6)	2 (42)
8	"	"	2 (67.5)	1 (0.00)	1 (PC)	1 (2.9)	3 (63)
9	"	"	3 (70.0)	2 (")	2 (FCB)	2 (")	1 (21)
10	2 (2.3)	1 (150)	1 (60.0)	1 (")	2 (")	3 (2.6)	1 (")
11	"	"	2 (62.5)	2 (")	3 (FCA)	1 (2.9)	2 (42)
12	"	"	3 (65.0)	3 (0.04)	1 (PC)	2 (")	3 (63)
13	2 (2.5)	2 (135)	1 (62.5)	2 (0.00)	3 (FCA)	1 (")	3 (63)
14	"	"	2 (65.0)	3 (0.04)	1 (PC)	2 (")	1 (21)
15	"	"	3 (67.5)	1 (0.00)	2 (FCB)	3 (2.6)	2 (42)
16	2 (2.7)	3 (120)	1 (65.0)	3 (0.04)	1 (PC)	2 (2.9)	2 (42)
17	"	"	2 (67.5)	1 (0.00)	2 (FCB)	3 (2.6)	3 (63)
18	"	"	3 (70.0)	2 (")	3 (FCA)	1 (2.9)	1 (21)
19	3 (2.5)	1 (150)	1 (60.0)	1 (")	3 (")	2 (")	1 (21)
20	"	"	2 (62.5)	2 (")	1 (PC)	3 (2.6)	2 (42)
21	"	"	3 (65.0)	3 (0.04)	2 (FCB)	1 (2.9)	3 (63)
22	3 (2.7)	2 (135)	1 (62.5)	2 (0.00)	1 (PC)	3 (2.6)	3 (63)
23	"	"	2 (65.0)	3 (0.04)	2 (FCB)	1 (2.9)	1 (21)
24	"	"	3 (67.5)	1 (0.00)	3 (FCA)	2 (")	2 (42)
25	3 (2.9)	3 (120)	1 (65.0)	3 (0.04)	2 (FCB)	1 (")	2 (42)
26	"	"	2 (67.5)	1 (0.00)	3 (FCA)	2 (")	3 (63)
27	"	"	3 (70.0)	2 (")	1 (PC)	3 (2.6)	1 (21)

PC : Portland Cement FCB : Blast-furnace Cement (B)

FCA : Blast-furnace Cement (A)

は、強度試験のみについて行ない、表一 3 にその試験結果を示す。ポルトランドセメント、高炉セメントA種、B種ともそれぞれ正常なものと認められた。なおセメントの貯蔵には、50kg 入のセメント貯蔵缶を用い、試験期間中の品質の低下を防ぐよう留意した。

b) 骨 材

使用した骨材は、粗細骨材とも市内の建材店より購入したもので、滋賀県野州川産である。粗骨材は、市販の関係上最大寸法 25mm 以上のものは産地の方で破砕したものらしくその碎石をそのまま混

入したもので、本試験にとって好ましくないものであるが、他に求める時間的余裕がなく、やむをえずこれを用いた。

骨材試験としては、比重、粒度、吸水量について行ない。表-4および国-3の結果をえた。細骨材の比重については、前述のごとく粒度を2種類にしたのであるが、細粒部の多い粒度の場合、購入細骨材に重量比で20%の豊浦標準砂を混入して用いたのであるが、標準砂の比重は2.59が求められたので、配合計算にはほぼ購入細骨材の比重に近似しているところから、両水準とも細骨材の比重を2.58として使用することとした。また細骨材の表面水に関しては、その都度測定しそれに基づいて計量を行ない。粗骨材のそれに関しては、計量の前に洗滌を行ない。そのうち2~3分間水に入れて放置したのち、水を切ったものを使用した。したがってこの粗骨材の表面水量は、3.22%と測定され、混合水計量のさいの資料とした。

c) A E 剤

空気連行剤の効用は一般の富配合コンクリートに対してはその顕著なことは幾多の工事例からも証明されているが、本試験のように貧配合でしかも硬練りコンクリートに関しては、どの程度の効果が期待されるかという点で使用したものである。使用したAE剤は、山宗化学株式会社製のヴィンゾルをセメント使用量に対して0.04%として用いた。

iii) 実験の手順

表-3 セメント強度試験結果

Table 3 Results of strength tests for cement

セメントの種類	曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)		フロー値
	σ_1	σ_{28}	σ_1	σ_{28}	
ポルトランドセメント	55.0 (46.1)	90.6 (69.8)	263 (217)	377 (410)	200
高炉セメントB種	37.9 (38.4)	67.4 (67.0)	186 (177)	365 (395)	197
高炉セメントA種	46.2 (41.5)	69.3 (69.8)	208 (195)	364 (418)	—
フライアッシュセメント	49.4 (66.0)	63.0 (75.5)	214 (198)	382 (380)	220
J I S 規格	25以上	40以上	110以上	220以上	

() は日本セメントKKによる試験成績

表-4 骨材の試験結果

Table 4 Results of aggregate tests

	比重	吸水量	粗粒率
細骨材	2.58	1.52	2.93
細骨材 + 標準砂	(2.58)	—	2.60
粗骨材	2.65	1.04	7.71

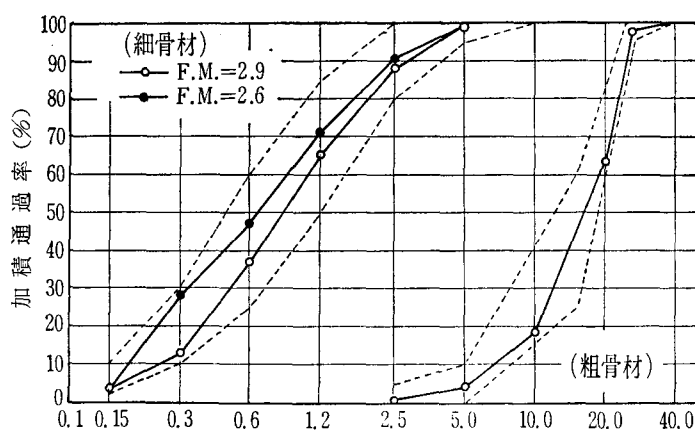


図-3 骨材の粒径加積曲線

Fig.3 Size accumulation curve of aggregates

前記(i)でのべたわりつけ表による各材料と供試体(15cm×30cm)4本作成する量を1バッチとしてそれぞれ計量し、手練りによって練り混ぜを行なった。まず細骨材を練り台に広げその上にセメントを入れ空練りを行ない、ついで粗骨材を入れて空練をつづけ最後に計量した水あるいは、AE剤混合水を入れて緩り混ぜを行なった。

緩り混ぜ完了後のコンクリートを直ちにJIA1116の方法にしたがい単位容積重量を測定した。この測定値から空隙量もしくは空気量を計算によって求めるのである。ただしこの方法による測定容器が内径24cm高さ22cmであるため供試体型枠の締め固め回数21, 42, 63回と同程度の締め固め仕事量がいられるようにこの容器での突き固め回数を決定しなければならない。そのためには、供試体型枠と測定容器の断面積の比をとると2.56となり、測定容器の突き固め回数は、21, 42, 63のそれぞれ2.56倍とし、54, 108, 161回となる。また仕事量の方からみると突き棒の重量2.5kg, この突き棒を10cmの高さから落下させるとして21, 42, 63回のそれぞれに対して、525, 1050, 1575kg.cmの仕事量がいられ、測定容器の方の回数からはそれぞれ、1350, 2700, 4025kg.cmの仕事量が求められるこの両者の回数に対する仕事量の比をとってみると、2.57, 2.57, 2.56とほぼ両者の断面積の比と近似しているところから、供試体締め固め回数の2.56倍の54, 108, 161回を測定容器の締め固め回数として採用し、所定の締め固めを行なった後上面をストレートエッジでならし重量を測定した。測定後のコンクリートをもう1度練り台にあげ練り直しを行ない圧縮強度試験用供試体4本を作成した。供試体作成は、型枠に3層に分けてコンクリートをつめ規定回数だけ締め固め、24時間後にキャッピングを行ない。さらに24時間たって型枠をとりはずし20°±3°Cの水中に浸漬して養生を行なった。この中2本はテストピース作成後1週間で水中よりとり出し室内に放置した。

圧縮強度試験は、谷藤製圧縮100t手動式試験器で、あらかじめ試験を行ない、最も楽に手動操作できる変形速度約0.025mm/secで行なった。

以上の測定結果ならびに計算結果を表-5に示す。

表-5 測定結果および計算結果

Table 5 Data of measurement and calculation

No.	Unit Volume Weight (kg/m ³)	Void Content (%)	Air Content (%)	Compressive Strength (kg/cm ²)			
				H ₁		H ₂	
1	2120	23.1	15.4	48.2	45.3	45.3	42.3
2	2191	20.2	12.2	51.0	45.1	60.6	58.9
3	2302	16.4	7.6	138.2	138.8	130.3	138.7
4	2211	19.4	11.9	60.6	77.8	76.4	47.1
5	2191	20.1	12.6	63.6	75.9	73.6	61.1
6	2231	19.0	10.8	59.3	80.1	62.1	59.3
7	2181	20.3	12.3	64.6	74.5	61.8	77.4
8	2211	19.1	12.2	62.3	50.7	58.5	45.3
9	2110	22.9	15.9	45.4	35.7	25.5	23.8
10	2150	21.9	14.0	84.9	86.6	77.5	76.2
11	2221	19.3	11.1	102.5	105.0	100.5	78.3
12	2262	18.2	9.3	130.2	128.6	124.5	106.8
13	2201	22.0	12.4	82.1	86.1	90.2	81.9
14	2170	21.0	13.5	63.4	68.1	61.1	57.6
15	2211	19.7	11.5	99.0	102.3	88.0	87.5
16	2170	20.5	13.9	71.5	74.7	62.6	43.1
17	2201	19.5	12.5	73.9	75.0	56.6	70.2
18	2110	23.0	15.9	37.4	62.3	65.5	31.6
19	2160	21.5	13.7	82.3	80.9	50.8	68.6
20	2272	17.5	9.2	137.5	137.3	110.4	110.5
21	2241	18.9	10.0	124.6	112.2	107.0	117.9
22	2231	18.8	11.3	102.4	102.7	81.7	100.7
23	2260	21.4	13.7	74.4	62.3	54.1	47.6
24	2201	20.3	12.0	72.8	82.1	57.8	59.3
25	2160	21.1	14.2	52.4	63.8	54.4	45.3
26	2140	21.7	15.0	67.1	63.5	36.1	35.0
27	2181	20.7	13.3	51.8	68.1	53.3	36.6

3. 結果の解析および考察

表一5の結果から貧配合コンクリートの単位容積重量、空隙量、空気量および材齢28日における圧縮強度についてそれぞれ分散分析により、各因子の効果をみると、それぞれ表一6、表一7、表一8、表一9のごとくなる。表における、ss：平方和、df：自由度、ms：平均平方和、 ρ ：寄与率、*：危険率5%で有意、**：危険率1%で有意であることを示す。

単位容積重量、空隙量、空気量についてはG因子（しめ固め回数）が最も大きな効果を示しB因子、F因子がこれについてそれぞれの特性値に対して効果のあることを示している。

表一7 空隙量の分散分析表

Table 7 Table of dispersion analysis for void content

Factor	ss	df	ms	ρ (%)
A	124	2	62	
B	785	2	393	8.6
C	623	2	312	6.3
D	353	1	353	3.8
E	354	2	177	
F	963	1	963**	12.4
G	2945	2	1473	39.1
AXB	256	4	64	
AXC	166	4	42	
e	524	6	87	29.8
T	7093	26		

表一8 空気量の分散分析表

Table 8 Table of dispersion analysis for air content

Factor	ss	df	ms	ρ (%)
A	57	2	26	
B	2990	2	1495*	25.5
C	914	2	457	6.5
D	480	1	480	3.5
E	273	2	137	0.9
F	1112	1	1112*	9.3
G	4160	2	2080**	36.3
AXB	207	4	52	
AXC	77	4	19	
e	623	6	104	18.0
T	10893	26		

表一6 単位容積重量の分散分析表

Table 6 Table of dispersion analysis for unit volume weight

Factor	ss	df	ms	ρ (%)
A	1	2	1	
B	122	2	61*	19.0
C	38	2	19	4.2
D	19	1	19	2.1
E	25	2	13	1.9
F	57	1	57*	8.8
G	246	2	123**	43.2
AXB	11	4	3	
AXC	9	4	2	
e	41	6	7	20.8
T	569	26		

表一9 圧縮強度の分散分析表

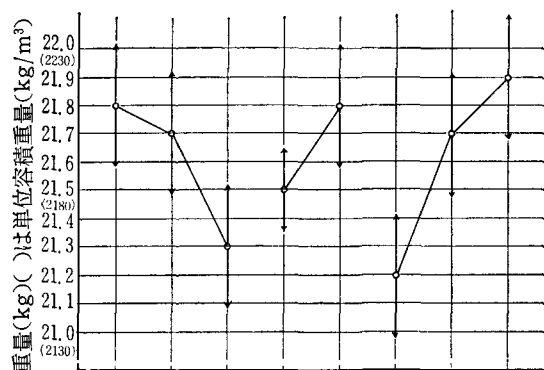
Table 9 Table of dispersion analysis for compressive strength

Factor	ss	df	ms	ρ (%)
A	475040	2	237520	5.0
B	2633538	2	1316769**	30.3
C	261311	2	130656	2.5
D	405947	1	405947	4.5
E	110684	2	55342	0.8
F	698141	1	698141*	7.9
G	1602208	2	801104**	18.2
AXB	234155	4	58539	0.9
AXC	86588	4	21647	
e ₁	415912	6	69319	
T''	6923524	26		
H	315900	1	315900**	3.4
AXH	64225	2	32113	0.2
BXH	3078	2	1539	
CXH	6173	2	3087	
DXH	243	1	243	
EXH	7567	2	3784	
FXH	30520	1	30520	0.1
GXH	459	2	230	
AXBXH	6913	4	1728	
AXCXH	60457	4	15114	
e ₂	39219	6	6537	
T'	7458278	53		
e ₃	1078275	54	19968	26.2
T	8536553	107		

圧縮強度については、最も大きな影響因子としてはB因子（単位セメント量）が挙げられ、ついでG因子、F因子が挙げられる。

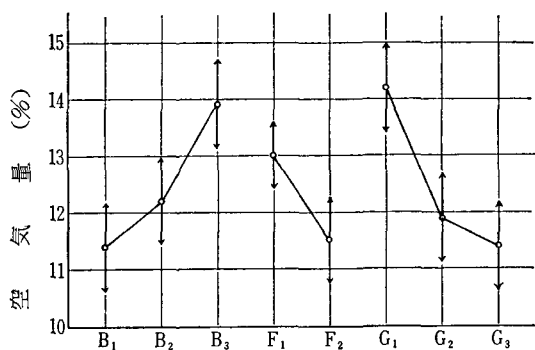
以上の各特性値のいずれにも共通して、B、F、Gの3因子がそれぞれの変動に対する有意性が認められるか、あるいは寄与率が高いことは注目値すると考えられる。

それぞれの特性値といまあげた各因子との関係を図示すると、図—4、図—5、図—6、図—7のようになる。



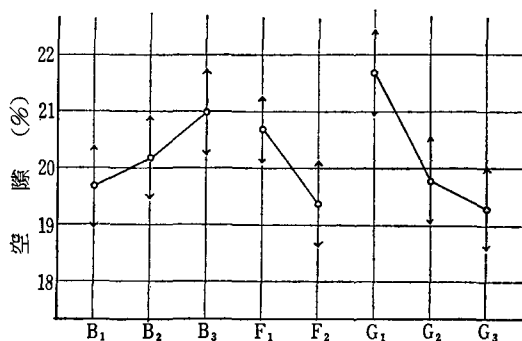
(単位セメント量) (細骨材粒度) (しめ固め回数)
図—4 コンクリート重量(単位容積重量)と各因子との関係

Fig. 4 Relation between weight of fresh concrete (unit volume weight) and each factors



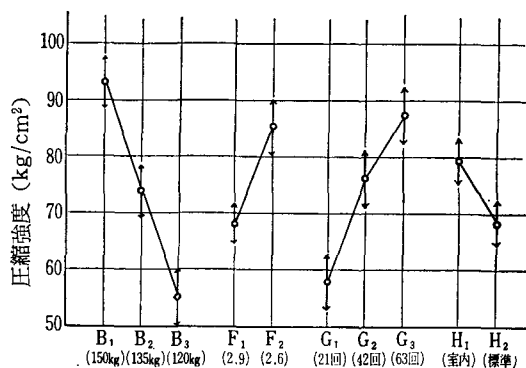
(単位セメント量) (細骨材粒度) (しめ固め回数)
図—6 空気量と各因子との関係

Fig. 6 Relation between air content and each factors



(単位セメント量) (細骨材粒度) (しめ固め回数)
図—5 空隙量と各因子との関係

Fig. 5 Relation between void content and each factors



図—7 圧縮強度と各因子との関係

Fig. 7 Relation between compressive strength and each factors

各点の95%信頼限界は、単位容積重量、空隙量、空気量に関しては $\pm \sqrt{\frac{F_{66}^1 \times V_e}{n_e}}$ 、圧縮強度に関しては $\pm \sqrt{\frac{F_{66}^1 \times V_e}{n_e}}$ で求められる。ここで n_e はそれぞれの点に対する反復数を示しその点が何個の平均値を表すかを意味し、 F_{66}^1 は誤差 e の自由度 a が自由度 1 に対する F 表で危険率 5% に対する F の限界値を表わし、 V_e は誤差 e の平均平方和を表わす。したがって図—4 においては、 $B_1, B_2, B_3, F_2, G_1, G_2, G_3$ は $n_e=9$ となりその信頼限界は $\pm 0.22\text{kg}$ 、 F_1 は $n_e=18$ となり信頼限界は 0.15kg となる。同様に空隙量、空気量についても F_1 以外の各点についてはそれぞれ $\pm 0.76\%$ 、 $\pm 0.83\%$ が、また F_1 については $\pm 0.54\%$ 、 $\pm 0.59\%$ の信頼限界が求められた。

図一7については同じく $B_1, B_2, B_3, F_2, G_1, G_2, G_3$ は $n_e=36$ でその信頼限界は $\pm 5.1 \text{ kg/cm}^2$, F_1 については $n_e=72$ となり $\pm 3.6 \text{ kg/cm}^2$, H_1, H_2 に対しては $n_e=54$ となりその信頼限界 $\pm 4.1 \text{ kg/cm}^2$ が求められた。

以後各特性値に共通して影響を与えると認められる3つの因子、単位セメント量、細骨材の粒度、しめ固め回数を中心に考察を進めてみる。

i) 単位セメント量

本研究の第1報¹⁾にもこのように貧配合モルタルの場合には、顕著な効果は示さなかったけれども、その圧縮強度に対して、かなり大きな寄与率を示すことからとり上げたが今回の貧配合コンクリートになると、圧縮強度に対しては、最も大きな効果、寄与率を示すことになった。他の3つの特性値(単位容積重量、空隙量、空気量)にも相当な効果を示していることから、貧配合コンクリートにおいては、セメント量の多少がコンクリートの性質におよぼす影響は大であるといえる。

圧縮強度に関して、第1報¹⁾でのべた単位セメント量と圧縮強度との量には直線関係が成り立つことを本研究の場合図一7にも示されているように、ほぼこの関係が成り立つことが確かめられた。木村氏⁸⁾によれば、単位セメント量 $120 \text{ kg/m}^3 \sim 200 \text{ kg/m}^3$ の範囲内でセメント量と圧縮強度との関係は標準しめ固めの場合には直線関係がえられ、振動機によるしめ固めの場合には曲線関係が求められるとのことで、本試験の場合しめ固め方法の突き棒による相異はあるが、ほぼ同じような結果がえられたものと云える。

単位容積重量、空隙量、空気量と単位セメント量との間には、圧縮強度ほど顕著な関係は認められないが、セメント量が、減少するにつれて単位容積重量が減少しひいては、空隙量、空気量が増大するという結果がえられた。

以上のことから単位セメント量をパラメーターとして、単位容積重量と圧縮強度との間には比例的な関係がみられ、空隙・空気量と圧縮強度との間には逆比例的な関係が認められるのではないかと推測されるのである。用いた粗骨材にも問題はあると考えられるがコンクリート中のペーストの濃度が低下するにしたがって骨材表面ペーストの囲わりが悪くなることと、コンクリートのウォーカビリティ⁹⁾が低下することによって、空隙が生じ易くひいては強度に影響をおよぼすものと考えられる。

ii) 細骨材粒度

第1報¹⁾では、3水準の粒度で試験を行なって標準粒度の細骨材が良い結果をえたと報告したが、本試験では、各因子のわりつけのさいの時間的制約(水準を多くとればそれぞれの水準の粒度に細骨材を調整しなければならない)と、購入細骨材の状態を考慮して、前記のように2水準にして試験を行なったものである。結果としては、図一4, 5, 6, 7に示したように、細骨材の細粒部が多い骨材の方が、単位容積重量が増大し、空隙量、空気量とも減少し、ひいては圧縮強度は良い結果がえられている。このことは第1報¹⁾での細粒欠除の細骨材、標準粒度の範囲より多い細骨材といった3水準で行なった結果と、あわせて考えて見ると、吉田徳次郎氏のいわれた、貧配合コンクリートにおいては、細骨材の細粒部が多いほど強度の発現には有利であるというお考えは、筆者としては、標準粒度の範囲内で細骨材の細粒部が多いほど有利であると解釈したいのである。

iii) しめ固め回数

貧配合コンクリートのような硬練りコンクリートにおいて、しめ固め仕事量の多少によって、単位容積重、空隙量などに有意差が認められるというのは当然なことのようであるが、その圧縮強度においても明らかに有意差が認められるということは、表一9、図一7に示すとおりである。この問題については、内山実氏⁵⁾が幾多の試験の結果、土木学会標準示方書硬練りコンクリート圧縮強度試験方法にみられるように、一般の圧縮強度試験方法とその供試体の作成方法において提唱されているように、硬練りコンクリートしめ固めに適したような突き棒を考案されたことから明らかである。また

内山氏はそのさい、この突き棒で1層につきしめ固め回数と300回くらいにしめ固めれば、大体そのコンクリートの最高の強度がえられると報告されている。また木村氏は、標準しめ固め（スランブ4cm）と内部振動機によるしめ固め（スランブ0cm）との比較によって、 $120\text{kg/m}^3 \sim 200\text{kg/m}^3$ の貧配合コンクリートでは、後者の方が明らかに高強度のコンクリートがえられるとし、当時第2次大戦中の物資不足に直面したときのセメント量節約の一端としての研究が報告されている。

以上のように、workable でないコンクリートの場合は、大胆な推論になるかもしれないが、しめ固めの仕事量によってある程度の強度が推定できるのではないかと考えられるのである。すなわち、しめ固め仕事量により単位容積重量なり空隙量などが規制され、そこで圧縮強度がある程度推定できるのではないかと考えられるのである。

なお、本試験で使った因子およびその水準での最高の圧縮強度を発現させる組合せ、およびその推定値は、表一9より有意と出た因子のうちで、圧縮強度の高い水準をひき出して推定値を $\hat{\mu}$ とすると

$$\hat{\mu} = \overline{A_3 B_1} + F_3 + G_3 + H_1 - 3T \dots\dots\dots(1)$$

から求められる。

(1)式から $\hat{\mu} = 133.7(\text{kg/cm}^2)$ が求まり、 $\hat{\mu}$ に対する信頼限界(95%)を求めてみると

$$n_e = \frac{\text{全実験数}}{\hat{\mu} \text{に用いた自由度の合計}} = 8.3 \quad n_e: \text{有効反復数}$$

したがって $\pm \sqrt{\frac{F_{66}^1 \times V_e}{n_e}}$ により信頼限界を求めてみると

$$\pm \sqrt{\frac{F_{66}^1 \times V_e}{n_e}} = \pm \sqrt{\frac{3.99 \times 232.33}{8.3}} = \pm 10.6$$

よって、本試験の範囲内で最高強度を推定してみると、

$$\hat{\mu} = 133.7 \pm 10.6(\text{kg/cm}^2)$$

となる。ところで実際に表一10の配合で、内山氏の提唱された方法で突き固めだけを十分と思われるだけを行ってみた結果が表一11のとおりである。表一11の結果からみるとしめ固めを十分に行なっ

表一10 配 合 表

Table 10 Table of proportion

単位水量	単位 セメント量	水セメント比	粗細骨材比	単位 骨材量	単位粗骨材量	単位AE剤量
93.8 kg	150 kg	62.5 %	2.1	727.6 kg	1528.0 kg	0.06 kg

表一11 しめ固めを十分にしたコンクリートの結果

Table 11 Results of enough compacted concrete.

セメントの種類	9.86 lの重量 (kg)	空隙量 (%)	空気量 (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)
普通ポルトランドセメント	22.9	15.8	7.28	168.9
	23.2	14.7	5.77	212.2
	23.0	15.4	6.64	191.7
高 炉 セ メ ン ト B 種	22.7	16.4	7.69	186.0
	22.9	15.6	7.01	180.4
	23.0	15.3	6.86	189.2
高 炉 セ メ ン ト A 種	23.5	13.5	4.60	214.0
	23.4	13.9	4.86	208.6
	22.8	16.1	7.43	183.9

ただけで $180 \sim 210 \text{ kg/cm}^2$ の強度をうることから、いかにしめ固めが貧配合コンクリートの強度におよぼす影響が大であることが推測されるのである。

以上貧配合コンクリートの圧縮強度と各因子との関係を考察してきたが、これら因子のうち、もっとも大きな効果を示すものとして、しめ固め回数が挙げられ、圧縮強度はしめ固め仕事量により規制された単位容積重量、空隙量、あるいは空気量によってほぼ推定されるのではないかという見方から、しめ固め回数について寄与率の高いと思われる単位セメント量とパラメーターにとってプロットしたものが、図-8、図-9、および図-10である。

図から全試料について相関関係を調べてみると図-8については $r=0.78$ 、図-9については $r=-0.71$ 、図-10については $r=-0.73$ となり、 t 検定でいずれも 1% の危険率で有意となり、かなり強い相関関係があるものと認められる。

このうち、単位セメント量 135kg、120kg のものについては、プロットされた点の範囲に限られてあまり信頼することが不可能であるので、単位セメント量 150kg のものについて最小自乗法によって直線を求めてみると、図-8では

$$Y = (49.8 \pm 2.49)X - (993.7 \pm 64.19) \quad \left\{ \dots (1) \right. \\ 2110 \leq X \leq 2300$$

図-9については

$$Y = -(13.5 \pm 0.87)X + (359.9 \pm 17.3) \quad \left\{ \dots (2) \right. \\ 16.4 \leq X \leq 23.1$$

図-10については

$$Y = -(12.4 \pm 0.86)X + (235.7 \pm 10.0) \quad \left\{ \dots (3) \right. \\ 7.5 \leq X \leq 15.9$$

なる直線式がえられる。しかし以上の3式はいずれも本実験の範囲内で云えることであって、一般的にはあてはまらない。事実同じ 150 kg/m^3 のセメント量でも十分しめ固めたコンクリートについてはこれら直線より圧縮強度は高くなっている。このことは Talbot が Void Theory を提唱して以来高野氏⁷⁾、

Powers⁸⁾ とも空隙とコンクリートの圧縮強度との関係は直線とはならず曲線関係で表わされるということが実証されていることから当然のことと考えられる。したがって以上の結果から圧縮強度の対

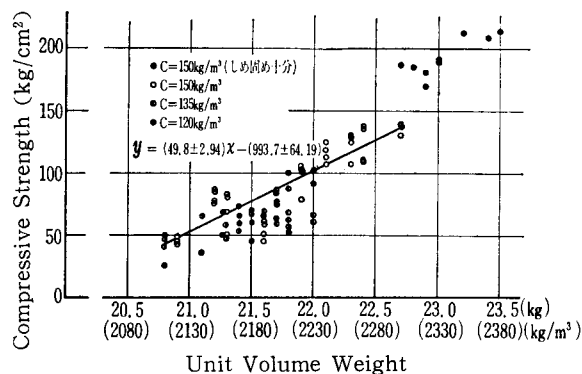


図-8 単位容積重量と圧縮強度との関係

Fig. 8 Relation between compressive strength and unit volume weight

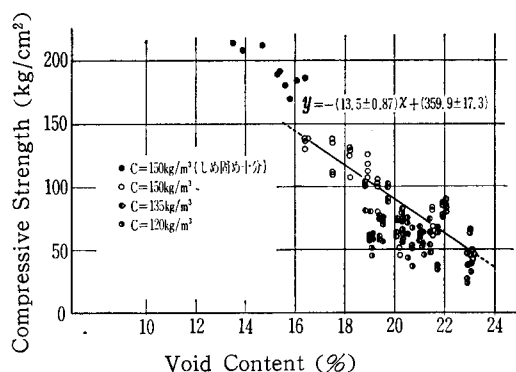


図-9 圧縮強度と空隙量との関係

Fig. 9 Relation between compressive strength and void content

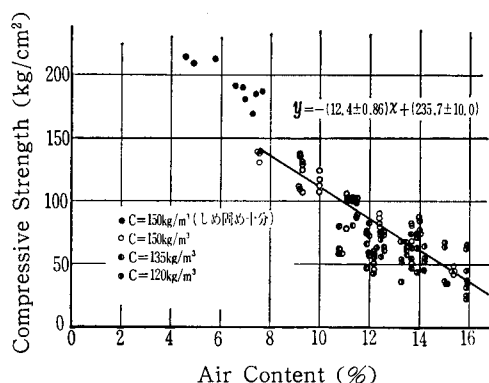


図-10 圧縮強度と空気量との関係

Fig. 10 Relation between compressive strength and air content

数を取り Semi-logarithm 紙にプロットしてみると、以下図-11、図-12、図-13に見られるような直線がえられる。

これらの実験式はもちろん本試験の範囲内での式であるが、図にみられる破線はこれら直線の延長したものである。同じ単位セメント量150kgのコンクリートでしめ固めを十分行なったものについての圧縮強度もほぼこの直線で近似されることが認められる。

以上単位セメント量 150kgのコンクリートのみについての考察であるが135kg/m³、120kg/m³のコンクリートについては、使用した骨材が適当でなかったことも考えられ明確な結果はえられなかった。しかし150kg/m³のコンクリートについては、その圧縮強度を、単位容積重量を測定することによって推定しうることが判った。

次いで著者が第1報においてのべた貧配合モルタルにおける圧縮強度とセメント空間比との関係であるが Talbot によればセメント空間比とは、セメントによって占められる骨材粒子の周辺の空間の割合を与え、またある程度セメント物質の希釈度も示す。とされている。前報においては、何らかの関係が見出されるのではないかと報告したが、本報でのコンクリートにした場合の圧縮強度とセメント空間比との関係を示したのが、図-14である。

図によると本試験の範囲内での28日圧縮強度とセメント空間比との関係は第1報のモルタル強度に比較すればはるかに良い相関を示し、相関係数 $r=0.83$ となり、もちろんt検定においても非常に強い有意性を示している。

同図の破線で示したのが、Talbotが1919年に行なった一連の実験の中の一部から引用したものであるが、材料のうちとくにセメントの種類のちがい、あるいはセメント使用量のちがいもあると思われるが、本試験の強度が良い強度がえられると思われる

のは、主として突固め方法の影響が大きいものと考えられる。また用いた骨材の粒度が本試験では2種類、他方では1種類の粒度の骨材を用いての系統的な結果であるため、初めから比較の対象になら

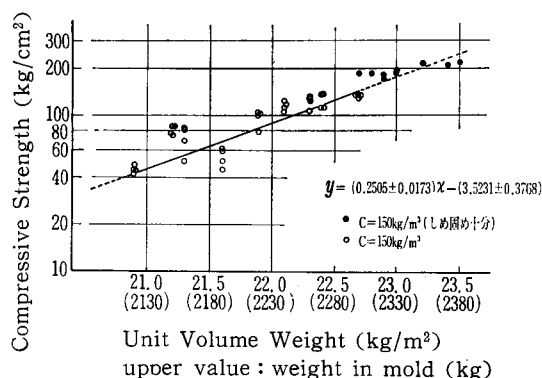


図-11 半対数紙での単位容積重量と圧縮強度との関係

Fig. 11 Relation between compressive strength and unit volume weight in pemi-logarithmic paper

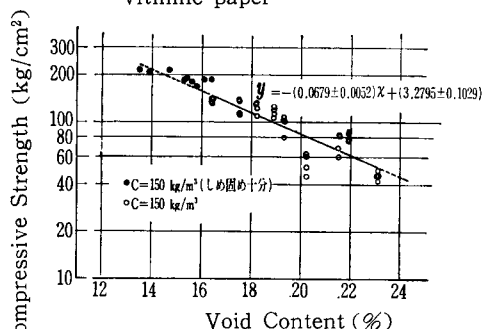


図-12 半対数紙での圧縮強度と空隙量との関係

Fig. 12 Relation between compressive strength and void content in semi-logarithmic paper

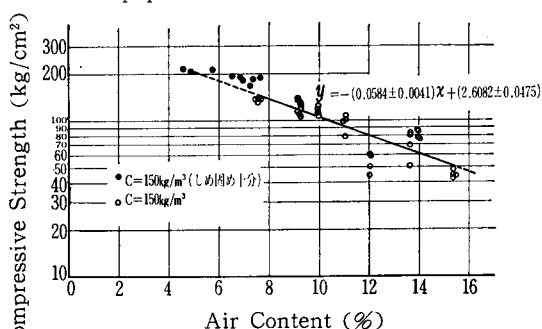


図-13 半対数紙での空気量と圧縮強度との関係

Fig. 13 Relation between compressive strength and air content in pemi-logarithmic paper

ぬことは自明の理であるが、かかる貧配合コンクリートにおいてさえも、Talbotの提えた空隙説が一応の傾向として確かられあるいは関連づけられるのではないかと考えられる。

4. 総 括

前節での結果をまとめてみると以下のようになる。

i) 貧配合コンクリートの圧縮強度におよぼす因子としては、単位セメント量、細骨材粒度が挙げられるが、最も寄与率の高い因子はしめ固め回数である。

ii) したがって、しめ固め仕事量により貧配合コンクリートの単位容積重量、空隙量および空気量が、ある程度規制されるということから、圧縮強度とこれら単位容積重量、空隙量および空気量との間に何らかの関係が得られる。

iii) ii) の関係は単位セメント量をパラメーターにとると、135kg、120kgは試験結果がある範囲内に集中し相関係数もあり良いとはいえないため、150kgの結果をとってみると、それぞれの関係は、図-11、図-12、図-13のようにほぼ直線で近似される。

iv) セメント空隙比と強度との関係においても良い相関を示し、直線関係が得られるという傾向が認められた。

以上結論らしきことをならべたけれどもあくまでも限られた範囲内でいえることであって、試験計画の立て方なり、試験方法などにまだまだ未熟な点が多くあり、貧配合コンクリートへの道は遠いと云わねばならない。

終りに終始暖かい御指導、御助言をいただきました、京都大学農学部、遠藤教授、武居助教授に謝意を表する次第です。

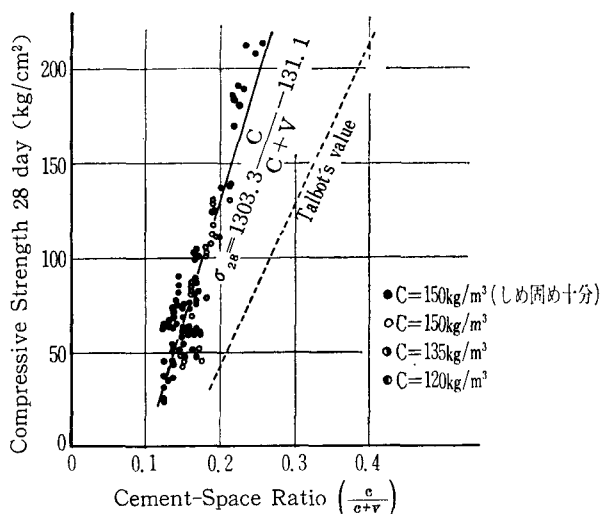


図-14 圧縮強度とセメント空隙比との関係

Fig. 14 Relation between Compressive Strength and Cement-Space Ratio

引 用 文 献

- 1) 大手桂二, “貧配合コンクリートの研究”(第1報)”新砂防 61号, 1966
- 2) 大手桂二, 高橋哲雄, “貧配合コンクリートの圧縮強度について”新砂防, 55号, 1964
- 3) 木村与四松, “貧配合コンクリートの強度”土木試験所彙報, 15号, 1940
- 4) 吉田徳次郎, “コンクリート及鉄筋コンクリート施工方法”, 丸善, 1963
- 5) 内山 実, “カタ練りコンクリート圧縮強度試験標準方法の研究”, 土木学会誌, Vol. 35, No. 2, 1950.
- 6) Talbot, “A Proposed Method of Estimating the Density and Strength of Concrete and Proportioning the Materials by the Experimental and Analytical Consideration of the Voids in Mortar and Concrete,” Proc. ASTM Vol. 21, 1921
- 7) 高野俊介, “打込み温度がマッサコンクリートの強度に及ぼす影響の研究,”土木学会論文集, 第26号, 1955
- 8) Powers and Brownyard, “Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste”, Jour. ACI Vol. 18, No. 7, 1947.

Résumé

This is the second report on the lean mixed concrete. A series of tests was carried out by

adopting 8 factors, which have an effect upon the compressive strength of concrete. The authors investigated the effect of these factors to compressive strength at 28 days, unit volume weight, void content, and air content in fresh concrete, respectively.

In order to calculate void content and air content in fresh concrete was measured by gravimetric method (JIS Standard). As regards of compressive strength tests, 4 cylindrical specimens (15 x 30 cm) were molded for compressive strength tests at 28 days in each batch. 2 specimens of them were cured for the first 2 weeks in the water at $21^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$, and the following 2 weeks under the wet condition in the laboratory, the rest 2 specimens were cured by JIS Standard Method ($21^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ in the water).

The following conclusions were showed from consideration of tests data;

1) The compressive strength of lean mixed concrete at 28 days was influenced by a few factors, the unit cement weight (150 Kg/m^3 , 135 Kg/m^3 , 120 Kg/m^3), the grading of fine aggregate (2.6, 2.9 of Finnes Modula) and the frequency of tamping (21, 42, 63 times in each layer).

2) Because the unit volume weight, void content and air content in fresh concrete were considerably subjected to the frequency of tamping, it is recognized that the unit volume weight, void content and air content in fresh concrete are concerned with the compressive strength of lean mixed concret respectively, and each relation show an interrelation with identical importance.

3) As a result of (2), for the compressive strength of 150 Kg/m^3 concrete, the relations between compressive strength and unit volume weight, void content, air content are approximated by a linear equation respectively, as Fig.11, Fig.12, Fig.13.

4) On the relation between the compressive strength and cement space ratio, it is recognized that there is very considerable interrelation between the compressive strength and the cement space ratio, and the relation is approximated by a linear equation.