

超硬練コンクリートブロックの強度について

○山 本 実*

相 沢 亀之助*

正 員 伊福部 宗 夫**

1. は し が き

近年、河川護岸、土留擁壁、その他の土木工事用としてコンクリートブロックが盛んに用いられるようになり、現在ではこの種のブロックは、コンクリート二次製品としてきわめて重要な位置を占めるに至った。

コンクリートブロックはその製法により、コンクリートを型枠に流し込んで造るブロックと、スランプの全くないいわゆる超硬練りのコンクリートに適当な振動を加えて流動性を与え、これを即時脱型して造るブロックとに大別することができる。後者は、プラスチックでウォークアブルな通常のコンクリートとかなり異った性質をもち、特殊なコンクリートに属しているといえる。この方面に関する文献も資料も乏しく、わが国では空隙と強度および耐久性の関係を論じたものが2,3あるのみである。

一般にこのような超硬練コンクリートの品質に影響を与え、と考えられる因子を列挙すれば次のとおりである。

- | | |
|--------------|-----------------------------|
| (イ) ミキサーの性能 | 構造, 混合時間。 |
| (ロ) 振動成型機の性能 | 構造, 振動数, 振幅, 振動時間, 加圧力と加圧法。 |
| (ハ) 型 枠 | 形状, 材質, 脱型法。 |
| (ニ) ブ ロ ッ ク | 大きさ, 形状の複雑さの程度。 |
| (ホ) セ メ ン ト | 量, 質, 種類。 |
| (ヘ) 水 | 量, 質, 水セメント比。 |
| (ト) 骨 材 | 品質, 最大寸法, 粒度, 細粗骨材の混合割合。 |
| (チ) 添 加 剤 | ポゾラン, AE 剤, 分散剤等。 |
| (リ) 養 生 法 | |
| (ヌ) 材 齢 | |
| (ル) 工員の熟練の程度 | |

これらの諸条件は互いに密接な相関関係をもっているが、このうち外的な条件と考えられる機械の性能、養生法、工員の熟練の程度などが一定であるとすれば、ブロックの品質はその材料と配合とによってきまることになる。

超硬練コンクリートの品質のうち特に重要なものは、その強度と耐久性である。この強度と耐久性は後で述べるように、その空隙率の大小によって決定的な影響をうける。

本文は、セメント量、水量、および骨材の混合率を種々変化させて造った超硬練コンクリートブロックの強度に関し、当研究所において現在までに行なった実験結果およびその考察について述べたものである。

2. 使用材料および配合

2.1 使用材料

セメントは、日本セメント株式会社上磯工場製のアサノ普通ポルトランドセメントを用いた。

細骨材は、苫小牧市錦岡海岸産で、JIS A 1109“細骨材の比重および吸水量試験方法”等による試験結果は表-2.1

表-2.1 細骨材の物理試験結果

比 重	吸 水 量 (%)	単位容 積重量 (kg/m ³)	空 隙 率 (%)	有 機 不 純 物	フルイにとどまる重量 百分率 (%)							粗 粒 率
					10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
2.70	0.95	1,820	32.6	良	—	4	10	18	33	63	93	2.21

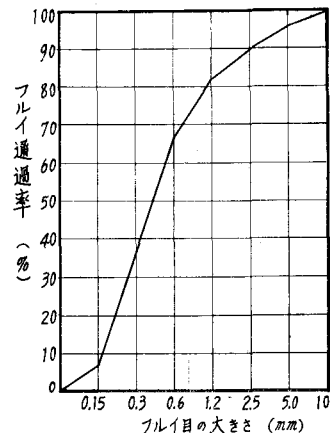


図-2.1 細骨材の粒度曲線

* 共和コンクリート工業株式会社研究所

** 北海学園大学教授 工博

のとおりである。またその粒度曲線を示すと 図-2・1 のとおりとなる。

粗骨材は当別町青山産の川砂利で、JIS A 1110 “粗骨材の比重および吸水量試験方法” 等による試験結果は 表-2・2 のとおりである。

表一2・2 粗骨材の物理試験結果

比 重	吸 水 量	単位容 積重量 (kg/m³)	空 隙 率 (%)	有 機 不 純 物	フルイにとどまる重量 百分率 (%)							粗 粒 率
					30	25	20	15	10	5	2.5~	
2.63	1.57	1,745	33.7	—	—	2	15	27	65	92	100	6.72

水は当研究所飲料用井戸水を使用した。

2.2 配 合

超硬練コンクリートの空隙率、水セメント比、絶対細骨材率および強度の関係を求めるために次のように配合を定めた。

(イ) 単位セメント量 (C); 200 kg, 225 kg, 250 kg の 3

種。

200 kg はこの種のコンクリートの最小単位セメント量と考えられ、250 kg は従来の経験からほぼ十分な単位セメント量と考えられるもので、225 kg はこの中間に位するものである。

(ロ) 水セメント比 (W/C); 38%, 40%, 42%, 45% の 4 種。

水セメント比は、振動成型後即時脱型することができ、しかも脱型後沈下変形を来たさない範囲のものとして選んだものである。スランプはすべて 0 である。

(ハ) 絶対細骨材率 (s/a); 35%, 38%, 41%, 44% の 4 種。
絶対細骨材率は、JIS A 1104 およびテーブル型普通振動機による予備実験 (3.5 混合骨材の密度と空隙率の項参照) の結果を参考とし、ブロックの表面の美しさの程度を勘案して定めたものである。

以上の (イ)(ロ)(ハ) の各項を組合せて供試体をつくり、実験を行なった。その配合をまとめれば 表-2・3 のとおりである。

表一2・3 配 合 表

記号	水セメント比 W/C (%)	単位セメント量 C (kg)	単位水量 W (kg)	絶対細骨材率 s/a (%)	単位骨材量 (kg)		記号	水セメント比 W/C (%)	単位セメント量 C (kg)	単位水量 W (kg)	絶対細骨材率 s/a (%)	単位骨材量 (kg)	
					砂	砂利						砂	砂利
A ₁	38	200	76	35	813	1,473	B ₉	42	225	94.5	35	788	1,425
A ₂				38	883	1,404	B ₁₀				38	856	1,360
A ₃				41	953	1,336	B ₁₁				41	923	1,294
A ₄				44	1,023	1,268	B ₁₂				44	991	1,228
A ₅	40	200	80	35	810	1,465	B ₁₃	45	225	101	35	780	1,415
A ₆				38	878	1,399	B ₁₄				38	846	1,350
A ₇				41	948	1,331	B ₁₅				41	912	1,292
A ₈				44	1,018	1,262	B ₁₆				44	979	1,220
A ₉	42	200	84	35	805	1,457	C ₁	38	250	95	35	780	1,412
A ₁₀				38	875	1,389	C ₂				38	848	1,347
A ₁₁				41	942	1,323	C ₃				41	915	1,281
A ₁₂				44	1,013	1,255	C ₄				44	980	1,218
A ₁₃	45	200	90	35	799	1,449	C ₅	40	250	100	35	767	1,404
A ₁₄				38	869	1,381	C ₆				38	842	1,339
A ₁₅				41	937	1,315	C ₇				41	910	1,273
A ₁₆				44	1,004	1,249	C ₈				44	975	1,210
B ₁	38	225	85.5	35	797	1,441	C ₉	42	250	105	35	775	1,394
B ₂				38	864	1,375	C ₁₀				38	837	1,331
B ₃				41	934	1,307	C ₁₁				41	905	1,265
B ₄				44	1,002	1,241	C ₁₂				44	969	1,202
B ₅	40	225	90	35	794	1,433	C ₁₃	45	250	113	35	764	1,381
B ₆				38	861	1,368	C ₁₄				38	829	1,318
B ₇				41	929	1,302	C ₁₅				41	894	1,255
B ₈				44	996	1,236	C ₁₆				44	958	1,191

3. 実験の方法

3.1 振動成型機

本実験に用いた振動成型機(写真-3・1)は、振動数9,000 r.p.m., 振幅0.15~0.2 mm で、下部振動とともに供試体の上面からも振動加圧することができるようになっている。その仕様は表-3・1のとおりである。

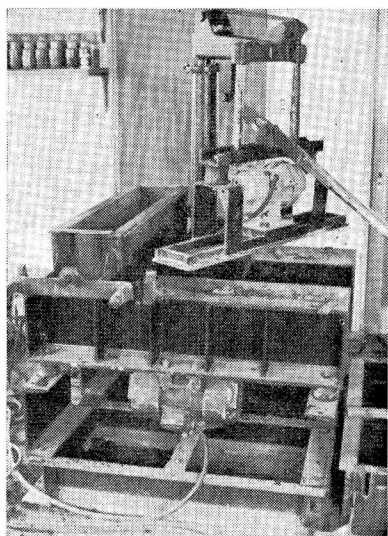


写真-3・1 振動成型機

表-3・1 振動成型機の仕様

区 分	台数	寸法 (m/m)			振動数 (r.p.m.)	遠心力 (kg)	重量 (kg)	電 圧 (cycle)
		高さ	幅	長さ				
上 部 振動機	1	200	185	310	9,000~ 12,000	75~ 500	20	150/200
下 部 振動機	2	210	215	350	9,000	1,000~ 2,200	38	150/200

一般に振動成型機の性能が超硬練コンクリートの品質におよぼす影響はきわめて大きい。3,000~5,000 r.p.m. の振動ではコンクリートの粗骨材だけが大きく加振され、15,000 r.p.m. 以上の高速振動では細骨材のみが加振されて総体として密実なコンクリートが得られ難く、9,000~12,000 r.p.m. 程度の振動のときに最良の結果が得られるといわれている。従来は、一般に超硬練コンクリートブロック用成型機として3,000~5,000 r.p.m. 程度のものが多く用いられてきたが、次第に高速のものに代って行く傾向にある。われわれが現在までに行なった実験によっても、3,000~5,000 r.p.m. 程度から次第に振動数を増加して行くと、それに伴って空隙が少なく、緻密で肌の美しいコンクリートが得られ、かつ所要振動時間をも短縮することができることを確めている。以上の諸条件を勘案して、本実験には振

動数9,000 r.p.m. の本成型機を採用することとした。

3.2 供試体の形状

供試体は、河川護岸法覆用の角柱形ブロックを利用したものでその寸法は15 cm×15 cm×30 cmである。この供試体の製作に用いた型枠は、厚さ6 mmの鋼板製で、その内側寸法は150 mm×150 mm×850 mmとし、これをあらかじめ厚さ4 mmの鋼板で3個所に仕切りその両側から供試体が同時に2個とりうるようにした。図-3・1は型枠を、写真-3・2は供試体を示す。

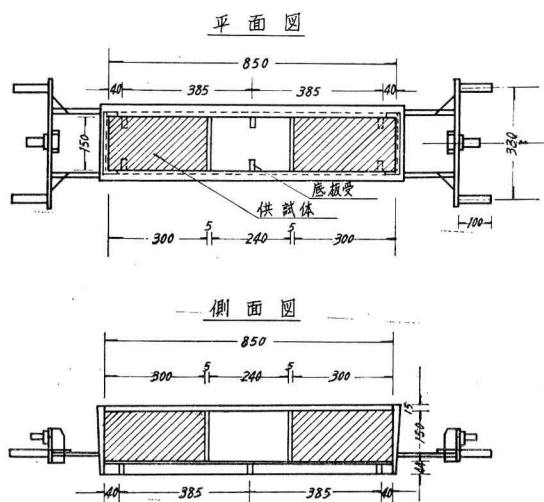


図-3・1 型 枠

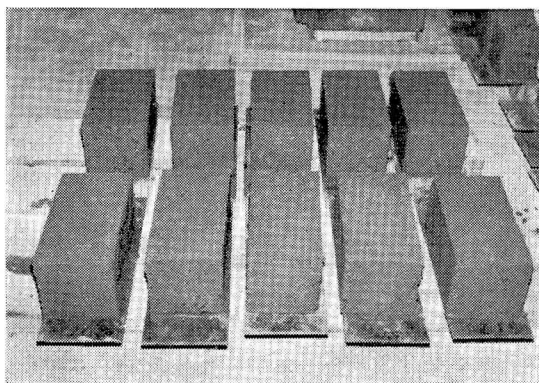


写真-3・2 供 試 体

3.3 供試体の作成

コンクリートは3才可傾式ミキサーを用いて、セメント、砂、砂利を2分間空練りした後練り鉄板上にあげ、水量の1/2を加えて手練りにより20回よく切り返し、残りの水を加えてさらに20回、合計40回丁寧に切り返した。1回の練り上り量は約20ℓである。なおこの時のコンクリートの状態は、手で握って湿り気を感じる程度のもので、全く

プラスチックを持っていない。

コンクリートの練り上り温度は全試験を通じて、 $15 \pm 3^\circ\text{C}$ となるように水その他を調整した。

練り上ったコンクリートは、均一な材質を得るように JIS A 1102 に準拠し、4 分法によってこれを型枠に詰め振動成型機により締め固めた。

振動時間は第 1 次 20 秒、第 2 次 20 秒、第 3 次 10 秒の 3 段階に分け合計 50 秒とした。

第 1 次振動では、所要コンクリートの約 1/2 量を型枠に投入して下部振動機のみをかけ、第 2 次振動では残量を投入してから下部振動機とともに上部振動機を用いて振動加圧した。第 3 次振動は仕上げ振動ともいうべきもので、供試体の寸法および肌の粗度を調整する目的のものである。

振動の終わったコンクリートは直ちに型枠を取り外し、その場で重量および寸法を測定した。この測定結果から JIS A 1116 に従い、コンクリートの空隙率を次の式によって求めた。

$$\text{空隙率 (\%)} = \frac{W_0 - W}{W_0} \times 100$$

ここに W_0 ： 供試体の理論単位重量 (kg)。

W ： 供試体の単位重量 (kg)。

表-4・1 (次章) に示す空隙率は各配合毎の供試体 10 個の平均値である。

3.4 供試体の養生および試験方法

脱型した供試体は、なるべく恒温となるように調整しながら室内に 24 時間放置した後、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中で標準養生を行なった。

材齢 3 日、7 日、28 日で、これを水中より取り出し、1 時間を経ってから耐圧試験機により軸方向の圧縮強度を測定した。表-4・1 に示す圧縮強度は各種配合の供試体 3 個の平均値である。

なお参考のために、シュミットハンマーによる反発硬度と圧縮強度との関係を求めた。

3.5 混合骨材の密度と空隙に関する予備実験

超硬練コンクリートの強度その他の品質が、コンクリート中に含まれる空隙の量によって著しく影響を受けるということは次章において述べるとおりである。従って細粗骨材の混合割合が適当であるかどうかは、コンクリートの品質を決める上にきわめて重要な因子となる。

表-3・2 および 図-3・2 は、表-2・1 および 表-2・2 に示す骨材を適当な割合で混合し、その単位容積重量と空隙率から混合骨材の最大密度を求めるために行なった予備実験の結果を示す。

混合骨材の空隙率は次式によって計算した。

$$\text{空隙率 (\%)} = \frac{W'_0 - W'}{W'_0} \times 100$$

表-3・2 混合骨材の密度および空隙

絶対細骨材率 s/a (%)	混合骨材の理論単重 (kg)	(A) JIS A 1104 に準ずる方法			(B) 振動機による方法		
		混合骨材の単重 (kg)	空隙量 (ℓ/m^3)	空隙率 (%)	混合骨材の単重 (kg)	空隙量 (ℓ/m^3)	空隙率 (%)
25	2,598	1,915	263	26.3	1,949	250	25.0
30	2,601	1,925	260	26.0	—	—	—
31	2,601	—	—	—	2,016	225	22.5
34	2,604	1,964	246	24.6	—	—	—
36	2,605	2,000	232	23.2	2,068	206	20.6
38	2,607	2,023	224	22.4	—	—	—
39	2,607	2,030	221	22.1	2,072	205	20.5
41	2,609	2,004	232	23.2	—	—	—
43	2,610	1,997	235	23.5	2,060	211	21.1
45	2,612	1,993	236	23.6	—	—	—
47	2,613	—	—	—	2,034	222	22.2
50	2,616	1,973	246	24.6	—	—	—
54	2,618	—	—	—	2,018	229	22.9
55	2,618	1,965	249	24.9	—	—	—
56	2,619	—	—	—	2,008	233	23.3

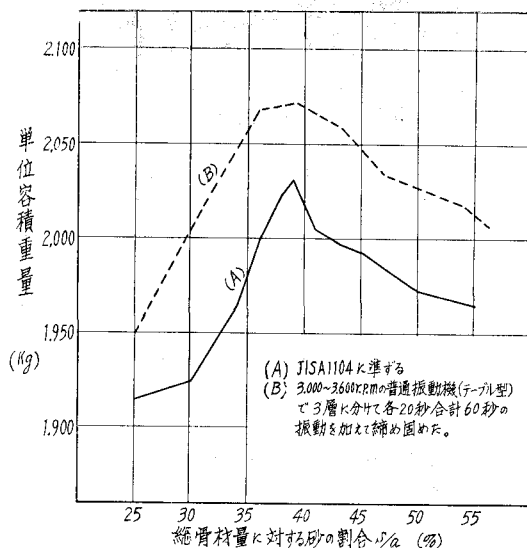


図-3・2 混合骨材の密度

ここに、 W' ： 混合骨材の単位重量 (kg)。

W'_0 ： 混合骨材の理論単位重量 (kg)。

： 混合骨材の平均比重 $\times 1,000$ 。

図中 (A) は JIS A 1104 “骨材の単位容積重量試験方法” に準じたいわゆる標準方法によったもので、(B) は 3,000~3,600 r.p.m. のテーブル型普通振動機によったものである。単位重量のピークは (A)、(B) ともに絶対細骨材率 (s/a) が 36~43% の範囲であり、その最大値は 38% であることがわかる。表-3・2 によれば、(B) は (A) に比べて密度は大き

く、空隙率は小さい。すなわち有効な締め固めを行なえばある程度空隙率を減少させ得ることを示している。

前述したように本実験に用いた s/a は、この結果を参考として選定したものである。

4 実験結果とその考察

4.1 実験結果の総括

実験結果をまとめれば、表-4.1 のとおりである。圧縮強度は同一配合についてつくった供試体3個の平均値である。なお標準供試体の強度に換算するには0.93を乗じればよい。

表-4.1 実験結果の総括表

記号	配 合			セメント ペースト 量 (ℓ/m³)	空隙率 (%)	圧縮強度 (kg/cm²)		
	W/C (%)	C (kg)	s/a (%)			3 日	7 日	28 日
A ₁	38	200	35	139.5	11.8	65	115	138
A ₂			38		9.3	97	140	240
A ₃			41		—	—	—	—
A ₄			44		—	—	—	—
A ₅	40	200	35	143.5	7.2	123	140	201
A ₆			38		8.3	110	167	225
A ₇			41		10.2	96	134	182
A ₈			44		11.2	77	125	157
A ₉	42	200	35	147.5	6.7	122	170	259
A ₁₀			38		6.6	137	218	272
A ₁₁			41		8.7	127	155	208
A ₁₂			44		9.6	114	138	176
A ₁₃	45	200	35	153.5	—	—	—	—
A ₁₄			38		4.9	113	184	260
A ₁₅			41		6.9	128	169	229
A ₁₆			44		7.5	119	182	221
B ₁	38	225	35	157	8.2	125	184	—
B ₂			38		—	—	—	—
B ₃			41		—	—	—	—
B ₄			44		—	—	—	—
B ₅	40	225	35	161	9.3	112	148	200
B ₆			38		6.5	142	177	237
B ₇			41		8.3	122	165	195
B ₈			44		7.3	153	201	225
B ₉	42	225	35	166	6.4	123	187	287
B ₁₀			38		6.0	170	218	307
B ₁₁			41		6.7	130	166	232
B ₁₂			44		5.5	147	220	290

記号	配 合			セメント ペースト 量 (ℓ/m³)	空隙率 (%)	圧縮強度 (kg/cm²)		
	W/C (%)	C (kg)	s/a (%)			3 日	7 日	28 日
B ₁₃	45	225	35	172.4	—	—	—	—
B ₁₄			38		4.1	156	235	314
B ₁₅			41		4.8	153	226	300
B ₁₆			44		5.2	146	213	293
C ₁	38	250	35	174	3.6	201	227	290
C ₂			38		6.3	186	236	278
C ₃			41		—	—	—	—
C ₄			44		—	—	—	—
C ₅	40	250	35	179	4.0	188	224	320
C ₆			38		4.1	194	291	334
C ₇			41		6.2	208	243	327
C ₈			44		6.0	187	235	296
C ₉	42	250	35	184	3.2	166	206	342
C ₁₀			38		3.9	192	297	344
C ₁₁			41		4.6	169	234	340
C ₁₂			44		—	—	—	—
C ₁₃	45	250	35	194	—	—	—	—
C ₁₄			38		3.1	131	230	302
C ₁₅			41		4.1	134	195	257
C ₁₆			44		—	—	—	—

以下これらの実験結果について考察を加える。

4.2 空隙率と単位セメント量 (C)、水セメント比 (W/C)、および絶対細骨材率 (s/a) との関係

4.2.1 空隙率と単位セメント量 (C)

図-4.1 a, b, c, d は、各々の W/C (%) における空隙率 (%) と C (kg) との関係を、s/a (%) ごとに示したものである。W/C および s/a のいかににかかわらず、空隙率は C の増加に伴って減少する。常識的な結果ではあるが、空隙率を小さくするためにはなるべく富配合としなければならぬことがわかる。

4.2.2 空隙率と水セメント比 (W/C)

図-4.2 a, b, c, d は、各々の単位セメント量 (C) における空隙率と W/C との関係を、s/a ごとに示したものである。C および s/a のすべてに対して、一般に W/C の増加に伴って空隙率は同じような傾向で減少している。この関係は後で述べるように、超硬練コンクリートの重要な性質の一つである。

4.2.3 空隙率と絶対細骨材率 (s/a)

図-4.3 a, b, c は、各々の W/C における空隙率と s/a

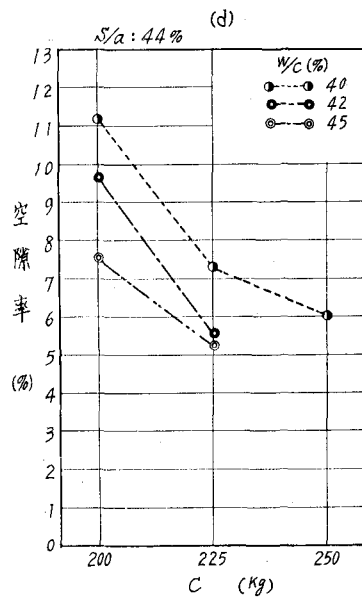
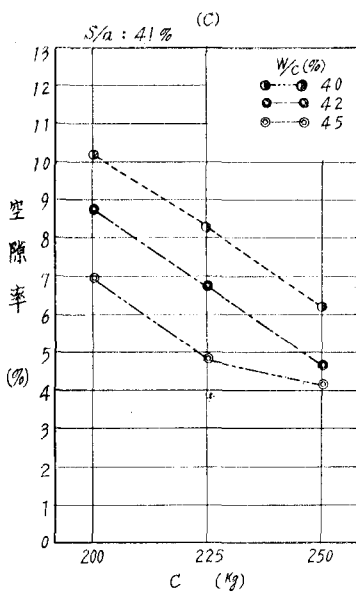
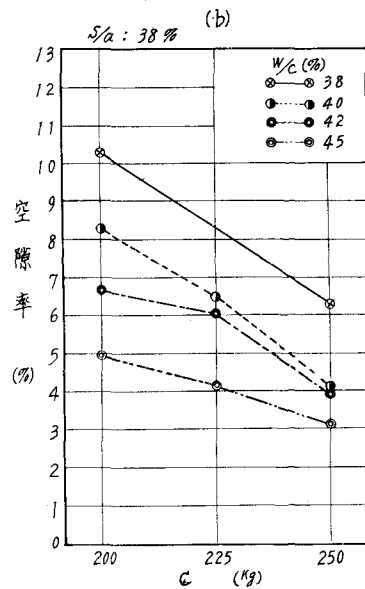
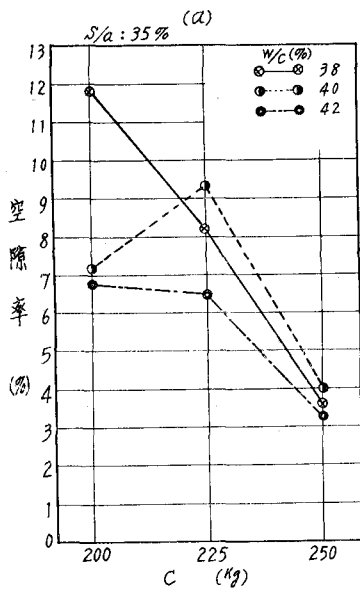


図-4.1 空隙率と単位セメント量

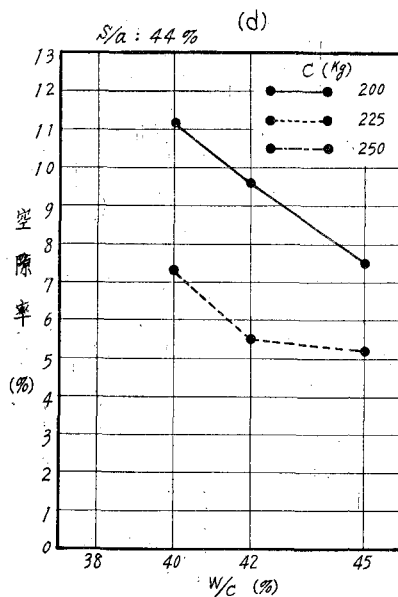
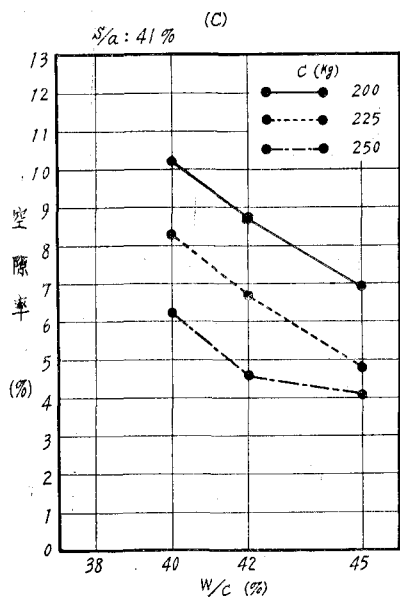
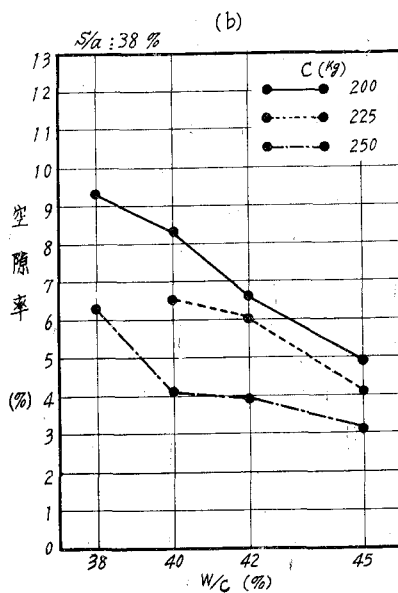
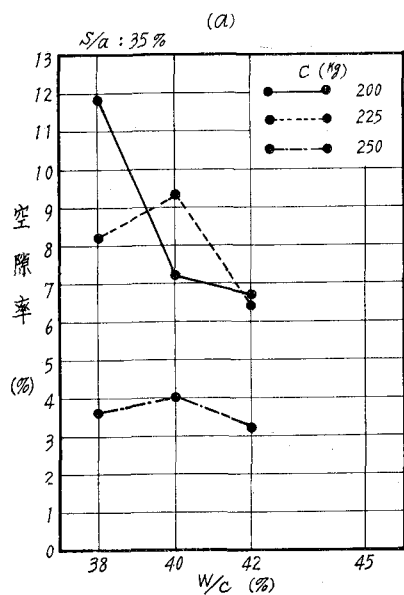
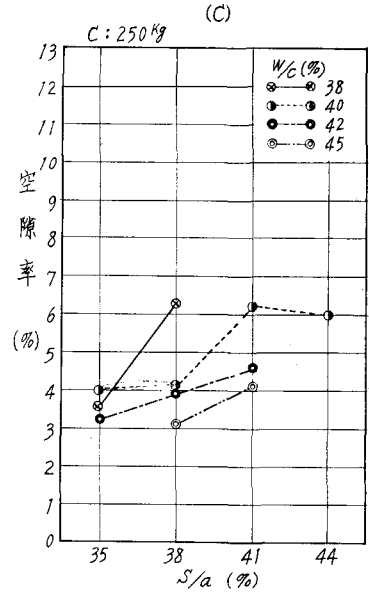
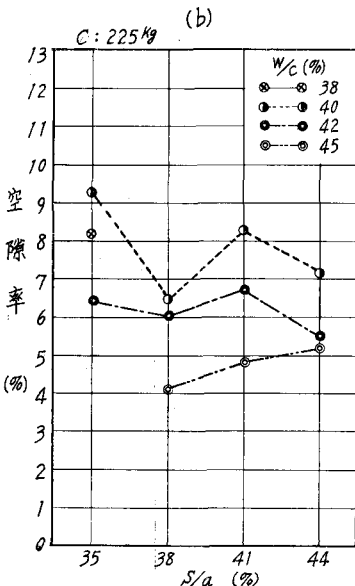
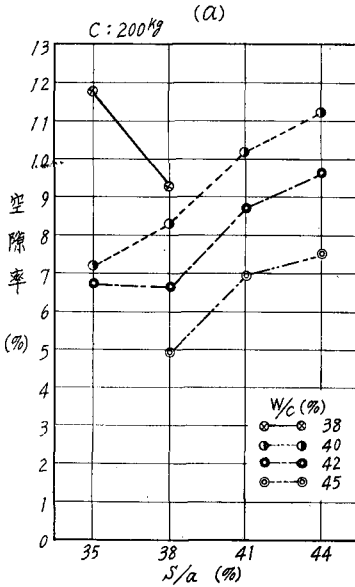


図-4.2 空隙率と水セメント比 (W/C)

との関係を、C ごとに示したものである。

C=200 kg の貧配合コンクリートでは、W/C のいかににかかわらず s/a の増加とともに空隙率は増加しているが、配合が富となればこの傾向は必ずしも明らかではない。しかし、いずれの場合も s/a が 38% 前後の時、空隙率は最少の値を示しているものが多く、3.5 で述べた混合骨材の密度に関する予備実験の結果とも合致している。一般に貧配合のコンクリートほど s/a の空隙率に及ぼす影響が大きいので、 s/a について厳重な管理が必要となる。



図—4.3 空隙率と絶対細骨材率 (S/a)

4.3 圧縮強度 (σ) と空隙率との関係

コンクリートの強度に関しては、これまでに最大密度説、表面積説など多くの理論が発表されているが、現在では水セメント比説がもっとも重要視されていることは周知のとおりである。この理論は、コンクリートがプラスチックでウォークアブルな範囲、すなわち骨材の空隙をセメントペーストで十分満たしうる場合においては、強度は配合のいかににかかわらず単に水セメント比でできまるといものである。水セメント比と強度との関係は、はじめは水量の増加とともに強度は増し、最大強度に達してから後は逆に減少する。この強度の減少する部分においては同一水セメント比に対して、各種配合のコンクリートの強度は同じであるという説である。この強度の増加を来すのはじめの部分には、コンクリートがウォークアブルでない範囲で、超硬練コンクリートはこの部分に属していると考えることができる。すなわち、セメントペーストが骨材の空隙を十分に満たし得ない状態にあるので、水セメント比説の適用範囲外にあるといえる。

Talbot の空隙説によれば、コンクリートの強度はモルタル中の空隙によって支配され、基準水量 (粗骨材の空隙を填充し、その表面をおおりに十分であり、かつそのモルタルが最小容積になるに必要な水量) を使用したコンクリートが最大の強度をもつとしている。

さて、参考文献 (1) によれば、超硬練コンクリートにおいて、その空隙が 1% 増加すれば、その 1% について、圧縮強度は 8.8%、曲げ強度は 5.6% ずつ減少し、耐久性もまた重大な影響をうけると報告されている。

図—4.4 は本実験における各供試体の空隙率と材齢 28 日

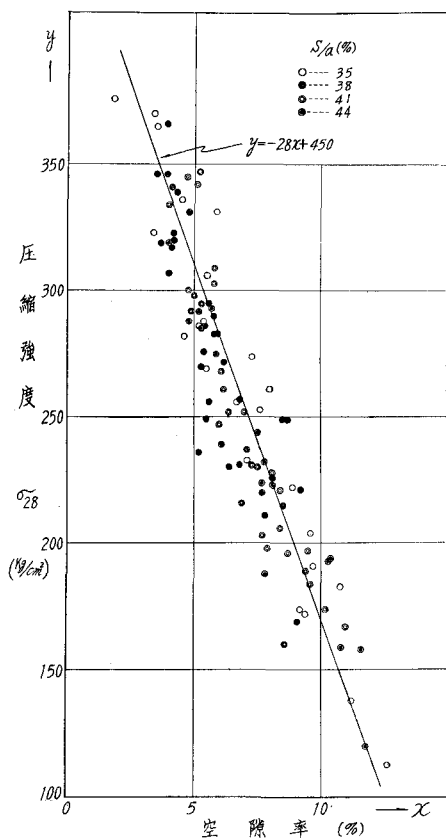


図-4.4 圧縮強度 (σ_{28}) と空隙率の関係

の圧縮強度の関係を図示したものである。

いま x を空隙率 (%), y を圧縮強度 (kg/cm^2) とすれば、両者の間にはほぼ直線関係が認められ次のように表わすことができる。

$$y = -28x + 450 \quad (\text{kg}/\text{cm}^2)$$

この関係式から、空隙率 3~11% 程度の範囲では、その 1% の増に対して、材齢 28 日の圧縮強度は約 6.2% ずつ減少することがわかる。この傾向は文献 (1) の結果と同様である。

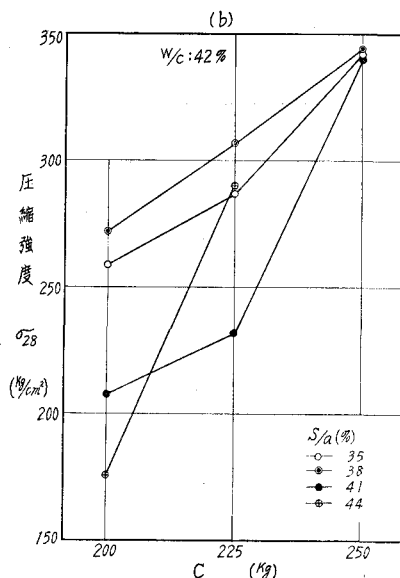
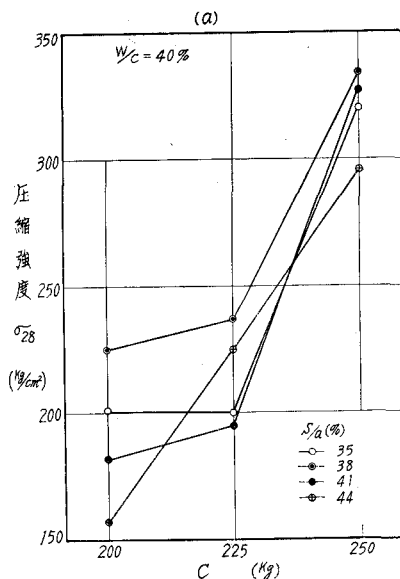
超硬練コンクリートの空隙は、AE コンクリートにおける独立した微細気泡と異なって、不規則な形状、配列をし、透水性の増大を促がす有害な形として存在するものと考えることができる。このような空隙がその強度ばかりでなく、耐久性に対しても支配的な影響をもつことは当然であろう。従って超硬練コンクリートにおいては、できるだけ空隙率を小さくするような材料の配合および振動成型法を採用することに重点をおかなければならない。

4.4 圧縮強度 (σ) と単位セメント量 (C), 水セメント比 (W/C) および絶対細骨材率 (s/a) との関係

材齢 3 日, 7 日, 28 日の圧縮強度はほとんど同じ傾向を示しているので、ここでは 28 日強度について考察を加える。

4.4.1 圧縮強度 (σ_{28}) と単位セメント量 (C)

図-4.5 a, b, c は、各々の s/a における 28 日圧縮強度と C との関係を W/C ごとに示したものである。いま要求される最小強度が $200 \text{ kg}/\text{cm}^2$ (多くの仕様書では、 $\sigma_{28} = 150 \sim 170 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 以上としている。変動係数および危険率



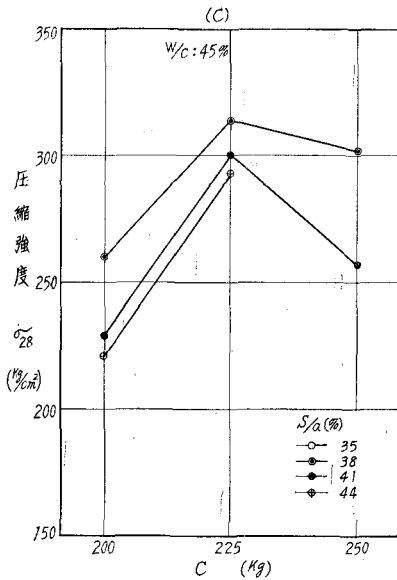


図-4.5 圧縮強度 (σ_{28}) と単位セメント量 (C)

から求められる割増係数を 20% と考える) であるとすれば、 $C=200$ kg の貧配合の場合、 W/C が 40% 以下のときは、 s/a によってかなり差はあるが、この強度に達していないものが多い。 $C=225$ kg となれば、この事態は改善され、強度はほとんどすべて 200 kg/cm^2 以上となり、 $C=250$ kg では 300 kg/cm^2 を超すものが多い。このことからなるべく富配合の方が望ましく、貧配合のコンクリートに対しては前にも触れたように、 s/a 、 W/C に対して特に厳しい配慮が必要になることがわかる。

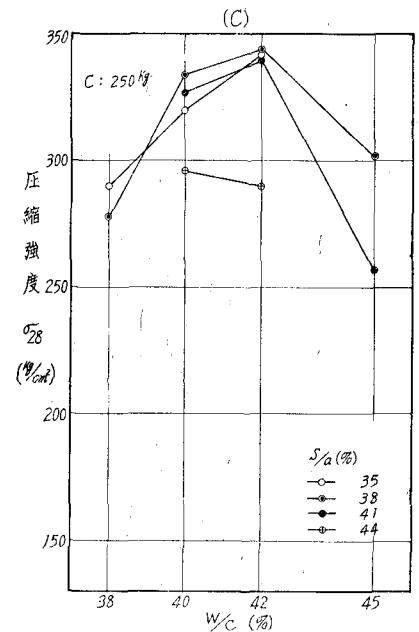
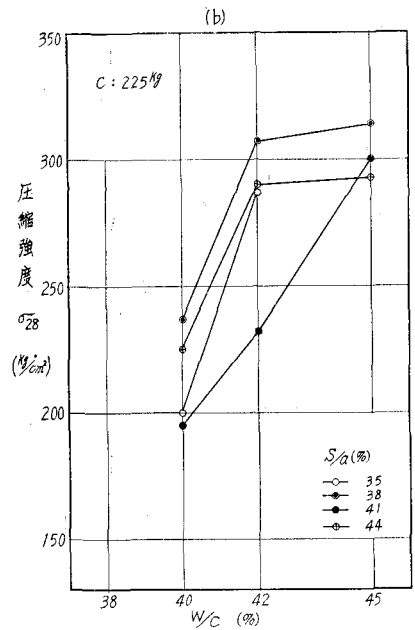
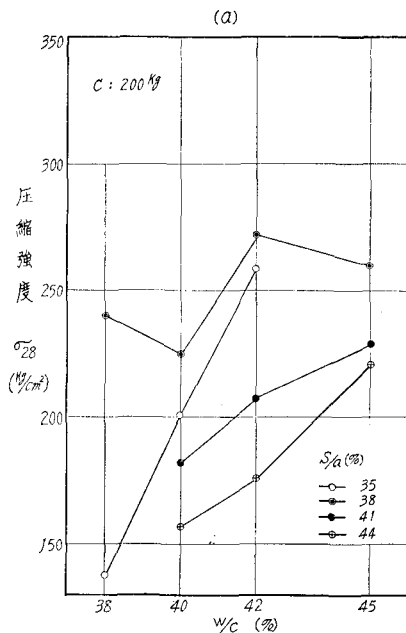


図-4.6 圧縮強度 (σ_{28}) と水セメント比 (W/C)

4.4.2 圧縮強度 (σ_{28}) と水セメント比 (W/C)

図-4.6a, b, c は、各々の s/a における圧縮強度 (σ_{28}) と W/C との関係を示したものである。

ここで特に注目すべきことは、すでに 4.3 “圧縮強度と空隙率との関係” において指摘したように、一般に W/C の増加に伴って強度が増加するということである。これは、水量の増加によって骨材の空隙を満たすべきセメントペーストの量が増え、空隙が減少するためであると考えら

れる。この傾向は貧配合のコンクリートほど著しく、 W/C が42% 以上となれば、 $C=225\text{ kg}$ の場合はその強度の上昇率は急に緩慢となり、 $C=250\text{ kg}$ の場合は却って減少を示している。水量を増加して行くと、ある限度に達すれば超硬練コンクリートから通常のウォークアブルなコンクリートへと移行し、 W/C が強度を支配しようとする傾向に移ることを示すものと考えられる。しかし、実際問題としては、超硬練コンクリートは振動成型後に即時脱型するという要請から、 W/C を変化させうる範囲はきわめて小さい。その実用的範囲は、強度を考慮の外においても、過少であれば肌の美観が損なわれ、過多であれば沈下変形をきたすので、ほぼ8% 以内であるといえる。

普通のコンクリートのスランプ試験のように、超硬練コンクリートのコンシステンシーを容易に測定する方法があれば便利であるが、現在までのところ適当なものを見出していない。たとえば硬練コンクリート用として推奨されている $W\cdot F$ 法 (参考文献 (3)) も、われわれの取扱ったコンクリートでは硬練りに過ぎて実用的とはいえない。測定法の開発も、この研究の重要な目標の一つとなっている。

ここでセメント分散剤の添加について少し触れるが、分散剤を添加すれば一般にブロックの肌を改善する効果がある。しかし、コンシステンシーが増すので、即時脱型後の沈下変形をさけるために、相当量の水量を減じなければならない。その結果 W/C は減少して、著しい強度の低下を来し、時には無添加のものの70% にも充たないことがある。

このように超硬練コンクリートは、コンクリートに関する一般的な常識と同じ考え方により得ないことに注意しな

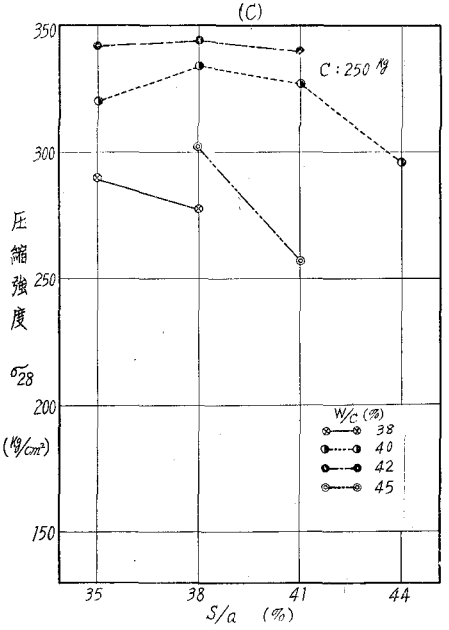
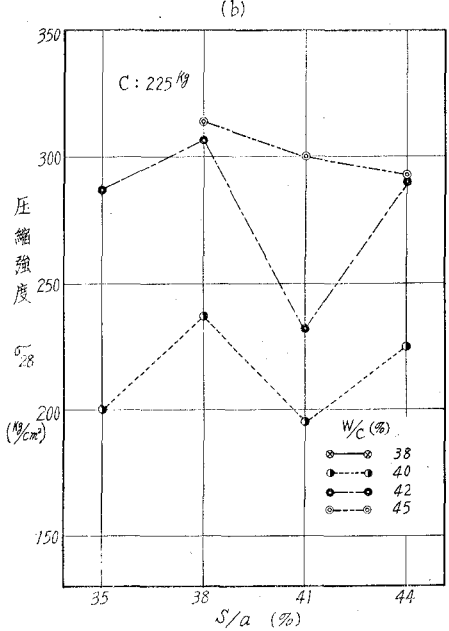
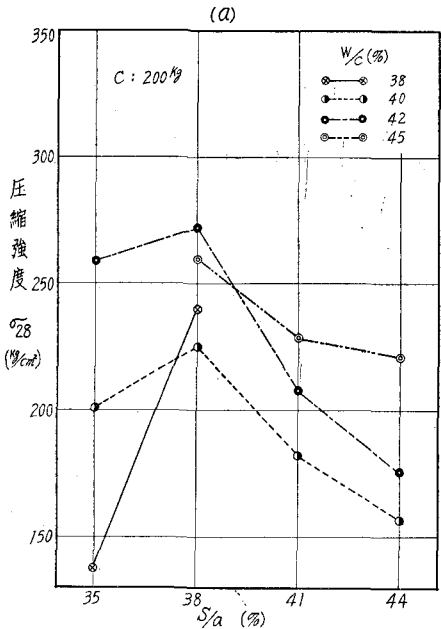


図-4.7 圧縮強度 (σ_{28}) と絶対細骨材率 (s/a)

なければならない。

4.4.3 圧縮強度 (σ_{28}) と絶対細骨材率 (s/a)

図-4.7 a, b, c は、各 W/C における圧縮強度 (σ_{28}) と s/a の関係を単位セメント量 (C) ごとに示したものである。この図から、超硬練コンクリートの強度に及ぼす s/a の影響が非常に大きく、かつその影響度は貧配合ほど著しいことがわかる。またこの実験では C および W/C のいかににかかわらず s/a が38% のとき最大強度を示しており、3.5

で求めた混合骨材の密度と空隙に関する予備実験の結果ともよく一致している。

前項で触れたように、即時脱型という施工条件から、 W/C を変化させうる範囲は小さいので、細粗骨材が与えられたとき、あらかじめもっとも空隙の小さくなるような骨材の混合割合を実験によって求めておくことは、品質を向上させる上にきわめて重要なこととなる。

貧配合でない限り、 s/a を適当に選べば 300 kg/cm^2 以上の強度を期待することも容易である。

4.5 材齢間における圧縮強度の関係

図-4.8は、それぞれ材齢3日と7日、7日と28日の圧縮強度の相互の関係を示したものである。

これらの関係は次の2式で表わすことができる。

$$\sigma_7 = 1.2\sigma_3 + 27.8 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$\sigma_{28} = 1.25\sigma_7 + 12.1 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

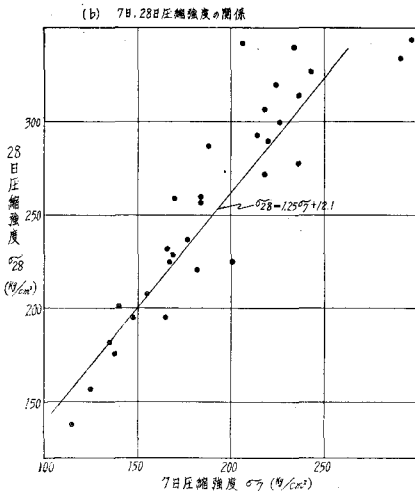
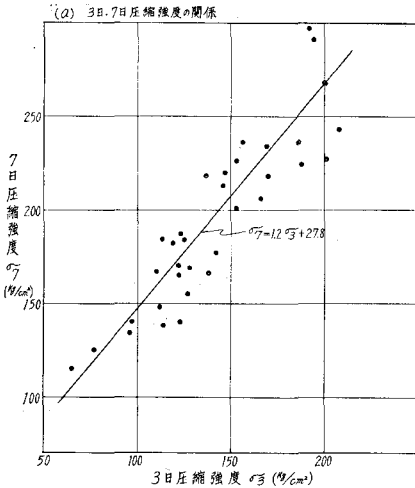


図-4.8 材齢間における圧縮強度の関係

4.6 圧縮強度 (σ) とシュミットハンマーによる反撥硬度 (R) との関係

非破壊試験法の一つとして取扱いの容易なシュミットハンマーを用い、その反撥硬度と圧縮強度との関係を求めた。試験は、それぞれの試験材齢に達した供試体を養生槽より取り出し、耐圧試験の直前にこれをコンクリートスラブ上に置き、加圧した上面を除いた他の三面に各10点ずつとり、計30点を鉛直方向から打撃し、これを平均して反撥硬度とした。

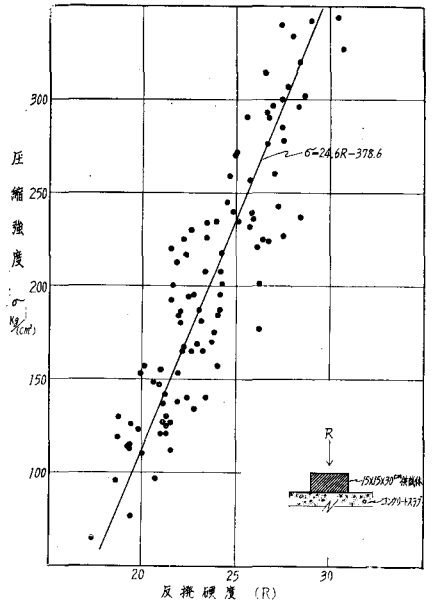


図-4.9 圧縮強度と反撥硬度の関係

図-4.9は、このようにして求めた反撥硬度 (R) と試験機による圧縮強度 (σ) との関係を示したものである。

この両者間には、ほぼ直線的な関係が認められ、次のような関係式で表わすことができる。

$$\sigma = 24.6R - 378.6 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

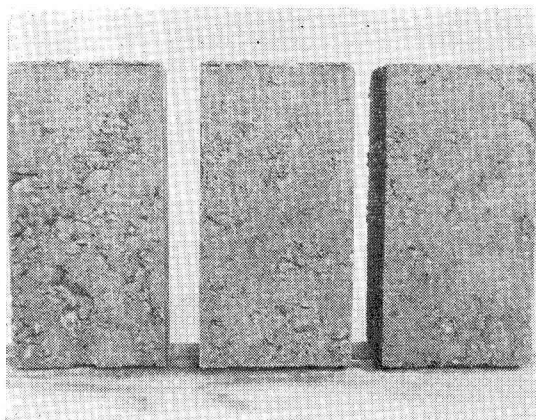
反撥硬度は、その対象部材の寸法、置き方、乾湿その他の要素によってかなりばらつき、高い精度を期待することはできないが、その使用法が簡便であるから、実用的には十分に役立つものと考えられる。

4.7 ブロックの肌と形状寸法

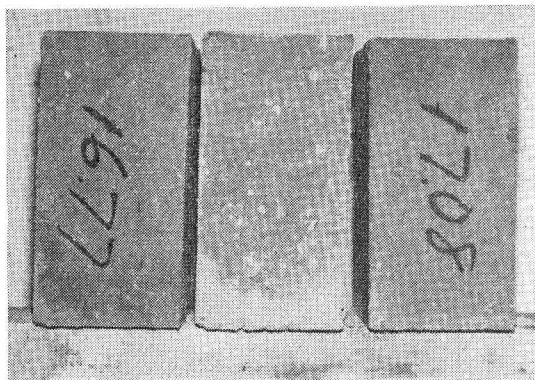
コンクリートブロックの肌の外観的な美しさ、形状寸法の正確さは、ブロックが商品として扱われる以上、きわめて重要な要素である。

すでに述べたように、超硬練コンクリートにおいて所要の条件を満足しうる W/C の範囲は小さい。その範囲内でも W/C が過少であれば、コンクリートの締め固めが困難

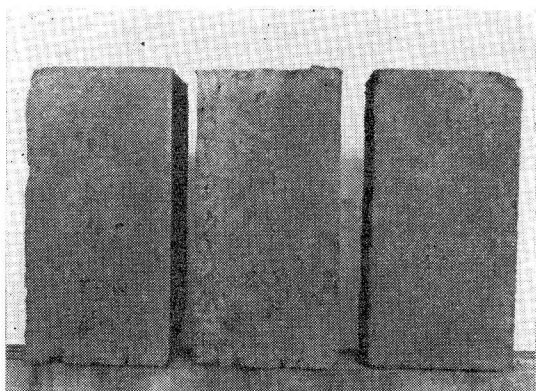
(a) A₁₃ (C: 200 kg, W/C: 45%, S/a: 35%)



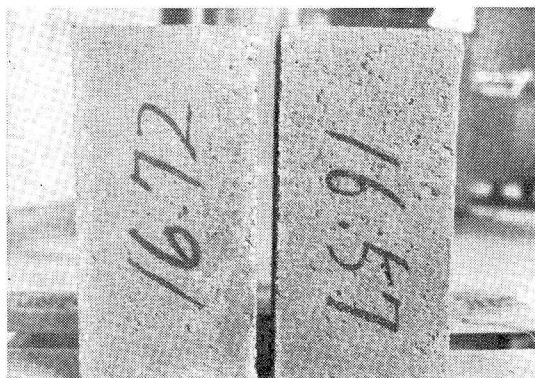
(b) A₁₄ (200, 45, 38)



(c) B₉ (225, 42, 35)



(d) B₁₄ (225, 45, 38)



(e) C₇ (250, 40, 41)



(f) C₉ (250, 42, 35)



写真-4.1 供試体の表面

であるばかりでなく、表面に豆板状の粗面をつくりやすく、かつ強度も小さい。 W/C が過大であれば、セメントペーストの分離現象を起こし、型枠脱型時またはその後に沈下変形を来す。この一連の実験によれば W/C は、 C が 200 kg の場合は 45% 以上 (追加試験によれば 48%)、 C が 225 kg の場合は 45% 程度、 C が 250 kg の場合は 42% 程度のとき最も良好な結果を示した。

また s/a は、これをやや大きくすれば、肌の美しさおよび作業性はある程度改善されるが、骨材の最大密度を示す s/a よりも 2% 大きい位までが実用的限度のようである。 s/a をこれよりも大きくすれば、強度の減少を来すばかりでなく、材料間の膠着性を減じて、脱型や運搬時の微少なショックによっても表面に亀裂を生じたり、部分破壊を起こしたりする危険性が大きくなる。骨材として表-2・1 表-2・2 を用いた本実験においては、 C のいかにかわらず s/a が 38% の時、空隙率は最少となり材料間の膠着性も勝れている。

以上の結果から、強度、外観、形状寸法について良好と認められる配合として次の 8 種 A_{14} 、 B_{14} 、 B_{15} 、 B_{16} 、 C_6 、 C_9 、 C_{10} および C_{11} を挙げることができる。

なお、コンクリート表面状態の一部を写真-4・1 に示す。

5. ま と め

以上の実験結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) 振動成型機を用いてつくられる超硬練りコンクリートは、通常のプラスチックでウォークアブルなコンクリートとかなり異った性質をもっている。
- (2) 空隙率は圧縮強度に支配的な影響を与える。両者にはほぼ直線的な関係があり、本実験では空隙率が 1% 増加すれば強度は約 6% ずつ減少した。
- (3) 空隙率の許容限度は 8~9% である。
- (4) 与えられた骨材で密度の大きい s/a を選べば、空隙率が小さく従って強度の大きいコンクリートをつくること

ができる。

そのために、あらかじめ与えられた骨材について、密度の最大となるような s/a を実験によって求めておくことが必要である。

(5) 有効な締め固め方法 (適当な振動数、振幅、振動時間) を行なえば、同じ s/a であってもある程度空隙率を減少させることができる。

(6) 一般に W/C の増加に従って強度が増加する。

(7) 単位セメント量は 225 kg 以上が望ましい。貧配合のときは、 s/a 、 W/C の影響が大きいため厳しい管理が必要である。

以上超硬練コンクリートの強度を対象とし、これと密接なつながりをもつ諸因子との関係を実験的に求め、その結果について考察を加えた。

本実験は、超硬練コンクリートの研究として現在継続中のものの一部で、本文はその中間報告である。まだその緒についたばかりなので、今後とも研究をつづけて行くつもりである。

超硬練コンクリートの品質に影響を与える因子は“はしがき”に列挙したとおりであるが、これらについては今後の研究にゆだねたいと思っている。

終りに、本実験に終始御協力をいただいた当研究所、石田、井出両主任研究員に対し深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 林・今井：超硬練コンクリートの強度および耐久性についての考察、北海道開発局第 4 回技術研究発表会報文集、昭和 35 年。
- 2) 超硬練コンクリートブロックの研究 (その 1) 一概説一、昭和 40 年、共和コンクリート工業株式会社研究所。
- 3) 渡辺：ウォークアビリティ測定の一つの試み、セメントコンクリート、昭和 37 年。
- 4) 近藤・坂：コンクリートハンドブック、昭和 37 年。