

論 説 報 告

第 21 卷 第 8 號 昭和 10 年 8 月

コンクリート

小銃弾の衝撃に依るコンクリートの破壊状況に就て

會員 工學博士 福 田 武 雄*

On the Breakage of Concrete due to the Impact of Rifle Bullets

By Takeo Fukuda, Dr. Eng., Member.

要 旨

本文は、小銃弾の衝撃に依つて生ずるコンクリートの破壊に関する實驗的研究の報告である。一般に富配合のもの程、水セメント比が小なる程、また壓縮強さが大なる程、破壊部分が小になる。之に對して材齡 7 日と 28 日、或は使用セメントの品質の差に依る影響は僅小である。斜に射撃した場合の破壊容積は大略 $\sin^2 \alpha$ に正比例し、藥量を 1.50 g にすると、藥量 2.15 g のときの破壊容積の約 40% になる。空氣中で養生すると、水中で養生したときに比べて壓縮強さは小になるが、破壊部分は必ずしも大きくなるとは限らない。セメントが少い配合のもの程、空氣中で養生する方が水中で養生するよりも破壊部分が小になる。今回の實驗の範圍では、一般に破壊部分が最小であつたものは、1:1:2 (水セメント比 0.40) 及び 1:1.5:3 (水セメント比 0.45) のものであつた。

1. 緒 言

著者は、さきに、純セメント又はセメントモルタルに小銃弾が命中したとき、その衝撃に依つて起る破壊の有様及びその機構、或は之に對するセメントモルタルの品質材齡等の影響に關する實驗結果を報告したが⁽¹⁾、茲に續いて報告するものは、コンクリートに就て行つた同種の實驗の結果である。

前報告にも記した通り、此の研究に對しては、日本學術振興會より補助を受けて居るのであつて、茲に重ねて同會に謝意を表する次第である。

2. 實驗方法及供試體の種類

本實驗に使用した設備と方法は、前報告に記述したものと全く同様であるから、茲に再記するを避ける。

供試體の形狀は、前報告に於けると同様に、300×300 mm の面を有する直六面體であつて、厚さとしては 200, 150, 100 mm の 3 種を採用した。

コンクリートの製作に使用したセメントは、淺野ポルトランドセメント(以下單に“普通セメント”と稱す)と同ペロセメントの 2 種であつて、各々に就て同數の供試體を製作した。

使用した砂は、多摩川産の 1/4 吋以下のものであつて、重量 1610 kg/m³、粗粒率 1.96 であり、砂利は、相模川産の 1 吋以下のものであつて、重量 1680 kg/m³、粗粒率 6.14 のものである。

使用したコンクリートの配合容積比と水セメント比は、第 1 表の如くであつて、そのうち太字で示したものは、斜射撃、藥量を減じた場合及び水中養生と空氣中養生との比較等の特殊の實驗に際して採用した水セメント比である。

* 東京帝國大學助教

(1) “小銃弾の衝撃に依るセメントモルタルの破壊状況に就て” 本誌第 21 卷第 6 號。

コンクリートの練方はすべて手練りでやつた。試験材齢は 7 日と 28 日とである。

第 1 表

配合比	水セメント重量比							
	材 齢 7 日			材 齢 28 日				
1 : 1 : 1	0.35	0.40	0.45	0.35	0.40	0.45		
1 : 1 : 2	0.40	0.50	0.60	0.40	0.45	0.50		
1 : 1.5 : 3	0.45	0.50	0.60	0.70	0.45	0.50	0.60	
1 : 2 : 4	0.50	0.60	0.70	0.80	0.60	0.70	0.80	
1 : 3 : 6	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	0.80	0.90	1.00

一般の試験では、すべて薬量を 2.15 g とし、供試體の表面に垂直に射撃したのであるが、支障無き限り、その裏面に就ても實驗を行つた。茲に“供試體の表面”と言ふのは、コンクリートを型枠に填充したとき、型枠の底板に接して居た面のことであつて、従つて“裏面”と言ふのは、コンクリートを填充したときの頂面である。附圖寫眞の中で、白字の番號を付けた面は、上記の表面であつて、黒字の番號が付いて居るのが裏面である。

一般試験の他に、薬量を 1.50 g にして弾速を減じた場合の實驗、供試體の面に斜に射撃する實驗も行つた。

特に明記しない限り、供試體は、製作後約 24 時間を経て型枠を取外し、以後規定の材齢まで水槽中で養生をしたのであるが、材齢 28 日のものでは、一練りのコンクリートから、別に空氣中養生の供試體を作り、これに依つて濕潤養生と乾燥養生との比較實驗をした。

コンクリート自身の品質の試験としては、スランプとフローを測定したことは勿論、型枠取外しの際の重量、試験當時の重量、壓縮強さの試験等を行つた。之等はすべて土木學會の鐵筋コンクリート標準示方書の規定に準據して行つた。

供試體の個数は、材齢 7 日のものが 158 個、材齢 28 日のものが 130 個、合計 288 個であるが、中には表面と裏面とを射撃したり、或は同じ面を、破碎又は貫通するまで射撃を繰返したりしたので、射撃回数は合計 382 回になつた。壓縮試験のために作つた圓筒形供試體は、全部で 228 個である。

3. 一般試験の結果

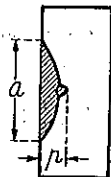
(1) 概 説

茲に“一般試験”と言ふのは、薬量 2.15 g をもつて、供試體の面に垂直に射撃した場合を意味する。供試體はすべて水中養生であつて、試験材齢は 7 日と 28 日とである。

材齢 7 日の供試體の厚さは 200, 150, 100 mm の 3 種であつて、各々其の表面のみを射撃したのであるが、材齢 28 日のものは、厚さ 150, 100 mm の 2 種であつて、このうち 150 mm のものは、その両面を射撃した。

銃弾の衝撃に依つて破壊された部分の形状は、正面から見ると圓形であつて、断面では第 1 圖のやうになるのが普通である。此の破壊は、モルタルに於けると同様に、主として剪断に依る滑りの破壊であるが、コンクリートでは砂利が入つて居るので、モルタルに於けるやうな奇麗な滑り面は見られなかつた。然し場合に依つては、破壊面にある砂利が、破壊面に沿つて見事に割れて居ることが度々あつた。此の砂利の破壊は、剪断に依つて生じたものと考へる他はない。何故ならば、若しこれが引張による引裂破壊であるとすると、この引裂破壊を生ずべき張力に依つて、砂利が割れるよりも、寧ろそれより前にモルタルと砂利との附着が破れてしまふ筈であるからである。第 2 圖と第 3 圖は、内部破壊状況の一例であつて、矢印は銃弾の進行方向である。

第 1 圖



供試體中に侵徹停止した銃弾は、例外なく變形し、バラバラになつて飛散したり、或は砂利とモルタルとの間隙に喰ひ入つたりした。1:2:4
や1:3:6の資配合で厚さ100mmのものでは、貫通するのが普通であるが、此の場合でも銃弾は原形を止めぬまでに變形する。これは“貫通”と呼ぶよりも、寧ろ裏面が破碎し、それがために銃弾が勞せずして後方に抜け去ると言ふ方が真に近いと思はれる。

實驗前の豫想では、コンクリートには砂利があるので、銃弾が砂利のある所に命中するか、

モルタルの部分に命中するかによつて、非常に異つた結果になるのではないかと思つて居たが、実際にやつて見ると、結果は多少區々ではあつたが、然し大した差はなかつた。これは恐らく、銃弾が供試體の面に命中した瞬間に於て、前報告で述べたやうに、大部分の破壊が剪斷に依つて生じ、然る後に銃弾が内部に侵徹するのであつて、従つて、銃弾が砂利のある所に命中するか或はモルタルの部分に命中するかは、破壊の大部分に對しては殆んど無關係であることに基因するものと考へられる。

第2表は一般試験の結果を集めたものであつて、 a は破壊部分の平均直徑、 p は侵徹の深さ、 V は破壊部分の容積である。 V を測定するには、破壊部分に水を注入し、その水の體積を測ると言ふ方法も考へたが、龜裂があつたり、裏面の方まで破壊が續いて居たりするので、此の方法には依らず、破壊部分を、底面の直徑 a 、高さ p の直圓錐體と假定し、 $V = \pi a^3 p / 12$ から算出したのである。

表中の a 、 p 、 V の値は、一般に各3個の獨立測定値の平均である。即ち材齡7日のものは、厚さ300、150、100mmの表面を射撃して得た結果の平均値であり、材齡28日のものは、厚さ150mmの両面及び厚さ100mmの表面に就ての結果の平均値である。但し厚さ100mmのもので、破碎貫通したものは除外し、また材齡28日、厚さ150mmのもので、先づ表面を射撃した結果、裏面を射撃すれば破碎する處ありと認めたときには、表面の射撃だけに止めた。

尙、第2表中※印を付けたものは、使用水量が小であつて、スランプが零であるやうな硬練のものである。

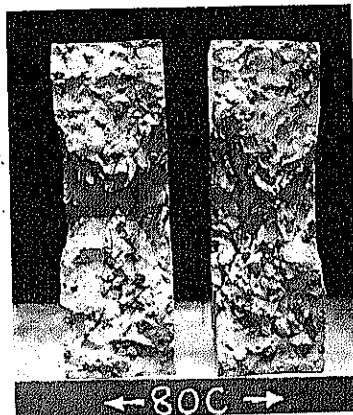
第2表の數値から、侵徹の深さ p 又は破壊容積 V と、壓縮強さ又は水セメント比との關係を圖示すると、第4圖乃至第23圖のやうになる。但し之等のうち第4~11圖と第14~21圖は、使用セメント別、材齡別にしたものであつて、之等の圖表中に描いた曲線又は直線は、單に夫々の傾向を示すためのものである。

(2) 破壊部分の直徑

銃弾の衝撃に依つて破壊された部分の平均直徑 a は、第2表に示す様に、大略11~16cmであつて、大した變化はないが、壓縮強さが大なる程、水量が小なる程、一般に小になる。然しスランプが零であるやうな硬練のものである、壓縮強さが小になるに拘はらず、 a は目立つて小さくなる。

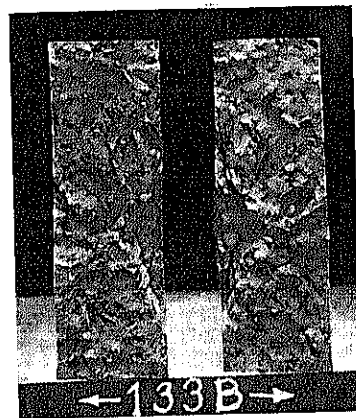
第 2 圖

1:2:4, $w/c=0.7$, 7日,
厚さ 100 mm, 貫通



第 3 圖

1:1.5:3, $w/c=0.6$, 28日
厚さ 100 mm, 侵徹 47 mm



第 2 表

材 齢	配 合 比	水セメント比	普通セメント					ベロセメント				
			番号	圧 強 kg/cm ²	a cm	ρ cm	V cm ³	番号	圧 強 kg/cm ²	a cm	ρ cm	V cm ³
7 日	1:1:1	0.35	57	271	11.6	3.50	123	62	314	14.6	4.07	245
		0.40	58	250	12.1	3.90	152	60	278	13.3	4.03	192
		0.45	59	211	12.6	4.80	200	61	257	13.2	4.60	212
	1:1:2	0.40	63	252	11.5	4.03	140	66	306	12.2	3.90	152
		0.50	64	169	12.2	5.20	202	67	250	13.7	4.10	206
		0.60	65	129	13.2	4.83	223	68	218	13.8	4.73	242
	1:1.5:3	0.50	69	200	12.7	4.83	205	72	266	13.0	4.30	192
		0.60	70	117	13.3	5.20	242	73	210	13.5	4.83	231
		0.70	71	66	13.4	6.20	291	74	148	13.8	4.80	242
	1:2:4	0.50	75*	140	12.1	4.70	186	78*	217	14.7	4.47	253
		0.60	76	126	13.7	5.23	261	79	207	13.5	5.17	252
		0.70	77	90	13.5	5.75	273	80	134	13.8	5.20	257
		0.80	87	57	13.8	6.15	306	88	84	13.0	5.35	237
	1:3:6	0.60	81*	41	11.3	5.75	191	84*	58	13.6	5.15	249
		0.70	82*	56	11.3	5.30	176	85*	106	13.7	4.97	243
		0.80	83*	54	12.8	5.90	251	86	98	14.8	5.70	328
		0.90	89	45	14.8	7.15	407	91	66	14.2	5.65	296
		1.00	90	36	16.3	6.70	465	92	48	14.0	5.80	298
28 日	1:1:1	0.35	110	360	14.0	4.17	204	125	499	12.7	3.57	153
		0.40	111	346	13.7	3.87	188	126	456	12.0	3.75	142
		0.45	112	290	13.1	4.75	213	127	454	13.0	3.80	168
	1:1:2	0.40	113	325	12.6	4.13	174	128	450	11.6	3.77	135
		0.45	114	307	12.9	4.23	186	129	441	12.2	4.23	176
		0.50	115	303	14.2	4.33	227	130	437	11.6	4.05	143
	1:1.5:3	0.45	116	276	11.5	4.23	150	131	423	12.3	3.90	156
		0.50	117	262	13.6	4.23	206	132	401	13.4	4.25	201
		0.60	118	203	12.5	5.10	207	133	327	13.8	4.40	225
	1:2:4	0.60	119	207	15.0	4.65	274	134	256	14.2	4.27	234
		0.70	120	125	14.3	5.45	290	135	227	14.3	4.80	274
		0.80	121	107	14.0	5.05	272	136	187	15.3	5.40	330
	1:3:6	0.80	122	87	15.5	5.00	318	137	144	13.3	5.23	252
		0.90	123	80	14.0	6.90	354	138	124	14.0	5.90	304
		1.00	124	71	16.3	5.80	404	139	104	14.8	6.00	348

(3) 侵徹の深さ

(※印のものはスランプ架)

侵徹は大略 3.5~7.0 cm であつて、一般的に言へば、壓縮強さが大なる程、水セメント比が小なる程、其配合のもの程、侵徹は浅くなる。

壓縮強さが大なる程、侵徹は浅くなるが、その關係が直線的であるか又は曲線的であるかは、使用セメント別、材齡別の個々の圖表では判然としない。然し使用セメント及び材齡に依る區別を止め、全部を一括すると第 12 圖のやうになつて、此の圖表中の諸點の大體の平均位置を通る曲線を便宜上幂函數の形で求めると

$$p = \frac{15.0}{K^{0.22}} \dots \dots \dots (1)$$

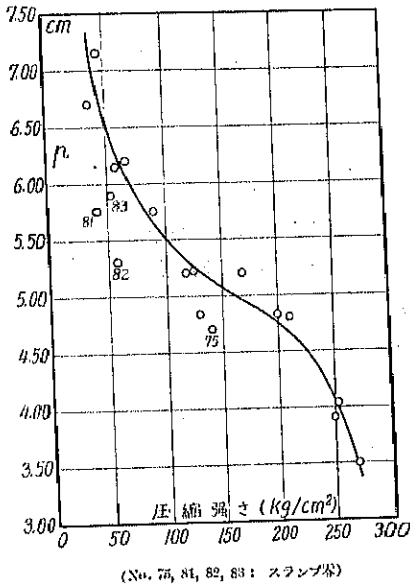
になる。但し p は侵徹の深さ (cm), K は壓縮強さ (kg/cm²) である。

次に水セメント比と侵徹との關係であるが、使用セメント別、材齡別の個々の圖表で見ると、水セメント比が増大

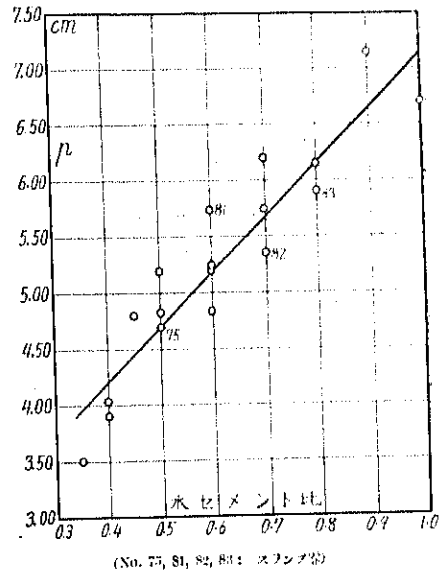
するに従つて、略々直線的に侵徹が深くなつて行くことがわかる。然し之等を一括すると第13圖のやうになつて、全部を一直線で示すわけには行かない。第13圖又は第3表から見ると、同じ水セメント比に対しては、一般に、普通セメントよりもポロセメントを使用したものの方が、また材齢7日のものよりも材齢28日のものの方が、侵徹が浅くなることが結論される。

第3表は、配合比の如何に拘らず、水セメント比が等しいものの侵徹及び破壊容積の平均値を示したものである。尚、スラブが零であるやうな硬練のものでは、例へば第4圖に示すやうに、一般のものより侵徹が小になるのが普通である。然し水セメント比を基準として考えると、第5圖のやうに、一般の傾向に大體一致する。これは、恐ら

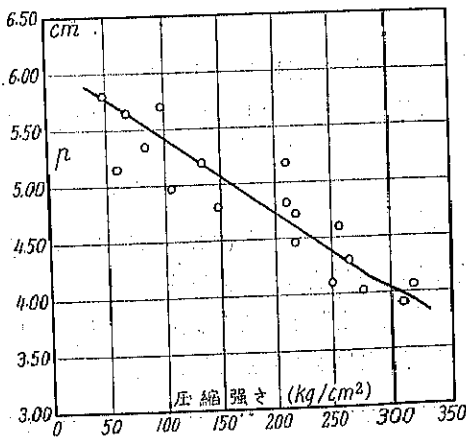
第4圖 壓縮強さと侵徹との關係(1)
(普通セメント, 材齢7日)



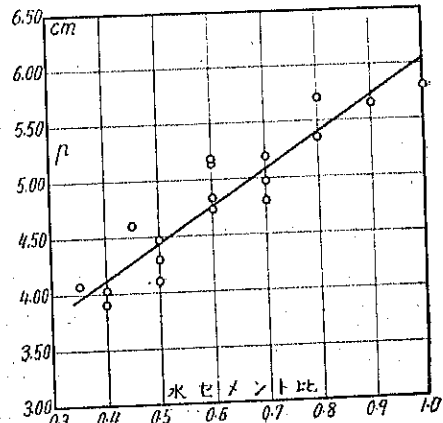
第5圖 水量と侵徹との關係(1)
(普通セメント, 材齢7日)



第6圖 壓縮強さと侵徹との關係(2)
(ポロセメント, 材齢7日)

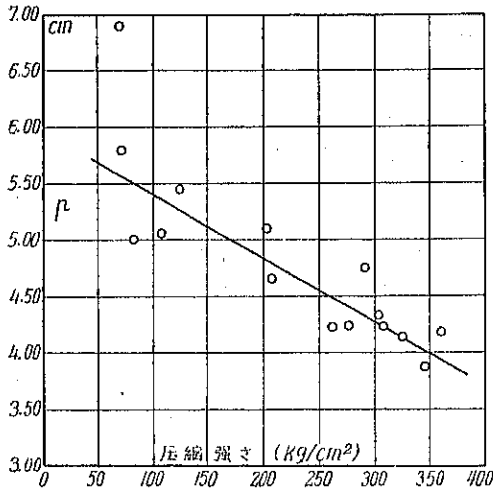


第7圖 水量と侵徹との關係(2)
(ポロセメント, 材齢7日)



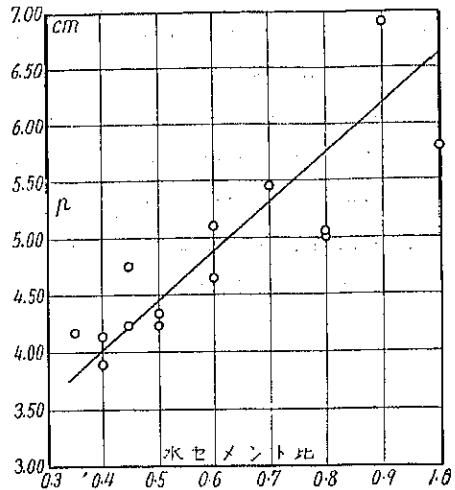
第 8 圖 壓縮強さと侵徹との關係 (3)

(普通セメント, 材齡 28 日)



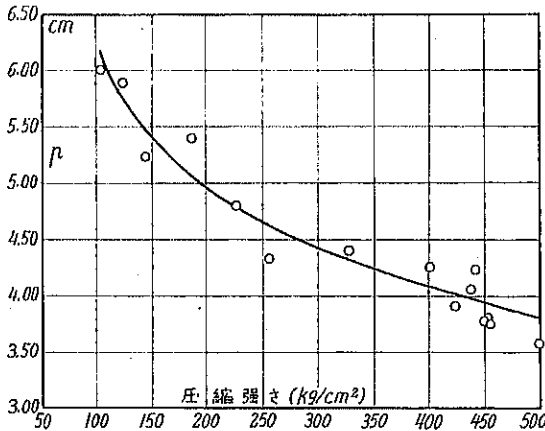
第 9 圖 水量と侵徹との關係 (3)

(普通セメント, 材齡 28 日)



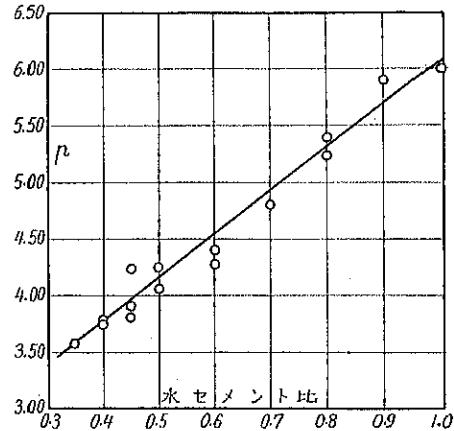
第 10 圖 壓縮強さと侵徹との關係 (4)

(ペロセメント, 材齡 28 日)



第 11 圖 水量と侵徹との關係 (4)

(ペロセメント, 材齡 28 日)



くこのやうな硬練のものでは、水量不足のために壓縮強さが一般の傾向より著しく低下したためであつて、之から考へると、壓縮強さと侵徹との間には (1) 式の如き關係があるが、それは単に見掛上のことであつて、實際には直接的の關係がないのではないかと思はれる。

(4) 破壊部分の容積

破壊部分の容積は、之を直圓錐體の容積として算出すると大略 140~460 cm³ であつて、一般的に言へば、侵徹と同様に、壓縮強さが大なる程、水セメント比が小なる程、良配合のもの程、破壊部分の容積が小になる。

壓縮強さと破壊容積との關係を知るために、使用セメントの種類及び材齡の區別を止め、全部を一括すると第 22 圖のやうになり、此の圖表中の諸點の大體の平均位置を通る曲線を便宜上幂函數の形で求めると

$$V = \frac{2150}{K^{0.43}} \dots \dots \dots (2)$$

になる。但し V は破壊容積 (cm^3), K は壓縮強さ (kg/cm^2) である。

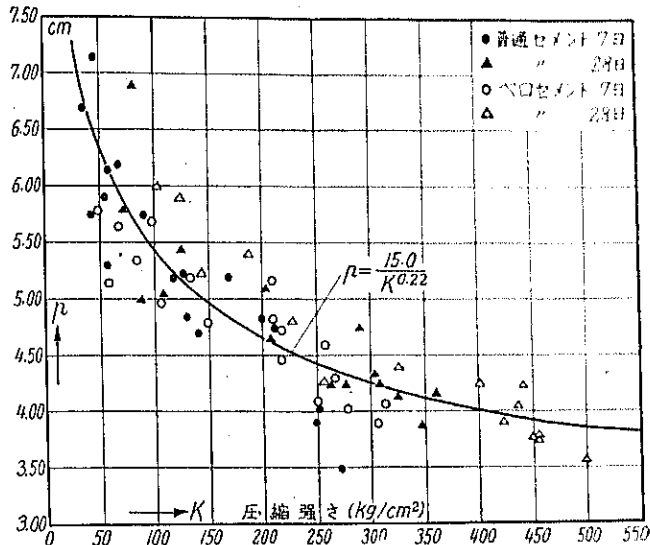
次に水セメント比と破壊容積との関係は、使用セメント別、材齢別の個々の圖表で見ると、水セメント比が増すに従つて、略々直線的に破壊容積も大になつて行く。之等を一括すると第23圖のやうになり、侵徹の場合のやうに廣範圍に點が散らない。それで之等の諸點の大體の平均の位置を通る直線を求めると

$$V = 380 \cdot x \dots \dots \dots (8)$$

が得られる。但し V は cm^3 であらば、 x は水セメント重量比である。

尙、スランプ零、または極めて硬練のものでは、壓縮強さとの關係に於ても、水セメント比との關係に於ても、一般の傾向より破壊容積が遙かに小になる。

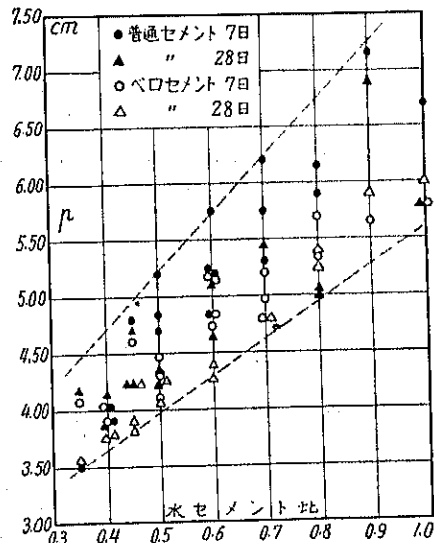
第12圖 壓縮強さと侵徹との關係 (5)



第3表 水セメント比と侵徹及び破壊容積との關係

水セメント比	侵 徹 h (cm)				破壊容積 V (cm^3)			
	普通セメント		ベロセメント		普通セメント		ベロセメント	
	7日	28日	7日	28日	7日	28日	7日	28日
0.35	3.50	4.17	4.07	3.57	123	204	245	153
0.40	3.97	4.00	3.97	3.76	148	181	172	139
0.45	4.80	4.40	4.60	3.98	200	183	212	167
0.50	4.91	4.28	4.29	4.15	198	217	217	172
0.60	5.25	4.88	4.97	4.34	229	241	244	230
0.70	5.75	5.45	4.99	4.80	247	290	247	274
0.80	6.03	5.03	5.53	5.32	279	295	283	291
0.90	7.15	6.90	5.65	5.90	407	354	296	304
1.00	6.70	5.80	5.80	6.00	465	404	298	348

第13圖 水量と侵徹との關係 (5)



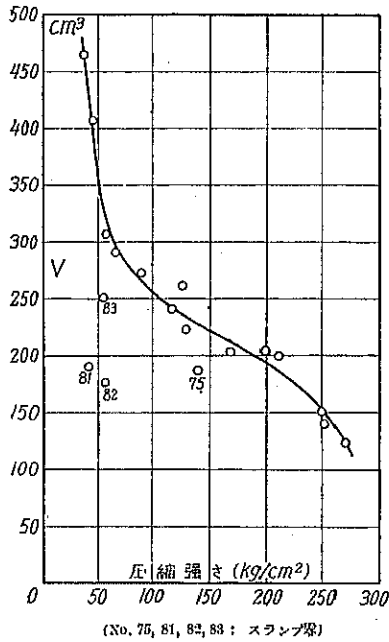
(5) 配合比 材齢、セメント等の影響

前述の如く、セメントの多い、高配合のもの程、一般に侵徹及び破壊容積が小になることは、第2表に於て明かに看取せられる。一般にセメントが多い配合のもの程、水セメント比を小にすることが出来、従つて壓縮強さが大きくなるから、第4圖乃至第23圖の壓縮強さ又は水セメント比と侵徹又は破壊容積との關係圖は、間接的に配合比の影響を示して居るものと考へることが出来る。

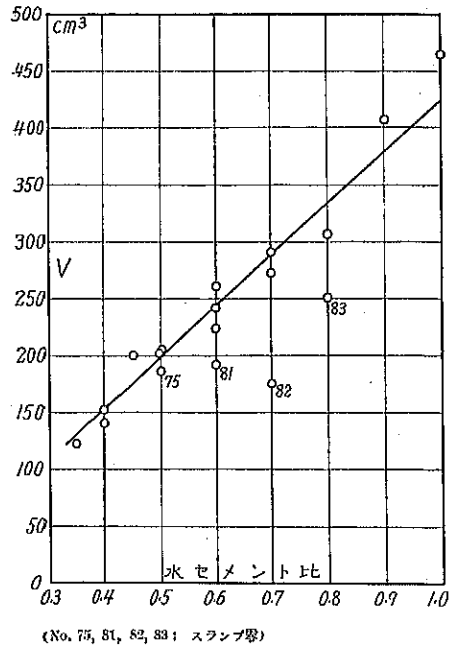
今回の實驗中で、セメントが最も多く且つ壓縮強さが最大であつたものは、配合比 1:1:1, 水セメント比 0.85

のものであつたが、これに於ける侵徹又は破壊容積は、必ずしも最小ではなかつた。今回の実験の範囲に於ては、配合比 1:1:3 ($w/c=0.40$) 又は 1: .5:3 ($w/c=0.45$) のものが結果最も良好であつた。

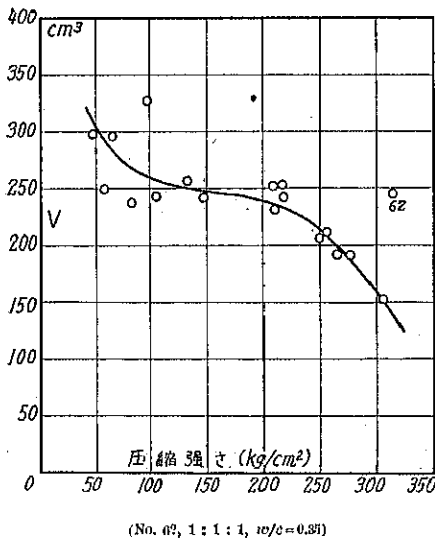
第 14 圖 壓縮強さと破壊容積との關係 (1)
(普通セメント, 材齡 7 日)



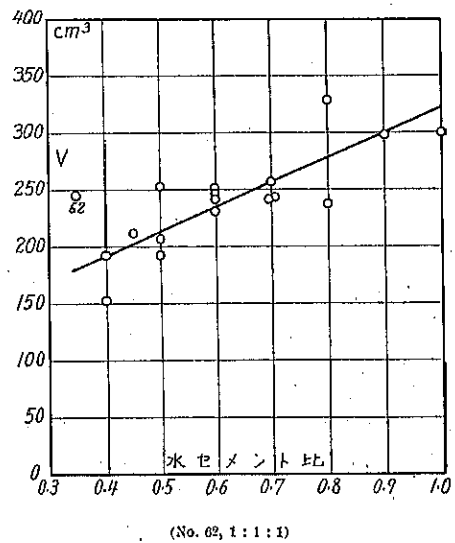
第 15 圖 水量と破壊容積との關係 (1)
(普通セメント, 材齡 7 日)



第 16 圖 壓縮強さと破壊容積との關係 (2)
(ペロセメント, 材齡 7 日)



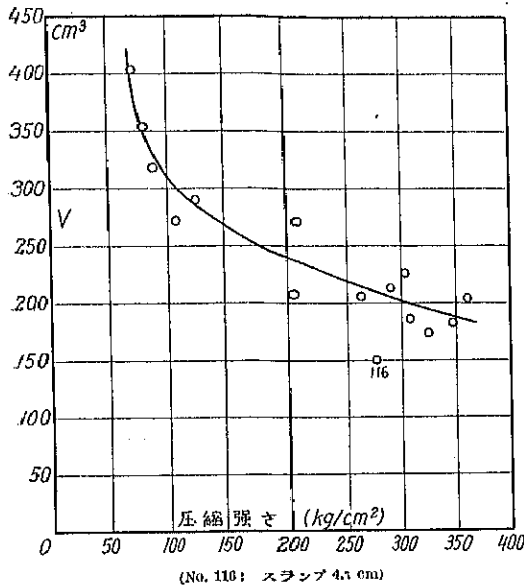
第 17 圖 水量と破壊容積との關係 (2)
(ペロセメント, 材齡 7 日)



各配合比を通じ、厚さ 100 mm の供試體に就て見ると、配合比 1:1:1 及び 1:1:2 のものでは、貫通した例は一つもない、但し裏面に多少の微細な龜裂が現れるのが普通であつたが、稀には裏面が破碎されたものもあつた。之に反し配合比 1:2:4 又は 1:3:6 のものでは、破碎貫通するのが普通であつて、たとへ貫通せずとも、裏面は一般に大きく破壊せられる。之から考へると、配合比 1:1:1 又は 1:1:2 のものに於ては、厚さ 100 mm をもつて銃彈の貫通を防ぎ得るが、配合比 1:2:4 又は 1:3:6 のものでは、銃彈の貫通を防ぐには、厚さ 100 mm では不充分であつて、少くとも 150 mm 位は必要である。

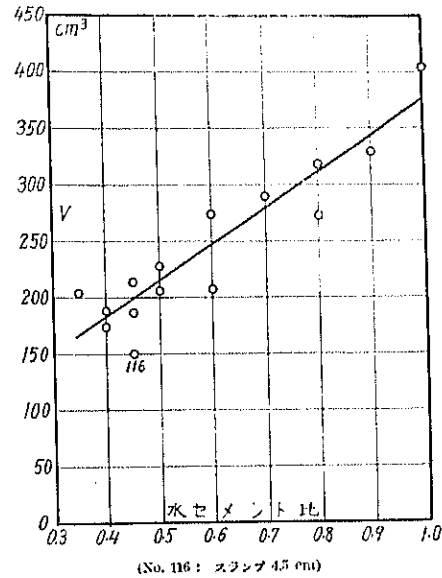
第 18 圖 壓縮強さと破壊容積との關係 (3)

(普通セメント, 材齡 28 日)



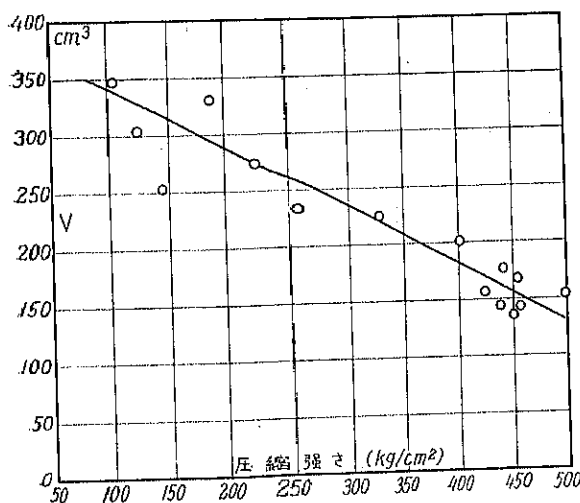
第 19 圖 水量と破壊容積との關係 (3)

(普通セメント, 材齡 28 日)



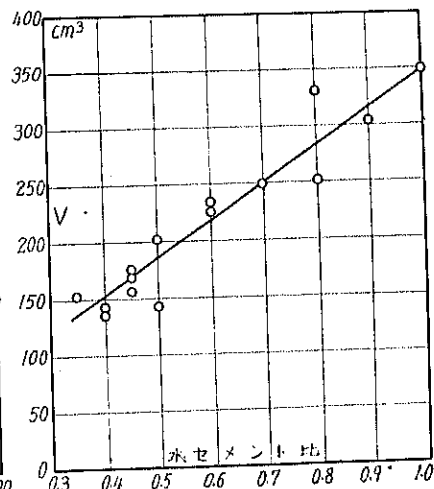
第 20 圖 壓縮強さと破壊容積との關係 (4)

(ペロセメント, 材齡 28 日)



第 21 圖 水量と破壊容積との關係 (4)

(ペロセメント, 材齡 28 日)



同一供試體の表裏面を射撃した結果を比較すると、一般に裏面に於ける方が被害が大きい。前述のやうに、茲に表面及び裏面と言ふのは、前者はコンクリート填充の際の底面であり、後者はその頂面である。従つて突固作業或は砂利の自重に依つて、底面即ち表面の方に砂利が集り且つ密度が大になり、之と反對に、頂面即ち裏面の方はモルタルが大部分であつて、且つ密度が比較的に小になるために、上記のやうな差が現れたものと考へられる。

材齡又はセメントの品質は、銃彈の衝撃に依る破壊状況に對しては、豫期した程の影響を及ぼさない。勿論、材齡7日のものより28日のものの方が、また普通セメントよりもベロセメントを使用したものの方が、一般に被害が少いのは事實であるが、材齡又はセメントの品質がコンクリートの壓縮強さに與へる影響に比べれば、殆んど無視し得る位である。材齡だけに就て見れば、製作後約7日位経過すれば、銃彈の衝撃に對しては最早充分に抵抗し得るものと考へられる。

(6) 同一供試體を反覆射撃した場合の結果

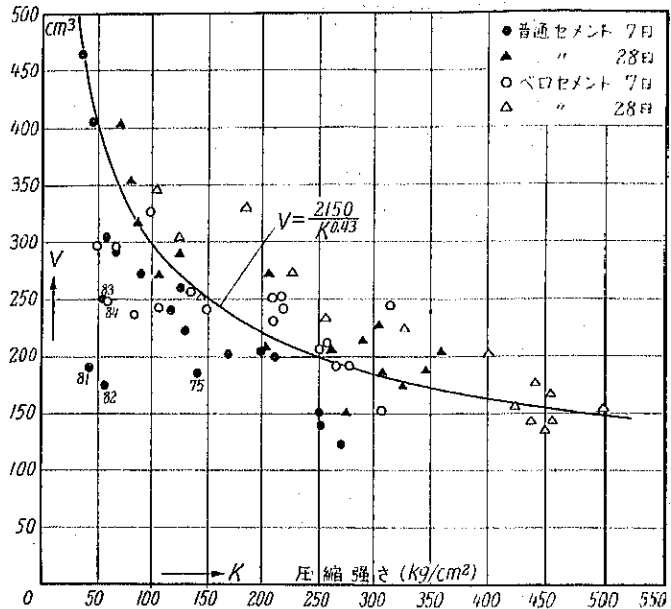
厚さ 150 mm 又は 200 mm のものを單に 1 回だけ射撃すれば、たゞ表面が破壊される丈であつて、裏面には何等の異状も現れないのが普通であるが、同一箇所を繰返して射撃すると第 2 回目には第 1 回目に比べて侵徹が 30~40 mm 増加すると共に破壊容積が約 2 倍になり、第 3 回に於て破砕貫通するのが普通である。第 24~26 圖はその例である。

4. 供試體の面に斜に射撃した場合

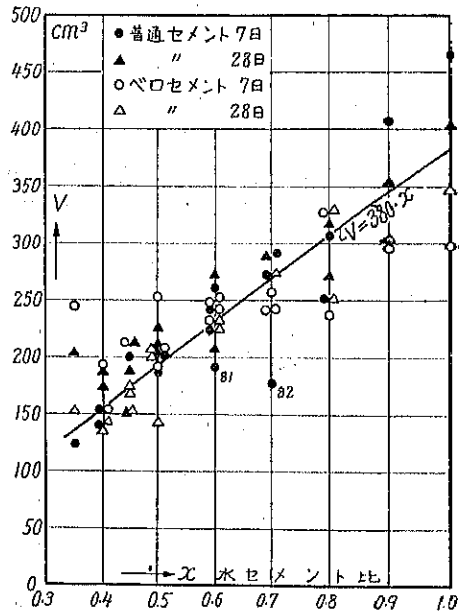
供試體の面に斜に射撃した場合の實驗結果は第 4 表に示す通りである。 α は供試體の面と銃彈進行方向との角であつて、實驗には $\alpha=60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ の 3 種を採用した。供試體の厚さは、 $\alpha=60^\circ$ 及び 45° に對しては 150 mm、 $\alpha=30^\circ$ に對しては 100 mm として、すべてその表面と裏面とを射撃した。第 4 表に示す數値は、即ち表面に於ける結果と裏面に於ける結果との平均値である

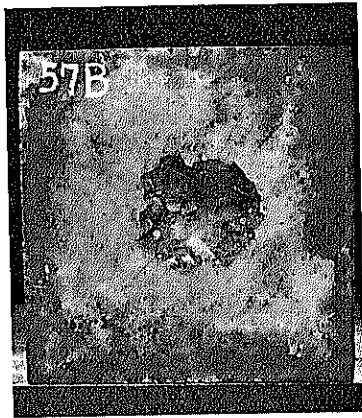
銃彈が斜に命中したときの破壊部分の形状は、銃彈が面に垂直に命中した場合に比較して、たゞ破壊部分が小さ

第 22 圖 壓縮強さと破壊容積との關係 (5)

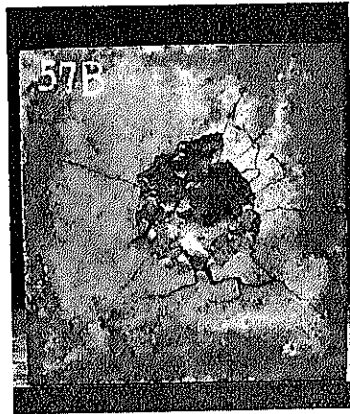


第 23 圖 水量と破壊容積との關係 (5)



第 24 圖 (1:1:1, $w/c=0.35$, 7日, 普通セメント, 厚さ 150 mm)(a) 第 1 回 $a=11.5$ cm, $p=3.5$ cm

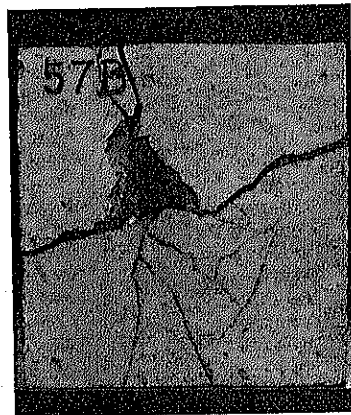
(b) 第 2 回 表面に龜裂を生ず



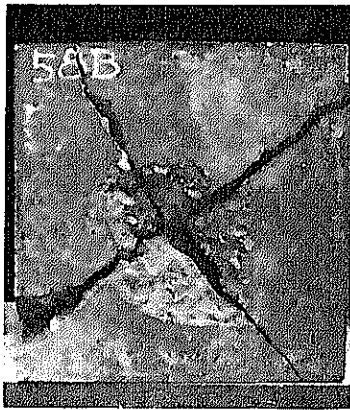
(c) 第 3 回 破碎貫通



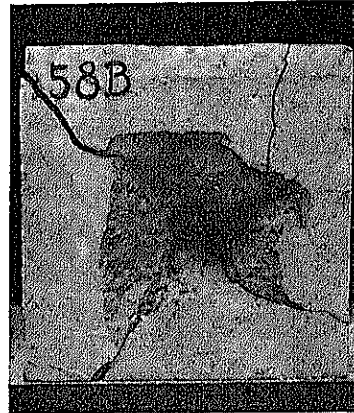
(d) 裏 面

第 25 圖 (1:1:1, $w/c=0.40$, 7日, 普通セメント, 厚さ 150 mm)(a) 第 1 回 $a=10.8$ cm, $p=3.4$ cm, $V=104$ cm³ (b) 第 2 回 $a=12.0$ cm, $p=6.0$ cm, $V=226$ cm³

(c) 第 3 回 破碎貫通



(d) 裏 面



第 26 圖 (1 : 3 : 6, w/c=0.80, 7日, ベロセメント, 厚さ 200 mm)

(a) 第 1 回

(b) 第 2 回

(c) 第 3 回

$a=15.5 \text{ cm}, p=6.3 \text{ cm}, V=390 \text{ cm}^3$

$a=17.5 \text{ cm}, p=9.8 \text{ cm}, V=786 \text{ cm}^3$

破 碎 貫 通



くなるだけであつて、根本的に相違する所はなかつた。これは恐らく、銃弾が供試體の面に命中した瞬間に於て大部分の破壊が起り、其の後に於ける銃弾の侵徹に依る破壊が第二次的のものであるがためではないかと考へられる。

第 4 表に於て、 a は破壊部分の平均値徑、 p は供試體の面から垂直に測つた破壊部分の最大深さ、 A は $A = \pi a^2/4$ から算出した破壊部分の面積、 V は $V = \pi a^2 p/12$ から算出した破壊容積である。

材齡 7 日の實驗では、斜に射撃した供試體と垂直に射撃した供試體とは、別々に練つたコンクリートから製作したのであるが、材齡 28 日の實驗では、すべて一練のコンクリートから作つた供試體に就て實驗したのである。

今、斜に射撃した場合と垂直に射撃した場合とを比較するために、配合比、水セメント比及びセメントの種類如何に拘らず、すべて垂直に射撃した場合の結果を 100 とし、之に對して斜に射撃した場合の結果の比率の平均値を求めると、第 5 表のやうになる。このうち材齡 7 日のものは、前述のやうに一練のコンクリートに就ての値ではなく、従つて之をそのまま信頼することは出来ないが、材齡 28 日に於ける結果は可成り信頼してもよからうと思ふ。これを圖示すると第 27 圖のやうになる。

銃弾が角 α で供試體に命中したときには、簡単に考へると、供試體に有效に作用するエネルギーは、銃弾が有す

第4表 斜射撃の結果

材 齢	配合比 (水セメント比)	α	普通セメント						ベロセメント					
			番号	圧強 kg/cm ²	a cm	ρ cm	A cm ²	V cm ³	番号	圧強 kg/cm ²	a cm	ρ cm	A cm ²	V cm ³
7日	1:1:1 (0.35)	90°	57	271	11.6	3.50	106	123	62	314	14.6	4.07	181	245
		60°			11.5	3.70	107	135			12.3	3.35	118	134
		45°	100	283	10.5	3.85	88	112	105	370	11.4	3.15	103	108
		30°			8.5	2.60	58	49			7.8	2.30	48	37
	1:1:2 (0.40)	90°	63	252	11.5	4.03	104	140	66	306	12.2	3.90	116	152
		60°			12.4	4.20	123	168			12.2	3.55	117	138
		45°	101	250	10.9	3.30	94	101	106	377	10.3	3.25	84	90
		30°			9.1	2.80	65	61			8.3	2.80	54	53
	1:1.5:3 (0.45)	90°	69*	200	12.7	4.83	127	205	72*	266	13.0	4.30	133	192
		60°			10.9	4.30	94	134			11.3	3.50	101	117
		45°	102	180	10.9	3.95	93	123	107	309	10.5	3.55	86	102
		30°			10.5	3.55	87	103			8.9	1.90	62	40
	1:2:4 (0.60)	90°	76	126	13.6	5.23	147	261	79	209	12.5	5.10	123	209
		60°			15.5	6.00	189	373			12.8	4.60	130	202
		45°	103	118	13.3	3.60	139	167	108	210	10.7	3.60	90	108
		30°			10.5	3.90	87	113			10.5	2.00	87	58
	1:3:6 (0.80)	90°	83	53	12.8	5.90	128	251	86	98	14.8	5.70	171	325
		60°			12.2	5.40	117	211			—	—	—	—
		45°	104	46	13.5	4.70	143	224	109	94	13.0	4.70	133	208
		30°			12.4	3.70	121	149			11.5	4.00	104	138
28日	1:1:1 (0.35)	90°			14.0	4.17	155	204			12.7	3.57	128	153
		60°	110	360	11.0	4.05	95	128	125	499	12.0	3.35	114	128
		45°			10.8	3.55	91	108			9.9	2.45	80	66
		30°			8.0	2.00	50	34			7.7	2.05	46	32
	1:1:2 (0.40)	90°			12.6	4.13	126	174			11.6	3.77	106	135
		60°	113	325	11.8	3.70	108	135	128	450	12.3	3.15	118	123
		45°			12.2	3.15	118	125			10.6	2.80	91	88
		30°			9.7	2.75	75	70			6.9	1.75	38	24
	1:1.5:3 (0.45)	90°			11.5	4.23	105	150			12.3	3.90	120	156
		60°	116	276	10.5	4.00	87	115	131	423	11.6	3.55	106	126
		45°			9.6	3.00	73	76			9.6	2.40	72	61
		30°			8.7	2.30	52	39			7.4	1.95	46	32
	1:2:4 (0.60)	90°			15.0	4.65	177	274			14.2	4.27	160	234
		60°	119	207	11.7	3.90	108	140	134	227	12.5	4.25	123	176
		45°			10.5	4.40	87	128			9.9	3.05	77	88
		30°			9.5	3.30	71	78			9.7	2.80	73	69
	1:3:6 (0.80)	90°			15.5	5.00	191	318			13.3	5.23	142	252
		60°	122	87	13.0	5.60	133	248	137	144	12.5	4.80	122	198
		45°			12.5	4.80	123	196			11.4	4.20	98	139
		30°			10.7	3.70	90	116			10.9	3.75	94	118

(※印のものは水セメント比 0.50 なり)

るエネルギーの $\sin \alpha$ 倍と考へることが出来る。従つて、供試體の破壊容積 V が之に費消されたエネルギーに比例するといふ假定が許されるならば、そして供試體に有効に作用したエネルギーの全部が供試體の破壊に費消されるものと假定すると、 V の比率は $\sin \alpha$ の値に等しくなる。然るに實際には、第5表又は第27圖に示すやうに $\sin \alpha$ より小さい値になつて、寧ろ $\sin^2 \alpha$ の値に略々一致した。これは恐らく、銃弾のもつエネルギーの全部が供試體の破壊に使はれるのではなくて、その一部分が、銃弾自身の變形や熱エネルギー等に費消され、之等のものが α

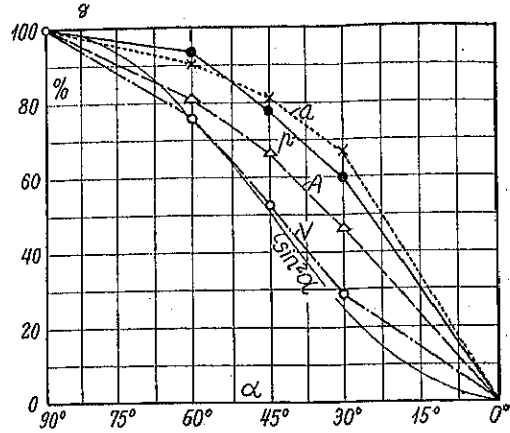
に殆んど無關係に一定であるがためではなからうかと考へられる。

第 5 表 供試體の面に斜に射撃した場合と垂直に射撃した場合との比較

(垂直に射撃した場合の結果を 100 とす)

α	材 齢 7 日				材 齢 28 日			
	a	p	A	V	a	p	A	V
90°	100	100	100	100	100	100	100	100
60°	97.2	93.5	94.2	90.0	90.2	93.6	81.2	75.6
45°	88.7	81.9	79.8	64.9	81.0	77.8	65.1	52.4
30°	75.8	63.7	59.2	37.8	66.7	59.8	46.5	28.4

第 27 圖 (材 齢 28 日)



5. 薬量 1.5 g に依る實驗結果

薬量を 1.5 g に減じて行つた實驗の結果は第 6 表に示す通りである。供試體は それぞれのコンクリートに就て厚さ 150 mm と 100 mm の 2 個であつて、100 mm のものはその表面を射撃しただけであつたが、150 mm のものは、表面と裏面とを射撃した。第 6 表に示した數値は、即ち厚さ 150 mm の表裏面に於ける結果と厚さ 100 mm のものの表面に於ける結果の平均値である。表中の A は、第 4 表に於けると同様に、 $A = \pi a^2/4$ から算出した破壊部分の面積である。

此の場合の結果は、其の傾向に於ては、薬量 2.15 g の場合の結果と根本的に相違する點はない。たゞ a, p, A 及

第 6 表 薬量 1.5 g に依る實驗結果

材 齢	配 合 比	水セメント比	普通セメント				ベロセメント					
			番号	a cm	p cm	A cm ²	V cm ³	番号	a cm	p cm	A cm ²	V cm ³
7 日	1:1:1	0.35	100	9.7	2.80	79	67	105	11.5	2.48	104	85
	1:1:2	0.40	101	9.7	3.03	76	77	106	9.2	2.80	67	62
	1:1.5:3	0.45	102	10.5	3.17	89	95	107	10.6	2.70	91	87
	1:2:4	0.60	103	10.4	4.25	86	125	108	9.3	3.63	67	82
	1:3:6	0.80	104	10.6	4.57	91	134	109	10.7	4.33	90	126
28 日	1:1:1	0.35	110	10.6	3.27	89	98	125	7.8	2.37	48	39
	1:1:2	0.40	113	10.6	3.00	89	92	128	9.4	2.33	71	58
	1:1.5:3	0.45	116	8.8	3.00	62	61	131	8.2	2.40	54	43
	1:2:4	0.60	119	11.0	4.10	96	129	134	9.9	3.00	79	80
	1:3:6	0.80	122	9.8	4.13	80	109	137	10.8	3.67	91	112

び V の値が夫々小さくなるだけである。薬量 1.5 g に依る a, p, A 及び V の値と、薬量 2.15 g の場合の夫等の値との比率を求めると、配合比によつては、大して變化せず、その材齡別及びセメント別に依る平均値を求めると第 7 表のやうになる。但し材齡 7 日のものでは、薬量 2.15 g に對する供試體と薬量 1.5 g に對する供試體とは、一練のコンクリートから作つたものではないから、この場合の比率の値はそのまま信頼することは出来ないが、材

齡 28 日のものでは、すべて一練のコンクリートから作った供試體に就ての比率であるから、これは比較的に信頼し得るものと思はれる。

前報告で述べた様に、薬量 1.5g のときの銃弾のエネルギーは薬量 2.15g の場合の約 1/2 である。従つて破壊容積 V が銃弾のエネルギーに比例するといふ假定が許されるならば、 V の比率は約 50% になる筈である。然るに実際には約 40% の比率になつたのであつて、これは斜射撃のときに指摘したやうに、銃弾のエネルギーの全部が供試體の破壊に費消されるのではなく、そのうちの一定量が銃弾自身の變形や熱のエネルギー等として費消されるからであらうと思はれる。

第 7 表 薬量 1.5g に依る結果と薬量 2.15g に依る結果との比較
(薬量 2.15g に依る結果を 100 とす)

材齡	セメント	a	ρ	A	V
7日	普通	81.8	75.9	69.5	51.6
	ペロ	76.5	68.5	58.0	37.6
	平均	79.2	72.2	63.8	44.6
28日	普通	72.5	78.5	56.6	44.6
	ペロ	72.0	65.9	52.6	34.9
	平均	72.3	72.2	54.6	39.8

6. 空气中養生と水中養生との比較

これまでのものはすべて常温の水槽中で養生した供試體に就て實驗を行つたのであるが、養生方法に依る破壊状況の變化を見るために、材齡 28 日のものに就て、空气中の乾燥養生と水中養生との結果を比較した。

空气中養生の供試體と水中養生の供試體とは、前述の斜に射撃したものと及び薬量 1.5g で實驗した供試體と共に一練のコンクリートから作製した。その個数は各種コンクリートに就て厚さ 150mm と 100mm の 2 個づつである。供試體は、製作後約 24 時間を経て型枠より取出し各々その重量を測つた後、水中養生のものは直ちに水槽

第 8 表 空气中養生と水中養生との比較
(材齡 28 日、上方の数値は空气中養生、下方の数値は水中養生)

配合比	水セメント比	普通セメント						ペロセメント					
		番号	圧強 kg/cm^2	a cm	ρ cm	A cm^2	V cm^3	番号	圧強 kg/cm^2	a cm	ρ cm	A cm^2	V cm^3
1:1:1	0.35	110	309	14.3	4.05	161	217	125	418	13.4	4.10	142	194
			360	14.0	4.17	155	204		499	12.7	3.57	128	153
1:1:2	0.40	113	278	13.4	3.93	145	191	128	364	11.7	3.67	110	136
			325	12.6	4.13	126	174		450	11.6	3.77	106	135
1:1.5:3	0.45	116	210	11.8	4.00	109	145	131	354	10.7	3.80	91	115
			276	11.5	4.23	105	150		423	12.3	3.90	120	156
1:2:4	0.60	119	158	12.8	4.63	132	208	134	197	12.3	3.70	120	148
			207	15.0	4.65	177	274		227	14.2	4.27	160	234
1:3:6	0.80	122	78	10.0	5.25	79	138	137	121	11.6	4.30	107	151
			87	15.5	5.00	191	318		144	13.3	5.23	142	252

中に入れ、空气中養生のものは其の後實驗室内に放置したのである。壓縮強さを比較するためには各 3 個の圓錐形供試體を作つて、それぞれ前述と同様に養生した。

その實驗結果は第 8 表に示す通りである。此の表に於て上段の数値は空气中養生の供試體に就ての結果であり、下段のものは水中養生の供試體に就ての結果である。即ち下段のものは第 2 表に示した値である。尚、之等の數値は、厚さ 150mm の供試體の表面及び裏面に就ての結果と、厚さ 100mm の供試體の表面に就ての結果の平均値である。

一般に濕潤状態で養生されたコンクリートは、乾燥状態で養生されたものに比し大きな壓縮強さを示すものである。

従つて、一般實驗に於けるやうに壓縮強さが小さい程侵徹及び破壊容積が大きくなるといふ一般法則が此の場合にも成立するならば、空氣中養生のものの方が水中養生のものよりも一般に大きな侵徹及び破壊容積を示すものと豫想して居たのである。また一般實驗に於けると同様に、良配合のもの程被害が少くなるものと豫想して居たのであるが、實驗の結果は之等の豫想を完全に裏切つた。

先づ第8表に就て見ると、一般實驗のときに説明したやうに壓縮強さが大なる程、また富配合のもの程、侵徹又は破壊容積が小になるといふ一般法則が、空氣中養生の場合には成立しないことがわかる。此の關係を明瞭にするために、壓縮強さ、 a 、 p 及び V の順位を求めると第9表のやうになる。先づ壓縮強さは配合比 1:1:1 のものに於て最大であり、1:3:6 に於て最小であることは、勿論既定の事實であつて別に説明を要しない。然るに a 、 p 、 V 等の順位は表に示すやうになつて、小銃彈の衝撃に依る被害が 1:3:6 に於て最大であり、1:1:1 に於て最小であるとは言へない。此の場合だけに就ては、壓縮強さが最大である 1:1:1 に於て、却つて被害が最大であるとさへ言へる。尙、第9表中で、破壊の程度が最も小さいものを求めると、第一が 1:15:3 であり、次が 1:1:2 になり、前に一般實驗の場合に指摘したことに一致する。

次に空氣中養生の供試體に就ての結果と、水中養生の供試體に就ての結果との比率を求めると第10表のやうになる。先づ壓縮強さの比率を見ると、配合比又はセメントの種類に如何に拘はらず大體一定であつて、平均に於て 83.2% になる。之は即ち空氣中養生の方が弱いことを示すものであつて、従つて a 、 p 、 A 及び V の比率はすべて 100% より大きくなるものと豫想して居たが、實際には第10表のやうになつた。

侵徹 p の比率は平均に於て 93~100% である。本實驗のやうに偶發的誤差が起り得べき、且つ可成り粗雑な實驗の結果として見れば、空氣中で養生しても水中で養生しても侵徹の深さには殆んど影響がないと言ふことが出来る。

破壊部分の面積又は容積を示す a 、 A 及び V の比率は、第10表に明かな如く、セメントの種類によつては大した變化はないが配合比に依つて大いに異り、1:1:1 及び 1:1:2 の富配合のものでは 100% より大であるが貧配合のものでは常識又は豫想に反して常に 100% より小になつた。特に V の比率は 1:1:1 に於て 118%、1:3:6 に於て 52% であつて、其の間可成り規則正しく變化して居る。

此のやうに 空氣中で養生をすると、水中で養生した場合に比べて壓縮強さが小になるに拘はらず、侵徹の深さには大した差がなく、且つ場合によつては破壊部分の面積又は容積が却つて小になる事實は、一面に於ては、銃彈の

第9表 空氣中養生供試體に於ける順位
(壓縮強さは最大のを 1 とし、 a 、 p 、 V は最小のを 1 とし順位を付す)

配合比	壓縮強さ	普通セメント			ペロセメント		
		a	p	V	a	p	V
1:1:1	1	5	3	5	5	4	5
1:1:2	2	4	1	3	3	1	2
1:15:3	3	2	2	2	1	3	1
1:2:4	4	3	4	4	4	2	3
1:3:6	5	1	5	1	2	5	4

第10表 空氣中養生の結果の水中養生の結果に對する比率

(水中養生の結果を 100 とす)

セメント	配合比	圧強	a	p	A	V
普通セメント	1:1:1	86	102	97	104	106
	1:1:2	86	106	95	115	110
	1:15:3	76	103	95	104	97
	1:2:4	76	85	100	75	76
	1:3:6	89	65	105	41	43
ペロセメント	1:1:1	84	106	115	111	129
	1:1:2	81	101	97	104	101
	1:15:3	84	87	97	76	74
	1:2:4	87	87	87	75	63
	1:3:6	84	87	82	75	60
平均	1:1:1		104	106	107	118
	1:1:2		104	96	110	105
	1:15:3	83.2	95	96	90	85
	1:2:4		86	93	75	70
	1:3:6		76	97	58	52

衝撃に依るコンクリートの破壊に對してその壓縮強さが直接的の關係を有して居らないことを物語ると同時に、何等かの説明を要する事實である。

之に對して著者は次の様に考へたい。

(1) 一般的には、一般實驗の場合に述べたやうに、壓縮強さが小さい程破壊部分が大きくなる。そして空氣中で養生したコンクリートの壓縮強さが水中で養生したものに比べて小さいことは既定の事實である。従つて此の點だけから考へれば、空氣中で養生したものの方が水中で養生したものよりも大きな破壊部分を示すことになる。

(2) 一般に無数の氣泡又は空氣隙を有するやうな多孔質のものでは、之と同材料で内部の充實せるものに比べて、すべて波動の傳播が遅く且つその減衰が大である。然しその氣泡又は空氣隙に水を充滿せしめたならば、波動の傳播が速くなり且つその減衰が小になる。所がコンクリートなるものは完全な充實體ではなく、程度の差はあるが内部に無数の空氣隙を有するものである。故に、相當の期間水中で養生したものでは、その空氣隙の大部分は水で充滿されて居ると考へられ、之に反して相當の期間乾燥養生したものでは、空氣中に含まれて居た水分も蒸發し去り、空氣隙の大部分は空氣で占められて居るものと考へることが出来る。従つて銃彈の衝撃が加つた場合には、空氣中で養生したものでは、水中で養生したものに比べて、その衝撃に依る波動の傳播が遅く且つその減衰が大であつて、従つて衝撃に依つて生ずる破壊が小さくなると考へられる。

此の(1)と(2)の影響は、互に相反するものであつて、要はその大小にある。所が壓縮強さの減小の割合は配合比に依つては大きく變化せず殆んど一定であるから、(1)の影響の程度は配合比に拘はらず略々一定と考へることが出来る。従つて結局はコンクリート中に含まれる空氣隙の大小に依ることになる。

一般にコンクリート中の空氣隙はセメントが多い配合のもの程小であり、セメントが少い程空氣隙が多くなるのが普通であつて、そのために、第10表に示したやうな結果になつたものと想像せられる。即ち1:1:1又は1:1:2のものでは空氣隙が比較的の小であるから、前記の(2)の影響が小であつて従つて(1)の影響が著しく現れて破壊の比率が100%より大になり、これよりセメントが少くなる程段々と空氣隙が多くなつて、(2)の影響の方が(1)の影響より大になり、従つて破壊の比率が100%より小になつたものと考へられる。殊に1:3:6に於ては(2)の影響が著しく現れたものと考へられる。

以上の推理は、著者の單なる獨斷に過ぎず、また之をもつて第10表に示した結果の理由の全部であるとは考へないが、少くともその一つの説明ではないかと考へて居る。尙、一般實驗の場合に述べたやうに、スラップが零のやうな非常な硬練のものでは、假令その壓縮強さが一般の傾向より小であつても、銃彈の衝撃に依つて破壊される部分が一般の傾向より小になる事實も、上記の如くにして説明し得るものと思はれる。

7. 要 結

以上述べたことを要約すると次のやうになる。

(1) コンクリートに銃彈が命中したとき、その衝撃に依つて起る破壊は、主として剪断に依る破壊である。大部分の破壊は銃彈がコンクリートに命中したときに於て起るのであつて、其の後の銃彈侵徹に依る破壊は第二次的のものである。従つて銃彈が砂利のある所に命中するか、或はモルタルの部分に命中するかによつては、大した差異は起らない。

(2) 破壊部分の平均直径を a 、侵徹の深さを p 、破壊部分の容積を V とすると、藥量 2.15 g のときには

$$a=11\sim 16\text{ cm}, \quad p=3.5\sim 7.0\text{ cm}, \quad V=140\sim 460\text{ cm}^3$$

であり、薬量 1.50 g のときには $a=8\sim 11$ cm, $p=2.3\sim 4.6$ cm, $V=40\sim 130$ cm³ になる。

(3) 材齢 7 日のものより材齢 28 日に於ける方が、また普通セメントを使用したものよりもベロセメントを使用したものに於ける方が、一般に破壊部分が小になるが、その差は極めて小である、材齢だけに就て見れば、製作後 7 日位経過すれば、銃弾の衝撃に對して十分に抵抗し得るものと考へられる。

(4) 一般にセメントの多い配合のもの程、水セメント比が小なる程、壓縮強さが大なる程、破壊部分は小になる。但し、配合比 1:1:1 ($w/c=0.35$) のものに於ける破壊部分は必ずしも最小ではなかつた。本實驗の範圍に於ては配合比 1:1:2 ($w/c=0.40$) 又は 1:1.5:3 ($w/c=0.45$) のものが結果最も良好であつた。

(5) 侵徹の深さ p 及び破壊容積 V と壓縮強さ K との關係は、薬量 2.15 g のときには、材齢、配合比、セメントの種類等に關せず、大略

$$p = \frac{15.0}{K^{0.22}}, \quad V = \frac{2.150}{K^{0.43}}$$

で示される。但し單位はすべて kg と cm とである。

(6) 極めて水量の少い硬練のものでは、一般の傾向に比べて、破壊部分が著しく小になる。特に破壊部分の直径は目立つて小になる。

(7) 同一供試體の表裏面を射撃した結果を比較すると、コンクリート填充の際の底面に於ける方が一般に破壊が小さい。

(8) 厚さ 150 mm 又は 200 mm のものを單に 1 回だけ射撃すると、たゞ表面が破壊されるだけで、裏面には何等の異状もないが、續けて射撃を繰返すと、3 回目に於て破碎貫通するのが普通である。2 回射撃したときの破壊容積は、1 回射撃したときの約 2 倍である。

(9) 厚さ 100 mm のものを薬量 2.15 g で射撃した結果を比較すると、配合比 1:1:1 及び 1:1:2 のものでは、裏面に多少の龜裂が生じ、稀には裏面が破碎されるが、貫通した例は一つもない。配合比 1:2:4 又は 1:3:6 のものでは破碎貫通するのが普通であつて、たとへ貫通せずとも裏面は一般に大きく破壊せられる。

(10) 供試體の面に斜に射撃した場合の破壊状況は、垂直に射撃した場合と根本的に相違する所はない。これは前記 (1) の理由に基づくものと思はれる。銃弾進行の方向と供試體の面との間の角を α とすると、破壊容積は略々 $\sin^2 \alpha$ に比例する。

(11) 薬量を 1.50 g に減少した場合には、薬量 2.15 g の場合に比較して破壊部分が小になる。即ち a 及び p は約 72%, V は約 55%, V は約 40% に夫々減少する。

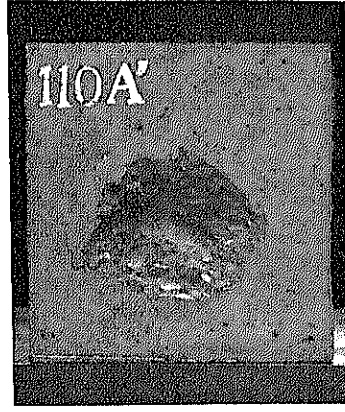
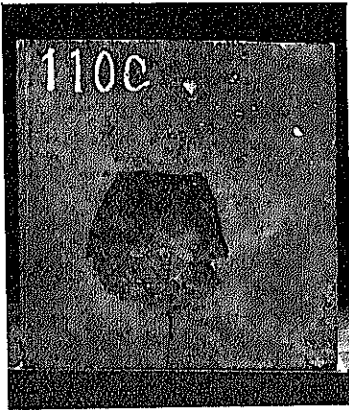
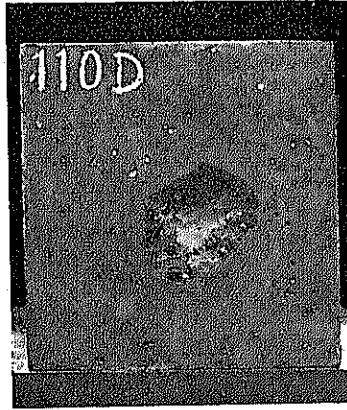
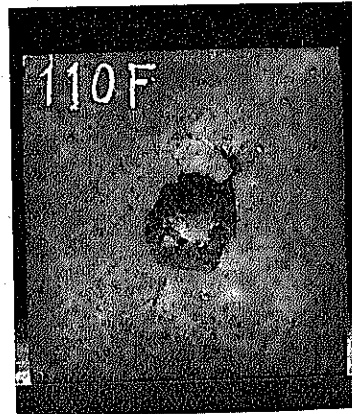
(12) 供試體を空氣中で養生すると、水中で養生したものに比べて、材齢 28 日に於て壓縮強さが約 17% 小になつた。然し銃弾の衝撃に依る破壊部分は、必ずしも之に比例して常に大きくなるとは限らない。セメントの多い 1:1:1 や 1:1:2 では、空氣中養生のものの方が大きな破壊を示したが、1:2:4 や 1:3:6 のやうにセメントが少いものでは、空氣中で養生すると、壓縮強さが小になるに拘はらず、破壊部分が著しく小になつた。

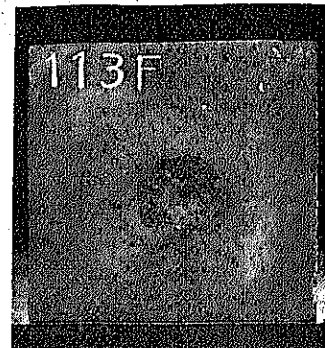
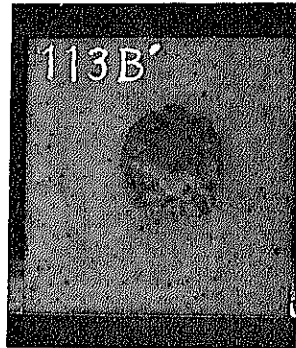
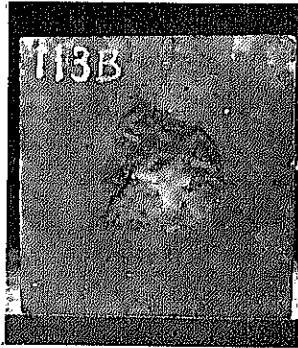
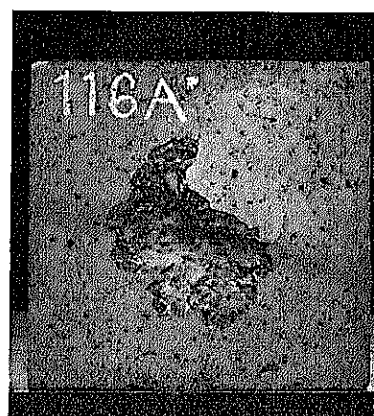
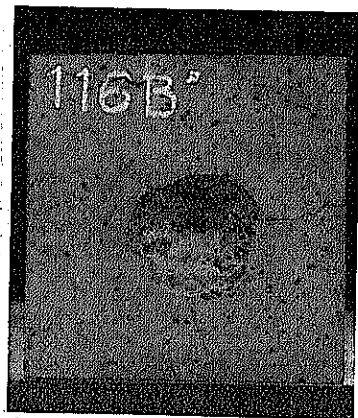
水中養生のときの破壊容積に對する空氣中養生のときの破壊容積の増減の割合の平均値は次のやうになる。

配合比:	1:1:1	1:1:2	1:1.5:3	1:2:4	1:3:6
V の増減:	+18%	+5%	-15%	-30%	-48%

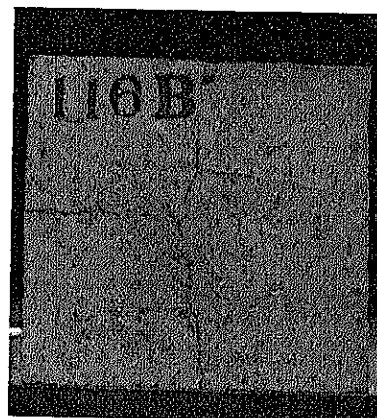
附圖に示すものは、すべて材齢 28 日に於ける結果の寫眞であつて、 w/c : 水セメント重量比, t : 厚さ (cm), a : 破壊部分の平均直径 (cm), p : 侵徹量 (cm), α : 擊角 とする。但し特に明記しない限り、水中養生の供試體であつて、薬量 2.15 g をもつて垂直に射撃したものである。

附 圖 寫 眞

1-6. 1:1:1, $w/c=0.35$, 普通セメント第 1. 水中養生, $a=15.0$, $p=4.4$ 第 2. 空気中養生, $a=15.5$, $p=4.1$ 第 3. $\alpha=60^\circ$, $a=11.5$, $p=3.8$ 第 4. $\alpha=45^\circ$, $a=10.5$, $p=3.3$ 第 5. $\alpha=50^\circ$, $a=8.0$, $p=2.0$ 第 6. 薬量 1.5g, $a=8.7$, $p=2.8$ 

7-9. 1:1:2, $w/c=0.40$, 普通セメント第 7. 水中養生, $a=14.0$, $p=4.1$ 第 8. 空気中養生, $a=11.5$, $p=4.0$ 第 9. 薬量 1.5 g, $a=8.7$, $p=2.8$ 10-13. 1:1.5:3, $w/c=0.45$, 普通セメント第 10. 水中養生, $t=15$, $a=10.4$, $p=3.8$ 第 11. 空気中養生, $t=15$, $a=12.0$, $p=3.7$ 第 12. 空気中養生, $t=10$, $a=11.6$, $p=4.3$ 

第 13. No. 116B' の表面の龜裂



14-15. 1:1.5:3, $w/c=0.60$, 普通セメント

第 14. 水中養生, $t=10$, $\alpha=10.5$, 貫通

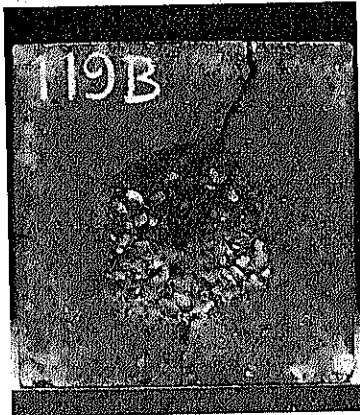


第 15. 裏面の破壊状況



16-21. 1:2:4, $w/c=0.60$, 普通セメント

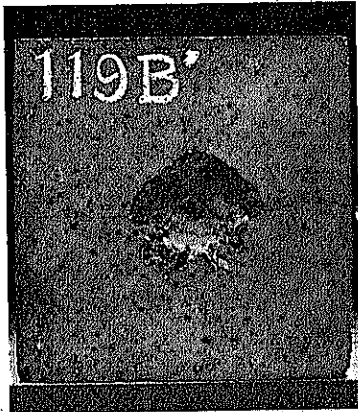
第 16. 水中養生, $t=10$, $\alpha=15.0$, $p=5.8$



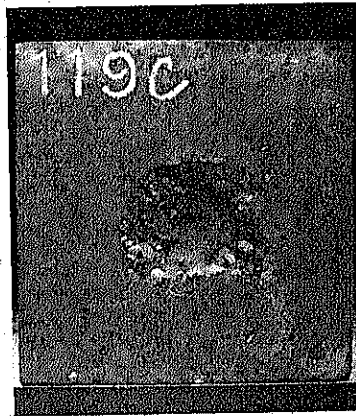
第 17. 貫通せざるも裏面破壊す



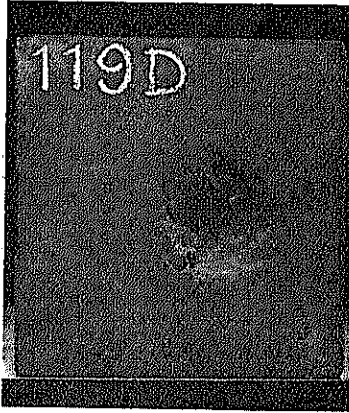
第 18. 空気中養生, $t=10$, $\alpha=10.5$, $p=4.1$



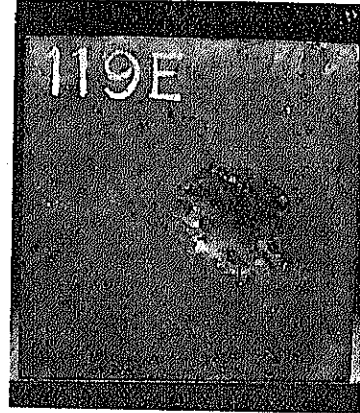
第 19. $\alpha=60^\circ$, $\alpha=11.7$, $p=3.9$



第 20. $\alpha=45^\circ, a=10.5, p=4.4$

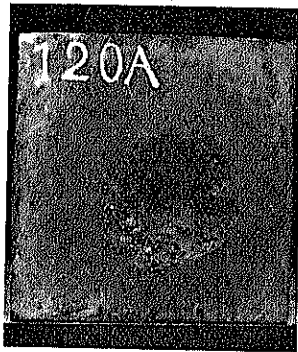


第 21. $\alpha=30^\circ, a=9.5, p=3.3$



22—24. 1:2:4, w/c=0.70, 普通セメント

第 22. $t=15, a=14.5, p=5.3$



第 23. $t=10, a=14.0$, 貫通

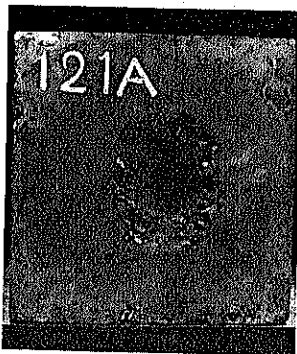


第 24. No. 120 Bの表面破壊状況



25—27. 1:2:4, w/c=0.80, 普通セメント

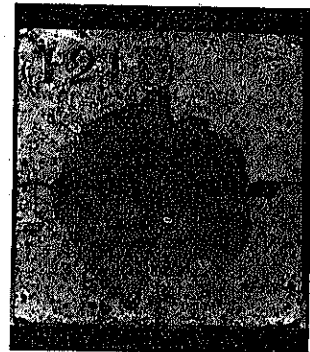
第 25. $t=15, a=13.0, p=4.8$



第 26. $t=10, a=15.5$, 貫通

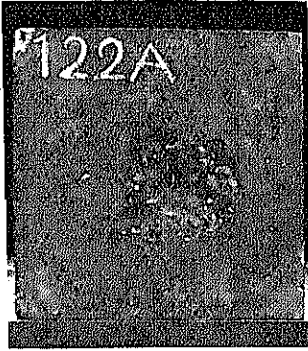


第 27. No. 121 Bの表面破壊状況



28—36. 1:3:6, w/c=0.80, 普通セメント

第 28. $t=15, a=14.0, p=5.0$



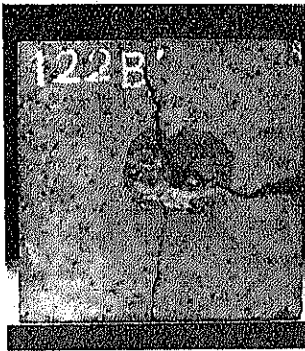
第 29. $t=10, a=17.0$, 貫通



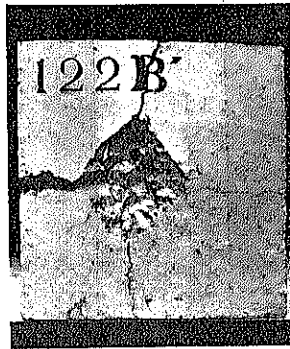
第 30. No. 122 Bの裏面破壊状況



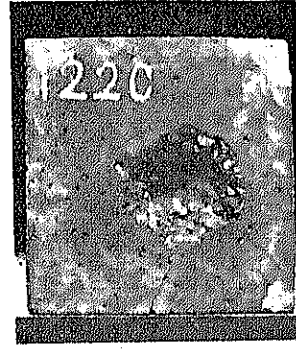
第 31. 空気が発生, $t=10$,
貫通せず, $a=10.4, p=5.6$



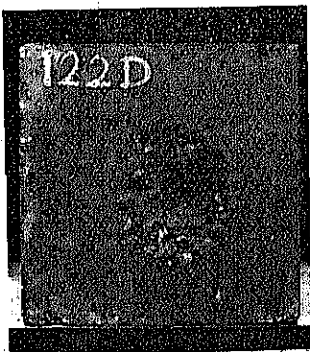
第 32. No. 122 B'の裏面破壊状況



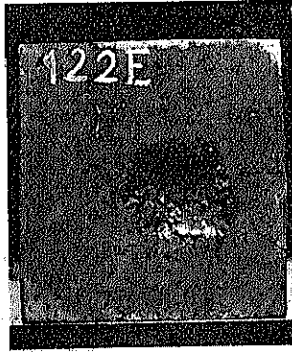
第 33. $\alpha=60^\circ, a=13.0, p=5.6$



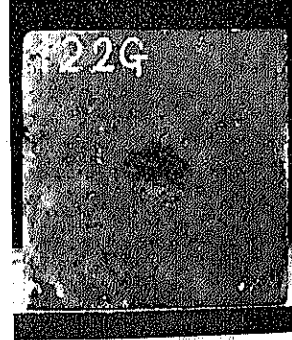
第 34. $\alpha=45^\circ, a=12.5, p=4.8$



第 35. $\alpha=30^\circ, a=10.7, p=3.7$



第 36. 薬量 1.5 g, $a=6.3, p=4.0$

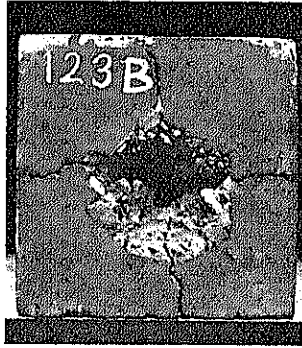
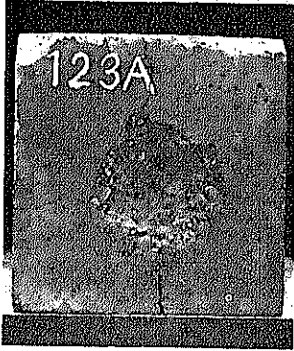


37—39. 1:3:6, $w/c=0.90$, 普通セメント

第 37. $t=15, a=14.0, p=6.9$

第 38. $t=10, a=15.5$, 貫通

第 39. No. 123 Bの裏面破壊状況



40—45. 1:1:1, $w/c=0.35$, ペロセメント

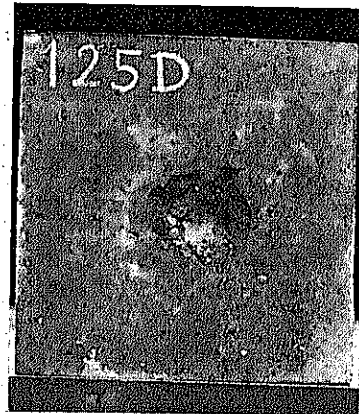
第 40. 水中養生, $a=11.5, p=3.4$

第 41. 空气中養生, $a=12.3, p=4.1$

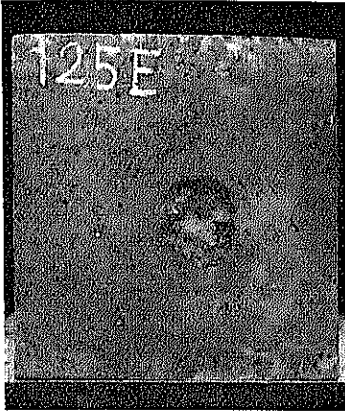


第 42. $\alpha=60^\circ, a=11.0, p=3.2$

第 43. $\alpha=45^\circ, a=8.1, p=2.3$



第 44. $\alpha=30^\circ, a=7.5, p=1.7$



第 45. 薬量 1.5g $\alpha=8.2, p=2.7$

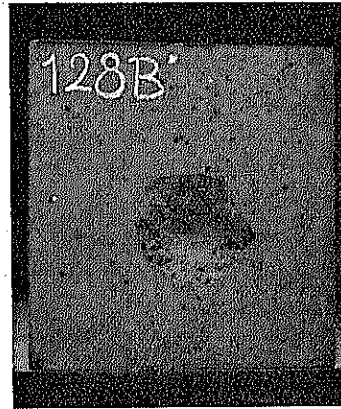


46—51. 1 : 1 : 2, $w/c=0.40$, ペロセメント

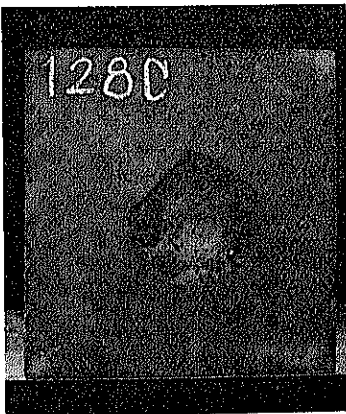
第 46. 水中養生, $\alpha=11.5, p=3.7$



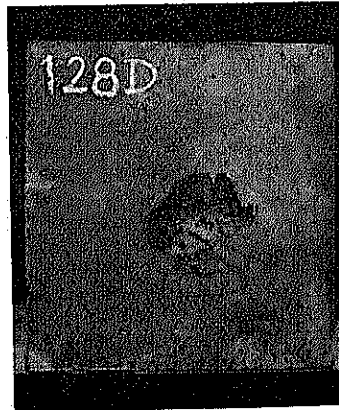
第 47. 空気中養生, $\alpha=10.5, p=3.6$



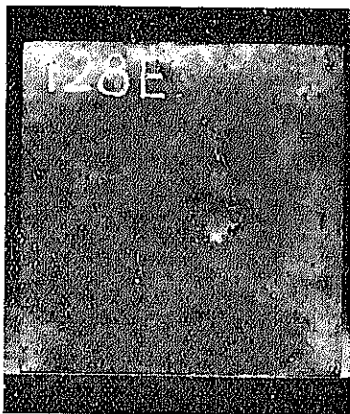
第 48. $\alpha=60^\circ, a=12.3, p=3.0$



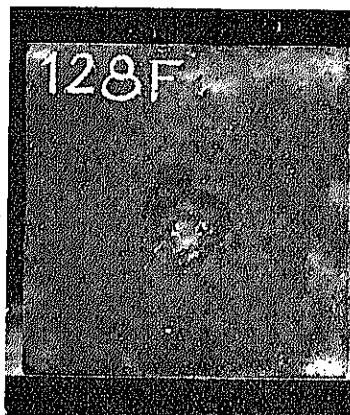
第 49. $\alpha=45^\circ, a=8.7, p=2.5$



第 50. $\alpha=80^\circ$, $a=5.5$, $p=1.4$

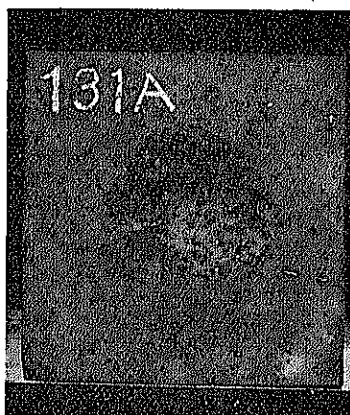


第 51. 薬量 15g, $a=9.1$, $p=1.8$

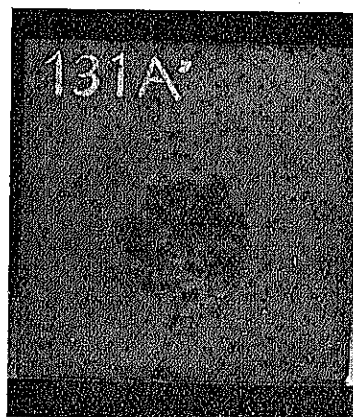


52-57. 1 : 1.5 : 3, $w/c=0.45$, ペロセメント

第 52. 水中養生, $a=13.0$, $p=3.7$



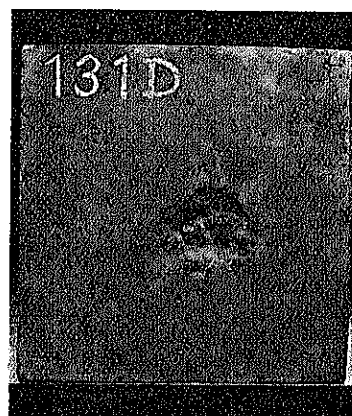
第 53. 空気中養生, $a=11.0$, $p=3.6$



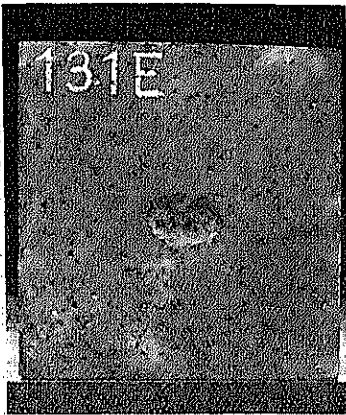
第 54. $\alpha=60^\circ$, $a=10.7$, $p=3.5$



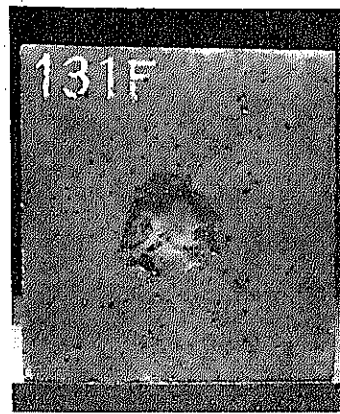
第 55. $\alpha=45^\circ$, $a=8.5$, $p=1.9$



第 56. $\alpha=80^\circ$, $a=6.5$, $p=1.3$



第 57. 薬量 1.5 g, $a=8.5$, $p=2.3$

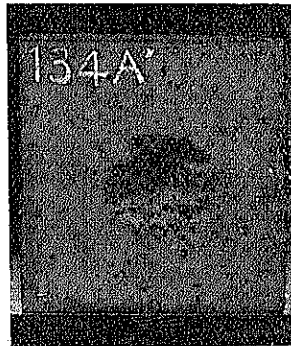


58—60. 1 : 2 : 4, $w/c=0.60$, ペロセメント

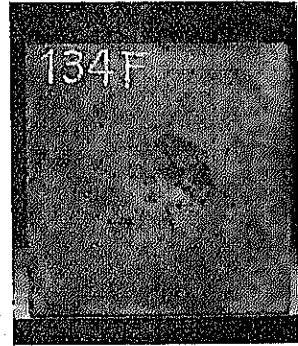
第 58. 水中養生, $a=14.8$, $p=4.0$



第 59. 空気中養生, $a=12.4$, $p=4.4$



第 60. 薬量 1.5 g, $a=8.5$, $p=2.6$

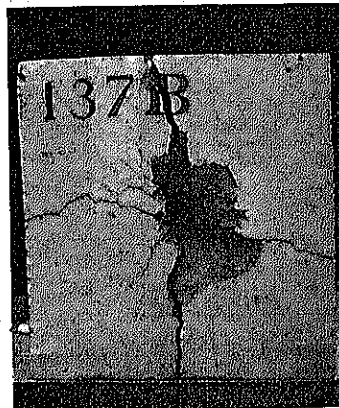


61—66. 1 : 3 : 6, $w/c=0.80$, ペロセメント

第 61. 水中養生, $t=10$, $a=11.5$, 貫通



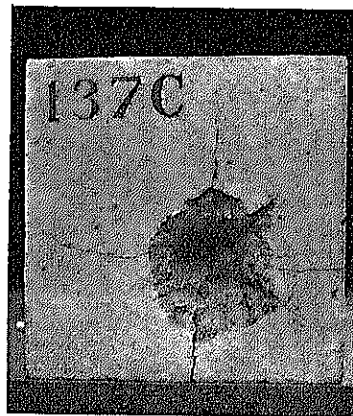
第 62. No. 137 B の裏面破壊状況



第 63. 空気中養生, $t=10$, 貫通せず



第 64. $\alpha=60^\circ$, $a=12.7$, $p=5.5$



第 65. $\alpha=45^\circ$, $a=12.1$, $p=4.5$

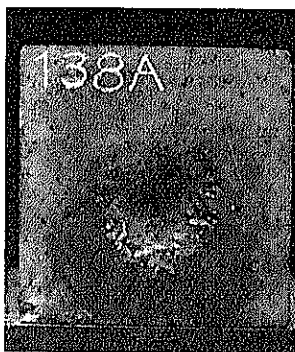


第 66. 薬量 15g, $a=11.1$, $p=4.5$

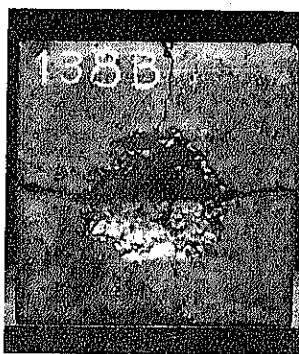


67—69. 1 : 3 : 6, $w/c=0.90$, ベロセメント

第 67. $t=15$, $a=13.5$, $p=5.8$



第 68. $t=10$, $a=14.5$, 貫通



第 69. No. 138 B の裏面破壊状況

