

論 說 報 告

第 21 卷 第 6 號 昭和 10 年 6 月

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

會 員 工 學 博 士 福 田 武 雄*

On the Breakage of Cement Mortar due to the Impact of Rifle Bullets

By Takeo Fukuda, Dr. Eng., Member.

内 容 梗 概

本文は、純セメント及びモルタルに小銃弾が命中したとき、その衝撃に依つて如何なる破壊が起るかを實驗した結果の報告であつて、侵徹の深さ、表裏面の破壊状況と其の原因、純セメント又はモルタルの品質の影響等に就て記述したものである。

1. 緒 言

コンクリート又はセメントモルタルに、砲弾又は銃弾が命中したとき、これに依つてどんな破壊が起るだらうか、或は、コンクリート又はセメントモルタルの品質や材齡、或はそれに使つたセメントの品質等が、その破壊状況にどんな影響を及ぼすだらうかと言ふことは、コンクリートやセメントモルタルの性質を研究する上に於て、一つの興味ある問題と思はれる。

それで、このやうな問題を實驗に依つて調べて見やうと考へ、“小銃弾に對するセメントモルタル及びコンクリートの抵抗力に關する實驗的研究”なる題目の下に、日本學術振興會から補助を受けて、昨年から實驗を実施し、現在繼續中であるが、茲に報告するものは、主としてセメントモルタルの破壊状況に關するものである。

本研究に對して補助を與へられた日本學術振興會、實驗設備やその實施に當つて、色々の援助を與へられた東京帝國大學造兵學科教授山内鎮一、同助教佐々木六郎、同火藥學科助教山本祐徳の諸氏、實驗に助力せられた東京帝國大學土木工學科教室の島田勝次、稲垣正秋の兩君には、茲に深く感謝する次第である。

2. 實驗設備及び實驗方法

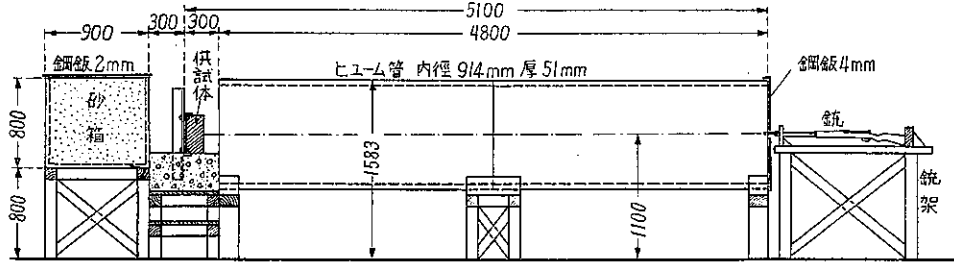
本實驗を実施するために、東京帝國大學構内の適當な地下室内に、第 1 圖のやうな設備を作つた。

銃口と供試體背面までの距離は約 5 m であつて、その間には、木製受臺の上に、内徑 914 mm、厚さ 51 mm、長さ 2.4 m のヒューム管 2 本を連置した。これは勿論、反撥彈や供試體の破片が、四方に飛散するのを防ぐためであつたが、全然之を省いて、破片が主としてどの方向に飛散するかを調べて見たら、面白かつたらうと思はれる。ヒューム管の銃口の方の端には、第 2 圖のやうに、16×60 mm の銃眼を穿つた厚さ 4 mm の鋼板を取り付けた。これも勿論、反撥彈や供試體の破片を防ぐためであつたが、實際に實驗して見ると、モルタルの場合では殆んど不要であつた。然し、コンクリートの場合では、銃弾が反撥することは稀であつたが、コンクリートの破片が猛烈な勢で飛んで來て、これが無かつたら相當に危険であつたと考へられる。コンクリートの場合では、その破片が狭い銃眼を抜けて射手の顔面に當つたことも再三あつたが、何れも大したことは無かつた。それよりも、破片が銃口の中に飛び込んで、度々銃を掃除する必要に迫られたことが厄介であつた。

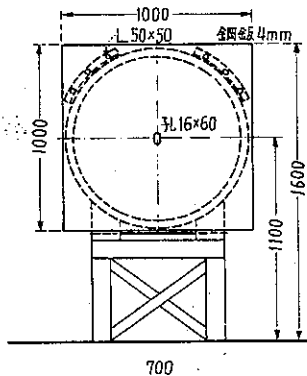
* 東京帝國大學助教

供試体を固定するために、第3圖に示すやうに、コンクリート臺の中に100mmの山形鋼2本を間隔400mmに埋込み、それを親柱として、50mmの山形鋼4本とボルトとで供試体を固定する様にしたが、實際やつて見た結果、此のやうにした結果と、單に後方の山形鋼(第3圖、a、b)に供試体をもたせかけてやつた結果と、殆んど差異が無かつたので、すべての實驗では、後者の方法に依つた。

第1圖 實驗設備略圖



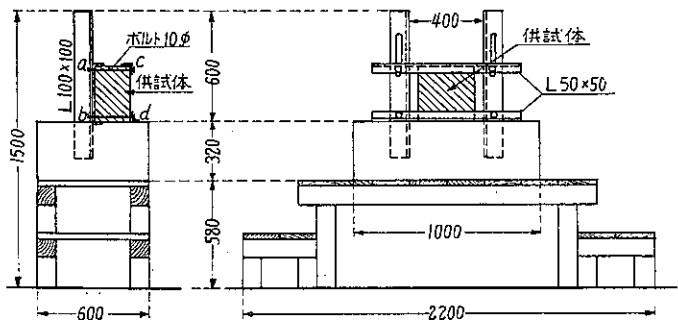
第2圖



第3圖 供試体固定装置

側面圖

正面圖



供試体の後方には、貫通した銃弾を收容するために、奥行0.9mの砂箱を設けた。砂箱は、上面が開いた木製箱で、内部には乾砂を填充した。砂箱の内面には、供試体に面した側の他は、全部厚さ2mmの鋼板を張り、更にその上部には、厚さ2mmの鋼板の蓋を置き、銃弾が砂箱から外に出るのを防いだ。

ヒューム管と砂箱との間は、上の方も側方もすつかり鋼板で覆ふやうな設備をしたが、こうすると供試体に描いた標的を照明するのが面倒であり、供試体の出入れに手数を要し、實際にやつて見た結果その必要もなかつたので、此の部分には何等の覆もせず、に實驗をした。

實驗に使用した小銃と弾は、陸軍の三八式銃と其の實包であつて、弾の諸元は次の通りである。

重量=10.56g, 長さ=32.5mm, 最大直徑=6.60mm.

最初の計畫では、銃を銃架に完全に固定して射撃を行ふ積であつたが、實際には、銃口に近い所のみを固定し、銃の後部を肩に當て、各試験毎に照準をして射撃した。このために銃弾發射の際に銃は多少後退し、従つて其の彈速が些少減する譯であるが、其の差は完全に無視し得る位に微小なものである。

銃口と供試体背面との距離は、前述のやうに約5mであるから、銃口と供試体前面までの距離は之より小さくなり、しかも供試体の厚さが異なるに従つて、それだけ變化する譯である。然し此のやうな差は殆んど影響がなく、且

つ 5 m 位の近距離であるから、銃弾が供試體に命中するときの速度は、それが銃口を離れるときの初速に等しいと考へることが出来る。

特に明記しない限り、実験はすべて普通の装薬量の 2.15 g で行つた。このときの弾速は約 753 m/秒、弾の有するエネルギーは約 30 500 kg-cm になる。

本実験では、すべて上記の近距離で実験を行つたのであるが、遠方から發射せられた場合、即ち弾速が前記のものより小さい場合を調査するために、薬量を 1.5 g に減じた実験も行つた。此の場合の弾速は約 545 m/秒であつて、そのエネルギーは約 16 000 kg-cm、即ち前の 2.15 g の場合の約半分になる。

一般の実験では、供試體の面に垂直に銃弾を命中させたのであるが、斜に命中した場合の状況を知るために、供試體を斜の位置に置いて実験をした。その角度は 30°, 45°, 60° の 3 種である。

供試體の破壊状況は、各試験毎に一々これを調査記録し、且つ後日の便宜のために、寫眞をとつた。

実験に供したモルタルの品質を知るためには、一練りのモルタルの中から、各 3 個の供試體を作り、それによつて壓縮強さと引張強さの試験を行つた。

3. 供 試 體

(1) 形状及び寸法

実験に供した供試體は、300×300 mm の正方形の面を有する直六面體で、厚さは、最初は 50, 75, 100, 150 mm の 4 種を採用する積りであつたが、二三の豫備実験後、主として 100, 150, 200 mm の 3 種を採用した。

壓縮強さ及び引張強さ試験の供試體は、すべて日本ポルトランドセメント規格の條項に準據した。

(2) 材 料

使用したセメントは、淺野ポルトランドセメント及び同ベロセメントの 2 種である。

砂は、最初のうちは江戸川砂を、後には多摩川砂を使用した。兩者とも可成り細粒の砂であつたが、多摩川砂の方が江戸川砂より比較的粒が粗かつた。江戸川砂の大部分、即ちその 99.2% は No. 8 の篩を通過した。1 m³ の重量は、江戸川砂では 1 470 kg、多摩川砂では 1 680 kg であつた。

(3) セメントモルタルの種類

主として実験に供したモルタルの配合容積比と水セメント重量比とは、第 1 表に示したものであつて、各種類につき、一練りのものから厚さの異なつたものを作つた。薬量 1.5 g の場合の実験と、斜に射撃した実験には、同表中の * 印のものを採用した。その他、純セメントに就ても二三の実験をした。

材齢はすべて 7 日と 28 日を標準としたが、その他に 3 日と 5 日に実験したものもある。

養生はすべて水槽中で水中養生にした。

(4) 製作方法

練方はすべて手練りであつて、型枠は最初のうちは木製のものを使つたが、木製型枠は狂ひ易く且つ何回も使用することが出来ないで、第 4 圖のやうな鋼板製型枠を使つた。填充は、軟練のものでは一度に流し込んだ後、細い突棒で突いただけであるが、硬練のものでは 2~3 層に分つて填充し、毎層直径約 3 cm の平底突棒で突き固めた。填充後は上面を平面に仕上げた。

第 1 表

配 合 比	水 セ メ ン ト 比		
1 : 1	0.50*		
1 : 3	0.60	0.70*	0.80
1 : 6	0.80	1.00*	1.20

壓縮強さ及び引張強さ試験の供試體は、すべて日本ポルトランドセメント規格に準據して製作した。

製作後約 24 時間の後に型枠を取外し、重量を測定した後水槽に入れて、規定の材齡まで水中養生をしたのである。

(5) 供試體個數

製作した供試體の個數は、一般の試験に對して 68、藥量 1.5g の試験に對して 28、斜に射撃する試験に對して 24、其他 18、合計 148 個である。之に對してモルタルの品質を知るための壓縮試験及び引張試験に對しては、各 132 個の供試體を製作した。

4. 單一荷重を有する半無限彈性體の應力線

コンクリートやモルタルに銃彈が命中したときの衝擊の問題、或は其の破壊狀況を理論的に解決することは、コンクリートやモルタルの力學的性質が單純でないこと、銃彈自身が變形すること、また實驗に於ては供試體が或る限られた形狀を有すること等に依つて、可成り難しい問題である。

今、問題を簡單に考へて、 E のエネルギーをもつた銃彈が命中して p だけ侵徹し、銃彈のエネルギーが此の間に於て全部均等に失はれたものと假定すると、此の間に作用した力 P は $P=E/p$ であらざることになる。此のやうな考へ方から、今茲に、半無限彈性體の表面に、單一荷重 P が作用した場合の應力狀態を考へて見る。勿論、これに依つて、本實驗の場合の破壊狀態を解決しやうと意圖するのではなく、たゞ單に、破壊狀態の解説の參考にしやうと思ふだけである。

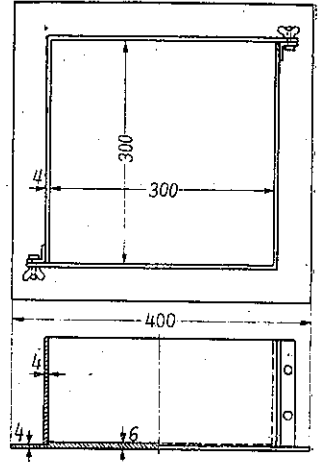
さて、前記の問題の解は、周知の如く既に J. Boussinesq によつて求められて居る。今これを第 5 圖の極座標に就て書き直すと、次のやうになる。但し m はポアソン數である。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r = \widehat{rr} &= -\frac{3P}{2\pi r^2} \left[\cos\theta + \frac{m-2}{3m} \cdot \frac{-1+2\cos\theta+2\cos^2\theta}{1+\cos\theta} \sin^2\theta \right] \\ \sigma_\theta = \widehat{\theta\theta} &= -\frac{3P}{2\pi r^2} \left[\frac{m-2}{3m} \cdot \frac{-1+2\cos\theta+2\cos^2\theta}{1+\cos\theta} \cos^2\theta \right] \\ \sigma_\varphi = \widehat{\varphi\varphi} &= -\frac{3P}{2\pi r^2} \left[\frac{m-2}{3m} \cdot \frac{1+\cos\theta+\cos^2\theta}{1+\cos\theta} \right] \\ \tau_{r\theta} = \widehat{r\theta} &= -\frac{3P}{2\pi r^2} \left[\frac{m-2}{3m} \cdot \frac{-1+2\cos\theta+2\cos^2\theta}{1+\cos\theta} \sin\theta \cos\theta \right] \\ \tau_{r\varphi} = \widehat{r\varphi} &= 0, \quad \tau_{\theta\varphi} = \widehat{\theta\varphi} = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

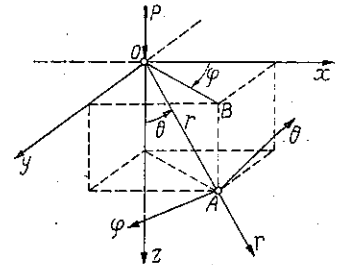
今 $\theta = \pi/2$ とすると、表面に於ける應力が得られる。即ち

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= +\frac{3p}{2\pi r^2} \cdot \frac{m-2}{3m} \\ \sigma_\varphi &= -\frac{3P}{2\pi r^2} \cdot \frac{m-2}{3m} \\ \sigma_\theta = \tau_{r\theta} = \tau_{r\varphi} = \tau_{\theta\varphi} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

第 4 圖 鋼製型枠



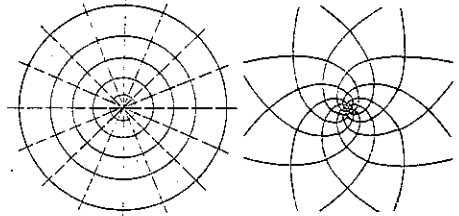
第 5 圖



になり、これから表面上の主応力線と最大剪断応力線とを求めると、第6圖のやうになる。茲に注意すべきことは σ_r が引張應力で、 σ_θ が壓縮應力であることである。即ち圓周の方向に壓縮應力が作用し、半徑の方向に引張應力が作用することになる。最大剪断應力線は、言ふまでもなく、對數渦巻曲線である。

第6圖 半無限彈性體表面の應力線

主應力線 最大剪断應力線



次に、單一荷重の作用線を含み、表面に垂直な平面に沿つての應力線を求めて見る。

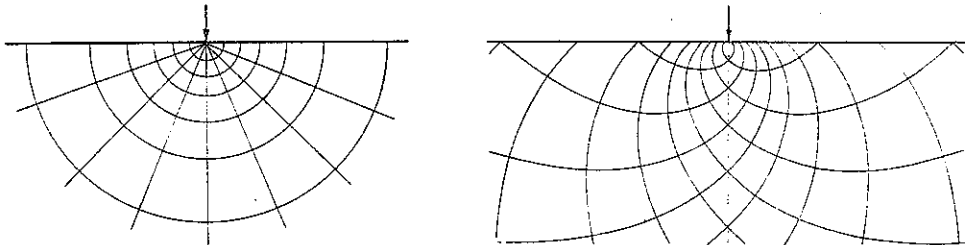
先づ $m=2$ とすると

$$\sigma_r = -\frac{3P}{2\pi r^2} \cos \theta \dots\dots\dots(3)$$

第7圖 ($m=2$)

主應力線

最大剪断應力線



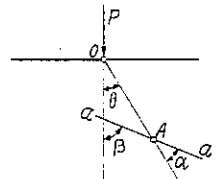
になり、他の應力はすべて零になるから、主應力線は第7圖のやうな、同心半圓と放射狀の直線になり、最大剪断應力線は、對數渦巻曲線になる。これらは、二次元の問題として、半平面の邊線上の一點に單一荷重が任意の方向に作用した場合の主應力線及び最大剪断應力線と全く一致する。

次に $m=\infty$ のときの應力線を求めるのであるが、第8圖で a-a を主應力の一つの方向とし、これと OA との角を α とすると

$$\cot 2\alpha = -\cot 2\theta - \frac{3(1 + \cos \theta)}{2 \sin \theta (1 - 2 \cos \theta - 2 \cos^2 \theta)} \dots\dots\dots(4)$$

になり、 $\beta = \theta + \alpha$ の關係から、 β は θ のみの函数になるから、等傾角線はすべて原点 O を通る直線になる。それで、先づ式(4)に依つて、等傾角線を描き、これを基として描いたものが、第9圖

第8圖



第9圖 ($m=\infty$)

主應力線

最大剪断應力線

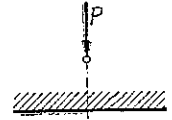


である。茲で特に注意すべきことは、 θ が約 80° のときに反曲點が生ずることである。

銃彈が供試體に侵徹して、その背面に近づいたときの、この附近の状態の考察に資するために、問題を二次元とし第 10 圖のやうに、内部に單一荷重を有する半平面を考へて見る。

第 10 圖

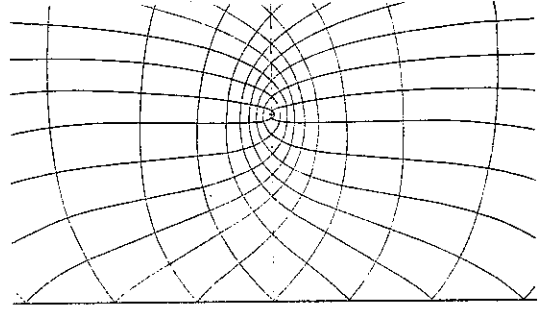
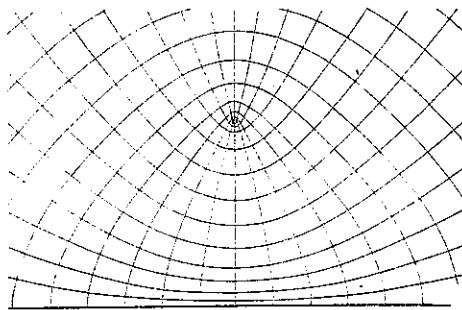
此の問題の應力の解は、既に求められて居る⁽¹⁾。然し此の解から直接に主應力線を得ることは出来ないで、先づ、適當な範圍を格子狀に區劃し、その格子の各交點に於ける應力の値を一々計算して主應力の方向を算出し、之に依つて等傾角線を描いた。次に、此の等傾角線を基準として主應力線と最大剪斷應力線とを描いたのである。即ち第 11 圖のやうな形になつた。勿論これは二次元の場合であるが、三次元の場合も、これから類推出來やうと思ふ。



第 11 圖 内部に單一荷重を有する半平面の應力線

主 應 力 線

最 大 剪 斷 應 力 線



5. 純セメント及び 1:1 モルタルの破壊状況

純セメント或は 1:1 モルタルの破壊状況を見るに、1:3 又は 1:6 モルタルのそれとは、大いに其の趣を異にする。

先づ其の表面の破壊状況を見るに、例へば第 12 圖、又は附圖寫眞第 8~24 に示す様に、可成り廣い圓形の部分が破壊せられ、それと同時に、對角線又は對邊線の方向の放射狀龜裂が生じた。

此の圓形の破壊部分を見ると、彈丸が命中した部分は著しく突出し(第 12 圖、第 13 圖、第 14 圖、第 16 圖参照)、其のまはりには深く凹み、前の第 7 圖又は第 9 圖の最大剪斷應力線に酷似た形狀を示すのが普通である。

更に、破壊部分の周邊に近い所に、第 12 圖 又は第 15 圖から明かに看取出來る様に、一つの反曲點が現れ、第 9 圖に示した $m = \infty$ の場合の最大剪斷應力線の傾向に一致する。之等の關係から推論すると、此種の表面の破壊が、剪斷即ち滑りに依つて生ずるものと説明することが出來、其の破壊面の形狀は、表面に單一荷重を有する $m = \infty$ ⁽²⁾ の半無限弾性體の滑り面と同傾向のものと考へることが出来る。

前節の彈性理論に依れば、放射線方向の應力 σ_r は、表面では一般に引張應力であるが、表面から少し入ると壓縮應力になる。 σ_r に直角の方向の、即ち圓周の方向の應力 σ_θ は、表面のみならず内部に於ても、常に壓縮應力で

(1) E. Melan, Der Spannungszustand der durch eine Einzelkraft im Innern beanspruchten Halbscheibe, ZAMM, 1932, Heft 6, (土木學會誌第 19 卷第 4 號参照)。

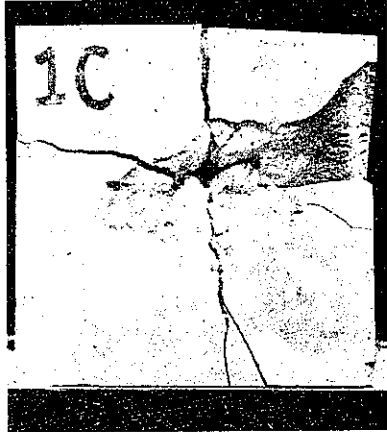
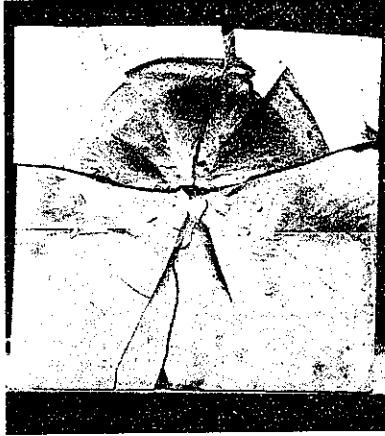
(2) 上記の反曲點は、 $m = \infty$ のときに限らず、 $m > 2$ であれば一般に現れるものであるが、モルタルのポアソン數 m が 6~20 の様な大きな數値であるので、簡單のために $m = \infty$ としたのである。

第 12 圖 純セメントの破壊状況 (貫通)

ポルトランドセメント, $w/c=0.5$, 材齡 5 日, 厚 100 mm

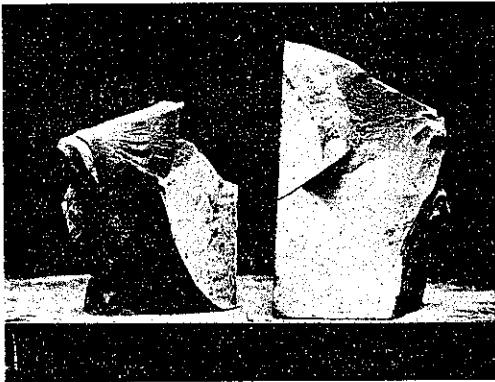
正 面

裏 面



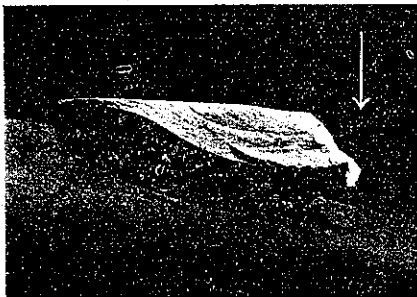
第 13 圖 (純セメント)

第 14 圖 (1:1 モルタル)



第 15 圖 (1:1 モルタル)

第 16 圖 (純セメント)



(矢印は彈丸の進行方向)

ある。若し供試體に放射狀の龜裂が生ずるものとすれば、此の龜裂は之に直角の方向の應力 σ_p 、或は之に相當する歪に依つて生ずるものであり、上記の彈性理論では σ_p は常に壓縮應力であるから、結局、壓縮に依つて龜裂が生ずる結果になる。然し、モルタルのやうに引張には甚だ弱い、壓縮には可成り強いものに、壓縮に依つて龜裂が生ずることは、一寸考へ難い問題である。

然し實際には此の放射狀龜裂が生じたのであつて、その發生に關しては、凡そ次のやうな 2 通りの説明が試みられる。その第一は、楔作用に依つて發生するものと考へるのである。即ち、前節の彈性理論では、單に表面に理論的の單一荷重が作用した場合であるが、實際には、供試體に比べては極めて小さいとは言ひ乍ら、或る有限の寸法をもつ銃彈が供試體中に侵徹するのであるから、それが楔の作用で供試體を周邊の方向に押し擴げ、これが爲に放射狀の龜裂が發生すると考へるのである。

その第二は、供試體の内部的彈性振動に依つて説明を試みるものである。即ち、最初銃彈が命中したときには、 σ_p は勿論壓縮應力であつて、これに依つて供試體は圓周の方向に衝撃的に壓縮せられる。然るに銃彈が貫通若くは靜止するや否や、それまで作用してゐた力は瞬間的に消失する。其の間、僅かに 1/1 000 秒 程度の瞬間的の出來事であつて、最初、圓周方向に衝撃的に壓縮せられた供試體は、其の壓縮の原因が突然に消失するや否や、自己の彈性に依つて急激に常態に戻らんとするとき、發條等の振動と同じ様に、常態を通り越して引張歪の状態になり、此の引張歪に依つて、引張に弱いモルタルに放射狀龜裂が生ずるのではないかと考へる。

此の二通りの考へ方のうち、何れが眞であるかは、斷定に苦しむ處であるが、恐らく前者の方ではなからうか。尙其他の考へ方もあらう。また邊緣の影響であるかも知れない。然し、此の放射狀の龜裂は、純セメント又は 1:1 モルタルの供試體には、一般に發生したものであつて、1:3 モルタルでは發生した場合少く、1:6 モルタルでは殆んど現れなかつた。これは、1:3 又は 1:6 モルタルの彈性が極めて小である關係ではないかと思はれる。

尙、鋼や軟鋼のやうな材料の表面に集中荷重を加へると、表面に第 6 圖の右の様な對數渦卷曲線の滑り面が現れるのが普通であるが、本實驗で之が明瞭に現れた例はない。然し、寫眞第 4, 33, 55, 56, 61, 62 等に見られる渦卷形龜裂は、不明瞭ではあるが、恐らく第 6 圖の對數渦卷曲線と同傾向のものと考へられる。

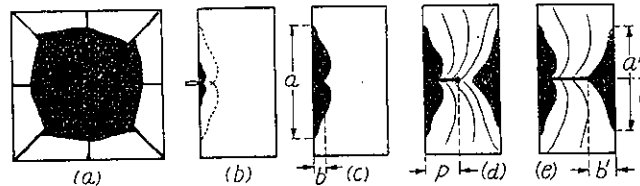
次に銃彈が供試體に侵徹する状況を考察

する。先づ銃彈が供試體表面に命中したときには、多くの寫眞に見られるやうな廣い面積の破壊は起らず、例へば寫眞第 8 又は第 66 に見られるやうに、先づ最初は第 17 圖 (b) の如く比較的小部分の破壊が起り、銃彈が更に進むに従つて、同圖 (e) のやうに破壊せられるのである (モルタルに細い鐵棒をハンマで打ち込むときにも、之と同じ過程が見られた)。

供試體に侵徹して停止した銃彈は、強大な壓力のために、寫眞第 2 のやうに變形する。このとき、銃彈停止位置と供試體背面との距離が相當に大であれば、供試體の背面には何等の異狀も認められない。侵徹が深くなつて、供試體背面に近づくに従ひ、背面に龜裂を生じ、場合に依つては、銃彈が供試體中に停止せるに拘らず、背面に第 17 圖 (d) のやうな破壊が起る (例へば寫眞第 18, 24 等)。

此の供試體背面の破壊部分の形狀は、其の傾向に於て、第 11 圖の内部に單一荷重を有する半平面の最大剪斷應力線に一致し、之から考へて、此の破壊も剪斷即ち滑りに依つて起るものと推論せられる。

第 17 圖



銃弾が貫通する場合には、銃弾が背面に近づくや否や、先づ背面が第17圖(d)のやうに破壊し去り、然る後に貫通するものである。従つて、例へば厚さ200mmのときに侵徹が60mmに拘はらず、厚さ100mmのときには之を貫通する等の例は、當然のことであつて、また相當の厚さで實驗した結果、侵徹が例へば80mmであつたから、銃弾の貫通を防ぐのに厚さ100mmで充分であると考へるのは早計に失する。此の場合には少くとも100mm位の餘裕が必要である。

第18圖は、供試體内部の龜裂狀況の一例であつて、其他寫眞第23、24、59等は、前節の最大剪断應力線と同傾向の形状を示して居る。

第2表は、1:1モルタルの材齡7日と28日に於ける實驗結果の摘要であつて、 a, b, a', b' は、夫々第17圖に示した寸法である。此の表から見ると、一般に、普通のセメントを使用したものより、ペロセメントを使用したものの方が侵徹が小であること、ペロセメントを使用した

第18圖 1:1モルタル, $w/c=0.5$,
材齡7日, 厚200mm.
(No.7E. 附圖寫眞第13, 13参照)



第2表 1:1モルタル (水セメント比0.5)

材齡	セメント	強さ(kg/cm ²)		番号	厚さ mm	侵徹 mm	表裏面破壊寸法(mm)				備考
		圧縮	引張				a	b	a'	b'	
7日	普通	371	31.5	7C	100	貫通	65	11	75	13	石破 "
				7D	150	"	?	?	?	?	
				7E	200	"	115	?	?	?	
	ペロ	457	31.4	4B	80	貫通	80	13	100	15	裏面龜裂 裏面異状なし
				4C	100	"	60	18	87	30	
				4D	150	55	?	?	—	—	
4E	200	55	?	?	—	—					
28日	普通	467	34.1	27D	150	貫通	115	?	?	?	石破
				27E	200	?	150	?	?	—	—
	ペロ	525	35.5	28D	150	60	140	?	—	—	裏面破壊
				28E	200	52	140	?	—	—	" "

とき、厚さが大體150mm以上ならば貫通はしないこと、このときの侵徹は50~60mmであること、材齡7日のものより材齡28日のものの方が、表面が大きく破壊されること等がわかる。

6. 1:3及び1:6モルタルの破壊狀況

前述の様に、1:3又は1:6モルタルの破壊狀況は、純セメント又は1:1モルタルのそれと、大いに其の趣を異にして居る。

表面の破壊部分は、勿論略々圓形である。然し其の大きさは、1:1モルタルのやうに大きくはなく、第3表及び第4表に明なやうに、大部分のものは20~40mm、大體の平均で30mm程度の直徑である。然し、強いもの程その破壊部分の直徑は一般に大きくなる。

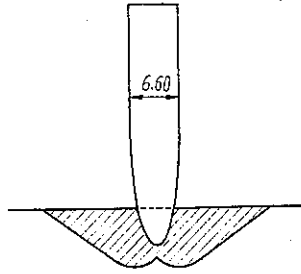
表面の破壊部分の形状は、第20圖に示すやうな圓錐形に近いものであつて、前節で指摘した特異な反曲點は明瞭でなく、寧ろ土壓論に於ける基礎地盤の支持力の問題或は可塑性論に於て、半無限體又は半平面の邊緣に、有限範圍の分布荷重が作用したときの滑り面に近いものと考へられる。

表面の破壊部分の深さ b は、一般に 6 ~ 16 mm 程度であつて、大略直径の 1/4 乃至 1/3 である。

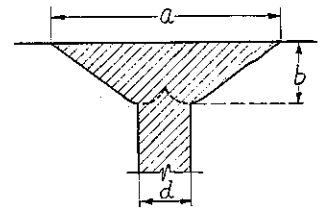
銃弾のために穿たれた孔の直径は、入口で 6.6~7.7 mm, 出口で 6.3~7.3 mm 位であつて、一般に出口の方が 0.1~0.3 mm 小になつて居る。これは、銃弾が供試體中を通過するとき、銃弾の被甲

が磨耗して、銃弾の直径が漸次細くなるためであらう。實際、供試體を碎いて弾創を見ると、被甲が磨耗附着した

第 19 圖



第 20 圖



第 3 表 1:3 モルタル

材齢	セメント	w/c	強さ(kg/cm ²)		番号	厚さ mm	侵徹 mm	表裏面破壊寸法(mm)				備考										
			圧縮	引張				a	b	a'	b'											
7日	普通	0.6	106	13.6	8C	100	貫通	30	7	45	15											
					8D	150	"	30	8	75	30											
					8E	200	150	30	8	—	—											
		0.7	124	12.1	11D	150	98	24	7	—	—	表面亀裂										
					11E	200	{120 100	{35 45	{9 11	{— —	{— —											
													12D	150	貫通	30	8	40	11			
	0.8	120	15.7	12E	200	62	43	9	—	—												
											へ口	0.6	118	15.3	5B	75	貫通	30	9	50	19	
															5C	100	"	49	15	55	17	
	5D	150	"	95	30	35	10															
	5E	200	"	33	10	40	10															
	0.7	141	18.7	9D	150	貫通	36	7	200	35												
9E				200	75	37	8	—	—													
										10D		150	{貫通 (120)	{25 (35)	{9 (8)	{48 (58)	{12 (15)	封鎖8日				
10E	200	120	30	9	—	—																
							28日	普通	0.6	160	15.6	29C	100	貫通	35	10	85	28				
29D	150	"	35	9	80	16																
29E	200	"	30	14	40	10																
0.7	174	16.7	30C	100	貫通	25			8	90	40											
			30D	150	90	28			7	—	—											
			30E	200	152	30			8	—	—											
0.8	208	24.2	31C	100	貫通	45		9	70	22												
			31D	150	86	40		7	—	—												
			31E	200	貫通	30		8	70	14												
へ口	0.6	185	17.6	32C	100	貫通		33	12	100	35											
				32D	150	91		20	7	—	—											
				32E	200	貫通		40	9	90	29											
	0.7	198	22.8	33C	100	貫通	36	13	100	35	表面破壊											
				33D	150	100	30	10	120	31												
				33E	200	79	30	10	—	—												
0.8	252	24.7	34C	100	貫通	55	10	130	35													
			34D	150	"	50	12	195	63													
			34E	200	92	33	12	—	—													

痕跡が看取せられる。また貫通弾の直径は 6.3~6.4mm であつた。

表面の放射状龜裂は、1:3 モルタルのうち強さの大なるもの他は、一般に發生しない。これと前述の表面の破壊の形状とから考へると、1:3 モルタルは兎も角 1:6 モルタルの如きものは、本實驗のやうな場合には、弾性體といふよりも寧ろ土壤又は可塑性體に類似する性情を示すものではないかと考へられる。

銃弾侵徹の状況は大體第 17 圖と同様である。侵徹が浅ければ、裏面には何等の異状もないが、侵徹が深くなるに従つて裏面に龜裂を生じ、更に深くなれば、銃弾が停止せるに拘はず裏面が大きく破壊せられる。中には、裏面の破壊部分に銃弾の尖端を見出したものもあつた。銃弾が貫通した場合には、裏面は表面よりも大きく破壊せられるのが普通である。貫通した銃弾は殆んど變形しないが、停止したものは塊狀に變形する。

第 3 表及び第 4 表は、1:3 及び 1:6 モルタルに就て行つた實驗結果の摘録である。其の結果が甚だ不揃なのは、恐らく、突き固めの差、砂中に混在して居た砂利或は其他の偶發的原因に依るものと思はれる。第 5 表は前掲の諸表から侵徹量のみを集録したものであつて、之等の結果から見ると、1:3 モルタルと 1:6 モルタルとの

第 4 表 1:6 モルタル

材齡	セメント	w/c	強さ(kg/cm ²)		番号	厚さ mm	侵徹 mm	表裏面破壊寸法(mm)				備考
			圧縮	引張				a	b	a'	b'	
7日	普通	0.8	45	4.4	20D	150	貫通	43	13	135	35	
					20E	200	"	34	8	97	35	
		1.0	32	3.8	21D	150	貫通	26	7	86	30	
					21E	200	"	25	7	96	30	
		1.2	26	3.8	22D	150	貫通	30	8	104	28	裏面破壊
					22E	200	"	30	8	76	27	
	ベロ	0.8	48	3.4	17D	150	{貫通	27	8	85	35	
					{(〃)	(28)	(7)	(43)	(14)			
		17E	200	{貫通	30	9	50	25				
			{(〃)	(28)	(8)	(88)	(40)					
		1.0	43	4.1	18D	150	{貫通	30	9	50	19	裏面龜裂
					{(〃)	(24)	(7)	(41)	(14)			
18E	200	{150	28	10	—	—						
	{(110)	(73)	(25)	—	—							
1.2	31	4.3	19D	150	{貫通	20	6	50	20	裏面龜裂		
			{(〃)	(22)	(6)	(50)	(16)					
19E	200	{135	30	8	—	—						
	{(貫通)	(26)	(17)	(59)	(20)							
28日	普通	0.8	75	9.8	35D	150	94	33	9	—	—	
					35E	200	100	30	7	—	—	
		1.0	58	8.1	36D	150	100	30	10	75	20	裏面破壊
	36E				200	94	65	15	—	—		
	1.2	66	8.5	37D	150	貫通	28	6	100	42		
				37E	200	126	28	8	—	—		
	ベロ	0.8	89	12.3	38D	150	85	75	17	—	—	
					38E	200	105	28	7	—	—	
		1.0	85	11.9	39D	150	100	26	8	80	20	裏面破壊
39E					200	130	26	7	—	—		
1.2		88	12.0	40D	150	貫通	30	8	110	30		
				40E	200	100	40	9	—	—		

括弧内の數字は材齡 8 日の實驗結果なり。材齡 28 日のものは多摩川砂を使用す。

間には、豫期した程の差はなく、大體75~150mmの侵徹であつて、1:3又は1:6モルタルで銃弾の貫通を防ぐには、厚さ200mmでは未だ絶対に充分であるとは言へない。唯、材齢28日の1:6モルタルに於ける侵徹量が他に比較して小であるのは、江戸川砂よりも比較的粗砂である多摩川砂を使用した結果であると思はれる。

7. 薬量 1.5g の場合

前述の結果はすべて薬量2.15g、弾速753m/秒に於ける実験結果であるが、遠方から發射せられた場合、即ち弾速が前記のものより小さいときの實驗として、薬量を1.50gに減じて實驗をした。此の場合の弾速は約545m/秒になる。

第5表 モルタルに於ける侵徹 (mm)

材 齢	配 合 比	水 セ メント 比	普通セメント		ベロセメント	
			圧 強 kg/cm ²	供試体の厚さ 150 200	圧 強 kg/cm ²	供試体の厚さ 150 200
7日	1:1	0.5	371	—	457	55 55
		0.6	106	— 150	118	— —
	1:3	0.7	124	98 120	141	— 75
		0.8	120	— 62	165	— 120
	1:6	0.8	45	— —	48	— —
		1.0	32	— —	43	— 150
28日	1:1	1.2	26	— 125	31	— 135
		0.5	467	— ?	525	60 52
	1:3	0.6	160	— —	185	91 —
		0.7	174	90 152	198	100 79
	1:6	0.8	208	86 —	252	— 92
		0.8	75	94 100	80	85 105
1:6	1.0	58	100 94	85	100 130	
	1.2	66	— 126	88	— 100	

備考：—は貫通を示す。

第6表 薬量1.5gの場合の實驗結果

材 齢	セメント	配合比	w/c	強さ(kg/cm ²)		番号	厚さ mm	侵 徹 mm	表裏面破壊寸法(mm)				備 考
				圧 縮	引 張				a	b	a'	b'	
7日	普通	1:1	0.5	301	22.2	45D	150	貫通	60	11	?	?	石破砕
						45E	200	70	60	15	—	—	
		1:3	0.7	106	14.1	46C	100	貫通	23	8	32	15	
						46D	150	"	30	7	58	22	
						46E	200	98	20	8	—	—	
		1:6	1.0	32	4.9	47D	150	貫通	28	10	75	54	
	47E					200	120	20	6	—	—		
	ベロ	1:1	0.5	407	33.6	48D	150	貫通	120	15	?	?	石破砕
						48E	200	29	170	20	—	—	
1:3		0.7	187	21.5	49C	100	貫通	60	12	70	15		
					49D	150	"	65	12	65	18		
1:6	1.0	48	7.3	50D	150	貫通	30	10	42	21			
				50E	200	130	30	10	—	—			
28日	普通	1:1	0.5	490	34.4	51D	150	26	85	26	—	—	石破砕
						51E	200	?	?	?	—	—	
		1:3	0.7	201	22.8	52C	100	貫通	37	10	90	28	
						52D	150	"	40	10	56	19	
						52E	200	90	32	9	—	—	
		1:6	1.0	48	9.7	53D	150	貫通	87	28	10	—	
	53E					200	貫通	20	8	35	17		
	ベロ	1:1	0.5	563	39.3	54D	150	?	?	?	—	—	破砕
						54E	200	?	200	?	—	—	
		1:3	0.7	286	29.2	55C	100	48	55	11	100	32	表面破壊
						55D	150	100	68	14	150	43	
						55E	200	60	60	10	—	—	
1:6		1.0	71	11.0	56D	150	貫通	25	9	73	25		
	56E				200	135	25	9	—	—			

其の結果は第 6 表、第 7 表及び寫眞第 55~73 に示す通りであつて、一般の破壊状況は、薬量 2.15 g の場合と同様であり、別に指摘することもない。

第 7 表 薬量 1.5 g の場合の侵徹

薬量 1.5 g のときの銃弾のエネルギーは約 16 000 kg-cm であつて、薬量 2.15 g のときのエネルギー 30 500 kg-cm の約 1/2 であるから、実験前の豫想では、侵徹が 1/2 位になるだらうと思つて居たのであるが、実際に実験した結果は、表に示した通り薬量 2.15 g のときと大した差はなかつた。恐らく何等かの偶發的理由に基因したものであらう

材 齢	配 合 比	水セメント比	普通セメント		ベロセメント	
			圧 強 kg/cm ²	供試体の厚さ 150 200	圧 強 kg/cm ²	供試体の厚さ 150 200
7 日	1:1	0.5	301	— 70	407	— 29
	1:3	0.7	106	— 98	187	— 30
	1:6	1.0	32	— 120	48	— 130
28 日	1:1	0.5	490	26 ?	563	? ?
	1:3	0.7	201	— 90	286	100 60
	1:6	1.0	48	87 —	71	— 135

備考： —印は貫通を示す。

が、中には薬量 2.15 g のときに貫通せず、1.5 g のときに却つて貫通したものもある。

前の一般実験では大して明かではなかつたが、薬量 1.5 g の実験では、壓縮強さが大きい程侵徹が浅いこと、表面の破壊部分は、壓縮強さが大きい程廣くなること、可成り明瞭にあらはれた。

8. 斜に射撃した実験結果

一般の実験では、供試體の表面に垂直に射撃したのであるが、斜に銃弾が命中した場合の状況を知るために、供試體を射撃方向に斜に置いて実験をした。その角度は 30°, 45°, 60° の 3 種である。此の実験に供したモルタルは、1:1 ($w/c=0.5$) と 1:3 ($w/c=0.7$) の 2 種類、セメントは普通のものと同様にベロセメントとを使用し、材齢は 7 日と 28 日、火薬量は 2.15 g である。

此の場合の破壊状況は、寫眞第 74~103 に示す通りであつて、垂直に射撃した場合と根本的に相違する點はない。然しこれと多少相違する點、或は特に指摘を要することは次の諸項である。

- (1) 1:1 モルタルで、撃角 30° のときには、銃弾は例外なく横に反撥し、反撥弾は寫眞第 3 のやうに彎曲する。撃角 45° のときには、材齢 7 日のものでは、銃弾は横に反撥し、材齢 28 日のものでは、反撥せず供試體内部に侵徹した。
- (2) 1:1 モルタルで撃角 60° の場合には、銃弾は一般に反撥しない。侵徹の深さは 30~50 mm である。但し普通セメントを使用し、材齢 7 日のものでは、厚さ 200 mm を貫通した。
- (3) 1:3 モルタルでは、銃弾は一般に反撥せず、侵徹又は貫通する。
- (4) 材齢 7 日の 1:3 モルタルで、普通セメントを使用したものでは、60° (厚さ 200 mm)、45° (厚さ 200 mm)、30° (厚さ 150 mm) すべて貫通した。同じくベロセメントを使用したものでは 90~105 mm の侵徹であつた。
- (5) 銃弾が供試體に侵徹停止し、或は之を貫通したときに穿つた弾創は、例へば寫眞第 75 に示すやうに、略々一直線であつて、その方向は射撃方向に略々一致する。
- (6) 45° 又は 30° で射撃したときの表面の破壊部分の形状は、一般に扇形に近いものになる。

9. 要 結

上述の諸種の實驗結果から歸納される主な事項を列挙すると次のやうになる。

- (1) 表面の破壊は、剪斷即ち滑りに依つて破壊するものであつて、その形状は、純セメント又は 1:1 モルタルに於ては、表面に單一荷重を有する半無限弾性體の滑り面と同様であり、1:3 又は 1:6 モルタルに於ては、寧ろ土壓論又は可塑性論に於ける滑り面に類似する。

(2) 表面の破壊部分の平均直径は、純セメント又は 1:1 モルタルに於ては 60~150 mm, 1:3 又は 1:6 モルタルでは 20~40 mm の程度であつて、一般に、強さの大なるもの程、大きく破壊される。

(3) 侵徹の深さは、壓縮強さの小さいもの程大きい。1:1 モルタルでは、例外のものを除き、50~60 mm の侵徹であり、1:3 又は 1:6 モルタルでは大體 75~150 mm である。

(4) 侵徹が深くなれば、貫通せずとも裏面が大きく破壊される。貫通するときは、勿論裏面が破壊される。

(5) 裏面の破壊も主として剪断即ち滑りに依る破壊であつて、其の形状は内部に單一荷重を有する半無限體の滑り面に類似し、大きさは、一般に表面の破壊部分より大きい。

(6) 薬量 1.5 g で實驗した結果は、薬量 2.15 g の場合の實驗結果と大した差はなかつた。但し、表面の破壊部分及び侵徹が一般に小なることは認められた。

(7) 斜に射撃した場合、1:1 モルタルで撃角 30° のときには銃弾は横方向に反撥するが、撃角 60° の場合には反撥せずに侵徹する。1:3 モルタルでは、一般に反撥することなく、銃弾命中の方向に侵徹又は貫通する。

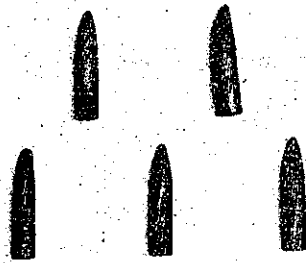
尙、本報告の他に、コンクリートに就ての實驗、材齡 7 日以前のモルタル及びコンクリートに就ての實驗、及び其他二三の事項に就ての實驗を目下繼續中であつて、之等の結果は、後日報告するつもりである。

附圖寫眞

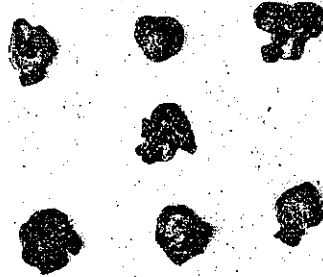
- | | | |
|----|------------------------------------|------------------------------|
| 凡例 | w/c = 水セメント重量比 | p = 侵徹量 (mm) |
| | K_c = 壓縮強さ (kg/cm ²) | α = 表面破壊部分の平均直径 (mm) |
| | K_t = 引張強さ (kg/cm ²) | b = 同上の深さ (mm) |
| | α = 撃角 | α' = 裏面破壊部分の平均直径 (mm) |
| | t = 厚さ (mm) | b' = 同上の深さ (mm) |

1-3. 銃 弾

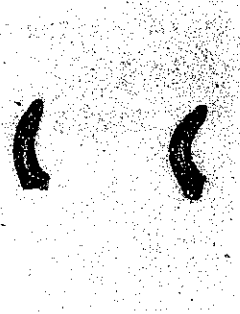
第 1. 貫通弾



第 2. 變形停止せるもの

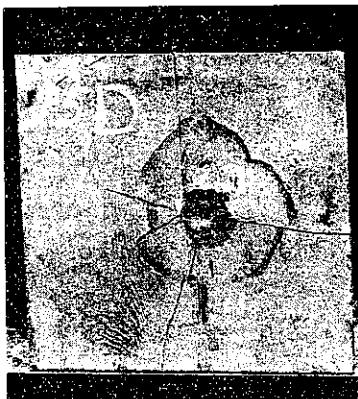


第 3. 彎曲反撥せるもの



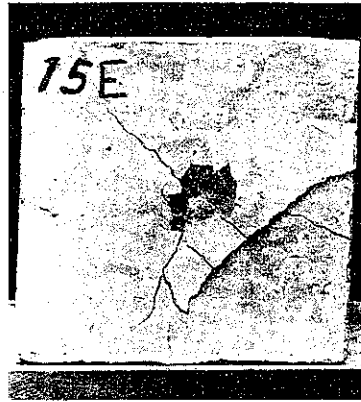
4-7. 1:1 モルタル, 材齡 3 日, 普通セメント ($w/c=0.5, K_c=206, K_t=20.1$)

第 4. $t=150$, 貫通, $\alpha=55, b=11$



第 5. 裏面, $\alpha'=70, b'=13$

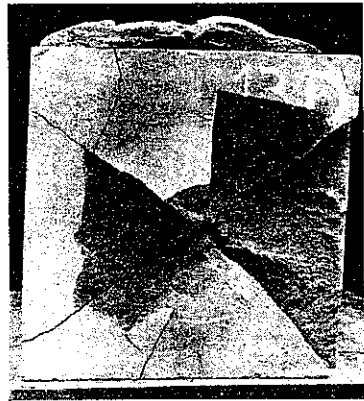


第 6. $t=200$, 貫通, $a=60$, $b=8$ 第 7. 裏面, $a'=55$, $b'=9$ 

8-11. 1:1 モルタル, 材齡 3 日, ペロセメント ($w/c=0.5$, $K_c=353$, $K=23.1$)

第 8. $t=150$, 貫通せず, $p=70$ 

第 9. 前面の破片を取除きたるもの

第 10. $t=200$, 破碎貫通

第 11. No. 13E の弾創



12-14. 1:1 モルタル, 材齢 7 日 ($w/c=0.5$)

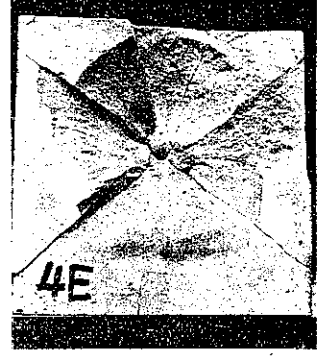
第 12. 普通セメント, $t=200$
破砕貫通, $K_c=371, K_t=31.5$



第 13. No. 7E の裏面



第 14. ペロセメント, $t=200$
 $p=55$, 裏面異状なし



15-18. 1:1 モルタル, 材齢 23 日, 普通セメント ($w/c=0.5, K_c=467, K_t=36.1$)

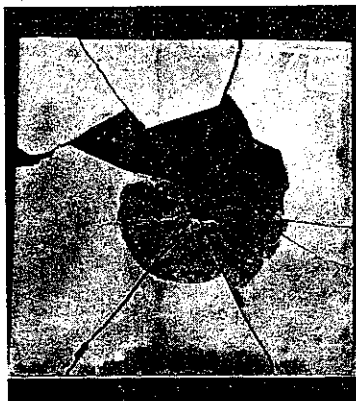
第 15. $t=150$, 破砕貫通



第 16. 裏 面



第 17. $t=200$, 貫通せず



第 18. 裏 面

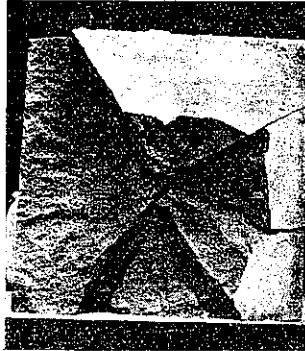


19—24. 1:1 モルタル, 材齢 28 日, ベロセメント ($w/c=0.5, K_c=525, K_t=35.5$)

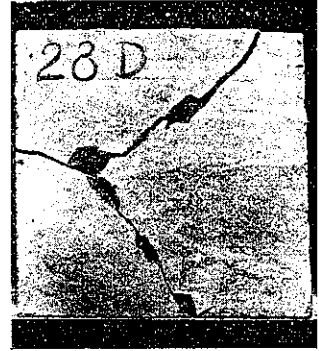
第 19. $t=150$, 貫通せず, $p=60$



第 20. 前面の破片を取除く



第 21. 裏面



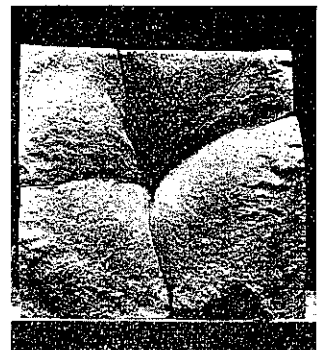
第 22. $t=200$, 貫通せず, $p=53$.



第 23. 裏面

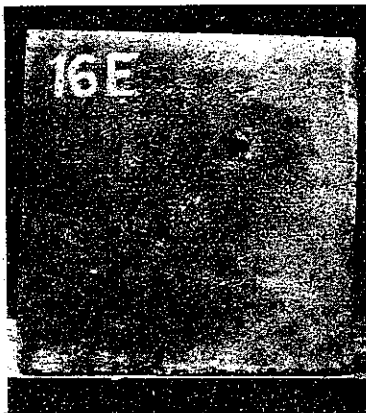


第 24. 裏面の破片を取除く



25—26. 1:3 モルタル, 材齢 3 日, 普通セメント ($w/c=0.7, K_c=66, K_t=11.1$)

第 25. $t=200$, 貫通, 正面

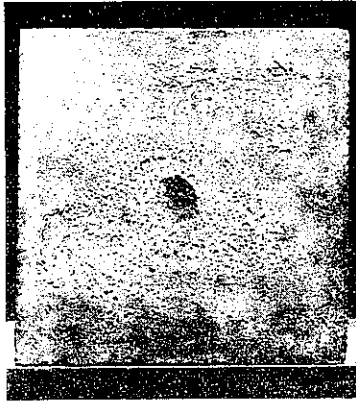


第 26. 裏面



27—28. 1:3 モルタル, 材齡3日, ペロセメント ($w/c=0.7, K_c=101, K_t=14.3$)

第 27. $t=200$, 貫通, $a=30, b=7$



第 28. 裏面, $a'=98, b'=45$



29—31. 1:3 モルタル, 材齡7日, 普通セメント

第 29. $w/c=0.6, K_c=106, K_t=13.6$

$t=150$, 貫通, $a=30, b=8$



第 30. 裏面, $a'=75, b'=30$



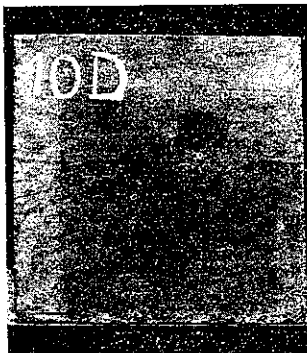
第 31. $w/c=0.8, K_c=130, K_t=15.7$

$t=200, p=62, a=43, b=9$



32—34. 1:3 モルタル, 材齡7日, ペロセメント ($w/c=0.8, K_c=165, K_t=20.6$)

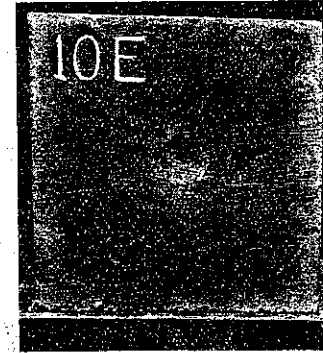
第 32. $t=150$, 貫通



第 33. 裏面

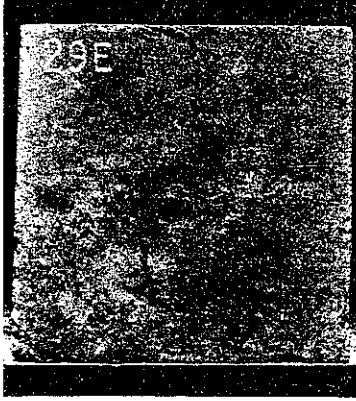


第 34. $t=200$, 貫通せず, $p=120$

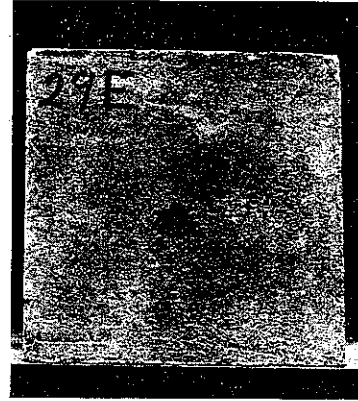


35-38. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, 普通セメント

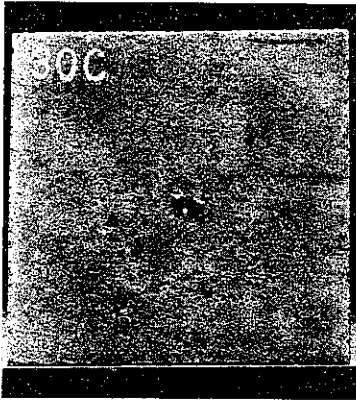
第 35. $w/c=0.6$, $K_c=160$, $K_t=15.6$
 $t=200$, 貫通, $a=30$, $b=14$



第 36. 裏面, $a'=40$, $b'=10$



第 37. $w/c=0.7$, $K_c=174$, $K_t=16.7$
 $t=100$, 貫通, $a=25$, $b=8$

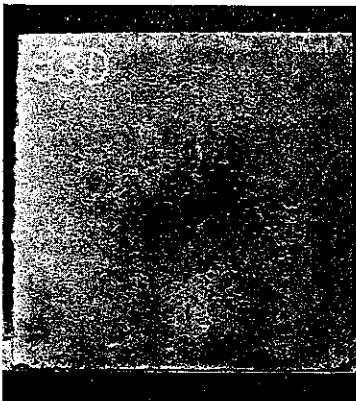


第 38. 裏面, $a'=90$, $b'=40$



39-42. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, ペロセメント

第 39. $w/c=0.7$, $K_c=198$, $K_t=22.8$
 $t=150$, $p=100$



第 40. 裏面, 貫通せざるも裏面破壊す
 中央に弾の尖端見ゆ



第 41. $w/c=0.8$, $K_c=252$, $K_t=24.7$
 $t=150$, 貫通 $a=50$, $b=12$



第 42. 裏面, $a'=195$, $b'=63$

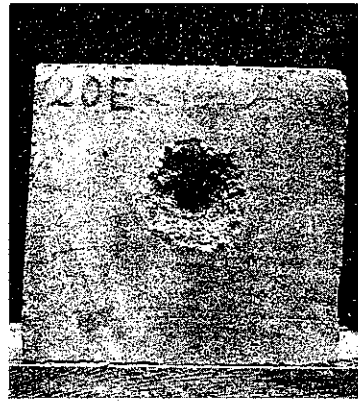


43-46. 1:6 モルタル, 材齢 7 日, 普通セメント

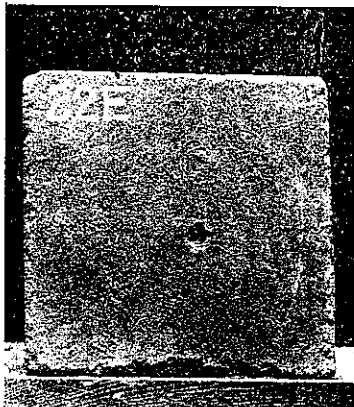
第 43. $w/c=0.8$, $K_c=45$, $K_t=4.4$
 $t=200$, 貫通, $a=34$, $b=8$



第 44. 裏面, $a'=97$, $b'=35$



第 45. $w/c=1.2$, $K_c=26$, $K_t=3.8$
 $t=200$, $p=125$, 貫通せず

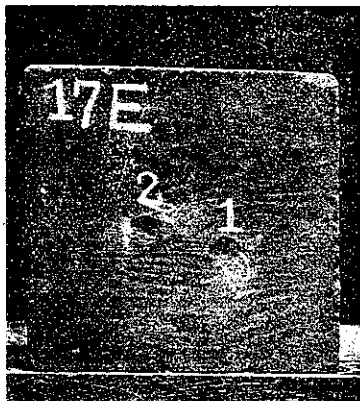


第 46. 裏面, 貫通せざるも裏面破壊す
 $a'=76$, $b'=27$

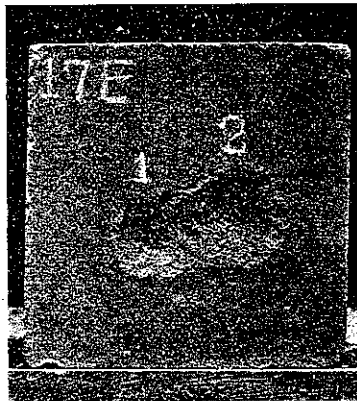


47-50. 1:6 モルタル, 材齡 7 日, ペロセメント

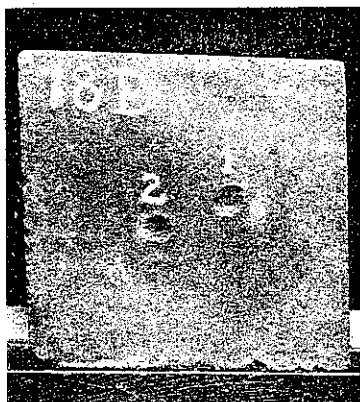
第 47. $w/c=0.8$, $K_c=48$, $K_t=3.4$
 $t=200$, 貫通



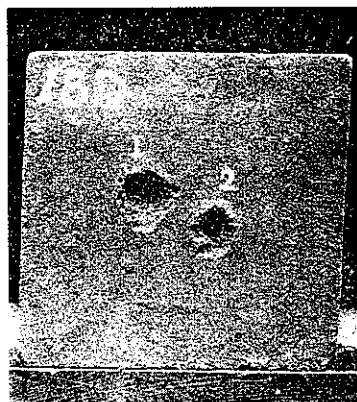
第 48. 裏 面



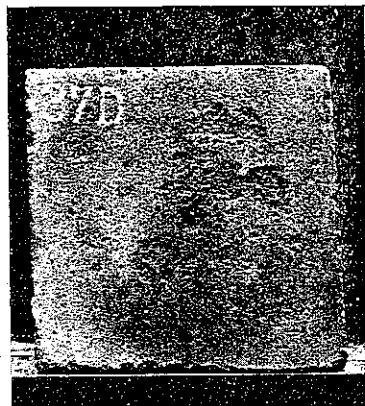
第 49. $w/c=1.0$, $K_c=43$, $K_t=4.1$
 $t=150$, 貫通



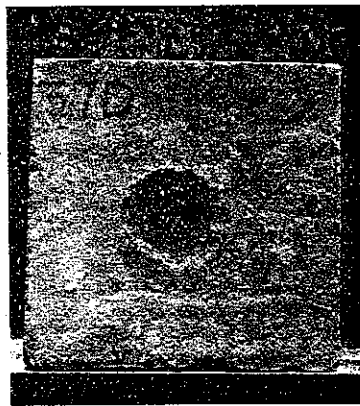
第 50. 裏 面

51-52. 1:6 モルタル, 材齡 28 日, 普通セメント ($w/c=1.2$, $K_c=66$, $K_t=8.5$, $t=150$)

第 51. 貫通, $a=28$, $b=6$



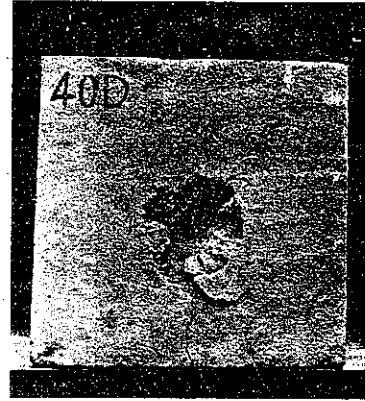
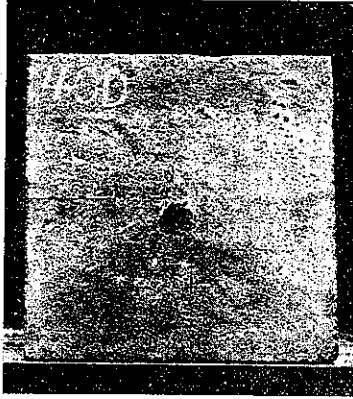
第 52. 裏面, $a'=100$, $b'=42$



53—54. 1:6 モルタル, 材齡 28 日, ペロセメント ($w/c=1.2, K_c=88, K_t=12.0, t=150$)

第 53. 貫通, $a=30, b=8$

第 54. 裏面, $a'=110, b'=30$

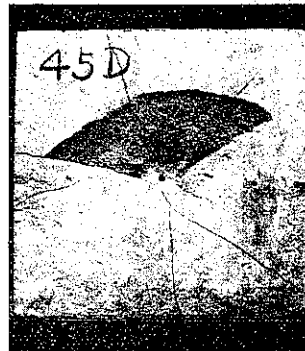
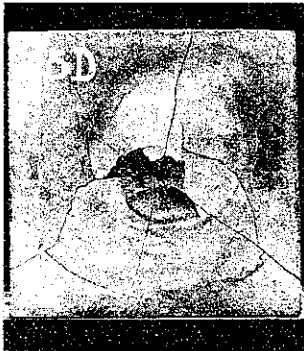


55—57. 1:1 モルタル, 材齡 7 日, 普通セメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.5, K_c=301, K_t=29.2$)

第 55. $t=150$, 貫通

第 56. 裏面

第 57. $t=200$, 貫通せず, $p=70$

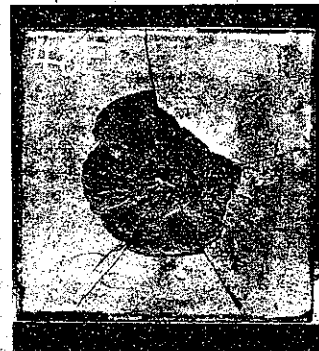
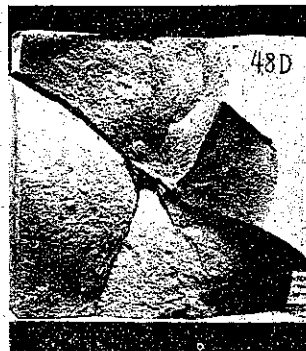
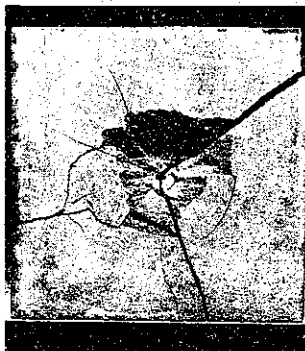


58—60. 1:1 モルタル, 材齡 7 日, ペロセメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.5, K_c=407, K_t=33.6$)

第 58. $t=150$, 貫通

第 59. 裏面

第 60. $t=200$, 貫通せず, $p=29$



61—63. 1:1 モルタル, 材齡 28 日, 普通セメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.5, K_c=490, K_i=34.4$)

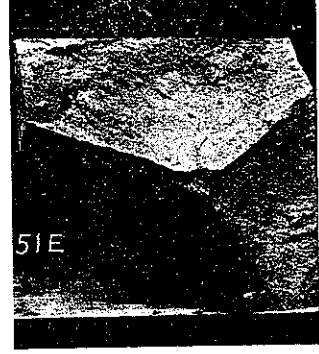
第 61. $t=150$, 反撥す, $p=26$



第 62. $t=200$, 貫通せず



第 63. 前面の破片を取除きたるもの, 中央に銃弾の後部見ゆ

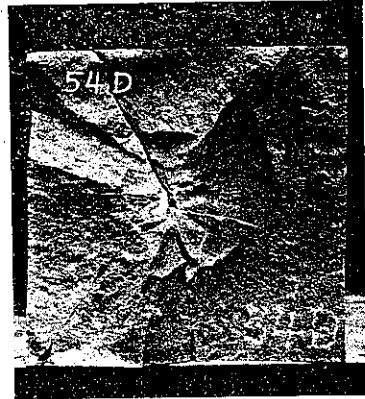


64—67. 1:1 モルタル, 材齡 28 日, ベロセメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.5, K_c=563, K_i=39.3$)

第 64. $t=150$, 貫通せず



第 65. 前面の破片を取除きたるもの



第 66. $t=200$, 貫通せず

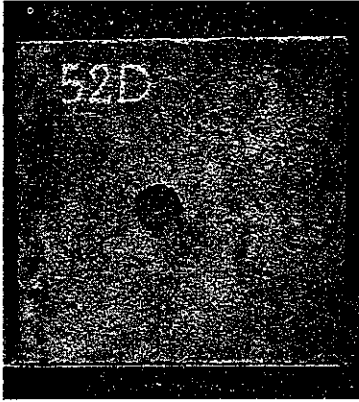


第 67. 前面の破片を取除きたるもの, 中央に銃弾の後部見ゆ

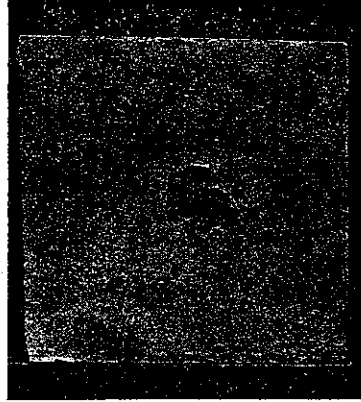


68—69. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, 普通セメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.7, K_c=201, K_t=22.8$)

第 68. $t=150$, 貫通

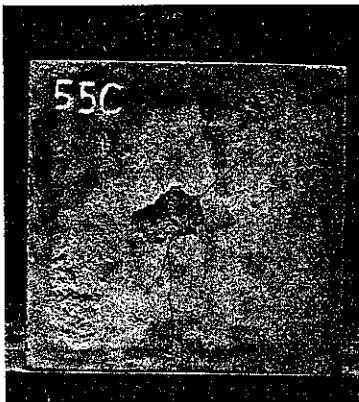


第 69. 裏 面

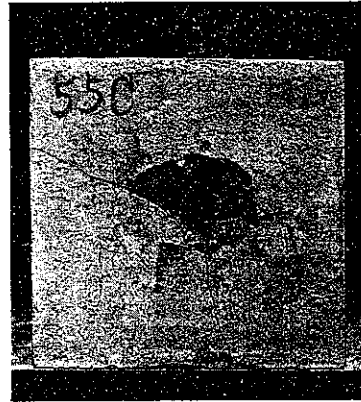


70—73. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, ベロセメント, 薬量 1.5g ($w/c=0.7, K_c=286, K_t=29.2$)

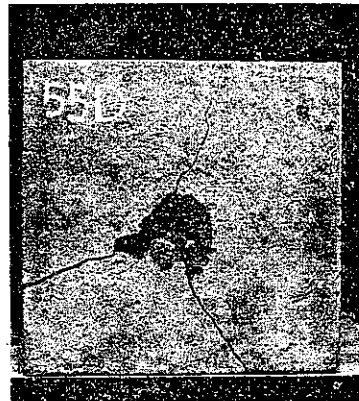
第 70. $t=100, p=48$



第 71. 貫通せざるも裏面破壊す



第 72. $t=150, p=100$



第 73. 貫通せざるも裏面破壊す, 中央に銃弾の尖端見ゆ

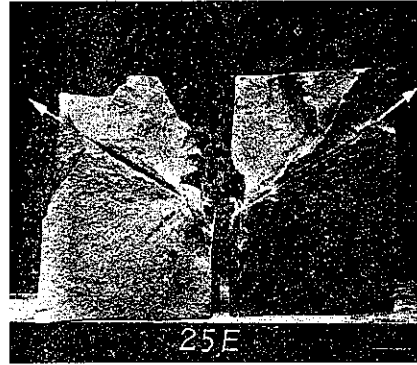


74—77. 1:1 モルタル, 材齡 7 日, 普通セメント, 斜射撃 ($w/c=0.5$)

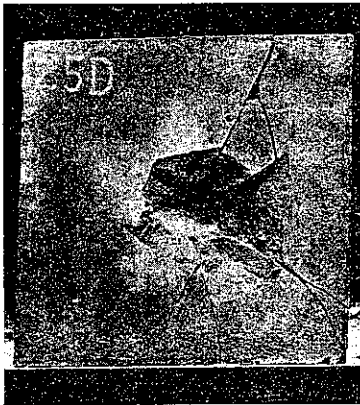
第 74. $\alpha=60^\circ$, 破碎貫通, $t=200$



第 75. 弾削, 略々一直線なり



第 76. $\alpha=45^\circ$ 反撥



第 77. $\alpha=30^\circ$ 反撥

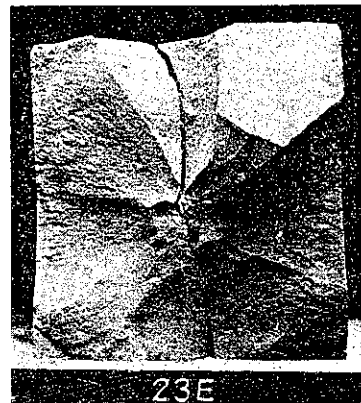


78—81. 1:1 モルタル, 材齡 7 日, ベロセメント, 斜射撃 ($w/c=0.5$)

第 78. $\alpha=60^\circ$, 銃彈停止す



第 79. 中央に銃彈あり

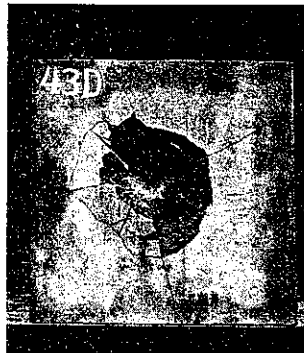
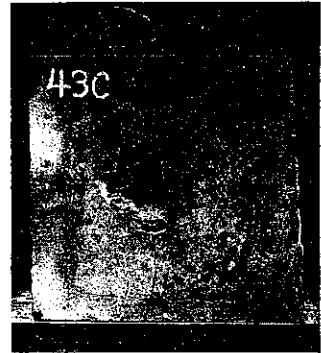


第 80. $\alpha=45^\circ$ 反撥第 81. $\alpha=30^\circ$ 反撥82—85. 1:1 モルタル, 材齢 28 日, 普通セメント, 斜射撃 ($w/c=0.5$)第 82. $\alpha=60^\circ$ 中央に銃弾あり

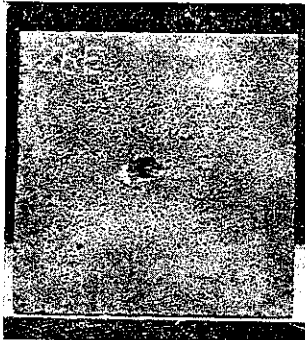
第 83. 破片を取除く

第 84. $\alpha=45^\circ$ 第 85. $\alpha=30^\circ$ 反撥

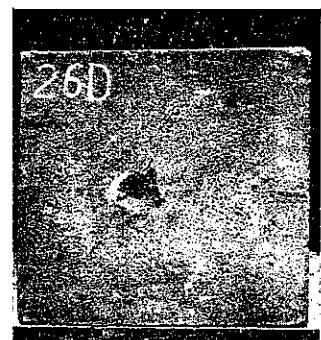
86—88. 1:1 モルタル, 材齡 28 日, ペロセメント, 斜射撃

第 86. $\alpha=60^\circ$ 第 87. $\alpha=45^\circ$ 第 88. $\alpha=30^\circ$ 反撥

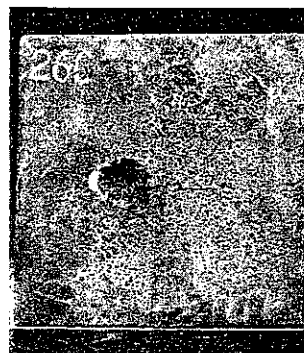
89—94. 1:3 モルタル, 材齡 7 日, 普通セメント, 斜射撃

第 89. $\alpha=60^\circ, t=200$, 貫通

第 90. 裏 面

第 91. $\alpha=45^\circ, t=200$, 貫通

第 92. 裏 面

第 93. $\alpha=30^\circ, t=150$, 貫通

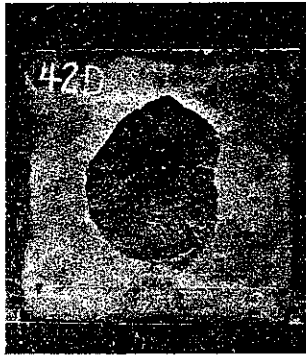
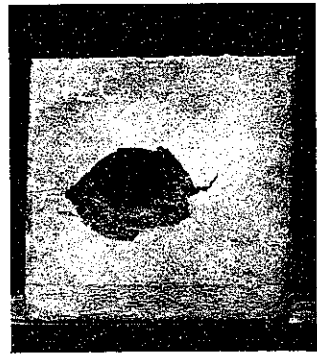
第 94. 側 面



95—97. 1:3 モルタル, 材齡 7 日. ペロセメント, 斜射撃

第 95. $\alpha=60^\circ, p=95$ 第 96. $\alpha=45^\circ, p=105$ 第 97. $\alpha=30^\circ, p=90$ 

98—100. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, 普通セメント, 斜射撃

第 98. $\alpha=60^\circ$ 第 99. $\alpha=45^\circ$ 第 100. $\alpha=30^\circ$ 

101—103. 1:3 モルタル, 材齡 28 日, ペロセメント, 斜射撃

第 101. $\alpha=60^\circ$ 第 102. $\alpha=45^\circ$ 第 103. $\alpha=30^\circ$ 