

(4) 波動的 干涉의 利用

振動波形的 2개의 波動的 山과 골짜기를 겹치면 振幅은 매우 작아진다. 그래서 保安物件의 位置에서의 發破振動的 超越週期の 1/2의 時間差로 斷發發破를 行하면 振動的 振幅을 低減할 수 있다.

一般的인 段發雷管은 遲延秒時의 程度가 나쁘므로 從來는 波動的 干涉에 의한 振動輕減을 할 수 없었다.

그러나 最近 遲延秒時 程度가 極히 높은 IC雷

管이 開發되었으므로 이 方法의 檢討가 活潑히 行해지게 되었다.

(5) 飛散物 防止 材料

建物解體나 保安物件과의 아주 가까운 곳의 發破에서는 飛散物에 의한 災害防止가 重要課題이다.

一般的으로는 發破 pattern의 研究와 飛散防止用 Blasting mat, Blasting net 등으로 防護措置를 行하고 있다.

發破解體技術의 基礎

通商産業省 工業技術院
資源環境技術綜合研究所
安全工學部 破壞工學研究室
工博 勝山 邦久 室長

1. 序 言

近年 都市部에서의 再開發에 따라 高度經濟 成長期에 建立된 建築物의 解體處分이 重要하게 되어 있다. 從來의 解體重機를 使用하는 解體工法에서는 解體重機의 繼續使用에 따른 振動·騒音 等の 公害問題의 發生, 解體工期의 長期化, 解體重機에 隨伴하는 事故의 發生等의 問題가 指摘되고 있다. 이것에 대해 發破解體는 工期의 短縮化, 解體重機에 의한 公害問題의 解決 等の 利點이 많다. 그러나 都市部에서 爆藥類를 使用하기 때문에 周邊環境의 影響을 充分히 考慮한 制御發破法이 必要하다. 또한 取扱을 잘못하지 않으면 爆藥自體는 매우 安全하고 값이 싸다. 이 때문에 爆藥類의 有效利用이 檢討되고 있고 發破에 의한 解體實驗이 實施되고 있다.

今回에는 都市部에서 爆藥을 使用하기 위하여 飛石, 振動, 騒音을 減少시키고 더구나 破壞는 希望하는대로 破壞시키는 精密한 발파기를 開發하고 精密雷管과 雷管內部的 電橋線의 爆發現象이나 殉爆狀態, 철골을 切斷하는 成形爆藥의 爆轟狀態 等の 高速度 Camera에 의한 寫眞이나 아직 充分히 解決되어 있지 않은 爆破의 動的 現象의 하나인 Hopkinson 효과를 들고 이것에 의한 破壞現象을 實驗的, 理論的으로 檢討한 結果를 表示한다.

2. 精密기폭기

試作한 精密기폭기는 制御部·出力部·電源部로 되어 있고 出力部에는 獨立된 5 Channel의 기폭회로가 있고 制御部에서의 기폭신호로 기폭한다. 制御部에서 각각의 回路를 1μs에서

10S까지 1us의 정도로 任意로 기폭시간을 設定할 수 있다. 精密기폭기의 仕様을 아래에 表示한다.

- (1) 回路數 : 5 Channel
- (2) 제어정도 : 1us
- (3) 制御時間 : 1us~10s
- (4) 充電電壓 : 2,500V
- (5) Condenser容量 : 4 uf /channel
- (6) 出力部 出力負荷 : $1 \pm 0.5 \Omega$
- (7) 出力電源 : 1KA 이상
- (8) 負荷 cable : RG5A /U30m
- (9) 기폭入力 : (a) 插 switch
(b) pulse입력(高速度 Camera)

線爆 電氣雷管은 雷管內部에 있는 電橋線을 高電力으로 爆發시켜 起爆藥을 기폭시키는 雷管이다. 實驗에서 使用한 精密雷管은 線爆發 電氣雷管의 一種으로 精密기폭기로 電橋線을 爆發시켜 雷管에 첨장된 Penthrite 0.7g(8호 雷管에 相當)을 爆發시킨다. 精密雷管의 개략도를 그림-1에 表示한다.

3. 實驗

3-1. 精密雷管의 기폭制御實驗

精密기폭기의 精度를 檢討하는 實驗에서는 精密기폭기의 2 channel를 使用하여 2個의 精密雷管을 設定한 時間差로 기폭하고 그 기폭상황을 高速度 camera와 video로 觀測하였다. 이들의 觀測結果로부터 精密기폭기의 기폭정도를 檢討하였다. 高速度 Camera의 撮影에서는 Camera에서 發信되는 撮影開始信號를 정밀기폭기의 制御部로의 Pulse信號로 하여 入力하여 撮影을 行하였다.

高速度 camera는 CORDIN사제의 超高速度 camera로서 frame속도 5×10^5 (駒間隔 2us)로 撮影하였다. 高速度 video HSV-1000으로서 1,000駒 /秒(駒間隔 1ms)로 撮影하였다.

Flash使用狀態에서의 觀測結果에서 A雷管의 電橋線 附近에서 管體의 膨脹이 始作되고 4us에서 雷管底部에 管體의 膨脹이 전과한다.

時間의 經過에 따라 雷管의 破片과 裝藥의 爆轟面이 크게 膨脹된다. 精密雷管의 관체저부에서 發生하는 Neumannjet를 精密雷管의 기폭후 6us에 觀測하였다. 또한 A雷管의 기폭후 10us에 B雷管의 기폭이 始作되고 A雷管과 똑같이 B雷管의 電橋線 附近의 管體에서 膨脹이 始作되고 爆發하는 것을 確認하였다. 또한 爆轟波面이 衝突하는 部分에서 發光現象을 기폭후 32us에 觀測하였다. 精密雷管의 爆轟現象의 觀測結果에서 기폭이 1us의 精度로 制御되어 있는 것을 確認하였다.

그림-2(① A雷管의 기폭, ② A雷管의 기폭후 10us, B雷管의 기폭)에 雷管爆發의 高速度 camera에 의한 觀測結果를 表示한다.

기폭遲延時間을 5ms로 設定한 實驗에서는 精密雷管의 기폭과 Neumann jet를 觀測하였다. 또한 5ms의 時間差로 기폭되고 있는 것을 確認하였다.

3-2. 雷管의 殉爆實驗

그림-3은 雷管을 11個 나란히 놓고 中央의 雷管에만 通電, 爆轟시키고 其他의 雷管은 殉爆에 의해 爆轟하는 樣相을 表示한 것이다. 雷管의 間隔은 左側이 2cm, 右側은 3cm이고, 間隔이 2cm인 쪽은 5개 모두 完爆되었으나 間隔이 3cm인 쪽인 2個만 爆轟되고 다른것은 不爆이었다.

3-3. 成型爆藥에 의한 철판의 切斷

그림-4는 成型爆藥과 切斷된 두께 2cm의 철판의 寫眞이다. 그림-5는 成型爆藥의 爆轟의 開始와 jet가 되어나오고 있는 때의 高速度 寫眞이다.

3-4. Hopkinson效果에 의한 飛石實驗

그림-6은 光彈性裝置와 高速度 camera를 使用하여 應力波의 전과상태를 觀測하는 實驗의 概念圖이다. 우선 光源에서의 빛은 Lens에 의해 集光되고 조르개를 통한 後 直경 30cm의 Lens로 平行光線으로 하고 偏光子, 實驗槽, 다

시 偏光자를 통해 Lens로 集光한 像을 高速度 camera로 撮影하였다. 使用한 光彈性裝置는 理研計器(株) 製 PA-300形이다.

그림-7은 實驗槽內에 設置한 試驗片과 火藥類의 位置關係를 表示한 것으로서 (a)가 點火玉을 接着한 狀態의 그림이고 이 경우에는 應力波의 전파만으로 Hopkinson效果에 의한 破壞는 생기지 않는 實驗이다. (b)는 試驗片을 鐵製의 雷管 holder에 接着시키고 精密雷管의 爆轟에 의해 생기는 壓縮應力波를 安全하게 glass板에 投射하는 方法을 表示한 것이다. 이 精密雷管은 日本火藥製로서 銅管體 속은 電橋線과 0.7gr의 penthrite만이고 lus의 精度로 기폭할 수 있는 것이다.(實驗值에서는 0.1us의 精度가 있다.)

試驗片은 길이 20cm, 높이 3cm, 두께 6mm의 Pyrex glass板이고 縱波速度는 5500m/s, 橫波速度는 3400m/s, 密度는 2.17gr/cm³, 壓裂引張強度는 300kg/cm²이다.

그림-8은 試驗片의 自由端에 Laser光을 照射하여 自由端의 變位速度를 計測하는 方法과 高速 Video camera에 의해 破片의 飛翔狀態를 撮影하는 狀態를 表示한 概念圖이다. 使用한 Laser速度計는 Polytec社製 Laser Doppler 振動計 OFV-300型으로 振幅感度는 200Hz로 1mm以下, 速度range는 10⁶~12m/s 加速度로서는 0~0⁵G의 것을 計測할 수 있고 應答速度는 170ns이다.

그림-9는 그림-7(b)에 表示한 바와 같이 精密雷管을 雷管 holder속에서 爆轟시켜 雷管으로 부터의 gas는 試驗片에 到達하지 않고 충격만이 전파하여 가도록 하여 行한 實驗의 結果를 表示한 것이다. 時間과 함께 應力波가 전파되고 있는 部分이 희게되고 起爆後 約 40us에 右端面에 달하고 45us에서는 反射引張波에 의한 自由端에 平行인 龜裂이 右端面으로부터 5.5mm인 곳과 27mm인 곳에 생겨져 있는 것이 明白하다. 또한 5.5mm인 곳의 龜裂은 試驗片의 上下의 端面에서 發生하고 27mm인 곳의 龜裂은 試驗片의 中央部에서 發生하고 있는 것으

로 推測된다.

그림-10은 그림-8에 表示한 바와 같이 試驗片의 右自由端에 Laser光을 照射하고 端面의 變位速度를 計測한 結果의 一例이다. 縱軸이 變位速度이고 橫軸이 時間이다. 時間0은 計測器의 토리가가 걸린 時間으로 그다지 意味는 없다. 應力波의 到達에 의해 變位速度는 最大 2m/s가 되고 이 直後 試驗片은 破壞되어 날기 始作한다. 破壞直後의 破片의 速度는 9.1m/s, 2ms後에는 8.5m/s의 速度로 飛翔하는 것을 알 수 있다.

그림-11은 同時에 高速度 Video camera로 撮影한 結果를 表示한 것으로 (a)는 기폭·破壞된 瞬間을 表示한 그림으로 (b)는 이것으로부터 20ms後의 結果이다. 先端의 破片은 ↑로 表示한 位置까지 날고 있다. (a), (b)에서 얻어진 破片의 飛翔速度는 8.7m/s였다. Laser에 의해 얻어진 값과 잘 一致하고 있다는 것을 알 수 있다.

4. 理論

今回 使用한 解析方法은 Lagrange座標系로 表示된 運動方程式을 差分近似를 使用하여 풀고 波動에 의한 動的應力을 解析하는 方法으로서 이 概念을 그림-12에 表示한다. 어떤 時間(t=t₀)에 試驗片內에 存在하고 있는 應力의 場에 Lagrange座標系로 表示된 運動方程式을 適用하고 差分近似를 使用하여 t=t₀時間에 對應하는 試驗片內의 各점(Lagrange座標의 절점)에 있어서의 變位加速度를 產出하고 이것을 Δt인 微小한 時間間隔으로 2回 積分하는 것에 의해 t=t₀+Δt에 있어서 各 절점의 變位를 구하고 잇달아서 Lagrange座標로 둘러싸여 있는 要素內의 變形을 이것을 둘러싸고 있는 8개의 절점의 變位로 부터 求하고 이 變形에 試驗片의 狀態方程式을 適用하여 t=t₀+Δt 時間에 對應한 試驗片內의 應力狀態를 算出한다고 하는 것과 같이 그림-1,2에 表示한 loop를 試驗片內의 各점에 대하여 Δt인 時間間隔으로 回轉시

킴에 의해 應力波의 전파에 따른 動的應力를 算出한다고 하는 方法이다.

그림-13 (a)는 model의 左斷面에 加한 壓力의 時間的 變化狀態를 表示한 것으로 다음 式으로 表示된다.

$$P = P_0(e^{-150000t} - e^{-800000t}) \quad (1)$$

또한 壓力은 端面에 均等히 加한 것이 아니고 橫波가 發生되기 쉽도록 그림-13(b)에 表示한 바와 같은 壓力分布이다.

그림-14는 右端面의 反射引張應力에 의한 破壞現象을 考慮하여 計算한 結果中 變位를 擴大하여 表示한 것이다.

但 $t=45\mu s$ 이하의 그림은 破壞에 隨伴하여 變位가 커져 보기싫게 되기 때문에 擴大하지 않았다. 그림에서 많은 格子는 Lagrange座標로 表示한 것으로서 3次元의 座標(x, y, z)는 그림에 表示한 바와 같고, 길이 方向이 x, 높이 方向이 y, 두께 方向(紙面에 垂直)이 z이다. 試驗片을 一邊이 2mm의 立方體로 分割하였다. 그 數는 길이 方向이 100, 높이 方向이 15, 두께 方向이 3個이다.

破壞現象을 計算으로 짜서 맞추는 方法은 引張應力의 값이 設定한 값에 달했을때에 그 立方體는 引張破壞를 일으키고 그 立方體가 消滅한 것으로 取扱하였다. 破壞後의 破壞面에서의 波의 反射나 破片이 날아가는 모양을 Simulate함에는 좋은 方法이라고 생각되므로 今回는 이 方法을 使用하였다. 但 今回의 主趣旨에 의해 爆源 근방의 破壞는 考慮하지 않기로 하였다.

그림-14에서 明白한 것과 같이 變位에서도 壓縮되어 새까맣게 보이는 縱波의 部分과 이것에 계속되어 높이 方向으로 膨脹하거나 收縮하거나 하여 전파하고 있는 橫波의 部分의 觀察된다.

$t=45\mu s$ 에서 破壞가 생겨 있고 더구나 右端面으로부터 7mesh의 눈은 높이 方向의 端面으로부터, 또한 12~16mesh정도의 位置에서는 立方體는 試驗片의 中央부터 破壞되어 있다.

이것은 그림-9에 표시한 實驗結果와 이미 잘 一致되고 있다.

그림-15는 右端面의 中央部의 x方向의 變位速度의 計算結果이고 그림-15(a)는 試驗片이 파괴되지 않는다고 假定하여 行한 경우이고 (b)는 그림-14에 表示한 破壞를 한 경우이다. 破壞되지 않을 경우에는 應力波의 到達과 함께 變位速度가 커져서 應力波의 反射가 끝나면 變位速度는 0m/s의 값 근방에서 작은 振動을 반복하고 있다. 이 反射波가 다시 左端面에서 反射하여 右端面으로 되돌아 오면 變位速度는 다시 커지는 것은 알수 있다.

다음에 破壞될 경우의 (b)를 보면 應力波의 到達과 함께 變位速度가 커져서 10m/s를 넘는 값을 나타내고 그후 일단 變位速度가 적어지나 破壞가 발생하고 이 影響이 右端面에 나타나면 變位速度는 0m/s로 되지 않고 9m/s정도의 값에서 振動을 反復하는 것을 알수 있다. 이것을 시간으로 積分하여 變位로 고치면 破片이 x방향으로 날아가는 것이 된다. 이 그림과 그림-10의 Laser광에 의한 測定結果를 比較하면, 詳細한 部分을 除外하면 이미 잘 一致되고 있는 것을 알수 있다.

計算에 사용한 Work station은 HP 9000-730이고, 1cycle計算하는데 要한 時間은 0.72s였다. 따라서 1立方體當 83us의 計算時間을 要한 것이 된다.

5. 結言

飛石을 없애고, 振動, 騒音を 억제하며 더구나 效率좋은 最適 發破를 檢討하기 위하여 雷管의 旗幅을 精밀하게 제어하는 精密制御發破法을 개발하여 발파체에 應用하기로 하였다. 今회는 그 基礎의 연구로서 精密雷管의 爆發現狀, 殉爆, 成形爆藥의 爆轟狀態와 切斷을 高速度 camera와 video로 觀測함과 함께 아직 充分히 해결되어 있지 않은 爆破의 動的인 現狀의 하나인 Hopkinson效果를 採擇하여 이것에 의한 破壞現狀을 實驗的, 理論的으로 檢

討하였다.

謝辭

아래의 분들이 實驗에 함께 하였다.

謝意를 表한다.

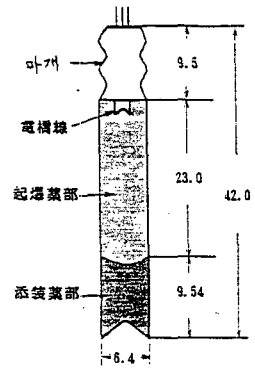
日本 火藥(株) 橋爪清

가꼬(株) 前田正尙, 武石文楊

橫濱國立大學 昔哲基, 中鳴敏秀

資源環境技術綜合研究所 緒方雄二,

和田有司



림-1 精密雷管의 概略圖

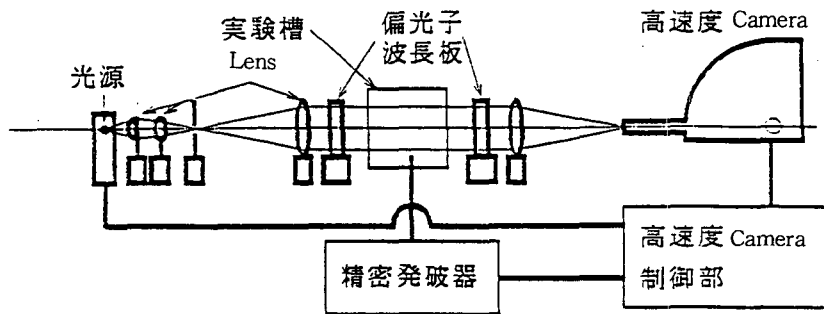


그림-6 動的的光彈性攝影裝置概念圖

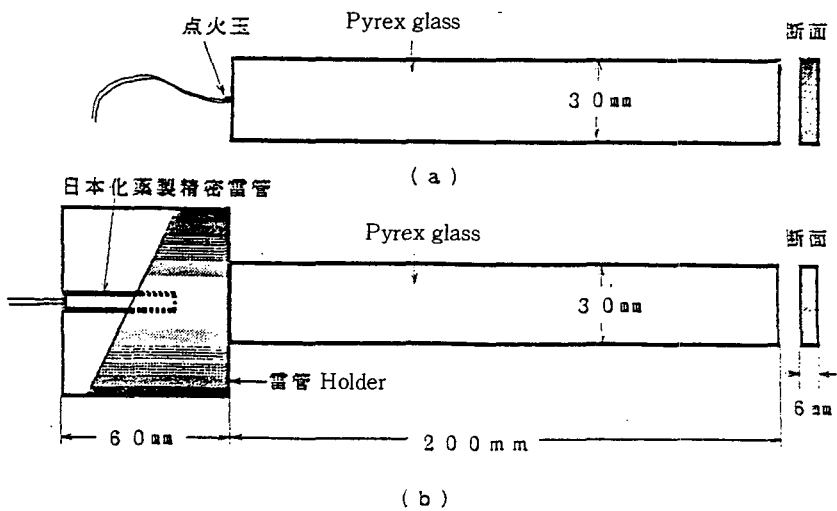


그림-7 試驗片치수와 雷管等の 設置方法

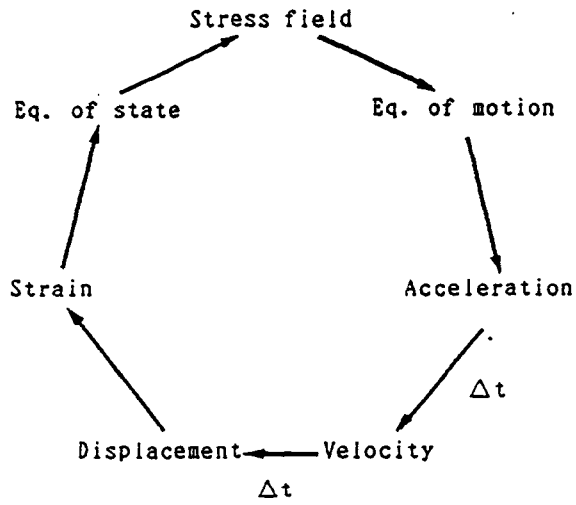
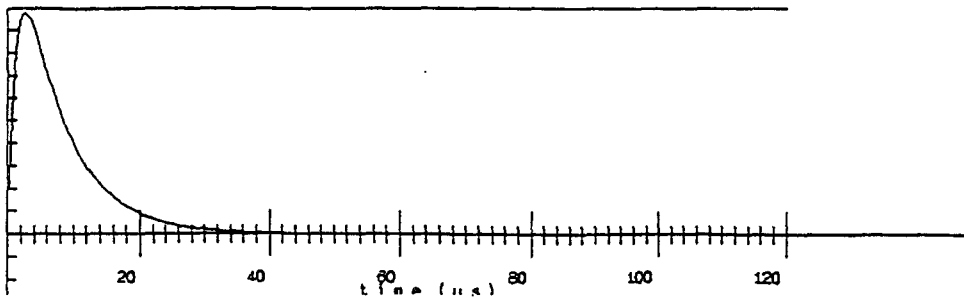
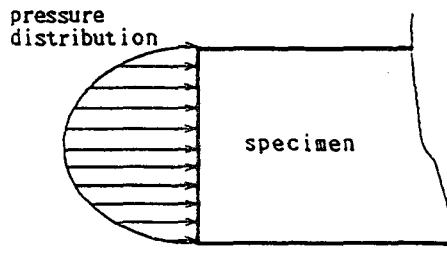


그림-12 Feedback loop for stress analysis



(a) pressure-time curve



(b) the distribution of pressure on the edge of the specimen

그림-13 The pressure forms on the edge of the specimen of the numerical model

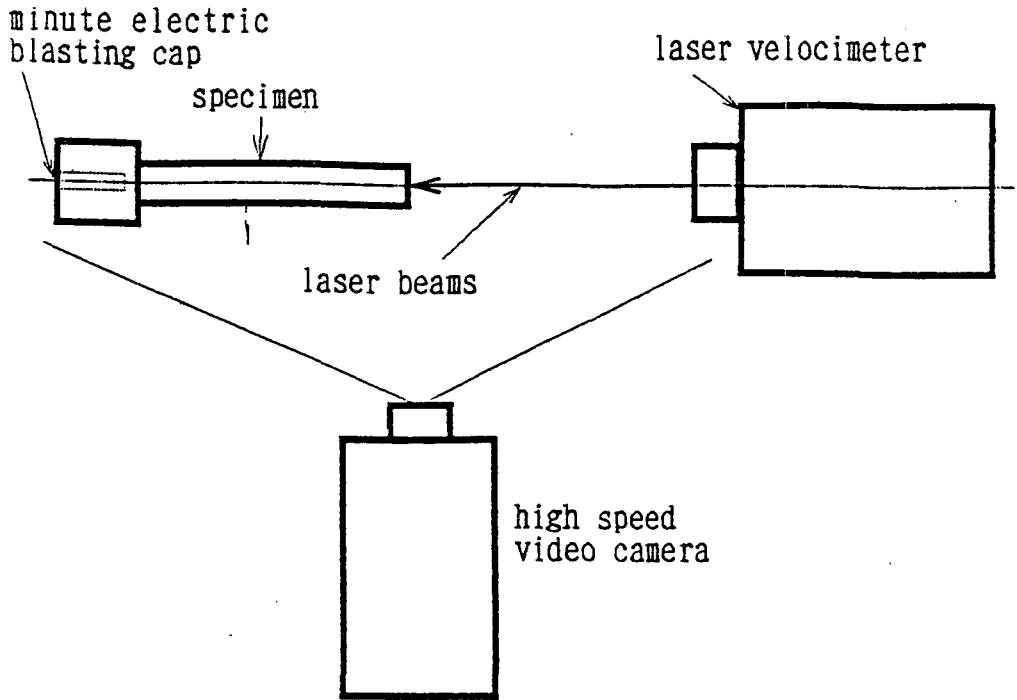


그림-8 Lens에 의한 飛石의 飛翔速度計測

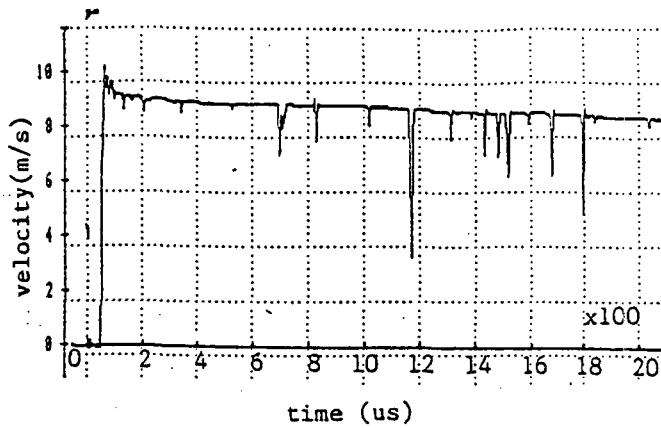


그림-10 Displacement velocity of the specimen measured with the laser velocimeter