

常用非破壞檢測方法-敲擊回音法(時域)

混凝土表面裂縫之深度檢測

前言

- 大部份之公共工程乃採用鋼筋混凝土材料所建造而成。鋼筋混凝土結構物遭受外力及地震力作用或因鋼筋腐蝕導致裂縫之發生。
- 裂縫型態：(1)內部裂縫；(2)表面裂縫
- 土木工程非破壞檢測技術以利用應力波與電磁波原理所研發而成者最為普遍。由於二者採用原理之差異造成各自在檢測上應用之優缺點，以混凝土之裂縫檢測而言，則以應力波原理開發之檢測技術較為適用，主要是因為應力波在混凝土與裂縫介面間將產生幾乎100%之反射行為，且在裂縫尖端也有明顯之繞射現象，故利用應力波來檢測裂縫可以在精確度與靈敏度上得到相當好之結果。

- 超音波法：在混凝土材料上之應用並不理想，主要缺點為壓電材料變形所產生之波源，能量不足。
- 敲擊回音法：以敲擊方式導入應力波，增強其傳動能力；接收器採用點接觸，混凝土表面不須處理。

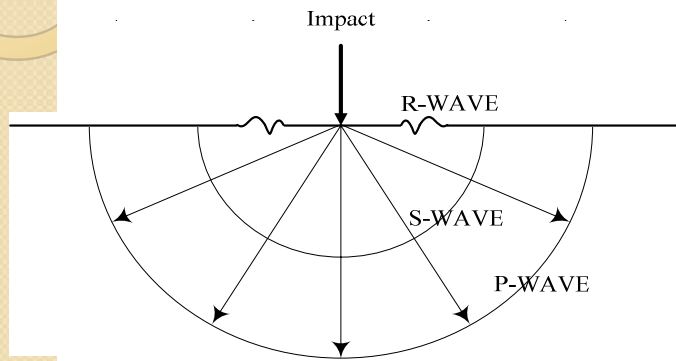
波傳基本理論

■波可分為兩大類：一類是機械波，另一類是電磁波。機械波由機械震動系統產生；如水波、聲波、超音波等。電磁波是由電磁震盪系統產生的；如無線聲波、紅外線、可見光、紫外線、雷達波。

■波傳播有一定速度，並伴隨著能量的傳遞在不均勻的介質均會產生反射、折射及繞射現象；兩個波相遇會產生干涉現象。

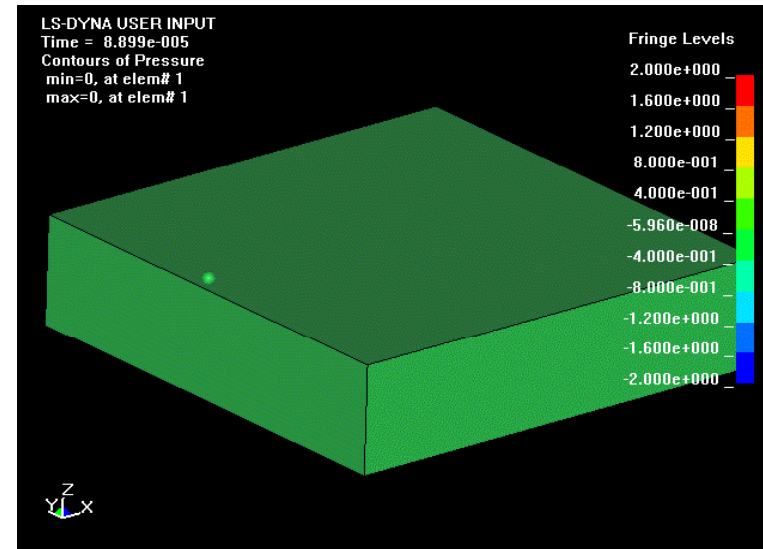
應力波動基本行為

The Impact-Echo Method



Stress wave propagation

當物體表面受到機械性外力敲擊時，將產生暫態應力波動並導入物體內部，此應力波動可分為縱波 (P-wave)、橫波 (S-wave)及表面波 (R-wave)



波傳遞速度快慢：縱波速度 C_p >橫波 C_s >表面波 C_R 。

若波是在一彈性、均質、且為半無限之固體中傳遞，則上述三種波可分別以下列三個公式求得：

$$C_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$C_s = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$

$$C_R = \frac{(0.87+1.12\nu) \cdot C_s}{(1+\nu)}$$

式中

E ：彈性模數

ν ：柏松比

ρ ：密度

不同材料超音波通過時之波長與波速

項目 材料	彈性模量(10^9N/m^2)		泊松 比 ν	密度 ρ (g/cm^3)	聲 速 (m/s)			特性阻抗
	E	G			V_P	V_S	V_R	
鋼	210	81	0.29	7.8	5940	5420	3220	470
銅	124	46	0.34	8.9	4560	3900	2250	445
鋁	70	26	0.34	2.7	6320	5410	3100	170
玻璃	70	28	0.25	2.5	5800	5460	3350	129
橡膠	0.002	0.0007	0.50	0.93	1040	53	27	9.7
有機玻璃	5.5	2.0	0.364	1.18	2640		1300	31
環氧樹脂	3.8			1.16				
鉛鈦酸鉛	84		0.33	7.5			3375	
陶瓷	59	24	0.23	2.4	5300	5077	3100	130
混凝土	44	18	0.20	2.4	4500	4368	2756	108
石灰石	72	28	0.31	2.7	6130	5452	5200	166
淡水(20°C)				0.998	1481			14.8
海水								
空氣(20°C)				1.026	1500			15.4
				0.0012	343			0.004

應力波之反射與折射

入射角與折射角的關係依循
Snell's law :

$$\frac{\sin \theta}{C_1} = \frac{\sin \phi}{C_2}$$

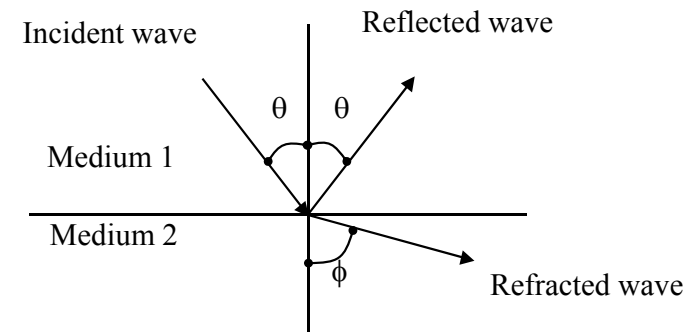
其中

θ 、 ϕ = 入射角以及折射角

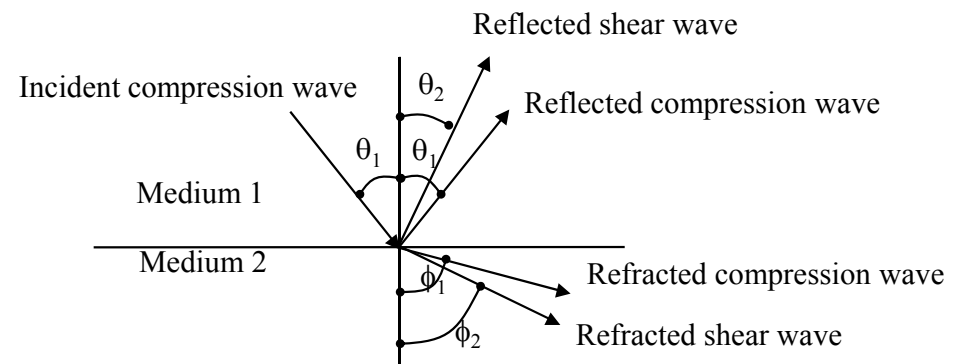
C_1 、 C_2 = 介質1、2的波傳速度

當折射角 ϕ 等於 90° 時，稱為全
反射，此時入射角

$\theta = \sin^{-1}(C_1 / C_2)$ 。

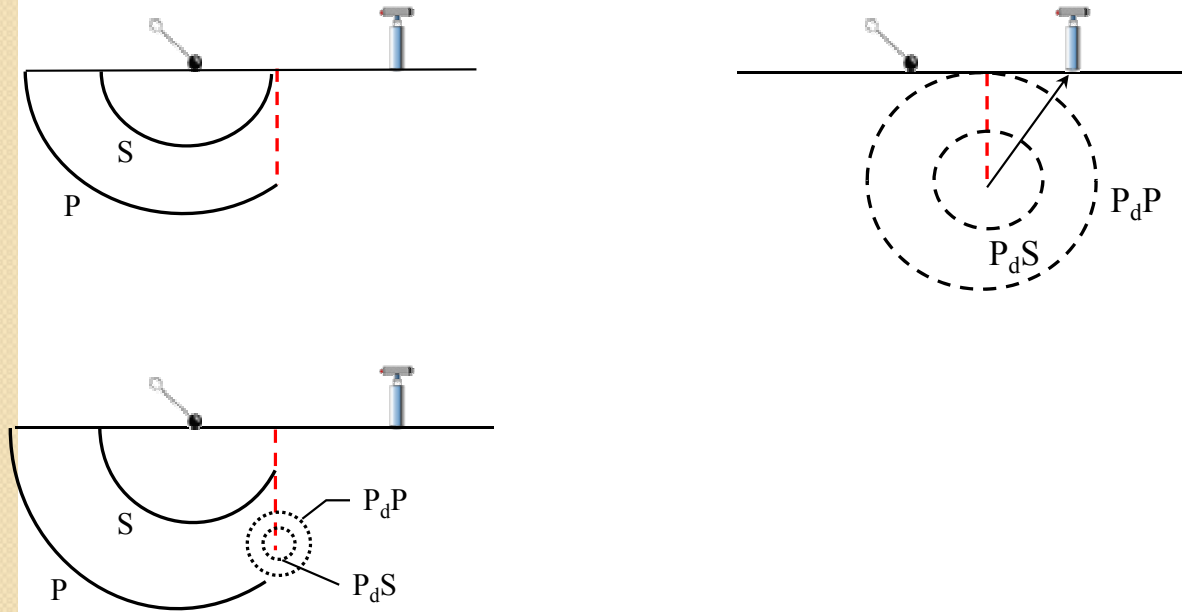


光波折反射行為



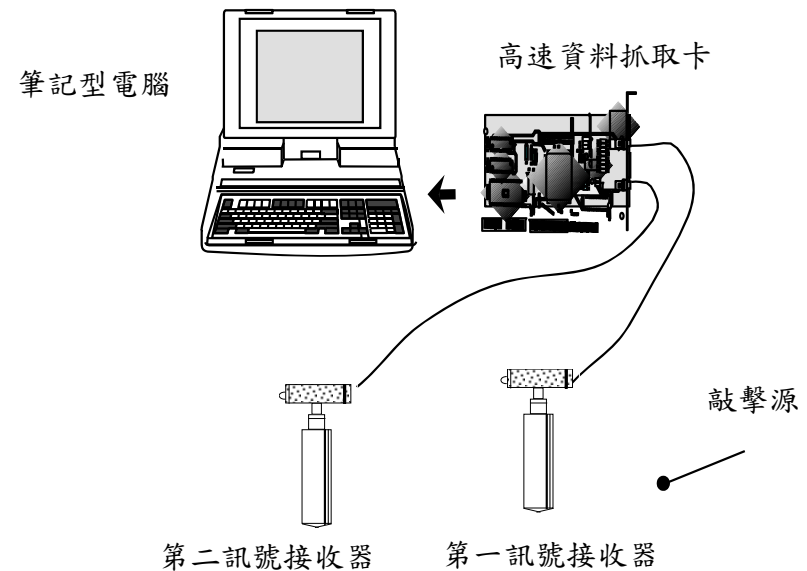
應力波折反射行為

表面裂縫之檢測原理



儀器設備

敲擊源：若檢測混凝土構件之尺寸小於一公尺，則小直徑(4~12mm)的鋼珠即可為一個很好的敲擊源，其所造成的接觸時間約介於 20 至 80×10^{-6} 秒(20 至 $80 \mu\text{s}$)。試驗的接觸時間可以大約由記錄到之波形中量測因表面波經過所造成的向下位移歷經時間而估得。對於巨積混凝土之裂縫檢測，鋼珠尺寸則須適度加大，除了可增加敲擊能量外，亦可使所導入之應力波具有頻率較低(波長較長)之特性，以增加應力波之傳動能力。



接收器：目前敲擊回音法所採用的接收器為一種寬頻的位移接收器，其與物體表面的接觸物為一種很小成倒錐體形之壓電材料，介於壓電材料及混凝土表面間使用一小片的不鏽鋼片來完成接收器之電路並可使接收器與粗糙的混土表面緊密壓合，因此無須使用耦合液或對表面作特別磨平處理。

高速資料抓取卡(A/D卡)：將接收到之連續類比(Analog)訊號轉換成不連續之數位(Digital)訊號。

筆記型電腦：可透過軟體抓取A/D卡轉換完成之數位訊號，進行訊號處理、分析或儲存於硬碟中。



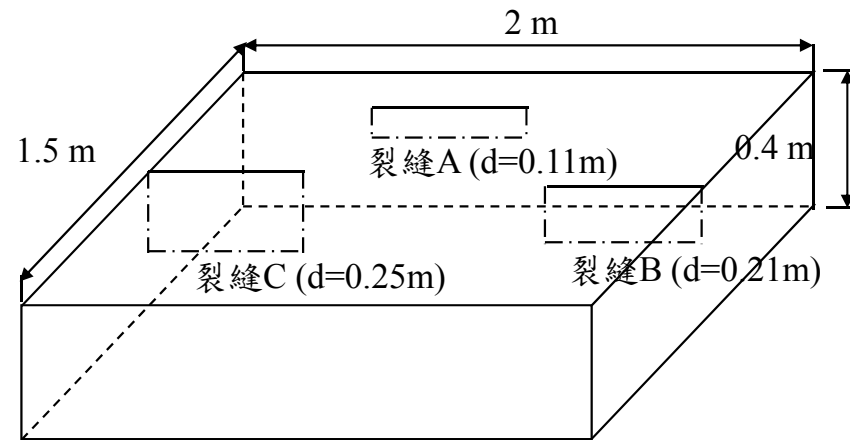
檢測實例及檢測誤差探討

規劃製作一混凝土試體其尺寸為 $2 \times 1.5 \times 0.4$ m、埋設三塊高度不同之木板於剛澆置之混凝土內，於終凝前拔出以模擬表面裂縫
裂縫之真實深度分別為：

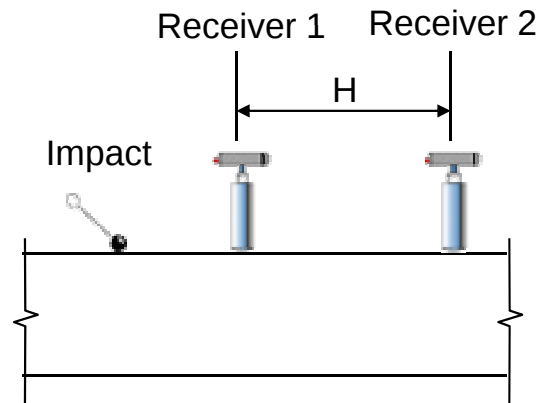
裂縫A = 0.11 m

裂縫B = 0.21 m

裂縫C = 0.25 m

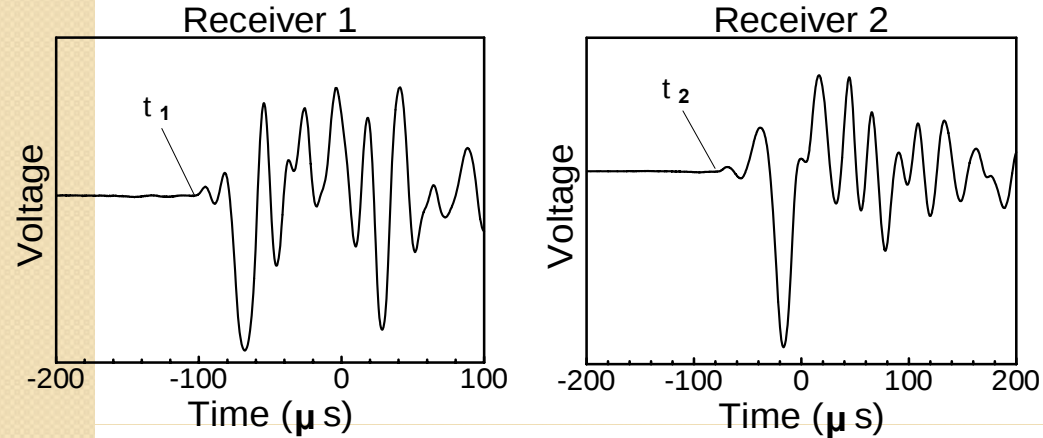


混凝土波速之量測

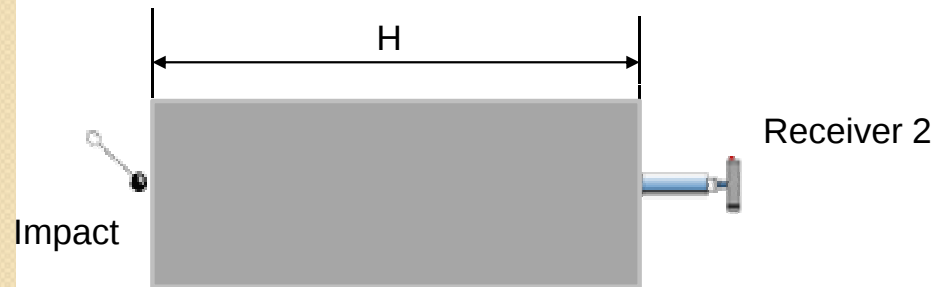


量測混凝土波速時，通常採用
ASTM C1383之儀器配置

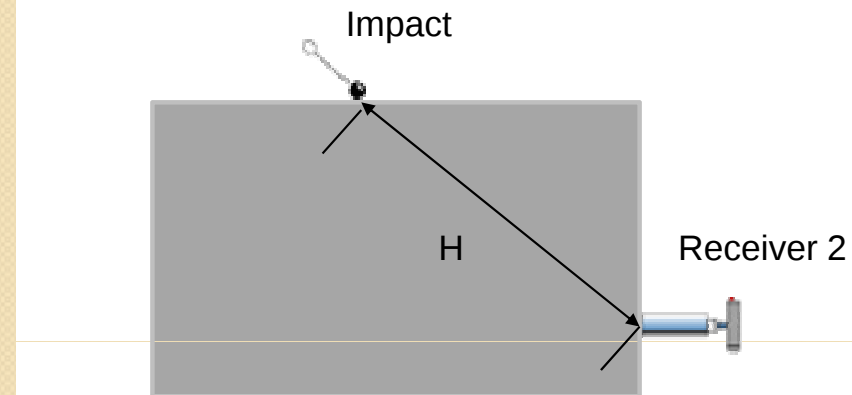
$$C_p = \frac{H}{\Delta t} = \frac{H}{t_2 - t_1}$$



混凝土波速之量測

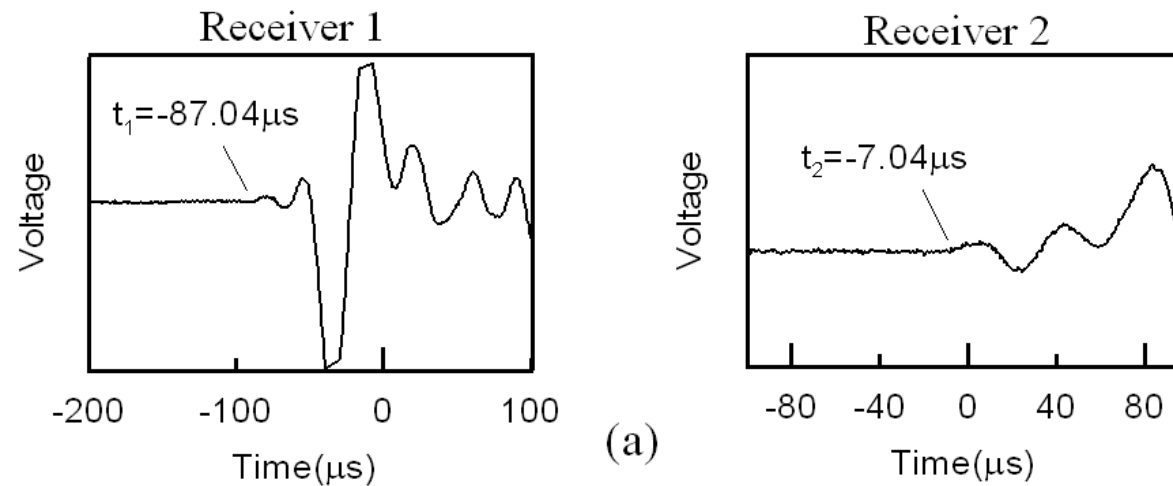


$$C_p = \frac{H}{\Delta t} = \frac{H}{t_2 - t_1}$$

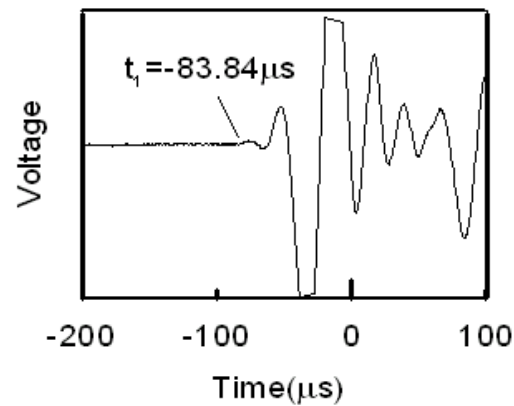


裂縫A(d=0.11m)附近之表面P波波速量測

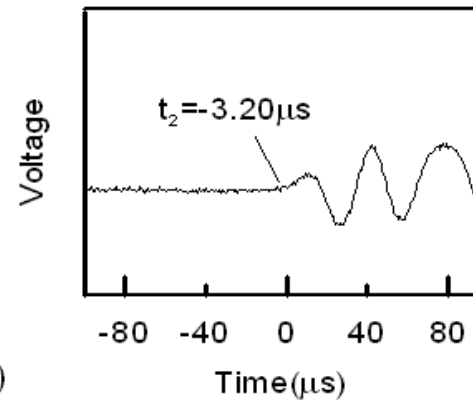
$$C_p = \frac{H}{\Delta t} = \frac{H}{t_2 - t_1} = \frac{0.30}{(-7.04 + 87.04) \times 10^{-6}} = 3750 (m/s)$$



裂縫B以及C附近之表面P波波速量測

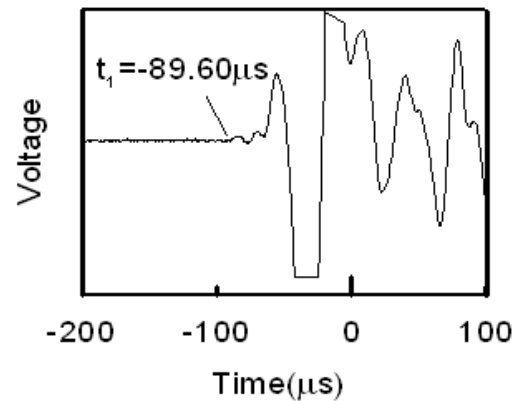


(b)

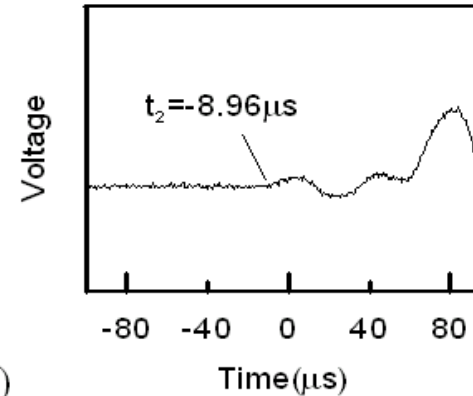


裂縫B附近量測之P波

$$C_p = \frac{H}{\Delta t} = 3720(m/s)$$



(c)



裂縫C附近量測之P波

$$C_p = \frac{H}{\Delta t} = 3720(m/s)$$

波速量測結果

表面P波波速量測			
測點位置	t_1 (μs)	t_2 (μs)	表面P波波速(m/s)
裂縫A附近	-87.04	-7.04	3750
裂縫B附近	-83.84	-3.20	3720
裂縫C附近	-89.60	-8.96	3720

以裂縫C ($d=0.25m$)為對象檢測參數變化之裂縫檢測結果綜合表

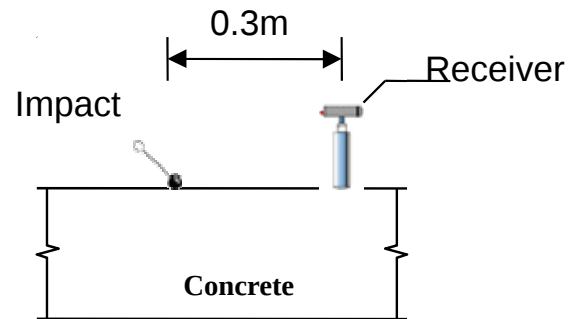
改變檢測參數:(a)兩種儀器配置、(b)擷取速率及(c)三種不同敲擊源。

檢測所得裂縫深度由0.245m變化至0.255m，誤差維持在2%以內，顯示該法在裂縫檢測實務之穩定性及實用性相當好。

鋼珠直徑	儀器配置	擷取速率(μs)	t_1 (μs)	t_2 (μs)	裂縫檢測深度(cm)	誤差(%)
3m m	$H_1=H_2=0.05m$	0.32	-39.68	74.24	0.250	0.00
		0.64	-40.32	71.04	0.245	2.00
	$H_1=H_2=0.10m$	0.32	-57.92	61.76	0.246	1.60
		0.64	-40.96	78.72	0.246	1.60
4m m	$H_1=H_2=0.05m$	0.32	-38.08	76.16	0.251	0.40
		0.64	-46.08	65.92	0.246	1.60
	$H_1=H_2=0.10m$	0.32	-45.44	75.52	0.249	0.40
		0.64	-64.00	60.16	0.255	2.00
6m m	$H_1=H_2=0.05m$	0.32	-48.96	66.88	0.254	1.60
		0.64	-81.28	35.20	0.255	2.00
	$H_1=H_2=0.10m$	0.32	-51.84	70.72	0.252	0.80
		0.64	-61.44	61.44	0.253	1.20

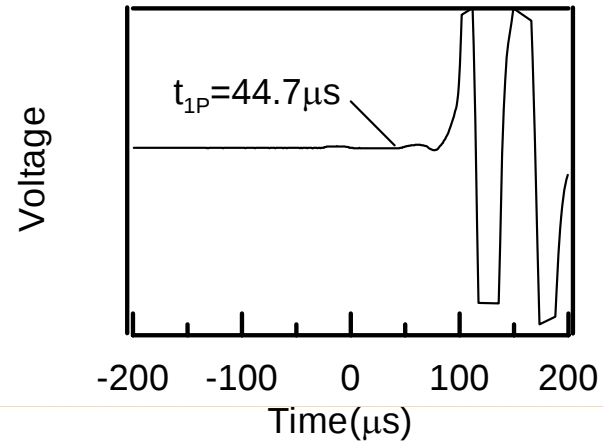
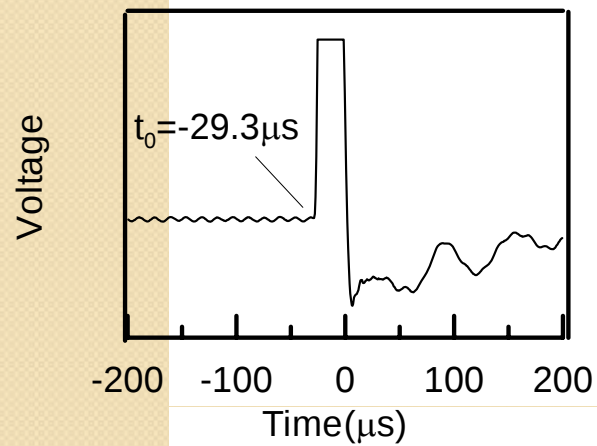
一般裂縫檢測—利用可感測敲擊時間原點裝置 (單接收器)

波速量測



P-波速度： $C_P = \frac{H}{\Delta t_P}$

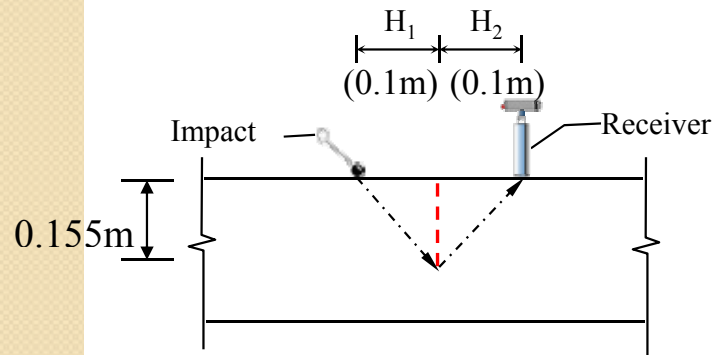
$C_P = 4052 \text{ m/s}$



後續裂縫檢測
不需R波之波
速資料，故可
省去R波之判
讀。

一般裂縫檢測—利用可感測敲擊時間原點裝置 (單接收器)

裂縫量測：實際深度0.155m



$$d = \sqrt{\left[\frac{(C_p \times \Delta t)^2 + H_1^2 - H_2^2}{2 \times C_p \times \Delta t} \right]^2 - H_1^2}$$

$$C_p = 4052 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 92.0 \mu\text{s}$$

$$d = 0.157 \text{ m}$$

量測誤差為1.3%

