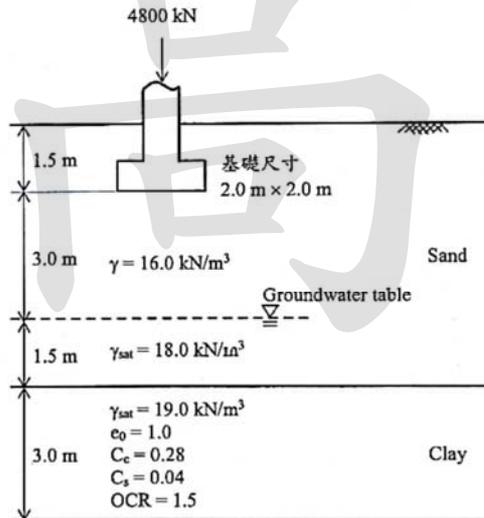


《大地工程學》

(包括土壤力學、基礎工程與工程地質)

- 一、圖一為淺基礎及其座落土層之資料，地下水位以上採用濕單位重 (γ)，地下水位以下採用飽和單位重 (γ_{sat})，土壤之孔隙比 (e_0)、壓縮指數 (C_c)、膨脹指數 (C_s) 及過壓密比 (OCR) 亦示於圖一。淺基礎載重產生之地中應力增量採用 2:1 傳遞法 (2 vertical to 1 horizontal slope) 推估，試計算因基礎作用使黏土層產生之主壓密沉陷量 (mm)。(25分)



圖一

試題評析	1.上課有教，此考題比上課例題還容易，基本上是送分題。 2.柱載重4800 kN，注意箭頭切齊地表，不是觸及基底。
考點命中	《解說土壤力學》例題6-8.1。

解：

$$\text{施工前黏土層中點 } \sigma'_0 = 4.5 \times 16 + 1.5(18 - 9.81) + 1.5(19 - 9.81) = 98.07 \text{ kPa}$$

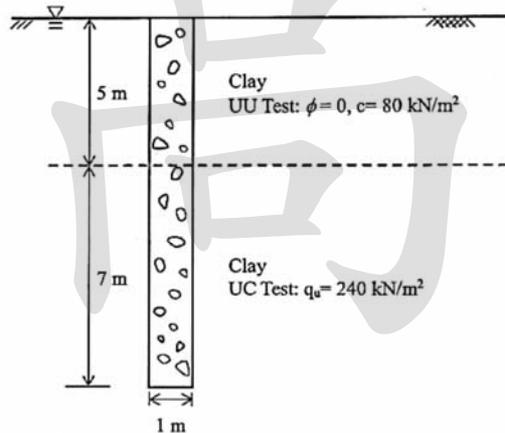
$$\text{預壓密應力 } \sigma'_c = \text{OCR} \sigma'_0 = 1.5 \times 98.07 = 147.105 \text{ kPa}$$

$$\text{應力增量 } \Delta\sigma' = \frac{4800}{(2+3+1.5+1.5)^2} = 75 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_c &= \frac{C_s H_0}{1+e_0} \log \text{OCR} + \frac{C_c H_0}{1+e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} = \frac{0.04 \times 3000}{1+1} \log 1.5 + \frac{0.28 \times 3000}{1+1} \log \frac{98.07 + 75}{147.105} \\ &= \underline{40.2 \text{ mm}} \end{aligned}$$

二、請回答下列有關場鑄樁之問題：(25分)

- (一)圖二所示之圓形場鑄樁埋在不同強度之黏土層，已知樁長 L 為12m、樁徑 D 為1m。黏土層之剪力強度採用飽和黏土試體，分別進行三軸不壓密不排水試驗(Unconsolidated-Undrained Test)與無圍壓縮試驗(Unconfined Compression Test)，試驗獲得之土壤凝聚力(c)、摩擦角(ϕ)與無圍壓縮強度(q_u)亦示於圖中，請採用 α 法預測該支樁之容許摩擦力(kN)。(安全係數 $FS=3.0$ ； $\alpha=0.21+0.26/(c_u/p_a)$ 、 c_u 為黏土不排水剪力強度、 p_a 為一大氣壓 $=101.3\text{ kN/m}^2$)
- (二)欲採用現場樁載重試驗之結果以評估該支基樁於各黏土層之實際摩擦力，試說明需藉由樁載重試驗獲得那些資料？並請詳述評估各土層摩擦力之步驟。



圖二

試題評析	α 法最簡單，教過好幾次，是很典型的送分題。
考點命中	《解說基礎工程》5-54頁，相似度95%。

解：

(一)

$$\alpha_1 = 0.21 + \frac{0.26}{80/101.3} = 0.539$$

$$\alpha_2 = 0.21 + \frac{0.26}{120/101.3} = 0.429$$

$$\text{摩擦力 } Q_s = \alpha_1 c_{u1} A_{s1} + \alpha_2 c_{u2} A_{s2} = 0.539 \times 80\pi \times 1 \times 5 + 0.429 \times 120\pi \times 1 \times 7 = 1810.71 \text{ kN}$$

$$\text{容許摩擦力 } Q_{s,allow} = Q_s / 3 = \underline{603.6 \text{ kN}}$$

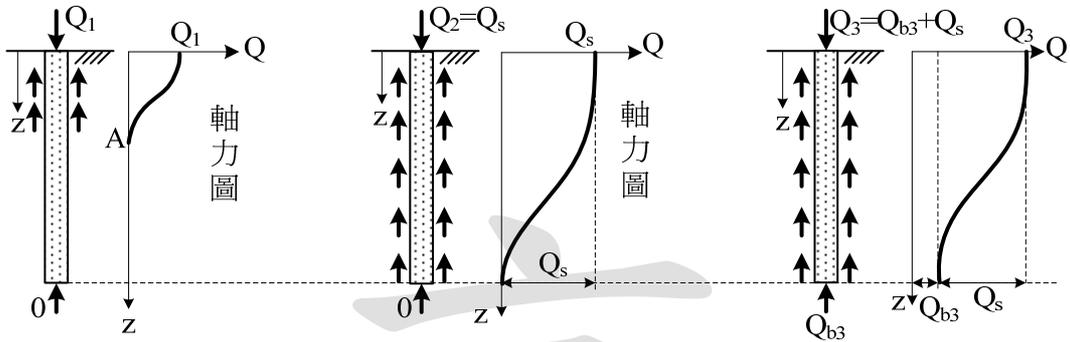
(二)

進行樁載重試驗之樁，其主筋沿深度方向應貼應變計，5 m處(土層變化處)之主筋一定要貼應變計。

樁載重試驗可得力量發展曲線。試驗中，由地表附近的樁表皮摩擦力先激發，此時接近地表的應變計會承受壓應變，接近樁底的應變計讀值仍為零。當A處(深度5 m處)的應變計有讀值之時，A以上的摩擦力即已激發，此時樁頭載重值 Q_1 就是第一層黏土的摩擦力貢獻。

當樁底的應變計出現讀值之時，樁身全部表皮摩擦力已激發，此時樁頭載重值 Q_2 就是第一層黏土+第二層黏土的摩擦力貢獻。

所以，第二層黏土的摩擦力貢獻 $= Q_2 - Q_1$ 。



三、請回答下列有關振動擠壓砂樁 (Sand Compaction Piles) 之問題：(25分)

(一)針對土木工程使用之振動擠壓砂樁工法，試說明於工程設計時，採用振動擠壓砂樁之目的及方法。

(二)試說明於工程設計時，一般使用支樁徑及配置形式。

試題評析 貝多芬題型，考試就是願意背的人上榜。

考點命中 《解說基礎工程》6-23頁，相似度99%。

解：

(一)

擠壓砂樁—以鋼管採擠壓方式將填砂貫入地層形成砂樁，地層因受擠壓而密化之工法，也稱夯實砂樁(Sand Compaction Pile)。本法為國內使用經驗最悠久的振動夯實工法，於十大建設的中山高速公路及中國鋼鐵建廠均大量使用。本法係將一中空鋼管擠壓打入土中，迫使周圍土壤緊密，並在鋼管拔出時以空氣壓力將回填砂料、礫石料壓入，反覆衝撞壓實以擴大樁徑(60~70 cm)，提升地盤密實度與剪力強度，改良深度可達35 m，戲稱給予地層威而鋼。注意這不是承受結構載重的樁。由於砂排水較黏土快，所以擠壓砂樁若貫入黏土層，將對超額孔隙水壓提供水平轉垂直向排水通道，提早完成黏土壓密。

(二)

樁徑約60~70 cm，近年因機具進步，可提升至120 cm。樁平面配置型式可採縱橫方向對齊配置(樁心雙向對齊成「十」字狀)，或交錯插縫隙配置(類似「品」字配置)。

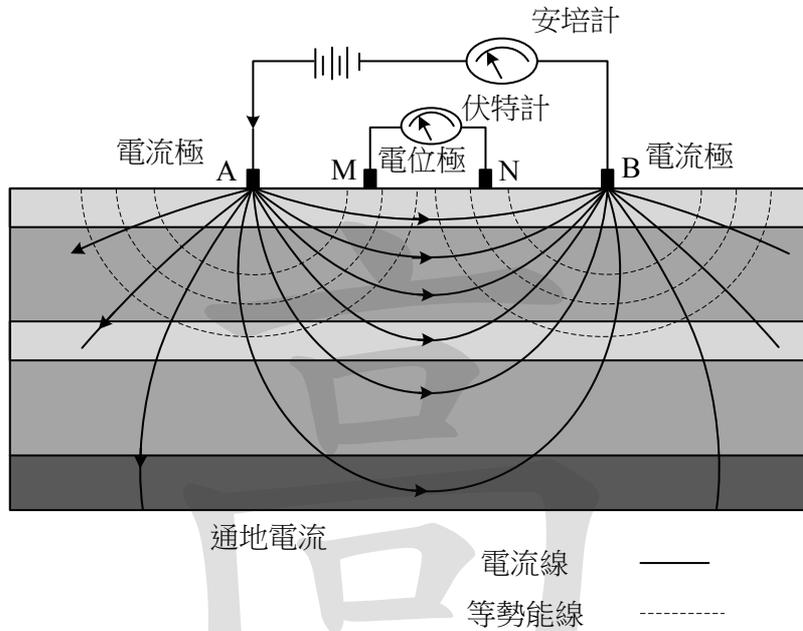
四、某一長約12公里之山岳隧道欲進行地質調查以供隧道設計之依據，試說明可用之調查方法以及這些調查方法在隧道設計之目的。(25分)

試題評析 貝多芬題型，考試就是願意背的人上榜。儘量寫，比賽唬爛的能力，寫到手麻痺方為正道，客氣為吃虧之本。

考點命中 《解說工程地質》第六章相關現場試驗題目。

解：

(A)地電阻探測法(Electrical Resistivity Image Profiling, RIP)為利用地層之電性差異，而測定地下狀況，主要應用在地下水位置測定、崩塌地範圍測定、溫泉深度測定、地熱、構造物基礎、空洞、水壩漏水位置測定、隧道漏水測定、湧水帶測定以及在施工時同時測定地下水變化、地質補強灌漿效果等方面。

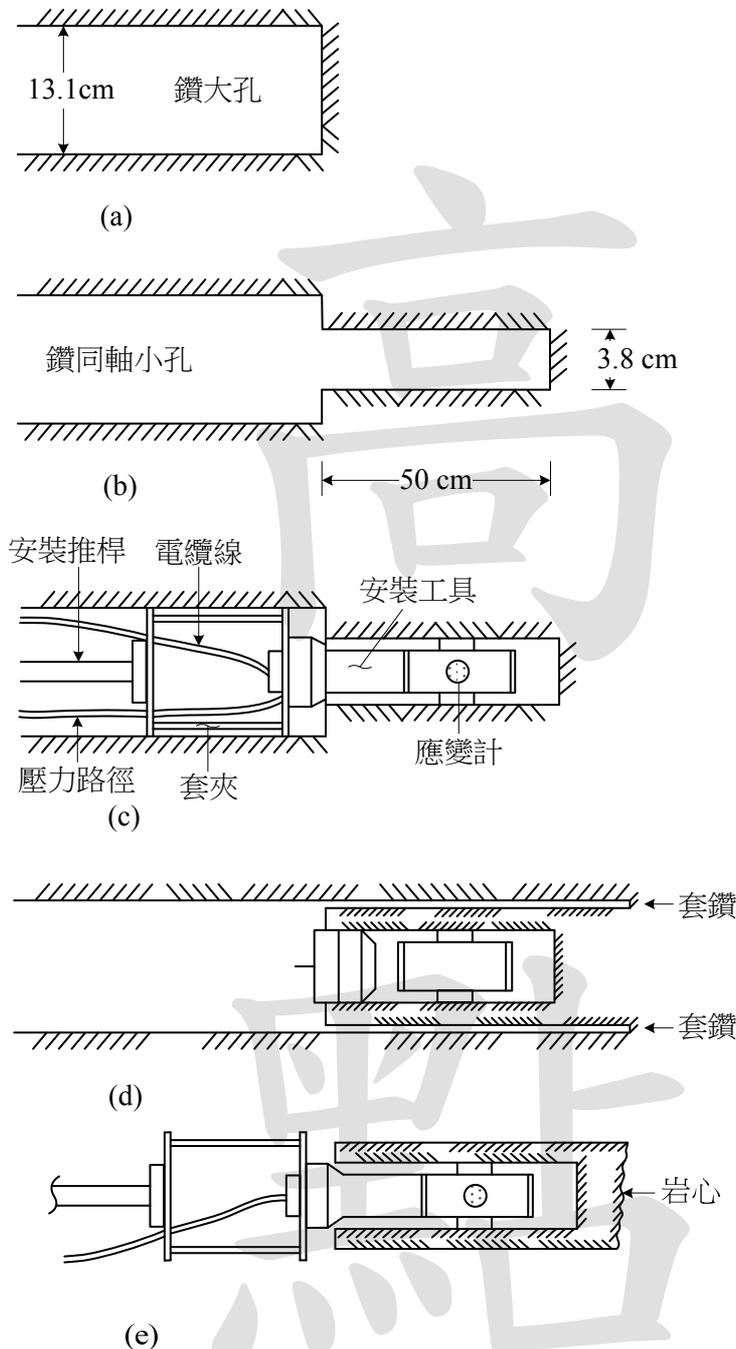


圖a

用電探法可獲得：

- (1) 地層電阻係數及厚度。
- (2) 岩盤深度及形貌。確認軟弱地層之分佈。
- (3) 基樁完整性檢驗。
- (4) 確認地質灌漿補強效果(補強前後各做一次 RIP)。
- (5) 確定風化層或崩積層厚度(如 2010 年國道 3 號崩塌勘災)。
- (6) 連續壁漏水之灌漿補強效果(補強前後各做一次 RIP)。
- (7) 隧道前方湧水帶探測。
- (8) 地下水位面。
- (9) 地下管線、廢棄坑洞、路面下坑洞、基礎下坑洞探測。
- (10) 構造物漏水位置。

(B) 套鑽法(overcoring method)



這是以「應力釋放」(stress relief)求現地應力的方法。

其原理為先鑽大孔(例如直徑13.1 cm)深入岩盤,如圖(a)。

其次在大孔底再鑽一同軸之小孔(例如直徑3.8 cm,即1.5"),深度50 cm,如圖(b)。

安裝應變計於小孔的壁面,記錄其零點讀數,如圖(c)。

然後套鑽(overcoring)之,如圖(d),解除現地應力對被套鑽岩心(overcore)之作用,此即應力釋放,量測應變計之新讀數,得其應變 ϵ 。

取出被套鑽岩心(外直徑10 cm,含應變計者),如圖(e),如該岩心之彈性係數 E 已知,即可算出當

地應力。

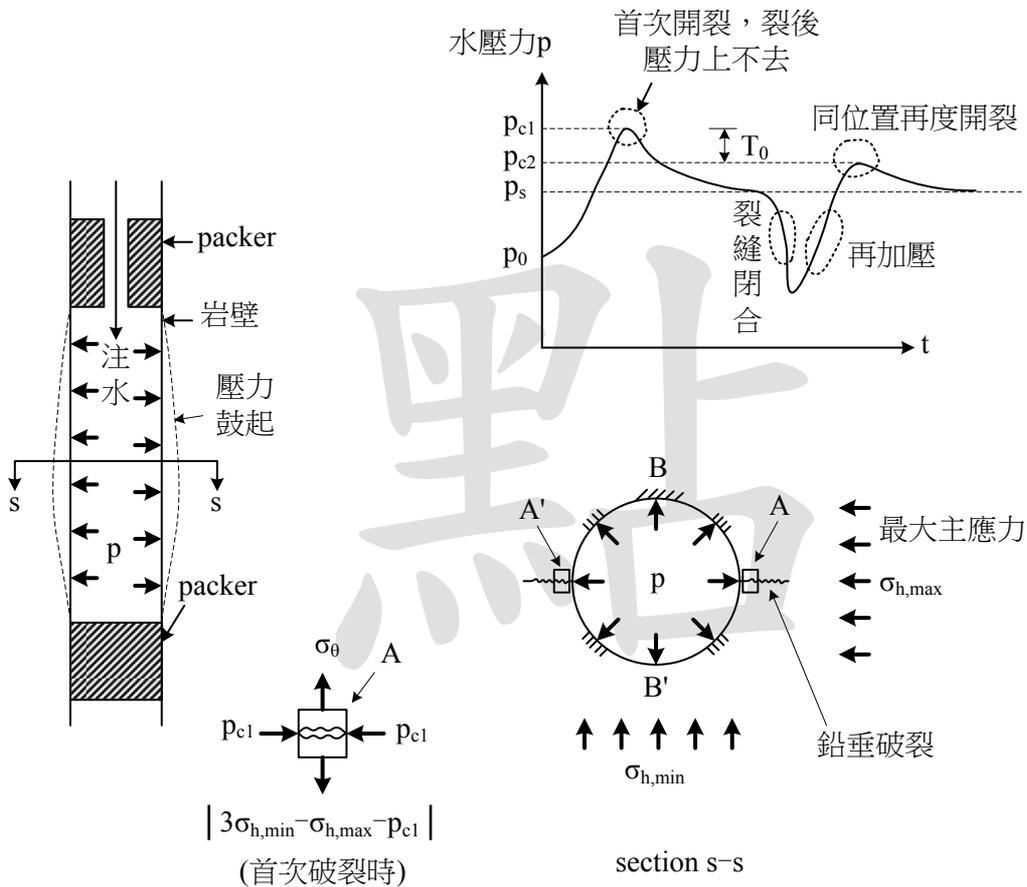
(C)水力破裂法(hydraulic fracturing method)

也是求現地應力的方法(包含求岩石拉力強度)。鑽孔及使用工具與漏程試驗相同，只不過加壓不限於 10 kgf/cm^2 ，而是無限制地使孔內二封套之間的水壓升高，至孔壁破裂，降低水壓至零點使裂縫閉合。然後再一次升高水壓，使裂縫再一次張開。由這些壓力值即可算出岩盤之水平向當地應力。然而岩盤若含水平弱面(例如沉積岩)，則無法求得水平向當地應力。



步驟：

- (1) 通常是鑽垂直孔，鑽孔後以二個封套封塞出試驗段，往試驗段注入水壓，當水壓升高到達 p_{c1} (breakdown pressure)時，於邊緣 A 處和 A'處產生鉛垂向延伸之裂縫，裂縫走向平行最大主應力方向。如果繼續注水，裂縫延伸，水漏失，水壓力會逐漸下降到穩定值 p_s (the shut-in pressure)。



- (2) 關閉注水，裂縫閉合。再次增加水壓，當水壓升高到達 p_{c2} 時，裂縫再度打開，繼續注水，裂縫延伸，水漏失，水壓力會逐漸下降到穩定值 p_s (the shut-in pressure)。

設岩石為均質均向線彈性，根據彈性力學的解(Kirsch solution)，在鑽孔後注水壓之前，A處和A'處的環向壓應力是 $\sigma_\theta = 3\sigma_{h,min} - \sigma_{h,max}$ 。

當水壓到達 p_{c1} ，會對A點的環向產生 $-p_{c1}$ 的拉應力增量，使得 σ_θ 來到 $3\sigma_{h,min} - \sigma_{h,max} - p_{c1}$ ，若此值達到岩石的拉力強度 $-T_0$ ，則產生第一次裂縫。

換言之，產生第一次裂縫當下， $3\sigma_{h,min} - \sigma_{h,max} - p_{c1} = -T_0$ [a]

現地最小主應力 $\sigma_{h,min}$ = 穩定的水壓值 p_s ，為壓應力，在水平方向， $\sigma_{h,min}$ 垂直於裂縫平面。

操作者降低水壓，再增加水壓到 p_{c2} ，相同位置裂縫產生第二次張開， σ_θ 來到 $3\sigma_{h,min} - \sigma_{h,max} - p_{c2}$ ，此時岩石已無張力強度，裂縫再張開不需克服張力強度，

故 $3\sigma_{h,min} - \sigma_{h,max} - p_{c2} = 0$ [b]

[b]減[a]，得岩石拉力強度 $T_0 = p_{c1} - p_{c2}$ 。

從[a]或[b]可得水平向最大主應力 $\sigma_{h,max} = 3p_s - p_{c2}$ 。

(壓應力為正，拉應力為負， T_0 本身是正數)

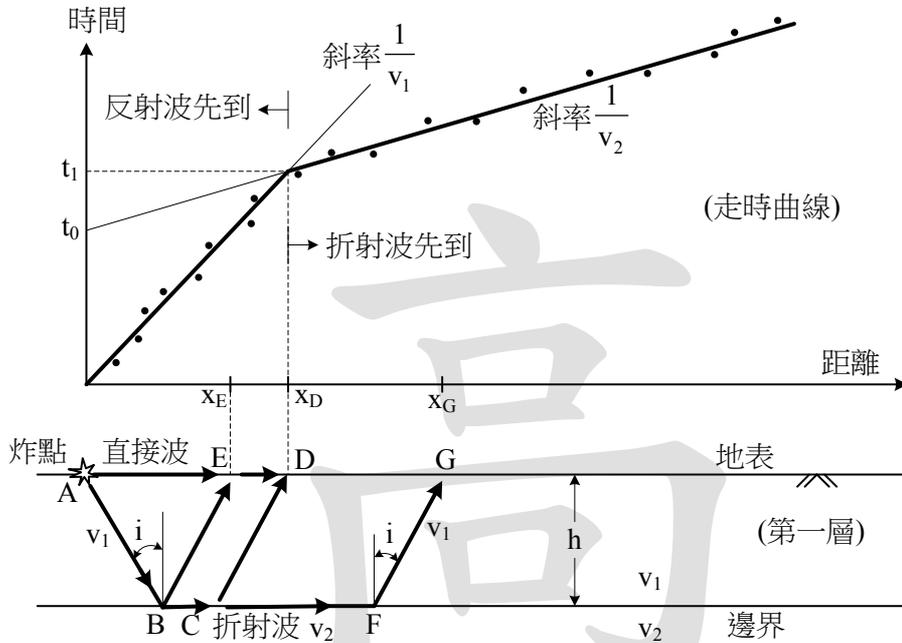
優點：

1. 可得岩石拉力強度 T_0 。
2. 可得水平向最大主應力 $\sigma_{h,max}$ ，水平向最小主應力 $\sigma_{h,min}$ 。
3. 鑽孔可做為漏程試驗使用。

(D)

折射震測法(Refraction Seismic Method)藉炸藥爆炸或重錘下落之衝擊力產生人造震波(本法測量P波)，傳播於地下地層，因地層傳波特性的不同，震波在地層界面處依據司奈爾定律(Snell's Law)發生折射現象折回地表，再藉設置於地表一系列的受波器(Geophone)接收折射波。此法主要根據折射波測量地層構造，為大地工程初步調查經常使用的方法，如探測基盤構造、岩盤位置或較堅硬土層位置，常用於工程基礎調查。震波速度大小與地層岩性、岩層軟硬度、坡面傾斜、...、等特性有關。因此，分析地層震波速度大小，可間接瞭解地下地層的物理特性及地層結構。

在地表不同位置放置受波器，在人造震源發生時，震波向震源外傳播，震波信號被受波器所記錄，離震源愈近的受波器愈早收到訊號，愈遠則愈晚收到訊號。利用不同距離對應的受到訊號時間，對「初達波」建立出來的曲線稱為「走時曲線」(Travel Time Distance Curve)。



從記錄的黑點，畫出走時曲線。根據走時曲線，從曲線判讀出第一層直接波波速 v_1 (也就是第一層介質的縱波波速)與邊界處折射波波速 v_2 (第二層介質的縱波波速)。 v_1 與 v_2 都是圖形斜率的倒數。判讀後， v_1 、 v_2 屬於已知數。設折射波波速 v_2 大於第一層直接波波速 v_1 。目標：求第一層厚度 h 。

\overline{AD} ($=x_D$)是臨界距離，長度由圖形上判讀出。「臨界距離」意即對於地表面，比 \overline{AD} 短的距離，如 \overline{AE} ，是地表直接波先到E點；對於地表面，比 \overline{AD} 長的距離，如 \overline{AG} ，是通過地底下的直接波+折射波+直接波先到G點。而D點，是地表直接波與折射波同時到達地點。

依據Snell's Law, $\sin i = \frac{v_1}{v_2}$ 。

$$\text{從A} \rightarrow \text{B} \rightarrow \text{C} \rightarrow \text{D} \text{耗時為 } \frac{\overline{AB}}{v_1} + \frac{\overline{BC}}{v_2} + \frac{\overline{CD}}{v_1} = \frac{2h}{v_1 \cos i} + \frac{\overline{BC}}{v_2}$$

從A→E→D耗時為 $\frac{\overline{AD}}{v_1}$ ， \overline{AD} 可從走時曲線上判讀出，屬於已知數，故 $\frac{\overline{AD}}{v_1}$ 為已知數。因 \overline{AD}

是臨界距離，故 $\frac{2h}{v_1 \cos i} + \frac{\overline{BC}}{v_2} = \frac{\overline{AD}}{v_1}$ ①

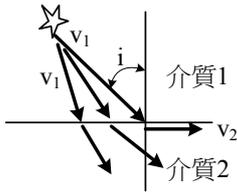
此式裡， h 與 \overline{BC} 是未知數。

依據幾何， $\overline{AD} = \overline{BC} + 2h \times \tan i$ ，移項得 $\overline{BC} = \overline{AD} - 2h \times \tan i$

將 \overline{BC} 代入①

$$\text{得 } \frac{2h}{v_1 \cos i} + \frac{\overline{AD} - 2h \tan i}{v_2} = \frac{\overline{AD}}{v_1}$$

此式只有 h 是未知數，



$$\text{可解出 } h = \frac{x_D}{2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}。$$

$$\text{ps : } \cos i = \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_2}, \quad \tan i = \frac{v_1}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}$$

由震波走時曲線圖經逆推(Inversion)運算後，即可獲得代表測線下方之地層速度分佈，大地工程上可反算土層厚度、評估開挖方法、地質改良成效、採石分析、崩塌地分析、坡地穩定分析、耐震、孔洞評估、風化層之厚度、破碎帶位置及地質構造。

折射震測法不因地形起伏而影響解析結果，對高傾角之地層有良好之解析結果，然對於水平逆轉斷層(低速度層位於高速度層下， $v_1 > v_2$ ，也就是盲層問題)及薄層，其解析較不易(薄層容易漏掉)。

折射震測理論最主要的觀念是「延遲時間」(delay time)。折射波以臨界角(critical angle)入射折射層，並沿折射層界面前進，再以臨界角返回地表，這整段走時可以拆開成垂直及平行折射層二部分，延遲時間即指折射波耗費在垂直方向的一段走時。平行折射層之走時部分可用於分析折射層速度，垂直折射層之走時部分(即為延遲時間)，可得到折射層深度。

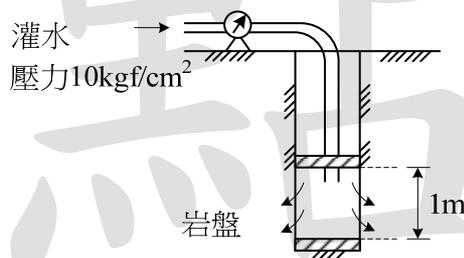
本法遇到地下水位會失效，因為充滿土壤間的孔隙後，P波走在飽和土壤內，會展現出更高波速，而試驗者可能誤認為算出來的波速是乾燥土對應的波速，因為他不曉得波碰到水了，所以須以實際鑽孔做確認。

(E)漏程試驗(栓塞試驗)

其目的是要了解岩盤的透水性。Lugeon試驗(又稱Packer test)屬於現地試驗，通常採用兩個橡膠質封套(packer)，在現地鑽孔中封塞出淨長度1公尺的試驗段，將此試驗段灌水並增加水壓力，水只能由試驗段周圍的岩壁滲漏出去(因岩壁存在不連續面)，無法往上或往下穿越橡膠質封套。

本試驗為定水頭試驗，通常試驗壓力為 10 kgf/cm^2 (相當100 m高之靜水壓)。若每分鐘漏水量為1公升，則該段岩盤之透水性稱為1 Lugeon，對於均向岩石，1 Lugeon大約為 $1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 。

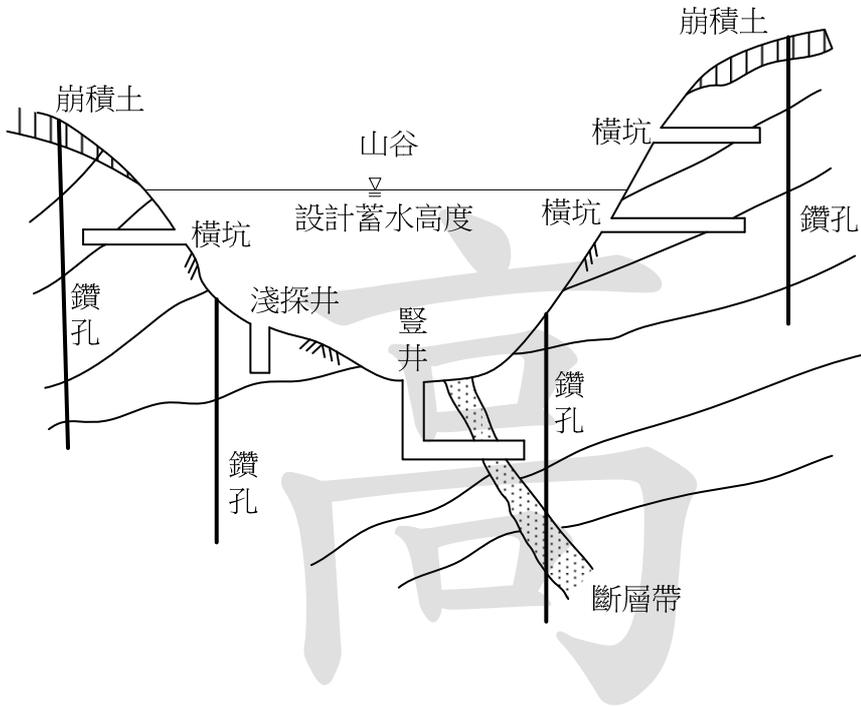
由於岩體的透水性和它的裂面數量有關，若裂面多，則易透水，岩體強度就差，所以Lugeon test在意義上也可以判斷不連續面數量與岩體品質。



(F)試挖，確定不連續面之走向、傾向、傾角。

(G)鑽探取樣，估計岩石強度，評估未來採用鑽探方法與機具。連續取樣可得RQD、CR，評估岩體強度與滲透性。

(H)導坑試挖，針對岩體評分，評估支撐方式與輪進長度。



高點