

# 談標準貫入試驗規範

游 坤\*

## 一、前 言

根據 The Penetrometer and Soil Exploration (G. Sanglerat, 1972) 一書之介紹，標準貫入試驗 (Standard Penetration Test, 簡稱 S.P.T.) 之應用起源於二十世紀初期 Gow 氏利用 110 磅之落錘 (Hammer) 將直徑 1 吋之取樣器貫入土層內取出土樣，至西元 1922 年，Charles R. Gow 公司應 Raymond Concrete Pile 公司之委託代為設計一直徑 2 吋之劈管取樣器 (Split-Spoon Sampler)，在同一時期亦有相類似之取樣器被採用，隨後 Feltecher 與 Mohr 二氏始將貫入試驗予以標準化，即採用劈管取樣器為貫入器，落錘重為 140 磅，落距為 30 吋，接着經過多次之改進，其中最大之變化為取樣器之頂部加設逆止閥 (Check Valve) 及通氣孔 (Vent) 以改善取樣過程中發生砂土土樣漏失之現象。世界各國中以美國最早將標準貫入試驗予以標準化 (1958 年)，接着加拿大、日本、印度、英國及德國等也相繼制定標準試驗規範。自 1977 年第九屆國際土壤與基礎會議開始，有關標準貫入試驗方法之標準化 (Standardization) 一直受到普遍之重視。

標準貫入試驗在早期係為求取深基礎設計所需之土壤參數，後來漸被應用於其他基礎調查及設計。目前標準貫入試驗結果之應用可歸納為 (1) 了解地層之變化並兼取土樣，(2) 推斷土層之強度與壓縮特性及 (3) 提供土壤液化潛能分析及基礎分析與設計所需之土壤參數。根據以上之說明，顯示標準貫入試驗結果之應用範圍甚廣，故標準貫入試驗與工程設計及施工有極密切之關係。鑑於國內標準貫入試驗之方法尚

未予標準化，因此本文將就目前美國與日本現行之規範 (ASTM 1585-67 與 JISA 1219-61) 作一扼要之比較，以供國內土木工程人士參考，並期工程界對於國內行之已數十年之標準貫入試驗執行過程之確實性應予以重視。

## 二、美國 ASTM D1586-67 與日本 JISA 1219-1961 規範比較

本節有關美國 ASTM D 1586-67 之內容係以 1974 年認可之規範內容為依據，至於日本 JISA 1219-1961 內容則以 1976 年確認之規範為準。茲就標準貫入試驗規範之內容依 (1) 適用範圍，(2) 試驗設備，(3) 試驗方法及 (4) 試驗結果報告等四大項擇要綜合列於表一，同時將標準貫入試驗之劈管取樣器之規格列於表二以便比較。表二中除列出 ASTM 及 JIS 規格外，並將 Hvorslev (1943) 及 Terzagh and Peck (1967) 所建議劈管取樣器之規格亦列於表二以供讀者一併參考。(圖一所示為標準貫入試驗劈管取樣器之示意圖。)

按本文所提美國與日本兩國所施行之標準貫入試驗規範內容雖無太大之差異，但在試驗設備與試驗步驟方面仍具相當多之彈性。我國對於標準貫入試驗尚未制定國家標準規範，目前台灣現行之標準貫入試驗方法大部份依照美國 ASTM 規範執行，惟有部份試驗器材則與日本 JIS 規定相類似。目前台灣常用之劈管取樣器均有內襯銅管或不銹鋼管，此銅管或鋼管係由八個內徑為 3.5 公分與高度為 7.0 公分之小銅管或小鋼管組成，這種情況是與美日國家標準貫入試驗最大不同之處，本文以下將就表一之規範內容做一簡要之討論與建議。

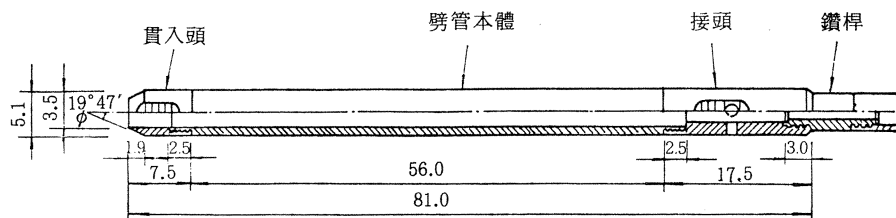
\*亞新工程顧問公司協理

表一 ASTM 與 JIS 標準貫入試驗規範比較

項 目	ASTM D1586-67 (Reapproved 1974)	JIS A1219-1961(1976 確認)
一、規 範 名 稱	土壤貫入試驗與劈管取樣標準方法	土壤之標準貫入試驗方法
二、適 用 範 圍	採用劈管取樣器以獲取代表性之土樣供鑑別及其他室內試驗之用，同時可以求取土壤對貫入器之阻力。	測定現場土壤之稠密與緊密度相關之 N 值且可以取樣以鑑別土壤種類。
三、試驗設備	1.鑽孔設備 (Drilling Equipment)	(a)採用一般機械式設備，但鑽孔底部土壤應避免受到擾動，鑽孔底部不可有汙泥存在。 (b)試驗時所採用之鑽桿，其勁度不得小於“A”種鑽桿（即外徑1 ½吋，內徑為1 ¼吋），對於深度超過50呎(15公尺)之鑽孔建議採用勁度較“A”鑽桿更高之鑽桿。
	2.標準貫入試驗取樣器 (SPT Sampler)	(a)取樣器為劈管取樣器(Split-Barrel Sampler)，由貫入頭(Drilling Shoe)，劈管體(Split Barrel)及取樣器頭(Sampler Head)三部份構成。 (b)取樣器各部份之詳細尺寸見表二。 (c)對外徑非2吋之取樣器需經特許方可使用。 (d)可採用有內襯之取樣器。
	3.打擊荷重設備 (Driven Weight Assembly)	設備包括： (a)落錘(Hammer)重量為140磅(63.5公斤)。 (b)打擊鐵砧(Driven Head)。 (c)導桿(Guide Rod)：能使落錘自由落下30吋(0.76公尺) 避免落錘與導桿間發生摩擦力。 (d)落錘之釋放方式未規定。
	4.附屬設備 (Accessory Equipment)	包括標籤、記錄紙、樣品罐、石臘等其他設備。
四、試驗步驟	1.鑽孔 (Drilling)	(a)同 ASTM 三.2.(a) (b)同 ASTM三.2.(b) (c)在砂土層內進行SPT時應採用良好之貫入頭，在砂礫層內可考慮使用略有缺陷之貫入頭。
		設備包括： (a)落錘重量為63.5公斤。 (b)打擊鐵砧需為鋼製，形狀無特別規定 (c)導桿需能使落錘自由落下，落距為75公分。 (d)落錘釋放方式可採用吊鉤式(Triple Monkey)或繩索架法(Rope-Pulley Method)，若採用繩索架法則繞於繫索架(Cathead)之繩索應為兩圈，（目前日本亦有採用自動落錘法）。
		未說明。
	(a)鑽孔至預定試驗位置後應確認孔底無沉澱物存在且孔底之土壤應避免受到擾動。 (b)鑽孔內水位應隨時保持與地下水一致或高於地下水位。 (c)不可使用底沖式之鑽頭，但可使用側沖式之鑽頭。 (d)若使用套管保護鑽孔，則套管之深度不可超過取樣之深度。 (e)鑽孔之孔徑應在2 ¼至6吋(5.72至	(a)同 ASTM 四 1. (a)。 (b)鑽孔過程中應特別注意迴水排出物，湧水與孔壁有無崩塌等現象。 (c)鑽孔之孔徑以6.5至15公分之間為原則。

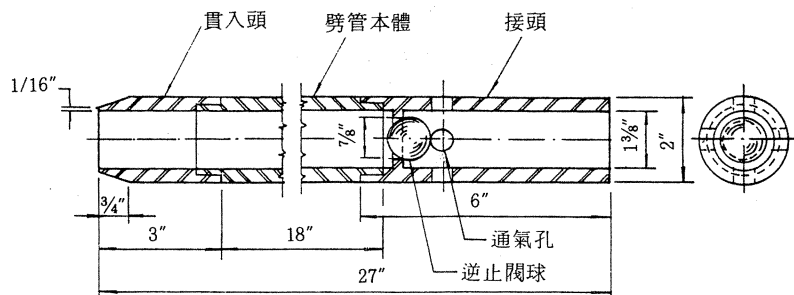
表一 ASTM與JIS標準貫入試驗規範比較(續)

<p>四、試驗步驟</p>	<p>2.標準貫入試驗(SPT)</p>	<p>15.2公分之間。)</p> <p>(a)取樣器應輕置於孔底。                  (b)以140磅之落錘，落距為30吋連續打擊鐵砧至取樣器貫入土層內達18吋(45公分)或打擊數達100次為止。                  (c)每5呎或1.5公尺(最大)之間距或地層有變化之外均行SPT一次。                  (d)記錄每貫入6吋(15公分)所需之打擊數，惟第一個6吋貫入量可考慮為定位打擊(Seating Driving)，第二個與第三個貫入6吋之打擊數總和稱為貫入阻力(N)，若取樣器之貫入深度小於18吋(45公分)，貫入阻力可考慮為最後1呎之打擊數。                  (e)打擊完畢後應取出樣品加以觀察並記錄其結果，再將樣器放入樣品罐內密封之。</p>	<p>(a)同ASTM四.2.(a)                  (b)貫入試驗分預備打擊(貫入15公分)，正式打擊(貫入30公分)，終結打擊(貫入5公分，視情況需要進行)。                  (c)以63.5公斤之落錘，落距為75公分連續打擊鐵砧至取樣器貫入土層內45公分或打擊數達50次為止。                  (d)在進行打擊時，每打擊一下應記錄其累積貫入量，惟第一次打擊時若貫入量未滿2公分時，則每貫入10公分始記錄其打擊數。錄其打擊數。                  (e)同ASTM四.2.(e)</p>
	<p>五、試驗結果記錄與報告(Testing Result and Report)</p>	<p>試驗報告之內容應包括(a)工作名稱，(b)試驗起迄日期，(c)鑽孔編號與座標，(d)地表高程，(e)樣號及深度，(f)鑽孔方法，(g)貫入取樣率，(h)取樣器之種類與尺寸，(i)土壤描述，(j)土層厚度，(k)地下水或失水之深度，有無受限水頭及其量測時間，(l)鑽機種類，(m)每6吋(15公分)貫入所需之錘擊數，(n)試驗工作人員姓名及(o)氣候狀況等。</p>	<p>試驗報告之內容應包括(a)正式打擊開始與結束之深度，(b)打擊數與貫入量關係圖，(c)土樣觀察結果及(d)土壤柱狀圖。</p>



(a)JISA1219-1961

單位：公分



(b)ASTM D1586-67

圖一 標準貫入試驗取樣器

表二 標準貫入試驗取樣器(劈管取樣器)規格比較

規 範	取樣器全長	劈管本體長	貫 入 頭 長 (Driving Shoe)	取樣器頂頭長 (Sampler Head)	取樣器外徑	取樣器內徑	貫入頭尖端 角 度
ASTM	拆開後長度 最小27吋 (最小68.5公 分)	最小18吋 (最小45.7 公分)	最小3吋 (最小7.6公 分)	最小6吋 (最小15.2公 分)	2吋 (5.1公分)	1 ¾吋 (3.5公分)	19°28'
JIS	81.0公分	56.0公分	7.5公分	17.5公分	5.1公分	3.5公分	19°47'
Hvorslev	31 ¾吋 (80.7公分)	22吋 (55.9公分)	3吋 (7.6公分)	6 ¾吋 (17.2公分)	2吋 (5.1公分)	1 ¾吋 (3.5公分)	19°47'
Terzaghi and Peck	32吋 (81.3公分)	22吋 (55.9公分)	3吋 (7.6公分)	7吋 (17.8公分)	2吋 (5.1公分)	1 ¾吋 (3.5公分)	19°47'

### 三、 討論與建議

從標準貫入試驗規範之規定，顯示標準貫入試驗之結果除受地下土層與地下水之自然因素影響外，亦因設備、操作過程以及記錄與資料處理方法之差異而有甚大之變化，為消除這些設備與人為操作可能引起之誤差而獲致較客觀之試驗結果，此乃將標準貫入試驗予以標準化之主要目的。茲就前文之規範進行下列之討論與建議：

1. 按標準貫入試驗若落錘為一自由落體，依美國 ASTM 規範，則其撞擊鐵砧之理論能量應接近 42,000 吋—磅，但由於能量傳遞系統(如安全落錘(Safety Hammer)系統，繩索架(Rope and pulley)系統或三吊鈎(Triple Monkey 或 Tonbi)系統之差異，致其撞擊鐵砧之能量一般均小於 42,000 吋—磅，且變異甚大。根據 Schmertmann, Kovacs (1983) 及 Seed (1984) 等人調查美國及其他國家之標準貫入試驗，經分析後發現實際傳至鑽桿之能量約為理論值之 40% 至 90%。表三為摘自 Seed (1984) 之研究報告，其顯示不同種類之落錘與落錘釋放方式對傳至鑽桿之能量差異甚大。在 Schmertmann (

1977) 及 Seed (1984) 之研究報告亦指出如落錘之錘擊頻率，取樣器之內襯狀況，鑽桿之長度與種類，鑽孔之孔徑以及鑽孔之穩定液使用情況等因素均影響標準貫入試驗之 N 值。因此對於現行規範內未規定之事項，諸如(a)鑽孔之方法與設備，(b)落錘之種類與釋放落下之方式及(c)取樣器之形式等宜考慮並研究標準化之可行性。

2. 為評估標準貫入試驗結果之客觀性，建議應配合進行打擊能量效率量測(Energy Efficiency Measurement)，目前國內已開始注意這方面之量測工作(周逢霖與李建中, 1985)並已開始使用(亞新工程顧問公司 1984)，惟有加速推廣使用之必要。
3. 在進行標準貫入試驗時，對於規範之規定應確實嚴格執行並應有真實之記錄，如過去國內在執行標準貫入試驗時常將劈管取樣器內之銅管組或鋼管組去除一部份，惟試驗記錄上並未加以說明。
4. 按目前國內外執行標準貫入試驗之設備與步驟均有差異，故在使用試驗之結果時應考慮所使用之設備與步驟以及其他有關之因素對試驗結果之影響。
5. 國內過去曾多次因標準貫入試驗之執行不够

表三 不同型式之落錘與釋放方式之鑽桿能量比較

國 家	落錘型式 (Hammer Type)	落錘釋放方式 (Hammer Release)	估計傳遞至鑽桿能量 (Estimated Rod Energy)
美 國	安全式 (Safety)	繩索架式 (Rope and Pulley)	60%
	筒 狀 (Donut)	繩索架式 (Rope and Pulley)	45%
日 本	筒 狀 (Donut)	自由落下 (Free-Fall)	78%
	筒 狀 (Donut)	繩索架特殊拋放式 (Repe and Polley with Spacial Throw Release)	67%

確實，致使設計誤判而發生工程災害與工期無法掌握之工程案例，因此我們實應記取以往之經驗，對於執行標準貫入試驗之工作人員與督導貫入試驗之工程人員宜加強訓練並盡速專業化。

### 參 考 文 獻

周逢霖、李建中(1985)「標準貫入試驗之標準化及其能量測定」，地工技術雜誌十期，PP79-85  
亞新工程顧問公司(1985)，「台西廠址工程性質與改良研究方案報告」。

日本規格協會(1974)，「日本工業規格 A1219-1961」土の標準貫入試驗方法，日本工業標準調查會。

AMERICAN SOCIETY OF TESTING and MATERIAL (1984) "*Test Designation D1586*" *Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils*" ASTM, Philadelphia, USA.

HORSLEV, M. J. (1949), "*Subsurface Exploration and Sampling of Soil for Civil Engineering Purposes*" US Army Corps of Engineers. Waterway Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA.

KOVACS, W. D., SALOMONE, L. A. and YOKEL, F. Y. (1983) "*Comparison of Energy Measurement in the Standard Penetration Test using the Cathead and Rope Method, Phase I and II, Final Report*" Submitted to National Bureau of Standard, Washington D. C. USA.

SANGLERAT, G. (1972) "*The Penetrometer and Soil Exploration*" Elsevier Publishing Company, New York, USA.

SCHMERTMANN, J. H. (1976) "*Prediction of  $Q_c/N$  Ratio—Interpreting the Dynamic of Standard Penetration Test*", University of Florida Report to the Department of Transportation, Florida, USA.

SCHMERTMANN, J. H. (1979) "Statics of SPT", *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, V. 105, No. GT5.

SEED, H. B., TOKIMATSU, K., HARDER, L. F. and CHUNG, R. M. (1984) "*The Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation*", University of California, Berkeley, EERC Report No. UCB/EERC-84/15.

TERZAGHI, K. and PECK, R. B. "*Soil Mechanics in Engineering Practice*" John Wiley and Sons, New York.