

避雷針引線、接地與施工

陳建富

目錄

- 雷電
- 接地

雷電

- 落雷雷雲在數公里以下
電壓10-30億伏特
- 放電電路在1 ~ 數公里以下
電位梯度10 ~ 40kV/m，達100kV/m
電氣量約達20庫侖
電流在20kA(1x40 μ S)或100A(~100ms)
31kA(IEEE IA 1988);32.48kA (1 ~ 4 μ Sx

國外推估GFD之公式

發表公式	N_g (次/km ² · 年)
A.J. Eriksson (1986) 南非	$0.04 T_d^{1.25}$
S.A. Prentice (1977) 澳洲	$0.1 T_d$
J.G. Anderson (1982) 南非	$0.12 T_d$
IEEE (1992)	$0.04 T_d^{1.25}$
日本『雷害事故調查委員會』	$0.18 T_d^{-0.333}$
IEC 1024-1-1 1993	$0.04 T_d^{1.25}$
中國GB 50057—94	$0.024 T_d^{1.3}$

註：

N_g ：對大地落雷密度

T_d ：年間雷暴天數(IKL)

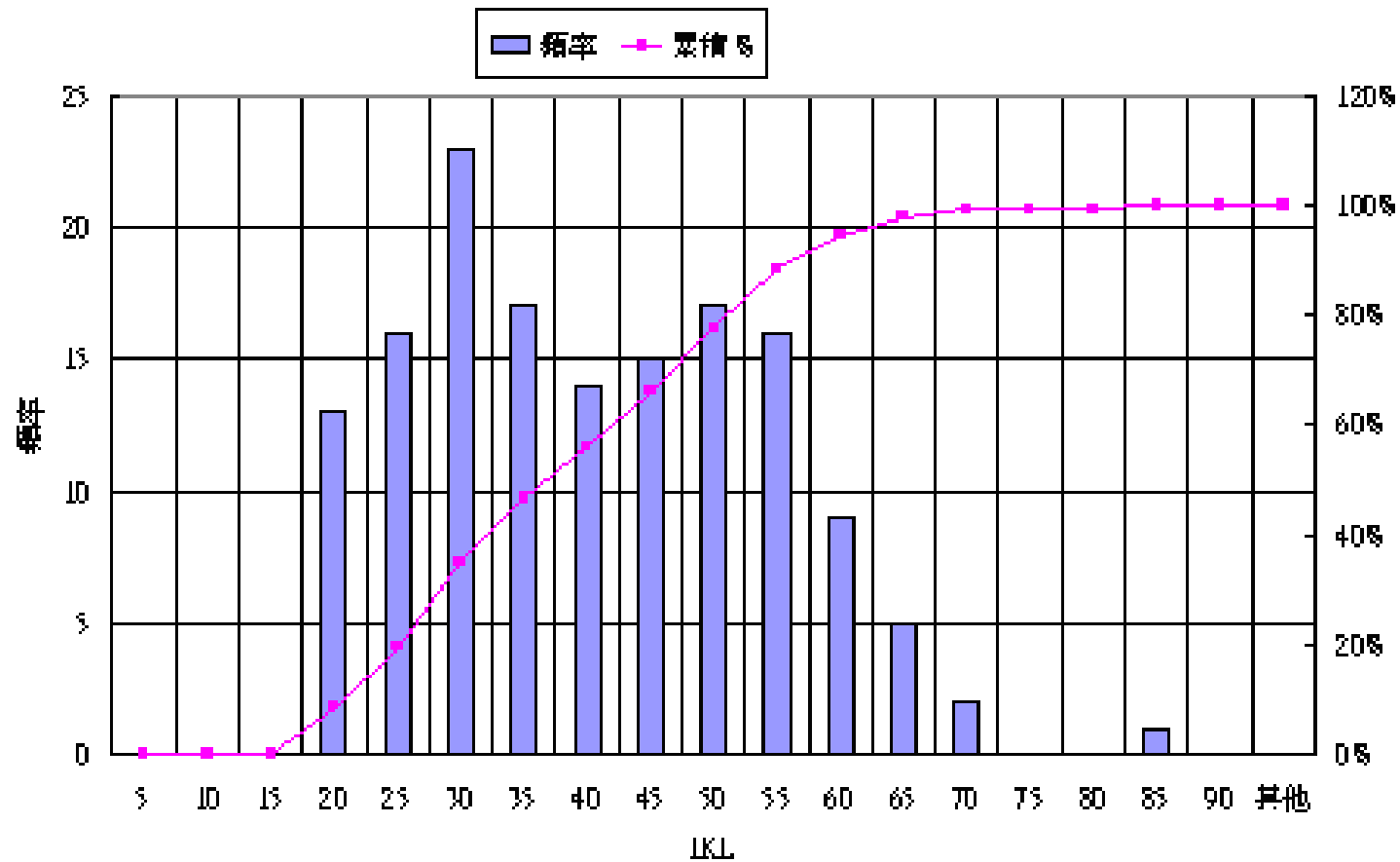
台灣區域之落雷密度推估公式

地區	T_d	落雷密度		計算之迴歸公式
		紀錄值	計算值	
北部平地	29	0.92	0.78	$Ng=0.5539-0.03 T_d +0.0013T_d^2$
北部山區	40	2.92	2.51	$Ng=0.1526+0.0226 T_d +0.0009 T_d^2$
中部平地	79	1.54	1.56	$Ng=0.3745+0.015 T_d$
中部山區	48	2.18	2.21	$Ng= -1.4563+0.066 T_d +0.0002 T_d^2$
南部平地（靠海）	24	2.33	2.29	$Ng= 0.6932+0.0694 T_d$
南部平地（靠山）	58	4.38	4.51	$Ng= -1.4026+0.1013 T_d$
南部山區	45	1.97	2.14	$Ng= -4.511+0.1738 T_d -0.0006 T_d^2$
東部平地	26	0.64	0.61	$Ng= -0.0973+0.0194 T_d +0.0003 T_d^2$
東部山區	14	0.37	0.44	$Ng=0.1193+0.024T_d$

台灣地區IKL換算至落雷密度(GFD)

地區	落雷密度	
	IKL =35	IKL =60
北部平地	1.0964	3.4339
北部山區	2.0461	4.7486
中部平地	0.8995	1.2745
中部山區	1.0987	3.2237
南部平地（靠海）	3.1222	4.8572
南部平地（靠山）	2.1429	4.6754
南部山區	0.837	3.757
東部平地	0.9492	2.1467
東部山區	0.9593	1.5593

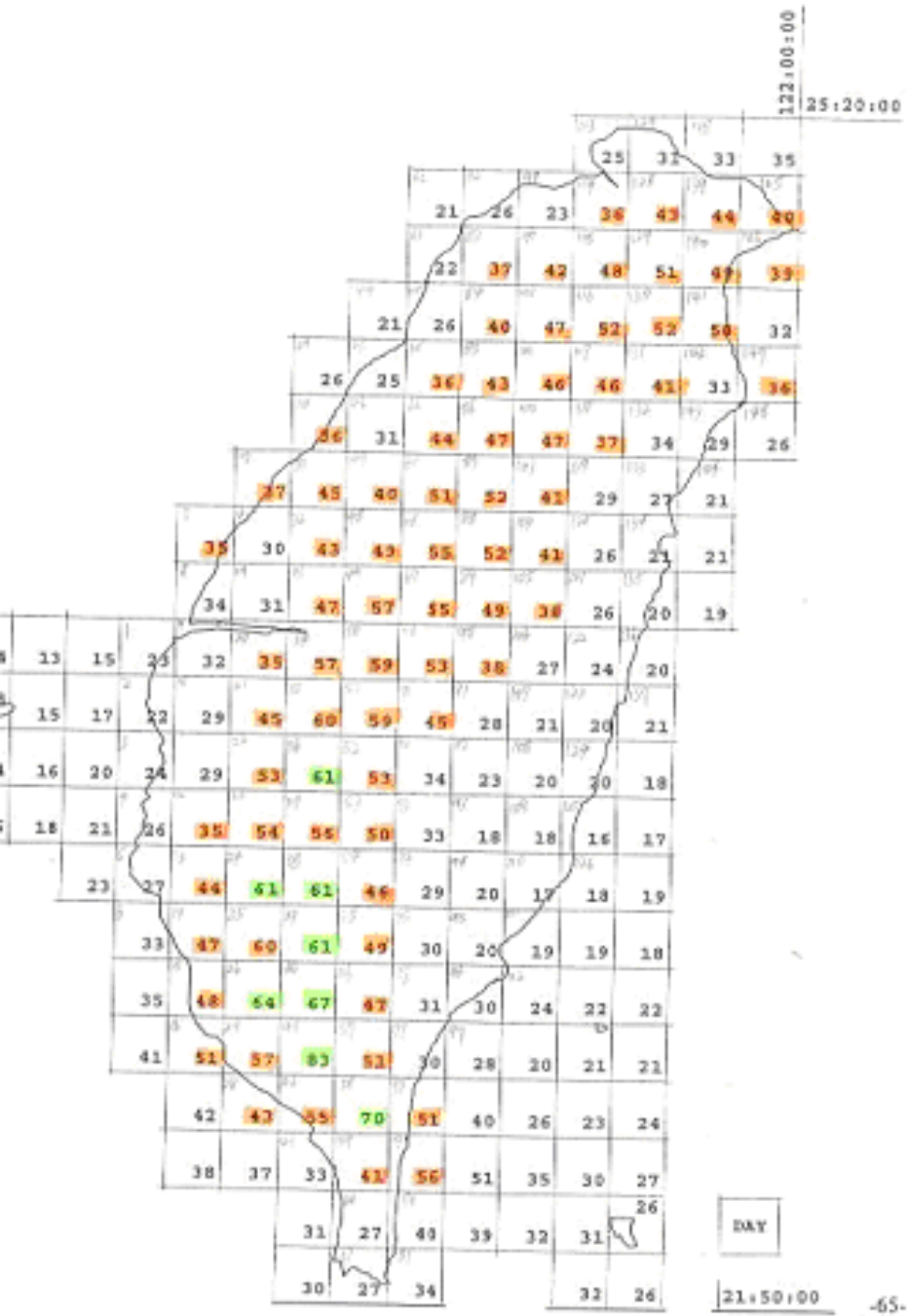
台灣地區IKL統計



台灣地區歷年IKL統計數據

IKL	個數	累積機率	IKL	個數	累積機率
15	0	0.00%	55	16	88.51%
20	13	8.78%	60	9	94.59%
25	16	19.59%	65	5	97.97%
30	23	35.14%	70	2	99.32%
35	17	46.62%	75	0	99.32%
40	14	56.08%	80	0	99.32%
45	15	66.22%	85	1	100.00%
50	17	77.70%	90	0	100.00%

- 台灣陸地地區分為**148**個區域（每區域面積**16.6×16.6**平方公里）
- **IKL**大於**60**以上約佔**5%**（即高落雷區，約有**8**個區域）
- **IKL**介於**35~60**約佔**48%**（中度落雷區，約**71**個區域）
- **IKL**低於**35**約佔**47%**（低度落雷區，約**69**個區域）



台灣地區歷年平均IKL

雷擊電流特性，圖1

雷擊電流之參數（負極性雷）1/2

參數	首次雷擊 (First stroke)		接續雷擊 (Subsequent stroke)	
	平均	標準差	平均	標準差
波前時間, μs				
$T_{10/90}$	4.5	0.576	0.75	0.921
$T_{30/90}$	2.3	0.553	0.67	1.013
$t_m = I_F / S_m$	1.28	0.611	0.308	0.708
上升率 $\text{kA}/\mu\text{s}$				
S_m , 最大值	24.3	0.599	39.9	0.852
S_{10} , at 10%	2.6	0.921	18.9	1.404
$S_{10/90}$, 10-90%	5.0	0.645	15.4	0.944
$S_{30/90}$, 30-90%	7.2	0.622	20.1	0.967

雷擊電流之參數（負極性雷） 2/2

參數	首次雷擊 (First stroke)		接續雷擊 (Subsequent stroke)	
	平均	標準差	平均	標準差
峰值, kA				
I _I , Initial	27.7	0.461	11.8	0.530
I _F , Final	31.1	0.484	12.3	0.530
Initial/Final	0.9	0.230	0.9	0.207
波尾, t _n , μs	77.5	0.577	30.2	0.933
等效電荷量, C	4.65	0.882	0.938	0.882
電流平方積分, (kA) ² *sec	0.057	1.373	0.0055	1.366
雷擊間隔, μs	-	-	35	1.066

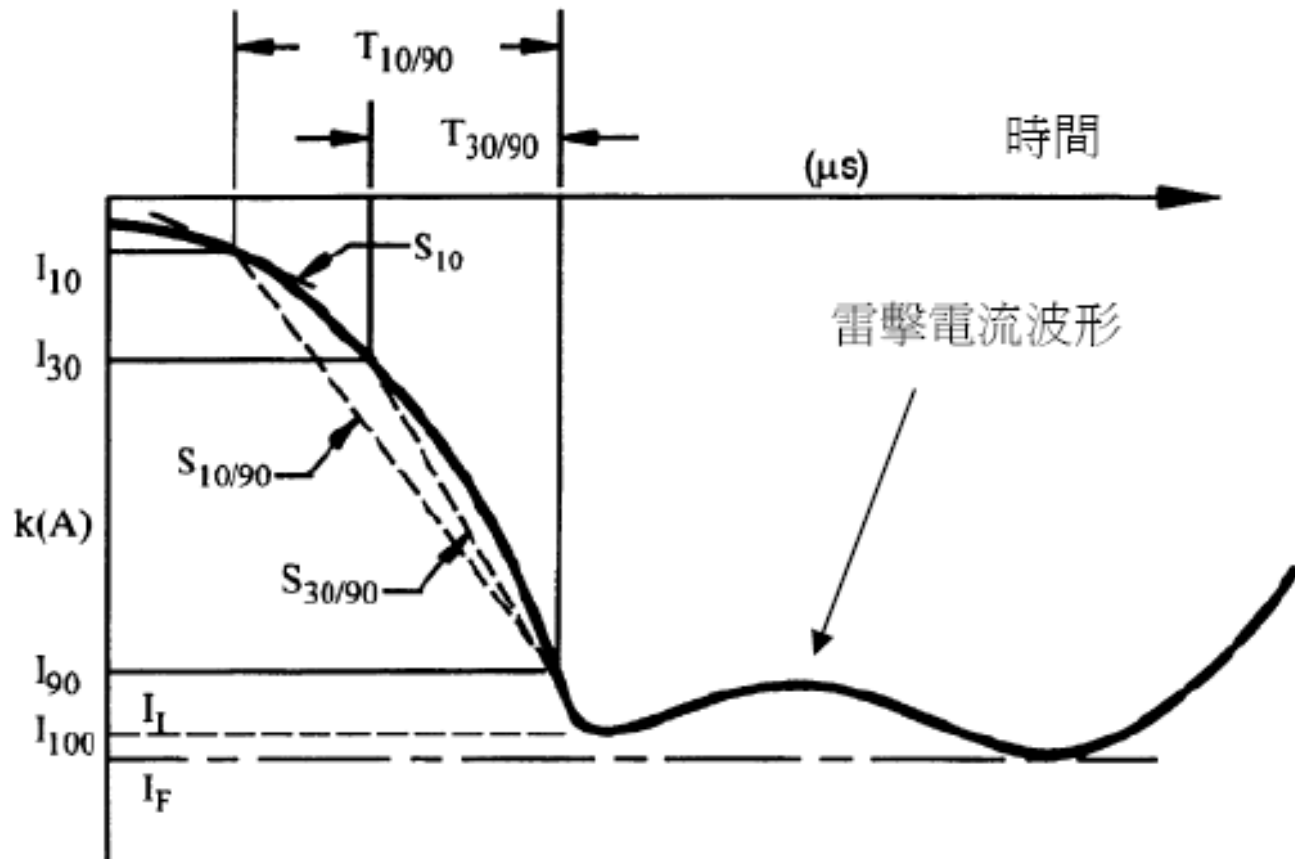


圖1：CIGRE統計雷擊電流之參數定義

台灣地區雷電流機率分佈

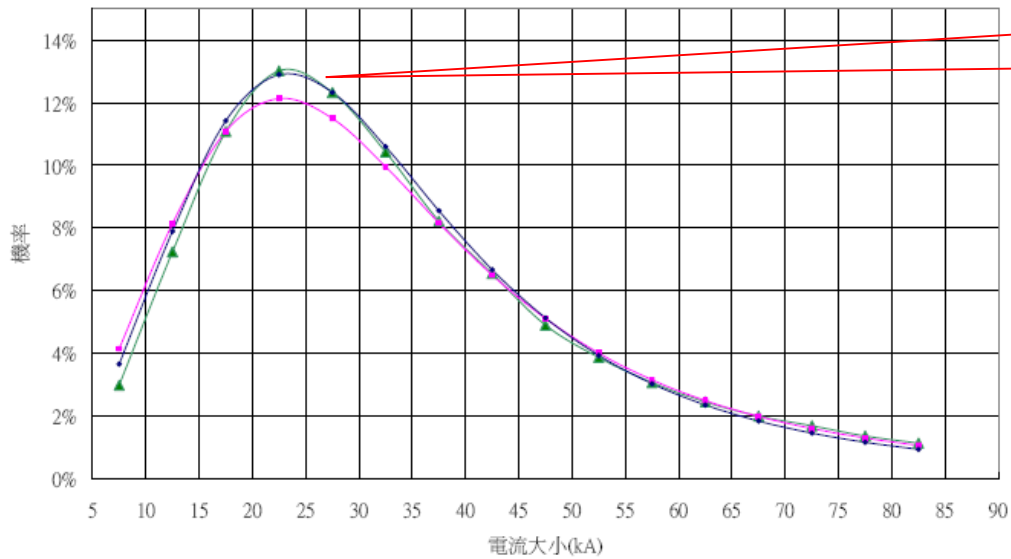
IEEE

$$P(I_0 \geq i_0) = \frac{1}{1 + (i_0 / 31)^{2.6}}$$

台灣地區

$$P(I_0 \geq i_0) = \frac{1}{1 + (i_0 / 30.5)^{2.78}}$$

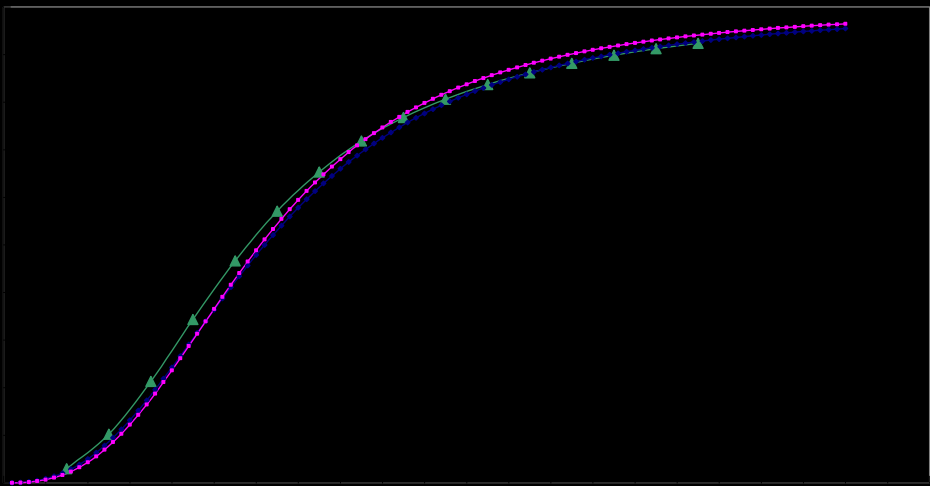
▲ 記錄值 ◆ IEEB模型 ● 模型(台灣)



台灣地區20kA~
35kA分佈較高

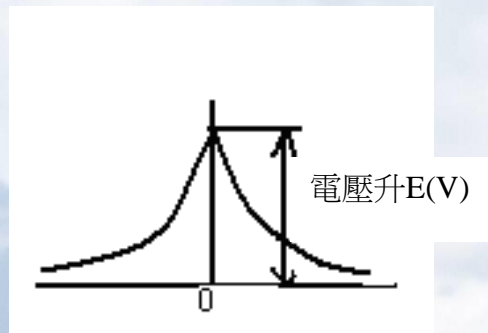
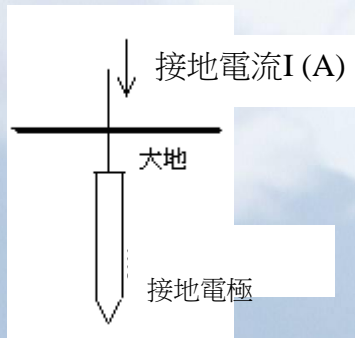
台灣地區雷擊電流分佈機率
曲線

▲ 記錄值 ● 模型(台灣) ◆ IEEB模型



台灣地區雷擊電流累積機
率曲線

接地



概述

- 接地之目的有為求安全，也有為求電路安定，在此就接地目的將接地可分為電力系統的接地、設備接地、避雷系統用的接地、電子系統用的接地、陰極防蝕用的接地、防止靜電災害用的接地、接地故障檢出用接地及等電位化用之接地等。
- 因電力系統故障、雷擊突波等而產生之異常突波電流，為使接地系統能迅速洩放，則接地系統的接地阻抗必須愈低愈好，所引起的大地電位湧升也就愈低。

- 接地系統對人員及設備的**安全**有相當大的影響，於現行規範皆以**接地電阻值**來判斷接地系統的好壞
- 單靠接地電阻值並不足以明確瞭解接地安全的相關特性，諸如**地表電位**、**步間電壓**（step voltage）、**地表電場及磁場**等

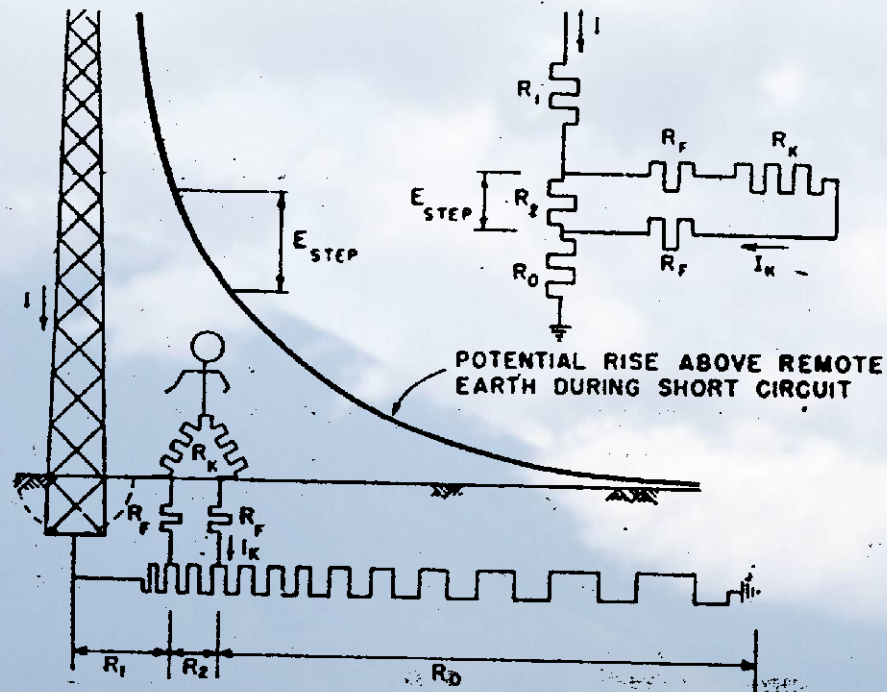


Figure 2. Step potentials near grounded structure

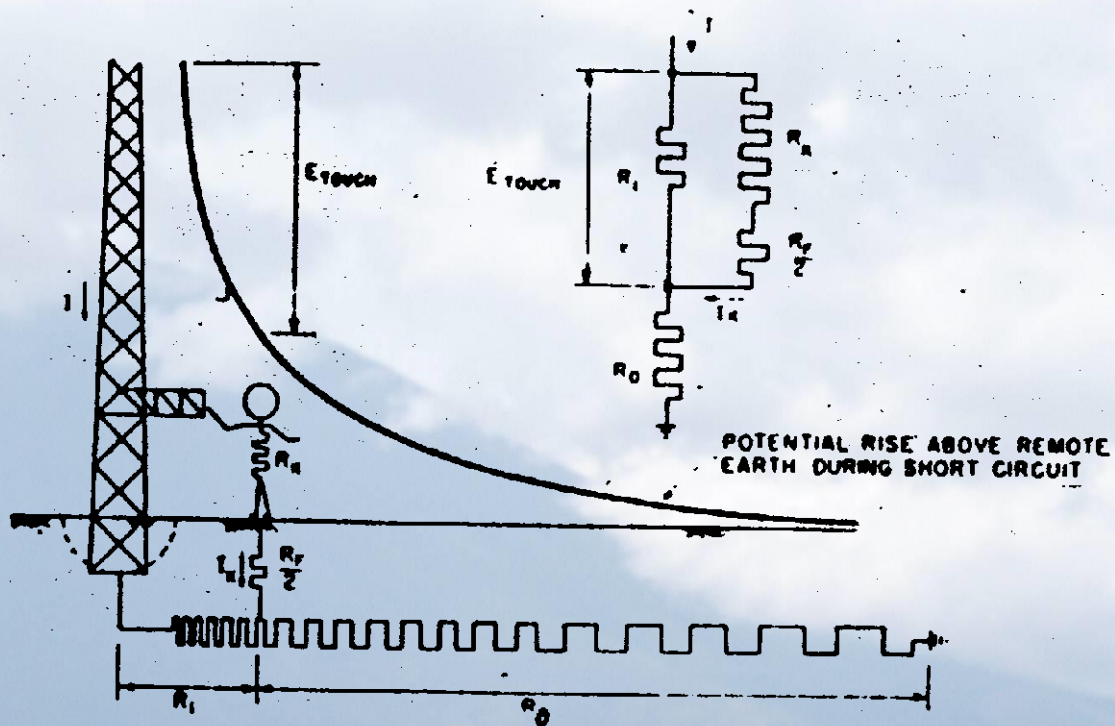


Figure 3. Touch potentials near grounded structure

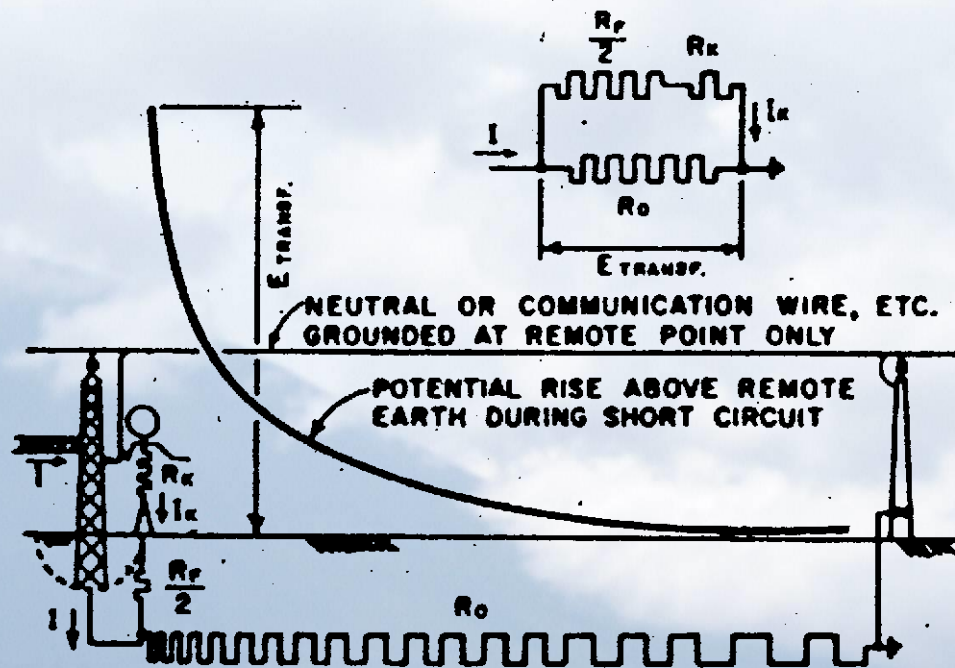
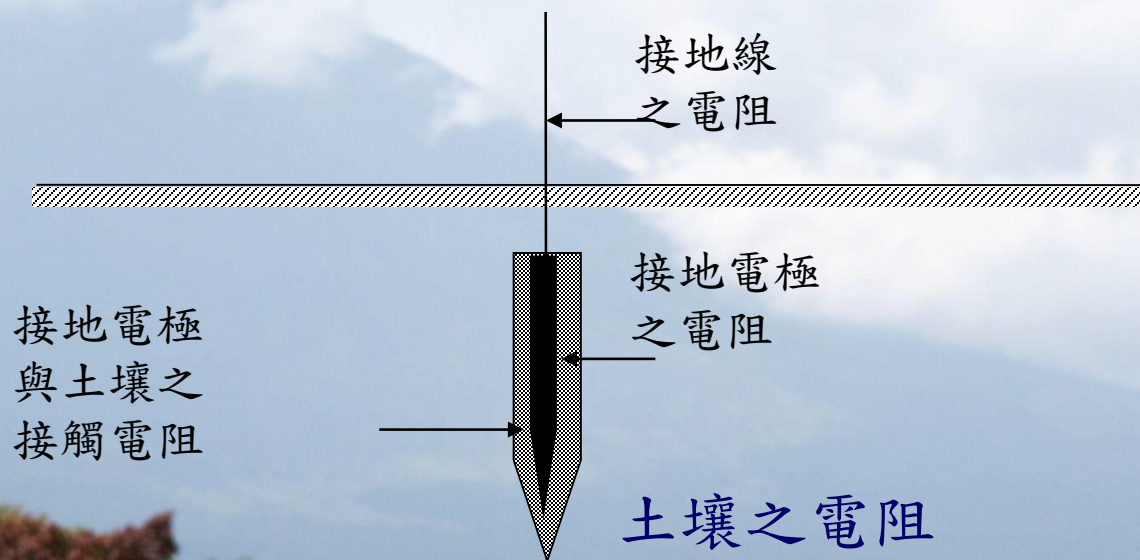


Figure 4. Example of hazard from transferred potential

接地電阻之構成要素

- (1) 接地線、接地電極之導體電阻。(極小)
- (2) 接地電極表面及與其相接土壤間的接觸電阻。(小)
- (3) 接地電極周圍土壤所呈現之電阻。(最大)



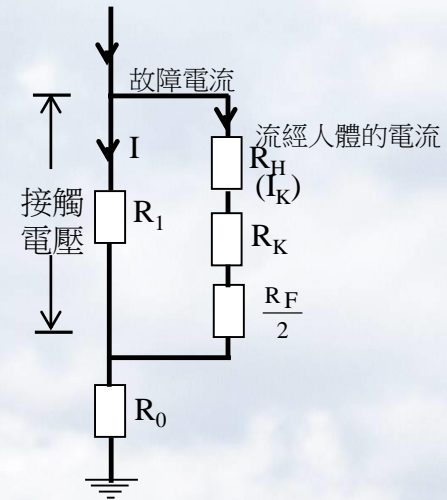
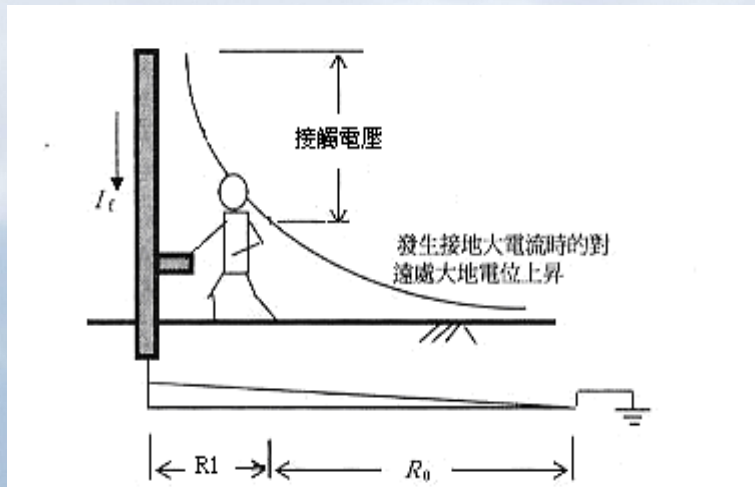
影響大地電阻係數之因素

- **土壤之種類**：分為泥、粘土、砂、砂岩等四大類，其有個別電阻係數。
- **土中含水量**：土壤之顆粒若存在水分，則電阻係數將會急遽下降。
- **溫度**：當溫度高時則土壤電阻係數減小
- **其他**：土壤所含水分之化學成分、土壤之粗密(密合情形)等。

降低接地電阻的方法

- 並聯接地與集合效應
- 擴大接地極和接地網尺寸
- 電極深埋法
- 化學減低法

接觸電壓表示圖及接觸電壓等效圖



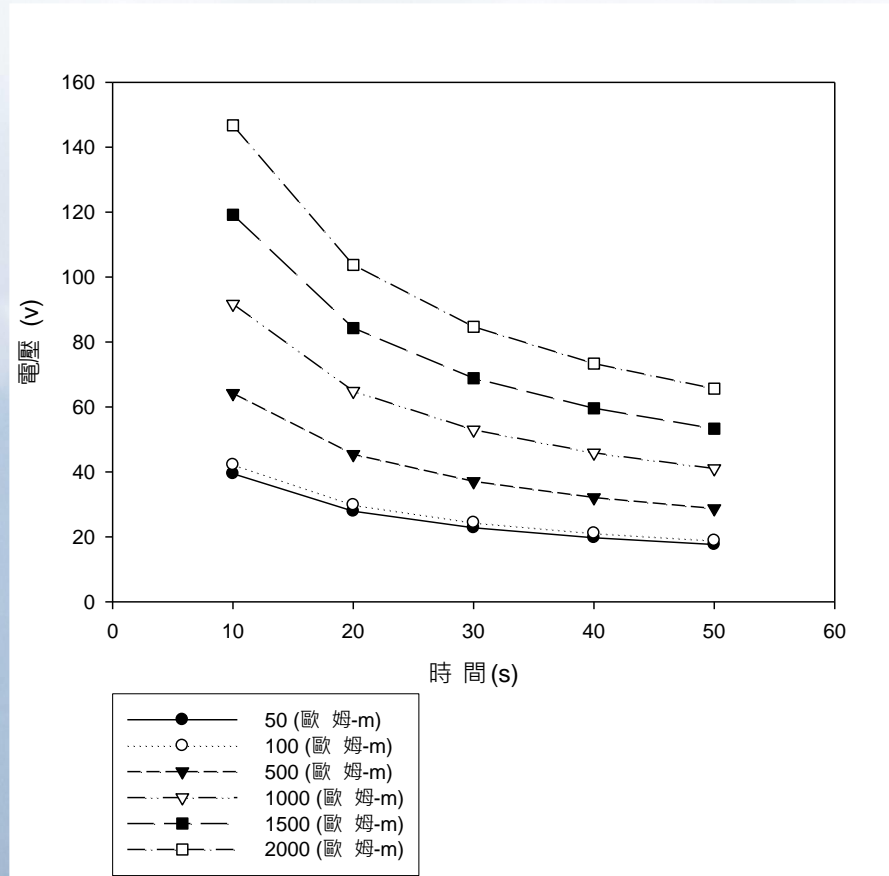
- 美國的Dalziel一電事故的危險程度應基於與功率成比例來加以考慮，而他也推斷出感電電流（有效值）的臨界值 I 與作用時間t的關係如下[3, 4]：
- 以50KG為例
- $IK = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ mA}$
- 以70KG為例
- $IK = \frac{0.157}{\sqrt{t}} \text{ mA}$
- 其中：IK為流經人體的電流(mA)
- t為作用時間（流經人體電流的持續時間）一，

•

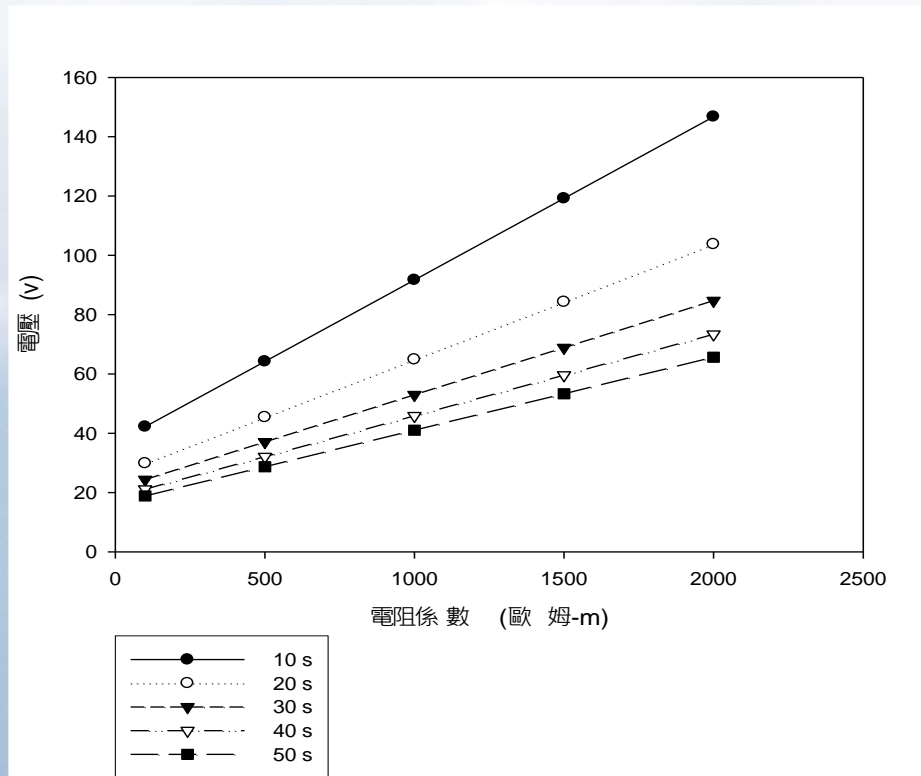
- 通常假設手和腳的接觸電阻是 0Ω （即 $R_H = 0\Omega$ ）、 R_K 是 1000Ω 、 R_F 等於 $3\rho_S[4]$ ，則：

- $$E_{\text{touch}} = \frac{(1000 + 1.5\rho_S)(0.116)}{\sqrt{t}} = \frac{116 + 0.174\rho_S}{\sqrt{t}} \quad (\text{V}) \quad 3$$

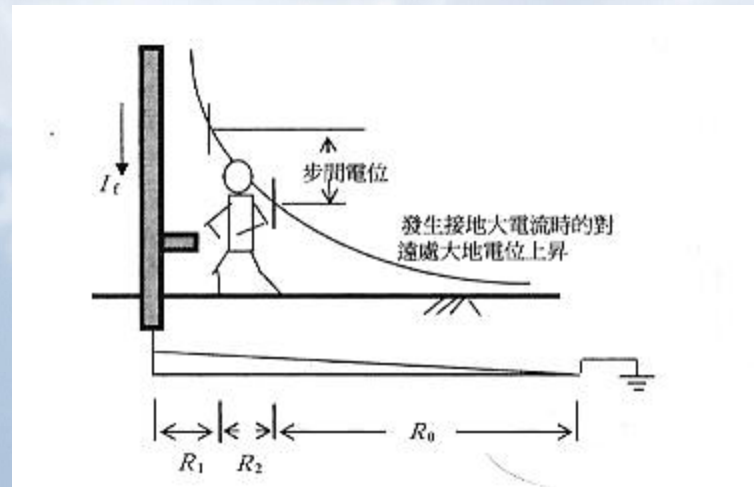
電阻係數固定，時間與接觸電壓的關係圖



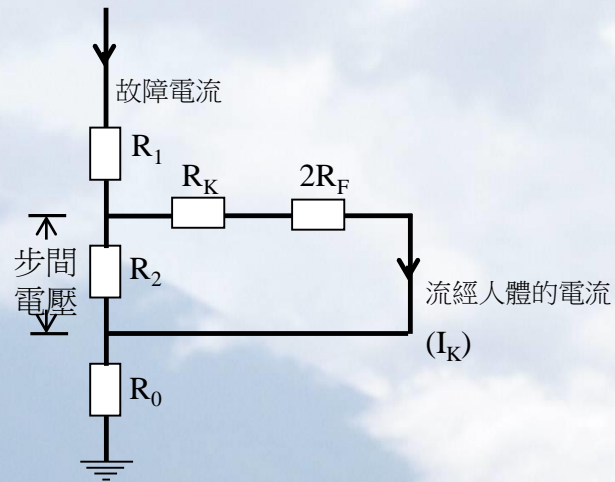
時間固定，電阻係數與接觸電壓的關係圖



步間電壓示意圖



步間電壓等效電路圖



- 步間電壓的容許值 E_{step} 可表示成下式[7]：
- $E_{step} = (R_k + 2R_F) I_k$ (6)

- 其中：
- I_k ：容許流經人體的電流
- R_k ：人體電阻，通常以 1000Ω 計算
- R_F ：單足的接地電阻(通常 R_F 等於3)
- 體重以 50kg 為例的步間電壓

- $I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$ mA 代入(6)

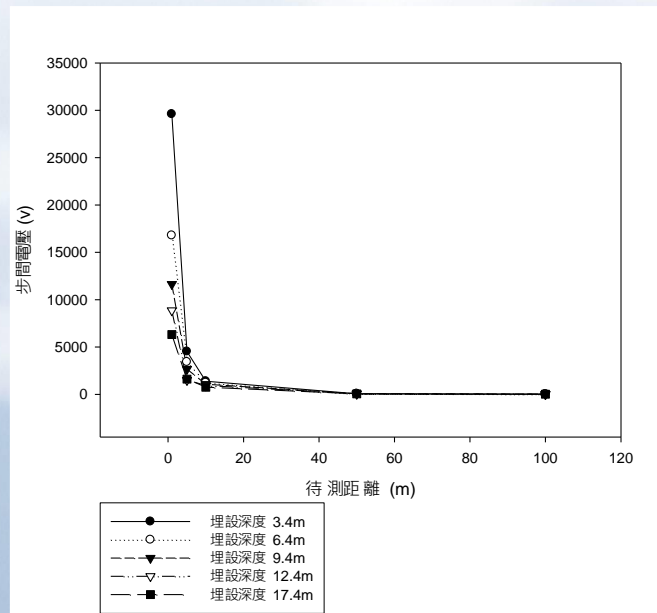
- $E_{step} = \frac{116 + 0.696\rho_s}{\sqrt{t}}$ (7)

- 體重以 70kg 為例的步間電壓

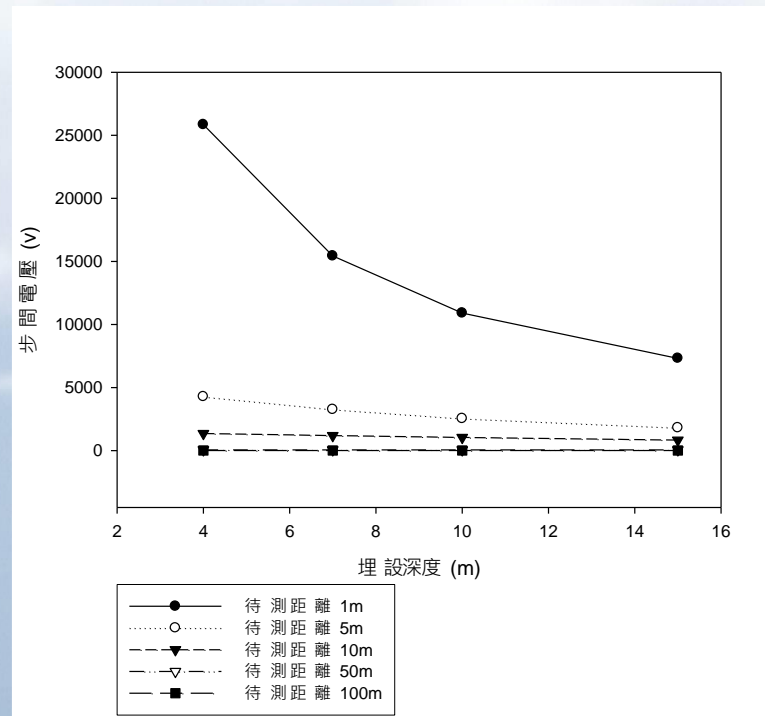
- $E_{step} = \frac{157 + 0.942\rho_s}{\sqrt{t}}$ (8)

- 其中：
- ρ_s ：大地電阻係數 ($\Omega\cdot\text{m}$)
- t ：作用時間 (流經人體電流的持續時間) $\rightarrow \infty$

埋設深度固定，待測距離與步間電壓的關係圖



埋設深度與步間電壓的關係圖



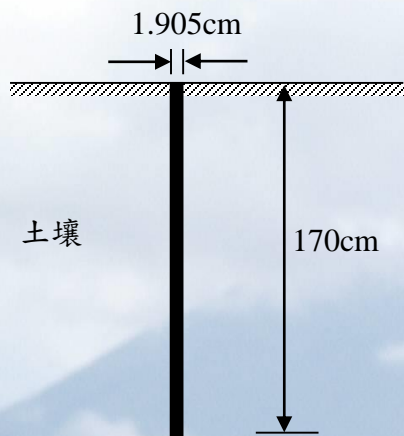
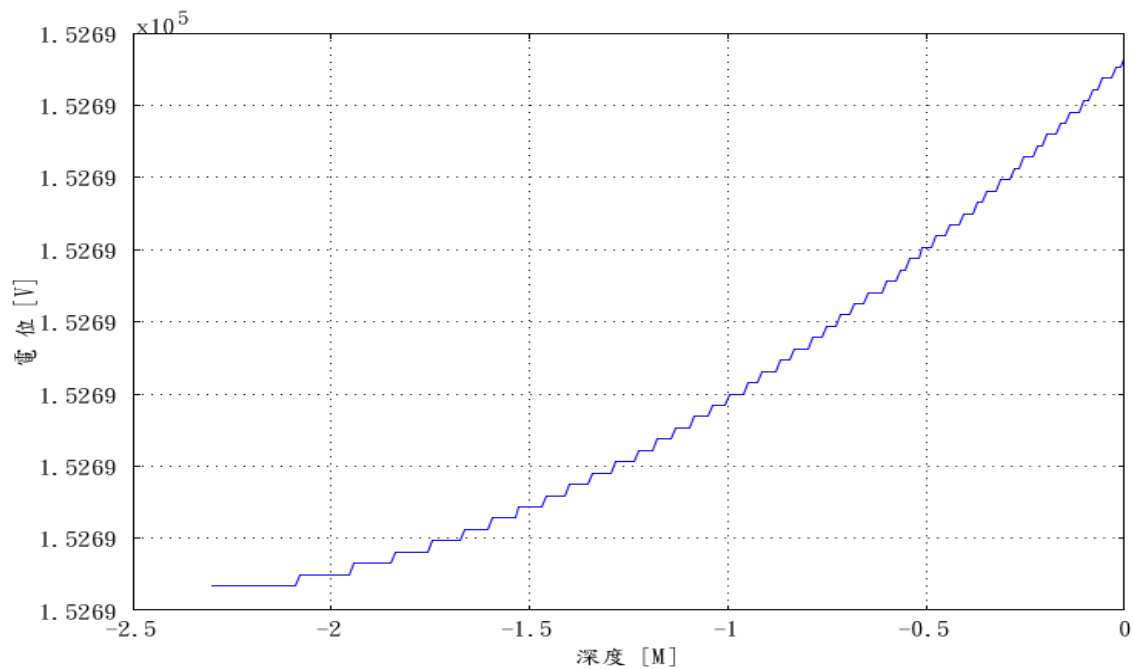
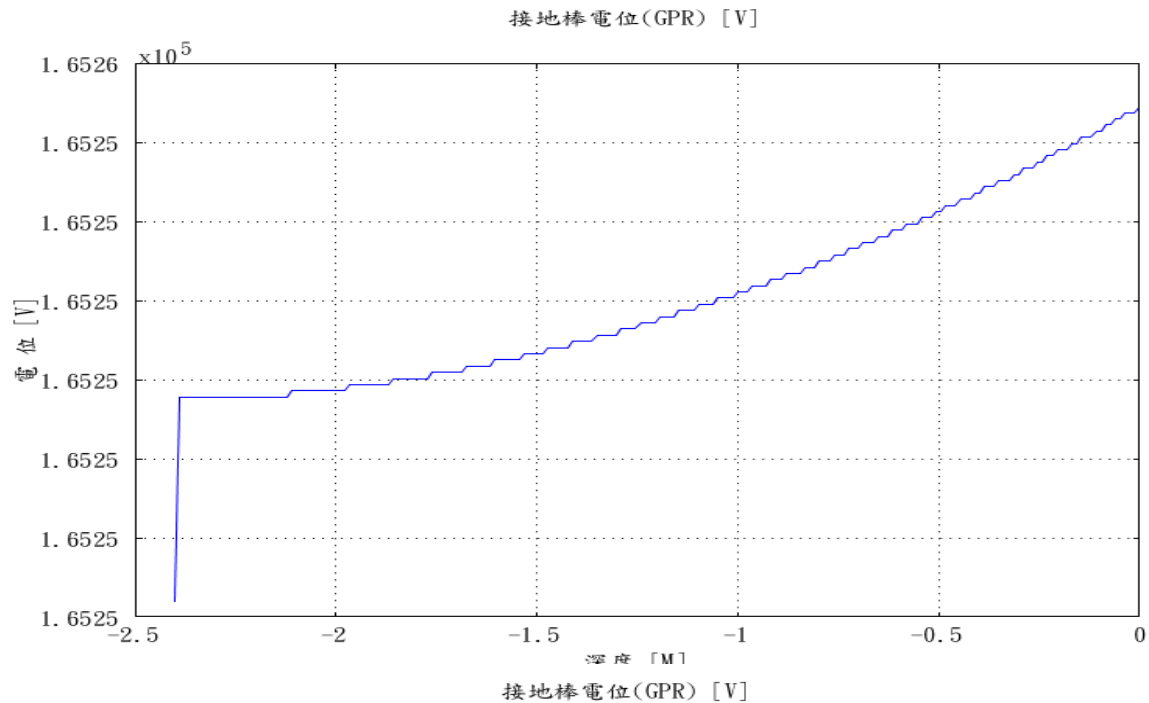
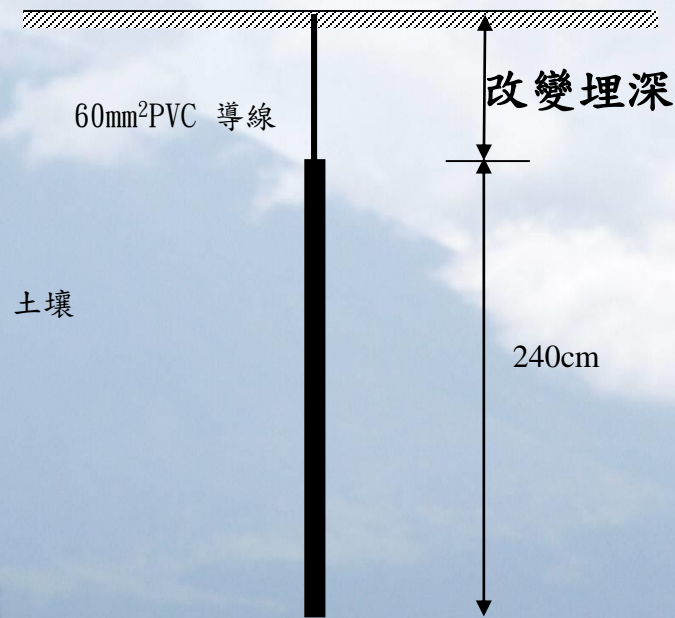


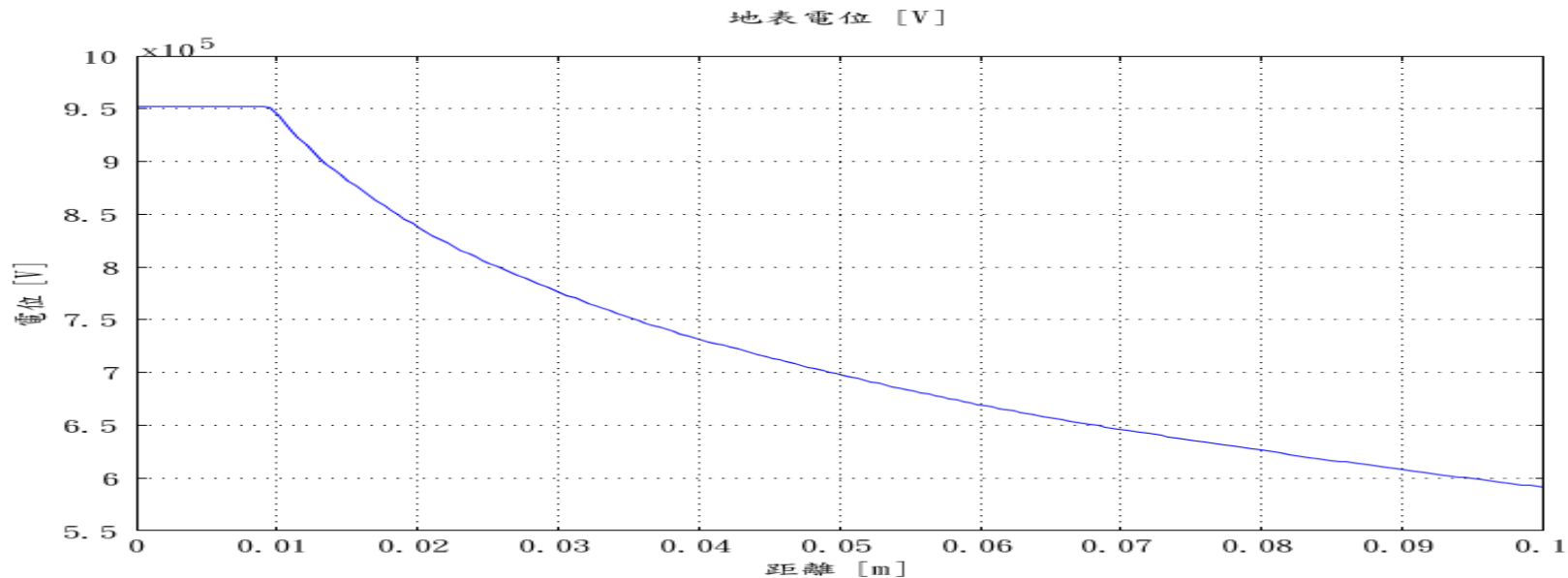
圖4-1 比對模型之接地棒埋設方式



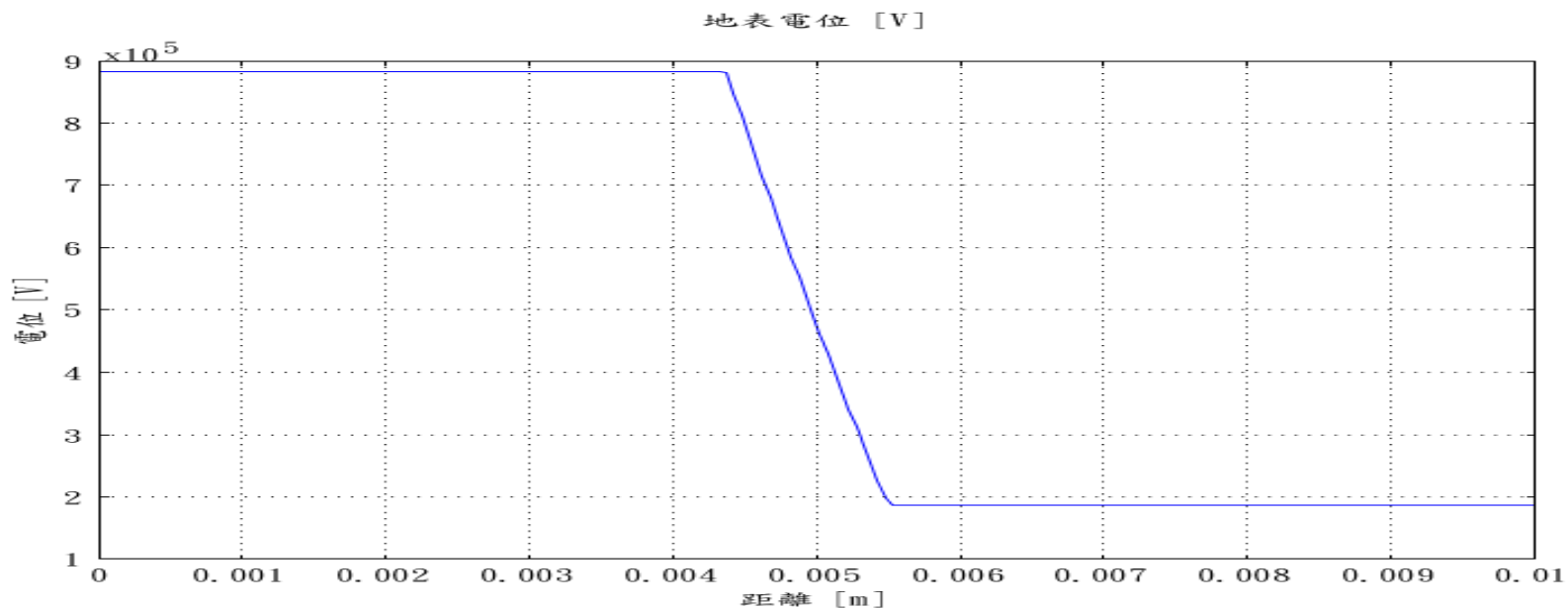
- 土壤電阻係數為 $250\ \Omega\text{-m}$ ，改變接地棒埋入地下深度 0m （切齊地表）、 1m 、 3m 、 5m ，埋設方式如圖所示。



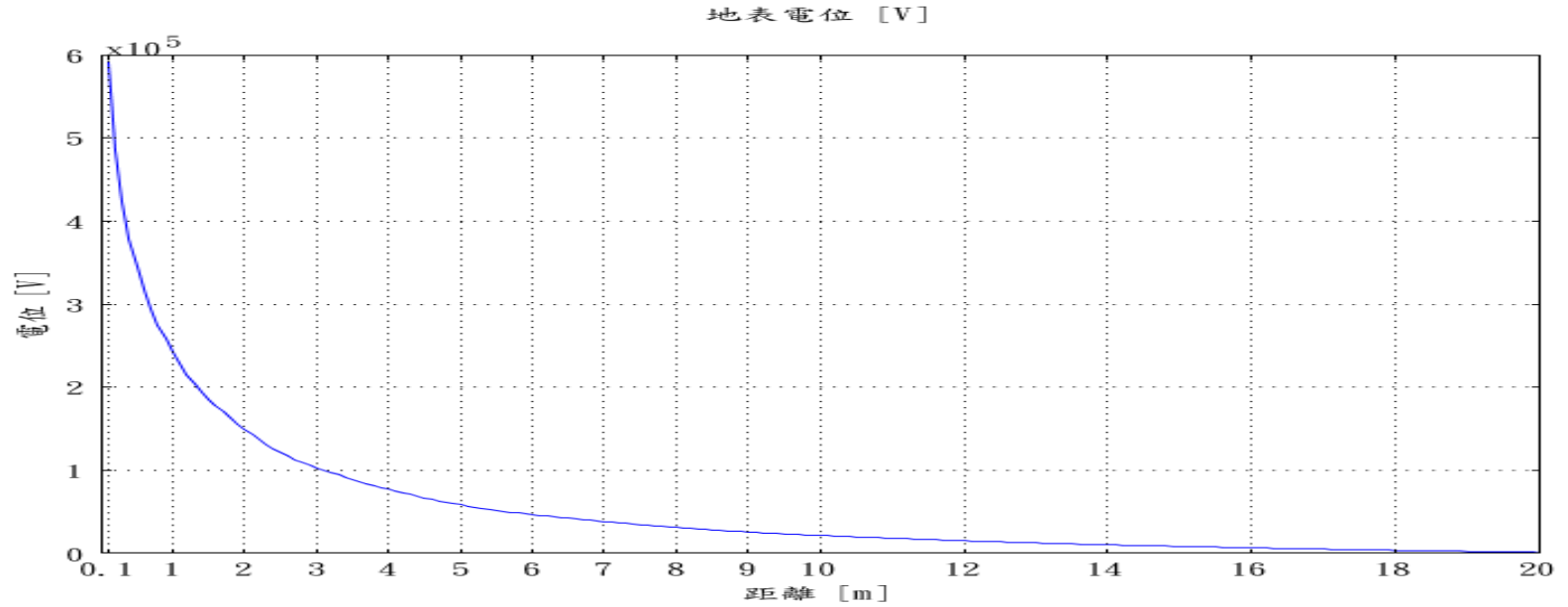
案例1 接地棒埋設深度為0m之地表電位模擬結果



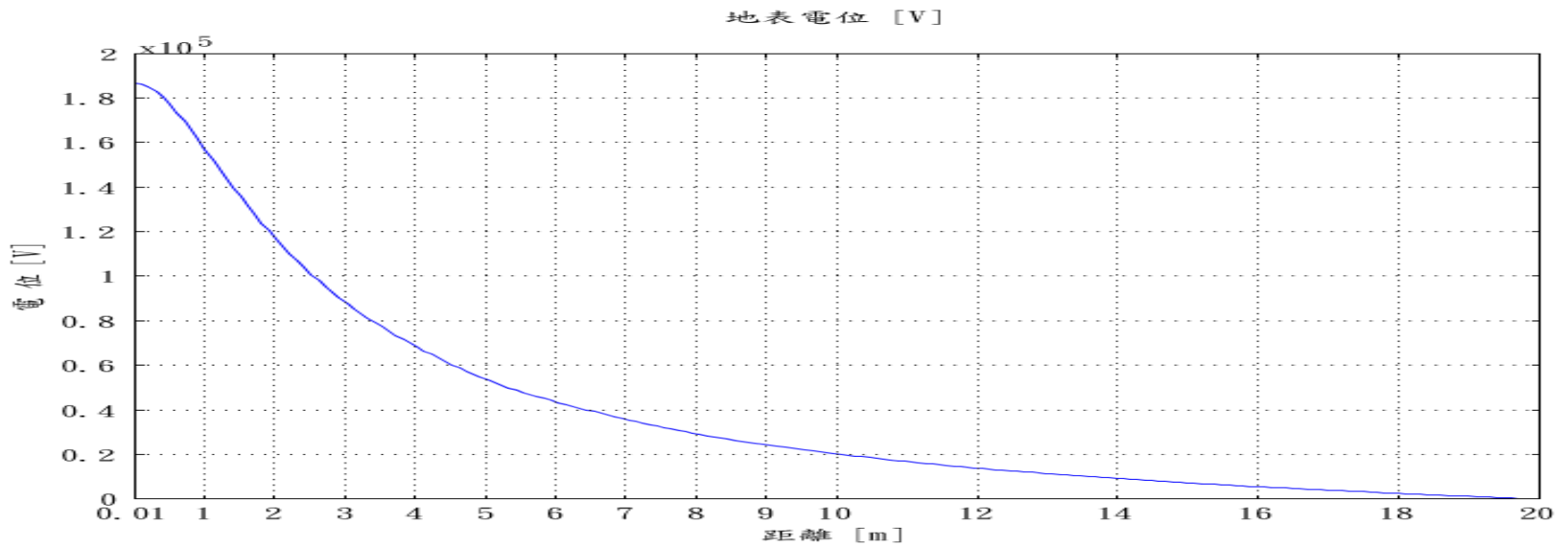
案例1 接地棒埋設深度為1m之地表電位模擬結果



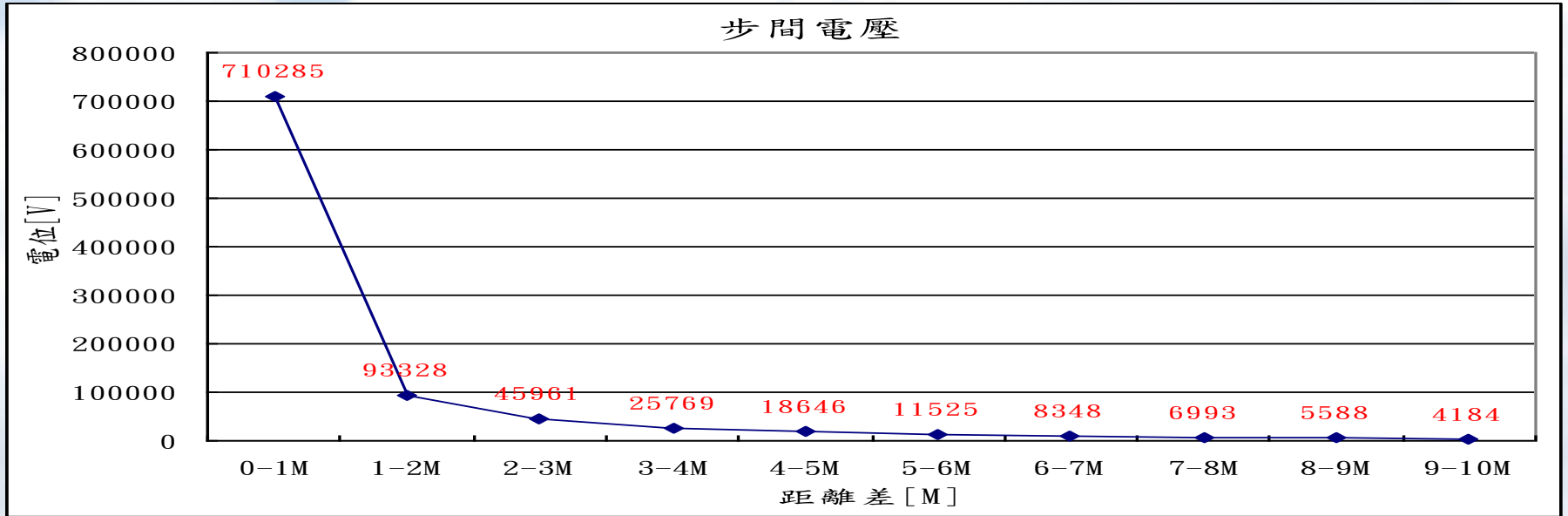
案例1 接地棒埋設深度為0m之地表電位模擬結果



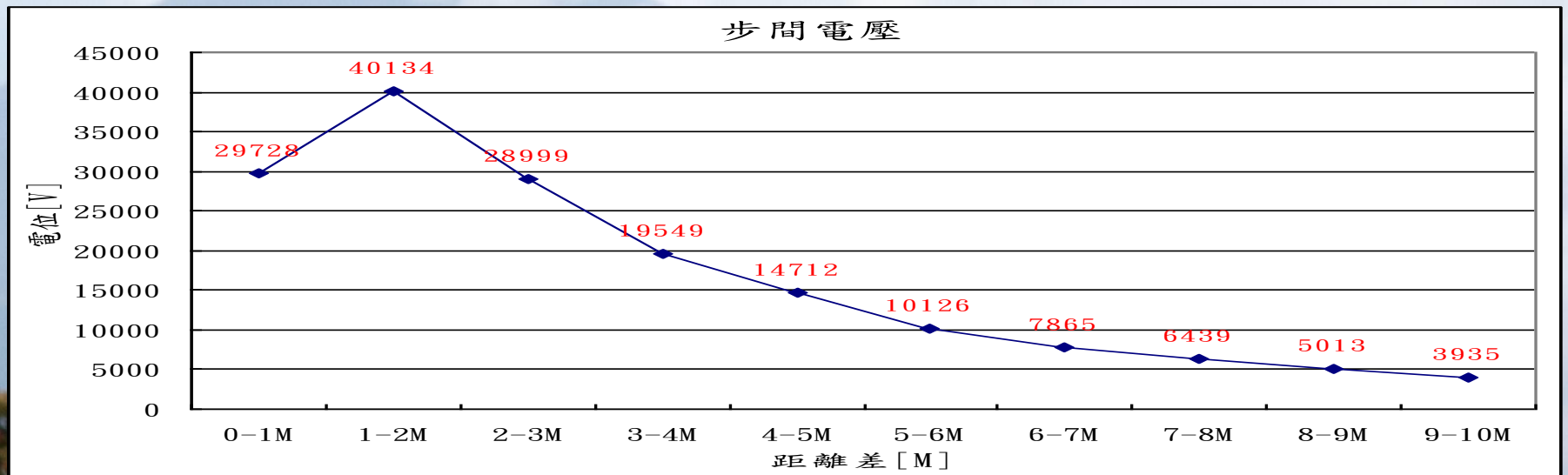
案例1 接地棒埋設深度為1m之地表電位模擬結果



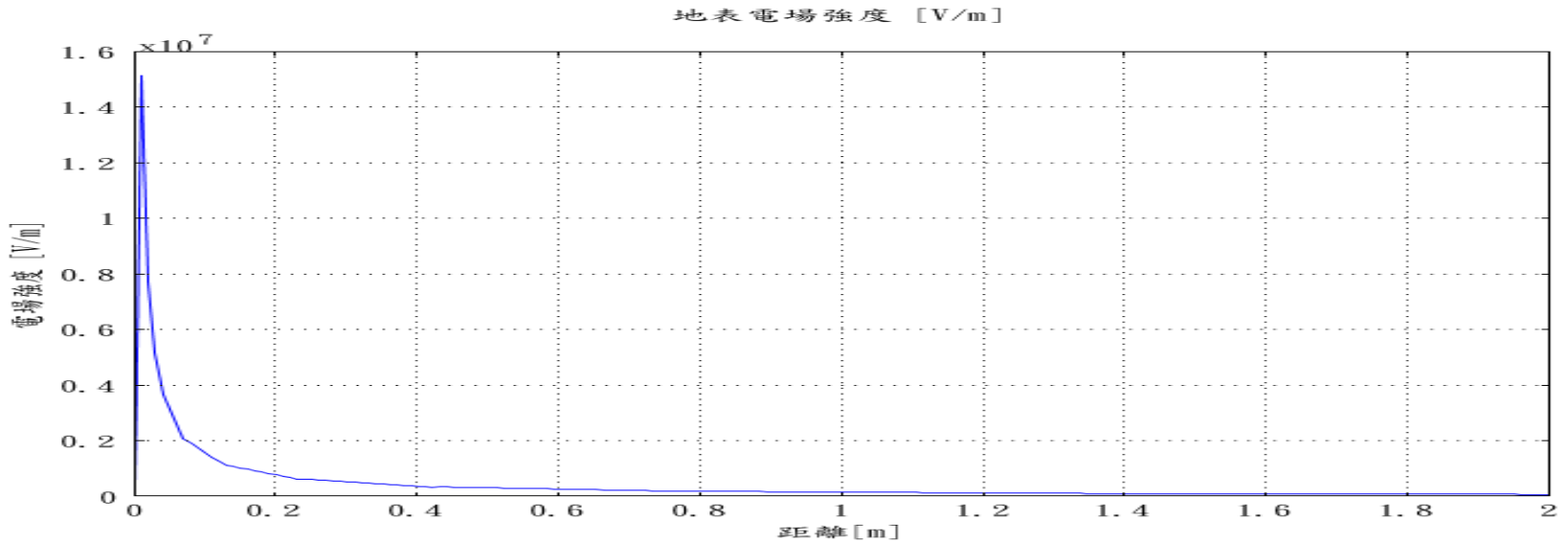
案例1接地棒埋設深度為0m之步間電壓模擬結果



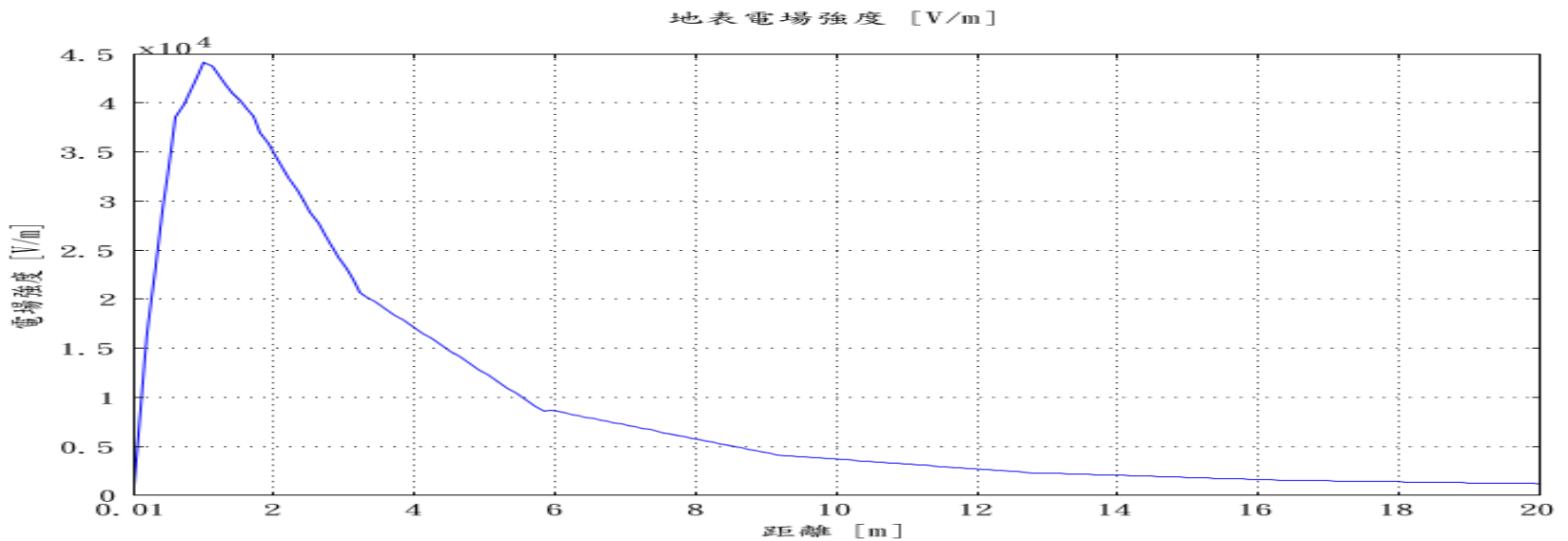
案例1接地棒埋設深度為1m之步間電壓模擬結果



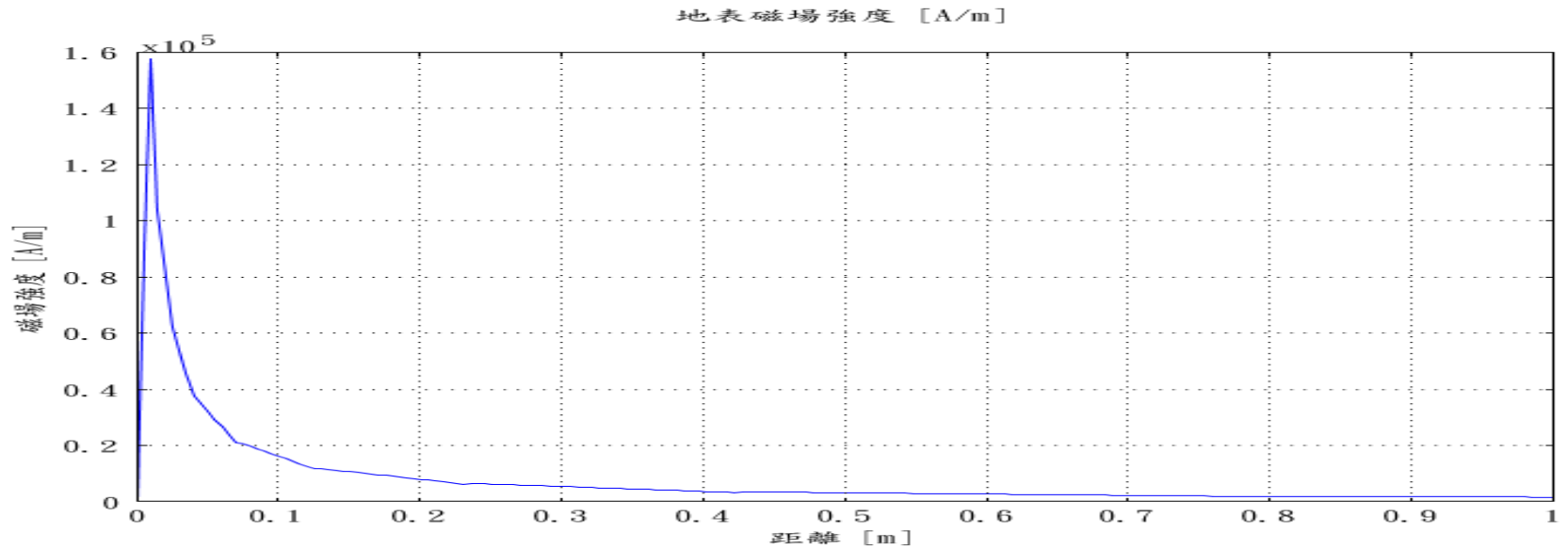
案例1 接地棒埋設深度為0m之地表電場強度模擬結果



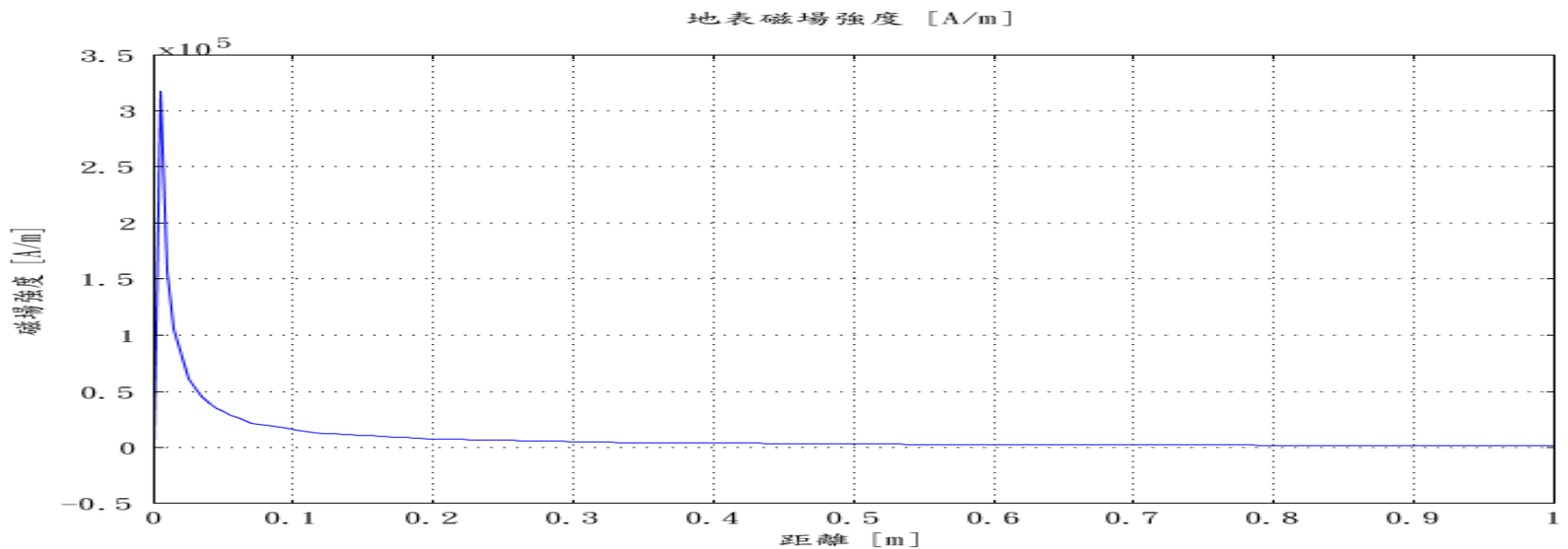
案例1 接地棒埋設深度為1m之地表電場強度模擬結果



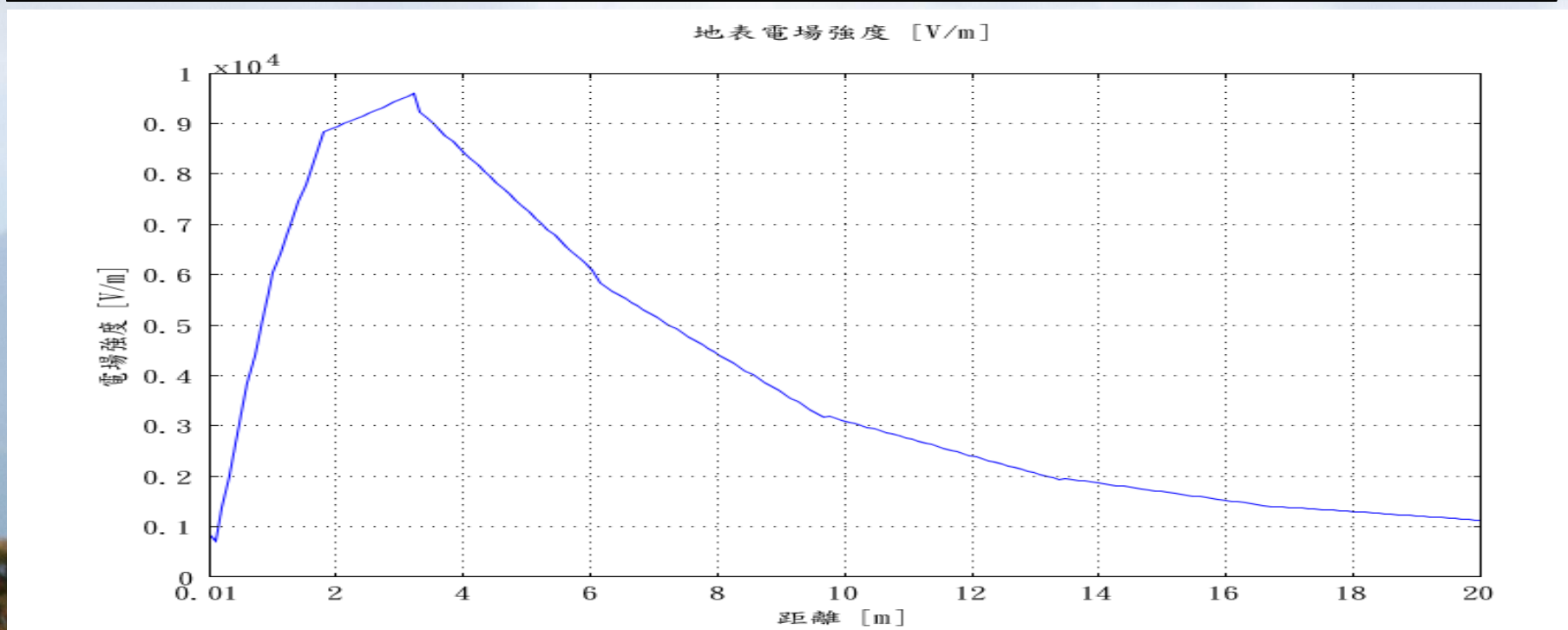
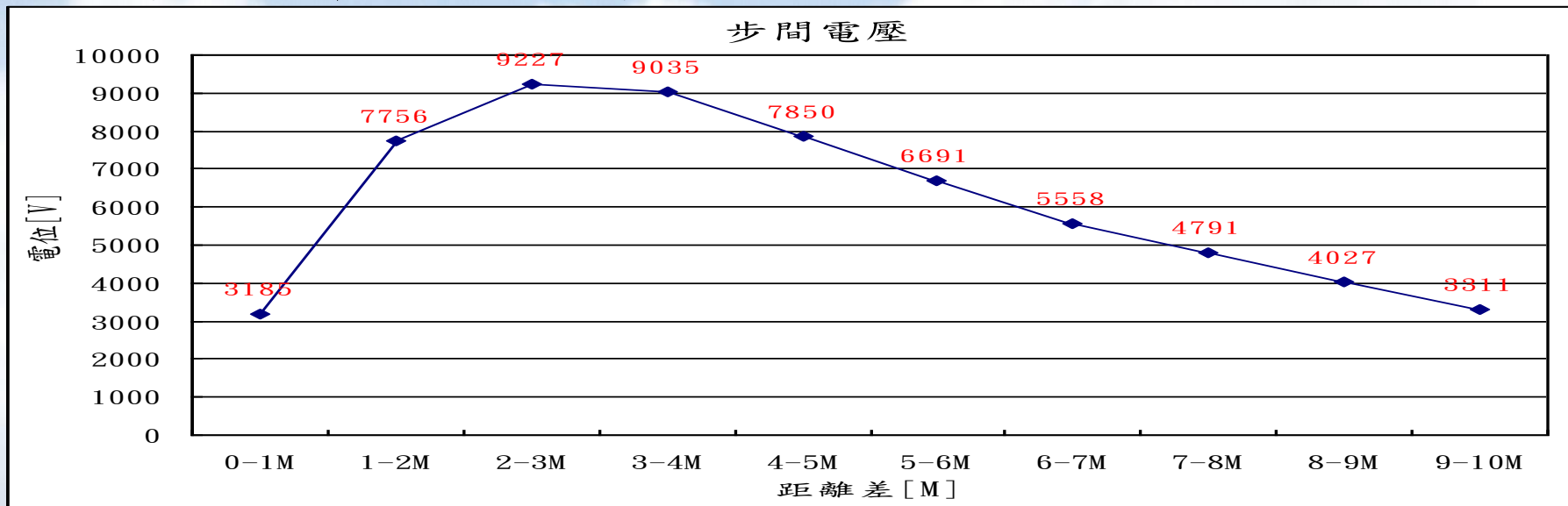
案例1 接地棒埋設深度為0m之地表磁場強度模擬結果



案例1 接地棒埋設深度為1m之地表磁場強度模擬結果



案例1 接地棒埋設深度為3m之模擬結果



案例1模擬結果綜合比較

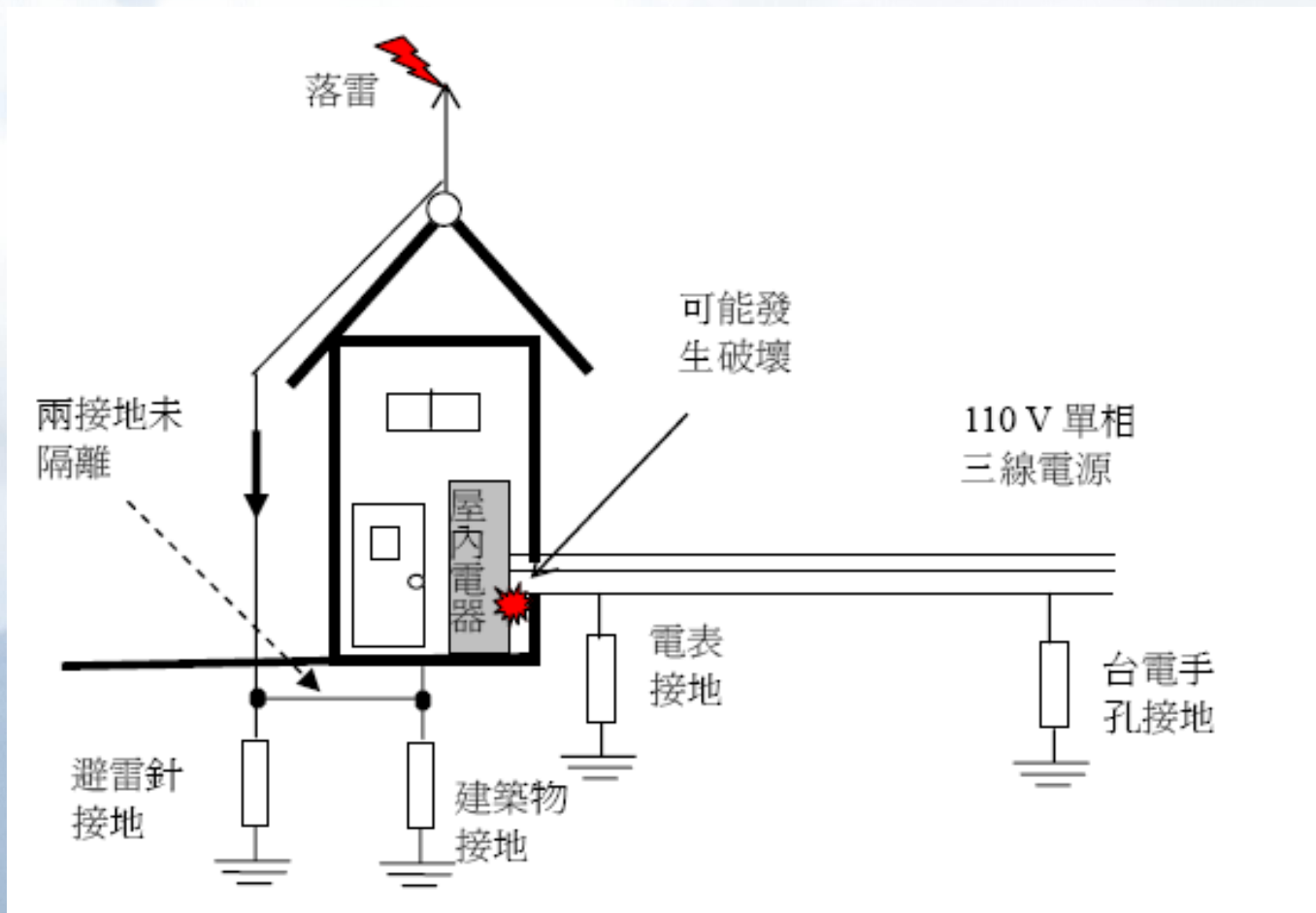
接地棒埋設深度(m)	0m	1m	3m	5m
接地電阻(Ω)	95.19	88.27	85.85	85.08
GPR(V)	951912	882745	858477	850764
地表土壤電位(V) (max)	944577	188625	79522	46880
步間電壓(V) (max)	710285 (0-1m)	41830 (0.6-1.6m)	9377 (2.5-3.5m)	4102 (3.1-4.1m)
地表電場強度(V/m) (max)	1.56×10^7	44488	9597	4156
地表磁場強度(A/m) (max)	163685	319213	319210	319213

- 於均質土壤中，當土壤電阻係數不變，改變接地棒埋設深度由0m至1m時，GPR（亦同接地電阻值）降幅為最大（達7.3%），惟接地棒埋設深度至3m以下時，GPR降幅即相當微小（埋設深度3m變為5m降幅為0.9%）

案例1模擬結果綜合比較（續）

- 於地表土壤電位、步間電壓及地表電場強度部分，當增加接地棒埋入土壤深度時，可大幅降低其最大值。
- 地表電場強度隨埋設深度增加，其最大值發生處，有距原點往後移趨勢，其原因應係土壤中洩漏電流分佈改變。
- 地表磁場強度則受導體（導線及接地棒）電流分佈影響最大，且其隨距離衰減迅速，模擬結果顯示當距離接地棒1m後地表處後，其地表磁場強度已微乎其微。

社區雷擊案例



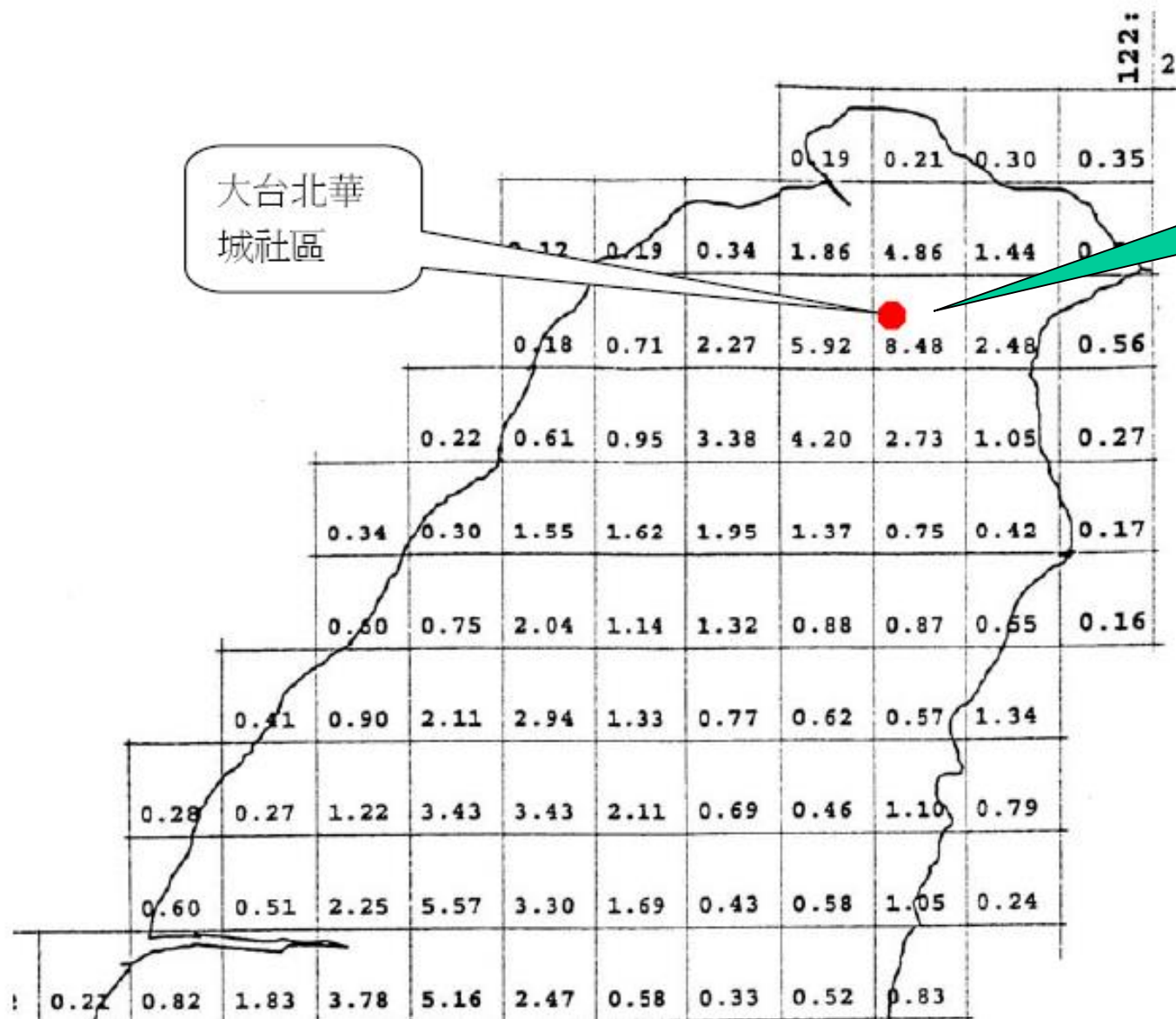
用戶避雷針接地示意圖

環境描述

- 該地區用戶多自行裝設避雷針，遭雷擊後，發生電器燒損事件，包括水塔配水池馬達控制電路。
- 供電電壓一次側為22.8kV，用戶端為110/220V，單相三線式，變壓器為亭置式採V接送電。

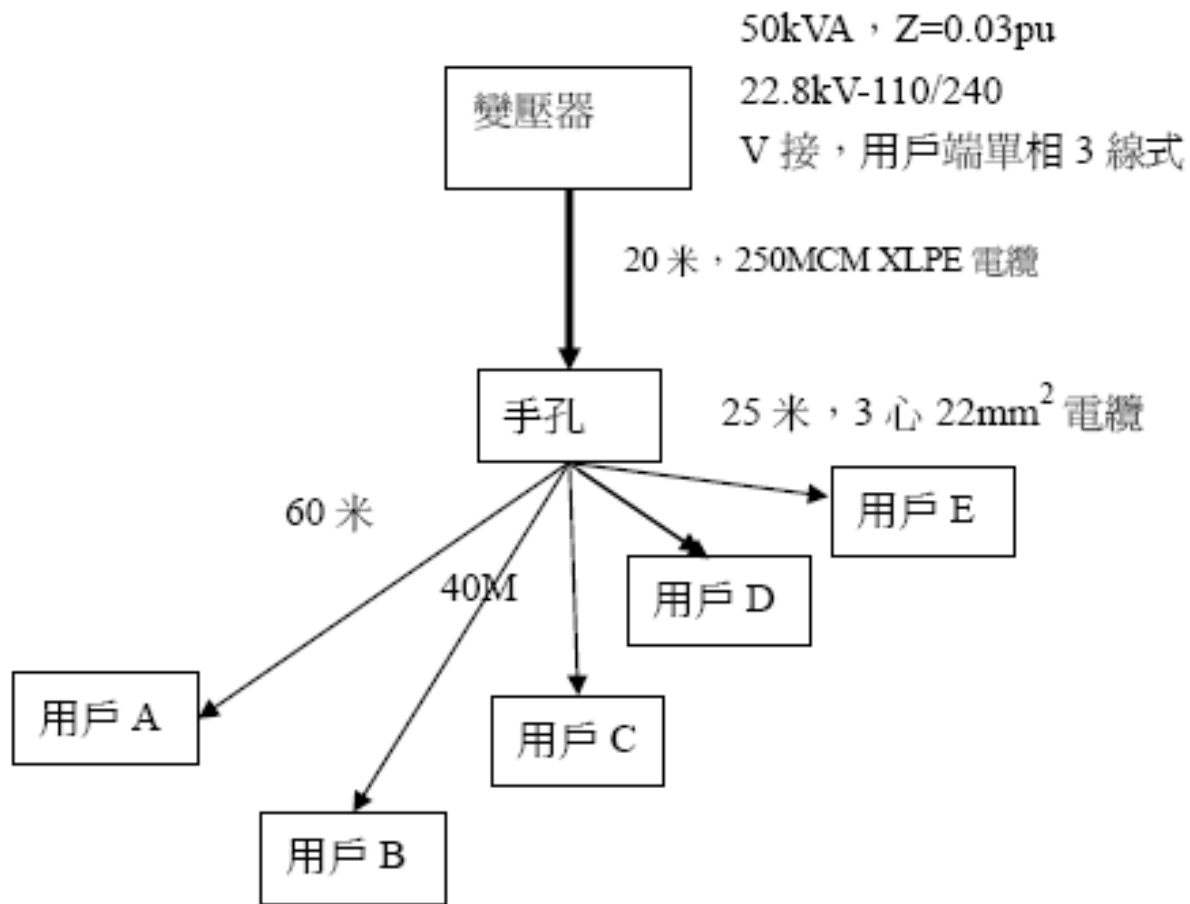
大台北華
城社區

落雷密度
全國最高

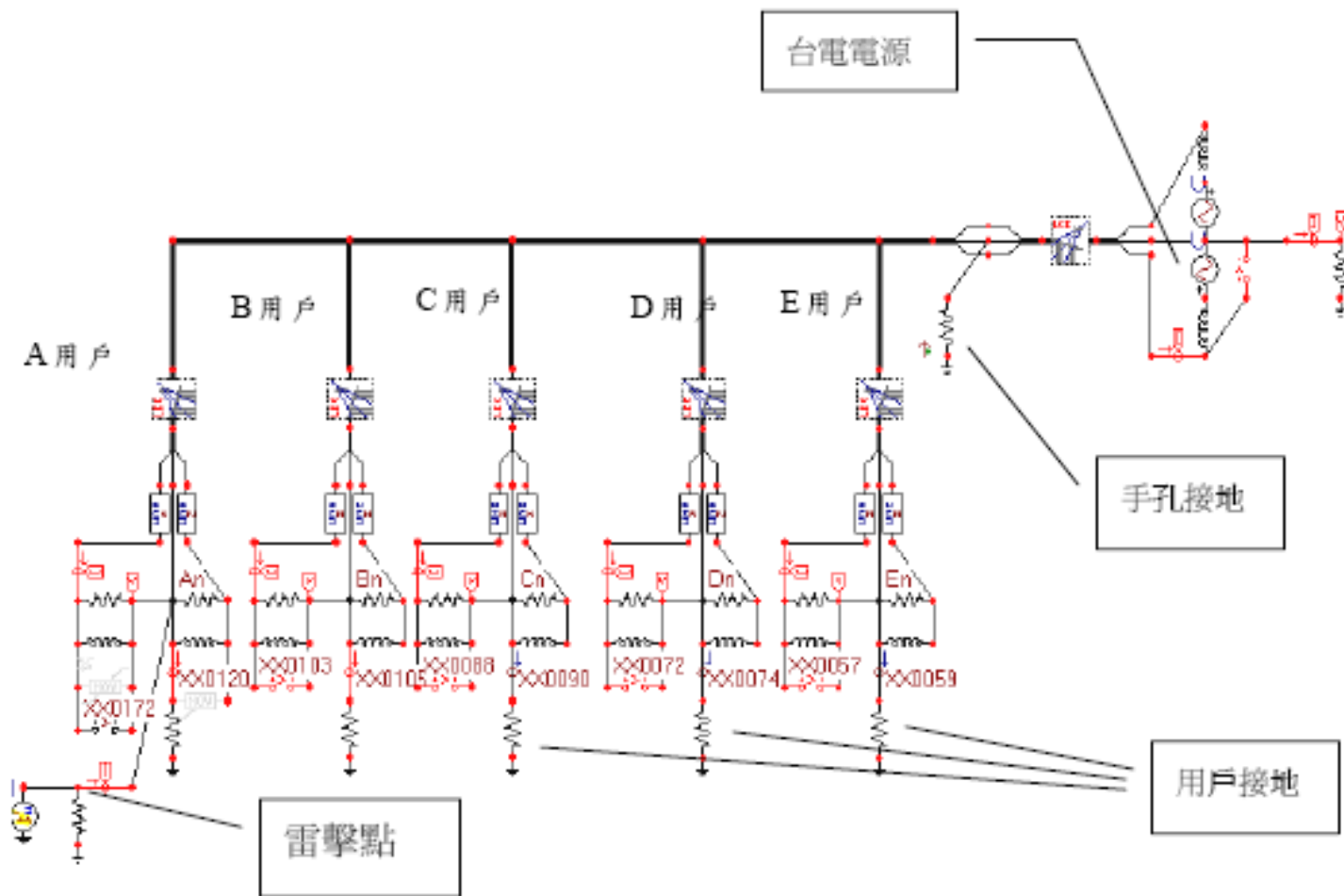


ATP 模擬

- Case 1：避雷針接地與建築物接地未隔離
 - 避雷針接地電阻採 10Ω 及 40Ω ，雷擊電流取 30kA (以下機率 50%)及 50kA (以下機率 77%)
- Case 2：避雷針接地與建築物接地隔離
 - 避雷針接地電阻採 10Ω 及 40Ω ，雷擊電流取 30kA 及 50kA
 - 考慮不同隔離距離：2M, 5M, 10M



模擬系統示意圖



ATP 模擬電路

Case 1: 避雷針接地與建築物接地未隔離

避雷器接地電阻 10Ω ，雷擊電流為 30kA 、 $2/50\mu\text{s}$

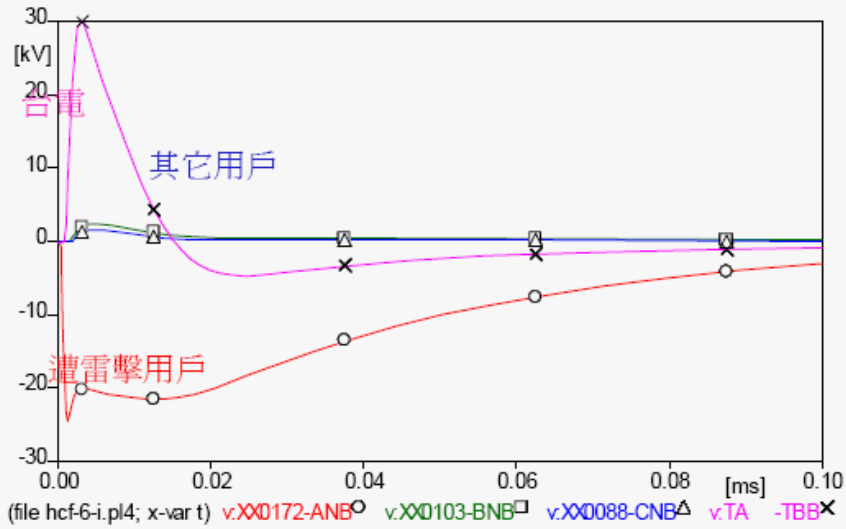


圖 4.7(a)：電壓曲線

電壓曲線

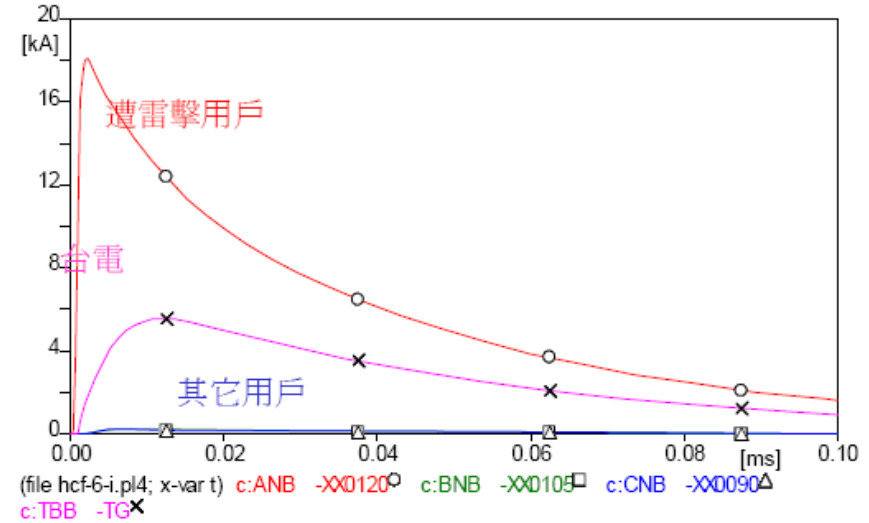
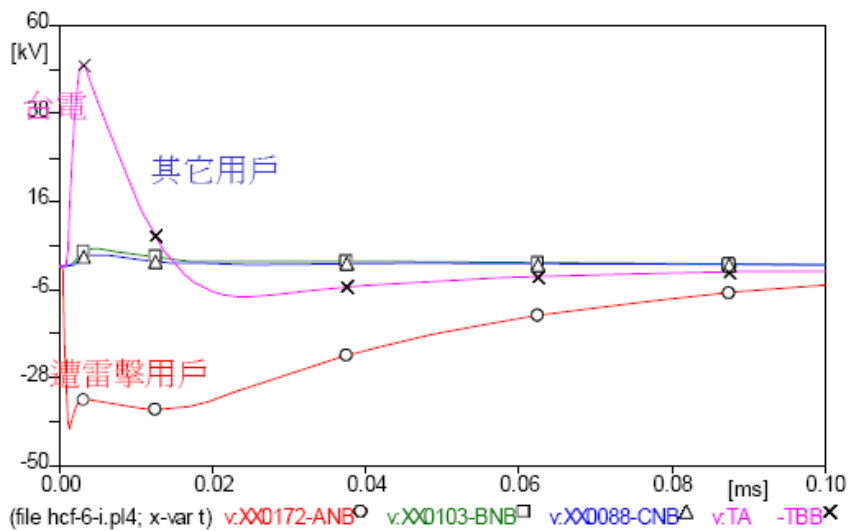


圖 4.7(b)：接地電流曲線

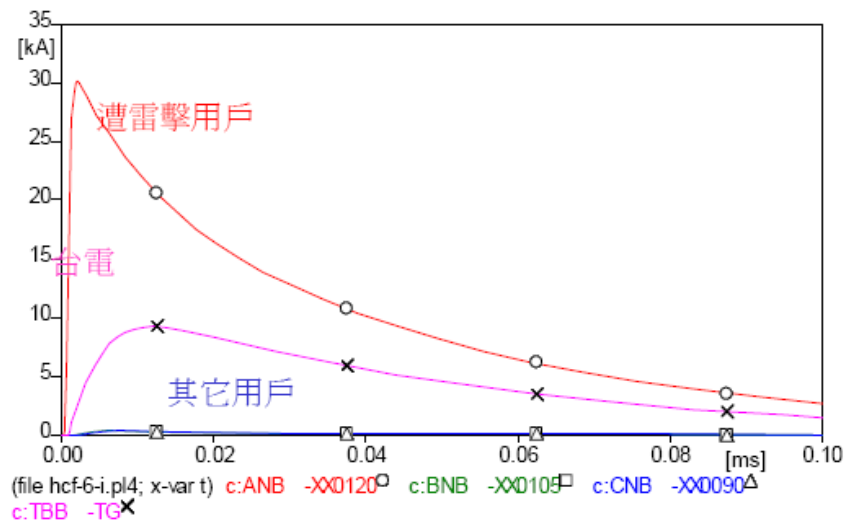
電流曲線

Case 1: 避雷針接地與建築物接地未隔離

避雷器接地電阻 10Ω ，雷擊電流為 50kA 、 $2/50\mu\text{s}$



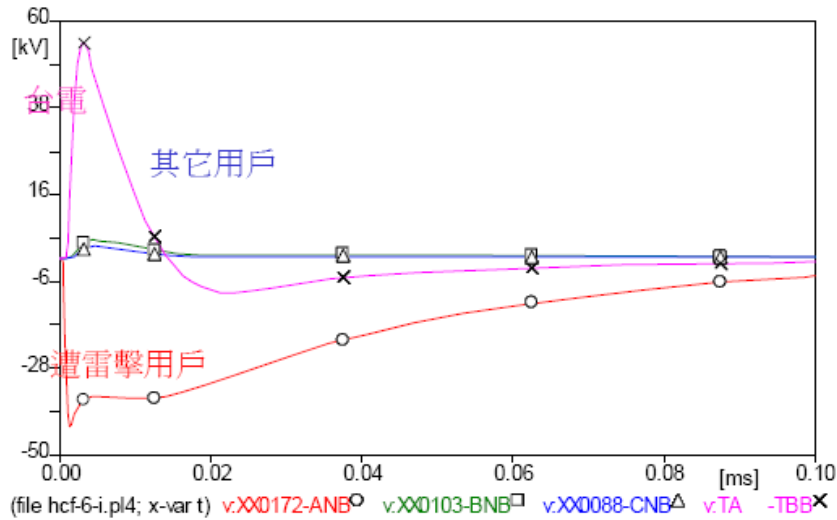
電壓曲線



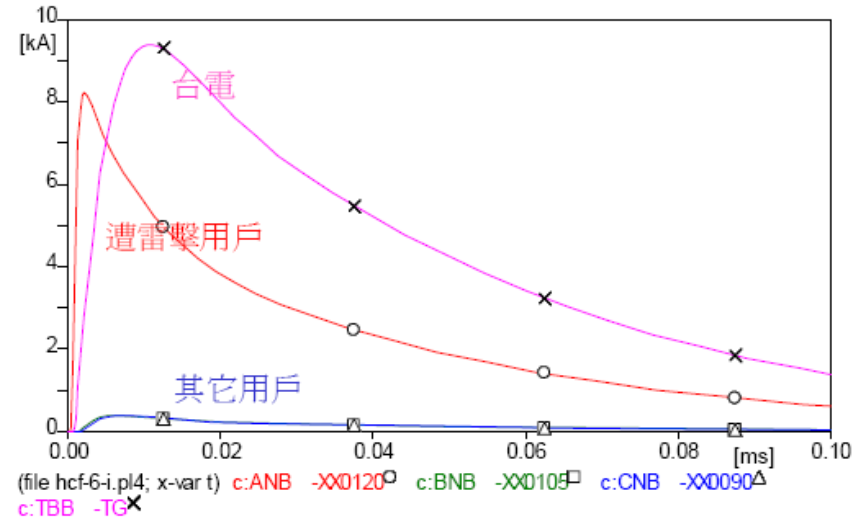
電流曲線

Case 1: 避雷針接地與建築物接地未隔離

避雷器接地電阻 40Ω ，雷擊電流為 30kA 、 $2/50\mu\text{s}$



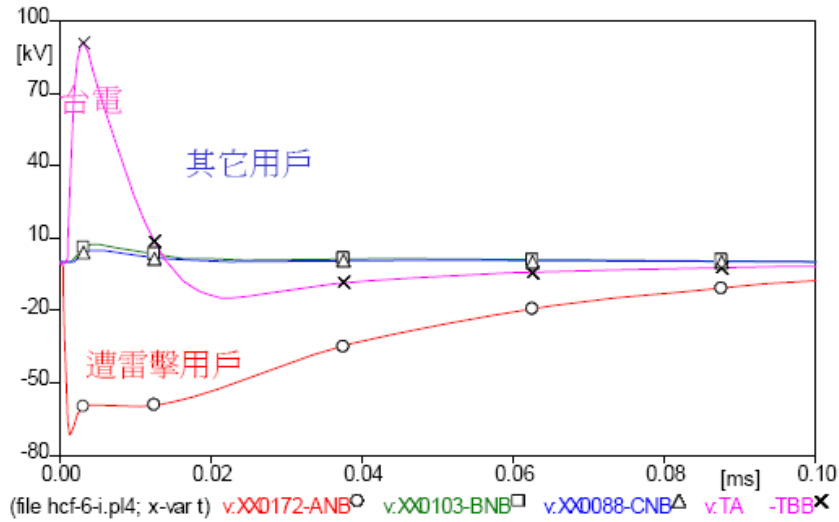
電壓曲線



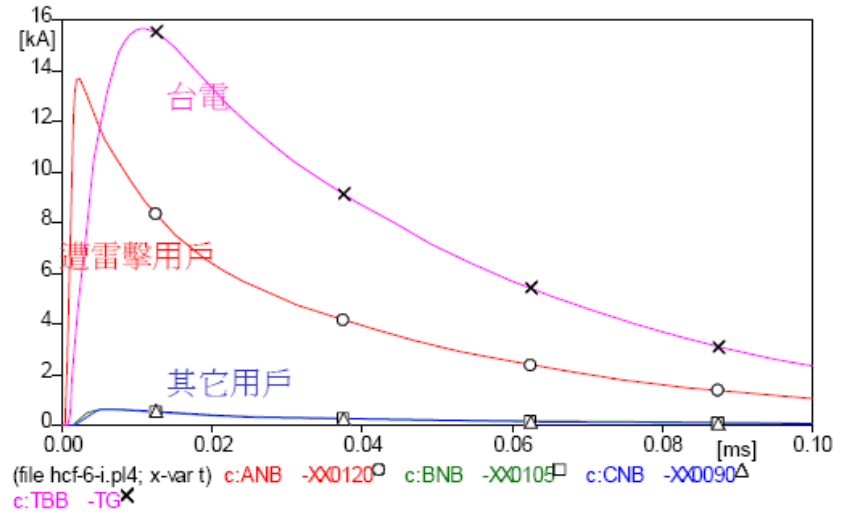
電流曲線

Case 1: 避雷針接地與建築物接地未隔離

避雷器接地電阻 40Ω ，雷擊電流為 50kA 、 $2/50\mu\text{s}$



電壓曲線



電流曲線

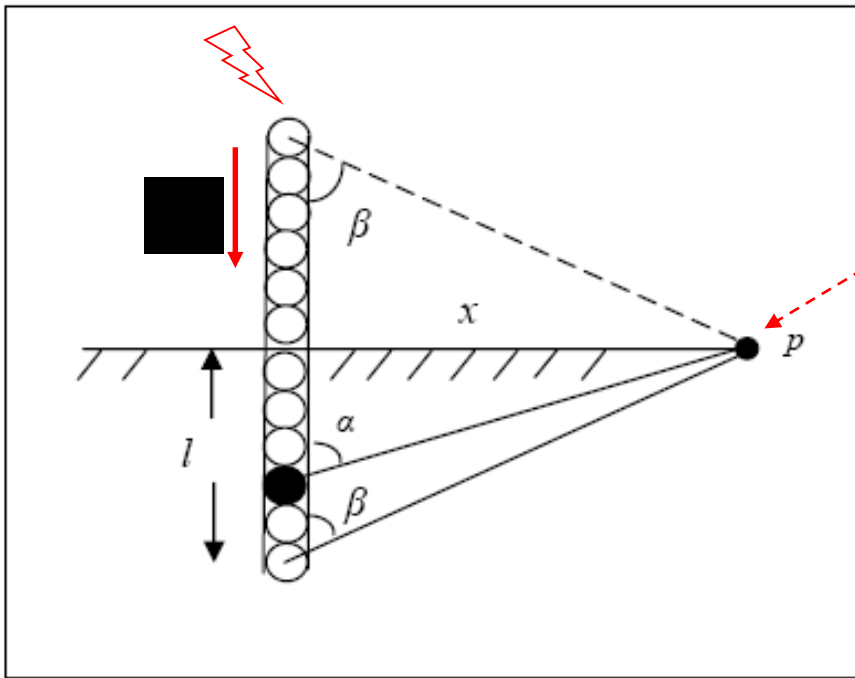
模擬結果(避雷針接地電阻10歐姆，雷擊電流30kA)

避雷針接地與建築物接地狀況

		未隔離	隔離10米	隔離5米	隔離2米
電壓	A用戶	25kV	520V	1000V	2300V
	其他用戶	3kV	50V	100V	200V
	台電	30kV	500V	1150V	2800V
引入大地電流	A用戶	18kA	20A	35A	100A
	其他用戶	0.5kA	5A	10A	20A
	台電	6kA	110A	220A	510A

Case 2: 避雷針接地與建築物接地隔離

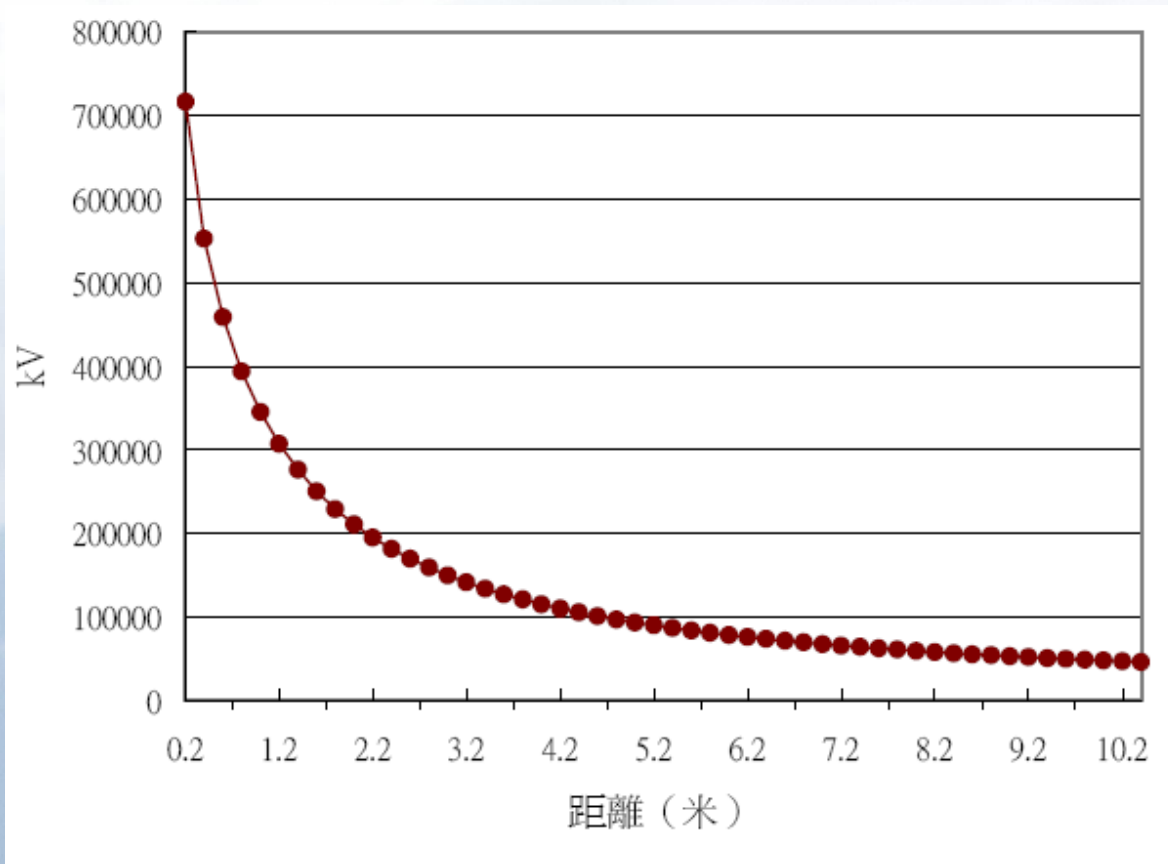
感應電壓計算



$$V = \frac{sI}{2\pi l} \ln\left(\cot \frac{\beta}{2}\right)$$

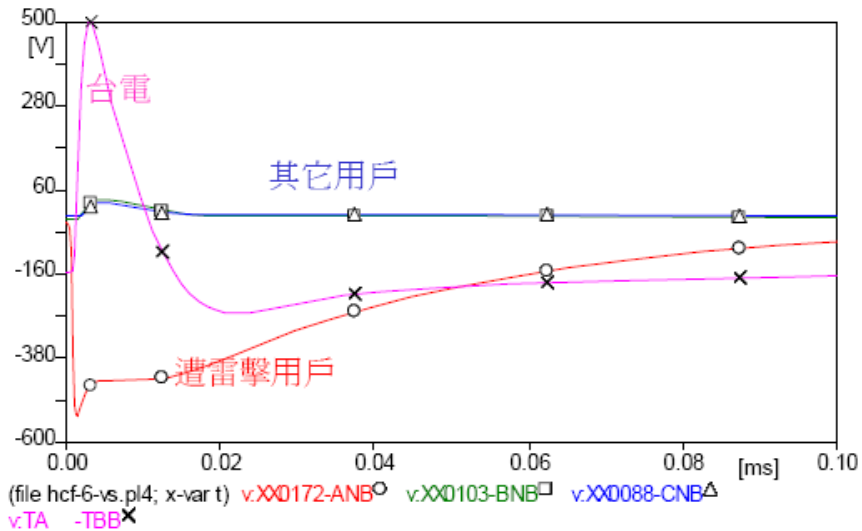
感應電壓曲線-

土壤電阻係數 s 為 $100\Omega\text{-m}$ ，深度取 2m ，雷擊電流取 30kA

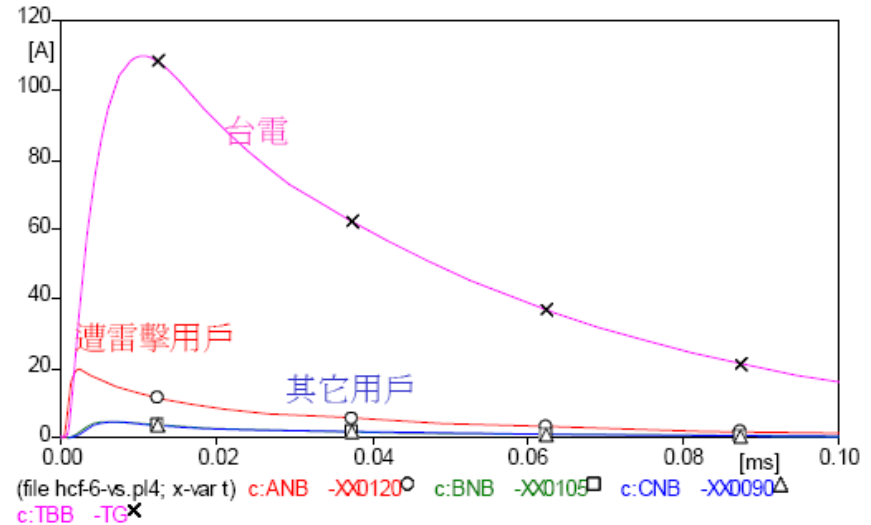


避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 30kA

(1a) 隔離距離 10米 ，感應電壓約 42kV



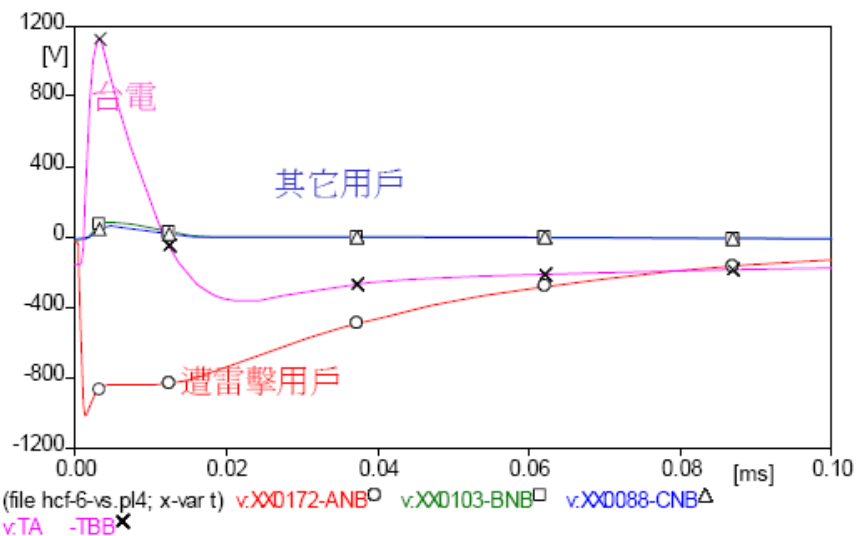
電壓曲線



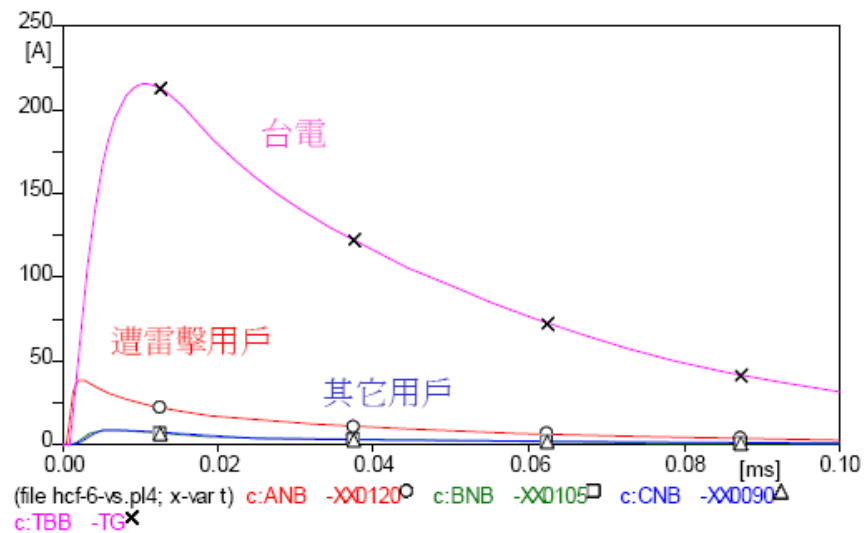
電流曲線

避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 30kA

(1b) 隔離距離 5米 ，感應電壓約 69kV



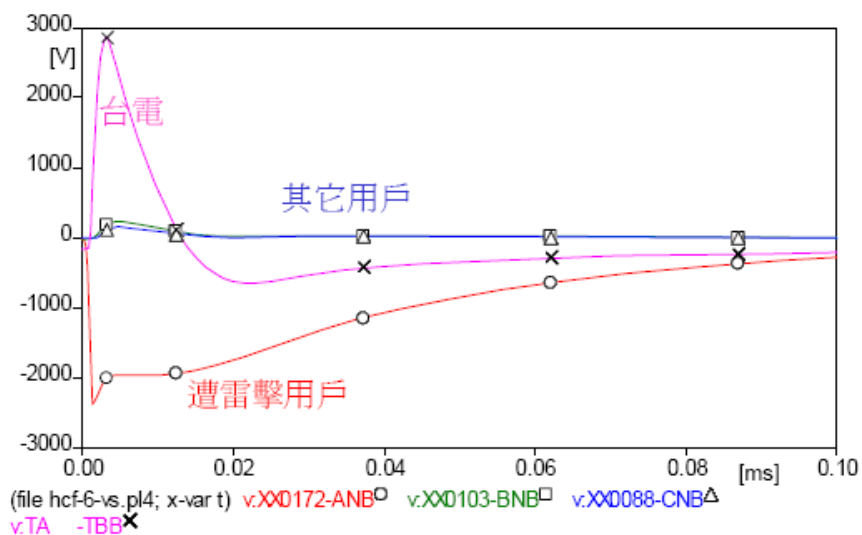
電壓曲線



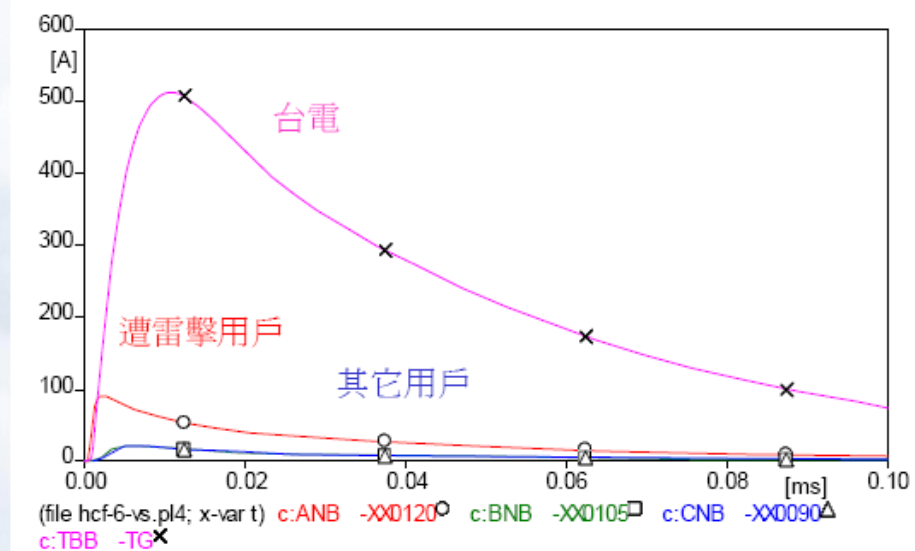
電流曲線

避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 30kA

(1c) 隔離距離2米，感應電壓約 110kV



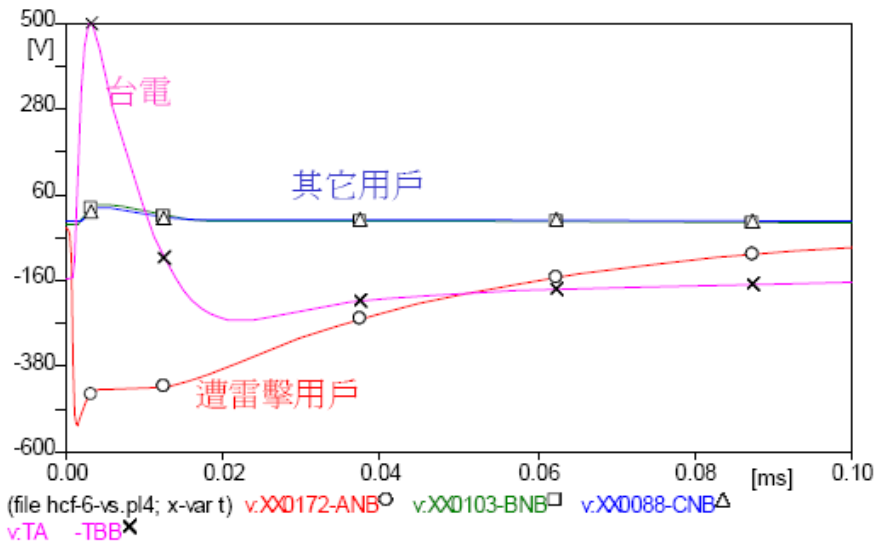
電壓曲線



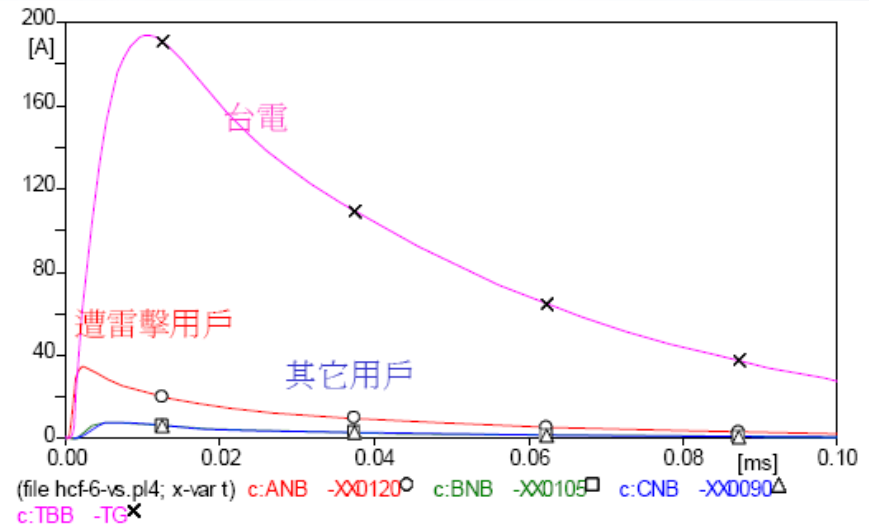
電流曲線

避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 50kA

(2a) 隔離距離10米，感應電壓約 70kV



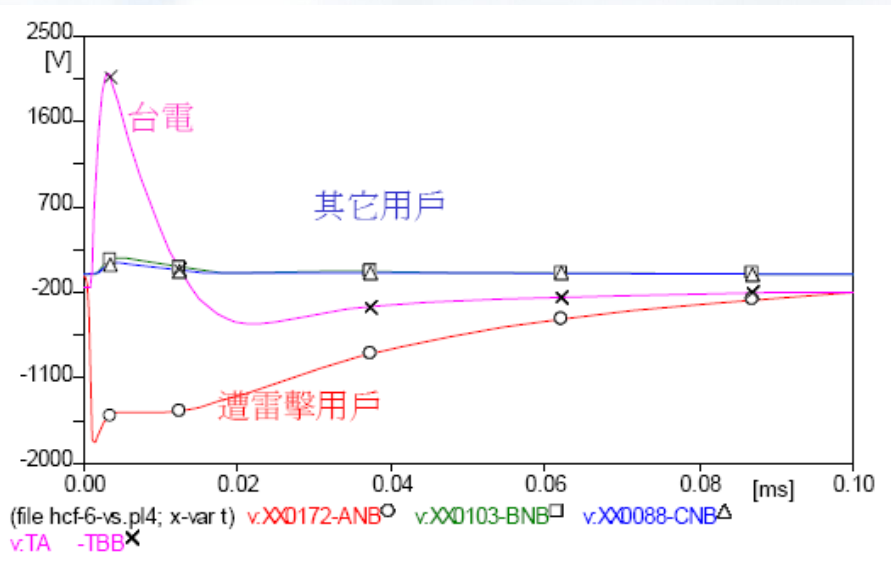
電壓曲線



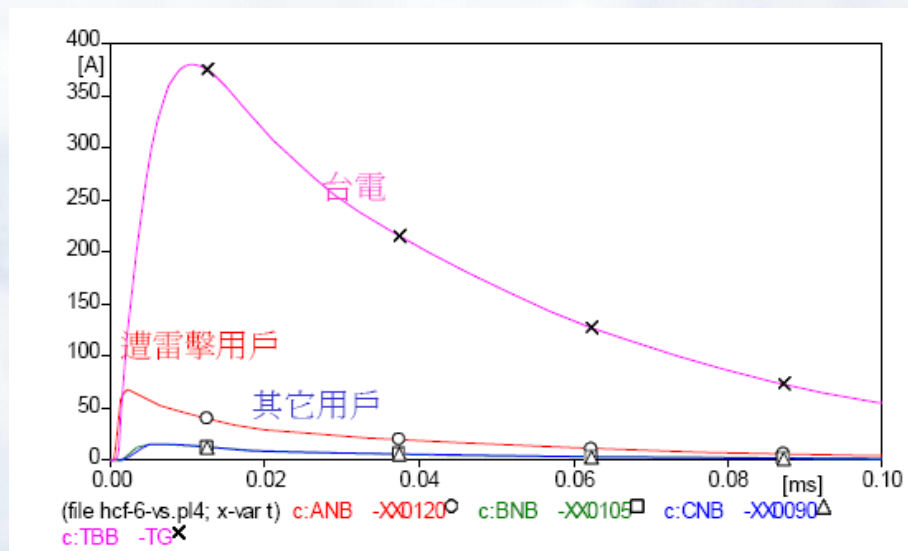
電流曲線

避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 50kA

(2b) 隔離距離 5米 ，感應電壓約 115kV



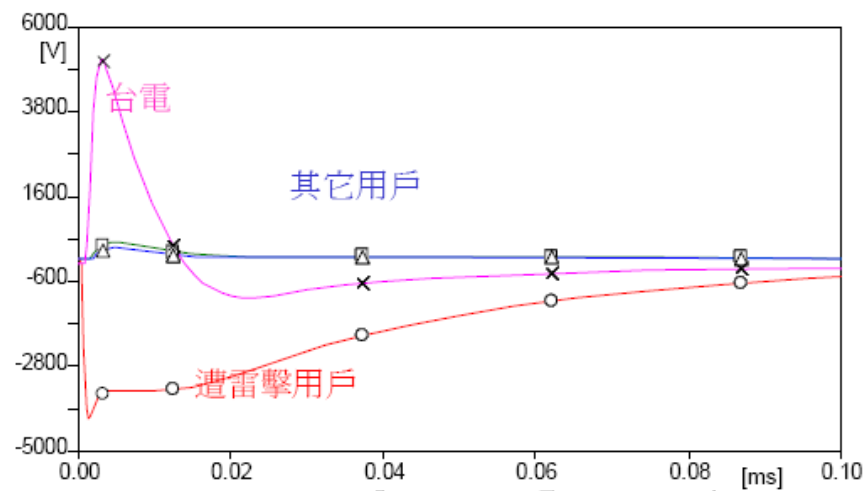
電壓曲線



電流曲線

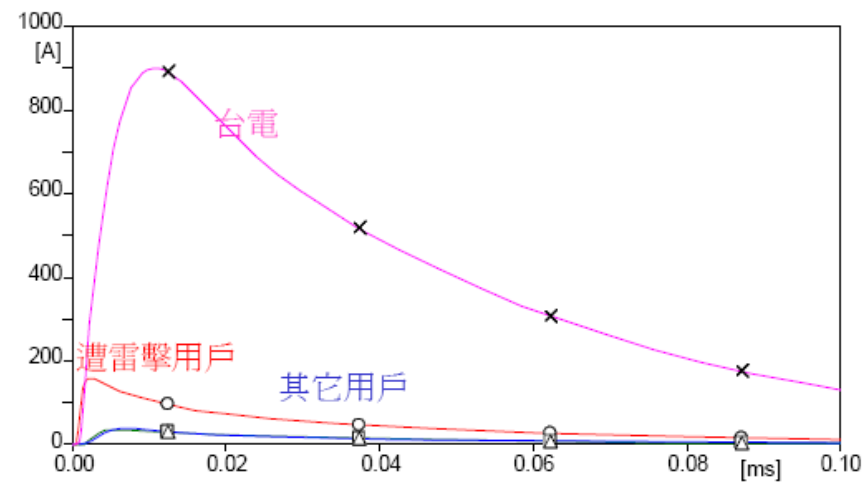
避雷針接地電阻 10Ω ，雷擊電流 50kA

(2c) 隔離距離2米，感應電壓約 184kV



(file hcf-6-vs.pl4; x-var t) v:XX0172-ANB v:XX0103-BNB v:XX0088-CNB
v:TA -TBB

電壓曲線

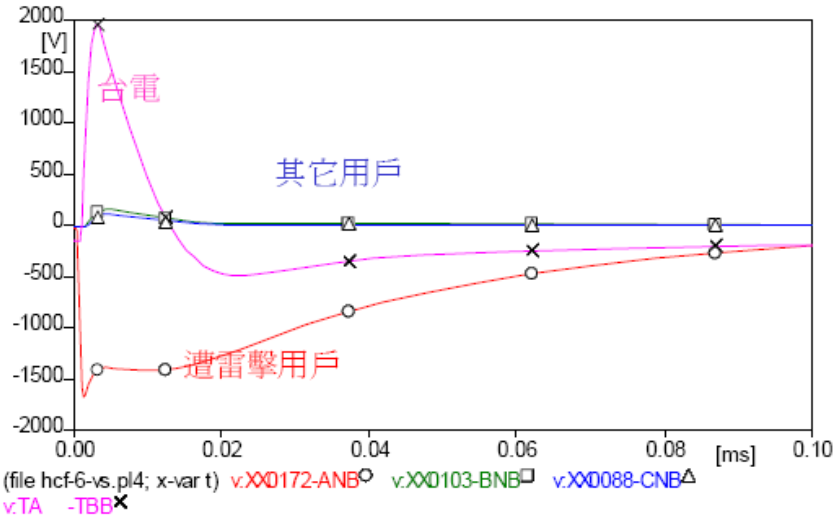


(file hcf-6-vs.pl4; x-var t) c:ANB -XX0120 c:BNB -XX0105 c:CNB -XX0090
c:TBB -TC

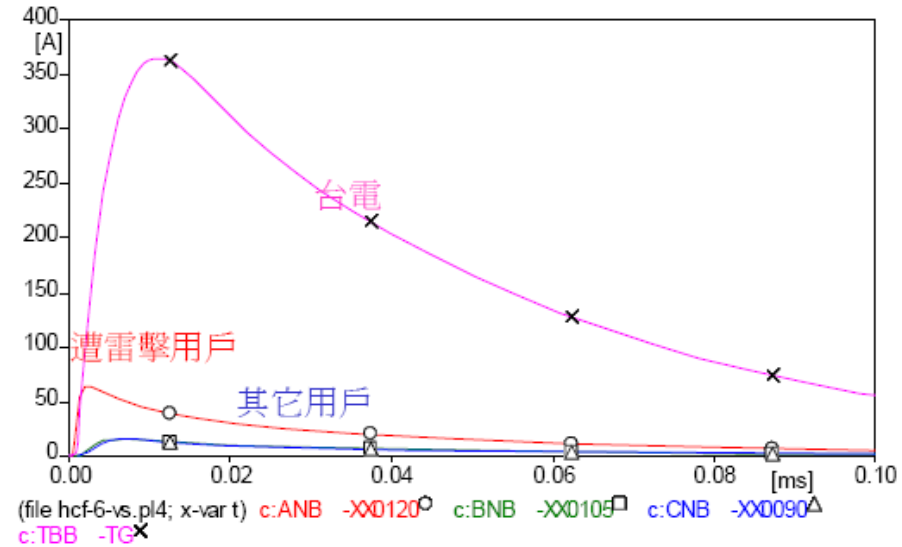
電流曲線

避雷針接地電阻40Ω，雷擊電流30kA

(3a) 隔離距離10米，感應電壓約47.5kV



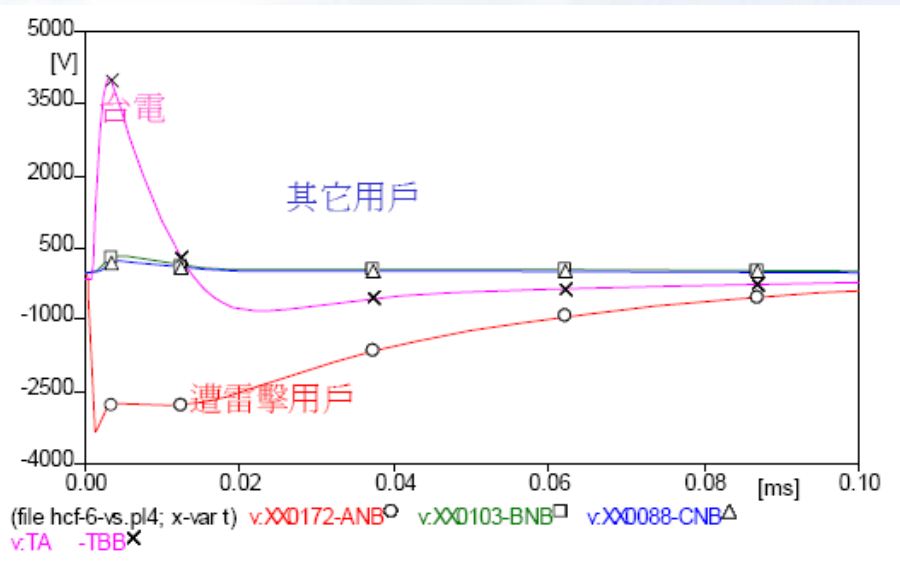
電壓曲線



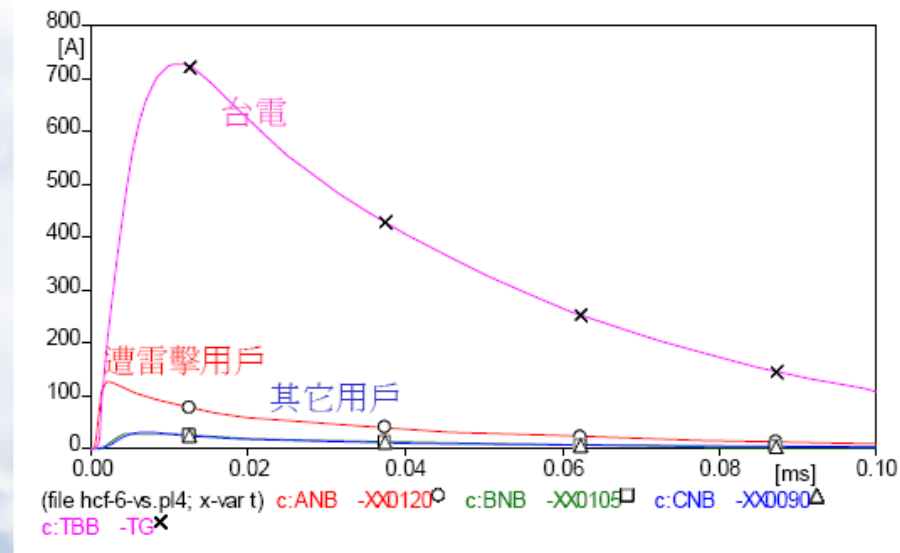
電流曲線

避雷針接地電阻40Ω，雷擊電流30kA

(3b) 隔離距離5米，感應電壓約93kV



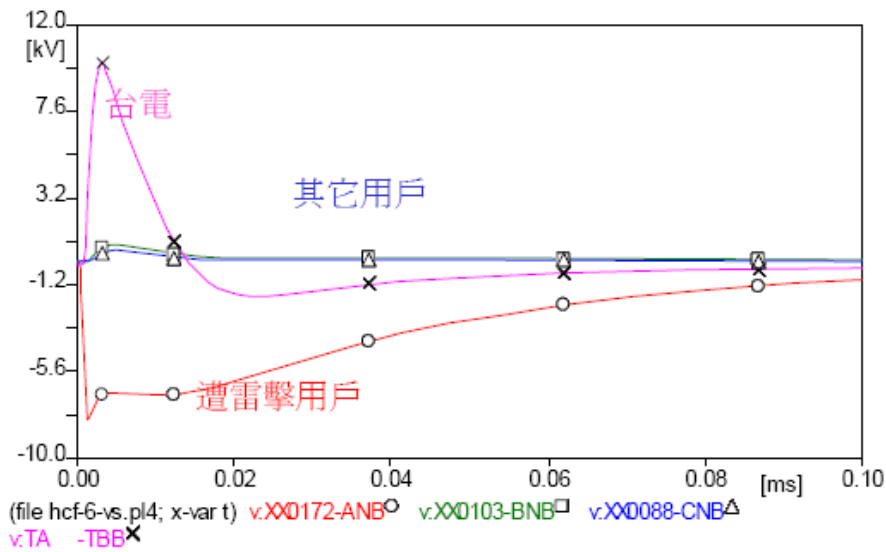
電壓曲線



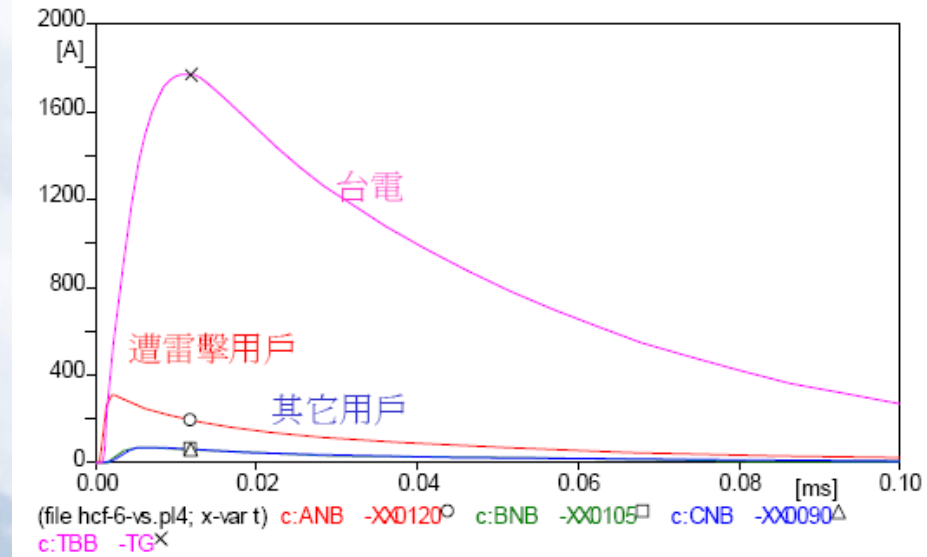
電流曲線

避雷針接地電阻40Ω，雷擊電流30kA

(3c) 隔離距離2米，感應電壓約210kV



電壓曲線



電流曲線

電子類負載之可承受突波電壓(IEEE Std 1100)

Voltage parameter affecting loads	Typical range of power sources	Typical immunity of electronic loads		
		Normal	Critical	Units affected and comments
● ●	● ●	● ●	● ●	● ●
Transients, impulsive and oscillatory, power lines	100–6000 V	500–1500 V	200–500 V	Dielectric breakdown, voltage overstress. Component failure and data upset.
● ●	● ●	● ●	● ●	● ●

模擬結果(避雷針接地電阻10Ω，雷擊電流30kA)

避雷針接地與建築物接地

		避雷針接地與建築物接地			
		未隔離	隔離10米	隔離5米	隔離2米
電壓	A用戶	25kV	520V	1000V	2300V
	其他用戶	3kV	50V	100V	200V
	台電	30kV	500V	1150V	2800V
引入大地電流	A用戶	18kA	20A	35A	100A
	其他用戶	0.5kA	5A	10A	20A
	台電	6kA	110A	220A	510A

模擬結果(避雷針接地電阻10歐姆，雷擊電流50kA)

避雷針接地與建築物接地

		未隔離	隔離10米	隔離5米	隔離2米
電壓	A用戶	35kV	550V	1700V	4kV
	其他用戶	5kV	55V	210V	1kV
	台電	50kV	500V	2050V	5kV
引入大地電流	A用戶	30kA	39A	70A	180A
	其他用戶	0.8kA	10A	20A	50A
	台電	9.5kA	195A	380A	900A

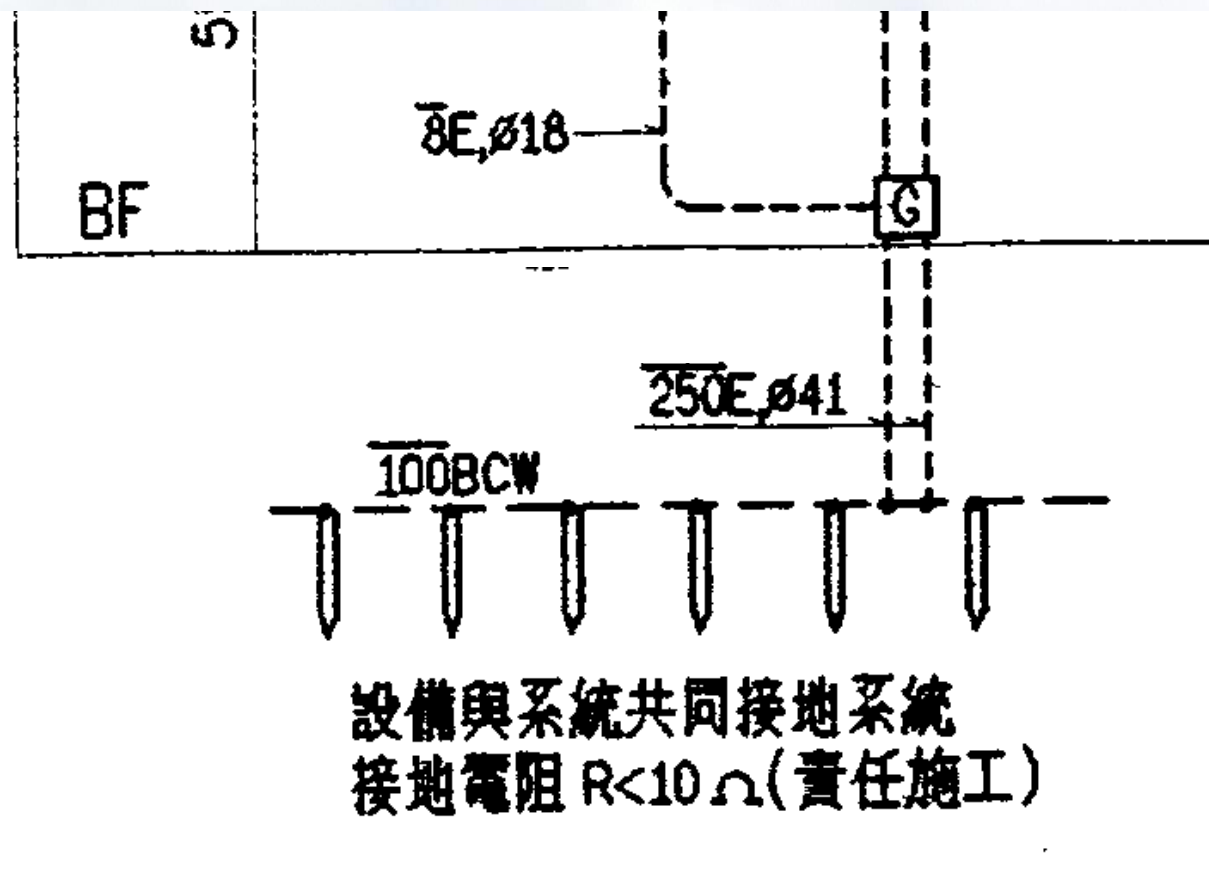
模擬結果(避雷針接地電阻40Ω，雷擊電流30kA)

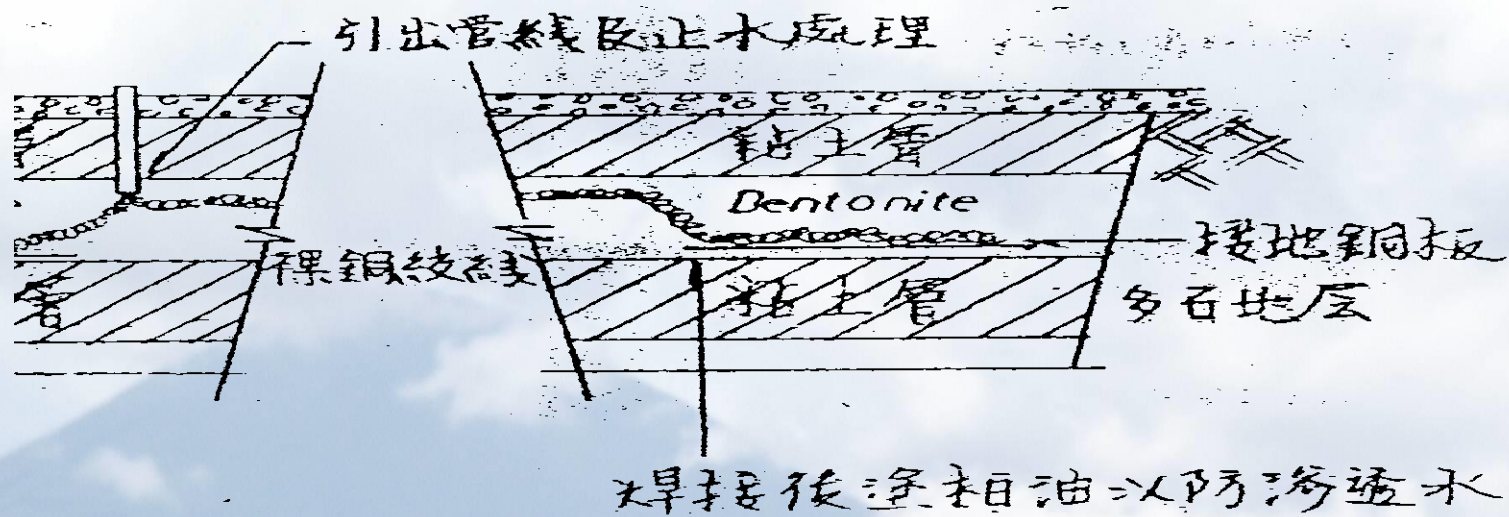
		避雷針接地與建築物接地			
		未隔離	隔離10米	隔離5米	隔離2米
電壓	A用戶	42kV	1700V	3250V	7.5kV
	其他用戶	5kV	200V	450V	3kV
	台電	54kV	2000V	4000V	11kV
引入大地電流	A用戶	8.2kA	65A	120A	300A
	其他用戶	0.5kA	20A	40A	70A
	台電	9.2kA	370A	720A	1800A

模擬結果

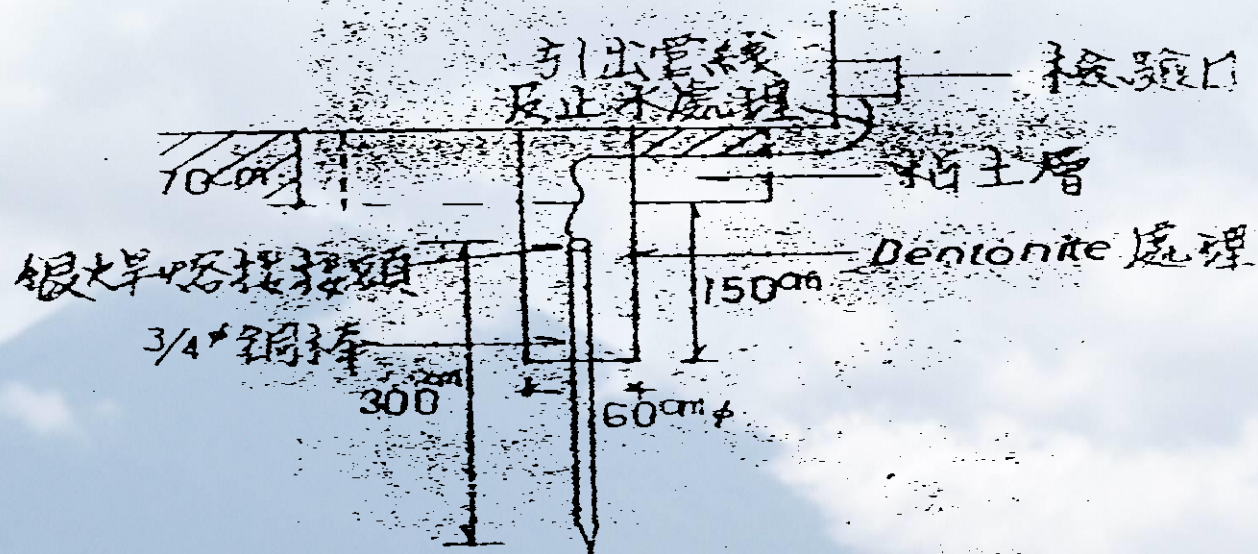
- (1) 接地電阻與隔離距離將影響隔離效果，若接地電阻依規定低於10歐姆以下，若隔離距離5米，當雷擊電流50kA以下時（機率約為77%）應可避免過電壓破壞。
- (2) 避雷針接地電阻10歐姆
 - (a) 雷擊電流30kA：距離5米以上時，則低於 1000V，低於破壞電壓；距離2米時約為2300V，高於破壞電壓。
 - (b) 雷擊電流50kA：距離5米時為1700V，稍高於破壞電壓；距離10米時約為550V，低於破壞電壓。
- (3) 避雷針接地電阻40歐姆

雷擊電流30kA：距離10米時，電壓為1700V，仍高於破壞電壓。



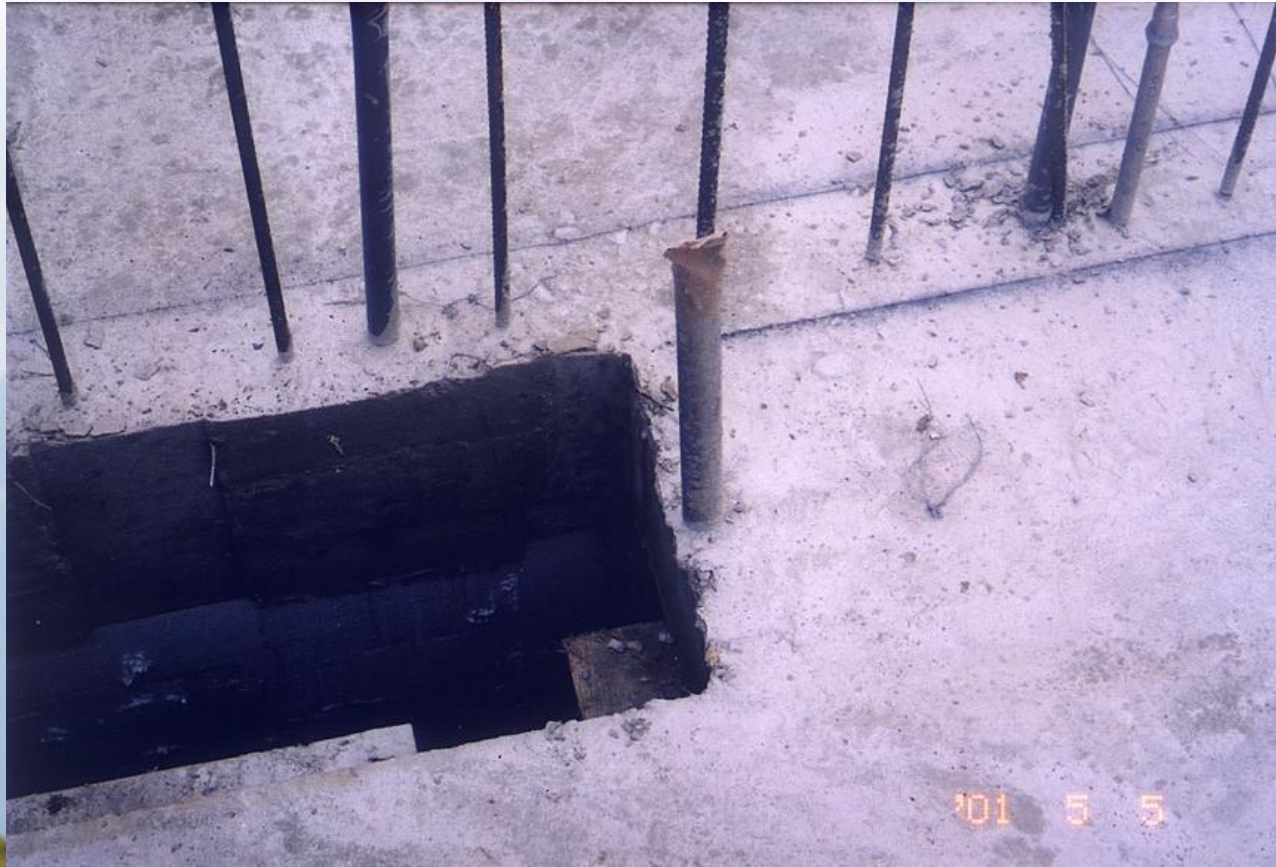


銅板極引出絞線焊接法



Bentonite 處理塔地極埋設法











謝謝