



卵礫石層管推進工程超挖及卡鑽 對管材與土壤互制行為之影響研究

壽克堅 / 國立中興大學土木工程學系教授

謝其穎 / 國立中興大學土木工程學系碩士研究生

非明挖工法於都市施作時，常因困難地質（如卵礫石層）或障礙物而造成施工困難、工期延誤或發生災損。本文章主要針對非明挖施工法裡的管推進施工法（Pipe-jacking Method），探討管推進工法施工時可能遭遇之困難，以及施工困難狀況下之管材土體互制行為。探討之施工困難包括超挖、擠壓、卡鑽等問題。本研究針對超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小以及推進力施加位置等，以ABAQUS有限元素軟體進行三維數值模擬，探討直線推進施工中的問題。

No-Dig construction in the city might still encounter of difficulties. However, the difficulties or obstacles, which might cause schedule delays and damage to the pipes. This study considered different overcut range, sticking position, resistance, jacking force, and the location of jacks, etc., for the straight line and curved pipe-jacking. The ABAQUS finite element software was applied for three-dimensional numerical simulations for straight line pipe-jacking with different difficult situations.

引言

因都市高度開發施工空間受限，台灣地區之地下管線施工已大規模朝向免開挖工法之大方向邁進，以管推進工法及潛盾工法為主要工法。在推進工程中經常利用切削面盤之擴挖邊刀，對周圍土體超挖來減少推進過程中之抵抗力；但如超挖量不如預期、土壤變異性或地層不穩定等因素，使推進中發生管體周圍間隙有局部塌陷、異物卡管可能造成局部摩擦力增大並引起各種問題。此時可能因推力不足無法推進，管材可能會因為應力集中受力過大而產生破壞，使得推進工作中止或延誤。

管推進施工之管材土壤互制研究，可分為解析理論推導、物理模型模擬以及數值分析模擬三大類。前述之問題因其複雜性，數值分析方法較為容易可行。前人對管推進之數值模擬，管材一般均假設為剛體，且不考慮管材自重對推進造成之影響；對於超挖造成開挖面大於切削面盤之效應，與推進過程遭遇不同類型卡鑽問題之行為研究非常有限。因此，本研究特別

針對超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小等，進行直線管推進數值分析研究；評估在各種條件情況下進行開挖工程所造成之影響，以及施工中可能遭遇之問題，可提供實際施工時之參考。

數值分析理論與假設

數值分析方法

採用有限元素法（Finite element method）分析，分析步驟大概分為前處理、程式分析及後處理三個步驟。前處理方面採用 ABAQUS 有限元素軟體^[1-3]的 ABAQUS/CAE（Complete ABAQUS Environment），此軟體由美國 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. 公司所發展，可應用範圍十分廣泛，由線性結構分析至複雜之非線性應力分析均可適用。

數值模擬基本假設

模擬卵礫石層進行管推進工程之複雜力學行為，必須

做一些假設以達到簡化分析目的，以下為模擬基本假設：

1. 採靜態分析，忽略地震力等動態因素。
2. 假設卵礫石層為一均質連體，其材料參數以其巨觀力學行為決定。
3. 卵礫石層之應力 — 應變為彈塑性關係 (elastic plastic behavior)；管材、掘進機之應力 — 應變為線彈性關係 (linear elastic behavior)。
4. 現地應力狀態包含垂直應力分量與水平應力分量。
5. 現地應力之平衡不計大氣壓力，僅考慮重力之值與方向。
6. 不考慮地下水對推進工程之影響。

數值解析理論

在 ABAQUS/Standard 模組中，非線性分析中使用牛頓 — 瑞福生收斂法 (Newton-Raphson Method)。此收斂法為二階收斂法，能使殘餘力迅速減少以達到靜力平衡，而於分析中快速、正確地得到收斂值。其關係式如下：

$$R_a = P - I_a$$

其中外力為 P ，內力為 I_a ，收斂之殘餘力為 R_a 。

變位 (displacement) 是由每一疊代之力量增量 d_p 所造成之微小變位累積而成；在本收斂法中，每一次疊代過程如下：

組成剛性矩陣 K_i ；

同時得出變位 C_i ；

計算在變位 C_i 時之內力向量 $I(u_i)$ ；

此時殘餘力為 $R_{a,i} = P_i - I_{a,i}$ ；

重複上述過程，最後由以下條件式判斷是否收斂：

(1) 判斷最大殘餘力 $R_{a,max}$ 是否在容許範圍內。

(2) $C_i \left\{ \sum_{j=1}^{#iter} C_j \right\}$ 。

同時滿足上述兩條件才滿足收斂，此時節點處於平衡狀態。

現地應力狀態

隧道開挖前，礫石層處於現地應力平衡狀態。現地應力的關係式如下：

$$\sigma_h = K_0 \sigma_v$$

其中 σ_h 為水平應力， σ_v 為鉛直應力， K_0 為靜止土壓力係數。

進行大地工程模擬時，常會需要施加現地應力，但如此則可能造成網格之初始變形，對於如隧道開挖等需要預先設定接觸面之模擬，容易造成計算上之問題與數值落差，為了解決上述的問題，使用 ABAQUS 命令指令 *initial conditions, type = stress, input = 檔名 .inp 進行初使現地應力平衡。初始現地應力是將土體先給予重力之後讀取所有的土體元素的六個方向應力狀態 (S11、S22、S33、S12、S13、S23) 製作為一個副檔名為 .inp 的輸入檔，ABAQUS 會將這些土體元素的應力狀態依照此 .inp 輸入檔進行平衡，完成此步驟後，即可以讓初始位移為零或極小狀態，滿足工程分析需求。

土壤材料參數與塑性準則參數

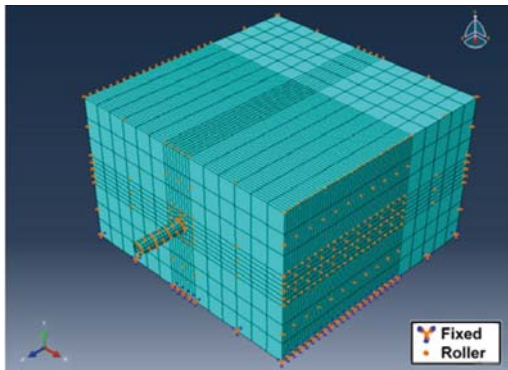
ABAQUS 程式中針對顆粒性材料如卵礫石土層，提供兩種塑性降伏準則供選擇使用，分別為 Mohr-Coulomb plasticity 與 Drucker-prager models 塑性降伏準則。本研究採用 Drucker-Prager models 塑性降伏準則中的 Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式來模擬土層之塑性行為，此塑性準則非常適合應用在具摩擦性且抗壓強度大於抗張強度之材料上，特別是卵礫石土層；另外亦允許在非彈性行為下發生潛變，由以上條件看來，Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式可作為模擬卵礫石層塑性行為的數值分析依據。同時也可以將 Mohr-Coulomb model 參數轉換成塑性硬化參數 (Drucker-Prager Hardening failure criterion) 輸入模型使用。

數值模型建立

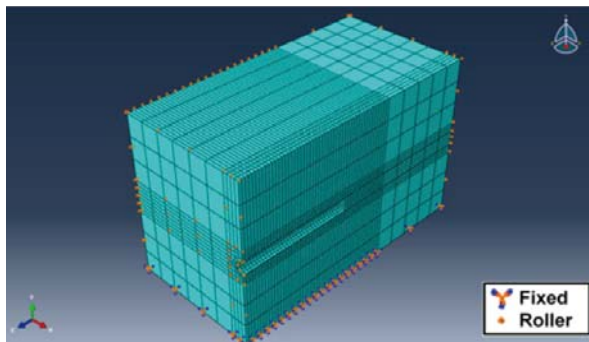
幾何與邊界條件

本研究模擬在水平地表面下 12.5 m 處 (隧道中心)，進行水平向管推進工程，並考慮超挖、擠壓與卡鑽等不同影響因素。模擬之土體尺寸為長 40 m × 寬 40 m × 深度 25 m 之長方立方體；混凝土管為外徑 2 m，內管徑 1.6 m，厚度為 0.2 m 空心圓柱體；掘進機頭直徑為 2 m，長度為 2.5 m 接在混凝土管的前緣；直線推進用管材為標準管，長度 2.5 m。

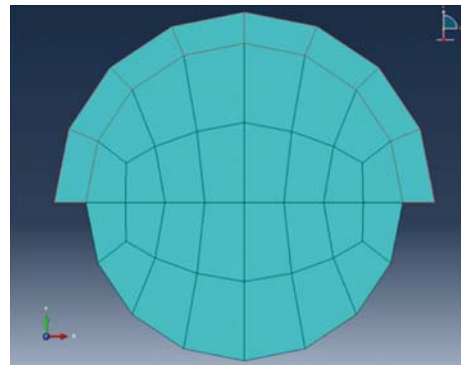
土體模型的四周側部邊界採用滾支承 (roller) 束制，底部邊界用固定支承 (fixed bearing) 束制，頂部邊界為地表面 (自由面) 所以不予以束制。數值分析模型為直線管推進模型，包含超挖及卡鑽等類型，模型網格如圖 1、圖 2 所示。



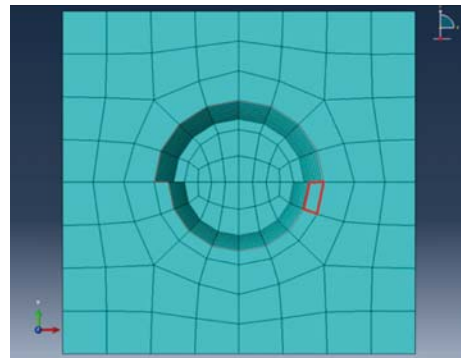
(a) 立體示意圖



(b) 立體縱剖面示意圖
圖 1 直線管推進模型



(a) 直線超挖範圍 180° 示意圖



(b) 直線超挖 + 卡鑽位置示意圖
圖 2 直線超挖推進模型

數值分析元素類型

在數值分析中，選取適當元素是很重要的。尤其在有限元素法中，選用不同型式的元素會產生不相同的分析結果。因此，選用適當的元素種類，可以獲得較精確的數值分析結果；若使用不適當的元素種類，可能導致分析結果產生相當大的誤差，甚至得到錯誤的結果。ABAQUS 擁有豐富的元素類型，包含了一階完全積分元素 (C3D8)、一階減積分元素 (C3D8R)、一階非協調元素 (C3D8I)、以及二階元素 (C3D20)。考量分析收斂難易度、結果精確性、數值運算所需時間，建議使用三維八節點非協調六面體固體元素 (Incompatible mode, C3D8I) 來模擬；其優點在能克服在線性完全積分元素中，因過度變形產生的剪力自鎖 (Shear Locking) 問題，同時可以用較低的時間成本獲得較佳的結果。

選用材料參數

根據褚炳麟^[4]、黃崇文與司徒銳文^[5]、中興工程顧問社^[6,7]、任德煜^[8]、中華顧問工程司^[9]、陳堯中^[10]等學者之研究結果資料顯示，卵礫石層普遍具有高摩擦角與低凝聚力之材料性質。中部地區卵礫石之材料性質範圍其彈性模數 E 約：1,000 ~ 11,000 kg/cm²、凝聚力 c ：

0.11 ~ 0.3 kg/cm²、內摩擦角 ϕ_p ：30 ~ 66 度、靜止土壓力係數 K_0 ：0.25 ~ 0.85、現地密度：1930 ~ 2350 kg/m³、柏松比約為 0.2 ~ 0.3。混凝土管彈性模數：33.45GPa、柏松比：0.2，單位重：2,400 kg/m³；掘進機彈性模數：200GPa、波松比：0.3，單位重為 7850 kg/m³；詳細材料參數參照表 1、表 2。

針對材料降伏準則，本研究採用 Drucker-Prager models 塑性降伏準則中的 Exponent Drucker-Prager 廣義指數降伏模式來模擬土層之塑性行為，其中 Exponent Drucker-Prager 所需參數是參考顏君行^[11]進行管推進物理模型試驗結果回歸求得；此外使用 Exponent Drucker-Prager 準則還必須給定土壤之膨脹角 β ，可由王金昌等人^[12]「ABAQUS 在土木工程中的應用」書裡的 Mohr-Coulomb 與 Drucker-Prager 參數對照表線性內插求出。

混凝土材料參數設定時，除了假設降伏前遵守虎克定律呈線彈性外，當混凝土進入塑性區後之應力應變行為，本研究採 ABAQUS 中的混凝土損傷塑性模型 (concrete damaged plasticity model)，混凝土之塑性準則參數參照表 3。此外，土體與管材之摩擦係數是參考劉耕豪^[13]針對管推進工程數值模擬進行摩擦係數試驗，求得之管材與土壤摩擦係數如表 4。

表 1 卵礫石層材料參數

參數	範圍	選用
γ_t (kN/m ³)	19.3 ~ 23.5	21.5
ϕ (°)	30 ~ 66	37
c (kPa)	11 ~ 30	15
K_0	0.25 ~ 0.85	0.398
v	0.2 ~ 0.3	0.3
E (GPa)	0.1 ~ 1.1	0.33

表 2 推進管材料參數

參數	混凝土管	鑽掘機
E (GPa)	33.45	200
v	0.2	0.3
γ_t (kN/m ³)	24	78.5

表 3 混凝土管之塑性準則參數

Dilation Angle (°)	Eccentricity	f_{b0}/f_{c0}	K	Viscosity Parameter
15	0.1	1.16	0.667	0

表 4 各摩擦係數試驗之摩擦係數

	無滑材	添加可塑劑與 PAA
μ	0.523	0.129

推進力計算

依據日本土木學會 (1996) 隧道標準示方書 (潛盾編)。直線管推進數值模型之推進力計算過程如下：

土壤參數

土壤單位重 $\gamma_t = 21.5$ (kN/m³)

內摩擦角 $\phi = 37^\circ$

凝聚力 15 (kN/m²)

側向土壓力係數 $K_0 = 1 - \sin\phi = 0.398$

隧道上方覆蓋土層深度 (至頂拱) $H = 11.5$ (m)

潛盾機外部與土壤摩擦係數

第一節推管 $F1a = \mu \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L_{m1} \cdot P_m + W_{ma} \cdot g) = 3205.75$ (kN)

第二節推管 $F1b = \mu \cdot (\pi \cdot D_0 \cdot L_{m2} \cdot P_m + W_{mb} \cdot g) = 3605.33$ (kN)

$\mu = 0.129$, $D_0 = 2$ (m), $L_{m1} = 20$ (m), $L_{m2} = 22.5$ (m)

$P_m = \frac{2 \cdot P_e + Q1_e + Q2_e}{2} = 192.96$ (kN/m²)

上部垂直土壤重量 $P_e = \gamma_t \cdot 2D_0 = 86$ (kN/m²)

頂部水平土壤重量 $Q1_e = \gamma_t \cdot H \cdot K_0 = 98.406$ (kN/m²)

底部水平土壤重量 $Q2_e = Q1_e = \gamma_t \cdot D_0 \cdot K_0 = 115.52$ (kN/m²)

開挖面前端阻力

$$F2 = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot P_f = 336.03 \text{ (kN)}$$

$$P_f = \frac{Q1 + Q2}{2} = 106.963 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

第二節直線推管所需總推進力

$$F_{XT} = F1b + F2 = 3605.33 + 336.03 = 3941.36 \text{ (kN)}$$

$$\left[\frac{F_{XT}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d_0^2)} \right] = 3484.84 \text{ (kN/m}^2\text{)} \approx 3.48 \text{ (MPa)}$$

上述之推進力施加位置於工作井與土體交界處，亦即推力加載於推進管最後一節尾端上，且每推進一節施加推進力位置就必須往後挪，以符合實際推進情況。此外本節所求出之推進力尚未考慮超挖情形，超挖所需推進力必須以試誤法推求，理論上因超挖造成管材與周圍土體接觸面積減少，使摩擦抵抗力降低，超挖推進力會比一般管推進力要來的小。

結果與討論

本研究探討之典型直線推進模型設定條件如下：土體模型尺寸為 40 m × 40 m × 25 m 之立方體，掘進機直徑 2 m、長 2.5 m，混凝土管為空心圓柱外徑 2 m、管長 2.5 m、壁厚 0.2 m，推管覆土深度為 11.5 m，所有元素類型皆為 C3D8I 元素，網格總數為 14520 個 (一般) 與 17800 個 (超挖)。卡鑽元素大小為 0.5 × 0.5 m × 0.2 m 之方體，卡鑽分別在掘進機後方第二節管材右側前、中、後三個位置，超挖範圍為水平線上 180 度、厚度 0.2 m，超挖長度一律從開挖面至卡鑽位置前一個網格處。土體考慮為彈塑性體，掘進機為彈性體，管材降伏前為線彈性，降伏後為彈塑性，圖例之 L' 為卡鑽元素自身長度 (m)， L 為其他節點與卡鑽元素之直線距離 (m)。數值分析模型代號整理如表 5。以上述條件進行直線推進模擬，數值分析結果及發現重點如下：

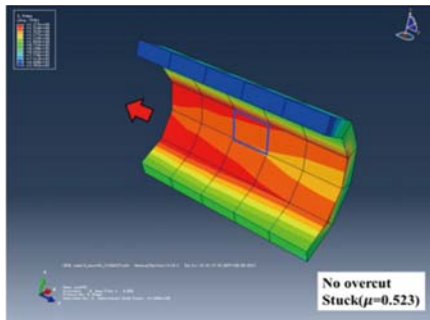
- (1) 卡鑽位置不同摩擦係數之數值分析結果顯示，管壁內外側之受力情形有明顯不同。推進遭遇卡鑽但沒有將管材卡死時 ($\mu = 0.523$)，管壁內側應力會比外側大。當卡鑽卡死摩擦係數 ($\mu = \infty$) 時，管壁內側應力會小於外側，相較於卡鑽類型 ($\mu = 0.523$) 之行為正好完全相反 (如圖 3、圖 4)。
- (2) 卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = 0.523$) 時，用一般狀況推進時之推進力一樣可使管材推至定位。即便摩擦係數增加，當推進力大於卡鑽位置之最大靜摩擦時，一樣會讓管體前進，對推進行為影響不大。此

表 5 數值分析模型代號

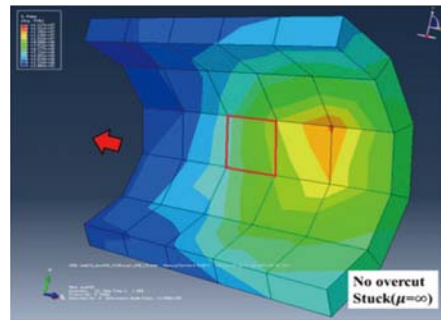
數值分析模型代號		說明	
直線推進	No, Ns	No overcut, No stuck	無超挖及卡鑽之情形
	No, s	No overcut, stuck	無超挖，有卡鑽之情形
	o, Ns	overcut, No stuck	超挖範圍 180°，無卡鑽之情形
	o, s	overcut, stuck	超挖範圍 180°，有卡鑽之情形
曲線推進	No, Ns	No overcut, No stuck	無超挖及卡鑽之情形
	No, s	No overcut, stuck	無超挖，有卡鑽之情形
	135, Ns	overcut range 135°, No stuck	超挖範圍 135°，無卡鑽之情形
	135, s	overcut range 135°, stuck	超挖範圍 135°，有卡鑽之情形
	180, Ns	overcut range 180°, No stuck	超挖範圍 180°，無卡鑽之情形
180, s	overcut range 180°, stuck	超挖範圍 180°，有卡鑽之情形	
共用	L'		卡鑽元素自身長度 (m)
	L		其他節點與卡鑽元素之直線距離 (m)
	AA'		管壁內側環向路徑
	BB'		管壁外側環向路徑
	CC'		周圍土壤環向路徑
	DD'		管壁內側軸向路徑
	EE'		管壁外側軸向路徑
	FF'		周圍土壤軸向路徑
GG'		土壤徑向路徑	

外卡鑽位置距離後方千斤頂越近，則管材內外側應力差距越大（圖 5、圖 6）。

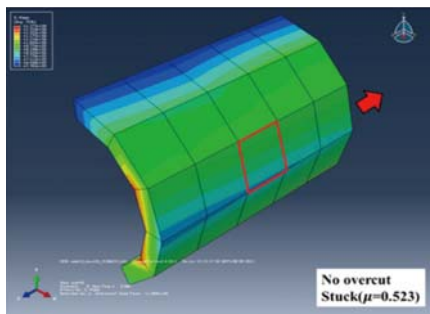
- 一般直線推進遭遇卡鑽之數值分析結果顯示，卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = \infty$) 比摩擦係數 ($\mu = 0.523$)，管材與土壤各方向（環向、軸向及徑向）應力皆增加 5 ~ 25 倍，土壤各方向變位增加約 25 ~ 70 倍（圖 5 ~ 圖 20）。
- 直線超挖推進在遭遇卡鑽問題時，微觀行為變化比一般直線推進遭遇卡鑽時更為劇烈。比較卡鑽位置摩擦係數 ($\mu = \infty$) 與摩擦係數 ($\mu = 0.523$)，管材與土壤各方向（環向、軸向及徑向）應力皆增加 5 ~ 25 倍，土壤各方向變位較為明顯，增加約 65 ~ 200 倍（圖 5 ~ 圖 20）。



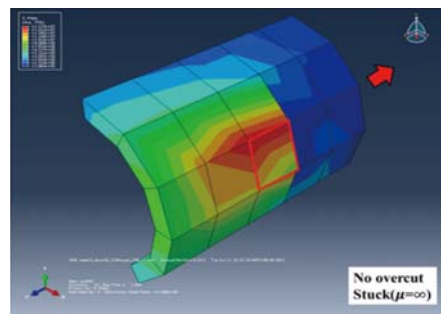
(a) 管壁內側



(a) 管壁內側



(b) 管壁外側



(b) 管壁外側

圖 3 直線推進部分卡鑽之管壁內外側應力示意圖

圖 4 直線推進卡鑽卡死之管壁內外側應力示意圖

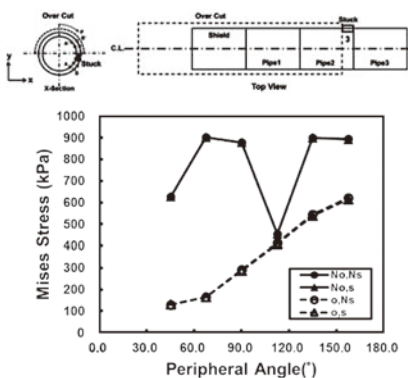


圖 5 水平比較直線推進管壁內側 (AA') 環向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

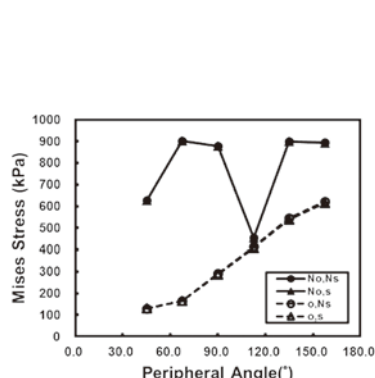


圖 6 水平比較直線推進管壁外側 (BB') 環向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

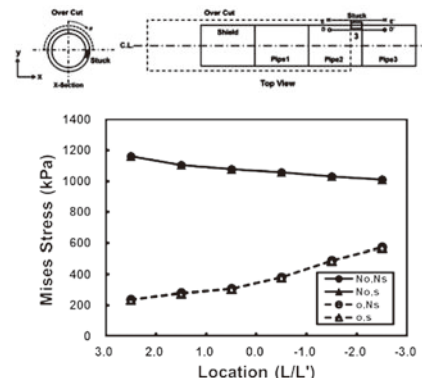


圖 7 水平比較直線推進管壁內側 (DD') 軸向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

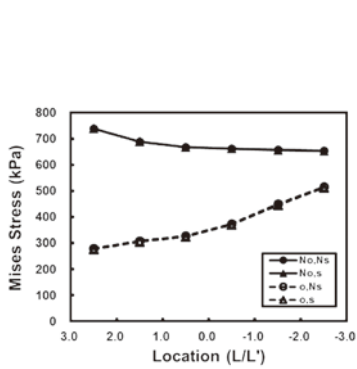


圖 8 水平比較直線推進管壁外側 (EE') 軸向應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

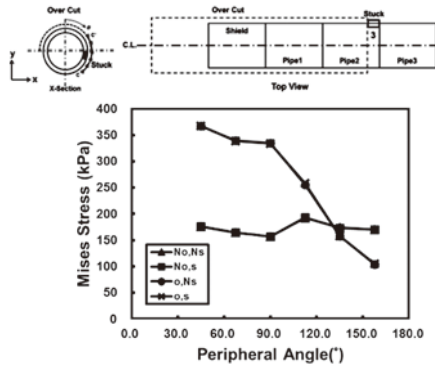


圖 9 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

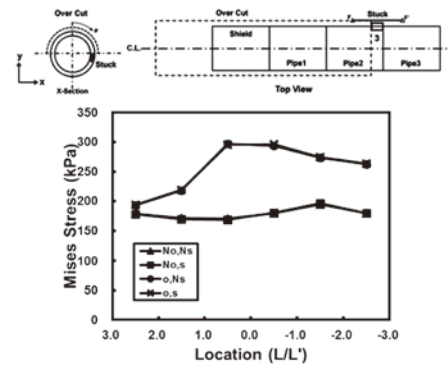


圖 10 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

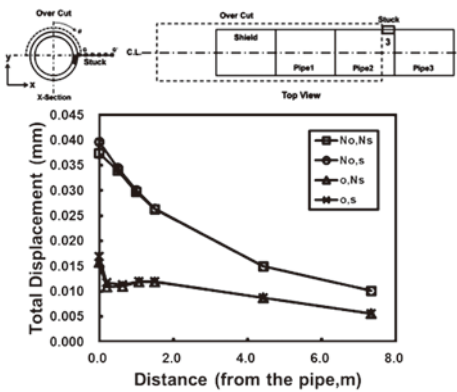


圖 11 水平比較直線推進土壤徑向 (GG') 變位圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

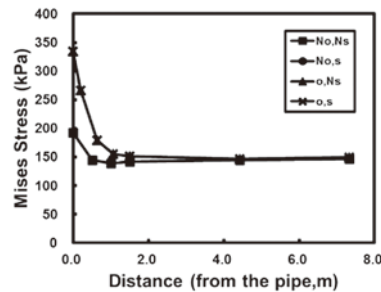


圖 12 水平比較直線推進土壤徑向 (GG') 應力圖 ($\mu = 0.523, \theta = 180^\circ$)

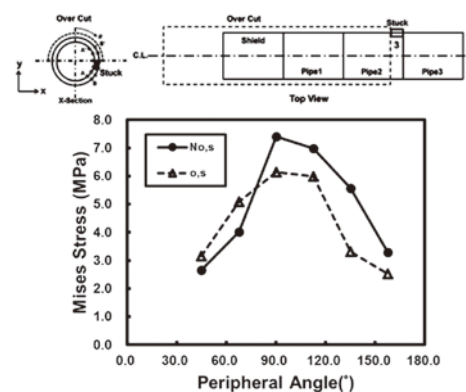


圖 13 水平比較直線推進管壁內側 (AA') 環向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

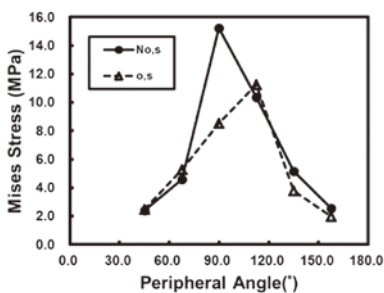


圖 14 水平比較直線推進管壁外側 (BB') 環向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

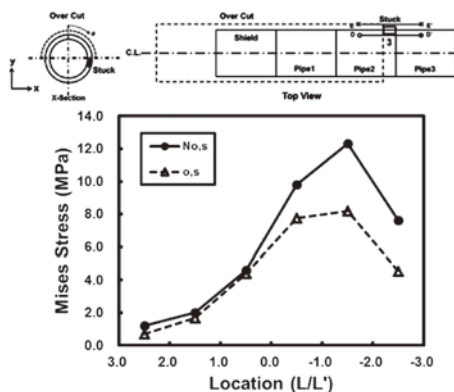


圖 15 水平比較直線推進管壁內側 (DD') 軸向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

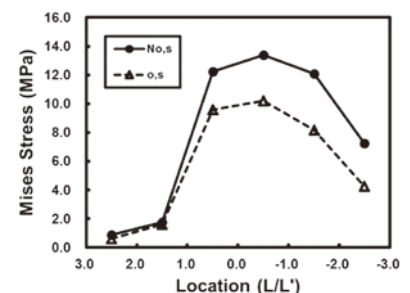


圖 16 水平比較直線推進管壁外側 (EE') 軸向應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

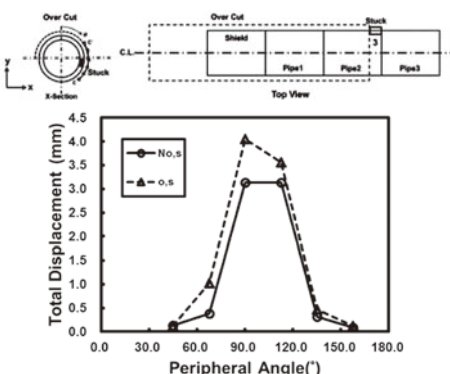


圖 17 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 變位圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

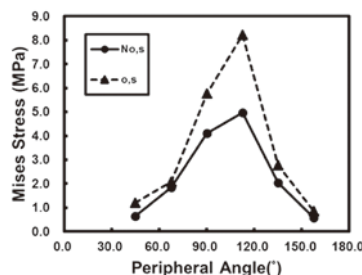


圖 18 水平比較直線推進土壤環向 (CC') 應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

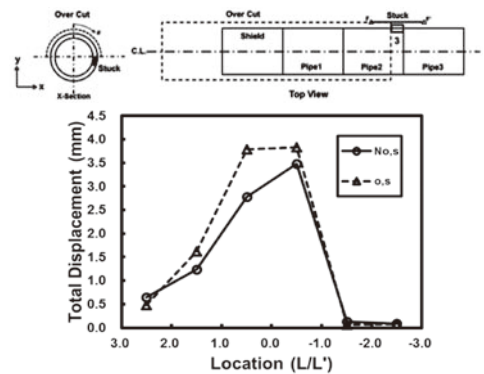


圖 19 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 變位圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

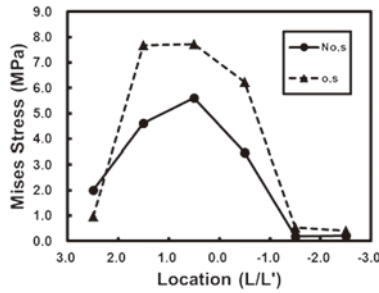


圖 20 水平比較直線推進土壤軸向 (FF') 應力圖 ($\mu = \infty, \theta = 180^\circ$)

結論

本研究針對直線推進施工中超挖範圍、卡鑽位置、阻力大小等，以 ABAQUS 有限元素軟體進行三維數值模擬。結果顯示卡鑽位置及不同卡鑽程度（不同摩擦係數），管壁內外側之受力情形有明顯不同；當卡鑽完全卡死時，管材與土壤都承受極大應力及變形，應盡可能避免。

由本研究之結果可歸納得以下之建議：滑材特別是管外側之背填滑材的施加對於管材之穩定及推進力之控制影響甚巨；此外，背填滑材施加後管材與土壤之互制行為變得較溫合，對於土壤的變位包括地表的沉陷也可獲得改善。以上之建議，對於較大口徑、超挖量大、或地層變異性大之免開挖施工，更加重要或適用。

參考文獻

1. 愛發股份有限公司，ABAQUS 實務入門引導，台灣：全華圖書，2005:1 ~ 276。
2. 石亦平、周玉蓉，ABAQUS 有限元分析實例詳解，北京：機械工業出版社，2008:1 ~ 391。
3. 曹金風、石亦平，ABAQUS 有限元分析常見問題解答，北京：機械工業出版社，2008:1 ~ 306。
4. 褚炳麟，台灣地區麓山帶與台地礫石材料性質之初步研究，中國土木水利季刊，1982.9(2):73 ~ 86。
5. 黃崇仁、司徒銳文，台中大肚山台地卵礫石層承載特性調查實例，國際卵礫石層地下工程研討會，台北，1995:1-41 ~ 1-50。
6. 中興工程顧問社，台中市垃圾焚化廠管理大樓、警衛室、配水池大地力學現地直剪試驗報告，台灣環境保護處，1993。
7. 中興工程顧問社，台中市第四期工業區開發計劃地質鑽探及實驗工作報告書，台灣土地開發信託投資股份有限公司，1995。
8. 任德煜、黃國書、林棕元等，台中盆地利用推進工地施行直接剪力試驗之研究，岩盤工程研討會，新竹，1998:119 ~ 128。
9. 財團法人中華顧問工程司，台灣西部走 高速鐵路路線結構工程細部設計苗栗 - 台中段補充地質調查報告，高速鐵路工程籌備處，1994。
10. 陳堯中，管推進工程管線與土壤互制行為之分析研究，土木水利，2001. 28(2):5 ~ 19。
11. 顏君行，管推進工程管線與土壤互制行為之分析研究，台中：中興大學土木工程研究所，2006。
12. 王金昌、陳頁開，ABAQUS 在土木工程中的應用，大陸：浙江大學出版社，2007。
13. 劉耕豪，鉛直曲線管推進對土壤及鄰近建物影響之數值分析，台中：中興大學土木工程研究所，2010。



105 年年會

工程教育論壇

土木工程學生設計能力和國際移動力

11月19日(六) 13:30~17:20 台中林酒店

土木工程系是如何培育學生解決工程問題的能力？這方面的教育和工程教育認證有怎樣的關係？當今國際上工程教育認證的現況和影響為何？工程教育認證對土木系畢業生國際移動力又有如何的影響？本論壇將針對以上問題提供說明及經驗分享，並希望藉由與與會者的交流強化國內土木工程教育與世界接軌的進展。

議程

時間	講題	講者
13:30~13:40	論壇介紹	主持人：呂良正理事長
13:40~14:00	國際工程教育認證現況及影響	劉曼君博士 中華工程教育學會 (IET) 辦公室主任兼認證委員會副執行長
14:00~14:10	Capstone 問卷調查結果分享	
14:10~14:30	台大土木工程實作經驗分享	
14:30~14:50	淡江土木 Capstone 課程之初體驗	
14:50~15:10	Q & A	主持人：呂良正理事長
15:10~15:40	Tea & Coffee	
15:40~15:55	學生工程創意競賽得獎團隊發表	金牌 (TBA)
15:55~16:10		銀牌 (TBA)
16:10~16:25		銅牌 (TBA)
16:25~16:45	國際專業工程師執照 FE & PE 考試	王華弘副教授 中華臺北亞太工程師監督委員會副秘書長
16:45~17:05	跨國執業經驗談	張文豪技師 卡文諮詢工程師有限公司
17:05~17:20	Q & A	主持人：呂良正理事長