蔡淵堯 林恆次 許琍婷 吳仁哲 諶家瑞 王慶麟

台灣世曦工程顧問股份有限公司

摘要

近年來,國際上主流的構造物設計規範已逐漸朝向性能設計發展,惟大部份地下結構物的 設計仍然停留在傳統取特定安全係數,以力的平衡(force-balance)觀念來決定構造物尺寸及材 料性質的設計方式。日本鐵道構造物規範突破傳統大地工程設計的限制條件,將性能設計的需 求,納入地下結構物的設計準則與驗證機制,並取消強制變位(racking)評估地震力之簡易法, 改採非線性側推分析模式,以驗證地下結構物的耐震性能表現。

本文藉由雅加達捷運地下結構物設計案例,說明日本性能設計規範應用情形,包括設計流 程規劃、主要參數決定、性能準則與驗證方式,並與國內所採取的簡易法所獲得成果進行初步 的比較與分析,以作為國內工程界於地下結構工程導入性能設計規範之參考。

關鍵字:地下結構物、連續壁、逆打工法、側推分析、有限元素分析、性能設計。

Application of Japanese Performance –Based Design Codes on Underground Structure – Case Study of Jakarta MRT Project

Yuan-Yao Tsai Heng-Tzu Lin Li-Ting Hsu Jen-Che Wu Chia-Ray Seng Ching-Lin Wang CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

Abstract

In recent years, major design codes around the world have adopted a performance-based design approach. However, most of the design of underground structures is still implemented based on the traditional force-balance method with a specified factor of safety. Japanese Railway Technical Research Institute is one of the pioneers to utilize a performance-based design code for underground structures, where specific performance objectives and verification methods have been developed. Furthermore, applications of the simplified method with free-field racking deformation imposed on underground structures have been canceled and replaced by a non-linear push-over method to verify structural performance under seismic loading conditions.

This paper presents the design of underground structure of a Jakarta MRT project utilizing the Japanese performance-based design code. The design process, planning, major parameters determinations, acceptable level assignments, and verification methods are introduced in the paper. The response of structures obtained from both the simplified method and the non-linear push-over method are compared and discussed.

Key Words: underground structure, diaphragm wall, top-down method, push-over analysis, finite element analysis, performance-based design.



雅加達捷運第一期工程為日本國際協力機

構(JICA)援助計畫,採取統包(design-build)模 式發包,以設計-施工併行(fast-track)模式縮短 工期,設計與施工採用日本鐵道總合技術研究所 (以下簡稱RTRI)主編之鐵道構造物等設計標

準,但同時需符合當地相關法規,通過都市設計 審議、結構地工外審(以下簡稱TPKB)及水電環 控外審等三大外部審查。台灣世曦工程顧問公司 (以下簡稱CECI)受統包商三井住友(Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd.,簡稱SMCC)之 委託,負責其中CP106區段標之細部設計與施工 中諮詢服務。CP106標工程全長2.5公里,包括 兩座地下車站(DKA站與BHI站)、一座明挖覆蓋 橫渡線結構及兩段潛盾隧道結構。路線穿越雅加 達最繁華的商業區,緊鄰許多重要建築物(如日 本大使館、五星級旅館與大型購物中心),隧道 地下穿越既有鐵路系統及河川,與鄰房最近距離 僅有0.7公尺,更為這項指標性的捷運工程計畫 增添設計和施工的難度。

本工程於2013年12月正式啟動,在三井 住友及台灣世曦共同努力下,工程順利進行, 地下結構開挖、隧道鑽掘及結構體構築是雅加 達捷運第一階段工程中進度最佳之標段,並於 2019年3月24日正式啟用。因有台灣廠商參與 建設,吸引國內媒體爭相報導。

本文介紹地下結構工程採用最新日本鐵道 構造物性能設計規範進行穩定分析、土壤結構互 制分析與耐震設計之成果與經驗,以作為國內 工程界進軍東南亞地區地下結構工程之參考。

二、設計標準與審查要求

本計畫地下結構系統採單牆結構(如圖一 所示),與國內捷運工程之雙牆系統不同。連 續壁除了需承擔開挖施工不同階段的土水壓 力作用外,必須與車站結構整體考量,承受完 工後的永久載重狀態,包括不同迴歸期的地震 力作用。RTRI 2012年之「鐵道構造物等設計 標準,同解說-耐震設計」規範已取消簡化之 強制變位法(racking method),要求必須採用 非線性側推分析進行耐震設計檢核,以確認結 構在不同規模(ODE與MDE)地震力作用下的 損害程度,仍然能夠滿足規範要求。

本計畫設計流程與不同單位(總顧問與當 地外審委員會)的審查規定彙整如圖二所示。 無論是穩定分析、土壤結構互制分析、結構設 計與耐震設計等標準,日本規範與當地標準或 慣例均有相當程度的差異。經過日本總顧問審



圖二 設計流程與審查要求

核通過的成果一旦進入TPKB,立刻接到大量 的審查意見,透過國內學界的協助及動員大量 資源進行溝通協調,成功說服審查委員接受以 日本規範為主體,避免規範混用的原則。但是 針對不抵觸規範基本原則的當地慣用檢核標 準,例如貫入深度檢核與排水/不排水分析原 則,則進行額外的檢核與分析,以化解委員們 的顧慮,使本標工程成為雅加達捷運工程中, 第一個通過TPKB審查的標段。

三、地質概況

雅加達為印尼首都,位於瓜哇島(Java island)西北角(如圖三),其行政區域劃分成五大

地工技術 No. 160/2019.6 17

區(如圖四),本論文所討論之CP106標工程位於 中雅加達區(Central Jakarta),包含兩座地下 車站(簡稱DKA站、BHI站)與兩段潛盾隧道。

綜合文獻及本工程調查結果顯示,雅加達 地區由第四紀沉積物覆蓋於第三紀沉積物之 上,然其厚度劃分似仍有爭論,Firmansyah and Sukamta(2000)認為第四紀沉積物厚達 200~300公尺(圖五),而Rismianto and Mak (1993)主張第四紀沉積物僅厚約35公尺(圖 六)。本工程之調查結果(SMCC, 2014)顯示地 盤主要由深厚之高塑性粉土組成(圖七),其間夾 有砂土層,土層分佈大致與圖六相符。SPT-N值 有隨深度增加之趨勢,但數值分佈變異性相當 大,砂性土層N值常達30~50以上,深度超過10 公尺之粉土N值常達15~30,圖八為BHI站之 SPT-N值分佈(SMCC, 2014)。較高之SPT-N值 常導致使用傳統薄管(Shelby tube)靜壓取不擾 動試樣時發生困難。



圖三 雅加達位置





圖五 雅加達水文地質



圖六 雅加達地層分佈



本計畫透過蒐集鄰近工程之單向度壓密 試驗結果,初步了解當地鑽探取樣擾動程度 後,統包商決定以定置式活塞取樣器及 Mazier取樣器取得高品質試體,並參照 Terzaghi et al. (1996)建議之試體品質指標 (Specimen Quality Designation, SQD),以 單向度壓密試驗選取SQD Level B級以上之 試體送往新加坡進行三軸剪力強度試驗,以求 得具代表性土層參數,相關成果可參閱蔡與諶 (2015)及Tsai et al. (2018)之討論。

四、深開挖穩定性規範比較

本計畫依雅加達首都特別行政區(DKI Jakarta)規定,業主需將結構與地工設計成果 提送至TPKB委員會審查,該委員會主要由印 尼大學教授組成,審查目的為確認設計成果是 否符合DKI Jakarta(2007)之設計準則。該準 則除規定各項設計要求外,亦對地質調查項 目、現地試驗、室內試驗項目提出最小要求。 受限篇幅,本節僅探討該準則關於深開挖穩定 性檢核之規定,以供工程界參考。

深開挖穩定性可區分貫入深度、隆起、砂 湧、上舉等四大類,表一至表三分別列出台灣 (內政部營建署,2001)、日本土木學會(JSCE) (2006)及DKI Jakarta(2007)關於深開挖穩定 性檢核之項目及安全係數,各地區對於各類穩 定性之檢核方式與安全係數要求均有所不同, 與當地之經濟狀況及施工經驗有關。

比較表一及表二,可知台灣與日本土木學會 檢核之項目及架構極相似,僅部分檢核項目台 灣所使用之安全係數略高於日本土木學會。然 而,日本土木學會所使用之土壓力公式自成一 家,引用時應注意規範所對應之分析方法。由 表三可知,雅加達地區深開挖之設計特別注意 短期與長期行為之比較,此點與新加坡類似。

五、深開挖分析

為了達成合理安全和經濟的設計成果, DKA和BHI站的設計簡化土層參數根據土層 分佈、SPT-N值和其他物理特性分為幾個子區 域。簡化土層參數分區沿DKA站分為4區,沿

=	ム織沈明忱孫ウ仲校技	
1	1 ,不用亿億止注烟%	

1 / 1 104 11 /		
	項目	安全係數
貫入深度		1.5
底面隆起		1.2
工小运	Terzaghi式	1.5
砂侽	臨界水力坡降	2.0
上舉		1.2

表二 日本JSCE深開挖穩定性檢核

	項目	安全係數
貫入深度 (開挖至底與出	最下支撐安裝前)	1.2
底面隆起		1.2
74.3子	Terzaghi式	1.2
眇湧	臨界水力坡降	2.0
上舉		自重:1.2 摩擦力:3.0

表三 雅加達深開挖穩定性檢核

Item	短期	長期
Global stability	1.3	1.5
Basal Heave on final stage excavation	1.5	2.0
Basal Heave on each stages of excavation	1.5	1.5
Piping	1.5	2.0
Hydraulic uplift	1.25	

BHI站分為5區(包括明挖覆蓋隧道),圖九即 為DKA站簡化土層參數分區。分析斷面之選 擇必須同時考慮結構配置與簡化土層分佈,以 DKA站為例,共需進行7個分析斷面,一併標 示於圖九。受限於文章篇幅,僅列出DKA站 Type DB之簡化土層參數於表四,以下關於深 開挖分析結果亦僅討論D4斷面。

在進行有限元素(FE)分析之前,必須依據 JSCE (2006)檢核每個斷面之穩定性,檢核項 目如表二。以貫入深度為例,JSCE(2006)要求 安裝最下階支撐前及開挖至大底時均須檢核, 檢核方法如圖十所示。在找到平衡主動和被動 土壓力的深度(D)之後,對平衡深度D乘以安全 係數1.2後即為連續壁設計深度,DKA站各斷 面之貫入深度及連續壁設計深度綜整於表五。

本計畫車站結構為單牆系統,採逆打工法 (top-down method)施工(如圖一),連續壁與各 層樓板除了提供開挖中擋土支撐功能外,完工 後亦為永久結構之一部分,開挖施工引致之變 形和受力需納入永久結構設計考量。鑑於傳統 單梁模式分析軟體(如RIDO、FREW、TORSA、 WALLAP等)難以模擬逆打工法施工中交維、機 具及材料堆置荷重對於連續壁之影響,亦無法 得到各層樓板之撓度與受力,因此,本計畫採 用二維有限元素軟體Plaxis 2012版,根據施工 步驟進行了分析,典型施工步驟列於表六。DKA



圖九 DKA站分析斷面與簡化土層參數分區

表四 DKA站Type DB簡化土層參數

EL	Soil	ЪT	$\gamma_{\rm t}$	Cu	фu	c'	φ'	E_u
(m)	type	N	(kN/m³)	(kPa)	(deg)	(kPa)	(deg)	(kPa)
4.6	Surface							
0.8	Clay	4	14	24	0	2.8	44	11200
-1.6	Clay	20	18	120	0	35	32	56000
-3.6	Sand	50	19	-	-	0	35	140000
-11.4	Clay	25	18	150	0	43	30	70000
-16.7	Clay	15	18	90	0	35	32	42000
-31.8	Clay	19	18	114	0	35	32	53200
<-31.8	Clay	30	18	180	0	43	30	84000

表五	DKA站連續壁貫入深度與設計深度
----	------------------

Analysis Section	Soil Type	Ground Level (EL)	Excavation Bottom (EL)	Penetration Depth (m)	D-Wall Depth (m)
D1	DA	4.6	-21.65	10.25	36.5
D2	DA	4.6	-20.25	8.85	33.7
D3	DB	4.6	-20.25	8.85	33.7
D4	DB	4.6	-20.25	8.85	33.7
D5-1 D5-2	DC	4.6	-20.25	8.85	33.7
D6	DD	4.6	-21.65	10.05	36.3

表六 DKA站逆打開挖施工步驟

Phase No.	Construction Stage Identification
0	Initial phase
1	Initial Surcharge
2	Slope Excavation & D/W+King Post Pile
3	Excavate to EL.2.6m & Road decking
4	1st Excavate to EL0.5m
5	Top Slab at EL.1.1m
6	2nd Excavate to EL6.6m
7	B1 Slab at EL5.4m
8	3rd Excavate to EL12.5m
9	B2 Slab at EL11.3m
10	4th Excavate to virtual depth at EL18.85m
11	Cast Trench RC support beam 0.35mx2m @10m at EL20.1m
12	5th Final Excavate to EL20.25 m
13	Leveling concrete & Construct Bottom slab at EL18.95m



貫入深度檢核



站之開挖分析模型除包含前述交維及施工中載 重外,亦須考慮鄰近建築物與公路路堤荷載, DKA站D4斷面之FE模型如圖十一所示。

D4斷面分析結果擇要示於圖十二至圖十 四。在完成車站結構後,最大地面沉陷約5cm, 發生於鄰近公路路堤頂部(圖十二);由於地表不 對稱載荷,兩側連續壁撓度亦呈現出不同的數值 和形狀,靠路堤側之連續壁預測最大撓度為 6.6cm(圖十三);分析所得之連續壁與樓板受力 狀況(含彎矩、剪力與軸力,圖十四為連續壁彎 矩)需納入永久結構設計考量。如第四節所述, 雅加達地區深開挖設計實務受新加坡影響,必須 同時考慮短期(不排水)與長期(排水)行為,對同 一分析斷面,亦須分別進行不排水與排水狀況分 析後,取結構受力之包絡線進行後續設計。







圖十三 DKA站D4斷面最終階連續壁撓度



圖十四 DKA站D4斷面最終階連續壁彎矩

六、地下結構非線性耐震設計

6.1 非線性側推分析

本計畫依據日本「鐵道構造物等設計標準, 同解說-耐震設計」(日本鐵道總合技術研究所, 2012)之非線性側推分析法進行耐震設計,利用 二階段分析(two-staged analysis)考慮了土壤材 料與結構材料之非線性力學性質,受限於篇幅, 本節僅做摘要說明,詳細內容請參閱該設計標準 或Tsai et al. (2018)、楊等人(2014)論文。

耐震分析原為複雜之動態結構土壤互 制,實務上拆解成「地盤受震反應分析 (site-specific ground response analysis)」 與「結構應答變位分析」兩個階段,圖十五即 為地下結構地震應答變位分析法之示意。其 中,地盤自由場位移、周邊剪力、地盤彈簧及 加速度均由地盤受震反應分析結果而得,再輸 入結構模式中進行結構 - 土壤互制分析。本計 畫採用美國南加大Bardet and Tobita(2001) 發展之非線性一維程式NERA進行地盤受震 反應分析,地下結構非線性側推分析則採用日 本JRSE株式會社(JR Soken Engineering Co., Ltd., 2013)發展之軟體JRSNAP。地下 結構非線性耐震設計之流程詳圖十六。

進行耐震設計前必須定義結構物耐震性 能(seismic performance,簡稱SP),耐震性 能依據不同地震強度定性定義如下:

1. SP I: ODE發生時,結構體應能保有其功 能,且地震後結構體應仍能維持功能而不需維修。

 SP II: MDE發生時,結構體應能保有 其必要之承載能力以供使用,地震後經短暫維 修即能恢復其功能。







結構設計前應以定量方式定義各結構桿 件的損傷狀態,以符合前述耐震性能之定性定 義。結構桿件損傷狀態的定義詳圖十七,為符 合前述耐震性能要求,本計畫定義了不同設計 考量地震規模下,各結構桿件之容許損傷狀 態,如表七所示。

表七 CP106結構桿件容許損傷狀	;熊
-------------------	----

Member Dama	SP I (ODE)	SP II (MDE)	
Top Slab		1	2
MULCII	Track Level	1	2
Mid Slab	Other else	1	3
Side wall		1	2
Column	1	2	
Bottom Slab	1	2	

進行地盤受震反應分析時,必須輸入設計 地震歷時(人工合成地震)、岩盤深度、土壤動 態工程特性等參數,惟受限於當地基礎研究之 不足,部分參數僅能參考文獻建議。Asrurifak et al. (2013)以微動法提出雅加達地區岩盤深 度分佈如圖十八,本計畫位置之岩盤面約深 600公尺,惟考量文獻資料之不確定性及雅加 達當地實務,經比較不同岩盤深度對地盤受震 反應分析結果之影響後,最終設計考慮岩盤位 於深度350公尺處。此外,本計畫曾進行三處 下孔式波速試驗,並進行初步研究,求得地盤 剪力波速C_s與SPT-N值之關係如圖十九,其最 佳迴歸關係如公式(1)所示,與台灣工程實務 常採用之日本經驗公式類似(一併繪於圖十 九),可供後續計畫參考。

$$C_{\rm s} = 118 \times N^{0.28}$$
 (1)

NERA地盤受震反應分析結果輸出之加 速度、地盤變位、剪應力及剪力模數(圖二十) 經進一步換算成等值土壓力、地盤彈簧、結構 周邊剪力及慣性力,輸入結構之梁-彈簧模式 中進行非線性側推分析,側推過程需考慮各桿 件元素之非線性彎矩-曲率關係(如圖十七), 此關係實際上與軸力相關,並非定值。分析結 果摘要示於圖二十一,顯示BHI站結構體各桿 件在MDE狀況下均未達其降伏彎矩,經檢視 圖二十一中編號55及96元素之受力狀況,確 認其受力僅略超出開裂彎矩(如圖二十二)。



6.2 簡易法與非線性側推法比較

針對地下車站之耐震設計,台灣工程實務 上多以擬靜力之強制變位法(racking)進行分 析。當地震發生時,土體受到由基盤向上傳遞 的剪力波反覆剪動的影響,產生了自由場剪力 變形γ_{ff} (free field racking deformation),其 值可以下式推估:

$$\gamma_{\rm ff} = \frac{v_{\rm s,max}}{c_{\rm s}} \tag{2}$$





公式(2)中V_{s,max}為地表土壤顆粒之尖峰速度,C_s 為土壤剪力波速。埋置在土體中的地下結構 物,受到周圍土壤施加此強制變位後將反應出 結構變形,此結構之反應變形γ_s值與地震大小、 土壤類別、土層分佈、土壤與結構相對勁度、 覆土厚度、基盤深度等有相當的關係,其行為 相當複雜。台灣工程實務多以有限元素法建立 結構體與周圍土壤模式,將自由場剪力變形γ_{ff} 施加於模式邊緣,經分析收斂求得模式中結構 之反應變形值γ_s;或參考Penzien (2000)、日本 鐵道總合技術研究所 (1999)建議之簡易公式 法,求取γ_s與之γ_{ff}比值,細節可參閱原始文獻或 陳等人(2012)、許等人(2006)之討論。

前述簡易法中,以日本鐵道總合技術研究 所(1999)建議之公式最為完整,同時考慮了土 體勁度、結構勁度、結構尺寸、覆土深度與基



$$b = -0.036 \times \left(\frac{B}{H}\right) + 0.040 \times \left(\frac{H_1}{H_2}\right) + 0.92$$
 (5)

公式(3)~(5)中,α_r為應答係數,G_g為土體 的剪力模數,G_{st}為結構等值剪力模數,B與H為 結構體寬度與高度,H₁為基盤的深度,H₂為結 構體中心至地表之高度。此外,按日本鐵道總 合技術研究所(1999)規範,計算結構體等值剪 力模數G_{st}時,結構桿件斷面慣性矩應考慮開裂 予以折減,在L1地震(板塊運動造成之地震) 下取0.5EI_g(I_g為全斷面慣性矩);在L2地震(近 斷層造成之地震)下則視變形角而定,1/150內 取0.2EI_g,1/150~1/100取0.15EI_g,超過1/100 時可取0.1 EI_g。

為比較非線性側推法與簡易法的差異,本 文嘗試將6.1節所述BHI車站斷面在相同載重狀 況下以簡易法進行分析。經以結構軟體STAAD pro V8i建立結構模型,計算其結構等值剪力模 數G_{st}後,代入公式(3)~(5),求得MDE狀況下應 答係數ar為1.26,如表八。後續將地盤彈簧及各 項載重以工作狀況(D+L+Ps+Pw+EQ)輸入模型 進行分析,其彎矩分析結果如圖二十三所示。

經比較分析斷面上六個特定位置之簡易 法分析所得彎矩M₁與RTRI非線性側推分析所 得彎矩M₂,彙整如表九所示。在相同的載重、 地質與幾何條件下,簡易法分析在頂板左右兩 側所得最大彎矩分別約為非線性側推法之 57%與87%,但在底板兩側最大彎矩卻為非線 性側推法分析所得之204%。初步研判,造成 此一差異之主因在於結構斷面慣性矩折減量、 應答係數值及邊界條件不同。

6.3 小結

由6.1節討論可以看出,在RTRI(2012)所 要求的非線性側推法中,各結構元素依據自身 之「軸力-彎矩-曲率」關係進行分析,且無 需事先研判應答係數,結構之反應變形量係由 擬靜力之結構土壤互制分析結果決定。側推前 必須先完成結構配筋及地盤受震反應分析 (ground response analysis),側推過程完全

- 我八 BHI里站結構寺值剪刀桿數及應答係

結構型式	開裂 折減	G _{st} (kPa)	<i>B</i> (m)	<i>Н</i> (m)	а
雙層	0.5	5495	22.3	14.85	0.1767
b	$\alpha_{\rm r}$	$V_{s,max}$ (m/s)	C _s (m/s)	$\gamma_{ m ff}$	$\gamma_{\rm s}$
0.9490	1.26	0.275	221	1/447	1/355

表九 簡易法與非線性側推法分析結果比較

位置		M_{1}/M_{2}
1 2 3	1	0.57
	2	1.24
	3	0.87
	4	2.04
	5	1.19
4 5 6	6	1.02



圖二十三 BHI車站MDE簡易法彎矩圖(kN-m)

由結構材料之非線性性質決定其等值慣性矩 為其特色。

簡易法必須事先研判結構之反應變形,無 論依據台灣工程界慣用之有限元素法、 Penzien(2000)或RTRI(1999)之簡易公式法, 都需要事先判斷結構開裂與否,而對斷面慣性 矩進行折減,折減後的慣性矩影響了結構勁度, 又進一步影響應答係數及分析結果。理論上應 進行多次反覆疊代,直到慣性矩折減值與後續 分析所得之結構桿內力能相互諧和,方達收斂。 然而,台灣目前的地下車站結構設計實務係將 地震力賦予載重係數納入載重組合中,分析後 與其他載重組合的結果取包絡線進行配筋設 計,其重點在於強度設計,與RTRI(2012)以 構件變位及損傷程度檢核不同。本文僅利用特 定地質條件下單一分析斷面來比較二者之結 果,無法建立系統化的趨勢與量化結果,尚待 更多實際案例的回饋與驗證。

、結論與建議

 雅加達地區深開挖之設計特別要求短 期與長期行為之分析比較,並取結構受力之包 絡線進行設計,與新加坡工程慣例類似。

 2.最新日本鐵道構造物規範耐震設計標準已取消簡易的強制變位法,要求採用非線性 側推分析法進行耐震設計檢核。

3. 「地盤受震反應分析」與「結構應答 變位分析」二階段之耐震分析在不耗費大量分 析資源情況下,分別掌握地盤與結構之非線性 特性,本計畫採RTRI(2012)之非線性側推分 析結果顯示,地下車站結構設計非由地震狀況 控制。

4. 在本計畫的條件下(相同的地震規模、 地質情況與結構斷面),採取國內慣用的簡易 法與非線性側推分析所得地下的最大結構彎 矩,在局部的角隅位置,具有-43%至+104% 的差異,有待更多實際案例的驗證,以歸納出 系統化的結論。

誌謝

感謝國立台灣科技大學歐章煜教授及其 研究團隊多年來在深開挖工程的卓越研究成 果,受到國際大地工程界的注目與認可,使得 台灣工程團隊的專業連帶受到信任,突破陌生 地質條件與新規範的障礙,成功輸出台灣的捷 運工程建設經驗。國家地震工程研究中心 簡文郁博士就地盤反應模擬與分析所提供的 寶貴建議,協助設計團隊大幅縮短摸索的時間, 在此致上最深的感謝之意。

參者文獻

內政部營建署 (2001),「建築物基礎構造設計規範」

- 楊家豪、蔡淵堯、熊彬成、諶家瑞、蔡榮禎(2014),「地 下結構體之非線性耐震設計分析-以雅加達捷運為 例」,第十二屆結構工程研討會暨第二屆地震工程研 討會,高雄。
- 蔡淵堯、諶家瑞 (2015),「印尼雅加達地區捷運地下工程 調查與設計之經驗回饋」,第十四屆海峽兩岸隧道與 地下空程學術與技術研討會,宜蘭。

陳福勝、張修碩、王慶麟、林恆次、鄧宏逵 (2012),「明 挖覆蓋結構耐震設計簡易分析法研究」,第十一屆海 峽兩岸隧道與地下工程學術與技術研討會,南投。

- 許書銘、張景順、林世勳、陳俊宏 (2006),「地下結構物 強制變位設計方法之改進」,*中興工程*,第九十期, 第55-61頁。
- 日本土木學會(JSCE) (2006)、「隧道標準示方書 開削工 法・同解説」。
- 日本鐵道總合技術研究所(RTRI) (2012),「鐵道構造物等 設計標準,同解說-耐震設計」。
- 日本鐵道總合技術研究所(RTRI) (1999),「鐵道構造物等 設計標準,同解說一耐震設計」。
- Asrurifak, M., Irsyam, M., Hutapea., B. M., Ridwan. M., Pramatatya, A. V., and Dharmawansyah., D. (2013). "Pengembangan Peta Klasifikasi Tanah dan Kedalaman Batuan Dasar untuk Menunjang Pembuatan Peta Mikrozonasi Jakarta Dengan Menggunakan Mikrotremor Array," Proceedings of the 17th Annual Scientific Meeting of HATTI, Jakarta, 67-72. (in Bahasa).
- Bardet, J. P., and Tobita, T. (2001). "NERA A computer program for Nonlinear Earthquake site Response Analyses of layered soil deposits," University of Southern California.
- DKI Jakarta (2007), "Guidelines for structural and geotechnical design." (in Bahasa).
- Firmansyah, I., and Sukamta, D. (2000). "Common Practice Basement Construction in Jakarta-Indonesia," ACF Symposium Technical Report, 28-39.
- JR Soken Engineering Co., Ltd. (JRSE) (2013). User's manual of JRSNAP. (in Japanese).
- Rismianto, D., and Mak, W. (1993). "Environmental aspect of groundwater extraction in DKI Jakarta: Cangging Views," Paper presented at the 22nd Annual Convention of the Indonesia Association of Geologists, Bandung.
- Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd. (SMCC) (2014). "Geotechnical Interpretative Report," Construction of Jakarta Mass Rapid Transit Project, Underground Section CP106.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons.
- Tsai, Y. Y., Morota, M., Hanaki, S., Chan, H. I, Lin, H. T., Hsu, L. T., and Ma, F., (2018). "Sophisticated soil sampling, finite element geotechnical analysis and nonlinear seismic design for underground structures in Jakarta MRT Project," Proceedings of Numerical Analysis in Geotechnics – NAG2018, Ho Chi Minh City, Vietnam, 22nd March 2018.
- Penzien, J. (2000). "Seismically induced racking of tunnel linings," Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29, 683-691.