

參加新加坡山巴旺快速公路跨越布萊德路

高架橋統包競標工程之研討
REVIEW OF SINGAPORE BRADDELL ROAD
FLYOVER "TURNKEY" PROJECT

莫 若 礪

程 龍 光

ZA-LEE MOH

Moh and Associates, Inc.

and

L.K. CHENG

RSEA International Pte. Ltd.

Singapore

原載於中國工程師學會海外工程研討會論文專集，

73 年 10 月 6 日

Reprinted from

*Proceedings, Seminar on International
Engineering Works, Taipei, 6 Oct., 1984
Chinese Institute of Engineers*

參加新加坡山巴旺快速公路跨越
布萊德路高架橋統包競標工程之研討

程 龍 光

榮工國際公司副總經理

莫 若 彌

亞新工程顧問公司董事長

摘 要

我國自十大建設完成，工程技術水準日益精進，不論在施工技術或設計實務能力隨着國家經濟的穩定發展同樣受到國際的重視。榮民工程事業管理處為配合政府輔導榮民就業的既定政策，也成為我國工程技術對外輸出的主力之一。

新加坡為熱帶島國，幅員約 618 平方公里，人口約二百五十萬，地質變化相當複雜，靠近地表土層多為早期海中極軟弱粘土，工程上問題頗多。山巴旺快速公路跨越布萊德路高架橋橋址池塘四處密佈，橋樑之規劃設計除須考慮其地盤軟弱之特性外，並須考慮既有布萊德路交通要道之通暢。本工程為一國際標統包工程，不僅要達到其經濟的要求，並需兼顧與景觀的調和及美觀。舉凡現場勘查、工程地質探查或當地市場調查等前期工作皆須有通盤的了解以克竟全功。

海外統包工程競標要想與其他國際廠商抗衡，就須具備堅強的陣容，不斷提高技術水準與技術人力的儲訓，充分發揮團隊精神，以爭取外人的認同與信賴，果能如此方能立於不敗之地。

REVIEW OF SINGAPORE BRADDELL ROAD FLYOVER
"TURNKEY" PROJECT

L.K. Cheng
Vice President
RSEA International Pte. Ltd.
Singapore

Z.L. Moh
Chairman of the Board
Moh and Associates, Inc.
Taipei, Taiwan

ABSTRACT

After the completion of the 10 major construction projects in Taiwan, design ability and construction skills of firms in the Republic of China has been greatly improved. Ret-Ser Engineering Agency is not only

becoming the leading constructor in Taiwan but also being recognized internationally. In recent years RSEA is becoming one of the major forces in ROC to export our construction skill and techniques abroad.

Singapore is a tropical island country with total area of 618 sq.km. The geological condition has large variation. Subsoils near the ground surface are mostly very soft clay which has many engineering problems. The construction site of the Braddell Road Flyover of the Sanbawang Expressway was covered with small ponds. To overcome the weak strength of the soft ground and to keep the normal traffic flow of the existing Braddell Road were two major problems during the flyover planning and designing phase. This project was an international "Turnkey" project. Bid has to be low and design has to be adequate to meet both engineering and architectural requirement. Location reconnaissance site investigation, market study and all other prebid work have to be done properly in order to win the contract.

To win an international "Turnkey" project, we have to have a strong design team and construction team working hand in hand. Not only our engineering design skill but also construction techniques have to be up to date. Only by gathering our best talents in the construction field together, we can then win a position in the competitive world construction market.

引 言

一個國家發展過程中，首要為交通運輸網之建立，七十年代初期我國十大建設中之七項建設均屬交通建設，多年來興建全國公路網仍不遺餘力，故在橋樑方面不論是施工或是設計特別是預力混凝土橋樑積有豐富的經驗。一般案例對橋樑所在地之地質環境、地形狀況、施工方法及其步驟應有整體性的考慮，方可使工期縮短達到經濟的目的。

新加坡山巴旺快速公路跨越布萊德路高架橋統包競標工程於一九八〇年五月初由新加坡政府公共工程部門邀請國際間具足夠財務能力與技術經驗的廠商參加資格審查。一

九八一年三月審查完成，並於當月底分發投標本工程有關文件，其內容包括：

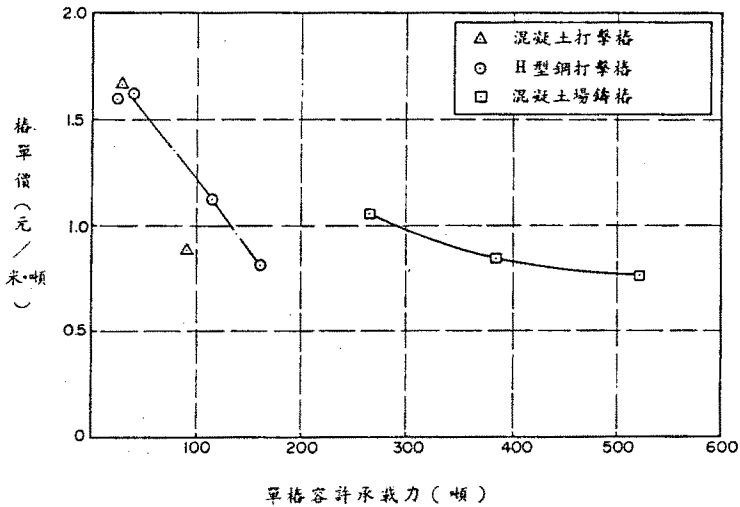
- 1 投標須知：含設計要求、功能要求及圖說。
- 2 預力混凝土與基樁技術規範。
- 3 路工技術規範。
- 4 橋址地質調查報告。

並規定所有廠商應於三個月內將統包設計圖件及標格投入。換言之，舉凡有關本工程的橋樑設計圖說、市場調查研究、其他必要的補充地質調查與踏勘測量、以及工程費用計算等工作均須在三個月以內完成，這是一個很緊湊的期限。

國際統包工程執行順利與否，業主對承包廠商提出之各項圖樣、施工方法及程序等之核定為關鍵之所在。經驗告訴我們，影響此類工程決標的因素可概括為工程費最低、能最早完工、外觀造型優良、工程顧問可提供承包廠商強有力的立場、對公眾安全設想最周到、施工材料可就地取材、將來容易養護及在使用年限終了時容易拆除等。其中以工程費用為最主要的一環，而且承包廠商與工程顧問公司間實質上的協調極為重要，支援的工程顧問公司除應有能力對施工期間的工程問題以最有效的方法處理，在投標階段並須指出工程本身可能遇到的特殊困難尋求解決方法或替代方案，使承包廠商能掌握全面狀況做最有利的抉擇以降低成本及其競標風險。

市場調查研究

任何工程對當地營建市場的調查及其他廠商投標價格的研究絕對是必要的，而在橋樑方面基樁價格與橋面單位面積造價的分析是兩大要項。就新加坡地區基礎工程來說，由於其地質屬海洋沉積粘土承载力極低，一般基礎多採用樁基礎處理，施工方法以打擊式基樁最多其次為現場灌鑄式混凝土樁。在基樁價格方面，H型鋼打擊樁和場鑄式混凝土樁相差很有限，此與當地海陸交通發達材料運費低廉以及其混凝土骨材缺乏費用較高有關。圖一係綜合近年內新加坡橋樑工程常用基樁的造價分析比較，單樁承载力在160噸以內多採用打擊式基樁，超過此限度則採用直徑75公分以上的場鑄式基樁。在橋樑造價方面於1979年以前的價格變化較大，於1980年後單位面積造價一般在新加坡幣1100元至1200元之間，除了跨越裕廊與旁丹過河橋其基樁採用鋼管樁造價略高，有關上述工程投標方式及工程規模詳如表一所示。



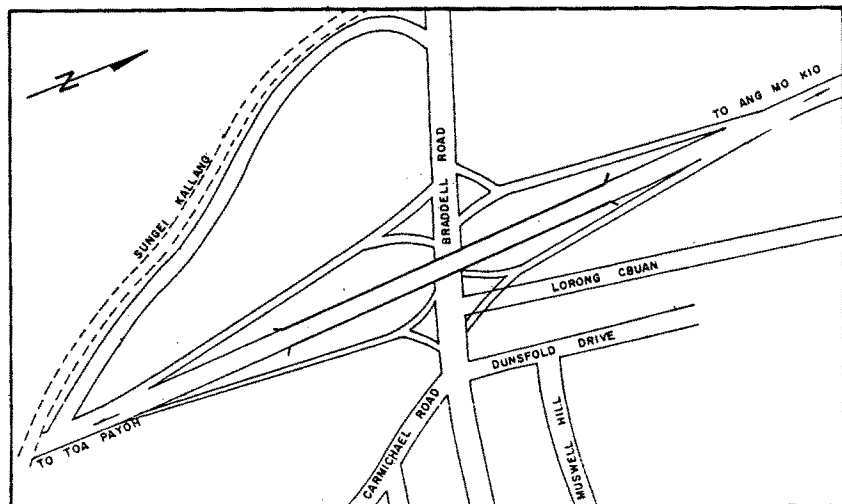
圖一 混凝土格與H型鋼格單價比較

表一 新加坡近平橋樑單位面積造價一覽表

工程名稱	承辦廠商	施工期間	投標方式	總工程費 SS	單位造價 SS/m ²
NEWTON FLYOVER	榮工處	1978,10- 1980,3	施工競標	4,919,990	610.00
ECP FLYOVER	榮工處	1979,4- 1981,8	施工競標	2,050,000	639.40
WOODSVILLE FLYOVER	榮工處	1980,4- 1982,1	施工競標	11,645,650	1,192.70
JALAN EUNOS FLYOVER	LIM KAH NGAM PTE. LTD.	- 1980,11	施工競標	8,900,000	1,493.70
PIE/JALAN ANAK BUKIT/UPPER B.T.	KAJIMA CORP.	1978,9- 1980,12	統包工程	15,600,000	1,092.00
BRIDGES ACROSS JURONG & PANDAN RIVER	JAPAN DEVELOP CONST. CO.	1979,4- 1980,12	統包工程	13,000,000	1,384.90
BRIDGE ACROSS KALANG RIVER	MITSUEI CO.	- 1981,2	統包工程	3,200,000	1,200.00
ALJUNIED & PAYA LEBAK FLYOVER	KAJIMA CO.	1980,9- 1982,6	統包工程	32,000,000	1,130.80

規劃設計方案及其選擇

本工程地理位置在新加坡島中心的東南方約五公里處，高架橋由南向北跨越布萊德路，其南端通往大巴窰鎮北端通往紅毛橋新鎮（如圖二）。布萊德路為六線雙向交通幹道，本高架橋的完成不但可解決布萊德路與泉巷（Lorong Chuan）交叉口交通擁擠問題，並可連接大巴窰與紅毛橋兩新鎮促進地方繁榮。



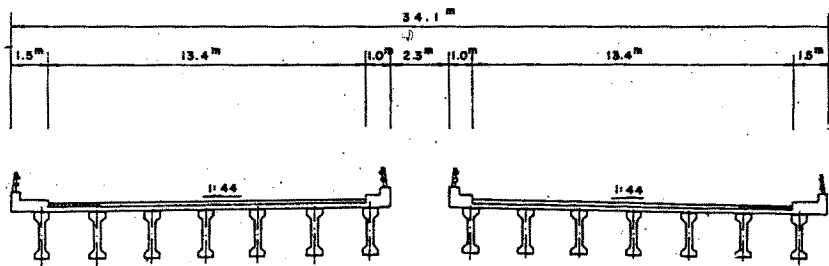
圖二 高架橋平面位置圖

一 地質概況

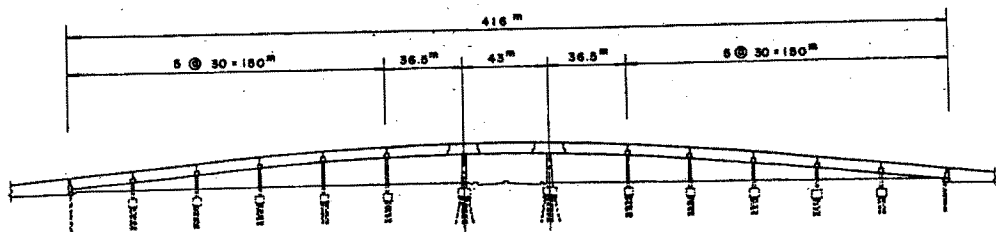
本橋址之地勢較低，四處池塘密佈，雜草及熱帶灌木叢生，地下水位在地表下0.5公尺附近。地底下第一層土層為5至10公尺厚的灰色極軟弱粘土，由北向南延伸，其現場標準貫入值 N 為0。其次一層為灰白色疏鬆細砂厚度為2至7公尺，其標準貫入值為3，屬不良的承載土層。第三層為灰色砂層厚4.5至7公尺，其標準貫入值在21至85之間，可靠的承載層位於地面下20公尺至30公尺，其深度在布萊德路北側約20公尺大致呈均勻分佈，在該路以南自23公尺至33公尺由南向北變化到達路南邊附近最深，此層為灰色粗砂夾石英及礫石，其 N 值在100以上，主橋所有基樁均貫入到本層次。

二 規劃設計方案

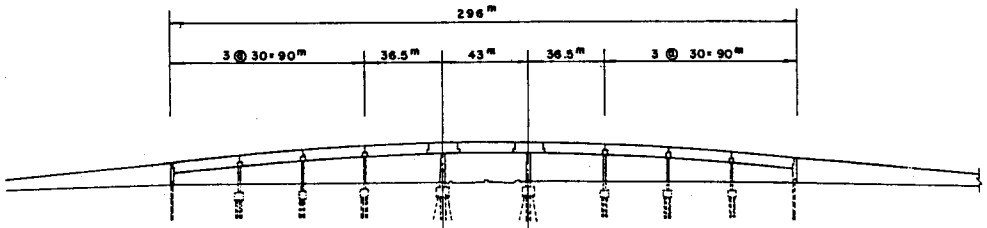
本橋的規劃設計除須考慮造型美觀與經濟應兼顧將來橋下植生的生長，將南北兩向車道分離一間隔使植生可供陽光照射。跨越布萊德路的主橋孔考慮本橋與此路斜交，其跨度採用43公尺，主孔橋墩為T型墩，兩側各吊掛30公尺長預力混凝土大梁七支，俾使大梁本身靜載重得予平衡。高架橋樑係以兩種方案規劃，第一方案橋長為416公尺其橋面放置於12個橋墩上，第二方案橋長為296公尺採用8個橋墩，其跨度配置如圖三所示。兩側引道第一方案長660公尺，北橋台處填土高為3.2公尺，南橋台為4公尺；第二方案長780公尺，北橋台附近填土高為6.3公尺，南橋台為5.9公尺。



橋樑標準斷面



第一方案立面



第二方案立面

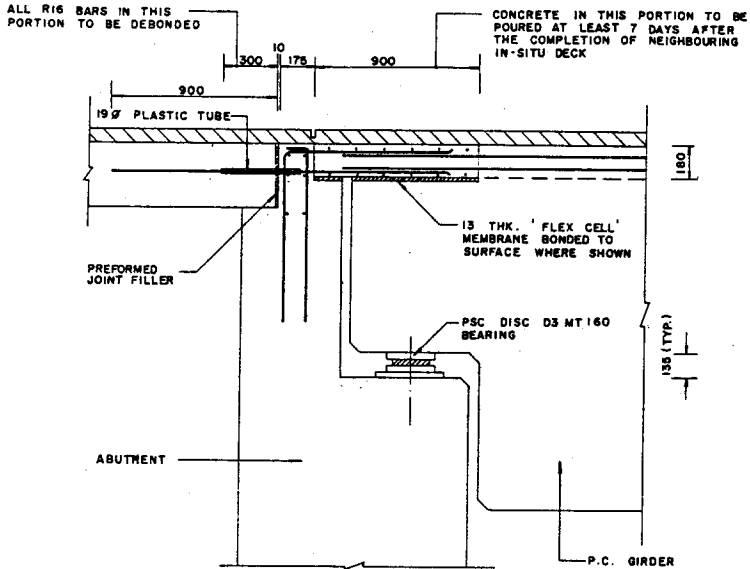
圖三 橋樑規劃方案

按投標文件規定本橋樑活載重應依據英國標準 BS 5400 載重規定 (Ref.1)，但特種重車 (HB 載重) 僅考慮在車道之中央 5 公尺範圍內行駛。上部結構以預力混凝土設計應合乎第一級或第二級構件之規定，簡言之如採用 40 級混凝土 (Grade 40) 為撓曲構件其張應力不得超過 2.3N/mm^2 (Ref.2)。基礎部份須根據英國 CP 2004 規範規定辦理，如採用混凝土基樁按規定須小於材料極限強度的四分之一，鋼樁容許應力則須在鋼材屈服強度的百分之三十以內 (Ref.3)。

由於本橋座落於極軟弱的粘土層上，其兩端引道填築路堤需考慮適當的土質改良否則將來勢必發生沉陷問題。根據業主的規定，引道的路堤下土壤在工程完工時，土體須完成百分之百的主要壓密 (Primary Consolidation) 及其部份的二次壓密，而且引道在完工後的沉陷率每年應小於 5 公分。基於此法則，淺層處的海洋沉積粘土，利用加載重排水方式使其儘早完成壓密程序。由於本工程總工期定為十六個月，路堤填土工作必須在十二個月內築造完成，因此除採用排水樁外另在引道路堤上加填一公尺土以供超加載使路堤沉陷提前達到設計的需求。在選擇排水樁材料方面，曾採砂樁與人造紙樁工程費用作成比較，前者造價約為後者的二倍半，因而土質改良工作決定用紙樁處理。

高架橋橋面伸縮縫設置於第四及第九橋墩的橋面版處，兩側橋面版均為四孔連續，橋樑中段橋面為五孔連續。按 BS 5400 規定車輛剎車的水平力高達 700 KN，此巨量的水平力須由下部結構承受。因此本橋除在主孔橋墩處考慮此水平力外，另在兩側橋台亦設計為鉸支承以承擔剎車力；其基礎設計在主孔墩以高強度 G 50 B 級 H 型鋼樁各 32 支其中一半為斜樁抵抗水平力，橋台處採用直徑為 103 公分大口徑場鑄鋼筋混凝土

上橋一排其間距用 2 公尺設計。鉸支承為 PSC 圓盤式 D3MT160 型 (Ref.4)，在橋台處為期橋面在負荷車輛載重時得允許轉動。為保持行車的舒適，橋面以施工接縫方式處理，詳如圖四所示。



圖四 橋台支承及橋面施工縫剖面圖

三 投標結果

本工程包括高架橋、交流道連絡路道、排水系統及電氣工程等，本公司第一方案總投標金額為新加坡幣 25,225,000 元，第二方案較前者略低約百分之五左右。參加投標國際廠商包括日本三井公司、香港 Gammon 公司及日本國土開發公司等，其投標總額約為得標額的 1.26 倍至 1.43 倍。

鑑於橋址土壤非常軟弱以及當地高填土工程曾有失敗的案列，業主最後選擇本橋第一方案。

四 施工進展及控制

本工程由於地質的特殊性，路堤填築工作進展較一般工程緩慢，整體施工進度控

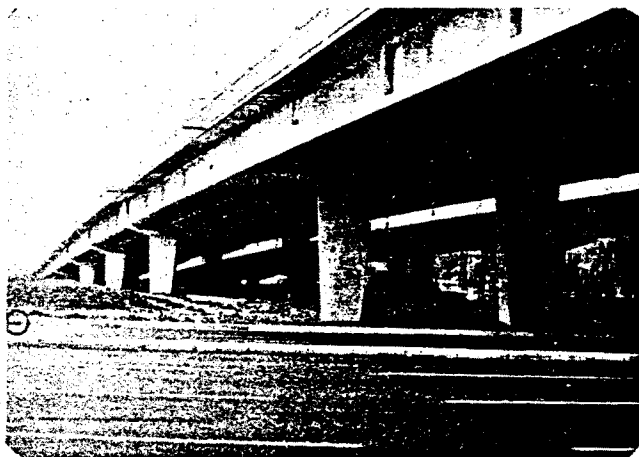
制在引道利用排水紙格的土質改良的速度上，表二為本橋及其交流道連絡道路施工進度表。北側引道有池塘密佈，填土時先將池水抽除後回填，路床經整平滾壓即鋪設五公分厚砂墊層（Sand Blanket）進行垂直排水紙格的打設，紙格頂部經與水平排

表二 高架橋及交流道連絡道路施工進度表

	1982												1983				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
清除	█																
排水紙格		█	█	█	█	█											
路堤填築	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
基格	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█						
預力大梁		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█						
橋面版							█	█	█	█	█	█	█	█	█		
橋墩		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█						
橋台										█	█	█	█	█			
路面工程													█	█	█	█	
雜項工程																	█

水紙格連結至兩側臨時水溝後，路堤填築分層壓實工作在施工觀測系統的控制及監測下尚能順利推展。但是南側引道受其南端橫過一道3.5公尺寬大排水溝限制，在排水系統未改道前，土方工作進度緩慢。尤其此改道用之大排水溝位於交流道東南側，長度有230公尺寬度5公尺深達3.75公尺，受附近路堤填築影響，開挖安全率甚低。鑑於北側引道填土沉陷量高達1公尺以上，另由施工觀測系統傾度儀（Inclinometer）觀測資料顯示地盤淺層粘土有向外側擠出現象，故將大排水溝原有長格變更為間距較緊密的短木格，以增加開挖安全（如圖五）。

本工程已如期完工（見照片一及照片二），甚獲業主好評。南側引道靠原有排水



照 片 二

溝附近路堤略有沉陷，曾於養護期屆滿一年時予以整理補平，其餘皆如預期中的理想。

誌 謝

本工程投標及施工期間承蒙榮民工程處張副處長溥基的指導及亞新工程顧問公司歐晉德博士、胡邵敏博士與宋騰烽先生的努力及兩公司同仁之努力下方能順利完成，特此誌謝。

參 考 文 獻

1. BS5400, "Steel, Concrete and Composite Bridges , Part 2, Specification for Loads", British Standards Institution, 1978, pp. 24-28.
2. BS5400, "Steel, Concrete and Composite Bridges, Part 4, Code of Practice for Design of Concrete Bridges", British Standards Institution, 1978, pp. 25-29.
3. CP2004, "Code of Practice for Foundations", British Standards Institution, 1972, pp. 100-104.

4. PSC, "Disc Type 3 Bearings for Structural Movement", Freyssinet International, France, up to date, p. 6.