

節塊推進工法橋梁之規劃設計與施工(二)  
PLANNING, DESIGN AND CONSTRUCTION OF  
BRIDGES BY INCREMENTAL LAUNCHING  
METHOD (II)

王祥騮  
Hsiang-Liu Wang

原著載於  
結構工程雜誌  
第七卷第一期，1992年3月，75~82頁

*Reprinted from*  
*Structural Engineering*  
Vol.7, No. 1, March 1992, pp.75~82

# PLANNING, DESIGN AND CONSTRUCTION OF BRIDGES BY INCREMENTAL LAUNCHING METHOD (II)

## ABSTRACT

In the Six Year National Development Plan, 30% of the budget will be spent in highway and railway projects which include the construction of over 12 million M<sup>2</sup> bridge. Face with the difficulties of labor shortage and soaring cost in recent years as well as tight schedule and high quality requirements, the construction industry needs more technology-intensive solutions.

As to technology of bridge construction, engineers and constructors always put emphasis on long-span or special type bridges. Very little attention was paid for bridges with span from 30m to 70m. which actually comprise the most of the cases. Bridges by Incremental Launching Method is the one which can fill the gap between more advanced cable-stay or cantilever bridges and conventional simple span bridges. If properly designed and construction, the bridges using this method will achieve even cheaper solution than conventional simple span bridge, but with quality and speed as factory production. This paper discusses in details the planning, design and construction of Tou-Chien Bridge and Feng-Shan Bridge in Taiwan Second Freeway which used incremental launching method for the first time in this country.

## 節塊推進工法橋梁之規劃設計與施工(二)

此種工法之優點在於：(1) 施工簡便，(2) 不需大型起重機，(3) 不需大型運輸車，(4) 不需大型橋墩，(5) 不需大型橋樑，(6) 不需大型橋樑，(7) 不需大型橋樑，(8) 不需大型橋樑，(9) 不需大型橋樑，(10) 不需大型橋樑。

此種工法之缺點在於：(1) 施工時間長，(2) 施工費用高，(3) 施工質量差，(4) 施工安全差，(5) 施工環境差，(6) 施工噪音大，(7) 施工振動大，(8) 施工污染大，(9) 施工破壞大，(10) 施工影響大。

王祥駟\*

## 節塊推進工法橋梁之規劃設計與施工(二)

王祥驄\*

本文上篇主要為介紹節塊推進工法之適用條件及規劃要點。本篇將繼續就永久性橋梁結構之設計考慮及分析方法加以詳細說明。

### 一、上部結構

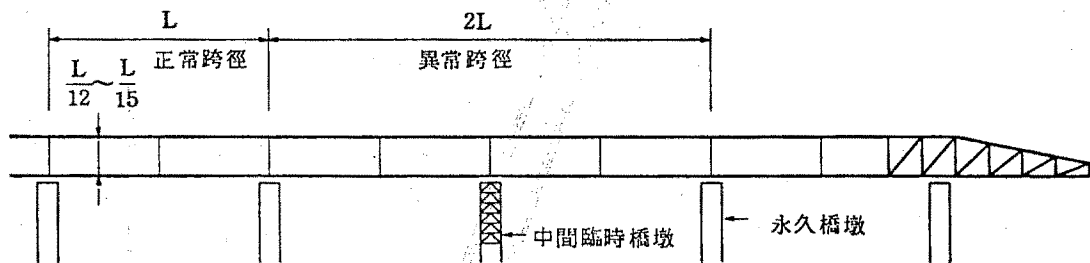
#### 1-1 梁深及跨徑

本工法因為推進的需要必須採用均勻梁深。梁深與跨徑的比例通常在  $1/12$  至  $1/15$  之間，主要由推進時橋梁前端懸臂部份之負彎矩所控制。橋墩的配置除端跨之外應儘量採用等跨徑以得最經濟的設計。如因現場條件必須採用不等跨徑時，其中最大的跨徑將決定梁深。但特殊的情況，例如在橋長當中遇到一處正常跨徑兩倍之異常跨徑時，則應利用中間臨時橋墩以減少推進時的跨徑。附圖一所示為梁深與跨徑的關係及中間臨時橋墩的應用。奧地利 L22 Tauern Autobahn 公鐵路橋設計採用  $110\text{ m}$  之

均勻跨徑，施工期間每兩座永久橋墩間設置一中間臨時橋墩使臨時跨徑減為  $55\text{ m}$ ，因此梁深減為  $5\text{ m}$ ，梁深與跨徑之比例僅  $1/22$ ，為善用中間臨時橋墩的範例。

#### 1-2 斷面設計

由於本工法的梁深比傳統設計為大，因此三車道路幅（含路肩）的橋梁採用單孔箱型梁仍可維持箱室（Box Cell）之合理比例。附圖二為適同於跨徑  $40\text{ m}$  至  $50\text{ m}$  之三車道典型箱型梁斷面，其設計上之特色包括下述四點：  
(1) 懸臂橋版及中跨橋版的跨徑均超過 AASHTO 規範之設計公式適用範圍，必須利用基本力學方法分析設計。  
(2) 上下翼版局部加厚至  $45\text{ cm}$  除配合橋版應力需要外，主要是為容納預力鋼腱續接器（Coupler）的設置。



圖一 梁深與跨徑的關係

\* 亞新工程顧問公司工程管理部經理



入腹版內以抵抗不平衡彎矩，與傳統箱型梁利用箍筋兼作抗彎配筋的方式不同。另外腹版下端與下翼版接合處的配筋細節應特殊考慮，以防止來自滑動支承的壓力引起混凝土開裂，通常可加設一些間距較密的小號鋼筋加以補強。

本工法在道路平面綫型上必須為單純之圓曲綫或直綫。如橋梁通過的路段不完全符合上述條件但相差不大時，可以利用懸臂橋版加以調整。亦即箱型梁的中心綫仍可維持直綫或圓曲綫以符合推進的條件，橋面版的中心綫則與道路綫型相配合。

箱型梁斷面由於預力鋼腱的配設需要局部加厚，其細節將於 1-4 節中加以說明。

### 1-3 節塊的安排

節塊的長度通常為跨徑的  $\frac{1}{2}$  或  $\frac{1}{4}$ ，原則上節塊的接縫不得設在橋墩處，而以落在跨徑  $\frac{1}{4}$  處最為理想。另外節塊的長度也受制於預鑄場的大小以及混凝土工程之施工能量。由於保守的梁深以及預力的作用，節塊間的接縫可無需作特殊的處理，通常將前一節塊的表面作成粗糙面，新混凝土即可接著澆鑄。腹版的縱向配筋應穿過接縫保持連續。

### 1-4 預力鋼腱配置

本工法橋梁所需要之預應力是由兩套鋼腱系統所產生，見附圖四所示，其功能分別說明如下：

#### (1) 軸心鋼腱

附圖五所示為橋梁推進期間各節塊斷面所發生之彎矩變化曲綫。所有的斷面都有正負應力交替出現的情形，因此這個階段的鋼腱配置應提供均勻的壓應力，以抵消上下翼緣均可能出現的張應力。通常是設法將各股鋼腱的重心與混凝土斷面的重心相吻合，因此稱為軸心鋼腱。

軸心鋼腱之曲率較低（僅有平豎綫型產生之曲率），預力損失小，可以利用續接器使鋼腱全橋連續。鋼腱續接器一般設在節塊接縫處以利施工，但為避免續接點過於集中，通常只

讓半數鋼腱在同一接縫處續接，其餘半數鋼腱將連續通過該接縫處（見附圖四）。因此一個節塊在推出前只有半數之軸心鋼腱施拉預力，不過此時的位置尚未發生最大的彎矩，仍屬安全。其餘半數鋼腱將在下一節塊推出前完成預力之施拉。

軸心鋼腱一般設置在箱型梁之上下翼版內，翼版局部加厚的範圍常由所需容納之鋼腱數量決定。

#### (2) 曲綫鋼腱

本工法橋梁永久性結構所需要的預力與一般連續梁相同，採用曲綫鋼腱。由於軸心鋼腱已提供一部份預力，曲綫鋼腱係補其不足的部份。

曲綫鋼腱設置於箱型梁之腹版內，由於曲率高預力損失大，穿越數個節塊即需要錨碇一次。錨碇處應與節塊末端有相當距離，以防止混凝土張裂（見附圖四）。附圖六為曲綫鋼腱錨碇處之詳圖，通常是在箱型梁腹版之內側加作突出塊（Block-out）以安裝錨碇座。其各部尺寸取決於錨碇座之大小及鋼腱在進入突出塊前之曲度。錨碇處之位置應儘量系統化以減少箱型梁內漠的複雜度。曲綫鋼腱在橋梁推至定位時施拉預力。

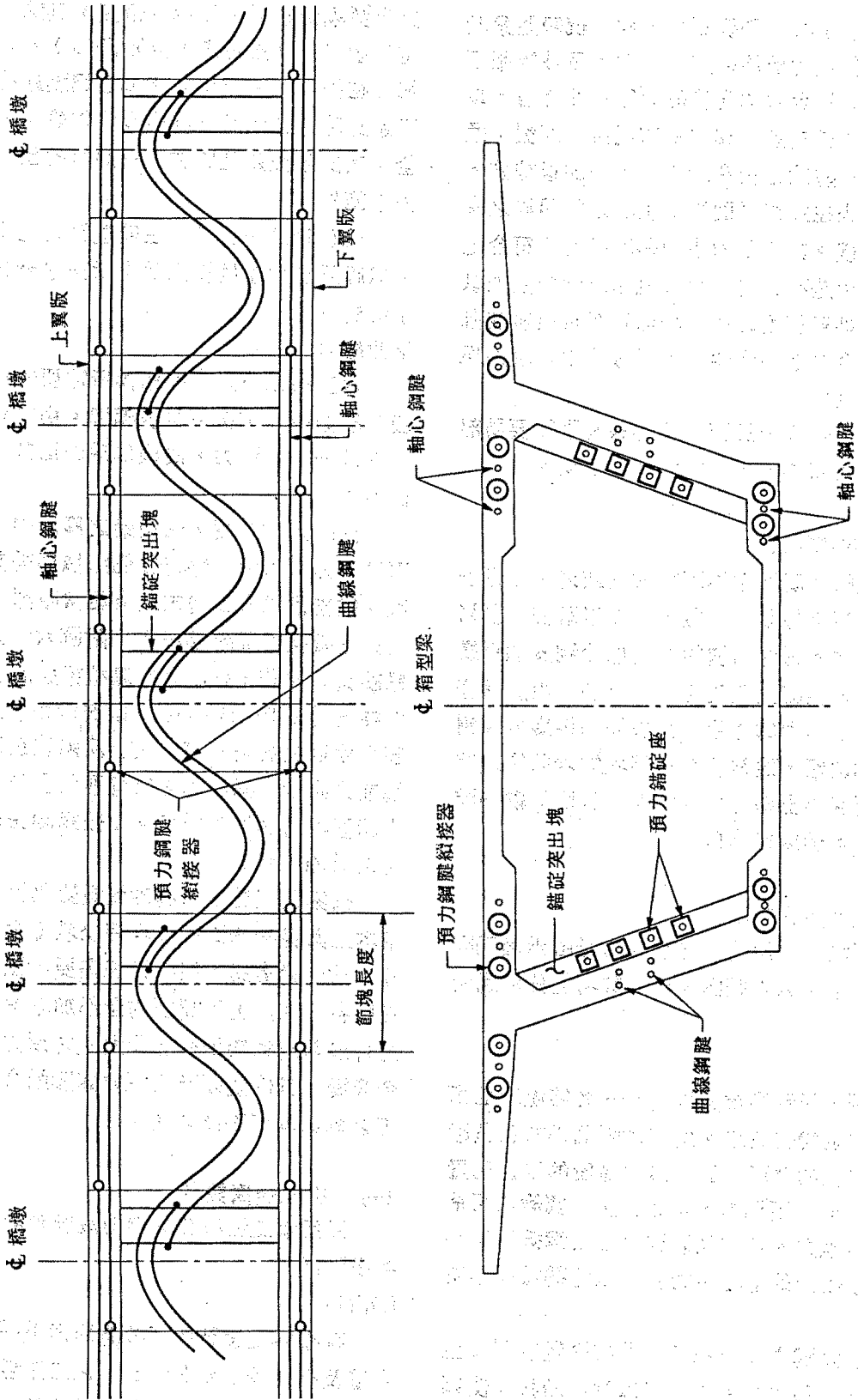
橋梁前端若干節塊的彎矩變化較為繁雜，基本上與鼻梁的勁度及臨時橋墩（拆裝鼻梁所需）的位置有關。這些節塊需要的預力鋼腱數量較多，因此上下翼版均全部加厚始能容納。另外最前端的節塊須埋設大量之預力鋼棒以接合鼻梁，其位置須能與預力鋼腱配合，因屬施工之細節本篇不作詳述。

### 1-5 縱向結構設計

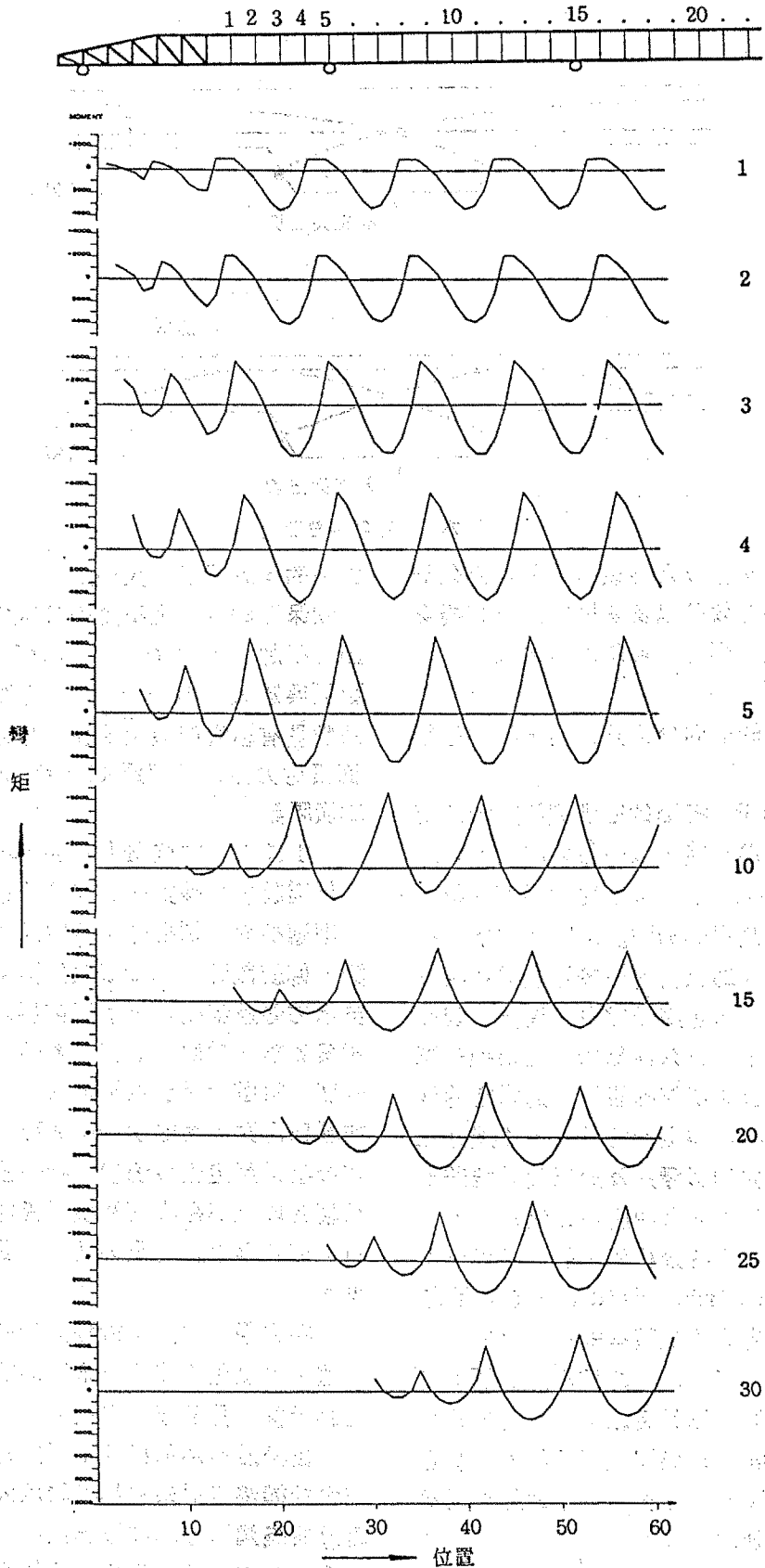
採用本工法橋梁之縱向設計應考慮下述的各項因素：

#### (1) 荷重

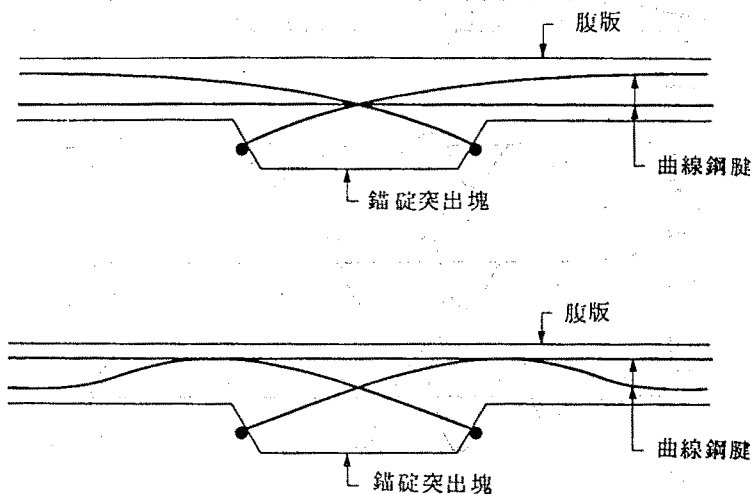
軸心鋼腱設計所應考慮的荷重一般為節塊自重及不小於  $100 \text{ kg/m}^2$  之工作活載重。曲綫鋼腱設計所應考慮的荷重為橋梁推至定位之後所增加之額外靜載重，例如橫隔梁、管綫、



圖四 預力鋼腱系統



圖五 推進期間各節點彎矩變化



圖六 曲線鋼腱錨碇

欄杆及路面等之重量以及活載重。另外永久結構上下翼版的溫差效應以及更換支承時將橋身局部頂起所產生之應力，均須加以檢核。

## (2) 縱向結構分析

本工法橋梁的縱向分析分為兩個階段進行，謹說明如下：

一一節塊推進期間，橋梁的結構型態隨時改變，但荷重極為單純，以一般連續梁 (Continuous Beam) 的電腦程式即可分析。較需考慮的是鼻梁的勁度及臨時橋墩 (拆裝鼻梁所需) 的位置。由於這些結構物屬於假設工作，承包廠商將另行設計。因此招標文件顯示的永久性結構，是根據一個假設的施工計劃所作的設計，通常宜適度保守以免誤導投標廠商的估價。不過好在這些假設工程的影響只及於橋梁前端若干節塊，在全部工程費中所佔比例甚小。

一一橋梁推至定位後的分析與一般連續梁橋 (Continuous Girder Bridge) 的情形完全相同，有現成的電腦程式可供使用。

大致而言，本工法橋梁的結構設計並不困難，僅預力損失的計算較複雜。早先完成的節塊與後段完成的節塊在齡期上相差甚大，軸心鋼腱與曲綫鋼腱又分兩階段施拉，因此不同節塊的預力損失須分別計算。

在設計經濟性考慮方面，推進期間橋梁斷

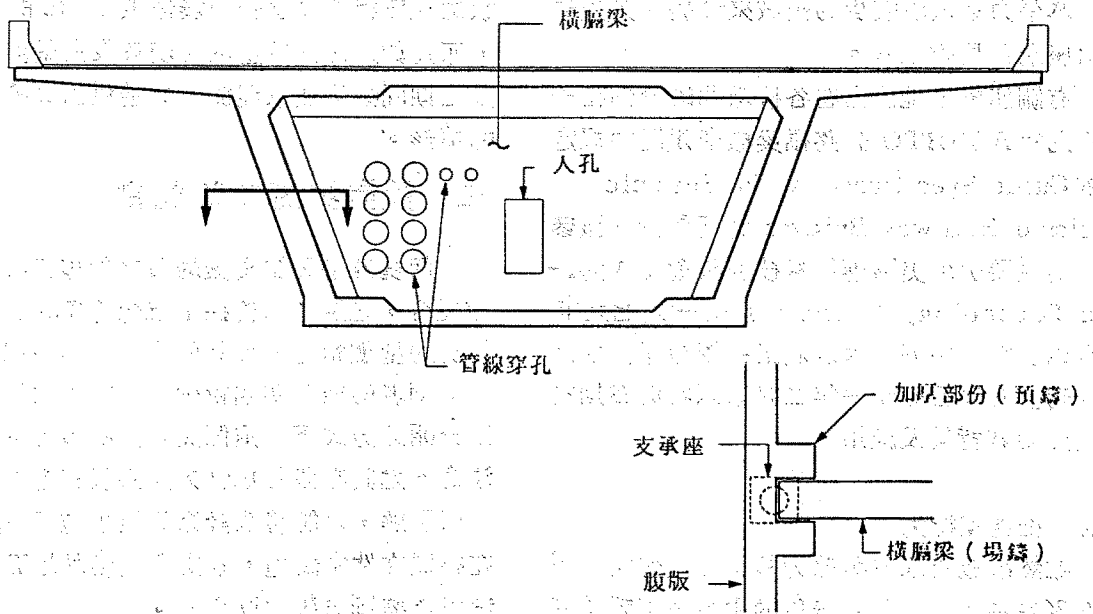
面上的容許張應力大小是一個重要的控制因素。較保守的標準是不允許張應力，但在歐洲張應力不超過  $10 \text{ kg/cm}^2$  仍可視為安全。由於斷面模數大， $10 \text{ kg/cm}^2$  之應力差對於鋼腱的數量有極為明顯的影響。活載重作用下之斷面張應力亦以不超過  $10 \text{ kg/cm}^2$  為宜。

## (3) 橫膈梁

由於斷面的抗扭力矩甚大，本工法的橋梁可無需設置中膈梁，但如跨徑超過六十公尺時，則應檢討其需要性。橋墩及橋台處應設橫膈梁，傳統設計其厚度取決於兩個因素，其一是支承力傳遞至橋梁腹版所需要之斷面，其二是橋梁乾縮、潛變、溫度升降等位移所需要的寬容度，附圖七所示為兩端加厚的橫膈梁設計，加厚部份與預鑄節塊一體成形，橫膈梁本體則在橋梁推至定位後澆置。此一設計由於支承座承壓區域全部在腹版及橫膈梁加厚部份之範圍內，橫膈梁傳遞之應力極小，因此厚度可以減少。

在力學考慮上，橫膈梁無需與上翼版鑄成一體，可以免除接合處施工的困難，橫膈梁通常將設置人孔及管綫穿孔。

橋梁最前端的橫膈梁厚度應增加。因為該部份結構將接受來自鼻梁的巨大荷重。軸心鋼腱及曲綫鋼腱亦均在該處錨碇，必須有一個較堅實的混凝土體以承擔複雜的應力。



圖七 橫膈梁

#### (4) 橋面伸縮縫

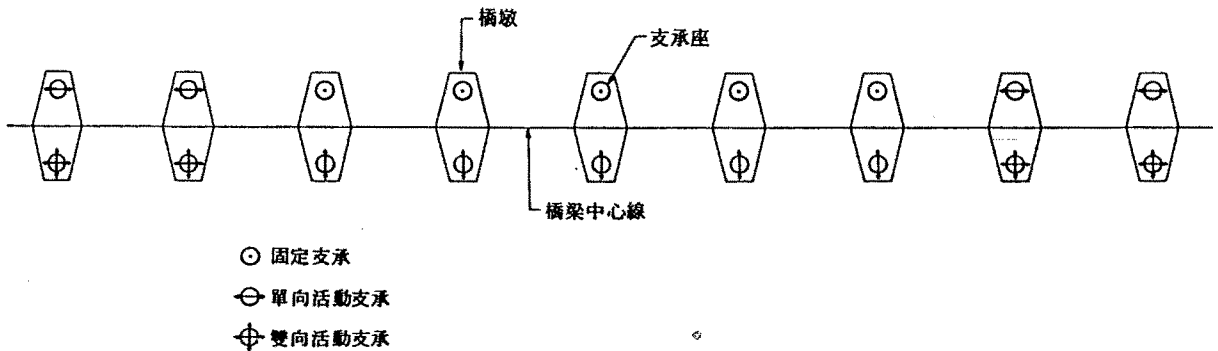
由於本工法橋梁的連續長度可能高達 600 公尺，橋面伸縮縫數量少，相對開口寬度較大，必須慎選其形式。開口寬度的計算方法與一般橋梁相同，僅混凝土乾縮潛變所產生位移的計算較複雜。

## 二、下部結構

節塊推進工法的特點大多和上部結構有關，與下部結構有關的考慮則有下述兩項：

### 2-1 地震力的分佈

本工法橋梁的連續長度可能高達 600 公尺，或二十餘跨，從耐震方面考慮，如能將地震的水平力均勻的由所有的橋墩分擔，則不定度 (Redundancy) 較高，相對安全度提高。如要達到上述的效果，各橋墩上的支承座均須為固定式，但溫差伸縮的問題將隨之衍生。因此橋墩的設計首在決定支承的安排，必須在耐震要求及溫差效應之間尋求一個平衡點以符合經濟的原則。在這方面橋墩的勁度高低與平衡點的走向有關。如橋墩較細長，上部結構溫度伸縮對橋墩的影響不大時，則較多的橋墩可設固定式支承，水平力分佈較均勻。反之如橋墩粗



圖八 典型支承座配置

短，水平力必須由較少的橋墩來分擔，典型的支承座配置見附圖八。

有關連續橋地震力在各橋墩間的分佈在一九八九年AASHTO 公路橋梁標準規範中規定應依 Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges 辦理設計。該參考規範主要引用美國應用科技委員會 ( Applied Technology Council ) 在一九七九年所作的研究，中國土木水利工程學會「土木水利學刊」在民國七十一年二月第八卷第四期有專文介紹其背景及應用。

### 2-2 推進摩擦力

雖然滑動支承的摩擦力甚低（理想狀況下為 2% 左右），但不可避免的由於施工誤差等原因其摩擦力亦可能超過 5%，橋梁推動時橋

墩的頂部相當於承受地震係數 0.05 的水平力，而且如果無法校正的話屬於長期載重。因此施工期間必須加以觀測，以避免橋墩發生超荷的情形。

### 三、設計與施工的配合

節塊推進工法橋梁的設計與施工必須緊密的配合，在歐洲由於採用統包 ( Turn-key ) 的契約型態執行，設計與施工由同一個單位負責，兩者的結合問題較少，但在國內設計與施工分開的方式下，這個問題就必須給予特別的注意。尤其在設計單位方面必須對施工的實務有所了解，才能將設計原意與承包責任清楚的在招標文件中表達，本文下篇將就施工方面的考慮及控制方法加以介紹。

短，水平力必須由較少的橋墩來分擔，典型的支承座配置見附圖八。

有關連續橋地震力在各橋墩間的分佈在一九八九年 AASHTO 公路橋梁標準規範中規定應依 Guide Specifications for Seismic Design of Highway Bridges 辦理設計。該參考規範主要引用美國應用科技委員會 (Applied Technology Council) 在一九七九年所作的研究，中國土木水利工程學會「土木水利學刊」在民國七十一年二月第八卷第四期有專文介紹其背景及應用。

## 2-2 推進摩擦力

雖然滑動支承的摩擦力甚低（理想狀況下為 2% 左右），但不可避免的由於施工誤差等原因其摩擦力亦可能超過 5%，橋梁推動時橋

墩的頂部相當於承受地震係數 0.05 的水平力，而且如果無法校正的話屬於長期載重。因此施工期間必須加以觀測，以避免橋墩發生超荷的情形。

## 三、設計與施工的配合

節塊推進工法橋梁的設計與施工必須緊密的配合，在歐洲由於採用統包 (Turn-key) 的契約型態執行，設計與施工由同一個單位負責，兩者的結合問題較少，但在國內設計與施工分開的方式下，這個問題就必須給予特別的注意。尤其在設計單位方面必須對施工的實務有所了解，才能將設計原意與承包責任清楚的在招標文件中表達，本文下篇將就施工方面的考慮及控制方法加以介紹。