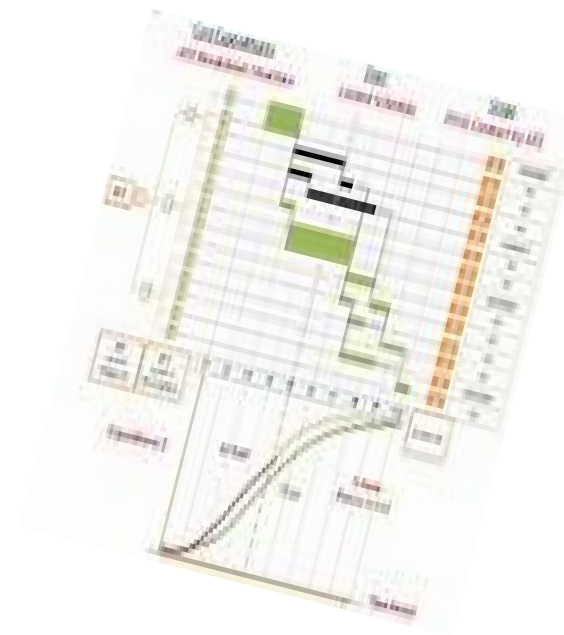


工程網圖排程管理 及期程預測



行政院公共工程委員會
工程管理處



保存年限：

行政院 函



地址：臺北市忠孝東路1段1號
傳真：02-23975565
承辦人：李玉雲
電話：02-23979298#526
E-Mail：f720614@dgpa.gov.tw

受文者： _____ 政府

發文日期：中華民國104年9月18日
發文字號：院授人培字第1040047097號
速別：普通件
密等及解密條件或保密期限：
附件：如主旨(104D012469_1_1814122566048.pdf)

主旨：核定「104年度行政院與所屬中央及地方各機關建立參與及建議制度參與及建議案獎勵名冊」，請查照轉知。

說明：

- 一、依「行政院與所屬中央及地方各機關建立參與及建議制度實施要點」（以下簡稱本要點）規定辦理。

104年度行政院與所屬中央及地方各機關建立參與及建議制度 參與及建議案獎勵名冊

行政院104年9月18日院授人培字第1040047097號函核定

類組	編號	主管機關	提案機關	參與及建議案名稱	獎勵等次
創新經濟與 科技發展	1	內政部	內政部消防署	多管道之災害訊息整合與傳遞	特等獎
	2	科技部	科技部	推動多元創新產學合作	優等獎
	3	行政院公共工程委員會	行政院公共工程委員會	推動「公開取得電子報價單」電子化採購	榮譽獎
	4	金融監督管理委員會	金融監督管理委員會證券期貨局	證券市場揚升計畫	榮譽獎
	5	新北市政府	新北市政府警察局	雲端智慧影像分析及檢索系統	榮譽獎
廉能政府與 全面建設	1	行政院農業委員會	行政院農業委員會	讓消費者有感的產銷履歷	特優獎
	2	行政院公共工程委員會	行政院公共工程委員會	公共工程完工啟用期程評估機制	特等獎
	3	行政院海岸巡防署	行政院海岸巡防署海洋巡防總局	齊心護蟹共攜手，創造三贏展效能	優等獎
	4	教育部	臺灣大學醫學院附設醫院	創新建置智能抽血系統，提升抽血服務效能	榮譽獎
			內政部警政署刑事	建立非(警)治安資料庫及系統	

大綱

一、前言

二、進度管理要領

三、工程網圖及要徑

四、PDCA排程管控作法

五、執行差異檢討及處置

六、完工啟用期程評估方法

七、完工啟用期程評估軟體操作指引

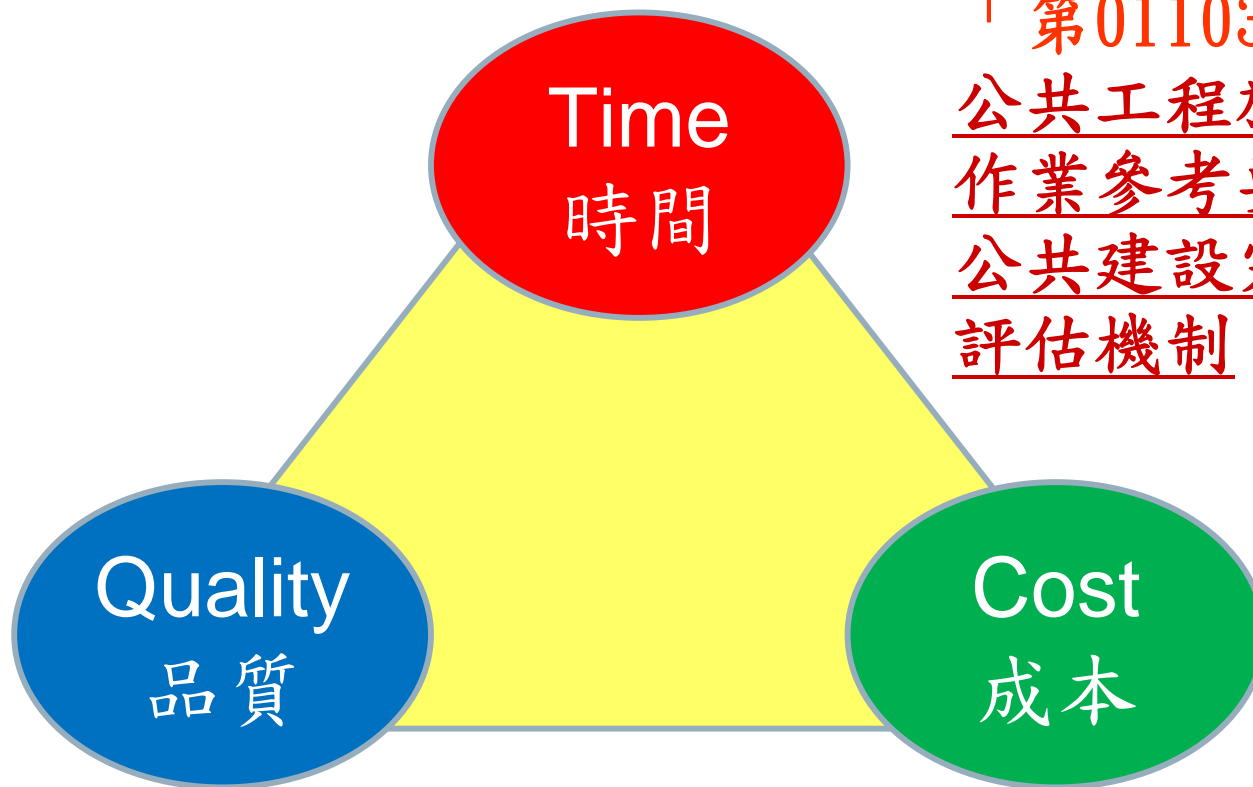
八、完工啟用期程評估應用示例

九、結語

一、前言



工程管理三目標—如期如質如度



公共工程施工綱要規範
「第01103章進度管理」
公共工程施工進度管理
作業參考要項
公共建設完工啟用期程
評估機制

公共工程品質管理制度
公共工程施工查核制度

公共工程經費電腦估價系統
(PCCES)
公共工程經費審議制度

名詞定義

- **進度 (Progress)** 衡量工程預定及實際整體執行狀況之量化指標，一般以百分比表示；於可歸責廠商之事由產生落後時，契約得訂定以實際進度低於預定進度之百分比，作為機關採取停止估驗、要求廠商限期改善、終止或解除契約等之處置依據
- **里程碑 (Milestone)** 在整個施工時程設定其中關鍵作業項目之開始或完成時程，作為階段性施工目標之管控點或查核點；里程碑於逾期完成時可作為影響整體完工啟用期程之評估指標，以提早產生預警作用並採取有效之趨趕行動
- **網圖 (Network)** 以結點與箭線來表示計畫之作業，及作業間邏輯關係之一種進度表示方法

名詞定義

- **要徑法(Critical Path Method, CPM)** 將網圖之作業項目設定單一時程，找出網圖中時間最長的路徑(即要徑)的方法
- **計畫評核術 (Program Evaluation and Review Technique, PERT)** 針對網圖不確定較高的作業項目，以樂觀、悲觀及最可能時間的三時估計法為基礎，計算總時程及要徑之累計分布函數及完成機率
- **蒙地卡羅法 (Monte Carlo Method)** 利用亂數模擬網圖作業項目之作業時程，據以計算總時程及要徑，並進行多次之模擬，進而計算總時程及要徑之累計分布函數及完成機率
- **總浮時(Total Float)** 總浮時係指在不影響工程之完工時間之情況下，作業所擁有的寬裕時間

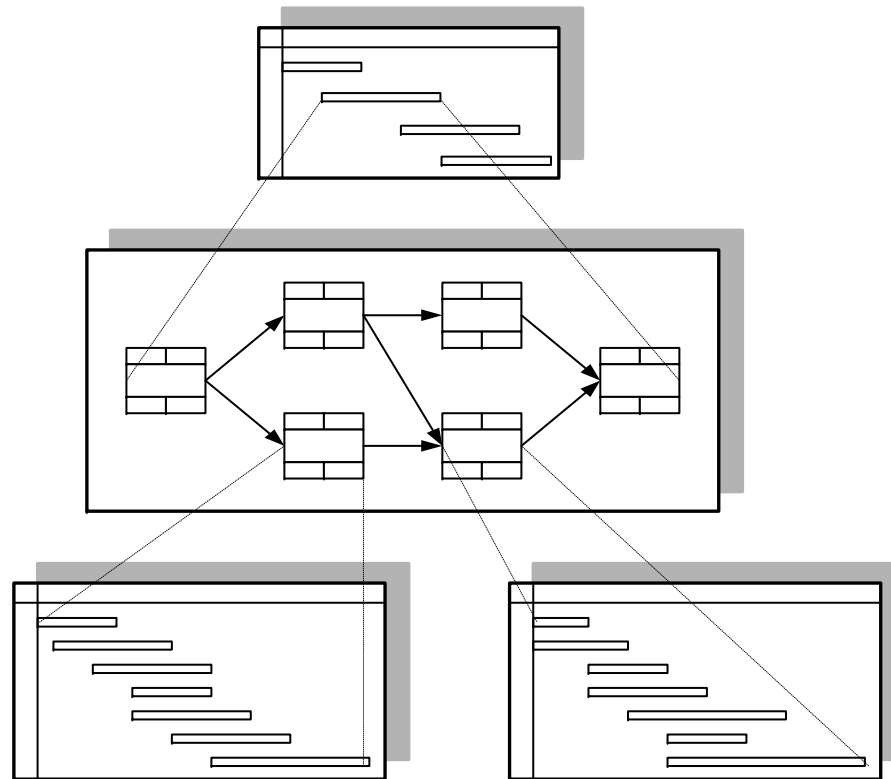
施工綱要規範「第01103章進度管理」

- 102年11月增訂本章，說明執行契約之進度表製作、送審、更新及修訂等工作

綱要進度表
(桿狀圖)
5~20個作業

中階進度表
(網圖)
作業數目適當

詳細進度表
(桿狀圖)
以天為標尺



高層主管

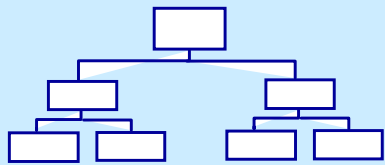
中層主管
及時程/
成本工程
師

工程人員

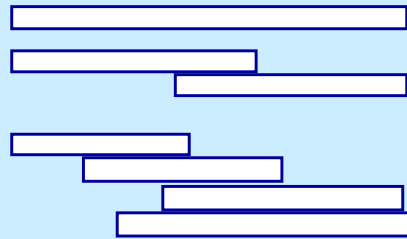
三階進度表架構

建立進度（成本）時程表方法

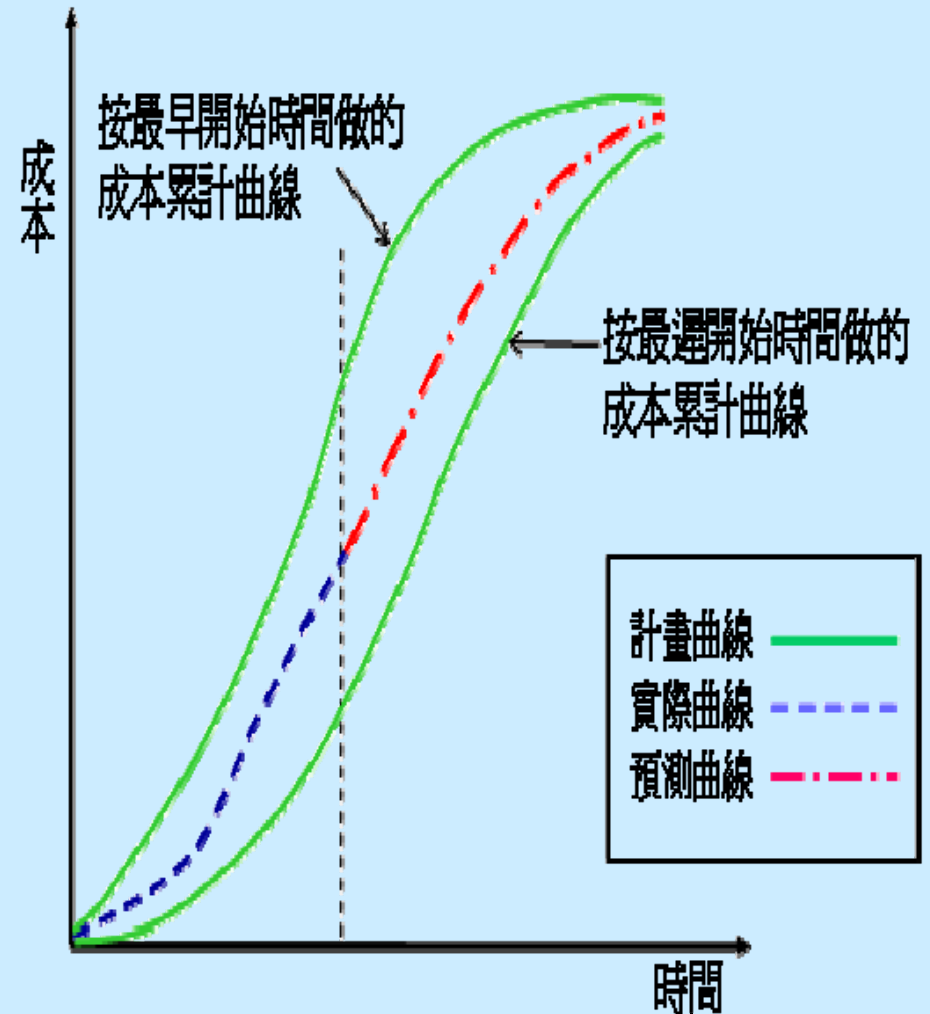
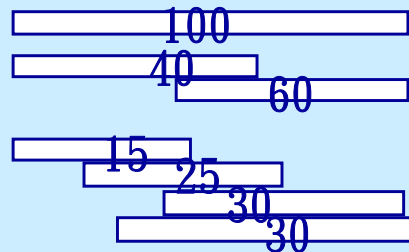
1. 定義WBS分工結構



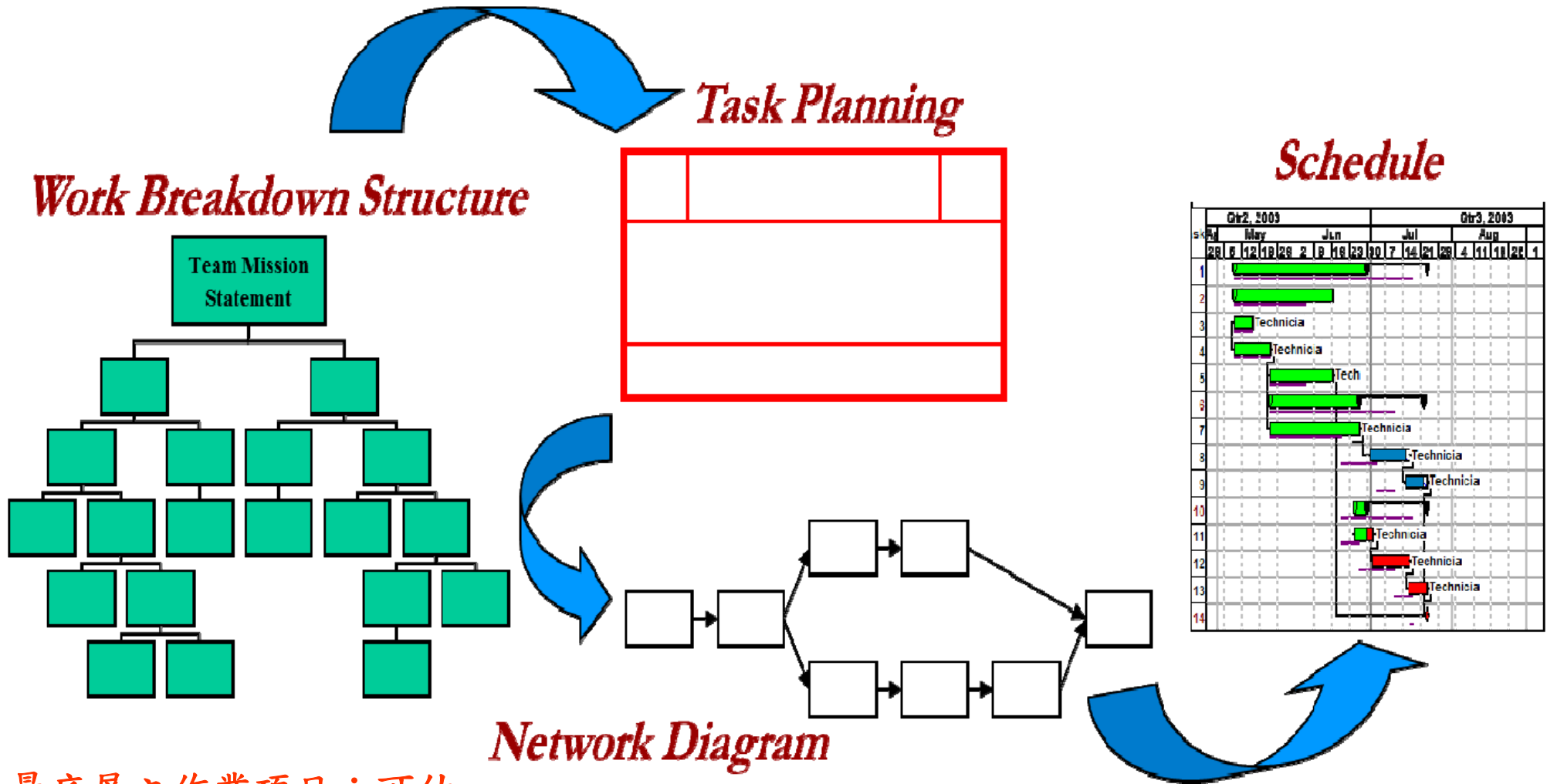
2. 排程工作(最早&最遲)



3. 調整分配資源及預算



時程網圖之產生順序



最底層之作業項目：可估算作業天數、可指派人機料數量、可界定與其他作業項目間之施作邏輯順序

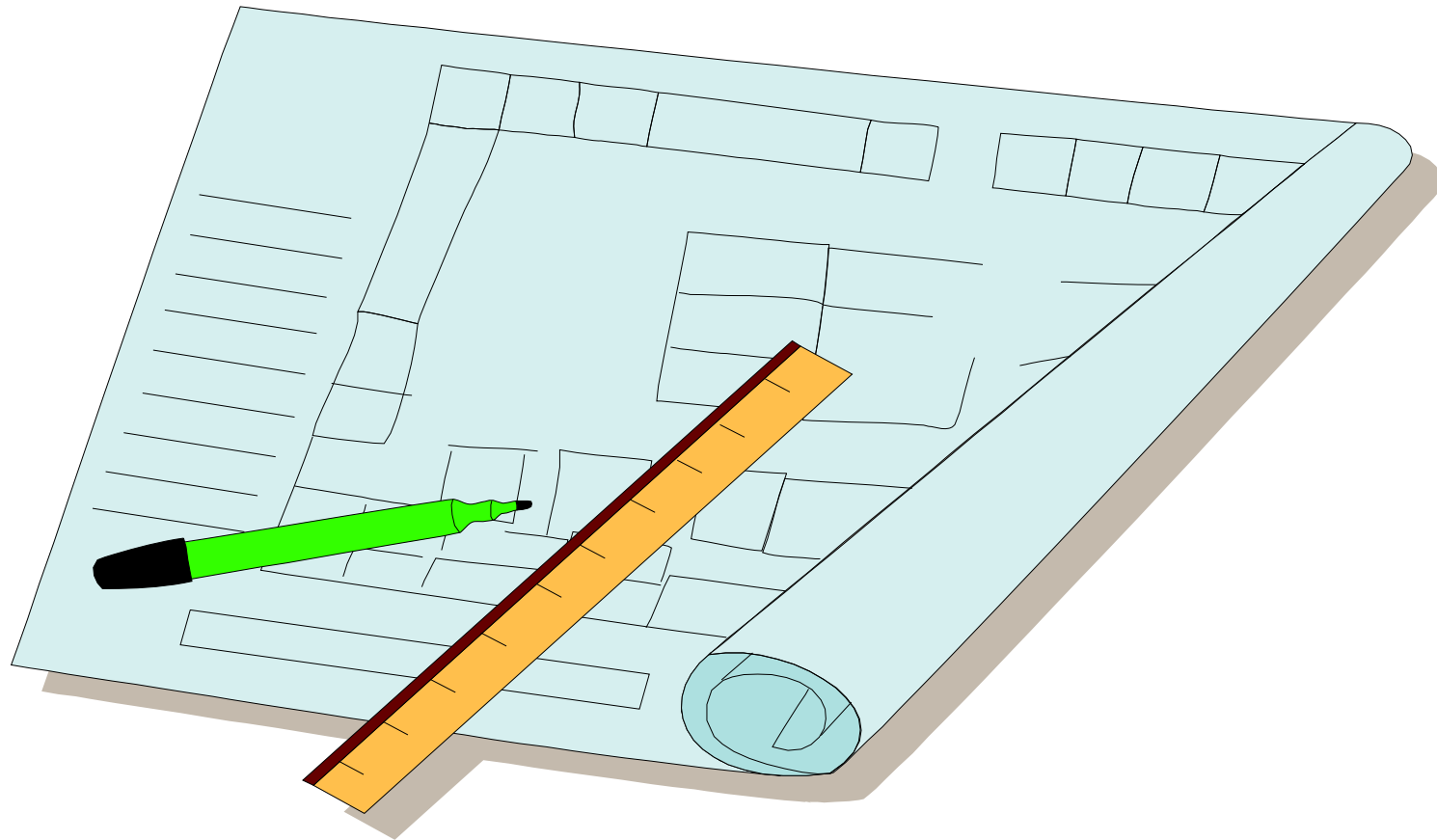
工期計算

- 以日曆天計算者，所有日數均應計入
- 以工作天計算者，下列放假日，均應不計入：
 - 星期六（補行上班日除外）及星期日
 - 中華民國開國紀念日（1月1日）、和平紀念日（2月28日）、兒童節（4月4日，放假日依「紀念日及節日實施辦法」規定）、勞動節（5月1日）、國慶日（10月10日）
 - 勞動節之補假（依行政院勞工委員會規定）；軍人節（9月3日）之放假及補假（依國防部規定，但以國軍之工程為限）
 - 農曆除夕及補假、春節及補假、民族掃墓節、端午節、中秋節
 - 行政院人事行政總處公布之調整放假日
 - 全國性選舉投票日及行政院所屬中央各業務主管機關公告放假者
- 免計工作天之日，以不得施工為原則。廠商如欲施作，應先徵得機關書面同意；該日數是否計入工期，由機關於招標文件規定

工程延期

- 有下列情形之一(且非可歸責於廠商)，致影響進度網圖要徑作業之進行，而需展延工期者，廠商應檢具事證，以書面向機關申請展延工期。機關得審酌其情形後，以書面同意延長履約期限，不計算逾期違約金。其事由未逾半日者，以半日計；逾半日未達1日者，以1日計：
- 發生不可抗力或不可歸責契約當事人之事故
 - 因天候影響無法施工
 - 機關要求全部或部分停工
 - 因辦理變更設計或增加工程數量或項目
 - 機關應辦事項未及時辦妥
 - 由機關自辦或機關之其他廠商之延誤而影響履約進度者
 - 機關提供之地質鑽探或地質資料，與實際情形有重大差異
 - 因傳染病或政府之行為，致發生不可預見之人員或貨物之短缺
 - 因機關使用或佔用本工程任何部分，但契約另有規定者，不在此限

二、進度管理要領



進度管控依據及標的

□ 進度管控依據

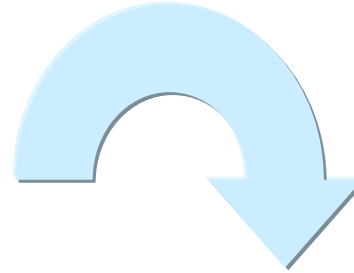
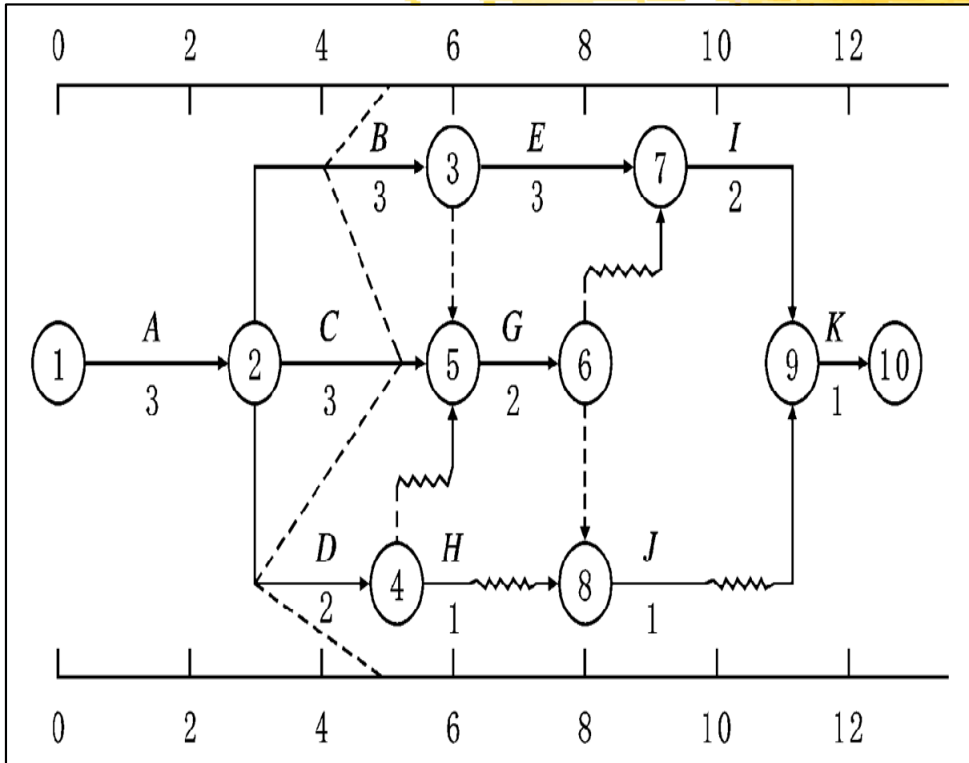
- 網圖
- 進度表

□ 進度管控標的

- 施工進度
- 里程碑之完成情形
- 預測可能之完工啟用期程

未能落實進度管理的原因

- 時程網圖不可信或不可行
 - ☞ 時程網圖錯誤或不持續更新
- 時程網圖僅為配合契約之要求，核定後即束之高閣
 - ☞ 時程網圖不予重視形同虛設
- 不熟悉進度管理知識及應用方法
 - ☞ 時程網圖不會審查亦不會應用
- 缺乏進度管理軟體工具或不會使用
 - ☞ 時程網圖應用受限無法發揮更大效益
- 時程網圖已失真，但除非依契約辦理工期展延或變更設計外，否則不允許時程網圖變更
 - ☞ 時程網圖更新管控失據



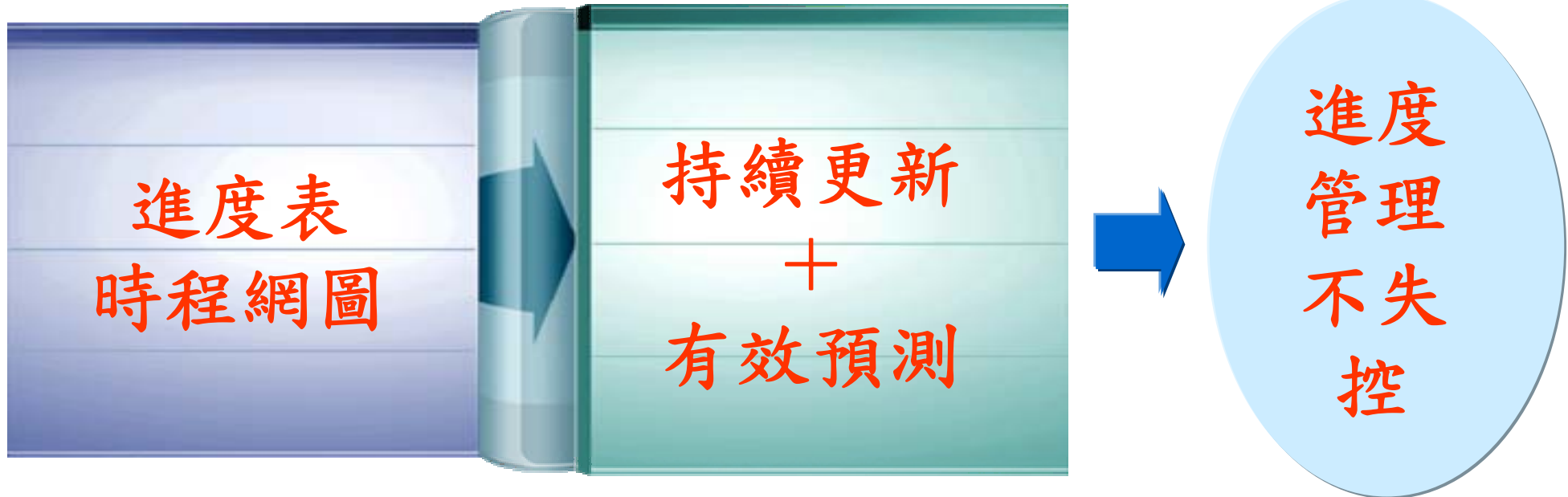
進度管控通則

- 基於工程網圖技術，規劃及建構管控之預定進度表及里程碑，使工程進度隨時處於動態管理狀態
- 工程施工過程中，定期對施工進度及里程碑進行追蹤及比較執行差異情形，並對完工啟用期程進行預測
- 藉由上開標的執行資訊之持續更新及檢討，據以及早掌握影響完工啟用期程之關鍵因素及風險，並研採有效之改善方案及預防對策，俾如期如質完工

落實進度管理的要領(1/3)

施工前

施工中



符合真實現況
合理及可行

據以管控施工
採取積極作為

落實進度管理的要領(2/3)

□持續更新：

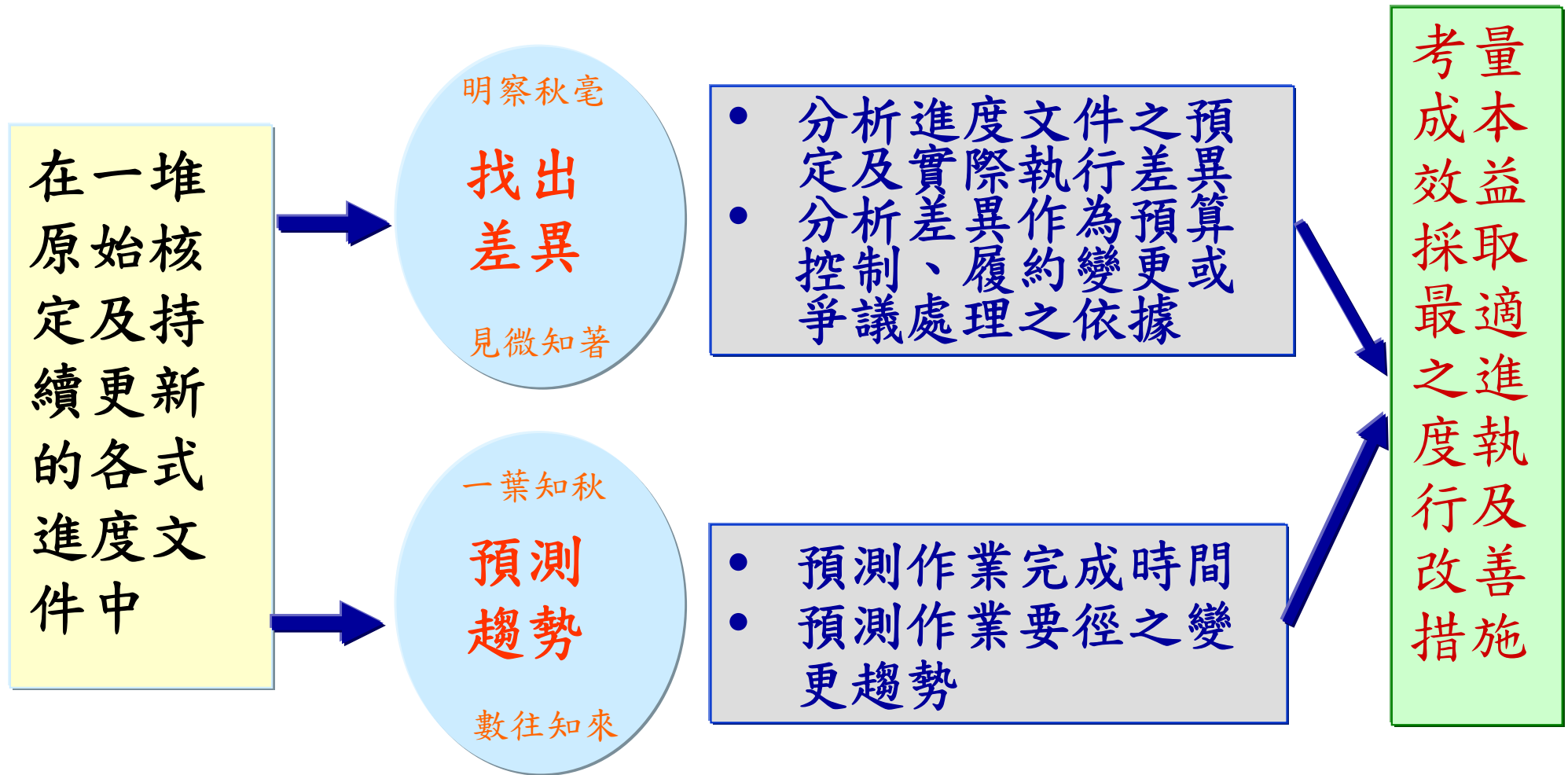
- 作業完成百分比、作業剩餘工期、已完成或進行中作業之實際開始及完成日期
- 解釋里程碑與完工時間之預定與實際日期差異
- 描述實際或可能的延誤及原因，以採取減低衝擊的措施

☞ 實際資料（比較落後差異並檢討改善對策）

□有效預測：系統地預估作業完成時間，包含未來作業之開始日期、工期及邏輯關係之改變

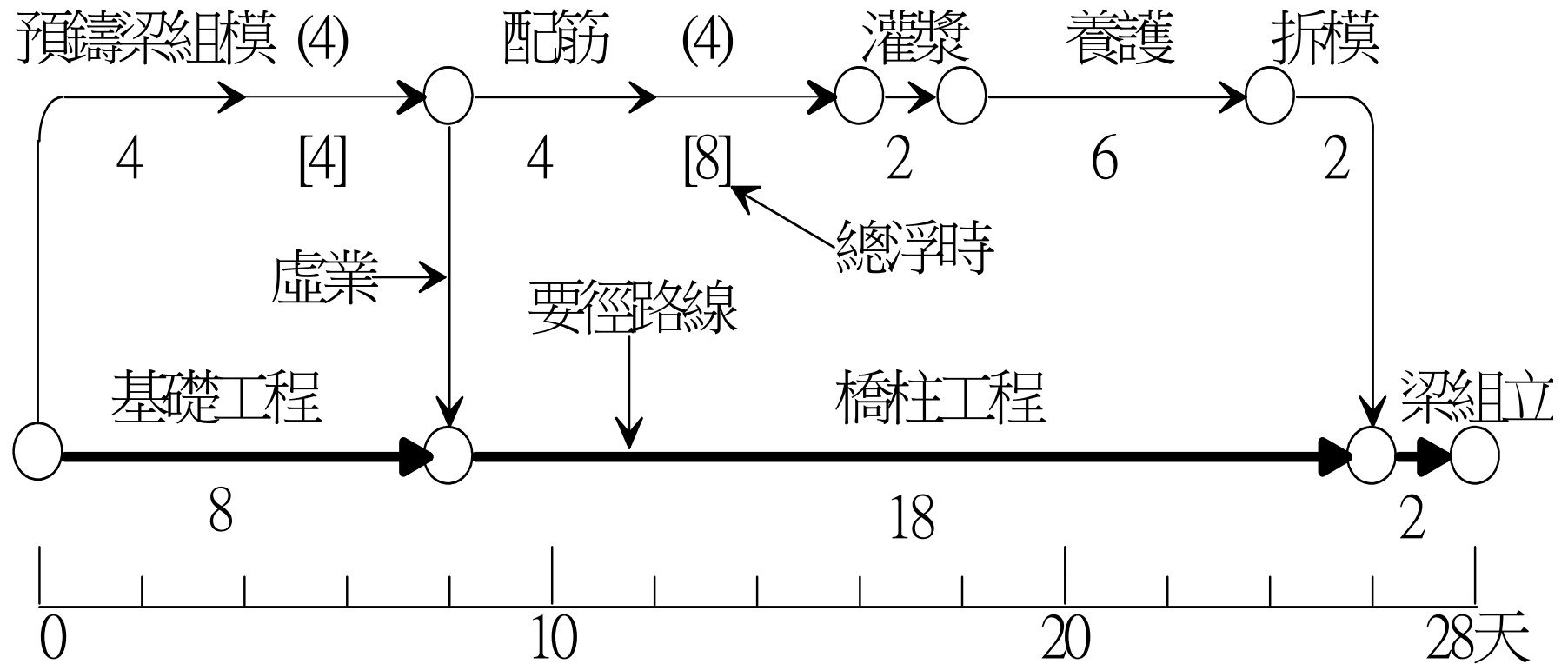
☞ 預計資料（提前預警並採取有效趕工措施）

落實進度管理的要領(3/3)



進度文件的使用及審查重點

三、工程網圖及要徑



網圖及進度表

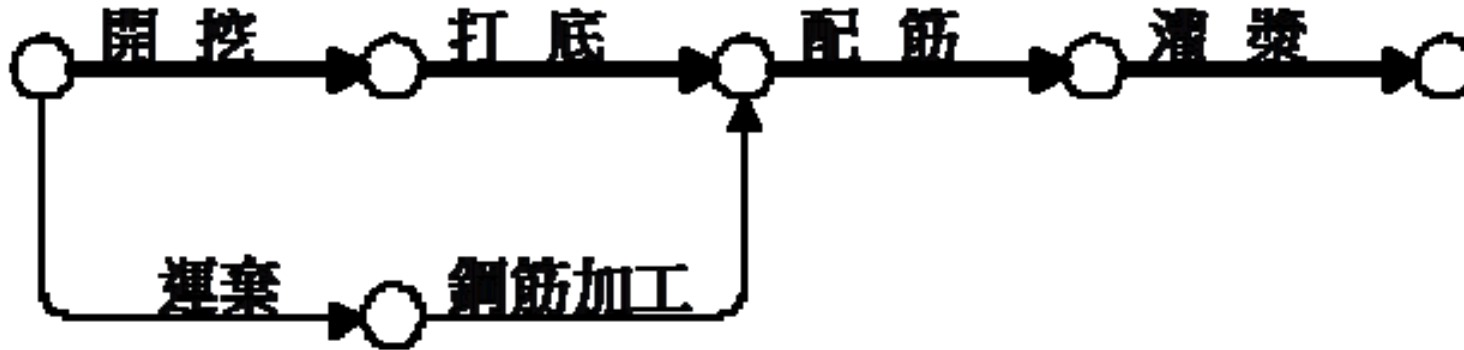
- 網圖應採用具足夠功能之排程軟體繪製，並標示各作業項目之代碼、名稱、工期、最早(晚)開始及完成時間、里程碑、總浮時、要徑、關係形式及延時等
- 預定進度表應由網圖作業之開始與完成時間產生，橫軸為時間標尺，縱軸為累積價值（契約項目金額）或工作完成百分比，並繪製價值曲線（Value or S Curve）
- 作業項目應齊全且無漏項，數量適當，作業天數不宜過長，以確保要徑項目之緊密度
- 里程碑應位於要徑，分布不宜寬鬆，以發揮執行之管制及落後預警功能
- 作業天數之估計，應考量未來人員、機具、材料等施工資源之需求規劃及施工能量、可能面臨之風險

工程網圖繪製方式

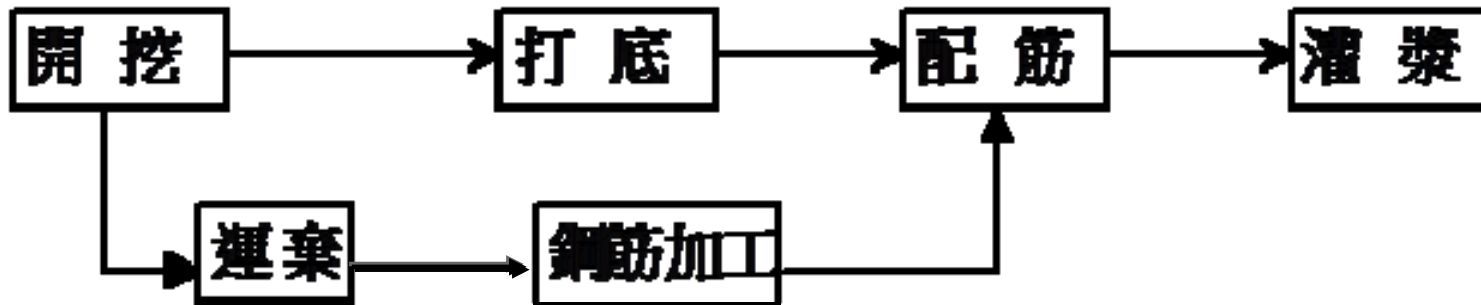
箭線圖示法 (Arrow Diagramming Method, ADM)	先行順序圖示法 (Precedence Diagramming Method, PDM)
以箭線為工作項目	以節點為工作項目
僅有工作項目間之完成- 開始[FS]邏輯順序關係	適用工作項目間之完成- 開始[FS]、開始- 開始[SS]、完成- 完成[FF]，以及開始- 完成[SF]等 4 種邏輯順序關係
適用包含虛時作業之工作項目	無虛時作業之工作項目

- ☞ 虛時作業(Dummy activity) 僅用來表示作業間的先後關係，本身無實質工作內容，故不需要時間
- ☞ 市面MS Project、P3及P6等主要專案排程商業軟體，均採用先行順序圖示法

工程網圖繪製方式



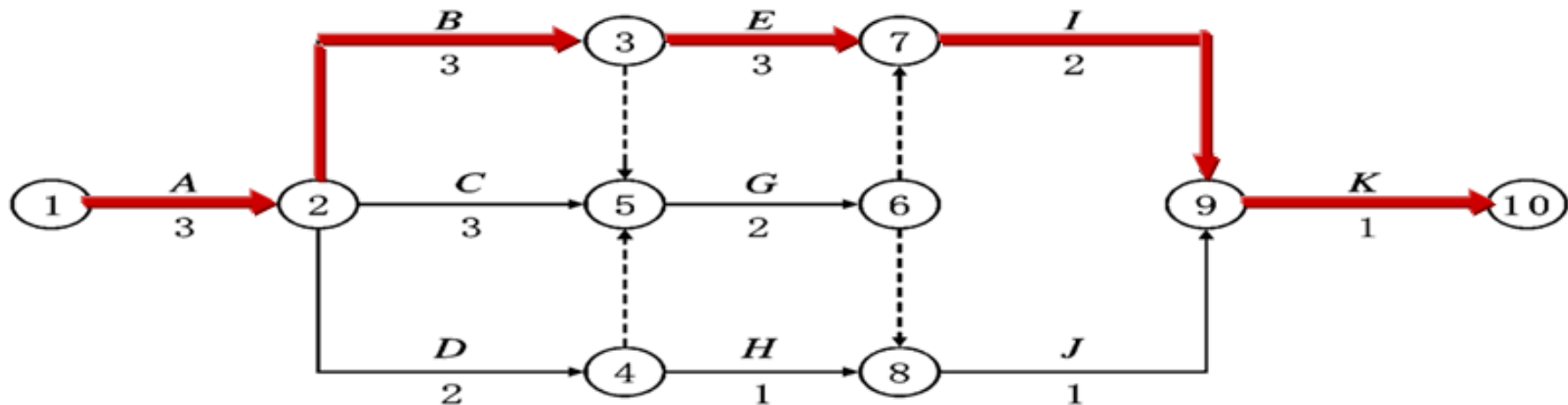
箭線圖示法



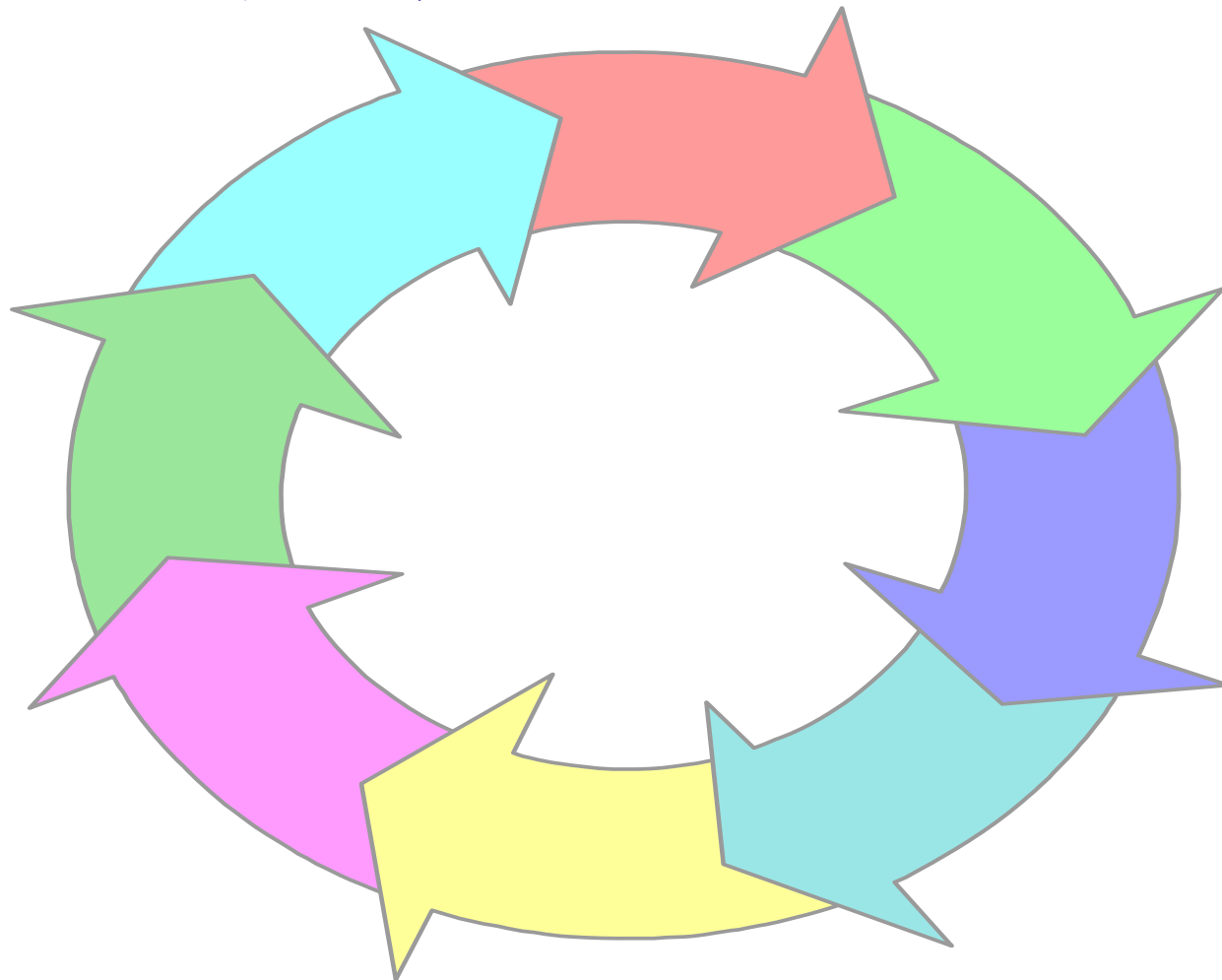
先行順序圖示法

要徑特性

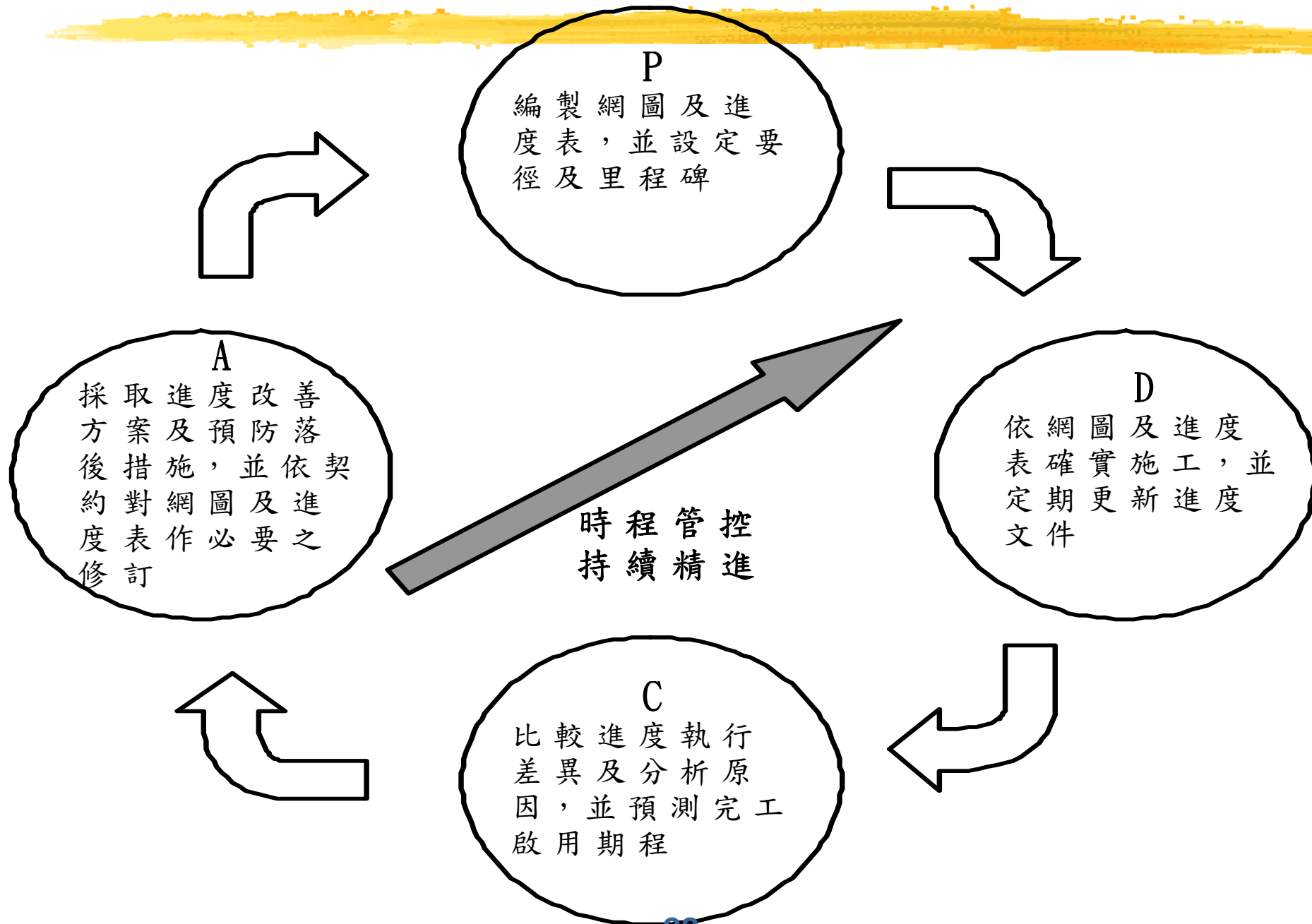
- 要徑上之作業，其作業浮時等於零
- 要徑代表所有路徑中時間最長者
- 工程欲縮短工期，須著重在此路徑
- 要徑絕非一條
- 要徑外之作業亦可能由於浮時之消化而成要徑
- 即使不是要徑，但其浮時少，亦可視為要徑而加以重點管理



四、PDCA排程管控作法



PDCA循環管控施工時程作業流程圖



計畫 (Plan)

- 廠商應依契約規定之期限，編製可行之網圖及預定進度表，納入施工計畫，提報監造單位審查後，轉陳機關核定，俾作為進度及里程碑執行管控之依據
- 為利重大工程之時程管控決策用途，機關得依據規劃設計成果，於契約逕為訂定主要（綱要）之作業項目及里程碑，規定廠商之網圖及預定進度表悉以納入，並進一步發展細部之作業項目及里程碑
- 機關如無正式變更通知，核定之完工時間與里程碑均不能改變
- 網圖及預定進度表經機關修正或核定者，不因此免除廠商對契約竣工期限所應負之全部責任

執行 (Do)

- 廠商應依據核定之網圖工序及預定進度表執行，以如期如質完成施工
- 監造單位應監督廠商確實施工，並注意廠商人員、機具、材料等施工資源之投入數量及天候、水文、環境、交通等風險因素的影響
- 機關應主動解決用地及管線遷移相關問題，並督促監造單位妥為協調及整合計畫所屬工程之施工界面及動線，避免衝突及干擾應有之施工進度
- 為促進工程預算執行及資金良性調度，應依契約規定儘速核實辦理估驗及付款；契約有訂定機關提供材料者，機關應確保正常之供料無虞
- 網圖重要作業項目之施作情形（如位置、數量等），應確實記載於施工日報及監造日報，俾利提供預算變更、履約變更或爭議處理作業之勾稽佐證

檢核 (Check)

- 廠商應依契約規定之格式及週期，定期彙製進度文件提送監造單位，以充分說明工程執行現況及未來發展趨勢
- 前項進度文件，係就網圖及預定進度表作業項目之執行情形，彙整及比較施工進度及里程碑之執行差異，並對完工啟用期程進行預測；內容包含：
 1. 更新進度表（價值曲線）之實際進度，並與預定進度進行比較
 2. 彙整核定要徑項目及里程碑之完成日期，並就落後項目檢討原因及分析影響完工啟用期程天數
 3. 評估執行中作業之剩餘工期、未來作業之開始日期、工期及邏輯關係之改變，並預測工程之可能完工啟用期程及要徑改變
 4. 消弭執行差異之改善及預防措施

檢核 (Check)

- 監造單位應審查廠商提送之進度文件，並與現場施工情形進行比對，必要時檢視廠商之排程軟體電子檔案，以查證進度文件之正確性
- 監造單位就廠商提出之進度文件，於綜合考量廠商之過去施工產能、未完成數量、落後原因及可能風險等，研擬審查意見，提報進度會議

行動 (Action)

- 當監造單位審查進度文件，發現進度偏差實際發生或即將發生時，應提出建議並立即通知廠商採取有效之改善及預防措施，以儘速降低對完工啟用期程之影響；原則如下：
 1. 改善及預防措施應以維持核定之完工啟用期程、要徑項目及里程碑不產生變化為優先
 2. 要徑項目如已產生落後，於未完成之要徑項目中，檢討縮短作業天數之可行措施，並選擇資源需求強度或費用較低之項目優先辦理
 3. 對剩餘浮時較少之非要徑項目（或次要徑項目），亦應注意配合採取適當調整措施，避免轉變為主要徑項目

行動 (Action)

- 進度會議應依契約所訂週期定期召開，機關、專案管理單位、監造單位、廠商及其時程管理有關人員均必須參加，就監造單位對廠商進度、里程碑、預測完工啟用期程、執行差異改善及預防措施等之審查結果，確認施工實際進度及評估可信之完工啟用期程，並就關鍵之作業項目及落後原因，決定有效之改善對策
- 進度因可歸責於廠商之事由，落後達契約規定幅度以上，機關應通知廠商限期改善或提報趕工計畫，並依契約相關規定處理；**必要時應儘早採取斷然之處置**（如依「公共工程廠商延誤履約進度處理要點」，通知連帶保證廠商履約、以監督付款方式由分包廠商繼續施工、終止或解除契約重行招標等），**以防止進度長時間停滯不前或嚴重失控**

行動 (Action)

- 如因變更設計或工期展延等原因，致網圖或預定進度表不能反應實際情況或失去控制功能，則必須修訂及送審，並就核定要徑之影響天數及責任歸屬，重行核算工期
- 機關核定之網圖或預定進度表倘未符修訂之條件，機關或監造單位仍得要求廠商就不符部分或趕工作業時，另暫更新至符合目前及預期完（趕）工狀態，並作為完工啟用期程預測正確性之相關佐證文件，俾提供管控決策之參據。此一更新，並不表示變更設計或工期展延之正式提出及同意

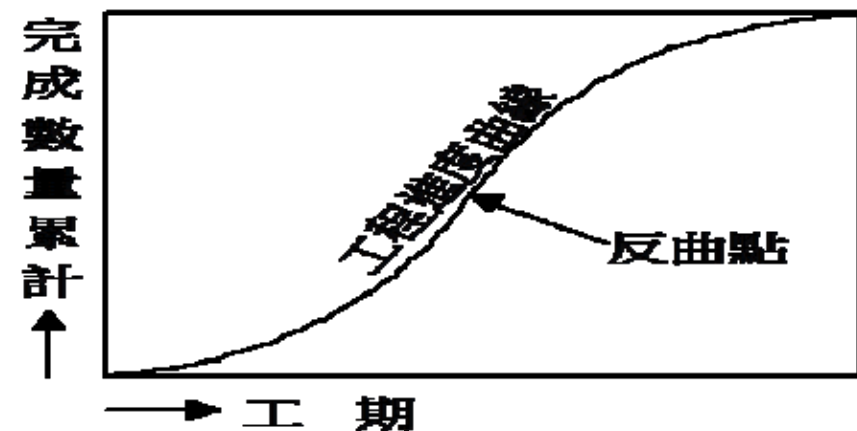
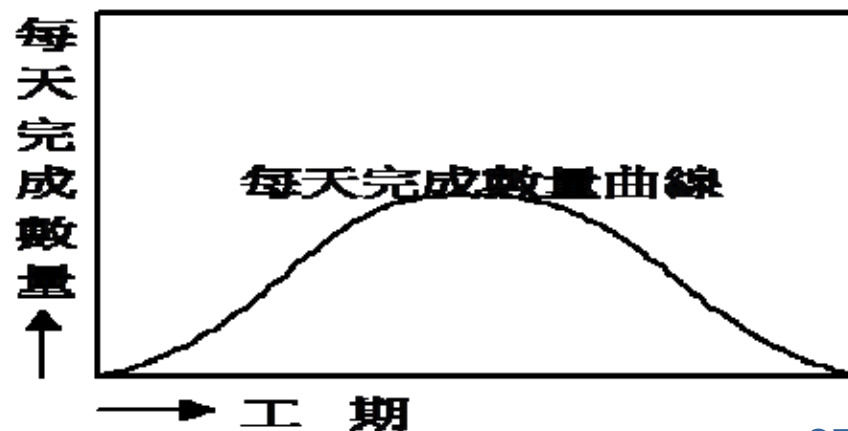
五、執行差異檢討及處置



比較進度執行差異方法

□ S曲線比較法

- 依契約規定之進度計算方式（如計算各作業項目之實際完成數量或百分比等），據以更新進度表（價值曲線）之實際進度，並比較實際價值曲線與核定預定價值曲線之偏差幅度及趨勢
- 初期由於臨時設備實施、工作安排、作業學習等，末期由於粉飾、整頓等原因，施工速度均較工程中期為小。每日之完成數量通常有自初期至中期呈遞增，由中期至末期呈遞減之趨向，故進度曲線呈S型

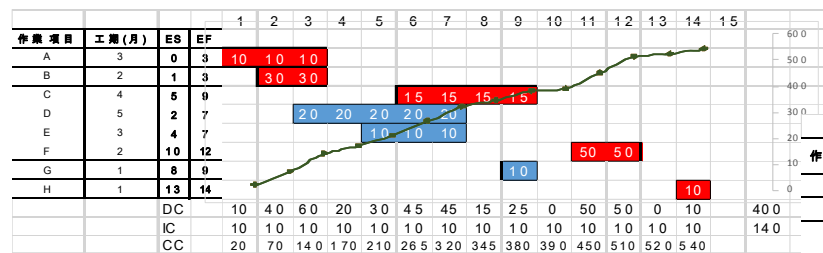


比較進度執行差異方法

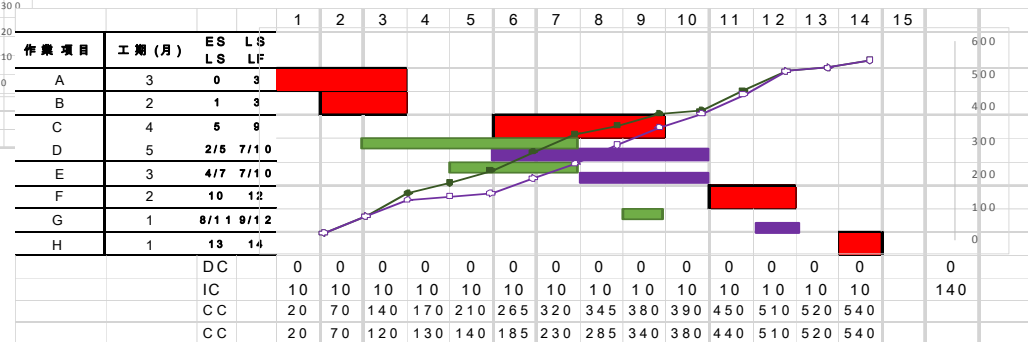
香蕉進度曲線比較法

- 除預定之進度曲線外，依核定網圖預定之最早與最晚開始及完成時間，另分別繪製2條累積進度曲線，即構成香蕉進度曲線。實際價值曲線，應控制於香蕉進度曲線之包絡區域範圍內
- 當實際進度曲線超出香蕉進度曲線之容許下限時，表示進度已經落後，必須以最經濟之方式追趕進度

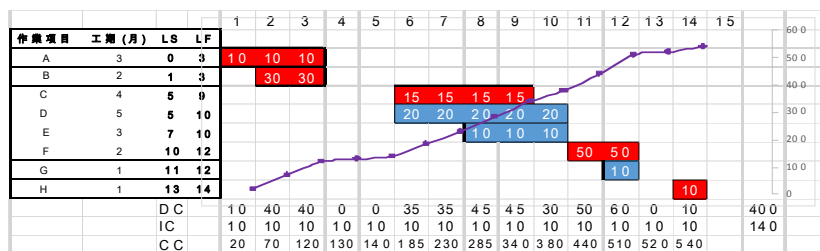
S-Curve (Early Bar)



S-Curve (香蕉曲線)
(Early + Late Bar)



S-Curve (Late Bar)



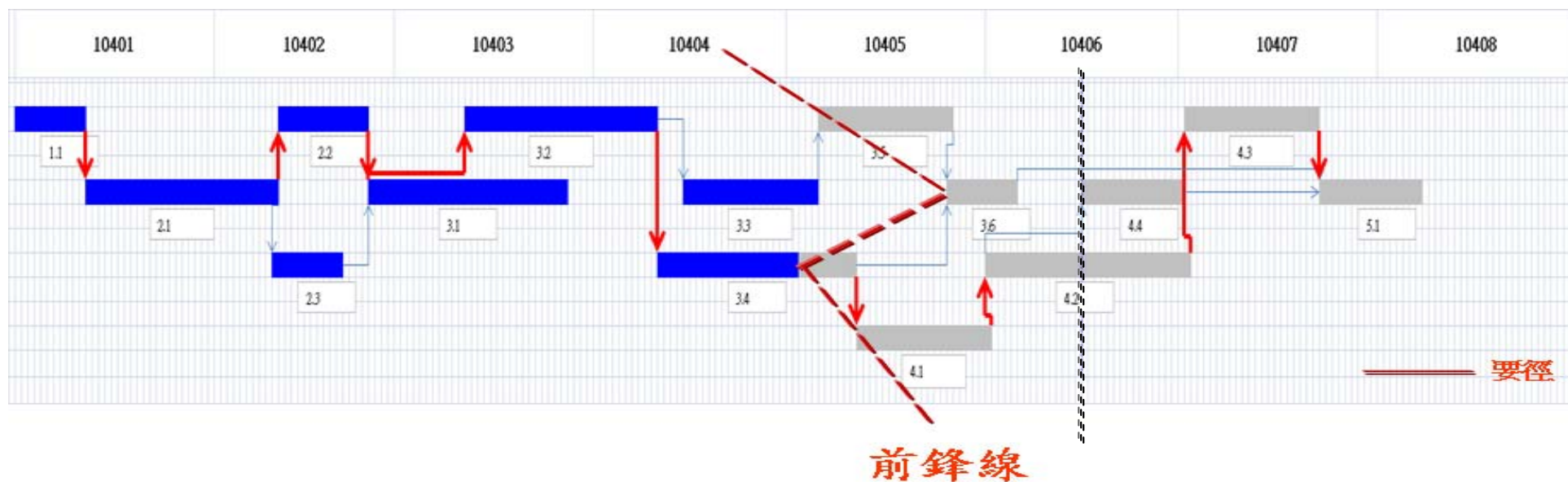
比較里程碑執行差異方法

- **橫桿圖（甘特圖）比較法** — 以季、月或週為時間標尺單位，顯示作業之代碼、名稱、工期、里程碑、預定及實際執行時程作業桿，以比較差異

工作項目編號	工作項目名稱	核定最早開始日期 (ES)	核定最早完成日期 (EF)	核定最晚開始日期 (ES)	核定最晚完成日期 (EF)	10311	10312	10401	10402	10403	10404	10405
A	TASK_A	1031101	1031220	1031120	1040108	[Gantt bars for TASK_A: 10311, 10312, 10401, 10402]						
B	TASK_B	1031101	1031230	1031101	1031230	[Gantt bars for TASK_B: 10311, 10312, 10401, 10402]						
C	TASK_C	1031220	1040118	1040128	1040226	[Gantt bars for TASK_C: 10312, 10401, 10402, 10403]						
D	TASK_D	1031220	1040128	1040108	1040216	[Gantt bars for TASK_D: 10312, 10401, 10402, 10403]						
E	TASK_E	1031220	1040118	1040114	1040212	[Gantt bars for TASK_E: 10312, 10401, 10402, 10403]						
F	TASK_F	1040118	1040206	1040226	1040317	[Gantt bars for TASK_F: 10401, 10402, 10403, 10404]						
G	TASK_G	1040128	1040226	1040216	1040317	[Gantt bars for TASK_G: 10401, 10402, 10403, 10404]						
H	TASK_H	1040212	1040318	1040212	1040318	[Gantt bars for TASK_H: 10401, 10402, 10403, 10404]						
I	TASK_I	1040318	1040531	1040318	1040531	[Gantt bars for TASK_I: 10403, 10404, 10405]						

比較里程碑執行差異方法

- **前鋒線比較法** — 以季、月或週為時間標尺單位，將各作業項目依其最早(晚)開始及完成時間標示配置於網圖，即構成時間比例邏輯網圖，並就各作業項目之完成狀態，標示連接成前鋒線，進而推估施工超前或落後之天數



比較里程碑執行差異方法

- **列表比較法** — 將網圖排程資料列表，比較各作業項目之原有浮時及剩餘浮時，如剩餘浮時為負值，將影響完工啟用期程

工作項目 編號	工作項目 名稱	距離最晚 完成日期 剩餘天數	未完成部 分尚需作 業天數	核定進度 總浮時	目前剩餘 浮時	影響工期
1	A	1	2	0	-1	1天
2	B	2	1	1	1	正常
3	C	2	2	2	0	正常

執行差異管控－檢討重點

- **工期**－是否符合契約工期
- **經費**－是否符合契約金額
- **工作項目之作業天數**－工作項目之作業天數差異是否造成原要徑之改變
- **工作項目之數量及經費**－依據契約詳細價目表之相關計價項目金額計算、差異是否可反映構成契約變更或設計變更之條件、差異是否影響作業天數、差異是否造成原邏輯關係之改變
- **工作項目之先行作業工作項目及其邏輯關係**－差異是否肇因於工作項目及數量之重大變更或工法、工序之重大改變、差異是否影響總工期、差異是否造成原要徑之改變

執行差異管控－檢討重點

- 針對要徑工作項目及浮時少於7天之非要徑工作項目－應比較其預定及實際完成百分比，評估未完成部分尚需之作業天數，並與距最晚完成日期之剩餘天數進行比較（評估是否影響完工啟用期程及原要徑）
- 計算要徑工作項目里程碑應開始未開始、應完成未完成之項數及最大落後天數－評估是否影響完工啟用期程及原要徑

執行差異管控一處置重點

- 就上開差異，確認對工程進度的影響，描述實際或可能的延誤及原因，進行檢討據以研議追趕對策，以減低衝擊

- ☞ 就未完成之現場實際要徑工作項目中，以避免發生追趕前後要徑轉換情形為原則，優先選擇下列項目對其作業天數進行壓縮或趲趕：
 1. 壓縮或追趕時間對品質及安全影響不大
 2. 作業之資源需求小或有充足備用資源
 3. 壓縮或追趕時間對成本增加較低

執行差異管控—處置重點

- 分析差異作為預算控制、履約變更或爭議處理之依據
 - 對於工作項目、數量及經費之增刪情形，應詳實反映於進度文件，並分析比較差異原因及影響程度，以利工程預算變更之控制、履約變更或爭議處理之依據
 - 進度表重要工作項目之當日施作情形，應確實記載於施工日報及監造日報，俾利提供上開預算變更、履約變更或爭議處理作業之勾稽佐證

六、完工啟用期程評估方法



為什麼要做完工啟用期程評估

- 公共建設之完工啟用期程，常是計畫規劃與政策考量之綜合期望值，包含所有客觀及主觀判斷的混合，背後存有一個機率的變數；在執行過程中，往往會發生計畫比不上變化之情況
- 機關復常受限於如期完工啟用之管考目標，規劃之工程網圖多不符實際或未考慮風險
- 在多重施工路徑及諸多不確定性風險影響下，施工要徑將隨時可能產生變化
- 當加入了風險的考量後，如何準確預測完工啟用期程，並作出積極正確之決策，為時程管控之重要關鍵
- 當核定之時程網圖已失真，但除非依契約辦理工期展延或變更設計外，否則不允許時程網圖變更；在此情況下，要求廠商另配合提出更新至符合目前及預期完（趕）工狀態之時程網圖，以作為完工啟用期程之確切評估依據，並利管控工進

何時要做完工啟用期程評估

- 當政策指示相關計畫或工程需提前完工啟用
- 專案時程出現重大落後
- 契約或設計有重大變更
- 工期有重大展延
- 工法、工序或要徑有變動
- 廠商人、機、料等施工資源有重大變動

預測完工啟用期程方法

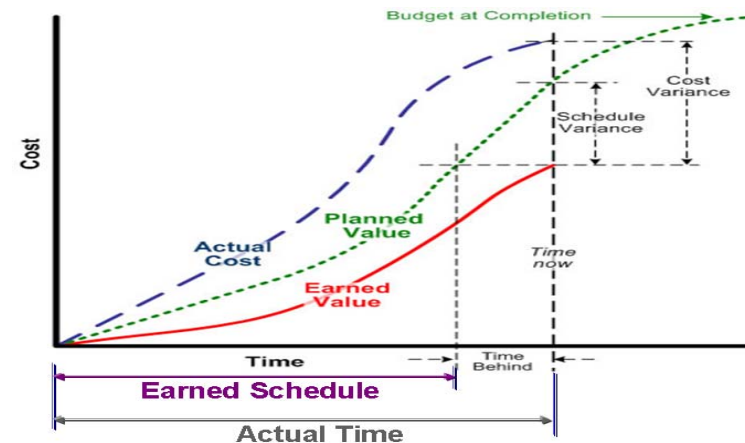
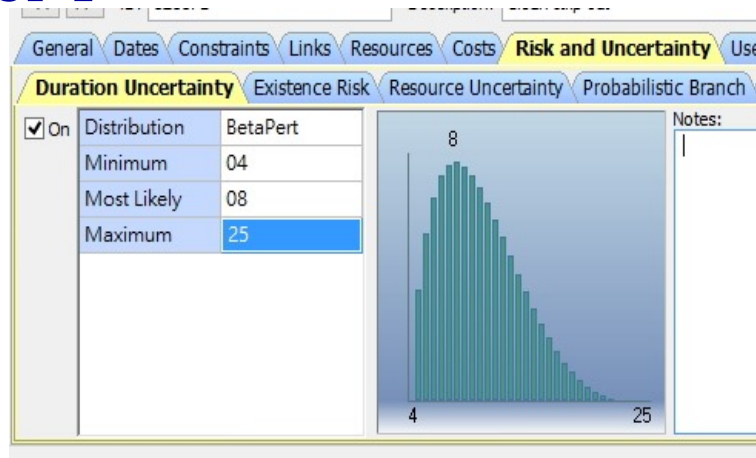
- **要徑法**—就核定網圖各項作業項目之工期、最早(晚)開始及完成時間、里程碑、浮時、關係形式及延時等資料，檢核已執行項目是否符合實際及檢討未執行項目是否合理可行，並修正及重組計算排程，以獲得最終之完工啟用期程及全程要徑
- **計畫評核術**—除依前款要徑法，修正核定網圖各項作業項目之工期、最早(晚)開始及完成時間、里程碑、浮時、關係形式及延時等資料外，對未完成項目分別評估樂觀(A)、悲觀(B)及最可能(M)時間，進而設定該項目之工期為 $(A+4\times M+B)/6$ ，並據以修正及重組計算排程，以獲得最終之完工啟用期程及全程要徑(為要徑法之延伸，適用於難以確定估計時程之大型計畫)

CPM與PERT比較

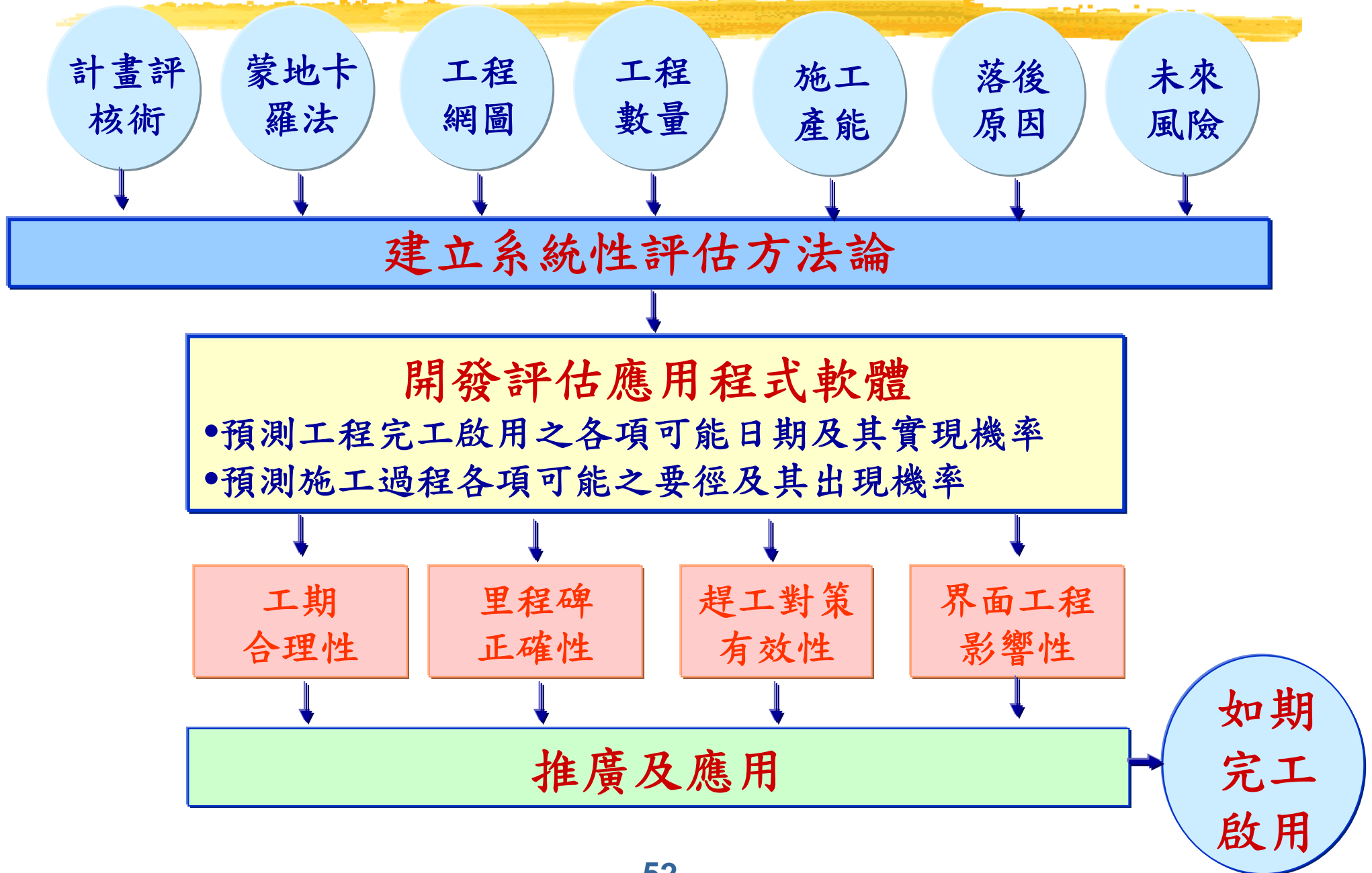
	要徑法 (CPM)	計畫評核術 (PERT)
內容	以網路圖作為分析工具，時間模型是 確定性 ；以 單一估計 時間建構專案排程	以網路圖作為分析工具，時間模型是 機率性 ；以 樂觀、悲觀及最可能時間的三時法 為基礎，估算專案完成的可能時間及機率
優點	適用於大型專案，作業間前後關係 明確	適用於大型專案，作業間前後關係 明確
缺點	單一估計時 忽略各項作業風險	不易估計樂觀、悲觀估計 ，作業要徑 不易判斷

預測完工啟用期程方法

- **蒙地卡羅法模擬**—結合網圖及計畫評核術，以隨機亂數值模擬設定未完成作業項目之工期，並進行多次演算，以累計彙總完工啟用之各可能期程、要徑及其出現機率；工程會已建立系統性之評估方法及應用程式提供使用者參採
- **實獲值分析法**—計算EV（實獲值，工程預算實際完成金額）、PV（應執行值，工程預算預定完成金額）、SPI（時程績效指數= EV/PV ），預測完工總工期為核定工期除以SPI



完工啟用期程評估方法及應用架構圖



何處著手完工啟用期程評估(1/4)

結合計畫評核術及蒙地卡羅模擬法 (Monte Carlo method) 評估完工啟用期程及其出現機率

- 工期存在很多不確定性之風險，無法以真實之數值公式或確定性之模型（例如常態分布）求解
- 將不確定的作業時間看成具有某種機率分配特性的隨機變數，利用隨機亂數決定作業時間，俾預估工程專案期程之累積分布
- 一種基於大數法則的實證方法，當模擬的次數越多，結果趨近於真實
- 需要大量的抽樣及計算，計算時間較長

何處著手完工啟用期程評估(2/4)

現行方式	蒙地卡羅方式
各工作項目以 <u>單時</u> 估計，未考慮風險	加入風險管控概念，考量廠商過去施工產能及未完工數量，評估各工作項目 <u>三時</u> (最低、正常、最高估時)
最大單一時程之要徑	演算多重施工路徑及其發生機率，據以研擬趕工策略
單一完工日期	可依據不同機率對應之完工日期，提供機關首長決策參考

何處著手完工啟用工期評估(3/4)

- 首先要有一份符合實際施工現況的工程網圖
- 基於計畫評核術，就網圖中尚未完成之工作項目，依實際狀況（廠商過去施工產能、未完工數量、落後原因及可能風險等），對每個項目之最低、正常及最高估時進行估計
- 設定蒙地卡羅法之迭代次數，每次迭代對各項工作項目隨機取0至1範圍之亂數值，依三角分布函數獲得各工作項目之作業天數
- 依各項工作項目之作業天數及施工順序，決定施工要徑及其總工期
- 完成所有迭代後，統計各次迭代產生之工期出現次數，即可累算各工期之完工機率及要徑之出現機率

何處著手完工啟用期程評估(4/4)

□計畫評核術+蒙地卡羅模擬法

- 工程會已建立系統性之評估方法，並成功發展單機版之Excel VBA模擬程式軟體
- 依MS Project之單時排程資料，工程會模擬程式軟體計算之完工日期與MS Project完全相同
- 工程會模擬程式軟體已強化輸入檔案資料是否有重複、矛盾或無限迴圈等錯誤檢核功能，並通過台中捷運系統CJ910區段標工程作業項目高達6,822項之實測，可確保程式運行效能之可靠及穩定度
- 模擬程式軟體、輸入檔案範本及操作影片等相關檔案，於工程會全球資訊網/工程管理/重大公共建設完工啟用期程評估，提供下載服務

七、完工啟用期程評估軟體操作指引



如何做完工啟用期程評估(1/9)

首先要有一份符合實際施工現況的工程網圖

依據施工網圖之工作項目，建立三時資料input檔案

以工程會開發之蒙地卡羅法應用程式，讀入三時資料input檔案，模擬完工啟用期程及要徑之發生機率

檢視蒙地卡羅法之output結果，是否合理可信

否

回饋檢討及調整可行之工程網圖流程、趕工計畫及作業時程，並修正三時資料input檔案，以符真實現況

是

確認工程里程碑管制、趕工計畫及完工啟用期程，據以嚴格追蹤及控管施工進度

如何做完工啟用期程評估(2/9)

Excel VBA模擬軟體操作畫面

UserForm1

蒙地卡羅法模擬完工日期及機率

*請鍵入INPUT原始檔案名稱(含副檔名):

公共工程作業時程input資料表(Project_ADM).xls

*請鍵入模擬次數

10000

產生工作項目時程桿狀圖 產生網狀圖

開始讀檔並模擬完工日期

PS. 打開Excel檔案，選擇「啟用巨集」，按下「啟動」工作表之「START」鍵，即可出現本畫面

如何做完工啟用期程評估(3/9)

三時輸入檔案建立原則

- 已完成之工作項目，輸入單時之實際作業天數
- 執行中之工作項目，依廠商過去施工能力、未完成數量、遭遇到之問題、落後原因及風險，具體擬訂其最低估時、正常估時及最高估時；如施工網圖符合實際並執行正常，得以施工網圖之原單時為正常估時，再延伸設定兩端之最低及最高估時
- 尚未執行之中程工作項目，儘量推估其最低估時、正常估時及最高估時；如遠程工作項目無法推估三時作業，可輸入施工網圖之原單時作業期程
- ☞ 針對已經發生或預見將會發生作業時程執行落差之未完成工作項目，設定三時（在精不在多）

如何做完工啟用期程評估(4/9)

三時估計方法

1.實獲值分析法 (Earned Value Method)

(1)正常狀態：

- 最低估時=未完成比例/以往各月最高5%之單月平均完成比例
- 正常估時=未完成比例/以往各月之單月平均完成比例
- 最高估時=未完成比例/以往各月最低5%之單月平均完成比例

(2)趕工狀態：

- 最低估時=正常狀態之最低估時-趕工項目預定縮短天數
- 正常估時=正常狀態之正常估時-趕工項目預定縮短天數
- 最高估時=正常狀態之最高估時-趕工項目預定縮短天數

如何做完工啟用期程評估(5/9)

2. 專家意見評估法

(1) 內部幹部及資深工程人員集體評估

(2) 德爾菲法 (Delphi Method) 也稱專家調查法，是一種採用通訊方式分別將所需解決的問題單獨發送到各個專家手中，徵詢意見，然後回收彙總全部專家的意見，並整理出綜合意見。隨後將該綜合意見和預測問題再分別反饋給專家，再次徵詢意見，各專家依據綜合意見修改自己原有的意見，然後再彙總。這樣多次反覆，逐步取得比較一致的預測結果的決策方法

如何做完工啟用期程評估(6/9)

3. 不確定風險權重法

風險分類	風險屬性	最低估時	正常估時	最高估時
高度風險	容易控制	0.9xm	m	1.35xm
	不容易控制	0.85xm	m	1.5xm
中度風險	容易控制	0.95xm	m	1.2xm
	不容易控制	0.9xm	m	1.3xm
低度風險	容易控制	m	m	1.1xm
	不容易控制	0.95xm	m	1.15xm

如何做完工啟用期程評估(7/9)

模擬軟體產出成果

- 預測工程完工啟用之各項可能日期及其實現機率
- 預測施工過程各項可能之要徑及其出現機率
- 依最低、正常及最高估時天數，分別推算要徑各工作項目之應完成日期
- 正常估時狀態下，各工作項目之最早及最晚開始日期與最早及最晚完成日期（可用來與廠商單一時程之網圖及進度表進行逐項比較，檢核輸入檔案之正確性）
- 正常估時狀態之工作項目時程橫桿圖（甘特圖）
- 正常估時狀態之網狀圖

如何做完工啟用期程評估(8/9)

模擬後產出之工作表單	產出內容
模擬結果_年月	依完工年月，顯示工程於各月份之可能完工機率
◎模擬結果_日	依完工年月日，顯示工程於各日期之可能完工機率
完工機率統計圖_年月	將「模擬結果_年月」工作表數據，繪製成圖
完工機率統計圖_日	將「模擬結果_日」工作表數據，繪製成圖
◎要徑統計（全部）	顯示各項要徑之可能出現機率
要徑統計（完工機率 <=68.269%）	顯示 68.269%之完工機率以下，各項要徑之可能出現機率
要徑統計（完工機率 >68.269%）	顯示 68.269%之完工機率以上，各項要徑之可能出現機率
◎三時資料	顯示最低、正常及最高估時之要徑工作項目查核點應完成日期，各工作項目於正常估時狀態下之最早及最晚開始日期與最早及最晚完成日期
◎時程桿狀圖	正常估時之工作項目時程桿狀圖
網狀圖	正常估時之網狀圖

◎為較會用到之表單

如何做完工啟用期程評估(9/9)

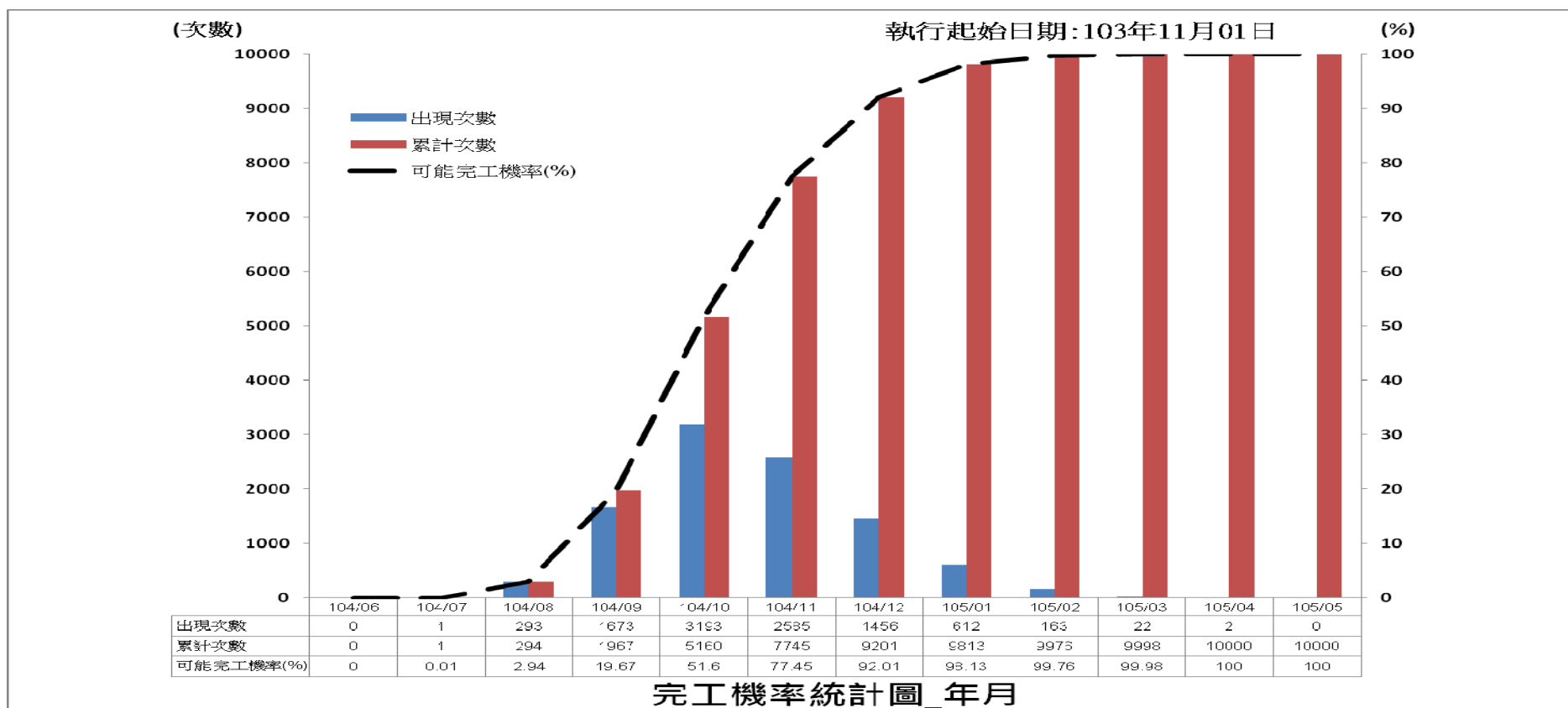
□ 工程團隊如何掌握成功評估之關鍵因素

- (一) 符合真實現況之三時估計資料，避免garbage in garbage out
- (二) 每次評估後，應對模擬結果檢視是否合理可信

□ 模擬結果之回饋

- (一) 據以檢討工程網圖流程、趕工計畫及作業時程之可行性，並進行必要之修正
- (二) 依上開修正，重行調整三時估計資料（**是否符合廠商目前之施工現況及作業能量？是否已考量可能遭遇之風險？**），再次進行評估作業
- (三) 於獲得可信之結果後，應確實依模擬結果管控相關里程碑執行情形，如後續有重大落後或異常變更，應重新進行評估

八、完工啟用期程評估應用示例

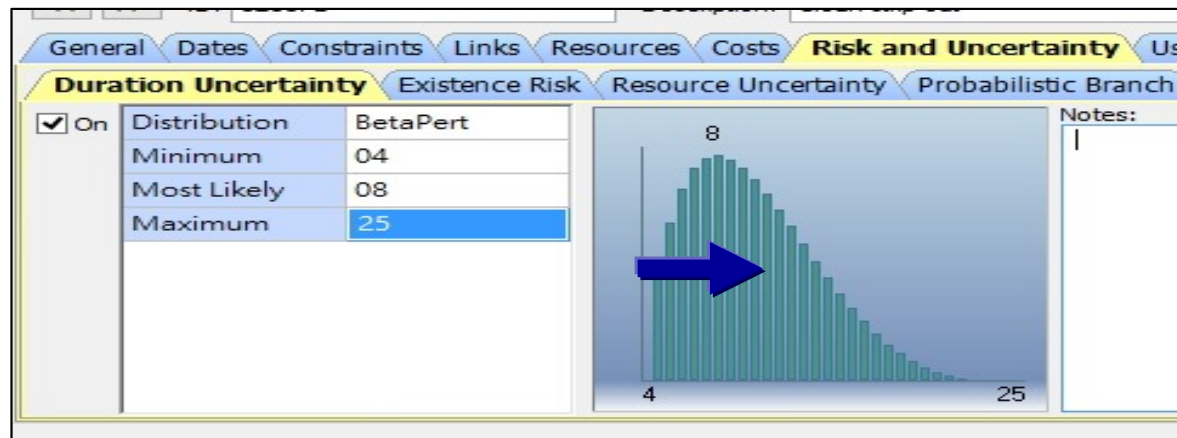


完工啟用期程評估應用(1/22)

- 應用面向1~正常狀態下驗證契約工期的合理可行性及管控里程碑的正確性
- 1. 團隊認為廠商較可能之完工日期，依產出之「模擬結果_日」工作表，該日之完工機率是否達68.269% 以上？
 - ☞ 為何取68.269%？考量施工會有風險，預估可能之完工日期得有緩衝時間，以容許稍為延後，故本評估機制取68.269%（恰為常態分布之一個標準偏差值）；但亦可設定為70%出現機率之日期，較易記住
 - ☞ 工程如執行正常，取95.44%（二個標準偏差值）以上，將趨於悲觀保守
 - ☞ 蒙地卡羅法於完工日期時間軸之分布，係從左邊最早出現之日期開向右逐日累計次數數據以獲得完工機率

完工啟用期程評估應用(2/22)

2. 目前既定之施工主要徑，依產出之「要徑統計（全部）」工作表，該要徑之出現機率是否達50%以上？
3. 依產出之「三時資料」工作表：
 - 「正常估時應完成日期」欄位所列之各要徑工作項目，是否為目前既定之施工主要徑？
 - 是否緊密及可發揮提前預警落後影響完工啟用期程之效果？
 - 目前執行情形是否正常？



完工啟用期程評估應用(3/22)

□ 應用面向2~趕工狀態下確認趕工對策的有效性

1. 比較正常狀態與趕工狀態之完工日期及機率分布趨勢圖，趕工狀態是否有明顯提前？
2. 判斷趕工項目選擇的有效性，與趕工計畫對實質完工之預期績效

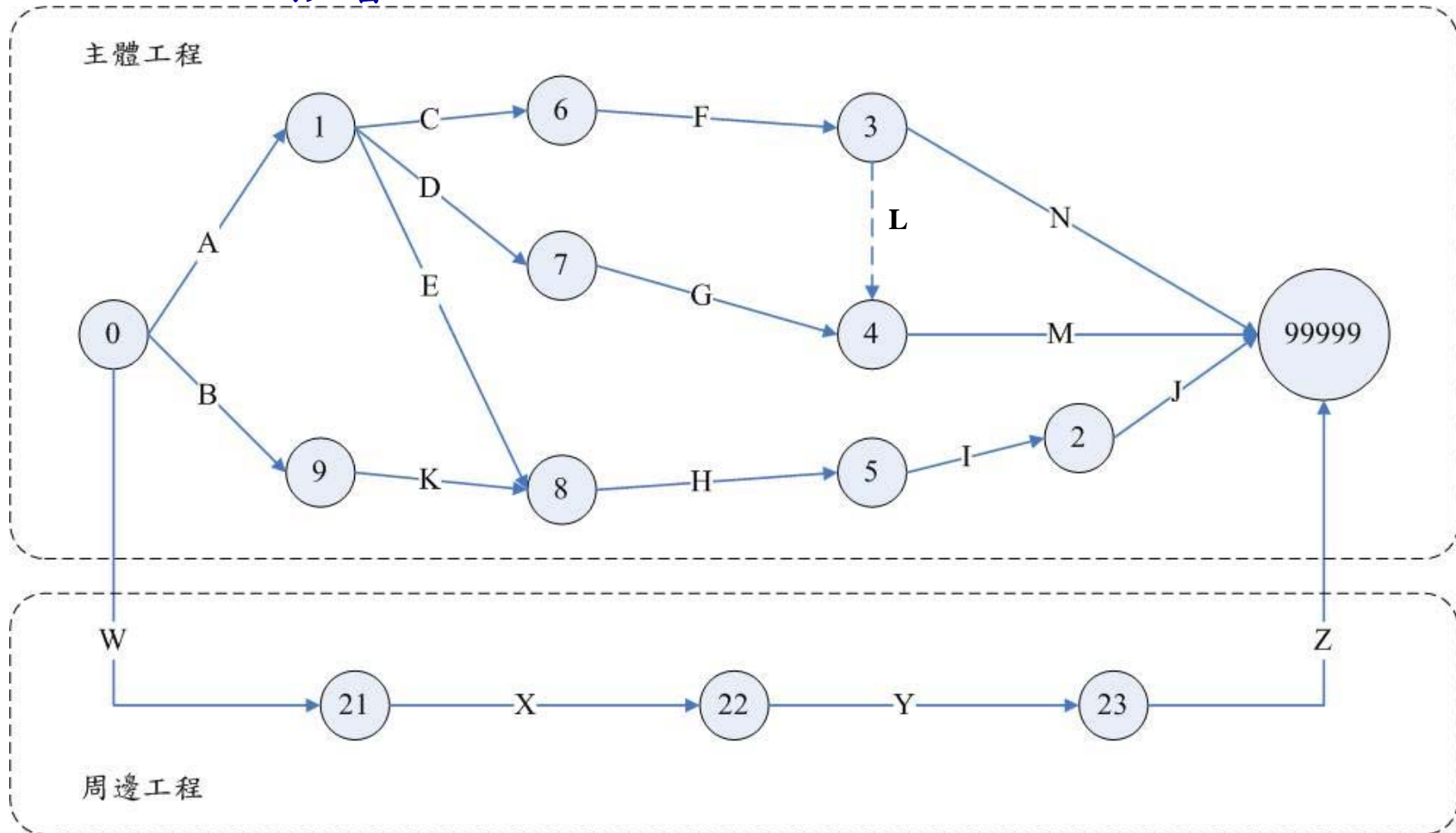
☞ 位於刀口

□ 應用面向3~估計主體及週邊工程競合狀態下對完工啟用的影響

將週邊工程網圖加入，作為另一單獨之施工系統路徑，與主體工程施工系統併行蒙地卡羅法模擬作業，以預測週邊工程對完工啟用之可能影響

完工啟用期程評估應用(4/22)

示例1 確認趕工對策的有效性及估計主體及週邊工程的競合影響



完工啟用期程評估應用(5/22)

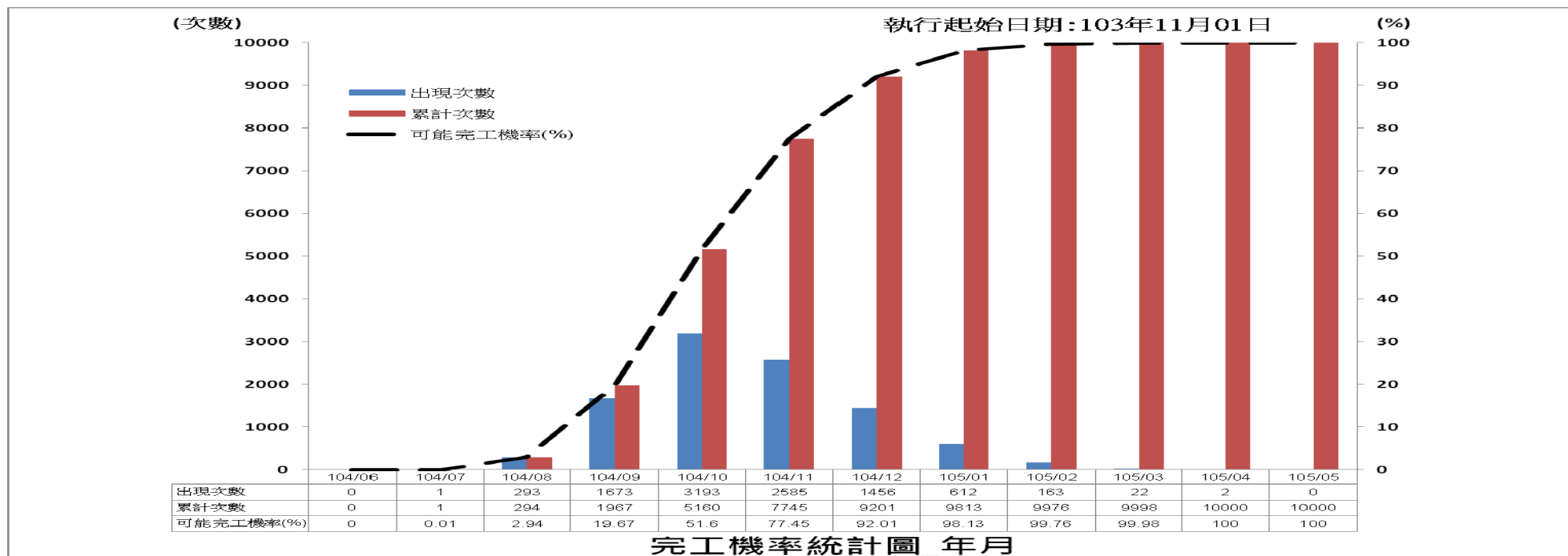
ADM模式input檔案 (正常狀態)

工作項目 編號	開始節點 編號	結束節點 編號	工作項目名稱	開始日期	結束日期	最低估時	正常估時	最高估時
A	0	1	TASK_A	1031101		40	50	200
B	0	9	TASK_B	1031101		10	60	150
C	1	6	TASK_C			20	30	70
D	1	7	TASK_D			30	40	150
E	1	8	TASK_E			20	30	40
F	6	3	TASK_F			15	20	60
G	7	4	TASK_G			15	30	45
H	8	5	TASK_H			25	35	75
I	5	2	TASK_I			115	120	150
J	2	99999	TASK_J			10	20	60
K	9	8	TASK_K			30	45	50
L	3	4	TASK_L			0	0	0
M	4	99999	TASK_M			140	155	180
N	3	99999	TASK_N			110	130	170
W	0	21	TASK_W	1031101		60	60	60
X	21	22	TASK_X			50	80	100
Y	22	23	TASK_Y			100	120	240
Z	23	99999	TASK_Z			10	15	20

PS. 1. 第1個開始節點編號須設定為0 2. 儲存格設定為文字格式 3. 開始及結束日期型式為YYMMDD

完工啟用期程評估應用(6/22)

正常狀態完工期程模擬結果(68.269%機率之可能完工日期為104.11.18)

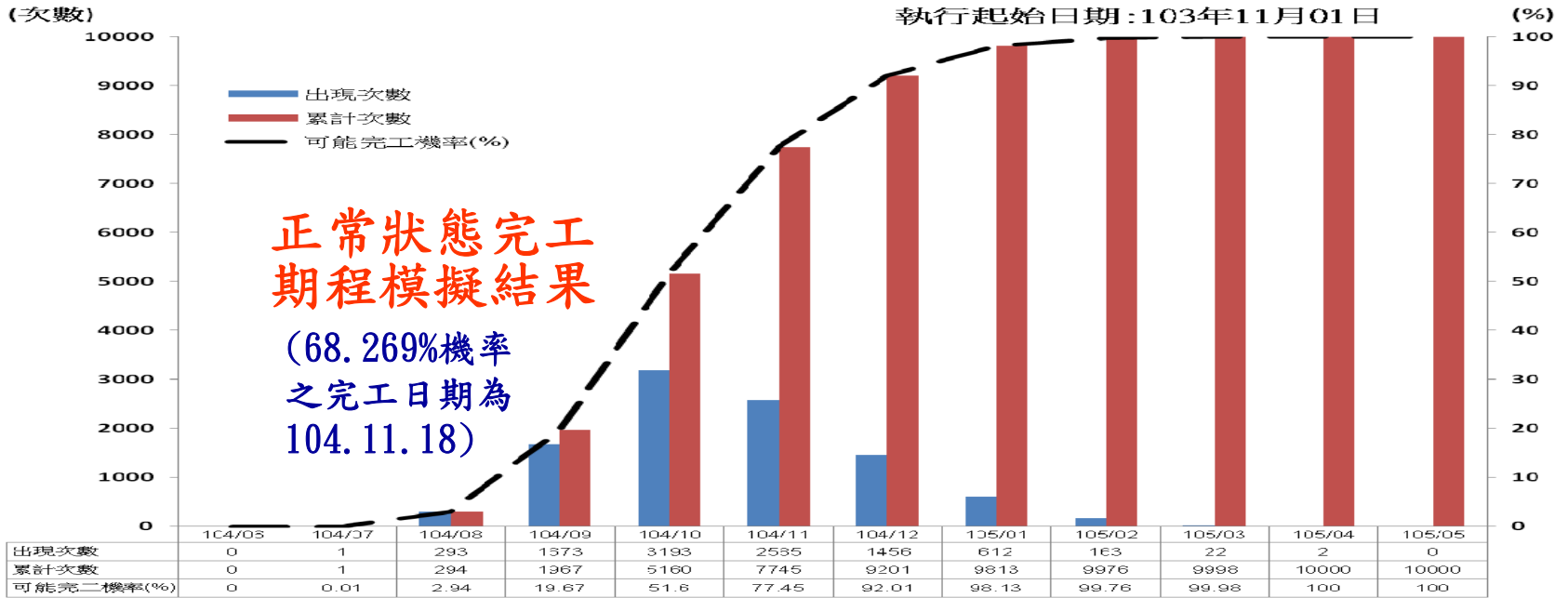


要徑(工作項目編號)	最低作業天數	最高作業天數	出現次數	出現機率(%)
[A][D][G][M]	274.88	521.462	5469	54.69
[B][K][H][I][J]	284.625	431.478	1809	18.09
[W][X][Y][Z]	261.542	403.273	1141	11.41
[A][E][H][I][J]	281.552	463.915	887	8.87
[A][C][F][L][M]	283.103	455.781	617	6.17
[A][C][F][N]	287.693	426.179	76	0.76
[B][K][H][I][J][X][Y][Z]	303.052	303.052	1	0.01

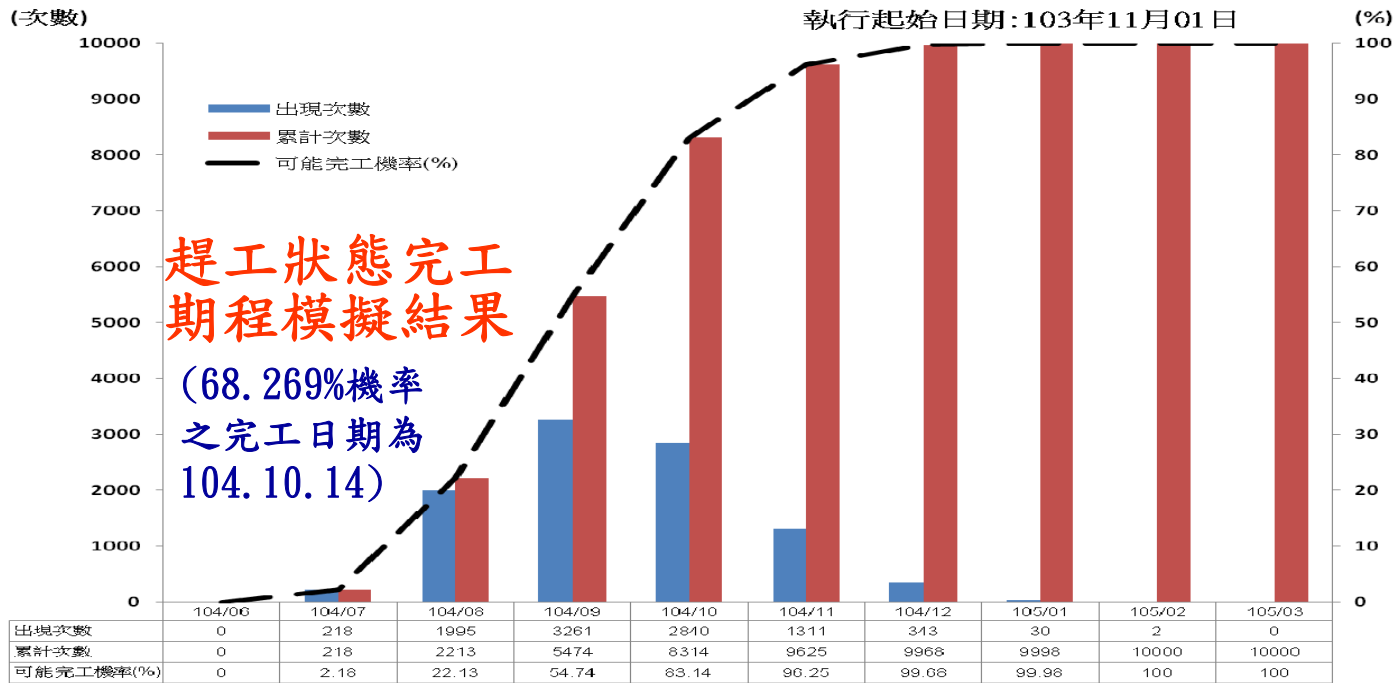
完工啟用期程評估應用(7/22)

ADM模式 input 檔案 (趕工狀態—M及I項目之三時較正常狀態分別縮短60及45天)

工作項目 編號	開始節點 編號	結束節點 編號	工作項目名稱	開始日期	結束日期	最低估時	正常估時	最高估時
A	0	1	TASK_A	1031101		40	50	200
B	0	9	TASK_B	1031101		10	60	150
C	1	6	TASK_C			20	30	70
D	1	7	TASK_D			30	40	150
E	1	8	TASK_E			20	30	40
F	6	3	TASK_F			15	20	60
G	7	4	TASK_G			15	30	45
H	8	5	TASK_H			25	35	75
I	5	2	TASK_I			70	75	105
J	2	9999	TASK_J			10	20	60
K	9	8	TASK_K			30	45	50
L	3	4	TASK_L			0	0	0
M	4	9999	TASK_M			80	95	120
N	3	9999	TASK_N			110	130	170
W	0	21	TASK_W	1031101		60	60	60
X	21	22	TASK_X			50	80	100
Y	22	23	TASK_Y			100	120	240
Z	23	9999	TASK_Z			10	15	20



完工機率統計圖_年月



完工機率統計圖_年月

完工啟用期程評估應用(9/22)

正常狀態下各要徑之發生比例 — 機率最大為主體工程之[A][D][G][M]項目

要徑(工作項目編號)	最低作業天數	最高作業天數	出現次數	出現機率(%)
[A][D][G][M]	274.88	521.462	5469	54.69
[B][K][H][I][J]	284.625	431.478	1809	18.09
[W][X][Y][Z]	261.542	403.273	1141	11.41
[A][E][H][I][J]	281.552	463.915	887	8.87
[A][C][F][L][M]	283.103	455.781	617	6.17
[A][C][F][N]	287.693	426.179	76	0.76
[B][K][H][I][J][X][Y][Z]	303.052	303.052	1	0.01

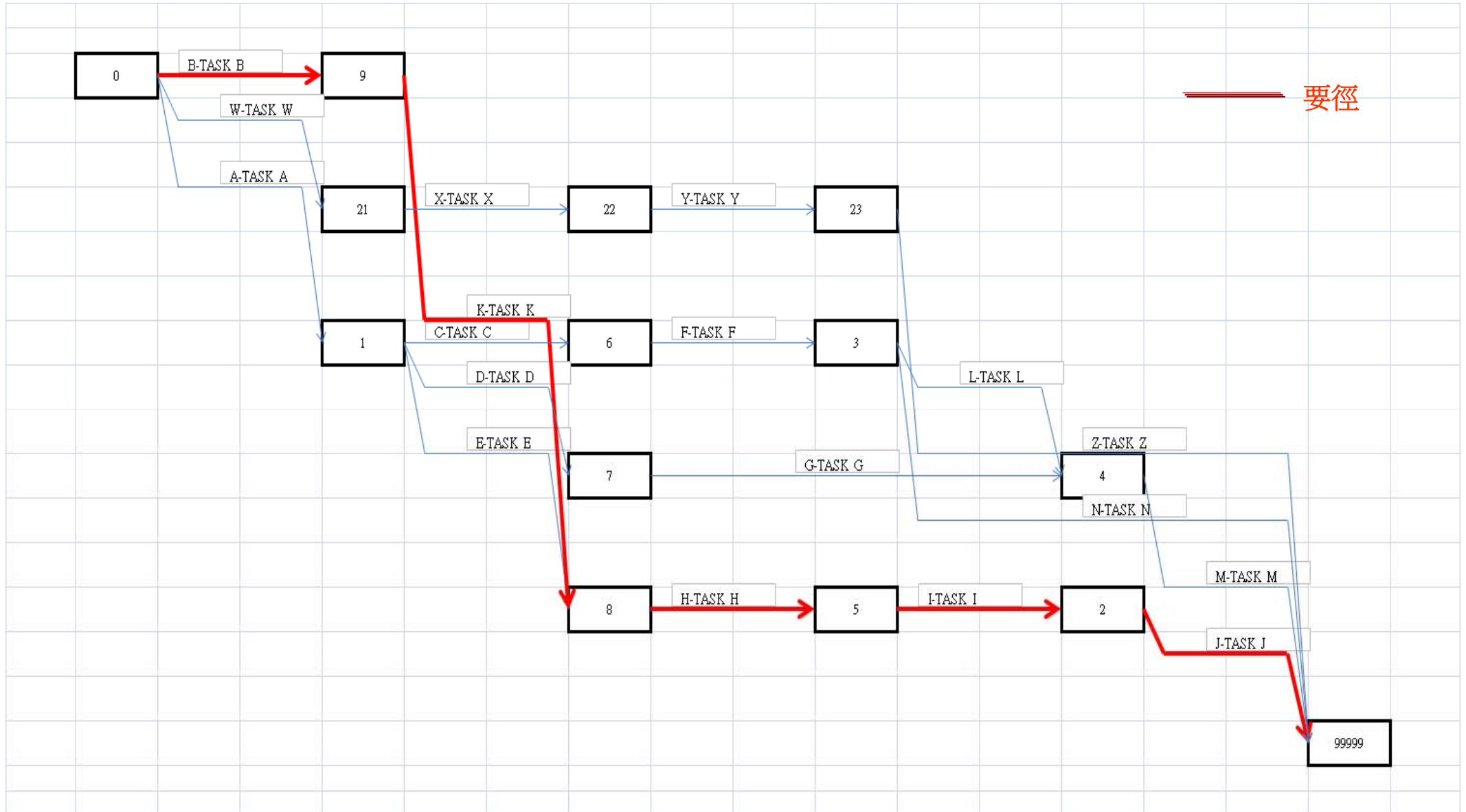
趕工狀態下各要徑之發生比例 — 機率最大為週邊工程之[W][X][Y][Z]項目

要徑(工作項目編號)	最低作業天數	最高作業天數	出現次數	出現機率(%)
[W][X][Y][Z]	248.663	403.273	3632	36.32
[A][C][F][N]	250.098	435.219	2607	26.07
[A][D][G][M]	245.01	461.462	2174	21.74
[B][K][H][I][J]	248.094	386.478	1109	11.09
[A][E][H][I][J]	248.638	418.915	476	4.76
[A][C][F][N][X][Y][Z]	333.269	333.269	1	0.01
[W][B][K][H][I][J][X][Y][Z]	275.535	275.535	1	0.01

完工啟用期程評估應用(10/22)

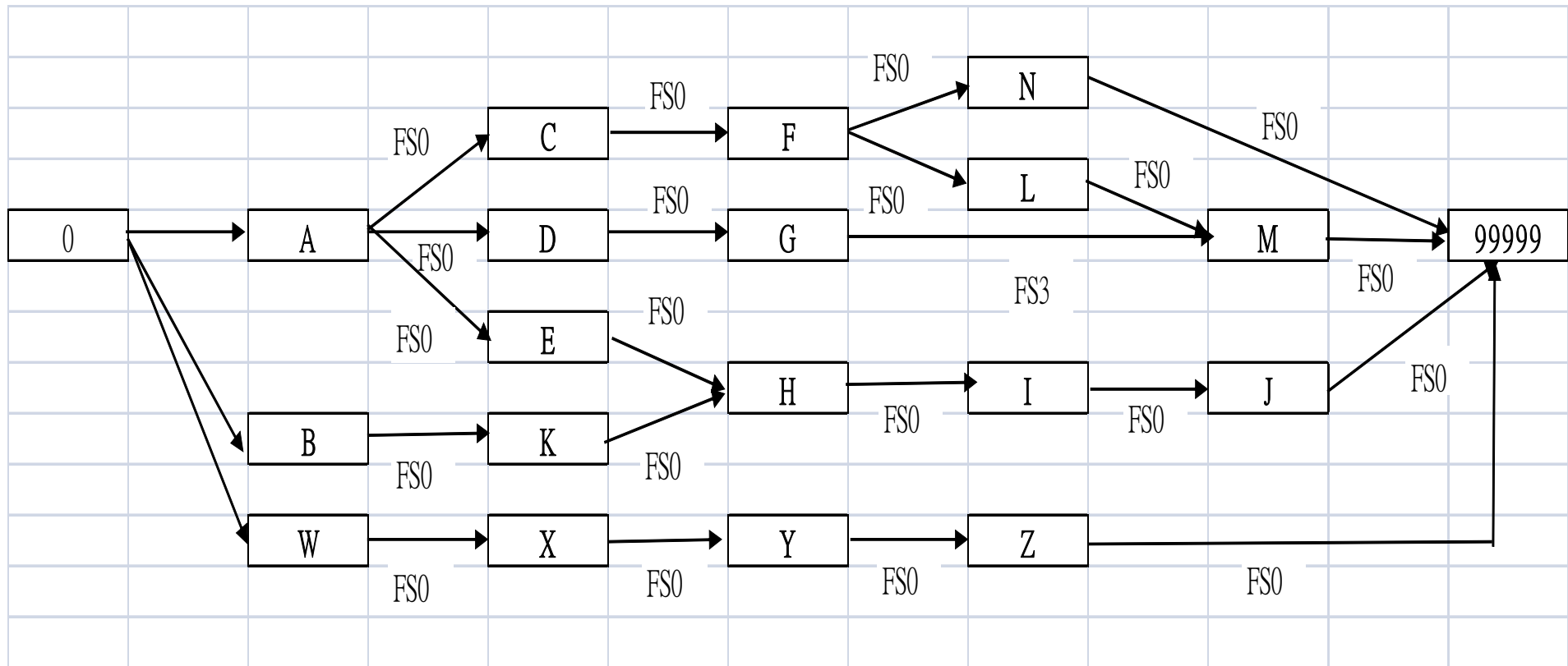
工作項目 編號	工作項目 名稱	核定最早 開始日期 (ES)	核定最早 完成日期 (EF)	核定最晚 開始日期 (ES)	核定最晚 完成日期 (EF)	10311	10312	10401	10402	10403	10404	10405	10406
A	TASK_A	1031101	1031220	1031120	1040108	[Red bar from 1031101 to 1031220]		[Blue bar from 1031120 to 1040108]					
B	TASK_B	1031101	1031230	1031101	1031230	[Red bar from 1031101 to 1031230]							
C	TASK_C	1031220	1040118	1040128	1040226		[Red bar from 1031220 to 1040118]		[Blue bar from 1040128 to 1040226]				
D	TASK_D	1031220	1040128	1040108	1040216		[Red bar from 1031220 to 1040128]		[Blue bar from 1040108 to 1040216]				
E	TASK_E	1031220	1040118	1040114	1040212		[Red bar from 1031220 to 1040118]		[Blue bar from 1040114 to 1040212]				
F	TASK_F	1040118	1040206	1040226	1040317			[Red bar from 1040118 to 1040206]		[Blue bar from 1040226 to 1040317]			
G	TASK_G	1040128	1040226	1040216	1040317			[Red bar from 1040128 to 1040226]		[Blue bar from 1040216 to 1040317]			
H	TASK_H	1040212	1040318	1040212	1040318			[Red bar from 1040212 to 1040318]		[Blue bar from 1040212 to 1040318]			
I	TASK_I	1040318	1040531	1040318	1040531			[Red bar from 1040318 to 1040531]		[Blue bar from 1040318 to 1040531]			
J	TASK_J	1040531	1040619	1040531	1040619							[Red bar from 1040531 to 1040619]	
K	TASK_K	1031230	1040212	1031230	1040212			[Red bar from 1031230 to 1040212]		[Blue bar from 1031230 to 1040212]			
L	TASK_L	1040206	1040206	1040317	1040317								
M	TASK_M	1040226	1040531	1040317	1040619			[Red bar from 1040226 to 1040531]		[Blue bar from 1040317 to 1040619]			
N	TASK_N	1040206	1040501	1040327	1040619			[Red bar from 1040206 to 1040501]		[Blue bar from 1040327 to 1040619]			
W	TASK_W	1031101	1031230	1031105	1040103	[Red bar from 1031101 to 1031230]		[Blue bar from 1031105 to 1040103]					
X	TASK_X	1031230	1040319	1040103	1040323			[Red bar from 1031230 to 1040319]		[Blue bar from 1040103 to 1040323]			
Y	TASK_Y	1040319	1040601	1040323	1040605			[Red bar from 1040319 to 1040601]		[Blue bar from 1040323 to 1040605]			
Z	TASK_Z	1040601	1040615	1040605	1040619							[Red bar from 1040601 to 1040615]	
													[Blue bar from 1040605 to 1040619]

完工啟用期程評估應用(11/22)



完工啟用期程評估應用(12/22)

示例2 PDM模式作業網圖 (同前例之ADM模式作業網圖)



完工啟用期程評估應用(13/22)

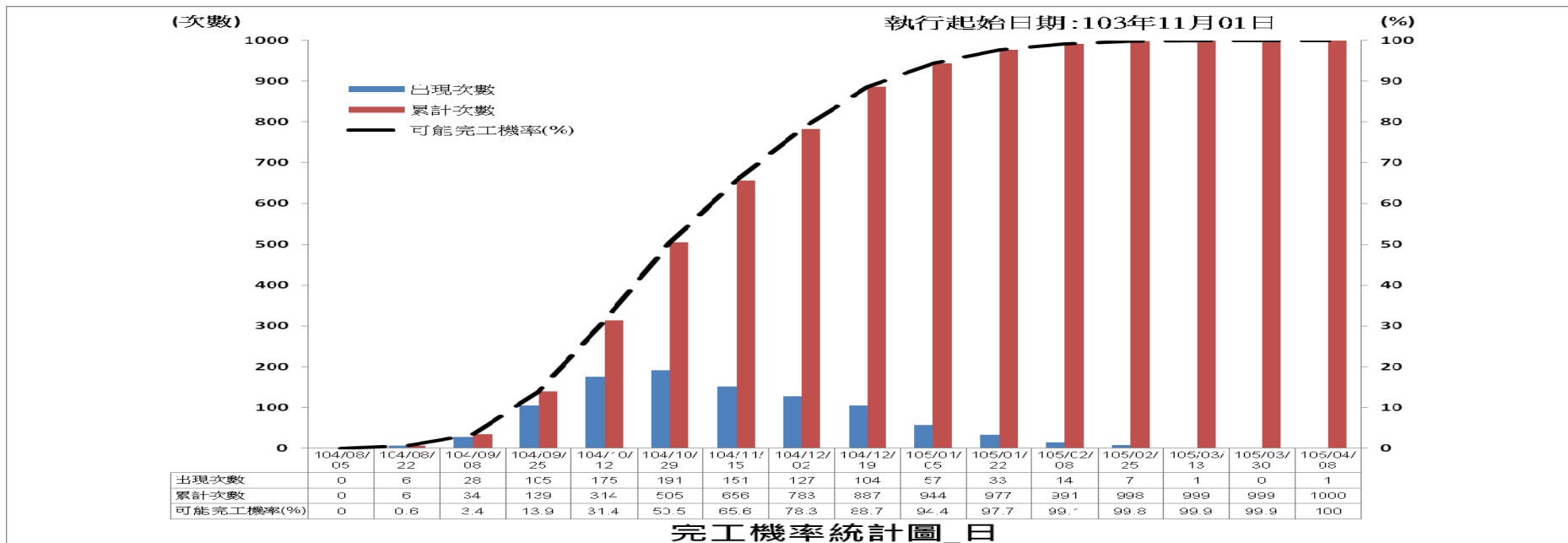
PDM模式input檔案 (正常狀態)

工作項目編號	前一先行工作項目編號	關係條件	工作項目名稱	開始日期 (YYYYMMDD)	結束日期 (YYYYMMDD)	最低估時	正常估時	最高估時
0			START	1031101		0	0	0
A	0		TASK_A			40	50	200
B	0		TASK_B			10	60	150
C	A	FS0	TASK_C			20	30	70
D	A	FS0	TASK_D			30	40	150
E	A	FS0	TASK_E			20	30	40
F	C	FS0	TASK_F			15	20	60
G	D	FS0	TASK_G			15	30	45
H	K,E	FS0,FS0	TASK_H			25	35	75
I	H	FS0	TASK_I			115	120	150
J	I	FS0	TASK_J			10	20	60
K	B	FS0	TASK_K			30	45	50
L	F	FS0	TASK_L			0	0	0
M	L,G	FS0,FS0	TASK_M			140	155	180
N	F	FS0	TASK_N			110	130	170
W	0	FS0	TASK_W			60	60	60
X	W	FS0	TASK_X			50	80	100
Y	X	FS0	TASK_Y			100	120	240
Z	Y	FS0	TASK_Z			10	15	20
99999	Z,N,M,J	FS0,FS0,FS0,FS0	END			0	0	0

PS. 1. 儲存格設定為文字格式 2. 前一先行工作項目標號及關係條件以” , ” 分隔 3. 開始及結束日期型式為YYYYMMDD

完工啟用期程評估應用(14/22)

完工期程模擬結果

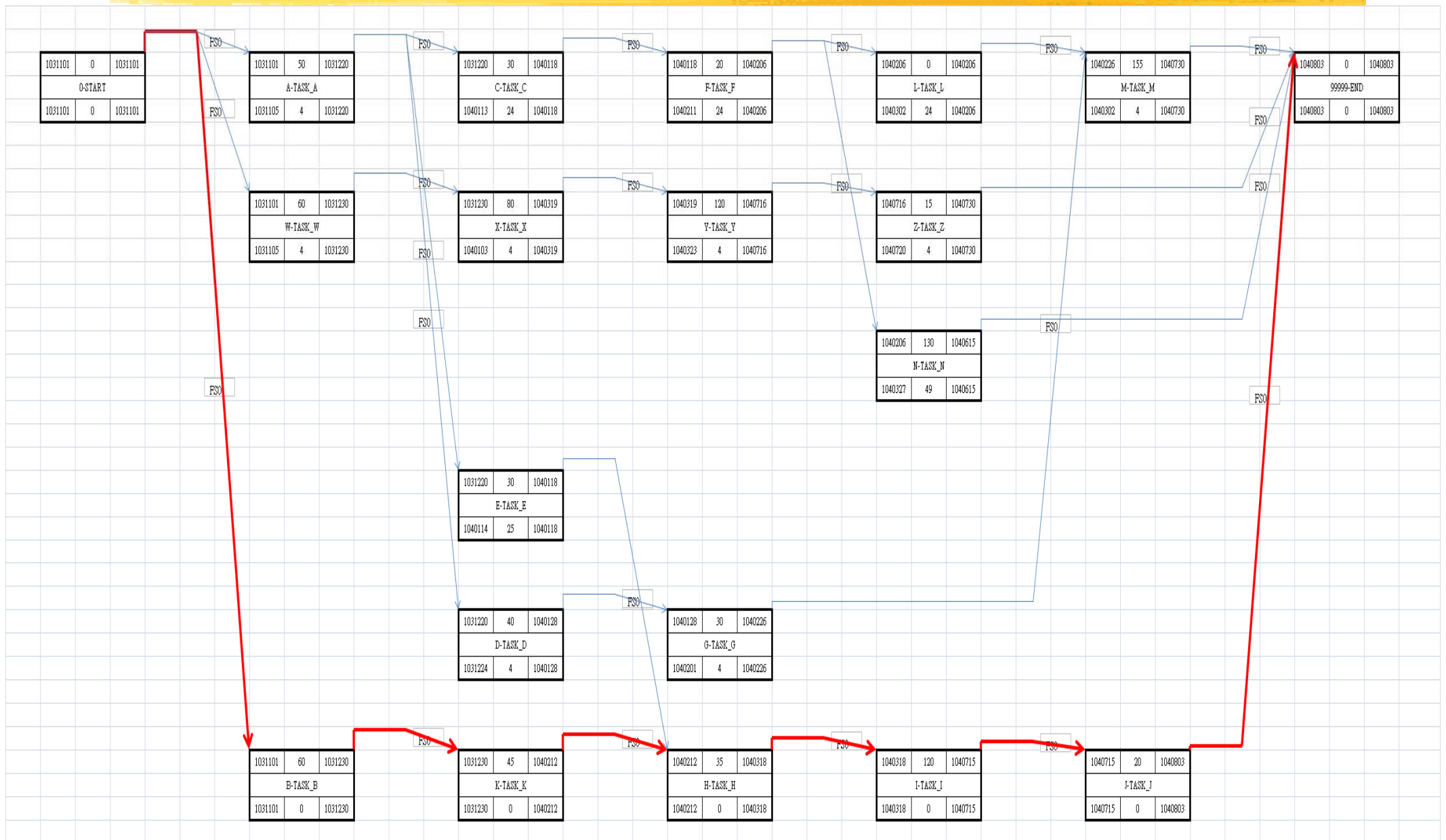


要徑模擬結果

要徑(工作項目編號)	最低作業天數	最高作業天數	出現次數	出現機率(%)
[O][A][D][G][M][99999]	290.998	523.096	560	56
[O][B][K][H][I][J][99999]	282.446	407.008	166	16.6
[O][A][E][H][I][J][99999]	307.087	445.201	102	10.2
[O][W][X][Y][Z][99999]	304.142	393.324	95	9.5
[O][A][C][F][L][M][99999]	278.834	438.691	70	7
[O][A][C][F][N][99999]	335.282	373.143	7	0.7

最早開始	作業天數	最早完成
工作項目編號及名稱		
最晚開始	總浮時	最晚完成

要徑



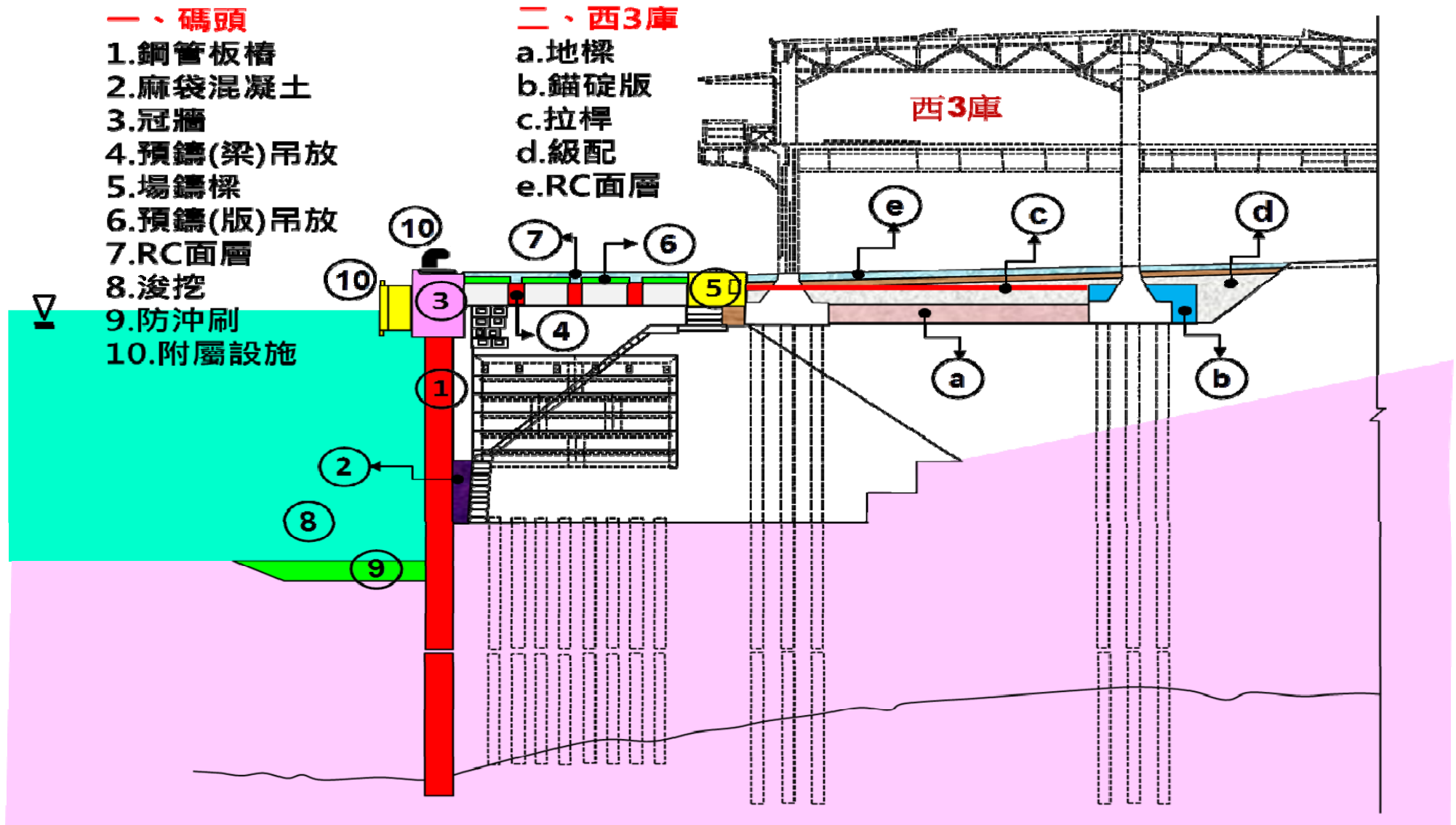
完工啟用期程評估應用(16/22)

示例3 標案管理系統 基隆港西2至西4號碼頭整建浚深工程

- **主辦機關**：臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司
- **契約金額**：583,500千元
- **工程概要**：分兩個階段施作，第一階段整建範圍為西2～西4碼頭里程0k+000~0k+227.125m碼頭整建工程（全長約227.125m）；第二階段整建範圍為西2～西4碼頭里程0k+227.125～0k+554.7m碼頭整建工程（全長約327.575m）及西5號碼頭整建工程
- **工期**：自開工日起1080日曆天內完成；第一階段期程為104年10月14日至106年2月3日，第二階段期程為104年2月4日至107年10月26日

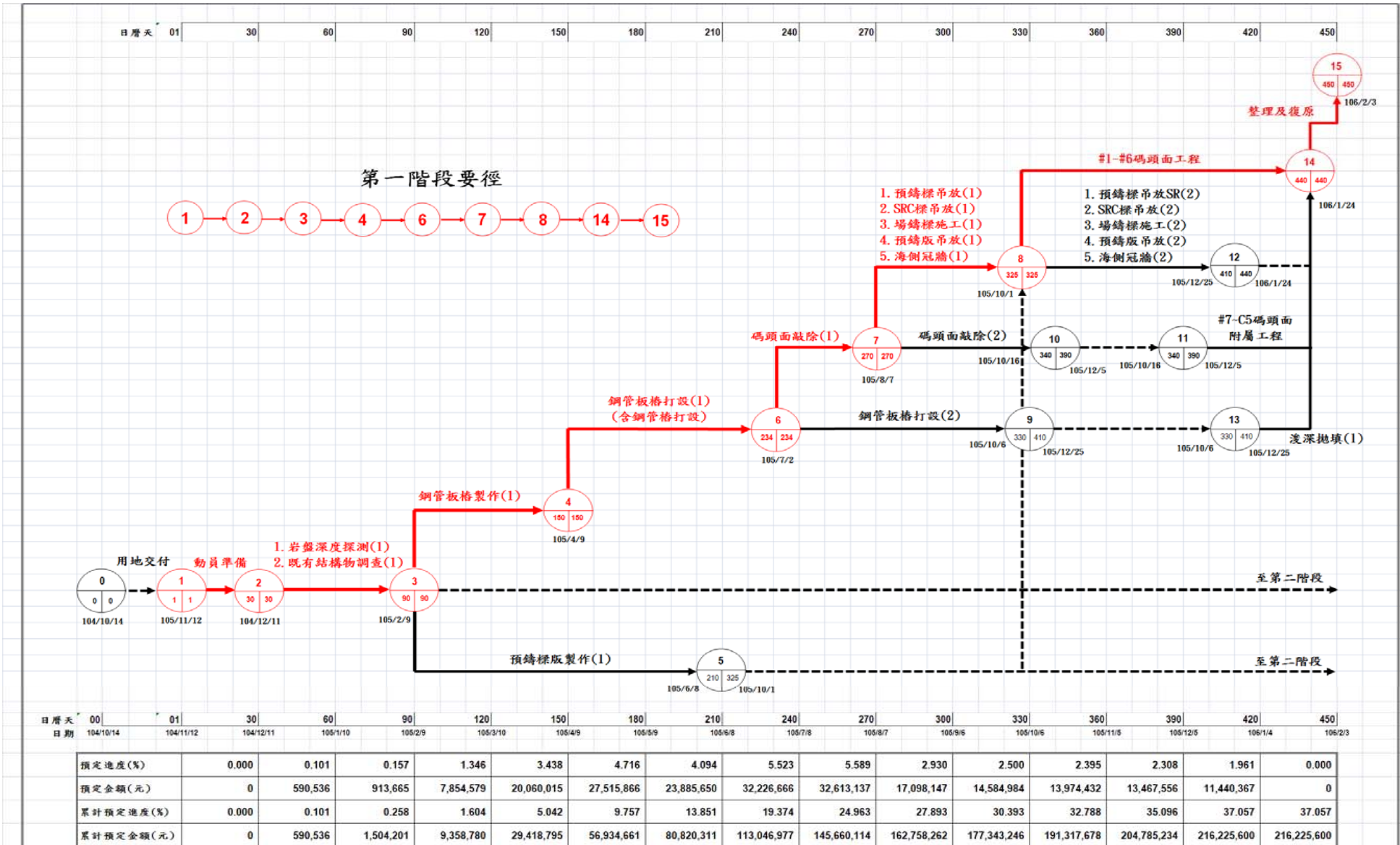
完工啟用期程評估應用(17/22)

工程斷面圖



完工啟用期程評估應用(18/22)

第一階段預定進度網圖



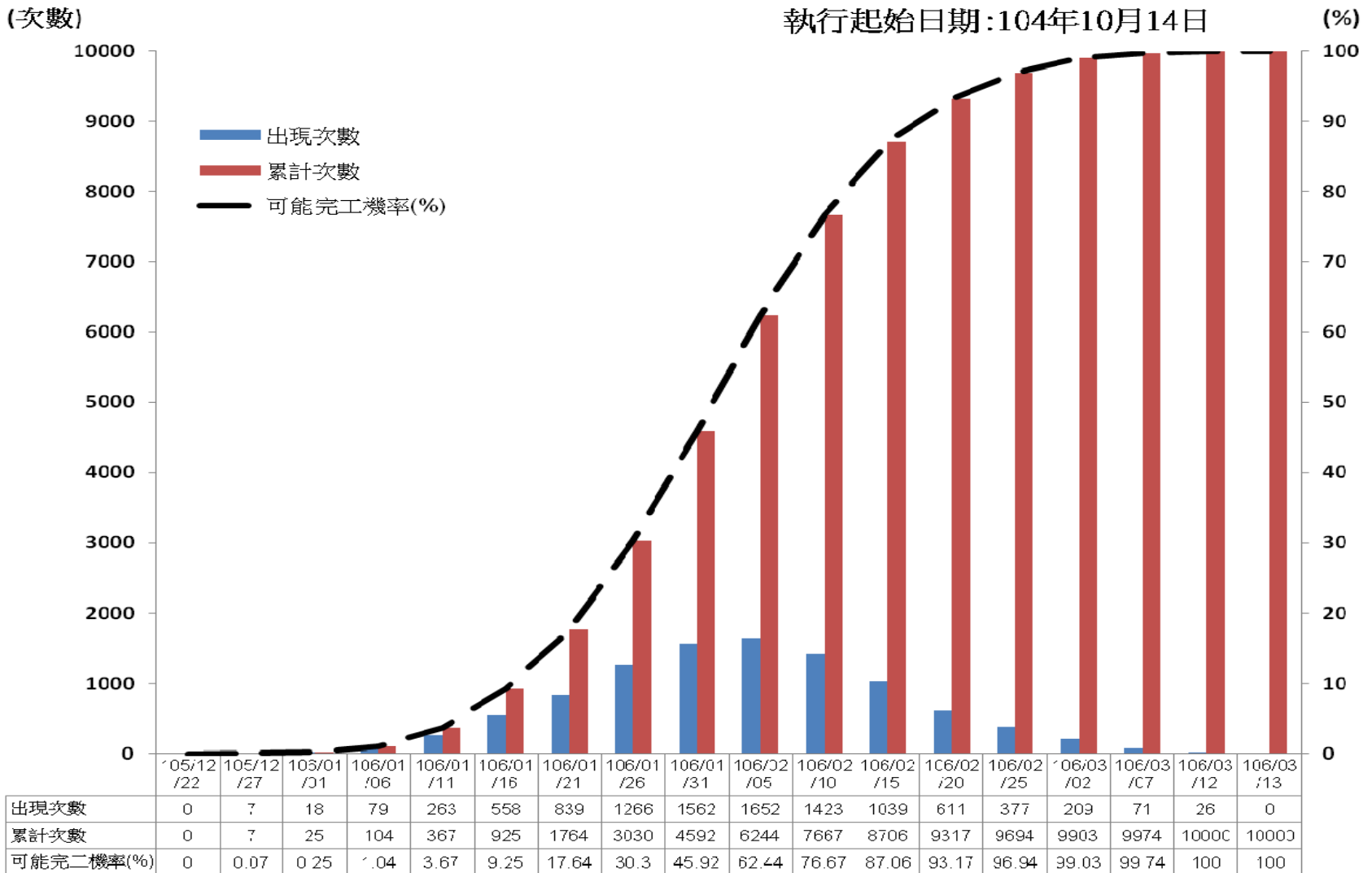
完工啟用期程評估應用(19/22)

ADM模式input檔案

工作項目 編號	開始節點 編號	結束節點 編號	工作項目名稱	開始日期	結束日期	最低估時	正常估時	最高估時
A	0	1	用地交付	1041014		30	30	30
B	1	2	動員準備			30	30	30
C	2	3	岩盤深度探測			61	61	61
D	3	4	鋼管板樁製作			61	61	61
E	3	5	預鑄梁版製作			100	121	130
F	5	8	虛擬(1)			115	115	115
G	4	6	鋼管板樁打設(1)			56	85	114
H	6	9	鋼管板樁打設(2)			60	97	110
I	9	13	虛擬(2)			0	0	0
J	13	14	浚挖排填			31	31	31
K	6	7	碼頭面敲除(1)			37	37	37
L	7	10	碼頭面敲除(2)			71	71	71
M	10	11	虛擬(3)			0	0	0
N	11	14	附屬工程			51	51	51
O	7	8	場鑄梁施工(1)			56	56	56
P	8	12	場鑄梁施工(2)			86	86	86
Q	12	14	虛擬(4)			0	0	0
R	8	14	碼頭面工程			90	116	130
S	14	99999	整理及復原			11	11	11

完工啟用期程評估應用(20/22)

68.269%機率之可能完工日期為106.2.7

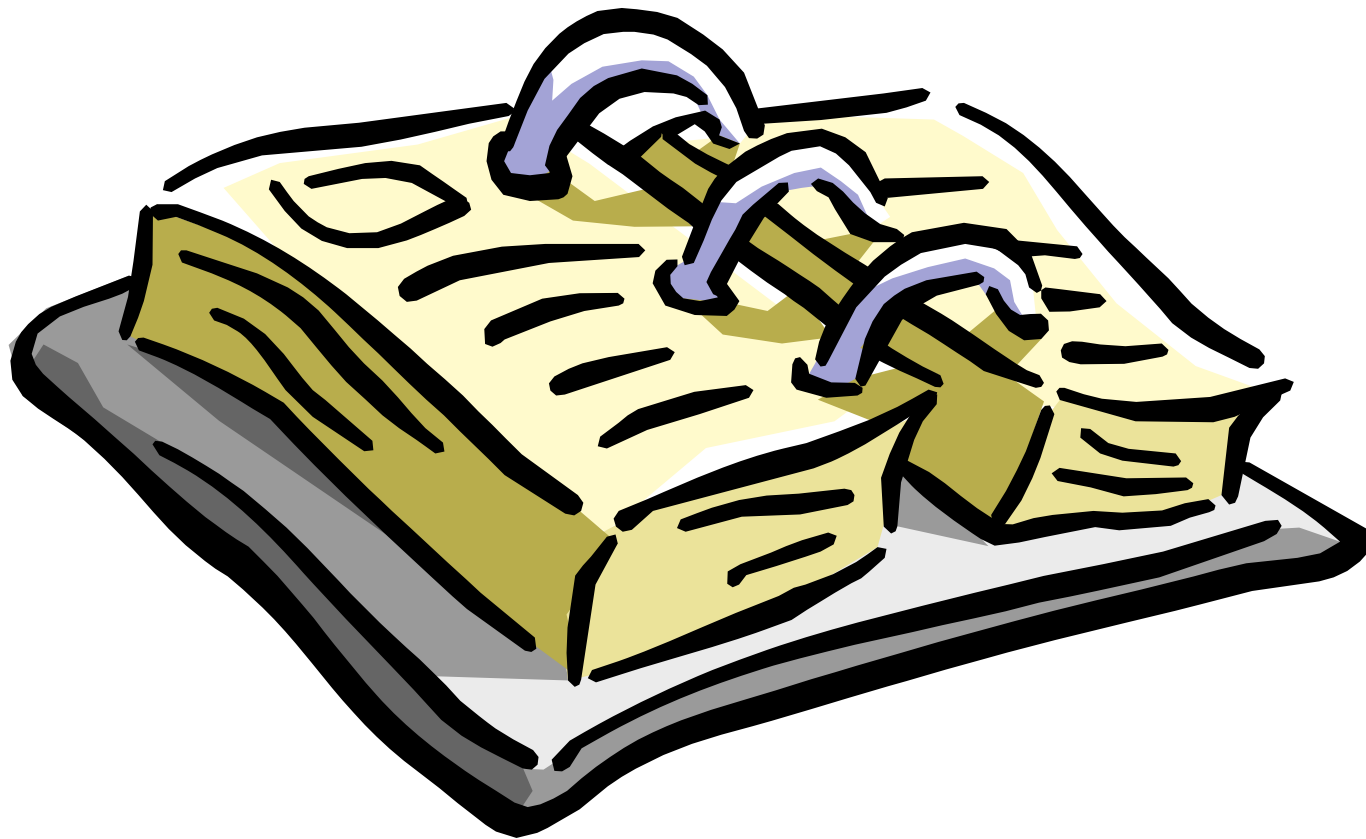


完工機率統計圖_日

完工啟用期程評估應用(22/22)

工作項目編號	工作項目名稱	核定最早開始日期 (BS)	核定最早完成日期 (EF)	核定最晚開始日期 (BS)	核定最晚完成日期 (EF)	10410	10411	10412	10501	10502	10503	10504	10505	10506	10507	10508	10509	10510	10511	10512	10601
A	用地交付	1041014	1041112	1041014	1041112	■	■														
B	動員準備	1041112	1041211	1041112	1041211		■	■													
C	岩盤深度探測	1041211	1050209	1041211	1050209			■	■	■											
D	鋼管板樁製作	1050209	1050409	1050209	1050409				■	■	■	■									
E	預鑄梁版製作	1050209	1050608	1050210	1050609				■	■	■	■	■	■							
F	虛擬(1)	1050608	1050920	1050609	1051001									■	■	■	■				
G	鋼管板樁打設(1)	1050409	1050702	1050409	1050702							■	■	■	■	■					
H	鋼管板樁打設(2)	1050702	1051006	1050920	1051225												■	■	■	■	
I	虛擬(2)	1051006	1051006	1051225	1051225																■
J	浚挖排填	1051006	1051105	1051225	1060124													■	■		■
K	碼頭面敲除(1)	1050702	1050807	1050702	1050807										■	■					
L	碼頭面敲除(2)	1050807	1051016	1050926	1051205											■	■	■	■		
M	虛擬(3)	1051016	1051016	1051205	1051205																■
N	附屬工程	1051016	1051205	1051205	1060124													■	■	■	■
O	場鑄梁施工(1)	1050807	1051001	1050807	1051001											■	■	■	■		
P	場鑄梁施工(2)	1051001	1051225	1051031	1060124													■	■	■	■
Q	虛擬(4)	1051225	1051225	1060124	1060124																■
R	碼頭面工程	1051001	1060124	1051001	1060124													■	■	■	■
S	整理及復原	1060124	1060203	1060124	1060203																■

九、結語



結語

- 本案係工程會於執行管考外，以「工程管理知識平台」之服務概念為試點，發展一套工地實務可自主評估工程完工啟用期程實現機率之方法論及應用軟體
- 經相關重大計畫工程之模擬經驗，本案之應用發展已具相當之成熟度，特別是用於評估完工啟用或趕工期程達成之可能性，可提供各機關作為完工或趕工決策之參考；工程會將持續推廣，並強化公共建設進度管理工作
- 工程會105年4月22日函頒「公共工程施工進度管理工作業參考要項」，將持續向下紮根，逐步落實施工進度管理工作



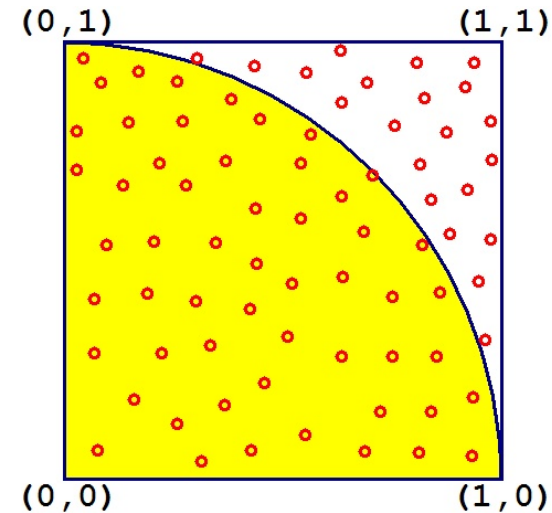
簡報完畢
敬請指教

附錄、蒙地卡羅法(Monte Carlo method)簡介

- 蒙地卡羅法為一種隨機模擬方法，係使用亂數隨機抽樣的方式以計算某種解答的演算法
- 此方法於1940年代問世，據傳係因其中一發明者的叔叔經常在蒙地卡羅賭場輸錢而得名
- 特點：
 1. 用以計算其它方法無法解決的複雜問題之近似數值解
 2. 雖然有些數值計算的問題可以用確定性的方法求解，但若採用蒙地卡羅法在邏輯上較簡單
 3. 一種基於大數法則的實證方法，當實驗的次數越多，它的平均值也就會越趨近於理論值

蒙地卡羅法求解圓周率(PI)

- 正方形邊長為1單位，面積為1平方單位；黃色扇形面積等於半徑為1單位的1/4圓，面積為 $\text{PI}/4$
- 在正方形內均勻隨機丟石頭，落在扇型內的機率=扇型面積÷正方形面積= $\text{PI}/4$
- 隨機產生N個座標(x, y)，看看座標(x, y)落在扇形中($x^2+y^2 \leq 1$)的次數有幾次。落在扇形中的次數除以N再乘上4的數值理論上就會接近圓周率PI



隨機模擬次數	落在扇形中的次數	圓周率
100	80	3.2
1000	776	3.104
10000	7866	3.1464
100000	78434	3.13736
1000000	785632	3.142528