

沉箱頂版非線性分析之研究

研究生：陳即如

指導教授：鄭復平 博士

國立交通大學土木工程學系

摘要

本論文以有限元素法針對沉箱頂版作非線性分析之研究，主要探討以實際橋樑設計的沉箱頂版，作為分析的模型。假設模型尺寸為固定且以垂直荷載及梯形荷載型式之位移作用於墩柱斷面上，利用變換墩柱斷面尺寸，即改變剪跨-深度比，研究其極限承載強度-變形之響影性。

程式分析結果顯示，在同樣沉箱頂版尺寸下，墩柱面積(即荷載面積)愈大，剪跨-深比將愈小，其極限承載力就愈大，達極限載重的變位量將愈小。經由本研究的結果可得知現行撓曲設計公式所計算沉箱頂版的極限承載力遠小於 ACI 318-02 code 以基礎版之貫穿剪力、深樑之壓拉桿模式的估算公式或 DIANA 程式分析的結果。沉箱頂版若以撓曲方法設計將略嫌保守，因此在舊有橋樑的修補工程，可以此作為參考及分析後再判斷是否有補強之必要。

關鍵詞：剪跨-深度比、極限承載力、沉箱頂版、貫穿剪力、壓拉桿模式。

Non-linear analyses of cover plate of caisson

Student : Chi-Ju Chen

Advisor : Dr. Fu-Ping Cheng

Department of Civil Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

In this thesis, the finite element method was adopted for non-linear analyses of a cover plate of caisson. The size of the cover plate of caisson is assumed to be constant. The ultimate bearing capacity of cover plate and load-deflection relationship were investigated under vertical and trapezoid loading by displacement with different column size, i.e., shear-span to depth ratios.

The shear-span to depth ratios decrease as the size of the pier column, loading area, increased, under the same size of the cover plate of caisson. The results of FE-analysis show that the deflection in the loading surface reduces and bearing capacity of cover plate increases as shear-span to depth ratio decreases under ultimate loading. The ultimate bearing capacity of the cover plate of caisson calculated by the current flexure design formulas is less than that calculated by the ACI 318-02 code formulas based on punching shear, the strut-and-tie model for deep beam, and the results of DIANA program analyses. According to design of the current flexure formulas, the cover plate of caisson is too conservative. It is not necessary to be strength for cover plate due to the improvement of the design code.

Keyword: shear-span to depth ratio, bearing capacity, cover plate of caisson, punching shear, strut-and-tie model.

誌 謝

本論文得以順利完成，由衷感謝恩師 鄭復平教授在研究過程中悉心的指導，對於論文的啟發、觀念皆給予協助，並充分提供研究所需的資源及環境，謹致上最誠摯的感激與謝忱。論文審查與口試期間，感謝口試委員 彭耀南教授、高健章教授、陳誠直教授、鄧建剛博士提供寶貴意見與建議，使學生受益良多並能將本論文更具完整。

感謝交大結構組博士班 仁正學長、威智學長、群洲學長、南交學長在分析經驗上及撰寫論文上給予大力的協助及鼓勵，使學生獲益良多，碩班學長秀信、國哲、迪凱、昭剛、佩姍學姊研究的經驗分享，碩班同學煦歲、潔祥、崇豪、俊翰、阿貴互相照顧與激勵，及碩班學弟仁甫、靖嵐、家豪、振風的加油，博班室友 家鈴學姊及佳穎學姊在這兩年來於生活上與課業上的陪伴與關懷，讓我能擁有最美好的回憶，土木系女排球友建銘、紘銘、玄毛、香如、凱婷、丸子、祖悅、念娟、小貓、神貓、水至毛和你(妳)們一起經歷相當多場又愉快又刺激的勝戰。感謝各位好友們，使我在交大的生活不時添加許多樂趣與驚奇，在此致上敬謝之意。

最後謹對已故的母親 陳王美香女士及親愛的父親 陳祈龍先生、大姐秋妃、妹妹秋華、弟弟健仲，致上最誠心的感謝，沒有你們的包容、支持與關愛，將沒有今日的成果，最後僅以本論文獻給我的家人，以及所有關心我的師長與朋友們，一同和他們分享這份成果與榮耀。

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
表目錄.....	VIII
圖目錄.....	IX

目錄

第一章 緒論

1.1 前言.....	1
1.2 研究機動與目的.....	2
1.3 研究方法與內容.....	3

第二章 程式與混凝土力學之介紹

2.1 文獻回顧.....	4
2.2 DIANA 介紹.....	7
2.2.1 功能介紹.....	7
2.2.2 DIANA 內容.....	8
2.3 混凝土力學行為.....	8
2.3.1 彈性行為.....	8
2.3.2 塑性行為.....	9
2.3.2.1 基本力學行為.....	9
2.3.2.2 破壞曲面特性.....	10
2.3.2.3 破壞準則.....	11
2.3.2.4 混凝土塑性模式.....	12
2.3.3 開裂行為.....	13
2.3.3.1 Smearred Cracking.....	15

2.3.3.2 Total Strain Crack Models.....	17
2.4 六面體等參數單元.....	19
2.5 分析方法.....	24
2.6 收斂準則.....	24
2.6.1 Displacement convergence.....	25
2.6.2 Force convergence.....	25
2.6.3 Energy convergence.....	25
2.7 混凝土結構之壓拉桿.....	26
第三章 例題驗證及頂版之收斂性分析	
3.1 例題驗證.....	27
3.1.1 前言.....	27
3.1.2 基本參數說明.....	27
3.1.3 分析程序及使用元素說明.....	28
3.1.4 分析模式.....	29
3.1.4.1 第一種分析模式.....	29
3.1.4.2 第二種分析模式.....	29
3.2 例題之 P- Δ 效應.....	30
3.2.1 載重-位移之探討.....	30
3.2.2 小結.....	31
3.3 例驗之力學行為.....	31
3.3.1 不同位移控制下產生之變形行為.....	31
3.3.2 混凝土之應力分佈.....	32
3.3.3 鋼筋之應力情形.....	32
3.3.4 開裂後行為討論.....	33
3.4 例題驗證之小結.....	34
3.5 沉箱頂版設計.....	35

3.5.1 沉箱頂版設計檢核.....	35
3.5.2 貫穿剪力檢核.....	38
3.5.3 壓拉桿模式檢核.....	39
3.6 建模考量.....	40
3.7 頂版之基本條件.....	41
3.7.1 網格建立及元素使用.....	41
3.7.2 材料性質設定.....	42
3.7.3 載重控制.....	42
3.7.4 邊界條件.....	43
3.8 收斂性分析標準.....	43
3.8.1 切割元素收斂性.....	44
3.8.2 步伐控制係數之收斂性.....	45
第四章 沉箱頂版之非線性探討	
4.1 前言.....	46
4.2 均佈垂直位移控制.....	46
4.2.1 載重-變位關係.....	46
4.2.2 不同墩柱半徑對極限載重的影響.....	47
4.2.3 不同墩柱半徑之變形.....	47
4.2.4 同一種墩柱半徑在不同荷載下之變形.....	48
4.2.5 混凝土主應變區.....	49
4.2.6 鋼筋降伏情形.....	49
4.2.7 開裂應力-應變.....	50
4.3 驗證 $\frac{1}{2}$ 和 $\frac{1}{4}$ 的沉箱頂版.....	51
4.4 梯形位移載重.....	52
4.4.1 直徑 2^M 墩柱.....	52
4.4.2 直徑 4^M 墩柱.....	54

4.4.3 小結.....	55
4.5 垂直與梯形均佈加載之應變情形.....	55
4.5.1 沉箱頂版之變形及鋼筋降服情況.....	55
4.5.2 沉箱頂版之底面情形.....	56
4.5.3 沉箱頂版之橫斷面情形.....	57
4.5.4 沉箱頂版之頂面情形.....	58
4.6 極限承载力之比較.....	58
4.6.1 一般沉箱頂版設計之檢核.....	58
4.6.2 ACI318 貫穿剪力之檢核.....	58
4.6.3 ACI318 壓拉桿模式之檢核.....	58
4.6.4 檢核比較.....	59
4.6.5 小結.....	60
第五章 結論與建議	
5.1 前言.....	61
5.2 結論.....	61
5.3 建議.....	63
參考文獻.....	64
附錄一	
附錄二	



表目錄

表 2-1 極限強度受參數調整影響比較表.....	67
表 2-2 DIANA 之資料庫表.....	67
表 2-3 彈塑性分析比較表.....	68
表 2-4 破壞準則之特性及演進表.....	68
表 3-1 沉箱頂版設計基本材料參數表.....	69
表 3-2 模型尺寸表.....	69
表 3-3 混凝土材料參數表.....	69
表 3-4 鋼筋材料參數表.....	70
表 3-5 切割(Mesh)元素表.....	70
表 3-6 收斂誤差表.....	70
表 3-7 迭代步伐型式表.....	71
表 3-8 收斂誤差百分比.....	71
表 4-1 ¼之沉箱頂版分析表.....	72
表 4-2 內插後混凝土之勁度比較表.....	72
表 4-3 誤差比較表.....	72
表 4-4 柱墩直徑 2 ^m 之梯形轉角位移量表.....	73
表 4-5 柱墩直徑 4 ^m 之梯形轉角位移增量表.....	74
表 4-6 程式分析之極限載重比較表.....	74
表 4-7 各式極限載重示意表.....	75
表 4-8 各式極限載重比較表.....	75

圖目錄

圖 2-1 八角版貫穿試體配置圖【5】	76
圖 2-2 八角版載重-變位關係圖【5】	77
圖 2-3 圓形基礎貫穿試體上視圖【6】	78
圖 2-4 圓形基礎貫穿試體側視圖【6】	78
圖 2-5 圓形基礎版不同混凝土強度之載重-變位圖【6】	78
圖 2-6 圓形基礎版不同剪跨比-深度比之載重-變位圖【6】	78
圖 2-7 矩形版貫穿剪力試驗配置圖【9】	79
圖 2-8 矩形版之載重-變位圖【9】	79
圖 2-9 玻璃纖維矩形版貫穿試驗配置圖【10】	80
圖 2-10 矩形版之 P- Δ 之曲線圖(撓曲載重)【10】	80
圖 2-11 矩形版之 P- Δ 之曲線圖(貫穿剪力行為)【10】	81
圖 2-12 圓形版在貫穿剪力作用下試體底部開裂型式圖【10】	81
圖 2-13 開裂前內部應力關係圖	82
圖 2-14 開裂後內部應力關係圖	82
圖 2-15 壓碎破壞內部關係圖	82
圖 2-16 壓碎破壞之應力-應變行為圖	82
圖 2-17 理想化之混凝土切面關係圖	83
圖 2-18 二十個節點六面體等參數元素關係圖	83
圖 3-1 鋼筋混凝土樑之試體斷面圖	84
圖 3-2 模擬鋼筋混凝土樑之網格圖	84
圖 3-3 Drucker-Prager 降伏準則	85
圖 3-4 Drucker-Prager 應變硬化準則	85
圖 3-5 混凝土拉力破壞模式	86
圖 3-6 拋物線統合之應力-應變模式關係圖	86

圖 3-7 鋼筋混凝土樑之載重-變位圖(數值分析與實驗比較).....	87
圖 3-8 鋼筋混凝土樑分析模式圖.....	87
圖 3-9 簡支樑變形圖.....	88
圖 3-10 混凝土之應力分佈圖.....	88
圖 3-11 鋼筋之應力分佈圖.....	89
圖 3-12 線彈性階段之應變分佈圖.....	89
圖 3-13 混凝土達初始開裂之應變分佈圖.....	90
圖 3-14 混凝土達極限承载力之應變分佈圖.....	90
圖 3-15 沉箱頂版設計平面圖.....	91
圖 3-16 沉箱頂版設計立面圖.....	91
圖 3-17 Punching shear 破壞示意圖.....	92
圖 3-18 壓拉模式示意圖.....	92
圖 3-19 C-C-T 節點示意圖.....	93
圖 3-20 因應力量分佈效應之擴展節點區示意圖.....	93
圖 3-21 ¼之沉箱頂版網格模式圖.....	93
圖 3-22 四分之一的沉箱頂版邊界條件示意圖.....	94
圖 3-23 二分之一的沉箱頂版邊界條件示意圖.....	94
圖 3-24 切割元素大小之收斂分析圖.....	95
圖 3-25 步伐控制係數之收斂分析圖.....	95
圖 4-1 不同柱半徑-剪跨距示意圖.....	96
圖 4-2 不同剪跨-有效深度比之極限載重變位圖.....	97
圖 4-3 不同柱徑之頂版頂面徑向變形圖 (垂直位移載重).....	97
圖 4-4 不同柱徑下之頂版底面徑向變形圖(垂直位移載重).....	97
圖 4-5 柱半徑 1m 之不同位移載重之徑向斷面變位示意圖.....	98
圖 4-6 頂版頂面受不同垂直載重變位量之變形圖.....	98
圖 4-7 頂版底面不同垂直載重變位量之變形圖.....	99

圖 4-8 頂版混凝土主應變分佈圖.....	99
圖 4-9 頂版鋼筋應力分佈圖.....	100
圖 4-10 鋼筋主要剪應力分佈圖.....	100
圖 4-11 開裂應力分佈圖.....	101
圖 4-12 開裂應變分佈圖.....	101
圖 4-13 ½ & ¼ 的沉箱頂版之載重-變位圖(垂直位移載重).....	102
圖 4-14 ½ 沉箱頂版示意圖.....	102
圖 4-15 受力層變位圖(梯形位移載重).....	103
圖 4-16 沉箱頂版頂面變位圖(梯形位移載重).....	103
圖 4-17 沉箱頂版底面變位圖(梯形位移載重).....	104
圖 4-18 墩柱直徑 2 ^M 之載重-變位圖.....	104
圖 4-19 沉箱頂版頂面變位圖(梯形位移載重).....	105
圖 4-20 沉箱頂版底面變位圖(梯形位移載重).....	105
圖 4-21 ½ 頂版受垂直位移載重之變形圖.....	106
圖 4-22 ½ 頂版受梯形位移載重之變形圖.....	106
圖 4-23 ½ 頂版受垂直位移載重之鋼筋應力圖.....	107
圖 4-24 ½ 頂版受梯形位移載重之鋼筋應力圖.....	107
圖 4-25 頂版底面受垂直位移載重之應變變化圖.....	108
圖 4-26 頂版底面受梯形位移載重之應變變化圖.....	109
圖 4-27 頂版斷面受垂直位移載重之應變變化圖.....	110
圖 4-28 頂版斷面受梯形位移載重之應變變化圖.....	111
圖 4-29 頂版頂面開裂應變之變化圖.....	112
圖 4-30 等效斷面示意圖.....	112
圖 4-31 簡支樑斷面示意圖.....	112

