

出國報告（出國類別：研究）

『大地地震工程』講學報告

服務機關：土木工程學系

姓名職稱：洪汶宜/助理教授

派赴國家：日本 廣島大學

出國期間：2015.01.08-2015.01.12

報告日期：2015.01.25

摘要

廣島大學為本校在日本之重要締約學校，與本校簽有合作交流協定。為加強國際學術交流，共同推動聯合授課，故實施兩校互派教師講授課程。本年度延續先前之合作成果，廣島大學已於 103 學年(103)年 10 月 9 日至 13 日派遣一井康二教授(Koji Ichii)前來本校進行『大地地震工程』課程講學，本校則於 104 年 1 月 8 日至 12 日由土木系洪汶宜教授前往廣島大學講學，主要內容在介紹如何利用離心模型試驗技術探討大地工程問題。

目錄

壹、目的	1
貳、過程	1
參、心得與建議.....	6
肆、附錄-照片與學生作業	7

壹、目的

廣島大學為本校在日本之重要締約學校，與本校簽有合作交流協定。為加強國際學術交流，共同推動聯合授課，故實施兩校互派教師講授課程，由各校各自負擔派遣教師之差旅費用。自 99 學年度起，即由雙校土木系執行此合作項目，講授課程為「大地地震工程」、「軟土工程」有助於落實本校教學研究國際化。本年度延續先前之合作成果，廣島大學已於 103 學年(103)年 10 月 9 日至 13 日派遣一井康二教授(Koji Ichii)前來本校進行『大地地震工程』課程講學，本校則於 104 年 1 月 8 日至 12 日由土木系洪汶宜教授前往廣島大學講學，主要內容在介紹如何利用離心模型試驗技術探討大地工程問題。

貳、過程

時間與行程	
日期：1 月 8 日	出發
早上由桃園機場出發，抵達廣島機場由一井康二教授接機前往廣島大學。 拜訪廣島大學土木系土田孝教授、一井康二教授、日比野教授、Prof. KAWAI、Prof. KAWAHARA，利用下午與晚上時間進行備課。	
1 月 9 日 10:00-12:00	課程一：離心模型試驗原理
課程簡介：介紹離心模型試驗的歷史與發展過程，離心模型試驗依據的原理、尺度效應、邊界效應等問題。 重力是大地工程結構物最主要的受力變形、破壞因素，由 Rocha 及 Roscoe 建議之相似性條件，模型材料及模型內的應力狀態必須要與原型（prototype）相同的情況。這是大地結構模型特點，亦是作模型試驗的困難處。在地球重力場 $1g$ 下，如將原型按幾何相似縮小 N 倍，用原型材料製成的模型，其各點之自重應力會遠低於原型中相對應點的應力。土壤之應力應變關係、強度均與所處之應力大小有密切關係。因此普通 $1g$ 條件下之模型的相似性較差，無法正確的反映出原型所產生的現象。但是將此模型放置在 Ng 之重力場中，使模型材料加重 N 倍，則可以將模型中每點的自重應力提高到原型中相對應點之應力，其相似性提高，模型就可表現原型之受力行為。利用衝擊或離心機均可增加加速度力場，例如阿太堡液性限度試驗即是利用慣性力所進行的一種試驗。但是此種利用衝擊力得到慣性力之試驗方式甚難控制。另外離心力是一種穩定的人造重力場，所以離心機是提供人造重力場最方便且穩定可靠的裝置。 1869 年法國人 Phillips 首先提出利用慣性力或離心力來模擬重力之觀念，並建議可利用離心力來進行當時所倡議興建之英法跨海大橋之物理模型試驗。當年工業不發達，無法製造負載大且轉速高之離心機，因此該構想沉寂多年。直至 1932 年蘇聯水力學院 Pokrovsky 首先利用離心機研究土石結構之邊坡穩定問題，並利用試驗結果進行土壩及堤防的設計，獲致良好的成果。但是直至 1960 年代後期，日本及英國才逐漸利用此種技術進行模型試驗，而後美國也逐漸發展大型地工離心模型試驗。 常見的增加模型內體力(body force)的方法有兩種，第一種是將模型放置於固定滲流力(seepage force)情況下（例如水力坡降試驗槽）進行模型試驗；第二種則直接將模型放置於 Ng 之人造重力場中。這兩種方法都可以使模型材料的自重增加 N 倍，因此可以將模型中每點自重導致的應力提高到與原型相對應點之應力。模型相似性提高，就可表現出原型之受力行為。第一	

種方法所需設備簡單，所以常被戲稱為窮人的離心機。而利用衝擊或離心力也可增加加速度場，但是利用衝擊力得到慣性力之試驗方式甚難控制及維持（阿太堡液限試驗可視為一種利用慣性力進行類似邊坡破壞的模型試驗），重複性較低。離心力是一種穩定且容易控制的人造重力場，而地工離心機(geotechnical centrifuge)正是提供此人造重力場最方便且穩定可靠的裝置

1 月 9 日 13:00-15:00

課程二：離心模型試驗設備與過去之研究

課程簡介：(1)介紹中央大學地工離心機暨振動台、實降設備、壓密儀、資料擷取設備等相關試驗設備與量測儀器。(2)介紹中央大學離心模型實驗室過去的研究領域與研究成果。

離心模型試驗設備除了用來安置離心機之建築物外，其主要設備是離心機本身以及一切構成此設備的配件。大地工程試驗的離心機分成兩大類，一為鼓式離心機(Drum centrifuge)，一為樑式離心機(Beam centrifuge)。目前世界上大型離心機主要是以樑式離心機為主。樑式離心機構造大致相同，圖 3 是典型的樑式離心機剖面圖。離心機本體包括一個水平的旋轉臂，一個垂直的旋轉主軸，以及帶動旋轉軸的馬達系統及調節轉速及功率的齒輪箱。離心機必須放置在很牢固的基礎上，而且需要好幾組軸承分別來承受垂直重力及旋轉時的扭力及側向力。旋轉臂的一端是用來放置模型箱的酬載掛台(Payload platform)，另一端有勾掛平衡重量的裝置，以減少由於旋轉臂載荷不平衡而導致軸承受扭轉及側向力的作用。酬載掛台是放置模型試驗箱的平台，位於離心機旋轉臂的端部，通常分為固定式及懸擺式兩種。固定式掛台的位置不變，由於地心引力和離心力的方向不同，這類掛台的應用較為困難。懸擺式掛台的起始位置是垂掛在旋轉臂上，隨離心力的增加而擺起，此種掛台應用較普遍且方便。離心機的容量(capacity)是用 g-ton 來表示，那就是離心機在最大轉速下所得的離心加速度(N_g)和在該轉速下所能承受的最大載荷之乘積。

中央大學土木系的地工離心機(NCU Centrifuge)，容量 100 g-ton，旋轉標稱半徑 3m，屬於中尺度的地工離心機(圖 9 及圖 10)，於民國 86 年正式啟用並進行離心模型試驗。NCU 地工離心機是台灣唯一能進行地工離心模型試驗之離心機，目前已投入約兩千六百萬元建置相關設備，能進行大地工程中與靜力與動力相關問題的教學與研究。主要的研究內容包括(1)潛盾隧道引致之周圍地盤的變形；(2)污染物在地下水的傳輸行為；(3)新挖隧道對鄰近樁基礎的影響；(4)樁之負摩擦力分析；(5)加勁擋土牆之力學分析；(6)土壤液化行為；(7)地震力作用下土壤結構互制行為；(8)土壤液化問題；(9)斷層錯動引致相關問題等。而離心模型試驗的過程及試驗結果的影片，亦可提供大地工程教學上課使用，加深學生學習大地工程的動機及印象。



圖 1 中央大學地工離心機暨振動台

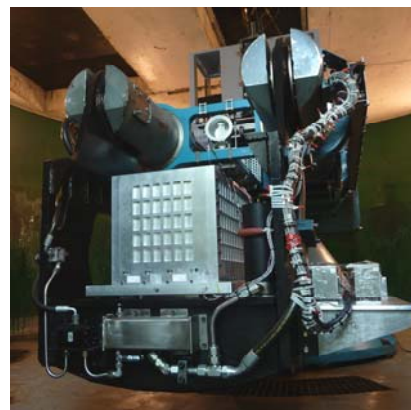


圖 2 固壁式試驗箱

表 1 中大離心振動台的規格

Method	Servo-hydraulic single acting system
Shaking type	Periodic or random determined type
Shaking direction	One direction
Nominal shaking force	± 53.4 kN
Max. shaking velocity	± 1 m/s
Max. table displacement	± 6.4 mm
Max. payload dimension	1m $\times$ 0.5m $\times$ 0.5m (L $\times$ W $\times$ H)
Max. payload weight	400 kg
Nominal shaking frequency range	0-250 Hz
Max. centrifuge acceleration	80 g

1 月 10 日 16:00-18:00

課程三：離心模型設計、準備與試驗準備之介紹

課程簡介：提供隧道、沉箱基礎、軸力樁與彎矩樁為例，說明模型設計過程。

Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

Homework 1

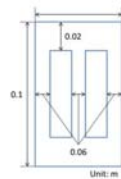
In the case of $R_a=3m$, R.P.M is shown as followings.

Accelerat on	Angular velocity	R.P.M
ϵ	rad/s	1/min
1	1.57	14.3
10	5.72	109.2
20	8.09	154.5
30	9.89	189.2
40	11.44	216.4
50	12.78	244.2
60	14.01	267.5
70	15.13	289.0
80	16.17	306.0
90	17.16	322.6
100	18.08	345.4
110	18.97	362.2
120	19.81	378.3
130	20.62	393.0
140	21.40	406.6
150	22.15	423.0
160	22.87	436.9
170	23.58	450.3
180	24.26	463.4
190	24.92	476.0
200	25.57	488.4

Homework 2

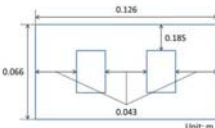
Shay wall

	Prototype	Model
Height	10	0.11 m
Width	4	0.04 m
Total weight	48.73	0.468 ton
Base pressure	8.123	8.123 ton/m ²
λ	4.0	0.04 m
λ_z	0	0.04 m



Tunnel

	Prototype	Model
Height	6.8	0.068 m
Width	12.8	0.128 m
Total weight	82.8	0.83 ton
Base pressure	6.50	6.50 ton/m ²
λ	10	0.04 m
λ_z	0	0.025 m



Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

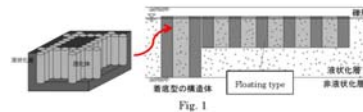


Fig. 1

Instruments

- Accelerometer
- Pore water pressure meter
- Displacement meter
- Strain gauge

Test materials

Liquefaction layer		Solid material (Fig. 2)	
Material	Soma silica sand No. 5	Material	Soma silica sand No. 5
	High-early-strength cement		
D_r	81-93 % (Non-liquefaction layer) 48-57 % (Liquefaction layer)	p_u	18-19.8 kN/m ²
Preparation method	Air pluviation method	Uniaxial compressive strength	3219-5300 kN/m ²

※The ground is saturated by viscous fluid.

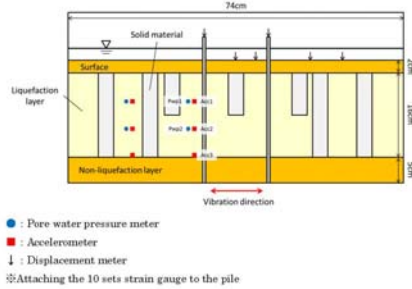


Fig. 2 Solid material

Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

Model design



Test case

CASE	The depth of the solid material		
	Left	Center	Right
CASE 1	0.0m	0.0m	0.0m
CASE 2	8.0m	8.0m	8.0m
CASE 3	8.0m	6.0m	8.0m
CASE 4	8.0m	4.0m	8.0m

Test procedure

- 1) Prepare the soil model
- 2) Install soil model in geotechnical centrifuge
- 3) Applying the static centrifugal acceleration (50G)
- 4) Vibration & measurement

Expected result

- In the case of CASE 1 (no improvement), the response acceleration in the liquefaction layer (Acc 1~3) is shifted from input acceleration. That means the ground liquefies. On the other hand, in the case of CASE 2~4 (improvement), the response acceleration in the liquefaction layer is synchronized with input acceleration. That means the ground non liquefies.

Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

- In the case of CASE 2 (grounding type) and CASE 3,4 (floating type), the increase in the pore water pressure is suppressed, however the effect of increasing the pore water pressure of floating type is larger than that of grounding type.
- The settlement of CASE 3 and 4 (improvement) is much smaller than that of CASE 1 (no improvement). This result indicates that floating type also reduce the settlement.
- The moment of CASE 2~4 (improvement) is smaller than that of CASE 1 (no improvement), however the moment of CASE 3 and 4 (floating type) is larger than that of CASE 2 (grounding type). The moment of CASE 3 become small at the depth of 6m, and the moment of CASE 4 become small at the depth of 4m. That because the bending is prevented in the improved area.

Reference

Hideori, TAKAHASHI, Yoshiyuki MORIKAWA, Syoichi TSUKUNI, Kiyoshi FUKUTAKE, Wataru SUZUKI, Kazuhiro TAKEHANA (2012): EXPERIMENTAL STUDY ON FLOATING LATTICE-SHAPED CEMENT TREATMENT METHOD APPLIED TO LIQUEFIABLE GROUND, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol. 68, No. 2, pp.432-437.

1 月 11 日 10:00-12:00

課程四：試驗量測與校正

課程簡介：(1)介紹感測器，包括加速度計、孔隙水壓計、位移計。(2)介紹如何使用應變計量測想要得到的物理量，並說明應變計量測前的校正方法。提供試驗量測結果，供同學練習動態試驗數據分析，如何得到土層與結構物的基本資訊，與孔隙水壓激發及消散行為。

Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

Axial piles

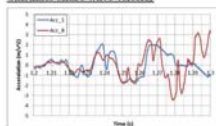
	Prototype	Model
Length	25	0.25m
Diameter	1	0.015m
Area	0.75	2.1e-04m ²
Total weight	153.2	7.5e-04ton
E	75	25 GPa
Normal stiffness	5.9E-07	6.0E-07 kN

Bending piles

	Prototype	Model
Length	25	0.25m
Diameter	1	0.016m
Area	0.75	2.1e-04m ²
Total weight	153.2	7.5e-04ton
E	75	25 GPa
I	0.045	1.1e-09m ⁴
Bending stiffness	3.7E-06	3.7E-06 N/m ²

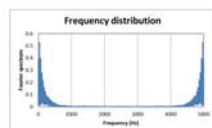
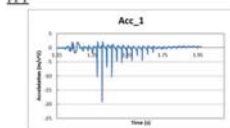
Homework 3

Calculate shear wave velocity



	Prototype
Acc_1	1.230/s
Acc_2	1.230/s
Vs	59m/s

FFT



The frequency is 35 Hz and 4965 Hz ?

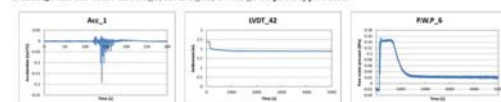
Geotechnical Earthquake Engineering

Karin YAMADA, Hiroshima Univ.

Change the scale (model type data → prototype data)

	Model	Prototype
Time	1	100
Acceleration	100	1
Settlement	1	100
PWP	1	1

I change model scale in Acc_1, LVDT_42, PWP_6 to prototype scale.



Remove the noise

I don't understand how to remove the noise. What is the noise?

Homework 4

$$\Delta E_s = \frac{r}{(1+r)^2} \left(\frac{\Delta R1}{R1} - \frac{\Delta R2}{R2} + \frac{\Delta R3}{R3} - \frac{\Delta R4}{R4} \right) E_s = \frac{2.6}{4} GF \times \epsilon \times E_s$$

$$\therefore \epsilon = \frac{\Delta E_s}{E_s} \times \frac{1}{GF} \times \frac{4}{2.6}$$

GF	1.91
ΔE _s	0.025V
E _s	10V
ε	5.1E-04

Homework 5

Introduction

In 1995, Kobe earthquake, liquefaction occurred in a wide range of reclaimed ground. In addition, the liquefaction caused serious damage to the foundation of the structure. Recently, a lot of methods have been proposed in order to prevent the damage of the foundation of the structure caused by liquefaction. One of the useful methods is deep mixing method. In the deep mixing method, there is an economic type (floating type) that reduced the improved rate as shown in Fig. 1. In this study, behavior of the bearing pile in improved ground by economic deep mixing method is examined.

1 月 11 日 13:00-15:00	課程五：動態離心模型試驗介紹與試驗結果分析
----------------------	-----------------------

課程簡介：藉由土壤液化引致側潰的離心模型試驗影片，說明模型設計理念、試驗準備過程、與試驗影片，讓同學更加瞭解離心模型試驗。

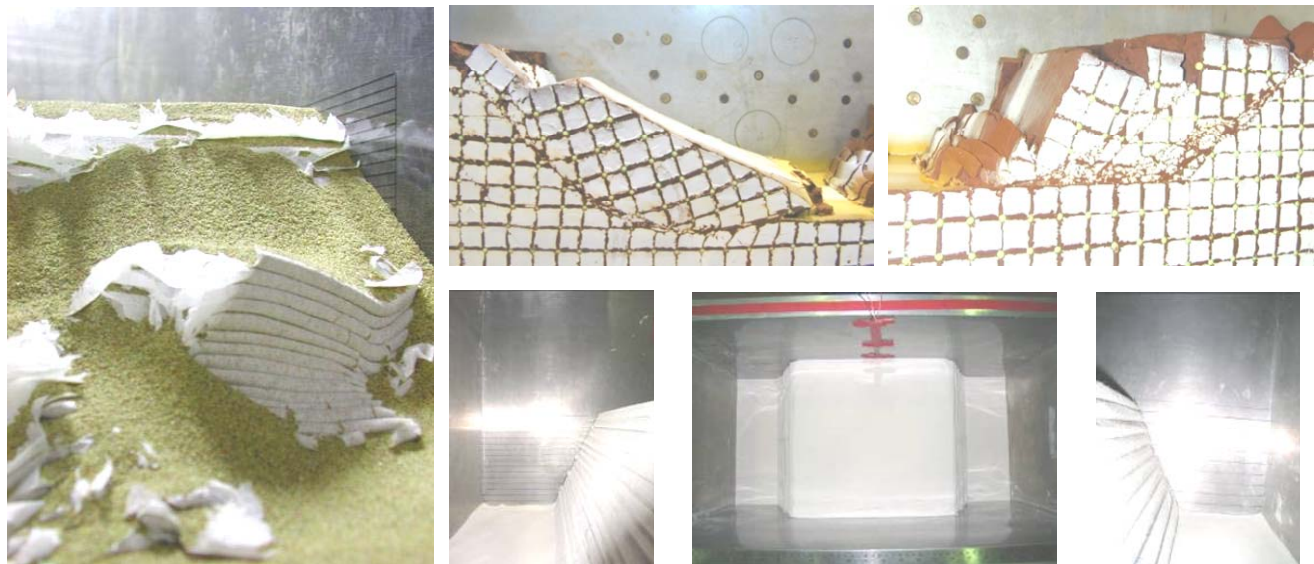


圖 3 試驗影片介紹

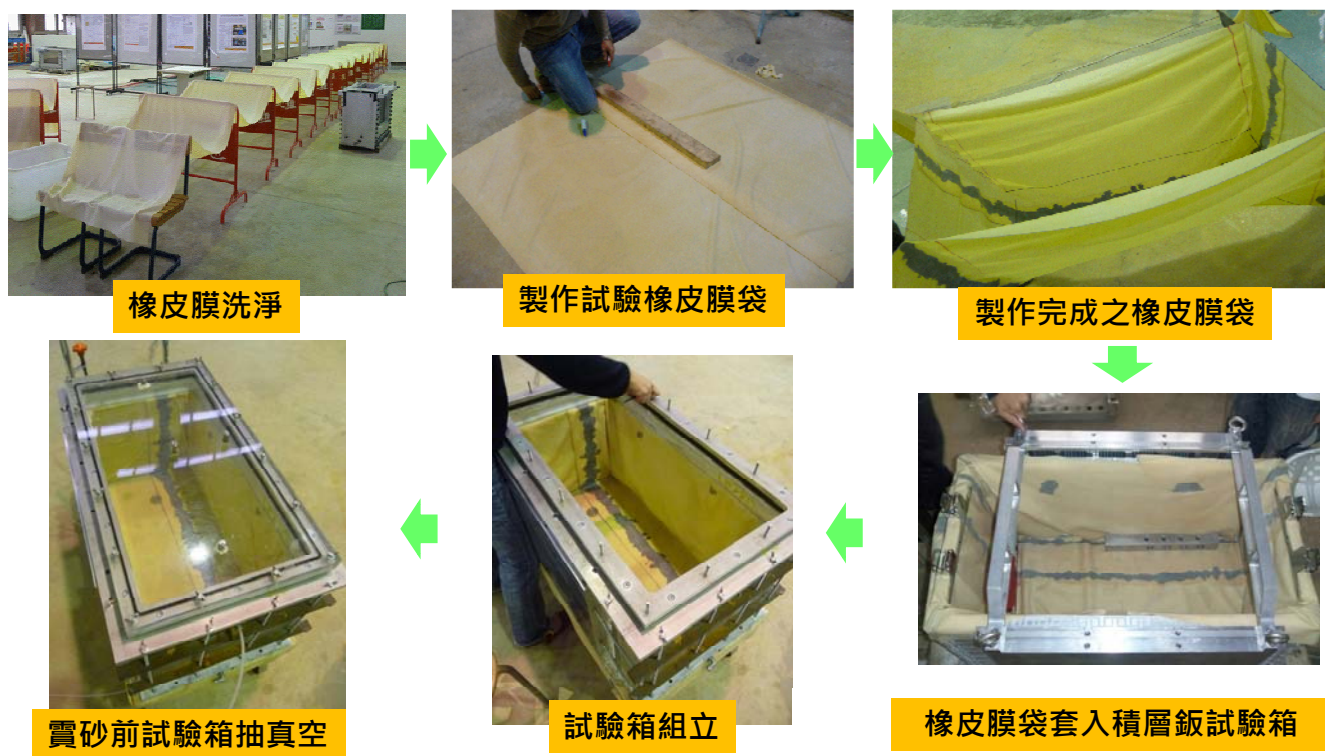


圖 4 試驗橡皮囊帶準備過程

日期：1 月 12 日	回國
早上五點整裝前往廣島機場，回到中央大學。	

參、心得與建議

廣島大學為本校在日本之重要締約學校，與本校簽有合作交流協定。為加強國際學術交流，共同推動聯合授課。之前之聯合授課是由中央大學土木系陳慧慈教授與廣島大學土木系一井康二(Koji Ichii)教授合授『大地地震工程』課程，因陳慧慈教授於去年退休，由本人延續先前與一井康二教授之合作。

本學期廣島大學已於 103 學年(103)年 10 月 9 日至 13 日派遣一井康二教授前來本校進行『大地地震工程』(Geotechnical Earthquake Engineering)課程講學，本校則於 104 年 1 月 8 日至 12 日由土木系洪汶宜教授前往廣島大學講學，主要內容在介紹如何利用離心模型試驗技術探討大地工程問題。本課程主要著重討論與實作，對學生來說，剛開始會比較無法融入，但是很快學生就能開始勇於表達自己的想法。由於課前需複習過去學習到的相關知識，才能在離心模型試驗中發揮創意進行設計，未來有機會的話還可藉由中央大學地工離心機等相關設備進行試驗設計驗證，實踐理論與實務的學習機會，增進共同研究的經驗與友誼，同時也可以讓同學增進英文能力，確實是一個很值得繼續合作的課程。

這是本人第一次到日本進行講學，是個相當寶貴的經驗，與廣島大學土木系教授們除了此講學以外，還有在 ICCEE、人才領袖營等國際活動有交流，希望未來能夠繼續維持，並更推廣雙聯學位、交換生、共同研究等密切的實質合作。

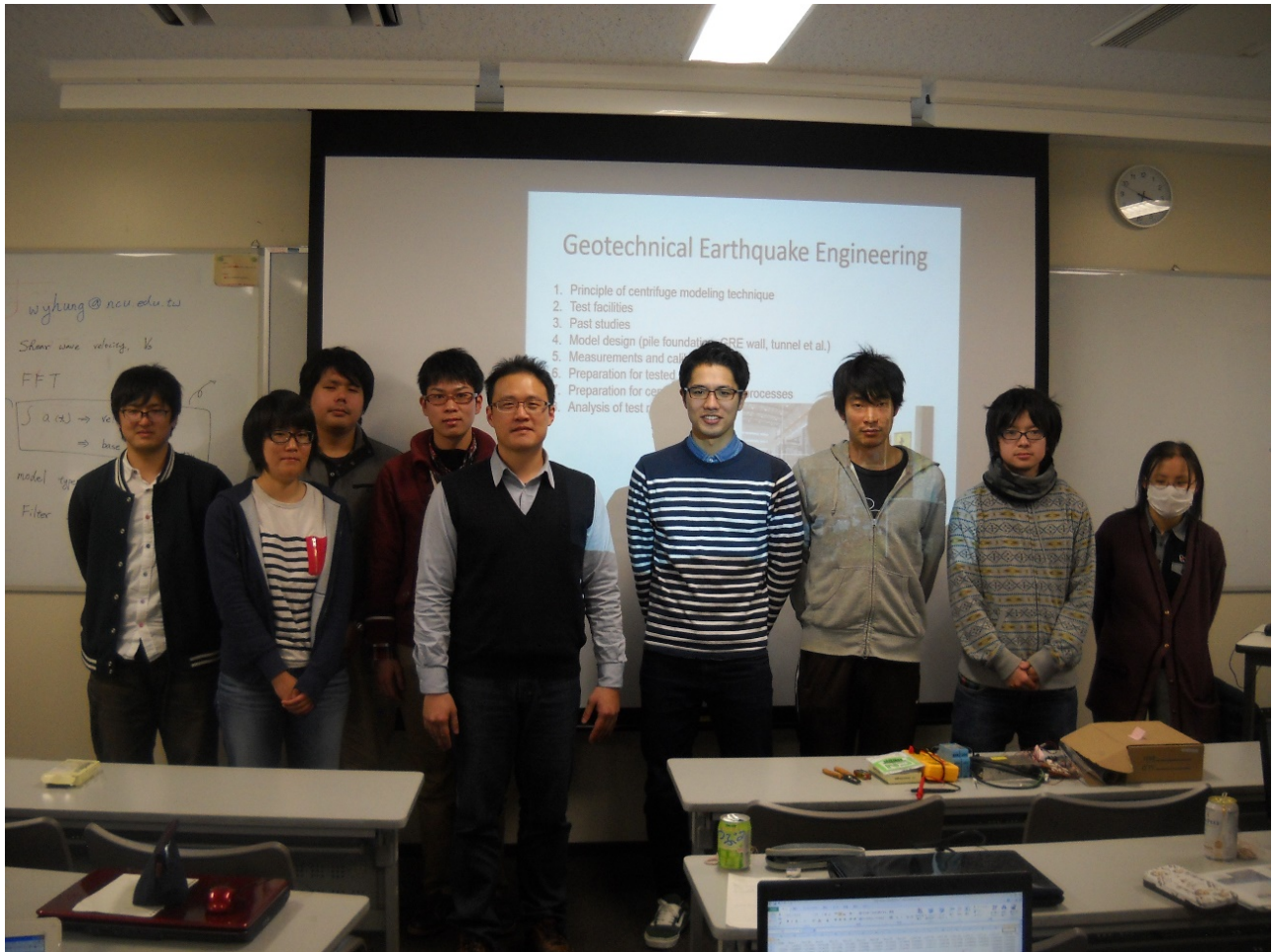
肆、附錄-照片



講學照片



動手練習使用應變計量測鉛罐變形



與課程學生合影