

# 復建調査設計株式会社（ミャンマー） 研修報告書

## ミャンマー国内・ヤンゴン市内エリア別の粘性土の物理・力学的性質の比較

工学研究科 社会基盤環境工学専攻 高橋 源貴

### 1. はじめに

ミャンマー連邦共和国はインドシナ半島西部に位置する共和制国家で、中国、ラオス、タイ、バングラデシュ、インドの国境を接している。また、南北に長いミャンマーの国土面積は約 68 万 km<sup>2</sup> (日本の約 1.8 倍)を有し、気候は熱帯または亜熱帯に属している。国土の中央を 3 本の大きな川が南北に流れており、そのうち中央を流れるエーヤワディー川河口付近は広大なデルタ地帯となっており、ミャンマー最大の米作地帯となっている。そのため、ミャンマー各地に粘性土から成る地盤が多くみられる。近年、ミャンマーは「アジア最後のフロンティア」として、ASEAN で注目されている。また、ミャンマーはもともと軍事政権であり、民主化したのは 2011 年である。2011 年の民主化・経済開放促進政策により、近年では特に欧米・日本の対ミャンマー投資が盛んになっている。ヤンゴン近郊には日本とミャンマーが共同で開発している経済特区ティラワ工業団地には、今後多くの日系企業が入る予定である。人口約 620 万人を抱えるミャンマー最大の商業都市ヤンゴンでは、急速な都市化・経済発展が進んでおり、インフラの整備が要求されている。

### 2. 研修課題の決定

今後都市化が急速に進むヤンゴンにおいて、インフラ整備をすすめていくうえで、その基礎となる地盤の状態を把握する必要がある。ヤンゴンを含むミャンマー南部は広大なデルタ地帯を有しており、圧縮性の高い軟弱地盤が広く分布しているため、地盤情報を整理することは非常に重要であるといえる。そこで、本研修ではヤンゴン市内を大きく 8 つのエリアに分け、過去実施されたボーリング試験データ・土質試験データを整理し、相関図やヒストグラムを作成することによって、物理特性や力学特性、圧密特性に違いがあるのか否かの比較・検討を行う。また、ミャンマー国内も大きく 6 つのエリアに分け、ヤンゴン市内同様に比較・検討を行う。

### 3. 研修スケジュール

8月20日 ヤンゴン入り  
8月21日 研修開始  
9月5日 中間発表会  
9月17日 最終報告  
9月18日 帰国

### 4. 研修先の概要

会社名：復建調査設計株式会社ヤンゴン事務所  
設立：1997年  
事業内容：土質調査、交通量調査、建築など  
所在地：ヤンゴン市

## 5. 研修の内容

現地では主に、過去に復建調査設計株式会社が過去にミャンマーで行った地盤調査データをエリアごとに整理した表を作成し、それをもとに様々な相関図、ヒストグラムの作成を行った。そして、それらをもとにして、エリアごとの物理特性・力学特性、圧密特性の特徴の把握、考察を行った。また、粘土の力学特性を求める上で不可欠となる不攪乱試料の品質について、サンプリングの手法（日本式のピストンチューブサンプラーとシェルビーチューブサンプラー）の違いによる、土質試験の結果の違いについての考察も行った。実際のボーリング調査の現場も見学させて頂いた。

### 5.1 ヤンゴン市内エリア別の比較

図1に今回設定したヤンゴン市内のエリアごとの位置を示した地図を示す。今回の研修ではヤンゴン市内を Mingalardon Area, Hlaing Tharyar Area, North and South Dagon Area, East Yangon Area, West Yangon Area, Thaketa Area, Downtown Area, Thilawa Area の8つのエリアに分けた。また図2にはヤンゴン市内の地質マップを示す。

そして表1に今回の研修で作成した相関図の一覧をまとめた表を、表2に作成したヒストグラムの一覧をまとめた表を示す。表1から圧縮指数  $C_c$  と自然含水比  $W_n$  との間には比較的良好な相関が見られることが分かる。図3に圧縮指数  $C_c$  と自然含水比  $W_n$  の関係を整理したグラフを示す。これを見ると、圧縮指数  $C_c$  は含水比  $W_n$  に比例して大きくなることがわかる。このようにエリアごとの地盤特性を明らかにし、ある程度の傾向を把握することができれば、わざわざ力学試験や圧密試験を実施しなくても、物理試験の結果から力学特性や圧密特性を推定することができ、開発著しいミャンマーの経済発展の効率を上げることができると考える。また、表2の粘土の活性

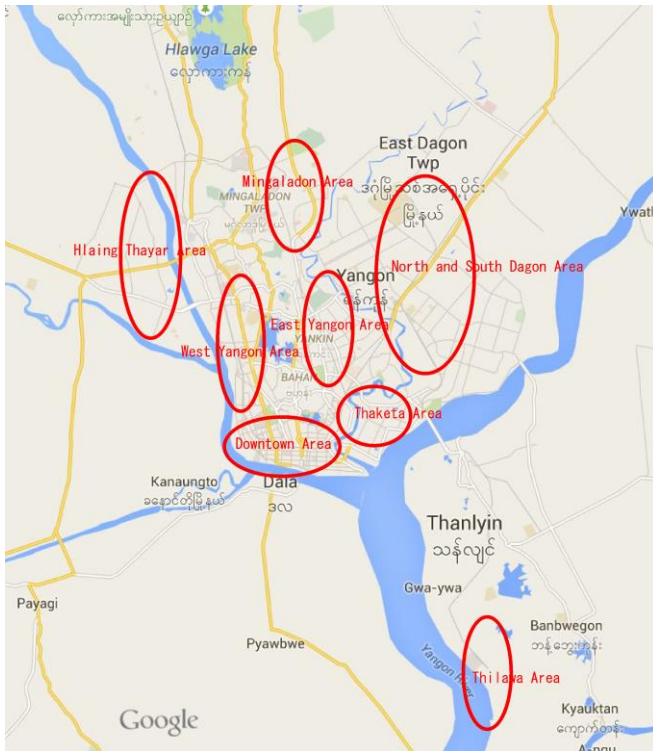


図1 今回設定したヤンゴン市内のエリアごとの地図

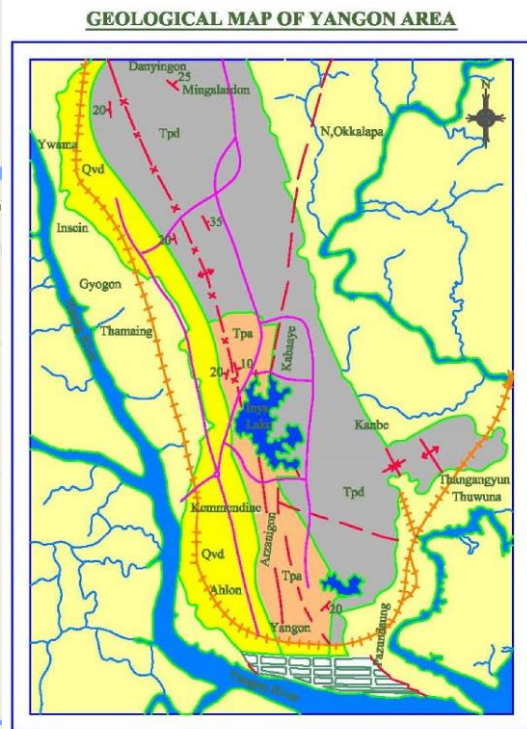


図2 ヤンゴン市内の地質マップ

度に注目するとエリアごとに特徴がみられることが分かる。細粒土の物理特性、力学特性は、粘土分の含有量に依ることが分かっている。粘土の活性度とは、粘土分の寄与を定量的に表すバロ

メータである。この指標は、粘土の堆積環境や粘土の含有成分の推定に使われている。活性度は下の式のように算出することができる。

$$A' = \frac{\text{塑性指数 } I_p}{\text{粘土分含有率(0.002mm以下)}}$$

本来粘土分とは、粒径 0.005mm 以下のことを指すが、ここでは粒径 0.002mm 以下を粘土分とする。また、活性度は値の違いによって粘土の特徴を以下のように分類できる。

スメクタイト粘土 > イライト粘土 > カオリナイト粘土  
 ( $A'$ : 1.25 以下)      ( $A'$ : 0.75~1.25)      ( $A'$ : 0.75 以下)

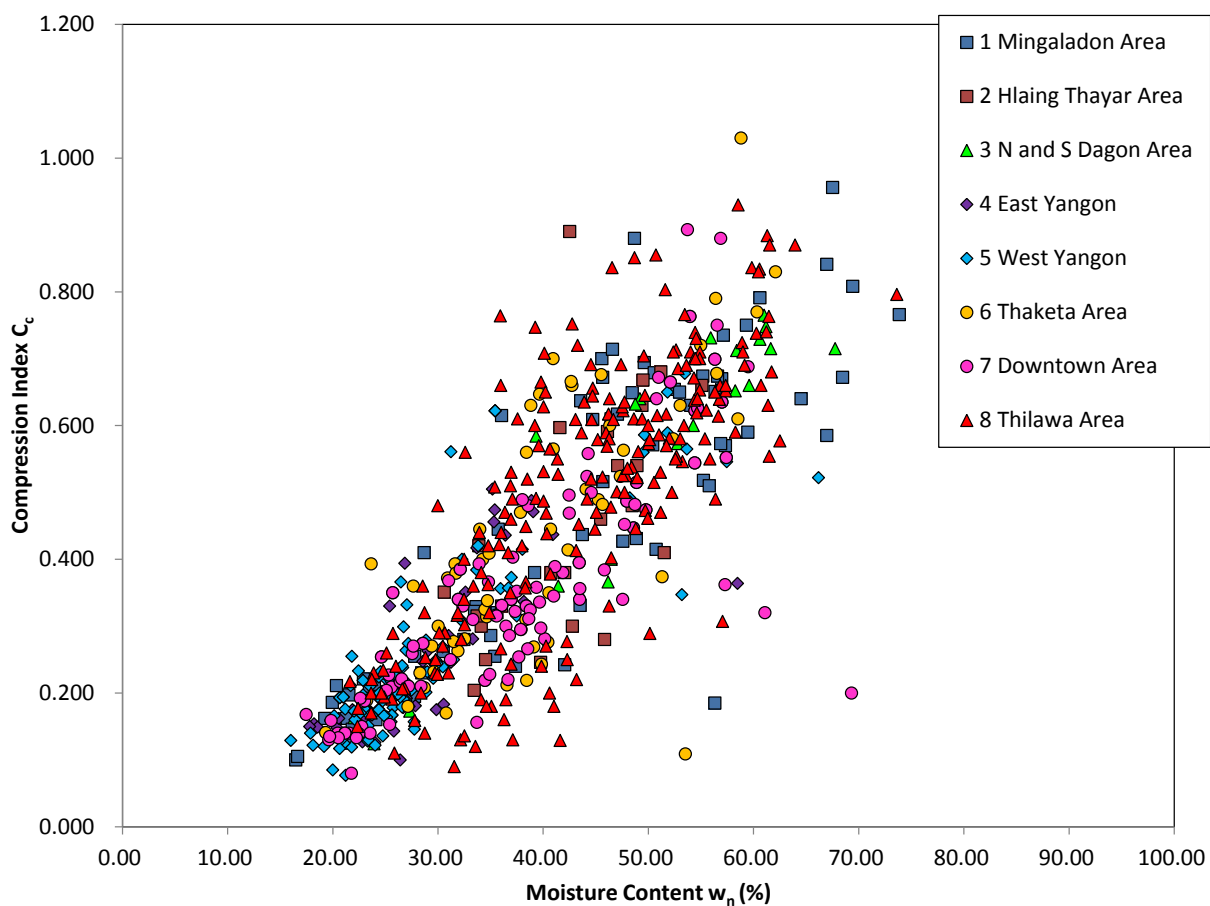


図3 自然含水比  $w_n$  と圧縮指数  $C_c$  の関係

表1 ヤンゴン市内エリア別の作成した相関図一覧

関係		エリア	Mingalardon Area	Hlaing Tharyar Area	North and South Dagon Area	East Yangon Area	West Yangon Area	Thaketa Area	Downtown Area	Thilawa Area
WL-Cc	サンプル数		78	24	21	49	106	58	122	216
	相関係数	$Cc = 0.009WL - 0.0223$	0.3542	0.114	0.5646	0.0012	0.1256	0.4115	0.3698	0.1637
WL-Clay Ratio	サンプル数		325	76	59	735	951	191	690	983
	相関係数	$WL = 0.572r + 30.648$	0.4706	0.3481	0.4113	0.1397	0.3351	0.6104	0.2782	0.4313
WL-Wn	サンプル数		325	69	58	735		191	696	985
	相関係数	$Wn = 0.5445WL + 5.3747$	0.4245	0.1892	0.4741	0.1283		0.3694	0.2715	0.257
Wn-Cc	サンプル数		77	25	21	51	112	59	121	217
	相関係数	$Cc = 0.0121Wn - 0.0439$	0.5008	0.4311	0.6545	0.0425	0.7298	0.5406	0.6739	0.4459
Ip-Cc	サンプル数		78	24	21	49	105	58	120	214
	相関係数	$Cc = 0.0124Ip + 0.0829$	0.291	0.0855	0.5278	0.0601	0.0619	0.3554	0.1806	0.0889
Ip-Clay Ratio	サンプル数		325	73	59	737	919	187	667	974
	相関係数	$Ip = 0.4613r + 12.616$	0.4726	0.2021	0.2905	0.0622	0.2422	0.5636	0.1953	0.3711
Cc-Clay Ratio	サンプル数		77	21	25	50	108	59	122	214
	相関係数	$Cc = 0.0018r + 0.3953$	0.0146	0.356	0.0178	0.0271	0.0876	0.3202	0.0047	0.0203
qu-Py	サンプル数		77	19	21	44	97	59	115	386
	相関係数	$qu = 0.163Py + 37.795$	0.288	0.036	0.0417	0.0379	0.0433	0.6456	0.1963	0.5451
qu-Clay Ratio	サンプル数		107	32	21	67	133	108	150	583
	相関係数	$qu = 0.4407r + 56.364$	0.0277	0.5613	0.0334	0.187	0.0157	0.01	0.0196	0.0302
Wn-p t	サンプル数		118	25	27	96	164	108	178	651
	相関係数	$p t = -0.009Wn + 2.205$	0.8202	0.854	0.6739	0.2355	0.5943	0.8294	0.7033	0.6986
Cc-Sand Ratio	サンプル数		81	25	21	50	113	59	122	424
	相関係数	$Cc = -0.093r + 0.5471$	0.1634	0.1415	0.3629	0.0916	0.2443	0.2744	0.3496	0.0703
A'-Clay Ratio	サンプル数		325	73	59	728	919	187	669	975
	相関係数	$r = -17.027A' + 51.871$	0.3961	0.2725	0.1839	0.2023	0.0492	0.3217	0.0622	0.1498
A'-Ip	サンプル数		325	73	59	730	919	187	667	975
	相関係数	$Ip = -3.4416A' + 31.334$	0.0359	0.1844	0.1973	0.0325	0.2343	0.0037	0.2906	0.1071
A'-Cc	サンプル数		72	24	21	48	104	58	119	410
	相関係数	$Cc = 0.1183A' + 0.3658$	0.0611	0.1667	0.2894	0.0718	0.0054	0.0046	0.1159	0.0071
A'-WL	サンプル数		325	73	59	729	915	187	669	973
	相関係数	$WL = -3.8325A' + 53.346$	0.0289	0.1008	0.1021	0.0563	0.0872	0.0009	0.1941	0.0687

※ オレンジ色 : 相関係数 0.5 以上 緑 : 相関係数 : 0.1 以上 0.5 未満

表2 ヤンゴン市内エリア別の作成したヒストグラム一覧

関係		エリア	Mingalardon Area	Hlaing Tharyar Area	North and South Dagon Area	East Yangon Area	West Yangon Area	Thaketa Area	Downtown Area	Thilawa Area
A'	サンプル数		325	73	59	729	915	187	669	973
	平均値		1.18	0.912	0.712	1.478	1.25	1.234	1.425	1.402
	標準偏差		0.775	0.458	0.356	0.949	0.915	0.369	0.981	0.568
	最大値		6.092	3.349	1.955	10.262	11.818	2.132	7.452	6.917
	最小値		0.155	0.413	0.199	0.152	0.079	0.117	0.137	0.233
	分類		イライト質土	イライト質土	カオリナイト質土	スメクタイト質土	スメクタイトorイライト	イライト質土	スメクタイト質土	スメクタイト質土
Clay Ratio (%)	サンプル数		338	96	60	951	1719	208	1087	1342
	平均値		30.921	30.834	44.352	18.71	14.467	34.853	14.027	32.954
	標準偏差		21.0271	19.586	20.574	13.22	13.884	18.265	11.325	21.291
	最大値		82	85	81	67.7	79.8	74.1	71.2	88
	最小値		1.2	2.5	8	0.5	0.3	0.2	2	0.7
WL (%)	サンプル数		327	76	59	736	953	54	697	985
	平均値		48.698	52.787	51.07	46.886	38.567	47.948	35.978	54.12
	標準偏差		17.521	14.982	15.76	15.804	15.34	12.55	13.259	14.535
	最大値		110.99	84.03	75.3	95.08	111.3	79.95	83.89	100.9
	最小値		18	16.06	20.1	16	12.4	21	15.1	19.53
Ip	サンプル数		327	73	59	734	921	187	670	978
	平均値		27.176	30.272	28.925	27.308	19.63	30.633	16.734	31.095
	標準偏差		14.103	10.584	12.782	13.644	12.571	11.429	10.936	11.69
	最大値		70.38	56.93	48.96	71.96	72.18	58.72	52.93	79.78
	最小値		1.24	4.64	5.17	2.31	0.66	3.846	1.28	1.33
Sand Ratio (%)	サンプル数		349	133	62	1027	1821	207	1326	1399
	平均値		22.369	46.216	17.723	47.782	62.055	16.847	63.197	29.095
	標準偏差		26.428	42.311	23.492	28.89	27.147	24.963	28.28	35.425
	最大値		99.8	99.97	87.71	95	100	87.4	100	100
	最小値		0.1	0.025	0.2	0.075	0.125	0.05	0.1	0.025
Moisture Content (%)	サンプル数		347	126	59	1031	1838	208	1312	1443
	平均値		31.35	28.253	38.362	23.409	23.425	34.395	23.666	34.657
	標準偏差		14.606	10.83	13.56	5.93	8.377	9.392	9.464	12.406
	最大値		78.75	55.098	67.76	63.161	170.722	63.352	69.33	96.61
	最小値		5.192	12.76	20.24	7.697	7.45	15.137	7.834	8.13

## 5. 2 ミャンマー国内エリア別の比較

図4に今回設定したミャンマー国内のエリアごとの位置を示した地図を示す。ミャンマー国内を Yangon Area, Ayeyarwady Area, Hpaan-Mawlamyaing Area, Bago Area, Magway Area, Mandalay Area の6つのエリアに分けた。

そしてヤンゴン市内のときと同様に、エリアごとにデータ整理し、相関図とヒストグラムを作成した。表3に作成した相関図の一覧、表4に作成したヒストグラムの一覧を示す。

データ数はヤンゴン市内エリア別の比較のときと比べると少ないが、こちらもエリアごとに特徴がみられる。表4から、例えば多少のばらつきは見られるものの、砂分含有率は内陸部で高く、海に近い地域においては低くなっていることがわかる。



図4 今回設定したミャンマー国内の地図

表3 ミャンマー国内エリア別の作成した相関図一覧

関係	エリア	Hpaan Mawlamyaing Area	Ayeyarwaddy Area	Magway Area	Mandalay Area	Bago Area	Yangon Area
WL-Cc	サンプル数	7	35	0	3	2	674
	近似直線式	$Cc = 0.0115WL - 0.0441$	$Cc = 0.0061WL + 0.2153$	-	-	-	$Cc = 0.0078WL + 0.0158$
	相関係数	0.1775	0.769	-	-	-	0.1139
WL-Clay Ratio	サンプル数	240	129	6	80	100	4008
	近似直線式	$WL = 0.4863r + 30.843$	$WL = 0.686r + 26.848$	$WL = 1.0238r + 28.082$	$WL = 0.4507r + 20.715$	$WL = 0.17r + 48.964$	$WL = 0.5019r + 28.66$
	相関係数	0.1807	0.4895	0.408	0.5638	0.0277	0.3856
WL-Wn	サンプル数	240	135	6	80	100	3059
	近似直線式	$Wn = 0.5081WL + 5.8835$	$Wn = 0.4268WL + 19.62$	$Wn = 0.1551WL + 5.0841$	$Wn = 0.0518WL + 16.384$	$Wn = 0.1469WL + 14.561$	$Wn = 0.3913WL + 13.27$
	相関係数	0.2586	0.1685	0.3853	0.0045	0.2491	0.2979
Wn-Cc	サンプル数	7	37	0	3	2	683
	近似直線式	$Cc = 0.0108Wn + 0.0738$	$Cc = 0.0196Wn - 0.4031$	-	-	-	$Cc = 0.0128Wn - 0.0751$
	相関係数	0.7969	0.3413	-	-	-	0.2746
Ip-Cc	サンプル数	7	34	0	3	2	669
	近似直線式	$Cc = 0.0073Ip + 0.3266$	$Cc = 0.015Ip + 0.1281$	-	-	-	$Cc = 0.0065Ip + 0.2353$
	相関係数	0.7283	0.201	-	-	-	0.0489
Ip-Clay Ratio	サンプル数	239	109	6	77	100	3937
	近似直線式	$Ip = 0.4228r + 11.821$	$Ip = 0.5437r + 9.6232$	$Ip = 1.045r + 8.3615$	$Ip = 0.4311r + 4.4508$	$Ip = 0.172r + 29.5$	$Ip = 0.3691r + 12.459$
	相関係数	0.2272	0.4216	0.4912	0.5202	0.0463	0.3116
Cc-Clay Ratio	サンプル数	7	35	0	3	2	676
	近似直線式	$Cc = 0.0028r + 0.431$	$Cc = 0.0197r - 0.1399$	-	-	-	$Cc = 0.0038r + 0.281$
	相関係数	0.2458	0.4127	-	-	-	0.04
qu-Py	サンプル数	7	36	0	3	0	818
	近似直線式	$qu = 0.494Py - 8.1162$	$qu = 0.2156Py + 16.725$	-	-	-	$qu = 0.2531Py + 32.063$
	相関係数	0.8148	0.3192	-	-	-	0.3352
qu-Clay Ratio	サンプル数	40	30	0	4	3	1201
	近似直線式	$qu = -0.3195r + 92.45$	$qu = -1.0077r + 76.976$	-	-	-	$qu = 0.0733r + 86.311$
	相関係数	0.017	0.2233	-	-	-	0.0004
Wn-p t	サンプル数	37	49	0	0	9	1377
	近似直線式	$p t = -0.0079Wn + 2.1197$	$p t = -0.0076Wn + 2.0985$	-	-	$p t = -0.0085Wn + 2.1906$	$p t = -0.0088Wn + 2.1669$
	相関係数	0.9479	0.8311	-	-	0.4175	0.7099
Cc-Sand Ratio	サンプル数	7	37	0	3	2	895
	近似直線式	$0.0163r + 0.5511$	$Cc = -0.0049r + 0.5254$	-	-	-	$Cc = -0.006r + 0.5007$
	相関係数	0.004	0.0564	-	-	-	0.1458

※ オレンジ色：相関係数 0.5 以上      緑：相関係数：0.1 以上 0.5 未満

表 4 ミャンマー国内エリア別の作成したヒストグラム一覧

関係	エリア	Hpaan Mawlamyine Area	Ayeyarwaddy Area	Magway Area	Mandalay Area	Bago Area	Yangon Area
A'	サンプル数	239	124	6	77	100	3930
	平均値	1.697	1.267	0.739	1.932	0.862	1.339
	標準偏差	0.969	0.445	0.226	0.791	0.363	0.829
	最大値	6.667	3.246	0.985	5.109	1.74	11.818
	最小値	0.203	0.242	0.283	0.336	0.139	0.079
	分類	スメクタイト質土	スメクタイト質土	カオリナイト質土	スメクタイト質土	イライト質土	スメクタイト質土
Clay Ratio (%)	サンプル数	278	175	7	104	117	5801
	平均値	36.886	26.311	17.171	24.752	25.955	21.627
	標準偏差	17.421	12.331	9.312	15.614	12.306	18.394
	最大値	84	64.5	31.8	64	49.3	88
	最小値	2.8	3	4.5	3.3	3.1	0.2
Sand Ratio (%)	サンプル数	278	207	8	148	117	6323
	平均値	18.232	31.022	49.554	53.721	28.977	48.252
	標準偏差	21.722	28.27	27.423	35.905	25.8122	34.006
	最大値	90.201	100	90.185	99.895	85.9	100
	最小値	0.1	0.5	10.469	4.78	0.66	0.025
WL (%)	サンプル数	240	135	6	80	100	3887
	平均値	50.4451	47.021	47.825	34.423	53.717	45.074
	標準偏差	18.13	11.287	13.406	7.981	11.737	16.607
	最大値	136.15	78.3	65.6	54.28	93.48	111.3
	最小値	13.9	27	27	21	22.69	12.4
Ip	サンプル数	239	135	6	80	100	2971
	平均値	28.921	25.71	28.512	17.741	34.309	22.841
	標準偏差	13.974	9.53	12.47	7.992	9.619	13.512
	最大値	79.927	53.05	46.932	35.412	62.93	72.18
	最小値	2.1	5.73	11.271	3.19	7.36	0.66
Wn (%)	サンプル数	278	313	8	148	117	4914
	平均値	29.471	32.913	10.74	15.941	21.588	24.768
	標準偏差	17.696	12.803	4.526	6.564	4.004	9.468
	最大値	155.27	62.93	15.351	43.38	32.752	170.722
	最小値	6.725	6.46	2.129	2.35	10.395	5.192

### 5. 3 サンプリング手法の違いによって得られたサンプルの室内土質試験結果の違いの比較

もう一つの研修テーマは、サンプリングの手法の違いが粘土の力学特性に及ぼす影響についての検討である。具体的には、サンプリング手法(米国式のシェルビーチューブサンプラーと日本式のピストンチューブサンプラー)の違いにより、どの程度の大きさで強度や圧密などの力学特性に影響を及ぼすのか、実際の現場にて二つの手法による不攪乱試料の採取を行い土質試験を実施して、その結果について考察するというものである。それぞれ2つの特徴としては、ピストンチューブサンプラーは、コストや時間はかかるが質の良いサンプルが採取できるという特徴があり、シェルビーチューブサンプラーは、安価で容易に実施できるがサンプルの質が低下するという特徴がある。図5にシェルビーチューブサンプラーとピストンチューブサンプラーの図を示す。また、写真1にボーリング調査の様子を示す。

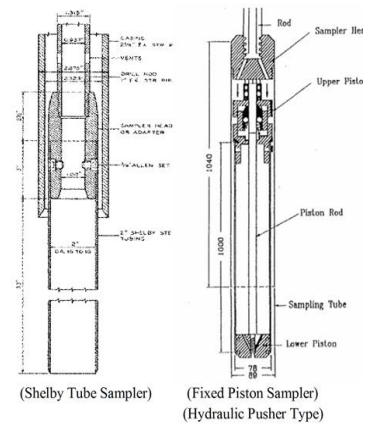


図 5 サンプラーの図



写真 1 ボーリング調査の様子

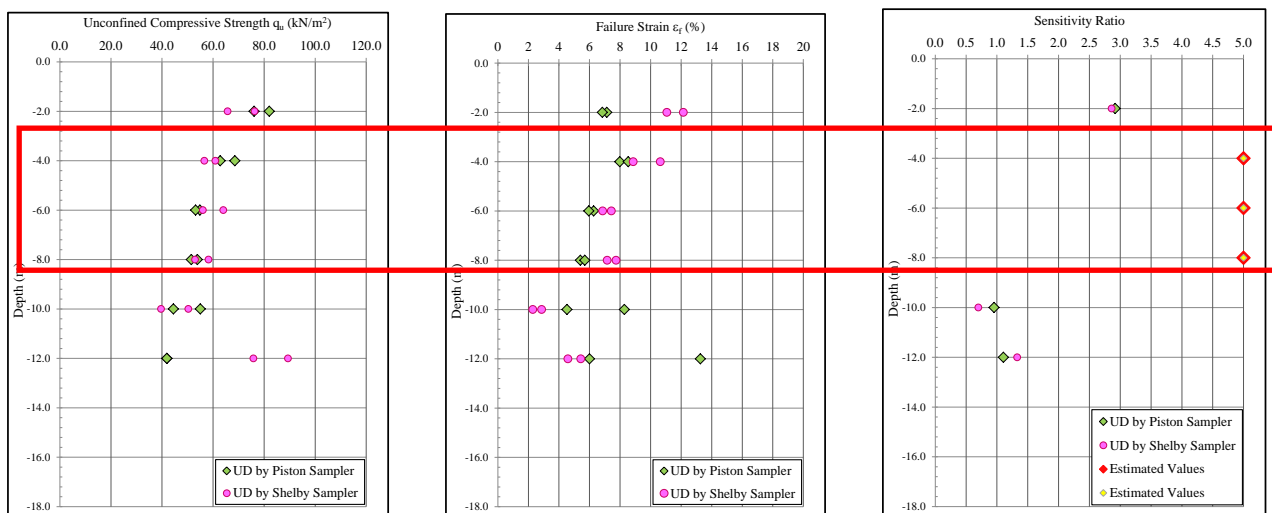


図 6 ボーリング試験結果

既往の研究<sup>1)</sup>によると、サンプリング手法の違いが、粘土の力学特性に影響を及ぼし、シェルビーチューブの方が、乱れが大きくなることわかっている。図 6 は復建のヤンゴン事務所前で行われた、シェルビーチューブサンプラーとピストンチューブサンプラーによるボーリング試験結果である。一番右の図の Sensitivity Ratio (鋭敏比) とは土の乱れを表す指標である。前述の通り、土試料の乱れは、土質試験の結果に影響を及ぼすが、この結果をみると、鋭敏比が大きいにも関わらず、シェルビーチューブサンプラーとピストンチューブサンプラーの間に、Unconfined Compressive Strength (一軸圧縮強度) の違いがみられないことわかる。よって、この試験結果からは、両者の間に明らかな違いは見られず、ピストンチューブサンプラーの優位性を実証することはできなかった。

## 6. まとめ

この研修を通じて、一言では言い表すことができないくらい、たくさんのことを学び、貴重な経験ができた。一か月という期間、今までに馴染みのない言語も文化も生活環境も違う異国で、研修することで、海外志向がかなり強くなったように感じる。派遣前は日本と海外の業務の違いや現場を実際に自分の目で見て、視野を広げたい程度の動機であったが、実際にインターンシップにいったことによって、将来は海外で働きたいという思いが強くなった。今回の派遣を通じて自分に足りなかったものは何なのか、どこを改善していくべきなのかもう一度自分を見つめ直し、将来は世界で活躍できる土木技術者になれるように日々努力をしていきたい。

## 7. 謝辞

ミャンマーでの一か月間の研修は、自分にとってかけがえのない経験となりました。これは今回のインターンシップを快く受け入れて下さった小田秀樹社長を始めとする復建の皆様のお陰です。心より感謝申し上げます。

研修にあたっては、ヤンゴン事務所の山田所長を始め、赤崎様、青山様、掛本様、岡田様、米浦様に研修内容からミャンマーでの生活面まで、いろいろご指導頂きました。私が慣れないミャンマーでの研修にすぐ馴染むことができ、一か月の充実した研修を送ることができたのも、皆様の助けがあったからこそであると感じております。また、私を研修生として快く受け入れて下さ

ったローカルのミャンマー人スタッフの方々に対しても、心より感謝申し上げます。

また、本研修を行うに当たって、企画、運営及び研修の支援をして下さった土田先生をはじめとする ECBO 実行委員の先生方、一年間に渡るプログラム全般をご支援くださいました工学研究科国際事業担当のスタッフの皆様にも誌面をお借りして厚くお礼申し上げます。

最後にはなりましたが、ECBO プログラムを通じて私自身大きく成長することができましたし、視野がかなり広がったように感じております。学生の中に、アジアの現場を経験するというのは、大変貴重な機会です。将来、海外で働きたい人はもちろんですが、国内志望の人にとっても海外での研修を経験することで、多様な視点から物事をみる力が養われると思います。是非、充実した大学院生活にするためにもこのプログラムに参加してほしいと思います。今後、ECBO プログラムが益々発展していくことを願ひまして、謝辞とさせていただきます。

## 8. 参考文献

- 1) Yoshimitsu YAMADA, Toshiya AKASAKI, Tatsuru AOYAMA, Kyaw Swar Myint Thein : DIFFERENCES OF SOIL INVESTIGATION RESULTS BY DIFFERENT UNDISTURBED SAMPLING METHODS FOR COHESIVE SOIL