

## 謝 辞

本研究は、2011年6月から4年と1ヶ月にわたり担当した白竜湖軟弱地盤での高速道路建設について、その工事計画の立案と設計方針の妥当性確認のために行ったものです。

白竜湖軟弱地盤は、山形県の米沢盆地北東端に位置する、深さ100mを超える軟弱地盤です。これまでの高速道路建設では経験したことがない深さで、すべて手探り状態で試験工事に着手しました。このような軟弱地盤の上に高速道路の盛土を構築した場合、残留沈下がどの程度になるのか誰にもわかりませんでした。本稿は、試験工事の結果から高速道路本体盛土の設計方針の決定に至るまでの過程を振り返るとともに、疑似過圧密特性という観点から設計方針と残留沈下量の予測に関する妥当性を確認した結果までを取りまとめたものです。本研究は、中央大学研究開発機構教授太田秀樹先生のご指導の下、進めました。太田先生には大変ご多忙であるにもかかわらず、現場での試験工事へのご指導に始まり、非常に多くの時間を本研究のためにお使い頂くこととなりました。また、職場環境の変化など、研究の中止や挫折に直面しそうな場面で、大変心強いご支援を賜りました。長きにわたるご厚情、ご指導、ご鞭撻に「感謝」という一言では表現しきれませんが、他に言葉が思い浮かびません。心より感謝申し上げます。

中央大学教授理工学部都市環境学科齋藤邦夫先生には、論文審査における主査をお引き受けいただきました。研究の全般にわたり齋藤先生より貴重なご意見とご助言を頂きながら学位論文を取りまとめました。研究の進捗が遅く、ご心配をお掛けいたしました。齋藤先生の温かいご指導のおかげで、ようやく本稿をまとめることができました。誠に感謝申し上げます。

中央大学教授理工学部都市環境学科佐藤尚次先生には、論文審査における副査をお引き受けいただきました。特に、異常値の取り扱いについて慎重を期すようご指導いただき、一部を改める機会を得ることができました。研究成果のとりまとめに当たり、ご専門と異なる分野であるにもかかわらず、論点の整理などにおいても温かいご指導とご助言を賜りましたこと、心から御礼申し上げます。

中央大学准教授理工学部都市環境学科平川大貴先生には、論文審査における副査をお引き受けいただきました。研究成果をとりまとめうえで論点の整理や強調すべき点などについて、具体的かつ大変貴重なご指導とご助言を賜りました。また、本研究の重要な要素の一つである「二次圧密係数」について、本研究で論じた点とは異なる見方があることをご教示いただきました。大変ご多忙であるにもかかわらず、時間をかけてご指導いただきましたこと、心から御礼申し上げます。

中央大学教授理工学部経営システム工学科鎌倉稔成先生には、論文審査における副査をお引き受けいただきました。統計学をご専門とされている鎌倉先生には、土木工学とは異なる観点からのご助言を多数賜り、認識を新たにすることになりました。研究者の端くれに加えて頂こうとしている身にとって、勉強不足を痛感させられる次第でしたが、大変に貴重な

お時間を頂戴いたしましたこと、心から御礼申し上げます。

北海道大学大学院工学研究院環境フィールド工学部門教授渡部要一先生には、論文審査における副査をお引き受けいただきました。本研究の後半部分における大きな目的である「地質学と地盤工学の間にある溝を少しでも埋めてみたい」という趣旨についてご理解いただきたいうえ、一時圧密と二次圧密の関係におけるアイソタック概念と他の概念との違いなど、大変丁寧で多岐にわたる内容のご助言とご示唆を賜りました。また、アイソタック概念に基づくデータの整理方法については、詳細なご指導を頂くことができました。貴重なお時間を頂戴いたしましたこと、心から御礼申し上げます。

神戸大学教授都市安全研究センター飯塚敦先生には、地盤施工学現場事例研究会におきまして、たくさんのご指導を賜りました。第5章の地盤の堆積年代の推定式は、太田先生と飯塚先生のご指導によるものです。このご指導を頂かなければ、本研究の後半部分は成しませんでした。心より感謝申し上げます。

同じく神戸大学の橋伸也先生と竹山智英先生には、数式の誘導について大変親切なご指導を賜りました。深く感謝申し上げます。

山形大学名誉教授の山野井徹先生には、白竜湖軟弱地盤の成り立ちについて、研究初期の段階でご指導を頂きました。静岡大学教授理学部地球科学科北村晃寿先生には、地盤の体積年代の測定と堆積環境についてご指導を頂きました。首都大学東京教授都市環境学部鈴木毅彦先生には、火山灰の採取と同定について、ご指導、ご協力を頂きました。地盤の堆積環境と堆積年代が分からなければ、やはり本研究の後半部分は成り立ちませんでした。大変深謝申し上げます。

株式会社ダイヤコンサルタント東北支社高坂敏明氏、山田満秀博士には放射性炭素年代測定などのデータの提供のほか、土質試験のデータ整理の方法等、多くの助言を頂きました。大変感謝いたしております。

特に試験工事については、白竜湖軟弱地盤対策検討委員会（委員長 太田秀樹教授）での検討結果を反映したものです。委員会の設立にご尽力された先輩諸氏に敬意を表するとともに、委員会の歴代関係者各位と長期沈下解析WGに参加頂いた方々に感謝申し上げます。

特に、基礎地盤コンサルタンツ株式会社の佐藤修二氏との議論は大変刺激的なものでした。たくさんのご助言と参考にすべき資料をご教示頂きました。中でも、現場近くの蕎麦屋にご案内したときに頂いた土木工学大系は大変に参考になる一冊でした。本当にありがとうございます。

また、八千代エンジニアリング株式会社の後藤雄一氏には、委員会資料のとりまとめにご尽力頂いた他、本体工の設計方針の立案においても大変有益なご助言を頂きました。本当に感謝しております。

本研究は、半ば社命により取り組み始めたものです。「高速道路の建設現場が少なくなっていく中で、技術的に直面した課題とその対応の過程を整理して後代に残す。」という、序論で述べた研究目的とは別の側面を有しています。東日本高速道路株式会社東北支社山

形工事事務所に在籍中は、周囲の方々に支えられながら課題に取り組みました。日常業務の負担の軽減に皆が配慮してくれました。本当に感謝しております。

試験工事から、本体工事までを一貫して担当した株式会社大林組、中でも佐々木徹氏、株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北の澤野幸喜氏には、現場の状況や動態観測の状況等を何度も確認させて頂きました。ご迷惑をお掛けしたかと思います。ありがとうございました。

東北中央自動車道の建設工事は、地元の方々に支えられながら進めています。代々引き継がれた大切な土地をご提供頂きました方々、本当にありがとうございます。深謝申し上げます。また、水田の補修を余儀なくされた方々には、農作業に支障が出ているにもかかわらず工事を続けさせて頂けたこと深く感謝いたします。

本研究の後半部分は、一般財団法人国土技術研究センター（JICE）に出向中の1年9ヶ月の間に、プライベートな時間を使って取りまとめたものです。また、本稿の大半はこの時期に書き上げました。本研究はJICEの業務内容とは全く関わりのないのですが、何度も地盤施工学現場事例研究会への参加を認めて頂きました。心より御礼申し上げます。

また、本稿執筆の最終段階では、仙台にある株式会社ネクスコ・エンジニアリング東北に出向しておりました。ここでも、本研究は業務内容と直接的な関わりがありませんでしたが、度重なる東京への出張を認めて頂きました。深く感謝しております。

最後に、妻は、週末ごとに引きこもりになる夫を温かく見守ってくれました。口にはできませんが、本当にありがとうございます。

平成29年 7月 30日  
加藤真司

【付録 1】

土質試験結果一覧

土質試験結果一覧(1/5)

土層名	孔番	試料番号	測点		孔口標高 (GH m)	採取上端深度 (GL-m)	採取下端深度 (GL-m)	中心深度 (GL-m)	中心標高 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm³)	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 F <sub>c</sub> (%)	細粒分含率 D <sub>50</sub> (mm)	50%粒径 WL (%)	液性限界 WP (%)	塑性限界 WL (%)	分類記号	自然含水比 W <sub>n</sub> (%)	塑性指数 IP	液性指数 IL	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm³)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm³)	間隙比 e	飽和度 Sr	飽和密度 $\rho_{sat}$ (kN/m³)	段階荷重圧密試験				
Apt	B0-1	T1-1	13	+	22	R10	211.51	2	2.85	2.425	209.085	2.033	0	0.5	33.8	65.7	99.5	241.2	76.5(Pt)	405.4	164.7	1.996964	1.026019	0.203011	9.014223	91.43086	1.103153	17.13	4.56	9.015	
Ac	B0-1	T1-2	13	+	22	R10	211.51	4	4.85	4.425	207.085	2.583	0	0.4	61.8	37.8	99.6	51.1	29.5(MH)	58.2	21.6	1.328704	1.579348	0.998323	1.587338	94.7061	1.611826	96	0.45	1.587	
Apc	B0-1	T1-3	13	+	22	R10	211.51	7	7.85	7.425	204.085	2.422	0	0.7	45.2	54.1	99.3	153.6	51.4(CH)	116	102.2	0.632094	1.348927	0.624503	2.878284	97.61095	1.366657	71.51	1.58	2.878	
Dp1	B0-1	D1-1	13	+	22	R10	211.51	17	18	17.5	194.01	1.917	0.3	0.5	31.6	67.6	99.2	269.6	105.1(Pt)	120.6	164.5	0.094225	1.270941	0.576129	2.32738	99.33498	1.275592	203.8	1.32	2.327	
Dc2	B0-1	D1-2	13	+	22	R10	211.51	24	24.8	24.4	187.11	2.616	1.7	27.7	33.4	37.2	70.6	62.5	26.4(CH)	40.3	36.1	0.385042	1.739917	1.240141	1.109438	95.02538	1.766081	394.17	0.45	1.109	
Dc2	B0-1	D1-3	13	+	22	R10	211.51	27	27.55	27.275	184.235	2.642	0	16.1	50.5	33.4	83.9	55	31.4(MH)	47.8	23.6	0.694915	1.653974	1.119062	1.360906	92.79671	1.695496	427.46	0.51	1.361	
Dc2	B0-1	D1-4	13	+	22	R10	211.51	34	34.95	34.475	177.035	2.676	0	20.9	42	37.1	79.1	40.1	23.7(CL)	29	16.4	0.323171	1.898895	1.472012	0.81792	94.87968	1.921933	399.35	0.34	0.818	
Dc3	B0-1	D1-5	13	+	22	R10	211.51	39	39.6	39.3	172.21	2.665	0	15	45.7	39.3	85	48.3	26.3(CL)	34.6	22	0.372723	1.83152	1.360713	0.958523	96.19814	1.850127	801.94	0.35	0.958	
Apt	B0-2	T2-1	20	+	85	CL	211.59	2	2.85	2.425	209.165	1.67	0.7	1.5	13.8	84	97.8	499.5	162.5(Pt)	821.2	337	1.954599	0.951393	0.103278	15.17002	90.40227	1.041435	1.183	7.73	15.168	
Ac	B0-2	T2-2	20	+	85	CL	211.59	4	4.85	4.425	207.165	2.614	0	0.2	53.1	46.7	99.8	0.0063	55.9	31.4(MH)	53.6	24.5	0.906122	1.654504	1.077151	1.426772	98.20098	1.665081	123.44	0.38	1.427
Apc	B0-2	T2-3	20	+	85	CL	211.59	7	7.85	7.425	204.165	2.568	0	0.2	24.8	75	99.8	154.4	47.7(CH)	139.7	106.7	0.862231	1.325278	0.551764	3.6545166	98.1755	1.336902	49.75	2.16	3.653	
Ac	B0-2	T2-4	20	+	85	CL	211.59	10.5	11.35	10.925	200.665	2.636	0	1.6	60.6	37.8	98.4	0.0094	46.1	29.3(ML)	46.3	16.8	1.011905	1.707909	1.167402	1.258005	97.01614	1.742533	386.05	0.32	1.258
Dc1	B0-2	T2-5	20	+	85	CL	211.59	17	17.85	17.425	194.165	2.534	0	0.5	29.5	70	99.5	123.1	43.7(CH)	99.4	79.4	0.701511	1.397557	0.700881	2.615448	96.30456	1.42429	195.68	1.13	2.615	
Dc2	B0-2	T2-6	20	+	85	CL	211.59	24	24.65	24.325	187.265	2.598	1	28.3	41.9	28.8	70.7	0.022	43.4	23.7(CL)	30.8	19.7	0.360406	1.836471	1.40403	0.850388	94.09636	1.863603	592.08	0.26	0.85
Dc2	B0-2	T2-7	20	+	85	CL	211.59	28	28.8	28.4	186.19	2.611	0.5	24.8	32.5	42.2	74.7	0.01	65.8	34.6(MH)	63.7	31.2	0.932692	1.58536	0.968455	1.696048	98.0636	1.597541	337.97	0.64	1.697
Dc2	B0-2	T2-8	20	+	85	CL	211.59	31	31.85	31.425	180.165	2.603	0	0.5	43.5	56	99.5	0.0023	96.5	35.6(CH)	66.7	60.9	0.510673	1.575924	0.947525	1.747157	98.3529	1.585312	299.86	0.8	1.747
Dc2	B0-2	D2-1	20	+	85	CL	211.59	36	36.5	36.25	175.34	2.661	0	7.5	50.3	42.2	92.5	47.4	28.4(ML)	43.2	19	0.778947	1.721624	1.205394	1.207577	95.19488	1.752408	475.85	0.44	1.207	
Dp3	B0-2	D2-2	20	+	85	CL	211.59	41.5	42.4	41.95	194.64	1.798	0.9	7	27.9	64.2	92.1	214.5	94.3(Pt)	224.1	120.2	0.798867	1.071113	0.330488	4.440434	90.74154	1.146679	478.62	3.14	4.439	
Dc3	B0-2	D2-3	20	+	85	CL	211.59	44.5	45	44.75	166.84	2.602	0.1	2.8	46.2	50.9	97.1	0.0047	58.7	30.3(CH)	43.5	28.4	0.464789	1.744515	1.21569	1.140348	99.2565	1.748476	535.91	0.46	1.14
Apt	B0-3	T3-1	27	+	0	CL	210.75	2	2.87	2.435	208.315	2.054	0.3	1.8	24.3	73.6	97.9	419.7	128(Pt)	480.6	291.7	1.208776	1.036983	0.178605	10.50211	94.01261	1.09165	13.24	5.4	10.501	
Apc	B0-3	T3-2	27	+	0	CL	210.75	6	6.87	6.435	204.315	2.427	0.4	0.6	40.8	58.2	99	228.2	63.1(OH)	215.4	165.1	0.922471	1.190833	0.377563	5.428072	96.30967	1.221995	35.74	3.03	5.427	
Ac	B0-3	T3-3	27	+	0	CL	210.75	14	14.87	14.435	196.315	2.614	0	0.1	61	38.9	99.9	0.0009	68.8	34.4(MH)	68.7	34.4	0.997093	1.534077	0.903952	1.874574	95.7987	1.561474	157.88	0.69	1.874
Arc	B0-3	T3-4	27	+	0	CL	210.75	17	17.87	17.435	193.315	2.565	0	0.2	56.8	43	99.8	0.0075	92.6	42.2(MH)	119.6	50.4	1.535714	1.359714	0.161977	3.127783	98.04	1.057	3.141		
Dc1	B0-3	T3-5	27	+	0	CL	210.75	22	22.86	22.43	188.32	2.618	0.1	6.2	54.2	39.5	93.7	0.0076	63.9	32.1(MH)	61.7	31.8	0.930818	1.58536	0.980433	1.670249	96.7105	1.605936	182.2	0.67	1.67
Dp2	B0-3	T3-6	27	+	0	CL	210.75	24	24.88	24.44	186.311	1.996	1.7	3.2	23.9	71.2	95.1	259	103.1(Pt)	252.5	155.9	0.958037	1.312653	0.31232	5.211878	96.2461	1.404238	267.3	1.28	3.397	
Dc2	B0-3	T3-7	27	+	0	CL	210.75	29	29.82	29.41	181.34	2.555	0	0.6	45.3	54.1	99.4	0.0035	102.6	45.4(CH)	93.8	57.2	0.846154	1.442651	0.744400	2.432885	98.5245	1.453051	199.43	1.16	2.432
Dp3	B0-3	D3-1	27	+	0	CL	210.75	36	36.77	36.385	174.365	1.646	0.2	1	14.8	84	98.8	0.0047	320.4	137.6(Pt)	147	182.8	0.051422	1.186058	0.480185	2.427847	99.61133	1.188457	307.9	1.68	2.428
Dc3	B0-3	T3-9	27	+	0	CL	210.75	37.5	38.35	37.925	172.825	2.615	0	5.3	48.6	46.1	94.7	0.0067	544.6	187.9(Pt)	937.4	356.7	1.210205	0.942905	0.090891	1.815132	90.58998	1.031407	14.3	8.04	15.807
Apc	B0-1	I-4.0	23	+	70	CL	211.42	4	4.85	4.425	206.995	2.504	0	0.4	24.5	75.1	99.6	104.6	42(CH)	100.7	62.6	0.9377	1.417074	0.70339	2.559091	98.50909	1.424844	210.23	1.25	2.559	
Dc2	B0-1	I-35.0	23	+	70	CL	211.42	35	35.85	35.425	175.995	2.635	0	0.4	27.4	72.2	99.6	77.7	34.5(CH)	70.8	43.2	0.840278	1.555121	0.910492	1.894039	98.49744	1.564954	256.32	0.88	1.894	
Dp3	B0-1	I-38.0	23	+	70	CL	211.42	38	38.85	38.425	172.995	1.881	0	0.6	25	74.4	99.4	242	111.4(Pt)	168.7	130.6	0.438744	1.812168	0.439958	3.275407	98.68101	1.206062	471	2.37	3.274	
Dc3	B0-1	I-41.0	23	+	70	CL	211.42	41	41.62	41.31	170.11	1.769	0																		

## 土質試験結果一覧(2/5)

土層名	孔番	試料番号	測 点		孔口標高 (GH m)	採取上端 深度 (GL-m)	採取下端 深度 (GL-m)	中心深度 (GL-m)	中心標高 (GL-m)	土粒子の 密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 Fc	細粒分 含有率 D50 (mm)	50%粒径 WL (%)	液性限界 WP (%)	塑性限界 WP (%)	分類記号	自然含水比 Wn (%)	塑性指數 IP	液性指數 IL	潤滑密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	間隙比 e	飽和度 Sr	飽和密度 $\rho_{sat}$ (kN/m <sup>2</sup> )	段階載荷圧密試験		
			測定点	測定点																							初期間隙比 $e_0$	圧密荷重 $C_c$		
Apc	B1-1-4	T4-10.4	6 +	0R10	212.91	10.4	11.2	10.8	202.11	2.014	1.7	1.6	15.8	80.9	96.7	272.3	108.5 (OH)	234.2	163.8	0.767399	99.55026	1.176714	127.9	3.05	4.73					
Dc1	B1-1-4	T4-16.5	6 +	0R10	212.91	16.5	17.3	16.9	196.01	2.622	0	3.6	61.7	34.7	96.4	53	32.8 (MH)	45.8	20.2	0.643564	1.723	1.181756	2.128732	98.53483	1.731048	478.74	0.36	1.21		
Dp1	B1-1-4	T4-19.0	6 +	0R10	212.91	19	19.6	19.3	193.61	2.532	0	0.4	37.2	62.4	99.6	87.8	44.2 (MH)	124.7	43.6	1.864633	1.337	0.595016	3.255353	96.99121	1.360017	241.29	1.93	3.25		
Dc2	B1-1-4	T4-24.5	6 +	0R10	212.91	24.5	25.2	24.85	188.06	2.702	0.5	22.1	49	28.4	77.4	37.7	21.4 (CL)	25.2	16.3	0.233129	1.969	1.572684	0.718082	94.82256	1.990639	128.52	0.16	0.71		
Dc3	B1-1-4	T4-41.6	6 +	0R10	212.91	41.6	42.5	42.05	170.86	2.709	0	4	57.7	38.3	96	40.8	25.7 (ML)	34.5	15.1	0.582781	1.878	1.396283	0.940152	99.41001	1.880859	885.43	0.33	0.95		
Dc3	B1-1-4	T4-50.0	6 +	0R10	212.91	50	51	50.5	162.41	2.578	0	6.5	35	58.5	93.5	61.8	32.8 (MH)	56.3	29	0.810345	1.625	1.03667	1.479639	98.09241	1.636383	421.65	0.61	1.47		
Apt	B1-1-5	T5-0.8	9 +	62R3	211.53	0.8	1.6	1.2	210.33	1.762	0	1.9	12.1	86	98.1	571.6	164.7 (PT)	831.4	406.9	1.638486	1.018	0.109298	15.12019	96.87972	1.047267	11.87	8.06	15.11		
Apt	B1-1-5	T5-2.1	9 +	62R3	211.53	2.1	3	2.55	208.98	2.481	0.1	14	36.7	49.2	85.9	108	48.3 (OH)	120.7	59.7	1.21273	1.308	0.59266	3.186213	93.98514	1.35378	25.9	1.29	3.18		
Ac	B1-1-5	T5-3.0	9 +	62R3	211.53	3	3.8	3.4	208.13	2.64	0	1.8	52.6	98.2	98.2	49.6	31.7 (MH)	169.4	1.323353	1.313429	98.3485	1.703431	207.76	0.4	1.33	2.98				
Apc	B1-1-5	T5-6.2	9 +	62R3	211.53	6.2	7	6.6	204.93	1.82	0	0.4	15.7	83.9	99.6	390.6	145.6 (PT)	162.3	245	0.086163	1.197	0.456348	2.988124	98.85124	1.205607	75.96	1.54	2.98		
Ac	B1-1-5	T5-13.0	9 +	62R3	211.53	13	13.85	13.425	198.105	2.102	0.5	0.6	24.5	74.4	98.9	209.8	70.3 (OH)	175.7	139.5	0.75556	1.2	0.435256	3.829345	96.44506	1.228188	307.57	2.24	3.83		
Dp1	B1-1-5	T5-17.25	9 +	62R3	211.53	17.25	17.65	17.45	194.08	1.976	0	0.3	20.6	79.1	99.7	247.8	91.3 (PT)	168.5	156.5	0.493291	1.219	0.454004	3.352387	99.31908	1.224245	222.21	1.69	3.35		
Dc2	B1-1-5	T5-21.8	9 +	62R3	211.53	21.8	22.4	22.1	189.43	2.663	4.5	72.8	10.3	12.4	22.7	31.9	21.3 (SF)	28.2	10.6	0.650943	1.742	1.358814	0.957979	78.24219	1.848657	851.4	0.26	0.96		
Dc2	B1-1-5	T5-24.0	9 +	62R3	211.53	24	24.75	24.375	187.155	2.673	1.9	24.8	29.2	44.1	73.3	44.7	25.5 (CL)	31.9	19.2	0.33333	1.867	1.415466	0.888424	95.97752	1.885924	464.44	0.31	0.88		
Dp2	B1-1-5	T5-32.0	9 +	62R3	211.53	32	32.8	32.4	179.13	2.458	0	0.6	42.6	56.8	99.4	98.5	50.8 (OH)	54.3	47.7	0.073375	1.608	1.042126	1.358641	98.23746	1.618153	489.46	0.59	1.35		
Dc3	B1-1-5	T5-42.5	9 +	62R3	211.53	42.5	43.2	42.85	168.68	2.392	0	0.5	29.9	69.6	99.5	105.2	51.7 (OH)	69.3	53.5	0.328972	1.505	0.888955	1.609808	98.03967	1.517318	416.92	0.83	1.69		
Apt	B1-1-6	T6-0.2	17 +	20	211.75	0.2	1	0.6	211.15	1.533	0	1.5	8.6	89.9	98.5	591.7	224.4 (PT)	899.4	369.3	1.833198	0.909	0.090595	15.85457	86.96423	1.031623	13.26	9.43	15.86		
Apt	B1-1-6	T6-2.0	17 +	20	211.75	2	2.8	2.4	209.35	1.599	0	6.7	86.6	93.3	98.8	522.7	223.2 (PT)	797.4	299.5	1.917195	0.959	0.106864	1.31643	1.040032	1.040032	16.29	7.86	13.38		
Apc	B1-1-6	T6-7.0	17 +	20	211.75	7	7.6	7.4	204.35	2.583	0	0.2	23.4	76.4	98.8	132.7	58.1 (MH)	152.9	74.6	1.270777	1.29	0.510063	4.063881	97.18313	1.312606	63.74	2.56	4.06		
Dp1	B1-1-6	T6-18.0	17 +	20	211.75	18	18.4	18.2	193.55	1.847	0	0.3	16.9	82.8	99.7	291.6	112.6 (PT)	186.9	179	0.415084	1.159	0.403974	3.572078	97.663952	1.185255	192.83	1.76	3.57		
Dc2	B1-1-6	D6-24.5	17 +	20	211.75	24.5	25.3	24.9	186.85	2.601	5	19.9	37	38.1	75.1	69.1	35.2 (MH)	55.9	33.9	0.610619	1.629	1.044901	1.489232	97.63146	1.64317	246.87	0.62	1.41		
Dc2	B1-1-6	D6-26.9	17 +	20	211.75	26.9	27.7	27.3	184.45	2.634	0	1.5	56.9	41.6	98.5	60.9	32.7 (MH)	53.1	28.2	0.723404	1.657	0.822999	1.437078	97.85502	1.671403	269.58	0.46	1.28		
Dc2	B1-1-6	D6-36.5	17 +	20	211.75	36.5	37.4	36.95	174.8	1.68	0.7	0.4	10.7	88.2	98.9	332.5	174.4 (PT)	191.2	158.1	0.106262	0.959	0.329327	4.103134	78.32027	1.133299	49.24	2.35	3.24		
Dc3	B1-1-6	D6-45.0	17 +	20	211.75	45	45.65	45.325	166.425	2.564	0.5	6.5	34.2	58.8	93	79	38.8 (MH)	51.7	40.2	0.320896	1.653	0.808651	1.353048	97.97052	1.66467	489.13	0.57	1.35		
Apt	B1-2-1	T1-1	22 +	0R2	211.59	0.5	1.35	0.925	210.665	1.604	0.3	1.3	31.4	67	98.4	0.00161	593.2	201 (PT)	1190	392.2	0.251673	0.956	0.074109	20.6439	93.246106	1.027906	7.6	11.6	20.66	
Dc1	B1-2-1	T1-7	22 +	0R2	211.59	1.5	2.35	1.925	209.665	1.678	0	3.6	40.9	55.5	96.4	0.00349	401.9	155.6 (PT)	802.6	243.6	0.2626878	0.963	0.106692	14.72755	91.44515	1.043109	6.59	5.69	14.74	
Apt	B1-2-1	T1-8	22 +	0R2	211.59	24.5	25.11	24.705	186.885	2.466	0.2	22.6	40.8	36.4	77.2	73.2	39.4 (OHS)	853.9	317.2	0.2115069	0.965	0.101664	16.00216	91.78189	1.042348	18.9	8.11	30.97		
Dc2	B1-2-1	T1-10	22 +	0R2	211.59	28.1	28.9	28.5	183.09	2.538	0	0.5	41.1	58.4	99.5	0.00352	94.7	40.4 (OH)	84.7	54.3	0.815838	1.473	0.797509	2.182407	98.50068	1.483282	295	1.03	2.18	
Dp2	B1-2-1	T1-11	22 +	0R2	211.59	30	30.8	30.4	181.19	2.58	0	1.1	26.1	72.8	98.9	0.00168	97.7	38 (CH)	88.8	59.7	0.850921	1.474	0.78072	2.30464	99.40987	1.478116	269	1.31	2.30	
Apt	B1-2-1	T2-1	23 +	10CL	211.5	0.8	1.65	1.225	210.275	1.934	0.6	0.5	31.5	67.4	98.9	0.00208	441.4	137.3 (PT)	653.2	304.1	0.164911	1.017714	1.065144	9.38	9.38	13.33749	1.065144	9.38	6.57	13.33
Apt	B1-2-1	T2-2	23 +	10CL	211.5	1.8	2.65	2.225	209.275	1.57	0	0	33.7	66.3	100	0.00134	564	233.3 (PT)	959.1	330.7	0.219738	0.956	0.09265	16.39317	91.85454	1.032771	10.6	8.47	21.21	
Apt	B1-2-2	T2-3	23 +	10CL	211.5	2.8	3.65	3.225	208.275	1.999	0	0.5	27.7	71.8	99.5	0.00124	402.3	135.9 (PT)	452.9	266.4	1.18994	1.055	0.190812	9.476276	95.53288	1.095358	4.71	4.71	9.47	
Apc	B1-2-2	T2-4	23 +	10CL	211.5	3.9	4.75	4.325	207.175	2.224	0.1	0.4	35	64.5	99.5	0.00269	264.6	93.2 (OH)	275.5	171.4	1.063594	1.147	0.305459	2.6280837	97.5526	1.168113	17.7	2.96	6.28	
Apc	B1-2-2	T2-5	23 +	10CL	211.5	5.8	6.65	6.225	205.275	2.467	0	1	53.3	45.7	99	0.00651	151.7	54.8 (OH)	137.2	96.9	0.850361	1.323	0.357757	3.423072	98.87973	1.33167	35.4	1.55	3.42	
Apc	B1-2-2	T2-7	23 +	10CL	211.5	8	8.75	8.375	203.125	1.969	0	0.2	38.3	61.5	99.8	0.0024	351.2	149.6 (PT)	303.7	201.6	0.764385	1.12	0.275452	1.4649248	97.261071	1.135658	51.6	3.2	6.14	
Ac	B1-2-2	T2-8	23 +	10CL	211.5	12.1	12.9	12.5	199	2.498	0	0.2	35.2																	

土質試験結果一覧(3/5)

土層名	孔番	試験番号	測点		孔口標高 (GH m)	採取上端深度 (GL-m)	採取下端深度 (GL-m)	中心深度 (GL-m)	中心標高 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm³)	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 Fc	細粒分含率 Wn (%)	50%粒径 D50 (mm)	液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	分類記号	自然含水比 Wn (%)	塑性指数 IP	液性指数 IL	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm³)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm³)	間隙比 e	飽和度 Sr	飽和密度 $\rho_{sat}$	段階荷重圧密試験						
			孔口標高 (GH m)	採取上端深度 (GL-m)																													
Dc2	B1-2-4	T4-13	25	+	50	CL	211.19	28.2	29	28.6	182.59	2.557	0	0.7	41	58.3	99.3	0.00352	85.4	45.6	(MH)	65.8	39.8	0.507538	1.589	0.958384	1.668034	100.8676	1.583576	221	0.76	1.668	
Dc2	B1-2-4	T4-14	25	+	50	CL	211.19	30.5	31.3	30.9	180.29	2.436	0	0.3	40.5	59.2	99.7	0.00311	122.5	64.4	(OH)	95.8	58.1	0.540448	1.445	0.737998	2.300822	101.4284	1.435043	221	1.2	2.3	
Dc2	B1-2-4	T4-15	25	+	50	CL	211.19	33.5	34.3	33.9	177.29	2.515	0	0.2	31.3	68.5	99.8	0.00206	105.4	55.5	(OH)	95.7	49.9	0.805611	1.45	0.740933	2.394383	100.5209	1.446326	198	1.25	2.393	
Dp3	B1-2-4	D4-17	25	+	50	CL	211.19	38	38.8	38.4	172.79	1.846	0	13.1	56.7	30.2	86.9	0.0131	248.8	155.6	(Pt-S)	205.5	93.2	0.535408	1.157	0.378723	3.879551	97.88866	1.173786	391	2.9	3.876	
Dp3	B1-2-4	D4-18	25	+	50	CL	211.19	41.5	42.3	41.9	169.29	2.046	2.2	11.1	50.3	36.4	86.7	0.0127	262.1	165.9	(Pt-S)	200.5	96.2	0.359667	1.154	0.384027	4.327756	94.78855	1.19633	277	2.52	4.327	
Dp3	B1-2-4	D4-19	25	+	50	CL	211.19	45.5	46.3	45.9	165.29	2.483	0	2.5	37.4	60.1	97.5	0.00277	74.5	46.6	(OH)	97.9	27.9	1.83871	1.422	0.718545	2.455596	98.99256	1.429159	385	1.33	2.456	
Apt	B1-2-5	T5-1	28	+	20	CL	210.92	0.8	1.6	1.2	209.72	2.169	0	0.3	41.9	57.8	99.7	0.00242	328.9	119.9	(Pt)	376	209	1.225359	1.094	0.229832	8.473311	96.6559	1.12387	12.5	3.9	8.435	
Apc	B1-2-5	T5-2	28	+	20	CL	210.92	1.8	2.6	3.2	208.72	1.88	0.2	3.2	52.1	44.5	96.6	0.00653	544.9	226.9	(Pt)	873.1	318	0.230275	0.946	0.097215	18.33856	89.50691	1.045505	15.4	12.2	18.329	
Apt	B1-2-5	T5-3	28	+	20	CL	210.92	2.8	3.6	3.2	207.72	2.258	0	0.8	32.7	66.5	99.2	0.00234	330.4	138.2	(Pt)	411	192.2	1.419355	1.086	0.212524	9.624659	96.42295	1.118404	16.8	4.49	9.623	
Apc	B1-2-5	T5-4	28	+	20	CL	210.92	5	5.8	5.4	205.52	2.397	0	0.4	40.1	59.5	99.6	0.00326	234.1	111.7	(OH)	227.9	122.4	0.949346	1.163	0.354681	5.75818	94.86962	1.206712	41.3	2.91	5.757	
Apc	B1-2-5	T5-5	28	+	20	CL	210.92	7	7.8	7.4	203.52	2.44	0	0.2	32.6	67.2	99.8	0.00157	178.9	65.6	(OH)	154.1	113.3	0.781112	1.297	0.510429	3.780293	99.46425	1.301237	44.9	3.05	3.781	
Ac	B1-2-5	T5-6	28	+	20	CL	210.92	13	13.8	13.4	197.52	2.548	0	0.2	30.7	69.1	99.8	0.00161	133.5	55.9	(OH)	105.2	77.6	0.635309	1.422	0.692982	2.678681	100.1358	1.421011	81.8	1.21	2.676	
Ac	B1-2-5	T5-7	28	+	20	CL	210.92	15	15.8	15.4	195.52	2.464	0	0.4	39.6	60	99.6	0.00212	121.6	56.4	(OH)	120.8	65.2	0.98773	1.317	0.596467	3.130989	95.0662	1.354395	94.9	1.7	3.132	
Ac	B1-2-5	T5-8	28	+	20	CL	210.92	17	17.8	17.4	193.52	2.504	0	1.2	39.3	59.5	99.8	0.00288	118	58.4	(OH)	166.3	59.6	1.810403	1.244	0.467142	4.360251	95.50258	1.280584	96.2	2.23	4.362	
Dc1	B1-2-5	T5-9	28	+	20	CL	210.92	19	19.8	19.4	191.52	2.597	0	0.2	23.1	76.7	99.8	0.0023	90.6	42.3	(OH)	111.7	48.3	1.436853	1.371	0.647615	3.010101	96.3704	1.398244	124	1.7	3.009	
Dc1	B1-2-5	T5-10	28	+	20	CL	210.92	20.7	21.55	21.25	189.795	1.795	1.812	0	1.4	30.7	67.9	98.6	0.00159	329.8	172.5	(Pt)	232.4	157.3	0.380801	1.137	0.342058	4.27351	97.99265	1.153284	231	3.18	4.298
Dp2	B1-2-5	T5-11	28	+	20	CL	210.92	23.6	24.4	24	186.92	2.578	0	11.1	41.1	47.1	88.2	0.00577	69.9	39.8	(OH-S)	54.9	30.1	0.501661	1.612	1.040671	1.477247	95.80809	1.636997	180	0.571	1.478	
Dc2	B1-2-5	T5-12	28	+	20	CL	210.92	27.7	28.5	28.1	182.82	2.574	0	1.1	59.9	39	98.9	0.00775	90.1	54.3	(OH)	95.9	35.8	1.162011	1.395	0.712098	2.614671	94.40828	1.435448	145	1.07	2.614	
Dc2	B1-2-5	T5-13	28	+	20	CL	210.92	29.2	30	29.6	181.32	2.442	0	1.1	33.6	65.3	99.8	0.00218	145.7	59.8	(OH)	99.7	85.9	0.464494	1.372	0.687031	2.554427	95.31194	1.405691	153	1.54	2.555	
Dc2	B1-2-5	T5-14	28	+	20	CL	210.92	32.3	33.1	32.7	178.22	2.597	0	0.1	34.8	65.1	99.9	0.00234	80.9	42.5	(MH)	65	38.4	0.585938	1.562	0.946667	1.74331	96.83018	1.582143	146	1.744	1.744	
Dp3	B1-2-5	D5-16	28	+	20	CL	210.92	36	36.8	36.4	174.52	1.806	10.5	9.3	33.6	46.6	80.2	0.00781	406	228	(Pt-G-S)	263.4	178	0.198876	1.072	0.294994	5.122205	98.7023	1.131652	316	4.25	5.123	
Dc3	B1-2-5	D5-17	28	+	20	CL	210.92	37.8	38.5	38.15	172.77	2.451	0	3.5	43.9	52.6	96.5	0.00446	85.7	48	(OH)	71.7	37.7	0.628647	1.479	0.861386	1.845414	95.22889	1.509943	251	0.824	1.845	
Dc3	B1-2-5	D5-18	28	+	20	CL	210.92	39.3	40.1	39.7	171.22	1.908	0	0.8	38.6	60.6	99.2	0.00301	331.3	205.5	(Pt)	183.3	125.8	0.176474	1.157	0.40593	3.700317	94.51527	1.91378	259	2.56	3.701	
Dc3	B1-2-5	D5-19	28	+	20	CL	210.92	41.5	42.3	41.9	169.02	2.325	0	0.4	24	75.6	99.6	0.00145	129.8	57.3	(OH)	98.9	72.5	0.573793	1.375	0.691302	2.363218	97.30058	1.393968	205	1.03	2.364	
Apt	B1-2-6	T6-1	30	+	85	CL	211.45	1.2	2	1.6	209.85	1.99	0	0.2	29.4	70.4	99.8	0.01401	403.1	122.4	(Pt)	122.4	56.4	0.574429	1.574727	1.037491	1.472409	97.80928	1.636997	20.0	6.07	12.05	
Apt	B1-2-6	T6-2	30	+	85	CL	211.45	2.4	3.2	2.8	208.65	1.915	0	0.5	24	75.5	99.5	0.01401	411.2	139.7	(Pt)	644.6	217.5	0.136046	1.130646	1.071402	1.965004	11.8	7.25	13.08			
Apt	B1-2-6	T6-3	30	+	85	CL	211.45	14.4	15.2	14.8	196.65	2.574	0	0.8	31.6	67.6	99.2	0.00109	110.2	36.6	(CH)	101.3	73.6	0.870976	1.418	0.704421	2.654063	98.24415	1.430753	65.1	1.15	2.654	
Dc1	B1-5-12	T1-10	20	+	2	CL	212.41	7	7.8	7.4	205.01	2.495	0	0.4	18.9	80.7	99.6	0.00243	98.6	47.8	(MH)	100.4	50.8	0.103453	1.425	0.711078	2.500758	99.8494	1.426077	96.2	1.12	2.508	
Ac	B1-5-12	T1-13	20	+	2	CL	212.41	13	13.4	13.2	199.21	2.478	0	0.7	30.7	68.6	99.3	0.00243	158.9	62.1	(MH)	115.6	96.8	0.562686	1.361	0.631262	2.925472	97.91813	1.376515	168.4	1.64	2.927	
Apc	B1-5-12	T1-15	20	+	2	CL	212.41	15.1	15.5	15.33	197.08	2.577	0	0.6	37.9	61.5	99.4	0.002															

土質試験結果一覧(4/5)

土層名	孔番	試験番号	測点		孔口標高 (GH m)	採取上端深度 (GL-m)	採取下端深度 (GL-m)	中心深度 (GL-m)	中心標高 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm³)	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分含有率 $F_c$	50%粒径 $D_{50}$ (mm)	液性限界 $WL$ (%)	塑性限界 $WP$ (%)	分類記号	自然含水比 $W_n$ (%)	塑性指数 $IP$	液性指数 $IL$	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm³)	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm³)	間隙比 $e$	飽和度 $S_r$	飽和密度 $\rho_{sat}$	段階荷重密試験		
			測定値	標準値																									
Dc3	B3-1-1	D1-12	7 +	0	R140	211.37	39.9	40.7	40.3	171.07	2.63	0.19	4.22	48.14	47.45	95.59	55.4	31.1(VH1)	27.7	24.3	-0.13992	1.884	1.475333	0.782649	93.08264	1.91437	384	0.267	0.783
Dc3	B3-1-1	D1-13	7 +	0	R140	211.37	44.5	45.3	44.9	166.47	2.708	1.54	12.62	34.28	51.56	85.84	47	23.1(VL)	31.1	23.9	0.334728	1.898	1.44775	0.870489	96.74885	1.91313	986	0.309	0.871
Dc3	B3-1-1	D1-14	7 +	0	R140	211.37	46.5	47.3	46.9	164.47	2.697	0	12.89	56.91	30.2	87.11	40.1	23.7(VL)	29.5	16.4	0.353659	1.916	1.479537	0.822868	96.68805	1.930951	1180	0.306	0.824
Dc4	B3-1-1	D1-15	7 +	0	R140	211.37	53.3	54.1	53.7	157.67	2.552	0	0.68	45.61	53.71	99.32	80	38.8(VH2)	53.3	41.2	0.351942	1.64	1.069798	1.385498	98.17527	1.650596	690	0.668	1.385
Apt	B3-1-2	T1-1	8 +	30	R12	211.55	1	1.8	1.4	210.15	1.892						482.8	162.7(Pt)	371.6	320.1	0.652609	1.098	0.232824	7.126295	98.65817	1.109767	17.9	3.38	7.13
Ac	B3-1-2	T2-2	8 +	30	R12	211.55	2.6	3.4	3	208.55	2.633	0	1.7	42.1	56.2	98.3	63.9	28.9(GH)	63.3	35	0.982857	1.568	0.972443	1.707613	97.60345	1.603114	85.1	0.52	1.708
Ac	B3-1-2	T2-3	8 +	30	R12	211.55	3.9	4.7	4.3	207.25	2.624	0	6.7	64.8	28.5	93.3	45.6	28.9(ML-S)	46.1	16.7	1.02994	1.72	1.177276	1.22874	98.43675	1.728619	452	0.39	1.229
Apc	B3-1-2	T2-4	8 +	30	R12	211.55	6.2	7	6.6	204.95	2.503	0	1.2	42.4	56.4	98.8	113.1	44.6(OH)	120.1	68.5	1.10219	1.349	0.612903	3.083842	97.47915	1.368036	65.6	1.58	3.086
Apc	B3-1-2	T2-5	8 +	30	R12	211.55	7.8	8.6	8.2	203.35	2.051	0	0.7	61.3	38	99.3	240	123.9(OH)	158.6	116.1	0.29888	1.213	0.469064	3.372536	96.45223	1.240364	89.1	1.68	3.373
Ac	B3-1-2	T2-6	8 +	30	R12	211.55	8.8	9.6	9.2	202.35	2.627	0	0.5	50.1	49.4	99.5	48.7	30.8(ML)	45.8	17.9	0.837989	1.741	1.194102	1.19988	100.2655	1.739552	370	0.34	1.201
Apc	B3-1-2	T2-7	8 +	30	R12	211.55	13.5	14.3	13.9	197.65	2.008	0	2.7	52.1	45.2	97.3	265.1	132.8(OH)	191.5	132.3	0.443689	1.192	0.408919	3.910503	98.33312	1.205274	152	2.15	3.91
Dp1	B3-1-2	T2-8	8 +	30	R12	211.55	17.1	17.9	17.5	194.05	2.296	0	0.3	31.6	68.1	99.7	162.9	81.3(OH)	121	81.6	0.48652	1.32	0.597285	2.844061	97.68287	1.337143	171	1.31	2.843
Dc2	B3-1-2	D2-9	8 +	30	R12	211.55	21.7	22.5	22.1	189.45	2.493	0	5.3	55.6	39.1	94.7	97.4	48.3(MH-S)	51	49.1	0.054949	1.655	0.1096026	1.27458	99.75286	1.656385	483	0.48	1.275
Dp2	B3-1-2	D2-10	8 +	30	R12	211.55	28.4	29.2	28.8	182.75	2.356	0	0.5	55.8	43.7	99.5	133.9	67(OH)	77.3	66.9	0.153961	1.473	0.830795	1.835837	99.20205	1.478166	311	0.84	1.836
Dc2	B3-1-2	D2-11	8 +	30	R12	211.55	31.6	32	179.55	2.375	0.1	2.6	59.5	37.8	97.3	62.2	35.9(MH)	40.3	26.3	1.261582	1.041084	99.670701	1.71647	589	0.38	1.041			
Dc2	B3-1-2	D2-12	8 +	30	R12	211.55	34.3	35.1	34.7	176.85	2.539	0.3	12.7	53.9	33.1	87	66.6	35.3(MH-S)	38.9	31.3	0.115016	1.772	1.275738	0.990211	97.94252	1.773281	392	0.34	0.99
Dc3	B3-1-2	D2-13	8 +	30	R12	211.55	38.6	39.4	39	172.55	2.653	0.5	13.9	42.5	43.1	85.6	55.5	27.6(OH-S)	42.3	30.9	0.409376	1.756	1.234013	1.194897	97.59301	1.768874	440	0.39	1.151
Dc3	B3-1-2	D2-14	8 +	30	R12	211.55	44	44.8	44.4	167.15	2.703	0.1	15.2	45.5	39.2	84.7	41.9	22.4(CLS)	33.6	19.5	0.574359	1.869	1.398952	0.932161	97.43043	1.881397	596	0.3	0.933
Dc3	B3-1-2	D2-15	8 +	30	R12	211.55	50	50.8	50.4	161.15	2.676	0.2	8.8	58.2	32.8	91	38.8	22.7(CL-S)	33.9	16.1	0.695652	1.848	1.380134	0.938942	96.6156	1.864389	698	0.31	0.939
Apt	B3-1-3	T5-1	15 +	70	CL	211.62	1.5	2.3	1.9	209.72	1.799						385.4	148.3(Pt)	936.4	237.1	3.323914	0.97	0.092339	1.842859	91.14436	1.041011	9.97	0.84	18.486
Ac	B3-1-5	T5-2	15 +	70	CL	211.62	4.5	5.3	4.9	206.72	2.563	0	0.1	65.5	34.4	99.9	72.1	39(GH)	62.4	33.1	0.706949	1.591	0.97968	1.616161	98.95747	1.59744	118	0.47	1.616
Apc	B3-1-5	T5-3	15 +	70	CL	211.62	6.6	7.4	7	204.62	2.446	0	0.1	37.4	62.5	99.9	181	54.3(OH)	143.3	126.7	0.702447	1.289	0.529799	3.616849	96.91083	1.312021	57.8	1.96	3.616
Apc	B3-1-5	T5-4	15 +	70	CL	211.62	7.5	8.3	7.9	203.72	1.968	0	4.4	51.6	44	95.6	271.6	121.5(OH)	188	150.1	0.443038	1.179	0.409375	3.807328	97.17681	1.201359	86.6	1.83	3.807
Apc	B3-1-5	T5-5	15 +	70	CL	211.62	13.9	14.7	14.3	197.32	2.032	7.4	0.9	48.8	42.9	91.7	233.4	116.7(OH-G)	178.5	116.7	0.529563	1.216	0.436625	3.635382	99.26758	1.22175	185	2.02	3.653
Dp1	B3-1-5	T5-6	15 +	70	CL	211.62	17.4	18.2	17.8	193.82	1.908						281.6	144.9(Pt)	216.5	136.7	0.523775	1.155	0.364929	4.284846	97.69191	1.173666	210	2.68	4.226
Dc1	B3-1-5	T5-7	15 +	70	CL	211.62	21.2	22	21.6	190.02	2.612	0	7.1	42.2	50.7	92.9	62.4	28.9(OH-S)	34.8	33.5	0.176119	1.844	1.367953	0.904923	99.95085	1.842423	375	0.34	0.909
Dc2	B3-1-5	T5-8	15 +	70	CL	211.62	23.5	24.3	23.9	187.72	2.594	2.9	27.3	39.2	30.6	69.8	71.1	34.1(MHS)	56.1	37	0.594595	1.61	1.03139	1.515052	96.05174	1.633784	201	0.65	1.515
Dp2	B3-1-5	D5-9	15 +	70	CL	211.62	33.4	34.2	33.8	177.82	1.969	0	0.5	59.2	40.3	99.5	206.9	114(OH)	173.6	92.9	0.614555	1.181	0.431652	3.561544	95.97477	1.212428	492	2.3	3.561
Dp2	B3-1-5	D5-10	15 +	70	CL	211.62	36.4	37.2	36.8	174.82	2.303	0					331.2	194.2(Pt)	97.6	137	0.705111	1.376	0.696356	2.307215	97.41269	1.393987	336	1.18	2.306
Dc3	B3-1-5	D5-12	15 +	70	CL	211.62	47	47.8	46.4	164.22	2.734	0.1	14.2	41.5	44.2	85.7	43.7	23.9(CL-S)	39.9	19.8	0.808081	1.814	1.29664	1.108526	94.406275	1.823735	472	0.44	1.108
Apt	B3-1-1	T1-1	3 +	71	R13	215.618	6.3	7.1	6.7	208.918	2.157	0.4	5.3	30.5	63.8	94.3	284.1	81.5(OH)	186.3	202.6	0.206275	1.793	0.416696	4.176438	96.21813	1.223513	113.8	2.276	4.176
Apc	B3-1-1	T1-5	3 +	71	R13	215.618	16	16.8	16.4	199.218	2.002	0.7	6.4	40.9	52	92.9	269	89.1(OH)	187	179.9	0.541911	1.185	0.412892	3.848726	97.2719	1.206652	174.9	2.352	3.846
Dp1	B3-1-1	T1-6	3 +	71	R13	215.618	21	21.8	21.4	194.218	1.857	0	4.9	52.6	42.5	95.1	319	108.1(OH)	203.7	210.9	0.453295	1.161	0.382285	4.387653</					

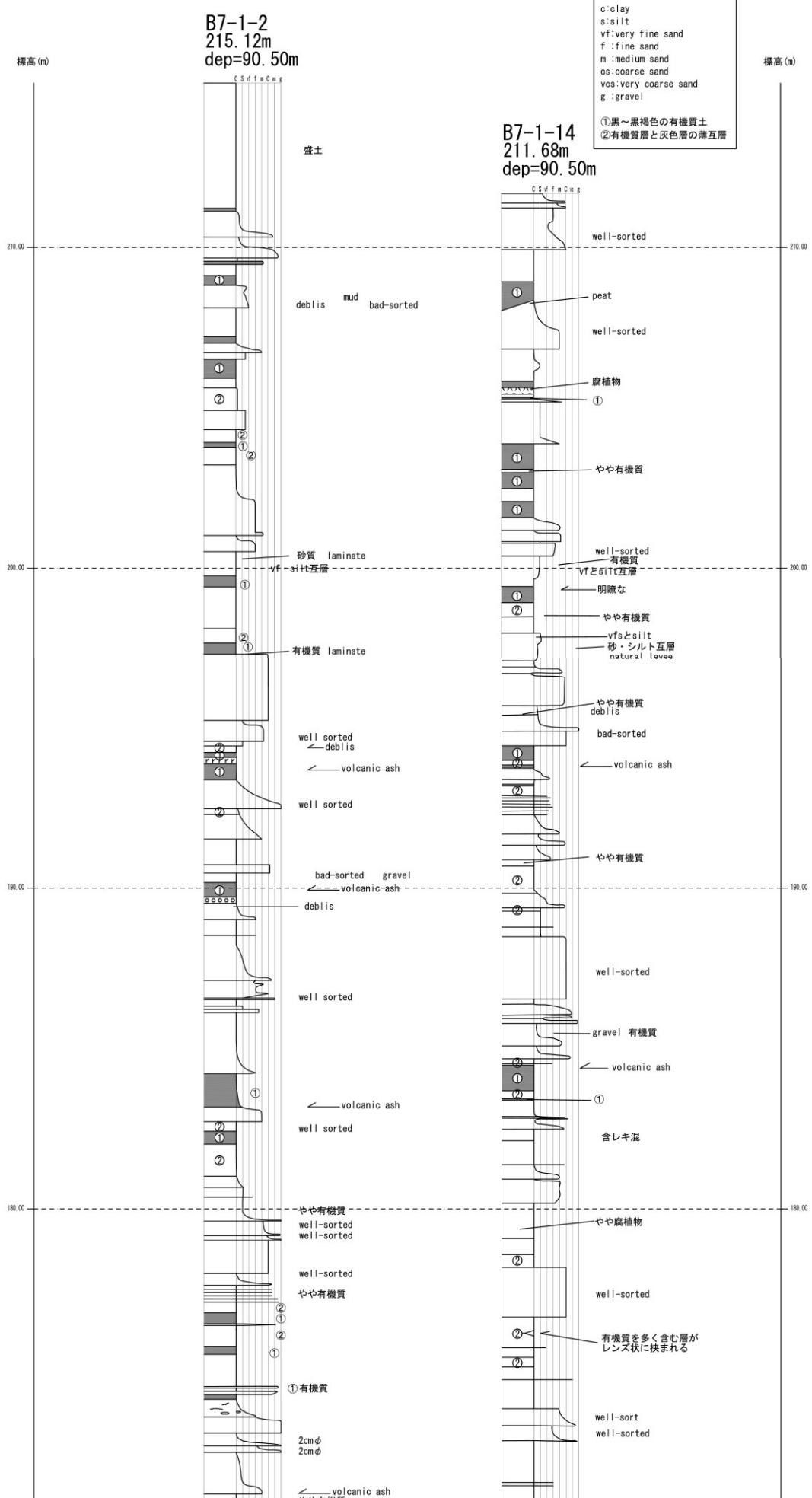
土質試験結果一覧(5/5)

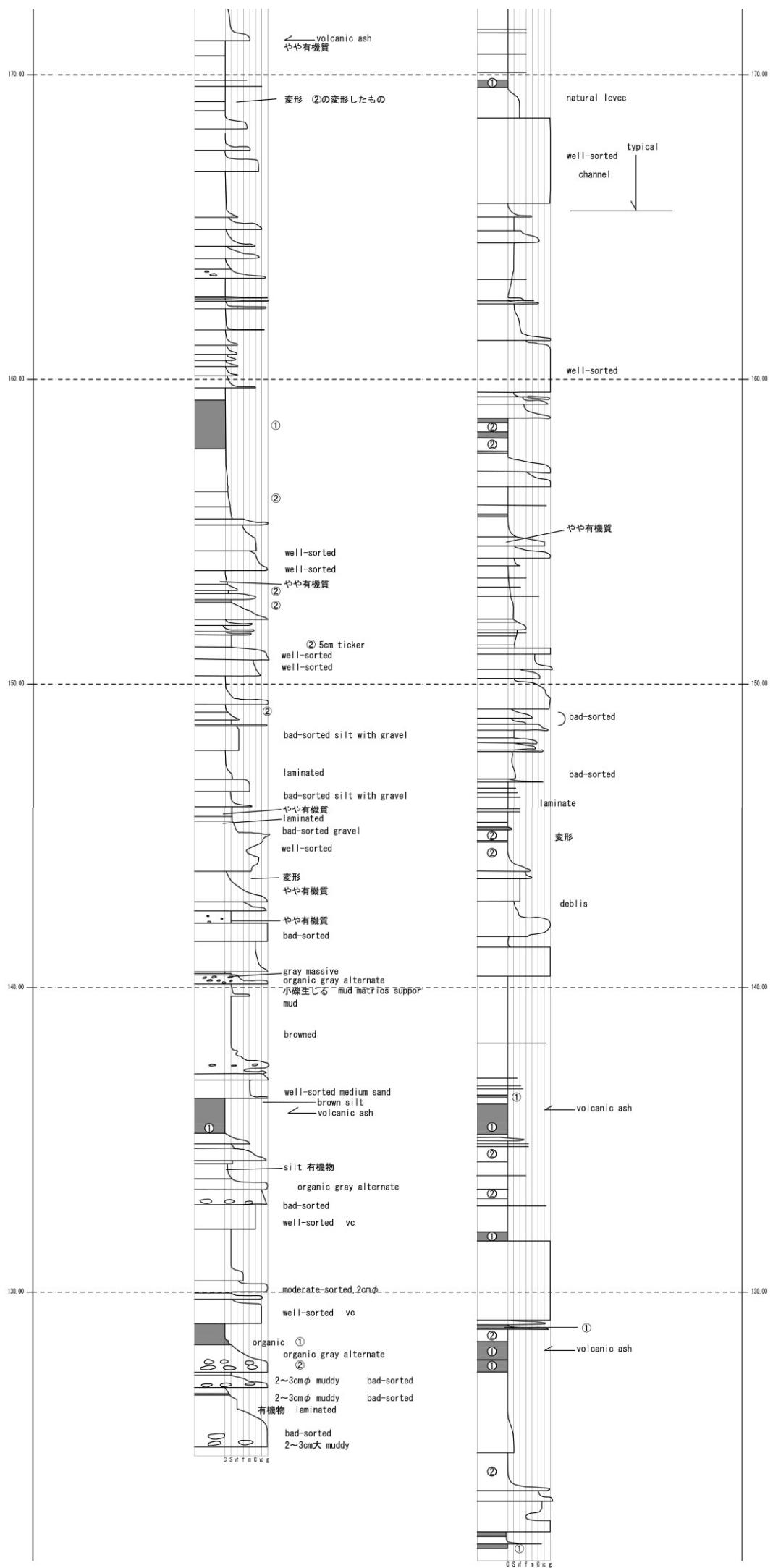
土層名	孔番	試験番号	測点		孔口標高 (GH m)	採取上端深度 (GL-m)	採取下端深度 (GL-m)	中心深度 (GL-m)	中心標高 土粒子の密度 $\rho_s$ (g/cm³)	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	細粒分含有率 $F_c$	50%粒径 $D_{50}$ (mm)	液性限界 $WL$ (%)	塑性限界 $WP$ (%)	分類記号	自然含水比 $W_n$ (%)	塑性指数 $IP$	液性指数 $IL$	湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm³)	乾燥密度 $\rho_d$	間隙比 $e$	飽和度 $S_r$	飽和密度 $\rho_{sat}$	段階荷重密試験		
			孔番	試験番号																						圧密荷重応力 (kN/m²)	圧縮指數 $C_c$	初期間隙比 $e_0$	
Dc3	B4-1-3	D3-20	21	+	80	L6	211.609	50.1	50.9	50.5	161.109	2.671				41.5	26.4	(ML)	37.4	15.1	0.728477	1.836	1.336245	0.998886	100.0068	1.835966	523.9	0.316	0.998
Dc4	B4-1-3	D3-21	21	+	80	L6	211.609	54	54.8	54.4	157.209	2.595				103	43.1	(OH)	82.2	59.9	0.652755	1.498	0.822173	2.156268	98.92507	1.505344	277.1	0.968	2.157
Apt	B4-1-4	T4-1	23	+	40	L10	211.474	1	1.8	1.4	210.074	1.849				483	177.1	(OH)	764.3	305.9	1.919582	1.032	0.19403	14.48538	97.55983	1.054826	8.4	7.684	14.492
Apt	B4-1-4	T4-2	23	+	40	L10	211.474	2	2.8	2.4	209.074	1.601				562.7	244.9	(OH)	941.8	317.8	2.192889	0.921	0.088405	17.109	88.12569	1.03186	8.6	8.69	17.1
Apt	B4-1-4	T4-3	23	+	40	L10	211.474	3	3.8	3.4	208.074	2.07				334.1	106.5	(OH)	455.6	227.6	1.533831	1.071	0.192765	9.738487	96.84173	1.099642	15	5.01	9.735
Apc	B4-1-4	T4-4	23	+	40	L10	211.474	4	4.8	4.4	207.074	2.195				264.9	95.5	(OH)	246.2	169.4	0.88961	1.171	0.338244	5.489402	98.44587	1.184146	21.2	2.732	5.491
Apc	B4-1-4	T4-5	23	+	40	L10	211.474	5.6	6.4	6	205.474	2.299				219.7	84.8	(OH)	188.9	134.9	0.771683	1.498	0.581354	4.581354	94.79318	1.232739	35.6	2.678	4.579
Apc	B4-1-4	T4-6	23	+	40	L10	211.474	7.6	8.4	8	203.474	1.969				320.5	123.7	(OH)	293.3	196.8	0.861789	1.117	0.284007	5.932925	97.33946	1.139768	43.9	2.996	5.932
Ac	B4-1-4	T4-7	23	+	40	L10	211.474	12	12.8	12.4	199.074	2.571				140.3	54.8	(MH)	91.1	85.5	0.424561	1.448	0.757718	2.393081	97.87304	1.463001	86.2	0.973	2.393
Dc1	B4-1-4	T4-8	23	+	40	L10	211.474	17.6	18.4	18	193.474	2.925				128.6	50.5	(MH)	152.5	78.1	1.306018	1.28	0.050693	3.906171	96.72611	1.306166	151.8	2.648	3.98
Dc1	B4-1-4	T4-11	23	+	40	L10	211.474	22	22.8	22.4	189.074	2.516				109.4	43.9	(CH-S)	55.1	65.5	0.170929	1.625	1.047711	1.401425	98.92187	1.631292	235.6	0.565	1.402
Dc2	B4-1-4	T4-12	23	+	40	L10	211.474	25.7	26.5	26.1	185.374	2.614				85.3	32.5	(CHS)	56.2	52.8	0.448864	1.609	1.03009	1.537643	95.54024	1.630623	228	0.655	1.538
Dc2	B4-1-4	D4-13	23	+	40	L10	211.474	32.6	33.4	33	178.474	2.532				142.2	48.3	(CH)	76.3	93.9	0.29819	1.507	0.854793	1.962121	98.46061	1.517197	279.5	1.285	1.962
Dc2	B4-1-4	D4-14	23	+	40	L10	211.474	35.6	36.4	36	175.474	2.584				73.7	39.9	(MH)	48	33.8	0.239645	1.668	1.127027	1.282758	95.94373	1.690871	374.1	0.495	1.293
Dp3	B4-1-4	D4-15	23	+	40	L10	211.474	37.1	37.9	37.5	173.974	2.26				145.2	63.9	(OH)	201.5	81.3	1.694297	1.15	0.381426	9.246253	1.212654	361.2	3.515	4.924	
Dp3	B4-1-4	D4-16	23	+	40	L10	211.474	41.3	42.1	41.7	169.774	1.698				323.6	120.1	(OH-S)	195.1	203.5	0.36855	1.13	0.382921	3.344335	96.46113	1.157408	429.2	2.587	3.435
Dc3	B4-1-4	D4-17	23	+	40	L10	211.474	44.7	45.5	45.1	166.374	2.465				97.5	45.3	(OH-S)	40.5	52.2	0.09195	1.742	1.239858	0.988131	101.0316	1.376873	62.75	0.329	0.988
Dc3	B4-1-4	D4-18	23	+	40	L10	211.474	49	49.8	49.4	162.074	2.687				36.8	20.4	(CLS)	38.2	16.4	1.085366	1.812	1.311143	1.049357	97.81556	1.823185	426.7	0.296	1.049
Dc4	B4-1-4	D4-20	23	+	40	L10	211.474	54	54.8	54.4	157.074	2.569				108.6	33.7	(CH-S)	76.7	74.9	0.574099	1.526	0.863611	1.97472	99.78239	1.527445	387.4	0.948	1.974
Apt	B6-1-1	T1-11	4	+	25.3	R6	212.86	4	4.85	4.425	208.435	2.204				149.3	60.3		127	89	0.749438	1.287	0.56698	2.887397	96.94179	1.309719	89.2	1.256	2.889
Apc	B6-1-1	T1-2	4	+	25.3	R6	212.86	9	9.7	9.35	203.51	2.127				225.8	91.2		188.5	134.6	0.728833	1.187147	95.75482	1.217268	161.5	2.246	4.189		
Dc2	B6-1-1	ID-1	4	+	25.3	R6	212.86	30.5	31.3	30.9	181.96	2.607				78.4	43.1		50.4	35.3	0.206799	1.697	1.128324	1.31056	100.2612	1.695519	453.3	0.488	1.31
Dc5	B6-1-1	ID-5	4	+	25.3	R6	212.86	76.5	77.4	76.95	135.91	1.562				300.9	157.5		172.8	143.4	0.106695	1.147	0.420455	2.715027	99.4147	1.151277	1163.1	2.149	2.716
Apt	B6-1-2	T2-1	5	+	1.75	R6	213.23	4	4.9	4.45	208.78	2.078				261.6	83.3		166.1	178.3	0.464386	1.232	0.462984	3.488278	98.94734	1.240181	75.2	1.773	3.49
Apc	B6-1-2	T2-2	5	+	1.75	R6	213.23	9	9.9	9.45	203.78	2.547				73.9	37.4		67	36.5	0.810959	1.57	0.94012	1.702929	99.83973	1.571011	177.1	0.611	1.709
Ac	B6-1-2	T2-3	5	+	1.75	R6	213.23	13.5	14.4	13.95	199.28	2.62				38.4	22.6		40.7	15.8	1.14557	1.757	1.248756	1.098088	97.10882	1.771232	402.3	0.371	1.097
Ac	B6-1-2	2D-1	5	+	1.75	R6	213.23	15.5	16.1	15.825	197.405	2.612				50.8	30.6		41.2	20.2	0.524743	1.773	1.255666	1.080171	99.62175	1.774936	104.5	0.339	1.081
Dp1	B6-1-2	2D-2	5	+	1.75	R6	213.23	18.5	19.5	19	194.23	2.047				228.5	99		237.6	129.5	0.107027	1.132	0.353508	5.104084	95.75281	1.171503	231.9	3.343	5.102
Dp2	B6-1-2	2D-3	5	+	1.75	R6	213.23	29.5	30	29.75	183.48	2.667				47.2	26.5		42.1	20.7	0.753623	1.739	1.223786	1.179302	95.20942	1.764924	513.4	0.443	1.179
Dc2	B6-1-2	2D-5	5	+	1.75	R6	213.23	36.5	37.6	37.05	176.18	2.492				101	47.1		38.7	53.9	0.155844	1.754	1.2646	0.970584	99.36329	1.757136	589.8	0.401	0.97
Dc3	B6-1-2	2D-8	5	+	1.75	R6	213.23	54.5	55.5	55	158.23	2.573				70.9	35.3		42.1	35.6	0.191011	1.737	1.223739	1.104912	98.0379	1.747299	684.1	0.475	1.104
Dc4	B6-1-2	2D-9	5	+	1.75	R6	213.23	66.5	66.85	66.675	146.555	2.649				60.5	28		38.1	32.5	0.310769	1.814	1.313541	1.016686	99.27044	1.817678	819.3	0.378	1.017
Dc4	B6-1-2	2D-10	5	+	1.75	R6	213.23	68.5	69.1	68.8	144.43	2.417				108	47.3		57.1	60.7	0.161455	1.589	1.011458	1.389621	99.31539	1.592891	906.1	0.714	1.391
Dc5	B6-1-3	3D-2	6	+	11.3	L6	212.55	82.5	8																				

【付録 2】

調査孔 B7-1-2, B7-1-14 の柱状図

静岡大学 北村晃寿教授 (2013)





**【付録 3】**

調査孔 B7-1-2, B7-1-14 で採取した火山ガラスの主成分化学組成分析結果

首都大学東京 鈴木毅彦教授 (2013)

表・付録3-1に、ボーリング調査孔B7-1-2およびB7-1-14のコアから採取した火山ガラスについて、主成分化学組成分析の結果を示す。

表・付録3-1 火山ガラス主成分化学組成（重量%）

		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Total Analytical total	測定 数
<b>始良Tnテフラ(AT)</b>												
B7-1-2	平均値	77.95	0.16	12.42	1.33	0.11	0.22	1.11	3.34	3.37	100.00	94.55 13
21.62-21.63 m	標準偏差	0.28	0.06	0.11	0.10	0.07	0.04	0.04	0.12	0.09	0.00	0.85
標準試料	平均値	77.87	0.20	12.43	1.34	0.11	0.22	1.14	3.25	3.44	100.00	96.65 710
	標準偏差	0.27	0.06	0.11	0.10	0.06	0.03	0.05	0.11	0.14	0.00	2.17
<b>沼沢金山テフラ(Nm-KN)</b>												
B7-1-2	平均値	77.81	0.23	12.62	1.04	0.14	0.29	1.12	3.43	3.33	100.00	97.28 16
31.59-31.66 m	標準偏差	0.22	0.05	0.11	0.10	0.04	0.05	0.09	0.14	0.08	0.00	0.60
B7-1-14	平均値	77.63	0.23	12.68	1.05	0.13	0.31	1.17	3.42	3.39	100.00	97.23 16
27.33-27.34 m	標準偏差	0.13	0.05	0.07	0.06	0.05	0.04	0.06	0.07	0.06	0.00	0.68
鈴木・早田(1994) による模式地	平均値	77.85	0.21	12.61	0.95	0.10	0.29	1.14	3.59	3.26	100.00	98.09 16
	標準偏差	0.16	0.06	0.05	0.07	0.06	0.04	0.05	0.11	0.07	0.00	0.77
<b>御岳奈川テフラ(On-NG)？</b>												
B7-1-14	平均値	75.37	0.26	13.73	1.53	0.12	0.41	1.66	3.49	3.42	100.00	93.26 14
39.39 m	標準偏差	0.36	0.07	0.07	0.13	0.06	0.03	0.05	0.07	0.19	0.00	0.83
<b>阿蘇4テフラ(Aso-4)</b>												
B7-1-2	平均値	71.81	0.50	15.07	1.79	0.15	0.51	1.30	4.34	4.53	100.00	97.75 17
44.16-44.23 m	標準偏差	0.83	0.08	0.28	0.20	0.10	0.11	0.26	0.14	0.13	0.00	1.10
北海道道東地域	平均値	72.09	0.48	14.92	1.67	0.17	0.47	1.21	4.46	4.53	100.00	95.70 20
	標準偏差	0.62	0.05	0.30	0.15	0.06	0.08	0.22	0.22	0.11	0.00	0.96

首都大学東京都市環境学部地理学教室所蔵の日本電子製走査型電子顕微鏡JSM-6390およびEDAX社製エネルギー分散型X線分析装置EDAX-Gensis APEX2を用いた測定。測定条件は、加速電圧15 kV、試料電流0.6 nA。

**【付録 4】**

平均有効応力を用いた場合の堆積年代の試算

関口・太田の弾粘塑性構成モデルでは、本編第5章で示したとおり、下式が導出される。

$$\frac{t_i}{t_c} = \left( \frac{p'_c}{p'_i} \right)^{\frac{\lambda-\kappa}{\alpha}} \quad (1)$$

ここに、 $t_i$ は堆積後の時間、 $t_c$ は段階載荷圧密試験の1載荷段階における試験時間、 $p'_i$ と $p'_c$ は有効土被り圧と圧密降伏応力(平均有効応力)、 $\lambda, \kappa$ はひずみと圧密圧力の関係 $e \sim \ln p$ における圧縮指数と膨潤指数、 $\alpha$ は同様にひずみと載荷時間の関係 $e \sim \ln t$ における二次圧密係数である。 $(\lambda = 0.4343C_c, \kappa = 0.4343C_s, \alpha = 0.4343C_\alpha)$

一方、Bjerrumの概念図では、式(2)のとおりとなる。

$$\frac{t_i}{t_c} = \left( \frac{\sigma'_{vc}}{\sigma'_{vi}} \right)^{\frac{C_c - C_s}{C_\alpha}} \quad (2)$$

式(1)と式(2)は、過圧密比を平均有効応力で求めているか、鉛直有効応力で求めているかの違いしかない。第5章では、式(2)を用いているが、ここでは式(1)による計算結果と比較してみる。

まず、 $p'$ と $\sigma'$ の関係は以下のとおりである。

$$p'_i = \frac{(1 + 2K_i)}{3} \sigma'_{vi} \quad (3)$$

$$p'_c = \frac{(1 + 2K_0)}{3} \sigma'_{vc} \quad (4)$$

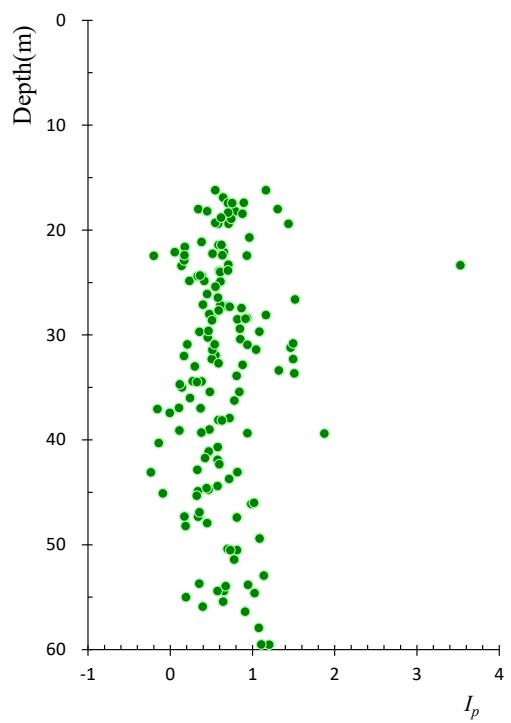
ここに、 $K_0$ と $K_i$ はそれぞれ正規圧密状態と過圧密状態における静止土圧係数である。粘性土の場合、塑性指数 $I_p$ と静止土圧係数の関係が以下のとおり整理されている<sup>[1], [2]</sup>。

$$K_0 = 0.44 + 0.0042 \cdot I_p \quad (5)$$

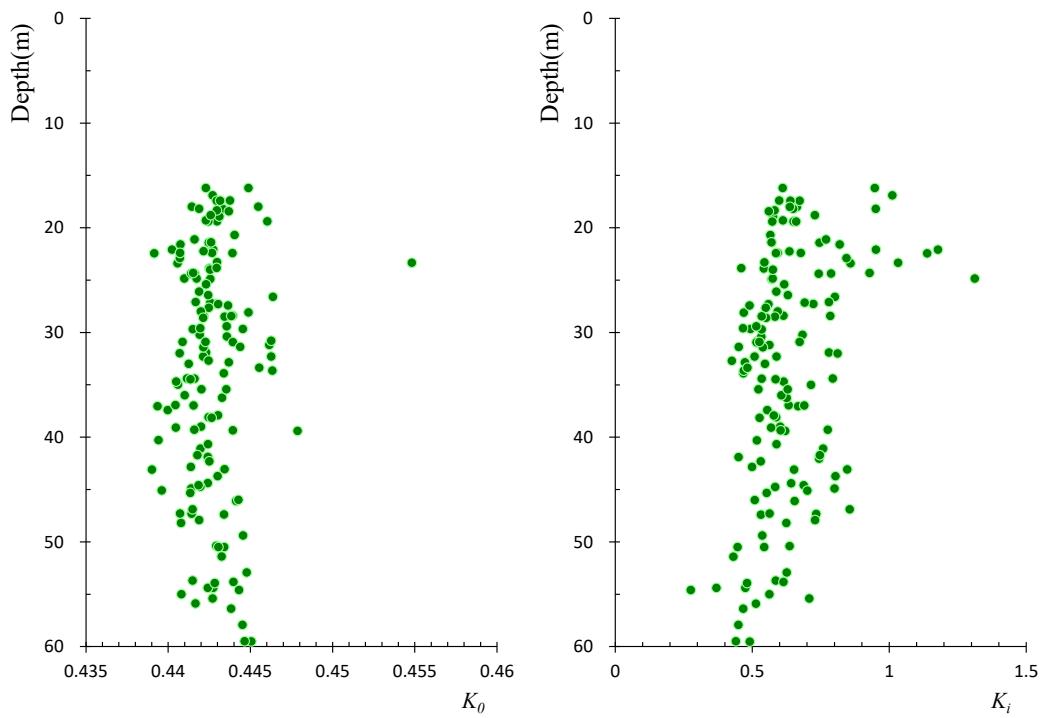
$$K_i = K_0 \left( \frac{\sigma'_{vc}}{\sigma'_{vi}} \right)^m \quad (6)$$

$$m = 0.54 \exp \left( -\frac{I_p}{122} \right) \quad (7)$$

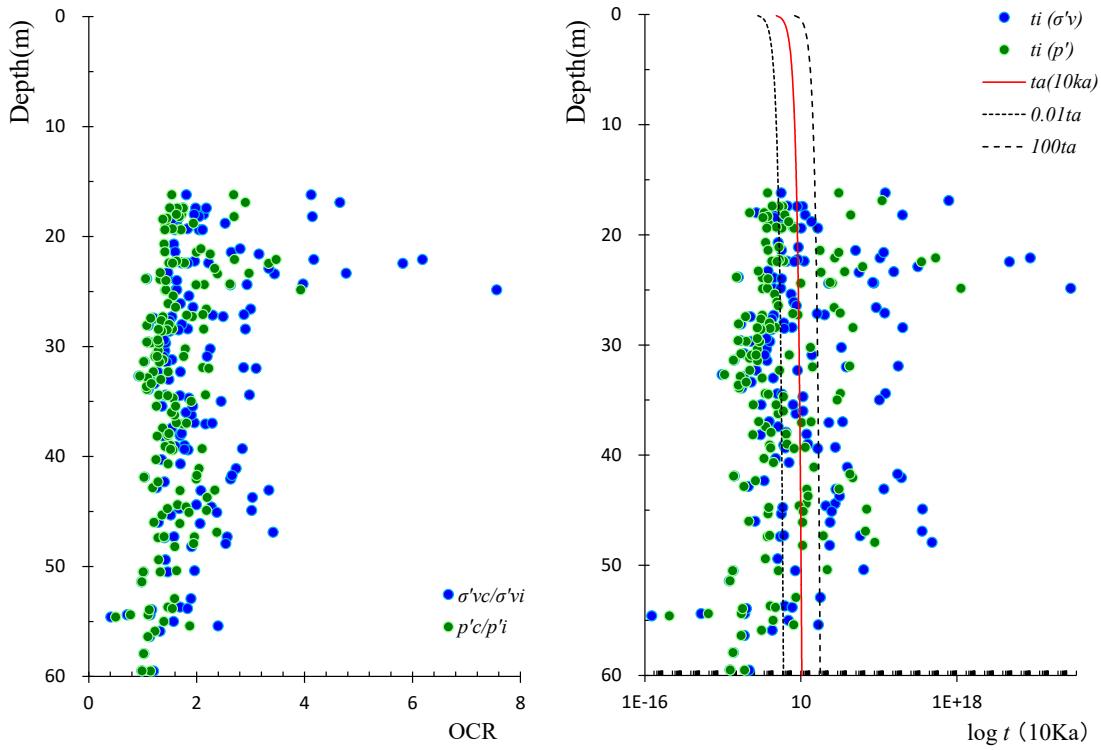
塑性指数および静止土圧係数の深度分布を、図・付録4-1および図・付録4-2に示す。



図・付録 4- 1 塑性指数の深度分布(更新統粘性土)



図・付録 4- 2 静止土圧係数の深度分布(更新統粘性土)



図・付録 4-3 過圧密比(左)と堆積年代の計算値(右)の深度分布

図・付録 4-3 (左図) に、過圧密比の深度分布について平均有効応力で求めた場合と鉛直有効応力で求めた場合を比較して示す。平均有効応力で求めた場合の方がバラつきが小さくなるが、過圧密比自体も小さく ( $\sigma'_{vc}/\sigma'_{vi}$  の中央値 1.70 に対し,  $p'_c/p'_i$  の中央値 1.47) なっている。

図・付録 4-3 (右図) は、左図の過圧密比で求めた堆積年代  $t_i$  の深度分布である。平均有効応力を用いた方が、計算結果のバラつきが数桁小さくなるが、計算結果が極端に小さくなる例も増えてしまう。

静止土圧係数を求めるうえで、式 (5) ~ (7) の適用性が確認できず、不確定な要素が増えてしまうことや、Bjerrum の概念図や第 6 章のアイソタック概念も 1 次元で考えられていることなどを勘案し、本編では一貫して鉛直有効応力を用いて論じるものとした。

- [1] R. K. Massarsch, "Lateral Earth Pressure in Normally Consolidated Clay," *7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 2, pp. 245-249, 1979.
- [2] I. Alpan, "The Empirical Evaluation of the Coefficient K<sub>0</sub> and K<sub>0R</sub>," *Soil and Foundations*, vol. 7, no. 1, pp. 31-40, 1967.
- [3] H. Sekiguchi and H. Ohta, "Induced anisotropy and time dependency in clays," *Proceeding of Specialty Session 9, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 229-238, 1977.

**【付録 5】**

試験結果の補正をした場合の堆積年代の試算

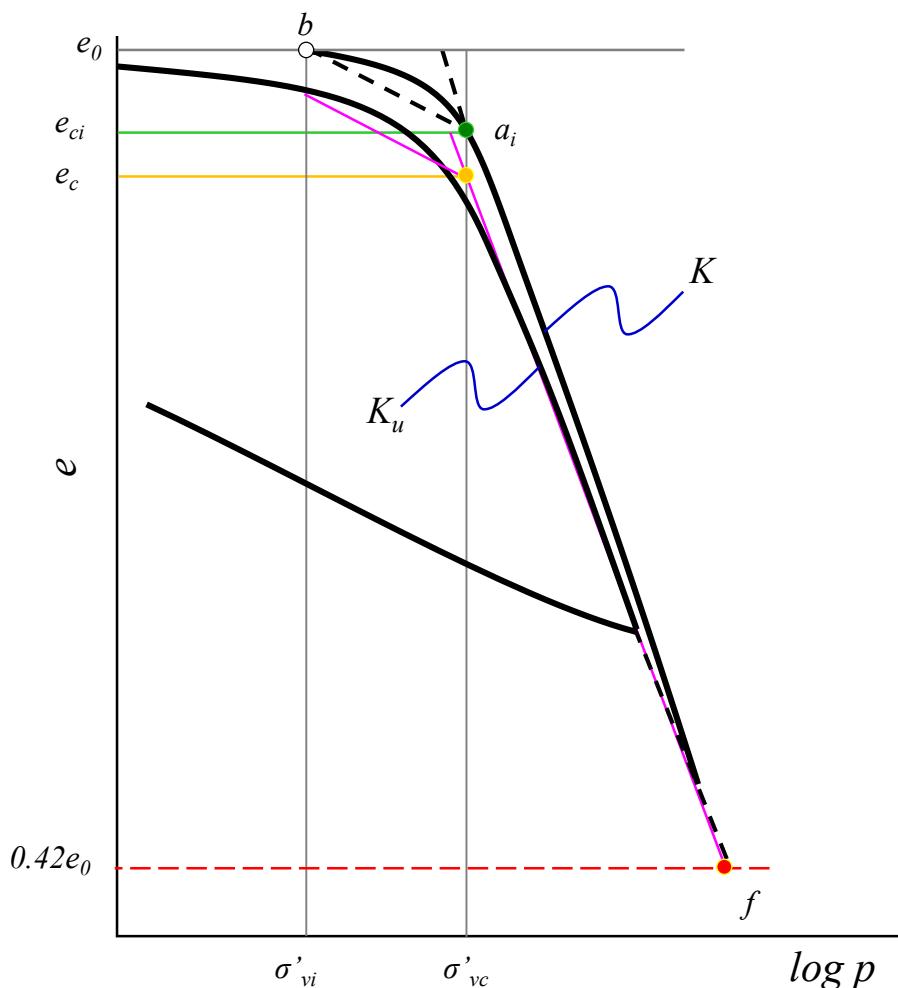
第5章及び第8章で述べたとおり、本研究で用いた様々な指標については、堆積年代の計算結果や過圧密比の大きさと関連が認められるものがなかった。

ここでは、更新統粘性土のすべてのデータを対象に、試験結果を補正した場合に堆積年代の計算値がどのようになるか試算してみる。

#### 【付録5-A】 Schmertmannの図解法による補正

Schmertmannの図解法<sup>[1]</sup>は、先行圧縮を受けた粘土の原地盤における間隙比と圧密圧力の関係を近似的に求める方法として知られる<sup>[2]</sup>。

図・付録5-1では、圧密試験で得られた圧縮曲線を $K_u$ とし、これを $K$ に補正する方法を示している。図の**b**点は、有効土被り圧 $\sigma'_{vi}$ において、原位置の間隙比が $e_0$ であることを表す。現地盤の圧縮曲線はこの点を通過するものとする。



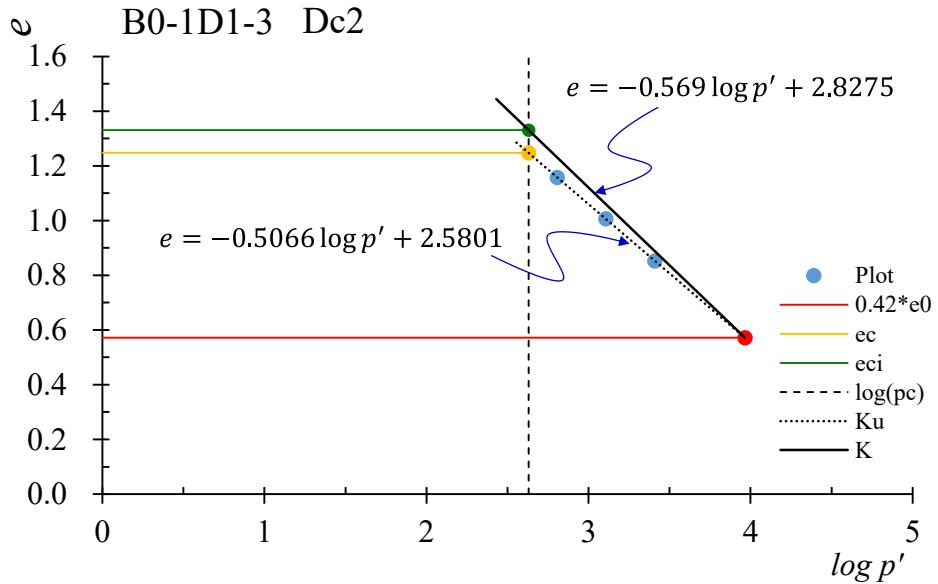
図・付録5-1 Schmertmannの図解法

Schmertmann は実験結果として、同じ試料の圧縮曲線は乱れの程度によらず  $0.42e_0$  でほぼ一点に会するとしている<sup>[3]</sup>。これは、圧密による骨格破壊に伴い、変形に抵抗する土粒子の反発力と圧密応力のつり合いの位置が、乱れの影響を受けずに等しくなるような粒子間平均距離に達したことを意味する<sup>[4]</sup>。図・付録 5- 1 では、この点を  $f$  としている。

線分  $b - a_i$  の傾きを膨潤指数  $C_s$ 、 $e_0$  を初期間隙比とすれば、 $e_{ci}$  と  $e_c$  を求めることができる。この、 $e_{ci}$  と  $e_c$  の差は、時間の差としてとらえることができる（式（1））。

$$\log \Delta t = \frac{e_{ci} - e_c}{C_s} \quad (1)$$

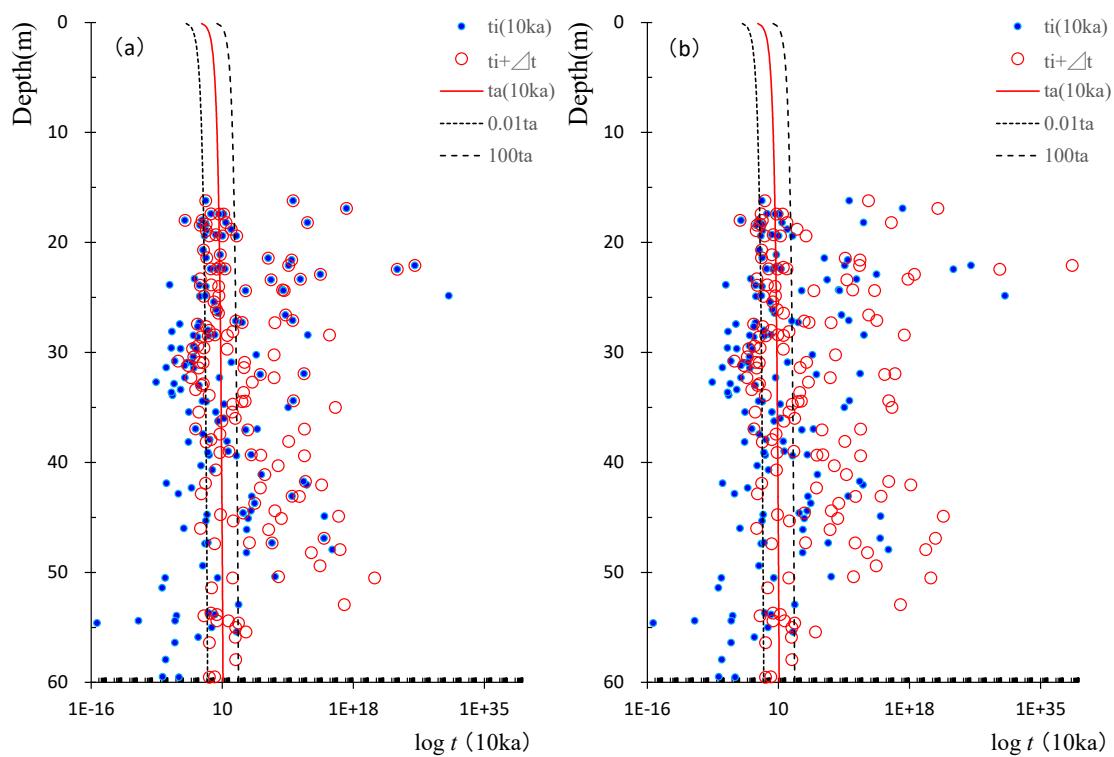
図・付録 5- 2 は、実際に図・付録 5- 1 の方法で圧縮曲線を補正した例である。この例の場合、 $\Delta t = 83366$  日となった。なお、図・付録 5- 2 では、横軸を Liner Scale としたうえ入力値を対数としている。



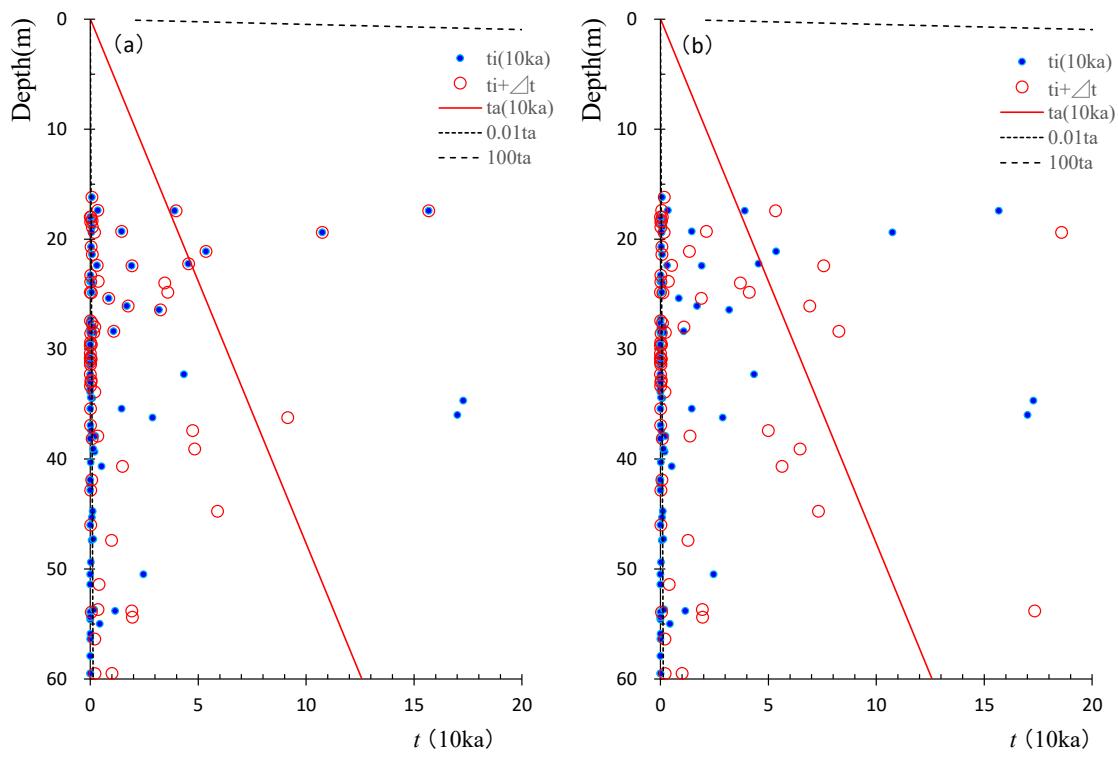
図・付録 5- 2 図解法による補正の例

図・付録 5- 3 に、 $\Delta t$ を加算して堆積年代の計算値  $t_i$  を補正した結果を示す。図 (a) では、 $\Delta t$ を加算するのみの補正としているが、図 (b) では、圧縮指數  $C_c$  を図・付録 5- 1 の曲線  $K$  の傾きに修正したうえで  $t_i$  を求め、 $\Delta t$ を加算している。図 (b) ではバラつきが増幅されており、図 (a) の方が良好に見える。

図・付録 5- 4 は、図・付録 5- 3 の横軸を Liner Scale としたものである。図 (a), (b) とも、0 に近いデータが依然多く存在することがわかる。



図・付録 5- 3 堆積年代の補正結果(左;  $C_c$ 補正なし, 右;  $C_c$ 補正あり)



図・付録 5- 4 堆積年代の補正結果(左;  $C_c$ 補正なし, 右;  $C_c$ 補正あり)Linear Scale

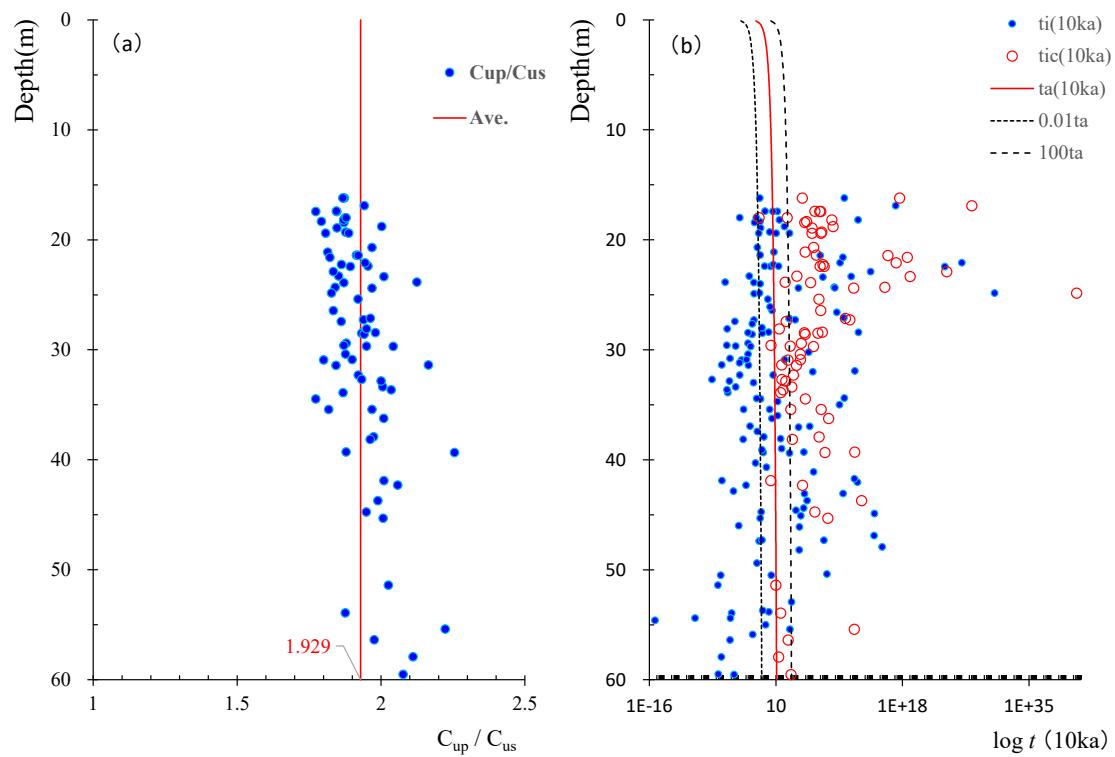
### 【付録 5-B】 中瀬らの方法による補正

中瀬らは、正規圧密粘土の非排水せん断強度 $q_u/2$ について、下式を提案している [5], [6].

$$\frac{C_{up}}{C_{us}} = \left[ \frac{\left\{ \frac{41}{(0.019I_p + 1.017)^2 - 1} + 91 \right\}}{\frac{E_{50}}{p_0}} \right]^{0.85} \quad (2)$$

ここに、  
 $C_{up}$  : 完全試料の強度  
 $C_{us}$  : 採取試料の $q_u/2$   
 $I_p$  : 塑性指数  
 $E_{50}$  : 変形係数  
 $p_0$  : 土被り圧

非排水せん断強度と圧密降伏応力の関係は、一般に一定である（強度増加率）ことが知られる。式 (2) は、原位置の強度が非排水せん断強度の試験値の何倍であるかを表すものであるが、圧密降伏応力にもそのまま適用できるはずである。式 (2) の計算結果は図・付録 5-5 (a) のとおりで、平均値は 1.929 となった。過圧密比が約 2 倍になることになる。 $t_i$  を求めた結果は、図・付録 5-5 (b) のとおりで、過大な補正となる状況である。



図・付録 5-5 式(2)の計算結果(a)と堆積年代の補正結果(b)

- [1] J. H. Schertmann, "Estimating the true consolidation behavior of clay from laboratory test results," *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, vol. 79, no. 10, pp. 1-26, 1953.
- [2] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice* 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1967.
- [3] J. H. Schertmann, "The Undisturbed consolidation behavior of clay," *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, vol. 120, pp. 1201-1233, 1955.
- [4] 最上武雄, *土質力学*, 技報堂, 1969.
- [5] A. Nakase, O. Kusakabe and H. Nomura, "A Method for Correcting Undrained Shear Strength for Sample Disturbance," *Soils and Foundations*, vol. 25, no. 1, pp. 52-64, 1985.
- [6] 土田孝, "三軸試験における自然粘性土地盤の強度決定法に関する研究," *港湾技研資料*, vol. 688, no. 12, pp. 1-200, 1990.

【付録 6】

関口・太田による弾粘塑性構成モデルの応力ひずみ関係

関口・太田による弾粘塑性構成モデル<sup>[1]</sup>では、弾性ひずみ増分 $\dot{\varepsilon}_{ij}^e$ と粘塑性ひずみ増分 $\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$ の和としてひずみの増分 $\dot{\varepsilon}_{ij}$ を表現する（式（1））。

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \dot{\varepsilon}_{ij}^e + \dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} \quad (1)$$

このうち、粘塑性ひずみ増分 $\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$ が、流動関数（式（2））と関連流れ則（式（3））に従うものとする。

$$F = \alpha \ln \left\{ 1 + \frac{t}{t_0} \exp \left( \frac{f}{\alpha} \right) \right\} - \varepsilon_v^{vp} = 0 \quad (2)$$

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} = d\Lambda \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} \quad (3)$$

ただし、

$$f = MD \ln \frac{p'}{P'_0} + D\eta^* \quad (4)$$

ここに、有効応力を $\sigma'_{ij}$ 、平均有効応力を $p'$ 、塑性ひずみを $\dot{\varepsilon}_{ij}^{vp}$ 、塑性体積ひずみを $\varepsilon_v^{vp}$ 、現在時間を $t$ 、基準時間を $t_0$ とし、二次圧密係数を $\alpha$ 、 $M$ を限界応力比、 $D$ をダイレイタンシー係数、 $\eta^*$ を一般化された応力比、 $d\Lambda$ は連続負荷条件( $\dot{F} = 0$ )から決定される定数( $d\Lambda > 0$ )とする<sup>[2]</sup>。

式（2）より、降伏関数は式（5）のとおりとなる<sup>[3]</sup>。

$$\alpha \ln \left\{ 1 + \frac{t}{t_0} \exp \left( \frac{f}{\alpha} \right) \right\} = \varepsilon_v^{vp}$$

$$1 + \frac{t}{t_0} \exp \left( \frac{f}{\alpha} \right) = \exp \left( \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)$$

$$\exp \left( \frac{f}{\alpha} \right) = \frac{t_0}{t} \left\{ \exp \left( \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) - 1 \right\}$$

$$\frac{\exp \left( \frac{f}{\alpha} \right)}{\exp \left( \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)} = \frac{t_0}{t} \left\{ 1 - \frac{1}{\exp \left( \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)} \right\}$$

$$\exp \left( \frac{f - \varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) = \frac{t_0}{t} \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) \right\}$$

$$f - \varepsilon_v^{vp} = \alpha \ln \left[ \frac{t_0}{t} \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) \right\} \right]$$

$$\bar{F} = f - \alpha \ln \left[ \frac{t_0}{t} \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) \right\} \right] - \varepsilon_v^{vp} \quad (5)$$

ここで、コンシスティンシー条件  $\dot{\bar{F}} = 0$  より、

$$\begin{aligned} \dot{\bar{F}} &= \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} \dot{\sigma}'_{ij} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \dot{\varepsilon}_v^{vp} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} \dot{\sigma}'_{ij} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \frac{\partial \varepsilon_v^{vp}}{\partial \varepsilon_{ij}^{vp}} \dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} \\ &= \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} \dot{\sigma}'_{ij} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} = 0 \quad (6) \\ &\left( \because \frac{\partial \varepsilon_v^{vp}}{\partial \varepsilon_{ij}^{vp}} = \delta_{ij} \right) \end{aligned}$$

$\delta_{ij}$  は、クロネッカーデルタである。

弾性成分を線形弾性体とすると、応力増分は以下のとおり表される。 $(D_{ijkl}^e)$  は弾性剛性テンソル。)

$$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl}^e \dot{\varepsilon}_{kl}^e \quad (7)$$

式 (1), 式 (7) より

$$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl}^e (\dot{\varepsilon}_{kl} - \dot{\varepsilon}_{kl}^{vp})$$

式 (3) を代入して

$$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl}^e \left( \dot{\varepsilon}_{kl} - d\Lambda \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \right) \quad (8)$$

式 (6), 式 (8) より

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D_{ijkl}^e \left( \dot{\varepsilon}_{kl} - d\Lambda \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \right) + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij}^{vp} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

式 (3) を代入して

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D_{ijkl}^e \left( \dot{\varepsilon}_{kl} - d\Lambda \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \right) + d\Lambda \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} = 0$$

$d\Lambda$ について整理すると

$$d\Lambda = \frac{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D^e_{ijkl} \dot{\epsilon}_{kl} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t}}{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D^e_{ijkl} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} - \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}}} \quad (10)$$

式(8), 式(10)より, 応力ひずみ関係は, 式(11)のとおりとなる.

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}'_{ij} &= D^e_{ijkl} \left( \dot{\epsilon}_{kl} - \frac{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \dot{\epsilon}_{mn} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial t}}{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} - \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{pq} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \right) \\ &= D^e_{ijkl} \dot{\epsilon}_{kl} - \frac{D^e_{ijkl} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \dot{\epsilon}_{mn} + D^e_{ijkl} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial t}}{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} - \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{pq} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}}} \\ &= \left( D^e_{ijkl} - \frac{D^e_{ijmn} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqkl}}{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} - \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{pq} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}}} \right) \dot{\epsilon}_{kl} \\ &\quad - \frac{D^e_{ijkl} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial t}}{\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D^e_{pqmn} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} - \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} \delta_{pq} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}}} \end{aligned} \quad (11)$$

式(5)より

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \varepsilon_v^{vp}} &= -\alpha \frac{1}{\frac{t_0}{t} \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) \right\}} \left( -\frac{t_0}{t} \right) \left( -\frac{1}{\alpha} \right) \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) - 1 \\ &= \frac{-\exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)}{1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)} - 1 \\ &= \frac{-1}{1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{F}}{\partial t} &= -\alpha \frac{1}{t} \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right) \right\} \left( -\frac{1}{t} \right) \\ &= \frac{\alpha}{t} \end{aligned} \quad (13)$$

式 (11), (12), (13) より, 式 (14) を得る.

$$\dot{\sigma}'_{ij} = \left( D_{ijkl}^e - C_1 \frac{D_{ijmn}^e \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{mn}} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{pq}} D_{pqkl}^e}{C_2} \right) \dot{\varepsilon}_{kl} - \frac{D_{ijkl}^e \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} \frac{\alpha}{t} C_1}{C_2} \quad (14)$$

ただし,

$$C_1 = 1 - \exp \left( -\frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)$$

$$C_2 = C_1 \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D_{ijkl}^e \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} + \delta_{ij} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}}$$

式 (4) のスカラー関数  $f$  は,

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}}$$

が成り立つ.

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{\partial f}{\partial p'} \frac{\partial p'}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial f}{\partial \eta^*} \frac{\partial \eta^*}{\partial \sigma'_{ij}}$$

$$\text{ここで, } \frac{\partial f}{\partial p'} = \frac{MD}{p'}, \quad \frac{\partial p}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{1}{3} \delta_{ij}, \quad \frac{\partial f}{\partial \eta^*} = D \text{ より}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{MD}{3p'} \delta_{ij} + D \frac{\partial \eta^*}{\partial \sigma'_{ij}} \quad (15)$$

一般化された応力比  $\eta^*$  は

$$\eta^* = \sqrt{\frac{3}{2} (\eta_{ij} - \eta_{ij0})(\eta_{ij} - \eta_{ij0})}, \quad \eta_{ij} = \frac{S_{ij}}{p'}, \quad \eta_{ij0} = \frac{S_{ij0}}{p'_0}$$

であるので

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \eta^*}{\partial \sigma'_{ij}} &= \frac{1}{2\eta^*} \frac{\partial \eta^{*2}}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{1}{2\eta^*} \frac{3}{2} \frac{\partial(\eta_{kl} - \eta_{klo})(\eta_{kl} - \eta_{klo})}{\partial \sigma'_{ij}} \\
&= \frac{3}{4\eta^*} \left\{ (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \frac{\partial(\eta_{kl} - \eta_{klo})}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial(\eta_{kl} - \eta_{klo})}{\partial \sigma'_{ij}} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \right\} \\
&= \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \frac{\partial \eta_{kl}}{\partial \sigma'_{ij}} \\
&\quad \left( \because \frac{\partial \eta_{klo}}{\partial \sigma'_{ij}} = 0 \right) \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \eta_{kl}}{\partial \sigma'_{ij}} &= \frac{\partial \left( \frac{S_{kl}}{p'} \right)}{\partial \sigma'_{ij}} \\
&= \frac{\partial \left( \frac{S_{kl}}{p'} \right)}{\partial p'} \frac{\partial p'}{\partial \sigma'_{ij}} + \frac{\partial \left( \frac{S_{kl}}{p'} \right)}{\partial S_{mn}} \frac{\partial S_{mn}}{\partial \sigma'_{ij}} \\
&= -\frac{S_{kl}}{p'^2} \frac{1}{3} \delta_{ij} + \frac{1}{p'} I_{klmn} \frac{\partial S_{mn}}{\partial \sigma'_{ij}} \quad (17)
\end{aligned}$$

$$I_{ijkl} = \frac{1}{2} (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk})$$

$$\sigma'_{ij} = p' \delta_{ij} + S_{ij}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S_{mn}}{\partial \sigma'_{ij}} &= \frac{\partial (\sigma'_{mn} - p' \sigma'_{mn})}{\partial \sigma'_{ij}} \\
&= \frac{\partial \sigma'_{mn}}{\partial \sigma'_{ij}} - \frac{\partial p'}{\partial \sigma'_{ij}} \delta_{mn} \\
&= I_{mni j} - \frac{1}{3} \delta_{il} \delta_{mn} \quad (18)
\end{aligned}$$

式 (17), (18) より

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \eta_{kl}}{\partial \sigma'_{ij}} &= -\frac{1}{3} \frac{S_{kl}}{p'^2} \delta_{il} + \frac{I_{klmn}}{p'} \left( I_{mni j} - \frac{1}{3} \delta_{il} \delta_{mn} \right) \\
&= -\frac{S_{kl}}{3p'^2} \delta_{il} + \frac{1}{p'} \left( I_{klij} - \frac{1}{3} \delta_{il} \delta_{kl} \right) \quad (19)
\end{aligned}$$

式 (16), (19) より

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \eta^*}{\partial \sigma'_{ij}} &= \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \left\{ -\frac{S_{kl}}{3p'^2} \delta_{il} + \frac{1}{p'} \left( I_{klij} - \frac{1}{3} \delta_{il} \delta_{kl} \right) \right\} \\
&= -\frac{1}{2\eta^* p'} \frac{S_{kl}}{p'} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \delta_{il} + \frac{3}{2\eta^* p'} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \left( I_{klij} - \frac{1}{3} \delta_{il} \delta_{kl} \right) \\
&= -\frac{1}{2\eta^* p'} \eta_{kl} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^* p'} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \quad (20)
\end{aligned}$$

$$\therefore (\eta_{kl} - \eta_{klo}) I_{klij} = \frac{1}{2} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) (\delta_{ki} \delta_{lj} + \delta_{kj} \delta_{li})$$

$$= \frac{1}{2} \{ (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) + (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \}$$

$$= \eta_{ij} - \eta_{ijo}$$

$$(\eta_{kl} - \eta_{klo}) \delta_{ij} \delta_{ki} = (\eta_{kl} \delta_{ki} - \eta_{klo} \delta_{kl}) \delta_{ij} = 0$$

$$\eta_{kl} \delta_{kl} = \frac{S_{kl}}{p'} \delta_{kl} = \frac{1}{p'} (\sigma'_{kl} - p' \delta_{kl}) \delta_{kl}$$

$$= \frac{1}{p'} (\sigma'_{kl} \delta_{kl} - p' \delta_{kl} \delta_{kl})$$

$$= \frac{1}{p'} (3p' - 3p') = 0$$

$$\eta_{klo} \delta_{kl} = \frac{S_{klo}}{p'_0} \delta_{kl} = \frac{1}{p'_0} (\sigma'_{klo} - p'_{_0} \delta_{kl}) \delta_{kl}$$

$$= \frac{1}{p'_0} (\sigma'_{klo} \delta_{kl} - p'_{_0} \delta_{kl} \delta_{kl})$$

$$= \frac{1}{p'_0} (3p'_{_0} - 3p'_{_0}) = 0$$

式 (15), (20) より

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}} &= \frac{MD}{3p'} \delta_{ij} + D \left\{ \frac{-1}{2\eta^* p'} \eta_{kl} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^* p'} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \\
&= \frac{D}{p'} \left\{ \frac{M}{3} \delta_{il} - \frac{3}{2\eta^*} \eta_{kl} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \\
&= \frac{D}{p'} \left[ \frac{1}{3} \left\{ M - \frac{3}{2\eta^*} \eta_{kl} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \right\} \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right]
\end{aligned}$$

$\beta = M - \frac{3}{2\eta^*} \eta_{kl} (\eta_{kl} - \eta_{kl0})$  とおくと

$$\frac{\partial f}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{D}{p'} \left\{ \frac{\beta}{3} \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \quad (21)$$

ここで、弾性剛性テンソルは、式 (22) のとおりである。

$$\begin{aligned} D_{ijkl}^e &= \left( K - \frac{2}{3} G \right) \delta_{ij} \delta_{kl} + G (\delta_{ik} \delta_{jl} - \delta_{il} \delta_{jk}) \\ &= K \delta_{ij} \delta_{kl} - \frac{2}{3} G \delta_{ij} \delta_{kl} + 2G I_{ijkl} \\ &= K \delta_{ij} \delta_{kl} + 2G \left( I_{ijkl} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \delta_{kl} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

ここに、体積弾性係数  $K = \frac{1+e_0}{\kappa} p'$ 、せん断弾性係数  $G = \frac{3(1-2\nu)}{2(1+\nu)} K$  であり、限界応力比  $M$  とダ

イレイタンシー係数  $D$  は  $M = \frac{\lambda-\kappa}{D(1+e_0)}$  の関係がある。なお、 $e_0$  は基準となる間隙比、 $\nu$  はボアソン比、 $\lambda$  と  $\kappa$  は圧縮指数と膨潤指数である。

式 (22) より、

$$\begin{aligned} D_{ijkl}^e \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} &= \frac{D}{p'} \left\{ K \delta_{ij} \delta_{kl} + 2G \left( I_{ijkl} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \delta_{kl} \right) \right\} \left\{ \frac{\beta}{3} \delta_{kl} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{kl} - \eta_{kl0}) \right\} \\ &= \frac{D}{p'} \left\{ \beta K \delta_{ij} + \frac{3G}{\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} D_{ijkl}^e \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{kl}} &= \frac{D^2}{p'^2} \left\{ \frac{\beta}{3} \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \left\{ \beta K \delta_{ij} + \frac{3G}{\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \\ &= \frac{D^2}{p'^2} \left\{ \beta^2 K + \frac{9G}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo})(\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \\ &= \frac{D^2}{p'^2} (\beta^2 K + 3G) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\left( \because (\eta_{ij} - \eta_{ijo})(\eta_{ij} - \eta_{ijo}) = \frac{3}{2} \eta^{*2} \right)$$

$$\delta_{ij} \frac{\partial \bar{F}}{\partial \sigma'_{ij}} = \frac{D}{p'} \delta_{ij} \left\{ \frac{\beta}{3} \delta_{ij} + \frac{3}{2\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\}$$

$$= \frac{D}{p'} \beta \quad (25)$$

式 (14), (22), (23), (24), (25) より式 (26) を得る.

$$\dot{\sigma}'_{ij} = \left[ K \delta_{ij} \delta_{kl} + 2G \left( I_{ijkl} - \frac{1}{3} \delta_{ij} \delta_{kl} \right) \right. \\ \left. - C_3 \frac{\frac{D^2}{p'^2} \left\{ \beta K \delta_{ij} + \frac{3G}{\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\} \left\{ \beta K \delta_{kl} + \frac{3G}{\eta^*} (\eta_{kl} - \eta_{klo}) \right\}}{C_4} \right] \dot{\varepsilon}_{kl} \\ - \frac{\frac{\alpha}{t} C_3 \left\{ \beta K \delta_{ij} + \frac{3G}{\eta^*} (\eta_{ij} - \eta_{ijo}) \right\}}{C_4} \quad (26)$$

ただし,

$$C_3 = 1 - \exp \left( - \frac{\varepsilon_v^{vp}}{\alpha} \right)$$

$$C_4 = C_3 \frac{D^2}{p'^2} (\beta^2 K + 3G) + \frac{D}{p'} \beta$$

- [1] H. Sekiguchi and H. Ohta, "Induced anisotropy and time dependency in clays," *Proceeding of Specialty Session 9, 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, pp. 229-238, 1977.
- [2] 社団法人 地盤工学会, "地盤の変形解析-基礎理論から応用まで-", *地盤工学・基礎理論シリーズ*, vol. 1, pp. 39-64, 2002.
- [3] 敦. 飯塚 and 秀. 太田, "塑性論的粘塑性論による関口・太田モデルの解釈," *第34回地盤工学研究発表会発表講演集*, pp. 595-596, 1999.