

河成堆積層地盤調查結果

Observation and Analysis of the Accumulated Sit Foundation

金 周 範*
Joo Bum Kim

Summary

Alluvial plain of the coast of Kum river tail were found as being mostly consisted of weak foundation. The settlement of the ground, density and change of moisture content which were formed by the load due the construction of earth works were disclosed by the field investigations and laboratory tests.

The results are as follow,

- 1) Banking materials are SM and soft soil stratum is CL.
- 2) Field moisture content; $W_f = 19 - 1.37c$
c; percentage of clay (less than 0.005mm)
- 3) optimum water content and maximum density of banking materials;
 $rt = 2.15 + 0.0165W (12\% <W> 24\%)$
- 4) Density and moisture content of banking materials;
 $rt = 2.146 - 0.0095W (8\% <W> 50\%)$
- 5) Density and moisture content of weak foundation;
 $rt = 2.06 - 0.007W$
After construction (20% <W> 50%)
Before construction (40% <W> 60%)
- 6) Load and settlement of weak foundation;
Everage settlement ratio; 12% of actual load p
Maximum " ; 19% of actual load p
Minimum " ; 5% of actual load p
- 7) Relation of cohesion and unconfined compression test value;
 $c = \frac{1}{2} q_u (q_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2)$
 $c = \frac{1}{3} q_u (q_u > 0.5 \text{ kg/cm}^2)$

I. 서 론

금강 하류연안에 널리 분포되어 있는 하성퇴적층은 그 생성 과정에서 감소의 영향을 많이 받아서 퇴적된 토층이다.

이러한 퇴적층은 현 하심에서 멀리 떨어져 있는 구릉지 주변 및 평탄지 근방까지 토질이 특히 미세한 입자로 구성되어 있고 유기질도 다량 함유되어 있으며 평균 함수비는 약 50%, 점토입자 (0.005m m)함량은 평균 약 20% 이상을 보여 통일 흙 분류로는 CL에 속하며 소성도의 A선위에 대부분 위치하고 있다.

본 원고에서는 이러한 공학적으로 열등한 이곳 연약 지반의 토공 시공현장에서 성토와 원지반과의 접촉부에서의 흙의 강도, 재하하중에 의한 침하량, 일축 압축시험치와 원추관입 저항치와의 관계등을 현장조사, 시료채취, 시험실 시험의 과정을 거친후 분석처리한 것으로 앞으로 이와 유사한 연약지반 구조물 축조의 계 및 시공에 도움을 주고자 동 분석 결과와 의미 해석의 개요를 기술 하였다.

II. 시 험

1. 현장시험

용수로 연장 약 18km 구간에 산재하여 있는 연약층을 대상으로 동층의 깊이와 강도를 화란식 이중관식 원추관입 시험기(Dutch Deep Sounding Apparatus)를 사용하여 조사하였으며 조사공수는 140공누계 조사 심도는 1,254m에 달한다.

조사로는 매 20cm길이의 콘 지지력을 측정하였고 성토 재료와 원지반 경계 부근에서 불교란 시료 336점을 채취하여 현장에서 바로 일축압축 시험을

표-1

성토용 재료의 기본 성질표

시 료 명	0.005	0.005 2 0.074	0.074 2 #4	1.104 2 9.52	LL %	PL %	PL %	G	분류	7dma g/cm ³	Wopt %	(D=92%) kcm/sec
56+30	8	31	61	—	33.9	27.7	6.2	2,387	SM	1,793	15.3	1.03×10 ⁻⁶
65	5	21	74	—	25.4	19.7	5.7	2,427	SM	1,929	12.5	5.93×10 ⁻⁶
73+52	5	15	80	—	—	N.P	—	2,602	SM	1,890	12.5	1.32×10 ⁻⁶
163+15	9	32	56	3	48.4	35.3	13.1	2,389	SM	1,730	15.1	1.05×10 ⁻⁶
173	11	39	50	—	43.5	29.0	14.5	2,465	SM	1,720	17.5	2.51×10 ⁻⁶
179	5	25	70	—	41.7	36.7	5.0	2,423	SM	1,587	23.2	3.58×10 ⁻⁶
159+20	20	46	34	—	34.8	15.7	19.1	2,667	CL	1,625	22.0	1.96×10 ⁻⁷
223	7	25	68	—	50.6	24.0	6.6	2,641	SM	1,840	14.0	1.76×10 ⁻⁶
226	5	25	70	—	38.2	25.5	12.7	2,406	SM	1,675	19.9	9.48×10 ⁻⁶

실시하였고 함수비와 흙의 단위습윤 중량을 측정하였다.

가. 콘(Cone) 지지력

이중관식 원추관입 시험기로 지반의 콘지지력 시험을 하여 주변 마찰력을 제외한 순수 선단(先端) 저항치를 매 20cm깊이마다 kg/cm² 단위로 읽었다.

나. 일축 압축시험

채취된 불교란 시료로 경 35mm 높이 70mm의 공시체를 만들어 프루빙링(Proving Ring)을 사용하여 일축 압축 시험치 gu를 읽었다.

다. 현장 함수비

현장 함수비를 측정하기 위하여 현장에서 용량 200gr 감도 0.01gr의 저울로 자연시료의 습윤중량을 계속하고 비닐봉지에 동시료를 담아서 시험실에 운반한 다음 110°C ±5로 건조하여 함수비를 계산하였다.

라. 현장 습윤 단위 중량

전기한바 현장에서 일축압축시험용 공시체로 습윤 단위 중량을 계산 하였다.

2. 실내 시험

현장에서 채취한 불교란 시료로 전기한 일축시험과 함수비를 시험한 외에 다음 물리성 시험을 시행하였다.

가. 비중시험(KSF 2308)

나. 입도분석시험(KSF 2302)

다. 액성한계시험(KSF 2303)

라. 소성한계시험(KSF 2304)

마. 함수비측정(KSF 2306)

바. 삼축압축시험

위의 제시험으로 흙의 분류를 하였고 흙의 점착력 내부 마찰각 및 제반성질을 규명하였다.

(표-1, 표-2 참조)

262+20	7	32	61	33.3	19.0	14.3	2,562	SC	1,850	13.7	1.60×10 ⁻⁷
268+15	6	22	72	38.5	17.7	21.5	2,404	SC	1,785	15.0	9.15×10 ⁻⁸
271+30	11	52	37	41.6	36.0	5.6	2,618	ML	1,795	18.0	—
273+20	7	26	67	37.0	24.7	14.3	2,395	SM	1,670	18.0	—

표-2

기초지반토의 시험결과 종합표

표시료명	0.005	0.005 ? 0.074	0.074 ? No4	No4 이상	L.L %	PL %	PI %	G	분류	φ	C kg/cm ²	q _p g/cm ²	k _f g/cm ²	γ _t	W _f %
8-0	24	71	5	—	38.4	20.67	17.73	2,601	CL	6	0.20	0.42	1,712	45.20	
8-1	24	57	19	—	43.0	18.00	25.0	2,622	CL	15	0.07	0.35	1,521	52.60	
8-2	3	24	73	—		N	P	2,685	SM	39	0.25	0.21	1,825	26.50	
9-1	32	55	13	—			P	2,450	MC	14	0.15	0.61	1,631	86.90	
9-2	16	60	24		39.0	15.9	23.1	2.64	CL	8	0.15	0.10	1,657	49.60	
10-1	2	11	87		39.0	31.2	7.8	2,625	SM	40	0.11	0.61	2,080	26.10	
52-1	20	71	9		36.5	18.2	18.3	2,660	CL	4	0.16	0.26	1,937	46.50	
52-2	2	11	87			N	P	2,666	SM	40	0.15	0	1,906	15.63	
52-3	22	67	11		38.5	20.6	17.9	2,655	CL	5	0.40	1.08	1,871	32.40	
52-4	20	76	4		40.0	22.6	17.4	2,652	CL	8	0.08	0.13	1,716	48.40	
51-1	17	64	19		44.2	24.4	19.8	2,577	CL	4	0.14	0.22	1,741	53.00	
51-2	6	22	72		42.2	27.2	15.0	2,617	SM	46	0.10	0.31	1,978	30.60	
428-1	17	69	14		37.8	13.5	24.3	2,619	CL	6	0.08	0.11	1,827	48.70	
428-2	20	64	16		36.3	16.8	19.5	2,641	CL	16	0.51	1.60	1,720	26.00	
427-1	24	62	14		49.9	20.5	29.4	2,650	CL	6	0.15	1.74	1,596	58.56	
427-3	20	50	30		27.5	15.9	11.6	2,620	CL	9	0.21	0.30	2,168	23.20	
72-3	32	52	16		47.7	24.2	23.5	2,521	CL	0	0.17	0.22	1,476	72.50	
72-2	28	59	13		47.5	29.5	18.0	2,600	ML	0	0.11	0.16	1,659	63.60	
S-1	15	77	8		35.2	21.5	13.7	2,664	CL	0	0.21	0.36	1,908	46.15	
S-2	17	72	11		42.5	19.6	22.9	2,657	CL	0	0.24	0.52	1,613	43.00	
S-3	22	74	4		35.5	20.5	15.0	2,655	CL	2	0.07	0.08	1,745	52.20	
S-4	3	17	80			N	P	2,636	SM	35	0.35	0.34	1,984	18.00	
53-1	21	64	15		35.2	21.0	14.2	2,627	CL	4	0.22	0.43	1,900	49.50	
S-5	16	78	6		33	20.2	12.8	2,664	CL	4	0.10	0.22	1,755	50.70	
56-3	28	64	8		42.4	22.4	20.0	2,681	CL	0	0.24	0.61	1,891	40.50	
S-7	28	66	6		45.9	19.9	26.0	2,646	CL	4	0.25	0.42	1,620	46.00	
S-8	25	65	10		37.3	22.6	14.7	2,564	CL	0	0.28	0.69	1,839	46.00	
S-9	2	9	89			N	P	2,605	SM	48	0.14	0	1,700	17.00	
72-6	26	55	19		39.4	22.4	17.0	2,549	CL	3	0.32	0.68	1,770	46.10	

토로 이루어진. 연약지반은 대부분 저소성 점질토 CL에 속하고 A선 위에 위치한다.

한편 이곳에 사용된 토공재료는 화강암 편마암이 풍화된 잔적토를 사용하였으며 그 분류는 SM가 대부분을 차지하고 있으며 기타 SC, ML도 일부 있었다.

II. 결과 및 고찰

1. 현장 시험과 실내시험

가. 소성도

소성도 (그림 1)에서 보는바와 같이 하성 퇴적

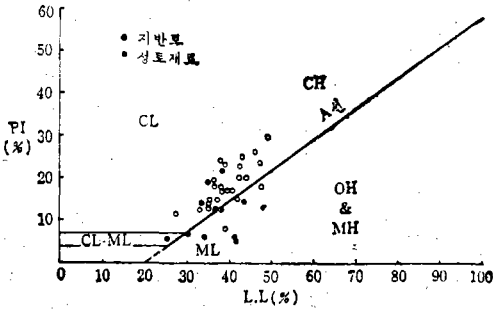


그림 1. 소성토

나. 현장함수비와 점토립자함량(퇴적토)

그림 2에서 현장의 자연 함수비와 점토립자 (0.05mm이하) 함량과의 관계를 보면 점들이 넓은 범위에 걸쳐 널려 있으나 대략 $W_f = 19 + 1.37 C$ 의 관계를 나타내고 있다.

즉 함수비는 점토립자함량에 비례함을 알 수 있다.

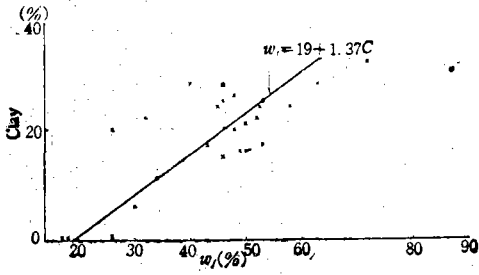


그림 2. C ~ W_f

다. 성토재료의 최대 밀도와 최적함수비

본 수료에 사용된 성토재료의 성질은 "성토용 재료의 기본성질표" (표-1)에서 보는바와 같이 대부분이 SM재료이다.

그림 3에서 이 성토 재료는 표준 다짐 시험에서 함수비 12%와 24% 사이에서 습윤밀도의 변화는 $\gamma_s = 2.15 - 0.0165w$ 이며 그림 4에서 보는바와 같이 실제 시공성토의 밀도~함수비 곡선은 $\gamma_s = 2.146 - 0.0095w$ 로 현장 성토시공은 시방서에 의하면 다짐율을 92% 이상으로 정하였는바 $0.92\gamma_{smax}$ 보다는 모두 뒷 부분에 위치하고 있음을 보여 주고 다만 함수비에 있어서 연약지반 흙의 과 포화수가 상승하여 성토재료에 함수비가 많아졌다.

이것으로 미루어보아 연약지반과 성토의 접촉부분은 상당히 연약하리라는 생각을 제거하는 좋은 자료를 이 그림에서 제공받았으며 앞으로는 별다른 사고가 없을 것으로 기대된다.

그 이유로는 시공 밀도가 크며 (이는 중장비 사

용에 인함)에 따라 전단강도가 커지기 때문이다. 표준 다짐시험 곡선과 시공밀도곡선에서 함수비 24%를 기준으로 함수비가 적은 측에서는 시공 밀도가 적게 나타났고 함수비가 많은 측에서는 시공 밀도가 크게 나타났다.

이는 함수비가 적으면 다짐 에너지가 많이 소모되며 같은 에너지를 주어도 함수비가 많을 때 보다는 밀도의 증가가 덜하다는 것을 여실히 나타내 주고 있는 좋은 예라 하겠다.

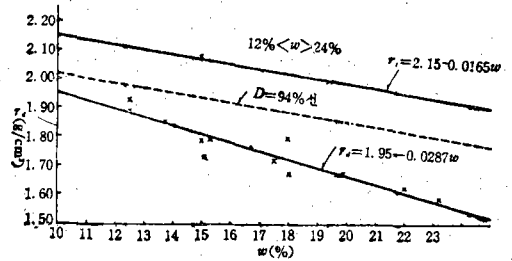


그림 3. 성토 재료의 최대밀도와 최적함수비

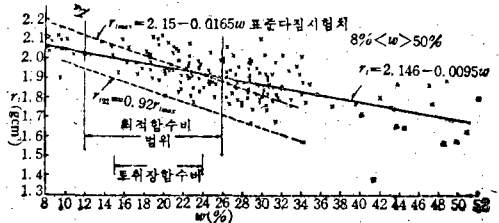


그림 4. $\gamma_s \sim W$ 관계(성토)

라. 연약지반의 밀도와 함수비

그림 5에서 연약지반상에 일정한 하중이 재하된 후에도 밀도와 함수비와의 관계를 채취된 불교란 시료에서 측정하였는바 그 관계는 $\gamma_s = 2.06 - 0.007W$ ($20\% < W < 50\%$)의 관계가 성립됨을 알 수 있었다.

지반 함수비는 40%에서 $\pm 10\%$ 사이가 많이 있으며 그림 6에서 보는바와 같이 밀도~함수비 곡선의 식에는 별 변동이 없으나 함수비는 50%에서 $\pm 10\%$ 사이에도 산재해 있음을 알게 되었고 이 10% 함수비 감소가 즉 시공성토 재료인 성토 (그림~4)에서 토취장 함수비 평균 20%에서 시공후 함수비가 30% 근방에 모여 있게 변동된 것을 알 수 있었다.

마. 재하 하중과 침하량

그림 7에서 성토재료에 재하 하중과 침하량을

보편 평균 침하량은 재하하중의 약 12% 정도이며 그 상한은 19%, 하한은 5% 정도의 넓은 범위에 걸쳐 나타났으며 이 침하량은 그림8에서 보는 바와 같이 연약층 두께와는 관계가 없는 것으로 나타나고 있다.

바. 침하량과 연약층의 깊이

그림 8에서 침하량과 연약층의 깊이는 별로 관계가 없는 것으로 나타났으며 132개소의 연약층의 깊이는 얇은 곳은 1.5m에서 깊은 곳은 10m까지 있음을 보여준다.

사. 연약지반토의 접착력과 일축압축치

그림 9에서 $q_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 에서 $C \approx \frac{1}{2} q_u$ 가 성립되나 q_u 에 관계없이 관계를 지어보면 $C \approx \frac{1}{3} q_u$ 가 된다.

앞으로 일축압축 시험치와 접착력과의 관계는 더욱 조사 규명 되어야겠다.

아. 기타 관계

지반토와 성토재료의 $q_u \sim q_u$, $\gamma_f \sim q_u$, $\gamma_f \sim q_u$ 관계를 그려 보았으나 유의성은 없는 것으로 보이며 참고로 첨부 하였다.

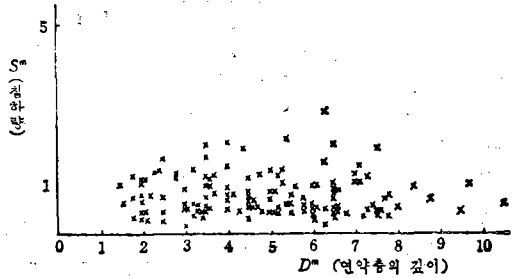


그림 8. S~D 관계

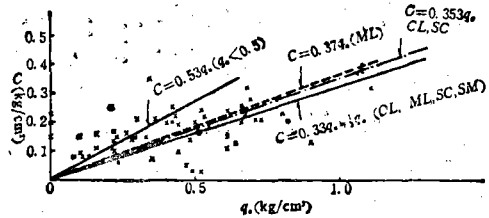


그림 9. 지반토 C~qu 관계

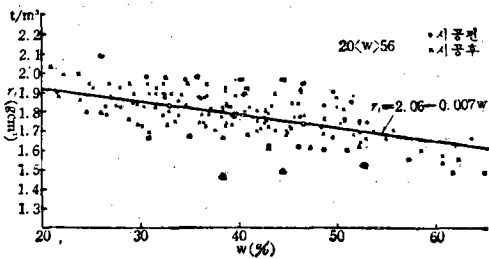


그림 5. $\gamma_f \sim W$ (지반토)

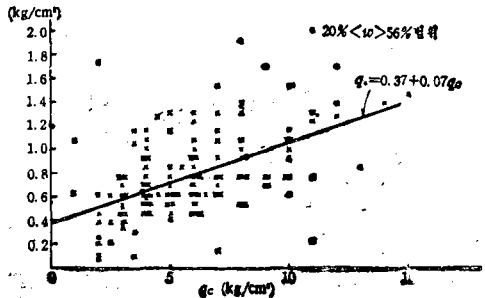


그림 10. $q_u \sim q_c$ (지반토)

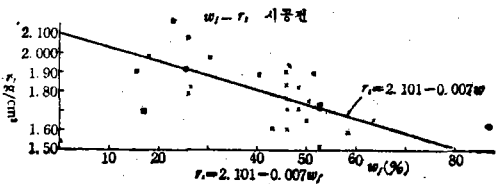


그림 6. $W_f \sim \gamma_f$ (시공전)

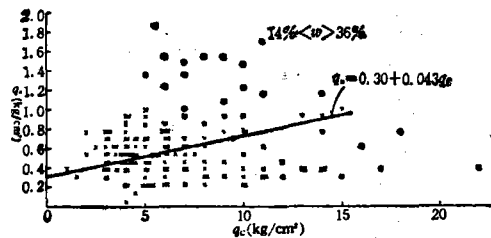


그림 11. $q_u \sim q_c$ (성토)

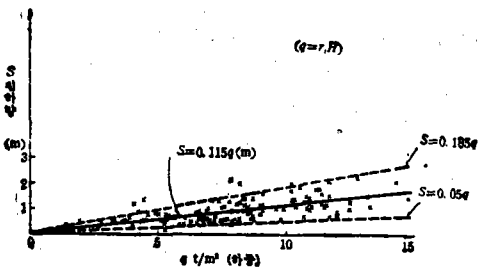


그림 7. S~qu

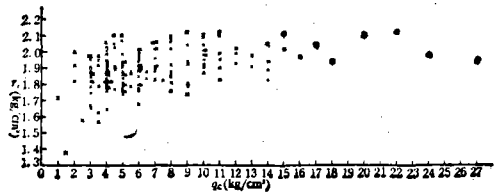


그림 12. $\gamma_f \sim q_c$ (성토)

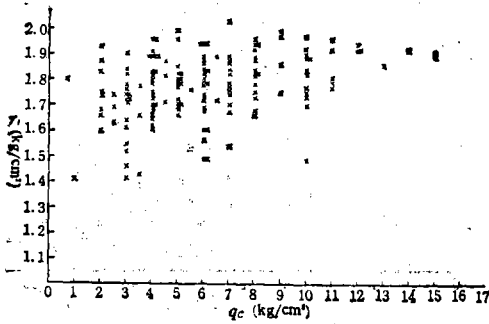


그림 13. $\tau_s \sim q_c$ (지반토)

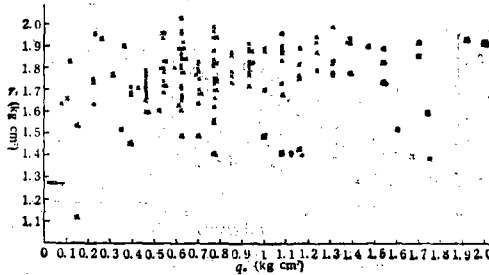


그림 14. $\tau_s \sim q_u$ (지반토)

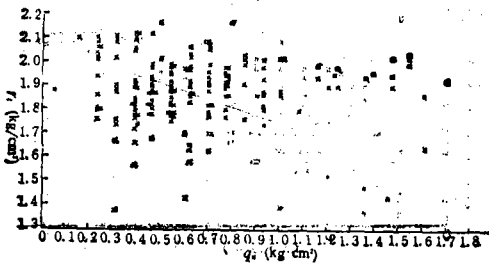


그림 15. $\tau_s \sim q_u$ (성토)

VI. 결론

1. 성토와 지반

하성 피적 연약층에 시공되는 토공 구조물에서 연약층과 성토 재료의 경계면에서의 함수비~밀도

관계는 지반토에서 함수량이 약 10% 감소되고 성토에선 함수비가 10% 증가되었으나 밀도는 시방서에서 규정된 밀도보다 높은 값을 나타냄으로 이제까지 추측해오던 약층 형성의 우려는 없어 졌으며 이로 인한 앞으로의 어떤 사고도 일어나지 않을 것이라 예상된다.

2. 침하와 하중

연약층에서 나타난 평균 침하량은 재하 하중의 약 12%에 해당함을 알았다.

3. C와 q_u

점착력과 일축시험치는 $C = \frac{1}{3}q_u$ 의 관계가 됨을 알수 있었고 특히 $q_u < 0.5 \text{ kg/cm}^2$ 에서는 $C = \frac{1}{2}q_u$ 가 되었다.

이 글을 쓰면서 특기 해둘것은 연약층에서의 토공 구조물은 재하 하중에 의하여 연약층을 강제 압밀 또는 밀어내는 공법이 유효할 것이다.

이에 장점으로서는 앞서도 언급한바 접촉부에서의 상호밀도 증가이며 만약 압성토 공법을 채택할 시는 적어도 압성토의 높이는 1m길이 약 5m에 해당되는 토공 공비가 더 소요되며 이에 소요되는 용지매수를 생각할 때 공사비는 실로 막대한 것이라 할 수 있겠다.

다만 강제 압밀에 의해 용기된 부분만은 압성토로 이용하면 무난히 시공을 끝낼 수 있음을 첨기 해 둔다.

이 조사에 협조를 아끼지 않은 금강사업소 관계 직원들에게 감사로 드리는 바이다.

참고문헌

- 1) 土質工學ハンドブック 土質工學會
- 2) 土質試驗法 "
- 3) 土質調査試驗結果の解釋と適用例 "