

리비아 트리폴리 지역에서의 地盤工學的 考察

Geotechnical Considerations in Tripoli Sub-region, Libya

姜炳茂(Kang, Byoung Moo)

韓國原子力研究所

요 약

이 報文은 리비아의 트리폴리 지역에서 건설공사를 할 경우 지반공학적으로 고려하여야 할 점을 기술한 것이다. 지반자료는 이 지역에서 수행된 학교와 주택건설을 위한 부지조사에서 얻은 것이다.

자파라 평원의 지표하 10m까지 표층의 대부분은 보통 조밀한 실트질 모래로 구성되어 있다. 그러나 지역적으로는 표토가 빈약하고 석회암이나 석회사암의 호층으로 구성되어 있기도 하며 산지 지역은 대부분 표토의 발달이 거의 없다. 원지반의 실트질 모래는 확대기초나 줄기초를 적용할 경우 일반적으로 150kN/m^2 의 지내력을 가진다고 추정된다.

트리폴리 지역에서 콘크리트에 적합한 골재의 분포는 매우 제한되어 있으며 조골재는 주로 백운암 석산을 개발하여 공급된다.

Abstract:

Some geotechnical considerations might be suggested to the construction performance from the school and the housing projects in Tripoli sub-region, Libya.

The subsurface informations were compiled from the site investigation reports, for which more than 700 borings and lots of laboratory test had been conducted from 1984 to 1986. Most subsurface of 10 meter depth in the Jafara plain consists of medium dense silty sand. Some ground in the plain have poor top soil with interbedded calcarenite or limestone. The shallow subsurface is found to be very poor soil in the southern mountain range. Weak soil is hardly found except in the sabkha area.

In general, natural silty sand layer may have a presumed bearing capacity of more than 150kN/m^2 , where spread or strip footing is applied.

Proper fine aggregate and natural coarse one are restricted in Tripoli sup-region. Coarse aggregate is generally supplied from the dolomite quarry.

1. 序 論

북부 아프리카 지중해 연안 국가인 리비아는 최근 20여년간 상당량의 건설공사를 발주해왔으며 수 개 한국 건설업체들은 많은 공사량을

수주해왔다. (주) 대우는 1982년부터 트리폴리 지역일대에 계획된 학교와 주택건설 project를 수행하였다. 구조물들의 基礎설계를 위하여 3년 이상 부지조사가 시행되었는데 그 내용은 700여개 이상의 시추와 실내시험 등이다.

이 報文은 이들 자료를 근거로 하여 이 지역에서 건설공사를 시행하는데 있어 고려되어야 할 地盤工學의인 觀點을 정리하였다.

基礎결정에 대하여 조언을 하여준 (주)대우엔지니어링의 전준수 박사와 현장에서 조사를 같이 수행한 신승철, 정승훈, 김인철과 추중팔 씨에게 감사드린다.

2. 氣 候

트리폴리 지역은 지중해성 기후로서 하절기는 덥고 건조하며 그 기간은 긴 편이며 동절기는 온난, 습윤하고 상대적으로 짧다. 대부분의 강우는 10월부터 3월까지 동절기에 내린다.

1930년부터 1974년 사이의 기후 통계에 의하면 연평균 강우량은 331.7mm이고, 1월 평균 기온은 12°C, 하절기의 평균기온은 27°C이다. 1924년부터 1974년 동안의 대기온도 최대年交차는 0.6°C와 46°C로 기록되어 있다. 상대습도는 45% 내지 78%로서 비교적 높은 편으로 연간 증발량은 2,000mm 정도이다.

3. 地 形

Tripoli지역 地中海 해변으로부터 약 60km 내지 80km의 폭 일대의 지형은 거의 평탄한 편으로 가운데에 堆積岩으로 이루어진 몇 개의 독립된 산들이 위치하고 있는바 이는 Jafara 平原으로 불리운다.

이 平原 남쪽 후배지는 급경사를 이루는 산지가 발달되어 있는데 이 산맥은 Ghadamis에서 부터 시작하여 Khoms 부근의 해안으로 활모양을 이루며 연장되어 있다.

후배지 산지 이남의 지형은 사하라 사막의 북부에 해당하며 기복이 거의 없는 大平原을 형성하고 있다.

4. 地 質

트리폴리 부근의 地質은 中生代 이후의 地層으로 現生 堆積岩層이 대부분이다. 기반암으

로는 上部 白堊紀로부터 Neogene에 이르는 堆積岩이 두껍게 발달되어 있는데 이 堆積岩層에 火山岩이 넓게 분출되어 있다. 3紀層 및 4紀層의 두께는 상당한 편으로 150m 넘는 곳도 있다(그림1).

堆積岩으로는 石灰岩, 石灰砂岩(calcarenite) 및 白雲岩이 대부분으로 이들은 龜裂의 발달이 심한 편으로 간혹 소규모 공동이 밀집되어 있기도 하다.

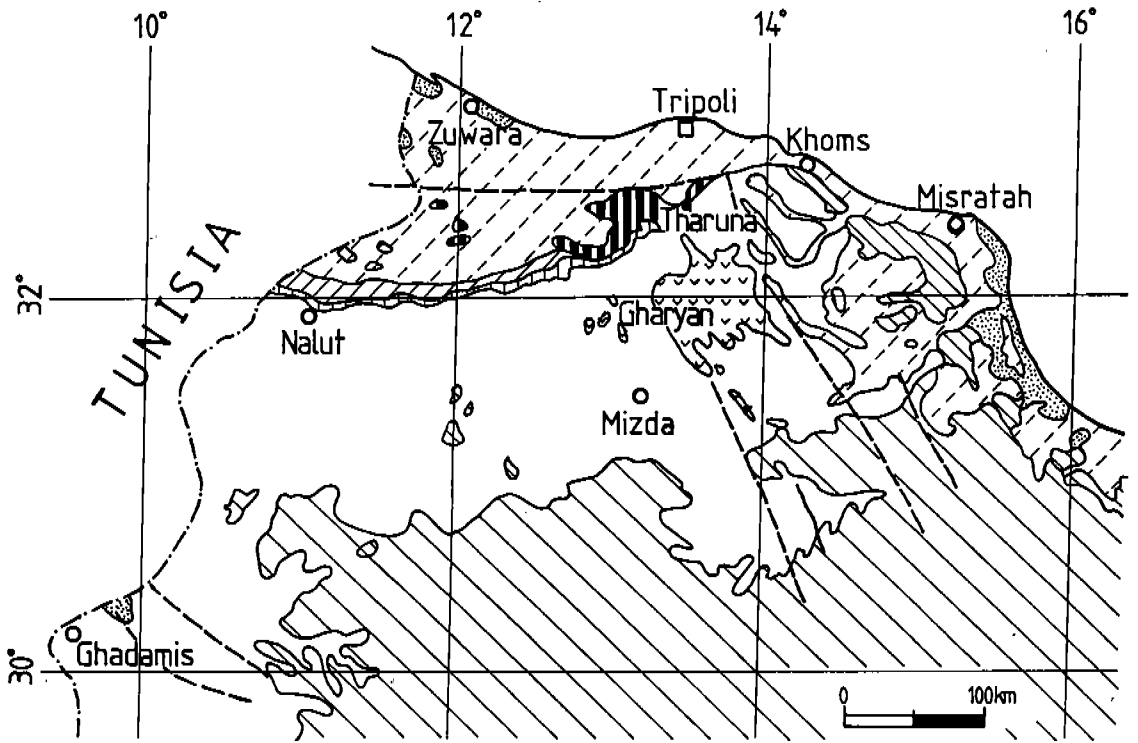
非固結層은 대부분 Holocene의 모래가 우세한 風成層과 Pleistocene의 실트를 포함하는 細粒質 모래로서 이들 모래와 실트의 주성분은 주로 CaCO₃이다. 지역에 따라서는 CaCO₃집도로 이루어진 半固結상태의 지층을 관찰할 수 있다.

sabkha는 해안과 내륙에 군데군데 분포되어 있는데 특히 Zuwara 해안지역과 Misratak 동쪽 해안에는 비교적 넓게 분포되어 있다. Jafara 平原 후배지의 급경사 山地지역 일부에서 발견되는 粘土層은 주로 高嶺土로 이루어져 있다(그림1).

5. 表層의 地盤 조건과 基礎설계

Tripoli 일대 지표하 10m까지의 地盤은 크게 3가지 유형으로 구분할 수 있다(그림2). A유형은 지표로부터 10m 정도 심도까지 완전히 표토로 구성된 地盤이고, B유형은 표토의 두께가 3m내외이고 1m 내지 약 3m 두께의 岩盤層이 불규칙하게 협재되어 있는 地盤이며, 표토의 두께가 매우 적거나 지표에서부터 암반이 발달되어 있는 地盤은 C유형으로 구분하였다.

Jafara 平原의 대부분에는 A유형의 지반이 절대 우세하게 분포되어 있으며 Zawia와 Zliten 사이의 해안지역에는 B유형의 地盤이 우세하게 발달되어 있다. C유형 地盤은 Khoms 부근의 해안지역과 이에서 Taruna로 연결되는 山地 지형 지역과 Jafara 平原 후배지 산악지역인 Gharyan과 Yefrin 지역에 우세하게 분포되어 있다(그림3).



LEGEND

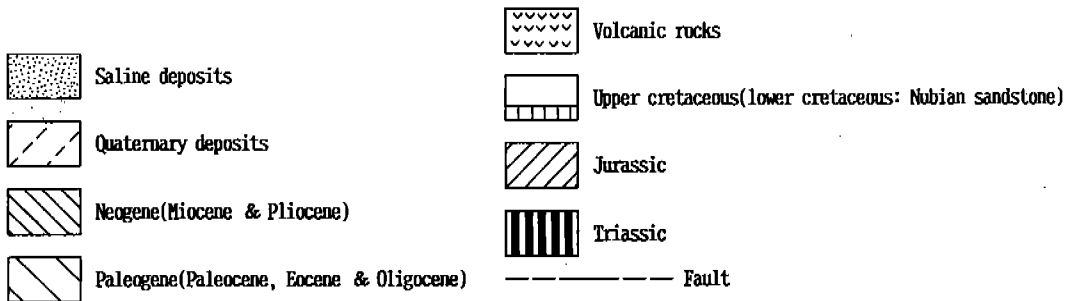


Fig. 1. Geological Map of Tripoli sub-region, Libya

表土의 대부분은 모래질로서 체가름 결과에 의하면 統一分類(USCS)의 SP (입도가 불량한 모래)에 속하는 실트질 모래로서 실트의 함유량은 일반적으로 적은 편이고, 모래의 粒度는 細粒 내지 中粒에 속한다.

지표하 3m까지 모래의 相對密度는 地盤유형에 상관없이 대부분 보통 粗密하며 부분적으로 느슨하다. 자연함수비는 계절에 따라 상

당한 변화를 보이는데 동절기에는 최고 18%까지 보이나 하절기에는 0.4% 정도의 함수비를 나타내기도 한다. 실트질 모래의 乾燥密度는 1.52mg/m³에서 1.70mg/m³의 범위에 속하며 비중은 2.668의 정도이다. 일부 표토는 보통堅固 내지 堅固한 점토층으로 형성되어 있는데 두께는 수 m에 불과하다.

粘土는 혼하지 않은 편으로 石灰岩 또는 石

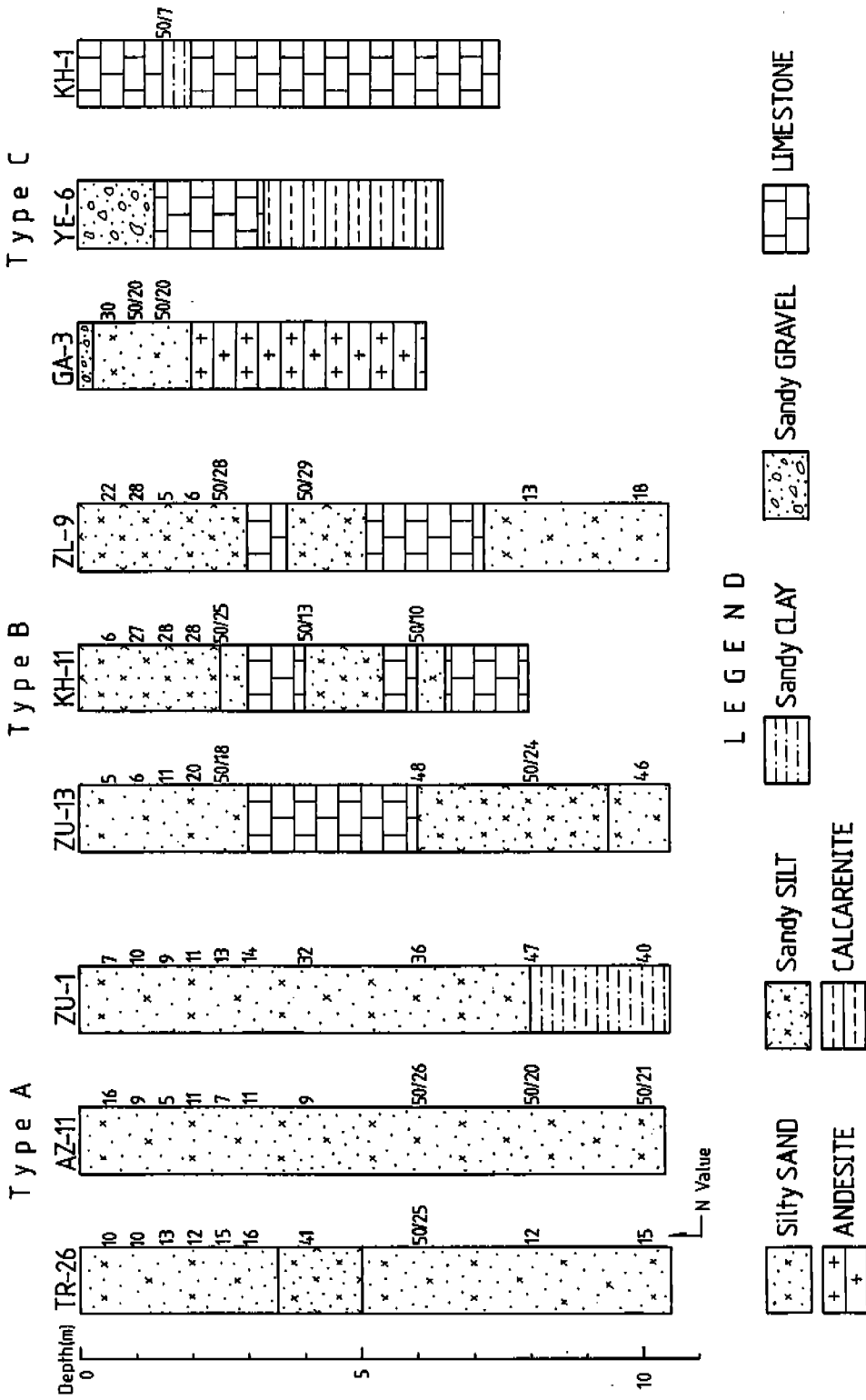


Fig. 2. Three shallow Subsurface types and their typical boring logs

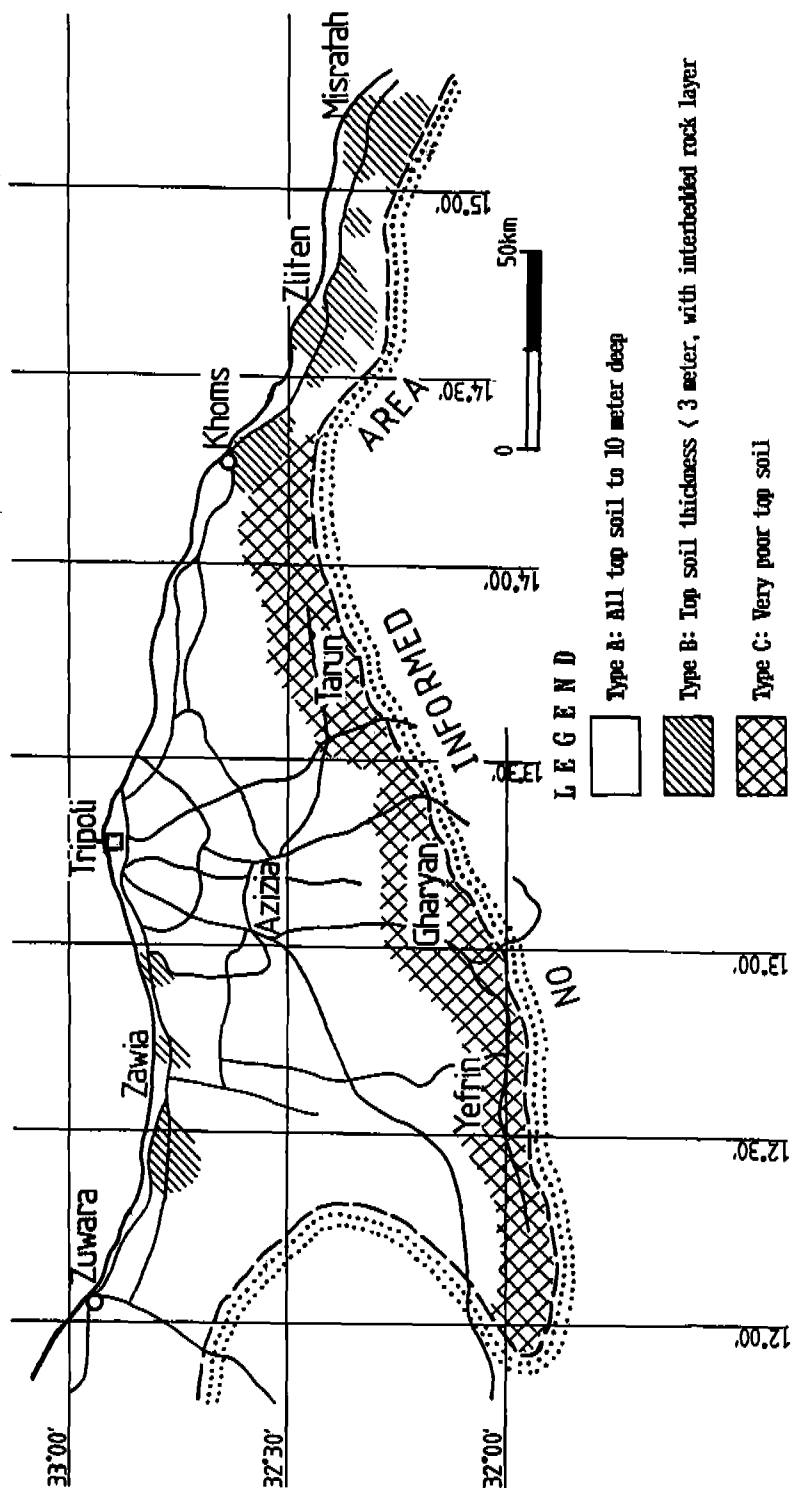


Fig. 3. Subsurface condition map in Tripoli area

灰岩 근원의 잔적토가 대부분으로 액성한계는 15%에서 40%정도의 범위이다. 각 지역별 모래와 점토와 物性은 표3에 요약하였다.

이지역 암반을 구성하는 가장 대표적인 것은 石灰砂岩과 石灰岩이다. Tripoli 시 해안지역에서 조사된 시추 결과에 의하면 이들 암석은 상당한 심도(50m)이상 풍화되어 있다. HW

(높은 풍화) 내지 MW(보통 풍화) 石灰砂岩의 평균 코아회수율은 50%내외이며 평균 岩質表示率(RQD)은 불량한 편이나, 石灰岩은 石灰砂岩보다 암질이 양호한 편으로 평균 코아회수율은 약 80% 이상을 보이며 岩質表示率은 50%정도로 계산된다. SW(약간풍화)의 石灰砂岩과 石灰岩의 코아시료에 대하여 압축강도등

Table 1. Average Temperature
(1919~1974)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
Av.max.(°C)	21.0	18.5	20.4	23.3	25.9	29.3
Av.min.(°C)	8.0	8.5	20.4	23.3	25.9	29.3
Average(°C)	12.5	13.6	15.5	18.2	20.9	14.3

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
Av.max.(°C)	30.6	31.5	30.5	27.5	29.3	18.7
Av.min.(°C)	21.0	22.2	20.9	17.6	13.2	9.3
Average(°C)	25.9	26.6	25.7	22.6	21.2	13.9

Table 2. Average Rain Fall
(1930~1974)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
Monthly total(mm)	64.4	36.2	26.9	12.6	4.4	1.2

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN
Monthly total(mm)	0.3	0.4	13.4	36.2	54.7	81.0

Table 3. Soil Laboratory Test

District	Soil	W _n (%)	σ _a (mg/m ³)	G _s	LL(%)	PI(%)	※
Tripoli	SP	0.74-11.74	1.52-1.69	2.653-2.666			48
	SM	2.62- 6.66	1.64-1.66	2.660-2.668			4
	CL-CI	1.14- 4.50	—	2.671-2.676	15.1-39.7	4.1-21.9	6
Azizia	SP	0.46-12.54	1.52-1.74	2.653-2.664			39
	SM	0.60- 7.64	1.50-1.69	2.654-2.666			23
	CL-CI	1.63- 8.22	1.59-1.81	2.662-2.964	25.8-41.7	13.9-23.4	5
Zawia	SP	0.73-17.31	1.59-1.79	2.634-2.663			27
	SM	0.99-15.65	1.56-1.60	2.662-2.666			11
	CL-CI	25.7-31.7	—	2.670-2.681	30.2-36.0	7.8-13.9	3
Zuwara	SP	0.38-17.94	1.52-1.64	2.634-2.661			42
	SM	0.73-16.78	1.54-1.67	2.663-2.667			3
Khoms	SP	0.93- 8.48	1.64-1.72	2.636-2.666			36
	SM	2.81- 7.73	1.51-1.72	2.635-2.661			4
	CL-CI	1.54- 4.22	1.68-1.81	2.663-2.671	22.0-26.9	5.2- 7.0	3
Zliten	SM	1.06- 4.53	1.63-1.86	2.660-2.669			9
Yefrin	SM	4.68- 9.30	1.54-1.58	2.658-2.664			4
	MS	4.96- 7.72	1.54-1.60	2.667-2.668			4

※ Numbers of test

몇가지 실내시험을 실시하였는데 그 결과를 표 4로 정리하였다.

이들 결과에 의하면 MW 상태의 두 암석의 공극율은 모두 15% 내외로서 서로 유사하나, P파와 S파 속도에 있어서는 石灰砂岩이 石灰岩보다 각각 1.5배 정도 큰 성질을 나타내고 있다. 또한 石灰砂岩과 石灰岩을 비교하면 일축압축강도에서는 石灰砂岩이 약 2배 정도, 彈性係數에 있어서는 약 5배 정도 더 크다. 이 결과들은 石灰砂岩이 石灰岩 보다는 일반적으로 地盤의 強度가 더 크다는 것을 지시해 준다.

대부분의 A유형 地盤과 B유형 地盤에서 지표하 3m까지 심도의 원지반 표토(보통 조밀한 실트질 모래)는 擴大基礎 또는 줄 기초에 대하여 150kN/m² 이상의 支耐力을 가지는 것으로 계산되며 얇은 基礎의 경우 시공상 특별한 문제는 없는 것으로 보인다.

학교나 아파트 project는 PC 공법에 의하여 제작된 콘크리트 파넬을 조립식으로 시공하기로 계획되었으며 이에 따라 基礎 형태는 대부분 줄기초를 택하게 되었다. 地盤의 지지력에 따라서 基礎의 폭과 근입 깊이를 조정하여 基礎를 결정하였다. 이 지역의 지표면은 風成層으로서 표고차가 크지는 않으나, 요철이 심한 편이다. 따라서 부지정지 시에는 주변 지형에

영향을 크게 받지 않을 경우에는 表土의 부지정지작업이 매우 쉬우므로 基礎 水準高를 고려하여 부지整地高를 결정하는 경우도 허다하였다. 또한 작은 규모의 학교 건물 기초 일부에 岩盤에 위치하게 될 경우에는 1/2인치의 부등침하량을 피하기 위하여 건물 위치를 변경하는 사례도 있었다. 대부분 표토 0.5m 두께는 아주 느슨하거나 느슨한 모래이므로 부지정지에서는 이를 완전히 제거(grubbing)하는 것이 상례이었다.

C유형 地盤 발달 지역에서 擴大基礎나 줄기초에 대한 支耐力은 보통 300kN/m² 이상으로 추정되므로 학교나 아파트 건물의 支耐力에 대한 문제는 크게 없다. C유형 지역에는 대부분 岩盤의 풍화정도가 높아 부지정지나 基礎 굴착에는 ripping 방법으로 계획되었다.

해안선 지역을 제외하고는 地下水位는 지표하 10m 이내에서는 관찰되지 않았다. 따라서 이 지역에서의 굴착 설계시에는 차수 및 배수(dewatering)가 고려되지 않아도 된다. 그러나 강우시에 세립질 모래는 침투성과 모세관수 상승 능력이 크므로 지하방수가 요구되는 구조물에 대하여는 이 문제를 도외시해서는 안될 것이다.

이 지역에 분포하고 있는 지표하 10m까지의

Table 4. Laboratory Tests of Rock Specimen from Tripoli

Rock Description	Specific Gravity		Porosity (%)	Wave Velocity (m/sec)		Compressive Strength (kg/cm ²)	Tensile Strength (kg/cm ²)	Cohesion (kg/cm ²)	Young's Modulus x 10 ⁴ (kg/cm ²)	Poisson's ratio	Internal friction Angle (°)	Remarks (shore hardness)
	True	Bulk		P	S							
HW Calcarenite	1.84	1.64	2	2,330	1,180	11	2	4	0.54 0.47	0.12 0.19	37	4 Smpls. (0-2)
	2.37	1.85	31	2,960	1,530	44	12	9	* 0.85	* 0.20	57	
MW Calcarenite	2.09	1.78	13	3,050	1,700	100	16	24	2.15 3.1	0.23 0.39	45	2 Smpls. (1-13)
	-	-	-	-	-	-	-	-	* 1.04	* 0.20	-	
MW-SW Limestone	2.10	1.82	15	4,030	2,110	270	44	46	2.42	0.36	57	2 Smpls. (3-8)
	2.04	1.78	13	1,890	1,100	53	7	16	0.17 1.6	0.18 0.34	49	
	-	-	-	-	-	-	-	-	* 0.63	* 0.24	-	
	2.24	1.29	21	2,290	1,260	120	15	17	1.0	0.29	65	

* Dynamic property

토질은 대부분 SP이며 일부는 SW 또는 균등한 모래로 분류되므로 입자의 균등계수를 사용하여 계산된 透水係數는 2×10^{-2} cm/sec 내지 5×10^{-3} cm/sec의 범위에 속한다. Tripoli 시내 건설 현장에서 수두강하법(falling head)으로 시행된 투수시험에서 산출된 石灰砂岩 잔적토(일부완전 풍화암)의 평균 透水係數는 3.4×10^{-5} cm/sec로 측정된 바 있다.

토양에 함유된 유산염(SO₃) 및 鹽素 함유율은 0.015% 내지 0.035%에 속한다. 따라서 基礎에 사용되는 콘크리트는 일반 포트랜드 시멘트로 설계되는 것이 보통이다. 매설 파이프와 금속 구조물들의 부식은 매우 실질적인 문제로서, 실내 화학분석 및 야외 電氣比抵抗探査 방법으로 부식이 예상되는 특별한 지역에

대한 문제를 규명하여야 할 것이다. 일반적으로 比抵抗値가 $30 \Omega \cdot \text{m}$ 이하인 토양은 부식성이 높으므로 양이온 보호방법이 채택된다. 이 지역에서의 배관 설계에는 이러한 문제가 고려되지 않고 있다.

Tripoli 부근은 지진활동이 상대적으로 낮은 지역으로 Richter 지진계수로 6 내지 7의 범위에 속하며 내진설계시 3등급 지진대로 분류된다. 구조 단층은 Jafara 平原 중앙부에 위치하는 것으로 추정되는데 방향은 해안선에 거의 평행하다(그림1).

6. 石材 및 骨材

Tripoli 부근에 분포되어 있는 Miocene 石

Table 5. Laboratory Tests of Coarse Aggregate from Azizia quarry

Test Items	19mm			10mm		
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Bulk specific gravity	2.61	2.61	2.61	2.57	2.58	2.58
Bulk specific gravity(S.S.D)	2.65	2.66	2.66	2.62	2.63	2.63
Apparent specific gravity	2.72	2.74	2.75	2.70	2.71	2.72
Water absorption (%)	1.5	1.7	1.8	1.7	1.9	1.9
Impact value (%)	18.0	17.7	18.2			
Flakiness value (%)	18.4	31.6	19.9	29.4	37.3	37.3
Elongation value (%)	10.7	8.2	6.5	15.0	17.1	9.3
Sulphate content (%)	0.005	0.006	0.005	0.008	0.005	0.005
Chloride content (%)	0.025	0.012	0.027	0.032	0.014	0.025
Ph	8.9	9.0	9.0	8.9	9.0	9.0

Remark : S.S.D. means saturated and surface-dried density

Table 6. Laboratory Tests of Fine Aggregate from Zliten

Test Items	F-1	F-2	F-3	F-4
Bulk specific gravity	2.64	2.62	2.63	2.63
Bulk specific gravity(S.S.D)	2.66	2.64	2.65	2.64
Apparent specific gravity	2.69	2.67	2.67	2.67
Water absorption (%)	0.6	0.5	0.5	0.6
Sulphate content (%)	0.005	0.005	0.006	0.007
Chloride content (%)	0.009	0.016	0.018	0.035
Ph	8.3	8.4	8.4	8.4

Remark : S.S.D. means saturated and surface-dried density

灰岩과 白雲岩은 주로 Tripoli 동남부 지역, 특히 Suq Al Khomis에 분포되어 있다. 이들 岩石은 주로 시멘트 원료와 석회로 이용되고 있으며, Suq Al Khomis 시멘트공장 석산의 石灰岩 매장량은 3천 6백만톤으로 보고되어 있다.

白雲岩은 주택등 빌딩 건축에 石材로서 널리 이용되고 있으며, 骨材의 석산으로 이용된다. 白雲岩 석산에서 생산되는 粗骨材를 학교나 아파트의 콘크리트용으로 사용하였는 바 Azizia 지역의 석산에서 생산되는 骨材에 대한 시험 결과는 표 5와 같다.

粗骨材에 대한 시험은 BS 812, 882 및 1,201에 의거하여 19mm 骨材와 10mm 骨材 두 종류에 대하여 시행하였다. 細骨材는 일반적으로 砂丘의 모래가 이용되는데 粒度가 불량한 조립질 내지 중립질 모래 분포는 그리 흔하지 않다. Tripoli 약 170km 동쪽 Zliten 부근에 위치한 砂丘의 모래는 입도시험결과 細骨材 입도기준에 만족되었으며 이 骨材에 대한 시험을 시행한 결과들을 표 6에 요약하였다.

7. 結 言

1. 리비아 트리폴리지역 일대의 기반암은 주로 현생 石灰岩 및 石灰砂岩이며 표토의 대부분은 모래질이다.

2. 10m 내외의 地盤조건은 3가지 유형으로 구분되며, 전부 표토인 유형의 地盤 분포가 가장 우세하다.

3. 表土는 대부분 입도가 불량한 실트질 모래로서 相對密度는 보통 粗密한 편이다. 줄기초 또는 확대기초에 대하여 150kN/m^2 이상의 支耐力을 가지며, 粒度의 均등계수에 의한 투수계수는 2×10^{-2} 내지 $5 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$ 의 범위로 계산된다.

4. 표토의 pH는 약한 알카리성이며 유산염과 염소 함유량은 극소하므로 基礎는 포트랜드 시멘트로 설계되는 것이 상례이다.

5. 岩盤은 상당한 심도까지 풍화되어 있으며 풍화정도는 심도에 관계 없이 불규칙하다.

6. 이 지역의 白雲岩은 주택등의 석재로 활용되고 있으며 粗骨材의 주 石山이 된다. 細骨材는 제한된 지역의 砂丘에서 채취된다.