김해 국제공항 국내선 청사 基礎地盤 調査檢討

조사검토자

서울대학교 교수 申 永 琦※

서울대학교 교수 邊 普 燁※

고려대학교 교수 林 炳 祚※

目 次

1. 序 論
2. 基礎地盤의 支持力
3. 基礎地盤의 沈下量
3.1 細砂層의 即時沈下量 Si
3.2 粘土層의 壓密沈下量 Sc
4. Mat基礎의 B.M. 檢討
4.1 地盤反力係數 K의 決定
4.2 檢討 計算 方法
4.3 計算條件
4.4 처짐과 B.M. 計算
4.5 地盤反力
5. 結 論
5.1 基礎地盤의 地耐力에 對하여
5.2 Mat Slab의 B.M.에 對하여

1. 序 論

金海國際空港 國內線 廳舍 基礎地盤의 土層은 細砂層의 두께 平均 6.0m, 粘土層의 두께平均 20m로 構成되어 있다. 現位置試驗으로 Static Cone 試驗 및 平板載荷試驗結果에 의하여 基礎地盤의 支持力 및 沈下量을 推定하고, Mat 基礎의 Slab의 휨모멘트를 Finite Difference Method로 解析하였다.

2. 基礎地盤의 支持力

Static Cone Test 結果 求한 Cone指數 q_c에 依하여 N値를 推定하면

−0.6m 深度에서

平均 $q_c=3kg/cm^2 \rightarrow N=\frac{3}{4}\fallingdotseq 1$

−1.5m 深度에서

平均 $q_c=13kg/cm^2 \rightarrow N=\frac{13}{4}\fallingdotseq 3$

故로 基礎地盤인 極微細砂層의 平均 N値는

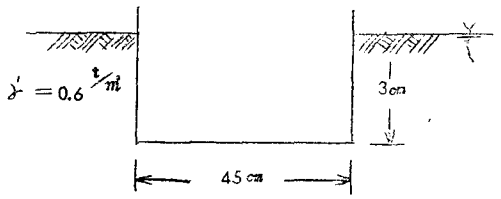
$$N=\frac{1+3}{2}=2$$

N値가 2일 때의 極細砂層의 內部摩擦角$\phi(°)$는 Dunham의 公式에 의하여

$$\phi=\sqrt{12N}+15=\sqrt{12\times 2}+15=20°$$

이 結果를 사용하여 極細砂層인 基礎地盤의 極限支持力 q_{ult}를 Hanson 公式에 의하여 求해보면

$\phi=20° \rightarrow N_r=2.0$ $N_q=3.9$이므로



※※※ 土木技術士

$$q_{ult}=\frac{1}{2}rNrB'\left(1-0.3\frac{B}{L}\right)\left(1-1.5\frac{H}{V}\right)^2$$
$$+rD_fN_q\left(1+0.2\frac{B}{L}\right)\left(1+0.1\frac{D_f}{B}\right)$$
$$\left(1-1.5\frac{H}{V}\right)$$
$$=\frac{1}{2}\times0.6\times2.0\times45\left(1-0.3\frac{45}{45}\right)\times1$$
$$+0.6\times3\times3.9\left(1+0.2\frac{45}{45}\right)\left(1+0.1\frac{3}{45}\right)$$
$$\times1=27.3t/m^2$$

그러므로 許容支持力 q_a 는

$$q_a=\frac{q_{ult}}{F_s}=\frac{27.3}{3}\fallingdotseq9t/m^2$$

다음에 平板載荷試驗 結果를 利用하며 q_a 를 求해보면 平均 항복하중 q_r 는

$$q_r=\frac{8+7.5+13+7+10+10+15+16+13}{9}$$
$$=11t/m^2$$

인 故로

$$q_a=\frac{q_y}{2}+\frac{1}{3}rD_fN_q$$
$$=\frac{11}{2}+\frac{1}{3}\times0.6\times3\times3.9=7.84t/m^2$$

以上에서 求한바와 같이 Hansen 公式에 의한 것이 平板載荷試驗에 의한 것보다 若干 크게 나오지만 大差가 없으므로 其中 작은 것을 許容支持力으로 한다.

即　　許容支持力　$q_a=7.84t/m^2$

그런데 基礎地盤에 作用하는 총하중은

Mat slab 自重$=45m\times45m\times0.55m$
$\times2.4t/m^3=2673t$

Drop pannel 自重$=36$個$\times0.25m\times3m$
$\times3m\times2.4t/m^3=194t$

기둥하중$=7659t$

計　$\sum V=10526t$

故로 기초지반 單位面積當 平均作用荷重 q는

$$q=\frac{\sum V}{A}=\frac{10,526}{45\times45}=5.2t/m^2$$

이므로

$q_a=7.84>q=5.2$

가 되어 安全하다.

3. 基礎地盤의 沈下量

3.1 細砂層의 即時沈下量 Si

Schultze und Menzenbach 學說에 의하여 變形係數 E_s 를 求하면

$$E_s=C_1+C_2N=12+5.8\times2$$
$$=23.6kg/cm^2=236t/m^2$$

여기서

$C_1=12$ ＼
$C_2=5.8$ ／(細砂層이므로)
$N=2$

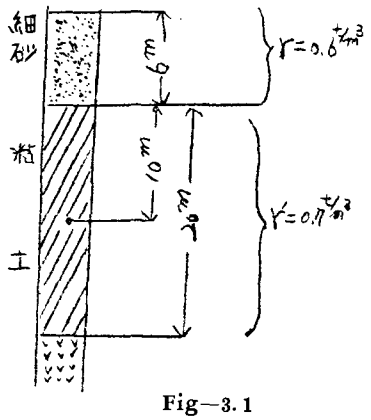
다음에 Jambu 公式에 의하여 即時沈下量 Si 를 求하면

$$Si=\mu_0\mu_1\frac{qB}{E_s}$$
$$=1\times0.28\frac{5.2\times45}{236}=0.28m=28cm$$

여기서

$$\frac{D}{B}=\frac{3}{45}=0.07\ \rightarrow\ \mu_0=1.0$$
$$\frac{H}{B}=\frac{22}{45}=0.49\ \rightarrow\ \mu_1=0.28$$

3.2 粘土層의 壓密沈下量 Sc



Fig—3.1

$$P_0=0.6\times6+0.7\times10=10.6t/m^2$$
$$\triangle p=q=5.2t/m^2$$

故로

$$S_c=\frac{C_c}{1+e_0}\cdot H\cdot\log\frac{P_0+\triangle p}{p_0}$$
$$=\frac{0.28}{1+1.22}\times20\times\log\frac{10.6+5.2}{10.6}$$
$$=0.43m=43cm$$

但　$e_0=\frac{1,248+1,195}{2}=1.22$

$$C_c=\frac{0.256+0.299}{2}=0.28$$

4. Mat 基礎의 B.M. 檢討

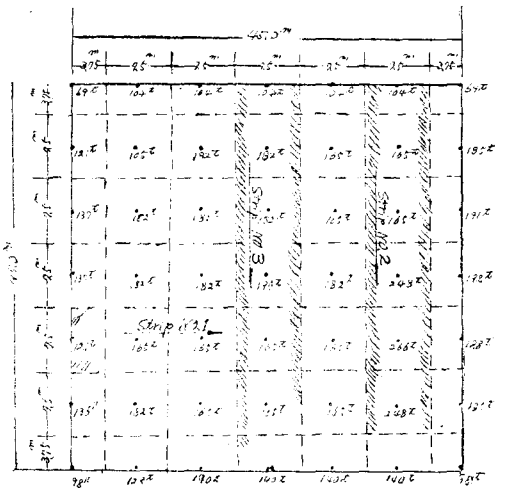
4.1 地盤反力係數 $K(t/m^3)$의 決定

平板載荷試驗結果에 의하여 地盤反力係數 K를 求하면 다음과 같다.

表—4.1

	$K(t/m^3)$			備 考
	$p=4t/m^2$ 일때	降伏하중 일때	平 均 値	
No. 1	$\frac{4}{0.0082}=488$	$\frac{8}{0.018}=445$	467	
No. 2	$\frac{4}{0.013}=308$	$\frac{7.5}{0.025}=300$	304	
No. 3	$\frac{4}{0.012}=333$	$\frac{13}{0.04}=325$	329	
No. 4	$\frac{4}{0.028}=143$	$\frac{7}{0.043}=163$	153	
No. 5	$\frac{4}{0.006}=667$	$\frac{10}{0.019}=526$	597	
No. 6	$\frac{4}{0.0085}=471$	$\frac{10}{0.038}=263$	367	
No. 7	$\frac{4}{0.0035}=1143$	$\frac{15}{0.025}=600$	872	
No. 8	$\frac{4}{0.0012}=3333$	$\frac{16}{0.017}=941$	2,137	平均 $1818\fallingdotseq1800t/m^3$
No. 9	$\frac{4}{0.0022}=1818$	$\frac{13}{0.011}=1182$	1,500	

4.2 檢討計算方法



但 ton數는 柱荷重

Fig—4.1

基礎 Slab를 Fig—4.1에서와 같이 各 기둥列의 中心線에 따라서 直角方向으로 나누어서 縱橫으로 各各 7個 計 14個의 연속 Slab로 分割한 다음 이들 各 연속 Slab를 Finite Difference Method로 풀기로 한다. Mat Slab全體를 하나의 Slab로 取扱하여 Finite Difference Method를 適用시켜야 되지만 制限된 時間관계상 精度는 떨어지지만 上記와 같은 便法을 쓴 것이다.

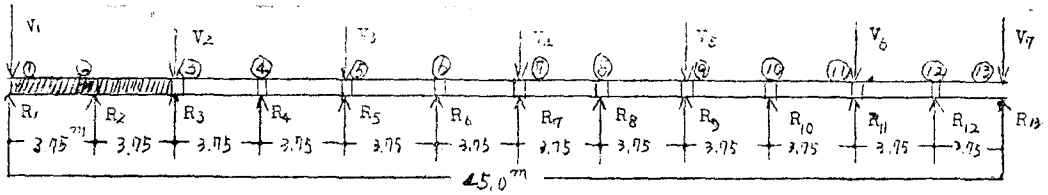
① 먼저 分割연속 Slab를 기둥位置와 기둥사이의 中間地點에서 分割하여 길이가 똑같이 $h=3.75m$인 12個의 切片으로 나눈다.

② 各分割點 ①, ②, ③, ……⑬에서의 처짐(침하량)을 各各 $x_1, x_2, x_3, \cdots\cdots x_{13}$이라고 하면 ①, ②, ③……⑬點에서의 地盤反力은 x_1k_s, $x_2k_s, x_3k_s, \cdots\cdots x_{13}k_s$가 된다.

但 $Ks=KB$

K : 地盤反力係數(平板載荷시험에서 求한 값)

B : 分割 연속 Slab의 幅



Fig—4.2

Mat 周邊部以外에서는 $7.5m$

③ 연속된 地盤反力을 階段近似法에 의하여 等値集中反力 R_1, R_2, R_3, ……R_{13}, 로 置換한다.

④ 기둥하중 V와 等値集中反力 R을 받은 연속 Slab에 對하여 各 區間 分割點에서의 $\sum M=0$의 條件式과 연속 Slab 全體에 대한 $\sum V=0$의 條件式을 세우면 처짐 $x_1, x_2, x_3,$ ……x_{13}을 未知數로 하는 13元 1次 連立方程式이 세워진다.

⑤ Computor를 사용하여 이 連立方程式을 풀어서 未知數인 처짐 $x_1, x_2, x_3,$ ……x_{13}의 값을 求한다.

⑥ 各分割點의 처짐 $x_1, x_2, x_3,$ ……x_{13}이 求해지면 다음 式에 의하여 各分割點에서의 Bending Moment를 求한다.

$$Mn=\frac{EI}{h^2}(x_{n-1}-2x_n+x_{n+1})$$

여기서

E : Concrete의 彈性係數

I : 연속 Slab의 斷面 2次 모멘트

h : 各分割區間의 길이

x_{n-1} : $(n-1)$ 分割點의 처짐

x_n : n 分割點의 처짐

x_{n+1} : $(n+1)$ 分割點의 처짐

4.3 計算條件

地盤反力係數 $K=1800t/m^3$

分割연속 Slab의 幅 $B=7.5m$

$$Ks=KB=1800\times 7.5$$

Concrete의 彈性係數 $E=180,000kg/cm^2$

$=1,800,000t/m^2$

分割연속 Slab의 斷面 2次 모멘트

$$I=\frac{Bt^3}{12}=\frac{7.5\times 0.55^3}{12}\fallingdotseq 0.104m^4$$

分割연속 Slab의 두께 $t=0.55m$

———〃———의 分割長

$h=3.15m$

4.4 처짐과 M.B. 計算

A) Strip No. 1

4.2의 方法에 의하여 分割點 ①, ②, ③ ……⑬에서의 처짐 $x_1, x_2, x_3,$ ……x_{13}를 未知數로 하는 13元 1次 連立方程式을 세운 다음 整理하면 다음과 같다.

① $7.75x_1-2x_2+x_3=0.03$

② $13.5x_1+14.5x_2-2x_3+x_4=0.07$

③ $20.25x_1+27x_2+14.5x_3-2x_4+x_5=0.15$

④ $27x_1+40.5x_2+27x_3+14.5x_4-2x_5+x_6=0.23$

⑤ $33.75x_1+54x_2+40.5x_3+27x_4+14.5x_5-2x_6+x_7=0.36$

⑥ $40.5x_1+67.5x_2+54x_3+40.5x_4+27x_5+14.5x_6-2x_7+x_8=0.48$

⑦ $47.25x_1+81x_2+67.5x_3+54x_4+40.5x_5+27x_6+14.5x_7-2x_8+x_9=0.66$

⑧ $54x_1+94.5x_2+81x_3+67.5x_4+54x_5+40.5x_6+27x_7+14.5x_8-2x_9+x_{10}=0.83$

⑨ $60.75x_1+108x_2+94.5x_3+81x_4+67.5x_6+54x_6+40.5x_7+27x_8+14.5x_9-2x_{10}+x_{11}=1.06$

⑩ $67.5x_1+121.5x_2+108x_3+94.5x_4+81x_5+67.5x_6+54x_7+40.5x_8+27x_9+14.5x_{10}-2x_{11}+x_{12}=1.27$

⑪ $74.25x_1+135x_2+121.5x_3+108x_4+94.5x_5+81x_6+67.5x_7+54x_8+40.5x_9+27x_{10}+14.5x_{11}-2x_{12}+x_{13}=1.56$

⑫ $x_{11}-2x_{12}+7.75x_{13}=0.05$

⑬ $x_1+2(x_2+x_3+x_4+x_5+x_6+x_7+x_8+x_9+x_{10}+x_{11}+x_{12})+x_{13}=0.05$

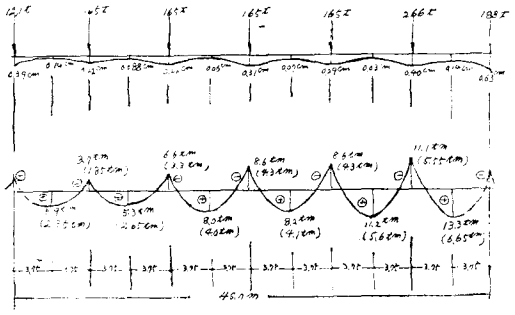
이 連立方程式을 Computor로 풀면 (表—4.2 參照) 各分割點의 처짐 x_1, x_2, x_3……x_{13}의 값은 Fig—4.3(a)와 같으며 이 처짐에 의하여 各分割點의 Bending Moment를 算出하면 Fig—4.3(b)

와 같다.

기둥하중은 세로, 가로의 兩方向의 分割연속 Slab에 同一하게 영향을 미치므로 方向의 分割연속 Slab의 Bending Moment 計算時에는 기둥하중의 $\frac{1}{2}$을 取하여야 한다. 따라서 B.M.의 값도 全體의 기둥하중일 때의 값의 $\frac{1}{2}$을 取하여야 되므로 이와 같이 하여 求한 B.M.의 값을 Fig—4.3(b)의 ( )內에 表示하였다.

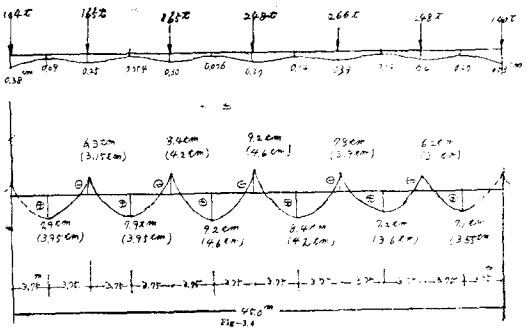
Strip No. 1

(a) Settlement(Deflection)



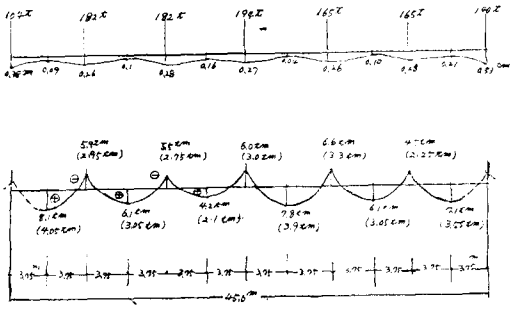
Strip No. 2

Settlement(Deflection)



Strip No. 3

Settlement(Deflection)



B) Strip No. 2, No. 3

Strip No. 2와 No. 3에 대해서도 Strip No-1에서와 같이 하여 처짐과 B.M를 求하면 Fig—4.4, Fig—4.5와 같다. (Computor 結果에 대해서는 表—4.2, 表—4.3을 參照할 것.)

TABLE—4.2

ANALYSIS OF STRIP OF NO.1

B = 7.5000 H = 3.7500

E = 0.180000 E.07 I = 0.104000 E 00

NOD+L SETTLEMENT

1	0.394859 E-02
2	0.139160 E-02
3	0.218160 E-02
4	0.878894 E-03
5	0.259208 E-02
6	0.564702 E-03
7	0.304718 E-02
8	0.665999 E-03
9	0.291123 E-02
10	0.281100 E-03
11	0.397292 E-02
12	0.138956 E-02
13	0.629757 E-02

BENDING MOMENT

1	0.000000 E 00
2	0.445550 E 02
3	−0.278581 E 02
4	0.401476 E 02
5	−0.497945 E 02
6	0.600353 E 02
7	−0.647451 E 02
8	0.615868 E 02
9	−0.649008 E 02
10	0.841578 E 02
11	−0.835352 E 02
12	0.997250 E 02
13	0.000000 E 00

BENDING MOMENT PER UNIT WIDTH

1	0.000000 E 00
2	0.594067 E 01

3	−0.371441E 01
4	0.535302E 01
5	−0.663927E 01
6	0.800471E 01
7	−0.863269E 01
8	0.821158E 01
9	−0.865344E 01
10	0.112210E 02
11	−0.111380E 02
12	0.132966E 02
13	0.000000E 00

TABLE—4.3

ANALYSIS OF STRIP OF NO.2

B=7.5000 H=3.7500

E=0.180000E 07 I=0.104000E 00

NOD+L SETTLEMENT

1	0.378492E-02
2	0.923823E-03
3	0.251451E-02
4	0.537159E-03
5	0.302589E-02
6	0.763146E-03
7	0.368201E-02
8	0.141259E-02
9	0.337837E-02
10	0.193179E-02
11	0.406798E-02
12	0.270322E-02
13	0.533399E-02

BENDING MOMENT

1	0.000000E 00
2	0.592622E 02
3	−0.474978E 02
4	0.594525E 02
5	−0.632516E 02
6	0.689776E 02
7	−0.690665E 02
8	0.630348E 02
9	−0.587371E 02
10	0.543496E 02
11	−0.466046E 02
12	0.531885E 02
13	0.000000E 00

BENDING MOMENT PER UNIT WIDTH

1	0.000000E 00
2	0.790163E 01
3	−0.633305E 01
4	0.792700E 01
5	−0.843354E 01
6	0.919701E 01
7	−0.920886E 01
8	0.840465E 01
9	−0.783161E 01
10	0.724662E 01
11	−0.621395E 01
12	0.709180E 01
13	0.000000E 00

TABLE—4.4

ANALYSIS OF STRIP OF NO.3

B=7.5000 H=3.7500

E=0.180000E 07 I=0.104000E 00

NOD+L SETTLEMENT

1	0.377070E-02
2	0.920249E-03
3	0.261750E-02
4	0.986824E-03
5	0.281614E-02
6	0.157123E-02
7	0.270003E-02
8	0.438230E-03
9	0.257176E-02
10	0.969568E-03
11	0.278238E-02
12	0.207217E-02
13	0.533702E-02

BENDING MOMENT

1	0.000000E 00
2	0.605392E 02
3	−0.443015E 02

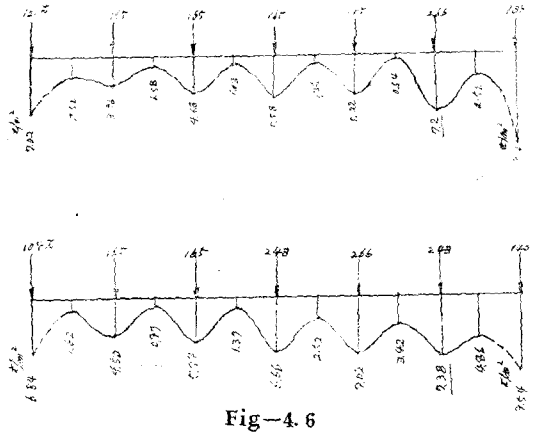
4	.0460595E 02
5	−0.409240E 02
6	0.315987E 02
7	−0.451355E 02
8	0.585107E 02
9	−0.497301E 02
10	0.454606E 02
11	−0.335863E 02
12	0.529158E 02
13	0.000000E 00

BENDING MOMENT PER UNIT WIDTH

1	0.000000E 00
2	0.807189E 01
3	−0.590687E 01
4	0.614127E 01
5	−0.545654E 01
6	0.421316E 01
7	−0.601807E 01
8	0.780142E 01
9	−0.663068E 01
10	0.606141E 01
11	−0.447818E 01
12	0.705544E 01
13	0.000000E 00

4.5 地盤反力

4.4에서 求한 Mat基礎의 처짐에 의하여 地盤反力을 求하면 Fig—4.6과 같다.



Fig—4.6

5. 結　論

5.1 基礎地盤의 地耐力에 對하여

1. 基礎地盤의 許容支持力 $q_a=7.84t/m^2$는 平均作用荷重 $q=5.2t/m^2$보다는 若干크지만 Finite Difference Method로 求한 地盤反力보다는 若干 작다. Finite Difference Method에 의하면 內側 기둥밑의 地盤反力은 最大 $7.38t/m^2$정도 外側기둥밑에서는 最大 $\frac{11.34+7.02}{2}\fallingdotseq 9.2t/m^2$정도가 될 것이다.
2. 細砂層의 即時 沈下層은 28*cm*이고 粘土層의 壓密沈下量은 43*cm*이다. 粘土層의 壓密沈下量은 工事完成後에도 沈下는 계속하지만 細砂層의 即時 沈下는 工事完成 即後에 完了한다.
3. 그러므로 基礎地盤의 支持力을 强化하고 아울러 細砂層의 即時 沈下를 해결하기 위하여 現掘削地盤위에 30*cm* 두께의 捨石을 깔아서 도자로 다진 다음 그 위에 두께 40*cm*의 막자갈을 깐후 Tendam Roller(5ton)로 輾壓하여야 한다. 但 捨石을 깔때 捨石사이의 間隙에 채움재(모래자갈)로 充分히 채워서 다질것.

5.2 Mat Slab의 Bending Moment에 對하여

不過 3個의 Strip에 대해서 計算해본 것에 지나지 않지만 Mat基礎地盤에 捨石과 막자갈을 깔아서 基礎地盤의 地時反力係數를 $K=1,800t/m^3$정도가 되게 하면 本 Mat基礎의 경우는 ACI Code에 의하여 Flat Slab(基礎地盤의 土質條件을 全혀 고려하지 않은 것)로서 算出된 B.M의 값을 사용하여 Mat斷面을 設計하여도 別支障이 없다는 것을 말해주고 있다.