

# 膨張促進硬性固粒体パイルの特性について

東北工業大学 正員 伊藤 孝男  
 " " 今埜 辰郎  
 " ○学生員 大内 精一

## 1. まえがき

今回、膨張促進硬性固粒体パイル（以後QCBパイルと称す）による、軟弱地盤の改良試験工事を進行する機会を得、パイルの設計過程、施工性、さらに、盛土による地盤の沈下状況、基底破壊、側方流動等に対する改良効果について、改良後の地盤、および、硬化パイルに対する調査、実験検討を行ない、軟弱地盤の改良杭としての諸特性について報告する。

## 2. パイルの設計

### (2-1) 地盤の概要

当工区的地盤は、厚さ14mにおよぶ軟弱層である。上層は腐植土、有機質土層よりなり、その下に海成粘土層が厚く分布している。それぞれの層の性状は表-1に、また、盛土高3mによる各層の推定沈下量を表-2に示した。

### (2-2) 打設ピッチの設計

パイルの設計に際し、残留沈下量を30cmとして「吸水・膨張による検討」と「含水比低下による検討」により設計し、打設ピッチを1.60mとした(図-1)。

次に、パイルを含めた複合地盤強度をもとに「基底破壊」、「側方流動」の検討を行なうとともに、硬化パイルの「支持力」についても検討し表-3に示した。

## 3. 改良地盤の性状

改良後の性状を表-4に、盛土施工による推定沈下量を表-5に示した。さらに、「基底破壊」、「側方流動」の阻止効果も十分示されている。また、段階盛土(盛土厚3m)による推定沈下量、および、実測沈下量は図-2に示すとおりである。

表-1 設計資料時の地盤調査結果

| 深度(m) | 土質      | 層厚(m) | 性状   |
|-------|---------|-------|--|
| 5     | 表土      | 1.5m  | $\gamma_t=1.80t/m^3$<br>$\gamma_w=1.04t/m^3, W_o=37.1\%, G_s=1.805, S_r=82.3\%$<br>$W_L=66.2\%, W_P=25.2\%, I_P=369.6$<br>$q_u=0.56kg/cm^2, e=7.66, P_c=0.37kg/cm^2, C_c=4.81$ |
|       | 腐植土(Ⅰ)  | 2.5m  | $\gamma_t=1.34t/m^3, W_o=106.0\%, G_s=2.407, S_r=94.2\%$<br>$W_L=112.7\%, W_P=48.1\%, I_P=64.6$<br>$q_u=0.52kg/cm^2, e=2.72, P_c=0.54kg/cm^2, C_c=1.37$                        |
| 10    | 有機質土(Ⅱ) | 4.0m  | $\gamma_t=1.56t/m^3, W_o=74.0\%, G_s=2.672, S_r=100.3\%$<br>$W_L=75.0\%, W_P=33.0\%, I_P=42.0$<br>$q_u=0.42kg/cm^2, e=1.88, P_c=0.60kg/cm^2, C_c=0.78$                         |
|       | シルト(Ⅲ)  | 7.5m  |  |

図-1 QCBパイル配設図(平面図および断面図)

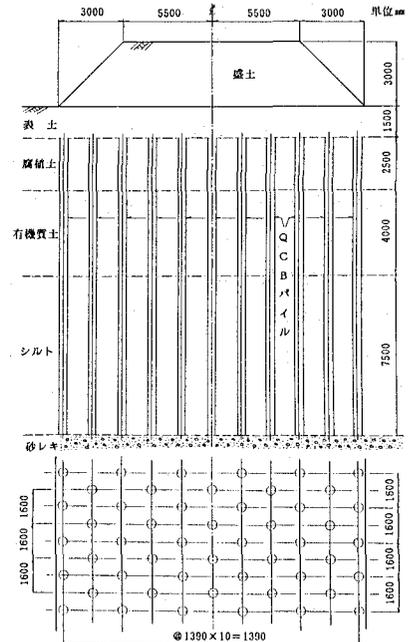


表-2 現地地盤の盛土による圧密沈下量

| 層厚(m)                   | 盛土                       | 地中応力 $P_z$ の算定         | 地中応力 $P_z$ の算定  | 沈下量の算定  |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|---|---|
| 1.5m                    | $\gamma_t=1.80t/m^3$     | 圧密時応力(実験値)             | 台形分割法   | $\Delta S_{11} = C_c \times (1+e) \times \log_{10} (P_z + \Delta P) / P_z$        |
| 2.5m                    | (Ⅰ) $\gamma_t=1.04t/m^3$ | $P_{c1} = 0.37kg/cm^2$ | $I_{11} = 0.489$<br>$6z_{11} = 2 \times I_{11} \times q$<br>$\Delta P_{11} = 0.53kg/cm^2$ | $C_{c1} = 4.81$<br>$e_{i1} = 7.66$<br>$P_{11} = P_{c1}$ $\Delta S_{11} = 54cm$    |
| 4.0m                    | (Ⅱ) $\gamma_t=1.34t/m^3$ | $P_{c2} = 0.54kg/cm^2$ | $I_{22} = 0.403$<br>$6z_{22} = 2 \times I_{22} \times q$<br>$\Delta P_{22} = 0.47kg/cm^2$ | $C_{c2} = 1.37$<br>$e_{i2} = 2.72$<br>$P_{22} = P_{c2}$<br>$\Delta S_{22} = 40cm$ |
| 7.5m                    | (Ⅲ) $\gamma_t=1.56t/m^3$ | $P_{c3} = 0.60kg/cm^2$ | $I_{33} = 0.320$<br>$6z_{33} = 2 \times I_{33} \times q$<br>$\Delta P_{33} = 0.35kg/cm^2$ | $C_{c3} = 0.78$<br>$e_{i3} = 1.98$<br>$P_{33} = P_{c3}$<br>$\Delta S_{33} = 40cm$ |
| 全沈下量 $\Delta S = 134cm$ |                          |                        |   |   |

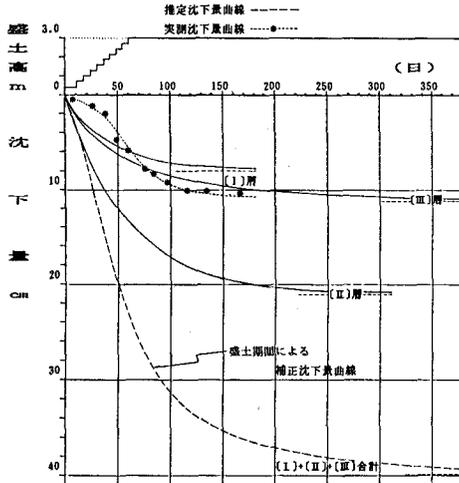
表-3 打設ピッチの設計

| QCBパイル設計計算一覧 |                          |                          |
|--------------|--------------------------|--------------------------|
| 未処理          | 打設ピッチ1.6m                |                          |
| 圧密沈下量        | 134cm                    | 30cm                     |
| 複合地盤強度       | 2.4t/m <sup>2</sup>      | 7.6t/m <sup>2</sup>      |
| 蒸気破壊         | SP=0.72                  | SP=1.48                  |
| 側方流動         | 流動する3.1×10 <sup>-3</sup> | 流動せず1.0×10 <sup>-3</sup> |
| パイルの支持力      |                          | 1.4t/本                   |

表-5 地盤改良後の盛土による圧密沈下量

| 層厚<br>m  | 盛土<br>断面図<br>a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w, x, y, z, A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, BM, BN, BO, BP, BQ, BR, BS, BT, BU, BV, BW, BX, BY, BZ, CA, CB, CC, CD, CE, CF, CG, CH, CI, CJ, CK, CL, CM, CN, CO, CP, CQ, CR, CS, CT, CU, CV, CW, CX, CY, CZ, DA, DB, DC, DD, DE, DF, DG, DH, DI, DJ, DK, DL, DM, DN, DO, DP, DQ, DR, DS, DT, DU, DV, DW, DX, DY, DZ, EA, EB, EC, ED, EE, EF, EG, EH, EI, EJ, EK, EL, EM, EN, EO, EP, EQ, ER, ES, ET, EU, EV, EW, EX, EY, EZ, FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG, FH, FI, FJ, FK, FL, FM, FN, FO, FP, FQ, FR, FS, FT, FU, FV, FW, FX, FY, FZ, GA, GB, GC, GD, GE, GF, GG, GH, GI, GJ, GK, GL, GM, GN, GO, GP, GQ, GR, GS, GT, GU, GV, GW, GX, GY, GZ, HA, HB, HC, HD, HE, HF, HG, HH, HI, HJ, HK, HL, HM, HN, HO, HP, HQ, HR, HS, HT, HU, HV, HW, HX, HY, HZ, IA, IB, IC, ID, IE, IF, IG, IH, II, IJ, IK, IL, IM, IN, IO, IP, IQ, IR, IS, IT, IU, IV, IW, IX, IY, IZ, JA, JB, JC, JD, JE, JF, JG, JH, JI, JJ, JK, JL, JM, JN, JO, JP, JQ, JR, JS, JT, JU, JV, JW, JX, JY, JZ, KA, KB, KC, KD, KE, KF, KG, KH, KI, KJ, KK, KL, KM, KN, KO, KP, KQ, KR, KS, KT, KU, KV, KW, KX, KY, KZ, LA, LB, LC, LD, LE, LF, LG, LH, LI, LJ, LK, LL, LM, LN, LO, LP, LQ, LR, LS, LT, LU, LV, LW, LX, LY, LZ, MA, MB, MC, MD, ME, MF, MG, MH, MI, MJ, MK, ML, MM, MN, MO, MP, MQ, MR, MS, MT, MU, MV, MW, MX, MY, MZ, NA, NB, NC, ND, NE, NF, NG, NH, NI, NJ, NK, NL, NM, NN, NO, NP, NQ, NR, NS, NT, NU, NV, NW, NX, NY, NZ, OA, OB, OC, OD, OE, OF, OG, OH, OI, OJ, OK, OL, OM, ON, OO, OP, OQ, OR, OS, OT, OU, OV, OW, OX, OY, OZ, PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, PL, PM, PN, PO, PP, PQ, PR, PS, PT, PU, PV, PW, PX, PY, PZ, QA, QB, QC, QD, QE, QF, QG, QH, QI, QJ, QK, QL, QM, QN, QO, QP, QQ, QR, QS, QT, QU, QV, QW, QX, QY, QZ, RA, RB, RC, RD, RE, RF, RG, RH, RI, RJ, RK, RL, RM, RN, RO, RP, RQ, RR, RS, RT, RU, RV, RW, RX, RY, RZ, SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SI, SJ, SK, SL, SM, SN, SO, SP, SQ, SR, SS, ST, SU, SV, SW, SX, SY, SZ, TA, TB, TC, TD, TE, TF, TG, TH, TI, TJ, TK, TL, TM, TN, TO, TP, TQ, TR, TS, TT, TU, TV, TW, TX, TY, TZ, UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, UH, UI, UJ, UK, UL, UM, UN, UO, UP, UQ, UR, US, UT, UY, UZ, VA, VB, VC, VD, VE, VF, VG, VH, VI, VJ, VK, VL, VM, VN, VO, VP, VQ, VR, VS, VT, VU, VV, VW, VX, VY, VZ, WA, WB, WC, WD, WE, WF, WG, WH, WI, WJ, WK, WL, WM, WN, WO, WP, WQ, WR, WS, WT, WU, WV, WW, WX, WY, WZ, XA, XB, XC, XD, XE, XF, XG, XH, XI, XJ, XK, XL, XM, XN, XO, XP, XQ, XR, XS, XT, XU, XV, XW, XX, XY, XZ, YA, YB, YC, YD, YE, YF, YG, YH, YI, YJ, YK, YL, YM, YN, YO, YP, YQ, YR, YS, YT, YU, YV, YW, YX, YY, YZ, ZA, ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, ZG, ZH, ZI, ZJ, ZK, ZL, ZM, ZN, ZO, ZP, ZQ, ZR, ZS, ZT, ZU, ZV, ZW, ZX, ZY, ZZ |   |
|--|---|---|
|  |   | 地中応力 P <sub>1</sub><br>の算定  |
| 圧密時伏圧力<br>γ=1.8t/m <sup>3</sup>                            | 台形分割法   | ΔS=H×Cc/(1+e)<br>×Log <sub>10</sub> (P <sub>2</sub> +ΔP)/P <sub>1</sub>                           |
| 1.5m (I) Z <sub>1</sub> =2.1m<br>γ=1.8t/m <sup>3</sup>     | Pc I = 1.05kg/cm <sup>2</sup><br>ΔP I = 0.53kg/cm <sup>2</sup>  | 1.1 = 0.489<br>C <sub>c</sub> I = 0.51<br>e I = 1.528<br>P <sub>1</sub> = Pc I ΔS I = 8cm         |
| 2.5m (II) Z <sub>2</sub> =4.6m<br>γ=1.51t/m <sup>3</sup>   | Pc II = 0.56kg/cm <sup>2</sup><br>ΔP II = 0.47kg/cm <sup>2</sup>  | C <sub>c</sub> II = 0.80<br>e II = 2.883<br>P <sub>1</sub> = Pc II ΔS II = 21cm                   |
| 4.0m (III) Z <sub>3</sub> =8.6m<br>γ=1.33t/m <sup>3</sup>  | Pc III = 1.40kg/cm <sup>2</sup><br>ΔP III = 0.35kg/cm <sup>2</sup>  | 1.1 = 0.320<br>C <sub>c</sub> III = 0.79<br>e III = 0.38<br>P <sub>1</sub> = Pc III ΔS III = 11cm |
| 7.5m (IV) Z <sub>4</sub> =11.75m<br>γ=1.67t/m <sup>3</sup> |   |   |
| ΔS 留 = 11cm<br>残留沈下量 ΔS = 40cm                             |   |   |

図-2 沈下量~H等間曲線



#### 4. パイルの強度

打設2週、4週後にパイルを全長コアリングし、深度方向の強度を調べ、その結果を図-3に示した。

#### 5. あとがき

吸水・膨張効果が生石灰と全く同様であるQCBを用いた、深層地盤改良杭としてのQCBパイルは、QCBが水和反応後、早期に硬化することにより、従来の生石灰パイル処理工法に比べ、複合地盤強度が強く、打設ピッチも約倍に離すことが可能である。また、改良後の盛土による基底破壊、側方流動も阻止でき、沈下状況も、当初の推定沈下量の約1/3以下に抑えられる改良効果を示している。以上のように、軟弱地盤の改良杭としてのQCBパイルは、生石灰系のパイルに比べ、打設本数が低減され、処理効果も早期に発現するなど、改良効果、施工性、経済性の面においても有効な処理工法と考えられる。

最後に、本報告に当り、宮城県土木部仙台工事事務所、および、光建設、ライト工業の関係者の方々にご指導、ご協力を得ましたことを記し、深く感謝の意を表したい。

表-4 改良後の地盤調査結果

| 深度<br>(m) | 土質           | 層厚<br>(m) | 性状   |
|-----------|--------------|-----------|--|
| 5         | 黄土           | 1.5m      | γ=1.80t/m <sup>3</sup><br>γ=1.51t/m <sup>3</sup> , Vo=64.2%, Gs=2.532, Sr=92.7%  |
|           | 腐植土<br>(I)   | 2.5m      | VL=64.0%, WP=47.0%, IP=17.0<br>qu=0.88kg/cm <sup>2</sup> , e=1.75, Pc=1.05kg/cm <sup>2</sup> , Cc=0.51   |
| 10        | 有機質土<br>(II) | 4.0m      | γ=1.33t/m <sup>3</sup> , Vo=108.5%, Gs=2.104, Sr=80.0%<br>VL=88.0%, WP=47.3%, IP=20.7<br>qu=1.11kg/cm <sup>2</sup> , e=2.31, Pc=0.56kg/cm <sup>2</sup> , Cc=0.81 |
|           | シルト<br>(III) | 7.5m      | γ=1.67t/m <sup>3</sup> , Vo=60.3%, Gs=2.552, Sr=105.8%<br>VL=70.1%, WP=36.2%, IP=34.0<br>qu=0.96kg/cm <sup>2</sup> , e=1.46, Pc=1.40kg/cm <sup>2</sup> , Cc=0.38 |
| 15        | 砂れき          | 3.0m      |  |
| 20        | 泥岩           |           |  |

図-3 パイルの硬化強度(2週、4週後の深度方向) 圧縮強度 (kg/cm<sup>2</sup>)

