

日本鉄道建設公団が建設を進めている鉄道新線の京葉線は、その大部分が東京湾岸の軟弱な埋立地を通過している。その中でも千葉市と習志野市の市境付近に位置する京葉線の電車基地、及び下り本線の一部は、最近浚渫工により埋立が完了したばかりの超軟弱な地盤を改良し、地平部に鉄道施設を施工するものである。

1. 土層構成

埋立地は標高3～4mではほぼ平坦であるが、浚渫工の吐出口に相当すると思われる箇所では貝殻片を多く混えた褐灰～黄褐色の細砂、シルト混り細砂層で地盤も4mと僅かに高い。また吐出口から離れた区間は暗灰色のシルト、砂混りシルト層となっており、地盤は3m前後で低湿で軟弱な地盤となっている。平面的に見れば、これらの地盤が交互に、あるいは入り組んで存在しており、断面的にもそれらが互層状になっているとか非常に不均質な地盤構成となっている。埋立地の浚渫土層は、厚さが旧海底面より4～6mであり、その下位には所質土を主体とする沖積層(N値10回前後)が8～15m堆積している。沖積層の下位は、成田層といわれる洪積層(N値30～50回)となっている。

2. 浚渫土層の土性

浚渫シルト層は、平均N値が0～1.3回と概ね1以下となっている。また、含水比 W_n は $GL-1.0\sim 2.0$ m間が100～130%、 -2.0 m以深は60～90%と土性のバラツキが見られる。一軸圧縮強度 q_u は $0.10\sim 0.25\text{ kg/cm}^2$ で深度方向に漸増する傾向にある。尚、圧密降伏応力は有効土被圧より若干大きいが正規圧密土層に近い。

浚渫砂層は、平均N値が3.0～7.4回と緩く、均等係数も1.74～6.34と均等粒径の所層である。

3. 地盤改良工法

(1) 軟弱粘性土層

地盤改良の目標は、鉄道施設としての盛土支持地盤条件を満たし、安定と沉下に対処するものとした。(1). 施工基面から下3m以内にN値4回以下の軟弱な沖積細粒土層を挟まないこと。(2). 路床表面での K_{30} 値が 7 kg/cm^2 以上であること。(3). 沉下に対しては、線路使用開始時点での残留沉下量が10cm以下、線路使用開始時点以降の最大沉下速度が 3 mm/年 以下であること。また安定条件として粘着 c を 2.5 kg/cm^2 以上とした。

地盤改良工法には、プレロード工法、置換工法等種々あるが当地区においては、経済性、施工性、改良効果等を勘案し、また試験施工によりその効果を確認して、本線部分については表層混合工法(プレロード併用)、電車基地内についてはプレロード工法を採用した。

(2) 緩い砂地盤

緩い砂地盤は、地震時に流動化が懸念され、地盤改良はN値0～10回をN値>10回以上とすることとした。

砂地盤に対する地盤改良工法は、サンドコンパクション工法等いくつかあるが、動圧密工法は、経済性、施工性、また試験施工の結果も良好であり採用した。一部シルト層と砂層が互層になっている、シルト層厚が2m以上と厚い区間については、プレロード工法を併用し、載荷盛土撤去後動圧密工法を施工した。

4. 施工及び改良効果

下り本線部で施工した表層混合工法(プレロード併用)は、現地盤面($GL\pm 3.3\text{ m}$)より約70cm掘削し、以下1.3mに対し生石灰を10%(重量比)添加、混合し、土質安定処理を行おう。掘削部は良質の砂質土で置換えその上部にプレロードを載荷して改良部深の圧密を計るものである。電車基地内のプレロード工法は、現地盤面上に良質の砂で厚さ約50cmの排水層を施工し、その上部にプレロードを載荷する。また補助工法としてパーバードレーン、サンドコンパクションパイルを施工して圧密の促進と、支持力増加(複合地盤として)を計った。

アレロード荷重は、軌道、列車荷重、路床、路盤荷重相当分として 5.9 t/m^2 を想定し、現地盤面より約3mの土砂を載荷した。

沈下量の想定には $e \sim \log p$ 曲線を用いる Δe 法、自然圧密時間はTerzaghiの圧密理論に基づく換算層厚法によった。また、パーバードレーン、サンドコンパクションパイルを施工した箇所はBarronの計算法により想定し、載荷盛土の軟化計画を立てている。現場での施工管理は、双曲線法により最終沈下予測を行ない、残留沈下量が3cm以下を基本として載荷盛土の撤去時期を決定している。

動圧密工法は、試験施工の結果から、ハンマー重量12t(底面積 3 m^2)、落下高20m、プリント間隔6m(正方形配置)を施工の基本とし、各プリントに平均24回の打撃(打撃エネルギー量換算 160 t/m^2)を2シリーズに分けて与えた。さらに5tハンマーにより施工後の表層付近を締固める仕上げタンピング(落下高10m打撃回数2回の全面ベタ打ち)を実施した。

○表層混合工法による改良効果

生石灰による改良層は、改良後28日時点での標準貫入試験による N 値が6~25回となっている。また改良後400~500日で実施した N 値は、若干の増加はあるものの経時変化はあまり見られない。置換砂層については表層での K_{30} 値がほとんどの箇所で 7 kg/cm^2 以上となっており、また N 値(8~28回)から K_{30} 値を推定すると $9 \sim 14 \text{ kg/cm}^2$ となっており、改良目標の施工基面下3mの間に N 値4以下の細粒土層がないことを満足している。

生石灰による改良層以下については、最終沈下量を双曲線法により算出すると13~37cmになる。地盤強度は、 γ_c 値で改良前と比較すると2~3倍($4.5 \sim 6.0 \text{ kg/cm}^2$)程度増加している。また、含水比等の物性には変化があまり認められないが、粘着力 C は、 $C = \frac{1}{16} \gamma_c$ 、 $C = \frac{1}{50} \gamma_u$ で換算すると改良前に比べ約3倍(平均 3.0 t/m^2)程度増加している。

○アレロード工法による改良効果

双曲線法による最終沈下量の想定では、サンドコンパクションパイル施工箇所では30~50cm、無処理区間では50~70cmとなっており、サンドコンパクションパイルの支持効果が認められる。改良地盤の強度は、表層混合工法施工区間と同様で、 γ_c 値は2~3倍($4.0 \sim 6.5 \text{ t/m}^2$)程度、粘着力 C も約3倍($2.5 \sim 3.0 \text{ t/m}^2$)程度増加している。

サンドコンパクションパイル自体の強度は、 N 値11~28回でパイル中間付近が大きき値となっており、また $W_n = 18 \sim 24 \%$ 、 $\gamma_t = 1.86 \sim 1.94 \text{ g/cm}^3$ 、 $\phi = 36 \sim 41^\circ$ となっている。複合地盤として構造物(洗淨線)の支持力を計算してみると極限鉛直支持力 $Q = 38.1 \text{ t}$ 、極限水平支持力 $R = 9.1 \text{ t}$ となる。また、単円錐すべり面法により安全率を算出すると $F_s = 3.14$ となり改良目標は満している。

○動圧密工法による改良効果

動圧密工法による地盤の沈下量は、3.5~7cmと改良層厚5~6mに対して8~11%の圧縮率となっている。標準貫入試験による N 値は、 $N = 10 \sim 30$ 回と改良前に比べ3~10倍程度増加した。ただ細粒土分の混入量が多い部分では、改良前後の N 値に殆んど変化が見られなかった。アレシオメーター試験によるパラメーターから求めた γ の横方向 K 値は、 γ 径 $\phi 400 \sim 450 \text{ mm}$ で $3.24 \sim 3.28 \text{ kg/cm}^2$ が求められ改良前に比べると約1.9倍程度の増加が認められる。第1シリーズ1バスタンピングでは、地下水位が高く、特に緩い砂層($\gamma_c = 10 \sim 20 \text{ kg/cm}^2$)、あるいは砂層にシルトを多く挟んだ地盤では顕著な噴砂現象が認められた。このタンピング工事に伴う地盤中の間隙水圧は、 0.3 kg/cm^2 の過剰間隙水圧が発生している。またそれ以後のタンピングでは過剰間隙水圧が、 0.2 kg/cm^2 以下となり噴砂現象は殆んど生じていない。尚、タンピングに伴う過剰間隙水圧は、第1、第2シリーズとも1~3日程度のかかり早い時間に消散している。

以上、地盤改良の改良目標は、各工法とも満しており当初目的は達成した。