

1. まえがき

日本鉄道建設公団が現在建設を進めている京葉線（東京都塩浜～千葉県木更津間108^{km}、甲線、複線電化）のうち有明町～江戸川間（塩浜起点13^{km}500^m～22^{km}100^m、延長8^{km}600^m）における高架橋の構造形式選定（特に下部工）について報告する。当区間は東京湾沿岸沿いの軟弱な埋立地帯であり構造物建造にとっては非常に困難を伴う地帯である。その上、中間にある荒川放水路橋りょう（19^{km}100^m～19^{km}940^m、延長840^m）の桁下空頭がH.W.L.+25^mと非常に大きいため前後の高架橋もそれに伴い高くなりG.L.～F.L.が20^mになる区間もある。支持地盤までの深さ、地質性状、橋高が位置によって変化するため今回の形式選定では代表的な8つの地盤モデルに分類し、その地盤モデル毎に力学上、経済上有利な形式を見いだそうとした。

2. 地質上の特徴

(1)地質概要 位置によりかなり変化を示しているが、図-1に地質縦断面図の一部を示す。一般に上層より埋立土層（盛土及び吹き上げ砂、粘土F₁, F₂）、沖積砂層（A₁）、沖積粘土層（A₂）、洪積粘土層（D₁）、洪積砂層（D₂）、洪積レキ層（D₃）となっている。沖積砂層は5～10^mの層厚でかなりの区間にわたり存在するがいずれもN値が5～15で支持層として使うことができない。良好な支持層である洪積砂層及びレキ層はG.L.-30^m～60^mと非常に深くなっている。その中間にはN値が0～5の極軟弱な沖積粘土層が20～40^mもの層厚で分布している。

(2)地盤沈下 当区間は日本有数の地盤沈下地帯であり、地下水汲上げ規制等により近年鈍ってきているにもかかわらず4～9^{cm}/年もの沈下が続いている。構造物の形式選定上、最終沈下量を知る事が必要であるが、①地下水位低下、②埋立土荷重、③構造物荷重の3要因による沖積粘土層の圧密沈下量の計算結果では、最終沈下量は一部を除いて50^{cm}～200^{cm}という大きな値を示している。

(3)ネガティブフリクション（ f_n ） 圧密沈下地帯であるので支持杭には強大なネガティブフリクションが作用する。その大きさは、建造物設計標準より

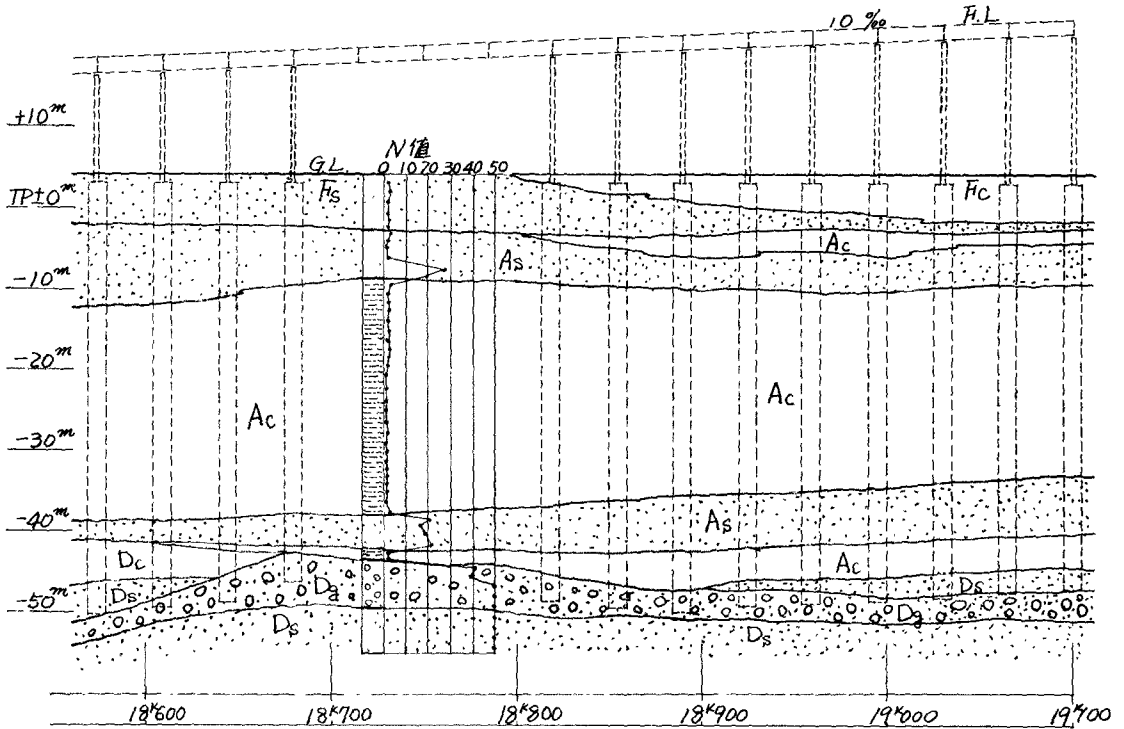
$$\text{砂質土の場合 } f_n = \gamma l K_0 \tan \delta \text{ (t/m}^2\text{)}, \quad \text{粘性土の場合 } f_n = \gamma u / 2 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

で計算した。各地点の地質調査のN値、単位体積重量（ γ ）、一軸圧縮強度（ q_u ）から f_n を計算してプロットすると深さ（ l ）に対して割と良い相関関係を示すので計算の便宜上、最小自乗法により全区間を通じて

$$f_n = 0.202l + 1.01 \text{ (t/m}^2\text{)} \text{ と仮定して計算を行った。}$$

(4)砂質土の液状化 当区間は埋立土層の吹上げ砂、及び沖積砂層が地表より15^mぐらいの間に相等的範囲に分布しているため地震時における液状化が懸念される。液状化するかどうかという事は基礎の設計、特に摩擦杭による基礎構造などには決定的な影響を及ぼすので慎重に決めなければならない。液状化の判定規準としては粒度組成（粒度分布、均等係数、粘土含有量）、N値、間げき比、堆積年代、地下水位、有効土被り圧等があるが、これまでの地質調査の結果からは、液状化発生の可能性が非常に微妙なため一応地表から最大6^mまで液状化するものとして比較設計を進めた。現在、さらに広範囲な粒度試験、Seedの方法による砂のくり返し三軸圧縮試験を実施中であり、その結果を見て液状化発生について再検討するつもりである。

図-1 地質横断面図(一部)



3. 構造形式選定の方法

(1) モデル地盤の設定 選定作業を容易にするために当区間の地盤条件を次の様な基準により分類した。(図-2, 表-1)

モデル地盤名 $C_h-d-l-z$

h : 基礎上面から施工基面(F.L.)までの高さ

d : 基礎上面から液状化砂層の下面までの深さ

l : 基礎上面から支持層までの深さ

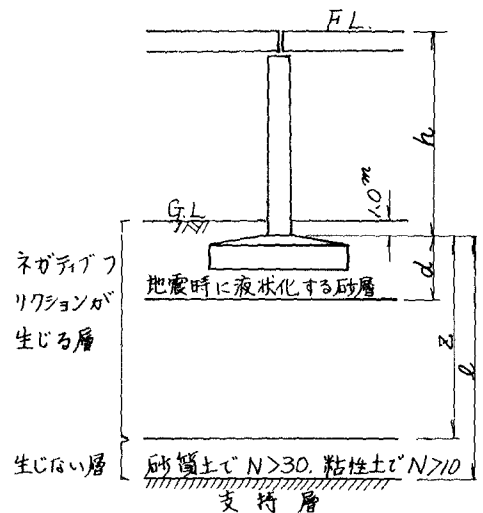
z : 基礎上面からネガティブフリクションを生じない土層までの深さ

現実の h , l , z は連続的に変化しているが多少の誤差は無視して、大局的に8つのモデルに分類した。

表-1

モデル地盤名	延長	モデル地盤名	延長
C5-0-30-15	620 ^m	C15-5-60-45	510 ^m
C10-0-60-45	1000 ^m	C15-5-60-55	570 ^m
C10-0-60-55	450 ^m	C20-5-60-50	1000 ^m
C10-5-60-45	830 ^m	高架以外	10920 ^m
C10-5-60-50	10600 ^m		

図-2 モデル地盤



(2) 比較を行う構造形式

形式選定の目的からは、可能な限り多くの形式、規模をリストアップすべきであるが今回は次のものを想定

した。

○上部工形式

1. PC単純桁 (T桁 箱桁 ホーローラフ) 2. RC単純桁 (T桁 箱桁)
3. ラーメン高架橋 (ゲルバー部8m, 17m, 25m) 4. 四柱式ラーメン+単純桁

○下部工形式

1. 完全支持杭 ネガティブフリクションの対策上、杭は太径のものが有利である。場所打鉄筋コンクリート杭 $\phi 1.5\text{m}$ ~ $\phi 2.5\text{m}$ を用いる。支持層の浅い部分では経済性から既成RC杭 $\phi 40\text{cm}$ も考慮する。
2. 摩擦杭 地盤表下地帯であるため、線路保守上かなり問題はあるが完全支持杭に比べて経済的にはかなり有利であるため考慮に入れる。既成RC杭 $\phi 40\text{cm}$ を用いる。
3. 井筒基礎 $\phi 8.0\text{m}$ 及 $\phi 6.0\text{m}$ 断面が大きいので、ネガティブフリクション、液状化に対して有利な方法である。
4. 井筒・杭の併用基礎 井筒 $\phi 8.0\text{m}$, $\phi 11.0\text{m}$, 場所打RC杭 $\phi 1.5\text{m}$ 鉛直支持力を杭で、水平支持力を井筒で持たせるという方法であるが、中間で剛性が急変するところに問題がある。

5. 鋼管井筒基礎 鋼管径 914mm , 井筒径 9.8m

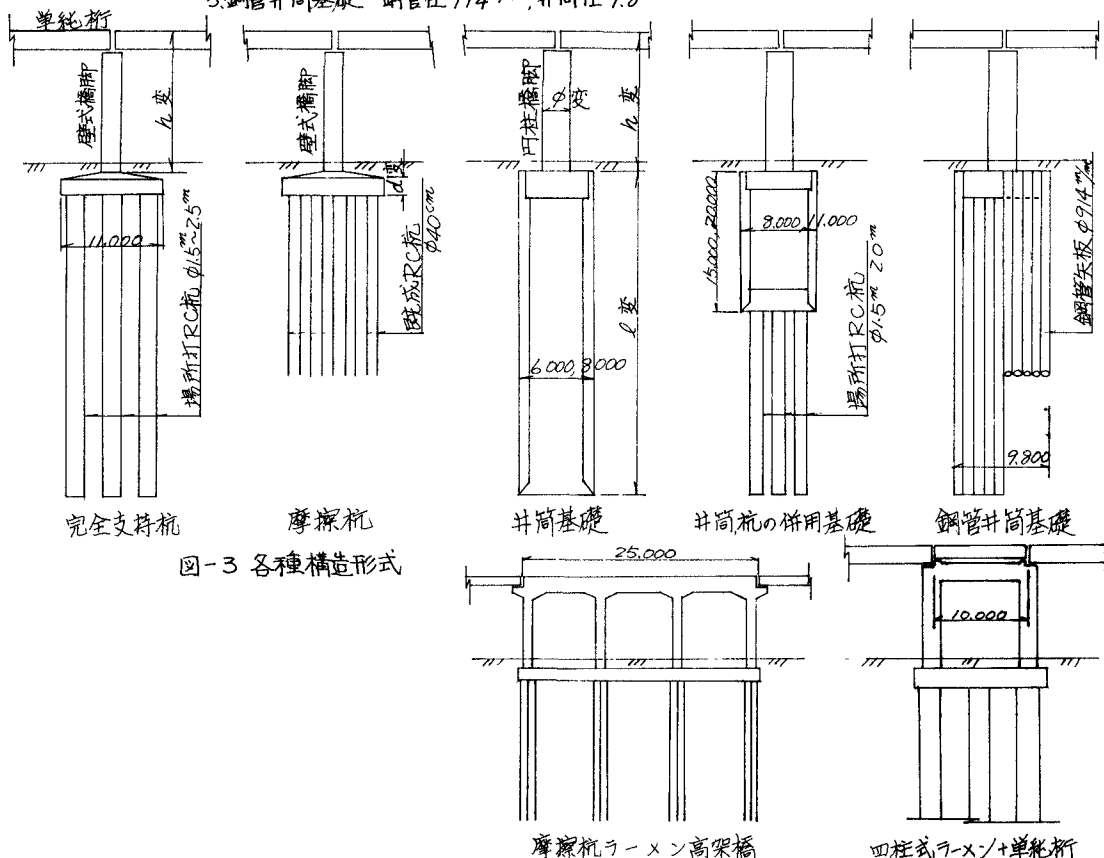


図-3 各種構造形式

(3) 経済的スパンの決定方法 一般にコンクリート桁はスパンが大きくなるにつれて曲線的に体積が増加する。これを2次曲線で近似して $V = aL^2 + bL + C$ とする。ここに a, b, C はPC, RCの別, T桁, 箱桁等の種類により変る変数で過去の施工例を集計する事により求められる。(L: スパン)

下部工の形状を与えれば工事費総額は、コンクリート単価を α , 下部工工事費を Y_u として

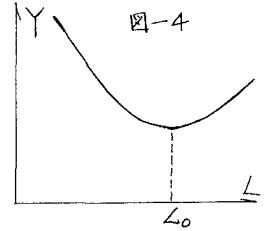
$$Y_t = \alpha (aL^2 + bL + C) + Y_u \quad \text{となる。}$$

$$m \text{ 当りの工事費は } Y = Y_0/L = \alpha a L + \alpha b + (\alpha c + Y_u)/L$$

このYの値は図-4の様な曲線で極小値を持つ。Yを極小にするLの値は

$$L_0 = \sqrt{\frac{\alpha c + Y_u}{\alpha a}} \quad \text{である。}$$

また下部工の形状をあらかじめ決めてやれば、これに対して支持力、変位量などに対して載荷可能な上部工のスパン L_m が求まる。曲線の形から L_0, L_m のうち、小さい方が経済的なスパンという事になる。



3. 結果(形式別工事費順位)

	1 位	2 位	3 位
C5-0-30-15	ラーメン高架橋 1ブロック長 25m 場所打RC支持杭 $\phi 076^m \times l = 30^m$ 8本	ラーメン高架橋 1ブロック長 25m 既成RC摩擦杭 $\phi 40^m \times l = 25^m$ 72本	RC箱桁 スパン 25m 既成RC支持杭 $\phi 40^m \times l = 30^m$ 54本
C10-0-60-45	ラーメン高架橋 1ブロック長 25m 既成RC摩擦杭 $\phi 40^m \times l = 25^m$ 96本	RC箱桁, PC-T桁 スパン 25m 30m 既成RC摩擦杭 $\phi 40^m \times l = 40^m$ 31本	ラーメン高架橋 1ブロック長 25m 場所打RC支持杭 $\phi 1.5^m \times 60^m$ 3本
C10-0-60-55	ラーメン高架橋 1ブロック長 25m 既成RC摩擦杭 $\phi 40^m \times l = 25^m$ 96本	RC箱桁, PC-T桁 スパン 25m 30m 既成RC摩擦杭 $\phi 40^m \times l = 40^m$ 31本	PC箱桁 スパン 50m 井筒基礎 $\phi 60^m \times l = 60^m$
C10-5-60-45	PC箱桁 スパン 50m 井筒基礎 $\phi 60^m \times l = 60^m$	四柱式ラーメン+RC箱桁 ラーメン部 10m スパン 30m 場所打RC支持杭 $\phi 20^m \times l = 60^m$ 6本	PC-T桁 スパン 30m 井筒杭併用基礎 井筒 $\phi 80^m \times l = 15^m$ RC杭 $\phi 15^m \times l = 40^m$ 場所打RC杭 $\phi 1.5^m$

	1 位	2 位	3 位
C10-5-60-50	PC箱桁 スパン 50m 井筒基礎 $\phi 60^m \times l = 60^m$	PC-T桁 スパン 30m 井筒杭併用基礎 井筒 $\phi 80^m \times l = 15^m$ RC杭 $\phi 15^m \times l = 40^m$ 場所打RC支持杭 $\phi 20^m \times l = 60^m$ 6本	四柱式ラーメン+RC箱桁 ラーメン部 10m スパン 30m 場所打RC支持杭 $\phi 20^m \times l = 60^m$ 6本
C15-5-60-45	PC箱桁 スパン 50m 井筒基礎 $\phi 60^m \times l = 60^m$	四柱式ラーメン+RC箱桁 ラーメン部 10m スパン 30m 場所打RC支持杭 $\phi 23^m \times l = 60^m$ 6本	RC箱桁 スパン 35m 場所打RC支持杭 $\phi 20^m \times l = 60^m$ 6本
C15-5-60-55	PC箱桁, PC-T桁 スパン 50m 40m 井筒基礎 $\phi 60^m \times l = 60^m$	PC-T桁 スパン 30m 場所打RC支持杭 $\phi 25^m \times l = 60^m$ 6本	PC-T桁 スパン 40m 井筒杭併用基礎 井筒 $\phi 110^m \times l = 20^m$ RC杭 $\phi 15^m \times 40^m$
C20-5-60-50	PC-T桁, PC箱桁 スパン 35m 30m 鋼管井筒基礎 $\phi 9.8^m \times l = 60^m$	PC箱桁, PC-T桁 スパン 35m 井筒基礎 $\phi 20^m \times l = 60^m$	PC-T桁 スパン 30m 井筒杭併用基礎 井筒 $\phi 110^m \times l = 20^m$ RC杭 $\phi 15^m \times 40^m$

上表の様に高架橋高さが10m以下でかつ地震時に液状化しないところはラーメン高架橋が工費的に有利である。特に既成RC杭を用いた摩擦杭のラーメン高架橋が施工もしやすくBetterと思われるが、残留沈下量が2mにも及び地帯では、不同沈下及び完全支持構造との取り付け部の沈下等が線路保守に及ぼす影響を考慮して慎重にその採否を決めなければならない。

高架橋高さが10mを越すところ及び地震時に液状化するところでは完全支持基礎特に井筒及び鋼管井筒を用いた単純桁が有利となってくる。今回の比較設計では杭と井筒の大きさをそれぞれ代表的と思われる数案しか用ゐしなかったが比較する種類数が指数的に増えるため不可能であった。いずれにしろ、支持層の深い軟弱地盤では上部工にくらべて下部工をかなり大型のものにせざるを得ないため、経済的には高架橋は基礎を井筒等、剛性が大きく、ネガティブフリクションに対しても有利な構造としてできるだけスパンを大にし、下部工の数を極力減らしたものとなる。