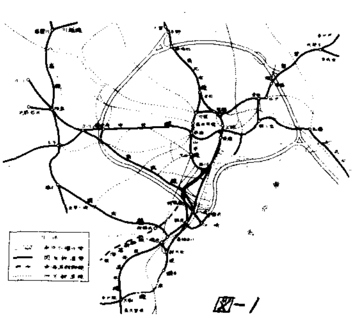
IV－196　**武蔵野線の軟弱地盤における高架橋の経済的設計について**

鉄道建設公団札幌支社　正会員　横田光彦
鉄道建設公団東京支社　正会員　○山本強

まえがき

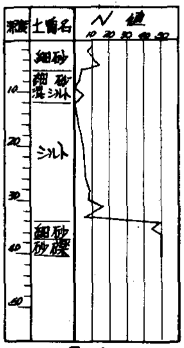
東京外環状線（図－１）は、延長約１５０ＫＭで現在の山手線の約５倍の規模であるが、３９年より着工し新鶴見－中央線－東北線－常磐線－総武線の間については４６年中に完成させるようとして、現在工事中である。この外環状線のうち、新鶴見－中央線－東北線－常磐線の部分を武蔵野線と称しているが、約８.０ＫＭのうち、３３ＫＭが（図－２）で代表されるような地質の軟弱地盤地帯となっている。軟弱地盤の深さも３０Ｍ前後のところが多く４０Ｍ位のところもある。このようなところに作るＲＣ杭鉄道高架橋としての標準型式を定めるために、基礎について検討したが、以下その概要である。



図－１

1. 基礎型式の経済比較

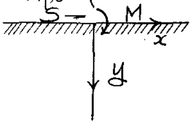
一般に考えられる既成ＲＣ杭を使用したもの（図－３(A)）と、大孔径場所打ＲＣ杭を使用したもの（図－３(B)）について、概略設計すると工費の上では、前者は、後者より約２５％程度割高になるが、これは主として基礎コンクリートや、根堀の工費の差のためである。しかし、支持層が浅くなり杭長が短くなる場合は、支持力の点から、杭径を大きくする必要があり、既成ＲＣ杭を使用する方が、経済的となる。高架橋の延長が約１０ＫＭに及ぶため、経済性を考え、大孔径場所打ＲＣ杭を使用する型式をとることとした。柱一本につき杭一本で、垂直荷重及び水平力を受けることになるので施工に対しては、特に高い精度と慎重な施工が要求されることは当然である。

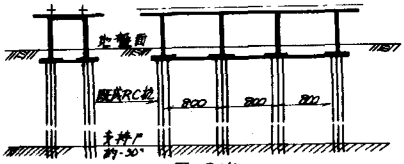


図－２

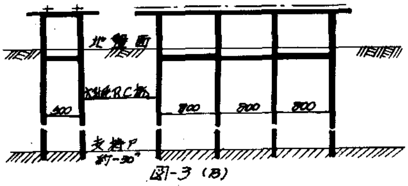
2. 柱と杭を剛結した場合の計算について

計算式としては、地中の杭は弾性体内にある無限長の杭と考えることとし、杭、地中梁、柱は剛結されるので、これら一体として撓角法で解きうるように、杭天端の材端モーメント式、端せん断力式を次の如く表した。





図－３(A)



図－３(B)

$$\begin{cases} M = 2\beta EI(\theta - \beta\delta) \\ S = -2\beta^2 EI(\theta - 2\beta\delta) \end{cases}$$

$2EK_0\theta = \varphi$, $-2EK_0\beta\delta = \phi$, $k = \frac{\beta I}{K_0}$ とすると

$$\begin{cases} M = \frac{\beta I}{K_0}(\varphi + \phi) = k(\varphi + \phi) \\ S = -\frac{\beta^2 I}{K_0}(\varphi + 2\phi) = -\beta k(\varphi + 2\phi) \end{cases}$$

以上の式により、杭も他の部材と同様に扱うこととした。

K：地盤の横抵抗係数
D：杭径
E：杭材のヤング率
I：杭の断面二次モーメント
K_0：基準剛度
δ：杭頭の水平変位
θ：杭頭の回転角
β：$\sqrt[4]{\frac{KD}{4EI}}$

3. 地中梁の断面について

線路方向の柱間隔については、6〜8Mの場合について検討した結果、工費その他の点から、8Mとした。地中梁については、三径間とも同一断面にする場合（図-4(A)）と、中間部分を事実上、ヒンヂとなるような構造とする場合（図-4(B)）が考えられるので、これらについて、地中梁以外の部材は同一にして計算したもののうち、二つの荷重状況についてのモーメントを表したものである。

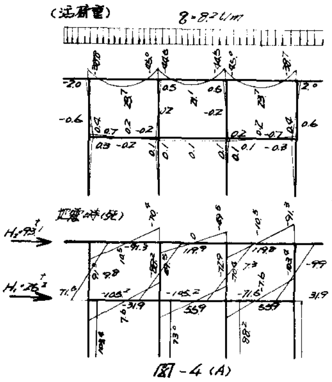


図-4(A)

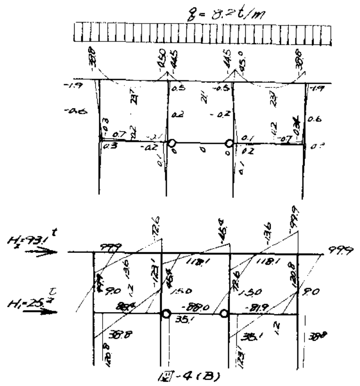


図-4(B)

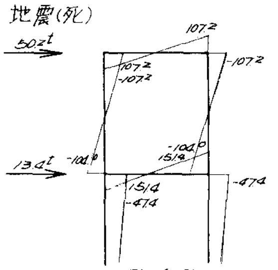


図-4(C)

この計算は、水平震度=0.3、地盤の横抵抗係数=1.0 kg/cm³、コンクリートのヤング率=210,000 kg/cm²、部材の断面は（図-6）に示す寸法で行ったものである。これより垂直荷重の場合は、地中梁の剛比の差による影響は殆どないことがわかるが、これは部分的な載荷でも同じことがいえる。又水平力を受けたときには（図-4(B)）の場合は、（図-4(A)）に対して、梁については10%以内の増減はあるが、柱については15%程度、杭については40%程度、モーメントを減ずるとともに平均化している。又、直角方向については両者とも（図-4(C)）のようになる。一方タワミについては（表-1）の通りである。ヤング率の違いによって、タワミはかなりの差が出ているが、実際のヤング率は300,000 kg/cm² 程度となっているのでこの値で検討することにした。地震時においては、地中梁が、（図-4(A)(B)）のいずれでも、タワミに対しては、その差は極めて少く、又、タワミ量についてみても、杭頭、レール位置での最大値がそれぞれ、線路方向で21.8 mm、直角方向で25.3 mmである。高架橋の剛性としては、地震時にこの程度のタワミが生じても差支えないものと考えている。

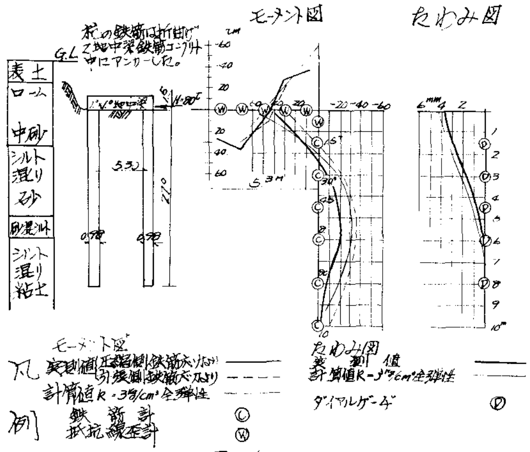
く、常時においては線路方向の縦荷重、線路直角方向の横荷重によってタワミが生じる。この中で、線路直角方向のレールの位置でのタワミは横荷重により、4.2 mm、生ずるが、この程度のタワミは、軌道保守基準として定められている通り狂いの許容値（10M間で5mm）よりみても、運転上、支障することはないと考えられる。

	荷重	δ	(A) E=2.1×10⁴ kg/cm²	(A) E=3.0×10⁴ kg/cm²	(B) E=2.1×10⁴ kg/cm²	(B) E=3.0×10⁴ kg/cm²	備考
線路方向	地震	δ_1	9.5 mm	8.0 mm	10.1 mm	8.6 mm	
		δ_2	17.3	12.2	18.7	13.3	
		δ	26.8	20.2	28.8	21.8	
	縦荷重	δ_1	2.0	1.7	2.2	1.9	縦荷重は
		δ_2	4.5	3.2	4.8	3.4	
		δ	6.5	4.9	7.0	5.3	H=24.9 t
線路直角方向	地震	δ_1			9.9	8.4	
		δ_2			22.9	16.9	
		δ			32.8	25.3	
	横荷重	δ_1			1.4	1.2	横荷重は複線載荷として
		δ_2			4.2	3.0	
		δ			6.6	4.2	H= 9 t

表－(1)

4. 水平力を受ける杭の計算値と実測値

弾性体内の無限長の杭として考え、柱、地中梁と剛結してラーメンを形成する場合、杭が計算通りの状態となるかどうかは、ラーメン全体の応力、タワミにも、直接影響を及すことであり、このような構造にすることの正否に関することである。以前に大阪環状線建設の際、横田らが同様な構造の高架を設計したが、そのときに杭の水平載荷試験を行ったがその結果は（図－5）の通りである。計算値としてあげてあるのは、試験場所の地質により、K＝3kg/cm³とし、コンクリートのヤング率は、300,000kg/cm²とし求めたものである。タワミについての実測値は杭は全部弾性体内にあるとしての計算値と大差のないことを示しており、又、モーメントの実測値とは、鉄筋計で測定した鉄筋歪より計算で求めたものである。杭の断面、応力を左右する杭頭におけるモーメントは、実測値と計算は正しくは、一致していないが、安全側の値となることを示している。



図－5

5 むすび

以上が武蔵野線の軟弱地盤地帯に建設する、高架橋の設計にあたって検討したことのあらましであるが基礎としては、大孔径場所打RC杭と柱を一対にして剛結した型式のものが経済的であること。このようなラーメンを解くにあたって杭は弾性体内にある無限長の梁と考え、又杭もラーメン部材の一部として扱って撓角法を利用すること。線路方向地中梁は柱と杭のモーメントを小さくすると同時に平均させるために、三径間の中央部分は事実上ピン結合とするのがよいこと。地震時におけるタワミや常時の列車通過時のタワミも差支えない程度のものであること、又杭の水平載荷試験値と計算値とを比較して、このような構造を採用し計算を行ってもよいこと等のことから（図-6）に示す標準型を設計した。実際に建設する高架橋としては（図-7）に示すような線形のところがあるが、このようなところには（図-8）に示すような、さまざまな型式のものが必要となる。いずれも標準型を基本にして、それぞれの場合に適した杭径、柱の断面等を設計し、すでに完成したところもある。

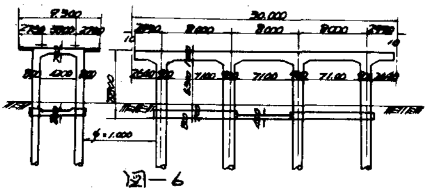


図-6

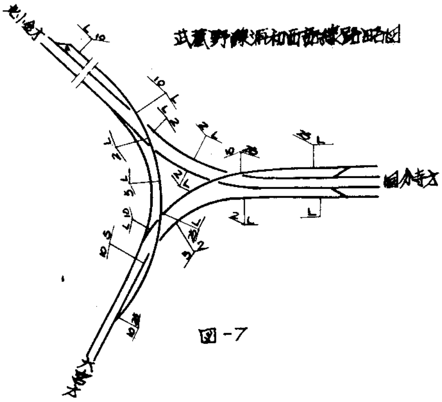


図-7

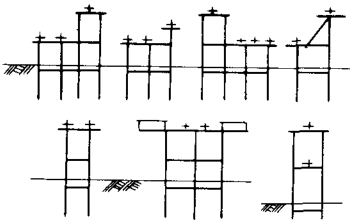


図-8