

高速道路一号線 106 工区の支承について

西 山 啓 伸*
小 川 英 信*

1. ま え が き

106 工区は、高速道路一号線の羽田～東京間のほぼ中間品川区勝島町に計画され、38 年 11 月に供用開始され

た区間である。当工区は、同町の関連街路上に計画されたものでその線形に準じた曲線高架橋であり、始終両端にセンターランプを有する複雑な構造形状となり、一方橋脚の構造位置も各部にその制約を受けて必ずしも理想的な状態にはなっていない。このような条件下で、工費および美観を考慮して全線地上より支保工を組む全面場所打ち工法の PC 高架橋と決定された。本橋は 25 m を 1 スパンとした張出し部付 3 径間連続箱桁橋で、当工区の特徴は地震荷重などを各柱に分散する特殊支承を使用した

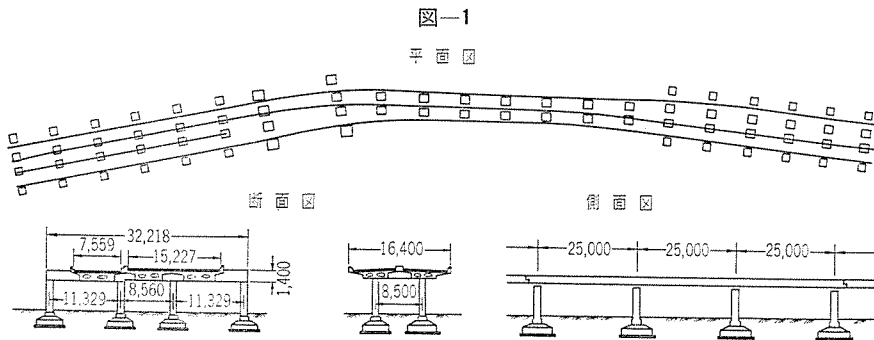


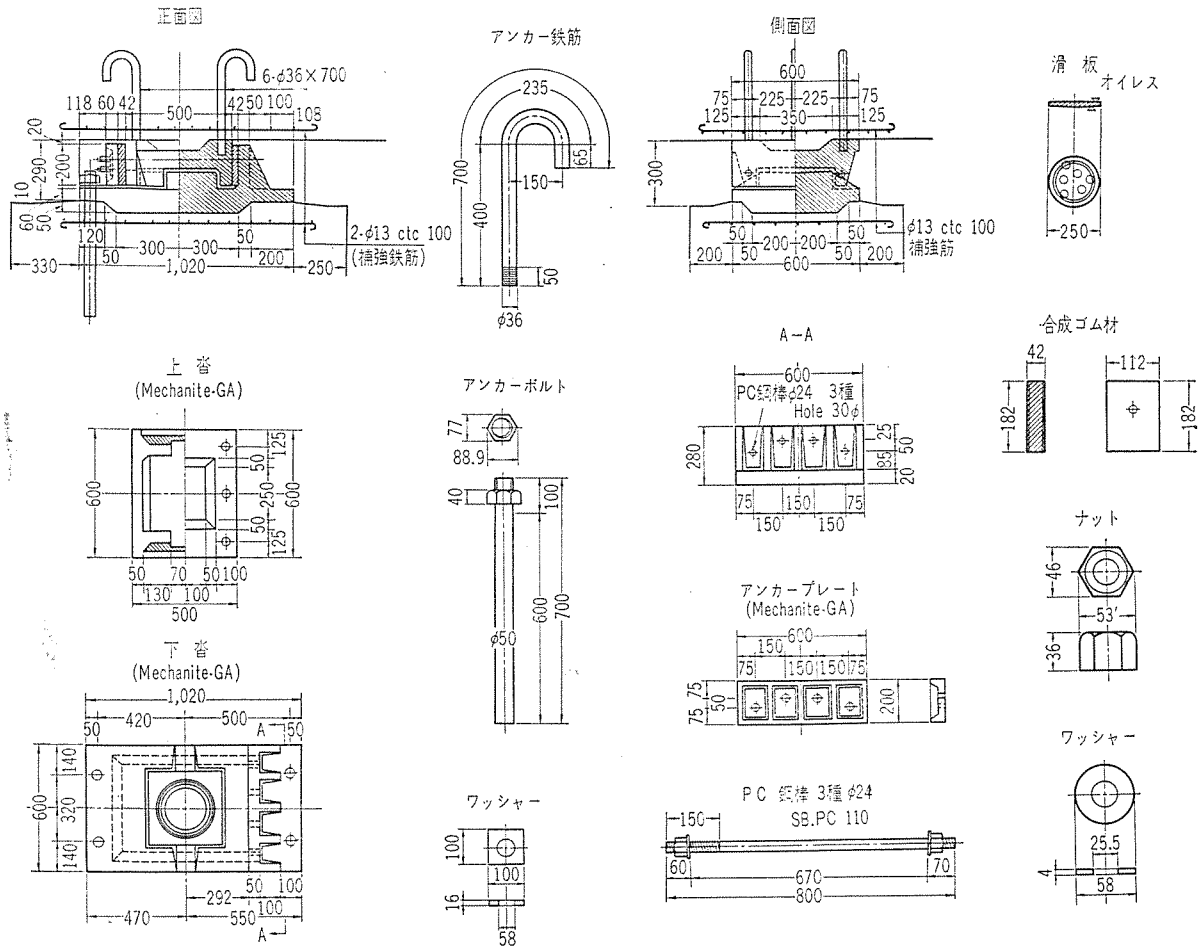
図-1

平面図

断面図

側面図

図-2



* 首都高速道路公団

ことで、以下この支承について記すこととする(図-1)。

2. 支承の設計

当工区の支承は 図-2 ように合成ゴム材を緩衝材として使用し、地震力を各橋脚に分散するように設計している。後述する方法で支承を設置することによりPC桁のプレストレッシングによる弾性変形の100%と、コンクリートのクリープならびに乾燥収縮による変形から生ずる不静定力を解放することができ、そして地震応力と温度変化による応力、ならびに残りのコンクリートのクリープ、乾燥収縮による応力を下部構造に伝達させるような構造になっている。

(1) 合成ゴム材の変形と橋脚の変形

橋脚が剛体としたときの合成ゴム材の変形量…… δ_1
 橋脚の変形量…………… δ_2
 とすれば、実際の合成ゴム材の変形量

$$\delta_3 = \delta_1 - \delta_2$$

となる。柱の作用力と変形量の関係式

$$P = \frac{3EI}{h^3} \delta_2 \dots\dots\dots (1)$$

ただし h : 橋脚高さ

E : ヤング係数

I : 橋脚柱の断面二次モーメント

合成ゴム材の作用力と変形量の関係式

$$P = K_c \delta_3 = K_c (\delta_1 - \delta_2) \dots\dots\dots (2)$$

ただし K_c : 合成ゴム材のバネ常数

橋脚の作用力とゴムの作用力は等しいので、式(1)、(2)より

$$\delta_2 = \frac{K_c \delta_1}{\left(\frac{3EI}{h^3}\right) + K_c} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)より δ_2 を求めれば作用力は式(1)、(2)より求まる。

(2) 合成ゴム材の性質について

ゴムのバネ常数については実験式として次式がある。

$$K_c = G \cdot E_{ap} / G \cdot (A/d) \{E_{(\alpha)} / E_{(0)}\} \dots\dots\dots (4)$$

E_{ap} : 見掛けの弾性率

A : ゴムの支圧面積

d : ゴムの厚さ

$E_{(\alpha)} / E_{(0)}$: 圧縮による非線形特性を示す補正項
 服部・武井公式によれば

$$E_{ap} / G = 3 + 6.58 S^2$$

$$S : \text{形状率} = \frac{\text{支圧面積}}{\text{全側面積}}$$

上式中の補正項を求める方法はつぎのとおりである。

$$\text{非線形特性による弾性率 } E_{(\alpha)} = G \left(1 + \frac{2}{\alpha^3}\right) \dots\dots (5)$$

いま伸長比 α の代りにひずみ ϵ で表わせば、この場合、圧縮変形であるから $\alpha = 1 - \epsilon$ として計算すればよい。式(5)より初弾性率は $E_{(0)} = 3G$ となり本設計ではひずみは15%付近であるから、弾性率は $E_{\epsilon} = G \left\{1 + \frac{2}{(0.85)^3}\right\} = 4.26G$ となり、補正項 $E_{(\alpha)} / E_{(0)} = 4.26G / 3G = 1.42$ となる。なお、式(4)は機械的に正確ではなく特に S (形状率)の大なるものに対しては誤差が大きく、実験値のバネ常数は $S = 1.8$ 、ゴム硬さ55°付近において1.35:1の割合で理論値が大きくなっているの、式(4)に0.74倍した次式を計算に適用できる。

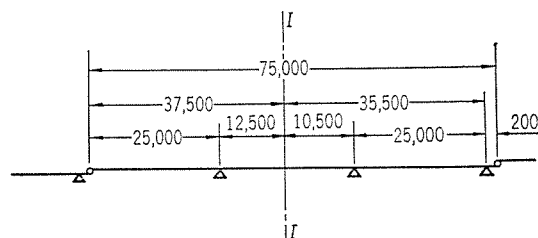
$$K_c' = G \cdot E_{ap} / G \cdot (A/d) \times 1.42 \times 1 / 1.35 \\ = 1.05 G (3 + 6.58 S^2) (A/d) \dots\dots\dots (6)$$

しかし、本工区の設計では安全を考えて式(4)によりバネ常数を求めることにしている。またゴムのせん断弾性係数: G は温度によって変化するのであるが、ここでは $G = 7 \text{ kg/cm}^2$ 、常温 21°C とする。

(3) 数値計算例

図-3の連続桁の中央I-I方向にプレストレッシングによる弾性変形、コンクリートのクリープによる変形などが生じるものとして支承 P_1, P_2, P_3 に使用する合成ゴム材の設計例を記すこととする。支承A,Bはゲルバー形式の伸縮継手部であるから、普通の可動支承を使用している。

図-3



3. 合成ゴム材の設計

(1) 桁の変形量

a) プレストレッシングによる弾性変形

$$P_t = 836\,000 \text{ kg}, A_c = 31\,261 \text{ cm}^2 \text{ とすれば}$$

$$\sigma_c = P_t / A_c = 26.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_p = \sigma_c / E_c = 26.7 / 3.0 \times 10^5 = 8.9 \times 10^{-5}$$

$$\Delta l_{p1} = 8.9 \times 10^{-5} \times 12.50 = 0.111 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{p2} = 8.9 \times 10^{-5} \times 10.50 = 0.094 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{p3} = 8.9 \times 10^{-5} \times 35.5 = 0.316 \text{ cm}$$

b) コンクリートのクリープによる変形

$$\Delta l_{c1} = \Delta l_{p1} \phi = 0.111 \times 1.5 = 0.166 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{c2} = \Delta l_{p2} \phi = 0.094 \times 1.5 = 0.141 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{c3} = \Delta l_{p3} \phi = 0.316 \times 1.5 = 0.474 \text{ cm}$$

c) コンクリートの乾燥収縮による変形

$$\Delta l_{s1} = 15 \times 10^{-5} \times 12.50 = 0.188 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{s2} = 15 \times 10^{-5} \times 10.50 = 0.158 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{s3} = 15 \times 10^{-5} \times 35.50 = 0.532 \text{ cm}$$

d) 温度変化による変形

$$\Delta l_{t1} = \pm 10 \times 10^{-5} \times 12.50 = 0.125 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{t2} = \pm 10 \times 10^{-5} \times 10.50 = 0.105 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{t3} = \pm 10 \times 10^{-5} \times 35.50 = 0.355 \text{ cm}$$

e) 変形量の合計

$$\max \Delta l_1 = 0.111 + 0.166 + 0.188 + 0.125 = 0.590 \text{ cm}$$

$$\Delta l_2 = 0.094 + 0.141 + 0.158 + 0.105 = 0.498 \text{ cm}$$

$$\Delta l_3 = 0.316 + 0.474 + 0.532 + 0.355 = 1.677 \text{ cm}$$

$$\min \Delta l_1 = 0.111 + 0.166 + 0.188 - 0.125 = 0.340 \text{ cm}$$

$$\Delta l_2 = 0.094 + 0.141 + 0.158 - 0.105 = 0.288 \text{ cm}$$

$$\Delta l_3 = 0.316 + 0.474 + 0.532 - 0.355 = 0.967 \text{ cm}$$

f) シューを定着した後に移動する値は表-1のようになる。

表-1

変形量 \ 支承 No.	1	2	3
Δl_p	0	0	0
$\Delta l_p' = 0.6 \Delta l_p$	0.100	0.085	0.284
$\Delta l_s' = 0.6 \Delta l_s$	0.113	0.095	0.319
$\Delta l_t' = \Delta l_t$	± 0.125	± 0.105	± 0.355
合計 $\max \Delta l'$	0.338 mm	0.285 mm	0.958 mm
$\min \Delta l'$	0.088	0.075	0.248

g) 支承設置時の固定壁側合成ゴム材の圧縮変形量

表-2

変形量 \ 支承 No.	1	2	3
Δl_p	0.111	0.094	0.316
$\Delta l_p'$	0.166	0.141	0.474
Δl_s	0.188	0.158	0.532
合計	0.465	0.393	1.322

(2) 合成ゴム材のバネ常数

a) 形状率

112×182×40 を4枚使用すれば

$$S = \frac{11.2 \times 18.2}{2(11.2 + 18.2) \times 4} = 0.87$$

b) バネ常数

$$K_c' = 1.05 \times 7.0 \times \{3 + 6.58(0.87)^2\} \times 4 \times 11.2 \times 18.2 / 4 = 11900 \text{ kg/cm}$$

$$K_c = 142 \times 7.0 \times \{3 + 6.58(0.87)^2\} \times 4 \times 11.2 \times 18.2 / 4 = 16200 \text{ kg/cm}$$

(3) 合成ゴム材の変形と橋脚の変形

a) 橋脚のバネ常数

$$3EI/h^3 = 3 \times 2.1 \times 10^5 \times 341.3 \times 10^5 / (610)^3 = 9.47 \times 10^4 \text{ kg/cm}$$

b) 橋脚の変形量

$$\delta_{2-1} = \frac{K_c \delta_i}{\left(\frac{3EI}{h^3}\right) + K_c} = \frac{1.62 \times 10^4 \times 0.338}{(9.47 + 1.62) \times 10^4} = 0.049 \text{ cm}$$

$$\delta_{2-2} = \frac{K_c \delta_i}{\left(\frac{3EI}{h^3}\right) + K_c} = \frac{1.62 \times 10^4 \times 0.285}{(9.47 + 1.62) \times 10^4} = 0.042 \text{ cm}$$

$$\delta_{2-3} = \frac{K_c \delta_i}{\left(\frac{3EI}{h^3}\right) + K_c} = \frac{1.62 \times 10^4 \times 0.958}{(9.47 + 1.62) \times 10^4} = 0.140 \text{ cm}$$

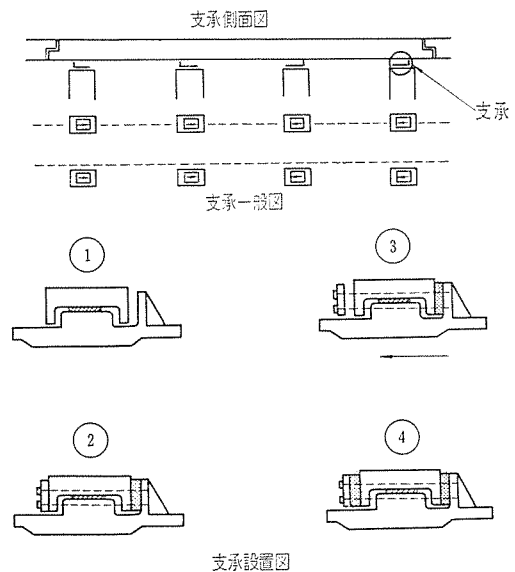
(4) 合成ゴム材および橋脚の作用力

$$\begin{cases} P_1 = 9.47 \times 10^4 \times 0.049 = 4.6 \text{ t} \\ P_2 = 9.47 \times 10^4 \times 0.042 = 4.0 \text{ t} \\ P_3 = 9.47 \times 10^4 \times 0.140 = 13.3 \text{ t} \\ P_1 = 1.62 \times 10^4 \times (0.338 - 0.049) = 4.7 \text{ t} \\ P_2 = 1.62 \times 10^4 \times (0.285 - 0.042) = 3.9 \text{ t} \\ P_3 = 1.62 \times 10^4 \times (0.958 - 0.140) = 13.3 \text{ t} \end{cases}$$

4. 支承の設置

当工区の支承は図-2に示すように特殊な構造となっている関係上、支承の設置には支承施工計画書を作成し

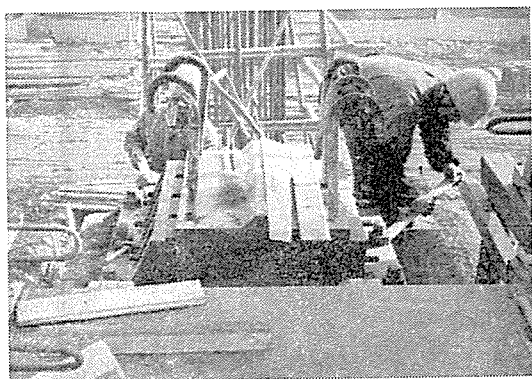
図-4



支承の設置

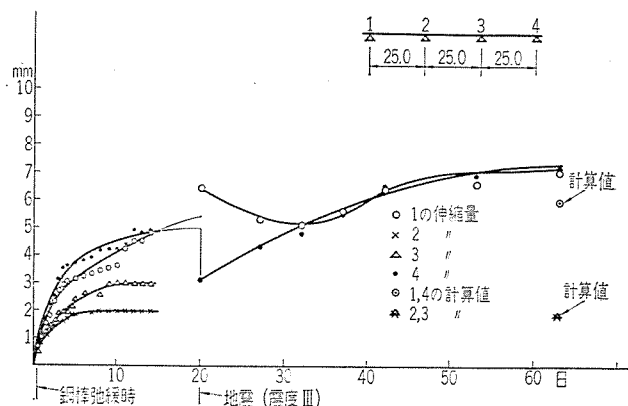
- ① 下シューに滑板をのせ、その上に上シューを置く
- ② 固定壁側に合成ゴム材を入れて、プレストレスングすることによって所定の変形量を与える。この操作の完了した支承を脚頂部の所定の位置に矢印の方向に設置する。
- ③ コンクリート打設後アンカープレート側ナットをゆるめる(本文参照)。
- ④ コンクリート打設後3カ月経過してアンカープレート側にも合成ゴム材をそう入して、最終セットとする。なお上部構造水平力は、右側に対しては直接固定壁へ、左側に対してはPC鋼棒より固定壁へそれぞれ伝達されて下部構造に伝達される。

写真-1



それの通りに特に忠実に設置するよう配慮した(図-4 および写真-1 参照)。支承の設置に先だち、支承固定壁側の合成ゴム材に2-gで計算した圧縮変形を与えておき、コンクリートの乾燥収縮プレストレッシングによる弾性変形クリープによる変形によって固定壁と合成ゴム材間にすき間の生じないようにする。この場合アンカープレート側の合成ゴム材はセットしないで上シェーに直接アンカープレートを接触させてナットを締付ける。この操作の完了した支承のアンカープレート側を連続桁中央側に向けて設置する。つぎに主桁コンクリート打設後プレストレッシング前にアンカープレートおよびナットをプレストレッシングによる変形と3ヵ月間に生ずる乾燥収縮、クリープによる変形量だけゆめ、コンクリートの乾燥収縮およびプレストレッシングによる弾性変形を拘束しないようにする。主桁のプレストレッシング終了後3ヵ月経過したらアンカープレート側合成ゴム材をアンカープレートに密着させるようにナットを締付けて最終的な支承設置の完了とする。ここで以上の理論のもとに計算した値と実測値との関係について、コンクリート打設後最終支承設置完了までのうち、特に変形量の大きい初期の約2ヵ月間について実測した結果を図-5に示すことにする。測定途上コンクリート打設後20

図-5



日目に震度Ⅲ(気象庁の表示による)の地震があり、桁がその影響を受けて変形曲線が1.5~2.0mmずれている。これはダイヤルゲージの誤差も考えられるが、3径間連続桁((Pier 1,4 両側ともゲルバー形式のオーバーハングになっている)自体がPier 1側からPier 4方向へ1.5mm程度移動し、その後、合成ゴム材などの弾性変形などでゆっくりともとの方向に移動し、1週間ではほぼかえり、2週間後には完全に地震前の状態にかえったと考えられる。計算値には上記計算側で示したように乾燥収縮およびクリープは4割を考慮したもので、実測値の方が約1mm大きな値を示しているが、この測定結果からは、当工区の桁の変形量はほぼ上記理論に近いものと考えられる。

5. むすび

当工区のように脚位置およびその大きさがおのずと制約される街築上の高架橋の水平力の処理方法として、上記の支承はその目的を十分果すものと考えられる。なお本工区の設計は当公団工務部第一設計課の指導のもとにオリエンタルコンサルタンツKKで設計されたものである。

1965.4.26・受付

軽量コンクリート関係論文別刷頒布について

最近各方面で軽量コンクリートが使用されておりますが、本誌でも昨年この軽量コンクリートを取り上げて6巻3号を特集号と題して掲載致しましたが、同特集の別刷の余部が多少ございますので頒布いたしますのでお申し込み下さい。

内 容：軽量コンクリート関係論文5篇 P C設計施工資料2篇

領 価：100円(〒30円)

申込方法：領価に送料を添へて協会事務局までお申し込み下さい。