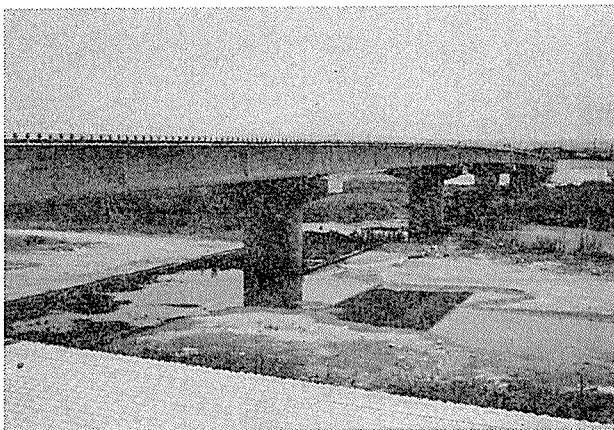


万年橋架替工事報告

内 藤 勝†
 仙 洞 田 将 行*
 岩 松 昭**
 松 山 哲 也***

1. はじめに

本工事は、山梨県東八代郡石和町大字四日市場地内を流れる笛吹川（1級河川）を渡る町道206号線の万年橋の架替工事である。旧橋は、28径間、有効幅員2.00mの木橋である。地域的に甲府市街地と石和町の交通対策のため昭和55年11月より1期、2期工事として発注された工事である。工事を進めるに当たって、河川の特徴として、①両側の堤防を道路として現在使用しており、桁製作および架設において地域住民に工事中迷惑がかからないこと、②河川の流水量が、洪水期および台風期に多くなるための、河川敷の使用問題、③架設時期にあゆみの放流等があり河川の流形を変えることができないなど、計画段階で多種の工法が検討された結果、桁製作場所は、笛吹川右岸の河川敷に決定し、架設工法は、桁製作ヤードおよびストックヤード等の条件からトラックレーンとトレーラーで施工することに決定した。主桁コンクリートは、現場より5.0kmに生コン工場がありそれを使用した。本工事は、中規模径間の40m～60mのT形桁に含まれ、架設時の桁取扱いについて、桁の横座



写真一 架設、横組み完了時

† 石和町役場建設課係長

* 興和コンクリート（株）東京支店工事課長

** " 万年橋作業所長

*** " 本社設計係長

屈、桁の傾斜等について安全率と応力度について検討した事項を報告する。

2. 工事概要

工事名：万年橋架替工事

発注者：山梨県、石和町役場

工事場所：山梨県東八代郡石和町大字四日市場地内

路線名：石和町道206号線

設計荷重：T-20, L-20

橋長：205.300m

桁長：41.000m

支間：40.200m

総幅員：8.750m

幅員構成：0.6+0+6.25+1.5+0.40m

径間割：5@41.000+6@50

構造形式：PC 単純T桁橋

定着工法：フレンネー工法

2.1 設計条件

材料強度、および許容応力度は次のとおりである。

・コンクリート (kg/cm²)

設計基準強度 $\sigma_{ck} = 400$

プレストレス導入時 $\sigma_{ci} = 350$

許容応力度

プレストレス導入直後（圧縮） $\sigma_{ca} = 180$

“ （引張） $\sigma_{ta} = -15$

設計荷重作用時（圧縮） $\sigma_{ca}' = 140$

“ （斜め引張） $\sigma_{Ia} = -10$

・PC 鋼より線：SWPR-7A, 12T12.4 (kg/mm²)

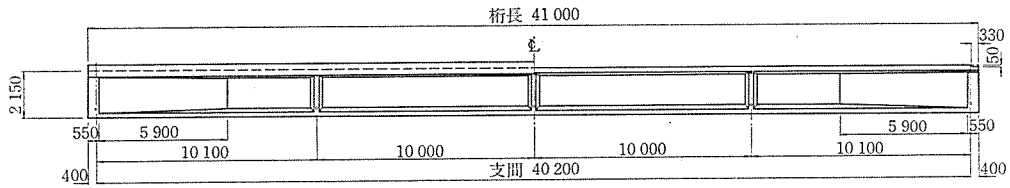
引張強度 $\sigma_{pu} = 175$

降伏点応力度 $\sigma_{py} = 150$

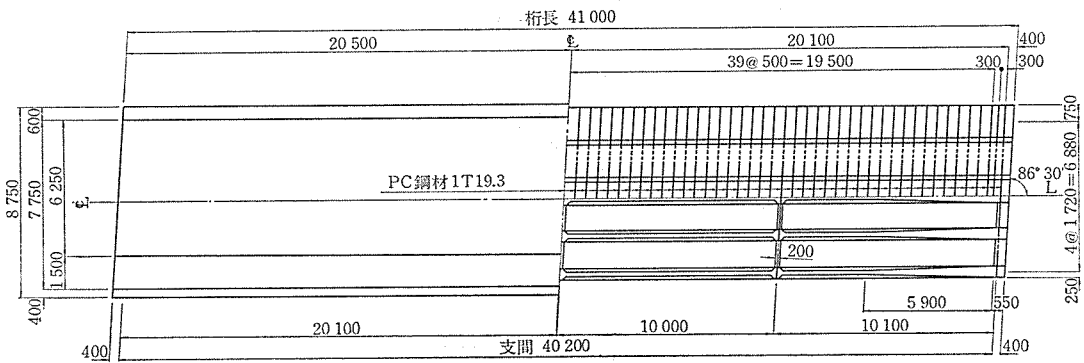
3. 施工概要

本工事は、PC 桁製作を笛吹川河川敷を整地して桁製作ヤードおよび桁ストックヤードを設置した。一期工事として、昭和55年11月～昭和56年3月、発注工事内容は、PC 桁15本の製作架設工事、二期工事は、昭和

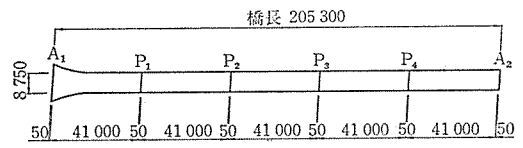
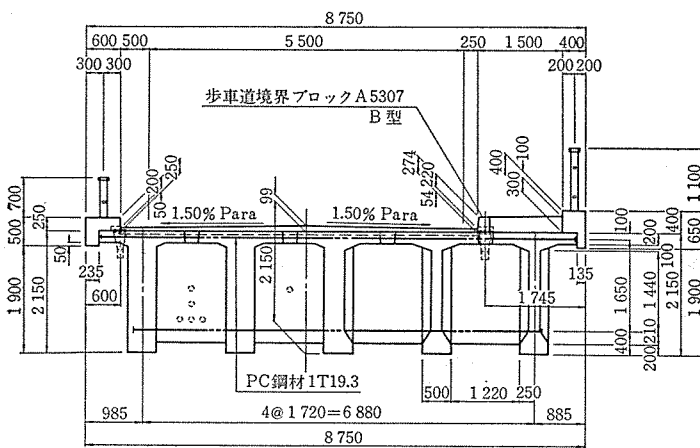
側 面 図



平 面 図

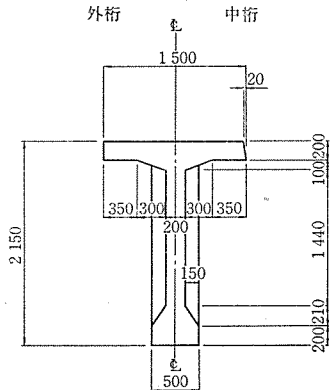


断 面 図



	A ₁ -P ₁	P ₁ -P ₂	P ₂ -P ₃	P ₃ -P ₄	P ₄ -A ₂
桁長	41 100	41 100	41 100	41 100	41 100
斜角	86° 30' L	86° 30' L	86° 30' L	86° 30' L	82° 14' 59" L

主桁断面図



横桁部詳細図

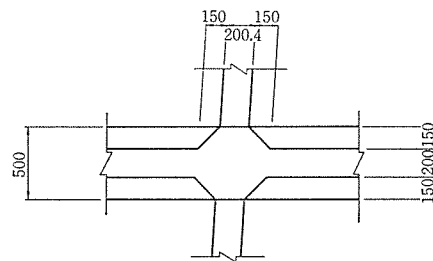
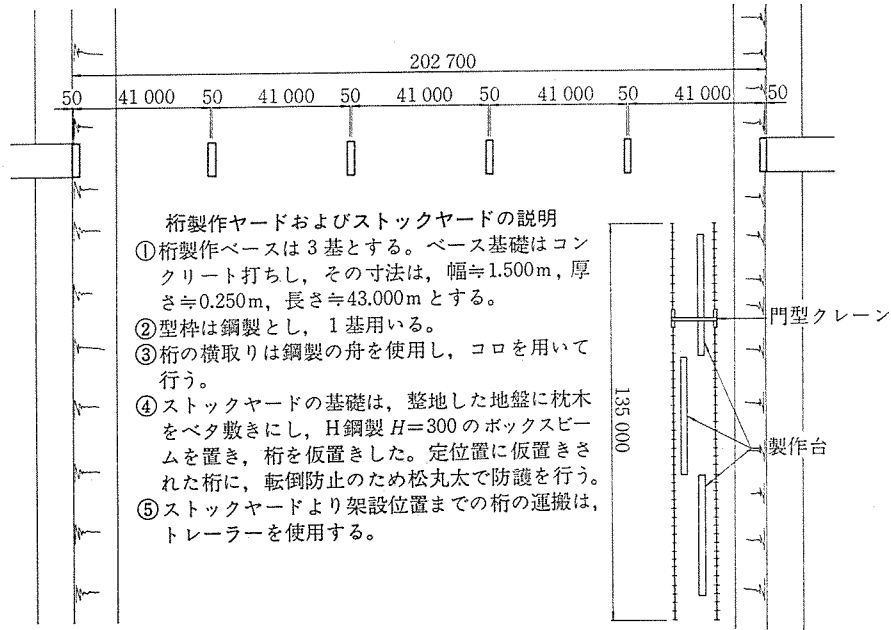


図-1 一般構造図



図一-2 製作ヤード配置図

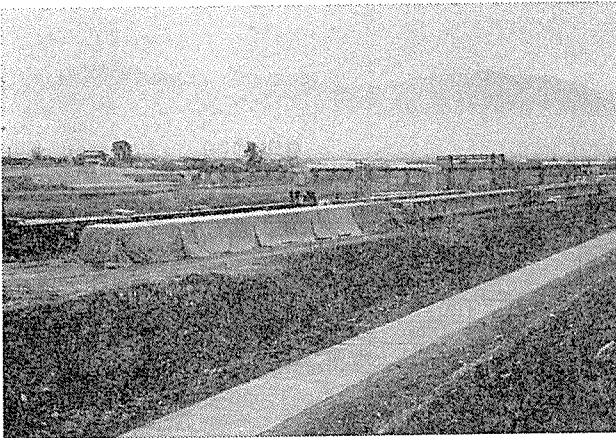


写真-2 PC 製作ヤード全景

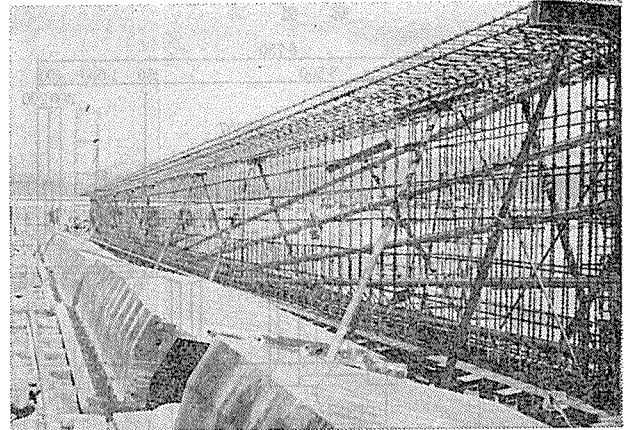


写真-3 桁製作時の鉄筋組立て、ケーブル配置

56年5月～昭和56年11月で残りのPC桁10本の製作架設工事および横組み工、橋面工に分割施工された。

＜桁製作ヤードおよびストックヤードについて＞

笛吹川河川敷の右岸を使用し、HWLより製作ヤードの方が低いので、桁の製作工程は洪水期に入らないよう配慮した。

＜桁の運搬架設＞

ストックヤードよりトラッククレーン150t2基を用いて、100tヤッコ付きトレーラーに積み込み架設位置に運搬する。

本報告書では、桁製作工程については一般的であり、この報告書では省略する。架設時の桁取扱いで桁のバックリング等の検討を行って桁自体の変形および応力度について詳細の報告を行う。

3.1 PC 桁架設工

本工事は、前述のように現場立地条件として、桁のストックヤードと架設位置までの距離および笛吹川河川敷を使用するため、軌道等で桁を移動するよりトレーラーを使用した方法が工程短縮と安全性が確保できるため採用した。また、河川の現況の流れを変えると、漁業権等の地域条件があり、河川の本流は、鋼バンドを基礎にし、H鋼による栈橋を仮設して、5径間の架設を行った。

3.2 PC 桁架設時の安定性の検討

PC 桁は運搬時にトレーラーに積み込み、河川敷内の移動時および架設作業時に吊り上げるが、PC 桁が仮置きした条件以外の応力がかかったときの桁の座屈、ねじり、傾斜等の性能検討を行う。

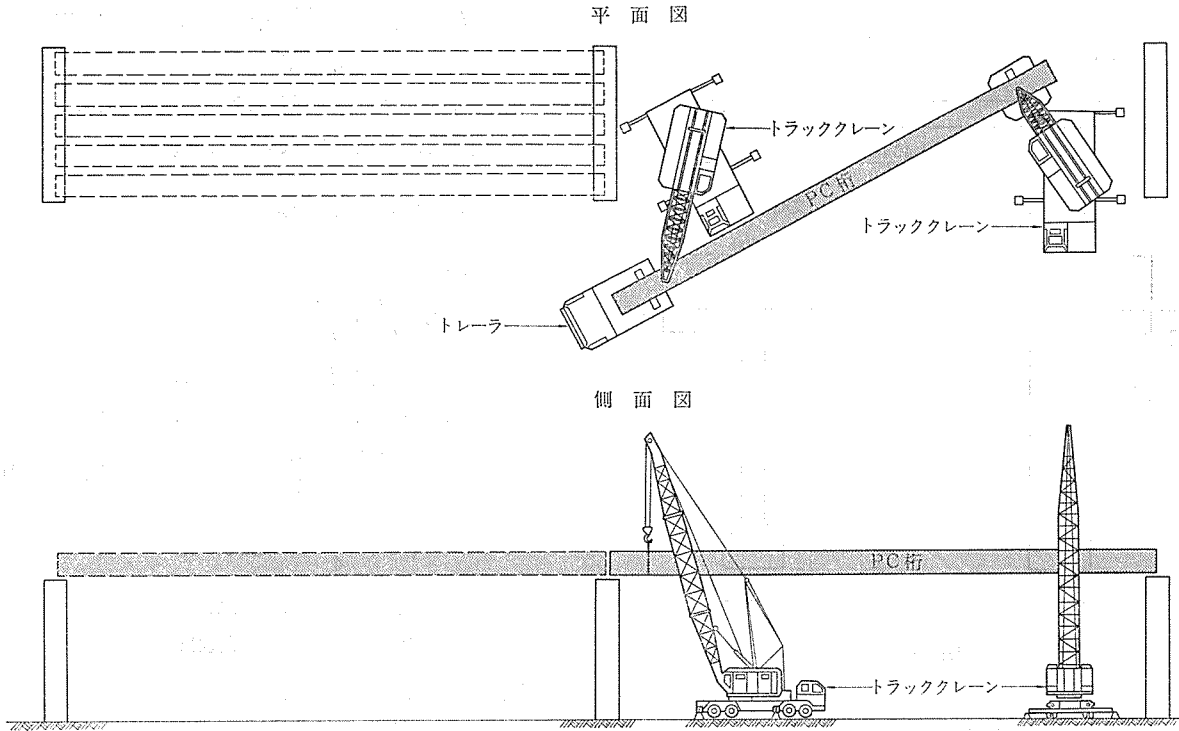


図-3 主桁架設図

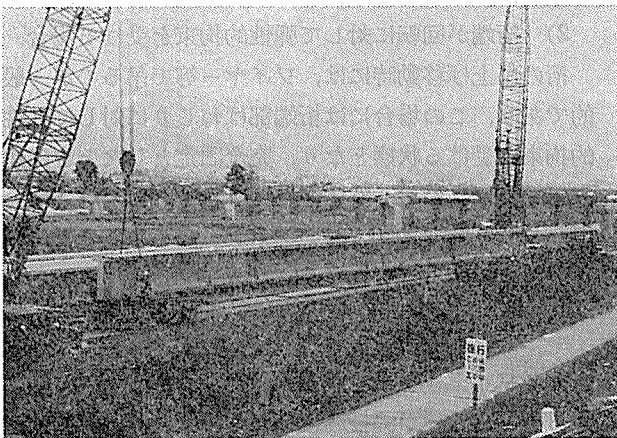


写真-4 桁積み込み状況
(トラッククレーン 150.0 t, 2台)

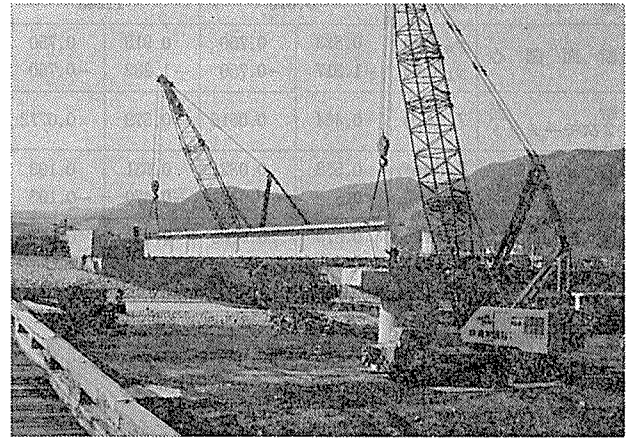


写真-5 架設工, 第1径間(耳桁)
(トラッククレーン 150.0 t, 2台, 相吊り架設)

(1) 主桁特性値 (表-1, 図-4 参照)

構造特性

$$\frac{\text{フランジ幅}}{\text{スパン}} = \frac{1.50}{40.20} = \frac{1}{26.8}$$

$$\frac{I_y}{I_x} = \frac{0.0616}{0.464} = \frac{1}{7.53} \quad (\text{支間中央})$$

コンクリート設計基準強度	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$
コンクリートヤング係数	$E_c = 3.5 \times 10^5 \text{ //}$
コンクリートせん断弾性係数	$G_c = 1.505 \times 10^5 \text{ //}$
架設時の許容曲げ圧縮応力度	$\sigma_{ca} = 180 \text{ kg/cm}^2$
架設時の許容曲げ引張応力度	$\sigma_{ca}' = 25 \text{ //}$

(2) 横座屈に対する検討

1) 桁端が回転に対して完全固定とした場合
矩形断面で荷重は断面図心に作用するものとする
と、横方向バックリングをおこす限界荷重 P_{cr} は、
次式で求められる。

$$P_{cr} = \frac{m \sqrt{B \cdot C}}{L^3}$$

上式中,

B : 横方向曲げ剛度

$$E \cdot I_y = 3.5 \times 10^6 \times 0.0616 = 2.156 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

C : ねじり剛度

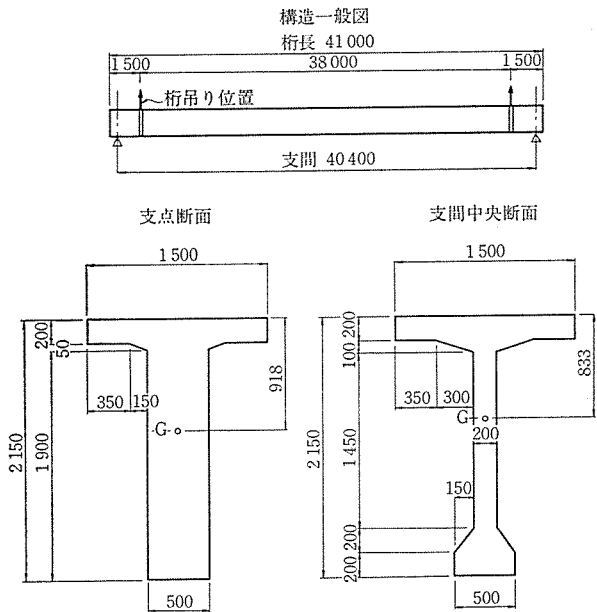


図-4

表-1 断面諸数値

種 別	単 位	支間中央		支 点	
		主方向	横方向	主方向	横方向
断 面 積	A (m ²)	0.810		1.283	
断 面 図 心	y _u (m)	0.833	0.750	0.918	0.750
	y _l (°)	-1.317	-0.750	-1.232	-0.750
断 2次モーメント	I (m ⁴)	0.464	0.0616	0.579	0.0772
断 面 係 数	Z _u (cm ³)	0.558	0.0821	0.631	0.103
	Z _l (°)	-0.353	-0.0821	-0.470	-0.103
回 転 半 径	R ² (m ²)	0.573	0.0760	0.451	0.0602
ねじり剛性係数	J (m ⁴)	0.008992		0.07178	

$$G \cdot J = 0.43 \times 3.5 \times 10^6 \times 0.008992 = 0.135 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{m}$$

L : 吊り支間
L = 38.00 m

m : 支承条件による係数

桁端のねじりに対して固定
鉛直方向曲げに対して単純支持 } m = 28.3
横方向曲げに対してヒンジ

$$\therefore P_{cr} = \frac{28.3 \times \sqrt{2.156 \times 10^5 \times 0.135 \times 10^5}}{(38.00)^3} = 27.82 \text{ t/m}$$

非対称 I 形断面としての補正計算, 対称 I 形断面としての等価断面二次モーメントは,

$$\frac{2}{I} = \frac{1}{I_1} + \frac{1}{I_2}$$

I₁, I₂ : 上・下両突縁の横方向断面二次モーメント

$$\frac{2}{I} = \frac{1}{0.05767} + \frac{1}{0.002929} = 358.8 \text{ m}^{-4}$$

$$\therefore I = 0.005574 \text{ m}^4$$

横方向バックリング荷重は, 矩形断面の場合の荷重に次の係数 k を乗じて求められる。

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4} - \beta}$$

上式中,

$$\beta = 2 \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{Z^2}{L^3}$$

Z : 上・下両突縁間距離 = 1.950 m

$$D : E \cdot J = 3.5 \times 10^6 \times 0.005574 = 0.195 \times 10^5 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

$$\beta = 2 \times \frac{0.195 \times 10^5}{0.135 \times 10^5} \times \frac{(1.950)^2}{(38.00)^2} = 3.804 \times 10^{-3}$$

$$k = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4} \times 3.804 \times 10^{-3}} = 1.00$$

このときの限界荷重 P_{cr} は,

$$P_{cr} = 27.82 \times 1.00 = 27.82 \text{ t/m}$$

横座屈に対する安全度

$$F_1 = \frac{P_{cr}}{P} = \frac{27.82}{2.025} = 13.74 > 4.0$$

以上の結果から桁端の回転に対して完全固定とした場合は, 横座屈に対して十分な安全度を有する。

2) 桁端が回転に対して弾性的拘束を受ける場合

桁の吊上げ移動時には, ワイヤ等吊るのが一般的であり, この場合には桁端部はねじりに対して弾性的拘束を受ける状態となり, 完全固定としたときに比べて横座屈に対する安定性は低下する。桁端において, ねじり角 φ に対して, -R_x・φ なるねじりモーメントが抵抗するものとする。

$$R_x = \frac{P \cdot L \cdot e}{2}$$

桁がワイヤで吊られるものとするワイヤが弾性的に伸びるから回転中心 E は, 次式で求まる。

$$e = d + \frac{H}{1 + K}$$

ワイヤ吊上げの場合,

$$K = \frac{\nu \cdot \cos \epsilon}{2 \cdot E_s \cdot A_s \cdot \sin^2 \epsilon}$$

上式中,

$$\nu = P \cdot L / 2 = 41.50 \text{ t}$$

E_s = ワイヤのヤング係数

$$= 2.1 \times 10^7 \text{ t/m}^2$$

A_s = ワイヤの断面積

$$= 1.94 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

d = 断面図心 = 0.83 m

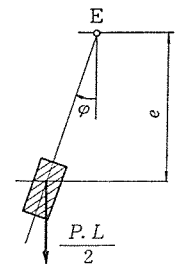


図-5

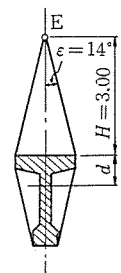


図-6

$$K = \frac{41.50 \times \cos 14^\circ}{2 \times 2.1 \times 10^7 \times 1.94 \times 10^{-3} \times (\sin 14^\circ)^2} = 0.00844$$

$$e = 0.83 + \frac{3.00}{1 + 0.00844} = 3.80 \text{ m}$$

$$R_x = \frac{2.025 \times 38.00 \times 3.80}{2} = 146.2 \text{ t}\cdot\text{m}$$

桁端弾性拘束のバネ常数

$$\frac{L \cdot R_x}{2 \cdot C} = \frac{38.00 \times 146.2}{2 \times 0.135 \times 10^5} = 0.206$$

端スプリング常数と横座屈荷重のグラフより、 $m =$

9.0 となる。

横座屈安全度

$$F_2 = 13.74 \times \frac{9.0}{28.3} = 4.37 > 2.5$$

(3) 傾斜に対する安全性の検討

1) 吊上げの回転中心の決定

吊り上げた桁の傾斜角 φ と横たわみ y の間には次の関係がある。

$$y = \frac{w l^4}{24 EI} \left(\frac{x}{l} - 2 \frac{x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right) \cdot \sin \varphi$$

また、このときのたわみ曲線の重心 S は、

$$S = \frac{\int_0^l w \cdot y \cdot dx}{l} = \frac{w \cdot l^4}{120 EI_y} \cdot \sin \varphi$$

吊り上げた桁が安定状態を保つためには、吊り金具

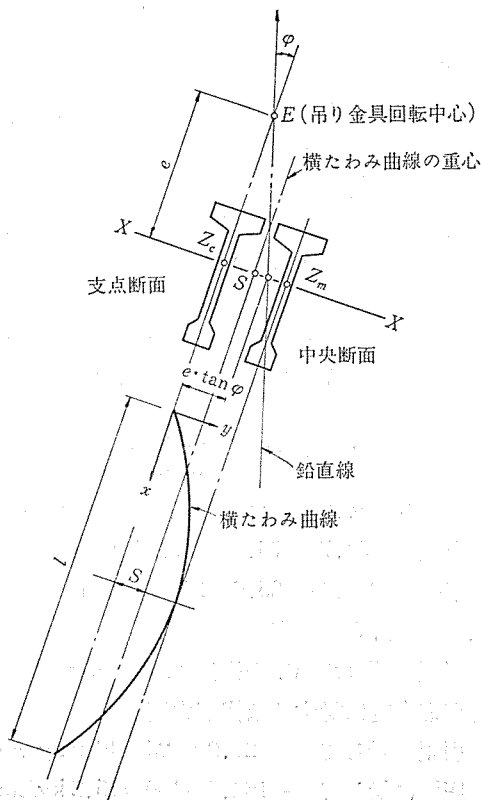


図-7

の回転中心 E を通る鉛直線に対して横たわみ曲線の重心 S と、桁端断面の図心 Z_c が常に同じ側に位置していることが必要条件となる。

$$e \cdot \tan \varphi > S$$

桁の回転の点 E と断面図心の間の距離 e の最小値は、

$$e \cdot \tan \varphi > \frac{w l^4}{120 EI_y} \cdot \sin \varphi$$

傾斜角 φ が小さい範囲では $\tan \varphi = \sin \varphi$ となるから

$$e > \frac{w l^4}{120 EI_y}$$

w : 桁自重 = 2.205 t/m

l : 吊りスパン = 38.00 m

$E \cdot I_y$: 横方向曲げ剛度 = $2.156 \times 10^5 \text{ t}\cdot\text{m}^2$

したがって、この場合の e の最小値は、

$$e = \frac{2.025 \times (38.00)^4}{120 \times 2.156 \times 10^5} = 0.163 \text{ m}$$

吊り金具の偏心、鉛直方向の衝撃等を考慮して割増しをする(計算値の 1.5 倍)。

$$e = 1.50 \times 0.163 = 0.245 \text{ m}$$

以上の結果から、桁吊上げの回転中心 E と桁端断面図心の距離 e を 0.245 m 以上とした場合、傾斜と横たわみによる桁の引き続いての回転は進行しない。またこの最小値 e は傾斜角 φ に無関係である。

2) 傾斜による桁断面のねじり

桁が傾斜したとき、ねじり角 θ を生じさせるねじりモーメント M_0 は次式で与えられる。

$$M_0 = \frac{1}{2} \int_0^l w \cdot y \cdot dx = \frac{w l^5}{240 EI_y} \cdot \sin \varphi$$

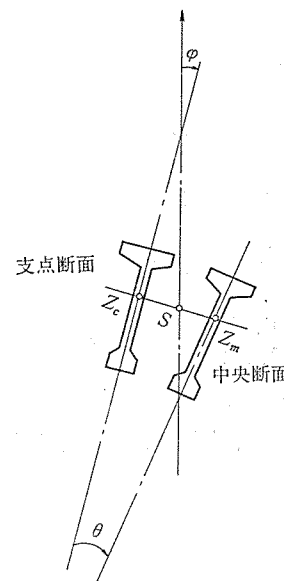


図-8

表-2 傾斜角とねじれモーメント

φ°	$M_0(\text{t}\cdot\text{m})$	$\theta(\text{rad})$
1°	0.054	0.4×10^{-5}
5°	0.270	2.0×10^{-5}

$$= \frac{2.025 \times (38.0)^5}{240 \times 2.156 \times 10^5} \cdot \sin \varphi = 3.100 \cdot \sin \varphi \text{ (t}\cdot\text{m)}$$

また傾斜による桁端断面とスパン中央断面とのねじり角 θ は、

$$\theta = \frac{M_0}{GJ} = \frac{3.100}{0.135 \times 10^5} \cdot \sin \varphi$$

$$= 2.296 \times 10^{-4} \cdot \sin \varphi \text{ (rad)}$$

(4) 横方向曲げ応力度に対する検討

1) 傾斜による断面の横方向曲げ応力度

桁自重による曲げモーメントが、主軸座標の Y 軸に対して θ の角度で作用する場合、鉛直方向曲げモーメントを次のように、両主軸方向に分解して考える。

$$M_X = M \cdot \cos \theta$$

$$M_Y = M \cdot \sin \theta$$

したがって、主軸座標による (X_i, Y_i) に生ずる垂直応力度は、

$$\sigma_c = \frac{M \cdot \cos \theta}{I_X} Y_i + \frac{M \cdot \sin \theta}{I_Y} X_i$$

いま、 θ が微小な範囲なので、次のような仮定を設定する。

i) $\cos \theta = 1$

ii) $\sin \theta$ は θ に比例する。

したがって、単位傾斜角 θ に対する横方向曲げ応力度

$$\sigma_c = \pm \frac{M \cdot \sin \theta}{I_Y} X_i$$

上式中、

$$M: \text{桁自重曲げモーメント} = 370.8 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$M \cdot S \sin \theta = 370.8 \times \sin 1^\circ = 6.47 \text{ t}\cdot\text{m}$$

$$\frac{I_Y}{X_1} = \frac{0.0616 \times 10^8}{75.0} = 0.8213 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

$$\frac{I_Y}{X_2} = \frac{0.0616 \times 10^8}{25.0} = 2.464 \times 10^5 \text{ cm}^3$$

$$\text{上縁応力度 } \sigma_c = \pm \frac{6.47}{0.8213} = \pm 7.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{下縁応力度 } \sigma_c' = \pm \frac{6.47}{2.464} = \pm 2.6 \text{ kg/cm}^2$$

2) 傾斜による桁の横たわみ量

傾斜した桁の横たわみ量の量大値は次式で与えられる。

$$y_{\max} = y_0 \cdot \frac{I_X}{I_Y} \cdot \sin \theta$$

上式中、

y_0 : 傾斜角 $\theta=0$ のときの縦方向たわみ量

$$y_0 = \frac{5 \omega l^4}{384 EI_X} = \frac{5 \times 2.025 \times (38.0)^4 \times 1000}{384 \times 3.5 \times 10^6 \times 0.464}$$

$$= 33.9 \text{ mm}$$

$$\frac{I_X}{I_Y} = \frac{0.464 \times 10^8}{6.16 \times 10^6} = 7.53$$

したがって単位傾斜角 θ に対する横たわみ量は、

$$y_0 = 33.9 \times 7.53 \times \sin 1^\circ = 4.5 \text{ mm}$$

3) プレストレスの横偏心による横方向曲げ応力度
仮定条件として、プレストレスの横偏心量はスパン中央を最大として、端部を 0 とするパラボラ状と考える。いま安全側に考えて、緊張管理のばらつきを +5% としたときの応力度を計算する。

単位横偏心量 $e=1.0 \text{ cm}$ に対する横方向曲げモーメント

$$M_b = P_t \cdot e$$

設計計算書より、

$$P_t = 572.62 \times 1.05 = 601.2 \text{ t}$$

$$M_{bt} = 601.2 \times 1 \times 10^{-3} = 6.012 \times 10^5 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

したがって、横方向曲げ応力度は、

$$\text{上縁 } \sigma_{cb} = \pm \frac{M_{bt}}{I_Y} \cdot X_1 = \pm \frac{6.012}{0.8213}$$

$$= \pm 7.3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{下縁 } \sigma_{cb}' = \pm \frac{M_{bt}}{I_Y} \cdot X_2 = \pm \frac{6.012}{2.464}$$

$$= \pm 2.4 \text{ kg/cm}^2$$

また、このときの横たわみ量は、

$$y_{eb} = \frac{5 M_{bt} l^2}{48 E I_Y}$$

$$= \frac{5 \times 6.012 \times 38.0^2}{48 \times 2.156 \times 10^5} = 0.4 \times 10^{-2} = 0.4 \text{ cm}$$

4) 許容傾斜角

緊張時の応力状態は (傾斜角 $\theta=0$ のとき)、

$$\text{導入緊張力 } P_t = 102.73 \times 1114.8 \times 5$$

$$= 5.726 \times 10^5 \text{ kg}$$

$$\sigma_{ctu} = \frac{5.726 \times 10^4}{7909} + \frac{5.726 \times 10^5 \times (-117.8)}{5.414 \times 10^5 - 3.302 \times 10^5}$$

$$= 72.4 \mp 124.5 = \frac{-52.1}{276.6} \text{ kg/cm}^2$$

プレストレスのバラツキを +5% とすると、

$$\text{上縁 } -54.7 + 76.6 = 21.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{下縁 } 290.4 - 125.6 = 164.8 \text{ kg/cm}^2$$

架設時の許容応力度

$$\text{引張 } 25 \text{ kg/cm}^2, \text{ 圧縮 } 180 \text{ kg/cm}^2$$

許容応力度に対する余裕応力度

$$\text{引張に対して } 21.9 + 25 = 46.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{圧縮に対して } -164.8 + 180 = 15.2 \text{ kg/cm}^2$$

以上の結果から横方向曲げ応力度から定まる桁の許

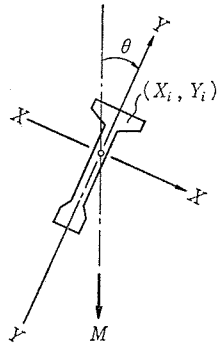


図-9

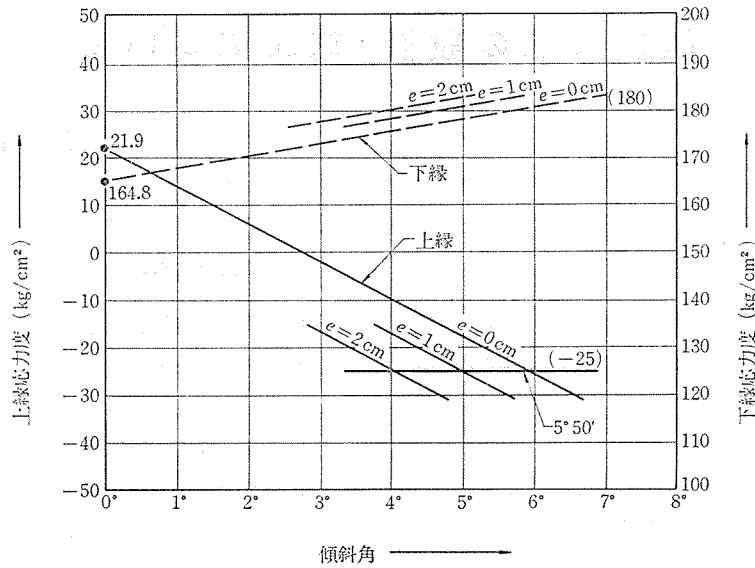


図-10 桁の許容傾斜角

表-3

横方向曲げ応力度	上 縁	下 縁
傾斜によるもの ($\theta=1^\circ$)	± 7.9	± 2.6
プレストレスの横偏心によるもの ($e=1\text{ cm}$)	± 7.3	± 2.4

容傾斜角 ϕ は 図-10 のようになる。

(5) ま と め

計算結果は 表-4, 表-5 のとおりであり, 横座屈に対しては, 比較的安全な桁と考えられる。

以上の検討結果として, 本工事の PC T 形桁は, 桁の取扱いについて, 安全率の高い桁であることが確認できた。

4. おわりに

本工事は, 中規模径間道路橋として, 径間も短い方であり, 桁の横取り, 仮置き, 運搬架設の作業中, 桁の横座屈傾斜による横たわみ, また主桁製作時の PC 鋼材の配置誤差が桁の横たわみと応力度に影響が小さく, 横剛性は十分である。しかし桁長が 50 m~60 m 以上になった場合, 桁高とアップフランジ幅の関係で極端に横剛性が小さくなり, 桁製作時のケーブル配置, 型枠の通り等には細心の注意が必要で, しかも鋼材の配置誤差は, ケーブル移動のないスペーサー等を, 桁長の 1/2 地点よりセンター振り分で 1/4 l 程度の配置管理を行う必要がある。

なお, 本報告書では, 架設時の吊り位置を桁中芯に移動した検討は, 一個所チェックしたまでだが, 桁長が大きくなった場合は, 特に数箇所検討し, 安全率の高い位置で施工する必要がある。本工事では, 吊り金具を使用せず, ワイヤ台付きとしたが, エレクションガーダー

表-4 横座屈に対する安全度

	2 点吊り $L=38.00\text{ m}$	備 考
桁端完全固定	13.74 (>4.0)	
桁端弾性拘束	4.37 (>2.5)	
記 事		

表-5 桁の許容傾斜角 $\sigma_{ca}' = -25\text{ kg/cm}^2$

		2 点吊り $L=38.00\text{ m}$
プレストレス の横偏心量	$e_p=0$	$5^\circ 50'$
	$e_p=1\text{ cm}$	$4^\circ 55'$
	$e_p=2\text{ cm}$	$4^\circ 00'$

等では, 吊り金具とボルトを使い完全に固定し, 桁の吊上げ時の回転を拘束し, 桁の横ぶれを防止する対策を配慮する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 猪股俊司: プレキャスト PC 桁の架設作業時における横方向安定性, PC 技術協会誌, Vol.4, No. 6, 1962 年
- 2) B.R. Anderson: Lateral stability of long prestressed concrete beams, P.C.I Journal, 1971 年 5~6 月
- 3) Combined buckling and tilting, HERON, Vol. 18, No. 2, 1972 年
- 4) 猪股俊司: バックリングと傾斜の組合せによる桁の破壊, PC 技術協会誌, Vol. 14, No. 6, 1972 年
- 5) 管原 操, 野口 功: 3-(b) ケタ移動中の安定性, PC 工事の施工管理, 1966 年