

ポストテンション方式単純T桁橋自動設計

Consistent Design Program for Simple Prestressed Concrete T-beam Bridge

森本 洋三*
Youzo MORIMOTO
西澤 今朝雄 **
Kesao NISHIZAWA

1. まえがき

ポストテンション方式単純T桁橋（単純T桁橋）は、PC橋の内では最も施工実績が多く標準化も進んだ型式である。この型式の橋梁に対し当社では数年前より床版、主桁、横桁の自動設計を開発して来た。しかし、この自動設計は、主桁及び横桁の断面力を別途求めて断面の応力度を照査するプログラムであった。そこで今回、断面力の算出より一括してこれらの設計ができる単純T桁橋自動設計システムを完成させた。以下、本システムの構成と設計法等について、その概要を紹介させていただく。

2. システムの概要

2-1 適用構造形式

2-1-1 骨組形状

骨組形状は図-1に示すように、主桁は直線で主桁間隔一定の平行斜角とし、主桁本数は3本以上でなければ

ならない。また横桁は脊方向に平行で支間中央に対し対称とする。

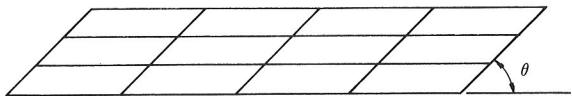


図-1 スケルトン図

2-1-2 橋面形状

橋面形状は図-2を基本とし、歩道部、縁石等が無い場合は、零として入力する。また水道管、電々ケーブル等の添加物は、位置、重量の入力により考慮できる。

図-3に示すように路面が拡幅している場合は、ブロックに分けて図-2の橋面形状データを各々のブロックで入力することにより処理できる。

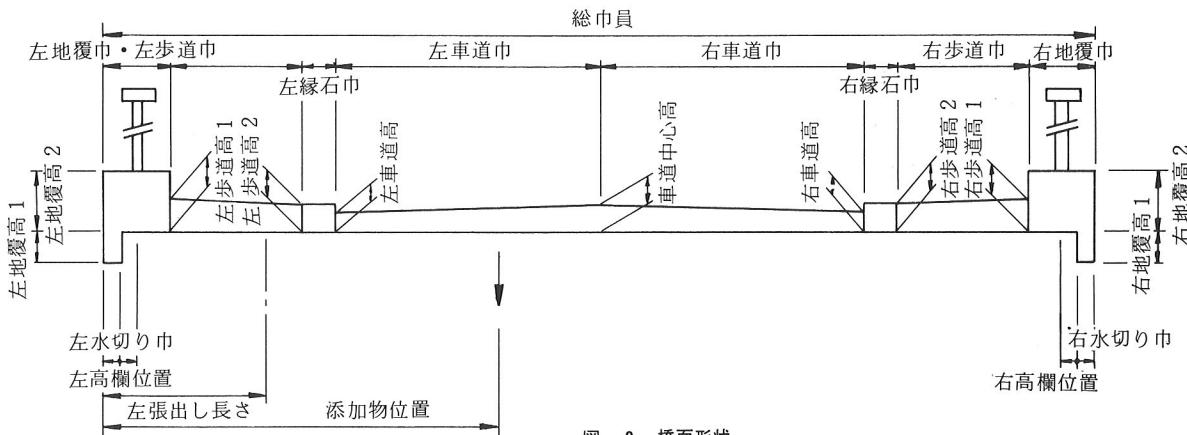


図-2 橋面形状

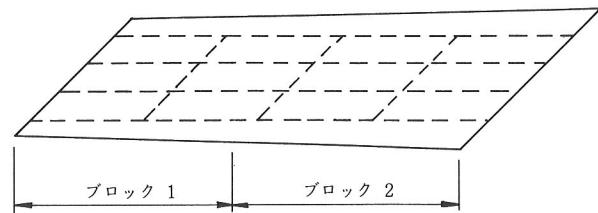


図-3 ブロック分割

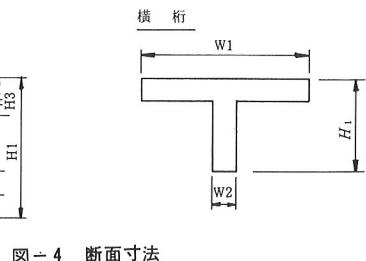
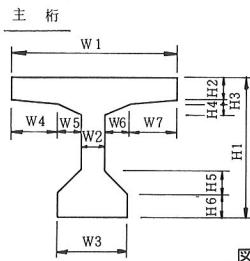


図-4 断面寸法

2-1-3 設計断面形状

設計断面形状は図-4に示す寸法で表わせるものとする。

2-1-4 ケーブル配置

主桁のケーブル配置は、入力にて指定することも可能であるが、指定されない場合は、建設省タイプで最適配置する。床版においては、 $12-\phi 5$, $12-\phi 7$ で $30\text{cm} \sim 60\text{cm}$ 間隔で 5cm を単位として自動配置する。また主桁と同様指定することもできるので、最近施工例が増えてきたシングルストランドも考慮できる。

2-2 システムの特長

本システムの大きな特長は次の2つである。第1の特長は、個々の単独計算プログラムが独立していて、その間のデータの受け渡しをファイルにより行っているということである。この方法により個々のプログラムは全く他のプログラムの制約を受けず修正することができる。また床版、主桁、横桁設計用データは、ファイルに格納されているため、データー追加等が簡単にでき、床版、主桁、横桁の設計のみを単独に計算することも可能である。

第2の特長は、入力データが非常に少なくなったということである。従来、断面力計算と断面算定が分かれていた為に、断面力を求めるのに、節点データ、部材データ、支点データ、荷重データ、着目点データ等でカード200~300枚になり、断面算定の床版、主桁、横桁設計データを入れると一橋を設計するのに400枚前後のカードが必要だった。今回これらを一括して処理できる為、カード枚数は40枚程度となり、ほぼ1/10に減らすことができた。

2-3 システムの流れ

本システムは、図-5に示すように大きく5個の実行プログラムより構成されている。以下各々のプログラムについて説明する。

2-3-1 PC-KOSHI

このプログラムは、以下に示す4つの実行プログラムをコントロールするルーチンで、格子計算データファイル、床版設計データファイルと、主桁、横桁データ作成プログラムの入力データファイルを作成し、各々をファイルA, B, C, Dに格納している。ここで入力するデ

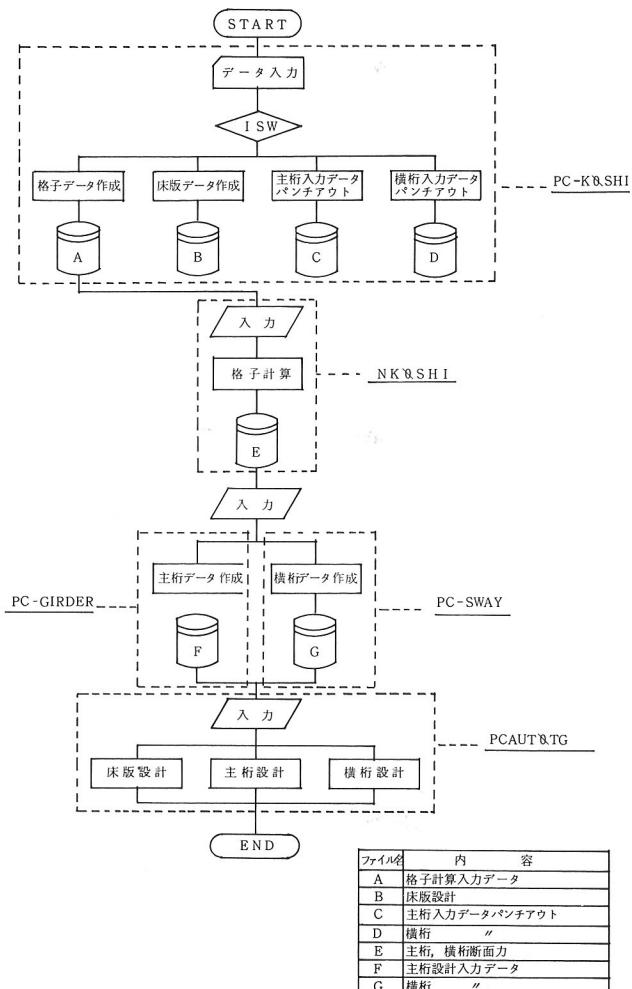


図-5 全体システムフロー

ータは、

- 1) タイトル、設計条件、骨組構造寸法
- 2) 主桁断面寸法及び横桁断面寸法
- 3) 橋面形状寸法
- 4) 荷重追加データ（添加物等の重量位置）
- 5) 単位重量（コンクリート、舗装等）
- 6) 床版データ
- 7) 床版データセット値の変更データ（許容応力度、材料強度等は予め表にセットしてある）
- 8) 主桁データ
- 9) 主桁データセット値の変更データ
- 10) 横桁データ

であり、設計者はこれらのデータ群を入力すれば、単純T桁橋の設計計算ができる。

2-3-2 NKOSHI

このプログラムは変形法理論にもとづく任意形の格子桁解析プログラムで、橋面荷重による主桁、横桁の断面力を計算する。計算された断面力は、設計計算書としての書式でプリントされると同時にファイルEにも格納される。

2-3-3 PC-GIRDER

ここでは、格子計算による断面力ファイルE及び入力データファイルCから主桁設計用データを作成し、ファイルEに格納する。

2-3-4 PC-SWAY

PC-GIRDERと同様に、横桁設計用データを作成しファイルFに格納する。

2-3-5 PCAUTOTG

このプログラムは、データファイルB, F, Gを読み床版、主桁、横桁の断面算定する本システムのメインプログラムであり、床版、主桁、横桁の単独計算及び一括計算が可能である。またこのプログラムは、ケーブル配置等を自動的に決定するが、入力により指定することも可能な為、特殊な条件下の設計も可能としている。

2-4 設計方法

床版、主桁、横桁の設計方法は、ほとんど同じなのでここでは主桁の設計方法について述べることにする。主桁の検討項目及び使用計算式は、道路橋示方書に従っている。また計算の流れは図-6に示す通りである。設計に考慮できる荷重種類は、主桁自重、場所打ちコンクリート、橋面死荷重、活荷重であり、出力される計算項目は以下に示すものである。

- 1) 設計断面位置
- 2) 設計断面の断面寸法
- 3) 設計断面位置での設計断面力
- 4) 断面諸定数（総断面、純断面、鋼材換算断面、間詰換算断面の各々について計算する）
- 5) ケーブル配置形状寸法
- 6) プレストレスの計算
 - a) 摩擦によるPC鋼材引張応力度の減少
 - b) 定着具のセットによるPC鋼材引張応力度の減少

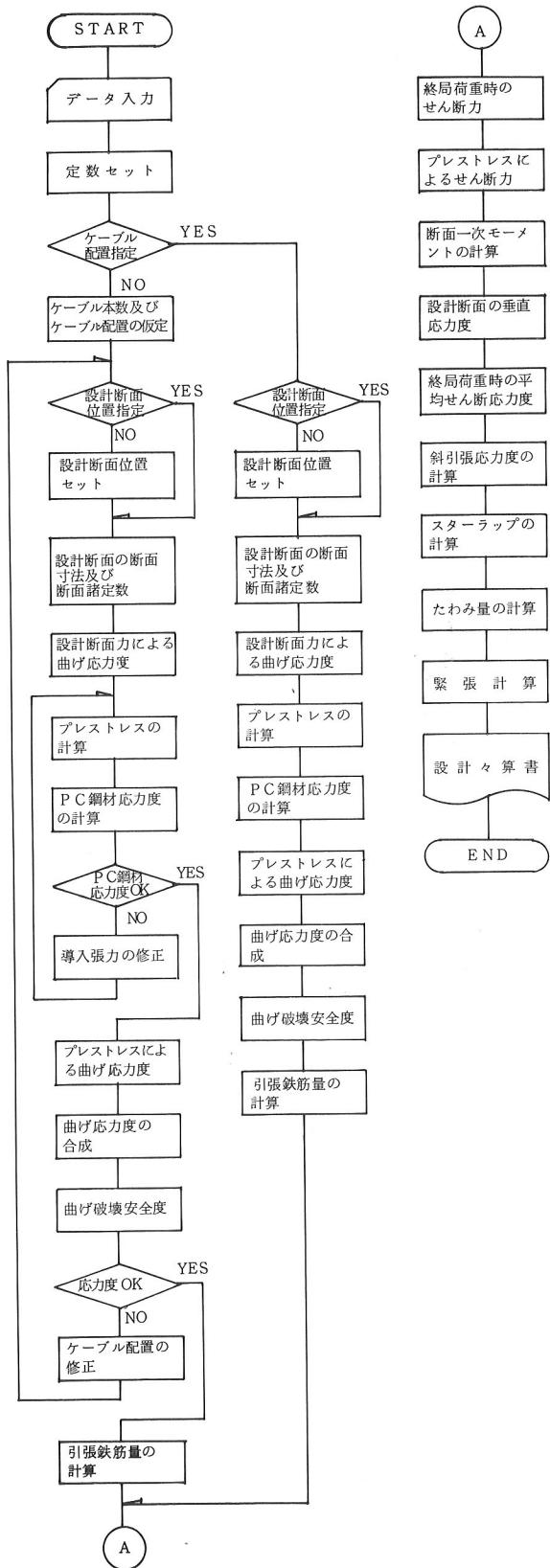


図-6 主桁設計フロー

- c) 弹性変形によるPC鋼材引張応力度の減少量
- d) コンクリートのクリープ乾燥収縮によるPC鋼材引張応力度の減少量
- e) PC鋼材のレラクセーションによるPC鋼材引張応力度の減少量
- 7) 設計荷重及びプレストレスによるコンクリートの曲げ応力度
- 8) 引張鉄筋量 12) 斜引張応力度
- 9) PC鋼材の引張応力度 13) 斜引張鉄筋量
- 10) 曲げ破壊安全度 14) たわみ量
- 11) 平均せん断応力度 15) 緊張計算

2-4-1 プレストレスの計算

プレストレス量は以下に示す計算式で求めている。

- 1) 摩擦によるPC鋼材引張応力度の減少

$$\sigma_{px} = \sigma_{pt} \cdot e^{-(\mu\alpha + \lambda x)}$$

ここに, σ_{px} ; 設計断面におけるPC鋼材引張応力度

σ_{pt} ; PC鋼材のジャッキ位置の引張応力度

μ ; PC鋼材の角変化1ラジアン当りの摩擦係数

α ; PC鋼材の角変化(ラジアン)

λ ; PC鋼材の長さ1m当りの摩擦係数

x ; PC鋼材の引張端から設計断面までの長さ

- 2) 定着具のセットによるPC鋼材引張応力度の減少

PC鋼材セット量 Δl と PC鋼材応力度の減少量

$\Delta\sigma_{p1}$ の間には次式が成立する。

$$\Delta\sigma_{p1} \cdot l = \Delta l \cdot E_p = A_{sp}$$

ここに, $\Delta\sigma_{p1}$; PC鋼材のセットによるPC鋼材引張応力度の減少量

l ; PC鋼材の長さ

Δl ; セット量

E_p ; PC鋼材のヤング係数

A_{sp} ; 図-7の斜線部の面積

実際には, A_{sp} が $\Delta l \cdot E_p$ と等しくなるC点を図上で求め, C b'' a'' 線を定めれば, この線がセットにより生じるPC鋼材引張応力度の減少を考慮した分布となる。

- 3) 弹性変形によるPC鋼材引張応力度の減少量

$$\Delta\sigma_{p2} = \frac{1}{2} n \cdot (\sigma_{ctg} \cdot \frac{N-1}{N} + \sigma_{dog})$$

ここに, $\Delta\sigma_{p2}$; 弹性変形によるPC鋼材引張応力度

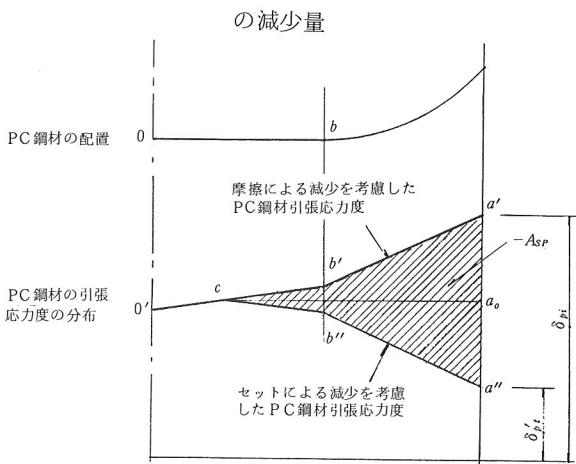


図-7 セットにより生ずるPC鋼材引張応力度の減少量

$$n; ヤング係数比 \quad (n = \frac{E_p}{E_c})$$

E_p ; PC鋼材のヤング係数

E_c ; 緊張時の材令におけるコンクリートのヤング係数

σ_{ctg} ; プレストレッシングによるPC鋼材図心位置のコンクリートの応力度

N ; PC鋼材の緊張回数

σ_{dog} ; 主軸自重によるPC鋼材図心位置のコンクリート応力度

- 4) プレストレス導入直後のPC鋼材引張応力度

$$\sigma_{pt} = \sigma_{pt}' - \Delta\sigma_{p2}$$

ここに, σ_{pt} ; プレストレス導入直後のPC鋼材引張応力度

σ_{pt}' ; 摩擦及び定着具のセットを考慮したPC鋼材引張応力度

$\Delta\sigma_{p2}$; 弹性変形によるPC鋼材引張応力度の減少量

- 5) コンクリートのクリープ乾燥収縮によるPC鋼材引張応力度の減少量

$$\Delta\sigma_{p\varphi} = \frac{n_1\varphi_1(\sigma_{ctg} + \sigma_{dog}) + E_p \epsilon_s}{1 + \alpha(1 + \varphi_1/2)} + \frac{n_2\varphi_2 \sigma_{d1g}}{1 + \alpha(1 + \varphi_2/2)} + \frac{n_2\varphi_3 \sigma_{d2g}}{1 + \alpha(1 + \varphi_3/2)}$$

ここに, $\Delta\sigma_{p\varphi}$; コンクリートのクリープ乾燥収縮によるPC鋼材引張応力度の減少量

σ_{ctg}	；プレストレッシングによるPC鋼材図心位置のコンクリート応力度
σ_{dig}	；PC鋼材図心位置の死荷重によるコンクリート応力度
σ_{dog}	；主桁自重
σ_{d1g}	；場所打ちコンクリート
σ_{d2g}	；橋面死荷重
E_P	；PC鋼材のヤング係数
n_i	；主桁コンクリートとPC鋼材のヤング係数比
$n_1 = E_P / E_{c1}$	
$n_2 = E_P / E_{c2}$	
E_{c1}	；プレストレス導入時のコンクリートのヤング係数
E_{c2}	；設計荷重時のコンクリートのヤング係数
φ_i	；クリープ係数
φ_1	；プレストレス導入時
φ_2	；場所打ちコンクリート打設時
φ_3	；橋面死荷重作用時
ε_s	；乾燥収縮度
α	； $\alpha = n \cdot \sigma_{ctg} / \sigma_{pt}$
σ_{pt}	；プレストレス導入直後のPC鋼材引張応力度

6) PC鋼材のレラクセーションによるPC鋼材引張応力度の減少量

$$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{pt} \cdot r$$

ここに， $\Delta\sigma_{pr}$ ；PC鋼材のレラクセーションによるPC鋼材引張応力度の減少量

σ_{pt} ；プレストレス導入直後のPC鋼材引張応力度

r ；PC鋼材のレラクセーション率

7) 有効プレストレス

$$\sigma_{pe} = \sigma_{pt} - \Delta\sigma_{pr} - \Delta\sigma_{ps}$$

$$\eta = \sigma_{pe} / \sigma_{pt}$$

ここに， σ_{pe} ；有効プレストレス

σ_{pt} ；プレストレス導入直後のPC鋼材引張応力度

$\Delta\sigma_{ps}$ ；コンクリートのクリープ乾燥収縮によるPC鋼材引張応力度の減少量

$\Delta\sigma_{pr}$ ；PC鋼材のレラクセーションによるPC鋼材引張応力度の減少量

η ；有効係数

2-5 プログラムの適用範囲

- 1) 原則として道路橋示方書に従った構造形式とするが、許容応力度、材料強度等を変更することによって他の形式にも使用可能である。
- 2) 設計主桁本数は最大20本までとし、主桁1本当りの設計断面数は最大20断面とする。
- 3) ケーブル配置は最適配置されるが、最大13本まで、ケーブル配置を指定する場合も同様である。
- 4) ケーブルの定着方法は、フレシネー工法とするが、変更データを入力することによって他の工法も可能である。

3. あとがき

従来、断面力計算と断面算定が分かれていてもデータ枚数が多いだけで設計者が使用する上で別に大きな問題とは思わなかった。しかし、近年設計業務の省力化から自動設計システムの開発が進み、自動設計と言えば自動設計製図及び材料計算まで計算可能なシステムを示すようになった。当社においてもこのシステムが必要であり、今回の断面力計算との一括処理は、その途中段階である。現在、図化のシステムを開発中であり、骨組形状も主桁間隔一定の平行斜角だけでなく、任意形のものも処理できるように考えている。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説（昭和53年1月）
 - I 共通編
 - II コンクリート橋編
- 2) 橋梁と基礎；コンクリート橋特集、昭和54年4月号
- 3) プレストレストコンクリート世界の動向と新道路橋示方書による設計計算例；プレストレストコンクリート技術協会、昭和54年1月
- 4) 改訂プレストレストコンクリート橋の設計計算例；国広、横溝、津野、泉、工藤、山海堂
- 5) 鉄筋コンクリート・プレストレストコンクリート設計計算入門／37；コンクリート工学、'78/5, p. 68 ~p. 77
- 6) プレストレストコンクリート標準示方書；土木学会
- 7) フレスネー工法施工基準；昭和55年改訂
- 8) 建設省標準図集