

統計処理による PC 桁橋の設計に関する一考察

STUDY ON DESIGN OF PRESTRESSED CONCRETE BEAM BRIDGE
BY STATISTICAL ANALYSIS岩 松 幸 雄*
By Sachio IWAMATSU1. ま え が き¹⁾

電子計算機の普及は、その大型化とも相まって大型で特殊な構造のみならず、一般的で類例の多い構造物の設計計算についても相当に高い精度が要求されている。

しかし、設計計算の精度の向上にもかかわらず、設計そのものの精度が本当に向上しているかについては疑問なしとしない。本来、設計計算の精度の向上は設計そのものの精度の向上につながるべきはずのものであろう。設計には、その力学的な側面だけに注目した場合でも、荷重およびその載荷の不確実性、材料強度のばらつき、さらに施工時の寸法誤差などの多くの誤差による不確実性をはらんでいる。これらの誤差の正確な評価は、現状では極めて困難である。このような多くの不確実な誤差を容認したうえで、設計計算にどれほどの精度を要求するかについては、設計全体の精度という観点から決定されるべきであろう。もし設計全体の精度に比べて設計計算の精度が極度に高すぎる場合には、技術者は設計計算の精度向上に用いている努力を構造物の設置による機能・効果の質・量・確実性などにかかわること、たとえば、経済性、利便性、環境適合（景観、自然保護）性、有効性、確実性などを含めたそれらの目的、設置意図との接近に向けられるべきかもしれない。

また同様な観点からすれば、安全に存在しうるものが第一義的に重要だとしても、構造物の機能・効果の側面をも加味した設計が本来的な設計のはずであるが、それらを設計に組み込む場合の精度が力学的側面ほどでない現在では、その全体の精度に見合った簡略な力学的設計計算の方法も開発されてしかるべきであろう。本論文では、以上のような問題のすべてに対して解答を与えることはできないが、現状の設計の成果よりも少しぐらい精度が落ちてても、もしその誤差が常に安全側であることが

保証され、計算機の容量を気にすることなく、場合によっては卓上計算機でも処理可能な設計法が提示できれば有効に活用できるのではないかとの観点から、現在建設省で供用されているポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋の自動設計プログラムのアウトプットデータをサンプルとして、統計処理した回帰式によって主要設計諸元を算定する簡略な設計システムおよびその設計例について以下に記述する。

ここで提案する設計法は、精度が良いとはいえないが簡潔さを特長とする統計処理による設計法である。この設計法は、結局、熟練した設計者の判断の内容を詳細に分析するという内容をその内容としている。熟練した設計者は、設計のキーポイントとなる設計諸元について、多くの条件から経験的にきわめて正確に推定することができる。

このような力学的安全性のみならず、機能的な側面も含めて条件から順射影的に主要な構造物諸元を指定する設計法を、従来の初期値設定の後その変更（フィードバックによる）によって力学的安全性を確認する累積設計法に対して、ここでは直接設計法とよぶ。ここで提案する統計処理による設計法も、いわば過去の設計データを分析して極めて簡略な形でキーポイントとなる設計諸元を算定式によって設定し、それを中心に他の設計諸元も数値として設定する簡単な設計システムで、いわば先述の直接設計法のサブ・システムである。

2. PC 桁橋の主要な設計諸元算定式について²⁾

設計はその前段に行われる目的的な条件および環境条件などの設定にはじまり、施工のための行動指針の一部である作図によって終る。したがって設計計算の精度を論ずる場合、設計条件の設定の精度、モデルの実荷重作用時のレスポンスとの近似性、施工精度などのつり合いで考えるべきで、単に設定されたモデルのみによる厳

* 正会員 建設省土木研究所企画部システム課長

密な計算を行うことにどれほどの意義があるかは疑問なしとしない。若干精度の悪いモデルであっても、もしその誤差が常に安全側であることが保証されていれば有効に活用することができるのではないかと。このことを検証するのが本研究のテーマでもある。

本章では、ポストテンション方式PC単純T桁橋の設計データをもとに、そのキーポイントとなる設計諸元として桁高およびPC主ケーブルを取りあげ、それぞれの算定式を設定する過程について以下記述する。なお、その他の設計諸元の設定については3.(1)で述べる。

(1) 桁高算定式の提案

a) 桁高の決定に参画する要素および組み合わせ

桁高の決定に参画する要素を無制限に抽出すると、相当数になろうが、ここでは最も寄与をしていると思われる要素として支間、幅員構成、主ケーブル本数および主桁本数を採用した。また、累積設計から得た桁高とそれに参画する要素の相関行列およびサンプルから要素の組み合わせを行うと次のようなモデル式が想定される。

$$H = f(L, NPC, N, W/N, W'/W, W/L) \dots (1)$$

H : 桁高 (cm) NPC : 主ケーブル本数 (本)
 L : 支間 (m) N : 主桁本数 (本)
 W' : 本線幅 (m) W : 本線幅+歩道幅員 (m)

b) 統計処理に用いたデータの説明

統計処理に用いたサンプルは次の条件によるプログラムのアウトプットを用いた。

- ① 形式：道路橋単純PC桁橋
- ② 種別：ポストテンション方式T桁
- ③ 荷重：TL-20
- ④ 路面線形：直線
- ⑤ 支間：20~40 m
- ⑥ 斜角：90°
- ⑦ コンクリート強度 主桁： $\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$
横桁： $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$
- ⑧ 主ケーブル径：12φ7
- ⑨ 主桁ケーブル配置：放物線配置
- ⑩ 荷重分配：Guyon Massonnet の方法

c) 要素の整理

回帰分析による桁高を推定するモデル式の設定は、より少ない説明変数により目的変数を最大限に説明するこ

とが最良とすれば、先に決めた要素の組み合わせから設定したモデル式を回帰分析および主成分分析を行い要素の整理を行う。

1) 式(1)のモデル式による重回帰分析

要素の組み合わせを独立変数にし、桁高をそれらの従属変数と考え、桁高の回帰式を要素の組み合わせの1次結合で表わせば次式で表現できる。

$$H = a + b \cdot L + c \cdot NPC + d \cdot N + e \frac{W}{N} + f \frac{W'}{W} + g \frac{W}{L} \dots (2)$$

(1) (2) (3) (4) (5) (6)

また、式(2)の重回帰分析の結果は表-1のとおりである。

2) 主成分分析

重回帰式が成立するのに必要な条件は、説明変数のおのおのが独立であることであり、設定した説明変数間に独立性があるかを調べるために、式(2)について主成分分析を行った結果、その相関行列は表-2のとおりである。

相関行列から L, NPC を除いては、おのおのの相関がそれほど高くない。したがって、回帰分析するにあたって、説明変数として取り扱うことは、回帰係数の精度上は問題がないと思われる。

表-2 および図-1 から L と NPC の相関は極めて高く、その結果から見る限りにおいては、どちらかの変数で代表させ得るが、ここでは式の利用（たとえばPCケーブルの増減）を考慮してそのままの形とした。なお NPC については、2.(4)で説明する。

3) 分析結果による要素の整理

主成分分析の結果、つまり表-2の相関行列にみる対角要素と他の要素との関係、表-4の寄与率および図-1のグループ分け図の各変数の位置などから、当所設定した説明変数は同時に扱うことができる。ただし、 L と

表-2 相 関 行 列

(1)	1.0						
(2)	0.98569	1.0					
(3)	0.0	-0.00497	1.0				
(4)	0.0	0.03323	-0.02854	1.0			
(5)	0.0	-0.00470	-0.65398	-0.28562	1.0		
(6)	-0.66145	-0.64148	0.70138	0.17205	-0.51947	1.0	

表-1 重回帰分析の結果

項目	係数	切片 (a)	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t 値
(1)	L			31.00	5.76	0.978183	0.732290×10^4	25.8531
(2)	NPC			9.84	1.88	0.962834	-0.477622×10^4	-7.0776
(3)	N	-119.02409	0.99521	5.15	1.05	-0.065280	-0.135912×10^4	-1.6664
(4)	W/N			1.82	0.11	0.164606	0.553759×10^4	20.0858
(5)	W'/W			0.76	0.14	0.014536	0.107019×10^4	5.2718
(6)	W/L			0.31	0.09	-0.663150	0.572884×10^4	0.4538

NPCは表-2の第1行にみれるように極めて相関が高く実際にもNPCはLで説明可能であるが、ここでは、それぞれが主要な設計諸元であることから別々の説明変数として取り扱った。しかし、重回帰分析の結果によると、NとW/Lのt値が極めて小さく、回帰分析上有意でないとの判断から桁高算定式の説明変数からはずし、最終的には以下の提案式を設定した。

$$H = f(L, NPC, W/N, W'/W) = a + b \cdot L + c \cdot NPC + d \frac{W}{N} + e \frac{W'}{W} \dots (3)$$

(2) 桁高算定のための提案式の検討

われわれが橋梁設計で設計計算に先立って行う初期値設定の桁高の値は、支間の20分の1を目安とするように、この場合の提案式も線形の方がよりわれわれの感覚

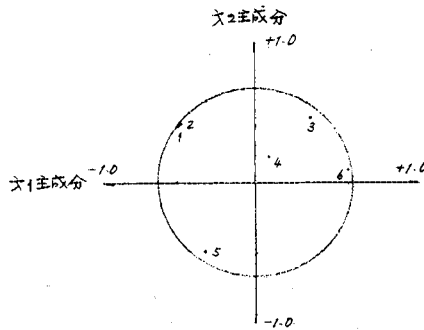


図-1 回帰式変数のグループ分け図

表-3 固有値と累積寄与率

主成分	固有値	累積寄与率
1	2.780	0.463
2	1.833	0.769
3	1.025	0.940
4	0.325	0.994
5	0.028	0.999
6	0.009	1.000

にフィットしようし、利用面からも得策であろう。とはいえ、本来桁高算定に対して、各要素の指数がいくらの場合が最適かについての検討が必要であるとの認識から本節では、線形および非線形重回帰分析による相対誤差によって検証した。その結果、線形重回帰分析による相対誤差は1.02493、非線形による相対誤差は1.00328となり、非線形にすれば式を複雑にするだけで、それによる適用範囲(支間20~40m)内での卓越した有理性は見い出せなかった。したがって、桁高の算定式は線形によるものとした。

その結果を以下に示す。

a) 線形重回帰分析

前節2.(1)での検討結果をもとに提案式を線形で表すと式(3)のようになり、その重回帰分析の結果は表-5である。

- 相対誤差=1.02493%
- 絶対誤差=1.63931 cm
- 標準偏差=3.29148

なお、線形重回帰分析の残差の例を表-6に示す。

表-6 重回帰分析(線形)による残差の一例

No.	サンプルの桁高 (cm)	推定値 (cm)	絶対誤差 (cm)	相対誤差 (%)
12	120.00000	124.83821	-4.83821	-4.0
13	120.00000	122.20179	-2.20179	-1.8
14	120.00000	117.95518	2.04482	1.7
15	120.00000	115.52858	4.47142	3.7
16	120.00000	124.83767	-4.83767	-4.0
17	142.00000	139.48938	2.51062	2.1
18	131.00000	127.86983	3.13017	2.4
19	144.00000	141.81269	2.18731	1.5
20	138.00000	137.77904	0.22096	0.2
21	137.00000	132.85955	0.94041	0.7
22	140.00000	152.19150	-0.19150	-0.1
23	140.00000	140.01571	-0.01571	-0.0
24	136.00000	136.82414	-0.82414	-0.6
25	132.00000	131.85215	0.04785	0.0
26	130.00000	129.06454	0.93546	0.7
27	138.00000	138.86398	-0.86398	-0.6
28	136.00000	136.22746	-0.22746	-0.2
29	131.00000	131.98084	-0.98084	-0.8
30	130.00000	129.55525	0.44475	0.3
31	135.00000	136.06333	-2.06333	-1.5
32	149.00000	149.49992	-0.49992	-0.3
33	140.00000	137.87637	2.12363	1.5
34	151.00000	151.82423	-0.82423	-0.5
35	146.00000	147.78157	-1.78157	-1.2
36	140.00000	142.06213	-2.06213	-1.5
37	160.00000	162.20304	-2.20304	-1.4
38	147.00000	150.82724	-3.82724	-2.6
39	144.00000	146.83568	-2.83568	-2.0
40	140.00000	141.96369	-1.96369	-1.4
41	140.00000	139.07688	0.92312	0.7

表-4 主成分の因子負荷量

成分項目 固有値	第1主成分		第2主成分		寄与率	第3主成分		寄与率
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量		固有ベクトル	因子負荷量	
	2.780326		1.833015			1.024552		
1	-0.475125	-0.7922	0.442787	0.5995	0.987	-0.061689	-0.0624	0.991
2	-0.469946	-0.7836	0.447807	0.6063	0.982	-0.030000	-0.0304	0.983
3	0.340640	0.5680	0.506429	0.6856	0.793	-0.366927	-0.3714	0.931
4	0.090973	0.1517	0.208293	0.2820	0.103	0.923961	0.9352	0.978
5	-0.307286	-0.5124	-0.539928	-0.7310	0.797	-0.071805	-0.0727	0.802
6	0.578507	0.9646	0.109685	0.1485	0.953	-0.042417	-0.0429	0.955

表-5 重回帰分析の結果(線形)

項目	係数	切片(a)	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t値
(1)	L			31.00	5.76	0.979461	0.701283×10 ⁴	24.8610
(2)	NPC	-128.16181	0.99520	9.84	1.89	0.964164	-0.401413×10 ⁴	-4.6545
(3)	W/N			1.84	0.12	0.155225	0.557834×10 ²	21.6187
(4)	W'/W			0.75	0.18	0.015273	0.151600×10 ²	9.3211

表一7 重回帰分析の結果（非線形）

項目	切片 (a)	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	t 値
(1) $L^{1.10}$			43.78	8.93	0.979383	0.464119×10^4	25.6332
(2) NPC	-59.98733	0.99544	9.84	1.89	0.964164	-0.456436×10^4	-5.3220
(3) $(W/N)^{1.70}$			2.84	0.30	0.156325	0.218919×10^2	22.4594
(4) $(W'/W)^{8.80}$			0.44	0.35	0.006592	0.784754×10^4	9.5935

b) 非線形重回帰分析

非線形重回帰分析の要素の組み合わせ指数を式(4)のように α, β, γ と考えた（ただし、主ケーブル本数のみは考えない）。

$$H = a + b \cdot L^\alpha + c \cdot NPC + d \left(\frac{W}{N}\right)^\beta + e \left(\frac{W'}{W}\right)^\gamma \dots\dots\dots (5)$$

そこで、式(5)の各指数を1を中心に増減量0.1ステップの全組み合わせについて解析し、最も重相関係数の高いケースの α, β, γ を求め、その結果を式(5)および表一7に示す。

$$H = a + b \cdot L^{1.1} + c \cdot NPC + d \left(\frac{W}{N}\right)^{1.7} + e \left(\frac{W'}{W}\right)^{8.8} \dots\dots\dots (5)$$

(1) (2) (3) (4)

- 相対誤差 = 1.00328%
- 絶対誤差 = 1.59987 cm
- 標準偏差 = 3.20836 cm

(3) 桁高算定式の設定

a) 重回帰分析の残差による算定式の処理

先の重回帰分析の結果より桁高算定式は線形としたが、この線形重回帰分析から設定した提案式によって算定される桁高 (H) は当然のことながら残差を含む。そしてこの残差の処理方法については、桁高算定式の利用方法によって次のようなことが考えられる。

- ① 道路計画の縦断線形の設定や累積設計成果の桁高検証に利用するために平均値で処理する場合
- ② 累積設計の桁高の初期値設定に利用する場合は、累積設計の特質であるフィードバックで桁高は増加しうるので、小さな値が算定できるような処理方式
- ③ 条件から直接諸元を指定する直接設計として利用

する場合は安全側と考えられる大きめの値が算定できるような処理方式

したがって、ここでは平均値および信頼区間より求める次の2方式について示す。

1) 平均値による回帰式

誤差分布は、正規分布と考えられ、平均値による回帰式は、誤差平均が0で正負の誤差率が等しいと考えられるので回帰式そのものである。つまり2.(2)のa)より次式のようになる。なお各変数の単位は2.(1)のa)と同じである。

$$H = -128.16 + 7.01 L - 4.01 NPC + 55.78 \frac{W}{N} + 15.16 \frac{W'}{W} \dots\dots\dots (6)$$

2) 信頼区間による回帰式

誤差分布は同様に正規分布と考えられるので、正負の残差が生じる。正規分布の性質から知られるように、残差領域全体から求めると、95% 信頼値では $\mu \pm 1.64 \sigma$ 、97.5% の信頼値に対しては $\mu \pm 1.96 \sigma$ の補正を行えばよい。平均値 μ は0、標準偏差値は2.(2)のa)より3.29 cm として式(6)に次の補正を行う。

- ① 95% の場合 $0 \pm 1.64 \times 3.29 \approx \pm 5.40$ cm
- ② 97.5% の場合 $0 \pm 1.96 \times 3.29 \approx \pm 6.45$ cm

b) 施工誤差による桁高算定式の考察

一般に物をつくる場合、それは設計寸法と多少異なって製作されるのが普通である。原則的には設計者は、現状の施工技術のレベルを認識して、その誤差を組み込んだ設計にすべきは論を待たない。

そこで、本研究でも筆者らが行ったPC桁の施工実態調査³⁾をもとにその誤差が応力度にどう影響するか、またそのためには桁高算定式はどう補正すべきかについて検討したのが表一8であるが、桁高施工誤差の最大値を

表一8 PCポステン桁の誤差の統計量（絶対誤差）

(単位: mm)

統計量	断面寸法	中 央 断 面							
		フランジ幅 B_1	ウェブ幅 B_2	下フランジ幅 B_3	桁 高 H_1	フランジ高 H_2	ウェブ高 H_3	下ハンテ高 H_4	下フランジ高 H_5
最大値		14.000	20.111	10.667	34.000	9.667	5.333	8.667	18.667
最小値		-21.000	-5.556	-4.667	-25.667	-9.000	-20.333	-10.000	-1.500
平均値 μ		7.808	2.766	1.979	4.311	2.234	-0.300	0.538	1.644
不偏分散 σ^2		12.922	8.372	4.610	13.594	3.986	10.298	3.222	3.322
不偏標準偏差 σ		3.595	2.893	2.147	3.687	1.996	3.209	1.795	1.823
ひずみ度		-1.958	2.326	0.468	0.458	-0.650	-3.174	-0.131	3.771
尖度		13.886	13.204	4.516	21.621	8.879	6.792	8.089	26.649
データ量		456	431	458	457	431	453	432	431

とつても先の残差による補正值におよばないこと、またたとえ、考慮してもその影響は統計処理上あらわれないことから施工誤差による算定式の補正は省略した。

c) 桁高算定式の設定

回帰分析による残差および施工誤差による検討を行ったが、次の回帰式による直接設計システムのために桁高算定式は次のように設定した。

$$H = -122.76 + 7.01L - 4.01NPC + 55.78 \frac{W}{N} + 15.16 \frac{W'}{W} \dots\dots\dots(7)$$

(4) 主ケーブル本数の算定式

先の主成分分析の項で述べたように主ケーブル本数 NPC と支間 L とは相関が強く、表-2 に示すように相関係数は 0.98521 である。一般にも、たとえば、建設省制定土木構造物標準設計の 13~17 巻を見ても、幅員はほとんど関係なく、ある支間ごと（等ピッチでない）に主ケーブル本数は増加している。したがって表-2 相関行列の結果などから主ケーブル本数の算定式の要素は支間のみとし、その一次結合として回帰分析を行った。

a) 主ケーブル本数と支間の回帰係数

$$NPC = a + b \cdot L$$

NPC: 主ケーブル本数 L: 支間 (cm)

標準偏差: $\sigma = 0.323269$

支間	a	b	t 値	相関係数	n
2000 ≤ L ≤ 4000	-0.15515	0.32242	69.93	0.98521	150

b) 主ケーブル本数算定式の設定

上記回帰係数を代入すると主ケーブル本数の算定式は次式のように書ける。

$$NPC = -0.15515 + 0.32242 \cdot L \dots\dots\dots(8)$$

式(8)に重回帰分析による残差補正值 r を加えて整理して式(9)を設定した。

$$r = 1.64 \cdot \sigma = 1.64 \times 0.323269 = 0.53016$$

$$NPC = 0.38 + 0.32 \cdot L \dots\dots\dots(9)$$

ここで L は real type であるが NPC は integer type としているので小数点以下は切り捨てられて整数値となる。

3. PC 桁橋の現状データを処理した回帰式による設計システムについて³⁾

前章で設計のキーポイントとなる桁高と主ケーブル本数の算定式を提示したが、本章ではそのほかの設計諸元の設定について記述するとともに、ポストテンション方式PC単純T桁橋の現状データを処理した回帰式による直接設計法のプロセス、その設計例および累積設計との比較について以下記述する。

(1) 算定式による以外の設計諸元の設定

桁高および主ケーブル本数以外の設計諸元については適用支間 20~40 m 内では回帰分析しても意味がなく、一般に累積設計でも直接的に指定されている。本システムでも建設省制定土木構造物標準設計および建設省土木研究所の自動設計プログラムを参考に以下のように設定した。

(a) 主桁本数の設定

累積設計計算の結果や標準設計から幅員に対する主桁本数を処理して表-9 のように設定した。

W: 総幅員 (本線幅+歩道幅)

(b) 主桁断面寸法の決定

主桁断面を構成する諸要素のうち自動設計のプログラム内で一定としている要素について分類すると表-10 のようになり、ここでもそれにならって設定した。

$$B_3 = 0.5(B - B_0 - 54.0)$$

ただし B₀: ウェブ幅(cm) B₃: 上フランジ張出し長(cm)

B: 上フランジ幅(cm) T₂: 下フランジハンチ高(cm)

B₂: 下フランジ幅(cm) T₃: 下フランジ厚(cm)

(c) 横桁本数の設定

横桁はその間隔 10 m 以下になるように設定している。

(d) 床版の各諸元の設定

床版における床版厚、横締め間隔およびPC鋼線は累積設計例から次のように定めた。

床版厚: T = 18 cm

横締め間隔: 50 cm

PC鋼線: 12φ5

(e) 横桁の断面寸法の設定

横桁のウェブ厚は、累積設計の場合、支間 20 m 以上については一律 25 cm を用いている。したがって直接設計の場合も 25 cm とした。

表-9 主桁本数と幅員の関係

支間 l	項目	幅員 W (cm)	主桁本数 N
2000 ≤ l ≤ 4000 (cm)		750 ≥ W	4
		950 ≥ W > 750	5
		1200 ≥ W > 950	6
		W > 1200	7

表-10 支間と主桁断面寸法の関係

支間 l	項目		B ₀ (cm)			
	断面要素	B (cm)	B ₂ (cm)	T ₂ (cm)	T ₃ (cm)	
2000 ≤ l < 2500 (cm)		150	50	21	20	
2500 ≤ l < 3500						
3500 ≤ l ≤ 4000						

(2) PC 桁橋の直接設計システムのプロセス

PC 桁橋の現状設計データを処理した回帰式による本設計システムは、従来の累積設計のモジュールとサブシステムとがからみ合った複雑なシステムを簡素化し、図一2 に示すようにハイラルキー構造のプロセスフローになっている。したがってインプットが簡単で逐次処理が可能のため中・小型の電子計算機、物によっては桌上電子計算機でも図化を含む全システムの処理が可能である。なお図中で式と書いているのはプログラミング言語 ALGOL というブール式も含む代入文のことである。

(3) 直接設計システムによる設計例

本直接設計システムのアウトプットは図面 5 枚で構成される。図一2 のプロセスフローの図化①の部分に相当するアウトプットが図一3 に、図化②が図一4、図化③-1 および図化③-2 が図一5、図化④が図一6、図化⑤が図一7 に対応する。また本設計例は次の条件のものである。

支間：35 m 総幅員：17 m 斜角：90°
橋格：一等橋

(4) 累積設計と直接設計との材料比較

土木研究所で筆者らが開発した自動設計プログラムのアウトプットと本システムのアウトプットによる材料比較を表一11 に示した。それに見る限り主要部材のほとんどが差がないといえよう。

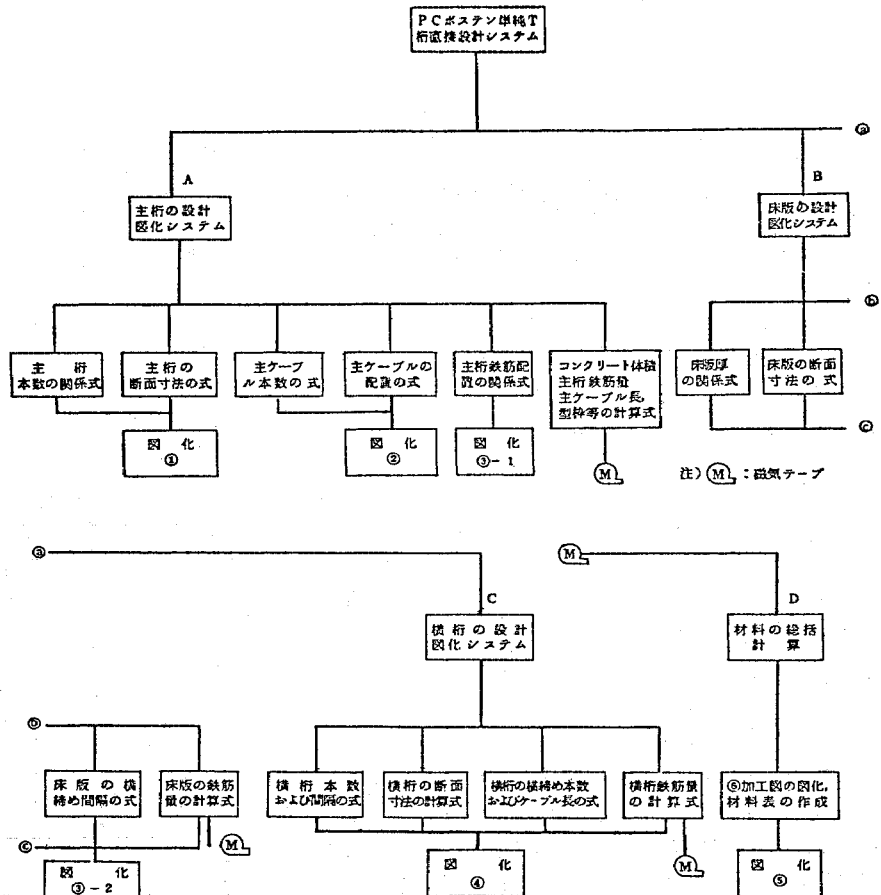
(5) 桁高制限に対する本システムの適用性について

PC 桁橋は同一支間のプレートガーダ橋に比較して、一般に桁高は低い、それでも環境条件で桁高が制限される場合がある。本節はこのような桁高制限に対して本システムの適用性について検討した事項について述べるが、まず結論からいえば、桁高制限の設計データを使っていないので

適用には限界がある。本システムを簡潔に設定し得た理由の1つが桁高を除く主桁断面寸法、主ケーブル配置パ

表一11 材料比較

設計条件	支間		35.0 m			
	幅員	9.0 m	歩道幅員(左)	2 m	歩道幅員(右)	2 m
	載荷量	1 000 台/日以下				
種別	単位	累積設計(A)	直接設計(B)	(B)-(A)	(B)/(A)	
桁高	cm	190	195	5	1.026	
主桁本数	本	7	7	0	1.000	
PC鋼線本数	本	11	11	0	1.000	
コンクリート	m ³	28.56	29.55	0.99	1.035	
PC鋼線	t	1.25	1.24	-0.01	0.992	
シース	m	344.69	342.32	-2.37	0.993	
グラウト	m ³	0.55	0.54	-0.01	0.982	
型枠	上突縁側面および桁端面	m ²	15.17	15.96	0.79	1.052
	横桁取付その他	m ²	4.51	4.91	0.40	1.089
		m ²	158.48	179.73	21.25	1.134
定着具	主ケーブル用	個	22	22	0	1.000
	横締め用	個	152	152	0	1.000
鉄筋	端桁	t	2.65	2.63	-0.02	0.992
	中桁	t	2.51	2.49	-0.02	0.992



図一2 直接設計のプロセスフロー

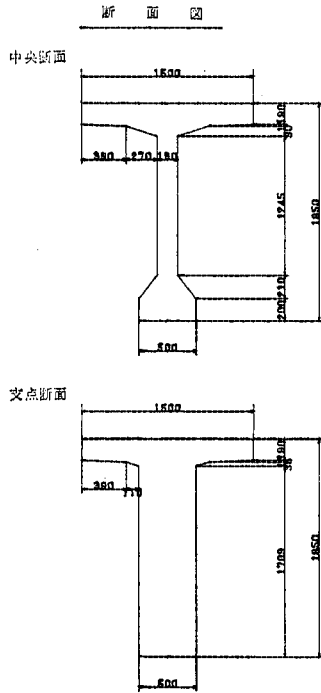


図-3 主桁断面寸法

設計条件

支間	CM	3500
車道巾	CM	1300
歩道巾	CM	2x200
総幅員	CM	1700
角度		90
橋格		1等橋
荷重		L-20 T-20
型式		T型 ポストテンション

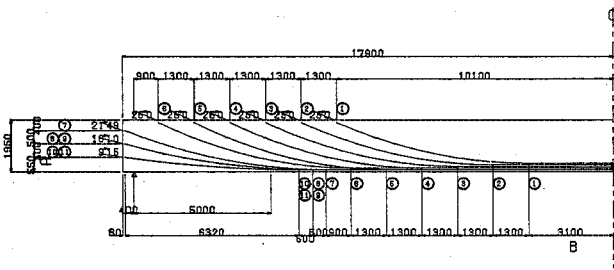
端断面の諸定数

断面積	CM ²	11781.83
中立軸	上線	CM ² 82.44
	下線	CM ² -112.56
PC鋼材図心と中立軸との距離	CM	0.00
断面二次モーメント	x100	
	CM ⁴	437824
断面係数	上線	CM ³ 531054.62
	下線	CM ³ -388983.56
	PC鋼材図心	CM ³ 0.00
回転二次半径	CM	60.96
断面一次モーメント	CM ³	316720.18

中央断面の諸定数

断面積	CM ²	7376.50	7201.60	7492.16	8314.86
中立軸	上線	CM ² 74.47	71.90	76.11	69.52
	下線	CM ² -120.53	-123.10	-118.89	-125.48
PC鋼材図心と中立軸との距離	CM	-106.03	-108.60	-104.39	-110.98
断面二次モーメント	x100				
	CM ⁴	354853	334714	367655	400668
断面係数	上線	CM ³ 476485.31	465539.68	483057.87	576342.25
	下線	CM ³ -284417.62	-271898.31	-309238.81	-319306.93
	PC鋼材図心	CM ³ -334681.43	-308201.93	-352192.68	-361025.43
回転二次半径	CM	69.36	68.17	70.05	69.42
断面一次モーメント	CM ³	232903.12	0.00	0.00	0.00

PC鋼線曲げ上げ図



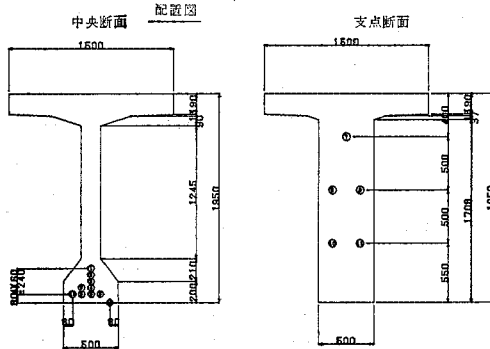
桁高	195.0
----	-------

ケーブル曲げ上げ諸値

PCケーブル本数	11
曲げ上げケーブル数	6
端部定着ケーブル数	5
曲げ上げ角	25.0
端部定着段数	3
定着間隔	50.0
A	55.0

ケーブル配置諸値

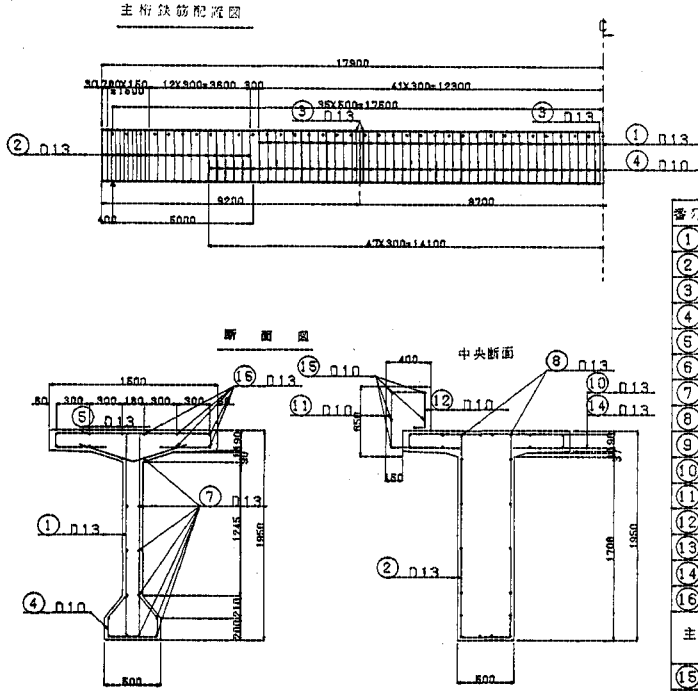
B	310.0
放物線水平長	700.0
上線定着間隔	130.0



プレストレスシング (パシカルプレストレス)

番号	張力 (kg)	張力 (kg/cm ²)		伸び (mm)	ケーブル長 (mm)
		Top Cable	Bottom Cable		
①	11	54.6	11813.2	111	20640
②	10	54.8	11874.5	125	23280
③	9	55.1	11935.9	139	25900
④	8	55.4	11997.3	153	28540
⑤	7	55.7	12058.7	167	31180
⑥	6	56.0	12118.6	181	33740
⑦	1	55.4	11996.0	193	36020
⑧	2	53.9	11682.2	190	35820
⑨	3	53.9	11682.2	190	35820
⑩	4	52.2	11299.5	188	35680
⑪	5	52.2	11299.5	188	35700

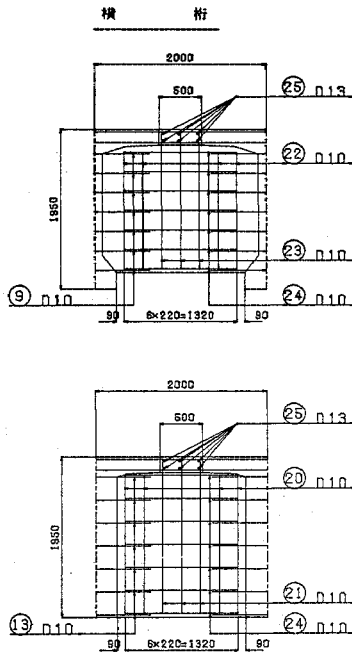
図-4 PC 鋼線配置図



鉄筋表

番号	径	長さ(mm)	本数	単位重量 (kg/本)	1本当り重量 (kg)	重量 (kg)
①	D13	4250	83	0.995	4.229	351.0
②	D13	4300	48	0.995	4.278	205.4
③	D13	4300	12	0.995	4.278	51.3
④	D10	2150	95	0.559	1.202	114.2
⑤	D13	2650	131	0.995	2.637	345.4
⑥	D10	1000	95	0.559	0.559	53.1
⑦	D13	36950	14	0.995	36.765	514.7
⑧	D13	5300	4	0.995	5.273	21.1
⑨	D10	900	70	0.559	0.503	35.2
⑩	D13	800	262	0.995	0.796	208.6
⑪	D10	700	121	0.559	0.391	47.3
⑫	D10	1650	121	0.559	0.922	111.6
⑬	D10	1300	70	0.559	0.727	50.9
⑭	D13	800	524	0.995	0.796	417.1
⑮	D13	36950	10	0.995	36.765	367.7
主桁鉄筋重量				部	桁	2.633
				中	桁	2.492
⑮	D10	36950	10	0.559	20.655	206.6

図-5 側面図



横桁プレストレスリング(フルプレストレス)

種別	配筋作業時反力		伸び(mm)	ケーブル長(mm)	本数	重量(kg)	
	Ton/CABLE	kg/2m					
横桁	30.7	130.5	62	12400	5	114.6	
床版	30.7	130.5	87	13400	71	1758.2	
合計						1013400	1.873

鉄筋表

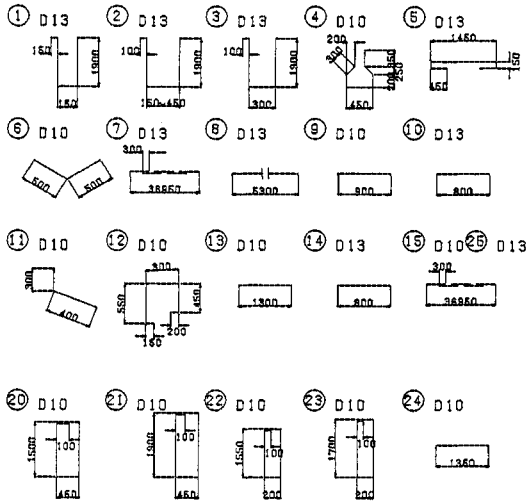
番号	径	長さ(mm)	本数	単位重量 (kg/本)	1本当り重量 (kg/本)	重量 (kg)
⑳	D10	4000	48	0.559	2.236	107.3
㉑	D10	4800	36	0.559	2.683	96.6
㉒	D10	3600	24	0.559	2.012	48.3
㉓	D10	3900	18	0.559	2.180	39.2
㉔	D10	1350	420	0.559	0.755	317.0
㉕	D13	36950	36	0.995	36.765	1323.5
合計重量 (T)						1.932

図-6 横桁の設計

ターン等を固定化しているためでもありそれらも変化させた場合は回帰モデルが極めて複雑となる。そこで主桁本数 N を増して桁高を低減することとして、現行の自動設計プログラムのアウトプットを比較したものが表-12である。この場合上フランジ幅 B は 150 cm の制限

をはずして、ある程度自由に变化しうるように改良した。桁高を 5 cm ごとにまるめるとすれば両者の差はほとんどなく、また桁高を制限しない場合との差は支間によって異なるが 10~20 cm 位の制限は可能である。

主桁・横桁鉄筋の加工図



橋桁鉄筋の材料表

種別	仕様	単位	1連当り数量	摘要
主桁	桁	本	7	
床版	コンクリート	$ck = 300 \text{ kg/cm}^3$	m^3	48.6
	PC鉄線	1.2ϕ	t	1.879
	シース	$\phi 35$	m	1013.4
	グラウト		m^3	0.976
横桁	型枠		m^2	218.5
	鉄筋	$S10, D10, D13$	t	1.932
橋面	舗装	歩道	m^2	922.2
		車道	m^2	143.2
	覆	コンクリート	m^3	55.8
土工	型枠	鉄	m	109.5
	伸縮継手	鉄	t	0.207

主桁材料表

種別	仕様	単位	1連当り数量	
主桁	コンクリート	$ck = 400 \text{ kg/cm}^3$	m^3	29.5
	PC鉄線	1.2ϕ	t	1.241
	シース	$\phi 35$	m	342.3
	グラウト		m^3	0.544
横桁	上突縁側面及び桁端面		m^2	16.0
	補修	横桁取付部	m^2	4.9
	その他		m^2	179.7
定着	主ケープ用	1.2ϕ	個	22
	積積め用	1.2ϕ	個	76
	鉄筋	$S10, D10, D13$	t	2.633
				2.492

図-7 鉄筋加工図・材料表

表-12 桁高制限の設計例

支間 L(m)	車道+歩道 W(m)	車道 W'(m)	主桁本数 N(本)	主ケープル本数 NPC(本)	上フランジ幅 B(cm)	桁高 H(cm)	
						累積設計	回帰式
22.0	12.50	8.50	8	7	135	99	95.5
24.0	9.50	7.50	6	8	140	109	108.3
26.0	9.50	5.50	6	8	140	121	119.2
28.0	9.50	7.50	6	9	140	131	132.4
30.0	8.50	8.50	6	9	130	141	140.3
32.0	10.50	6.50	7	10	145	144	149.2
34.0	13.50	7.50	8	10	145	171	172.7
36.0	9.50	7.50	6	11	140	179	180.4
38.0	7.50	7.50	5	12	140	184	189.0
40.0	10.50	6.50	7	13	130	192	193.2

4. あとがき

先に直接設計は熟練した設計者の判断の内容を詳細に分析することを内容としていると述べたが、本論文で紹介したのはその力学的側面を重視した現状の設計データを統計処理した主要諸元算定式を中心とする設計法であり、従って直接設計システムのサブシステムである。

ここでいう直接設計法とは、力学的安全性、耐久性、経済性、景観適合性(景観、振動、騒音など)を評価項目とし、それぞれの指標による回帰式によって設計諸元を指定しようとする設計法で、現在、研究中である。

ところで、計画論の展開は多種多様な記述元相互の対応射影を必要とする多段構造になっているが、それが道路事業計画に限っても同様であって、その代替案策定時

に道路の一部である橋梁設計が、現在のように膨大な設計計算を要するようでは正確な計算は行わないのが普通である。しかし、本設計法のように小型計算機で図化まで可能な簡略な設計システムの利用が可能になれば、道路計画の策定時に経済的な側面などから計画全体の成否を左右することの多い構造物の設計が、他の手段要素(たとえば土工など)以上に簡単にそして明確に行えるので便利であり、また計画全体の精度向上につながることも論を待たない。

他方、設計の面についても本設計法は、現在の力学的設計体系の成果をデータとするために少なくとも現行の安全性の本質を失っていないので、そのまま実施設計としての利用も可能である。また、桁高算定式などにみられるように回帰式は筆算でも可能なほど簡単なので、設計の初期値設定や設計結果の検証に使うて便利であることも明白である。終りに本論文のデータ整理などでお手伝いいただいた土木研究所システム課の諸君および長大橋センターの林氏に紙上を借りて謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会編:土木計画学の領域と構成, 土木計画学シリーズII, p. 109~p. 140 (1976).
 - 2) 岩松・藤田・工藤:ポストテンション方式単純Tげた橋の設計の直接化に関する検討, 土木研究所資料第1007号(1975).
 - 3) 岩松・藤田・工藤:PCげたの施工実態調査とその解析, 土木研究所資料第1008号(1975).
- そのほか、一般的な参考書として次のものを使った。
Bolch, B.W. and Huang, C.J. (中村慶一訳):応用多変量解析, 森北出版(1976). (1976.6.29・受付)