

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1007号

昭和50年3月

建設省土木研究所
企画部システム課



ポストテンション方式単純丁げた橋の 設計の直接化に関する検討

土木研究所資料1007号

昭和50年3月

建設省土木研究所企画部システム課
課長 岩松幸雄
建設専門官 藤田益夫
技術基準係長 工藤真之助

目

次

§ 1. ま え が き	1
§ 2. PCポステン桁の直接設計システム	3
§ 3. 主桁の設計および図化システム	5
3.1 主桁本数の決定	5
3.2 主桁の最適断面寸法の決定	6
3.3 最適主ケーブル本数の決定	63
3.4 主ケーブルの配置の決定	65
3.5 主桁鉄筋の配置および本数の決定	72
3.6 主桁コンクリート体積、型枠、鉄筋量およびケーブル長等の決定	76
§ 4. 床版の設計および図化システム	83
4.1 最適床版厚の決定	83
4.2 床版の断面寸法	84
4.3 床版の横締めケーブルの決定	86
4.4 床版の鉄筋量の決定	88
§ 5. 横桁の設計および図化システム	89
5.1 横桁本数および間隔の決定	89
5.2 横桁の断面寸法の決定	90
5.3 横桁の横締め本数およびケーブル長の決定	91
5.4 横桁鉄筋の配置および鉄筋量の決定	92
5.5 横桁の体積および型枠	94

§ 6. 材料の総括	95
6.1 主桁の材料	95
6.2 横桁, 床版の材料	96
6.3 橋面工	97
§ 7. 図化方式の検討	99
§ 8. PCボステン単純T桁橋の直接設計プログラム	105
8.1 プログラムの概要	105
8.2 設計計算プログラム	107
8.3 図化プログラム	120
8.4 インプット・フォーム	137
8.5 アウトプットフォーム	140
§ 9. 累積設計と直接設計の比較	141
§ 10. 結 語	154
§ 11. 参 考 文 献	156
1. 橋梁設計の基礎	156
2. 橋梁設計の基礎	156
3. 橋梁設計の基礎	156
4. 橋梁設計の基礎	156
5. 橋梁設計の基礎	156
6. 橋梁設計の基礎	156
7. 橋梁設計の基礎	156
8. 橋梁設計の基礎	156
9. 橋梁設計の基礎	156
10. 橋梁設計の基礎	156
11. 橋梁設計の基礎	156
12. 橋梁設計の基礎	156
13. 橋梁設計の基礎	156
14. 橋梁設計の基礎	156
15. 橋梁設計の基礎	156
16. 橋梁設計の基礎	156
17. 橋梁設計の基礎	156
18. 橋梁設計の基礎	156
19. 橋梁設計の基礎	156
20. 橋梁設計の基礎	156
21. 橋梁設計の基礎	156
22. 橋梁設計の基礎	156
23. 橋梁設計の基礎	156
24. 橋梁設計の基礎	156
25. 橋梁設計の基礎	156
26. 橋梁設計の基礎	156
27. 橋梁設計の基礎	156
28. 橋梁設計の基礎	156
29. 橋梁設計の基礎	156
30. 橋梁設計の基礎	156
31. 橋梁設計の基礎	156
32. 橋梁設計の基礎	156
33. 橋梁設計の基礎	156
34. 橋梁設計の基礎	156
35. 橋梁設計の基礎	156
36. 橋梁設計の基礎	156
37. 橋梁設計の基礎	156
38. 橋梁設計の基礎	156
39. 橋梁設計の基礎	156
40. 橋梁設計の基礎	156
41. 橋梁設計の基礎	156
42. 橋梁設計の基礎	156
43. 橋梁設計の基礎	156
44. 橋梁設計の基礎	156
45. 橋梁設計の基礎	156
46. 橋梁設計の基礎	156
47. 橋梁設計の基礎	156
48. 橋梁設計の基礎	156
49. 橋梁設計の基礎	156
50. 橋梁設計の基礎	156
51. 橋梁設計の基礎	156
52. 橋梁設計の基礎	156
53. 橋梁設計の基礎	156
54. 橋梁設計の基礎	156
55. 橋梁設計の基礎	156
56. 橋梁設計の基礎	156
57. 橋梁設計の基礎	156
58. 橋梁設計の基礎	156
59. 橋梁設計の基礎	156
60. 橋梁設計の基礎	156
61. 橋梁設計の基礎	156
62. 橋梁設計の基礎	156
63. 橋梁設計の基礎	156
64. 橋梁設計の基礎	156
65. 橋梁設計の基礎	156
66. 橋梁設計の基礎	156
67. 橋梁設計の基礎	156
68. 橋梁設計の基礎	156
69. 橋梁設計の基礎	156
70. 橋梁設計の基礎	156
71. 橋梁設計の基礎	156
72. 橋梁設計の基礎	156
73. 橋梁設計の基礎	156
74. 橋梁設計の基礎	156
75. 橋梁設計の基礎	156
76. 橋梁設計の基礎	156
77. 橋梁設計の基礎	156
78. 橋梁設計の基礎	156
79. 橋梁設計の基礎	156
80. 橋梁設計の基礎	156
81. 橋梁設計の基礎	156
82. 橋梁設計の基礎	156
83. 橋梁設計の基礎	156
84. 橋梁設計の基礎	156
85. 橋梁設計の基礎	156
86. 橋梁設計の基礎	156
87. 橋梁設計の基礎	156
88. 橋梁設計の基礎	156
89. 橋梁設計の基礎	156
90. 橋梁設計の基礎	156
91. 橋梁設計の基礎	156
92. 橋梁設計の基礎	156
93. 橋梁設計の基礎	156
94. 橋梁設計の基礎	156
95. 橋梁設計の基礎	156
96. 橋梁設計の基礎	156
97. 橋梁設計の基礎	156
98. 橋梁設計の基礎	156
99. 橋梁設計の基礎	156
100. 橋梁設計の基礎	156

§ 1. ま え が き

電子計算機の普及による橋梁設計の基準化および自動設計の方向は、時代の趨勢とはいえ、かつての手作りの味に郷愁を感じるのは筆者等だけではなからう。

しかし、どのような対応モデルを用いるにしても、完成された対応モデルと整備された基準類等からなる現状の設計法による限り、所要の設計条件が与えられてから構造物の具体的諸元の指定を完了するまでの設計過程には、当事者の判断を必要とする局面は極めて少なく、特に、類例が多く定形化された構造物については、与えられた設計条件に対してほとんど単純作業の連続として構造諸元の検証が完了できることも多い。このような設計作業に関する限り、その対応モデルおよび基準類を内容とするプログラムを用いれば、設計条件を入力、検証作業の完了によって指定された構造諸元を出力として、その全体を電子計算で処理することが有効であり、各組織で自動化が進んだ所以であろう。

そして、上述のような自動化を図ることによって、我々が過去数十年の間に設計を行なったと同程度の設計成果も短時間のうちに得られるようになると、これらの成果を統計処理した回帰式の提案により、順射影的な設計も可能となる。

現行の設計行為は、設計諸元の初期値を設定してのち、力学モデルによる出現状態が条件と整合するかの逆射影的な検証作業であり、これを設計条件が設定されると、対応モデルに力学的モデルを使うと使わないとにかかわらず、順射影的に設計諸元が指定されるものをここでは直接設計方式と呼ぶ。

本研究の対象は、上記直接設計方式のうち、モデルに力学的設計による成果を統計処理した回帰式を用いた場合であり、これを「力学的設計成果を処理した回帰式による直接設計法」と呼ぼう。そして本設計方式では、累積設計方式の複雑さを簡素化してモジュールシステムで処理できるように設計の自動化を図ることができ、現行設計方式と工学的精度には遜色のない成果が期待でき、しかも、電子計算機も中型以下で処理可能となる。その利用範囲も実施設計における初期値の設定や、設計結果の検証はもちろん、実施設計そのものとしても利用可能であり、特に比較設計システムとして大きな効果を発揮する。

本報告書では、建設省制定土木構造物標準設計第18～17巻として発刊されているポストテンション方式PC単純Tげた橋（以下PCポステン単純Tげた橋と呼ぶ）を対象としてその自動化を試みたものである。

また、この設計方式の確立に利用した累積設計のデータの範囲は、幅員構成は22ケース

(歩道あり(両側,片側),なし),支間は14mから2mごとに40mまで,合計30.8
橋の設計結果であり,これらの累積設計の資料から当直接設計の各モジュールに必要なパラ
メータを如何に簡易式に置きかえるか,また,図化パターンも如何に簡素化するかの諸問題
が骨子となっている。

なお,本報告書で以下に直接設計と呼んでいるのは「力学的設計成果を処理した回帰式に
よる直接設計法」のことで,直接設計とは先に定義したように設計条件から設計諸元が順射
影的に指定し得る設計法のことであり,当然,本報告書のような回帰式モデルでなく他のモ
デル,例えば多数実在する同種の施設について,その諸元構成とそれと与えられている評価
の構成との関係を分析し,必要な場合には施設の環境条件をパラメータとして施設諸元とそ
の評価の直接的対応関係を策定しておき,要請される評価が得られるような施設諸元を直接
的に指定するようなモデルによる設計法も含まれるわけで,この「統計的評価分析による
直接設計法」については現在検討中である。

本報告書の提案に対し御意見を賜われれば幸いである。

§ 2. PCポステン単純T桁の直接設計システム

直接設計システムとしての理想的流れは図-23に示すようなハイルキー構造である。すなわち、このシステムはサブシステムとモジュールが複合体として関係していないこと、および図-21の積み上げ方式による設計システムに示すようなフィードバックがないことから、その自動化に当たってもこれらのシステムを分割して処理することが可能となり、必ずしも大型コンピュータを必要としない。

そして、このサブシステムのプログラムをカセット化できれば、ミニコンピュータでも充分設計が行なえ、また図化機に連結すれば図面も作成することができる。

本報告書の設計システムはとりあえず図-22に示すような流れとなっているが、近くハードの整備に伴い正規の形にするので、以下は図-23に示す設計システムを基本として解析を進めて行くことにする。

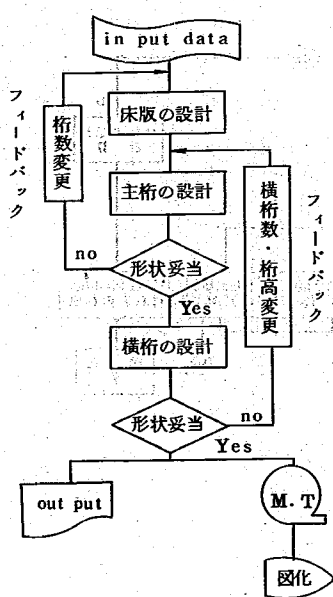


図-21 積み上げ方式の流れ

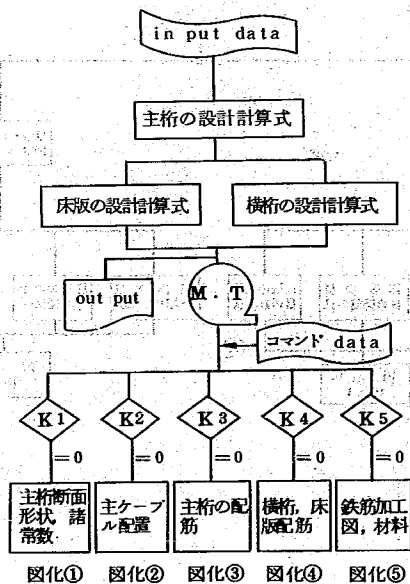


図-22



§ 3. 主桁の設計および図化システム

PCボステン単純T桁橋の直接設計システムの構成図から見られるように主桁のサブシステムは以下に示す六つの設計モジュールシステムから成り立っている。

- (1) 主桁本数の決定。
- (2) 主桁の断面寸法の決定
- (3) 最適主ケーブル本数の決定。
- (4) 主ケーブルの配置の決定。
- (5) 主桁鉄筋の配置及び本数の決定。
- (6) 主桁コンクリート体積、型枠、鉄筋量、主ケーブル長等の決定。

以上述べた六つのモジュールを累積設計々算の結果から如何に簡易式を作り直接設計に適用するかを以下に述べる。

§ 3.1 主桁本数の決定

累積設計々算の結果から支間と本線幅、歩道幅員等について分類すると次の表のようになる。

表 3.1-1

支間 ℓ (cm)	幅 (W) cm	主桁本数 (N)
$\ell \leq 2000$	$650 > W$	4
	$850 > W \geq 650$	5
	$1050 > W \geq 850$	6
	$W = 1050$	FW = 150 6
		FW = 200 7
	$W > 1050$	7
$\ell > 2000$	$750 \geq W$	4
	$950 \geq W > 750$	5
	$1200 \geq W > 950$	6
	$W > 1200$	7

W : 総幅員 (本線幅 + 歩道幅)

FW : 歩道幅

ℓ : 支間長

主桁本数を決める際、支間長および総幅員、歩道幅等を与えれば表の不等式判定により本数が決まる。主桁本数の決定に統計処理を避けて使用した理由は回帰式から整数に直す場合切り上げか切り捨てによる桁本数の加減が累積設計の主桁本数と異なるとけた高、P C ケーブル本数等の要素に大きく影響を与えるからである。

§ 3.2 主桁の断面寸法の決定

主桁断面を構成するに必要な断面諸元は、累積設計資料の諸要素のうち規則性のある要素について示すと次の表になる。

表 3.2-1

支間長 ℓ (cm) \ ウェブ 幅	B_0 (cm)
$1400 \leq \ell \leq 2000$	15
$2000 < \ell \leq 3500$	16
$3500 < \ell \leq 4000$	18

表 3.2-2

支間長 ℓ (cm) \ 断面要素 (cm)	B_1	B_2	T_2	T_3
$1400 \leq \ell \leq 2000$	120	40	18	18
$2000 < \ell \leq 4000$	150	50	21	20

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

但し

B_0 : ウェブ幅

B : 上フランジ幅

B_2 : 下フランジ幅

B_3 : 上フランジ張出し長

T_2 : 下フランジハンチ高

T_3 : 下フランジ厚

その他不規則性を示している断面寸法要素としては上フランジ厚 T と主桁の桁高 H の両要素が残る。

桁高 H の設定は、それに影響する要素を加味した色々な回帰式を想定し、それぞれについて回帰分析を行ない、その中から最も妥当と思われる回帰式を用いることにする。

なお、上フランジ厚 T については、「§4.1 最適床版厚の決定」にゆずり、本節では桁高 H の決定に際し検討した次の項目について詳述する。

- (a) 幅員と支間と桁高の関係
- (b) 桁高 H の決定に参画する要素
- (c) 桁高 H の回帰式の提案
- (d) 提案式における回帰分析
- (e) 回帰分析の結果における考察
- (f) 提案式における主成分々析
- (g) 主成分々析の結果における考察
- (h) 桁高 H の推定値に関する評価
- (i) 桁高 H の決定式
- (j) 主桁の断面形状
- (k) その他の断面寸法の決定

(a) 幅員と支間と桁高の関係

(a-1) 総幅員と車道幅員、歩道幅員の関係

両 側 歩 道 つ き (22 ケース) 単位cm

車道幅員 歩道幅員	900	800	750	700	650	600
250			1250			
200		1200	1150	1100	1050	1000
150		1100	1050	1000	950	900
75		950	900	850	800	750
00	900	800	750	700	650	600

(a-2) 車道幅員一定時の桁高と支間の回帰分析

$$y = a + bx \quad (y: H, \quad x: \ell)$$

車道幅員 支間 ℓ (cm)	項 記 号	回 帰 係 数					
		a	b	F_0	t	r	n
800	$1400 \leq \ell \leq 2000$	14.375	0.0469	160.715	12.677	0.956	16
	$2000 < \ell \leq 3200$	- 8238	0.0543	287.269	16.949	0.962	24
	$3200 < \ell \leq 4000$	-46500	0.0637	20.761	4.556	0.754	16
750	$1400 \leq \ell \leq 2000$	9.100	0.0495	167.38	12.938	0.947	20
	$2000 < \ell \leq 3200$	-15.181	0.0569	630.926	25.118	0.978	30
	$3200 < \ell \leq 4000$	-52100	0.0655	132.348	11.504	0.935	20
700	$1400 \leq \ell \leq 2000$	12000	0.0463	84.806	9.209	0.921	16
	$2000 < \ell \leq 3200$	- 7154	0.0530	1000.550	31.632	0.989	24
	$3200 < \ell \leq 4000$	-48.875	0.0631	83.322	9.128	0.920	16
650	$1400 \leq \ell \leq 2000$	12000	0.0463	720.53	8.488	0.909	16
	$2000 < \ell \leq 3200$	1524	0.0498	3406.29	18.456	0.968	24
	$3200 < \ell \leq 4000$	-42250	0.0613	31.298	5.594	0.818	16
600	$1400 \leq \ell \leq 2000$	13875	0.0463	100.346	10.017	0.932	16
	$2000 < \ell \leq 3200$	- 1226	0.0511	148.749	12.196	0.930	24
	$3200 < \ell \leq 4000$	-28500	0.0581	19.081	4.368	0.739	16

r : 相関係数 F_0 : 分散比

n : データの数 t : 検定値

(a-3) 歩道幅員一定の場合の桁高と支間の回帰分析

$$y = a + bx \quad (y: H, \quad x: \ell)$$

歩道幅員 cm	支間 ℓ (cm)	項目 記号	回 帰 係 数					
			a	b	F_0	t	r	n
200	$1400 \leq \ell \leq 2000$		13200	0.0465	107.664	10.376	0.921	20
	$2000 < \ell \leq 3200$		-12647	0.0559	4674.28	21620	0.970	30
	$3200 < \ell \leq 4000$		-43700	0.0635	57.535	7.585	0.865	20
150	$1400 \leq \ell \leq 2000$		12500	0.0475	157.719	12559	0.944	20
	$2000 < \ell \leq 3200$		-11552	0.0551	670.948	25.903	0.979	30
	$3200 < \ell \leq 4000$		-55700	0.0660	826.22	90.90	0.901	20
75	$1400 \leq \ell \leq 2000$		9900	0.0480	137.781	117.38	0.937	20
	$2000 < \ell \leq 3200$		-8790	0.0544	360.392	18.981	0.962	30
	$3200 < \ell \leq 4000$		-44600	0.0630	378.80	61.54	0.812	20
0	$1400 \leq \ell \leq 2000$		14250	0.0454	136.563	116.86	0.925	24
	$2000 < \ell \leq 3200$		3953	0.0487	371.382	19271	0.956	36
	$3200 < \ell \leq 4000$		-34166	0.058	472.81	68.76	0.817	24

r : 相 関 係 数

n : データの数

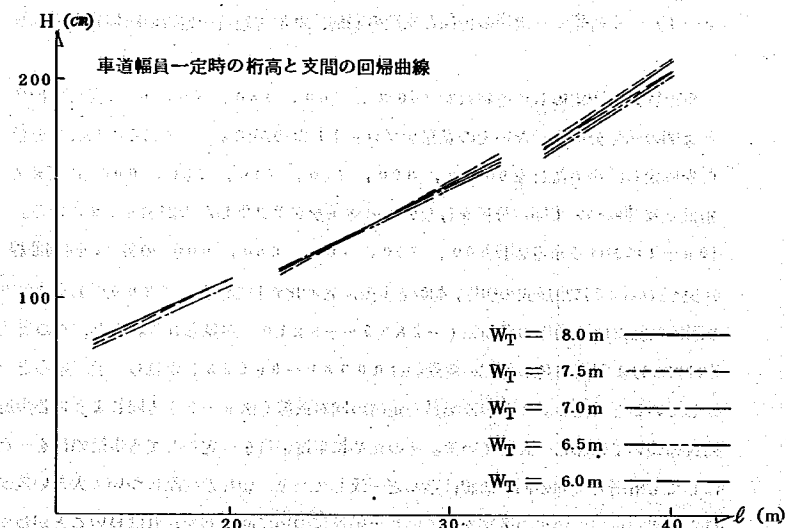


図 a-1

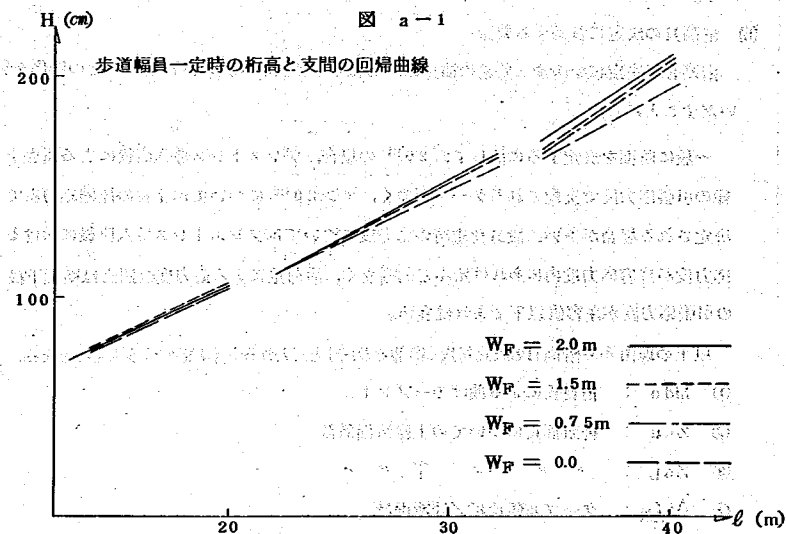


図 a-2

(a-4) 車道幅員一定時の桁高と支間の回帰式と歩道幅員一定時の回帰式との比較

車道幅員を一定にし歩道幅員を250 cm, 200, 150, 75, 0 に変えて桁高と支間の回帰分析を行ないその結果をプロットしたのが図 a-1 である。また、歩道幅員を固定し、車道幅員を900 cm, 800, 750, 700, 650, 600 に変えて桁高と支間について回帰分析を行ないその結果をグラフ化したのが図 a-2 になる。図 a-1 における車道幅員800, 750, 700, 650, 600 の各々の回帰曲線から見られるように回帰式の切片、勾配とも殆んど変化が見られず、 $3200 < L \leq 4000$ の回帰曲線だけに切片の変動幅(-2850~-5210)が見られる。また、この支間分けにおける回帰曲線の勾配の変動幅は0.0581~0.0655しか見られず、殆んど一致していると言える。また歩道幅員一定時の回帰曲線(図 a-2)も同じように各歩道幅員について殆んど一致している。そのために車道幅員を一定にしても歩道幅員を一定にしても桁高と支間の回帰曲線は殆んど一致しており、切片と勾配について大きい差が見られず幅員についての区別をしないで全幅員について回帰式を作れば良いことがわかる。

(b) 桁高Hの決定に参画する要素

桁高Hの決定に参画する要素の抽出は、現在の累積設計々算の流れ図からその関係を見いだすことにした。

一般に断面を決定するに際し $\ell \leq 20\text{m}$ の場合、プレストレス導入直後による断面上縁の引張応力度で支配されるケースが多く、 $\ell > 20\text{m}$ については下縁の圧縮応力度で決定される場合が多い。設計荷重時の応力度についてはプレストレス導入直後における応力度が許容応力度内にあれば殆んど問題なく、活荷重による応力度の照査は断面下縁の引張応力度が許容値以下であれば良い。

以上の理由から桁高Hの決定に強く影響を及ぼすと思われる要素は次のようなものとなる。

- ① M_{do} : 桁自重による曲げモーメント
- ② Z_{nu} : 純断面積についての上縁断面係数
- ③ Z_{nL} : " " " " 下 " "
- ④ $A_{c/AN}$: ケーブル断面積/純断面積
- ⑤ N_{PC} : 主ケーブル本数
- ⑥ M_{ℓ} : 活荷重による曲げモーメント

⑦ Z_{cu} : 場所打ち換算断面についての上縁断面係数

⑧ Z_{cL} : " " " " " 下 " " "

(c) 桁高 H の回帰式の提案

応力度を求める式は

$$\sigma = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (c-1)$$

で表現できるので $Z=M/\sigma$ より H に関する回帰式を次のように想定することができ

(i) 提案式(i)

$M_{do} = f(\ell, \ell_2, \ell_\ell, y_1, H) \dots\dots$ 死荷重による曲げモーメント

$Z = f(H) \dots\dots$ 断面定数

$M_\ell = f(\ell, W, N) \dots\dots$ 活荷重による曲げモーメント

ただし ℓ : 支間長 H : 桁高 NPC : 主ケーブル本数

ℓ_2 : 拡幅長 W : 幅員 y_1 : 横桁の厚さ

ℓ_ℓ : 端部横桁間隔 N : 主桁本数

M_{do}, M_ℓ を独立変数にし, H を M_{do}, M_ℓ の従属変数にすれば H の回帰式は $M_{do},$

M_ℓ, NPC の1次結合で表わすと

$$H = A + B \cdot M_{do} + C \cdot M_\ell + D \cdot NPC \dots\dots\dots (c-2)$$

ここで $M_{do} = a + b \cdot H \cdot \ell^2 + c \cdot H \cdot \ell_2^2 + d \cdot H \cdot y_1 \cdot \ell + f \cdot H \cdot y_1 \cdot \ell_\ell \dots (c-3)$

$$M_\ell = g + h \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + i \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 \dots\dots\dots (c-4)$$

(c-3), (c-4) を (c-2) に代入すると

$$H \cdot (1 - B \cdot b \cdot \ell^2 - B \cdot c \cdot \ell_2^2 - B \cdot d \cdot y_1 \cdot \ell - B \cdot f \cdot y_1 \cdot \ell_\ell) =$$

$$\{ (A + B \cdot a + C \cdot g) + C \cdot h \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + C \cdot i \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 + D \cdot NPC \}$$

$$H = \frac{j + k \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + m \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 + D \cdot NPC}{1 - p \cdot \ell^2 - q \cdot \ell_2^2 - u \cdot y_1 \cdot \ell - v \cdot y_1 \cdot \ell_\ell} \dots\dots\dots (c-5)$$

$$\text{ただし } j = A + B \cdot a + C \cdot g$$

$$k = C \cdot h$$

$$m = C \cdot i$$

$$p = B \cdot b$$

$$q = B \cdot c$$

$$u = B \cdot d$$

$$i = B \cdot f$$

とした。

式(c-5)の回帰式を作る場合、まず(c-2)式の H , Md_o , Ml , NPC を入力して回帰分析を行ない回帰係数 A , B , C , D を決めなければならない。第2ステップとして(c-3)式の Md_o , H , ℓ^2 , ℓ_2^2 , y_t , ℓ_ℓ を与え、回帰係数 a , b , c , d , f を決めなければならない。第3ステップとして(c-4)式の g , h , i の回帰係数を決め(c-5)式の j , k , m , p , q , u , i を求めて H の回帰式を作る。この場合 j , k , m …の決定は回帰係数の積または積和の形になるため誤差の累積等が考えられ、また(c-5)式の形のものもやや複雑な感じがする。したがって(c-3)の右辺の H の含んだ項は主桁支点総面積 A から中央断面積 A を引いた $(A-A')$ を H の函数に置いて、 $(A-A')$ による影響を回帰式の回帰係数でカバーさせるように、次の提案式に改めると都合がよい。

(四) 提案式(Ⅲ) $H = f(\ell, \ell_2, \ell_\ell, y_t)$

$$(c-2) \quad Md_o = f(\ell, \ell_2, \ell_\ell, y_t)$$

$$(c-3) \quad Z = f(H)$$

$$Ml = f(\ell, W, N)$$

$$H = A + B \cdot Md_o + C \cdot Ml + D \cdot NPC \quad (c-6)$$

$$\text{ただし } Md_o = a + b \cdot \ell^2 + c \cdot \ell_2^2 + d \cdot y_t \cdot \ell + f \cdot y_t \cdot \ell_\ell \quad (c-7)$$

$$Ml = g + h \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + i \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 \quad (c-8)$$

式(c-7), (c-8)を(c-6)に代入すると

$$H = (A + B \cdot a + C \cdot g) + B \cdot b \cdot \ell^2 + B \cdot c \cdot \ell_2^2 + B \cdot d \cdot y_t \cdot \ell + B \cdot f \cdot y_t \cdot \ell_\ell + C \cdot h \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + C \cdot i \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 + D \cdot NPC$$

$$\text{又は } H = j + k \cdot \ell^2 + m \cdot \ell_2^2 + n \cdot y_1 \cdot \ell + p \cdot y_1 \cdot \ell_2 + q \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell + r \cdot \frac{W}{N} \cdot \ell^2 \\ + D \cdot \text{NPC} \quad \dots\dots\dots (c-9)$$

ただし

$$j = A + B \cdot a + C \cdot g$$

$$k = B \cdot b$$

$$m = B \cdot c$$

$$n = B \cdot d$$

$$p = B \cdot f$$

$$q = C \cdot h$$

$$r = C \cdot i$$

なお

(C-9) の析高 H を決めるには $\ell, \ell_2, y_1, \ell_2, W, N, \text{NPC}$ を与えなければならぬ。

したがって (C-9) の係数 j, k, m, n, p, q, r, D を決めるには、式 (C-9) について回帰分析を行えば直接に定まるので、提案式 (i) のように分数の形で現われない、また式としても右辺の各項の和の形で表現できる。

以上述べた理由から式 (C-9) について次に示す支間分けの重回帰分析を行なうこととした。

$$(A) \quad 1400 \leq L \leq 2000$$

$$(B) \quad 2000 < L \leq 3200$$

$$(C) \quad 3200 < L \leq 4000$$

(d) 提案式における回帰分析

(d-1) 回帰分析の基本概念

回帰分析に用いる諸式を以下にのべる。

(i) 偏回帰係数 (Partial regression coefficient) の決定

n 個の変数が p 個のデータを持つとすれば重回帰モデルは次の式に書ける。

$$y_k = a_0 + a_1 \cdot x_{k1} + a_2 \cdot x_{k2} + \dots + a_n \cdot x_{kn} \quad (k=1, 2, \dots, p)$$

$\dots\dots\dots (i-1)$

上の式の残差を最小にするよう最小二乗法の原理にもとづき、 $a_0, a_1, \dots, a_n$ について偏微分しその値をゼロに置けば次の正規方程式が得られる。すなわち

$$S(r) = \sum_{k=1}^p \{y_k - (a_0 + a_1 \cdot x_{k1} + a_2 \cdot x_{k2} + \dots + a_n \cdot x_{kn})\}^2 \dots (1-2)$$

また

$$\frac{\partial S(r)}{\partial a_0}, \frac{\partial S(r)}{\partial a_1}, \frac{\partial S(r)}{\partial a_2}, \dots, \frac{\partial S(r)}{\partial a_n} = 0 \text{ に置きその正規方程式}$$

を行列の形で表わすと次のようになる。

$$\begin{vmatrix} P & \Sigma x_{k1} & \Sigma x_{k2} & \dots & \Sigma x_{kn} \\ \Sigma x_{k1} & \Sigma x_{k1}^2 & \Sigma x_{k1} \cdot x_{k2} & \dots & \Sigma x_{k1} \cdot x_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Sigma x_{kn} & \Sigma x_{kn} \cdot x_{k1} & \Sigma x_{kn} \cdot x_{k2} & \dots & \Sigma x_{kn}^2 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Sigma y_k \\ \Sigma x_{k1} \cdot y_k \\ \vdots \\ \Sigma x_{kn} \cdot y_k \end{vmatrix} \dots (1-3)$$

式(1-3)の第一行を自由度 p で割ると、

$$a_0 = \bar{y} - (a_1 \cdot \bar{x}_1 + a_2 \cdot \bar{x}_2 + \dots + a_n \cdot \bar{x}_n) \dots (1-4)$$

(1-4)を(1-3)の第二行以下の行に代入し整理すると次のようになる。

$$\begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{12} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1n} & S_{2n} & \dots & S_{nn} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{1y} \\ S_{2y} \\ \vdots \\ S_{ny} \end{vmatrix} \dots (1-5)$$

$$\text{ただし } S_{11} = \sum_{k=1}^p x_{k1}^2 - p \cdot \bar{x}_1^2$$

$$S_{12} = \sum_{k=1}^p x_{k1} \cdot x_{k2} - p \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$$

$\vdots$

$$S_{1y} = \sum_{k=1}^p x_{k1} \cdot y_k - p \cdot \bar{x}_1 \cdot \bar{y}$$

$$S_{2y} = \sum_{k=1}^p x_{k2} \cdot y_k - p \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{y}$$

$\vdots$

$$S_{yy} = \sum_{k=1}^p y_k^2 - p \cdot \bar{y}^2$$

式(Ⅰ-5)の未知数 $a_1, a_2, \dots, a_n$ を求めるには、(Ⅰ-5)の係数行列 $[S]$ の逆行列を求め S_{ij} ベクトルを掛ければ偏回帰係数が定まる。

(Ⅱ) 標準偏回帰係数 (standard regression coefficient) と偏回帰係数の関係

標準偏回帰係数とは、回帰係数の大きさが測定単位によって左右されないよう各変数の平均ゼロ、分散1になるよう基準化した偏回帰係数のことを言う。

基準化された変数を

$$y' = \frac{y - \bar{y}}{Q_y}, \quad x'_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{Q_i} \quad \dots\dots\dots (Ⅱ-1)$$

ただし、

$$Q_y = \sqrt{\frac{S_{yy}}{(p-1)}}, \quad Q_i = \sqrt{\frac{S_{ii}}{(p-1)}} \quad \dots\dots\dots (Ⅱ-2)$$

基準化された回帰式を次のように表わすと

$$y' = a'_1 \cdot x'_1 + a'_2 \cdot x'_2 + \dots\dots\dots + a'_n \cdot x'_n \quad \dots\dots\dots (Ⅱ-3)$$

ただし、 a'_i は標準偏回帰係数を表わす。

又(Ⅰ-1)と(Ⅰ-4)より

$$y_k = \bar{y} + a_1(x_{k1} - \bar{x}_1) + a_2(x_{k2} - \bar{x}_2) + \dots\dots\dots + a_n(x_{kn} - \bar{x}_n)$$

式(Ⅱ-1)の関係を用いて

$$y' Q_y = a_1 \cdot x'_1 \cdot Q_1 + a_2 \cdot x'_2 \cdot Q_2 + \dots\dots\dots + a_n \cdot x'_n \cdot Q_n \quad \dots\dots\dots (Ⅱ-4)$$

(Ⅱ-4)と(Ⅱ-3)式を比較すれば偏回帰係数と標準偏回帰係数間に次の関係が存在する。

$$a'_i = a_i \cdot \frac{Q_i}{Q_y} = a_i \cdot \sqrt{\frac{S_{ii}}{S_{yy}}} \quad \dots\dots\dots (Ⅱ-5)$$

式(Ⅰ-1)の重回帰式は基準化されていないため右辺第二項には a_0 の係数項が存在するが、変数を基準化して回帰式を求めると(Ⅱ-3)式右辺には式(Ⅰ-1)の右辺第一項 a_0 のような係数項が存在しないことが分る。

(iii) 分散分析と重相関係数 (multiple correlation coefficient) の関係

観測値 y_k ($k=1, 2, \dots, p$) の全変動 (偏差平方和) S_{yy} は、変数 $x_1, x_2, \dots$ に対する回帰による変動と回帰からの残差の変動の2つの部分に分けて考えることができる。

$$S_{yy} = \sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})^2 \quad \text{..... (iii-1)}$$

$$= \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k + Y_k - \bar{Y})^2 \quad (\bar{y} = \bar{Y} = a_0 + a_1 \cdot \bar{x}_1 + a_2 \cdot \bar{x}_2 + \dots)$$

$$= \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k)^2 + \sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2 + 2 \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k)(Y_k - \bar{Y})$$

$$\underbrace{\quad}_{=S_e} \quad \underbrace{\quad}_{=S_R} \quad \underbrace{\quad}_{=0}$$

全体に対する変動	$S_{yy} = \sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})^2$	自由度 $p-1$	分散
----------	---	-----------	----

回帰による変動	$S_R = \sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2$	自由度 n	分散 $V_R = \frac{S_R}{n}$
	$= a_1 S_{1y} + a_2 S_{2y} + \dots + a_n S_{ny}$		

回帰の残差による変動	$S_e = \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k)^2$	自由度 $p-n-1$	分散 $V_e = \frac{S_e}{(p-n-1)}$
	$= S_{yy} - a_1 \cdot S_{1y} - a_2 \cdot S_{2y} \dots$		

分散比 $F_0 = V_R / V_e$ (iii-2)

(p : データの個数, n : 変数の数)

式 (iii-2) から見られるように分散分析に用いる分散比は、回帰による変動と回帰の残差による変動の函数で表わすことができる。

また、 t の値は次式で求められる

$$t = \frac{a_i}{\sqrt{S_{ii} V_e}}$$

a_i : 回帰係数

V_e : 回帰の残差による分散

S_{ii} : 偏差平方和、積和行列の逆行列の対角要素。

したがって、分散比 F_0 と t の値によって検定する

$F_0 \geq t$ 有意

$F_0 < t$ 有意といえない

実測値 y_k とその回帰推定値 Y_k ($k=1, 2, \dots, p$) との相関係数を重相関係数と呼び、重相関係数 R は次式で表わされる。

$$R = \frac{\sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})(Y_k - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})^2 \sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2}} \quad \text{..... (III-3)}$$

ただし (III-3) 式の分子は次式である。

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})(Y_k - \bar{Y}) &= \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k + Y_k - \bar{Y})(Y_k - \bar{Y}) \\ &= \sum_{k=1}^p (y_k - Y_k)(Y_k - \bar{Y}) + \sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2 \\ &= \sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2 \quad \text{..... (III-4)} \end{aligned}$$

また R^2 (寄与率: coefficient of determination) と F_0 (分散比) は次のように表わされる。

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^p (Y_k - \bar{Y})^2}{\sum_{k=1}^p (y_k - \bar{y})^2} = \frac{S_R}{S_{yy}} = \frac{S_{yy} - S_e}{S_{yy}} = 1 - \frac{S_e}{S_{yy}} \quad \text{..... (III-5)}$$

$$F_0 = \frac{V_R}{V_e} = \frac{\frac{S_R}{n}}{\frac{S_e}{(p-n-1)}} = \frac{\frac{R^2}{n}}{\frac{(1-R^2)}{(p-n-1)}} \quad \text{..... (III-6)}$$

式 (III-5) に示されるように重相関係数 R は観測値の全変動、回帰による変動と回帰の残差による変動等の函数で表わすことができる。また分散分析に用いる分散比も重相関係数の函数で表わすことができる。

(IV) 偏差平方和・積和行列と相関行列

偏差平方和・積和行列と相関行列間の関係を次に示す。式 (I-5) の係数行列は偏差平方和・積和の行列を表わし

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{12} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1n} & S_{2n} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (IV-1)$$

相関行列は (IV-1) の行列から次の式によって求められる。

$$r_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{S_{11}} \sqrt{S_{jj}}} \quad (IV-2)$$

ただし (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)

また相関行列は次の式によって求められる。

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (IV-3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし } r_{12} &= \frac{S_{12}}{\sqrt{S_{11}} \sqrt{S_{22}}} \\ r_{1n} &= \frac{S_{1n}}{\sqrt{S_{11}} \sqrt{S_{nn}}} \end{aligned} \right\} \text{を表わす。}$$

式 (IV-3) の相関行列の各要素は式 (IV-2) より偏差平方和・積和の行列の各要素から求めることができる。

(Ⅳ) 偏相関係数 (Partial correlation coefficient)

(i)で求められた重回帰式の偏回帰係数は i 番目の変数 x_i 以外の変数を一定にした際 x_i と y の単回帰係数に一致する。式 (Ⅰ-1) と (Ⅰ-4) を用いて重回帰式を書き直すと

$$y_k = \bar{y} + a_1(x_{k1} - \bar{x}_1) + a_2(x_{k2} - \bar{x}_2) + \cdots + a_n(x_{kn} - \bar{x}_n) \cdots (V-1)$$

になる。他方 y と x_1 のそれぞれに対し ($x_2, x_3, \cdots, x_n$) に関する重回帰式を求めその回帰推定値の残差を, S_k, S_{k1} で表わすと

$$S_k = y_k - \{ \bar{y} + c_2(x_{k2} - \bar{x}_2) + c_3(x_{k3} - \bar{x}_3) + \cdots + c_n(x_{kn} - \bar{x}_n) \} \cdots (V-2)$$

$$S_{k1} = x_{k1} - \{ \bar{x}_1 + d_2(x_{k2} - \bar{x}_2) + d_3(x_{k3} - \bar{x}_3) + \cdots + d_n(x_{kn} - \bar{x}_n) \} \cdots (V-3)$$

が得られる。

式 (V-2) の y の残差 S_k に関する単回帰係数を求めると (V-1) の偏回帰係数は a_1 になる。

説明のため x_1 以外の変数を一定にした時の y と x_1 の偏相関係数は (Ⅳ) の相関行列の場合と同様

$$r_{y1} = \frac{\sum_{k=1}^p S_k \cdot S_{k1}}{\sqrt{\sum_{k=1}^p S_k^2 \sum_{k=1}^p S_{k1}^2}} \cdots (V-4)$$

から求められる。

x_1 以外の場合は x_1 のかわりに $x_2, x_3, \cdots$ を上述 (V-2), (V-3) より $S_k, S_{k2}, S_{k3}, \cdots$ について式 (V-4) を求めればよい。

以上述べたように式 (V-4) によって式 (V-1) の各変数 $x_2, x_3, x_4, \cdots$ に関する偏相関係数は求められ, x_1 以外の変数と無相関で y と x_1 の相関々係を見出すことができる。

(d-2) 桁高Hの提案式における回帰分析の結果

① $1400 \leq L \leq 2000$ 時の重回帰係数

$$H = a + bL^2 + c \cdot y_t \cdot L + d \cdot y_t \cdot L_g + e \cdot \frac{W}{N} \cdot L + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + g \cdot NPC$$

$$H = 4.42648 + 0.269989 \times 10^{-4} \cdot L^2 + 0.941328 \times 10^{-3} \cdot y_t \cdot L - 0.189509 \times 10^{-2} \cdot y_t \cdot L_g + 0.539715 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{N} \cdot L - 0.217901 \times 10^{-6} \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.387447 \times 10^{-1} \cdot NPC$$

表 d-2.1

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の値	F_0 の値	n
1	L^2	4.42648	0.971	0.294×10^7	0.765673×10^6	0.927	0.269989×10^{-4}	5.659	236.093	88
2	$y_t \cdot L$			0.556477×10^5	0.547754×10^5	-0.003	0.941328×10^{-3}	1.871		
3	$y_t \cdot L_g$			0.277955×10^5	0.273947×10^5	-0.004	-0.189509×10^{-2}	-1.884		
4	$\frac{W}{N} \cdot L$			0.26545×10^6	0.402103×10^5	0.931	0.539715×10^{-3}	5.200		
5	$\frac{W}{N} \cdot L^2$			0.459071×10^9	0.124491×10^9	0.957	-0.217901×10^{-6}	-3.745		
6	NPC			0.889773×10^1	0.87151	0.814	-0.387447×10^{-1}	-4.578		
7	H			0.922727×10^2	0.113438×10^2		0.442648×10^1			
8										

H : 桁高 (cm)

N : 主桁本数

L : 支間長 (cm)

NPC : 主ケーブル本数

y_t : 横桁のウェブ厚 (cm)

L_g : 端部横桁間隔 (cm)

W : 総幅員 (cm)

② 2000 < L ≤ 3200 時の重回帰係数

$$H = a + b L^2 + c L_2^2 + d y_t \cdot L + e y_t \cdot L_2 + f \frac{W}{N} \cdot L + g \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

$$H = -0.976563 \times 10^{-2} - 0.170672 \times 10^{-4} \cdot L^2 + 0.396137 \times 10^{-3} \cdot L_2^2 + 0.64771 \times 10^{-3} \cdot y_t \cdot L \\ + 0.578311 \times 10^{-2} \cdot y_t \cdot L_2 - 0.307137 \times 10^{-3} \cdot \frac{W}{N} \cdot L + 0.153489 \times 10^{-6} \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.325327 \times 10 \cdot NPC$$

表 d-2.2

項目	係数	切片	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	回帰係数	tの値	F ₀ の値	n
1	L ²			0.739907 × 10 ⁷	0.185887 × 10 ⁷	0.965	-0.170672 × 10 ⁴	-2.974		
2	L ₂ ²			0.1750 × 10 ⁶	0.336686 × 10 ⁵	0.624	0.396137 × 10 ³	3.150		
3	y _t · L			0.674621 × 10 ⁵	0.859373 × 10 ⁴	0.965	0.647710 × 10 ³	0.581		
4	y _t · L ₂	-0.976563 × 10 ⁻²	0.989	0.214583 × 10 ⁵	0.223715 × 10 ⁴	0.521	0.578311 × 10 ⁻²	-3.478	803.123	132
5	$\frac{W}{N} \cdot L$			0.47747 × 10 ⁶	0.691566 × 10 ⁵	0.931	-0.307137 × 10 ³	-4.439		
6	$\frac{W}{N} \cdot L^2$			0.130917 × 10 ¹⁰	0.341604 × 10 ⁹	0.979	0.153489 × 10 ⁻⁶	6.399		
7	NPC			0.860606 × 10 ¹	0.994312	0.892	-0.325327 × 10 ¹	-3.826		
8	H			0.137121 × 10 ³	0.189023 × 10 ²		-0.976563 × 10 ⁻²			

H : 桁高

y_t : 横桁のウェブ厚

L : 支間長

W : 総幅員

L₂ : 拡幅長

N : 主桁本数

L₂ : 端部横桁間隔

NPC : 主ケーブル本数

③ 3200 < L ≤ 4000 時の重回帰係数

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_t \cdot L + e \cdot y_t \cdot L_g + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

$$H = -617.807 - 0.486016 \times 10^{-4} \cdot L^2 - 0.742724 \times 10^{-4} \cdot L_2^2 + 0.161989 \times 10^{-1} \cdot y_t \cdot L - 0.127121 \times 10^{-2} \cdot y_t \cdot L_g \\ + 0.590016 \times 10^{-4} \cdot \frac{W}{N} \cdot L + 0.381385 \times 10^{-7} \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.851115 \times 10^{-1} \cdot NPC$$

表 d-2.3

項目	係数	切片	重相関係数	平均値	標準偏差	相関係数	重回帰係数	t の値	F ₀ の値	n
1	L ²	-617.807	0.950	0.1374 × 10 ⁸	0.166466 × 10 ⁷	0.841	-0.486016 × 10 ⁻⁴	-1.378	116.831	88
2	L ₂ ²			0.3325 × 10 ⁶	0.479042 × 10 ⁵	0.587	-0.742724 × 10 ⁻⁴	-1.585		
3	y _t · L			0.925 × 10 ⁵	0.56222 × 10 ⁴	0.839	0.161989 × 10 ⁻¹	0.630		
4	y _t · L _g			0.23125 × 10 ⁵	0.140555 × 10 ⁴	0.839	-0.127121 × 10 ⁻²	-0.014		
5	$\frac{W}{N} \cdot L$			0.654685 × 10 ⁶	0.600622 × 10 ⁵	0.914	0.590016 × 10 ⁻⁴	0.282		
6	$\frac{W}{N} \cdot L^2$			0.243117 × 10 ⁰	0.339076 × 10 ⁻⁹	0.967	0.381385 × 10 ⁻⁷	0.680		
7	NPC			0.120909 × 10 ²	0.782511	0.801	-0.851115 × 10 ⁻¹	-3.628		
8	H			0.187159 × 10 ³	0.167434 × 10 ²		-0.617807 × 10 ³			

H : 桁 高

y_t : 横桁のウェブ厚

L : 支 間 長

W : 総 幅 員

L₂ : 拡 幅 長

N : 主桁本数

L_g : 端部横桁間隔

NPC : 主ケーブル本数

(e) 回帰分析の結果における考察

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC \dots \dots \dots (e-1)$$

① $1400 \leq L \leq 2000$ の重回帰分析を行うに式(e-1)の右辺第3項 L_2^2 (拡幅長の影響)を導入すると積和の係数行列における行と列がゼロになり、逆行列が求まらない。すなわち $1400 \leq L \leq 2000$ におけるすべての支間長に対し $L_2 = 300 \text{ cm}$ の一定値を示し、 L_2^2 の平均値も L_2^2 と同一値になるために残差積和・平方和の係数行列の行と列がゼロになり、解が求まらない。そのため L_2^2 の項を式からはずし、残ったその他の項について回帰分析を行なった。表d-2.1の回帰係数表から見られるように式の右辺の $y_1 \cdot L$ 項と $y_1 \cdot L_2$ 項に対応する相関係数はそれぞれ -0.003 と -0.004 になっていて桁高Hとの関係の薄いことが分る。すなわち $L \leq 2000$ におけるすべての桁高に対し中間横桁本数は1本だけで変動がないため桁高との関係は極めて薄いと言える。

② $2000 < L \leq 3200$ に対し L_2^2 と $y_1 \cdot L_2$ に対応する相関係数は 0.624 と 0.521 の値になっており、その他の項の相関係数と比較して見ると相関の薄いことが分る。ただし①の $y_1 \cdot L_2$ のHに対する相関係数 -0.004 と比べれば大きくなっている。

その理由としては $L \leq 2000$ の場合中間横桁本数が1本だけに対し $2000 < L \leq 3200$ では1本から2本に変る場合が出て来る。

拡幅長 L_2^2 の項と桁高Hの相関係数は 0.624 になっており L_2 の変動は 400 cm から 500 cm に変るケースが現われたため多少関係がある。ただし他の項と比べればそれほど強い関係にあるとは言えない。

③ $3200 < L \leq 4000$ の回帰分析においてこの区間内の桁高Hは支間との関係よりむしろ中間横桁本数と $\frac{W}{N} \cdot L$, $\frac{W}{N} \cdot L^2$ 間に強い関係があることが分る。すなわち支間が長くなると横桁と活荷重によるモーメントが桁高Hに強く影響を与える意味を表わす。

①～③迄の重回帰分析の結果各ケースの夫々の相関係数を総合的に観察すると $y_1 \cdot L$ と $y_1 \cdot L_2$, L_2^2 の項に対応する相関係数の変動が著しい。

重相関係数の値は支間分けの順に対し 0.971 , 0.989 , 0.950 のように移り変っているがいずれも 95% 以上の相関を持っている、特に支間分け $2000 < L \leq 3200$ に対し 0.989 の高い重相関係数が得られている。

(f) 提案式における主成分々析

提案式Hの右辺における各因子がある程度の相関を持つ場合、右辺の各因子はHと直交関係にあるが、因子間で直交関係になっているとは限らない。言いかえると重回帰式が成立するに必要な条件は重回帰式の右辺における各因子が完全に独立であってから始めて成り立つものである。仮に各因子間に従属性があるとしても、それらの因子を分解して独立させ、それによる影響を物理的に調べ直してなるべく相関の強い少ない因子の数で最大の情報が得られるよう因子のグループを見つければよい。そのために今回の提案式についても新しい直交軸に關しどの因子をグループにしてグループ分けを行なえば良いかを調べるために次の支間分けにおいて主成分々析を行なった。

重回帰式は次式を用いることにする。

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

中にある支間分け

$$(A) \quad 1400 \leq L \leq 2000$$

$$(B) \quad 2000 < L \leq 3200$$

$$(C) \quad 3200 < L \leq 4000$$

(f-1) 主成分々析 (Principal Component Analysis) の基本概念

主成分々析とは互いに相関のある多種類の特性値をもつ情報を互いに無相関な少数

個の総合特性値に要約することを言う。数式で表現すれば n 個の特性値 $x_1, x_2, \dots$

x_n のもつ情報を以下に示す 2 つの条件を満足する m 個 ($m \leq n$) の総合特性 $Z_1,$

$Z_2, \dots, Z_m$ に要約する手法である。

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ \vdots \\ Z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & \dots & l_{1n} \\ l_{21} & l_{22} & \dots & l_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{m1} & l_{m2} & \dots & l_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots (f-1.1)$$

ただし次の 2 つの条件を満足するものとする。

$$\sum_{i=1}^n l_{ij}^2 = 1 \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad \dots \dots \dots (f-1.2)$$

$$\sum_{i=1}^n \ell_{ij} \cdot \ell_{ki} = 0 \quad (j, k: 1, 2, \dots, m, j \neq k) \dots \dots (f-1.3)$$

上の式から次のような性質をもつ事が言える。

- (A) Z_k と Z_j ($k, j = 1, 2, \dots, m, k \neq j$) の相関はすべてゼロである。
 (B) Z_i の分散は $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$ と無相関な $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 一次式のもつ分散のなかで最大である。
 (C) 幾何学的に云えば n 次元空間の p 個の点が情報のもれを最小にして m 次元の超平面に射影することを表わす。

以上の概念を分りやすく二変数の持つ場合についてのべる。

データの番号	x_1	x_2
1	x_{11}	x_{12}
2	x_{21}	x_{22}
3	x_{31}	x_{32}
...		
p	x_{p1}	x_{p2}
Σ	T_1	T_2
平均	$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$
平方和	S_{11}	S_{22}
積和	S_{12}	

$$T_1 = \sum_{k=1}^p x_{k1}, \quad T_2 = \sum_{k=1}^p x_{k2}$$

$$\text{平均: } \bar{x}_1 = T_1/p, \quad \bar{x}_2 = T_2/p$$

$$\text{平方和: } S_{11} = \sum_{k=1}^p (x_{k1} - \bar{x}_1)^2$$

$$= \sum_{k=1}^p x_{k1}^2 - \frac{T_1^2}{p}$$

$$S_{22} = \sum_{k=1}^p (x_{k2} - \bar{x}_2)^2$$

$$= \sum_{k=1}^p x_{k2}^2 - \frac{T_2^2}{p}$$

$$\text{積和: } S_{12} = \sum_{k=1}^p (x_{k1} - \bar{x}_1)(x_{k2} - \bar{x}_2)$$

$$= \sum_{k=1}^p x_{k1} \cdot x_{k2} - T_1 \cdot T_2 / p$$

$$\text{分散: } V_{11} = S_{11}/(p-1)$$

$$V_{22} = S_{22}/(p-1)$$

$$\text{共分散: } V_{12} = S_{12} / (p-1)$$

$$\text{相関係数: } r = S_{12} / \sqrt{S_{11} \cdot S_{22}}$$

$$= V_{12} / \sqrt{V_{11} \cdot V_{22}}$$

上記で得られた式を行列の形で表示すると次のようになる。

$$S = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{12} & S_{22} \end{vmatrix} \dots\dots (f-1.4)$$

$$V = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{12} & V_{22} \end{vmatrix} \dots\dots (f-1.5)$$

$$R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{vmatrix} \dots\dots (f-1.6)$$

(i) 第1主成分 Z_1

仮に第一主成分が $Z_1 = \ell_1 \cdot x_{k1} + \ell_2 \cdot x_{k2}$ の形で表現でき、かつ $\ell_1^2 + \ell_2^2 = 1$ の条件に満足するならば式 (f-1.6) と式 (f-1.5) の対応性より次の関係がえられる。

$$\frac{S_{11}}{(p-1)} = 1, \quad \frac{S_{22}}{(p-1)} = 1, \quad \frac{S_{12}}{(p-1)} = r_{12}$$

$$Z_1 = \ell_1 \cdot \bar{x}_1 + \ell_2 \cdot \bar{x}_2$$

主成分の分散

$$\begin{aligned}(p-1) V(Z_1) &= \sum_{k=1}^p (Z_{k1} - \bar{Z}_1)^2 \\ &= \sum_{k=1}^p \{ \ell_1 (x_{k1} - \bar{x}_1) + \ell_2 (x_{k2} - \bar{x}_2) \}^2 \\ &= \ell_1^2 \cdot S_{11} + \ell_2^2 \cdot S_{22} + 2 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2 \cdot S_{12} \dots\dots\dots (f-1.7)\end{aligned}$$

$$V(Z_1) = \ell_1^2 + \ell_2^2 + 2 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2 \cdot r_{12} \dots\dots\dots (f-1.8)$$

また $\ell_1^2 + \ell_2^2 = 1$ の条件のもとで (f-1.8) を最大にするには Lagrange の乗数法を用いて乗数 λ を導入すれば次のように書き直せる。

$$Q = \ell_1^2 + \ell_2^2 + 2 \cdot \ell_1 \cdot \ell_2 \cdot r_{12} - \lambda (\ell_1^2 + \ell_2^2 - 1) \dots\dots\dots (f-1.9)$$

式 (f-1.9) を ℓ_1 , ℓ_2 について偏微分すれば

$$\left. \begin{aligned}\frac{\partial Q}{\partial \ell_1} &= (1-\lambda) \ell_1 + r_{12} \cdot \ell_2 = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial \ell_2} &= \ell_{12} \cdot \ell_1 + (1-\lambda) \ell_2 = 0\end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (f-1.10)$$

が得られる。

それを行列式の形で表わすと

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & r_{12} \\ r_{12} & 1-\lambda \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \ell_1 \\ \ell_2 \end{vmatrix} = 0 \dots\dots\dots (f-1.11)$$

$\ell_1, \ell_2 = 0$ 以外の解を持つためには式 (f-1.11) の係数行列よりの determinant をゼロに置いて解く

$$\text{すなわち } \lambda^2 - 2\lambda + 1 - r_{12}^2 = 0$$

$$\text{または } (\lambda - 1 - r_{12})(\lambda - 1 + r_{12}) = 0$$

$$\lambda_1 = 1 + r_{12}, \quad \lambda_2 = 1 - r_{12}$$

$\lambda_1 = 1 + r_{12}$ ($r_{12} > 0$) の場合 式 (f-1.11) に代入し

$$\left. \begin{array}{l} -l_1 + l_2 = 0 \\ l_1 - l_2 = 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (f-1.12)$$

$l_1 = l_2$, $l_1^2 + l_2^2 = 1$ の式を満たす

$l_1 = l_2 = \pm 1.0 / \sqrt{2}$ を得る。

$\lambda_2 = 1 - r_{12}$ ($r_{12} < 0$) の場合

$$l_1 + l_2 = 0 \quad \therefore l_1 = -l_2$$

$$l_1^2 + l_2^2 = 1 \quad l_1 = -l_2 = \pm 1.0 / \sqrt{2} \text{ を得る。}$$

$\therefore$ 主成分の軸は $\tan \theta = l_2 / l_1 = 1$, または -1 になり

$\theta = \frac{\pi}{4} \sim \frac{3}{4}\pi$ の回転によって主成分 Z_1 , Z_2 の軸が得られる。

(ii) 第2主成分 Z_2 の主成分についても同じように導びくことができる。

以上は二変数についてのべたが、それを n 変数に拡張すれば次のようになる。

p 個のデータを持つ n 個の変数がある場合その積和、平方和行列は次のように表わせる

$$S = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{12} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1n} & S_{2n} & \dots & S_{nn} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (f-1.13)$$

分散、共分散行列は次のとおりである。

$$V = \begin{vmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1n} \\ V_{12} & V_{22} & \dots & V_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{1n} & V_{2n} & \dots & V_{nn} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (f-1.14)$$

相関行列は次のとおりである。

$$R = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad \dots \dots \dots (f-1.15)$$

i 番目の主成分に着目し p 個のデータを持つ n 個の変数について各データにおける i 番目の主成分ベクトルは

$$\{Z_{ki}\} = \left\{ \sum_{j=1}^p \ell_{ij} \cdot x_{kj} \right\} \dots \dots \dots (f-1.16)$$

(k=1, 2, \dots, p)

i 番目主成分の分散 $V(Z_i)$ は

$$\begin{aligned} V(Z_i) &= \sum_{k=1}^p (Z_{ki} - \bar{Z}_i)^2 / (p-1) \\ &= \sum_{k=1}^p \left\{ \sum_{j=1}^n \ell_{ij} (x_{kj} - \bar{x}_j) \right\}^2 / (p-1) \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n \ell_{ij} \ell_{ij'} r_{jj'} \dots \dots \dots (f-1.17) \end{aligned}$$

したがって、式 (f-1.2) を満足し、かつ (f-1.17) を最大にするに Lagrange の乗数を導入すれば次のようになる。

$$Q = \sum_{j=1}^n \sum_{j'=1}^n \ell_{ij} \ell_{ij'} r_{jj'} - \lambda \left(\sum_{j=1}^n \ell_{ij}^2 - 1 \right) \rightarrow \max. \dots \dots \dots (f-1.18)$$

式 (f-1.18) を ℓ_{ij} の $\frac{\partial Q}{\partial \ell_{ij}} = 0$ に置いて (j=1, 2, \dots, n) 書き直すと

$$\{[R] - \lambda [E]\} \{\ell_{ij}\} = 0 \quad ([E]: \text{単位行列})$$

$$\{\ell_{ij}\} \neq 0 \text{ のため } [R] - \lambda [E] = 0 \dots \dots \dots (f-1.19)$$

または

$$\begin{vmatrix} 1-\lambda & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{12} & 1-\lambda & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{1n} & r_{2n} & \cdots & 1-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad \text{になる } \lambda \text{ の根を求める。}$$

式 (f-1.19) の行列式を λ の多項式に展開すると

$$C_0 + C_1 \cdot \lambda + C_2 \cdot \lambda^2 + \cdots + C_n \cdot \lambda^n = 0 \quad \cdots \cdots \cdots (f-1.20)$$

式 (f-1.20) は n 個の λ の根があり

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq \cdots \geq \lambda_n$$

固有値 λ_m のうちのいずれかを式 (f-1.19) に代入し n 個の式ができるがそのうち少なくとも 1 つは独立でなくなる、それを除く代わりに (f-1.2) の条件式を用いて係数 $\{\ell_{ij}\}$ について解けば解は式 (f-1.19) の固有ベクトルになる。

ℓ_{ij} は式 (f-1.17) に満足し

$$V(Z_i) = \sum_{j=1}^n \ell_{ij} (\lambda_i \cdot \ell_{ij}) = \lambda_i \cdot \sum_{j=1}^n \ell_{ij}^2 = \lambda_i$$

それ故分散を最大にするに λ_i の最大固有値における最大固有ベクトル $\ell_{ij} \rightarrow \lambda_{\max}$ を用いれば良い。

$\lambda_{\max-1}$ における固有ベクトルについても同じように求めれば良い。上に述べた如く主成分は次のような性質を有する。

① $V(Z_i) = \lambda_i$ (主成分 Z_i の分散は固有値に等しい)

② x_i の分散は 1 であるから

$$\sum_{i=1}^n V(x_i) = n$$

③ 累積寄与率：主成分の分散の割合を表わす。

$$\sum_{m=1}^i \lambda_m / n$$

④ 各主成分は互に無相関である。

$$C_{ov}(Z_k, Z_{k'}) = \sum_{j=1}^p (Z_{jk})(Z_{jk'}) / (p-1)$$

$$= \sum_j \sum_j \ell_{kj} \cdot \ell_{k'j} \cdot r_{jj}$$

$$= \lambda_{k'} \cdot \sum_j \ell_{kj} \cdot \ell_{k'j} = 0 \quad (k \neq k')$$

⑤ 因子負荷量は主成分 Z_i と特性値 x_j との相関を表わす。

$$r(Z_i, x_j) = \frac{C_{ov}(Z_i, x_j)}{\sqrt{V(Z_i) \cdot V(x_j)}} = \frac{\sum_i \ell_{ki'} \cdot r_{ji'}}{\sqrt{\lambda_i \cdot 1}} = \sqrt{\lambda_i} \cdot \ell_{ij}$$

ただし $(i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n)$

⑥ 各変数 x_j の m 個の主成分 ($Z_1, Z_2, \dots, Z_m$) に対する重回帰式は次のようになる。

$$x_1 = \ell_{11} \cdot Z_1 + \ell_{21} \cdot Z_2 + \dots + \ell_{m1} \cdot Z_m$$

$$x_2 = \ell_{12} \cdot Z_1 + \ell_{22} \cdot Z_2 + \dots + \ell_{m2} \cdot Z_m$$

$$x_n = \ell_{1n} \cdot Z_1 + \ell_{2n} \cdot Z_2 + \dots + \ell_{mn} \cdot Z_m$$

- 27 -

0.111111	0.111111	0.111111	0.111111	0.111111	0.111111
0.222222	0.222222	0.222222	0.222222	0.222222	0.222222
0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333	0.333333
0.444444	0.444444	0.444444	0.444444	0.444444	0.444444
0.555555	0.555555	0.555555	0.555555	0.555555	0.555555
0.666666	0.666666	0.666666	0.666666	0.666666	0.666666
0.777777	0.777777	0.777777	0.777777	0.777777	0.777777
0.888888	0.888888	0.888888	0.888888	0.888888	0.888888
0.999999	0.999999	0.999999	0.999999	0.999999	0.999999

(f-2) 提案式の主成分分析の結果

主成分分析の手法を用いて次の回帰式について分析を行いその結果を以下に示す。

(i) 重回帰式の相関行列、固有値、固有ベクトル

(a) $1400 \leq L \leq 2000$ の場合

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot y_1 \cdot L + d \cdot y_1 \cdot L_{\theta} + e \cdot \frac{W}{N} \cdot L + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + g \cdot NPC$$

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

相 関 行 列 表 f-2.1

①	1.0					
②	-0.024	1.0				
③	-0.025	1.0	1.0			
④	0.872	0.075	0.074	1.0		
⑤	0.960	0.025	0.024	0.972	1.0	
⑥	0.904	0.042	0.042	0.825	0.883	1.0

固 有 値 λ_i 表 f-2.2

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
-0.0000037	0.0014578	0.0858459	0.197627	2.0016159	3.7134574

固有ベクトル 表 f-2.3

λ_1	0.0123481	-0.7068373	0.7069241	0.0113649	-0.0184155	-0.0042815
λ_2	0.3936728	0.0157717	-0.0193707	0.455291	-0.7977335	-0.0269848
λ_3	0.7412158	0.0375383	0.0319937	-0.4126146	0.1473771	-0.506158
λ_4	0.1978623	0.013498	0.0170058	-0.614057	-0.27704	0.7117322
λ_5	0.0637459	-0.7052642	-0.7053044	-0.0111857	0.0277941	0.0136743
λ_6	-0.5022504	-0.0338122	-0.0334052	-0.4951154	-0.5138462	-0.4861157

最大固有値に対応する固有ベクトル

$$H = -0.5022504 \cdot L^2 - 0.0338122 \cdot y_1 \cdot L - 0.0334052 \cdot y_1 \cdot L_{\theta} \\ - 0.4951154 \cdot \frac{W}{N} \cdot L - 0.5138462 \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.4861157 \cdot NPC$$

ただし $L^2 = (L^2 - \bar{L}^2) / \sqrt{V_L}$ ($\sqrt{V_L}$: L^2 の不偏分散)

(b) $2000 < L \leq 3200$ の場合

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

相 関 行 列 表 f-2.4

①	1.0						
②	0.686	1.0					
③	0.999	0.655	1.0				
④	0.492	-0.293	0.529	1.0			
⑤	0.878	0.576	0.879	0.465	1.0		
⑥	0.963	0.861	0.961	0.474	0.973	1.0	
⑦	0.911	0.629	0.914	0.456	0.907	0.932	1.0

固 有 値 表 f-2.5

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
-0.0003711	0.0013356	0.001549	0.0966209	0.1976721	1.2878915	5.4153025

固有ベクトル 表 f-2.6

λ_1	-0.6202967	-0.153288	0.617834	-0.1489689	-0.215489	0.3758888	0.0098546
λ_2	0.2004519	-0.1312194	-0.449087	-0.0688413	-0.4401652	0.7343175	0.00567041
λ_3	-0.4696772	0.6324854	-0.26377	0.5430279	-0.0433269	0.1077674	-0.0376924
λ_4	-0.1125014	-0.0291046	-0.0760927	-0.0080559	-0.35081	-0.2997255	0.8762064
λ_5	0.4041722	0.2465798	0.4022504	0.2242081	0.6845638	-0.190875	-0.2422955
λ_6	0.0046271	0.6431703	-0.0328705	-0.764202	-0.0349595	0.0010871	-0.0015477
λ_7	-0.4223997	-0.2897067	-0.4223173	-0.2094067	-0.4062318	-0.426148	-0.410876

最大固有値における固有ベクトル

$$H = -0.4223997 \cdot L^2 - 0.2897067 \cdot L_2^2 - 0.2094067 \cdot y_1 \cdot L - 0.4062318 \cdot y_1 \cdot L_2 - 0.426148 \cdot \frac{W}{N} \cdot L - 0.426148 \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.410876 \cdot NPC$$

(c) $3200 < L \leq 4000$ の場合

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

相 関 行 列 表 f-2.7

①	1.0					
②	0.760	1.0				
③	1.0	0.775	1.0			
④	1.0	0.775	1.0	1.0		
⑤	0.662	0.513	0.663	0.663	1.0	
⑥	0.869	0.661	0.868	0.868	0.946	1.0
⑦	0.924	0.810	0.927	0.927	0.732	0.881

固 有 値 λ_i 表 f-2.8

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
-0.0008824	0.0	0.0011148	0.079131	0.320736	0.644856	5.955042

固 有 ベ ク ト ル 表 f-2.9

λ_1	0.3627704	0.034948	-0.335809	-0.3357786	-0.440528	0.668987	-0.00771
λ_2	0.3629104	0.034981	-0.3356638	-0.3356329	-0.4404565	0.6690887	-0.0084157
λ_3	0.362954	0.0350329	-0.3356183	-0.3355874	-0.4404312	0.6691223	-0.008649
λ_4	-0.156257	-0.2413668	-0.1671455	-0.167145	-0.1063378	-0.1284613	0.9130397
λ_5	-0.3389938	0.8025338	-0.3000055	-0.300008	0.2364302	-0.0025298	0.0714776
λ_6	0.1822234	0.428591	0.1920221	0.1920226	-0.7323192	-0.4097634	0.0718486
λ_7	-0.3973475	-0.335515	-0.3983816	-0.3983816	-0.3265895	-0.3865953	-0.3949853

最大固有値における固有ベクトル

$$H = -0.3973475 \cdot L^2 - 0.335515 \cdot L_2^2 - 0.3983816 \cdot y_1 \cdot L - 0.3983816 \cdot y_1 \cdot L_2$$

$$-0.3265895 \cdot \frac{W}{N} \cdot L - 0.3865953 \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 - 0.3949853 \cdot NPC$$

(ii) 固有値と累積寄与率

表 f-2.10

主成分 支間分け	1400 ≤ L ≤ 2000		2000 < L ≤ 3200		3200 < L ≤ 4000	
	固有値	累積寄与率	固有値	累積寄与率	固有値	累積寄与率
1	3.713	0.619	5.415	0.774	5.955	0.851
2	2.002	0.953	1.288	0.958	0.645	0.943
3	0.198	0.986	0.198	0.986	0.321	0.989
4	0.086	1.000	0.097	1.000	0.079	1.000
5	0.001	1.000	0.001	1.000	0.001	1.000
6	0.000	1.000	0.001	1.000	0.0	1.000
7			0.000	1.000	0.0	1.000

ρ_m 累積寄与率：主成分の分散の割合を示す

$$\rho_m = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{j=1}^n \lambda_j}$$

n：変数の数

λ_j ：固有値

(iii) 主成分の因子負荷量

① $1400 \leq L \leq 2000$ の場合

表 f-2.11

成分 項目 固有値 変数	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	
	3.7134574		2.0016159			0.197627		
L^2	-0.50225	-0.968	0.063746	0.090	0.945	0.1978623	0.088	0.953
L_2^2								
$y_t \cdot L$	-0.03381	-0.065	-0.705264	-0.998	1.000	0.013498	0.006	1.0
$y_t \cdot L_2$	-0.033405	-0.064	-0.705304	-0.998	1.000	0.017006	0.008	1.0
$\frac{W}{N} \cdot L$	-0.495115	-0.954	-0.011186	-0.016	0.910	-0.614057	-0.273	0.985
$\frac{W}{N} \cdot L_2$	-0.513846	-0.990	0.027794	-0.039	0.982	-0.27704	-0.123	0.997
NPC	-0.486116	-0.937	0.013674	-0.019	0.878	0.7117322	0.316	0.978

因子負荷量 (Factor Loading) $= \sqrt{\lambda_i} \times \text{固有ベクトル}$

寄与率 : 因子負荷量の 2 乗和

② $2000 < L \leq 3200$ の場合

表 f-2.12

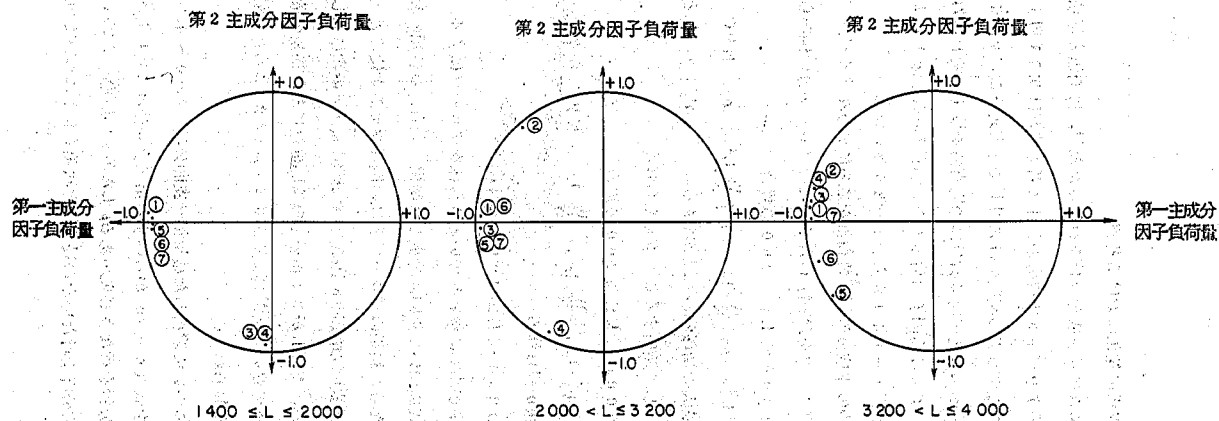
成分 項目 固有値 変数	第 1 主 成 分		第 2 主 成 分		寄 与 率	第 3 主 成 分		
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量		固有ベクトル	因子負荷量	寄 与 率
	5.4153		1.28789			0.19767		
L^2	-0.4223997	-0.983	0.0046271	0.005	0.966	0.4041722	0.180	0.998
L_2^2	-0.2897067	-0.674	0.6431703	0.730	0.987	0.2465798	0.110	0.999
$y_1 \cdot L$	-0.4223173	-0.983	-0.0328706	-0.037	0.968	0.4022504	0.179	1.000
$y_1 \cdot L_2$	-0.2094067	-0.487	-0.764202	-0.867	0.989	0.2242081	0.100	0.999
$\frac{W}{N} \cdot L$	-0.4062318	-0.945	-0.0349595	-0.040	0.895	-0.6845638	-0.304	0.987
$\frac{W}{N} \cdot L^2$	-0.426148	-0.992	0.0010871	0.001	0.984	-0.190875	-0.085	0.991
NPC	-0.410876	-0.956	-0.0015477	-0.002	0.914	-0.2422955	-0.108	0.926

③ $3200 < L \leq 4000$ の場合

表 f-2.13

成分 項目 固有値 λ 変数	第 1 主成分		第 2 主成分			第 3 主成分		
	固有ベクトル	因子負荷量	固有ベクトル	因子負荷量	寄与率	固有ベクトル	因子負荷量	寄与率
	5.955042		0.644856			0.320736		
L^2	-0.3973475	-0.970	0.1822234	0.146	0.962	-0.3389938	-0.192	0.999
L_2^2	-0.335515	-0.819	0.428591	0.344	0.789	0.8025338	0.455	0.996
$y_1 \cdot L$	-0.3983816	-0.972	0.1920221	0.154	0.969	-0.3000055	-0.170	0.997
$y_1 \cdot L_\ell$	-0.3983816	-0.972	0.1920226	0.154	0.969	-0.3000008	-0.170	0.997
$\frac{W}{N} \cdot L$	-0.3265895	-0.797	-0.7323192	-0.588	0.981	0.2364302	0.134	0.999
$\frac{W}{N} \cdot L^2$	-0.3865953	-0.943	-0.4097634	-0.329	0.997	-0.0025298	-0.001	0.997
NPC	-0.3949853	-0.964	0.0718486	0.058	0.933	0.0714776	0.040	0.934

(iv) 回帰式変数のグループ分け図



$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_t \cdot L + e \cdot y_t \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

(g) 主成分分析の結果における考察

提案式における主成分分析を行なった結果、固有値と累積寄与率(表f-2.10)から見られるように第3主成分の軸まで考慮すれば98%以上の情報がカバーできることが分る。この事はどの支間分けに対しても言えることで、この三つの主成分軸に対し、最大固有値から数えて第3番目迄の固有値を取り、それに対応する固有ベクトルを用い、各支間分けにおける因子負荷量(Factor Loading)およびその寄与率を算出して表にしたのが表f-2.11から表f-2.13になる。

この三つの主成分の因子負荷量をさらに分りやすくグラフ化したのが図(iv-1)の「変数のグループ分け図」になる。このグループ分け図から見られるように

① 支間 $1400 \leq L \leq 2000$ の場合

$x_1 : L^2$, $x_5 : \frac{W}{N} \cdot L$, $x_6 : \frac{W}{N} \cdot L^2$, $x_7 : NPC$ をグループにすれば直交軸に対し最大の情報を得ることができる。一方 $x_3 : y_1 \cdot L$ と $x_4 : y_1 \cdot L_\ell$ を他の1グループにして評価することも考えられる。

② 支間 $2000 < L \leq 3200$ の場合

L^2 , $y_1 \cdot L$, $\frac{W}{N} \cdot L$, $\frac{W}{N} \cdot L^2$, NPC をグループにすれば直交軸に対し最大の情報が得られる。

③ 支間 $3200 < L \leq 4000$ に対し

各因子が均等に散布している故全体をグループにする。

④ 提案式について重回帰分析した結果、式右辺の各項におけるHとの関係と主成分分析を行なった結果のグループ分けの関係を見ると殆んど一致した結果が得られている。すなわち回帰式の右辺第3項に相当する拡幅長 L_2^2 の項に対し三つの支間分けにおける関係が薄い。支間Lが32m以下の支間分けに対し横桁の死荷重によるモーメントの影響も極めて薄い。ただし支間が32mより大きくなると横桁による影響が強くなっている傾向が見られる。

提案式について解析した結果第一支間分け $1400 \leq L \leq 2000$ に対し L_2^2 , $y_1 \cdot L$, $y_1 \cdot L_\ell$ を式(c-9)からはずし第二支間分けに対し L_2^2 , $y_1 \cdot L_\ell$ をはずして再び重回帰分析を行なう必要がある。したがって式の統一のため、各支間分けについて次の回帰式の重回帰分析を行ないその妥当性を次項(h)について検討する。

(h) 桁高Hの推定値に関する評価

本節では回帰式から求めた桁高Hと累積設計によるHの間に差が生ずるが前者を桁高Hの推定値と考え、累積設計によるHの差を残差にし、この残差の値が設計上どう言う意味を持つか？ また回帰式を用いて桁高Hを決める場合、この残差の影響を如何に処理すれば合理的でかつ安全な設計ができるか？。一方前記の重回帰式について、それぞれの重相関係数が求められ、重相関係数の変動と桁高Hによる残差の間に如何なる関係を持ち、その差が設計上どう言う意味を持つか？ 以上の諸問題について検討を加えておきたい。

- (h-1) 回帰式の重相関係数と桁高Hによる残差の評価
- (h-2) 桁高Hの推定値による残差の評価
- (h-3) 残差の母分散の推定
- (h-4) 重回帰式を用いて桁高Hを決める場合いかに残差を処理するか
- (h-5) 各理論分布による負の残差のカバーできる区間
- (h-6) 回帰式から桁高Hを推定し5センチピッチに切り上げたHと累積設計の

Hの残差の評価

等の問題を以下に挙げる重回帰式について検討を行なう。

$$(A) \quad H = a + b \cdot L + c \cdot \frac{W}{N}$$

$$(B) \quad H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L^2 + d \cdot y_t \cdot L + e \cdot y_t \cdot L^2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

(h-1) 回帰式の重相関係数と桁高Hによる残差の評価

表 h-1.1 重相関係数

支間分 回 式	1400 ≤ L ≤ 2000	2000 < L ≤ 3200	3200 < L ≤ 4000	1400 ≤ L ≤ 3200	1400 ≤ L ≤ 4000
(A)	0.961	0.979	0.965	0.986	0.989
(B)	0.971	0.989	0.950	0.992	0.990
(B)-(A) (A)	1.041	1.000	-1.500	0.609	0.101

表 h-1.2 残差の領域

支間 (m) 分け	残 差 回 帰 式	$\mu+1.96\sigma$	$\mu-1.96\sigma$	$\mu-1.64\sigma$
$14 \leq L \leq 20$	(A)	6.013	-6.013	-5.032
	(B)	5.169	-5.169	-4.325
$20 < L \leq 32$	(A)	7.550	-7.550	-6.317
	(B)	5.402	-5.402	-4.520
$32 < L \leq 40$	(A)	8.500	-8.500	-7.111
	(B)	6.411	-6.411	-5.364
$14 \leq L \leq 32$	(A)	9.023	-9.023	-7.551
	(B)	6.593	-6.593	-5.517
$14 \leq L \leq 40$	(A)	11.625	-11.625	-9.727
	(B)	7.858	-7.858	-6.575

表 h-1.1 の第 3 行から見られるように支間 $1400 \leq L \leq 2000$ に対し重相関係数を 1.041% 上げるに ($\mu \pm 1.96\sigma$) の値は ± 6.013 から ± 5.169 へ変る。すなわち残差の分布を正規分布と仮定し 95% の残差がカバーできる領域を ± 6.013 から ± 5.169 cm まで縮めた事になる。その差は ± 1.0 cm 位の値になり、重相関係数を 1041% 上げたため桁高 H の推定による残差の 95% カバーできる領域は中心から左右 1.0 cm 縮めることができる。片側 95% カバーできる領域は ($\mu - 1.64\sigma$) の欄から見られるように -5.032 cm から -4.325 cm へ変り、その差は約 0.7 cm の値になる。

$2000 < L \leq 3200$, $3200 < L \leq 4000$ の両支間分けに対し重相関係数の上げ率は 1.00% と -1.50% になる。両側 95% の残差がカバーできる領域の縮小される値は約 ± 2.0 cm になっている。片側 95% の残差のカバーできる領域の縮小値は約

1.8 cm (| 6.317 ~ 4.520 |) になっている。

$1400 \leq L \leq 3200$ と $1400 \leq L \leq 4000$ の支間分けにおける回帰式の重相関係数の上げ率が低い (0.609 % と 0.101 %) 割りに残差の領域の縮小値が大きく (± 9023 から ± 6593) 現われている。

$1400 \leq L \leq 2000$, $2000 < L \leq 3200$, $3200 < L \leq 4000$ の支間分けに関する重相関係数の上げ率が高い割に残差の領域の縮小度が低く、それに比べて $1400 \leq L \leq 3200$, $1400 \leq L \leq 4000$ の回帰式の重相関係数の上げ率が低い割に残差の領域の縮小度が高くなっている。このことは設計上どう意味を持たらすかを考えると回帰式を $1400 \leq L \leq 3200$ の一本の式にまとめて桁高 H を推定するよりも $1400 \leq L \leq 2000$ と $2000 < L \leq 3200$ の二本に分けて H を推定した方が H の推定値による残差の変動が安定していて残差の領域も比較的せまい範囲で 9.5 % の残差の出現率をカバーすることができる意味を表わす。

一方式 (A) を用いるよりも (B) 式を用いて桁高 H を推定した方がせまい残差の領域で 9.5 % の残差の出現率をカバーすることができる。また、その差は大きい所で ($1400 \leq L \leq 4000$) ± 3.767 cm ($\pm 11.625 \sim \pm 7.858$)、小さい所で ($1400 \leq L \leq 2000$) ± 0.844 cm ($\pm 6.013 \sim \pm 5.169$) の値を示し、支間分けを $1400 \leq L \leq 2000$, $2000 < L \leq 3200$, $3200 < L \leq 4000$ の回帰式で表わす場合、大きい所で ± 2.148 cm ($\pm 7.550 \sim \pm 5.402$) の値になっており経済的な設計を行なう場合に無視のできない値になる。

(h-2) 桁高 H の推定値による残差の評価

表 h-2.1 に示す支間分け $1400 \leq L \leq 2000$ に対し残差の最大および最小の開きは 6607 から -2472 の範囲に入る。絶対値として 16079 cm の間に入る。

$< L \leq 3200$ に対しその値は 25688 cm, $3200 < L \leq 4000$ では 26579^{cm} で支間分けの順に応じてその開きの範囲が広がって来る。この傾向は標準偏差の値からも同じように 8068 から 5931 に順次大きくなって行く傾向が見られる。このような傾向は設計上どう言う意味を持つか考察してみると、表 h-2.1 の上の行から順次回帰式を適用するにあたって、回帰式から得られた桁高 H の推定値と累積設計に用いられている桁高の値との差のパラツキの範囲が広がっていることが分る。すなわち残差の分布が中心値から左右へ順次広がって行く。その広がりは支間 $1400 \leq L \leq 3200$ と $1400 \leq L \leq 4000$ に対し著しく、 $1400 \leq L \leq 4000$ に対し 40.207 cm の値に

達している。

一方式 (A) と (B) に対する $\max - \min$ の値を比較して見ると $1400 \leq L \leq 2000$ に対し 1.692 cm , $2000 < L \leq 3200$ に対し 7.919 cm , $3200 < L \leq 4000$ に対し 6.556 cm になっている。すなわち第 1 支間分けについては (A) 式と (B) 式のどちらを用いても残差による開きにはあまり差が見られないが、第 2、第 3 の支間分けに対しその開きは 7.919 、 6.556 と大きくなって来る。

表 h-2.1 残差の諸数値

支間分け	係数 回帰式	max 最大値	min 最小値	max-min	σ 標準偏差
$1400 \leq L \leq 2000$	(A)	6.607	-9.472	16.079	3.068
	(B)	5.963	-8.424	14.387	2.637
	(A)-(B)	0.644	-1.048	1.692	0.431
$2000 < L \leq 3200$	(A)	12.054	-13.634	25.688	3.852
	(B)	7.388	-10.381	17.769	2.756
	(A)-(B)	4.666	-3.253	7.919	1.096
$3200 < L \leq 4000$	(A)	9.762	-1.6817	26.579	4.336
	(B)	7.272	-12.751	20.023	3.271
	(A)-(B)	2.490	-4.066	6.556	1.065
$1400 \leq L \leq 3200$	(A)	11.583	-1.7967	29.550	4.604
	(b)	6.682	-19.038	25.720	3.364
	(A)-(B)	4.901	+1.071	3.830	1.240
$1400 \leq L \leq 4000$	(A)	17.553	-22.654	40.207	5.931
	(B)	9.842	-16.297	26.139	4.009
	(A)-(B)	7.711	-6.357	14.068	1.922

回帰式

$$(A) H = a + b \cdot L + c \cdot \frac{W}{N}$$

$$(B) H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L^2 +$$

$$f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

(h-3) 残差の母分散の推定

(i) χ^2 分布による母分散の推定

$$\chi^2_i = \sum_{i=1}^m \frac{(\chi_i - \mu)^2}{\sigma^2}$$

μ : 試料の平均値

σ^2 : 試料の母分散値

$\hat{\sigma}^2$: 見かけの分散値

$\hat{\sigma}^2$ 分布は $\chi^2 \left(\frac{\phi}{2} \right)$

ϕ : $n-1$ 自由度

それ故 平均 $E(\hat{\sigma}^2) = \left(\frac{\sigma^2}{\phi} \right) E(\chi^2) = \sigma^2$

分散 $\sigma^2(\hat{\sigma}^2) = \left(\frac{\sigma^2}{\phi} \right)^2 \sigma^2(\chi^2) = \frac{2}{\phi} \sigma^2$

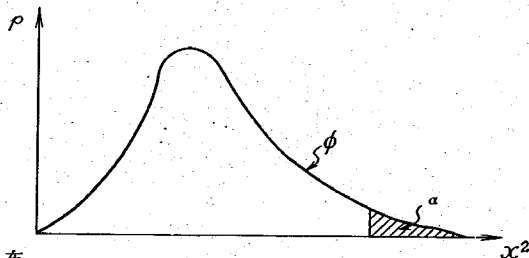
有意水準 $\alpha = 0.05$

信頼度 $1 - \alpha = 0.95$

母分散の信頼区間は

$$\frac{\phi \hat{\sigma}^2}{\chi^2 \left(\phi, \frac{\alpha}{2} \right)} < \sigma^2 < \frac{\phi \hat{\sigma}^2}{\chi^2 \left(\phi, 1 - \frac{\alpha}{2} \right)}$$

ただし $\chi^2 \left(\phi, \frac{\alpha}{2} \right)$ は確率 $\frac{\alpha}{2}$ を生ずる自由度 ϕ の χ^2 分布の値を表わす。



(ii) χ^2 分布

変数の x における確率 $P(x)$ は $x \geq 0$ に対し

$$P(x) = \int_0^x f(\phi, y) dy \dots \dots \dots (ii-1)$$

$$\text{ただし } f(\phi, y) = \frac{1}{2^{\frac{\phi}{2}} \Gamma(\frac{\phi}{2})} \cdot e^{(-\frac{y}{2})} \cdot y^{(\frac{\phi-2}{2})}$$

の確率密度関数を表す。

$$\phi = \text{自由度} (n-1)$$

$$\text{ガンマ関数 } \Gamma\left(\frac{\phi}{2}\right) : \int_0^{\infty} x^{\frac{\phi}{2}-1} \cdot e^{-x} dx$$

近似的に Stirling の式から次のように表わせる。

$$\Gamma\left(\frac{\phi}{2}\right) = \sqrt{2\pi} \left(\frac{\phi}{2}\right)^{\frac{\phi}{2}-1} e^{-\frac{\phi}{2}}$$

この際の χ^2 分布の

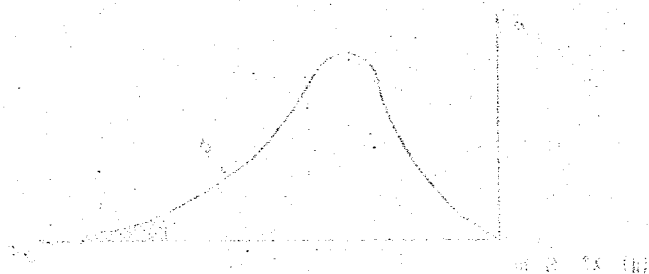
$$\text{平均値} = n-1 = \phi \quad (n: \text{標本の大きさ})$$

$$\text{分散値} = 2(n-1) = 2\phi$$

$$\text{標準偏差} = \sqrt{2\phi}$$

χ^2 分布は、ガンマ分布 (Γ 分布) を $\mu = \frac{\phi}{2}$, $\chi = \frac{x^2}{2}$ に置き換えた自由度 ϕ の分布になるので Γ 関数と関連を持っており、 χ^2 分布を求めるには Γ 関数の計算をサブルーチンにしておけば χ^2 分布が得られる。

この場合 χ^2 分布は標本の母数に関係なく、自由度 ϕ によって一意的に分布が定まる特徴を持つ。



(iii) 残差の χ^2 分布による母分散の推定

表 h-3.1

統計量		支間分け	$1400 \leq L \leq 2000$	$2000 < L \leq 3200$	$3200 < L \leq 4000$
(A) 式 $H = a + b \cdot L + c \cdot N$	分散値 $\hat{\sigma}^2$	分散値 $\hat{\sigma}^2$	9.524	14.948	19.018
		標準偏差 $\hat{\sigma}$	3.086	3.866	4.361
		自由度 (ϕ)	87	131	87
		Pr (0.95) の χ^2 の値	66	105.6	66
	母分散 95% の信頼区間				
	Pr (0.025) の χ^2 の値		115	163.8	115
	Pr (0.975) の χ^2 の値		62	101.2	62
	Pr (0.025 $\leq x \leq$ 0.975) の分散値 $\hat{\sigma}^2$		7.205 13.364	11.955 19.350	14.388 26.687
	Pr (0.025 $\leq x \leq$ 0.975) の標準偏差 $\hat{\sigma}$		2.684 3.656	3.458 4.399	3.793 5.166
(B) 式 $H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L^2 + f \cdot \frac{W}{N} + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L + h \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2$	分散値 $\hat{\sigma}^2$	分散値 $\hat{\sigma}^2$	7.032	7.654	11.830
		標準偏差 $\hat{\sigma}$	2.652	2.766	3.439
		自由度 (ϕ)	87	131	87
		Pr (0.95) の χ^2 の値	66	105.6	66
	母分散 95% の信頼区間				
	Pr (0.025) の χ^2 の値		115	163.8	115
	Pr (0.975) の χ^2 の値		62	101.2	62
	Pr (0.025 $\leq x \leq$ 0.975) の分散値 $\hat{\sigma}^2$		5.320 9.867	6.121 9.908	8.950 16.600
	Pr (0.025 $\leq x \leq$ 0.975) の標準偏差 $\hat{\sigma}$		2.306 3.141	2.474 3.148	2.992 4.074

表 h-3.2

統計量	支間分け	1400 ≤ L ≤ 2000	2000 < L ≤ 3200	3200 < L ≤ 4000
$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot \frac{W}{L} + d \cdot \frac{W}{L^2} + e \cdot NPC$	分散値 σ^2	7.514	9.424	11.631
	標準偏差 σ	2.741	3.070	3.410
	自由度 ϕ	87	131	87
	Pr(0.95) の χ^2 の値	66	105.6	66
	母分散 95% の信頼区間			
	Pr(0.025) の χ^2 の値	11.5	16.38	11.5
	Pr(0.975) の χ^2 の値	62	101.2	62
	Pr(0.025 ≤ x ≤ 0.975) の分散値 σ^2	5.685 10.544	7.537 12.199	8.799 16.321
	Pr(0.025 ≤ x ≤ 0.975) の標準偏差 σ	2.384 3.247	2.745 3.493	2.966 4.040

母標本の分散値の信頼区間をサンプリングの見掛け上の分散値から推定する場合、 χ^2 分布が適用される。表 h-3.1 から推察できる様に (A) 式を用いた場合には Pr(0.025 ~ 0.975) の区間に入る母標本の分散値は 7.205 ~ 13.364 (支間分け 1400 ≤ L ≤ 2000) になる。この値に対し (B) 式を用いると 5.320 ~ 9.867 になる。その幅は (A) 式に対し 61.59 で、(B) 式に対し 4.547 になる。すなわち (B) 式による分散値の Pr(0.025 ~ 0.975) 間の幅が狭い意味を表わす。いいかえると残差によるバラツキの程度が (A) 式よりバラツキが少ないことになる。支間 2000 < L ≤ 3200, 3200 < L ≤ 4000 の各支間についても同じように (A) 式よりも (B) 式の方が残差によるバラツキが少ない。

χ^2 分布を適用する場合、二項分布や指数分布のように標本の母数に関係なく、自由度でその分布が決まってしまうという特徴を持ち、一般の分布函数で見られない性質を示している。ただし母標本の分散値を推定する場合標本の母数に関係して来るのは標本の見掛け上の分散値である。

(h-4) 重回帰式を用いて桁高Hを決める場合如何に残差を処理するか

重回帰式から桁高Hを推定し直接設計に用いる場合問題になるのは負の残差である。正の残差に対し設計からいえば累積設計から得られた桁高Hより高い桁高を使用しているため不経済な設計にはなるが安全側の方に設計しているといえる。しかし負の残差が生じた場合結局累積設計から得られた桁高より低いHを推定して設計に用いようとしているわけで、この場合負の残差に対し如何に処理すれば安全でかつ合理的な桁高を決めることができるかその対処の方法を以下で述べる。

表(h-4.1)の $\mu - 1.64\sigma$ 欄に記入している値は残差全体の確率95%カバーできる負の残差の領域を表わす値で、 $1400 \leq L \leq 2000$ の支間分けに対し 5.032^{cm} になっている。第2, 第3支間分けにおけるその値は -6.317^{cm} と -7.111^{cm} になっている。

回帰式から桁高Hを推定した場合第1支間分けに対し 5.032^{cm} をその推定値に加えれば負の残差が正またはゼロとなり累積設計から得られた桁高Hとの差は負の残差から正またはゼロに変換できかつその確率は全残差の確率の95%を占める意味を表わす。

従って回帰式を用いて桁高Hを推定する場合、安全な設計を行なうには、得られたHの値をさらに 5.032^{cm} を加えればこの式を用いても安全側に寄った設計ができる。

その反面正の残差なので推定値に対し余計 5.032^{cm} 加えられたため不経済な設計になる。

第2支間分け, 第3支間分けにおけるその値は 6.317 と 7.111 になっているので第2, 3支間分けの式に対し推定値に約 6^{cm} , 7^{cm} を加えれば全残差の95%が正またはゼロの残差に変換することができる。表h-4.2の重回帰式について見れば第1, 2, 3支間分けに対しそれぞれ 4.325 , 4.52 , 5.364^{cm} の値を加えなければならない。この値を表h-4.1の 5.032 , 6.317 , 7.111 と比べればはるかに小さくなり表h-4.1の式を用いるより表h-4.2の式を用いる方が妥当であり、その推定値に約 5^{cm} の桁高を加えれば安全側に寄った設計ができる。

$$\textcircled{1} H = a + b \cdot L + c \cdot \frac{W}{N}$$

表 h - 4.1

区分	項目	係数項	最 ^{max} 大 値	最 ^{min} 小 値	平 ^μ 均 値	標 ^σ 準 偏 差	$\mu \pm 1.96\sigma$	$\mu - 1.64\sigma$
1400 ≤ L ≤ 2000	H の実測値		110.0	75.0	92.273	11.344	114.507 70.038	73.669
	推定値の残差		6.607	-9.472	0.0	3.068	±6.013	-5.032
	H の実測値		180.0	110.0	137.121	18.902	174.169 100.073	106.122
	推定値の残差		120.54	-13.634	0.0	3.852	±7.550	-6.317
2000 < L ≤ 3200	H の実測値		225.0	160.0	187.159	16.743	219.975 154.342	159.700
	推定値の残差		97.62	-16.817	0.0	4.336	±8.500	-7.111
3200 < L ≤ 1400	H の実測値		180	75	119.182	27.380	172.847 65.517	74.279
	推定値の残差		11.583	-17.967	0.0	4.604	±9.023	-7.551
1400 ≤ L ≤ 1400	H の実測値		225	75	138.604	39.500	216.024 61.184	73.824
	推定値の残差		17.553	-22.654	0.0	5.931	±11.625	-9.727

$$\textcircled{2} H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_t \cdot L + e \cdot y_t \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

表 h-4.2

支 間 分 ナ	項 目	係 数 項	最 大 値 max	最 小 値 min	平 均 値 μ	標 準 偏 差 σ	$\mu \pm 1.96\sigma$	$\mu - 1.64\sigma$
1400	$1400 \leq L \leq 2000$	Hの実測値	110	75	92.273	11.344	114.507 70.039	73.669
		推定値の残差	5.963	-8.424	0.0	2.637	± 5.169	-4.325
2000	$2000 < L \leq 3200$	Hの实測値	180	110	137.121	18.902	174.169 100.073	106.122
		推定値の残差	7.388	-10.381	0.0	2.756	± 5.402	-4.520
3200	$3200 < L \leq 4000$	Hの实測値	225	160	187.159	16.743	219.975 154.343	159.700
		推定値の残差	7.272	-12.751	0.0	3.271	± 6.411	-5.364
4000	$4000 \leq L \leq 1400$	Hの实測値	180	75	119.182	27.380	172.847 65.517	74.279
		推定値の残差	6.682	-19.038	0.0	3.364	± 6.593	-5.517
1400	$1400 \leq L \leq 4000$	Hの实測値	225	75	138.604	39.500	216.024 61.184	73.720
		推定値の残差	9.842	-16.297	0.0	4.009	± 7.858	-6.575

(h-5) 各理論分布による負の残差のカバーできる区間

(i) 二項分布のあてはめ

この型の理論分布を用いる場合、確率変数が離散型の場合に適用できる。

$$\Pr\{0 \leq x \leq n\} = \int_0^n \binom{n}{x} P^x (1-P)^{n-x} dx \dots\dots\dots (i-1)$$

ただし x : 確率変数

n : 階級の数

p : 平均値/階級数

式 (i-1) を次の形に書き直すと

$$\Pr\{0 \leq x \leq n\} = \sum_{i=0}^n \binom{n}{x} P^x (1-P)^{n-x} \dots\dots\dots (i-2)$$

ここで $\binom{n}{x} = \frac{n(n-1)(n-2) \dots\dots\dots (n-x+1)}{x!}$ を表わす。

この場合の

平均値 : np

分散 : $np(1-p)$

標準偏差 : $\sqrt{np(1-p)}$

式 (i-2) を計算するには、 n と x 、 p を与えれば p_r が求まる。

(ii) 指数分布のあてはめ

確率変数が連続型の場合に適用できる。

$$\Pr\{0 \leq x \leq n\} = \int_0^n \frac{1}{b} e^{-\frac{x}{b}} dx \dots\dots\dots (ii-1)$$

ここで確率密度関数は $\frac{1}{b} e^{-\frac{x}{b}}$ になる。

平均値 : b

分散値 : b^2

式 (ii-1) を計算するには、 b と x と n を与えれば p_r が求まる。

$$\Pr\{x_i \leq x \leq x_{i+1}\} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{1}{b} e^{-\frac{x}{b}} dx$$

$$= -e^{-\frac{x}{b}} \Big|_{x_i}^{x_{i+1}}$$

$$= e^{-\frac{x_i}{b}} - e^{-\frac{x_{i+1}}{b}}$$

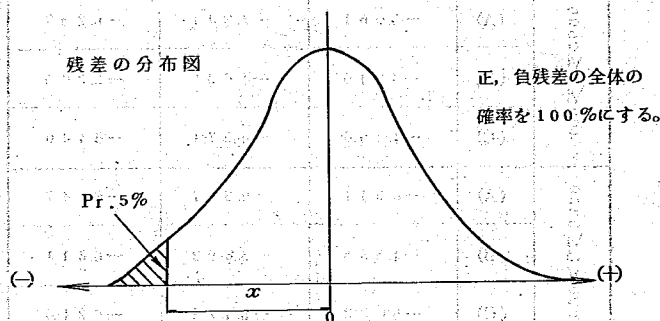
(iii) 各理論分布による負の残差のあてはめ

・ 回帰式 (A) $H = a + b \cdot L + c \cdot \frac{W}{N}$

(B) $H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L^2 +$

$f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$

(C) $H = a + b \cdot L^2 + c \cdot \frac{W}{N} \cdot L + d \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + e \cdot NPC$



* 指数分布の場合、負の残差全体の確率が100%になっているため Pr. 10%をとると正の残差を含んだ全体確率100%の Pr. 5%になる。

残差の分布を正規分布、二項分布、指数分布の三種類の理論分布にあてはめるように各理論分布にもとづいて残差の各階級について、確率分布を計算しグラフにしてそのあてはめの度合を試みた。

残差のヒストグラムから見られるように離散型の分布に対し二項分布のあてはめは良く近似し、負の残差のみについて取り出しその分布を連続型の指数分布にあてはめるようにグラフ化した。その結果を見ると負の残差の分布が離散型の分布になっているのに対し指数分布曲線は中間値を通して近似している。

PCボステン桁の直接設計の際、負の残差が生ずるというのは累積設計から得た桁高Hより低い桁高を推定して設計しようとするので仮にこの状態における累積設計の応力度が許容応力度の限界に一致しているとすれば、この桁高より低いHを用いると応力度がオーバーストレスになり危険側に寄った設計になる、そのために負の残差がなるべく生じないように回帰式から得たHを修正する必要がある。

この負の残差の発生しうる確率を、残差の生ずる全体の確率の5%以下におさえるには、残差の区間 x の値はどれ位になるかを示したものが表(h-5.1)であり、これは負の残差のカバーできる区間を各理論分布について求めたものである。

表 (h-5.1) Pr-5%の負の残差 x の値

文 間 分 け	理論分布 回帰式	理論分布		
		正 規 分 布	二 項 分 布	指 数 分 布
$1400 \leq L \leq 2000$	(A)	-5.061	-5.241	-6.250
	(B)	-4.349	-4.636	-5.305
	(C)	-4.496	-4.571	-5.440
$2000 < L \leq 3200$	(A)	-6.341	-9.367	-8.147
	(B)	-4.535	-5.892	-6.611
	(C)	-5.033	-5.412	-6.216
$3200 < L \leq 4000$	(A)	-7.152	-9.829	-9.081
	(B)	-5.641	-5.661	-7.068
	(C)	-5.592	-5.150	-7.628

以下に各支間分けにおける各理論分布の x の値を表(h-5.1)について考察することにする。

残差を左右対称の連続型の正規分布に仮定した際の x の値はどの支間分けについても二項分布と指数分布から得られた x の絶対値より小さい値になっている。すなわち正規分布による山のすそが二項分布や指数分布より短くなっている。

一回帰式(A)と(B)の x の値に対しどの理論分布についても(A)式の x の絶対値が大きい、このことは(h-3)の母分散の推定で得られた結果と同じ(A)式よりも(B)式の方が安定したHが得られバラツキの少ない結果に一致する。

回帰式(B)と(C)については $L \leq 3200$ の支間に対し正規分布と指数分布では(C)式の x の絶対値が(B)式のその値より大きく、二項分布の場合のみが逆の結果になっている。 $3200 < L \leq 4000$ の支間分けに対し(B)式の x の絶対値は正規分布と二項分布の(C)式の値より大きく、指数分布のみについて逆に(C)式の x の絶対値が大きく得られている。

全般に言えば、各理論分布に対し(B)式の x の絶対値は(A)式より小さく、(B)式と(C)の間では大差が見られない。

(h-6) 回帰式から桁高Hを推定し5センチピッチに切り上げた値と累積設計の
Hの残差の評価

標準設計では桁高Hは5cmピッチで決められているので回帰式から推定したHをさらに5cmピッチとなるよう処理を行なう。

表 h-6.1

支間 (m)分け	残 差 回帰式	データの 数 n	負 の 残 差		残 差 ゼ ロ		正 の 残 差	
			数	%	数	%	数	%
$14 \leq L \leq 20$	(A)	88	5	5.682	34	38.636	49	55.682
	(B)		4	4.545	48	54.545	36	40.910
$20 < L \leq 32$	(A)	132	6	4.545	36	27.273	90	68.182
	(B)		6	4.545	64	48.485	62	46.970
$32 < L \leq 40$	(A)	88	3	3.409	25	28.409	60	68.182
	(B)		6	6.818	25	28.409	57	64.773

上の表から推察できるように支間分け $1400 \leq L \leq 2000$ に対し (A) の回帰式を用いた場合、Hの推定値に 1.64σ の値を加え5で割って整数に直し、この整数に5.0を掛けて5センチピッチに直した桁高Hの値 $((H_{est} + 1.64\sigma)/5.0 = IH)$ に直し $H = 5.0 \times IH$ の値) と累積設計から得た値を比較して見れば負の残差の出現度数は5個出現し、全度数の5.682%を示し(B)式を用いたその値4.545%より1.137%も多く負の残差がでているのが見られる。このことは(A)式を用いるよりも(B)式を用いた方が負の残差のカバーができて(A)式より安全側に寄った設計ができる意味を表わす。ただし H_{est} は桁高Hの推定値を表わす。

ゼロの残差に対し(B)式による出現率(54.545%)は(A)式のその値(38.636%)より多く得られている。その意味は(B)式を用いた方が(A)式よりも累積設計から得た桁高Hに一致する確率が多いことを示す。

正の残差の場合(A)式による出現率は55.682%に対し(B)式はその値より

少なく40.91%の値しか見られない。その意味は(A)式を用いると累積設計から得た桁高Hより高い桁高を用いて設計する確率が(B)式を用いた場合より多く、(B)式より不経済な設計をする頻度の多い意味を表わす。

上に述べた傾向は各支間分けに対しゼロまたは正の残差において殆んど同じ意味を表わし、支間分け $3200 < L \leq 4000$ の負の残差による出現度数だけが異なっている。すなわち(A)式を用いた場合の負の残差の出現率は34.09%に対し(B)式では68.18%の値を示している。この場合(A)式による負の残差のカバーできる確率は(B)式より高いがその代り正の残差による出現度数が高くかつ残差の値が10cm以上になっている割合が多く不経済な面が多い。一般に正の残差の値は5cmの方が多く10cm以上出現する度数は比較的少ない。ただし支間分け $3200 < L \leq 4000$ に対し正の残差が10cm以上出現する確率が多く(B)式と比べれば24:8の割合で現れている。

回帰式から5cmピッチに直し累積設計のHと比較して全般に言えるのは(A)式を用いるより(B)式を用いた方が安全でかつ経済的の累積設計に近似した設計ができる。

表h-6.2は回帰式(B)と(C)について桁高Hを推定した場合累積設計のHと比較した一覧表である。負の残差の出現度は全般に言えば(C)式の方が(B)式より多く現われている。すなわち(B)式によって桁高を推定した方が負の残差に対しカバーできる。ゼロの残差に対し各支間分けについて見ると $2000 < L \leq 3200$ の支間を除き、残りの二つの支間分けに対し(C)式の方が(B)式より累積設計のHに一致した度数が多い。ただし $2000 < L \leq 3200$ の支間分けに対し(B)式の方が多く累積設計のHに一致する。正の残差に対し $1400 \leq L \leq 2000$ の支間分けの場合(B)式を用いるよりも(C)式を用いた方が経済的な推定値が得られる。但し残りの二つの支間分けに対しどちらを用いれば経済的であるか判定しにくい結果になる。

表 h-6.2

支 間 分 (m)	残 差 回 帰 式	データの数 n	負の残差の度数				ゼロの残差		正の残差の度数			
			-5	%	-10以上	%	0	%	+5	%	+10以上	%
14 ≤ L ≤ 20	(B)	88	4	4.545	0	0	48	54.545	35	39.773	1	1.137
	(C)		5	5.681	0	0	55	62.500	27	30.682	1	1.137
20 < L ≤ 32	(B)	132	5	3.788	1	0.757	64	48.485	61	46.212	1	0.758
	(C)		5	3.788	0	0	59	44.697	61	46.212	7	5.303
32 < L ≤ 40	(B)	88	4	4.545	2	2.273	25	28.409	49	55.682	8	9.091
	(C)		5	5.681	1	1.138	27	30.682	50	56.818	5	5.681

回帰式 (B) $H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L^2 + d \cdot y_t \cdot L + e \cdot y_t \cdot L + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$

(C) $H = a + b \cdot L^2 + c \cdot \frac{W}{N} \cdot L + d \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + e \cdot NPC$

(i) 桁高Hの決定式

$$H = a + b \cdot L^2 + c \cdot L_2^2 + d \cdot y_1 \cdot L + e \cdot y_1 \cdot L_2 + f \cdot \frac{W}{N} \cdot L + g \cdot \frac{W}{N} \cdot L^2 + h \cdot NPC$$

表 (i)-1

支間分け \ 回帰係数	a	b	c	d	e	f	g	h
1400 ≤ L ≤ 2000	4.42648	0.269989 × 10 ⁻⁴		0.941328 × 10 ⁻³	-0.189509 × 10 ⁻²	0.539715 × 10 ⁻³	-0.217901 × 10 ⁻⁶	-0.387447 × 10 ⁻¹
2000 < L ≤ 3200	-0.976563 × 10 ⁻²	-0.170672 × 10 ⁻⁴	0.396137 × 10 ⁻³	0.64771 × 10 ⁻³	0.578311 × 10 ⁻²	-0.307137 × 10 ⁻³	0.153489 × 10 ⁻⁶	-0.325327 × 10 ⁻¹
3200 < L ≤ 4000	-0.617807 × 10 ⁻³	-0.486016 × 10 ⁻⁴	-0.742724 × 10 ⁻¹	0.161989 × 10 ⁻¹	-0.127121 × 10 ⁻²	0.590016 × 10 ⁻⁴	0.381385 × 10 ⁻⁷	-0.851115 × 10 ⁻¹

表 (i)-2

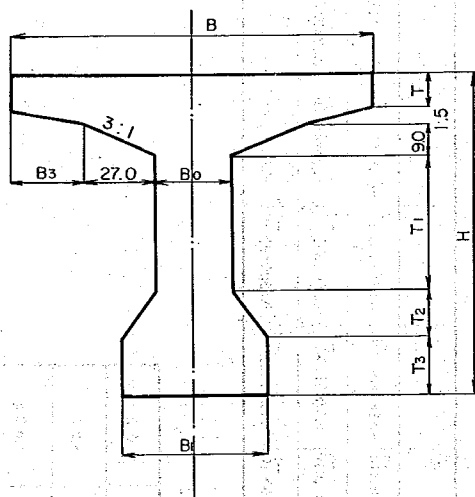
支間分け	加える値
1400 ≤ L ≤ 2000	4.349
2000 < L ≤ 3200	4.535
3200 < L ≤ 4000	5.641

回帰式から得られたHの値に表(i)-2の値を加え5.0で割って整数に直し、その値を

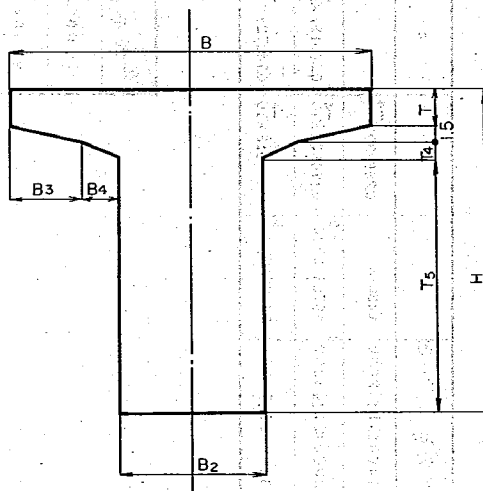
I Hとすれば $H = 5.0 \times \text{FLOAT}(IH)$ によってHが決まる。

(i) 主桁の断面形状

支間中央断面



支点断面



(k) その他の断面寸法の決定

$$T_1 = H - T - T_2 - T_3 - 10.5$$

$$B_4 = 0.5 \times (B - B_2 - 2.0 \times B_3)$$

$$T_4 = B_4 / 3.0$$

$$T_5 = H - T_4 - T - 1.5$$

§ 3.3 最適主ケーブル本数の決定

主桁断面寸法の桁高Hを決めるには、主ケーブル本数NPCが決まっていなければ定まらない。したがって主ケーブル本数の決定は、累積設計の計算の流れ図から検討を行ない支間Lと桁高Hの間に関係があることから単に支間Lの一次結合と考え回帰分析を行なうことにした。また単に支間Lと主ケーブル本数NPCの一次結合式にした場合について検討を行なってみるとNPCとLの間の相関係数は0.9以上に達し相関の強い関係が見られた。したがってNPCを支間Lの一次回帰式に見なしても情報のロスは少ないと考え、回帰式を支間 $1400 \leq L \leq 2000$, $2000 < L \leq 3200$ および $3200 < L \leq 4000$ の三区分について行なうことにした。

308橋の累積設計資料からNPCと支間Lの回帰分析を行なった結果を表(i-1), (ii-1)に示す。

表(i-1)の回帰係数a, bを用いて回帰式を定め、片側5%の危険率を考えたNPC残差の領域は表(ii-1)の $\mu - 1.64\sigma$ 欄に示してあるが、 $NPC = a + b \cdot L$ から得られたNPCの値に更に $\mu - 1.64\sigma$ の値を加え、小数点以下の数字を切り捨てれば殆んど累積設計の主ケーブル本数に一致する。したがって、主ケーブル本数の決定に際しては、

$NPC = a + b \cdot L$ の回帰式を用いることにした。

(i) 支間と主ケーブル本数の回帰係数

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

表(i-1)

支間分け \ 回帰係数	a	b	F ₀	t	r	n
$1400 \leq L \leq 2000$	2.90912	0.003523	409.137	20.227	0.908	83
$2000 < L \leq 3200$	1.47250	0.002644	659.078	25.673	0.913	132
$3200 < L \leq 4000$	0.15007	0.003227	529.336	23.007	0.927	88

r : 相関係数

NPC : 主ケーブル本数

n : データの数

L : 支間長

(ii) 回帰式から求めた主ケーブル本数の残差区間

表 (ii-1)

残差の統計量 \ 支間分け	$1400 \leq L \leq 2000$	$2000 < L \leq 3200$	$3200 < L \leq 4000$
最大値 max.	0.841	0.874	0.768
最小値 min.	-0.455	-1.183	-0.586
max-min	1.296	2.057	1.354
平均値 mean (μ)	0.0	0.0	0.0
標準偏差	0.361	0.402	0.291
$\mu \pm 1.96\sigma$	± 0.708	± 0.788	± 0.570
$\mu - 1.64\sigma$	-0.592	-0.659	-0.477

(iii) 主ケーブルNPCの決定式

入力 : L (支間長)

出力 : NPC

表 (iii-1)

支間分け \ 主ケーブル本数	NPCの回帰式	加える値
$1400 \leq L \leq 2000$	$2.90912 + 0.003523 \times L$	0.592
$2000 < L \leq 3200$	$1.4725 + 0.002644 \times L$	0.659
$3200 < L \leq 4000$	$0.15007 + 0.003227 \times L$	0.477

NPCの回帰式よりNPCを求め右の列の値を加え整数に直す。

§ 3.4 主ケーブルの配置の決定

主ケーブルの配置はなるべく標準設計で行なわれた配置に準じて配置を行なうようにした。

主ケーブルの配置に必要な諸元を挙げると次のとおりである。

ℓ_B , a , BEN, C, L_1 , L_3

ℓ_P , U, UD, UU

一方主ケーブルの配置パターンとしては全部で8種類ある。すなわち主ケーブル本数 NPC=6 から NPC=13 迄の8種類による配置パターンを基本に上述諸元を用いて主ケーブルの配置に適用した。配置に必要な諸元は、累積設計に用いられている計算式を使用したとその決定式を以下に示す。

(a) 主ケーブルの配置のパターン

(b) ℓ_B の決定

(c) a の決定

(d) BEN の決定

(e) C, L_1 , L_3 の決定

(f) ℓ_P の決定

(g) U と UD の決定

(h) UU の決定

(i) 緊張作業時の応力度および伸び量

(a) 主ケーブルの配置のパターン

(i) 支間中央における配置

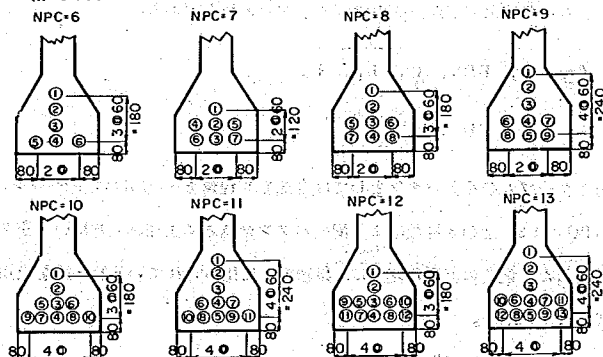


図-3.4.1

(ii) 支げた端部における配置

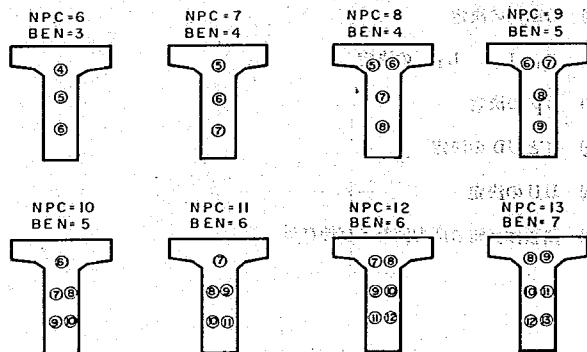


図3.4.2

設計に用いるPC鋼材

- (a) 支間が20m以下の場合 主ケーブル、横締めケーブル12-φ5mm
 (b) 支間が21m以上の場合 主ケーブル12-φ7mm
 横締めケーブル12-φ5mm

NPC：主ケーブル数
 BEN：曲げHケーブル数

(b) 桁高と ℓ_B の関係

入力 : H

出力 : ℓ_B

H (cm)	CN
$H \leq 110$	0.3639702
$110 < H$	0.4663077

$$\ell_B = \frac{2.0 \times (H - 30.0)}{CN}$$

$$NP = \frac{\ell_B}{10} \quad (\text{整数に置き換える})$$

$$\ell_B = 10 \times NP$$

(c) 支間とけた掛り長 a の関係

入力 : L (cm)

出力 : a

支間分け \ けた掛り長	a (cm)
$1400 \leq L \leq 2000$	30.0
$2000 < L \leq 3500$	35.0
$3500 < L \leq 4000$	40.0

(d) 主ケーブル本数と曲げ上げ本数 BEN の関係

入力 : 主ケーブル本数 NPC

出力 : 曲げ上げ本数 BEN

NPC	6	7	8	9	10	11	12	13
BEN	3	4	5	6	7			

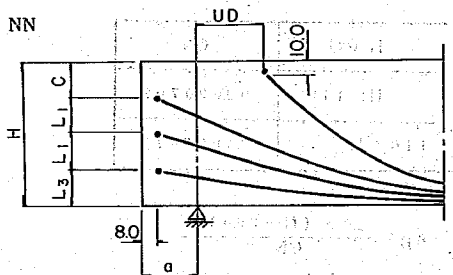
(e) 桁高と C, L_1 , L_3 の関係

入力: NPC, BEN, H

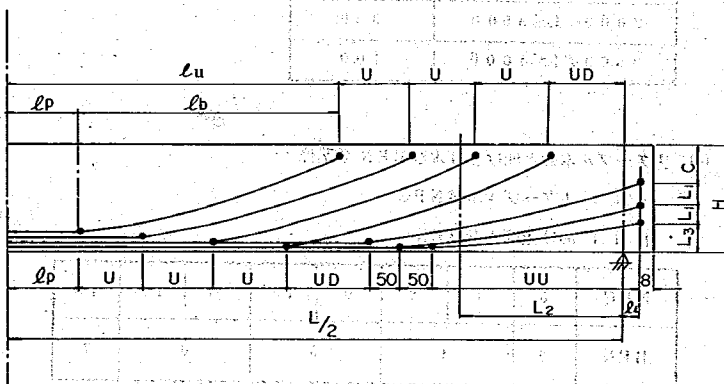
出力: L_1 , L_3 , C, NN

$$HON = NPC - BEN$$

HON	NN
≥ 7.0	4
< 7.0	3



H (cm)	L_1	C	L_3
$H < 100$	20	20	$H - C - (NN - 1) \times L_1$
$100 \leq H \leq 110$	25	25	
$110 < H \leq 170$	$(\frac{H-30}{10 \times NN} + 0.5)$ (整数に直して 10.0 掛ける)	30	
$170 < H$	$(\frac{H-40}{10 \times NN} + 0.5)$ (同上)	40	



(f) 支間と ℓ_P の関係

入力 : ℓ , NPC

出力 : ℓ_P

支 間 (ℓ) cm	NPC	ℓ_P
$\ell \leq 2000$		$\frac{\ell}{300}$ を整数に直して 10 掛ける。
$2000 < \ell$	NPC=6	$\frac{\ell}{110}$ " " " "
$2000 < \ell < 3000$	NPC=6	$\frac{\ell}{130}$ " " " "
$3000 \leq \ell$	NPC=6	$\frac{\ell}{110}$ " " " "

(g) 支間と U の関係

入力 : ℓ , ℓ_P , ℓ_B , BEN

出力 : U, UD

支 間 ℓ (cm)	U
$\ell < 3000$	$U = (0.5 \times \ell - (\ell_P + \ell_B + 60.0)) / (BEN - 1)$
$3000 \leq \ell$	$U = (0.5 \times \ell - (\ell_P + \ell_B + 80.0)) / (BEN - 1)$

$U = (\frac{U}{10} + 0.5)$ 整数に直して 10.0 掛ける

$$UD = 0.5 \times \ell - (\ell_P + \ell_B + U \times (BEN - 1))$$

UD $\geq$ U の場合 U = U + 0.5 に置き換えて UD を計算し直す

(h) 支間とUUの関係

入力 : ℓ , ℓ_p , a , U , UD , BEN , NN

出力 : UU

$$\ell_\ell = a - 8.0$$

NN	UU
NN=4	$0.5 \ell - (U \times (BEN - 1) + \ell_p + UD + 150) + \ell_\ell$
NN≠4	$0.5 \ell - (U \times (BEN - 1) + \ell_p + UD + 100) + \ell_\ell$

(i) 緊張作業時の応力度および伸び量

(c) 桁高とPC鋼線の曲げ上げ角の関係

入力 : H (cm)

出力 : θ_1 , θ_2

桁 高	角 度 (θ)	
H (cm)	θ_1 (度)	θ_2 (rad.)
$H \leq 110$	20	0.349
$110 < H$	25	0.4363

(e) 支間と初引張応力度 σ_{pi} の関係

入力 : 支間 L

出力 : σ_{pi}

支 間 分 け	初引張応力度 σ_{pi} (kg/cm ²)
$1400 \leq L \leq 2000$	13050.0
$2000 < L \leq 4000$	12150.0

(イ) PC鋼線とシーす間の摩擦の影響

入力 : $H, d, \ell, \sigma_{pi}, \theta_2$

出力 : σ_{pt1}, ℓ_b

H (cm)	NT (整数)
$H \leq 110$	$2(H-d'-10)/3.639702$
$110 < H$	$2(H-d'-10)/4.663077$

$$\ell_b = 10NT$$

$$C_\ell = 0.5 \times (\ell - 100) + \frac{2}{3} \cdot \ell_b \cdot \left(\frac{H-d'-10}{\ell_b} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{H-d'-10}{\ell_b} \right)^4$$

$$\sigma_{pt1} = \frac{\sigma_{pi}}{1.0 + 0.3\theta_2 + 0.004(C_\ell/100)}$$

(ロ) 緊張作業時の応力度

入力 : $\sigma_{pt1}, \ell_1, \ell_2, \ell_3, \alpha$

出力 : σ_p

$$\sigma_p = \sigma_{pt1} (1.0 + \lambda \cdot \ell_1) (1.0 + \mu \cdot \alpha + \lambda \cdot \ell_2) (1.0 + \lambda \cdot \ell_3)$$

$$\lambda = 0.004 / 100.0 \text{ (m当りの摩擦係数)}$$

$$\mu = 0.3$$

α = 曲げ上げ角 (rad)

ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 は m 単位で入力

(ハ) ケーブルの総伸び量

入力 : $\sigma_{pt1}, \ell_1, \ell_2, \ell_3, \alpha$ (単位 cm - kg)

出力 : δ

$$\delta = \frac{\sigma_{pt1}}{2E_p} \left[\ell_1 + (1.0 + \lambda \cdot \ell_1)(\ell_1 + \ell_2) + (1.0 + \lambda \cdot \ell_1)(1.0 + \mu \cdot \alpha + \lambda \cdot \ell_2) \cdot (\ell_2 + \ell_3) + (1.0 + \lambda \cdot \ell_1)(1.0 + \mu \cdot \alpha + \lambda \cdot \ell_2)(1.0 + \lambda \cdot \ell_3) \cdot \ell_3 \right]$$

ただし $E_p = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, λ と掛け算する ℓ_i は (m) で入力

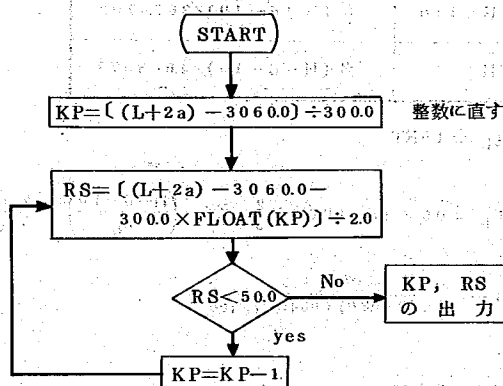
§ 3.5 主桁鉄筋の配置および本数の決定 (単位mm)

主桁鉄筋の配置および本数の決定は累積設計に準じており、次にその決定手順を示す。

(a) 鉄筋番号①, ②の配置

入力 : L, a (L : 支間長 (実数), a : けたの掛け長)

出力 : RS, KP

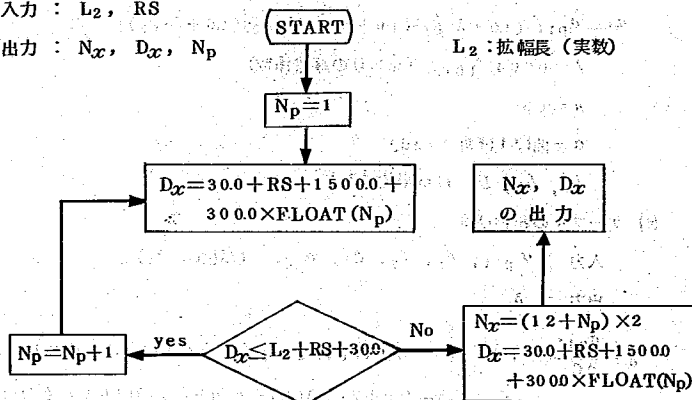


(b) 鉄筋番号②の配置区間および鉄筋本数の決定

入力 : L_2, RS

出力 : N_x, D_x, N_p

L_2 : 拡幅長 (実数)



(c) 鉄筋番号①の鉄筋本数の決定

入力 : K_p, N_p

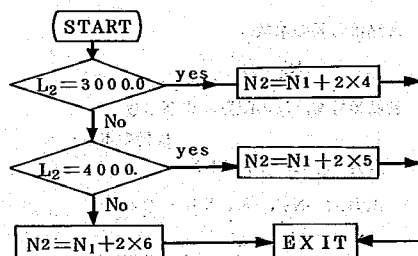
出力 : N_1 (本数)

$$N_1 = (K_p - 2 \times N_p) - 1$$

(d) 鉄筋番号④, ⑥の配置および本数の決定

入力 : N_1, L_2

出力 : N_2 (本数)



(e) 鉄筋番号⑤の配置および本数の決定

入力 : K_p

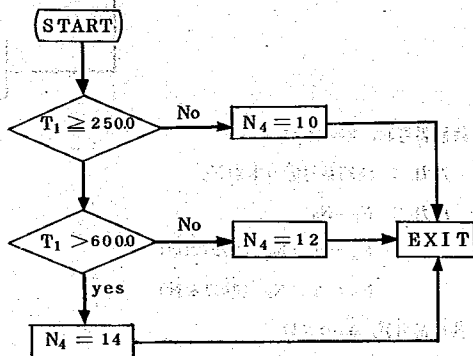
出力 : N_3

$$N_3 = (K_p - 1) + 2 \times 12 = K_p + 23$$

(f) 鉄筋番号⑦の配置および本数の決定

入力 : T_1

出力 : N_4



(g) 鉄筋番号⑨の本数

入力 : YNN (横桁本数)

出力 : N_s

$$N_s = 4 \times YNN$$

整数

(h) 鉄筋番号⑩の本数

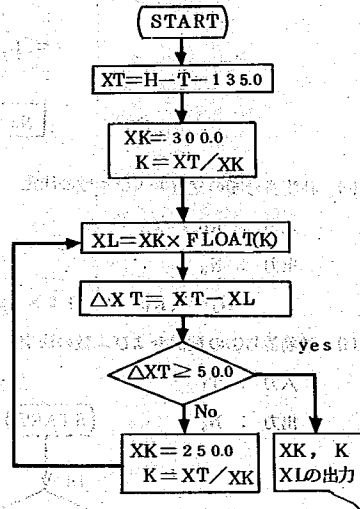
$$N_6 = 4$$

(i) 鉄筋番号⑨, ⑬の配置および本数

入力 : H, T, YNN (横桁の本数)

出力 : N_7, K, XL

$$N_7 = 2 \times (K+1) \times (YNN+2)$$



(j) 鉄筋番号⑩, ⑬の本数

入力 : 鉄筋番号⑤の本数 N_3

出力 : N_8, N_9

$$N_8 = 2 \times N_3 \text{ (⑩の本数)}$$

$$N_9 = 2 \times N_8 \text{ (⑬の本数)}$$

(k) 鉄筋番号⑭, ⑯の本数

入力 : ⑭の K_p

出力 : N_{10}

$$N_{10} = K_p + 2 \times (5 + 1) + 1 = K_p + 13$$

...the fact that the *in vitro* and *in vivo* results are in good agreement.

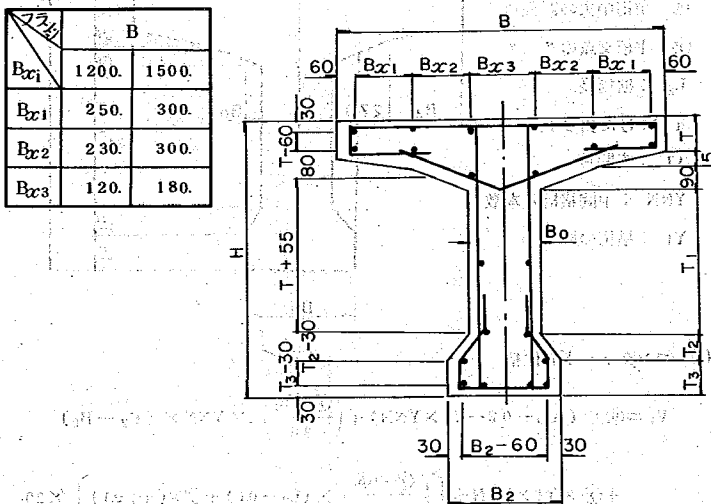
1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 26

置間隔

 T_2, T_3, B_2

B₂C₃

$\begin{matrix} \text{A} \\ \text{B} \end{matrix}$	B	
B_{x1}	1 200.	1 500.
B_{x1}	2 50.	300.
B_{x2}	2 30.	300.
B_{x3}	1 20.	180.

[illegible][illegible]

合、D16を用いる。

§ 3.6 主桁コンクリート体積、型枠、鉄筋量および主ケーブル長の決定

(i) 主桁1本当りのコンクリートおよび型枠(単位m)

入力: ⑥, ⑦, L_2 , a , AL , YNN , Y_t

出力: V_1 , F_1

⑥ 主桁中央の断面積

⑦ 主桁支点の " "

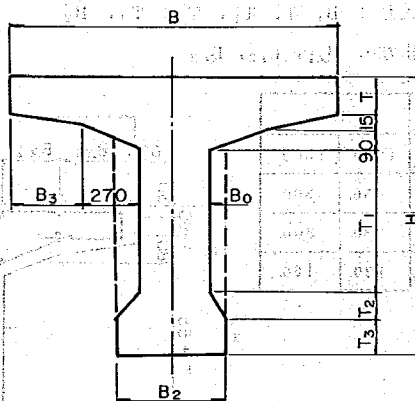
L_2 : 拡幅長

a : けた掛け長

AL : 支間長

YNN : 中間横桁の本数

Y_t : 横桁の厚さ



(a) コンクリートの体積

$$V_1 = ⑥ \times (AL - 0.2 - Y_t \times YNN) + \left(\frac{⑦ - ⑥}{2.0} \right) \times YNN \times (B_2 - B_0) \\ + ⑦ \times Y_t \times YNN + \left[\left(\frac{⑦ - ⑥}{2.0} \right) \times (L_2 - 0.1) + ⑦ \times (a + 0.1) \right] \times 2.0$$

(b) 型枠の面積

$$\text{上フランジ両サイド } F_s = 2.0 \times T \times (AL + 2.0 \times a)$$

$$\text{下フランジの底面 } F_B = B_2 \times (AL + 2.0 \times a)$$

$$\text{主桁両端面 } F_{SE} = ⑦ \times 2.0$$

$$\text{主桁中央部の側面 } F_{st}$$

$$\text{中央断面 } F_c = 2.0 \left\{ (B_3^2 + 0.015^2)^{\frac{1}{2}} + (0.27^2 + 0.09^2)^{\frac{1}{2}} + T_1 + \right.$$

$$\left. \left[T_2^2 + \left(\frac{B_2 - B_0}{2.0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + T_3 \right\}$$

$$\text{支断面 } F_{ss} = 2.0 \left\{ (B_3^2 + 0.015^2)^{\frac{1}{2}} + \left[\left(0.27 - \frac{B_2 - B_0}{2.0} \right)^2 + \left(0.09 - \frac{B_2 - B_0}{6.0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + H - T - 0.015 - 0.09 + \frac{B_2 - B_0}{6.0} \right\}$$

$$F_{st} = 2.0 \left(\frac{F_c + F_{ss}}{2.0} \right) (L_2 - 0.1) + F_c \times [AL - 2.0 (L_2 - 0.1) - (Y_1 + B_2 - B_0) YNN] + F_c \times (a + 0.1) \times 2.0$$

$$\text{横桁取り付け部 } F_Y = ((\text{㉞}-\text{㉟}) \times 2.0 + 2.0 \times Y_1 \times (T_2 + T_1 + \frac{(B_2 - B_0)}{2} \times \frac{1}{3})) \times YNN$$

$$F_t = F_s + F_B + F_{st} + F_Y$$

(ii) 主桁鉄筋長の決定 (単位mm) (1本当り)

入力: AL, L₂, H, T₂, T₃, B, T, B₀, GB, r, x,
L₃, L₁, B₂, BBL

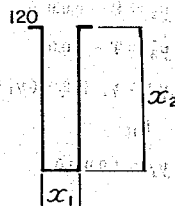
出力: x_ℓ

(a) ① D₁₃ (x₁, x₂, x_ℓ)

$$x_1 = B_0 - 60.0$$

$$x_2 = H - 60.0$$

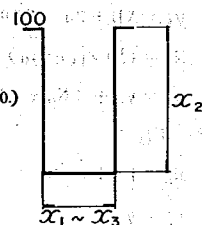
$$x_\ell = x_1 + 2.0 \times (x_2 + 120)$$



(b) ② D₁₃ (x₃, x_ℓ)

$$x_3 = B_2 - 60.0$$

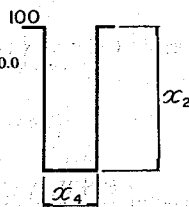
$$x_\ell = 0.5 \times (x_1 + x_3) + 2.0 \times (x_2 + 100)$$



(c) ③ $D_{13} \quad (x_4, x_\ell)$

$$x_4 = [(B_2 - B_0)/2.0 + B_0] - 60.0$$

$$x_\ell = x_4 + 2.0 \times (x_2 + 10.0)$$



(d) ④ D_{10}

$$x_5 = T_3 - 30.0$$

$$x_6 = T_2$$

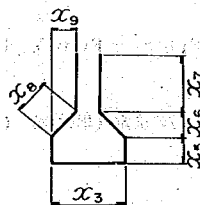
$$H < 150 \text{ cm} \quad x_7 = 270 \text{ mm}$$

$$H \geq 150 \quad x_7 = 320$$

$$x_9 = (x_3 - (B_0 - 60.0)) \times 0.5$$

$$x_8 = (x_9^2 + x_6^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$x_\ell = x_3 + 2.0 \times (x_7 + x_8 + x_5)$$



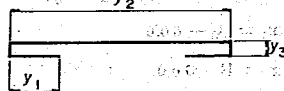
(e) ⑤ D_{13}

$$y_1 = (B - B_2) \times 0.5 - 60.0$$

$$y_2 = B - 90.0$$

$$y_3 = T - 60.0$$

$$y_\ell = y_2 + 2.0 (y_1 + y_3)$$



(f) ⑥ D_{10}

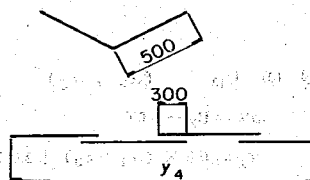
$$y_\ell = 1000.0$$

(g) ⑦ D_{13}

$$y_4 = AL + 2a - 50.0$$

$$N_p = (y_4 / 10000.0)$$

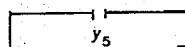
$$y_\ell = y_4 + (N_p + 1) \times 300.0$$



(h) ⑧ D_{13}

$$y_5 = L_2 + 300.0$$

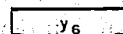
$$y_\ell = y_5$$



(i) ⑨ D_{10}

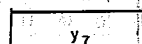
$$y_6 = B_2 + y + 300.0 \quad (y \text{ は横桁②の配置}$$

から受け渡し)



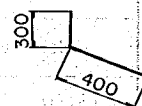
(j) ⑩ D_{13}

$$y_7 = BBL + 300.0$$



(k) ⑪ D_{10}

$$y_8 = 300.0 + 400.0 = 700.0$$



(l) ⑫ D_{10}

$$y_8 = x - 30.0$$

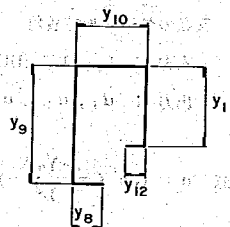
$$y_9 = r - 100.0$$

$$y_{10} = GB - 100.0$$

$$y_{11} = r - 50.0 - T$$

$$y_{12} = GB - x - 50.0$$

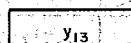
$$x_8 = y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12}$$



(m) ⑬ D_{10}

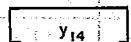
(y は横桁②の配置より受け渡し)

$$y_{13} = B_2 + 2.0 \times (y + 300.0)$$



(n) ⑭ D_{13}

$$y_{14} = y_7$$



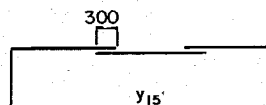
(o) ⑮ D_{10}

$$y_{15} = AL + 2a - 50.0$$

$$K = y_{15} / 100000$$

$$x_8 = y_{15} + (k + 1) \times 300.0$$

$$N_x = 5 \times 2 = 10$$



(III) 主ケーブル長の決定

(a) 桁高と PC 鋼線の曲げ上げ角の関係

入力 : H (cm)

出力 : θ_1, θ_2

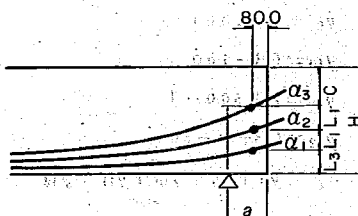
桁 高 H	角 度 (θ)	
H (cm)	度	rad.
$H \leq 110$	20	0.3490
$110 < H$	25	0.4363

(b) 支点のケーブル定着角

入力 : L_1, L_3, UU

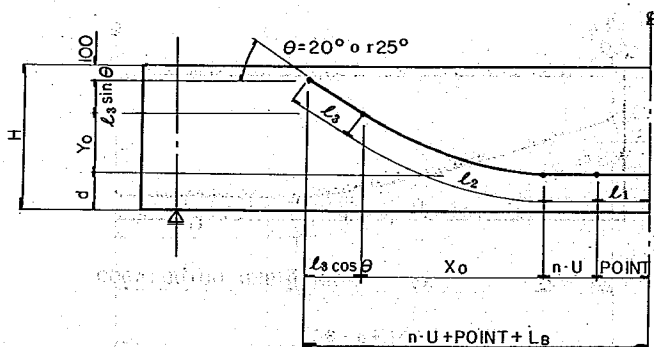
出力 : $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

$$\text{式 } \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2 \cdot Y_0 \cdot X}{L^2} \right)$$



定 着 角	数 式	計 算 式
α_1	$\tan^{-1} (2.0 \times L_3 \times (UU - 4.0) / UU^2)$	
α_2	$\tan^{-1} (2.0 \times (L_3 + L_1) \times (UU + 1.0) / (UU + 5.0)^2)$	
α_3	$\tan^{-1} (2.0 \times (L_3 + 2.0 \times L_1) \times (UU + 6.0) / (UU + 10.0)^2)$	

(c) 曲げ上げ定着の場合



$l_3 = 500$ 直線区間

$l_1 = \text{POINT} + n \cdot U$ (n : 第幾本目の曲げ上げかその番目数-1)

θ : 曲げ上げ角,

d : 曲げ上げケーブルの中心から下フランジ縁までの距離。

$$Y_0 = H - d - l_3 \sin \theta - 100$$

$$X_0 = (n \cdot U + \text{POINT} + L_B) - (n \cdot U + \text{POINT} + l_3 \cos \theta)$$

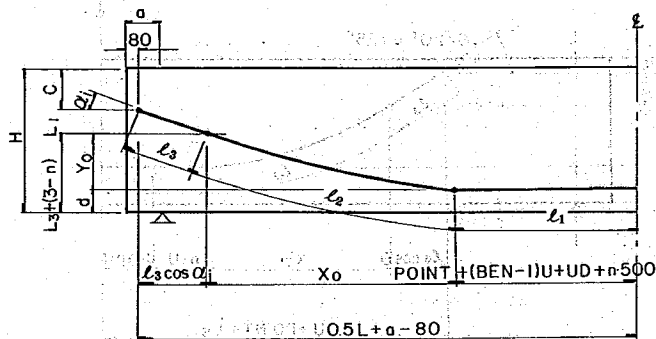
$$= L_B - l_3 \cos \theta$$

$$l_2 = X_0 + \Delta X_0$$

$$= X_0 + X_0 \left\{ \frac{2}{3} \left(\frac{Y_0}{X_0} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{Y_0}{X_0} \right)^4 + \dots \right\}$$

$$\therefore \text{曲げ上げケーブル長 } \Sigma l_i = (l_1 + l_2 + l_3) \times 2.0$$

(d) 端定着ケーブルの場合



$$l_3 = 500 \text{ (mm)}$$

α_i : i 段目の定着角度

n : 上から第幾段目の定着ケーブルかその段目の数-1

BEN : 曲げ上げ本数

a : けた掛け長

L : 支間長

H : けた高

$$l_1 = \text{POINT} + (\text{BEN} - 1) U + UD + n \cdot 500$$

$$Y_0 = H - C - d - n \cdot L_1 - l_3 \cdot \sin \alpha_i$$

$$X_0 = 0.5 \cdot L + a - 80 - (\text{POINT} + (\text{BEN} - 1) U + UD + n \cdot 500)$$

$$- l_3 \cos \alpha_i$$

$$l_2 = X_0 + X_0 \left\{ \frac{2}{3} \left(\frac{Y_0}{X_0} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{Y_0}{X_0} \right)^4 + \dots \right\}$$

$$\therefore \Sigma l_i = (l_1 + l_2 + l_3) \times 2.0$$

*ケーブル長はcmで4捨5入し端数をcmでそろえる。

§ 4. 床版の設計および図化システム

§ 3-2 ですでに述べたように主桁断面寸法の諸要素が不規則性を示しているものは桁高 H と上フランジ厚 T の両要素があるが H の決定についてはすでに § 3-2 で述べられているので残りの T の決定についてここで述べる。

床版の設計システムは § 2 PC ポステン桁の直接設計システムの構成から見られるように次の四つのモジュールシステムから成立っている。

- (1) 床版厚の決定
- (2) 床版の断面寸法
- (3) 床版の横締めケーブルの決定
- (4) 床版の鉄筋量の決定

床版の構成要素としては主桁上フランジ厚 T 、場所打ちコンクリート幅 BBL であるが地覆も床版の一部と考えてそれぞれについて決定することにした。

§ 4.1 床版厚の決定

床版厚を決定するに際し以下に挙げる 2 本の回帰式を想定して回帰分析を行うことにした。

但し T : 床版厚, ℓ : 支間長を表わす。

(i) 全幅員についての版厚と支間の回帰係数

$$y = a + bx \quad (y : T, \quad x : \ell)$$

表 (1-1)

支間 ℓ (cm) \ 回帰係数	a	b	F_0	t	r	n
$1400 \leq \ell \leq 2000$	18.5	0.0	0.0	0.0	0.108	88
$2000 < \ell \leq 3200$	19.136	0.0	0.0	0.0	0.088	132
$3200 < \ell \leq 4000$	19.309	-0.00006	0.085	-0.292	0.103	88

r : 相関係数

n : データの数

(ii) 版厚と支間と桁高の重回帰係数

$$y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2 \quad (y: T, \quad x_1: \ell, \quad x_2: H)$$

T: 床版厚, ℓ : 支間長, H: 桁高を表わす。

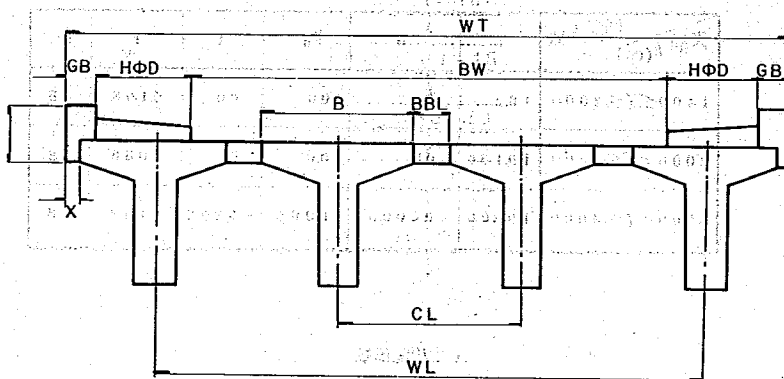
表 (ii-1)

支間 ℓ (cm) \ 回帰係数	a	b	c	t	F ₀	r	n
1400 $\leq \ell \leq$ 2000	18289	-0.00104	0.02153	2865	4105	0.258	88
2000 $< \ell \leq$ 3200	19433	-0.00298	0.153	6797	23138	0.503	132
3200 $< \ell \leq$ 4000	19727	-0.00119	0.0197	48602	12022	0.450	88

(iii) 前記の(i)項の回帰分析から見られる様に回帰係数bは殆んどゼロになっており、Tの値は切片aの値になる。またaの値はTの平均値を表わし各支間におけるその値は185~193の間に入るために、式の簡易化を考えてT=190cmを全支間について用いることにした。

§ 4.2 床版の断面寸法

床版の断面寸法の決定は次に示す幅員構成から主桁間隔を決めることにする。



(a) 地覆幅 (GB) cm

入力 : HOD

出力 : GB

歩道巾員 \ 地覆巾	GB (cm)
HOD=0.0	50.0
HOD≠0.0	40.0

(b) 総幅員WT

入力 : GB, HOD, BW

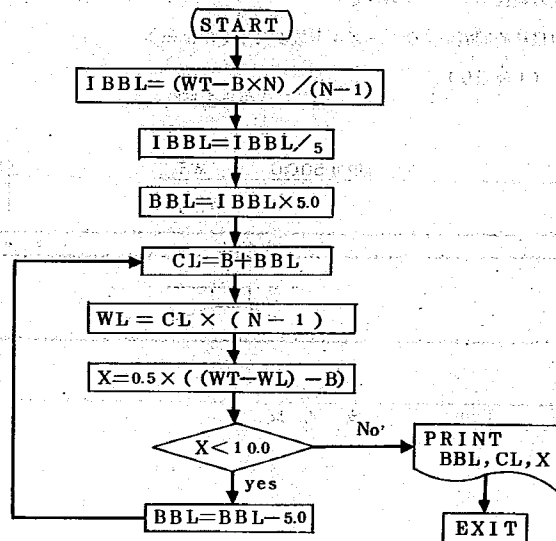
出力 : WT

$$WT = BW + 2.0 \times (HOD + GB)$$

(c) WT, B, NとBBL, CL, Xの関係

入力 : WT, B, N (N:主桁本数)

出力 : BBL, CL, X



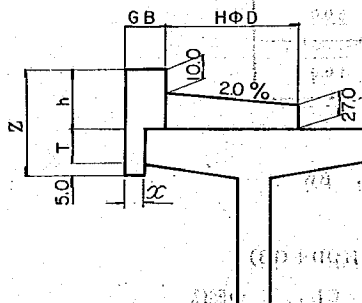
(d) 地覆高の決定

入力 : HOD, T (単位mm)

出力 : h, Z

$$h = 2.0 \times HOD + 27.0 + 10.0$$

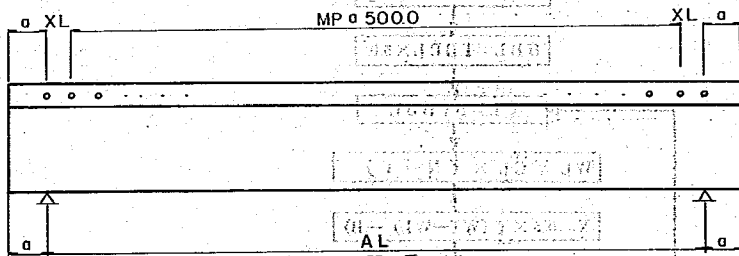
$$Z = 5.0 + T + h$$



§ 4.3 床版の横締めケーブルの決定

(a) 床版の横締め間隔およびケーブル本数の決定 (単位mm)

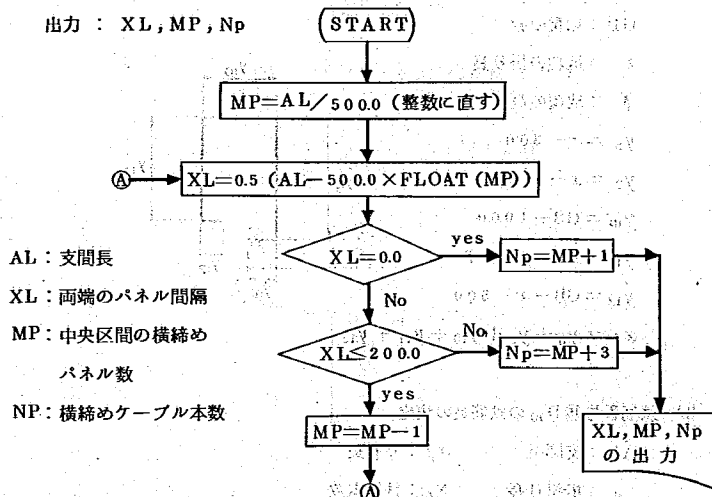
(1連当り)



(i) 横締め間隔, およびケーブル本数の決定

入力 : AL

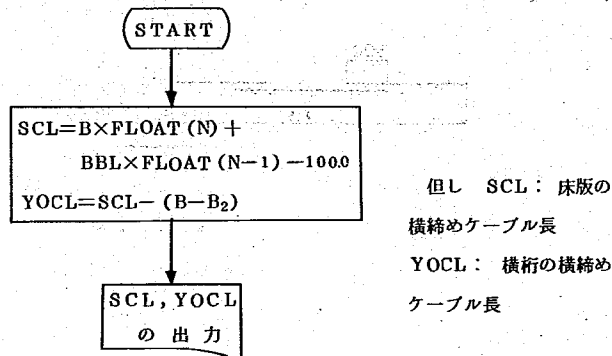
出力 : XL, MP, Np



(ii) 横締めケーブル長の決定

入力 : B, BBL, N, B₂

出力 : SCL, YOCL



* 横桁の横締めケーブル本数は横桁の本数に同じ。

§ 4.4 床版の鉄筋量の決定

(a) 鉄筋番号⑧ D₁₀ の鉄筋長の決定 (単位 mm)

GB : 地覆の幅

x : 地覆の掛り長

γ : 地覆の高さ

$$y_8 = x - 30.0$$

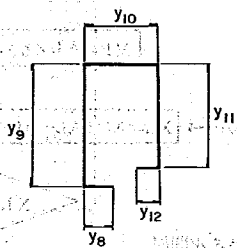
$$y_9 = r - 100.0$$

$$y_{10} = GB - 100.0$$

$$y_{11} = r - 50.0 + T$$

$$y_{12} = GB - x - 50.0$$

$$x_\ell = y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12}$$



(b) 鉄筋番号⑨ D₁₀ の鉄筋長の決定

AL : 支間長

x_ℓ : 鉄筋長

a : 桁掛り長

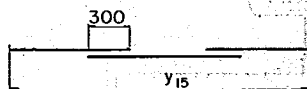
N_x : 鉄筋本数

$$y_{15} = AL + 2 \cdot a - 50.0$$

$$K = y_{15} / 10000.0$$

$$x_\ell = y_{15} + (K + 1) \times 300.0$$

$$N_x = 5 \times 2 = 10$$



§ 5. 横桁の設計および図化システム

§ 5.1 横桁本数および間隔の決定

(a) 中間横桁本数の決定 (YNN)

入力 : L

出力 : YNN

支間 ℓ (cm)	中間横桁 本数 (YNN)
$L \leq 2000$	1
$2000 < L \leq 3000$	2
$3000 < L$	3

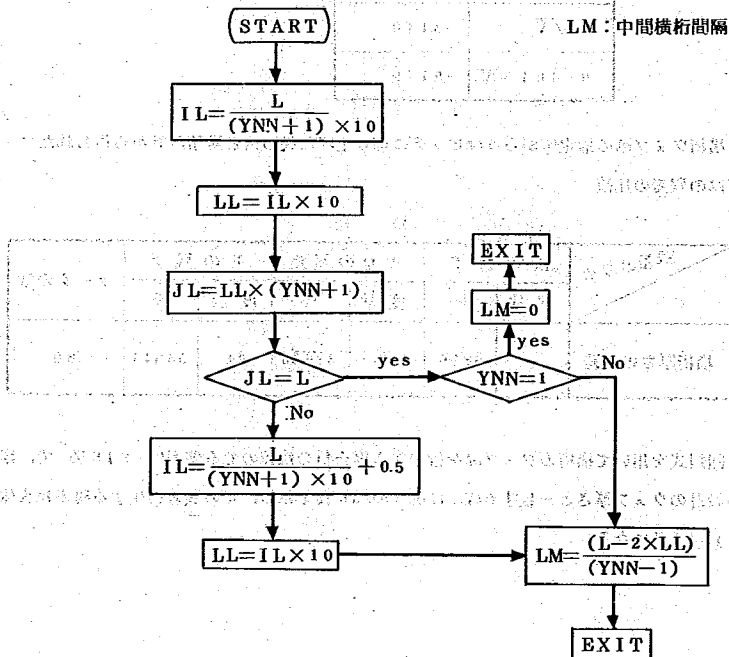
(b) 横桁間隔の決定

入力 : L, YNN

出力 : LL, LM

$L_\ell = LL$: 端部横桁間隔

$L_m = LM$: 中間横桁間隔



§ 5.2 横桁の断面寸法の決定

横桁のウェブ厚に影響を与えると思われる要素は支間 L と幅員 W であるため横桁のウェブ厚の回帰式を次のように置いた。

$$Y_t = a + b \cdot L + c \cdot W \quad (5.2-1)$$

支間分け $L > 2000$ の場合の Y_t は全部 25 cm を用いているため回帰分析は第1支間分け $1400 \leq L \leq 2000$ だけについて行なった。その結果を示すと

$$Y_t = 4.234462 - 0.01432 \cdot L + 0.01281 \cdot W$$

残 差 の 値

最 大 値	7.250 (cm)
最 小 値	-7.196
不偏分散 V	9.858
$\sqrt{V}$	3.140
$\mu - 1.64 \sqrt{V}$	-5.149

横桁ウェブ厚の推定値から 5 cm ピッチに切り上げた後の値と累積設計から得られたウェブ厚の残差の比較

残 差

残差の度数	負の残差		ゼロの残差		正の残差		データの数
	度数	%	度数	%	度数	%	
横桁厚さの残差	6	6.818	34	38.636	48	54.546	88

回帰式を用いて横桁のウェブ厚を推定する場合負の残差の生ずる確率は 6.818% で、累積設計のウェブ厚さと一致する確率は約 38.636% を示し、正の残差の生ずる確率は大体 54.546% になる。

中間横桁の厚さ y_t の決定式

$1400 \leq L \leq 2000$	$y_t = 4234462 - 0.01432 \cdot L + 0.01281 \cdot W$
-------------------------	---

$$I_{y1} = (y_t + 5.149) / 5.0$$

$$y_t = 50 \times I_{y1}$$

$2000 < L \leq 4000$	$y_t = 250$
----------------------	-------------

§ 5.3 横桁の横締め本数およびケーブル長の決定

(a) 横桁の横締めケーブル本数は

$$N_y = YNN + 20$$

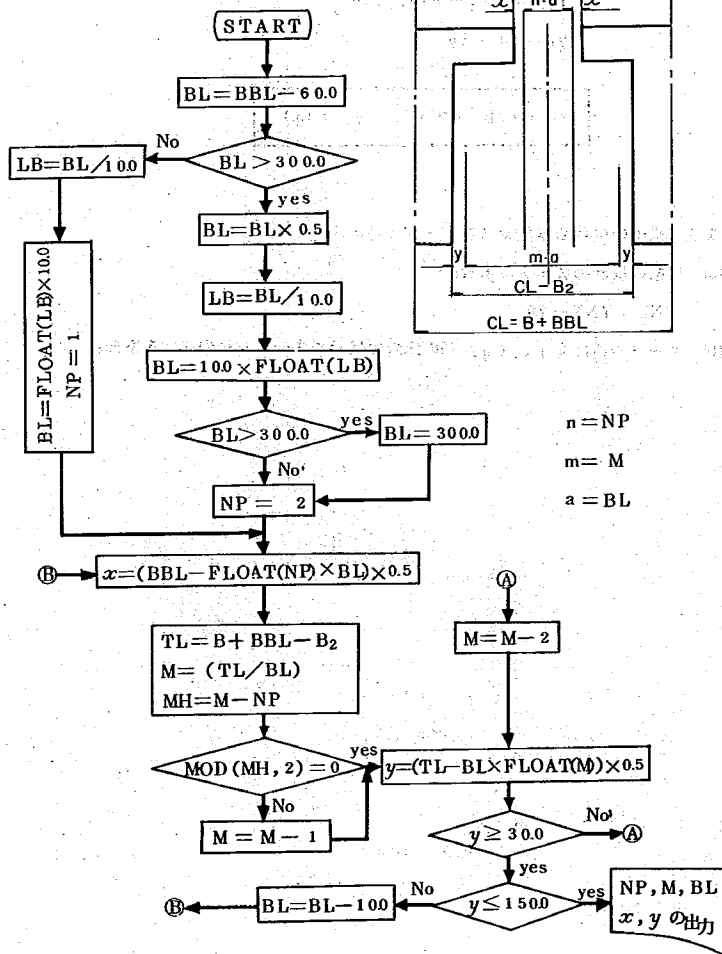
(b) ケーブル長は § 4.3 (a) 項の床版の横締めケーブル長の決定を参照。

§ 5.4 横桁鉄筋の配置および鉄筋量の決定

(a) 横桁鉄筋②, ③の配置 (単位mm)

入力 : B, BBL, B₂ ←下フランジ幅

出力 : NP, M, BL, x, y



(b) 横桁の鉄筋長および本数の決定 (1本当たり)

横桁の本数
横桁の厚さ 下フランジ高

入力: BBL, CL, H, T, AL, Y_1 , YNN, T_3 , a, N

出力: x_g (長さ), N_c (本数)

けり長

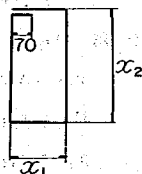
(a) ② D₁₀ (M, NPは横桁②, ②の配置より)

$$x_1 = a + 40.0$$

$$x_2 = XL \text{ (主桁②より受け渡し)}$$

$$x_3 = 2.0 \times (x_1 + x_2) + 70.0$$

$$N_c = \text{FLOAT}(N-1) \times 2.0 \times \text{FLOAT}(M-NP)$$

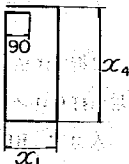


(b) ② D₁₀ (NPは横桁②, ②の配置より)

$$x_4 = H - 60.0$$

$$x_g = 2.0 \times (x_1 + x_4) + 90.0$$

$$N_c = \text{FLOAT}(N-1) \times 2.0 \times \text{FLOAT}(NP+1)$$



(c) ② D₁₀

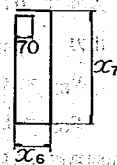
$$XT = H - T - T_3 - 10.5, NT = XT / 300.0$$

$$x_6 = Y_1 - 60.0$$

$$x_7 = XT$$

$$x_g = 2.0 \times (x_6 + x_7) + 70.0$$

$$N_c = \text{FLOAT}(N-1) \times \text{FLOAT}(M-NP)$$

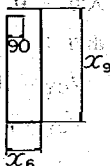


(d) ② D₁₀

$$x_9 = H - T_3 - 60.0$$

$$x_g = 2.0 \times (x_6 + x_9) + 90.0$$

$$N_c = \text{FLOAT}(N-1) \times \text{FLOAT}(NP+1)$$

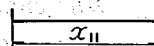


- (e) ⑭ D₁₀ (主桁⑥のKを使用, y は横桁②の配置より)

$$x_{11} = (CL - B_2 - 2.0 \times y)$$

$$N_x = (K+1) \times 2 \times (N-1) \times 2 + 2 \times (K+1) \times (N-1) \times YNN$$

$$= 2 \times (K+1) \times (N-1) \times (YNN+2)$$



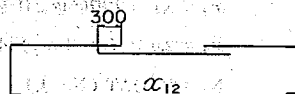
- (f) ⑮ D₁₃

$$x_{12} = AL + 2a - 50.0$$

$$K = x_{12} / 10090.0$$

$$x_{\ell} = x_{12} + (K+1) \times 3000.0$$

$$N_x = 2 \times (N_p + 1) \times (N-1)$$



*以上求められた鉄筋長はすべてcm単位で4捨5入し5cmピッチの端数に丸める。

§ 5.5 横桁の体積および型枠

- (a) 場所打ちコンクリートの体積および型枠(1本当り)

$$\text{入力: } BBL, T, a, AL$$

$$\text{出力: } V_{BBL}, F_{BBL}$$

$$V_{BBL} = BBL \times T \times (AL + 2.0 \times a)$$

$$F_{BBL} = BBL \times (AL + 2.0 \times a)$$

- (b) 端横桁の体積および型枠(1本当り)

$$\text{入力: } H, CL \text{ (主桁間隔)}, \phi, a, N \text{ (主桁本数)}, BBL, T$$

$$\text{出力: } V_{SE}, F_{SE}$$

$$V_{SE} = (H \times CL - \phi - BBL \times T) \times (a + 0.1) \times (N-1)$$

$$F_{SE} = \{2.0 \times (H \times CL - \phi - BBL \times T) + (CL - B_2) \times (a + 0.1)\} \times (N-1.0)$$

- (c) 中間横桁の体積および型枠(1本当り)

$$\text{入力: } H, CL, T_3, BBL, T, \phi, B_2, Y_1, N, YNN$$

$$\text{出力: } V_{CY}, F_{CY}$$

$$V_{CY} = \{H \times CL - \phi - BBL \times T - (CL - B_2) \times T_3\} \times Y_1 \times (N-1.0)$$

$$F_{CY} = \{ \{H \times CL - \phi - BBL \times T - (CL - B_2) \times T_3\} \times 2.0 + (CL - B_2) \times Y_1 \} \times (N-1.0)$$

§ 6. 材料の総括

§ 6.1 主げたの材料 (1連当り)

(a) コンクリートの体積 (m³)

入力 : N (主桁本数), V_1

出力 : V_{IT}

$$V_{IT} = V_1 \times \text{FLOAT}(N)$$

(b) PC 鋼線の長さ (m) および重さ (t)

入力 : Φ_c (ケーブルの Φ), $b\ell t$, $e\ell t$, NPC , BEN (曲げ上げケーブル本数), N

出力 : ℓ_{ct} , W_{GT} 整数

$$NM = NPC - BEN$$

$$\ell_{ct} = \left(\sum_{j=1}^{BEN} b\ell t_j + \sum_{k=1}^{NM} e\ell t_k \right) \times N$$

$$\text{ケーブルの単位重量} \begin{cases} \Phi_c = 5 \text{ 鋼} & U_c = 0.1541 \text{ Kg/m} \times 12 \\ \Phi_c = 7 \text{ 鋼} & U_c = 0.3021 \text{ Kg/m} \times 12 \end{cases}$$

$$W_{ct} = U_c \times \ell_{ct} / 10000$$

(c) シースの長さ (m)

入力 : Φ_c , ℓ_{ct}

出力 : Φ_s , ℓ_s (Φ_s : シースの径)

$$\begin{cases} \Phi_c = 5 \text{ 鋼} & \Phi_s = 35 \text{ 鋼} \\ \Phi_c = 7 \text{ 鋼} & \Phi_s = 45 \text{ 鋼} \end{cases}$$

$$\ell_s = \ell_{ct}$$

(d) グラウト量 (m³)

入力 : Φ_s , ℓ_{ct}

出力 : V_G

$$\begin{cases} \Phi_s = 35 \text{ 鋼} & A_{SHS} = 0.000963 \text{ m}^2 \\ \Phi_s = 45 \text{ 鋼} & A_{SHS} = 0.00159 \text{ m}^2 \end{cases}$$

$$V_G = A_{SHS} \times \ell_{ct}$$

(e) 型枠 (㎡)

上フランジ側面及び両桁端面 $(F_S + F_{SE}) \times \text{FLOAT} (N)$

横桁とり付け部 $F_Y \times \text{FLOAT} (N)$

主グタ (その他) $(F_B + F_{st}) \times \text{FLOAT} (N)$

(f) 定着具 (個数)

主ケーブル用 $2.0 \times \text{NPC} \times \text{FLOAT} (N)$

横締め用 $\text{NP} + \text{YNN} + 2.0$ (但し NP: 床版の横締め本数)

YNN: 中間横桁本数

(g) 鉄筋の重さ (t)

端げた $R_{WE} \times 2.0$

中げた $R_{WI} \times (N - 2.0)$ ^{実数}

但し R_{WE} : 端桁1本当りの鉄筋重量

R_{WI} : 中げた " " "

§ 6.2 横桁、床版の材料 (1連当り)

(a) コンクリートの体積 (㎡)

入力: $V_{BBL}, V_{SE}, V_{CY}, \text{YNN}, N$

出力: V_{SY}

$$V_{SY} = V_{BBL} \times (N - 1) + 2.0 \times V_{SE} + V_{CY} \times \text{YNN}$$

(b) PC 鋼線の長さ (m) 及び重量 (t)

入力: $SCL, YOCL, \text{YNN}, \text{NP}$

出力: ℓ_{Yt}, W_{Yc}

$$\ell_{Yt} = SCL \times \text{NP} + YOCL \times (\text{YNN} + 2.0)$$

$$W_{Yc} = 0.1541 \times \ell_{Yt} \times 12.0 / 1000.0$$

(c) シースの長さ (m) (シースのΦは35.φを用いる)

入力: ℓ_{Yt}

出力: ℓ_{shs}

$$\ell_{shs} = \ell_{Yt}$$

(d) グラウトの量 (m³)

入力 : ℓ_{Yt}

出力 : V_{GY}

$$V_{GY} = 0.000963 \times \ell_{Yt}$$

(e) 型枠 (m²)

入力 : F_{BBL} , F_{SE} , F_{CY} , N , YNN

出力 : F_{ZE}

$$F_{ZE} = F_{BBL} \times (N - 1.) + 2.0 \times F_{SE} + F_{CY} \times YNN$$

(f) 鉄筋量

入力 : R_Y (横桁1本当りの鉄筋重量), YNN

出力 : R_{Yt}

$$R_{Yt} = R_Y \times (YNN + 2.0)$$

§ 6.3 橋面工 (1連当り)

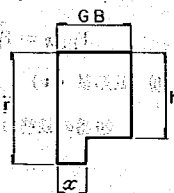
(a) 地覆の体積および型枠 (両側)

入力 : GB , r , x , T , AL , a , h

出力 : V_H , F_H

$$V_H = 2.0 [GB \times r - (r - h) \times (GB - x)] \times (AL + 2.0 \times a)$$

$$F_H = (r + x + 0.5 + h) \times (AL + 2.0 \times a) \times 2.0$$



(b) 歩道の体積および型枠 (両側)

入力 : AL , a , HS (片側の場合 $HS=1.0$, 両側の場合 $HS=2.0$), HOD

出力 : V_{SW} , F_{SW}

$$V_{SW} = [(HOD \times \frac{2.0}{100} + 0.27) + 0.27] \times HOD \times (AL + 2.0 \times a) \times HS$$

$$F_{SW} = 0.27 \times (AL + 2.0 \times a) \times HS$$

(c) 舗装の面積 (1連当り)

入力 : BW (本線幅), AL , a , HOD , HS

出力 : Fas , Faw (歩道)

$$Fas = BW \times (AL + 2.0 \times a)$$

$$Faw = HOD \times (AL + 2.0 \times a) \times HS$$

Fas : 車道 (側帯を含む)

Faw : 歩道の舗装面積

(d) 舗装

(i) 車道 (側帯を含む) (㎡)

Fas

(ii) 歩道 (㎡)

Faw

(e) 地 覆

(i) コンクリート量 (歩道部のコンクリート量を含む) (㎡)

入力 : V_H, V_{sw}

出力 : V_{HSW}

$$V_{HSW} = V_H + V_{sw}$$

(ii) 型枠 (㎡)

入力 : F_H, F_{sw}

出力 : F_{HSW}

$$F_{HSW} = F_H + F_{sw}$$

(iii) 鉄筋量 (t)

②番の鉄筋の重さ

§ 7. 図化方式の検討

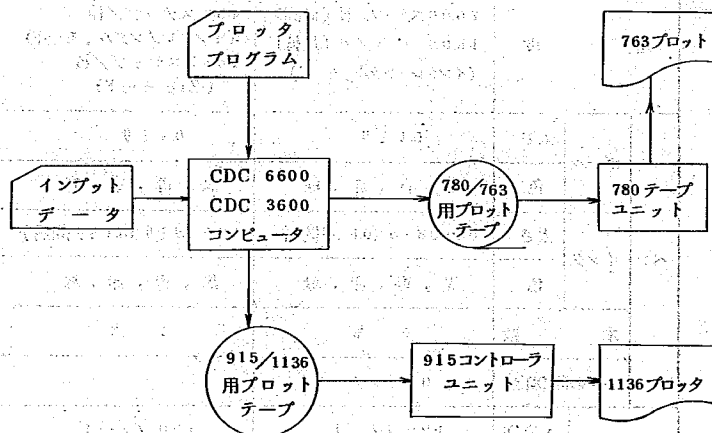
直接設計の図化方式を大きく分けて以下の4つの方式が考えられる。

- (i) 大型計算機とプロッターの組み合わせ方式
- (ii) 中型計算機以下とプロッターの組み合わせ方式
- (iii) COMシステムによる方式
- (iv) カリキュレーターによる方式

各図化方式のシステムの構成、およびそれぞれの特徴を検討してみることにする。

(i) 大型計算機とプロッターの組み合わせ方式

この図化方式は従来行なわれている方法で、計算機のCPUとしてコアの容量は少なくとも32K以上のものでなければならない。そのシステムの構成図を示すと



CALCOMP 915/1136, 780/763 プロットイングシステム

システムの 特徴

名 称		CALCOMP 1136	CALCOMP 763	
形 式		ド ラ ム	ド ラ ム	
最 大 プロット幅	X方向	約120フィート	約120フィート	
	Y方向	33インチ	29.5インチ	
オペレーション		8方向+2 (ペンアップ, ペンダウン) =10	16方向 (fullステップ) +8 方向 (halfステップ) +2 (ペン アップ, ペンダウン) =26	
1 ステ ッ プ		0.05ミリ	0.005 インチ (fullステップ) 0.0025インチ (halfステップ)	
速 度		2600ステップ/秒 (最高) 1800 " /" (最低) (インクレメンタルモード)	450 ステップ/秒 (インクレメンタルモード) 1687 ステップ/秒 (Zip モード)	
ペン	ボール	太さ	0.1ミリ	0.1ミリ
		色	黒, 青, 赤, 緑	黒, 青, 赤, 緑
	インク	太さ	0.2~0.8ミリ (0.1ミリ間隔)	0.2~0.8ミリ (0.1ミリ間隔)
		色	黒, 青, 赤, 緑	黒, 青, 赤, 緑
	本 数		3 本	1 本
	ペンの間の距離		0.6 インチ	
紙の大きさ		X方向	120フィート	120フィート
		Y方向	13インチ又は36インチ	12インチ又は30インチ

CALCOMP 1136 と 763 システムを比較して見ればY方向のプロットする幅は前者の方が広く、オペレーションする数も少なく、速度の面も763 システムより速くプロットできる。ただし1ステップによるきざみが太く0.05 ミリになっていて763 システムの0.005ミリより性能がおちるが総合的に見れば1136システムの方がすぐれている。(ii)中型計算機以下とプロッターの組み合わせ方式についてはコンピューターシス

システムのCPUのコアーの容量が32K以下コンピューターと(i)で述べたプロッターシステムから構成されるもので、特徴と性能は大体(i)のシステムに似ているがソフトの開発の際プログラムを分割し、それぞれのプログラムで処理し、結果として総合的に処理して行けば大型計算の処理能力に似た処理能力を持つことになる。

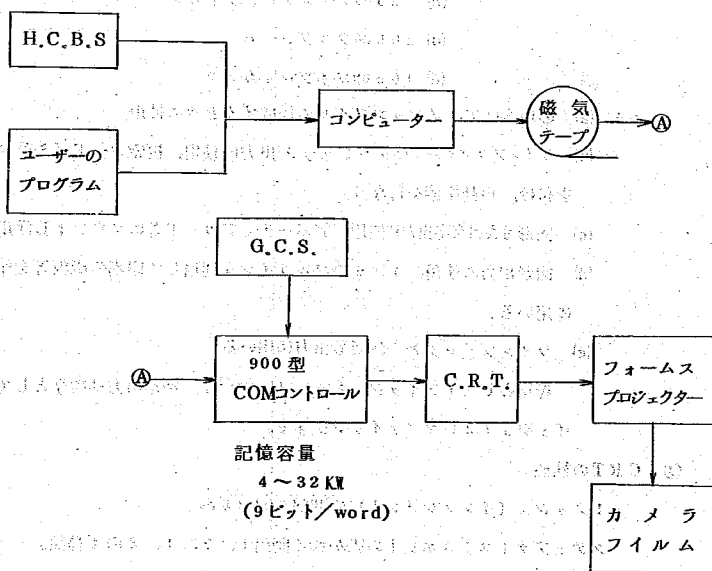
(iii) COMシステムによる方式

このシステムを採用するに際し計算機は中型以上のものに適用し、システムの構成を示すと次のようになる。

H.C.B.S: Host Computer Basic Software.

C.R.T: Cathode Ray Tube.

G.C.S: Graphic Control Software.



このシステムは Host Computer Basic Software を利用して磁気テープ情報をCOM入力用コマンドに作り出し、その情報をコントロールしてプロット出力する。この場合の出力はテレビのブラウン管と同様の機能を持つCRTを通してX、Y座標上にポイントを置き、ドットを作り、ビームを走らせ画像を画く出力するフォームはあらか

はじめフィルムに合ったフォームを設計しフォームスプロジェクターにセットし、CRT
からの画像とオーバーレイさせマイクロフィルムに出力する。

① テープの性能：磁気テープ装置（937型）

読取り速度 60 kc/sec

記録密度 200, 556, 800 bpi

コード IBM --- } BCDコード, EBCDIC
CDC --- } ASCII

トラック数 7トラックと9トラック

② カメラの種類および性能：(a) 16mmスプロケットカメラ

(b) 16mmノンズプロケットカメラ

(c) 35mmノンズプロケットカメラ

(d) 105mmフルフレーム

(e) 105mmフィツシュカメラ

カメラ (a) の場合はアニメーションフィルム作成するときに使用

(b) ラインプリンタおよびグラフィック出力に使用、検索コード（ミラコード）
を付け、自動検索を行なう。

(c) 図形または文字出力に使用、アパーチャカード等にマウントし活用する。

(d) 図形出力に使用、4"×6"のフルサイズを利用して印刷の原版等を作るの
に用いる。

(e) ラインプリンタおよび図形出力に用いる。

標準として1フィッシュ80, 224コマ、図形出力は標準として1フ
イッシュ72コマファイリングする。

③ CRTの性能

1メッシュ（インCREMENT）の間隔0.0048mm

ステップサイズ：スポットの置かれる間隔1, 2, 4, 8の4種類。

スポットサイズ：ドットの大きさを云い、1ドット0.02mm

スポットスピード：500,000インCREMENT/sec

図形の画ける範囲：

X=16353インCREMENT

Y=12561 "

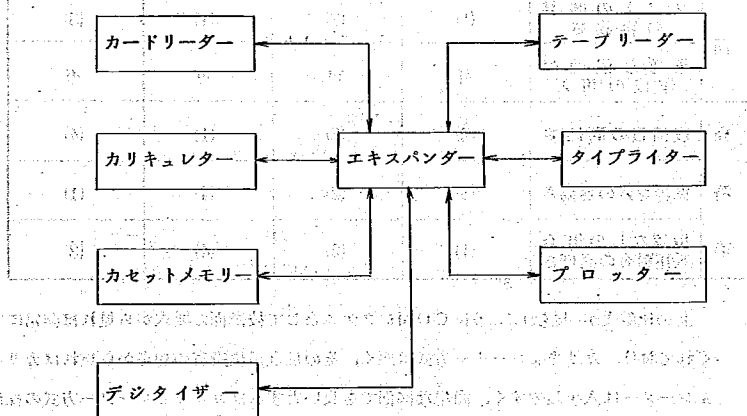
35 ■ スプロケットフィルム

X=12379 インCREMENT

Y=8005

(Ⅳ) カリキュレーターによる方式

小型計算機で最大メモリは8 K以下のもので周辺機器の接続によって小規模のプロットまたは計算ができる方式でそのシステムの構成を示すと以下のようになる。



エキスパンダーによって周辺機器を接続し計算機の機能を多様化するシステムの構成になっている。

特徴：メモリの増設が可能

熱ペン式ラインプリンター

高速なテーブリーダ

周辺機器の接続が容易

機器の購入が容易

欠点：メモリが小さい、プロッタの精度が悪い、ソフトの開発が繁雑になる。細かい図面が画けない。

以上述べたそれぞれの図化方式の性能と特徴を総合的に技術面と経済面で比較検討して見ることにする。

(1), (2), ……は順位を表わす。

図化方式の比較表

図化方式 項目		大型計算機 プロッタ	中型計算機 プロッタ	COMシステム	カリキュレーター
技術面	精密さ	(2)	(3)	(1)	(4)
	速度	(2)	(3)	(1)	(4)
	ソフトの開発の容易さ	(1)	(2)	(1)	(3)
	複雑な図面の作成の可否	可	可	可	否
経済面	設備費の高価さ	(2)	(3)	(1)	(4)
	機器導入の容易さ	(3)	(2)	(4)	(1)
	機器なしの場合使用料金の高価さ	(1)	(2)	(4)	(3)

上の比較表から見られるようにCOMシステムとして技術面の要求から見れば非常にすぐれており、カリキュレーター方式は悪く、その反面設備投資の観点から見ればカリキュレーターは入手しやすく、簡単な図面でも良いとすればカリキュレーター方式の採用が考えられる。機械の持っていない場合ユーザーの図化使用料金としてCOMシステムの方が安く、大型計算機によるプロッタの方が高くなる。また図化のソフトを開発する場合、COMシステムと大型計算機によるプロッタ方式は比較的容易に作成できるが、中型計算機では難しくなり、カリキュレーター方式ではメモリが小さいためにソフトが複雑になり開発の工期が長びき工費も高くなることが予想される。

§ 8 P.C.ポステン単純T桁橋の直接設計プログラム

§ 8.1 プログラムの概要

P.C.ポステン単純T桁橋の直接設計は今まで行なわれて来た累積設計を更に簡素化して自動設計を行なうもので、この直接設計のプログラムを使用するに当たっての適用範囲、入力データおよびその出力を以下に述べる。

(1) 適用範囲

- (a) 支 間: 14 m ~ 40 m
- (b) 幅 員: 両側歩道幅員、片側歩道幅員または歩道幅員なしの総幅員 6.00 m ~ 12.50 m まで。
- (c) 橋 格: 1等橋 (なお、大型車交通量 1000 台/日以上、未滿についても考慮してある)
- (d) 斜 角: 左、右 60° まで。

(2) 入 力

- (a) 支 間 長: ℓ
- (b) 幅 員: 歩道幅員、車線幅員
- 荷 重: 大型車交通量に対するコントロールデータ

(3) 出 力

- (a) 設計計算書: 主桁本数、横桁本数、主ケーブル本数、主桁断面形状、場所打ちコンクリート幅、横桁間隔、主桁間隔、拡張長、横桁ウェブ厚、断面常数、主桁鉄筋量、横桁鉄筋量およびP.C.鋼線の長さ、作業時の緊張応力度、材料その他。
(約 10 頁)

(b) 図 面

- (i) 主桁断面寸法、設計条件、中央断面、支点断面の諸常数の表。
- (ii) P.C.鋼線の配置、中央、端断面のケーブルの配置、ケーブル曲げ上げ諸値、ケーブル配置諸値およびプレストレッシングに必要な諸定数の表。
- (iii) 主桁の配筋図、耳栓と中桁断面の配筋図および鉄筋表。床版の横締めケーブルの配置。
- (iv) 横桁の中央断面、端断面の配筋図、横締めプレストレッシングに必要な常数表、および横桁の鉄筋表。
- (iv) 各鉄筋番号の加工図、主桁 1 本当りの材料表、床版横桁および橋面工の材料表。

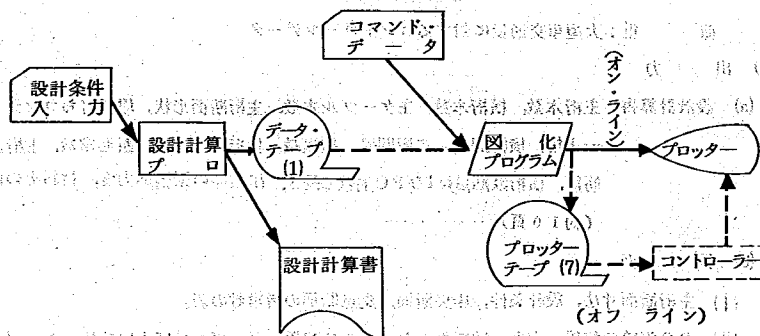
(4) 入出力に用いる電算システム

プログラムを実行するにはプロッターをオン・ラインで使用するときはデーターW/RにM.T.Uを1台、オフ・ラインで使用する時はデーターW/Rとプロッター出力に2台の

データ・テープのW/Rは前頁の(i)~(v)の5ブロックに大要分けることができる。

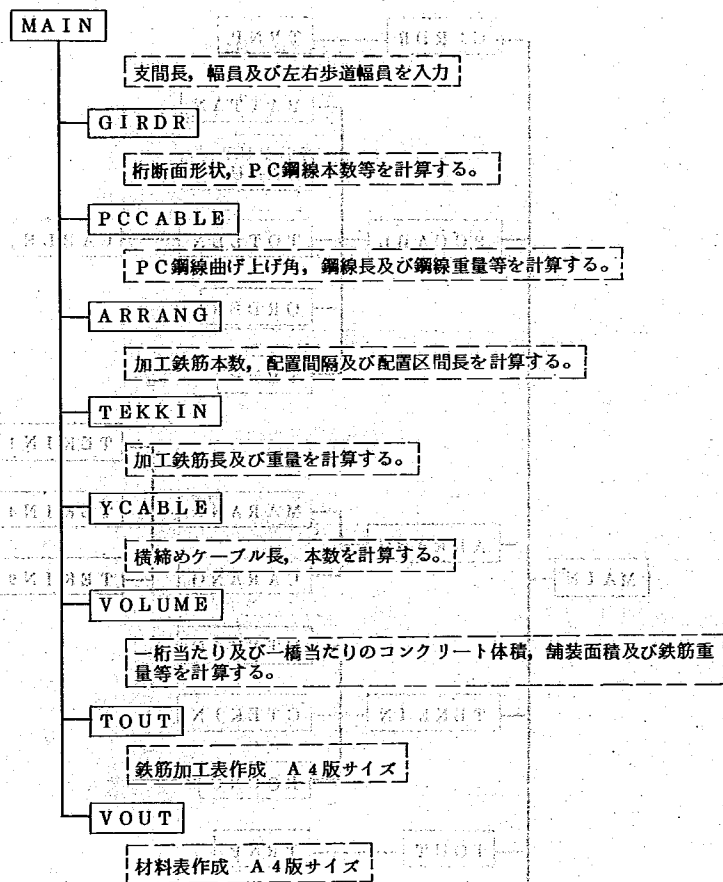
Block	M.T.にWriteする サブルーチン	M.T.をReadする サブルーチン
I	GIRDR	INPUTA
II	PCCABL	" B
III	TOUT	" C
IV	YCABLE	" D
V	MAIN & VOUT	" E

概略流れ図

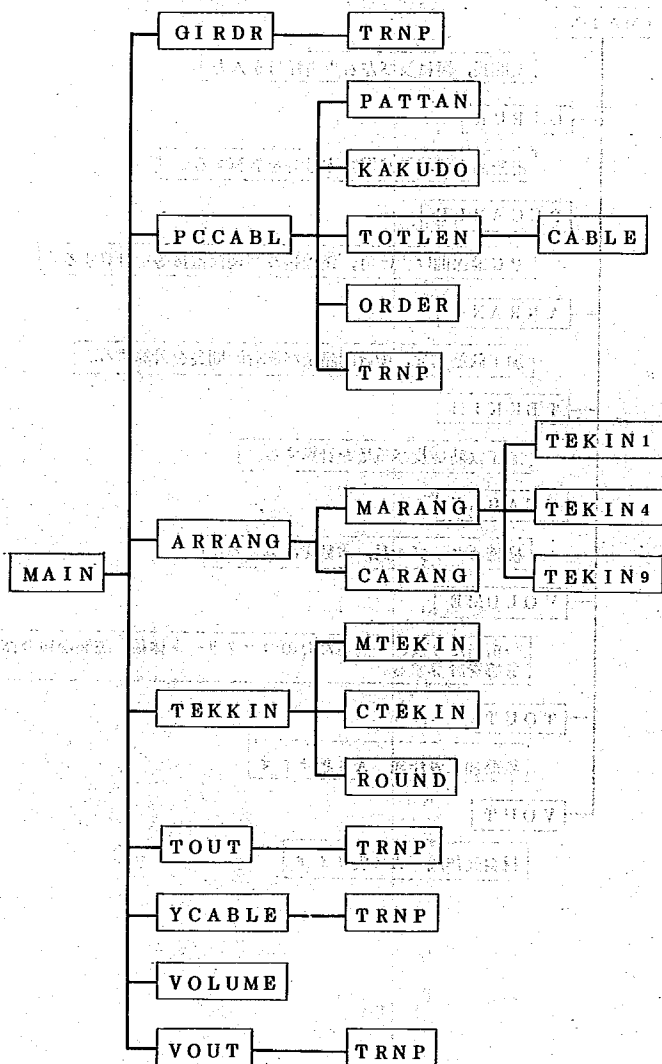


8.2 設計プログラム

(1) 設計プログラム流れ図



(a) プログラムのブロックチャート



(b) 各サブルーチン・コア占有容量

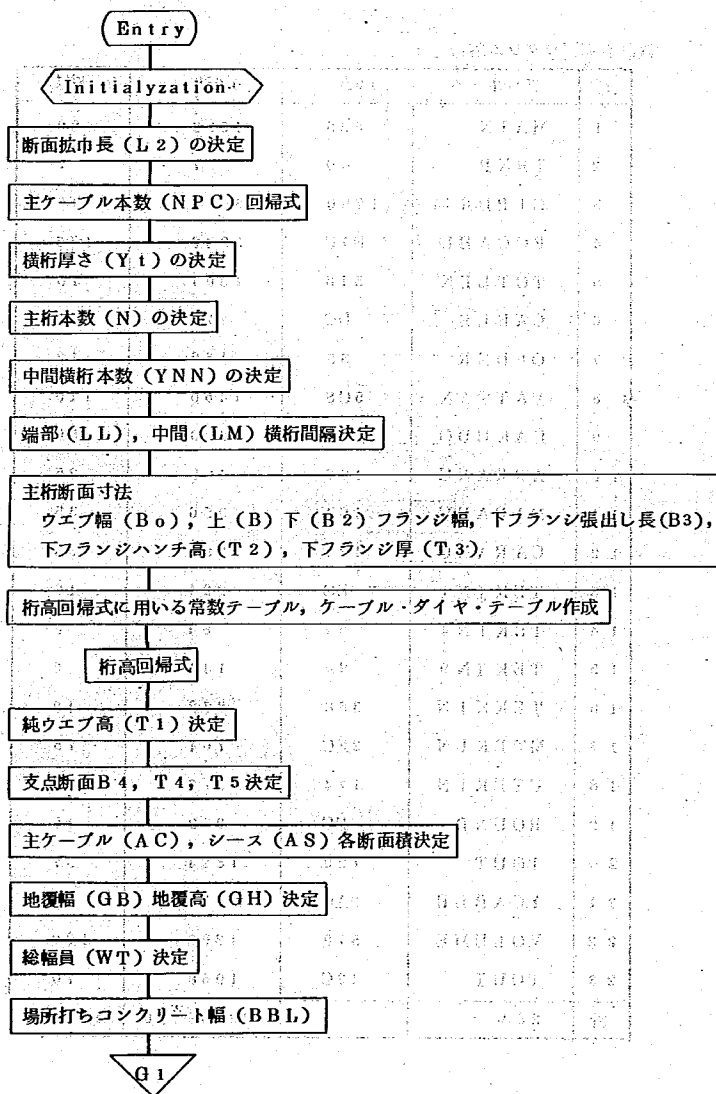
FACOM 270-30 ($1^W = 16^{bits}$ 構成) でロード・モジュールを作った時のリロケートブル・コア占有容量で表示すると次のとおりである。

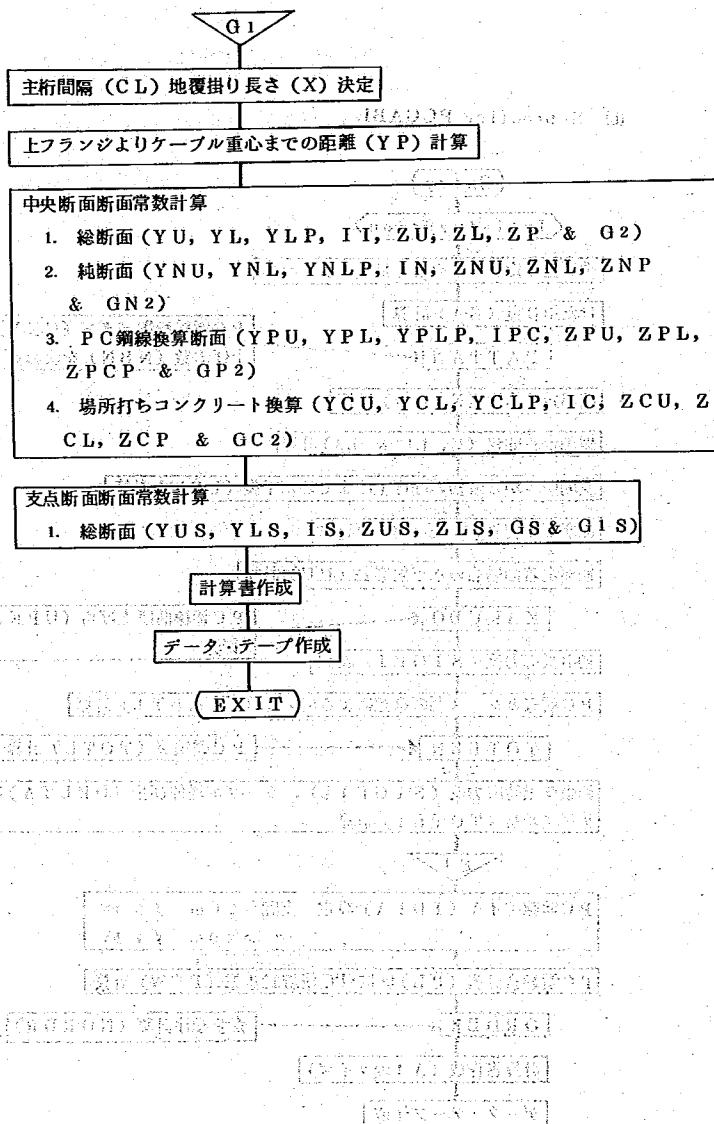
設計計算プログラム容量

№	プロネーム	16進	10進	カード枚数
1	MAIN	638	1592	80
2	TRNP	60	7	7
3	GIRDR	1780	6016	410
4	PCCABL	B7C	2940	175
5	TOTLEN	518	1304	70
6	CABLE	DC	220	14
7	ORDER	88	136	12
8	PATTAN	5C8	1480	110
9	KAKUDO	398	920	50
10	ARRANG	198	408	25
11	MARANG	164	356	35
12	CARANG	124	292	35
13	TEKIN1	EO	224	16
14	TEKIN4	54	84	8
15	TEKIN9	90	144	6
16	TEKKIN	368	872	42
17	MTEKIN	2FC	764	75
18	CTEKIN	174	372	40
19	ROUND	FC	252	15
20	TOUT	720	1824	97
21	YCABLE	2AO	672	50
22	VOLUME	570	1392	100
23	TOUT	42C	1068	70
計	23本		23339 ^{W10}	1542枚

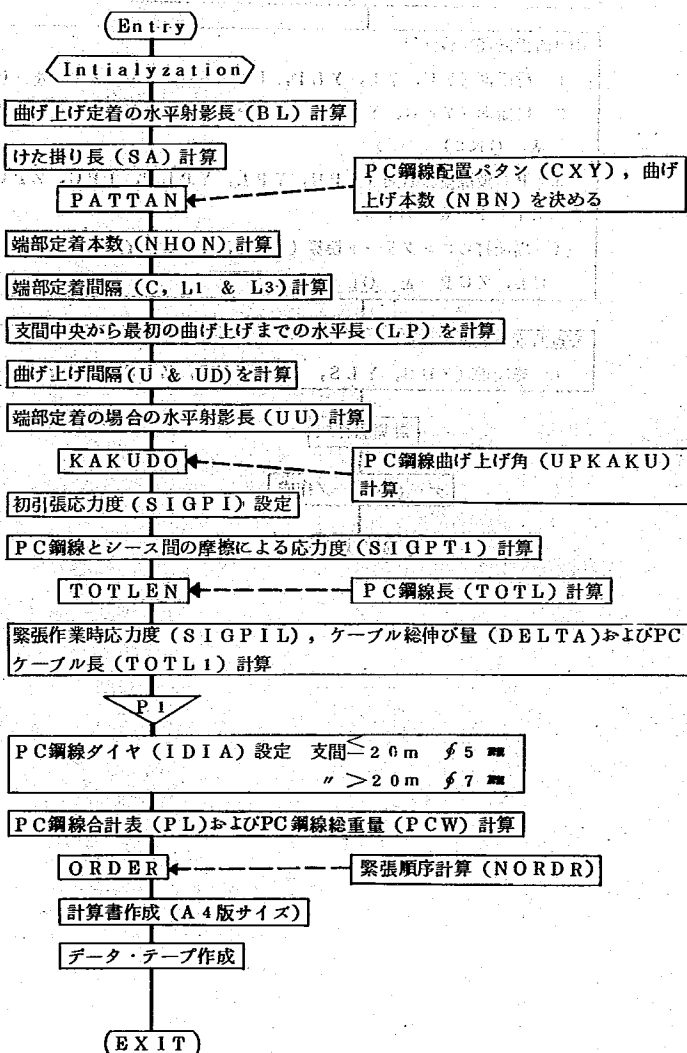
(2) 各サブルーチンの流れ図

(a) Subroutine GIRDR

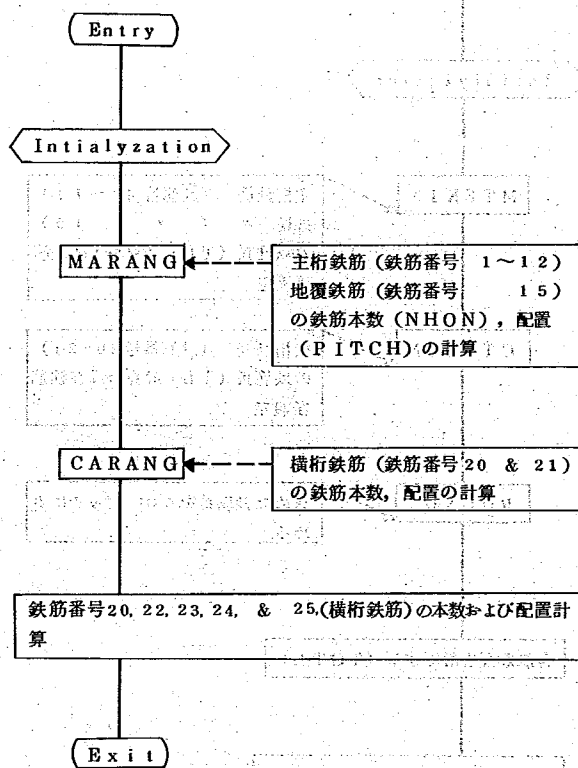




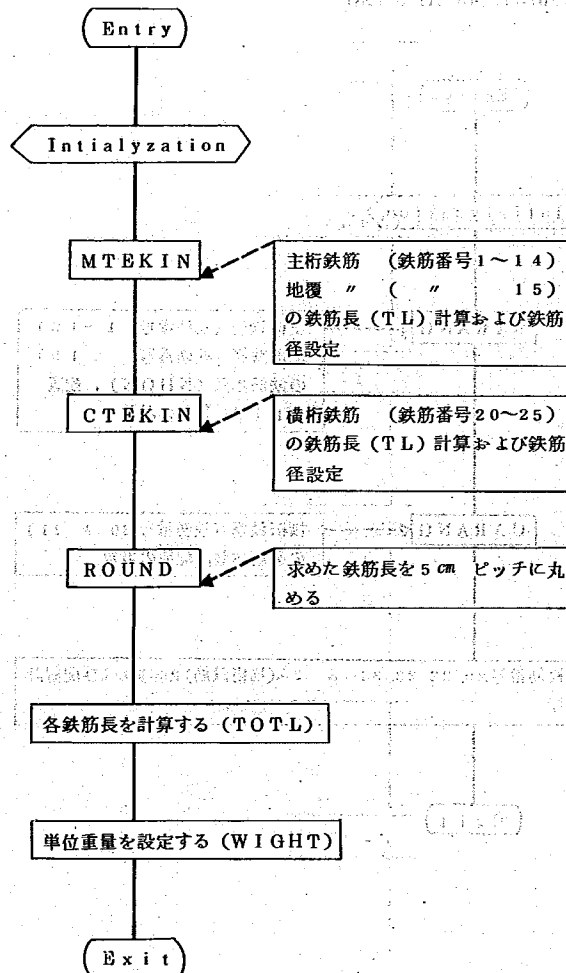
(b) Subroutine PCCABL



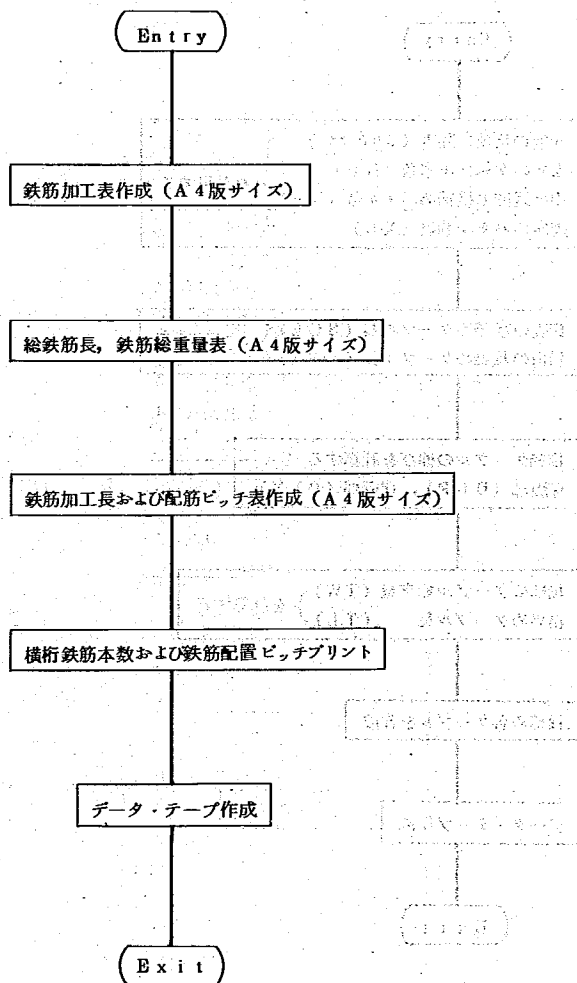
(c) Subroutine ARRANG



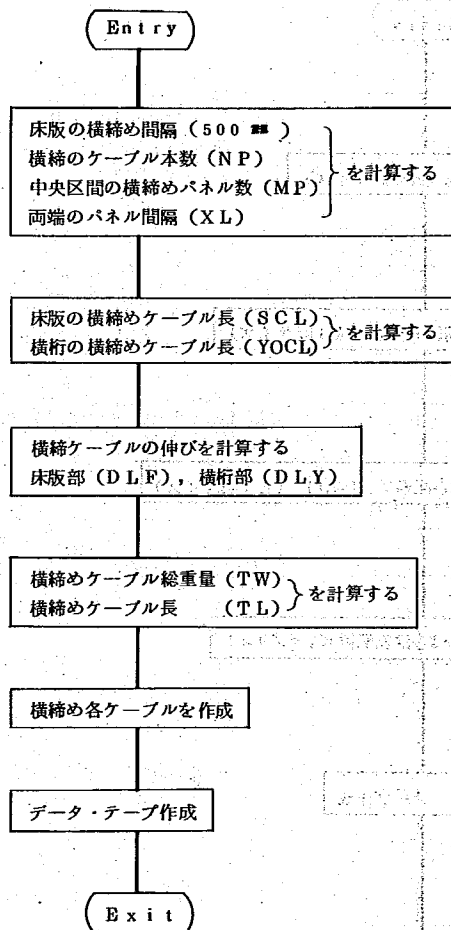
(d) Subroutine TEKKIN



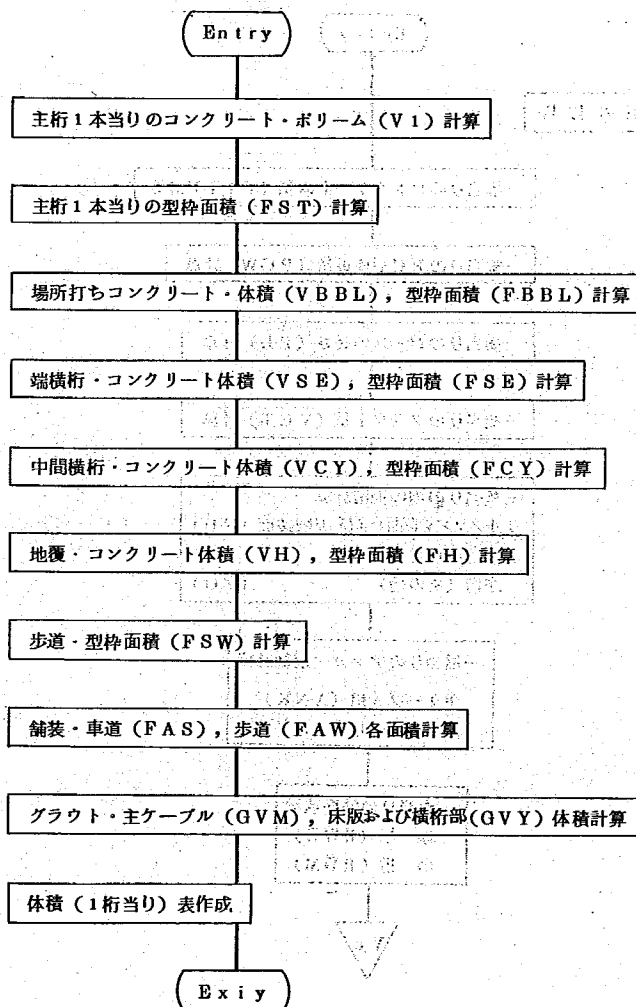
(c) Subroutine TOUT



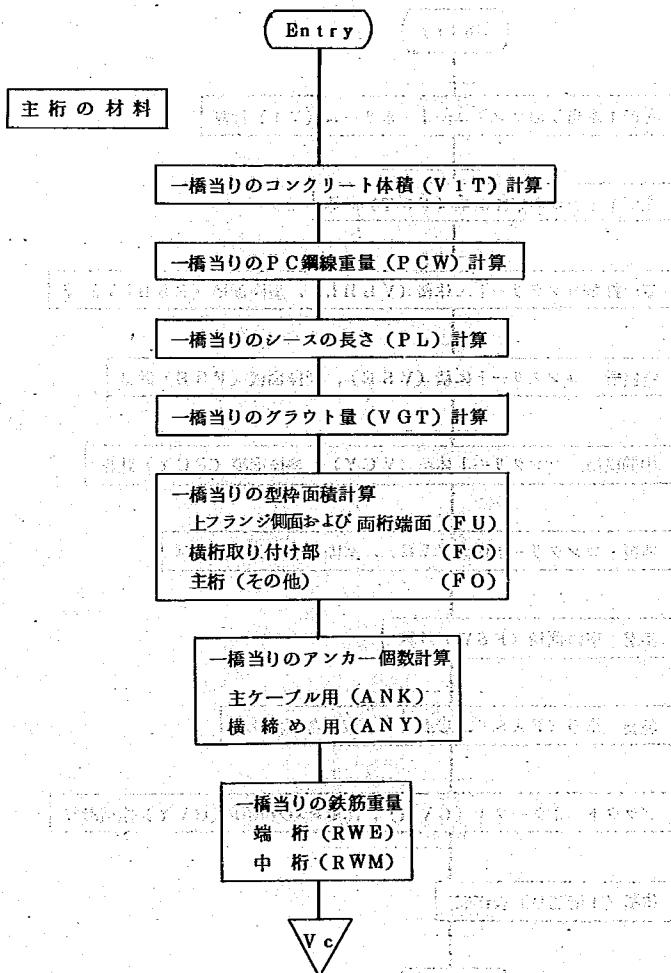
(f) Subroutine YCABLE



(g) Subroutine VOLUME



(h) Subroutine VOUT



V_c

横桁、床版の材料

一橋当りの横桁コシクリート体積 (V_{SY}) 計算

一橋当りのPC鋼線重量 (TW) 計算

一橋当りのシーす長さ (TLY) 計算

一橋当りのグラウト量 (VGY) 計算

一橋当りの型枠面積 (FZE) 計算

一橋当りの鉄筋重量 (TWY) 計算

橋 面 工

一橋当りの歩道 (FAW) および車道 (FAW) 各舗装面積計算

一橋当りの地覆のコンクリート量 (VH), 型枠面積 (FH)
および鉄筋重量 ($T26$) 計算

一橋当りの材料表作成 (A4版サイズ)

Exit

§ 8.3 図化プログラム

(1) プログラムの概要

(a) 図化プログラムのボタン化

直接設計の各独立したモジュールシステムの図化に際し図化に必要なパラメーターを抽出しそれを設計々算の結果から受け渡すようにした。各図化システムに必要なパラメーターを以下に挙げる。

- 図化システム 1. ℓ , W , HOD , WT , H , T , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5
 B_0 , B , B_2 , B_3 , B_4 および中次断面, 支点断面の断面定数等。
- 図化システム 2. NPC , BEN , C , L_1 , L_3 , 曲げ上げ角 θ , α
 $POINT$, U , UD , UU , L_2 , a , LU , ケーブル緊張順序, 緊張作業時の応力, 伸び量, ケーブル長。
- 図化システム 3. 鉄筋番号①～⑮までの配筋ピッチ, 鉄筋のダイヤ, 長さ, および本数。床版の横締めケーブルの配置ピッチ。
- 図化システム 4. 横桁の鉄筋の配置間隔, 鉄筋番号②～⑳までの鉄筋ダイヤ, 配置間隔, 長さ及び本数。横桁および床版の横締め時の緊張作業時の応力, 伸び量, ケーブルの長さおよび本数。
- 図化システム 5. 鉄筋番号①～㉔までの鉄筋長, 主桁一本当りの材料, 主桁横桁床版一連当りの材料。

(b) 入力データ

各図に対して, 描画するか (= 0), しなないか (= 1) の条件コマンドを与える。

(c) 図画サイズ

各図共B4版 (350 × 260) サイズとし, サイズ変更は不可
ペンの種類は1種類のみを使用している。

(d) 作図に必要な基本プロッタ・プログラム

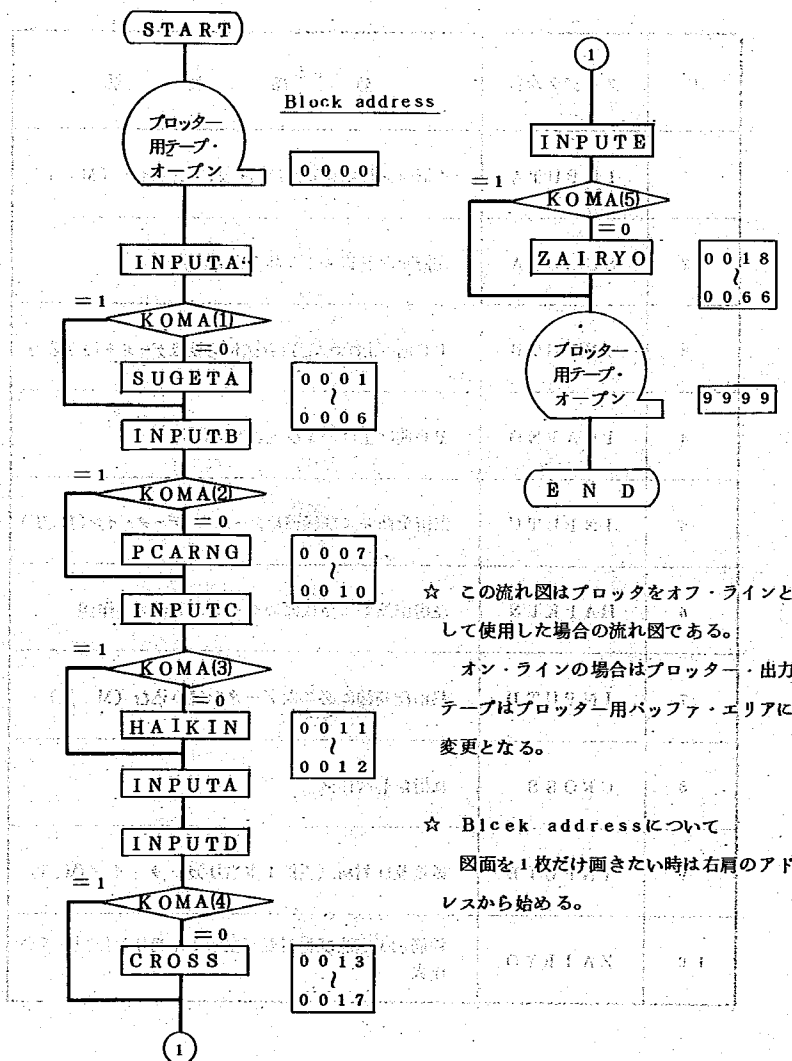
PLOTS, PLOT, NUMBER, SYMBOL and FACTOR

(e) 作図に必要なデータは総てM. Tベース

(f) 本プログラムの開発に使用したプロッター・システム

メーカー	カルコン社
モデル	925/1036
ペン最小ステップ	0.05 / Step
紙 幅	通常Y方向86cm X方向36m

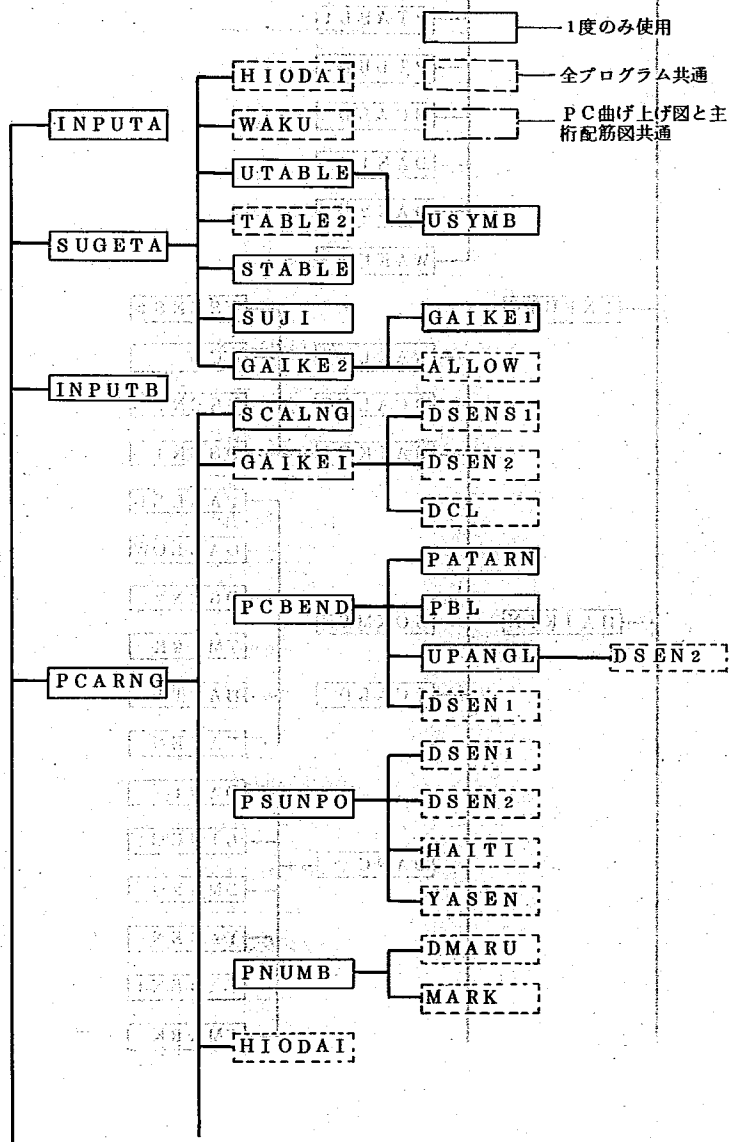
(2) 図化プログラム概略流れ図

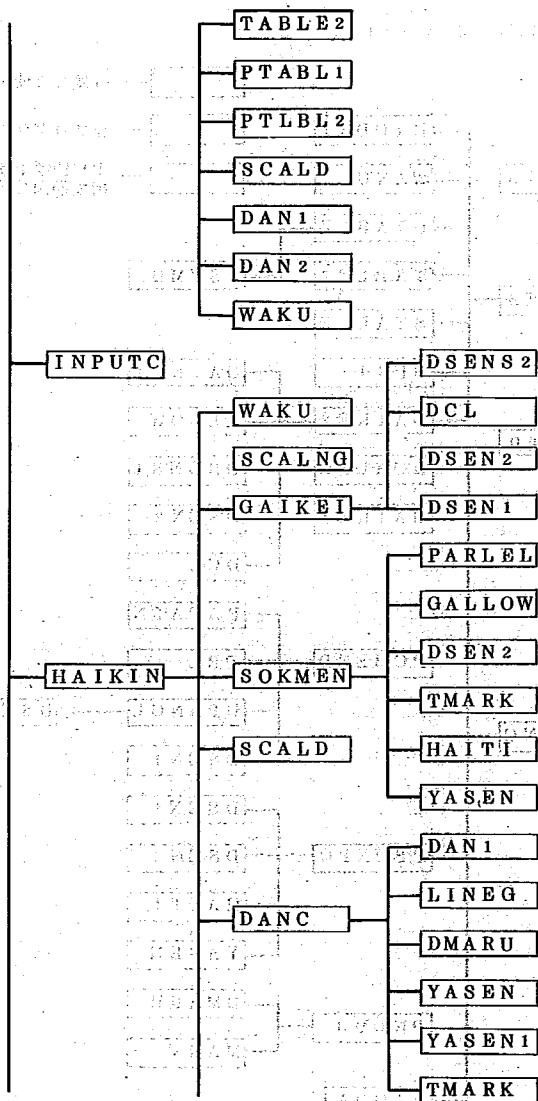


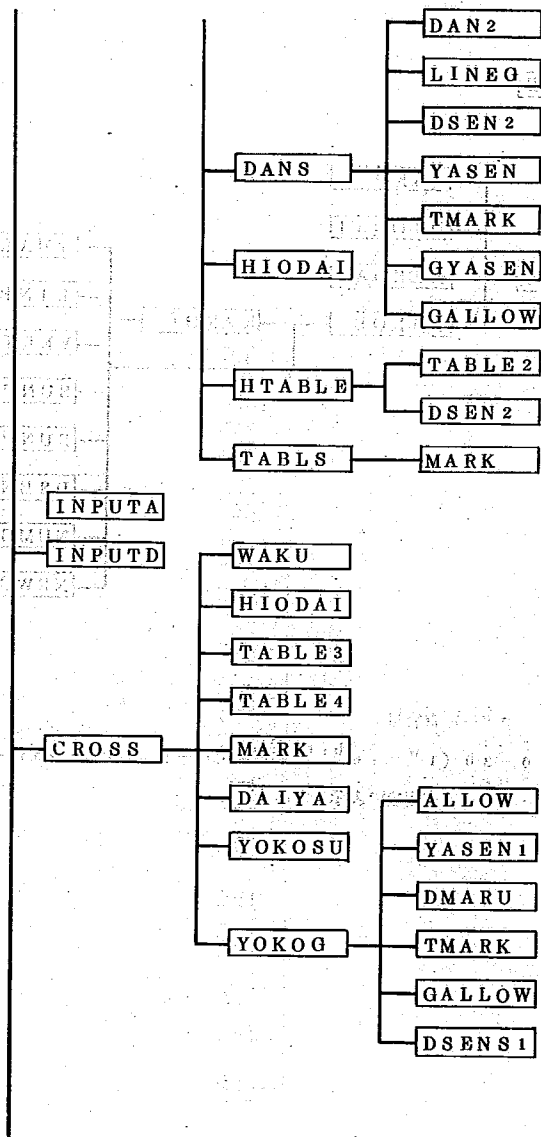
各プログラム説明

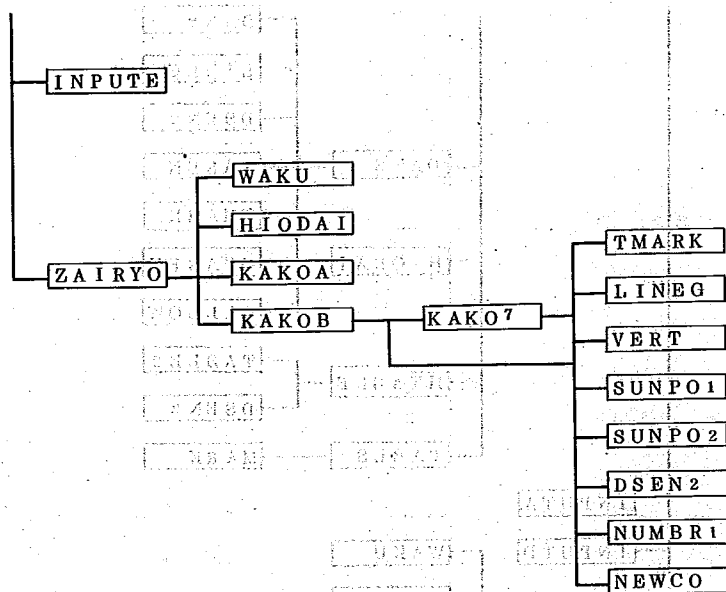
№	プログラム名	処 理 説 明
1	INPUTA	主桁断面形状および断面常数データ・イン (M. T)
2	SUGETA	主桁断面形状および断面常数の作図
3	INPUTB	PC曲げ上げおよび定着図に必要なデータを読み込む
4	PCARNG	PC曲げ上げおよび定着図の作図
5	INPUTC	主桁配筋および横締めケーブル データ・イン (M. T)
6	HAIKIN	主桁配筋および横締めケーブル配置図の作図
7	INPUTD	横桁配筋図に必要なデータを読み込む (M. T)
8	CROSS	横桁配筋図作図
9	INPUTE	鉄筋及び材料 (主桁1本当り) データ・イン (M. T)
10	ZAIRYO	鉄筋加工図及び材料表 (主桁1本当り) 作図および作表

(3) プログラムのブロック チャート









(4) 各サブルーチン・コア占有容量

FACOM270-30 ($1^w = 16$ bits 構成)でロード・モジュールを作った時のリロケートブル・コア占有容量で表示してある。

図化 共通サブルーチン容量- (1)

No	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	ALLOW	110	272	20
2	GALLOW	BC	188	20
3	YASEN	98	152	10
4	YASEN1	A8	168	10
5	KAKUDO	194	404	23
6	DCL	7C	124	10
7	MARK	98	152	15
8	DMARU	E4	228	30
9	TMARK	188	392	37
10	YOKOSU	CC	204	14
11	SUNPO1	27C	636	43
12	SUNPO2	11C	284	24
13	HAITI	420	1056	92
14	DSEN1	30	48	4
15	DSEN2	38	56	5
16	LINEG	134	308	16
17	PARLEL	6C	108	13
18	DSENT2	134	308	30
19	DSENS1	184	388	44
20	WAKU	DC	208	20
21	TABLE2	130	304	25
22	HIODAI	F8	248	15
23	VERT	158	344	30
24	NEWCO	64	100	10
25	NUMBR1	180	384	30
計 25本			7064 ^w ₁₀	590枚

図化 共通サブルーチン容量- (2)

No	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	DAN1	634	1588	120
2	DAN2	668	1640	120
3	SCALNG	80	128	10
4	SCALD	58	88	8
5	GAIKEI	14C	332	23
計 5本			3776 ^w ₁₀	281枚

主桁断面図プログラム容量

№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	SUGETA	320	800	50
2	TABLE1	228	552	36
3	SUJI	AC	172	10
4	GAIKE1	BC	188	10
5	GAIKE2	8D0	2256	114
6	UTABLE	114	276	35
7	STABLE	B8	184	20
8	USYMB	70	112	10
	計 8本		4530 ^W ₁₀	285枚

PC鋼線曲げ上げ図プログラム容量

№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	PCARNG	388	905	90
2	PCBEND	950	2384	92
3	PATARN	134	308	25
4	PBL	198	408	22
5	UPANGL	170	368	34
6	PSUNPO	578	1400	130
7	PNUMB	254	596	56
8	PTABL1	174	372	30
9	PTABL2	134	308	20
	計 9本		7049 ^W ₁₀	499枚

側面図配筋プログラム容量

№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	HAIKIN	1F0	496	64
2	SOKMEN	768	1896	158
3	DANC	A18	2584	184
4	DANS	D30	3376	260
5	HTABLE	16C	364	50
6	TABLS	1E4	484	36
	計 6本		9200 ^W ₁₀	752枚

横断断面図プログラム容量

№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	CROSS	528	1320	110
2	YOKOSU	118	280	16
3	DAIYA	64	100	7
4	INDAT	394	916	60
5	YOKOG	FF0	4080	206
6	TABLE3	170	368	32
7	TABLE4	1C0	448	40
	計 7本		7512 ^w ₁₀	471枚

鉄筋加工図プログラム容量

№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	ZAIRYO	30C	780	73
2	KAKOA	5FC	1532	135
3	KAKOB	D5C	3420	280
4	KAKO7	D8	216	21
5	TABLE5	1E0	480	34
6	TABLE6	184	388	26
	計 6本		6816 ^w ₁₀	569枚

入力サブルーチン容量

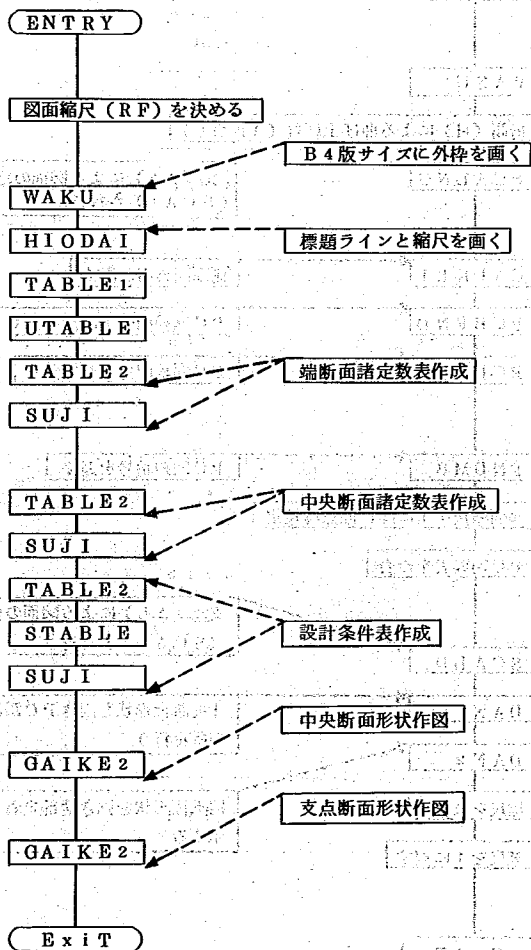
№	プロネーム	16進数	10進数	カード枚数
1	INPUTA	330	816	70
2	INPUTB	270	624	40
3	INPUTC	228	552	27
4	INPUTD	1C4	452	28
5	INPUTE	16C	364	13
	計 5本		2808 ^w ₁₀	178枚

図化プログラム容量総括

プログラム・ネーム	必要ワード数 1w=16bits	カード枚数
図化 共通サブルーチン(1)	7,064	590
" (2)	3,776	281
主 桁 断 面 図	4,530	285
P・C 銅線曲げ上げ図	7,049	499
側 面 図 配 筋	9,200	752
横 桁 断 面 図	7,512	471
鉄 筋 加 工 図	6,816	569
入力サブルーチン	2,808	178
プロッター・システム (B a s i c)	3,436	
合 計	52,191	3,625

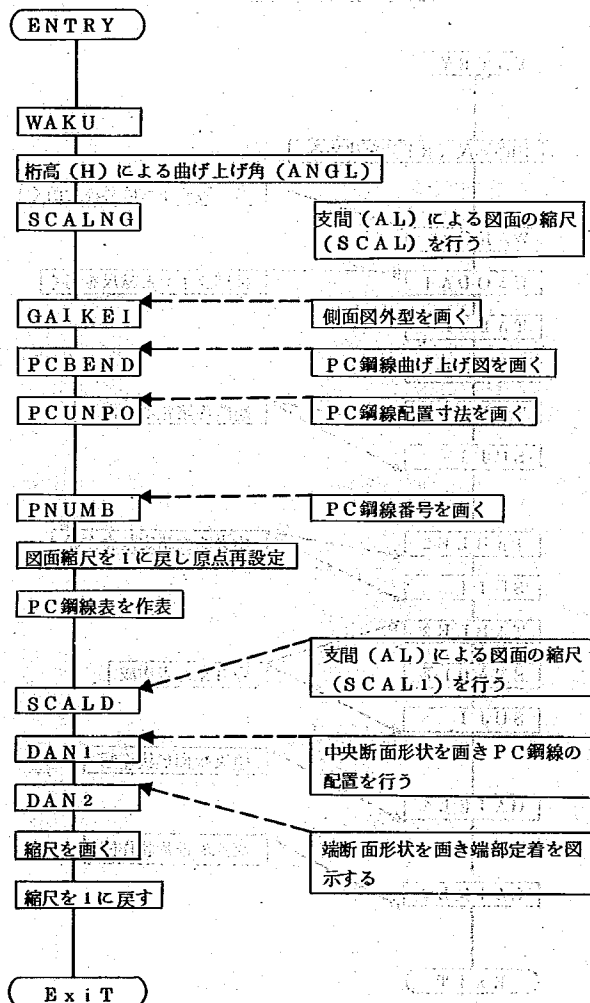
(5) 各サブルーチンの流れ図

(a) 主筋の流れ図 Subroutine SUGETA

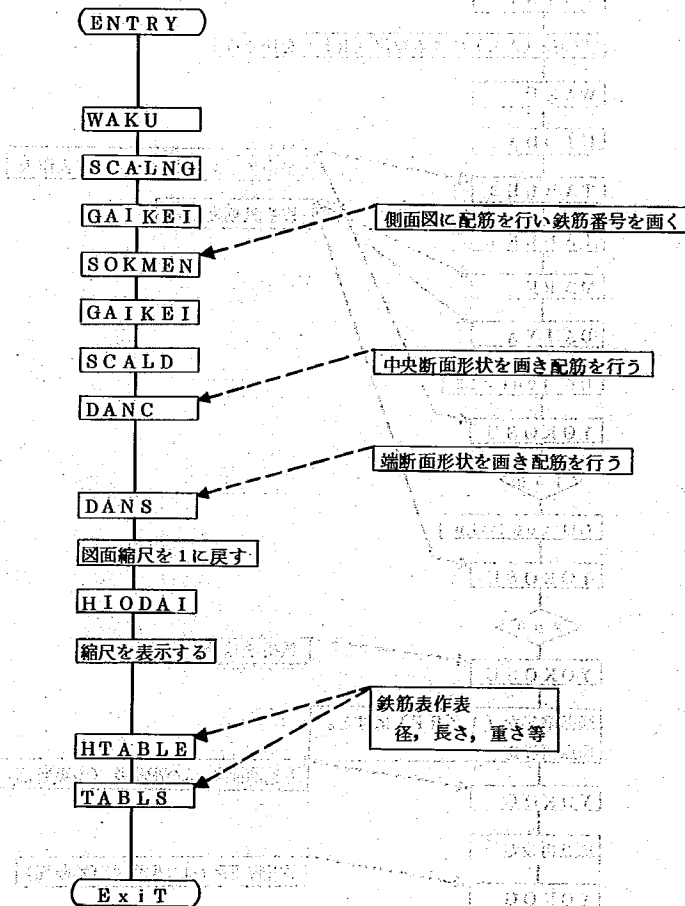


(b) PC 鋼線曲げ上げ流れ図

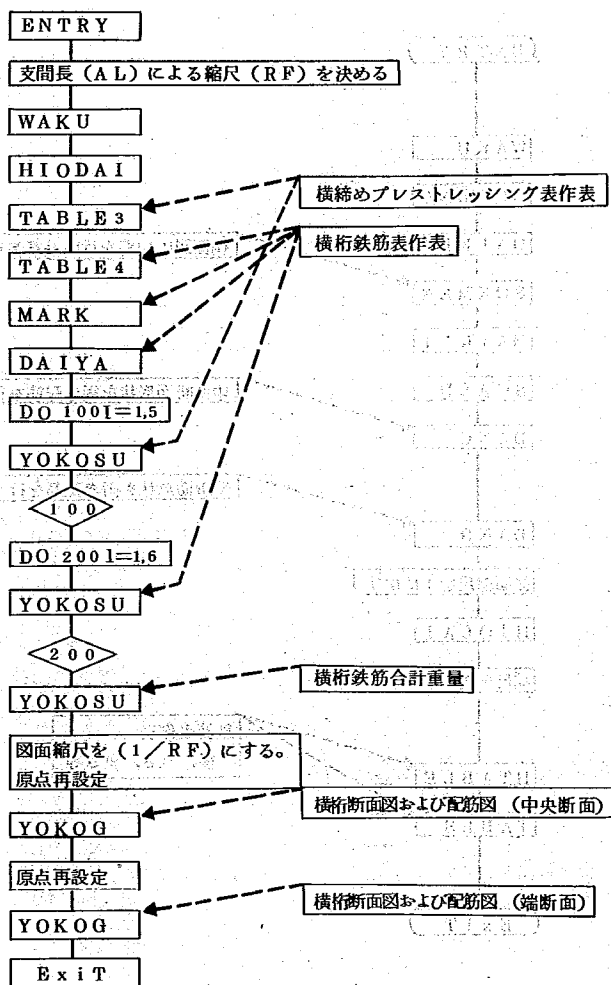
Subroutine PCARNG



(c) 側面図配筋流れ図 Subroutine HAIKIN

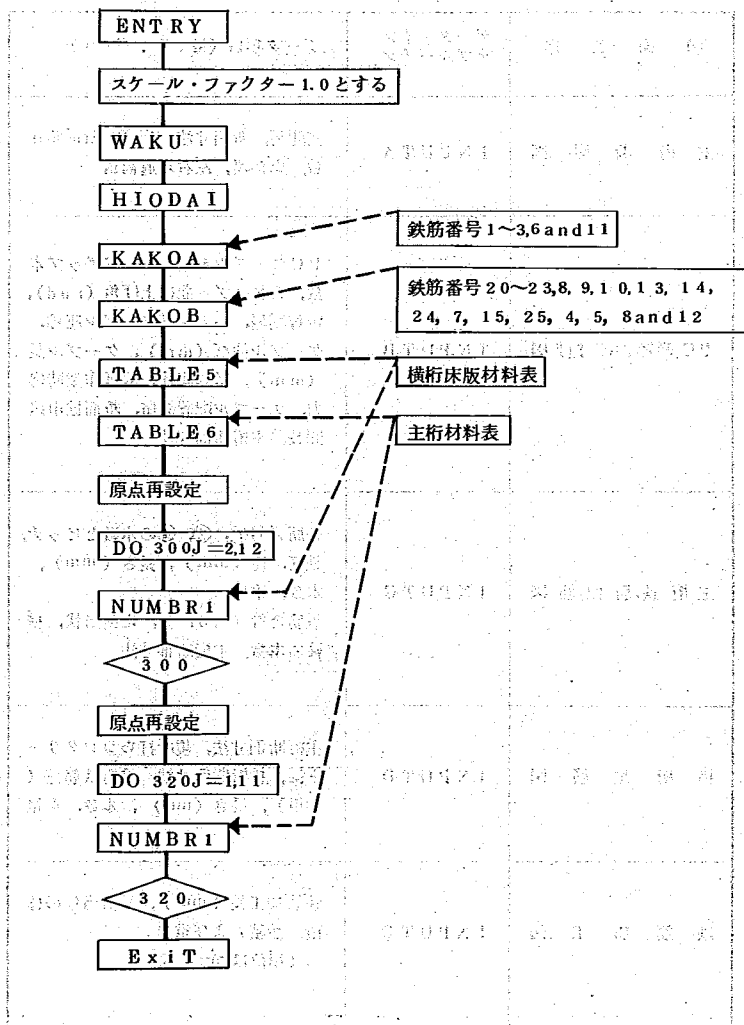


(d) 横桁断面図・流れ図 Subroutine CROSS



(c) 鉄筋加工図プロ流れ図(1)

Subroutine ZAIRYO



INPUTプロ説明

各図を作図に必要なデータ。

(指定のないデータ項目はcm-Kg系)

図 面 名 称	データ・イン サブルーチン	データ項目 (M・T・ベース)
主 桁 断 面 図	INPUTA	支間長, 断面寸法, 桁高, 断面諸数, 車線幅, 左右歩道幅員
PC 鋼線曲げ上げ図	INPUTB	PCケーブル本数, ベンドアップ本 数, 各ケーブル曲げ上げ角 (rad), 定着間隔, ハカマ部ケーブル座標, ケーブル伸び (mm), ケーブル長 (mm), 緊張順序, 緊張作業時応 力, ケーブル配置諸値, 断面拡巾区 間長, 主桁断面寸法
主 桁 鉄 筋 配 筋 図	INPUTC	鉄筋番号①, ②, ④の本数とピッチ, 鉄筋, 径 (mm), 長さ (mm), 本数, 重量。 鉄筋合計 (ton), 地覆形状, 横 締め本数, 主桁断面寸法
横 桁 配 筋 図	INPUTD	主桁断面寸法, 場所打ちコンクリ ート幅, 横桁断面寸法, 横桁鉄筋径 (mm), 長さ (mm), 本数, 重量
鉄 筋 加 工 図	INPUTE	鉄筋加工長 (mm), 一桁当りの体 積, 面積および重量 (単位はm-t系)

§ 8.4 インプット・フォーム

各変数の頭文字が I, J, K, L, M, N で始まる変数は総て整数型。

以外は実数あるいはホレス型。

4.1

カード数

プログラム名	PC直接設計計算プロ	プログラム内容	PCボステン単純T桁橋設計計算プログラム
--------	------------	---------	----------------------

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

① NCASE

以下の②, ③のカード組数指定

② GROUND TITLE

計算書グラウンド・タイトル (Aタイプ)

注2)

注1)

③ SPAN W HODL HODR LOAD

(支間) (車線幅) (左側歩道幅員) (右側歩道幅員)
(cm) (cm) (cm) (cm)

注1) LOAD: 輪荷重… 載荷自動車台数 1,000台/日以上, LOAD=1
… 載荷自動車台数 1,000台/日以下, LOAD=0
(床版鉄筋 ϕ 25の径を選択する)

注2) 車線幅員構成=左, 右歩道幅員+車道幅員
地覆掛り長さは含まない。

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

4.2

カード
数

プログラム名	図化プログラム	プログラム内容	PCポステン桁の作図を行う
--------	---------	---------	---------------

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

①

②

(作図コマンド・データ)

K 1 ; 主桁断面図

K 2 ; PC鋼線曲げ上げ図

K 3 ; 主桁鉄筋配置図

K 4 ; 横桁鉄筋配置図

K 5 ; 材料加工図

の各図をコントロールする。

コマンドが0ならば作図する

コマンドが1ならば作図しない。

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

§ 85 アウトプットフォーム

直接設計プログラムの結果は巻末に収録してある。

§ 9. 累積設計と直接設計の比較

標準設計から得られた断面諸元と使用材料が直接設計から得た諸数値とどれ位の差がある

かを調べるため次の12橋について比較して見た。

標準設計の設計条件						
支間長(L)	車道幅員	歩道幅員		主桁本数	P C 鋼線 本数	桁高 (cm)
15	9.0	2.0 _左	2.0 _右	8	6	105
20	8.0	0.75	0.75	6	10	110
20	7.0	0	0	5	10	110
20	9.0	2.0	2.0	6	10	120
22	7.5	2.5	2.5	7	7	115
25	9.0	2.0	2.0	7	8	130
30	7.0	0	0	4	10	165
30	7.5	2.5	2.5	7	10	160
35	9.0	2.0	2.0	7	11	185
40	7.0	0	0	4	13	215
40	8.0	1.5	1.5	6	13	210
40	7.5	2.5	2.5	7	13	210

標準設計の支間長、車道幅員および歩道幅員と同じ条件のもとで直接設計を行ないそれによる主桁本数、P C 鋼線の本数および桁高、材料等についての比較表を以下に挙げる。

支間長(L)	車道幅員	歩道幅員	主桁本数	P C 鋼線 本数	桁高 (cm)
15	9.0	2.0 _左 2.0 _右	8	6	105
20	8.0	0.75 0.75	6	10	110
20	7.0	0 0	5	10	110
20	9.0	2.0 2.0	6	10	120
22	7.5	2.5 2.5	7	7	115
25	9.0	2.0 2.0	7	8	130
30	7.0	0 0	4	10	165
30	7.5	2.5 2.5	7	10	160
35	9.0	2.0 2.0	7	11	185
40	7.0	0 0	4	13	215
40	8.0	1.5 1.5	6	13	210
40	7.5	2.5 2.5	7	13	210

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	20 m
	幅 員	9.5 m 歩道幅員(左) 0.75m(右) 0.75m
	載荷重	1000台/日以下

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	110 (105)	110.0	0	1.0
主 桁 本 数	本	6	6	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	10	10	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	10.0	10.2	0.2	1.020
P C 鋼 線	t	0.323	0.323	0.0	1.0
シ ー ス	m	174.7	174.7	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	0.168	0.168	0.0	1.0
型 枠	上突縁側面および びけた端面	8.6	9.0	0.4	1.047
	横 桁 取 付 部	0.7	0.7	0.0	1.0
	そ の 他	55.9	63.6	7.7	1.138
定 着 具	主ケーブル用	20	20	0	1.0
	横 締 め 用	44	44	0	1.0
鉄 筋	端 げ た	1.058	1.311	0.253	1.239
	中 げ た	1.097	1.242	0.145	1.132

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	16.2	17.3	1.1	1.068
P C 鋼 線	t	0.797	0.796	-0.001	0.999
シ ー ス	m	431.0	431.0	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	0.415	0.415	0.0	1.0
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	0.857	0.864	0.001	1.008

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
舗 装	車道(側帯含む)	167.8	164.8	-3.0	0.982
	歩 道	30.9	30.9	0.0	1.0
	側 帯				
地 覆	コンクリート	15.4	16.6	1.2	1.078
	型 枠	63.8	62.0	-1.8	0.972
	鉄 筋	0.120	0.120	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計桁高寸法

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	20 m
	幅 員	7.0 m 歩道幅員(左) 0.0 m (右) 0.0 m
	載荷重	1000台/日以下

種 別	単位	(A)標準設計	(B)直接設計	差(B)-(A)	比(B)/(A)
桁 高	cm	110.0 (100)	105.0	-5.0	0.955
主 桁 本 数	本	5	5	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	"	10	10	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A)標準設計	(B)直接設計	差(B)-(A)	比(B)/(A)
コンクリート	m ³	10.0	10.0	0.0	1.0
P C 鋼 線	t	0.323	0.323	0.0	1.0
シ ー ス	m	174.7	174.5	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	0.168	0.168	0.0	1.0
上突縁側面およびけた端面	m ²	8.6	9.0	0.4	1.047
型枠横桁取付部	"	0.7	0.6	-0.1	0.857
そ の 他	"	55.9	61.7	5.8	1.104
定着主ケーブル用	個	20	20	0.0	1.0
具横締め用	"	44	44	0.0	1.0
端 げ り た	t	1.058	1.287	0.229	1.216
鉄 筋 中 げ り た	"	1.097	1.186	0.089	1.081

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A)標準設計	(B)直接設計	差(B)-(A)	比(B)/(A)
コンクリート	m ³	9.3	10.4	1.1	1.118
P C 鋼 線	t	0.590	0.605	0.015	1.025
シ ー ス	m	318.8	377.6	8.8	1.028
グ ラ ウ ト	m ²	0.307	0.315	0.008	1.026
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	0.487	0.674	0.187	1.384

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A)標準設計	(B)直接設計	差(B)-(A)	比(B)/(A)
車 道	m ²	144.2	144.2	0.0	1.0
舗装歩 道	"	0.0	0.0		
側 帯	"				
コンクリート	m ³	5.6	9.6	4.0	1.714
型 枠	m ²	39.5	50.7	11.2	1.284
鉄 筋	t	0.120	0.120	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計桁高寸法

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	15 m	
	幅 員	13 m	歩道幅員(左)(右) 2.0 m
	載荷重	100.0 台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	105.0	95.0	-10.0	0.905
主 体 本 数	本	8	7	-1.0	0.875
P C 鋼 線 本 数	本	6	8	2	1.333

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)	
コンクリート	m ³	7.5	7.4	- 0.1	0.987	
P C 鋼 線	t	0.150	0.198	0.048	1.32	
シ ー ス	m	81.3	106.9	25.6	1.315	
グラウト	m ³	0.078	0.103	0.025	1.321	
型 枠	上突縁側面および けた端面	m ²	6.8	7.0	0.2	1.029
	横格 取付部	m ²	0.8	0.6	- 0.2	0.750
	そ の 他	m ²	40.4	42.9	2.5	1.062
定着 具	主ケーブル用	個	12	16	4	1.333
	横 締 め 用	個	34	34	0	1.0
鉄筋	端 げ た	t	0.829	1.030	0.201	1.242
	中 げ た	t	0.882	1.020	0.138	1.156

(2) 床版横格部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	1.94	2.36	4.2	1.216
P C 鋼 線	t	0.835	0.838	0.003	1.004
シ ー ス	m	451.5	453.2	1.7	1.004
グラウト	m ³	0.434	0.436	0.002	1.005
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	0.964	0.858	-0.106	0.890

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)	
舗装	車 道	m ²	140.4	140.4	0.0	1.0
	歩 道	m ²	6.24	6.24	0.0	1.0
	側 帯	m ²				
地覆	コンクリート	m ³	23.6	24.3	0.7	1.030
	型 枠	m ²	52.2	47.7	- 4.5	0.914
	鉄 筋	t	0.090	0.090	0.0	1.0

注) 一車道舗装に側帯舗装を含む。

材料比較表

直接設計 設計条件	文 間	20 m	
	幅 員	13 m	歩道幅員(左) 2 m (右) 2 m
	載荷重	1000 台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	120.0	115.0	- 0.5	0.958
主 桁 本 数	本	6	7	1	1.167
P C 鋼 線 本 数	本	10	10	0.0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	10.4	10.4	0.0	1.0
P C 鋼 線	t	0.318	0.318	0.0	1.0
シ ー ス	m	172.1	171.9	- 0.2	0.999
グラウト	m ³	0.168	0.166	- 0.002	0.988
上突縁側面および 型枠横桁取付部	m ²	8.7	9.1	0.4	1.046
その他	m ²	60.0	65.4	5.4	1.090
定着 具	個	20	20	0	1.0
横 締 め 用	個	44	44	0	1.0
鉄筋 端 げ 打 た	t	1.092	1.370	0.278	1.255
中 げ 打 た	t	1.154	1.347	0.193	1.167

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	2.44	3.05	0.6	1.25
P C 鋼 線	t	1.082	1.085	0.0	1.003
シ ー ス	m	585.0	587.2	2.2	1.004
グラウト	m ³	0.563	0.565	0.0	1.004
型 枠	m ²			- 4.8	
鉄 筋	t	1.213	1.068	- 0.145	0.880

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
車 道	m ²	185.4	185.4	0.0	1.0
歩 道	m ²	82.4	82.4	0.0	1.0
側 帯	m ²				
コンクリート	m ³	31.1	32.1	1.0	1.032
型 枠	m ²	67.8	63.0	- 4.8	0.929
鉄 筋	t	0.120	0.120	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。

材料比較表	直接設計	支 間	25 m
	設計条件	幅 員	13 m 歩道幅員(左) 2.0 m (右) 2.0 m
		載荷重	1 000 台/日以下

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	130.0	130.0	0.0	1.0
主 桁 本 数	本	7	7	0.0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	8	8	0.0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	16.4	16.9	0.5	1.030
P C 鋼 線	t	0.637	0.636	-0.001	0.998
ジョイス	m	175.7	175.7	0.0	1.0
グラウト	m ³	0.279	0.279	0.0	1.0
上突縁側面および 型枠横桁取付部	m ²	10.9	11.5	0.6	1.055
その他の	m ²	88.0	97.9	9.9	1.125
定着主ケーブル用	個	16	16	0.0	1.0
具横締め用	個	55	55	0.0	1.0
鉄筋端 げ た	t	1.541	1.719	0.178	1.116
鉄筋中 げ た	t	1.597	1.620	0.023	1.014

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	27.2	28.4	1.2	1.044
P C 鋼 線	t	1.355	1.355	0.0	1.0
ジョイス	m	733.0	733.0	0.0	1.0
グラウト	m ³	0.705	0.706	0.001	1.001
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	1.382	1.330	-0.052	0.962

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
車 道	m ²	231.4	231.3	-0.1	1.0
歩 道	m ²	102.8	102.8	0.0	1.0
側 帯	m ²				
コンクリート	m ³	38.8	40.1	1.3	1.034
地覆型 枠	m ²	83.7	78.6	-5.0	0.940
鉄 筋	t	0.148	0.148	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	3 0.0 m	
	幅 員	7.0 m	歩道幅員(左) 0 m (右) 0 m
	載荷重	1 0 0 0 台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	165.0 (155)	155.0	-10	0.939
主 桁 本 数	本	4	4	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	10	10	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)	
コンクリート	m ²	21.7	21.7	0.0	1.0	
P C 鋼 線	t	0.974	0.969	- 0.005	0.995	
シ ー ス	m	268.7	267.3	- 1.4	0.995	
グ ラ ウ ト	m ²	0.427	0.425	- 0.002	0.995	
型枠	上突縁側面および 横桁取付部	m ²	13.1	13.6	0.5	1.038
	そ の 他	m ²	3.1	2.4	- 0.7	0.774
	主ケーブル用	m ²	126.9	132.8	5.9	1.046
定着 具	横 締 め 用	個	20	20	0	1.0
	端 げ た	t	1.946	2.180	0.234	1.120
鉄筋	中 げ た	t	1.985	2.059	0.074	1.037

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト	m ²	16.6	18.5	1.9	1.114
P C 鋼 線	t	0.882	0.90	0.018	1.020
シ ー ス	m	477.0	486.7	9.7	1.020
グ ラ ウ ト	m ²	0.459	0.469	0.01	1.022
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	0.809	0.800	- 0.009	0.989

(3) 橋面工材料比較表

種 別		単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)－(A)	比 (B)/(A)
舗装	車 道	m ²	214.9	214.9	0.0	1.0
	歩 道	m ²	0.0	0.0		
	側 帯	m ²				
地覆	コ ン ク リ ー ト	m ²	8.3	13.9	5.6	1.674
	型 枠	m ²	58.3	74.0	15.7	1.269
	鉄 筋	t	0.178	0.178	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。注) 桁高比較()内寸法は累計設計桁高寸法

材料比較表

直接設計 設計条件	文 間	22 m
	幅 員	12.5 m 車道幅員(左) 2.5 m (右) 2.5 m
	載荷重	1000台/日以下

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	115.0 (110)	115.0	0	1.0
主 桁 本 数	本	7	7	0	1.0
P・C 鋼 線 本 数	本	7	7	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別		単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト		m ³	13.9	14.3	0.4	1.029
P C 鋼 線		t	0.476	0.475	- 0.001	0.998
シ ー ス		m	131.2	131.0	- 0.2	0.998
グ ラ ウ ト		m ²	0.209	0.208	- 0.001	0.995
型 枠	上突縁側面および 横桁取付部	m ²	9.7	10.2	0.5	1.052
	そ の 他	m ²	1.9	1.5	- 0.4	0.789
	主 ケーブル用	m ²	70.7	79.4	1.7	1.123
定 着 具	横 締 め 用	個	14	14	0	1.0
鉄 筋	端 げ げ た	t	49	49	0	1.0
	中 げ げ た	t	1.346	1.487	0.141	1.105
		t	1.396	1.380	- 0.016	0.989

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト	m ³	20.4	21.3	0.9	1.044
P・C 鋼 線	t	1.154	1.152	- 0.002	0.998
シ ー ス	m	623.2	623.2	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	0.600	0.600	0.0	1.0
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	0.880	1.193	0.313	1.356

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)－(A)	比 (B)／(A)	
舗 装	車道(側帯含む)	m ²	170.3	170.2	- 0.1	0.999
	歩 道	m ²	113.5	113.5	0.0	1.0
	側 帯	m ²				
地 覆	コ ン ク リ ー ト	m ²	41.6	43.3	1.7	1.041
	型 枠	m ²	75.9	72.6	- 3.3	0.957
	鉄 筋	t	0.132	0.132	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計桁高寸法。

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	30 m	
	幅 員	12.5 m	歩道幅員(左) 2.5m (右) 2.5m
	載荷重	1000台/日	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	160 (155)	155.0	- 5	0.969
主 桁 本 数	本	7	7	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	10	10	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	21.4	21.7	0.3	1.014
P C 鋼 線	t	0.974	0.969	- 0.005	0.995
シ ー ス	m	268.5	267.3	- 1.2	0.996
グラウト	m ³	0.427	0.425	- 0.002	0.995
上梁側面および 端部	m ²	13.0	13.6	0.6	1.046
型枠 横桁取付部	m ²	3.0	2.4	- 0.6	0.8
その他	m ²	123.9	132.8	8.9	1.072
定着 主ケーブル用	個	20	20	0	1.0
具 横 結 め 用	個	65	65	0	1.0
鉄筋 端 げ た	t	1.957	2.140	0.183	1.094
中 げ た	t	2.018	1.990	- 0.028	0.986

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	28.2	30.0	1.8	1.064
P C 鋼 線	t	1.531	1.530	- 0.001	0.999
シ ー ス	m	828.0	828.0	0.0	1.0
グラウト	m ³	0.797	0.797	0.0	1.0
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	1.179	1.633	0.454	1.385

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
舗装 車道(側帯含む)	m ²	230.3	230.2	0.1	1.00
歩 道	m ²	153.5	153.5	0.0	1.00
側 帯	m ²				
地覆 コンクリート	m ³	56.2	58.5	2.3	1.041
型 枠	m ²	101.2	98.2	- 3.0	0.970
鉄 筋	t	0.178	0.178	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計桁高寸法

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	3 5 m	
	幅 員	1 3 m	歩道幅員(左) 2m (右) 2m
	載荷重	1 0 0 0 台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	185.0	190.0	5.0	1.027
主 桁 本 数	本	7	7	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	11	11	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	26.9	29.1	2.2	1.082
P C 鋼 線	t	1.239	1.242	0.003	1.002
シ ー ス	m	341.6	342.7	1.1	1.003
グ ラ ウ ト	m ²	0.543	0.545	0.002	1.004
型枠 上突縁側面およびけた端面	m ²	15.1	15.9	0.8	1.053
横 桁 取 付 部	m ²	5.5	4.7	- 0.8	0.855
そ の 他	m ²	161.9	176.3	14.4	1.089
定着 主 ケーブル用	個	22	22	0.0	1.0
具 横 締 め 用	個	76	76	0.0	1.0
端 げ た	t	2.347	2.619	0.272	1.116
鉄 筋 中 げ た	t	2.418	2.478	0.060	1.025

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	40.8	47.8	7.0	1.172
P C 鋼 線	t	1.874	1.873	- 0.001	0.999
シ ー ス	m	1013.4	1013.4	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	0.975	0.976	0.001	1.001
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	2.01	1.928	- 0.082	0.959

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
舗装 車 道	m ²	321.4	322.2	0.8	1.004
歩 道	m ²	142.8	143.2	0.4	1.003
側 帯	m ²				
コンクリート	m ³	53.9	55.8	1.9	1.035
地覆 型 枠	m ²	114.9	109.5	- 5.4	0.953
鉄 筋	t	0.208	0.207	- 0.001	0.995

注) 車道舗装と側帯舗装を含む。

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	40 m
	幅 員	7 m 歩道幅員(左)0m (右)0m
	載荷重	1000台/日以下

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	215.0 (205)	205.0	-10.0	0.935
主 桁 本 数	本	4	4	0	1.0
P C 鋼 線	本	13	13	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	34.6	34.7	0.1	1.003
P C 鋼 線	t	1.689	1.678	-0.009	0.994
シ ー ス	m	465.7	463.0	-2.7	0.994
グ ラ ウ ト	m ²	0.740	0.736	-0.004	0.995
上突縁側面および 型枠横桁取付部	m ²	17.2	18.0	0.8	1.047
その他の	m ²	8.5	5.2	-3.3	0.612
主ケーブル用	個	26	26	0	1.0
横締め用	個	86	86	0	1.0
端 げ た	t	2.720	3.037	0.317	1.117
中 げ た	t	2.770	2.872	0.102	1.037

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コンクリート	m ³	24.7	28.2	3.5	1.142
P C 鋼 線	t	1.168	1.191	0.023	1.020
シ ー ス	m	631.4	644.3	12.9	1.020
グ ラ ウ ト	m ²	0.607	0.620	0.013	1.021
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	1.158	1.077	-0.081	0.930

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
舗装 車 道	m ²	285.6	285.6	0.0	1.0
舗装 歩 道	m ²	0.0	0.0		
側 帯	m ²				
地覆 コンクリート	m ³	11.1	18.5	7.4	1.667
型 枠	m ²	77.1	98.3	21.2	1.275
鉄 筋	t	0.236	0.236	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計寸法。

材料比較表

直接設計 設計条件	文 間	4 0 m	
	幅 員	1 1 m	歩道幅員 (左) 1.5m (右) 1.5m
	載荷重	1 0 0 0 台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	210.0 (210)	215.0	5	1.024
主 桁 本 数	本	6	6	0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	13	13	0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別		単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト		m ³	34.1	35.7	1.6	1.047
P C 鋼 線		t	1.678	1.684	0.006	1.004
シ ー ス		m	462.7	464.7	2.0	1.004
グ ラ ウ ト		m ²	0.736	0.739	0.003	1.004
型 枠	上突縁側面およびけた端面	m ²	17.6	18.1	1.5	1.028
	横 桁 取 付 部	m ²	6.6	5.6	- 1.0	0.848
	そ の 他	m ²	204.2	221.4	17.2	1.084
定 着 具	主 ケーブル用	個	26	26	0	1.0
	横 締 め 用	個	86	86	0	1.0
鉄 筋	端 げ た	t	2.83	3.049	0.219	1.077
	中 げ た	t	2.941	2.891	- 0.05	0.983

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト	m ³	46.8	45.8	- 1.0	0.979
P C 鋼 線	t	2.082	1.803	- 0.279	0.866
シ ー ス	m	1126.0	975.4	- 150.6	0.866
グ ラ ウ ト	m ²	1.083	0.937	- 0.144	0.867
型 枠	m ²				
鉄 筋	t	1.978	1.869	- 0.109	0.945

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	(B) 直接設計	比 (B)/(A)
舗 装	車道 (側帯含む)	m ²	326.4	326.4	1.0
	歩 道	m ²	122.4	122.4	1.0
	側 帯	m ²			
地 覆	コ ン ク リ ー ト	m ³	48.9	50.9	1.041
	型 枠	m ²	128.4	123.2	0.960
	鉄 筋	t	0.236	0.236	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計寸法。

材料比較表

直接設計 設計条件	支 間	40 m	
	幅 員	12.5 m	歩道幅員(左)2.5m (右)2.5m
	載荷重	1000台/日以下	

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
桁 高	cm	210.0 (205)	210.0	0.0	1.0
主 桁 本 数	本	7	7	0.0	1.0
P C 鋼 線 本 数	本	13	13	0.0	1.0

(1) 主桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト	m ³	34.1	35.2	1.1	1.032
P C 鋼 線	t	1.678	1.673	- 0.005	0.997
シ ー ス	m	462.7	461.7	- 1.0	0.998
グ ラ ウ ト	m ²	0.736	0.734	- 0.002	0.997
型 枠	上突縁側面および びげた端面	17.2	18.0	0.8	1.047
	横 桁 取 付 部	6.3	5.4	- 0.9	0.857
	そ の 他	204.2	217.5	13.3	1.065
定着 主 ケーブル用	個	26	26	0	1.0
具 横 締 め 用	個	86	86	0	1.0
鉄 筋	端 げ た	2.734	3.001	0.267	1.098
	中 げ た	2.813	2.800	- 0.013	0.995

(2) 床版横桁部材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
コ ン ク リ ー ト	m ³	42.5	47.5	5.0	1.118
P C 鋼 線	t	2.026	2.025	- 0.001	1.0
シ ー ス	m	1095.8	1095.8	0.0	1.0
グ ラ ウ ト	m ²	1.054	1.055	0.001	1.009
型 枠	m ²				
鉄 筋	s	1.720	2.203	0.483	1.281

(3) 橋面工材料比較表

種 別	単位	(A) 標準設計	(B) 直接設計	差 (B)-(A)	比 (B)/(A)
舗 装	車道(側帯含む)	306.0	306.0	0.0	1.0
	歩 道	204.0	204.0	0.0	1.0
	側 帯				
地 覆	コ ン ク リ ー ト	74.8	77.8	3.0	1.040
	型 枠	133.1	130.6	- 2.5	0.981
	鉄 筋	0.236	0.236	0.0	1.0

注) 車道舗装に側帯舗装を含む。 注) 桁高()内寸法は累積設計桁高寸法。

§ 10. 結 語

直接設計の目的は、ある程度標準化された累積設計の資料を基礎に統計的な処理を行ない、累積設計の繁雑さを簡素化し、各独立したモジュールシステムで処理できるように自動化をはかるものである。今回の成果を挙げると次のようになる。

- (a) 従来の累積設計の資料から不規則性を示す断面寸法の決定に必要なパラメーター主桁の桁高H及び床版厚Tの決定が簡素化できたことである。
- (b) 主ケーブル本数も回帰式によって求められる。
- (c) 主桁本数も支間長と幅員の入力だけで累積設計から得られた桁本数に同じ桁本数が得られる。
- (d) 支間長 $1400 \leq L \leq 2000$ における中間横桁のウェブ厚も回帰式によって決められる。
- (e) 材料も累積設計のように精度を落とすことなく詳細に計算できる。
- (f) 入力が非常に簡素化できたこと。
- (g) 人力の介入することなく設計々算から図化迄の一貫した設計の自動化ができたこと。
- (h) 累積設計から得られた安全設計の本質を失うことなく直接設計のシステムが確立できたこと。
- (i) 大型計算機でなくても中型程度の計算機で処理できる。
- (j) 累積設計の様に互いに関連なくて独立に部分的に処理することができる。
- (k) 図化も累積設計の図化の繁雑さを避けて分り安く分解して作図できたこと。
- (l) プログラムのステップ数も累積設計のステップ数よりはるかに減少して自動設計できたこと。
- (m) 計算または図化に必要な実行時間が短縮できたこと。

以上、ポストテンション方式単純Tげた橋を対象とした直接設計方式について検討を行ない、従来の積み上げによる設計方式に比較して簡素化を計ることができたことは前述のとおりであるが、本報告書にのべた「力学的設計成果を処理した回帰式による直接設計方式」では、従来の積み上げ方式による自動設計プログラムの開発およびそれらによる設計成果の集積があることが前提条件であり、また、構造諸元についてもある程度の標準化が計られていなければ、そのシステム自体が複雑化し、直接設計の意義も半減してしまったり、積み上げ方式による設計結果との整合もなくなるきらいがある。

まえがきにのべたごとく、この方式はメリットが多く、実用化もさほどむづかしくないと
思われるので、今後各機関での実用化についての検討を期待したい。

§ 11. 参 考 文 献

- 1) 土木研究所資料 第480号, 建設技術標準化 資料第4号 (昭和43, 40年度)
建設省土木研究所, 企画部, システム課
- 2) 「技術者のための統計解析」, 中村慶一著, 山海堂
- 3) 「多変量解析法」, 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉沢正共著, 日科技連
- 4) 「確率論とその応用」, 近藤次郎, 日科技連
- 5) 土木研究所資料 第971号: 土木計画論, 建設省土木研究所企画部システム課

DIRECT DESIGN OF P.C. GIRDER

DESIGN CONDITION:

SPAN 2750.00 (CM)

ROAD WIDTH
(FOOTWAY+ROADWAY) 1200.00 (CM)

FOOTWAY
THE LEFT SIDE 200.00 (CM)
THE RIGHT SIDE 200.00 (CM)

TRAFFIC LOAD .GE 1000

SPAN=27.5(M)

SPAN	27,500 (M)
ROAD WIDTH	12,800 (M)
ROADWAY WIDTH	8,000 (M)
FOOTWAY WIDTH	
THE LEFT SIDE	2,000 (M)
THE RIGHT SIDE	2,000 (M)
BEAM NUMBERS	6 (HON)
IN. CROSS BEAM	2 (HON)
P.C. CABLE (DAJA=7(MM)*12)	9 (HON)
GIRDER HEIGHT (H)	150,000 (CM)
UP.FLG.WIDTH (B)	150,000 (CM)
LW.FLG.WIDTH (B2)	50,000 (CM)
WEB WIDTH (B0)	16,000 (CM)
WEB HEIGHT (T1)	79,500 (CM)
UP.FLG.THICK. (T)	19,000 (CM)
LW.FLG.THICK. (T3)	20,000 (CM)
LW.FLG.HANCH H. (T2)	21,000 (CM)
UP.FLG.OVER. (B3)	40,000 (CM)
(B4)	10,000 (CM)
(T4)	3,333 (CM)
(T5)	126,167 (CM)
JIFUKU KAKARI	15,000 (CM)
BEAM INT. CONCRETE (BBL)	70,000 (CM)
CURB STONE W.	40,000 (CM)
CURB STONE H.	41,000 (CM)
CROSS BEAM THICK. (MED.)	25,000 (CM)
BEAM SPACE (C.T.C.)	220,000 (CM)
CROSS BEAM SPACE (END)	920,000 (CM)
CROSS BEAM SPACE (MED.)	910,000 (CM)
ENLARGED LENGTH	400,000 (CM)

SPAN=27.5(M)

CONSTANT NO. OF MAIN BEAM

(CENTER)

	A (CM2)	Y (CM)	A*Y (CM3)	A*Y*Y (CM4)	I (CM4)
1	2850.00	9.50	0.2707500E+05	0.25721250E+06	85737
2	105.00	19.75	0.2073750E+04	0.40956563E+05	20
3	1752.00	75.25	0.1318380E+06	0.99208090E+07	1750575
4	1000.00	140.00	0.1400000E+06	0.1960000E+08	33333
5	60.00	19.50	0.1170000E+04	0.22815000E+05	7
6	243.00	23.50	0.5710500E+04	0.13419675E+06	1093
7	357.00	123.00	0.4391100E+05	0.54010530E+07	8747
8	6367.00	410.50	0.35177825E+06	0.35377008E+08	1879511
	A (CM2)	Y (CM)	A*Y (CM3)	A*Y*Y (CM4)	
3	1195.996	37.375	44700.215		
4	1000.000	84.750	84749.750		
7	357.000	67.750	24186.668		

(END)

	A (CM2)	Y (CM)	A*Y (CM3)	A*Y*Y (CM4)	I (CM4)
1	2850.00	9.50	0.2707500E+05	0.25721250E+06	85737
2	6475.00	85.25	0.55199375E+06	0.47057456E+08	9048943
3	105.00	19.75	0.2073750E+04	0.40956563E+05	19
4	60.00	19.50	0.1170000E+04	0.22815000E+05	7
5	33.33	21.61	0.72036963E+03	0.15567977E+05	20
6	9523.33	155.61	0.58303281E+06	0.47393952E+08	914726

SPAN=27.5(M)

CONSTANT NUMBERS

--- CENTRAL SECTION--- SUPPORT ---

	GROSS	NET	PC CONV.	FLOOR CONC.	GROSS
A	6367.00	6223.90	6461.64	7613.41	9523.33
NEWTRAL UP.	55.25	53.44	56.40	49.31	61.22
-AXIS LW.	-94.75	-96.56	-93.60	-100.69	-88.78
Y	-78.75	-80.56	-77.60	-84.69	44.39
I	17820689	16912892	18398999	20566838	20834532
UP.	322545.00	316485.94	326202.69	417110.69	340313.81
SECTION	LW.-188081.56	-175153.31	-196577.88	-204254.56	-234679.88
-MODULU	PC -226295.06	-209940.31	-237111.25	-242842.19	
R(=ROOT(1/A))	52.90	52.13	53.36	51.97	46.77
G	153636.56				197040.31

SPAN=27.5(M)

ARRANGEMENT OF P.C. GIRDER

P.C. CABLE	9 (HON)
BEND UP	5 (HON)
END FIX	3 (DAN)
BEND UP ANGLE	25.000 (DEG)
FIX SPACE (L1)	40.000 (CM)
L.SPACE (L3)	30.000 (CM)
LEV.LENGTH (POINT)	210.000 (CM)
L.PARAVOLA (LB)	510.000 (CM)
P.C.VARIABLE (U)	140.000 (CM)
(UD)	95.000 (CM)
(UU)	437.000 (CM)
KETA KAKARI	35.000 (CM)
GIRDER LENGTH	2820.000 (CM)

SPAN=27.5(M)

CABLE LENGTH		PHAI= 7 (MM) * 12				
	X	Y	L1(CM)	L2(CM)	L3(CM)	ANGL(DEG)
1	25.00	32.00	210.00	475.28	50.00	25.00
2	25.00	26.00	350.00	476.76	50.00	25.00
3	25.00	20.00	490.00	478.33	50.00	25.00
4	25.00	14.00	630.00	479.98	50.00	25.00
5	25.00	8.00	770.00	481.72	50.00	25.00
6	8.00	14.00	865.00	498.45	50.00	20.77
7	42.00	14.00	865.00	498.45	50.00	20.77
8	8.00	8.00	915.00	442.31	50.00	14.78
9	42.00	8.00	965.00	387.81	50.00	7.11

PRESTRESSING (PARTIAL PRESTRESS)						
NO.	ORD.	ST. INT. (TON/CABLE)	ST. INT. (KG/CM2)	DELTA(L) (MM)	CABLE L. T. (CM)	CABLE L. (MM)
1	9	54.66	11836.38	80.00	7352.84	14700.00
2	8	54.97	11902.73	95.00	8767.62	17540.00
3	7	55.27	11969.12	110.00	10183.28	20360.00
4	6	55.58	12035.55	125.00	11599.80	23200.00
5	5	55.89	12102.02	140.00	13017.17	26040.00
6	1	55.04	11919.53	152.00	14134.52	28260.00
7	2	55.04	11919.53	152.00	14134.52	28260.00
8	3	55.51	11587.28	150.00	14073.12	28140.00
9	4	51.54	11160.69	148.00	14028.14	28060.00

P.C. CABLE TOTAL LENGTH 214.560 (M)
P.C. CABLE TOTAL WEIGHT 777.565 (KG)

SPAN=27.5(M)

REINFORCED. TABLE

(MAIN BEAM)

NO.	DIA	LENGTH(MM)	NUMBERS	U.W.(KG/M)	W.(KG/ONE)	W.(KG)
1	D13	3300.00	64	0.995	3.283	210.144
2	D13	3375.00	42	0.995	3.358	141.041
3	D13	3400.00	8	0.995	3.383	27.064
4	D10	2150.00	74	0.559	1.202	88.937
5	D13	2650.00	106	0.995	2.637	279.495
6	D10	1000.00	74	0.559	0.559	41.366
7	D13	29050.00	14	0.995	28.905	404.666
8	D13	4300.00	4	0.995	4.278	17.114
9	D10	850.00	40	0.559	0.475	19.006
10	D13	1000.00	212	0.995	0.995	210.940
11	D10	700.00	96	0.559	0.391	37.565
12	D10	1650.00	96	0.559	0.922	88.546
13	D10	1200.00	40	0.559	0.671	26.832
14	D13	1000.00	424	0.995	0.995	421.880
15	D10	29050.00	10	0.559	16.239	162.389
16	D16	29050.00	10	1.560	45.318	453.180

TOTAL WIGHT END GIRDER 2.181 (T)
 MED. GIRDER 2.112 (T)

(CROSS BEAM)

NO.	DIA	LENGTH(MM)	NUMBERS	U.W.(KG/M)	W.(KG/ONE)	W.(KG)
20	D10	2700.00	40	0.559	1.509	60.372
21	D10	3800.00	30	0.559	2.124	63.726
22	D10	2700.00	20	0.559	1.509	30.186
23	D10	3000.00	15	0.559	1.677	25.155
24	D10	1650.00	200	0.559	0.922	184.470
25	D16	29050.00	30	1.560	45.318	1359.537

TOTAL WIGHT - - - 1.723 (T)

SPAN=27.5(M)

CROSS BEAM REINFORCED ARRANGEMENT
REINFORCED NUMBER 20 AND 21

NP 2 M 6 BL 270.00
X 80.00 Y 40.00

YOKOSIME PRESTRESSING (FULL PRESTRESS)

	ST. INT. (TON/CABLE)	ST. INT. (KG/MM2)	DELTA, L CABLE (MM) (HON)	CABLE LENGTH (MM)
CROSS BEAM	30.7	130.5	57. 4	11400.
FLOOR	30.7	130.5	81. 56	12400.
TOTAL CABLE LENGTH				740000. (MM)
TOTAL CABLE WEIGHT				1368. (KG)

MATERIALS TABLE (PER ONE GIRDER)

(1) CONCRETE AND FORM

	CONCRETE VOLUME	FORM AREA
MAIN GIRDER	19.735	26.721
BASHOUT CONCRETE	3.751	19.740
CROSS BEAM (END)	4.983	1.905
CROSS BEAM (MED.)	2.738	24.028
CUMB	43.992	71.064
FOOTWAY	- - -	15.228

(2) PAVEMENT AREA (M2)

	PAVEMENT AREA (M2)
ROADWAY	225.600
FOOTWAY	112.800

(3) GROUT (M3)

	GROUT (M3)
MAIN BEAM	0.341
CROSS BEAM AND FLOOR	1.177

SPAN=27.5(M)

MATERIALS TABLE

(1) MAIN BEAM

QUANTITY

CONCRETE	SCK = 400(KG/CM2)	118.411 (M3)
PC CABLE	(12*7MM) 9(HON)	4.665 (T)
SHEATH	DAIA45(MM)	1287.360 (M)
GROUT		2.047 (M3)
FORM	FLANGE SIDES AND BOTH END	75.724 (M2)
	SUB. OF CROSS BEAM	13.945 (M2)
	OTHERS	713.019 (M2)
ANCHOR	MAIN CABLE (12*7MM)	108.000 (KG)
	CROSS CABLE (12*5MM)	60.000 (KG)
REINFORCED	SD30 END GIRDER	4.363 (T)
	D10,D13 MED. GIRDER	12.670 (T)

(2) CROSS BEAM (FLOOR) (MAIN BEAM 6 (HON))

CONCRETE	SCK = 300(KG/CM2)	34.195 (M3)
PC CABLE	(12*5MM)	1.368 (T)
SHEATH	DAIA45(MM)	740.000 (M)
GROUT		0.713 (M3)
FORM		150.565 (M2)
REINFORCED	SD30,D10,D13	1.723 (T)

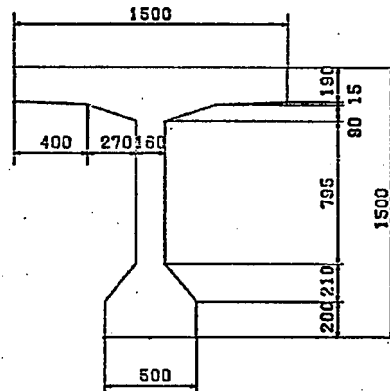
(3) SURFACE

PAVEMENT	ROADWAY(IN-SHOULDER)	225.600 (M2)
	FOOTWAY	112.800 (M2)
CURB	CONCRETE(IN-FOOTWAY)	43.992 (M3)
	FORM	71.064 (M2)
	REINFORCED	0.162 (T)

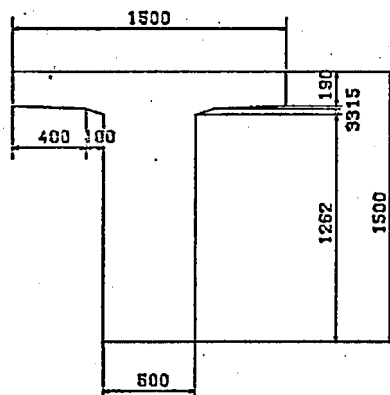
主 桁 断 面 寸 法

断 面 図 縮 尺 1/30

中央断面



支点断面



設 計 条 件

支 間	CM	2750
車 道 巾	CM	800
歩 道 巾	CM	2x 200
総 幅 員	CM	1200
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

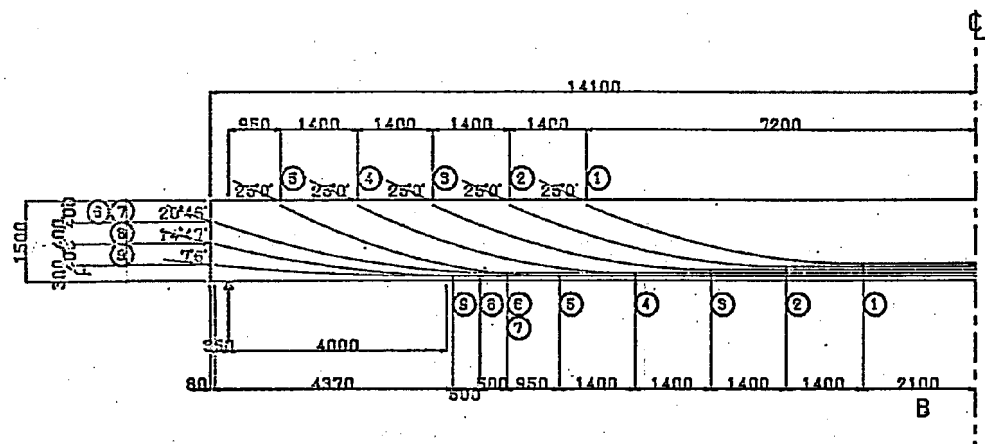
	単位	総 断 面
断 面 積	CM ²	9523.33
中立軸	上 縁	CM 61.22
	下 縁	CM -88.78
PC鋼材図心と 中立軸との距離	CM	0.00
断面二次 モーメント	x100 CM ⁴	208345
断 面 係 数	上 縁	CM ³ 340313.81
	下 縁	CM ³ -234679.87
	PC鋼材図心	CM ³ 0.00
回転二次半径	CM	46.77
断面一次 モーメント	CM ³	197040.31

中央断面の諸定数

	単位	総 断 面	純 断 面	PC 鋼材換算断面	場所打ち 換算断面
断 面 積	CM ²	6367.00	6223.90	6461.64	7613.41
中立軸	上 縁	CM 55.25	53.44	56.40	49.31
	下 縁	CM -94.75	-96.56	-93.60	-100.69
PC鋼材図心と 中立軸との距離	CM	-78.75	-80.56	-77.60	-84.69
断面二次 モーメント	x100 CM ⁴	178207	169129	183990	205668
断 面 係 数	上 縁	CM ³ 322545.00	316485.93	326202.68	417110.68
	下 縁	CM ³ -188081.56	-175153.31	-196577.87	-204254.56
	PC鋼材図心	CM ³ -226295.06	-209940.31	-237111.25	-242842.18
回転二次半径	CM	52.90	52.13	53.36	51.97
断面一次 モーメント	CM ³	153636.56	0.00	0.00	0.00

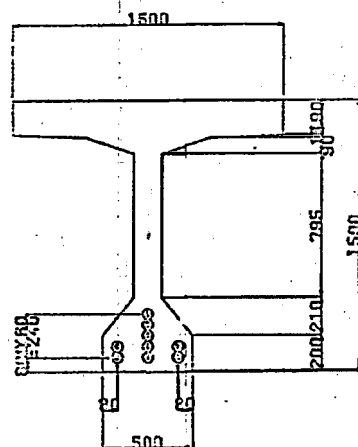
PC 鋼 線 配 置 図

PC 鋼線曲げ上げ図 縮尺 1/100

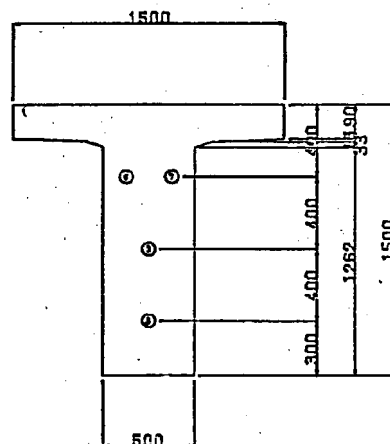


配置図縮尺 1/30

中央断面



支点断面



桁 高	150.0
-----	-------

ケーブル曲げ上げ諸値

PCケーブル本数	9
曲げ上げ ケーブル数	5
端部定着 ケーブル数	4
曲げ上げ角	25.0
端部定着段数	3
定着間隔	40.0
A	30.0

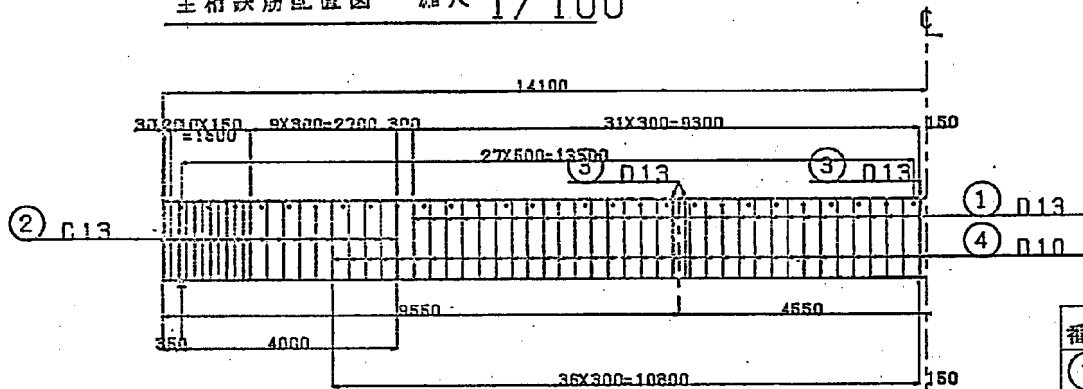
ケーブル配置諸値

B	210.0
放物線水平長	510.0
上段定着間隔	140.0

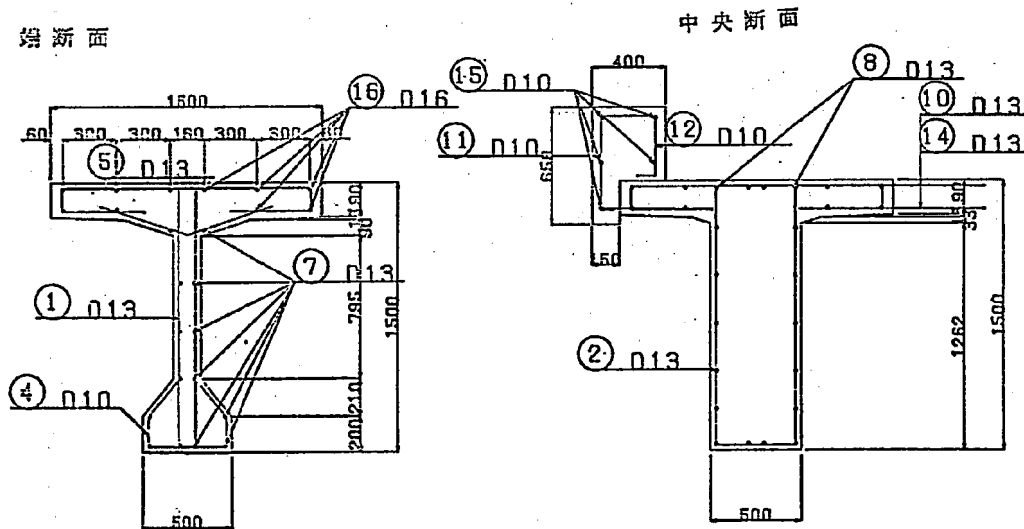
プレストレッシング (パージアルプレストレス)

番号	緊張 順序	緊張作業時応力		伸び (mm)	ケーブル長 (mm)
		Ton / Cable	kg / cm		
①	9	54.7	11836.4	80	14700
②	8	55.0	11902.7	95	17540
③	7	55.3	11969.1	110	20360
④	6	55.6	12035.5	125	23200
⑤	5	55.9	12102.0	140	26040
⑥	1	55.0	11919.5	152	28260
⑦	2	55.0	11919.5	152	28260
⑧	3	53.5	11587.3	150	28140
⑨	4	51.5	11160.7	148	28060

主桁鉄筋配置図 縮尺 1/100



断面図縮尺 1/30



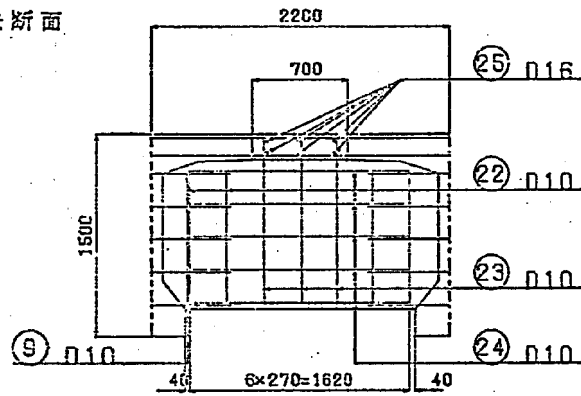
鉄筋表

番号	径	長さ(mm)	本数	単位重量 (kg/m)	1本当りの 重量(kg)	重量(kg)
①	D13	3300	64	0.995	3.283	210.1
②	D13	3375	42	0.995	3.358	141.0
③	D13	3400	8	0.995	3.383	27.1
④	D10	2150	74	0.559	1.202	88.9
⑤	D13	2650	106	0.995	2.637	279.5
⑥	D10	1000	74	0.559	0.559	41.4
⑦	D13	29050	14	0.995	28.905	404.7
⑧	D13	4300	4	0.995	4.278	17.1
⑨	D10	850	40	0.559	0.475	19.0
⑩	D13	1000	212	0.995	0.995	210.9
⑪	D10	700	96	0.559	0.391	37.6
⑫	D10	1650	96	0.559	0.922	88.5
⑬	D10	1200	40	0.559	0.671	26.8
⑭	D13	1000	424	0.995	0.995	421.9
⑮	D16	29050	10	1.560	45.318	453.2
主桁鉄筋重量			端	桁	2.181	
			中	桁	2.112	
⑮	D10	29050	10	0.559	16.239	162.4

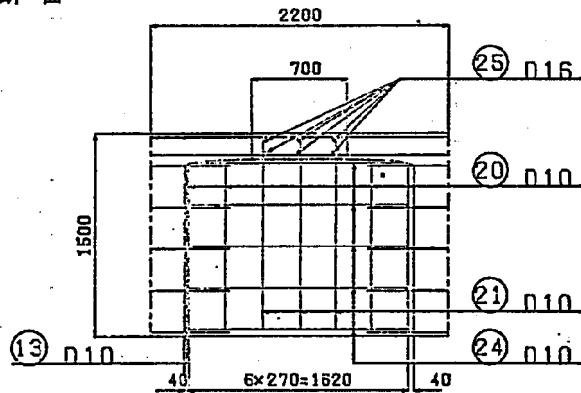
橋 桁 の 設 計

橋 桁 縮尺 1/40

中央断面



端断面



横締プレストレスリング (フルプレストレス)

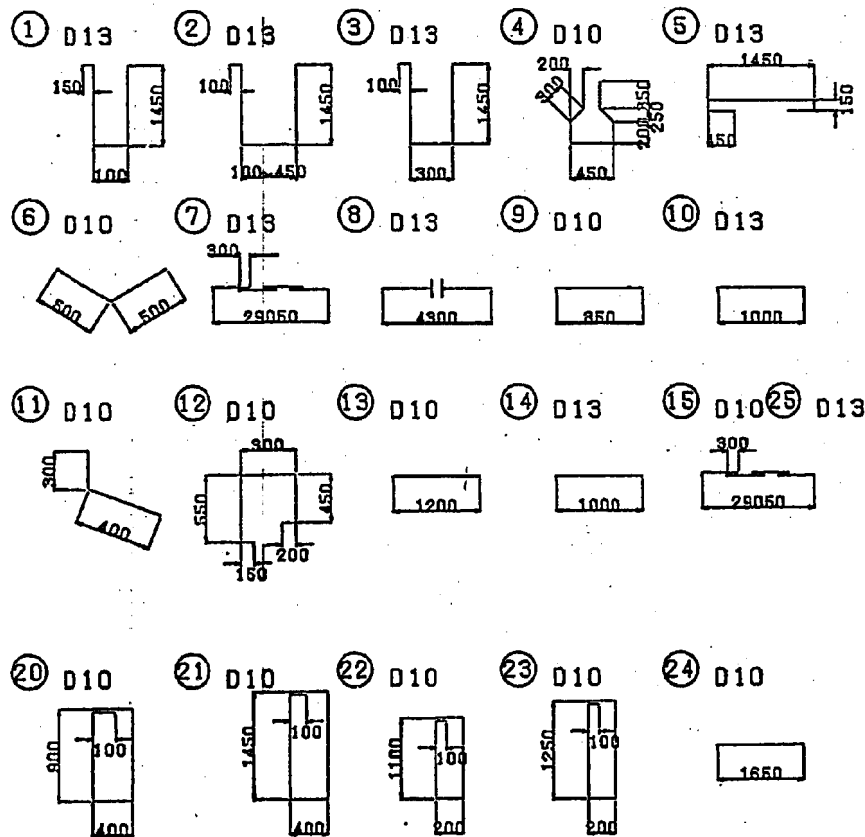
種 別	緊張作業時応力		伸び(mm)	ケーブル長(m.m)	本 数	重 量(kg)
	Ton/CABLE	kg/cm ²				
橋 桁	30.7	130.5	57	11400	4	84.3
床 版	30.7	130.5	81	12400	56	1283.2
合 計				740000		1.368

鉄 筋 表

番 号	径	長 さ (mm)	本 数	単位重量 (kg/m)	1本当り重量 (kg/本)	重 量 (kg)
20	D10	2700	40	0.559	1.509	60.4
21	D10	3800	30	0.559	2.124	63.7
22	D10	2700	20	0.559	1.509	30.2
23	D10	3000	15	0.559	1.677	25.2
24	D10	1650	200	0.559	0.922	184.5
25	D16	29050	30	1.560	45.318	1359.5
合計重量 (T)						1.723

鉄 筋 加 工 図 材 料 表

主 桁・横 桁 鉄 筋 の 加 工 図



横桁床版の材料表

種 別	仕 様	単 位	1 辺 当 り 数 量	摘 要
床 版	主 桁	本	6	
	コンクリート	$\phi_{ck} = 30.0 \text{ N/mm}^2$	m ³	34.2
	PC 鋼 線	12 ϕ 5 ^{mm}	t	1.368
	シ ー ス	$\phi 35$	m	740.0
横 桁	グラウト		m ³	0.713
	型 枠		m ²	150.6
	鉄 筋	S530, D10, D13	t	1.723
橋 面 工	舗 装	車 道	m ²	225.6
		歩 道	'	112.8
	地 覆	コンクリート	m ³	44.0
		型 枠	'	86.3
		鉄 筋	t	0.162
	伸縮継手			
	支 承			

主 桁 材 料 表

	種 別	仕 様	単 位	1 辺 当 り 数 量
主	コンクリート	$\phi_{ck} = 40.0 \text{ N/mm}^2$	m ³	19.7
	PC 鋼 線	12 ϕ 5 ^{mm} 10 本	t	0.778
	シ ー ス	$\phi 35$	m	214.6
	グラウト		m ³	0.341
桁	型 枠	上突縁側面及び桁端面	m ²	12.6
		横 桁 取 付 部	'	2.3
		そ の 他	'	118.8
	定 着 具	主ケーブル用	12 ϕ 5 ^{mm} 個	18
		横締め用	12 ϕ 5 ^{mm} ' /	60
鉄 筋	S530, D10, D13	端 桁	t	2.181
		中 桁	'	2.112

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

土研資料第1007号
昭50年3月(1975)

岩松幸雄、藤田益夫、工藤真之助

キーワード ポストテンション方式単純Tげた橋、直接設計

要旨

本資料はポストテンション方式単純Tげた橋を対象とした「力学的設計
成果を処理した回帰式による直接設計法」の提案に関する報告書である。
この設計方式の確立に利用した累積設計のデータは上記PC橋308橋の設
計成果であり、これらから本直接設計の各モジュールに必要なパラメタを如
何に簡易式に置きかえるか、また図化パターンを如何に簡素化するかの諸
問題が骨子となっている。

No. _____

配布先氏名

配布先住所

No. _____

郵便はがき

1 1 3 - □ □

いは
十円
切手
を
貼る

建設省土木研究所

システム課 御中

東京都文京区本駒込

二―二八―三二号

土木研究所資料第1007号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

ポス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（附録）

土木研究所資料第1007号

昭和50年3月

建設省土木研究所
企画部システム課



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 (附録)

土木研究所資料第1007号

昭和50年3月

建設省土木研究所企画部システム課

課長 岩 松 幸 雄

建設専門官 藤 田 益 夫

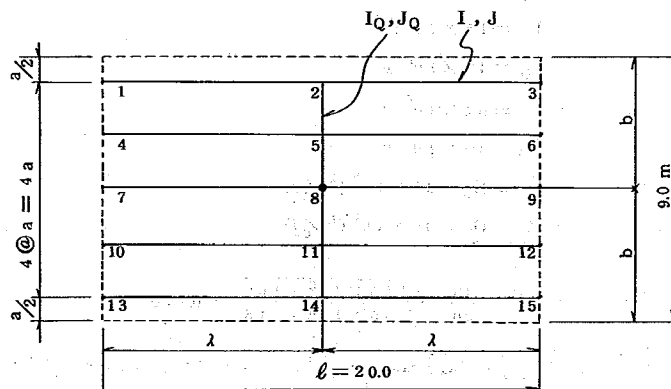
技術基準係長 工 藤 真 之 助

§ 12. 力学モデルによる応力の検証

§ 12.1 Guyon — Massonnet 法と変形法格子解による比較

(1) 横桁1本の場合

(a) モデルの設定



$$\ell = 2.00 \text{ m}, \quad a = 1.8 \text{ m}, \quad \lambda = 1.00 \text{ m}$$

(b) 断面諸常数

$$\text{曲げ剛性係数 } \theta = \frac{b}{\ell} \sqrt[4]{\frac{E \cdot I \cdot \lambda}{E_Q \cdot I_Q \cdot a}}$$

$$\text{振り剛性係数 } \alpha = \frac{\frac{G \cdot J}{a} + \frac{G_Q \cdot J_Q}{\lambda}}{2 \sqrt{\frac{E \cdot I}{a} \cdot \frac{E_Q \cdot I_Q}{\lambda}}}$$

但し b : 抵抗幅の $1/2$

λ : 横桁間隔

ℓ : 支間

I : 主桁の曲げ剛性

I_Q : 横桁の曲げ剛性

J : 主桁の捩れ剛性

J_Q : 横桁 " "

E, E_Q : 主桁または横桁のコンクリート弾性係数

G, G_Q : " セン断弾性係数

$$I = 15 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$I_Q = 40 \times 10^6 \text{ "}$$

$$J = 0.4 \times 10^6 \text{ "}$$

$$J_Q = 4.5 \times 10^6 \text{ "}$$

$$E = E_Q = 2.1 \times 10^5 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$G = G_Q = 0.9 \times 10^5 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\theta = \frac{4.5}{20} \sqrt[4]{\frac{15 \times 10^6 \times 10.0}{40 \times 10^6 \times 1.8}} = 0.270$$

$$\alpha = \frac{\frac{0.9 \times 10^5 \times 0.4 \times 10^6}{180} + \frac{0.9 \times 10^5 \times 4.5 \times 10^6}{1000}}{2 \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^5 \times 15 \times 10^6}{180} \times \frac{2.1 \times 10^5 \times 40 \times 10^6}{1000}}} = 0.025$$

(c) 断面力の比較

(i) 主 桁

着目点 : 8

断面力 解法 荷点	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	0.9799	0.9789	0.0980	0.0979
5	1.0094	1.0091	0.1009	0.1009
8	1.0242	1.0242	0.1024	0.1024
11	1.0094	1.0091	0.1009	0.1009
14	0.9799	0.9789	0.0980	0.0979

着目点：5

断面力 解法 荷点	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	1.8149	1.9890	0.1815	0.1989
5	1.4219	1.5082	0.1422	0.1508
8	1.0094	1.0090	0.1009	0.1009
11	0.5883	0.5013	0.0588	0.0501
14	0.1671	-0.0075	0.0167	-0.0008

着目点：2

断面力 解法 荷点	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	2.6678	3.0207	0.2668	0.3021
5	1.8149	1.9890	0.1815	0.1989
8	0.9799	0.9789	0.0980	0.0979
11	0.1671	-0.0075	0.0167	-0.0008
14	-0.6320	-0.9810	-0.0632	-0.0981

(II) 横析

着目点：8

断面力 解法 荷点	M	
	G-M法	変形法
2	-0.6291	-0.7091
5	0.2021	0.1750
8	1.0719	1.0681

(iii) 分配係数

1 本横桁

着目点 載荷点		2	5	8	11	14
主 桁	2	2.6678	1.8149	0.9799	0.1671	-0.6320
	5	1.8149	1.4219	1.0094	0.5883	0.1671
	8	0.9799	1.0094	1.0242	1.0094	0.9799
横 桁	8	-0.1398	0.0449	0.2382	0.0449	-0.1398

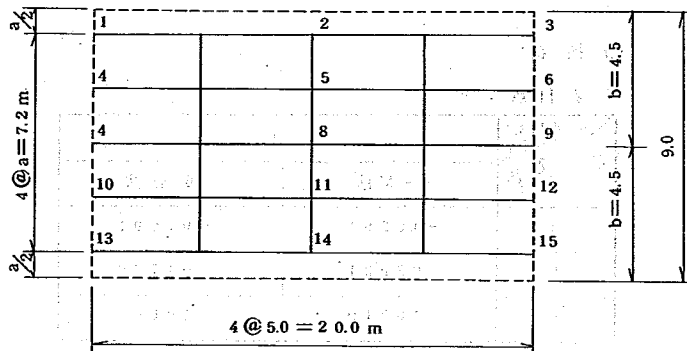
(2) 横桁3本の場合

(a) モデルおよび断面常数

$$a = 1.8 \text{ m}, \quad \ell = 2.00 \text{ m}, \quad \lambda = 5.0 \text{ m}$$

$$\theta = \frac{4.5}{2.0} \times 4 \sqrt{\frac{15 \times 5.0}{40 \times 1.8}} = 0.2273$$

$$\alpha = \frac{0.9 \times 10^5 \times \left(\frac{0.4 \times 10^6}{180} + \frac{4.5 \times 10^6}{500} \right)}{2.1 \times 10^5 \times 2 \times \sqrt{\frac{15 \times 10^6 \times 40 \times 10^6}{180 \times 500}}} = 0.029452$$



$$I = 15.0 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

$$I_Q = 4.0 \times 10^6 \text{ "}$$

$$J = 0.4 \times 10^6 \text{ "}$$

$$J_Q = 4.5 \times 10^6 \text{ "}$$

$$E = E_Q = 2.1 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$G = G_Q = 0.9 \times 10^5 \text{ "}$$

(a) 断面力の比較

(i) 主桁

着目点 : 8

断面力 解法 載荷点	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	0.9897	0.9164	0.0990	0.0735
5	1.0048	1.0344	0.1005	0.1108
8	1.0123	1.0984	0.1012	0.1313
11	1.0048	1.0344	0.1005	0.1108
14	0.9897	0.9164	0.0990	0.0735

着目点 : 5

断面力 解法 載荷点	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	1.8033	1.8236	0.1803	0.1684
5	1.4090	1.4757	0.1409	0.1550
8	1.0048	1.0349	0.1005	0.1111
11	0.5961	0.5647	0.0596	0.0581
14	0.1875	0.1011	0.0188	0.0074

着目点：2

断面力 載荷点 解法	M		S	
	G-M法	変形法	G-M法	変形法
2	2.6260	2.8775	0.2626	0.3270
5	1.8033	1.8498	0.1803	0.1849
8	0.9897	0.9160	0.0990	0.0733
11	0.1875	0.0753	0.0188	-0.0088
14	-0.6077	-0.7186	-0.0608	-0.0764

(II) 横桁

着目点：8

曲げモーメント 載荷点 解法	M	
	G-M法	変形法
2	-0.3195	-0.5894
5	0.1035	0.1099
8	0.5418	0.9239

(III) 分配係数

3 本横桁

載荷点 着目点		2	5	8	11	14
主 桁	2	2.6260	1.8033	0.9897	0.1875	-0.6077
	5	1.8033	1.4090	1.0048	0.5961	0.1875
	8	0.9897	1.0048	1.0123	1.0048	0.9897
横 桁	8	-0.1420	0.0460	0.2408	0.0460	-0.1420

§ 122 G-M法と変形法による格子解の考察

版理論を骨組に置き換えて、一般の骨組解法の結果と比較して見るため、今回は比較モデルを1本横桁と3本横桁の2つのモデルに選んだ。骨組解析において3本横桁による分配効果は1本横桁の分配より、よりよい分配になり、版理論による結果に近似して来ると言う考えから、支間中央に着目した際の断面力影響線を表にして比較して見た。

(1) 1本横桁の場合

5本主桁の中央主桁における曲げモーメントMとせん断力Sの影響値は両解法ともほぼ同じ値を示し良い近似を示している。側桁へ移行するにつれその差も大きく変わってくる。例えば側桁の支間中央に着目した際（着目点2）の曲げモーメントの影響値の比は

$$\frac{\text{G-M法}}{\text{変形法}} = \frac{2.6678}{3.0207} = 0.883 \text{ に達し、その差を百分率で表わすと } \frac{3.0207-2.6678}{3.0207}$$

$\times 100 = 11.7\%$ になる。即ち約1割の差が生じていることが分る。全般的に観察すれば変形法によって得られた影響値は版理論によるその値よりやや大きく得られており、版理論による方が分配効果が良いと言えよう。

(2) 3本横桁の場合

側桁の支間中央に着目した際の曲げモーメントの影響値の比は $\frac{\text{G-M法}}{\text{変形法}} = \frac{2.626}{2.8775}$

$$= 0.913 \text{ に達し、その差を百分率で表わすと } \frac{2.8775-2.626}{2.8775} \times 100 = 8.7\% \text{ まで}$$

低減し1本横桁時の11.7%より良い近似を示している。

(3) 横桁分配

中央主桁の支間中央に着目した際、1本横桁の曲げモーメントの比は $\frac{\text{G-M法}}{\text{変形法}} =$

$$\frac{1.0719}{1.0681} = 1.004 \text{ に対し、3本横桁の場合は } \frac{0.5418}{0.9239} = 0.586 \text{ になっている。}$$

以上の比較は単位荷重による断面力影響値の比較である。

§ 123 高次項を考慮に入れた Guyon-Massonnet 法の比較

(i) 基礎方程式

$$\rho \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\alpha \sqrt{\rho \cdot \rho_0} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \rho_0 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = P(x, y) \quad \dots\dots(1)$$

ただし

$$\alpha = \frac{r + r_Q}{2\sqrt{\rho \cdot \rho_Q}}, \quad \rho = \frac{EI}{a}, \quad \rho_Q = \frac{EI_Q}{\lambda},$$

$$r = \frac{G \cdot J_T}{a}, \quad r_Q = \frac{G \cdot J_{TQ}}{\lambda}, \quad \theta = \frac{b}{L} \sqrt[4]{\frac{\rho}{\rho_Q}}$$

(2) $\alpha = 0$ の際 $Kon(y)$ の誘導

$\alpha = 0$ の場合式(1)は次のようになる。

$$\rho \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \rho_Q \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = P(x, y) \quad (2)$$

荷重 P が次式の様にと与えられるとすれば

$$P = \delta(y - e) \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cdot \sin \bar{n} \cdot x, \quad \bar{n} = \frac{n\pi}{L} \quad (3)$$

ただし e は載荷の偏心を表わす。また撓み関数も次の形に設定できる。

$$W(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(y) \cdot \sin \bar{n} \cdot x \quad (4)$$

式(3), (4)を式(2)に代入すると式(5)が得られる。

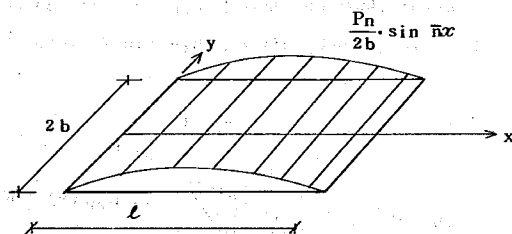
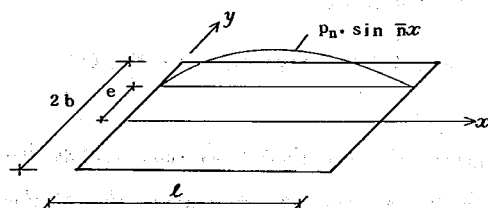
$$W_n''''(y) + 4\lambda n^4 \cdot W_n(y) = \frac{1}{\rho_Q} \delta(y - e) \cdot p_n \quad (5)$$

ただし

$$\lambda_n = \frac{\bar{n}}{\sqrt{2}} \left(\frac{\rho}{\rho_Q} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{n \cdot \pi}{\sqrt{2} b} \theta \quad \text{に置いた。}$$

荷重関数を次のように表わすと

$$P(x, y) = \frac{1}{2b} \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cdot \sin \bar{n} \cdot x \quad (6)$$



式(6)に対応する撓み関数は次のように表わせる

$$W(x, y) = \sum_{n=1}^N W_{mn} \cdot \sin n\pi x, \quad \dots\dots\dots(7)$$

ただし W_{mn} は撓みの平均値を表し、その値は次のようになる。

$$\rho \cdot \bar{n}^4 \cdot W_{mn} = \frac{1}{2b} p_n$$

$$\text{または } W_{mn} = \frac{1}{2b \rho_Q} \cdot \frac{p_n}{4 \lambda_n^4} \quad \dots\dots\dots(8-a)$$

分配関数 $K_{on}(y)$ を導入すると

$$K_{on}(y) = \frac{W_n(y)}{W_{mn}}, \quad \dots\dots\dots(8-b)$$

式(5)は式(9)のように書き直せる。

$$K_{on}''''(y) + 4 \lambda_n^4 \cdot K_{on}(y) = 8 b \lambda_n^4 \cdot \delta(y-e) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式(9)の特性方程式は

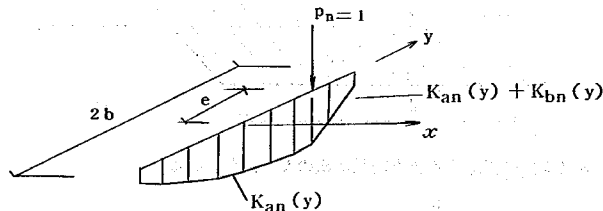
$$\alpha_n^4 + 4 \lambda_n^4 = 0,$$

その解は次の様な形で表わせられる。

$$K_{on}(y) = K_{an}(y) + \text{Sign} \langle y-e \rangle \cdot K_{bn}(y), \dots\dots\dots(10)$$

ただし

$$\begin{aligned} K_{an}(y) &= a_{1n} \cdot \cos(\lambda_n y) \cdot \text{Ch}(\lambda_n y) + a_{2n} \cdot \cos(\lambda_n y) \text{Sh}(\lambda_n y) + \\ &\quad a_{3n} \cdot \sin(\lambda_n y) \cdot \text{Ch}(\lambda_n y) + a_{4n} \cdot \sin(\lambda_n y) \text{Sh}(\lambda_n y), \\ K_{bn}(y) &= b_{1n} \cdot \cos(\lambda_n y) \cdot \text{Ch}(\lambda_n y) + b_{2n} \cdot \cos(\lambda_n y) \text{Sh}(\lambda_n y) + \\ &\quad b_{3n} \cdot \sin(\lambda_n y) \cdot \text{Ch}(\lambda_n y) + b_{4n} \cdot \sin(\lambda_n y) \text{Sh}(\lambda_n y). \end{aligned}$$



y 方向の撓み角，曲げモーメント及び等価せん断力は次のように表わせられる。

$$\begin{aligned} \varphi_{yn} &= W_{mn} \cdot K'_{on}(y) \cdot \sin \bar{n} \cdot x, \\ M_{yn} &= -W_{mn} \cdot \rho_Q \cdot K''_{on}(y) \cdot \sin \bar{n} \cdot x, \\ Q_{yn} &= -W_{mn} \cdot \rho_Q \cdot K'''_{on}(y) \cdot \sin \bar{n} \cdot x. \end{aligned}$$

以上の表示を用いて次の境界条件に代入し $K_{an}(y)$ と $K_{bn}(y)$ の式を導びく。

- a) $y = -b$ (自由縁)

$$K'_{an}(y) = K'_{bn}(y) = 0, \dots\dots\dots(11)$$

- b) $y = e$ (連続条件)

$$K_{bn}(y) = K'_{bn}(y) = K''_{bn}(y) = 0, K'''_{bn}(y) = 8\lambda_n^4 \cdot b, \dots\dots\dots(12)$$

- c) $y = b$ (自由縁)

$$K'_{an}(y) + K'_{bn}(y) = K''_{an}(y) + K''_{bn}(y) = 0. \dots\dots\dots(13)$$

以下の解析に次の記号を用いる。

$$\begin{aligned} S &= \sin(\lambda_n \cdot b), \quad C = \cos(\lambda_n \cdot b), \quad Sh = \sinh(\lambda_n \cdot b), \quad Ch = \cosh(\lambda_n \cdot b), \\ \bar{S} &= \sin(\lambda_n \cdot e), \quad \bar{C} = \cos(\lambda_n \cdot e), \quad \bar{Sh} = \sinh(\lambda_n \cdot e), \quad \bar{Ch} = \cosh(\lambda_n \cdot e), \\ S' &= \sin(\lambda_n \cdot y), \quad C' = \cos(\lambda_n \cdot y), \quad Sh' = \sinh(\lambda_n \cdot y), \quad Ch' = \cosh(\lambda_n \cdot y). \end{aligned}$$

各異なった $f(y)$ 関数の導函数を次の表に示す。

$f(y)$	$C' \cdot Ch'$	$C' \cdot Sh'$	$S' \cdot Ch'$	$S' \cdot Sh'$
$\frac{1}{\lambda_n} f'$	$-S' \cdot Ch' + C' \cdot Sh'$	$-S' Sh' + C' Ch'$	$C' Ch' + S' Sh'$	$C' Sh' + S' Ch'$
$\frac{1}{\lambda_n^2} f''$	$-2 S' \cdot Sh'$	$-2 S' \cdot Ch'$	$2 C' \cdot Sh'$	$2 C' \cdot Ch'$
$\frac{1}{\lambda_n^3} f'''$	$-2(C' \cdot Sh' + S' \cdot Ch')$	$-2(C' Ch' + S' Sh')$	$2(-S' Sh' + C' Ch')$	$2(-S' Ch' + C' Sh')$
$\frac{1}{\lambda_n^4} f''''$	$-4 C' \cdot Ch'$	$-4 C' \cdot Sh'$	$-4 S' \cdot Ch'$	$-4 S' \cdot Sh'$

式 (11) の境界条件より積分定数 a_{1n} と a_{2n} が得られる。

$$\begin{aligned} -S \cdot Sh \cdot a_{1n} + S \cdot Ch \cdot a_{2n} - C \cdot Sh \cdot a_{3n} + C \cdot Ch \cdot a_{4n} &= 0 \\ (C \cdot Sh + S \cdot Ch) a_{1n} - (C \cdot Ch + S \cdot Sh) a_{2n} + (-S \cdot Sh + C \cdot Ch) a_{3n} + \\ &+ (S \cdot Ch - C \cdot Sh) a_{4n} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} C \cdot Sh & -C \cdot Ch \\ S \cdot Sh - C \cdot Ch & C \cdot Sh - S \cdot Ch \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{3n} \\ a_{4n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S \cdot Sh & S \cdot Ch \\ C \cdot Sh + S \cdot Ch & -(C \cdot Ch + S \cdot Sh) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} a_{3n} \\ a_{4n} \end{bmatrix} = \frac{1}{C^2} \begin{bmatrix} -(Ch \cdot Sh + SC) & Ch^2 \\ -Sh^2 & Sh \cdot Ch - SC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (14)$$

式 (12) の境界条件より

$$\begin{aligned} \bar{C} \cdot \bar{Ch} \cdot b_{1n} + \bar{C} \cdot \bar{Sh} \cdot b_{2n} + \bar{S} \cdot \bar{Ch} \cdot b_{3n} + \bar{S} \cdot \bar{Sh} \cdot b_{4n} &= 0 \\ (\bar{C} \cdot \bar{Sh} - \bar{S} \cdot \bar{Ch}) b_{1n} + (\bar{C} \cdot \bar{Ch} - \bar{S} \cdot \bar{Sh}) b_{2n} + (\bar{C} \cdot \bar{Ch} + \bar{S} \cdot \bar{Sh}) b_{3n} + \\ &+ (\bar{C} \cdot \bar{Sh} + \bar{S} \cdot \bar{Ch}) b_{4n} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\bar{S} \cdot \bar{S}h \cdot b_{1n} - \bar{S} \cdot \bar{C}h \cdot b_{2n} + \bar{C} \cdot \bar{S}h \cdot b_{3n} + \bar{C} \cdot \bar{C}h \cdot b_{4n} = 0 \\
& -(\bar{C} \cdot \bar{S}h + \bar{S} \cdot \bar{C}h) b_{1n} - (\bar{C} \cdot \bar{C}h + \bar{S} \cdot \bar{S}h) b_{2n} + (\bar{C} \cdot \bar{C}h - \bar{S} \cdot \bar{S}h) b_{3n} + \\
& \quad (\bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h) b_{4n} = 4b\lambda n
\end{aligned}$$

または

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \bar{S} \cdot \bar{C}h & \bar{S} \cdot \bar{S}h \\ \bar{C} \cdot \bar{S}h & \bar{C} \cdot \bar{C}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{3n} \\ b_{4n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\bar{C} \cdot \bar{C}h & -\bar{C} \cdot \bar{S}h \\ \bar{S} \cdot \bar{S}h & \bar{S} \cdot \bar{C}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{1n} \\ b_{2n} \end{bmatrix} \\
& \begin{bmatrix} \bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h & \bar{C} \cdot \bar{C}h - \bar{S} \cdot \bar{S}h \\ -(\bar{C} \cdot \bar{S}h + \bar{S} \cdot \bar{C}h) & -(\bar{C} \cdot \bar{C}h + \bar{S} \cdot \bar{S}h) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{1n} \\ b_{2n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{C} \cdot \bar{C}h + \bar{S} \cdot \bar{S}h & \bar{C} \cdot \bar{S}h + \bar{S} \cdot \bar{C}h \\ \bar{C} \cdot \bar{C}h - \bar{S} \cdot \bar{S}h & \bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{3n} \\ b_{4n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 4b\lambda n \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

積分常数 b_{in} は次のように得られる。

$$\begin{bmatrix} b_{1n} \\ b_{2n} \\ b_{3n} \\ b_{4n} \end{bmatrix} = 2\lambda n \cdot b \cdot \begin{bmatrix} \bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h \\ \bar{S} \cdot \bar{S}h - \bar{C} \cdot \bar{C}h \\ \bar{S} \cdot \bar{S}h + \bar{C} \cdot \bar{C}h \\ -\bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h \end{bmatrix}, \dots\dots\dots (15)$$

式 (13) の境界条件より

$$\begin{aligned}
& -S \cdot Sh (a_{1n} + b_{1n}) - S \cdot Ch (a_{2n} + b_{2n}) + C \cdot Sh (a_{3n} + b_{3n}) + C \cdot Ch (a_{4n} + b_{4n}) = 0 \\
& -(C \cdot Sh + S \cdot Ch)(a_{1n} + b_{1n}) - (C \cdot Ch + S \cdot Sh)(a_{2n} + b_{2n}) + (C \cdot Ch - S \cdot Sh)(a_{3n} + b_{3n}) \\
& \quad + (C \cdot Sh - S \cdot Ch)(a_{4n} + b_{4n}) = 0
\end{aligned}$$

または

$$\begin{bmatrix} -S \cdot Sh & -S \cdot Ch \\ -(C \cdot Sh + S \cdot Ch) & -(C \cdot Ch + S \cdot Sh) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \cdot Sh & C \cdot Ch \\ C \cdot Ch - S \cdot Sh & C \cdot Sh - S \cdot Ch \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{3n} \\ a_{4n} \end{bmatrix} =$$

$$= - \begin{bmatrix} -S \cdot Sh & -S \cdot Ch & C \cdot Sh & C \cdot Ch \\ -(C \cdot Sh + S \cdot Ch) & -(C \cdot Ch + S \cdot Sh) & C \cdot Ch - S \cdot Sh & C \cdot Sh - S \cdot Ch \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_{1n} \\ b_{2n} \\ b_{3n} \\ b_{4n} \end{bmatrix}$$

式 (14) , (15) を上の式に代入し a_{in} について解くと次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ a_{3n} \\ a_{4n} \end{bmatrix} = -2\lambda_{nb} \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(Sh \cdot Ch + S \cdot C)^{-1} \\ \frac{1}{2}(Sh \cdot Ch - S \cdot C)^{-1} \\ \frac{1}{2}(Sh \cdot Ch - S \cdot C)^{-1} \\ \frac{1}{2}(Sh \cdot Ch + S \cdot C)^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C \cdot Sh - S \cdot Ch, -C \cdot Ch \\ C \cdot Ch - S \cdot Sh, -C \cdot Sh \\ S \cdot Sh + C \cdot Ch, -S \cdot Ch \\ S \cdot Sh + C \cdot Sh, -S \cdot Sh \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -S \cdot Sh & -S \cdot Ch & C \cdot Sh & C \cdot Ch \\ -(C \cdot Sh + S \cdot Ch), -(C \cdot Ch + S \cdot Sh), C \cdot Ch - S \cdot Sh, C \cdot Sh - S \cdot Ch \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{C} \cdot \bar{S}h - \bar{S} \cdot \bar{C}h \\ \bar{S} \cdot \bar{S}h - \bar{C} \cdot \bar{C}h \\ \bar{S} \cdot \bar{S}h + \bar{C} \cdot \bar{C}h \\ -(\bar{C} \cdot \bar{S}h + \bar{S} \cdot \bar{C}h) \end{bmatrix} \dots \dots \dots (16)$$

式 (14), (15) と (16) を用いると $K_{0n}(y)$ は次のように得られる。

$$K_{0n}(y) = 2\lambda_n b \{ C' \cdot Ch', C' \cdot Sh', S' \cdot Ch', S' \cdot Sh' \}$$

$$\begin{bmatrix} \mp \frac{1}{2} & -\frac{Ch^2}{2(Sh \cdot Ch + S \cdot C)} & \frac{C^2}{2(Sh \cdot Ch + S \cdot C)} & 0 \\ -\frac{Sh^2}{2(Sh \cdot Ch + S \cdot C)} & \mp \frac{1}{2} & 0 & -\frac{C^2}{2(Sh \cdot Ch - S \cdot C)} \\ -\frac{S^2}{2(Sh \cdot Ch + S \cdot C)} & 0 & \mp \frac{1}{2} & -\frac{Ch^2}{2(Sh \cdot Ch - S \cdot C)} \\ 0 & \frac{S^2}{2(Sh \cdot Ch + S \cdot C)} & -\frac{Sh^2}{2(Sh \cdot Ch - S \cdot C)} & \mp \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{C} \cdot Sh - \bar{S} \cdot Ch \\ \bar{S} \cdot Sh - \bar{C} \cdot Ch \\ \bar{S} \cdot Sh + \bar{C} \cdot Ch \\ -(\bar{C} \cdot Sh + \bar{S} \cdot Ch) \end{bmatrix} \dots (17)$$

$y < e$ の場合式 (17) の中の上の符号を用いる。

$y \geq e$ の , 下の ,

(3) $\alpha=1$ の際 $K_{1n}(y)$ の誘導

$\alpha=1$ の場合式 (1) は次のようになる。

$$\frac{\rho}{\rho_0} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\alpha^4 w}{\alpha y^4} = \frac{1}{\rho_0} P(x \cdot y) \dots (18)$$

撓み関数 $W(x, y)$ と荷重関数 $P(X, Y)$ は式 (4) と (3) と同様を表わすと式 (18) は次の形に書き直せる。

$$W_n'''(y) - 2\alpha_n^2 \cdot W_n''(y) + \alpha_n^4 \cdot W_n(y) = \frac{1}{\rho_0} p_n \cdot \delta(y - e) \dots (19)$$

ただし

$$\sigma_n = \frac{1}{n} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{4}} = \sqrt{2} \cdot \lambda_n = \frac{n\pi}{b} \theta$$

式(6)～(8)と同様に式の相似性から平均撓み定数 W_{mn} は次のように得られる。

$$W_{mn} = \frac{p_n}{2b \cdot \rho_0 \cdot \sigma_n^4} \dots\dots\dots (20)$$

$K_{1n}(y)$ 関数を導入すると

$$K_{1n}(y) = \frac{W_n(y)}{W_{mn}}, \dots\dots\dots (21)$$

式(19) は次の様に書き直せる。

$$K_{1n}''(y) - 2 \sigma_n^2 \cdot K_{1n}'(y) + \sigma_n^4 \cdot K_{1n}(y) = 2 b \cdot \sigma_n^4 \cdot \delta(y-e) \dots\dots\dots (22)$$

式(22) の解は次の形で表わせられる。

$$K_{1n}(y) = K_{cn}(y) + \text{sign}\langle y-e \rangle \cdot K_{dn}(y) \dots\dots\dots (23)$$

但し

$$\begin{aligned} K_{cn}(y) &= c_{1n} \cdot \text{Ch}(\sigma_n \cdot y) + c_{2n} \cdot \text{Sh}(\sigma_n \cdot y) + c_{3n} \cdot \sigma_n \cdot y \cdot \text{Ch}(\sigma_n \cdot y) + \\ &\quad + c_{4n} \cdot \sigma_n \cdot y \cdot \text{Sh}(\sigma_n \cdot y), \\ K_{dn}(y) &= d_{1n} \cdot \text{Ch}(\sigma_n \cdot y) + d_{2n} \cdot \text{Sh}(\sigma_n \cdot y) + d_{3n} \cdot \sigma_n \cdot y \cdot \text{Ch}(\sigma_n \cdot y) \\ &\quad + d_{4n} \cdot \sigma_n \cdot y \cdot \text{Sh}(\sigma_n \cdot y). \end{aligned}$$

撓み角, 曲げモーメント及び等価せん断力は次のように表わす。

$$\varphi_{yn} = W_{mn} \cdot K'_{1n}(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x)$$

$$M_{yn} = -W_{mn} \cdot \rho_0 \cdot K''_{1n}(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x)$$

$$Q_{yn} = -W_{mn} \cdot \rho_0 \left[K'_{1n}(y) - 2 \sigma_n^2 \cdot K'_{1n}(y) \right] \sin(\bar{n} \cdot x)$$

以上の表示を用い境界条件に代入して $K_{cn}(y)$ と $K_{dn}(y)$ 関数を誘導する。

a) $y = -b$ (自由縁)

$$K'_{cn}(y) = K''_{cn}(y) - 2\sigma_n^2 \cdot K'_{cn}(y) = 0, \dots\dots\dots(24)$$

b) $y = e$ (連続条件)

$$K_{dn}(y) = K'_{dn}(y) = K''_{dn}(y) = 0, \quad K''_{dn}(y) = 2b\sigma_n^4, \dots\dots\dots(25)$$

c) $y = b$ (自由縁)

$$K'_{cn}(y) + K'_{dn}(y) = K''_{cn}(y) + K''_{dn}(y) - 2\sigma_n^2 [K'_{cn}(y) + K'_{dn}(y)] = 0, \dots\dots\dots(26)$$

以下の解析に次の記号を用いる。

$$Sh = \sinh(\sigma_n \cdot b), \quad Ch = \cosh(\sigma_n \cdot b),$$

$$\bar{Sh} = \sinh(\sigma_n \cdot e), \quad \bar{Ch} = \cosh(\sigma_n \cdot e),$$

$$Sh' = \sinh(\sigma_n \cdot y), \quad Ch' = \cosh(\sigma_n \cdot y).$$

各異なった $f(y)$ 函数の導函数を次の表に示す。

$f(y)$	Ch'	Sh'	$\sigma_n \cdot y \cdot Ch'$	$\sigma_n \cdot y \cdot Sh'$
$\frac{1}{\sigma_n} f'$	Sh'	Ch'	$Ch' + \sigma_n \cdot y \cdot Sh'$	$Sh' + \sigma_n \cdot y \cdot Ch'$
$\frac{1}{\sigma_n^2} f''$	Ch'	Sh'	$2 Sh' + \sigma_n \cdot y \cdot Ch'$	$2 Ch' + \sigma_n \cdot y \cdot Sh'$
$\frac{1}{\sigma_n^3} f'''$	Sh'	Ch'	$3 Ch' + \sigma_n \cdot y \cdot Sh'$	$3 Sh' + \sigma_n \cdot y \cdot Ch'$
$\frac{1}{\sigma_n^4} f^{(4)}$	Ch'	Sh'	$4 Sh' + \sigma_n \cdot y \cdot Ch'$	$4 Ch' + \sigma_n \cdot y \cdot Sh'$

積分常数 c_{1n} と d_{1n} の決定

式 (24) の境界条件より

$$c_{1n} \cdot Ch - c_{2n} \cdot Sh - c_{3n} (2 Sh + \sigma_n \cdot b \cdot Ch) + c_{4n} (2 Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh) = 0,$$

$$-c_{1n} \cdot Sh + c_{2n} \cdot Ch + c_{3n} (-Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh) + c_{4n} (Sh - \sigma_n \cdot b \cdot Ch) = 0,$$

または

$$\begin{bmatrix} Ch, -Sh \\ -Sh, Ch \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{1n} \\ c_{2n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (2 Sh + \sigma_n \cdot b \cdot Ch), & -(2 Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh) \\ (Ch - \sigma_n \cdot b \cdot Sh), & -(Sh - \sigma_n \cdot b \cdot Ch) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{3n} \\ c_{4n} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(27)$$

式 (25) の境界条件より

$$\begin{aligned}
 d_{1n} \cdot \bar{C}h + d_{2n} \cdot \bar{S}h + d_{3n} \cdot \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h + d_{4n} \cdot \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h &= 0 \\
 d_{1n} \cdot \bar{S}h + d_{2n} \cdot \bar{C}h + d_{3n} (\bar{C}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h) + d_{4n} (\bar{S}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h) &= 0 \\
 d_{1n} \cdot \bar{C}h + d_{2n} \cdot \bar{S}h + d_{3n} (2 \bar{S}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h) + d_{4n} (2 \bar{C}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h) &= 0 \\
 d_{1n} \cdot \bar{S}h + d_{2n} \cdot \bar{C}h + d_{3n} (3 \bar{C}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h) + d_{4n} (3 \bar{S}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h) &= 2b \cdot \sigma_n ;
 \end{aligned}$$

または

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \bar{C}h & \bar{S}h \\ \bar{S}h & \bar{C}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{1n} \\ d_{2n} \end{bmatrix} &= - \begin{bmatrix} \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h & \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h \\ \bar{C}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h & \bar{S}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{3n} \\ d_{4n} \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} \bar{S}h & \bar{C}h \\ \bar{C}h & \bar{S}h \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{3n} \\ d_{4n} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 \\ b \cdot \sigma_n \end{bmatrix} ;
 \end{aligned}$$

上の式より d_{in} について解くと

$$\begin{bmatrix} d_{1n} \\ d_{2n} \\ d_{3n} \\ d_{4n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{S}h - \sigma_n \cdot e \cdot \bar{C}h \\ -\bar{C}h + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{S}h \\ \bar{C}h \\ -\bar{S}h \end{bmatrix} \sigma_n \cdot b \quad \dots\dots\dots (28)$$

式 (26) の境界条件より

$$\begin{aligned}
 (c_{1n} + d_{1n}) Ch + (c_{2n} + d_{2n}) Sh + (c_{3n} + d_{3n})(2 Sh + \sigma_n \cdot b \cdot Ch) \\
 + (c_{4n} + d_{4n})(2 Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh) &= 0 , \\
 -(c_{1n} + d_{1n}) Sh - (c_{2n} + d_{2n}) Ch + (c_{3n} + d_{3n})(Ch - \sigma_n \cdot b \cdot Sh) \\
 + (c_{4n} + d_{4n})(Sh - \sigma_n \cdot b \cdot Ch) &= 0 .
 \end{aligned}$$

または

$$\begin{bmatrix} Ch & Sh \\ Sh & Ch \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{1n} \\ c_{2n} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2 Sh + \sigma_n \cdot b \cdot Ch & 2 Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh \\ -Ch + \sigma_n \cdot b \cdot Sh & -Sh + \sigma_n \cdot b \cdot Ch \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} c_{3n} \\ c_{4n} \end{bmatrix} =$$

$$= - \begin{bmatrix} \text{Ch} & \text{Sh} & 2 \text{Sh} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} & 2 \text{Ch} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} \\ \text{Sh} & \text{Ch} & -\text{Ch} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} & -\text{Sh} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{1n} \\ d_{2n} \\ d_{3n} \\ d_{4n} \end{bmatrix}$$

式 (27) , (28) を上の式に代入し C_{1n} について解けば

$$\begin{bmatrix} c_{1n} \\ c_{2n} \\ c_{3n} \\ c_{4n} \end{bmatrix} = -\frac{1}{2} \begin{bmatrix} (\sigma_{n \cdot b} - 3 \text{Sh} \cdot \text{Ch})^{-1} \\ (\sigma_{n \cdot b} + 3 \text{Sh} \cdot \text{Ch})^{-1} \\ (\sigma_{n \cdot b} + 3 \text{Sh} \cdot \text{Ch})^{-1} \\ (\sigma_{n \cdot b} - 3 \text{Sh} \cdot \text{Ch})^{-1} \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} - \text{Sh} & -(\sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} + 2 \text{Ch}) \\ -\sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} + \text{Ch} & \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} + 2 \text{Sh} \\ \text{Ch} & -\text{Sh} \\ -\text{Sh} & \text{Ch} \end{bmatrix}$$

$$\cdot \begin{bmatrix} \text{Ch} & \text{Sh} & 2 \text{Sh} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} & 2 \text{Ch} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} \\ \text{Sh} & \text{Ch} & -\text{Ch} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Sh} & -\text{Sh} + \sigma_{n \cdot b} \cdot \text{Ch} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{\text{Sh}} - \sigma_{n \cdot e} \cdot \bar{\text{Ch}} \\ -\bar{\text{Ch}} + \sigma_{n \cdot e} \cdot \bar{\text{Sh}} \\ \bar{\text{Ch}} \\ -\bar{\text{Sh}} \end{bmatrix} \dots (29)$$

式 (23), (28) と (29) より $K_{1n}(y)$ 関数は次の様になる。

$$K_{1n}(y) = \frac{\sigma_n \cdot b}{2} \{ Ch' Sh' \sigma_n \cdot y \cdot Ch' \sigma_n \cdot y \cdot Sh' \} \cdot$$

$$\begin{bmatrix} \mp 1 & \frac{2+3Sh^2}{\sigma_n \cdot b - 3Sh'Ch} & \frac{-2-(\sigma_n \cdot b)^2}{\sigma_n \cdot b - 3Sh'Ch} & 0 \\ \frac{2-3Ch^2}{\sigma_n \cdot b + 3Sh'Ch} & \mp 1 & 0 & \frac{-2-(\sigma_n \cdot b)^2}{\sigma_n \cdot b + 3Sh'Ch} \\ \frac{-1}{\sigma_n \cdot b + 3Sh'Ch} & 0 & \mp 1 & \frac{-2-3Sh^2}{\sigma_n \cdot b + 3Sh'Ch} \\ 0 & \frac{-1}{\sigma_n \cdot b - 3Sh'Ch} & \frac{-2+3Ch^2}{\sigma_n \cdot b - 3Sh'Ch} & \mp 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{Sh} - \sigma_n \cdot e \cdot \bar{Ch} \\ -Ch + \sigma_n \cdot e \cdot \bar{Sh} \\ Ch \\ -Sh \end{bmatrix} \quad \dots (30)$$

$y < e$ の場合式 (30) の内の上の符号を用いる。

$y \geq e$ 下 ,

式 (17) と (30) の表示から明らかに高次項を考慮した場合の $K_{0n}(y)$ と $K_{1n}(y)$ の表示は一項だけ取った場合の $K_0(y)$ と $K_1(y)$ の表示の形と全く同じ形を有していることが分る。

曲げモーメント及びせん断力の表示

$$M_x = - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad M_y = - \rho_Q \frac{\partial^2 w}{\partial x^2},$$

$$M_{xy} = \tau \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}, \quad M_{yx} = - \tau_Q \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

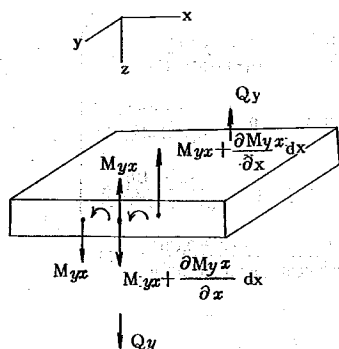
釣合条件より

$$Q_x = \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{yx}}{\partial y} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \tau_Q \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right),$$

$$Q_y = \frac{\partial M_y}{\partial y} - \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} = - \frac{\partial}{\partial y} \left(\tau \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho_Q \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right).$$

y —一定の任意の縁に沿った境界条件を満足するKirchoff の等価せん断力は次のように表わせられる。

$$\bar{Q}_y = Q_y + \frac{\partial M_{yx}}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial y} \left[(1 + \nu_0) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho_0 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]$$



(4) $K_{0n}(y)$, $K_{1n}(y)$ 関数を用いて板の撓み, 曲げモーメント及びせん断力を決める場合

式(4)の様に n 項迄取った $K_{0n}(y)$ と $K_{1n}(y)$ 関数は $W(x, y)$, M_x, M_y , Q_x, Q_y の決定に n 項の和の量が影響を与える。

仮に $K_{\alpha n}(y)$ も $n=1$ の場合と同じ補間式を用いるとすれば

$$K_{\alpha n} = K_{0n} + (K_{1n} - K_{0n}) \sqrt{\alpha} \quad (31)$$

n 項迄考えた場合の撓み $W(x, y)$, 曲げモーメント M_x, M_y とせん断力 Q_x は次のように表わせられる。

$$\left. \begin{aligned} W(x, y) &= \sum_{n=1}^{\infty} W_n(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x) \\ M_x &= \sum_{n=1}^{\infty} M_{xn} \\ M_y &= \sum_{n=1}^{\infty} M_{yn} \\ Q_x &= \sum_{n=1}^{\infty} Q_{xn} \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

$$\text{ただし } W_n(y) = W_{mn} \cdot K_{\alpha n}(y)$$

$$M_{xn} = -\rho \cdot \frac{\partial^2 w_n}{\partial x^2} = \rho \cdot \bar{n}^2 \cdot W_n(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x)$$

$$M_{yn} = -\rho_q \cdot \frac{\partial^2 w_n}{\partial y^2} = \rho_q \cdot b \cdot \mu_n(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x)$$

$$Q_{xn} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \cdot \frac{\partial^2 W_n}{\partial x^2} + r_q \cdot \frac{\partial^2 W_n}{\partial y^2} \right) \\ = \left[\rho \bar{n}^3 W_n(y) - r_q \bar{n} W_n(y) \right] \cos(\bar{n} \cdot x); \dots\dots\dots (33)$$

$$\text{ただし } W_n'(y) = -\frac{p_n \cdot b}{\rho_q} \cdot \mu_n(y)$$

$$W_{mn} = \frac{p_n}{8 \cdot b \cdot \rho_q \cdot \lambda n^4}$$

曲げモーメント M_{yn} の決定

$$M_{yn} = -\rho_q \cdot \frac{\partial^2 W_n}{\partial y^2} = -\rho_q \cdot \frac{W_{mn}}{b} \cdot \frac{d^2 W_n(y)}{dy^2} \cdot b \cdot \sin(\bar{n} \cdot x) \\ = p_n \cdot b \cdot \mu_n(y) \cdot \sin(\bar{n} \cdot x)$$

$$\mu_n(y) = -\frac{\rho_q \cdot W_{mn}}{b} \cdot \frac{d^2 K_n(y)}{dy^2}; \quad p_n = 1.$$

$\alpha = 0, 1$ の時の μ の表示は次のように表わせられる。

$$\mu_{0n}(y) = -\frac{1}{8 \cdot b^2 \cdot \lambda n^4} \cdot \frac{d^2 K_{0n}(y)}{dy^2},$$

$$\mu_{1n}(y) = -\frac{1}{2 \cdot b^2 \cdot \sigma_n^4} \cdot \frac{d^2 K_{1n}(y)}{dy^2}.$$

式 (17) と (30) を考慮に入れると

$$\mu_{0n}(y) = \frac{1}{2b\lambda_n} \left\{ S'Sh', S'Ch', -C'Sh', -C'Ch' \right\} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \quad \cdots (34)$$

$$\mu_{1n}(y) = -\frac{1}{4b\sigma_n} \left\{ Ch', Sh', 2Sh' + \sigma_n y Ch', 2Ch' + \sigma_n y Sh' \right\} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \quad \cdots (35)$$

捩りモーメント

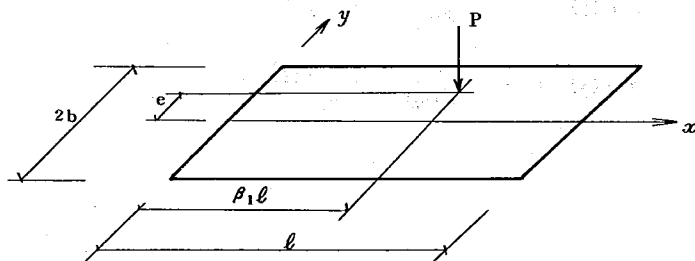
$$M_{xyn} - M_{yxn} = (r + r_0) \frac{\partial^2 w_n}{\partial x \partial y} = 2\alpha\sqrt{\rho \cdot A_0} \bar{n} \cdot \frac{dW_n(y)}{dy} \cos \bar{n}x$$

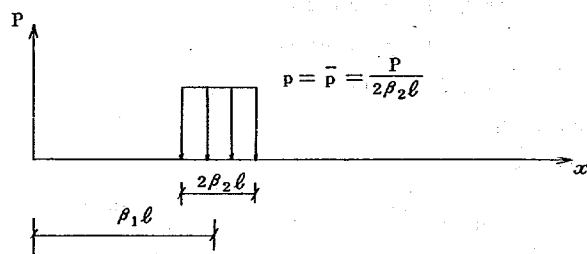
$$\tau_{1n}(y) = \frac{1}{2b\sigma_n^3} \cdot \frac{dK_{1n}(y)}{dy}$$

または

$$\tau_{1n}(y) = \frac{1}{4b\sigma_n} \left\{ Sh', Ch', Ch' + \sigma_n y \cdot Sh', Sh' + \sigma_n y \cdot Ch' \right\} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ \cdots \\ \cdots \\ \cdots \end{bmatrix} \quad \cdots (36)$$

(5) 荷重項の式





$$p(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x < (\beta_1 - \beta_2)l \text{ と } (\beta_1 + \beta_2)l < x \leq l, \\ \bar{p} & (\beta_1 - \beta_2)l < x < (\beta_1 + \beta_2)l. \end{cases}$$

荷重函数 $P(x)$ をフーリエ級数の形で表わすと

$$p(x) = \sum_{n=1}^{\infty} P_n \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{l}$$

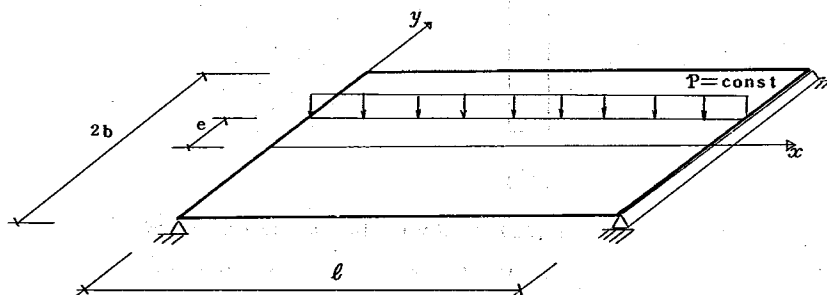
ただし

$$P_n = \frac{2}{l} \int_0^l p(x) \cdot \sin \frac{n \cdot \pi \cdot x}{l} dx$$

$$= \frac{4\bar{p}}{n \cdot \pi} \sin(n \cdot \pi \cdot \beta_1) \cdot \sin(n \cdot \pi \cdot \beta_2) = \frac{2P}{n \cdot \pi \cdot \beta_2 \cdot l} \sin(n \cdot \pi \cdot \beta_1) \sin(n \cdot \pi \cdot \beta_2) \quad (37)$$

$\beta_1 = \frac{1}{2}$ の場合, n は奇数項を取る

(6) 比較に用いたモデル



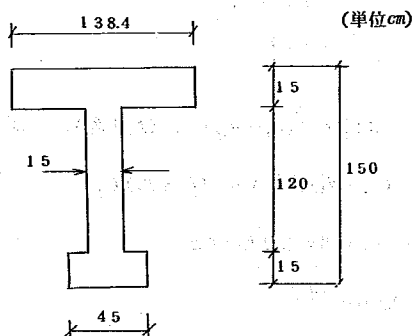
支間長 $\ell = 29.52 \text{ m}$

全 幅 $2b = 15.00 \text{ m}$

主桁本数 11本

桁の断面特性

(a) 主 桁

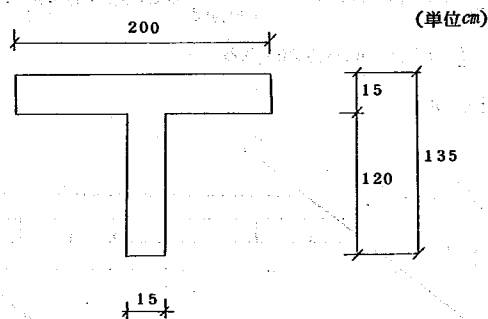


断面二次モーメント $I = 13,605,000 \text{ cm}^4$

捩り係数 $J_T = 310,900 \text{ cm}^4$

主桁間隔 $a = 138.4 \text{ cm}$

(b) 横 桁



断面二次モーメント $I_Q = 9,011,300 \text{ cm}^4$

捩り係数 $J_{TQ} = 336,500 \text{ cm}^4$

横桁間隔 $\lambda = 590.0 \text{ cm}$

$$\text{曲げ剛性係数 } \theta = \frac{b}{\ell} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{4}} = 0.40$$

$$\text{振り剛性係数 } \alpha = \frac{\tau + \tau_0}{2 \sqrt{\rho \cdot \rho_0}} = 0.0154$$

板の上に載荷する全荷重を次のように仮定する

$$P = p \cdot \ell = 1 \text{ Kg.}$$

荷重Pはヤング係数Eの伴った任意の荷重単位に設定することができる。

(7) $K_n(\alpha)$ と $\mu_n(\alpha)$ の高次項の比較 $e = 0.0$ $K_n(\alpha)$ と $\mu_n(\alpha)$ の値

項目	n'	α	y				
			$-b$	$-\frac{1}{2}b$	0	$\frac{1}{2}b$	b
$K_n(\alpha)$	1	0	0.82726	1.01288	1.11597	1.01288	0.82726
		1	0.92204	1.00305	1.06008	1.00305	0.92204
		0.4	0.83902	1.01166	1.11090	1.01166	0.83902
	2	0	-0.66766	0.88048	2.75410	0.88048	-0.66766
		1	0.33516	0.88342	1.91240	0.88342	0.33516
		0.4	-0.54322	0.88085	2.64964	0.88085	-0.54322
	3	0	-0.05565	0.08783	4.44366	0.08783	-0.05565
		1	0.06480	0.56684	3.14230	0.56684	0.06480
		0.4	-0.04071	0.14727	4.28216	0.14727	-0.04071
	10	0	-0.113×10^{-5}	0.00101	1.688296	0.00101	-0.113×10^{-5}
		1	-0.812×10^{-8}	0.00101	1.193805	0.00101	-0.812×10^{-8}
		0.4	-0.992×10^{-6}	0.00101	1.626931	0.00101	-0.992×10^{-6}
$\mu_n(\alpha)$ $\times 10^4$	1	0	0.000	556.648	237.1620	556.648	0.000
		1		79.657	1563.322	79.657	
		0.4		497.455	227.1313	497.455	
	2	0		-127.723	9400.15	-127.723	
		1		-958.59	657.519	-958.59	
		0.4		-123.769	9049.58	-123.769	
	3	0		-85.319	5627.51	-85.319	
		1		-37.112	3978.23	-37.112	
		0.4		-79.336	5422.84	-79.336	
	10	0		-0.0443	148.078	-0.0443	
		1		-0.0075	104.707	-0.0075	
		0.4	$\downarrow$	-0.0397	1426.96	-0.0397	$\downarrow$

* n' : 奇数項の数

$e = 0.25b$

$K_n(\alpha)$ と $\mu_n(\alpha)$ の値

項目	* n'	α	y				
			$-b$	$-\frac{1}{2}b$	0	$\frac{1}{2}b$	b
$K_n(\alpha)$	1	0	0.13370	0.62504	1.08505	1.40053	1.59158
		1	0.78622	0.90434	1.04144	1.10511	1.08932
		0.4	0.21468	0.65970	1.07964	1.36387	1.52925
	2	0	-0.38557	0.18411	2.00502	1.99875	-0.60385
		1	0.15325	0.45822	1.46142	1.54316	0.71822
		0.4	-0.31870	0.21813	1.93756	1.94221	-0.43978
	3	0	0.05147	-0.19171	1.96072	2.00028	-0.62325
		1	0.01603	0.16244	1.68033	1.69619	0.25258
		0.4	0.04707	-0.14776	1.92592	1.96255	-0.51456
	10	0	0.117×10^{-5}	0.584×10^{-4}	-0.33567	-0.33567	0.000208
		1	-0.145×10^{-9}	0.377×10^{-5}	0.21271	0.21271	0.000016
		0.4	0.102×10^{-5}	0.516×10^{-4}	-0.26761	-0.26761	0.000184
$\mu_n(\alpha)$ $\times 10^4$	1	0	0.000	1.86184	1.150907	9.56614	0.000
		1		-233.306	54.6209	58.4960	
		0.4		134.126	107.587	91.0493	
	2	0		-148.107	80.517	160.107	
		1		-75.764	7.645	0.499	
		0.4		-139.129	71.474	140.300	
	3	0		-162.26	-84.356	-80.033	
		1		-13.349	-47.341	-48.325	
		0.4		-158.69	-79.763	-76.098	
	10	0		0.422×10^{-3}	0.8906	0.8906	
		1		0.296×10^{-4}	-1.3302	-1.3302	
		0.4		0.366×10^{-3}	0.6150	0.6150	

* n' — 奇数項の和を示す

$$e = 0.5 b$$

 $K_n(\alpha)$ と $\mu_n(\alpha)$ の値

	奇数項 の 和 n'	α	y				
			$-b$	$-\frac{1}{2}b$	0	$\frac{1}{2}b$	b
$K_n(\alpha)$	1	0	-0.5106	0.24258	1.01288	1.77252	2.43999
		1	0.67777	0.81714	1.00305	1.19307	1.28926
		0.4	-0.36314	0.31388	1.01166	1.70061	2.29719
	2	0	-0.13174	-0.08999	0.88048	2.78762	0.66198
		1	0.07056	0.23045	0.88342	2.11561	1.48271
		0.4	-0.10663	-0.50231	0.88085	2.70422	0.76383
	3	0	0.02146	-0.06664	0.08783	4.58387	-1.16741
		1	0.00388	0.04329	0.56684	3.20226	0.93070
		0.4	0.01928	-0.05300	0.14727	4.41242	-0.90704
	10	0	-0.405×10^{-4}	-0.104×10^{-5}	0.00101	1.688296	-0.00813
		1	-0.687×10^{-12}	0.127×10^{-7}	0.00101	1.193803	0.01359
		0.4	-0.354×10^{-4}	-0.913×10^{-6}	0.00101	1.626931	-0.00543
$\mu_n(\alpha)$ $\times 10^4$	1	0	0.000	-16.2697	-19.991	1.388427	0.000
		1		-431.700	-131.410	1.397864	
		0.4		-195.991	-33.818	1.389598	
	2	0		-85.652	-190.434	965.723	
		1		-46.337	-101.574	630.695	
		0.4		-80.773	-179.408	924.147	
	3	0		4.669	-87.576	570.838	
		1		-3.972	-37.246	393.811	
		0.4		3.597	-81.330	548.870	
	10	0		0.389×10^{-5}	-0.0442	1.48078	
		1		-0.102×10^{-6}	-0.0075	1.04707	
		0.4		0.339×10^{-5}	-0.0397	1.42696	

(8) 撓みおよび断面力の高次項の比較

荷 重 = 1 - Kg

載荷点 $e = 0.0$ n' : 奇数項の数

項 目	着 目 点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
	$\frac{x}{l}$	$\frac{y}{b}$						
撓み W, E (kg/cm) (E :ヤング係数)	$\frac{1}{4}$	-1	1.41720	1.41342	1.41344	1.41344	1.41344	+ 0.27
		$-\frac{1}{2}$	1.70880	1.71493	1.71485	1.71487	1.71486	- 0.35
		0	1.87328	1.89170	1.88939	1.88878	1.88905	- 0.83
		$\frac{1}{2}$	1.70880	1.71493	1.71485	1.71487	1.71486	- 0.35
		1	1.41720	1.41342	1.41344	1.41344	1.41344	+ 0.27
	$\frac{1}{2}$	-1	2.00422	2.00956	2.00953	2.00952	2.00952	- 0.26
		$-\frac{1}{2}$	2.41661	2.40795	2.22143	2.40810	2.40809	+ 0.35
		0	2.64922	2.62318	2.62645	2.62560	2.62581	+ 0.89
		$\frac{1}{2}$	2.41661	2.40795	2.22143	2.40810	2.40809	+ 0.35
		1	2.00422	2.00956	2.00953	2.00952	2.00952	- 0.26
断面力 $Q_x \times 10^3$ (kg/cm)	0	-1	0.23747	0.22039	0.21993	0.22018	0.22017	+ 7.86
		$-\frac{1}{2}$	0.28633	0.31403	0.31570	0.31454	0.31392	- 8.79
		0	0.31389	0.39722	0.44570	0.48032	0.59109	- 46.90
		$\frac{1}{2}$	0.28633	0.31403	0.31570	0.31454	0.31392	- 8.79
		1	0.23747	0.22039	0.21993	0.22018	0.22017	+ 7.86
	$\frac{1}{4}$	-1	0.16792	0.18000	0.18032	0.18050	0.18050	- 6.97
		$-\frac{1}{2}$	0.20247	0.18288	0.18170	0.18088	0.18056	+ 12.13
		0	0.22196	0.16304	0.12876	0.15324	0.15600	+ 42.28
		$\frac{1}{2}$	0.20247	0.18288	0.18170	0.18088	0.18056	+ 12.13
		1	0.16792	0.18000	0.18032	0.18050	0.18050	- 6.97

荷 重 = 1 Kp

載荷点 $e = 0.0$ n' : 奇数項の数

項目 曲 モ ー メント	着 目 点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
	α/δ	γ/δ						
M_x (kg·cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.15778	0.15400	0.15406	0.15404	0.15404	2.43
		$-\frac{1}{2}$	0.19025	0.19638	0.19616	0.19627	0.19622	- 3.04
		0	0.20856	0.22702	0.22057	0.21729	0.21994	- 5.17
		$\frac{1}{2}$	0.19025	0.19638	0.19616	0.19627	0.19622	- 3.04
		1	0.15778	0.15400	0.15406	0.15404	0.15404	2.43
	$\frac{1}{2}$	-1	0.22314	0.22849	0.22840	0.22837	0.22837	- 2.29
		$-\frac{1}{2}$	0.26905	0.26038	0.26069	0.26084	0.26079	3.17
		0	0.29495	0.26885	0.27796	0.27331	0.27474	7.36
		$\frac{1}{2}$	0.26905	0.26038	0.26069	0.26084	0.26079	3.17
		1	0.22314	0.22849	0.22840	0.22837	0.22837	- 2.29
M_y (kg·cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.0				→	0.00
		$-\frac{1}{2}$	0.011379	0.010435	0.010789	0.010856	0.010858	4.80
		0	0.051954	0.058854	0.056373	0.055107	0.056129	- 7.44
		$\frac{1}{2}$	0.011379	0.010435	0.010798	0.010856	0.010858	4.80
		1	0.0				→	0.00
	$\frac{1}{2}$	-1	0.0				→	0.00
		$-\frac{1}{2}$	0.016092	0.017427	0.016913	0.016995	0.016991	- 5.29
		0	0.073474	0.063716	0.067224	0.065434	0.065981	1.136
		$\frac{1}{2}$	0.016092	0.017427	0.016913	0.016995	0.016991	- 5.29
		1	0.0				→	0.00

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.25 b$ n' : 奇数項の和の数

項目	着目点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
	$\frac{\pi}{\ell}$	$\frac{y}{b}$						
撓み W, E (Kg/cm) (E: ヤング係数)	$\frac{1}{4}$	-1	0.36261	0.36039	0.36037	0.36037	0.36037	0.62
		$-\frac{1}{2}$	1.11430	1.11582	1.11589	1.11590	1.11590	-0.14
		0	1.82363	1.83710	1.83605	1.83592	1.83594	-0.67
		$\frac{1}{2}$	2.30371	2.31721	2.31615	2.31602	2.31604	-0.53
		1	2.58306	2.58001	2.58029	2.58029	2.58029	0.11
	$\frac{1}{2}$	-1	0.51281	0.51594	0.51598	0.51598	0.51598	-0.61
		$-\frac{1}{2}$	1.57586	1.57371	1.57360	1.57361	1.57361	0.14
		0	2.57900	2.55995	2.56142	2.56123	2.56125	0.69
		$\frac{1}{2}$	3.25794	3.23885	3.24035	3.24016	3.24018	0.55
		1	3.65301	3.65733	3.65694	3.65694	3.65694	-0.11
せん断力 $Q_x \times 10^3$ (Kg/cm)	0	-1	0.06076	0.05738	0.05127	0.05128	0.05127	18.51
		$-\frac{1}{2}$	0.18672	0.19357	0.19190	0.19162	0.19169	-2.59
		0	0.30557	0.36650	0.38831	0.39618	0.39678	-22.99
		$\frac{1}{2}$	0.38602	0.44710	0.46931	0.47717	0.47778	-19.21
		1	0.43283	0.41900	0.41317	0.41316	0.41342	4.69
	$\frac{1}{4}$	-1	0.04296	0.05005	0.04967	0.04968	0.04968	-13.53
		$-\frac{1}{2}$	0.13203	0.12718	0.12836	0.12816	0.12818	3.00
		0	0.21607	0.17299	0.15757	0.16313	0.16451	31.34
		$\frac{1}{2}$	0.27296	0.22977	0.21406	0.21961	0.22099	23.52
		1	0.30605	0.31583	0.31995	0.31995	0.32010	-4.39

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.25 b$ n' : 奇数項の和の数

項目 コメント	α/b	y/b	$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
M_x (kg-cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.04037	0.03815	0.03808	0.03808	0.03808	6.01
		$-\frac{1}{2}$	0.12406	0.12558	0.12580	0.12583	0.12583	-1.41
		0	0.20303	0.21653	0.21363	0.21288	0.21308	-4.72
		$\frac{1}{2}$	0.25648	0.27001	0.26706	0.26631	0.26651	-3.76
		1	0.28758	0.28452	0.28529	0.28530	0.28532	0.79
	$\frac{1}{2}$	-1	0.05709	0.06023	0.06033	0.06033	0.06033	-5.37
		$-\frac{1}{2}$	0.17545	0.17330	0.17298	0.17302	0.17302	1.40
		0	0.28713	0.26805	0.27214	0.27109	0.27130	5.83
		$\frac{1}{2}$	0.36272	0.34359	0.34777	0.34671	0.34692	4.55
		1	0.40671	0.41104	0.40994	0.40994	0.40997	-0.80
	$\frac{1}{4}$	-1	0.0				>	0.00
		$-\frac{1}{2}$	0.003068	0.002007	0.002080	0.002070	0.002072	48.07
		0	0.024609	0.025154	0.025519	0.025774	0.025612	-3.92
		$\frac{1}{2}$	0.020827	0.021896	0.022244	0.022498	0.022337	-6.76
		1	0.0				>	0.00
	$\frac{1}{2}$	-1	0.0				>	0.00
		$-\frac{1}{2}$	0.004339	0.005839	0.005736	0.005723	0.005726	-24.22
		0	0.034803	0.034032	0.033516	0.033876	0.033748	3.13
		$\frac{1}{2}$	0.029453	0.027940	0.027448	0.027807	0.027680	6.41
		0	0.0				>	0.00

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.5 b$ n' : 奇数項の数

項 目	着 目 点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
	x/b	y/b						
機 米 W. E (E: ヤング係数)	$\frac{1}{4}$	-1	-0.61338	-0.61412	-0.61413	-0.61413	-0.61413	- 0.12
		$-\frac{1}{2}$	0.53017	0.52982	0.52985	0.52985	0.52985	0.06
		0	1.70880	1.71493	1.71485	1.71487	1.71486	- 0.35
		$\frac{1}{2}$	2.87252	2.89132	2.88893	2.88833	2.88859	- 0.56
		1	3.88020	3.88550	3.88600	3.88609	3.88608	- 0.15
	$\frac{1}{2}$	-1	-0.86745	-0.86640	-0.86639	-0.86639	-0.86639	0.12
		$-\frac{1}{2}$	0.74978	0.75027	0.75023	0.75023	0.75023	- 0.06
		0	2.41661	2.40795	2.40807	2.40810	2.40809	0.35
		$\frac{1}{2}$	4.06236	4.03577	4.03915	4.03829	4.03850	0.59
		1	5.48743	5.47992	5.47922	5.47935	5.47934	0.15
ヤ ン 断 力 $Q_x \times 10^3$ (kg/cm)	0	-1	-0.10278	-0.10613	-0.10591	-0.10593	-0.10593	- 2.97
		$-\frac{1}{2}$	0.08884	0.08726	0.08666	0.08672	0.08673	2.43
		0	0.28633	0.31403	0.31570	0.31454	0.31392	- 8.79
		$\frac{1}{2}$	0.48133	0.56637	0.61632	0.65115	0.76193	-37.42
		1	0.65018	0.67420	0.66393	0.65865	0.65796	- 1.18
	$\frac{1}{4}$	-1	-0.07268	-0.07031	-0.07046	-0.07047	-0.07030	3.39
		$-\frac{1}{2}$	0.06282	0.06393	0.06436	0.06440	0.06441	- 2.47
		0	0.20247	0.18288	0.18170	0.18088	0.18056	12.13
		$\frac{1}{2}$	0.34035	0.28022	0.24489	0.26952	0.27229	25.00
		1	0.45974	0.44276	0.45002	0.44629	0.44535	3.23

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.5b$ n' : 奇数項の和を示す

曲げ モーメント	荷目点 x/b	y/b	$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
M_x (Kg cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	-0.06829	-0.06903	-0.06906	-0.06906	-0.06905	- 1.10
		$-\frac{1}{2}$	0.05903	0.05868	0.05876	0.05875	0.05875	0.48
		0	0.19025	0.19638	0.19616	0.19627	0.19622	- 3.04
		$\frac{1}{2}$	0.31981	0.33865	0.33201	0.32870	0.33136	- 3.49
		1	0.43200	0.43732	0.43868	0.43919	0.43910	- 1.62
	$\frac{1}{2}$	-1	-0.09658	-0.09553	-0.09549	-0.09548	-0.09547	1.16
		$-\frac{1}{2}$	0.08348	0.08397	0.08386	0.08385	0.08385	- 0.44
		0	0.26905	0.26038	0.26069	0.26084	0.26079	3.17
		$\frac{1}{2}$	0.45228	0.42564	0.43503	0.43036	0.43178	4.75
		1	0.61094	0.60341	0.60149	0.60219	0.60208	1.47
M_y (Kg cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.0					0.00
		$-\frac{1}{2}$	-0.004483	-0.005099	-0.005115	-0.005118	-0.005118	-12.41
		0	-0.000736	-0.002141	-0.001769	-0.001712	-0.001709	-56.93
		$\frac{1}{2}$	0.031785	0.038832	0.036321	0.035058	0.036080	-11.90
		1	0.0					0.00
	$\frac{1}{2}$	-1	0.0					0.00
		$-\frac{1}{2}$	-0.006340	-0.005469	-0.005446	-0.005449	-0.005449	16.35
		0	-0.001094	0.000841	0.000314	0.000396	0.000392	379.08
		$\frac{1}{2}$	0.044951	0.034987	0.038538	0.036751	0.037298	20.52
		1	0.0					0.00

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.75 b$ n' : 奇数項の和を示す

	着 目 点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
	$\frac{x}{b}$	$\frac{y}{b}$						
撓み W, E (Kg/cm) (E: ヤング係数)	$\frac{1}{4}$	-1	-1.54599	-1.54579	-1.54579	-1.54579	-1.54572	0.02
		$-\frac{1}{2}$	-0.04402	-0.04478	-0.04478	-0.04478	-0.04478	-1.70
		0	1.56639	1.56696	1.56704	1.56705	1.56705	-0.04
		$\frac{1}{2}$	3.38764	3.40149	3.40042	3.40028	3.40030	-0.37
		1	5.30454	5.33323	5.33179	5.33175	5.33171	-0.51
	$\frac{1}{2}$	-1	-2.18635	-2.18664	-2.18664	-2.18664	-2.18654	-0.01
		$-\frac{1}{2}$	-0.06225	-0.06117	-0.06117	-0.06117	-0.06117	1.77
		0	2.21521	2.21440	2.21429	2.21423	2.21430	0.04
		$\frac{1}{2}$	4.79085	4.77128	4.77277	4.77257	4.77260	0.38
		1	7.50175	7.46117	7.46320	7.46315	7.46311	0.52
せん断力 $Q_x \times 10^3$ (Kg/cm)	0	-1	-0.25905	-0.25815	-0.25814	-0.25814	-0.20262	27.85
		$-\frac{1}{2}$	-0.00738	-0.01082	-0.01078	-0.01076	-0.01077	-31.48
		0	0.26247	0.26506	0.26337	0.26308	0.26314	-0.25
		$\frac{1}{2}$	0.56764	0.63027	0.65248	0.66068	0.66128	-14.16
		1	0.88884	1.01867	1.04881	1.05118	1.03749	-14.33
	$\frac{1}{4}$	-1	-0.18318	-0.18382	-0.18382	-0.18382	-0.14456	26.72
		$-\frac{1}{2}$	-0.00522	-0.00278	-0.00281	-0.00280	-0.00280	86.43
		0	0.18559	0.18376	0.18496	0.18475	0.18477	0.44
		$\frac{1}{2}$	0.40138	0.35710	0.34140	0.34720	0.34863	15.13
		1	0.62851	0.53671	0.51540	0.51708	0.51841	21.24

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.75b$ n' : 奇数項の和を示す

曲 荷 重 点	x/b	y/b	$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=10$ の差の割合 (%)
M_x (kg-cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	-0.17212	-0.17192	-0.17192	-0.17192	-0.16981	1.36
		$-\frac{1}{2}$	-0.00490	-0.00566	-0.00567	-0.00567	-0.00567	-13.58
		0	0.17439	0.17497	0.17519	0.17522	0.17522	-0.47
		$\frac{1}{2}$	0.37716	0.39103	0.38808	0.38730	0.38750	-2.67
		1	0.59058	0.61933	0.61583	0.61510	0.61475	-3.93
	$\frac{1}{2}$	-1	-0.24342	-0.24370	-0.24370	-0.24370	-0.24071	1.13
		$-\frac{1}{2}$	-0.00693	-0.00585	-0.00584	-0.00584	-0.00584	18.66
		0	0.24663	0.24582	0.24550	0.24554	0.24554	0.44
		$\frac{1}{2}$	0.53339	0.51377	0.51795	0.51684	0.51706	3.16
		1	0.83520	0.79454	0.80020	0.79988	0.79968	4.44
M_y (kg-cm/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.0				→	0.00
		$-\frac{1}{2}$	-0.011618	-0.011770	-0.011782	-0.011781	-0.011781	-1.38
		0	-0.025009	-0.026366	-0.026297	-0.026306	-0.026304	-4.92
		$\frac{1}{2}$	-0.012816	-0.013798	-0.013378	-0.013112	-0.013278	-3.48
		1	0.0				→	0.00
	$\frac{1}{2}$	-1	0.0				→	0.00
		$-\frac{1}{2}$	-0.016430	-0.016215	-0.016198	-0.016197	-0.016197	1.44
		0	-0.035369	-0.033450	-0.033548	-0.033562	-0.033559	6.04
		$\frac{1}{2}$	-0.018125	-0.016737	-0.017331	-0.016956	-0.017089	6.06
		1	0.0				→	0.00

荷 重 = 1 Kg,

載荷点 $e = b$, $2b/l = 0.5081$ n' : 奇数項の和を示す

	着 目 点		$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=4$ の差の割合 (%)
	x/l	y/b						
撓み W.E (Kg/cm) (E: ヤング係数)	$\frac{1}{4}$	-1	-2.46366	-2.46277	-2.46277	-2.46277		0.04
		$-\frac{1}{2}$	-0.61338	-0.61412	-0.61413	-0.61413		- 0.12
		0	1.41720	1.41342	1.41344	1.41344		0.27
		$\frac{1}{2}$	3.88020	3.88550	3.88600	3.88609		- 0.15
		1	6.81524	6.88451	6.87553	6.87319		- 0.84
	$\frac{1}{2}$	-1	-3.48414	-3.48540	-3.48541	-3.48541		- 0.04
		$-\frac{1}{2}$	-0.86745	-0.86641	-0.86639	-0.86639		0.12
		0	2.00422	2.00956	2.00953	2.00952		- 0.26
		$\frac{1}{2}$	5.48743	5.47992	5.47922	5.47935		0.15
		1	9.63821	9.54025	9.55294	9.54964		0.93
せん断力 $Q_x \times 10^3$ (Kg/cm)	0	-1	-0.41282	-0.40878	-0.40885	-0.40885		0.97
		$-\frac{1}{2}$	-0.10323	-0.10656	-0.10635	-0.10636		- 2.94
		0	0.23629	0.21914	0.21870	0.21895		7.92
		$\frac{1}{2}$	0.64881	0.67235	0.66198	0.65670		- 1.20
		1	1.14198	1.45536	1.64336	1.77764		-35.76
	$\frac{1}{4}$	-1	-0.29191	-0.29476	-0.29471	-0.29471		- 0.95
		$-\frac{1}{2}$	-0.07299	-0.07064	-0.07079	-0.07080		3.09
		0	0.16708	0.17921	0.17952	0.17971		- 7.03
		$\frac{1}{2}$	0.45878	0.44213	0.44946	0.44573		2.93
		1	0.80750	0.58591	0.45298	0.54793		47.37

荷 重 = 10^6 Kg,

載荷点 $e = b$, $2b/l = 0.5081$.

n' : 奇数項の和を示す

曲げ モーメント	荷 目 点	x/l	y/b	$n'=1$	$n'=2$	$n'=3$	$n'=4$	$n'=10$	$n'=1$ と $n'=4$ の差の割合 (%)
M_x (Kg cm/cm)	$1/4$	-1		-0.27429	-0.27340	-0.27339	-0.27339		0.33
		$-1/2$		-0.06829	-0.06903	-0.06906	-0.06906		- 1.11
		0		0.15778	0.15400	0.15406	0.15404		2.43
		$1/2$		0.43200	0.43732	0.43868	0.43919		- 1.64
		1		0.75877	0.82818	0.80319	0.79045		- 4.01
	$1/2$	-1		-0.38790	-0.38917	-0.38918	-0.38918		- 0.33
		$-1/2$		-0.09658	-0.09553	-0.09549	-0.09548		1.15
		0		0.22314	0.22849	0.22840	0.22837		- 2.29
		$1/2$		0.61094	0.60342	0.60149	0.60219		1.45
		1		1.07306	0.97491	1.01024	0.99221		8.15
M_y (Kg cm/cm)	$1/4$	-1		0.0					
		$-1/2$		-0.01860	-0.01834	-0.01834	-0.01834		1.42
		0		-0.04880	-0.04967	-0.04977	-0.04977		- 2.34
		$1/2$		-0.05659	-0.06325	-0.06243	-0.06241		- 9.33
		1		0.0					
	$1/2$	-1		0.0					
		$-1/2$		-0.02630	-0.02667	-0.02667	-0.02667		- 1.39
		0		-0.06901	-0.06778	-0.06764	-0.06764		2.03
		$1/2$		-0.08003	-0.07062	-0.07178	-0.07176		11.52
		1		0.0					

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0$ n' : 奇数項の和の数

着目点	$2b/\ell = 0.5081$				$2b/\ell = 1.0$			$2b/\ell = 2.0$			
	α/ℓ	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)	
W, E (Kg·cm)	$\frac{1}{4}$	-1	141720	141344	-0.27	-0.02973	-0.02968	-0.17	-0.00826	-0.00826	0.00
		$-\frac{1}{2}$	170880	171487	0.35	0.22209	0.22202	-0.03	0.01375	0.01374	-0.07
		0	187328	188878	0.82	0.39307	0.39680	0.94	0.09043	0.09136	10.2
		$\frac{1}{2}$	170880	171487	0.35	0.22209	0.22202	-0.03	0.01375	0.01374	-0.07
		1	141720	141344	-0.27	-0.02973	-0.02968	-0.17	-0.00826	-0.00826	0.00
	$\frac{1}{2}$	-1	200422	200952	0.26	-0.04204	-0.04211	0.17	-0.01168	-0.01168	0.00
		$-\frac{1}{2}$	241661	240810	-0.35	0.31408	0.31418	0.03	0.01944	0.01944	0.00
		0	264922	262560	-0.90	0.55589	0.55019	-1.04	0.12789	0.12647	-1.12
		$\frac{1}{2}$	241661	240810	-0.35	0.31408	0.31418	0.03	0.01944	0.01944	0.00
		1	200422	200952	0.26	-0.04204	-0.04211	0.17	-0.01168	-0.01168	0.00
$Q_x \times 10^3$ (Kg/cm)	0	-1	0.23747	0.22018	-7.85	-0.03797	-0.03636	-4.43	-0.08436	-0.08437	0.01
		$-\frac{1}{2}$	0.28661	0.31470	8.93	0.28384	0.28011	-1.33	0.13937	0.13914	-0.16
		0	0.31515	0.48259	34.70	0.50514	0.81851	38.29	0.92979	1.55650	40.26
		$\frac{1}{2}$	0.28661	0.31470	8.93	0.28384	0.28011	-1.33	0.13937	0.13914	-0.16
		1	0.23747	0.22018	-7.85	-0.03797	-0.03636	-1.43	-0.08436	-0.08437	0.01
	$\frac{1}{4}$	-1	0.16792	0.18050	6.97	-0.02685	-0.02799	4.07	-0.05965	-0.05965	0.00
		$-\frac{1}{2}$	0.20266	0.18115	-11.87	0.20070	0.20351	1.38	0.09855	0.09872	0.17
		0	0.22284	0.15371	-44.98	0.35719	0.22922	-55.83	0.65746	0.40156	-63.73
		$\frac{1}{2}$	0.20266	0.18115	-11.87	0.20070	0.20351	1.38	0.09855	0.09872	0.17
		1	0.16792	0.18050	6.97	-0.02685	-0.02799	4.07	-0.05965	-0.05965	0.00

載荷点 $e = 0$

n' : 奇数項の和の数

座 標 点	着目点 x/l	y/b	$2b/l = 0.5081$			$2b/l = 1.0$			$2b/l = 2.0$		
			$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)	$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)	$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\textcircled{2}-\textcircled{1})/\textcircled{2} \times 100$ (%)
Max ($kg \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	0.15778	0.15404	- 2.43	-0.01282	-0.01263	- 1.50	-0.01424	-0.01424	0.00
		$-1/2$	0.19025	0.19627	3.07	0.09576	0.09554	- 0.23	0.02371	0.02370	- 0.04
		0	0.20856	0.21729	4.02	0.16949	0.17738	4.45	0.15598	0.16385	4.80
		$1/2$	0.19025	0.19627	3.07	0.09576	0.09554	- 0.23	0.02371	0.02370	- 0.04
		1	0.15778	0.15778	- 2.43	-0.01282	-0.01263	- 1.50	-0.01424	-0.01424	0.00
	$1/2$	-1	0.22314	0.22837	2.29	-0.01813	-0.01840	1.47	-0.02014	-0.02014	0.00
		$-1/2$	0.26905	0.26084	- 3.15	0.13543	0.13573	0.22	0.03353	0.03355	0.06
		0	0.29495	0.27331	- 7.92	0.23970	0.21957	- 9.17	0.22059	0.20046	-10.04
		$1/2$	0.26905	0.26084	- 3.15	0.13543	0.13573	0.22	0.03353	0.03355	0.06
		1	0.22314	0.22837	2.29	-0.01813	-0.01840	1.47	-0.02014	-0.02014	0.00
My ($kg \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	0.0								→
		$-1/2$	0.01138	0.01086	- 4.79	0.00400	0.00336	-19.05	-0.01128	-0.01124	- 0.36
		0	0.05195	0.05511	5.73	0.06544	0.06855	4.54	0.06114	0.06425	4.84
		$1/2$	0.01138	0.01086	- 4.79	0.00400	0.00336	-19.05	-0.01128	-0.01124	- 0.36
		1	0.0								→
	$1/2$	-1	0.0								→
		$-1/2$	0.01609	0.01699	5.30	0.00566	0.00657	13.85	-0.01595	-0.01601	0.37
		0	0.07347	0.06543	-12.29	0.09255	0.08462	- 9.37	0.08647	0.07854	-10.10
		$1/2$	0.01609	0.01699	5.30	0.00566	0.00657	13.85	-0.01595	-0.01601	0.37
		1	0.0								→

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.25 b$ n' : 奇数項の和の数

着目点	$2b/\ell = 0.5081$				$2b/\ell = 1.0$				$2b/\ell = 2.0$			
	α/ℓ	γ/ℓ	$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	$n' = 1$ ①	$n' = 4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	
W. E (kg/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	0.36261	0.36037	-0.62	-0.07956	-0.07954	-0.03	-0.00093	-0.00093	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	1.11430	1.11590	0.14	0.11830	0.11820	-0.08	-0.00164	-0.00164	0.00	
		0	1.82363	1.83592	0.67	0.33655	0.33801	0.43	0.05332	0.05331	-0.02	
		$\frac{1}{2}$	2.30371	2.31602	0.53	0.33812	0.33959	0.43	0.05497	0.05495	-0.04	
		1	2.58306	2.58029	-0.11	0.10942	0.10923	-0.17	-0.01888	-0.01888	0.00	
	$\frac{1}{2}$	-1	0.51281	0.51598	0.61	-0.11251	-0.11254	0.03	-0.00131	-0.00131	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	1.57586	1.57361	-0.14	0.16730	0.16744	0.08	-0.00233	-0.00233	0.00	
		0	2.57900	2.56123	-0.69	0.47595	0.47390	-0.43	0.07541	0.07543	0.03	
		$\frac{1}{2}$	3.25794	3.24016	-0.55	0.47818	0.47611	-0.43	0.07774	0.07776	0.03	
		1	3.65301	3.65694	0.11	0.15474	0.15501	0.17	-0.02669	-0.02669	0.00	
$Q_x \times 10^3$ (kg/cm)	0	-1	0.06076	0.05128	-18.49	-0.10161	-0.10091	-0.69	-0.00948	-0.00948	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.18679	0.19161	2.52	0.15087	0.14764	-2.19	-0.01734	-0.01725	-0.52	
		0	0.30617	0.39672	22.82	0.43082	0.48278	10.76	0.54445	0.53726	-1.34	
		$\frac{1}{2}$	0.38652	0.47767	19.08	0.43289	0.48509	10.76	0.56145	0.55426	-1.30	
		1	0.43283	0.41316	-4.76	0.13975	0.13370	-4.53	-0.19286	-0.19289	0.02	
	$\frac{1}{4}$	-1	0.04296	0.04968	13.53	-0.07185	-0.07235	0.69	-0.00670	-0.00670	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.13208	0.12828	-2.96	0.10668	0.10896	2.09	-0.01226	-0.01233	0.25	
		0	0.21649	0.16353	-32.39	0.30463	0.26479	-15.05	0.38498	0.39041	1.39	
		$\frac{1}{2}$	0.27331	0.21991	-24.28	0.30610	0.26610	-15.03	0.39701	0.40243	1.35	
		1	0.30605	0.31995	4.34	0.09882	0.10306	4.11	-0.13637	-0.13635	-0.01	

載荷点 $e = 0.25 b$

n' : 奇数項の和の数

主 軸 座 標	着目点 x/l	y/b	$2b/l = 0.5081$				$2b/l = 1.0$			$2b/l = 2.0$		
			$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(\frac{②-①}{②}) \times 100$ (%)	
M_x (kg cm/cm)	$1/4$	-1	0.04037	0.03808	-6.01	-0.03431	-0.03422	-0.26	-0.00160	-0.00160	0.00	
		$-1/2$	0.12406	0.12583	1.41	0.05101	0.05062	-0.77	-0.00284	-0.00283	-0.35	
		0	0.20303	0.21288	4.83	0.14512	0.15074	3.73	0.09197	0.09176	-0.23	
		$1/2$	0.25648	0.26631	3.89	0.14580	0.15144	3.72	0.09481	0.09460	-0.22	
		1	0.28758	0.28530	-0.80	0.04718	0.04643	-1.62	-0.03256	-0.03256	0.00	
	$1/2$	-1	0.05709	0.06033	5.37	-0.04852	-0.04863	0.23	-0.00226	-0.00226	0.00	
		$-1/2$	0.17545	0.17302	-1.40	0.07214	0.07269	0.76	-0.00401	-0.00402	0.25	
		0	0.28713	0.27109	-5.92	0.20523	0.19758	-3.87	0.13007	0.13035	0.21	
		$1/2$	0.36272	0.34671	-4.62	0.20619	0.19851	-3.87	0.13408	0.13436	0.21	
		1	0.40671	0.40994	0.79	0.06672	0.06779	1.59	-0.04604	-0.04604	0.00	
M_y (kg cm/cm)	$1/4$	-1	0.0								→	
		$-1/2$	0.00307	0.00207	-48.31	-0.00464	-0.00465	0.22	-0.00570	-0.00570	0.00	
		0	0.02461	0.02577	4.50	0.02062	0.01976	-4.35	-0.00390	-0.00455	14.29	
		$1/2$	0.02083	0.02250	7.42	0.02207	0.02121	-4.05	-0.00181	-0.00245	26.12	
		1	0.0								→	
	$1/2$	-1	0.0								→	
		$-1/2$	0.00434	0.00572	24.13	-0.00657	-0.00656	-0.15	-0.00896	-0.00896	0.00	
		0	0.03480	0.03388	-2.72	0.02916	0.03054	4.52	-0.00551	-0.00461	-19.52	
		$1/2$	0.02945	0.02781	-5.90	0.03121	0.03258	4.21	-0.00255	-0.00164	-55.49	
		1	0.0								→	

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.5 b$ n' : 奇数項の和の数

項目点	$2b/l = 0.5081$				$2b/l = 1.0$				$2b/l = 2.0$			
	x/l	y/b	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)	
W, E (kg/cm)	$\frac{1}{4}$	-1	-0.61338	-0.61413	0.12	-0.08098	-0.08098	0.00	0.00101	0.00101	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.53017	0.52985	-0.06	0.03786	0.03785	-0.03	-0.00303	-0.00303	0.00	
		0	1.70880	1.71487	0.35	0.22209	0.22202	-0.03	0.01375	0.01374	-0.07	
		$\frac{1}{2}$	2.87252	2.88833	0.55	0.42209	0.42588	0.89	0.09405	0.09497	0.97	
		1	3.88020	3.88609	0.15	0.38392	0.38299	-0.24	-0.00693	-0.00692	-0.14	
	$\frac{1}{2}$	-1	-0.86745	-0.86639	-0.12	-0.11453	-0.11453	0.00	0.00143	0.00143	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.74978	0.75023	0.06	0.05354	0.05354	0.00	-0.00428	-0.00428	0.00	
		0	2.41661	2.40810	-0.35	0.31408	0.31418	0.03	0.01944	0.01944	0.00	
		$\frac{1}{2}$	4.06236	4.03829	-0.60	0.59692	0.59113	-0.98	0.13300	0.13157	-1.09	
		1	5.48743	5.47935	-0.15	0.54294	0.54425	-0.24	-0.00981	-0.00982	0.10	
$Q_x \times 10^3$ (kg/cm)	0	-1	-0.10278	-0.10593	2.97	-0.10343	-0.10345	0.02	0.01030	0.01030	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.08873	0.08657	-2.50	0.04798	0.04788	-0.21	-0.03106	-0.03107	0.03	
		0	0.28631	0.31437	8.93	0.28334	0.27961	-1.33	0.13927	0.13904	-0.17	
		$\frac{1}{2}$	0.48210	0.65294	26.16	0.54163	0.85744	36.83	0.96693	1.60481	39.75	
		1	0.65018	0.65865	1.29	0.49033	0.45772	-7.12	-0.07085	-0.06762	-4.78	
	$\frac{1}{4}$	-1	-0.07268	-0.07047	-3.14	0.07314	0.07312	-0.02	0.00728	0.00728	0.00	
		$-\frac{1}{2}$	0.06274	0.06436	2.52	0.03393	0.03400	0.21	-0.02197	-0.02196	-0.05	
		0	0.20245	0.18096	-11.88	0.20035	0.20316	1.38	0.09848	0.09865	0.17	
		$\frac{1}{2}$	0.34089	0.26963	-26.43	0.38299	0.25330	-51.20	0.68372	0.43569	-56.93	
		1	0.45974	0.44629	-3.01	0.34672	0.37048	6.41	-0.05010	-0.05238	4.35	

載荷点 $e = 0.5b$

n' : 奇数項の和の数

目点	x/l	y/b	$2b/l = 0.5081$			$2b/l = 1.0$			$2b/l = 2.0$		
			$n'=1$	$n'=4$	$(2-1)/2 \times 100$	$n'=1$	$n'=4$	$(2-1)/2 \times 100$	$n'=1$	$n'=4$	$(2-1)/2 \times 100$
			①	②	(%)	①	②	(%)	①	②	(%)
M_x ($K_g \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	-0.06829	-0.06906	1.11	-0.03492	-0.03492	0.00	0.00174	0.00174	0.00
		$-1/2$	0.05903	0.05875	-0.48	0.01632	0.01631	-0.06	-0.00523	-0.00523	0.00
		0	0.19025	0.19627	3.07	0.09576	0.09554	-0.23	0.02371	0.02370	-0.04
		$1/2$	0.31981	0.32870	2.70	0.18200	0.19016	4.29	0.16221	0.16982	4.48
		1	0.43200	0.43919	1.64	0.16554	0.16197	-2.20	-0.01196	-0.01177	-1.61
	$1/2$	-1	-0.09658	-0.09548	-1.15	-0.04938	-0.04938	0.00	0.00246	0.00246	0.00
		$-1/2$	0.08348	0.08385	0.44	0.02309	0.02310	0.04	-0.00739	-0.00739	0.00
		0	0.26905	0.26084	-3.15	0.13543	0.13573	0.22	0.03353	0.03355	0.06
		$1/2$	0.45228	0.43036	-5.09	0.25739	0.23688	-8.66	0.22940	0.20889	-9.82
		1	0.61094	0.60219	-1.45	0.23412	0.23910	2.08	-0.01691	-0.01718	1.57
M_y ($K_g \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	0.0								
		$-1/2$	-0.00448	-0.00512	12.50	-0.00777	-0.00773	-0.52	-0.00116	-0.00116	0.00
		0	-0.00077	-0.00171	54.98	-0.00650	-0.00715	9.09	-0.01234	-0.01230	-0.33
		$1/2$	0.03179	0.03506	9.33	0.05352	0.05664	5.51	0.06327	0.06672	-5.17
		1	0.0								
	$1/2$	-1	0.0								
		$-1/2$	-0.00634	-0.00545	-16.33	-0.01099	-0.01105	0.54	-0.00164	-0.00164	0.00
		0	-0.00109	-0.000396	-175.25	-0.00919	-0.00828	-10.99	-0.01745	-0.01751	0.34
		$1/2$	0.04495	0.03675	-22.31	0.07569	0.06775	-11.72	0.08948	0.08202	-9.10
		1	0.0								

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = 0.75 b$ n' : 奇数項の和の数

断面形状 断面力	着目点	$2b/l = 0.5081$				$2b/l = 1.0$			$2b/l = 2.0$			
		x/l	y/b	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ (%)
W. E (Kg·cm)	$\frac{1}{4}$	-1		-1.54599	-1.54579	-0.01	-0.06204	-0.06204	0.00	0.00070	0.00070	0.00
		$-\frac{1}{2}$		-0.04402	0.04478	1.70	-0.02506	-0.02505	-0.04	-0.00105	-0.00105	0.00
		0		1.56639	1.56705	0.04	0.09567	0.09557	-0.10	-0.00243	-0.00243	0.00
		$\frac{1}{2}$		3.38764	3.40028	0.37	0.42011	0.42163	0.36	0.05338	0.05336	-0.04
		1		5.30454	5.33175	0.51	0.82348	0.82499	0.18	0.09593	0.09570	-0.03
	$\frac{1}{2}$	-1		-2.18635	-2.18664	0.01	-0.08773	-0.08773	0.00	0.00099	0.00099	0.00
		$-\frac{1}{2}$		-0.06225	-0.06117	-1.77	-0.03544	-0.03545	0.03	-0.00148	-0.00148	0.00
		0		2.21521	2.21430	-0.04	0.13530	0.13544	0.10	-0.00343	-0.00343	0.00
		$\frac{1}{2}$		4.79085	4.77257	-0.38	0.59413	0.59199	-0.36	0.07549	0.07552	0.04
		1		7.50175	7.46315	-0.52	1.16458	1.16252	-0.18	0.13567	0.13601	0.25
$Q_{xx} \times 10^3$ (Kg/cm)	0	-1		-0.25905	-0.25814	-0.35	-0.07923	-0.07897	-0.33	0.00714	0.00695	-2.74
		$-\frac{1}{2}$		-0.00766	-0.01106	30.74	-0.03240	-0.03214	-0.81	-0.01066	-0.01076	0.93
		0		0.26186	0.26237	0.19	0.12105	0.11773	-2.82	-0.02532	-0.02523	-0.36
		$\frac{1}{2}$		0.56733	0.56021	1.407	0.53592	0.58969	9.12	0.54463	0.53767	-1.29
		1		0.88884	1.05118	1.544	1.05174	1.06911	1.62	0.98021	0.92436	-6.04
	$\frac{1}{4}$	-1		-0.18318	-0.18382	0.35	-0.05602	-0.05576	-0.46	0.00505	0.00518	2.51
		$-\frac{1}{2}$		-0.00541	-0.00299	-80.94	-0.02291	-0.02310	0.82	-0.00754	-0.00761	0.92
		0		0.18517	0.18440	0.42	0.08559	0.08793	2.66	-0.01791	-0.01797	0.33
		$\frac{1}{2}$		0.40117	0.34703	-15.60	0.37896	0.33782	-12.18	0.38511	0.39029	1.33
		1		0.62851	0.51708	-21.55	0.74369	0.71707	-3.71	0.69311	0.73422	5.60

載荷点 $e = 0.75 b$

n' : 奇数項の和の数

注目点	x/b	y/b	$2b/l = 0.5081$			$2b/l = 1.0$			$2b/l = 2.0$		
			$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(②-①)/② \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(②-①)/② \times 100$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(②-①)/② \times 100$ (%)
M_x (kg-cm/cm)	$1/4$	-1	-0.17212	-0.17192	- 0.17	-0.02675	-0.02677	0.07	0.00120	0.00121	0.83
		$-1/2$	-0.00490	-0.00567	13.58	-0.01081	-0.01078	- 0.28	-0.00181	-0.00180	- 0.56
		0	0.17439	0.17522	0.47	0.04125	0.04085	- 0.98	-0.00419	-0.00418	- 0.24
		$1/2$	0.37716	0.38730	2.62	0.18115	0.18699	3.12	0.09207	0.09183	- 0.26
		1	0.59058	0.61510	3.99	0.35509	0.36216	1.95	0.16547	0.16158	- 2.41
	$1/2$	-1	-0.24342	-0.24370	0.11	-0.03783	-0.03784	0.03	0.00170	0.00169	- 0.59
		$-1/2$	-0.00693	-0.00584	-18.66	-0.01528	-0.01532	0.26	-0.00256	-0.00255	- 0.39
		0	0.24663	0.24554	- 0.44	0.05834	0.05891	0.97	-0.00592	-0.00593	0.17
		$1/2$	0.53339	0.51684	- 3.20	0.25619	0.24824	- 3.20	0.13021	0.13054	0.25
		1	0.83520	0.79988	- 4.42	0.50217	0.49355	- 1.75	0.23401	0.23943	2.26
M_y (kg-cm/cm)	$1/4$	-1	0.0								→
		$-1/2$	0.01162	0.01178	1.36	-0.00840	-0.00840	0.00	0.00045	0.00045	0.00
		0	0.02501	0.02631	4.94	-0.02407	-0.02407	0.00	-0.00551	-0.00551	0.00
		$1/2$	0.01282	0.01311	2.21	-0.01335	-0.01427	6.45	-0.00841	-0.00906	7.17
		1	0.0								→
	$1/2$	-1	0.0								→
		$-1/2$	0.01643	0.01620	- 1.42	-0.01188	-0.01189	0.08	0.00063	0.00063	0.00
		0	0.03537	0.03356	- 5.39	-0.03404	-0.03403	- 0.03	-0.00779	-0.00779	0.00
		$1/2$	0.01813	0.01696	- 6.90	-0.01888	-0.01741	- 8.44	-0.01189	-0.01097	- 8.39
		1	0.0								→

荷 重 = 1 Kg

載荷点 $e = b$ n' : 奇数項の和の数

着目点	2b/l = 0.5081			2b/l = 1.0			2b/l = 2.0				
	α/l	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2^{100}$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2^{100}$ (%)	$n'=1$ ①	$n'=3$ ②	$(2-1)/2^{100}$ (%)	
W, E (kg-cm)	1/4	-1	-246366	-246277	-0.04	-0.03765	-0.03772	0.19	0.00000	0.00000	0.00
		-1/2	-0.61338	-0.61413	0.12	-0.08098	-0.08098	0.00	0.00101	0.00101	0.00
		0	1.41720	1.41344	-0.27	-0.02973	-0.02968	-0.17	-0.00826	-0.00826	0.00
		1/2	3.88020	3.88609	0.15	0.38392	0.38299	-0.24	-0.00693	-0.00692	-0.14
		1	6.81524	6.87319	0.84	1.39950	1.41393	1.02	0.34953	0.34804	-0.43
	1/2	-1	-3.48414	-3.48541	0.04	-0.05325	-0.05335	0.19	0.00000	0.00000	0.00
		-1/2	-0.86745	-0.86639	-0.12	-0.11453	-0.11453	0.00	0.00143	0.00143	0.00
		0	2.00422	2.00953	0.26	-0.04204	-0.04211	0.17	-0.01168	-0.01168	0.00
		1/2	5.48743	5.47935	-0.15	-0.54294	-0.54425	0.24	-0.00981	-0.00982	0.10
		1	9.63821	9.54964	-0.93	-1.97919	-1.95711	-1.13	0.49431	0.49642	0.42
Q _x × 10 ³ (kg/cm)	0	-1	-0.41282	-0.40885	-0.97	-0.04809	-0.01879	-155.93	0.00002	0.00137	98.54
		-1/2	-0.10323	-0.10636	2.94	-0.10383	-0.10385	0.02	0.01038	0.01038	0.00
		0	0.23629	0.21895	-7.92	-0.03980	-0.03818	-4.24	-0.08415	-0.08416	0.01
		1/2	0.64881	0.65670	12.0	0.48683	0.45412	-7.20	-0.07454	-0.07129	-4.56
		1	1.11419	1.77764	37.32	1.78742	2.99867	40.39	3.57132	12.12836	70.55
	1/4	-1	-0.29191	-0.29471	0.95	-0.03400	-0.01331	-155.93	0.00002	-0.00094	97.87
		-1/2	-0.07299	-0.07080	-30.9	-0.07342	-0.07340	-0.03	0.00734	0.00734	0.00
		0	0.16708	0.17971	7.03	-0.02815	-0.02929	3.89	-0.05950	-0.05950	0.00
		1/2	0.45878	0.44573	-2.93	0.34424	0.36808	6.48	-0.05271	-0.05500	4.16
		1	0.80750	0.54793	-47.37	1.26389	0.77355	-63.39	2.52531	3.52543	28.37

荷点 $e = b$

n' : 奇数項の和の数

曲 率 ポ ン ト	着目点		$2b/\ell = 0.5081$			$2b/\ell = 1.0$			$2b/\ell = 2.0$		
	x/ℓ	y/b	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ ③ (%)	$n'=1$ ①	$n'=4$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ ③ (%)	$n'=1$ ①	$n'=3$ ②	$(2-1)/2 \times 100$ ③ (%)
Max ($kg \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	-0.27429	-0.27339	-0.33	-0.01624	-0.01766	8.04	0.00000	0.00000	0.00
		$-1/2$	-0.06829	-0.06906	1.11	-0.03492	-0.03492	0.00	0.00174	0.00174	0.00
		0	0.15778	0.15404	-2.43	-0.01282	-0.01263	-1.50	-0.01424	-0.01424	-0.00
		$1/2$	0.43200	0.43919	1.64	0.16554	0.16197	-2.20	-0.01196	-0.01177	-1.61
		1	0.75877	0.79045	4.01	0.60347	0.63385	4.8	0.60287	0.41961	-43.67
	$1/2$	-1	-0.38790	-0.38918	-0.33	-0.02296	-0.02498	8.09	0.00000	0.00000	0.00
		$-1/2$	-0.09658	-0.09548	-1.15	-0.04938	-0.04938	0.00	0.00246	0.00246	0.00
		0	0.22314	0.22836	-2.29	-0.01813	-0.01840	1.47	-0.02014	-0.02014	0.00
		$1/2$	0.61094	0.60219	-1.45	0.23412	0.23910	2.08	-0.01691	-0.01718	1.57
		1	1.07306	0.99221	-8.15	0.85343	0.77514	-10.10	0.85259	1.11177	23.31
My ($kg \cdot cm/cm$)	$1/4$	-1	0.0								
		$-1/2$	-0.01860	-0.01834	-1.42	-0.00836	-0.00837	0.12	0.00090	0.00090	0.00
		0	-0.04880	-0.04977	1.95	-0.03855	-0.03845	-0.26	0.00224	0.00224	0.00
		$1/2$	-0.05659	-0.06241	9.33	-0.07370	-0.07469	-1.33	-0.03875	-0.03865	-0.26
		1	0.0								
	$1/2$	-1	0.0								
		$-1/2$	-0.02630	-0.02667	1.39	-0.01182	-0.01181	-0.08	0.00127	0.00127	0.00
		0	-0.06901	-0.06764	-2.03	-0.05452	-0.05466	0.26	0.00317	0.00317	0.00
		$1/2$	-0.08003	-0.07176	-11.52	-0.10422	-0.10283	-1.35	-0.05480	-0.05494	0.25
		1	0.0								

(7) 高次項を考慮した結果の考察

(a) $K_{\alpha n}(y)$, $\mu_{\alpha n}(y)$ に関し

板の基礎方程式を解く場合、撓み函数および荷重函数の仮定をフーリエ級数の高次項まで取った場合。

$$W(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

$$p(x, y) = \delta(y-e) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} p_n \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

のような形で表わし、縦方向分配函数 $K_{\alpha n}(y)$ に如何なる影響を及ぼすかを調べるため数式および数値上の検証を式(17)および(30)について行なった。式(17), (30)から見られるように n を N 項迄取ると $K_{0n}(y)$ の $\sinh(\lambda_n y)$ の λ_n が $n=1$ 項取った場合と $n=N$ 項取った場合の影響が入る。

$$\text{ただし } \lambda_n = \frac{n\pi}{\ell\sqrt{2}} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{n\pi}{\sqrt{2}b} \theta, \sigma_n = \frac{n\pi}{\ell} \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{4}} = \sqrt{2} \cdot \lambda_n = \frac{n\pi}{b} \cdot \theta$$

一方式(17), (30)から分るように $n=1$ 項だけの場合は式(17), (30)の λ_n, σ_n の $n=1$ について $K_{\alpha 1}$ が求まるが $n=N$ 迄取った場合、各 n に対しそれぞれの $K_{\alpha n}$ が求まる。云い換えると $K_{\alpha n}$ は級数の項数 n が変る度に K_{α} の値が変り各項の K_{α} は $K_{\alpha n}$ の形で現われる。従って $n=1$ 項と $n=n$ 項の差はページ 26~28 のようになる。

$\mu_{\alpha n}(y)$ についても式(34), (35)から見られる様に $K_{\alpha n}$ に影響を与える要素と同様 λ_n, σ_n による差になる。

(b) 撓み函数に関し

$$\text{撓み } W(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

$$W_n(y) = W_{mn} \cdot K_{\alpha n}(y)$$

$$W_{mn} = \frac{1}{2b \cdot \rho_0} \cdot \frac{p_n}{4 \lambda_n^4}$$

$$p_n = \frac{4P}{n\pi \cdot \ell} \quad \text{但し } P = W\ell \text{ の等分布荷重を表わす。}$$

$$\text{すなわち } W_{mn} = \frac{1}{2b \cdot \rho_0} \cdot \frac{4P}{n\pi \cdot \ell} \cdot \frac{1}{4 \lambda_n^4} = \frac{P}{2b \cdot \rho_0 \cdot n\pi \cdot \ell} \cdot \frac{4\ell^4 \rho_0}{(n\pi)^4} = \frac{4P\ell^3}{2b(n\pi)^3 \rho}$$

$$W(x, y) = \frac{4P\beta_3}{2b \cdot \rho \pi^5} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \cdot K\alpha_n(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

上の式から見られるように $K\alpha_n(y)$ の n 項による増率と n^5 による増率は n^5 の方がはるかに大きく従って $n=1$ 項時の撓みには大きく影響を与えない。そのため高次項を取った場合の撓みは $n=1$ 項取った場合の撓みと殆んど差が認められず、数字結果はページ 29~38 の表になる。

(c) 断面力に関し

表に示している結果から見られるように級数の項数を多く取るとせん断力の差が著しく変化する。それに対し撓みと曲げモーメントはそれほどの差が見られず、高次項による断面力の影響を次のように考える。

撓み、曲げモーメント及びせん断力の近似式は次のように表わせられる。

$$W = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

$$M_x = \rho \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{n\pi}{\ell} \right)^2 W_n(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

$$Q_x = \rho \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{n\pi}{\ell} \right)^3 W_n(y) \cdot \cos \frac{n\pi}{\ell} x$$

n を 2 項迄取って比較して見ると

$$W_x, M_x \text{ に対し } x = \frac{\ell}{2}, \quad y = 0$$

$$Q_x \text{ に対し } x = 0, \quad y = 0$$

の断面力は

$$W_x = W_1(0) + W_3(0)$$

$$M_x = \rho \cdot \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 (W_1(0) - 9 W_3(0))$$

$$Q_x = \rho \cdot \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^3 (W_1(0) + 27 W_3(0))$$

上の関係から見られるように撓みの 9 倍が曲げモーメントに影響を与え、撓みの 27 倍がせん断力に影響を及ぼす。それ故項数を増やすとそれに伴って連続に増幅する傾向が見られる。

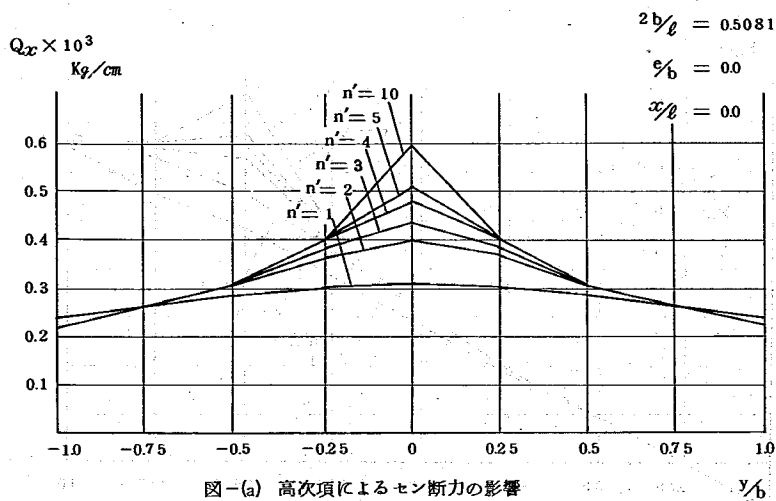


図-(a) 高次項によるせん断力の影響

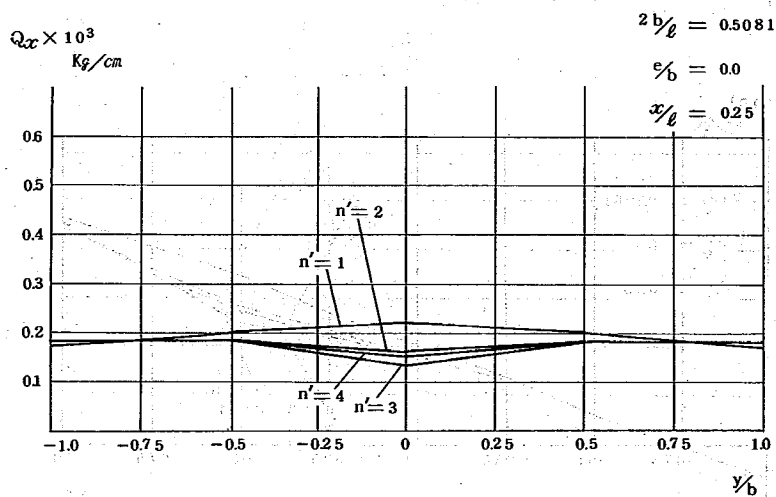
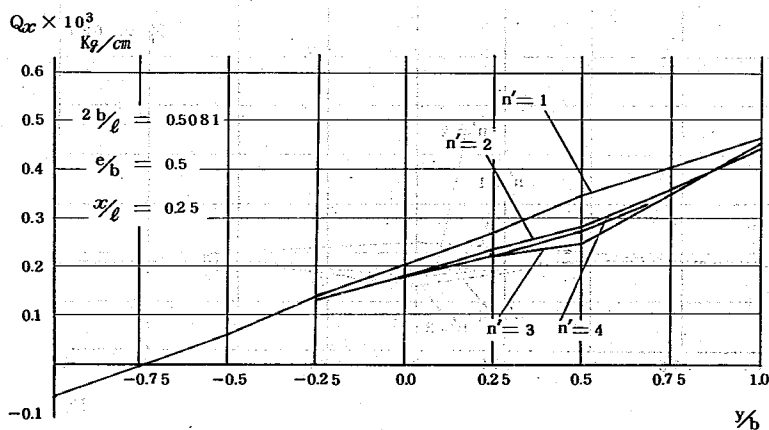
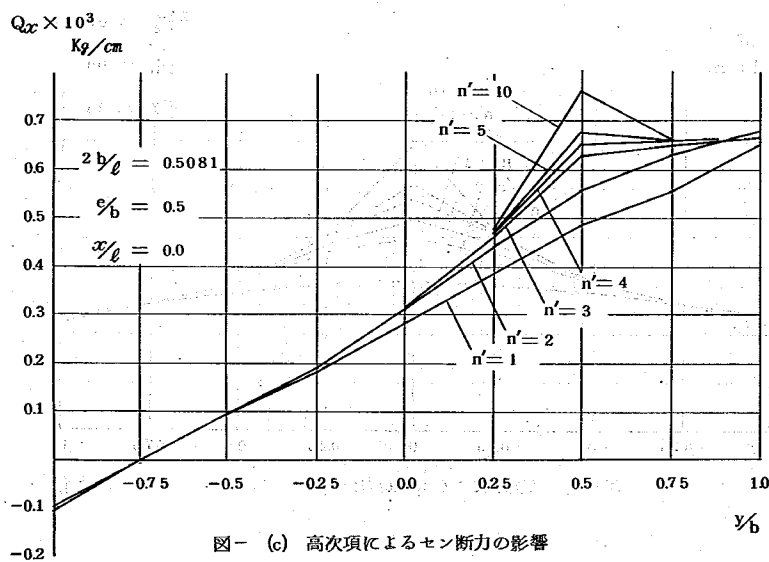


図- (b) 高次項によるせん断力の影響



(d) 版の幅 b と支間長 ℓ の比の変化による M_y の影響

版の幅 $2b$ と支間長 ℓ の比 $2b/\ell$ の変化により横曲げモーメント M_y に影響を及ぼす箇所は次の二つの経路が考えられる。

一つは分配係数 $\mu_n \alpha(y)$ を決める際に用いる曲げ剛性係数

$$\theta = \frac{b}{\ell} \sqrt{4\rho/\rho_0}$$

と M_y を求める際 $\mu_n \alpha(y)$ との関連による影響等が考えられる。

M_y と $\mu_n \alpha(y)$ の関係式を

$$M_y = \sum_{n=1}^{\infty} M_{yn} = b \cdot \sum_{n=1}^{\infty} P_n \cdot \mu_n \alpha(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

$$P_n = \frac{4P}{n\pi\ell} \quad (P=w\ell) \text{ を上の式に代入すると } M_y \text{ は次のように書き直すこと}$$

ができる。

$$M_y = \frac{2P}{\pi} \cdot \frac{2b}{\ell} \sum_{n=1,3}^{\infty} \frac{1}{n} \cdot \mu_n \alpha(y) \cdot \sin \frac{n\pi}{\ell} x$$

上の表示から見られるように M_y は $\frac{2b}{\ell}$ と $\mu_n \alpha(y)$ の和の積から成立っている。

$\mu_n \alpha(y)$ の n 高次項の変化は § 123(7) 節の数表に示されている。仮にフーリエ級数の第一項だけ考えると $2b/\ell$ における $\mu_1 \alpha(y)$ の変化は図-(e) のようになる。

一方支間中央の曲げモーメント M_y は

$$x = \frac{\ell}{2}, n' = n = 1 \text{ の場合}$$

$$M_y = 0.6366 P \frac{2b}{\ell} \mu_1 \alpha(y)$$

M_y の変化は $\frac{2b}{\ell} \mu_1 \alpha(y)$ の積から判断できる。

$2b/\ell$ の比における $n' = 3$ の M_y の変化は図-(g) に示されている。

分配係数の詳細は § 123(8) の数表を参照されたい。

ここで着目すべき点は偏心の少ない場合例えば $e/b < 0.5$ の場合正の最大曲げモーメントは荷重の作用点に生じ (即ち $y=e$ に M_y の Max が生じる) その値は大体同じオーダーになっている。

$e=b$ の場合を除き e/b の比が大きい場合、正の最大曲げモーメントは $2b/\ell$ の

変化によって大きく変って来る。(図-(g))

載荷点 $e = b$ の場合 $2b/\ell$ の変化による各着目点の曲げモーメント M_y は図-(h)のようになる。

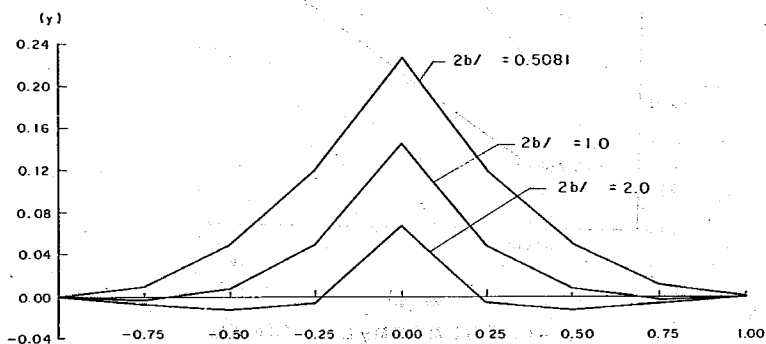


図-(e)

$e=0, n'=1$ の場合の $\mu_{na}(y)$

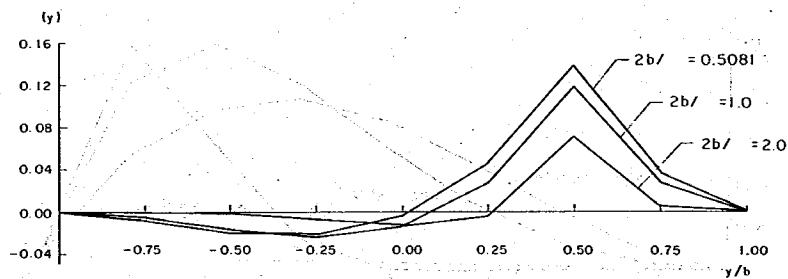


図-(f)

$e=0.5b, n'=1$ の場合の $\mu_{na}(y)$

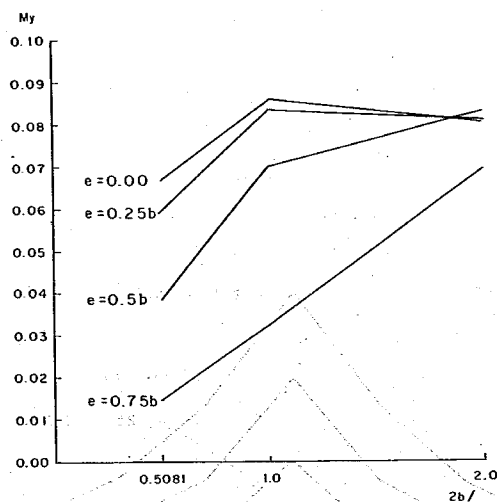


図-(g)

$y = e$ に着目した時の My と $2b/l$ の関係

($n' = 3$, $P = 1 \text{ kg}$)

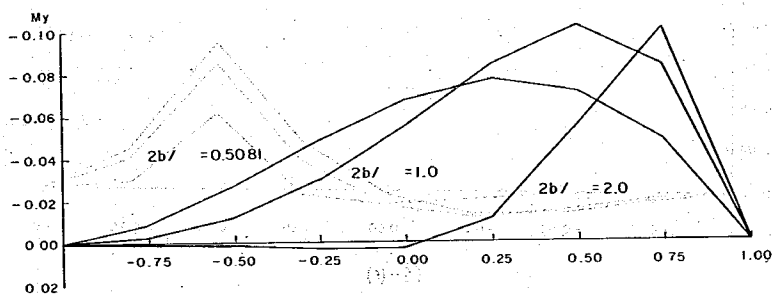


図-(h)

$e = b$ に载荷した時の My と $2b/l$ の関係

($n' = 3$, $P = 1 \text{ kg}$)