

土 木 研 究 所 資 料

鋼管ぐいの設計照査システム

昭和 59 年 3 月

建設省土木研究所
企画部システム課

Copyright © 1984 by P.W. R. I.

All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated, into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

土木研究資料第 2058 号

鋼管ぐいの設計照査システム正誤表

頁	行	誤	正																						
17	11行目	$\beta = 4 \sqrt{\frac{kD}{4HI}}$	$\beta = 4 \sqrt{\frac{kD}{4EI}}$																						
42	表-316	フーチング変位量の照査〔(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)	フーチング変位量の照査〔(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)																						
	表-317	軸方向引抜力 $\frac{1}{n} \times 2$	軸方向引抜力 $\frac{1}{n} \times 2$ ①																						
	表-318	軸直角方向バネ定数 SP-8 $I = 19.1 \times 10^4 \text{ m}^4, \beta = 0.320$	軸直角方向バネ定数 SP-8 $I = 19.1 \times 10^{-4} \text{ m}^4, \beta = 0.320$																						
51	表3-19	$H = 750 \text{ t}, M = 8100$ $T_1 = 0.03 \text{ m}^{-1}, T_2 = 1.5 \times 10^5$	$H = 750 \text{ t}, M = 8100$ $T_1 = 0.031 \text{ m}^{-1}, T_2 = 1.5 \times 10^5$																						
	表3-20	〔(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)〕 <table border="1"><tr><td>T_{11}</td><td rowspan="2">SP-19</td><td>$N = -25 \text{ t}$</td></tr><tr><td></td><td>$A_P = 4790 \text{ cm}^2$</td></tr><tr><td>T_{12}</td><td></td><td>$M = \text{ t} \cdot \text{m}$</td></tr><tr><td></td><td></td><td>$Z_P = \text{ cm}^3$</td></tr></table>	T_{11}	SP-19	$N = -25 \text{ t}$		$A_P = 4790 \text{ cm}^2$	T_{12}		$M = \text{ t} \cdot \text{m}$			$Z_P = \text{ cm}^3$	〔(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)〕 <table border="1"><tr><td>T_{11}</td><td rowspan="2">SP-19</td><td>$N = 196 \text{ t}$</td></tr><tr><td></td><td>$A_P = 247 \text{ cm}^2$</td></tr><tr><td>T_{12}</td><td></td><td>$M = -25 \text{ t} \cdot \text{m}$</td></tr><tr><td></td><td></td><td>$Z_P = 4790 \text{ cm}^3$</td></tr></table>	T_{11}	SP-19	$N = 196 \text{ t}$		$A_P = 247 \text{ cm}^2$	T_{12}		$M = -25 \text{ t} \cdot \text{m}$			$Z_P = 4790 \text{ cm}^3$
T_{11}	SP-19	$N = -25 \text{ t}$																							
		$A_P = 4790 \text{ cm}^2$																							
T_{12}		$M = \text{ t} \cdot \text{m}$																							
		$Z_P = \text{ cm}^3$																							
T_{11}	SP-19	$N = 196 \text{ t}$																							
		$A_P = 247 \text{ cm}^2$																							
T_{12}		$M = -25 \text{ t} \cdot \text{m}$																							
		$Z_P = 4790 \text{ cm}^3$																							
53		6~24 18 シルト質粘性	6~24 18 シルト質粘土																						

土木研究所資料第2058号

鋼管ぐいの設計照査システム

昭和59年3月

土木研究所企画部システム課

課長	小川敏治
前建設専門官	海江田光正
建設専門官	工藤真之助
技官	庵直
〃	樋口洋一
〃	館敏幸

目 次

まえがき

1. 設計の流れと照査項目	2
2. 設計成果の照査手段	3
3. 鋼管ぐいの設計照査システム	4
3.1 概 説	4
3.2 設計照査システムの適用範囲	4
3.3 くい基礎の設計の流れと照査項目	7
3.4 ノモグラム作成上の考え方	9
3.4.1 設計条件の適用範囲に対する考え方	9
3.4.2 各種設計諸値の適用範囲に対する考え方	15
3.4.3 ノモグラム作成上の問題点とその検討	29
3.5 ノモグラムによる照査結果	34
3.6 照査に用いる集計表とその留意点	42
3.7 設計照査用ノモグラムとその使い方	47

まえがき

現在では、一般的となったコンピューターの利用は、パーソナルコンピューター等の出現に伴ってさらに広がりつつある。

土木構造物の設計においても同様に、そのほとんどがコンピューターを利用して行われている。そしてこれらコンピューターを利用して得られた設計成果には、必要最小限の設計情報しか得られないものが多く、また、記号化や数値の羅列という情報提供でしか現在のところ得ることができない（漢字出力機器の開発も盛んであるがまだ一般化するまでには至っていない）。一方、現場技術者は多様化した社会での事業実施のため多くの問題をかかえており、設計審査の時間的余裕が必ずしも十分ではなく、加えて厳密化しつつある設計手順と目項なじみの薄いラインプリンターによる記号や数値の羅列に対しては興味も半減すると思われる。

したがって、コンピューターで処理された設計成果に対して、簡単に照査できる照査体系の確立が必要であり、土木研究所システム課では、土木構造物の標準化によって得られるデータなどを利用した設計照査システムについて検討を行って来ている。現在までにボックスカルバート、活荷重合成プレートガーダー橋、逆T式橋台、張出し式橋脚及びくい基礎について検討を進めて来たが、本資料は、くい基礎のうち、鋼管くいの設計照査システムについて報告するものである。

1. 設計の流れと照査項目

土木構造物の設計は、一般的には図-1.1に示す流れに従って行われる。そしてその設計照査は、大きく分けると次の段階で行う必要がある。

第1段階 設計条件設定までの照査

第2段階 設計々算の照査

第3段階 図面及び材料計算の照査

まず、第1段階で行う照査は、最も重要なものであり、次のような誤りを正すために行う。

- ① 計画に際しての他機関あるいは地元との協議不足
- ② 設計条件の打合せの不備及びとり違い
- ③ 調査方法の不適合性及び調査内容の不足

次の第2段階で行う照査は、設計々算モデルの妥当性の検討であり、次のような誤りを正すために行う。

- ① 初期値設定の誤り
- ② 計算理論の誤りあるいはその適用上の誤り
- ③ 各種基準の規定に適合しないもの、あるいはその適用上の誤り
- ④ 設計々算の誤り
- ⑤ 技術的検討不足
- ⑥ 付属物の設計に対する本体構造物との整合性

第3段階で行う照査は、仕上げに関する部分の照査であり、次のような誤りを正すために行う。

- ① 計算結果との不整合
- ② 図面の書き違い
- ③ 材料計算の誤り
- ④ 製作や施工性について

すなわち、いかに設計に対する検討が充分に行われていてもそれらの結果を表示する部分で誤りがあるっては何んにもならない。またこの段階では、設計々算上表われない構造細目の照査も重要であり、製作、施工性についても照査を行う必要がある。

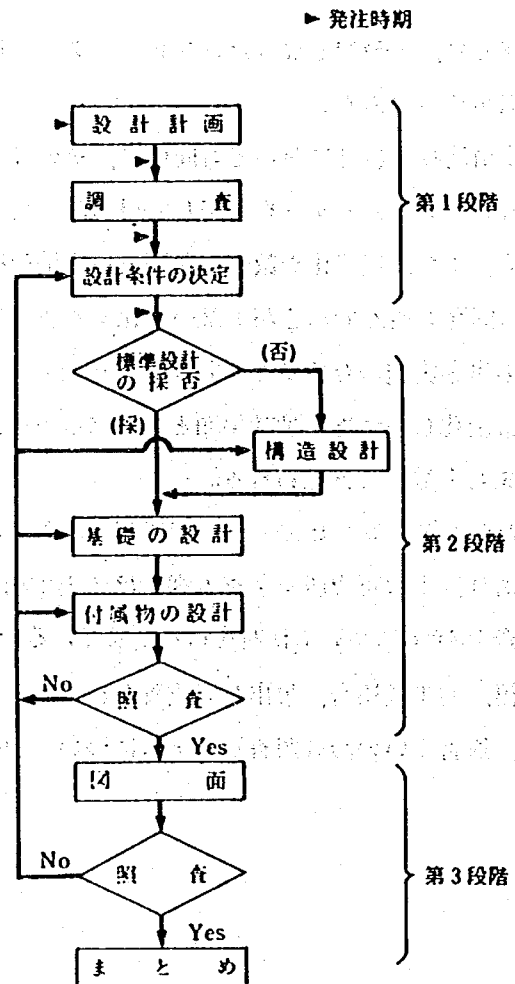


図-1.1 設計の流れ

2. 設計成果の照査手段

土木構造物の設計成果を照査する手段としては、次のような方法が考えられる。

- ① 既往の設計成果（標準設計も含む）又はそれらをまとめた資料によって照査する方法
- ② 設計手順をノモグラム化し、それによって照査する方法
- ③ 自動設計プログラムの利用による設計成果を処理した照査システムによる方法

①の方法は、従来から我々が手近にある既往設計成果と比較することによって行ってきた方法であるが、コンピューターを使った設計成果のデータバンク化は、照査のためだけではなく、あらゆる面にデータの活用が図られることから、情報化時代の現在では最も注目を集めているところである。

②の方法については、次のようなシステムが考えられ、後述の内容はこれらによったものである。

- ④ 1つの条件の諸元との関係をプロットすることによって、構造諸元を照査する方法

例えば、図-2.1に示すような曲げモーメントと鉄筋量などは一元的に表示し得る。

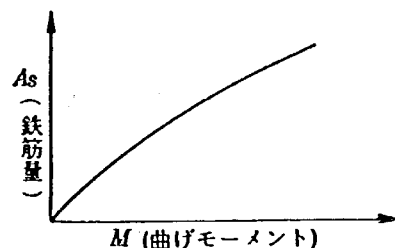


図-2.1 M - A_s の一元的な関係

- ⑤ 複数値の条件を示す座標軸相互関係から、結果的に1つの諸元が求められるノモグラムによって照査する方法

例えば、図-2.2に示すのは単鉄筋長方形断面の応力度を求めるノモグラムの概略図であるが、曲げモーメント、鉄筋比、有効高さなどを用いることによって応力度を直接見出すことができる。

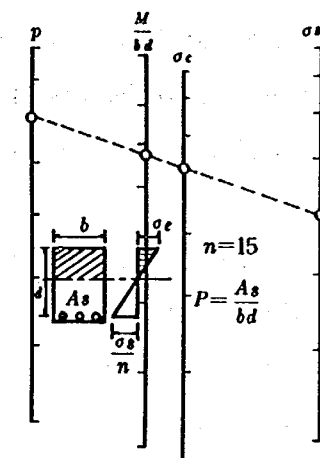


図-2.2 鉄筋コンクリート断面の応力度を求めるノモグラムの概形

③の方法は、自動設計プログラムを使って各種の設計条計に対するデータを発生させ、それらを統計的に処理することによって設計条件と構造諸元の間を回帰式などで表わすものである。

例えば活荷重合成プレートガーダー橋（歩道なしの場合）における中げたの合成後の設計曲げモーメントに対する回帰式を示せば次式のようになり、平均値 $\bar{\mu} = 226.9$ $t \cdot m$ に対し標準偏差 $\sigma = 3.3 t \cdot m$ とかなり高い精度で推定できる。

$$M = 145.34 + 6.48L + 5.45W - 14.31N + 121.10e - 1.86f + 1912g + 8910h \quad (t \cdot m)$$

ここに L : 支間 (m)

N : 主げた本数 (本)

f : 主げた高 (m)

W : 車道部幅員 (m)

e : 床版厚+ハンチ高 (m)

g : 主げたの合成断面の I_v (m^4)

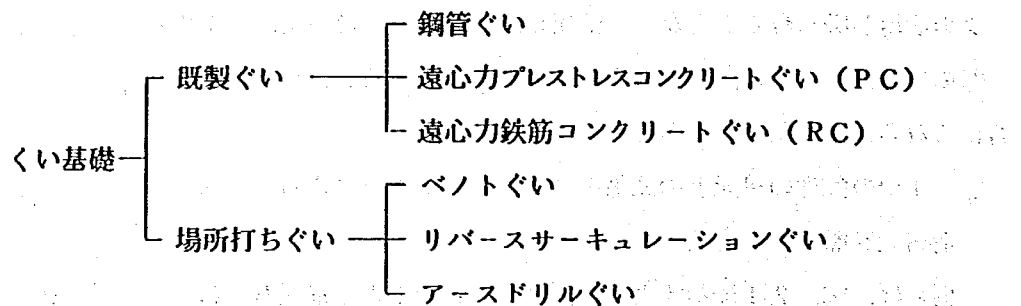
h : 横げたの I (断面二次モーメント)

3. 鋼管ぐいの設計照査システム

3.1 概 説

地盤条件が良くない場合に用いられるくい基礎は、大きく分けて既製ぐいと場所打ちぐいがあり、これらは、くいの材料や工法によって、さらに表-3.1のように分類される。

表-3.1 くい基礎の分類



本資料は、これらくい基礎に関する照査システムの第一段階として鋼管ぐいを対象としてまとめたもので、その設計手順に従って計算式のノモグラム化を行っている。

したがって、以下に述べる照査手順をたどることにより設計成果の照査が行えるとともに、概略設計としても利用できるものである。

3.2 設計照査システムの適用範囲

本照査システムで用いる各種ノモグラムの基本的な適用範囲は、次のとおりである。

(1) 対象とするくい種

鋼管ぐい

(2) 照査可能なくいの諸元

表-3.2 鋼管ぐい

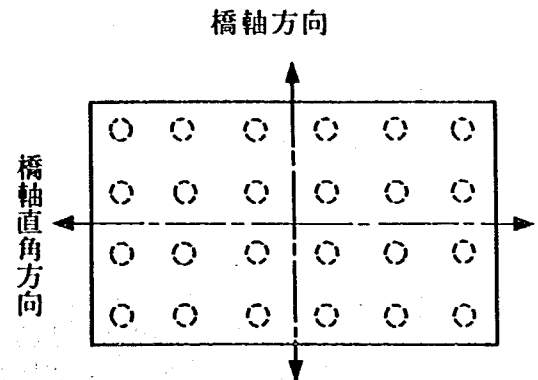
寸 法				腐食しろ (mm)		
外 径	閉 鎖 面	周 長	厚 さ	2.0		
D (mm)	(mm ²)	(mm)	T (mm)	鋼材断面積 A (mm ²)	断面係 数 Z (mm ³)	断面2次 モーメント I (mm ⁴)
600.0	0.28	1.88	9.0	129.5	188×10 ³	561×10 ⁶
			12.0	184.1	265×10 ³	790×10 ⁶
			14.0	220.2	315×10 ³	938×10 ⁶
700.0	0.38	2.20	9.0	151.5	258×10 ³	899×10 ⁶
			12.0	215.5	364×10 ³	126×10 ⁶
			14.0	257.9	433×10 ³	150×10 ⁶
800.0	0.50	2.51	9.0	173.5	339×10 ³	135×10 ⁶
			12.0	246.9	479×10 ³	190×10 ⁶
			14.0	295.6	570×10 ³	227×10 ⁶
1000.0	0.79	3.14	9.0	217.5	534×10 ³	265×10 ⁶
			12.0	309.8	765×10 ³	376×10 ⁶
			14.0	371.0	901×10 ³	449×10 ⁶

くい長 L=10~40 (m) (L=50m以上の場合、L=40mとして計算)

(3) くいの配列の範囲

表-3.4

く い 本 数		列数 (軸方向)		列数 (直角方向)	
MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
4	60	2	5	2	12



(4) その他の条件

- a) 鋼管くいの腐食は2mmを考慮している。
- b) 鋼管くいの場合、くいの有効重量は小さいので無視する。
- c) 設計外力 N, H, M は、フーチング底面中心に作用するものとする。
- d) 土質は、砂質土と粘性土の2種類とする。
- e) 支持層への根入長 L の範囲は、 $0 < L < 10 \cdot D$ とする。
- f) くいの根入比 (l/D) は ≥ 10 とする。 $(l: \text{くい長})$
- g) くいの間隔は $2.5 \cdot D \sim 5.0 \cdot D$ とする。 $(D: \text{くいの外径})$
- h) k 値は、変形係数 (E_0) 又は N 値のどちらからでも推定できる。
- i) くい配置は、橋軸方向、橋軸直角方向に対して対称な格子配列でかつ鉛直くいのみの場合を原則とする。

ただし、千鳥配列、中抜き及びくい間隔が一定でない場合であっても、橋軸方向及び橋軸直角方向軸に対称なくい配置に対してSP-9 (後述) 以外のノモグラムは使用出来る。

(5) 照査可能な項目

表-3.4

ノモグラムNo	ノモグラム項目	鋼管ぐい	格子配列鉛直ぐい	対称配列鉛直ぐい
SP-1	極限引抜力	○	○	○
SP-2	ぐい先端限支持力	○	○	○
SP-3	水平抵抗に關与する地盤の深さ	○	○	○
SP-4	横方向地盤反力係数	○	○	○
SP-5	ぐいの特性値	○	○	○
SP-6	軸直角方向支持力	○	○	○
SP-7	軸方向バネ定数	○	○	○
SP-8	軸直角方向バネ定数	○	○	○
SP-9	ぐい群の2次モーメント ($\sum x_i^2$)	○	○	
SP-10	水平変位量	○	○	○
SP-11	フーチングの回転角	○	○	○
SP-12	フーチング及びぐいの鉛直変位量	○	○	○
SP-13	ぐい軸方向力 (P_N)	○	○	○
SP-14	ぐい軸直角方向力 (P_H)	○	○	○
SP-15	ぐい頭曲げモーメント (M_T)	○	○	○
SP-16	ぐい頭 ヒンジ曲げモーメント	○	○	○
SP-17	ぐい頭 ヒンジ地中部最大曲げモーメント	○	○	○
SP-18	ぐい頭剛結曲げモーメント	○	○	○
SP-19	ぐい本体の応力度照査	○	○	○

(6) 照査の不可能な設計条件

- 中堀鋼管ぐい
- 摩擦ぐい
- 斜ぐい
- 有限長のぐい
- 突出ぐい
- 閉端ぐい
- 負の摩擦力の検討
- 群ぐいの考慮
- フーチング根入部の水平抵抗を考えたくい基礎
- 斜面上に設けられたぐい基礎
- 同一フーチングに著しく異なった長さのぐいを有するぐい基礎

3.3 くい基礎の設計の流れと照査項目

くい基礎の設計は、一般には図-3.1に示す流れに従って行われるが、鋼管くいの場合の設計成果に対する照査項目をこの流れに沿って整理すると図-3.2のとおりであり、くい1本当当たりの許容支持力に関する項目、くい反力と変位量に関する項目およびくい本体の応力度に関する項目に大別され、各項目に対してさらに数項目に細分化される。

したがって、本照査システムにおいてもこれら細分化された項目に対してノモグラムを作成しており、図-3.2にはそれぞれの照査項目に対応するノモグラム番号を示してある。

なお、それぞれのノモグラムは一般的に用いられている設計々算式を分析整理し、それらをノモグラム化したものであり、これによって得られる結果の誤差は読み取り誤差程度であり、精度は非常に高いものといえる。

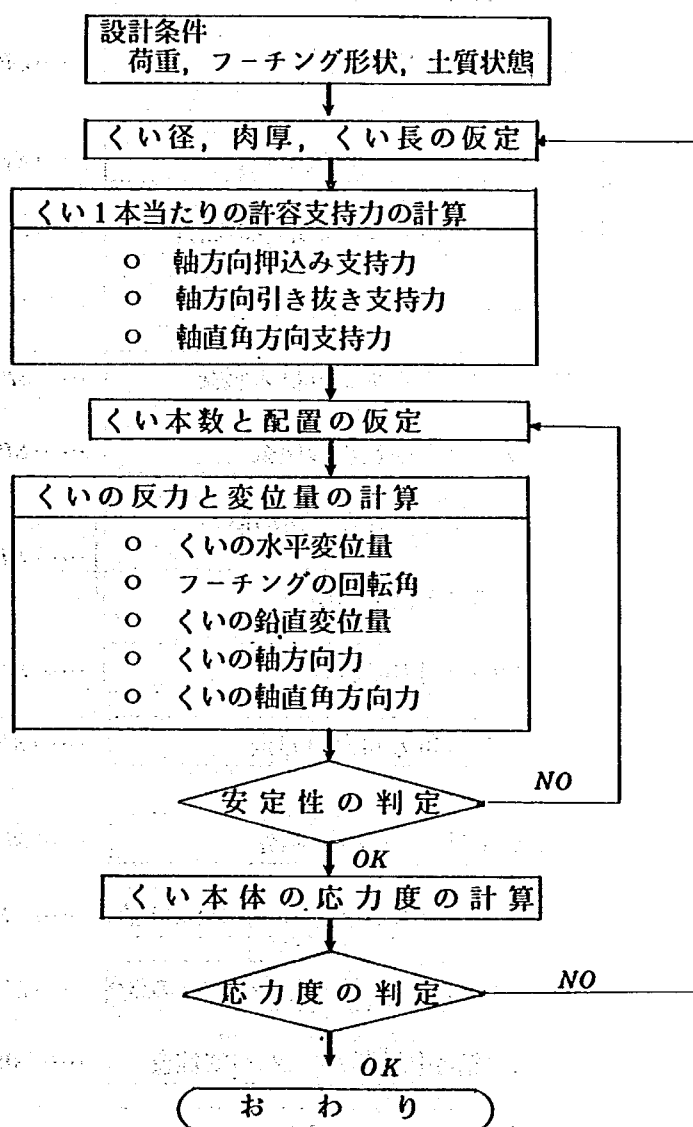


図-3.1 くい基礎の設計の流れ

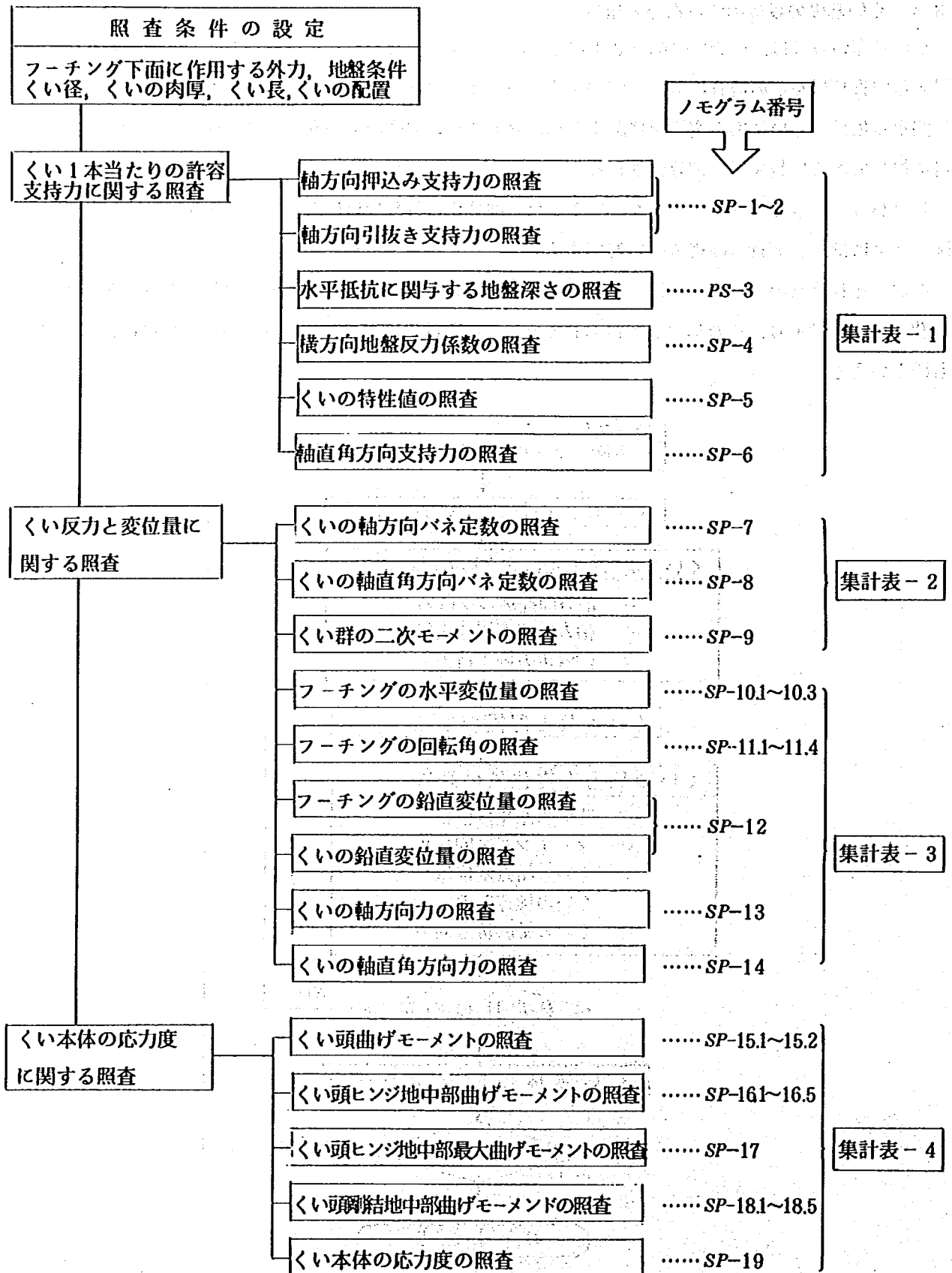


図 - 3.2 照査項目と設計照査用ノモグラムの関係

3.4 ノモグラム作成上の考え方

本照査システムで対象とする設計条件の範囲及び設計手順とノモグラム化するための設計諸数値などの考え方は次のとおりである。

3.4.1 設計条件の適用範囲に対する考え方

設計条件の適用範囲は、標準設計及び自動設計の設計データの開発に用いた調査等を行ない、次のような考え方で設定した。

(1) フーチング底面に作用する外力 (N, H, M) 範囲の設定

フーチング底面の外力範囲の設定においては、表-3.5に示す橋台、橋脚の標準設計作成時の設計データ(23810基)について、図3.4~3.9に示すような関係を調べ、その範囲を以下のとおりとした。

- a) 軸力 (N) 250 ~ 6000 t
- b) 水平力 (H) 0 ~ 3000 t
- c) モーメント (M) 0 ~ 9000 t・m

表-3.5 調査対象構造物とデータ数

No	対象構造物	データ数(基)
1	逆T式橋台	2,064
2	小判張出式橋脚	8,299
3	矩形張出式橋脚	8,299
4	円形張出式橋脚	4,278
5	小判壁式橋脚	435
6	矩形壁式橋脚	435
	計	23,810

(表3.5) 調査対象構造物とデータ数

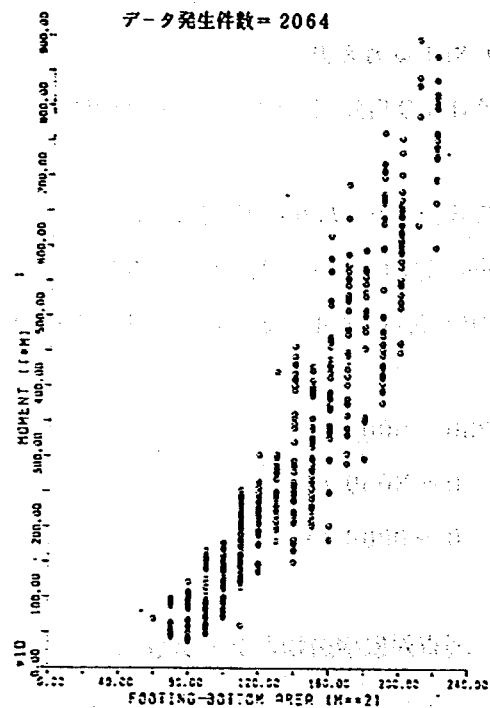


図-3.4 逆T式橋台のフーチング面積とモーメントの関係（地震時）

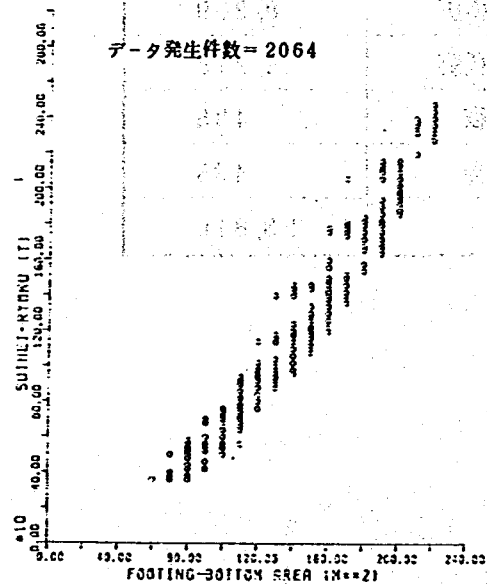


図-3.5 逆T式橋台のフーチング面積と水平力の関係（地震時）



図-3.6 逆T式橋台のフーチング面積と軸力の関係（地震時）

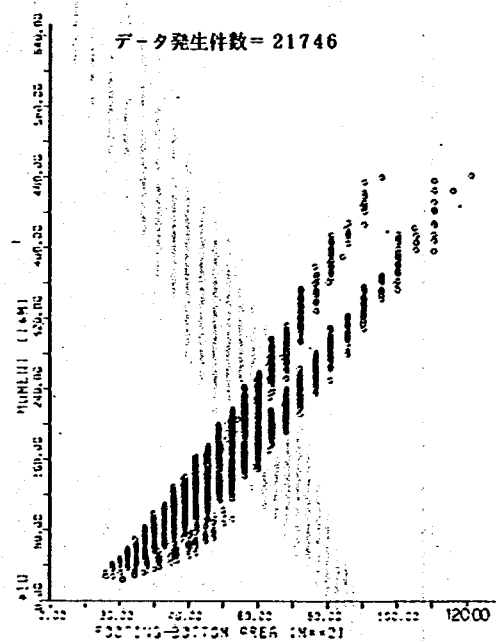


図-3.7 橋脚のフーチング面積とモーメントの関係（地震時）

（表3.6）基礎の（許容）圧入と（許容）せん断力（トン）

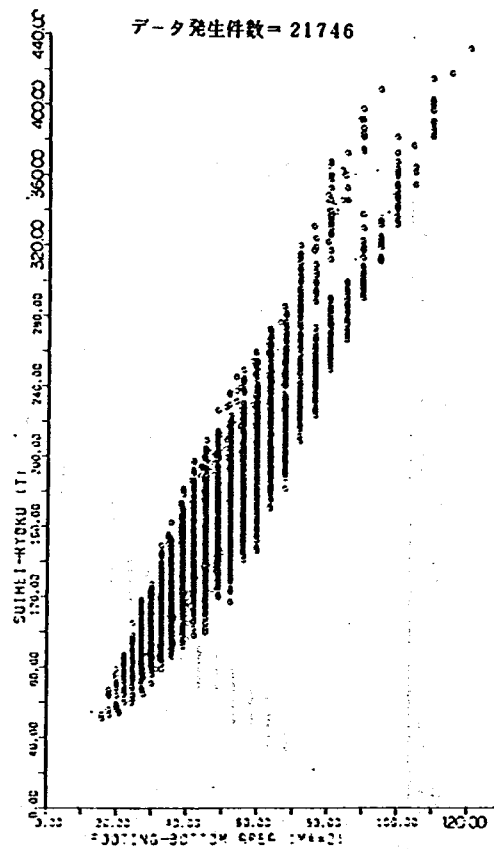


図-3.8 橋脚のフーチング面積と水平力の関係(地震時)

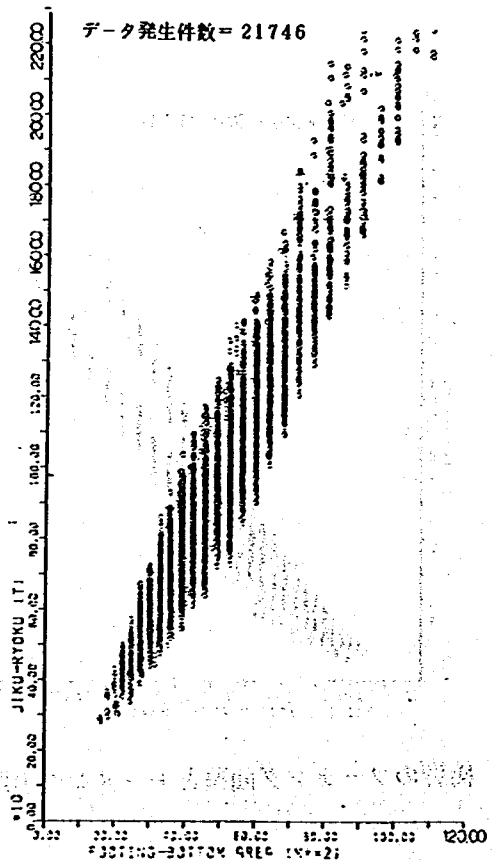


図-3.9 橋脚のフーチング面積と軸力の関係(地震時)

くい径、肉厚、くい長の範囲の設定においては、くい基礎自動設計プログラム開発に利用した設計データの調査を行い、以下のとおりとした。なお、関連するノモグラムすべてに対して、腐食しろ2mmを考慮してある。

- | | |
|------------------|--------------------------|
| a) くい径(ϕ) | 600, 700, 800, 1000 mm |
| b) 肉 厚(t) | 9, 12, 14 mm |
| c) くい長(L) | 10~40 m |

くい本数は、橋台・橋脚の自動設計プログラムで対象とするフーチングの形状寸法の範囲（図－3.3 参照）及び、表－3.6～3.7 に示すくい基礎自動設計の設計実績からくいの列数及びくい本数の範囲を設定した。

- a) くい列数 (m_1, m_2)
- | | | |
|----------------------|-------|--------|
| 橋軸方向くい列数 (m_1) | | 2 ~ 5 |
| 橋軸直角方向くい列数 (m_2) | | 2 ~ 12 |
- b) くい本数 (n)
- | | |
|-------|---------|
| | 4 ~ 60本 |
|-------|---------|

m_2	6																															
5							2																									
4			2				3	2				1	1		2																	
			3		7	2	1	3	3	2	1					2																
2		5	4	4	6	1	6	4	2																							
1																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
(橋軸方向)																																

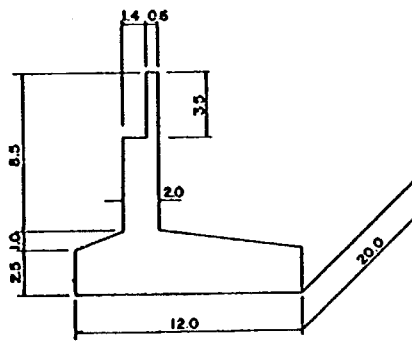
(表内の数字は設計基数を示す)

m_1 (橋軸直角方向)

9						1														
8																				
7						1														
6					1															
5			2	1	3															
4			6	1	4						1	1								
3		1	14	8	23	6	2			1		1								
2		26	6			2		1												
1																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

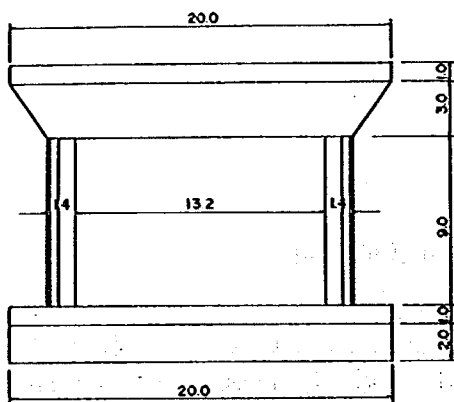
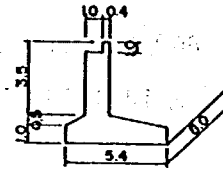
m_1 (橋軸直角方向)

最大形状

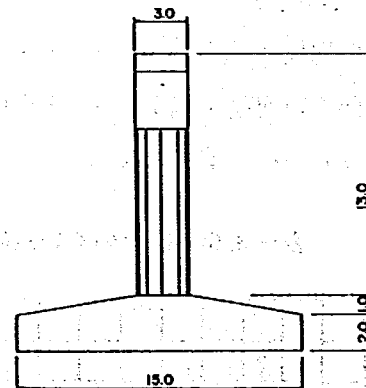


橋 台

最小形状



橋 脚
最大形状



最小形状

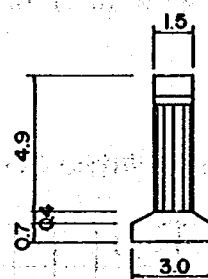
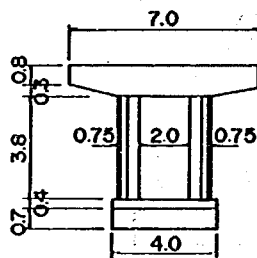


図-3.3 形状寸法の範囲

3.4.2 各種設計諸値の適用範囲に対する考え方

設計計算式をノモグラム化する上での設計諸値の適用範囲及びグラフ形状は、以下のような考え方に基づいて設定した。

(1) 軸方向許容引抜支持力

軸方向許容引抜支持力 (P_a) 及び極限引抜力 (P_u) は、次式により求められる。

$$P_a = \frac{U}{n} (\Sigma 0.2 N_{si} \ell_{si} + \Sigma N_{ci} \ell_{ci})$$

$$P_u = U (\Sigma 0.2 N_{si} \ell_{si} + \Sigma N_{ci} \ell_{ci})$$

ここに n : 安全率 (常時 $n = 6$, 地震時 $n = 3$ が一般的)

U : くい周長 (m)

$\Sigma 0.2 N_{si} \ell_{si}$: 粘土層の周面摩擦抵抗力の総和 (t/m)

$\Sigma N_{ci} \ell_{ci}$: 砂質土層の周面摩擦抵抗力の総和 (t/m)

上式における、土層の平均 N 値の適用範囲の考え方及び安全率の取扱いは、以下のとおりとした。

a) 土層の平均 N

砂質土 $\bar{N} = 0 \sim 20$

粘性土 $\bar{N} = 0 \sim 10$

砂質土で $N = 30$, 粘性土で $N = 20$ 以上であれば、十分な支持層とみなすことができると道路橋示方書 (以下「道示」とする) で詠っている。このことから、平均 N 値の範囲としては、それらの値を越えることはなく、又、その値に近い値の地層が地表面から支持層まで存在することもまれであると考え、その範囲を上記のようにすることで、大部分を網羅できるものと考えた。

b) 安全率 (n) の扱い

極限引抜力 (P_u) の値は、軸方向押込支持力の算定にも用いるため、安全率 (n) をノモグラム中に組み込まないこととし、 P_u の求値後 n を別途考慮することで軸方向許容引抜力 (P_a) が求まるようにした。

(2) 軸方向許容押込支持力

軸方向押込支持力 (P_a) は、くい先端極限支持力 ($q_d \cdot A$) と周面摩擦力から次式により求められる。

$$P_a = \frac{1}{n} (q_d \cdot A + P_u), \quad q_d \cdot A = 6 \bar{N} \cdot \frac{L}{D} \cdot A$$

ここに n : 安全率 (常時 $n = 3$, 地震時 $n = 2$ が一般的)

P_u : くい周面摩擦力 (t)

$\bar{N}$: くい先端地盤の設計用 N 値

L/D : 支持層への根入れ長さ (L) とくい径 (D) との比

A : くい先端面積 (m^2)

q_d : 単位面積当たりの極限支持力 (t)

上式中の $L/D, \bar{N}$ の適用範囲の考え方及びグラフ形状は以下のとおりである。

a) 支持層への根入れ長 (L/D)

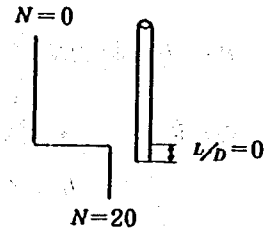
$$L/D = 1 \sim 5$$

先端支持杭を対象としているため根入れ長は、先端の水平抵抗、鉛直支持力などを考慮して、最低でも $L/D=1$ の場合が普通とされている。そして、上限の $L/D=5$ は 5 以上の場合、くい先端での単位面積当たりの極限支持力 q_d の値が変化しないことから設定した。

b) くい先端平均 N 値

$$\bar{N} = 15 \sim 40$$

くい先端の平均 N 値が最小となる条件は、右図のような場合が考えられる ($\bar{N} = 12.5$) が、現実ではこのような状態はほとんど生じないと思われるので、 $\bar{N} = 15$ を最低とした、上限値 $\bar{N} = 40$ は「道示」下部構造編 8.4.1 解説に従った。



c) グラフ形状

$\bar{N}, \frac{L}{D}$ より直接 $q_d \cdot A$ を求めるグラフを作ることができるが、利用性を考慮して q_d の値も取れるようにした。

(3) 横方向地盤反力係数

横方向地盤反力係数 (k) は、次式により求められる。

$$k = 0.8 E_0 D^{-3/4} = 5.6 N \cdot D^{-3/4}$$

ただし $E_0 = 28N$, $\alpha = 0.2$ とした。

ここに E_0 : 水平抵抗に関与する地盤の深さまでの平均変形係数 (暫)

N : 水平抵抗に関与する地盤の深さまでの平均 N 値

D : くい径 (mm)

上式中の E_0 の適用範囲の考え方及びグラフ形状は以下のとおりである。

a) 変形係数 (E_0)

$$E_0 = 0 \sim 135$$

k 値の上限を 5 暫とし、この k 値より逆算した E_0 の上限を設定した。

b) グラフ形状

対数目盛と普通目盛のノモグラムについて検討したが、読み易さから普通目盛の方を採用した。

(4) 水平抵抗に関与する地盤の深さ

水平抵抗に関与する地盤の深さ ($1/\beta$) は、次式により求められる。

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{5.6ND^3}{4EI}}}$$

ここに N : 平均 N 値
 D : くい径 (mm)
 E : 弾性係数 ($E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$)
 I : 断面 2 次モーメント (m^4)

グラフ形状

N, D, EI をパラメーターとしてノモグラム化することはできるが、今回のノモグラム化においては、くい径及び肉厚 (t) とも限定しており、その種類も少ないことから、 D, t, N から $1/\beta$ を求めるノモグラムを採用した。

(5) 杭の特性値

杭の特性値 (β) は、次式により求められる。

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{k D}{4 H I}}$$

グラフ形状は、(4)と同様の考え方とした。

(6) 杭の軸方向バネ定数

軸方向バネ定数 (K_v) は、次式により求められる。

$$K_v = \left\{ 0.027 \left(\frac{\ell}{D} \right) + 0.2 \right\} \frac{A_p \cdot E}{\ell}$$

ここに ℓ : くい長 (m)
 D : くい径 (mm)
 A_p : くいの純断面積 (m^2)
 E : 弾性係数

グラフ形状

くい径、肉厚 (t) とも限定しておりその種類も少なく、くい長の尺度が 1 つですむことから、 ℓ, D, t から K_v を求めるノモグラムとした。

(7) 杭の軸直角方向バネ定数

軸直角方向バネ定数 ($K_1 \sim K_4$) は、次式により求められる。

$$K_1 = 4 E I \beta^3, K_2 = K_3 = 2 E I \beta^2, K_4 = 2 E I \beta$$

ここに E : 弾性係数 (kg/m^2)
 I : 断面二次モーメント (m^4)
 β : くいの特性値 (m^{-1})

グラフ形状

対数目盛と普通目盛のノモグラムについて検討したが、対数目盛の方が操作性がよく 1 回の操作で K_1, K_2, K_4 すべてが求めることができることから、前者を採用した。

(8) くい群の二次モーメント

くい群の二次モーメントは、次式により求められる。

$$\Sigma x_i^2 = \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot d^2 (m_2^2 - 1)}{12}$$

ここに m_1 : くい群の行数 (橋軸方向)

m_2 : くい群の列数 (橋軸直角方向)

d : くい中心間隔 (m)

上式中の m_1 , m_2 の適用範囲は、3.4.1(3)項で設定している。また、くい群の二次モーメントの範囲及びくい中心間隔の範囲の考え方は以下のとおりである。

a) Σx_i^2 の範囲

$$\Sigma x_i^2 = 2.25 \sim 2022$$

最大フーチング寸法は20×15であり、この平面の中に配置できる最大本数及びその時の間隔は

径 $D = 600$ 間隔 $d = 1.682 \text{ m}$

本数 12×5

である。この時の値が $\Sigma x_i^2 = 2022$ である。

b) ぐいの中心間隔 (d)

$$d = 2.5D \sim 5D = 1.5 \sim 5 \text{ m}$$

(9) 水平変位量

水平変位量 (δ_{xi}) の範囲は次のような考え方で設定した。

水平変位量 (δ_{xi}) の範囲

$$\delta_{xi} = 0 \sim 5 \text{ cm}$$

「道示」においては、ぐいの水平変位量の許容値は定量的には定められていない。また、必要杭本数を求めるための目安として、「基準変位量」の概念を用いているが、実務面では、明確な定義がなされておらず、一般には、常時10mm、地震時15mmとしている場合が多い。

したがってノモグラム設計に使用した δ_x の範囲としては「杭基礎の水平変位量に関する考察^{*}」の研究結果に基づき、最大変位は $\delta_x = 0 \sim 25 \text{ mm}$ までの範囲であると考え、目盛りはグラフに余裕を持たせるために50mmまでとした。

くい基礎の水平変位量に関する考察

塩井 幸武* 堀部 正文**

はじめに

くい基礎の設計は一般に、「道路橋下部構造設計指針・くい基礎の設計篇」に準拠して実施される。同指針は昭和39年3月に制定され(以下、旧指針と呼ぶ)、慣用法と呼ばれる手法によって設計が行われてきたが、昭和51年8月に改訂され(以下、新指針と呼ぶ)、変位法と呼ばれる設計法が採用された。一般にくいの水平支持力は、くい体応力度およびくいの水平変位量によって規定される。しかし、新指針においてはくいの水平変位量の許容値を定量的に定めていない。また、必要くい本数を求めるための目安として「基準変位量」の概念を用いているが、これについても一定値を定めていないため設計担当者間で若干の混乱を生じているようである。

本報文は、種々の条件下で変位法および慣用法による設計計算を行ない、両計算法による差違の傾向を整理したもので、くいの水平変位量の基準値および許容値を設定するための基礎資料とすることができる。

1 くい水平変位量について

指針の改訂により、くい基礎の設計方法が慣用法から変位法に変わったが、くいの水平変位量については両設計法の間の調整がうまくとられていない。また、新指針では基準変位量の概念が用いられているが、実務面からの明確な定義がなされておらず、変位法における許容水平変位量の設定に混乱を生じる一因となっている。

水平方向の許容支持力に制限を加える変位量としては、上部構造から決まる許容変位量と下部構造自身に必要な剛性を付与する意味での基準変位量の2つを考慮する必要がある。前者については、上部構造が不静定構造物の場合であれば基礎の変位量が上部構造の応力度に与える影響は弾性解で明らかにできるので、くい頭での許容水平変位量が規定される。また上部構造が静定構造物の場合であっても、伸縮継手や支承構造などから許容変位量が定量的に与えられればくい頭での許容水平変位量が確定する。後者の基準変位量は、上部構造が静定でかつ上部構造の機能上からも変位量が制限されない場合でも、地盤の不確定要素(前面地盤の静的または動的な反力・変位特性、調査精度のばらつき等)を考慮して与えられ

るくいの設計地盤面での水平変位量である。すなわち、地盤やくい体の力学的特性を、弾性的で信頼性の高いひずみの小さい領域で設計に取り入れるためでもある。この基準変位量の値は統一されていないが、一般に常時10mm、地震時15mmとしている場合が多い。また、この基準変位量はあくまで一応の目安であり、一般にくい本数を推定するのに利用される。通常、くい頭縮結かつフーチングの回転を許さない状態で計算される。この手法は旧指針で慣用されているものにあたる。したがって、変位法によって最終的に水平変位量を求めると基準変位量を若干超えることがある。くいの水平変位量は、変位法で計算すれば慣用法の値を上回り、その比率(変位法による水平変位量の計算値/慣用法による水平変位量の計算値)は、既往設計例によれば2倍前後が多く、2.5倍以上となる場合もある。しかし、いくら大きくなってもしよいか、また制限を設けるとしたらどの程度の許容変位量にすべきかという問題が設計実務者から提起されている。

2 調査方法

2.1 調査内容

慣用法と変位法との差違の実態を把握するため、次の2つの方法で検討した。

2.1.1 計算式からの理論的な比較検討

変位法、慣用法それぞれの計算法を用いて、水平変位量、鉛直反力、曲げモーメントなどに関する両者の比率を求める。そして、これらの式の中にある変数(くい本数、くい径、くい長、地盤定数など)がどのように関係しているかを調べることによって、変位法と慣用法の差違、性質を把握する。

2.1.2 くい基礎構造物のモデルによる比較検討

モデルとしては一般的な道路橋の下部構造について考える。設定したモデルについて、まず慣用法により設計計算を行ない、次いで各々のモデルに対して変位法による計算を行なう。そして、その結果について両者を比較検討する。

2.2 検討条件

本調査で設定するモデルの規模、形式および基礎条件などは次のとおりとする。

2.2.1 上部構造

上部構造は、スパン30m、40m、50mの単純桁橋と、

* 建設省土木研究所構造基礎研究室長
** 基礎研究室

スパン45m×3の3径間連続鉄桁橋とする。ただし、幅員はいずれも10.75mとする。

2.2.2 下部構造

下部構造は橋台および橋脚を考え、それぞれ逆T式および門柱T型梁式とする。高さは橋台の場合6m、10mの2通り、橋脚の場合5m、14m、23mの3通りとする。なお、橋脚の場合の土被りは2mとする。

2.2.3 くい基礎形式

くい種は鋼管くいと場所打ちくいの2つを考える。鋼管くいとしては径609.6mm、肉厚12mmおよび径812.8mm、肉厚16mmの2通り、場所打ちくいとしては径1,000mmおよび径1,200mmの2通りとする。また、くい長は20m、40mの2通りとする。

なお、くいの許容支持力 R_s (常時)は表-1のとおりとする。

表-1 くいの許容支持力

くい径 (mm)	R_s (t/本)
609.6	100
812.8	160
1,000	220
1,200	300

2.2.4 地盤条件

側面地盤は、 N 値=3と N 値=6の2種類を考える。くい先端地盤は、 N 値 ≥ 40 の砂れき層とし、くいは径の3倍以上この層に打ち込まれるものとする。

2.2.5 その他の条件

設計震度は、 $k_1=0.2$, $k_2=0$ とし、コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck}=210\text{kg/cm}^2$ とする。慣用法でのくいの許容水平変位量(変位法における基準変位量) δ_s は、常時10mm、地震時15mmとする。

2.3 調査の実施手順

調査の実施は、図-1に示すような手順で行なう。

3 調査結果

3.1 変位法と慣用法の計算式上での比較検討

くい頭に水平力 H と曲げモーメント M を受ける半無限長のくいのたわみ y_s およびくい各部の曲げモーメント M_s の基本式(変位法)は、次のように表わされる。

$$y_s = \frac{H}{2EI\beta^3} e^{-\beta x} \{ (1 + \beta h_0) \cos \beta x - \beta h_0 \sin \beta x \} \quad \dots (1)$$

$$M_s = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \{ \beta h_0 \cos \beta x + (1 + \beta h_0) \sin \beta x \} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\beta = \sqrt{kD/4EI}$ 、 EI : くいの曲げ剛性、 k : 横方向地盤反力係数、 D : くいの直径、 h_0 : H の作用する点の地上高

上式で、 $x=0$ のとき $(dy_s/dx)=0$ とすれば慣用法の式となる。

ここで、くいの応力(特に曲げモーメント)および変

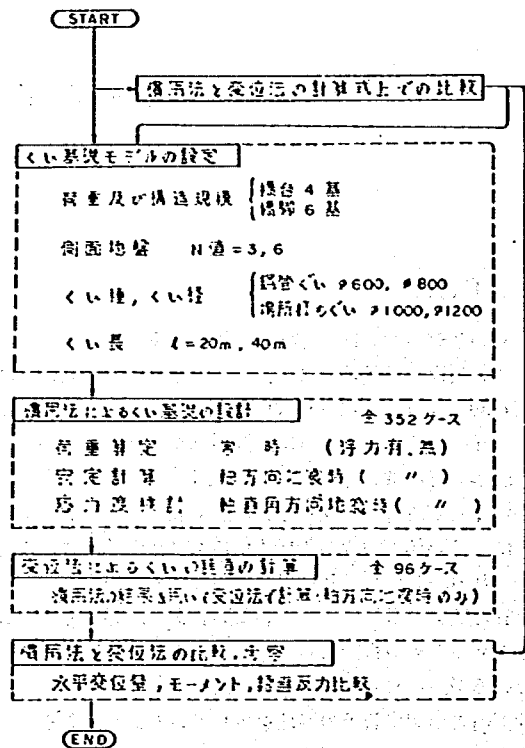


図-1 調査の実施手順

位量について、変位法と慣用法との比率(変位法による値/慣用法による値)を求める。

変位法によるくい頭でのそれぞれの値は、(1)および(2)式において $x=0$ とすればよいから、

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{H}{2EI\beta^3} + \frac{M}{2EI\beta^2} \\ M_1 &= -M \end{aligned} \right\} \quad \dots (3)$$

となる。また、慣用法の場合は次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= \frac{H}{4EI\beta^3} \\ M_0 &= \frac{H}{2\beta} \end{aligned} \right\} \quad \dots (4)$$

したがって、くい頭における水平変位量および曲げモーメントの比率 $(\eta$ および $\xi)$ は、それぞれ次式のとおりとなる。

$$\eta = \frac{y_1}{y_0} = 2 \left(1 + \beta \frac{M}{H} \right) \quad \dots (5)$$

$$\xi = \frac{M_1}{M_0} = -2\beta \frac{M}{H} \quad \dots (6)$$

くい頭の回転角 α は、 $x=0$ における dy_s/dx であるから、

$$\alpha = \frac{H}{2EI\beta^2} + \frac{M}{EI\beta} \quad \dots (7)$$

となる。この(7)式と横方向地盤反力係数 k およびくい径 D を用いて η, ξ を表わすとそれぞれ、

$$\eta = 1 + \sqrt{EI k D} \cdot \alpha / H \quad \dots (8)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{EI\kappa D \cdot \alpha / H} \dots\dots\dots (9)$$

となる。ここで、 $\sqrt{EI\kappa D}$ をくいと地盤の剛性率、 α/H を回転単位と定義しておく。

次に、変位法による地中部最大曲げモーメント M_m と慣用法におけるくい頭モーメント M_0 との比率 ζ を求める。

$$M_m = -\frac{H}{2\beta} \sqrt{(1+2\beta h_0)^2 + 1} \exp \left\{ -\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h_0} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

であるから、これを(4)式で割ればその比率 ζ は

$$\zeta = \frac{M_m}{M_0} = -\sqrt{(1+2\beta h_0)^2 + 1} \cdot \exp \left\{ -\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h_0} \right\} \\ = -\sqrt{(1-\xi)^2 + 1} \cdot \exp \left\{ -\tan^{-1} \frac{1}{1-\xi} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

となる。これらの関係を図示すると図-2 のようになる。

変位法においては、 α (フーチングの回転角) の変化に伴うくいのたわみ (y) および曲げモーメント (M) は、一般に図-3 に示す4 ケースが考えられる。[A] は橋台の場合に考えられる。橋脚では [B]~[D] となるが、ほとんどの場合、[B]~[C] である。すなわち、 η は ($1 \leq \eta \leq 2$) の場合がほとんどであると予想される。[D] の場合には地中部最大曲げモーメント (M_m) は、くい頭モーメントより大きくなる。つまり、[D] の場

合、変位法で最終的に M_m に対する応力度のチェックが行なわれればよいが、慣用法で試算設計した場合には無効となる。慣用法での試算が有効となるためには、 M_m は慣用法によるくい頭モーメント M_0 以下でなければならない。式(10)および(4)の関係から、地中部最大曲げモーメント M_m が慣用法によるくい頭モーメント M_0 を絶対値において超越するのは、 $\xi = -0.5$ の点である。なお、(8)式および(9)式より、 $\eta + \xi = 2$ であるから $|M_0| \geq |M_m|$ であるためには、 $\eta \leq 2.5$ でなければならない。また、 $\eta = 1 + \sqrt{EI\kappa D \cdot \alpha / H}$ であるから、 $\sqrt{EI\kappa D \cdot \alpha / H} \leq 1.5$ が必要である。

次に、許容水平変位量が十分小さい範囲で、くい頭応力度が許容値を超過する場合、すなわち、くい本数がくい頭水平変位量で決まらず、応力度で決定される場合について考える。いま、くい体許容荷重を曲げモーメント (軸力は一定として) で表わし、それを M_s とする。このとき、水平変位量 y_0 を $y_0 = (\beta/\kappa D) \cdot H_0$ によって試算するためには、くい頭モーメント M_0 は $M_s \geq M_0 = H_0/2\beta$ でなければならない。すなわち、 $M_s \geq H_0/2\beta = (1/2\beta) \cdot (\kappa D/\beta) \cdot y_0$ の関係が必要である。これを、くいと地盤の剛性率 ($\sqrt{EI\kappa D}$) を用いて表わせば、

$$\frac{M_s}{y_0} \geq \sqrt{EI\kappa D} \text{ または } y_0 \leq \frac{M_s}{\sqrt{EI\kappa D}} \dots\dots\dots (12)$$

となる。くい頭での水平変位量が許容水平変位量より小さくてもそのことだけで安心はできず、(12)式も満足されなければならない。図-4 は(12)式の関係を示す。また、(12)式において y_0 に制約をつければ、くいと地盤の剛性率 ($\sqrt{EI\kappa D}$) の値が逆に制限される。つまり、 EI を一定とすれば、横方向地盤反力係数 κ 値 (N 値と相関性があるとする) が制限される。図-5 はこの関係を示す。ただし、 y_0 としては、 $y_0 = \delta_s = 10\text{mm}$ および 15mm の2 ケースを考え、 κ 値の代りに新指針の式 $\kappa = 5.6ND^{-3/4}$ の関係より、 N 値とくい径 D で表示してある。例えば、径800mmの鋼管くいの場合、 $\delta_s = 10\text{mm}$ のときには、 N 値が7以上だとくいは水平変位では決まらず、くい体応

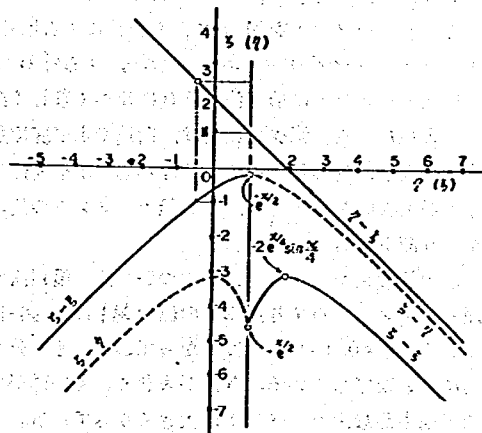


図-2 変位法と慣用法の比率

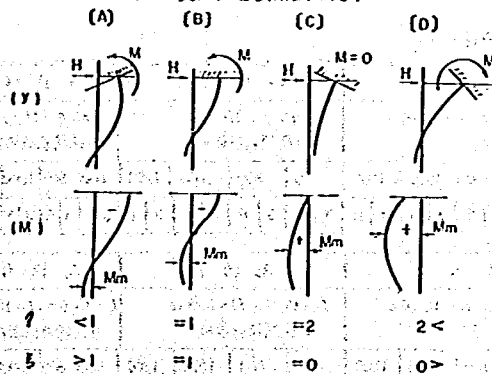


図-3 くいのたわみおよびモーメント

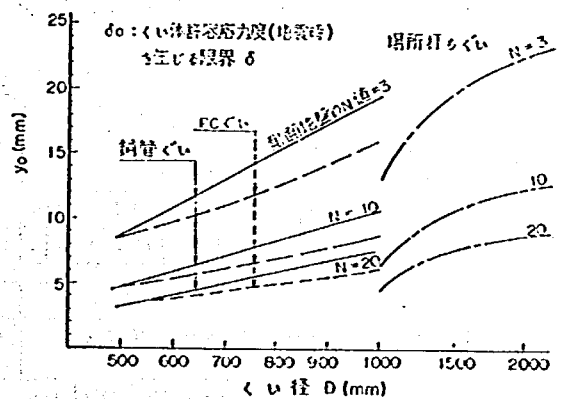
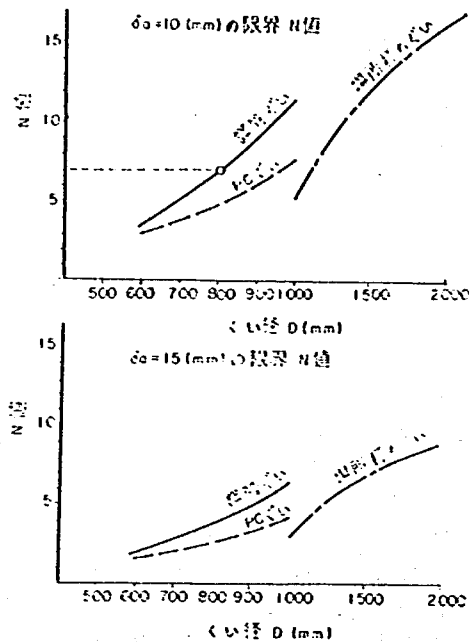


図-4 くい体応力度から決まる許容水平変位量


図-5 許容水平変位量に対する限界 N 値

力度で決まることを示す。

3.2 くい基礎構造物のモデルによる比較検討

3.2.1 概要

2.2で設定したくい基礎のモデル(表-2参照)について設計計算を行なう。慣用法では、橋脚についてそれぞれの種別、くい径、 N 値に対し、軸方向の常時と地震時に浮力を考慮した場合としない場合、軸直角方向の地震時に浮力を考慮した場合としない場合の計288ケースとする。橋台についてはそれぞれに対し、常時と地震時の計64ケースとし、合計352ケースを対象とする。また、変位法では、橋台、橋脚のそれぞれの種別に対し、軸方向の地震時に浮力を考慮しない場合について、くい長を20mと40mの2種類、計96ケースとして計算結果を比較検討してみる。

なお、変位法の計算において水平変位量の計算結果が基準変位量を超える場合も出てくが、ここでは新指

針に示されている $k=k_0y^{-1/2}$ による横方向地盤反力係数 k 値の低減は行なわないこととした。

3.2.2 くい水平変位量について

慣用法、変位法によるくいの水平変位量を図-6に示す。水平変位量 δ の値の範囲は、橋脚の場合 $\delta=4\sim20$ mm、橋台の場合 $\delta=10\sim24$ mmとなっている。橋脚の場合、慣用法の地震時の基準水平変位量($\delta_0=15$ mm)を超えるケースは少ないが、橋台の場合はほとんどのケースが基準水平変位量を超える。くい長に着目すると、鋼管くいの場合はくい長が長いほど変位法での水平変位量が大きくなり、場所打ちくいの場合はこの逆となる。 N 値の小さいほうが当然、水平変位量は大きい。

変位法と慣用法との水平変位量の比率(η)を図-7に示す。 η の値の範囲は $\eta=1.0\sim2.2$ 程度となっており、橋脚のほうが橋台よりもばらつきが大きい。また、一般的傾向として N 値が大きいほど η も大きくなっている。くい径は、径の大きいほうが η は大きい。くい長については、鋼管くいの場合くい長が長くなれば η は大きくなり、場所打ちくいの場合はこの逆となる。くいの水平変位量との関連で η を見た場合、くい基礎構造が水平変位量で決まるようなケースでは η は比較的小さく、水平変位量が小さいとき η は大きくなる(図-6、7参照)。

3.2.3 くいの曲げモーメントについて

くい頭モーメントを図-8に、変位法による地中部最大モーメントを図-9に示す。変位法による計算では、くい頭モーメントは慣用法のそれに比べて著しく減少することがわかる。減少の程度は、前述の水平変位量の比率 η の大小に対応している。すなわち、水平変位量の比率 η が大きいケースでは、くい頭モーメントの比率 ξ はかなり減少する。

地中部最大モーメント M_s については、慣用法のくい頭モーメントに対する比率 ζ の値の範囲は、図-10に示すように $\zeta=0.2\sim0.8$ 程度となっており、その分布の傾向は η と類似している。 N 値が大きくなり、くい径が大きくなりほど地中部最大モーメントは大きくなっている。

表-2 くい基礎の設計モデル

	P_1 橋脚				P_2 橋脚				P_3 橋脚				P_4 橋脚				P_5 橋脚			
種別	$L=30.0m$ $H=5.00m$ 単独版桁				$L=40.0m$ $H=14.00m$ 単独版桁				$L=50.0m$ $H=23.00m$ 単独版桁				$L=45.0m$ $H=5.00m$ 3径間連続版桁				$L=45.0m$ $H=14.00m$ 3径間連続版桁			
くい径	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200
N 値	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
	P_6 橋脚				A_1 橋台				A_2 橋台				A_3 橋台				A_4 橋台			
種別	$L=45.0m$ $H=23.00m$ 3径間連続版桁				$L=30.0m$ $H=6.00m$ 単独版桁				$L=30.0m$ $H=10.00m$ 単独版桁				$L=45.0m$ $H=6.00m$ 3径間連続版桁				$L=45.0m$ $H=10.00m$ 3径間連続版桁			
くい径	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200	600	800	1000	1200
N 値	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6

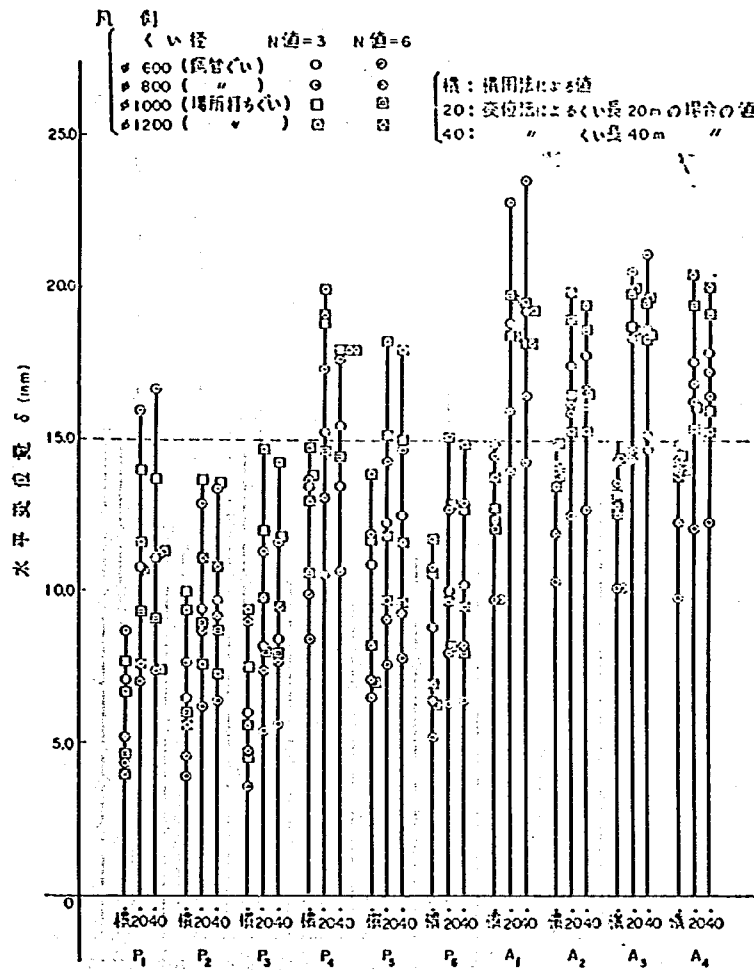


図-6 両計算法によるくいの水平変位量

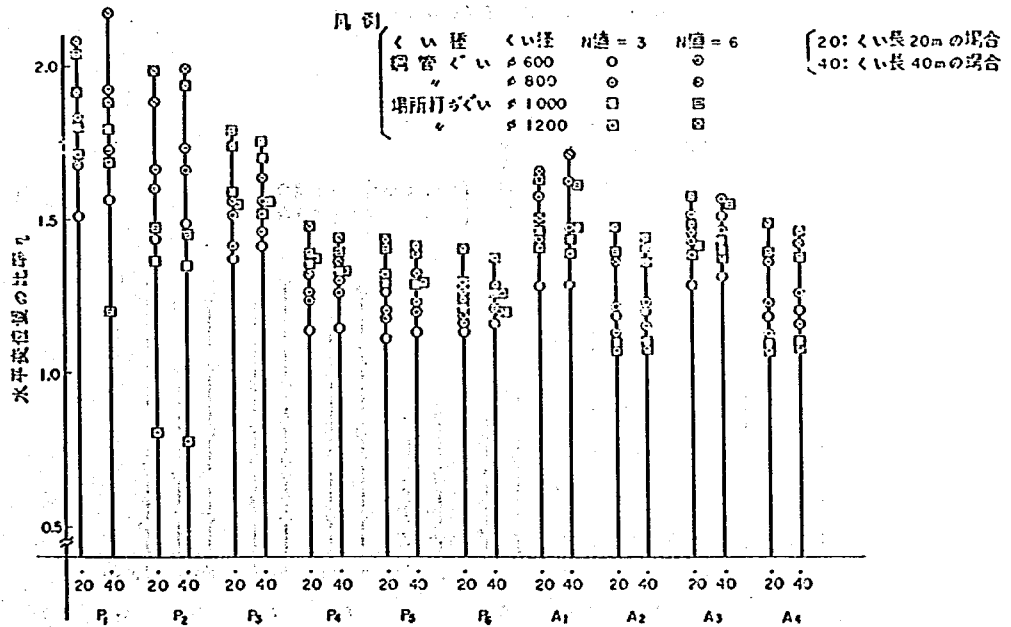


図-7 両計算法による水平変位量の比率

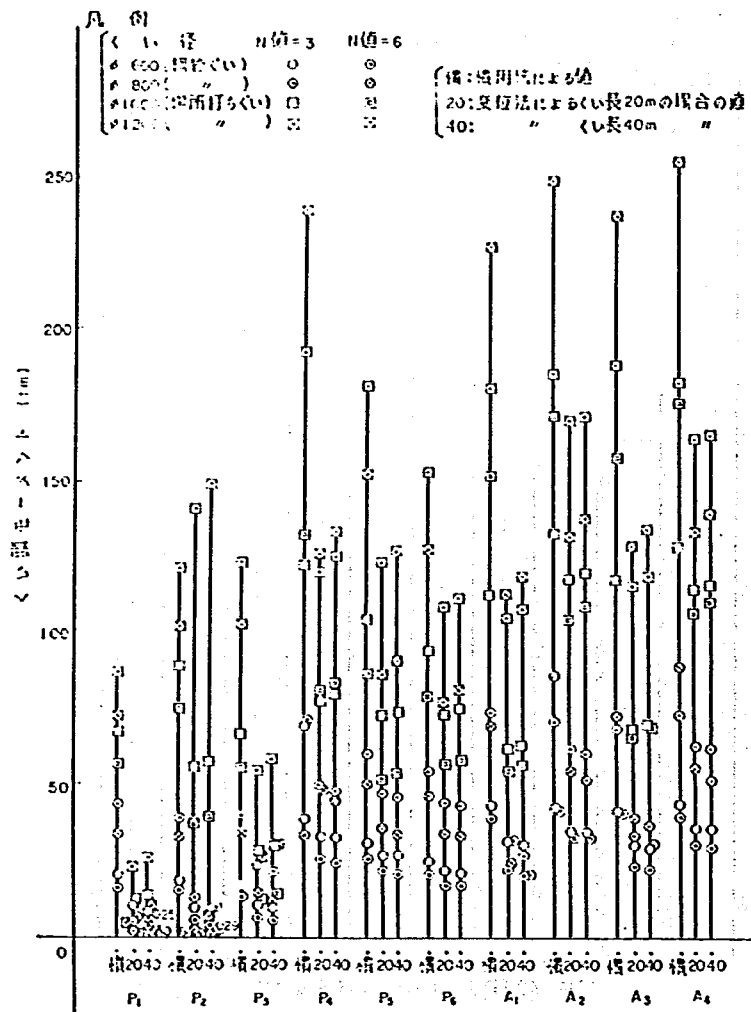


図-8 両計算法によるくい頭モーメント

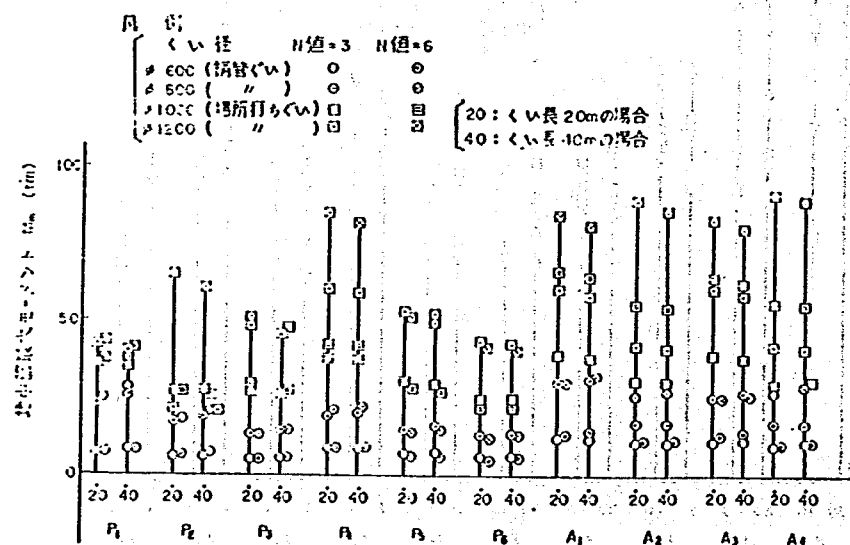


図-9 変位法による地中部最大モーメント

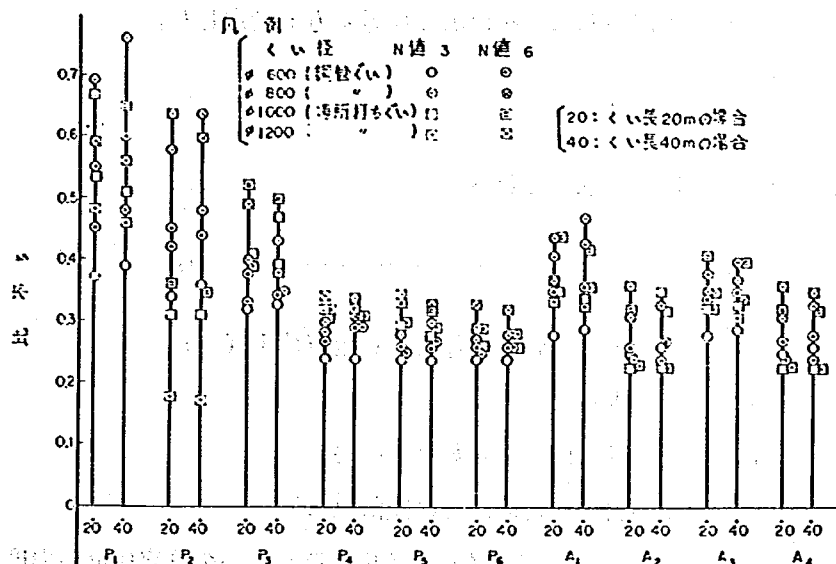


図-10 地中部最大モーメントと慣用法によるくい頭モーメントの比率

4 まとめ

4.1 変位法と慣用法との水平変位量の比率

変位法と慣用法との水平変位量の比率 (η) は、計算式上はくいと地盤の剛性率 ($\sqrt{EI/D}$) と回転単位 (α/H) との積で表わされる。したがって、増加率はくいおよび前面地盤が一定であれば回転単位に比例する。 η の範囲は1.0~2.2程度であり、 η の値が大きいても水平変位量の値が大きいわけではない。 η が小さいほど水平変位量自体は大きい傾向になっている。したがって、 η はそれ自体では水平変位量の目安とならないので、 $\eta + \xi = 2$ の関係にあるくい頭モーメント比率 (ξ) に着目しておくのが得策であろう。 $\eta \geq 2.5$ の場合、 $\xi \leq -0.5$ となり、このときには慣用法のくい頭モーメントよりも変位法の地中部最大モーメントのほうが大きくなるので、設計上はこの点に留意しておく必要がある。

4.2 水平変位量に及ぼす設計諸元の影響

計算式上で考えれば、水平変位量はくい1本当りの作用外力に比例し、くいの曲げ剛性 (EI)、くいの特性値 (β) に逆比例する。また、くい群の回転パネが大きければ水平変位量は小さい。作用モーメントが大きい場合、くい本数は支持力で決まるため本数が多くなり、回転パネは大きくなる。反対に、背の低い構造物で水平力が大きい場合にはくい本数が比較的少なくなるため、回転パネが小さく、水平変位量は最も大きくなる。

4.3 モーメントと水平変位量との関係

慣用法の計算では、水平変位量とくい頭モーメントは

比例関係にあるため、水平力の大きなケースはくい頭モーメントが大きく、したがってくい体応力度が許容値を超えるものが出る。しかし、変位法では回転角によりくい頭モーメントが緩和されるため、ほとんどの場合結果的に許容値内に入る。したがって、慣用法での試算設計の段階でくい体応力度が許容値を超えていても、水平変位量、鉛直支持力を適当に設定しておけば、前述の η (ξ) でモーメントの減少を見込むことにより有効に試算できる。

4.4 許容水平変位量について

従来、慣用法で一般に採用された許容水平変位量 $\delta_a = 15\text{mm}$ を守って設計をしたモデル設計のうちで、変位法計算による最大の水平変位量は $\delta_{max} = 24\text{mm}$ となっている。従来の慣用法の計算は、くい基礎構造 (くい本数など) 決定上の一つの手段であり、構造計算上の厳密な意味から考えれば変位法で計算されるべきものである。

以上のようなことから、変位法による水平変位量は地震時 $\delta_a = 25\text{mm}$ としても、従来の慣用法の基準水平変位量 ($\delta_a = 15\text{mm}$) とは本質的に同じものとみなすことができる。

許容水平変位量の本格的な検討は、前面地盤の水平極限荷重と水平変位量とのかね合いで研究されるべきものであるが、これは早急には解決される問題ではない。したがって、差し当って上記の程度の水平変位量の範囲であれば、従来の設計と変わらない力学的性状を有するものと考えられる。

00 フーチングの回転角

フーチングの回転角 (α) の適用範囲は、次のような考え方で設定した。

フーチングの回転角 (α) の範囲

$$\alpha = 0 \sim 0.0182$$

くいの軸方向力 P_{Ni} は、次式により求められる。

$$P_{Ni} = \frac{N}{n} + \alpha \cdot K_v \cdot x_i \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに N : フーチング底面に作用する鉛直荷重 (t)

n : くい本数 (本)

K_v : くい軸方向バネ定数 (t/m)

x_i : くい群図心位置からの距離 (m)

この P_{Ni} をくいの純断面積 (A_P) で除して求められる応力度がくいの許容圧縮応力度より大きくなることは実際の設計ではない。すなわち、

$$P_{Ni}/A_P = \sigma_c < \sigma_{ac}$$

の関係にあるように考慮される。

このことから、逆に許容圧縮応力度から最大軸方向力 ($P_{Ni\max}$) を求め、(1)式を満たす α を逆算すると次式のようなになる

$$\alpha = \frac{P_{Ni} - \frac{N}{n}}{K_v \cdot x_i} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore \alpha_{\max} = \frac{520 - \frac{250}{4}}{13500 \times 0.75} = 0.0452 \div 0.045 \text{ (rad)}$$

ここで α を最大にする条件として次の数値を与えている。

$$N = 250 \sim 6000 \text{ (t)}$$

$$n = 4 \sim 60 \text{ (本)}$$

$$K_v = 13500 \sim 36500 \text{ (t/m)}$$

$$x_i = 0.75 \sim 10.0 \text{ (m)}$$

$$P_{Ni\min} : \text{軸方向引抜許容支持力の最大値をとり } P_{Ni\min} = -208t \text{ とする。}$$

$$P_{Ni\max} : P_{Ni\max} = \sigma_{ca} \times A_{P\max} = 1400 \times 371.0 = 519400 \div 520t$$

しかしながら、上記数値の中には実際上考えられないデータの組み合わせ (たとえば、くい本数4本に対して想定荷重範囲の最大荷重の載荷はあり得ない等) が多分に含まれていること、さらに求値 α は他のパラメータに対して非常に小さい数値で表わされることから、ノモグラムの精度が低下してくる。

そこで、(2)式のパラメータの内、くい本数 n に着目して式の構成を検討し、ノモグラムの精度が十分

に向上するくい本数^{*1)}を検討し、 α の範囲^{*2)}を決定した。

$$\alpha = \frac{M + \frac{1}{2\beta} \cdot H}{K_V \cdot \sum x_i^2 + n \cdot EI \cdot \beta} \dots\dots\dots(3)$$

*1) ノモグラムの精度を保障できるくい本数を式の構成及びノモグラムを作成した結果より仮定すれば、最大荷重載荷時で最低使用くい本数は20本必要である。

*2) くいに生ずる応力度は、許容応力度より大きくなることは実際の設計では生じないため、(2)、(4)式を満足する α を逆算して求めた。

$$M_{ti} = \frac{M}{n} - \frac{1}{n} \cdot \alpha \cdot K_V \cdot \sum x_i^2 \dots\dots\dots(4)$$

(2)式より

$$\alpha = \frac{520 - \frac{6000}{20}}{13500 \times 2.25} = 0.00724 \text{ (rad)}$$

(4)式より

$$\alpha = \frac{9000 + 240 \times 20}{13500 \times 56.25} = 0.0182 \text{ (rad)}$$

上記の結果を比較すると(4)式により算出した α の方が大きいため α の最大値は0.0182とした。

なお、グラフ形状としては「道示」8.5.1の解説で用いているデカルト座標図について検討した精度が劣るため採用しなかった。

① くいの鉛直変位量

くいの鉛直変位量(δ_{yi})の適用範囲は、次のような考え方で設定した。

a) くいの鉛直変位量 δ_{yi} の範囲

$$\delta_{yi} = -0.05 \sim 0.05 \text{ m}$$

δ_{yi} の式を変形すると

$$\delta_{yi} = \frac{P_{Ni}}{K_V}$$

となる。 δ_{yi} を最大にするためには、 P_{Ni} 最大、 K_V 最小でなければならない。 $P_{Ni \max}$ 、 $K_{V \min}$ は前項①で述べてあり、すでに決まっている。したがって

$$\delta_{yi \max} = \frac{520}{13500} = 0.0385 \text{ m}$$

という値となる。

また、最小値は、軸方向引抜き許容支持力の最大値として、 $P_{Ni \min} = -208 \text{ t}$ であるから、この場合の変位量は、次のようになる。

$$\delta y_{imin} = \frac{-208}{13500} = -0.00154$$

したがってノモグラムでは正方向だけを対象とし、余裕を持たせて0.05m までとした。

Q2 くい頭モーメント

くい頭モーメントの適用範囲は、次のような考え方で設定した。

a) くい頭モーメントの範囲

$$M_{ti} = -240 \sim 240 \text{ t} \cdot \text{m}$$

くいの応力度の検討は、次式によってなされている。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z_P}$$

ここに N : 軸方向力 (t)

M : くいに作用するモーメント (t・m)

A : 断面積 (cm²)

Z_P : 断面係数 (cm³)

上式のパラメーターのうち、軸方向力 $N(t)$ は前項Q1で設定してあり、その他の値もそれ以前にすでに設定されている。また、応力度 σ は許容応力度 $V_{sa}(=V_{ta})$ を越えることはない。したがってくいのモーメントを徐くパラメーターの範囲は

$$N : -208 \sim 520 (t)$$

$$A : 129.5 \sim 371.0 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$Z_P : 1880 \sim 9010 \text{ (cm}^3\text{)}$$

$$\sigma = \sigma_{sa} = 1400 \times 1.5 = 2100 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \text{ 地震時}$$

となり、これを上式に代入し、モーメント M の最大・最小を算出した結果 $-240 \sim 240 \text{ t} \cdot \text{m}$ とした。

Q3 くい頭剛結曲げモーメント

くい頭剛結曲げモーメント (M) は、次式により求められる。

$$M = -H \frac{e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x}{\beta} - Mt \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) \dots \dots \dots (1)$$

ここに

H : くいに働く水平力 (t)

β : くいの特性値 (m⁻¹)

x : くい頭から求める深さまでの距離 (m)

Mt : くい頭曲げモーメント (t・m)

(1)式における H の適用範囲及びグラフ形状は、次のとおりである。

a) くいに作用する軸直角方向力 (H) の範囲

$$H = 0 \sim 150 (t)$$

くい1本に作用する曲げモーメントの最大は

$$M_{max} = \pm 240 (t \cdot m)$$

と前項04で設定した。この値は、くい頭ヒンジの条件における地中部最大曲げモーメントの計算式〔2式〕から求められる値と同じでなければならない。

$$M_m = -\frac{H}{\sqrt{2}\beta} \exp\left(-\frac{\pi}{4}\right) \dots\dots\dots(2)$$

したがって上式から軸直角方向力を逆算すると

$$H = 150 (t)$$

を得る。また、下限値については $H = 0$ として設定した。

6) グラフ形状

(1)式の右辺第一項はくい頭ヒンジの条件における曲げモーメントの計算式と同じであるので、右辺の第二項だけをノモグラム化して利用者にそれぞれの値を加えてもらい M を求めるようにした場合と、 M を直接ノモグラムで引けるようにする場合の2種類について検討したが、後者の場合、負の領域が広く取れない欠点があり前者を採用した。

04 くい本体の応力度

くい本体の応力度 (σ) は、次式により求められる。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z_P}$$

ここに N : くに働く軸力 (t)

A : 純断面積 (cm^2)

M : くに働くモーメント ($t \cdot m$)

Z_P : 断面係数 (cm^3)

グラフ形状

応力度 σ を直接ノモグラムで求めることのできる場合と、 N/A_P と M/Z_P とを別々にひき、利用者が、それぞれの値を加えて σ を求める場合について検討したが、精度の点から後者を採用した。

3.4.3 ノモグラム作成上の問題点とその検討

照査システムとしてノモグラムを利用することは、少ない図表で多くのパラメータを対象とできる利点があるが、作成の段階では種々の問題点も生じてくる。本節では、それらの問題点とその対応策にいてまとめてあり、ノモグラム作成上の特異点にふれている。

(1) ノモグラム作成上の問題点

a) 目盛りの読み取り、プロット等の問題点

ノモグラムの形状は求めようとする値に対する計算式の構成やパラメータの数、パラメータの値の範囲などによって複雑に変化する。そして、図-3.11~3.13は、本照査システムで検討したノモグラムの例である。

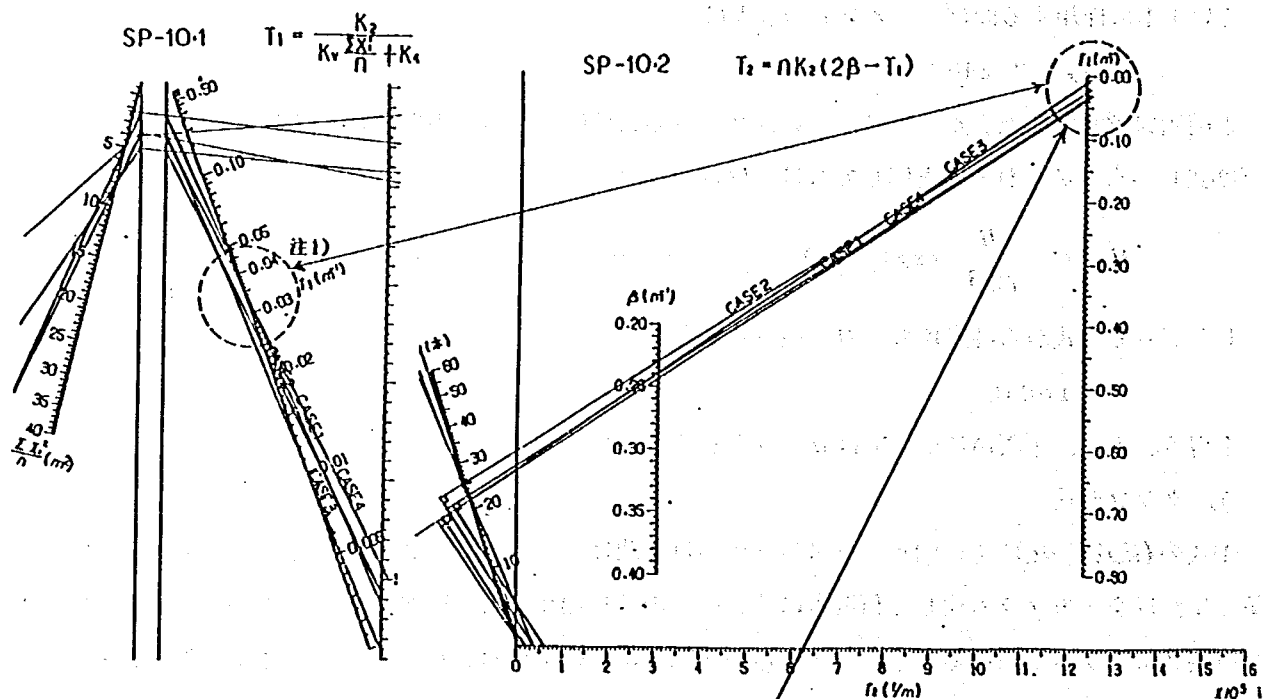


图-3.11

图-3.12

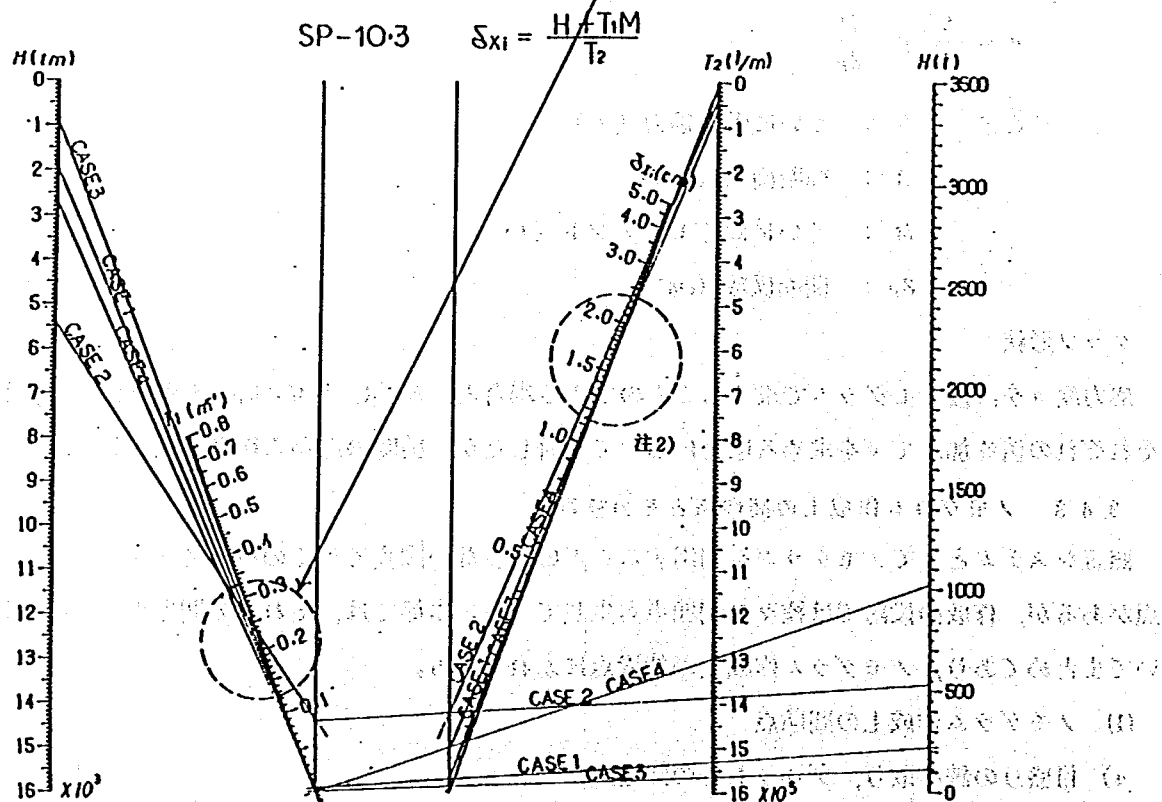


图-3.13

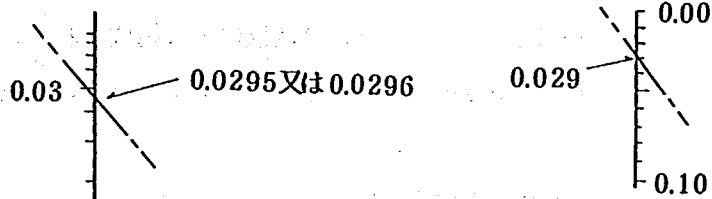
図- 3.11～ 3.13において T_1 軸を比較すると、図- 3.11、図- 3.13はZ型図表で表現されるため目盛りが対数目盛になっている。これに対して図- 3.12では、目盛りが等間隔である。

このように、各グラフ間での目盛の不一致があったり、最終的に求める値が斜軸に目盛られる場合などは、各軸との交わり方如何んによっては大きな読み取り誤差が生じる場合がある。

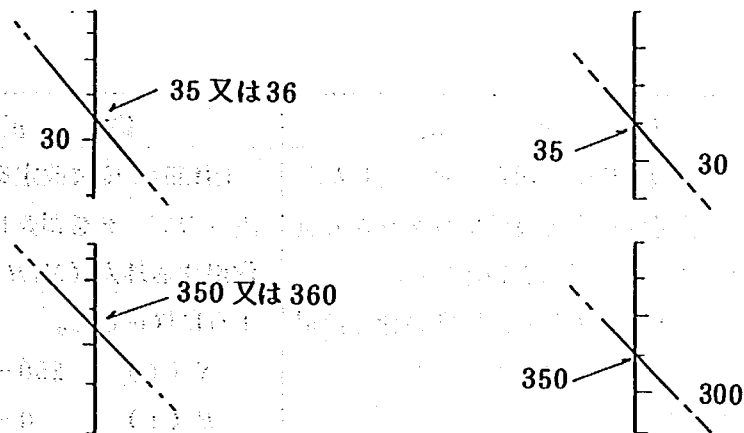
◎図- 3.11～ 3.13の（注1）に対して

a. 不等間隔目盛

b. 等間隔目盛

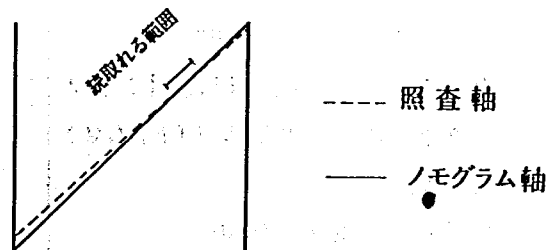


この様に数値が小数点以下となる場合は、aでは比較的詳しく読むことが出来るためbにプロットする場合誤差の累積は少ない。



この様に数値が大きくなるとaでは一目盛を詳しく読むことが出来なくなるが、bでは数値がどうであれ平均的に読むことが出来るためa-b間で誤差が生じやすくなる。

◎図- 3.13の（注2）に対して



この様な場合数値の範囲が分かりにくく、適当に読み取らざるを得ないため誤差が生じやすくなる。

6) パラメータの範囲に関する問題点

図-3.11～図-3.13においては設計頻度の少ない条件の範囲が多分に含まれているように思われる。

又、グラフの構成、尺度関係はパラメータの範囲の大小で決定されるものであるから、その範囲を小さくすることでノモグラムの精度は向上する。

c) 式の細分化及び構成方法に関する問題点

ノモグラム作成の初期段階においては、読み取り誤差が大きいと考え、複雑な式は出きるだけ分けずにノモグラム化してきた。そのことにより相互のグラフの関係から目盛りが細かくなり精度を落としているように思われる。従ってなるべく式を細分化してみて誤差の比較をしてみる必要がある。又、水平変位量 δ_x 、フーチングの回転角 α に関するノモグラムは数枚により構成されていると共にノモグラムも複雑になっている。このことは(a)の問題点を含んでいるため、ノモグラムの構成を再検討する必要がある。

(2) 問題点に対する検討及びノモグラムの追加修正

前項に示すような問題点が初期段階で生じたが、設計例の照査を行った結果、±5%以上の誤差が生じた項目について各パラメータの値を再検討すると共に、問題点を検討しながらノモグラムの追加及び修正を行った。

a) 各パラメータの範囲の再検討

① 設計条件

項 目	修 正 前	修 正 後
フーチング 下面に作用 する設計外 力 (N, H, M)	i) 道路橋・橋脚・橋台を対象とした。 ii) 形状寸法は自動設計プログラムで設定している範囲内を想定した。 iii) 上部工反力として旧標準設計で設定している最大・最小を用いた。 iv) 設計震度 $K_h = 0.2, K_v = 0.0$ v) 裏込め土 単位体積重量 $\gamma = 2.0(t/m)$ 内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$ 以上の条件において、自動設計よりフーチング下面に作用する外力(N, H, M)の範囲を設定した。 $N(t)$ 300~7500 $H(t)$ 0~3500 $M(t \cdot m)$ 0~16000	昭和57年度に改定を行った下部工標準設計のデータを調査し、フーチング下面に作用する外力(N, H, M)の範囲を下記のように修正した。 $N(t)$ 250~6000 $H(t)$ 0~3000 $M(t \cdot m)$ 0~9000

② くい設計上の諸数値の再検討

項 目	修 正 前	修 正 後
軸直角方向 支 持 力	平均N値$\bar{N}=20$を上限としており、そのN値を用いてk値を求め、k値より逆算してE_0を求めその上限を決定した。 $k = 8.0 \text{ Kg/cm}^3$	土木研究所資料（第674号） 「くいの水平方向地盤反力係数」によりk値の分布を検討した結果、その上限を5 Kg/cm^3に押えることにした。
水平変位量	土木技術資料 20-11（1978） 「杭基礎の水平変位量に関する考察」により、最大変位は$\delta_x=25 \text{ mm}$を超えるものは少ないとし、目盛上はグラムに余裕を持たせるため50 mmまでとした。	同 左 i) 式の構成を再検討した。 ii) グラフ形状を変更した。
くい軸 方向力	くいの軸方向力P_{Ni}は許容圧縮応力度を超えることはないと考え次式より逆算して求めた。 $P_{Ni} = \sigma_{ca} \cdot A_p$	同 左 i) 式の構成を再検討した。
くいの鉛直 変 位 量	くいの鉛直変位量δ_{yi}の範囲は次式により逆算して求めた。 $\delta_{yi} = P_{Ni} / K_v$	同 左 i) 式の構成を再検討した。
フーチング の 回 転 角	くい頭の回転角α範囲は次式により逆算して求めた。 $P_{Ni} = \frac{N}{n} + \alpha \cdot K_v \cdot x_i$	実際に考えられないデータの組合せを取り除くとともにパラメータの範囲は次式により逆算して求めた。 $M_{ti} = \frac{1}{n} \cdot (M_0 - \alpha \cdot K_v \cdot \sum x_i^2)$ i) 式の構成を再検討した。 ii) グラフ形状を変更した。
くい頭 モーメント	くい頭モーメントM_{ti}範囲は次式により逆算して求めた。 $\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z_p}$	同 左 i) 式の構成を再検討した。 ii) ノモグラム形状を再検討した。

3.5 ノモグラムの照査例

本照査システムで得られる結果が妥当であるかは、既往設計例に適用し精度の確認をしておく必要がある。本節では、橋脚の3例、橋台の2例について適用した照査結果を示すこととする。なお、ノモグラムについては種々の問題点について検討を行い修正を加えているが、照査結果を修正前と修正後について示し、改良の効果もわかるようにした。

CASE 1

図-3.14に示す橋脚の基礎について照査する。

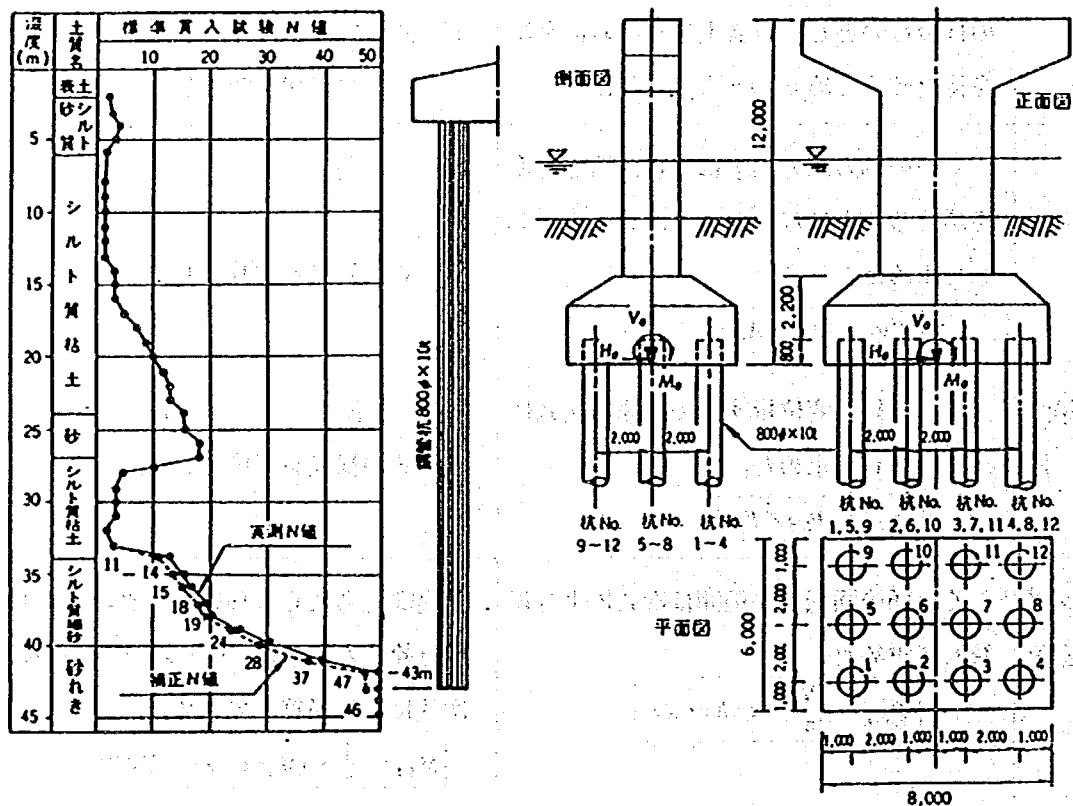


図-3.14 設計条件

CASE 2

図-3.15に示す橋脚の基礎について照査する。

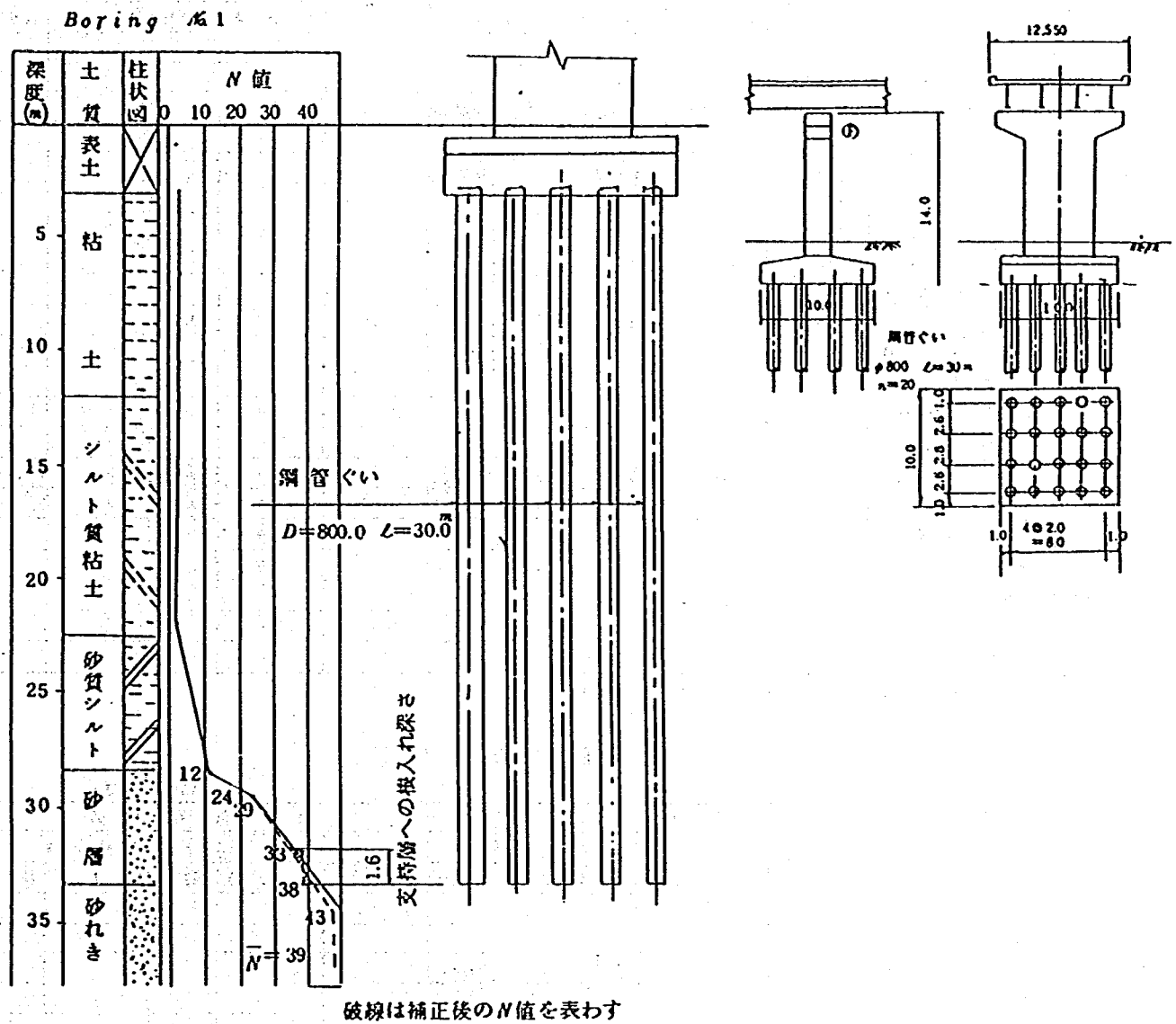


図-3.15 設計条件

表 - 3.8 照 査 例

照 査 方 向		橋 軸 方 向					橋 軸 直 角 方 向				
		設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値				設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値			
			修 正 前	誤 差 (%)	修 正 後	誤 差 (%)		修 正 前	誤 差 (%)	修 正 後	誤 差 (%)
軸 方 向 押 込 支 持 力		304.0	303.3	0.2							
軸 方 向 引 抜 支 持 力		75.0	75.0	0							
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		0.56	0.55	1.8	0.56	0					
く い の 特 性 値		0.243	0.243	0	0.243	0					
軸 直 角 方 向 支 持 力		18.4	19.0	3.1	18.0	2.2					
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K_1	1856.0	1850.0	0.3							
	K_2	3819.0	3830.0	0.3							
	K_A	15717.0	15600.0	0.7							
軸 方 向 バ ネ 定 数		16200.0	16100.0	0.6							
Σx_i^2		32.0	31.0	3.1			60.0	59.0	1.7		
水 平 変 位 量		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
フ ー チ ン グ 回 転 角		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
く い の 鉛 直 変 位 量	δ_{ymax}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	δ_{ymin}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
く い 軸 方 向 力	P_{Nmax}	134.9	130.0	3.6	135.0	0	134.9	130.0	3.6	135.0	0
	P_{Nmin}	134.9	130.0	3.6	135.0	0	134.9	130.0	3.6	135.0	0
く い 軸 直 角 方 向 力		0	0		0		0	0		0	
く い 頭 モ ー メ ン ト		0	0		0		0	0		0	
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
く い 本 体 の 応 力 度	σ_{max}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	σ_{min}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(注) : ノモグラムの改善によって精度の向上が図られた項目

表 - 3.9 照 査 例

照 査 方 向		橋 軸 方 向					橋 軸 直 角 方 向				
		設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値				設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値			
			修 正 前	誤 差 (%)	修 正 後	誤 差 (%)		修 正 前	誤 差 (%)	修 正 後	誤 差 (%)
軸 方 向 押 込 支 持 力		457.0	455.0	0.4							
軸 方 向 引 抜 支 持 力		150.0	150.0	0							
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		0.56	0.55	1.8	0.56	0					
く い の 特 性 値		0.243	0.243	0	0.243	0					
軸 直 角 方 向 支 持 力		27.7	27.5	0.7	27.0	2.6					
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K_1	1856.0	1850.0	0.3							
	K_2	3819.0	3830.0	0.3							
	K_A	15717.0	15600.0	0.7							
軸 方 向 バ ネ 定 数		16200.0	16100.0	0.6							
Σx_i^2		32.0	31.0	3.1			60.0	59.0	1.7		
水 平 変 位 量		1.741	1.7	2.3	1.73	0.6	1.46	1.45	0.7	1.46	0
フ ー チ ン グ 回 転 角		0.00361	0.0035	2.9	0.0036	0.3	0.00225	0.0025	11.9	0.00225	0
く い の 鉛 直 変 位 量	δ_{ymax}	0.626	0.63	0.6	0.63	0.6	1.30	1.30	0	1.28	1.5
	δ_{ymin}	-0.096	-0.09	6.3	-0.09	6.3	-0.0495	-0.044	12.5	-0.05	1.0
く い 軸 方 向 力	P_{Nmax}	218.4	220.0	0.7	219.0	0.3	210.5	220.0	4.5	210.0	0.3
	P_{Nmin}	-15.6	-10.0	36.0	-15.0	4.0	-7.9	-10.0	26.6	-8.0	1.3
く い 軸 直 角 方 向 力		18.5	18.0	2.7	18.5	0	18.5	18.0	2.7	18.5	0
く い 頭 モ ー メ ン ト		-9.8	-10.0	2.0	-10.0	2.0	-20.4	-20.0	2.0	-20.0	2.0
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		-24.54	-24.5	0.2			-24.54	-24.5	0.2		
く い 本 体 の 応 力 度	σ_{max}	1739.0	1740.0	0.06			1701.0	1690.0	0.6		
	σ_{min}	-715.0	-716.0	0.1			-676.0	-680.0	0.6		

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

表 3.10 照 査 例

照 査 方 向		橋 脚 方 向				
		設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値			
			修 正 前	誤 差 (%)	修 正 後	誤 差 (%)
軸 方 向 押 込 支 持 力		237.8	238.0	0		
軸 方 向 引 抜 支 持 力		117.0	115.5	1.3		
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		0.6	0.61	1.7	0.61	1.7
く い の 特 性 値		0.23	0.234	1.7	0.234	1.7
軸 直 角 方 向 支 持 力		31.3	30.0	4.1	31.5	0.6
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K_1	1941.9	1930.0	0.6		
	K_2	4221.4	4210.0	0.3		
	K_A	18354.0	18300.0	0.3		
軸 方 向 バ ネ 定 数		21000.0	21050.0	0.2		
Σx_i^2		160.0	155.0	3.2		
水 平 変 位 量		1.60	1.50	6.7	1.61	0.6
フ ー チ ン グ 回 転 角		0.00186	0.00185	0.5	0.00186	0
く い の 鉛 直 変 位 量	$\delta_{y\max}$	1.167	1.15	1.5	1.16	0.6
	$\delta_{y\min}$	-0.321	-0.31	3.5	0.32	0.3
く い 軸 方 向 力	$P_{N\max}$	245.1	240.0	2.1	243.0	0.9
	$P_{N\min}$	-67.4	-60.0	12.3	68.0	0.9
く い 軸 直 角 方 向 力		26.4	26.0	1.5	26.0	1.5
く い 頭 モ ー メ ン ト		-0.9	0	∞	0	∞
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		-36.8	-36.0	2.2		
く い 本 体 の 応 力 度	$\sigma_{\max}$	1688.0	1680.0	0.5		
	$\sigma_{\min}$	-951.0	-950.0	0.1		

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

CASE 3

図- 3.16に示す橋脚基礎について照査する

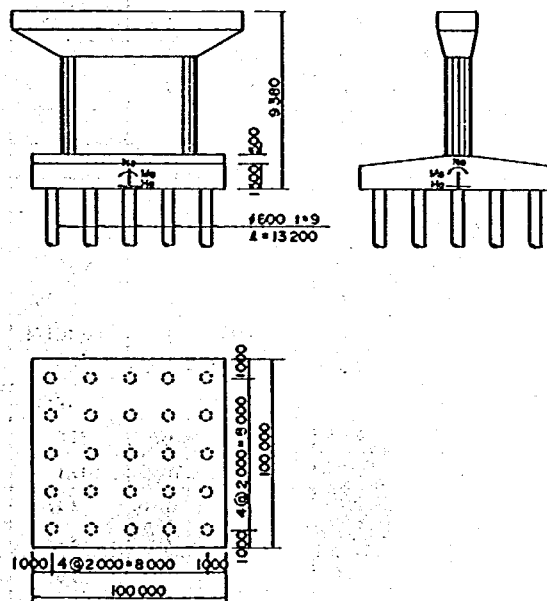


図- 3.16 設 計 条 件

表 - 3.11 照 査 例

CASE 3 (常 時)

照 査 方 向		機 軸 方 向				機 軸 直 角 方 向				
項 目	設計成果値	ノモグラム照査値				設計成果値	ノモグラム照査値			
		修 正 前	誤差(%)	修 正 後	誤差(%)		修 正 前	誤差(%)	修 正 後	誤差(%)
軸 方 向 押 込 支 持 力										
軸 方 向 引 抜 支 持 力										
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		0.260	0.250	4.0	0.250	4.0				
く い の 特 性 値		0.239	0.239	0	0.240	0.4				
軸 直 角 方 向 支 持 力		6.47	7.0	8.2	6.50	6.5				
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K_1	647.3	650.0	0.4						
	K_2	1352.1	1350.0	0.2						
	K_A	5648.0	5650.0	0						
軸 方 向 バ ネ 定 数		16503.0	16500.0	0						
Σx_i^2		200.0	200.0	0		200.0	200.0	0		
水 平 変 位 量		0.0	0.0	∞	0.0	∞	0.0074	0.0	∞	
フ ー チ ン グ 回 転 角		0.0	0.0	∞	0.0	∞	0.0000357	0.000032	11.6	
く い の 鉛 直 変 位 量	δ_{ymax}	0.168	0.17	1.2	0.17	1.2	0.07128	0.072	1.0	
	δ_{ymin}	—	—	—	—	—	0.04272	0.042	1.7	
く い 軸 方 向 力	P_{Nmax}	52.7	50.0	5.1	53.0	6.6	57.2	60.0	4.9	
	P_{Nmin}	—	—	—	—	—	48.2	45.0	7.1	
く い 軸 直 角 方 向 力		0.0	0.0	∞	0.0	∞	0.0	0.0	∞	
く い 頭 モ ー メ ン ト		0.0	0.0	∞	0.0	∞	0.101	-0.1	1.0	
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		—	—	—	—	—	—	—	—	
く い 本 体 の 応 力 度	σ_{max}	994.0	980.0	1.4			1015.0	1010.0	0.5	
	σ_{min}	661.0	650.0	1.7			595.0	595.0	0	

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

表 - 3.12 照 査 例

CASE 3 (地 震 時)

照 査 方 向		機 軸 方 向				機 軸 直 角 方 向					
項 目		設計成果値	ノモグラム照査値				設計成果値	ノモグラム照査値			
			修 正 前	誤差(%)	修 正 後	誤差(%)		修 正 前	誤差(%)	修 正 後	誤差(%)
軸 方 向 押 込 支 持 力											
軸 方 向 引 抜 支 持 力											
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		0.260	0.250	4.0	0.260	4.0					
く い の 特 性 値		0.239	0.239	0	0.240	0.4					
軸 直 角 方 向 支 持 力		9.71	10.0	3.0	10.0	3.0					
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K ₁	647.3	650.0	0.4							
	K ₂	1352.1	1350.0	0.2							
	K _A	5648.0	5650.0	0							
軸 方 向 バ ネ 定 数		16503.0	16500.0	0							
Σx _i ²		200.0	200.0	0		200.0	200.0	0			
水 平 変 位 量		0.748	0.730	2.5	0.730	2.5	0.7355	0.70	4.1	0.730	0.7
フ ー チ ン グ 回 転 角		0.000172	0.000170	1.2	0.000170	1.2	0.0002174	0.00022	1.2	0.00022	1.2
く い の 鉛 直 変 位 量	δ _{ymax}	0.2105	0.208	1.2	0.209	0.7	0.2286	0.223	2.5	0.225	1.6
	δ _{ymin}	0.0729	0.073	1.3	0.071	2.7	0.0547	0.064	14.3	0.055	4.3
く い 軸 方 向 力	P _{Nmax}	65.8	70.0	6.1	66.0	0.3	71.6	70.0	2.3	70.0	2.3
	P _{Nmin}	22.8	20.0	14.0	23.0	0.9	17.1	20.0	17.4	17.0	0.8
く い 軸 直 角 方 向 力		4.61	4.5	2.4	4.6	0.7	4.47	4.3	4.0	4.5	0.7
く い 頭 モ ー メ ン ト		-9.15	-10.0	9.9	-9.0	1.2	-8.72	-9.0	3.2	-9.0	3.2
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		-6.22	-6.2	0.3			-6.03	-5.9	2.2		
く い 本 体 の 応 力 度	σ _{max}	994.0	980.0	1.4			1015.0	1010.0	0.5		
	σ _{min}	661.0	650.0	1.7			595.0	595.0	0		

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

CASE 4

図-3.17に示す橋台基礎について照査する。

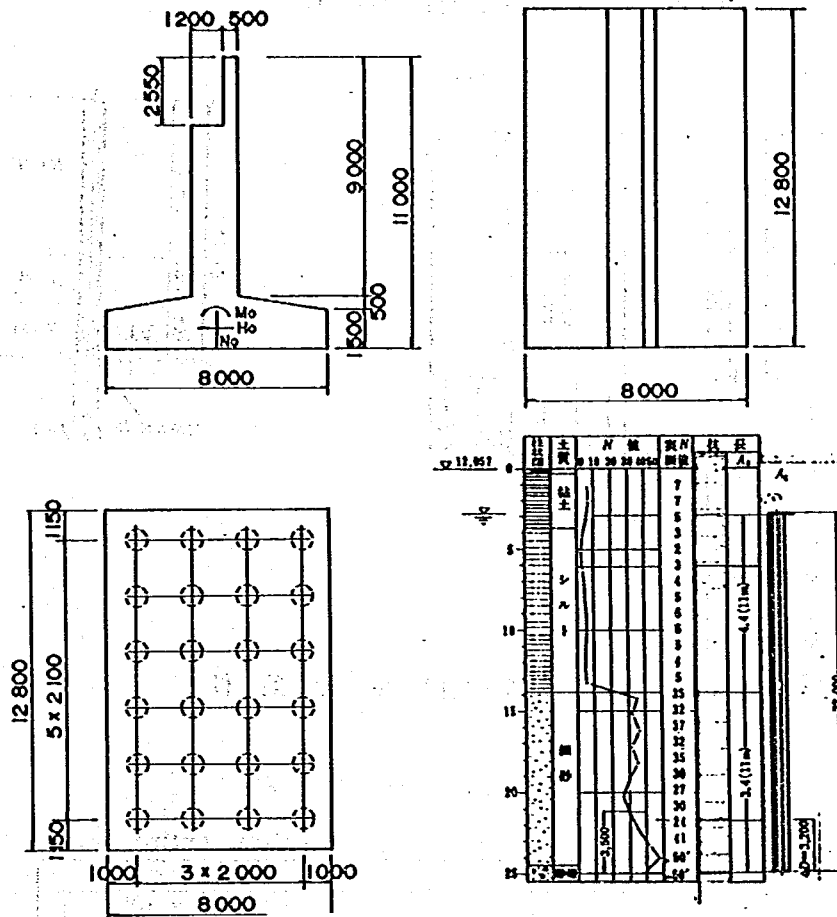


図-3.17 設計条件

CASE 4 (地震時)						
照査方向		橋軸方向				
項 目	設計成果値	ノモグラム照査値				
		修 正 前	誤差%	修 正 後	誤差%	
軸 方 向 押 込 支 持 力	410.0	408.0	0.5			
軸 方 向 引 抜 支 持 力	157.2	157.0	1.0			
横 方 向 地 盤 反 力 係 数	0.80	0.80	0	0.80	0	
く い の 特 性 値	0.241	0.240	0.4	0.240	0.4	
軸 直 角 方 向 支 持 力	39.8	38.0	4.7	40.0	0.5	
軸 直 角 方 向 パ ネ 定 数	K_1	2669.0	2670.0	0		
	K_2	5537.4	5550.0	0.2		
	K_3	22976.9	22900.0	0.3		
軸 方 向 パ ネ 定 数	26699.2	26700.0	0			
Σs_i	120.0	—	—	—	—	
水 平 変 位 量	1.84	1.75	5.1	1.85	0.5	
フ ー ティング回 転 角	0.00139	0.00135	3.0	0.00140	0.7	
く い の 鉛 直 変 位 量	δ_{ymax}	0.770	0.750	2.7	0.770	0
	δ_{ymin}	-0.064	-0.05	20.9	-0.07	8.6
く い 軸 方 向 力	P_{ymax}	205.8	200.0	3.4	20.7	0.9
	P_{ymin}	-17.4	-20.0	15.0	18.0	3.5
く い 軸 直 角 方 向 力	42.2	42.0	0.5	42.0	0.5	
く い 頭 モ ー メ ン ト	-74.0	-75.0	1.3	-73.0	1.3	
く い 頭 ヒンジ地中最大モーメント	-58.8	-57.0	3.2			
く い 本 体 の 応 力 度	σ_{max}	1979.0	1940.0	2.0		
	σ_{min}	-1343.1	-1316.0	2.1		

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

CASE 5

図-3.18に示す橋台基礎について照査を行なう。

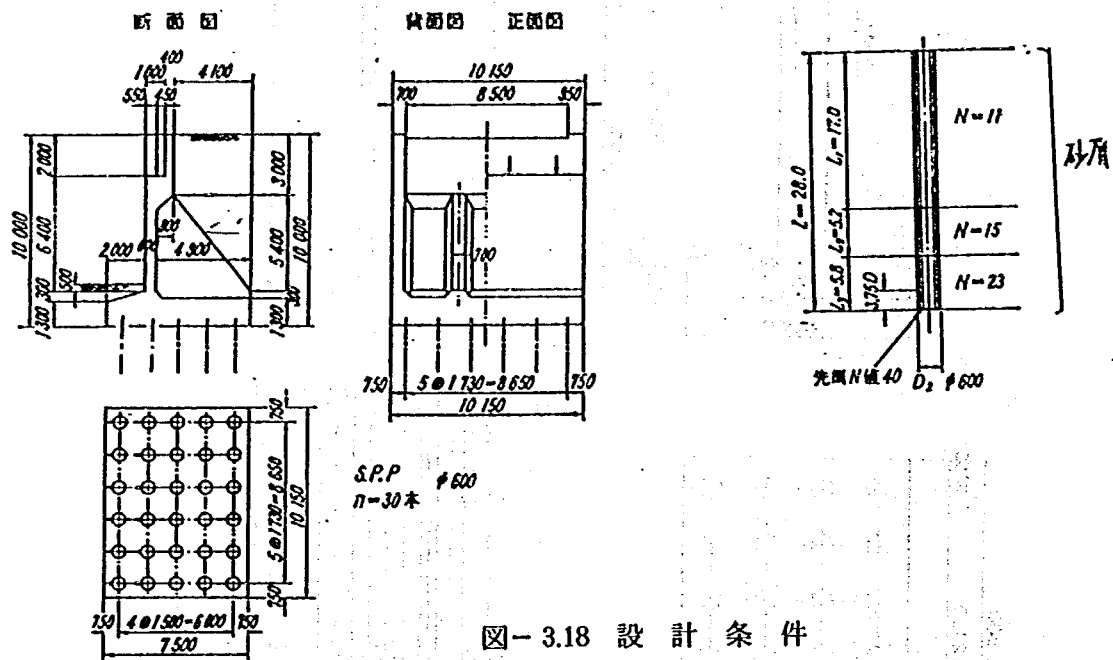


図-3.18 設計条件

表 - 3.14 照 查 例

CASE 5 (地震時)

照 査 方 向		機 軸 方 向				
項 目		設計成果値	ノ モ グ ラ ム 照 査 値			
			修 正 前	誤差%	修 正 後	誤差%
軸 方 向 押 込 支 持 力		375.0	375.0	0		
軸 方 向 引 抜 支 持 力		149.0	150.0	0.7		
機 方 向 地 盤 反 力 係 数		—	—	—	—	—
く い の 特 性 値		0.308	0.308	0	0.308	0
軸 直 角 方 向 支 持 力		29.0	30.0	3.4	29.0	0
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	K_1	1939.0	1920.0	1.0		
	K_2	3148.0	3130.0	0.6		
	K_A	10219.0	10100.0	1.2		
軸 方 向 バ ネ 定 数		20265.0	20300.0	0.2		
Ez_i^2		262.0	260.0	0.8		
水 平 変 位 量		1.55	1.45	6.4	1.57	1.3
フ ー チ ン グ 回 転 角		0.000740	0.00075	1.4	0.00075	1.4
く い の 鉛 直 変 位 量	δ_{ymax}	0.56	0.56	0	0.56	0
	δ_{ymin}	-0.08	-0.08	0	-0.08	0
く い 軸 方 向 力	P_{Hmax}	113.0	110.0	2.7	115.0	1.8
	P_{Hmin}	-16.0	-10.0	37.5	-16.0	0
く い 軸 直 角 方 向 力		27.8	28.0	0.7	28.0	0.7
く い 頭 モ ー メ ン ト		-41.0	-44.0	7.3	40.0	0
く い 頭 ヒ ン ジ 地 中 部 最 大 モ ー メ ン ト		-29.1	-29.0	0.3		
く い 本 体 の 応 力 度	σ_{max}	2161.0	2280.0	5.5	2100	4.2
	σ_{min}	-1634.0	-1735.0	6.2	-1587	3.3

(注) : ノモグラムの改良によって精度の向上が図られた項目

以上の結果より、修正後のノモグラムは修正前に比べ明らかに精度が向上している。

なお、「くい鉛直変位量 δ_{ymin} 」については、誤差が±5%以内に収まらなかったケースがある。しかし、設計値としては特に問題とするほどの数値ではなく、今回のノモグラムの利用に当っては差し支えないと考える。

3.6 照査に用いる集計表とその留意点

本照査システムによるくい設計照査は集計表－1, 2, 3, 4, 5を用いて行えばよい。

照査の方法は、照査条件とそれによる照査値及び設計成果を各表の該当する欄に記入し、その判定を行う。

その場合の留意点は、

④ 設計成果値の合否に対する判定は、ノモグラムの照査値に対して±5%の範囲を目安とする。それ以外の場合は、利用者の判断に委ねる。

⑤ くい頭鉛直変位及び軸方向力は、最大・最小のみを照査項目としてある。(集計表を表－3.15に示す)

表－3.15 集 計 表

くいの鉛直変位量・軸方向力・軸直角方向力

鉛直変位量	T_1	SP-12	$\alpha = \frac{rad}{m}$	$T_1 =$	cm	—	—
(最大・最小)	$T_1 \pm T_1$	—	—	$\delta y_{max} =$	cm	$\delta y_{min} =$	cm
				$\delta y_{min} =$	cm	$\delta y_{min} =$	cm
軸方向力	P_{max}	SP-13	$\frac{\delta y_{max}}{K_r} = \frac{cm}{t/m}$	$P_{max} =$	t	$P_{max} =$	t
	P_{min}		$\frac{\delta y_{min}}{K_r} = \frac{cm}{t/m}$	$P_{min} =$	t	$P_{min} =$	t
軸直角方向力		SP-14	$\frac{H}{a} = \frac{t}{m}$	$P_R =$	t	$P_R =$	t

また、設計する場合、橋軸方向、橋軸直角方向の他に常時・地震時が考えられその組合せは4組である。集計表－1および2.はすべての条件に対して共通に使用できるが、集計表－3および4に関してはそれぞれの条件によって値が異なるので、その区別をするため表上方にその欄を設けている。例えば、表-3.16のように橋軸方向の地震時を考え、設計する場合は、"橋軸直角方向"および"常時"の記述を消去するなど対象となる条件を明確にしておき、まちがいのおこらないようにしなければならない。

表－3.16 集 計 表

集計表－3 フーチング変位量の照査(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値	設 計 成 果 値	判 定
水平変位量	T_1	SP-10.1 $K_r = 20250 \frac{t}{m}, \Delta x' / a = 11.7$ $K_1 = 8171 \frac{t}{rad}, K_2 = 25536 \frac{t}{m}$	$T_1 = 0.03 \frac{m}{t}$		—
	T_1	SP-10.2 $K_1 = 8171 \frac{t}{rad}, w = 30$ (H) $\beta = 0.320 \frac{m}{t}, T_1 = 0.03 \frac{m}{t}$	$T_1 = 1.5 \times 10^{-1} \frac{t}{m}$		—
		SP-10.3 $H = 750 \frac{t}{m}, M = 8100 \frac{t \cdot m}{m}$ $T_1 = 0.63 \frac{m}{t}, T_1 = 0.63 \frac{m}{t}$	$\delta x = 0.65 \frac{cm}{t}$	$\delta x = 0.667 \frac{cm}{t}$	OK
回 転 角	T_1	SP-11.1 $K_r = 20260 \frac{t}{m}, a = 30$ (H) $\Delta x' = 350 \frac{m}{t}$	$T_1 = 710 \times 10^{-1} \frac{t}{m}$		—
	T_1	SP-11.2 $EI = 3.99 \times 10^9 \frac{t \cdot m^3}{m}, \beta = 0.320 \frac{m}{t}$	$T_1 = 38 \times 10^{-1} \frac{t}{m}$		—
	T_1	SP-11.3 $H = 750 \frac{t}{m}, M = 810 \frac{t \cdot m}{m}$ $\beta = 0.320 \frac{m}{t}, a = 30$ (H)	$T_1 = 9300 \frac{t}{m}$		—
		SP-11.4 $T_1 = 710 \times 10^{-1} \frac{t}{m}, T_1 = 38 \times 10^{-1} \frac{t}{m}$ $T_1 = 9300 \frac{t}{m}$	$\alpha = 12.5 \times 10^{-1} \frac{rad}{m}$	$\alpha = 12.4 \times 10^{-1} \frac{rad}{m}$	OK
鉛直変位量	T_1	SP-12 $N = 2150 \frac{t}{m}, a = 30$ (H) $K_r = 20250 \frac{t}{m}$	$\delta y = 0.35 \frac{cm}{t}$	$\delta y = 0.354 \frac{cm}{t}$	OK

くいの鉛直変位量・軸方向力・軸直角方向力

鉛直変位量	T_1	SP-12	$\alpha = 12.4 \times 10^{-1} \frac{rad}{m}$	$T_1 = 0.62 \frac{cm}{t}$	—	—
(最大・最小)	$T_1 \pm T_1$	—	—	$\delta y_{max} = 0.97 \frac{cm}{t}$	$\delta y_{max} = 0.969 \frac{cm}{t}$	—
				$\delta y_{min} = 0.27 \frac{cm}{t}$	$\delta y_{min} = 0.261 \frac{cm}{t}$	—
軸方向力	P_{max}	SP-13	$\frac{\delta y_{max}}{K_r} = \frac{0.767 \frac{cm}{t}}{20250 \frac{t}{m}}$	$P_{max} = 190 \frac{t}{t}$	$P_{max} = 196 \frac{t}{t}$	OK
	P_{min}		$\frac{\delta y_{min}}{K_r} = \frac{0.261 \frac{cm}{t}}{20250 \frac{t}{m}}$	$P_{min} = 50 \frac{t}{t}$	$P_{min} = 53 \frac{t}{t}$	OK
軸直角方向力		SP-14	$\frac{H}{a} = \frac{750 \frac{t}{m}}{30 \frac{m}{m}}$	$P_R = 25.0 \frac{t}{t}$	$P_R = 25.0 \frac{t}{t}$	OK

集計表-1 くい1本当たりの許容支持力の照査

照 査 項 目		ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値		設 計 成 果 値		判 定	
				常 時	地震時	常 時	地震時		
軸方向押込力	① 周面摩擦力	SP-1	$\Sigma 0.2 N_{si} l_{si} = \frac{t}{m}$ $\Sigma N_{ci} l_{ci} = \frac{t}{m}$	$P_u =$	t	_____			
	② くい先端支持力	SP-2	$\frac{\bar{N}}{L/D} \equiv \therefore A = \frac{m^2}{mm}$ $\therefore D =$	$qdA =$	t	_____			
	$\frac{1}{n} * 1 (① + ②)$	_____	_____	$R_a =$	t	$R_a =$	t	$R_c =$	t
軸方向引抜力 $\frac{1}{n} * 2$		_____	_____	$P_a =$	t	$P_a =$	t	$P_a =$	t
水平抵抗に關与する地盤の深さ		SP-3	$D =$ mm , $t =$ mm ,	$1/\beta =$ m $N =$	$1/\beta =$ m $N =$				
横 方 向 地 盤 反 力 係 数		SP-4	$N(E_0) = \frac{Kg/cml}{mm}$ $D =$	$k =$ Kg/cml	$k =$ Kg/cml				
く い の 特 性 値		SP-5	$D =$ mm , $k = \frac{t}{Kg/cml}$ mm	$\beta =$ m ⁻¹	$\beta =$ m ⁻¹				
水 平 支 持 力		SP-6	$D =$ mm , $k = \frac{\beta}{Kg/cml}$ m ⁻¹	$H_a =$ t	$H_a =$ t	$H_a =$ t	$H_a =$ t		

* 1. n は安全率を表わす。軸方向押込力の場合、下表のようになる。

常 時	3
地震時	2

* 2. n は安全率を表わす。軸方向引抜力の場合、下表のようになる。

常 時	6
地震時	3

集計表-2 くいの安定計算用諸定数の照査

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値		設 計 成 果 値		判 定
			橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸方向	橋軸直角方向	
軸 方 向 バ ネ 定 数	SP-7	$\frac{l}{t} = \frac{m, D}{mm}$	$K_v =$	t/m	$K_v =$	$t/$	
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	SP-8	$I = \frac{m^4, \beta}{m^{-1}}$	$K_1 =$	t/m	$K_1 =$	$t/$	
			$K_2 = K_3 =$	t/rad	$K_2 = K_3 =$	t/rad	
			$K_4 =$	$t \cdot m/rad$	$K_4 =$	$t \cdot m/rad$	
くいの群の2次モーメント	SP-9	$\frac{m_1}{d} = \frac{(行), m_2}{m} (列)$	$\Sigma x_i^2 = m^2$	$\Sigma x_i^2 = m^2$	$\Sigma x_i^2 = m^2$	$\Sigma x_i^2 = m^2$	

集計表-3 フーテング変位量の照査〔(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)〕

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値	設 計 成 果 値	判 定
水平変位量	T_1	$SP-10.1$ $K_v = \frac{t}{m}, \Sigma X_i^2/n = \frac{t^2}{m}$ $K_2 = \frac{t}{rad}, K_4 = \frac{t^3}{m^3}$	$T_1 = \frac{t}{m}$	_____	—
	T_2	$SP-10.2$ $K_2 = \frac{t}{rad}, n = \frac{t}{m}$ $\beta = \frac{t}{m}, T_1 = \frac{t}{m}$	$T_2 = \frac{t}{m}$	_____	—
		$SP-10.3$ $HI = \frac{t}{m}, M = \frac{t \cdot m}{m}$ $T_1 = \frac{t}{m}, T_2 = \frac{t}{m}$	$\delta x = \frac{t \cdot m}{m}$	$\delta x = \frac{t \cdot m}{m}$	—
回 転 角	T_3	$SP-11.1$ $K_v = \frac{t}{m}, n = \frac{t}{m}$ $\Sigma X_i^2 = \frac{t^2}{m}$	$T_3 = \frac{t \cdot m}{m}$	_____	—
	T_4	$SP-11.2$ $EI = \frac{t \cdot m^2}{m}, \beta = \frac{t}{m}$	$T_4 = \frac{t \cdot m}{m}$	_____	—
	T_5	$SP-11.3$ $H = \frac{t}{m}, M = \frac{t \cdot m}{m}$ $\beta = \frac{t}{m}, n = \frac{t}{m}$	$T_5 = \frac{t \cdot m}{m}$	_____	—
		$SP-11.4$ $T_3 = \frac{t \cdot m}{m}, T_4 = \frac{t \cdot m}{m}$ $T_5 = \frac{t \cdot m}{m}$	$\alpha = \frac{t \cdot m}{m}$	$\alpha = \frac{t \cdot m}{m}$	—
鉛直変位量	T_6	$SP-12$ $N = \frac{t}{m}, n = \frac{t}{m}$ $K_v = \frac{t}{m}$	$\delta y = \frac{t \cdot m}{m}$	$\delta y = \frac{t \cdot m}{m}$	—

くいの鉛直変位量・軸方向力・軸直角方向力

鉛直変位量	T_7	$SP-12$	$\alpha = \frac{rad}{m}$ $x = \frac{t}{m}$	$T_7 = \frac{t \cdot m}{m}$	_____	—
(最大・最小)	$T_6 \pm T_7$	_____	_____	$\delta y_{max} = \frac{t \cdot m}{m}$ $\delta y_{min} = \frac{t \cdot m}{m}$	$\delta y_{max} = \frac{t \cdot m}{m}$ $\delta y_{min} = \frac{t \cdot m}{m}$	—
軸 方 向 力	P_{Nmax}	$SP-13$	$\delta y_{max} = \frac{cm}{m}$ $K_v = \frac{t}{m}$	$P_{Nmax} = \frac{t}{m}$	$P_{Nmax} = \frac{t}{m}$	—
	P_{Nmin}		$\delta y_{min} = \frac{cm}{m}$ $K_v = \frac{t}{m}$	$P_{Nmin} = \frac{t}{m}$	$P_{Nmin} = \frac{t}{m}$	—
軸 直 角 方 向 力		$SP-14$	$H = \frac{t}{m}$ $n = \frac{t}{m}$	$P_H = \frac{t}{m}$	$P_H = \frac{t}{m}$	—

集計表-4 くい本体の応力度の照査

〔（橋軸方向・橋軸直角方向）・（常時・地震時）〕

照 査 項 目		ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値	設 計 成 果 値	判定
くい頭モーメント	T_8	SP-15 1	$M = t \cdot m$ $n =$ (本)	$T_8 = t \cdot m$	_____	—
	T_9	SP-15 2	$\alpha =$ rad, $K_v = t/m$ $n =$ (本), $\sum X_i^2 = m^2$	$T_9 = t \cdot m$	_____	—
$T_8 + T_9$		_____	_____	$M_t = t \cdot m$	$M_t = t \cdot m$	—
くい頭ヒンジ地中部最大モーメント		SP-17	$H = t$ $\beta = m^{-1}$	$M_m = t \cdot m$	$M_m = t \cdot m$	—
くい本体の応力度 (くい軸方向力最大)	T_{11}	SP-19	$N = t$ $A_P = cm^2$	$T_{11} = Kg/cm^2$	_____	—
	T_{12}		$M = t \cdot m$ $Z_P = cm^3$	$T_{12} = Kg/cm^2$	_____	—
	$T_{11} + T_{12}$	_____	_____	$\sigma_{max} = Kg/cm^2$	$\sigma_{max} = Kg/cm^2$	—
くい本体の応力度 (くい軸方向力最小)	T_{11}	SP-19	$N = t$ $A_P = cm^2$	$T_{11} = Kg/cm^2$	_____	—
	T_{12}		$M = t \cdot m$ $Z_P = cm^3$	$T_{12} = Kg/cm^2$	_____	—
	$T_{11} + T_{12}$	_____	_____	$\sigma_{min} = Kg/cm^2$	$\sigma_{min} = Kg/cm^2$	—

注) くいの許容応力度は、SS41の場合次のとおりである。

常 時 $\sigma_{sa} (= \sigma_{ta}) = 1400 \text{ Kg}/m^2$ 地震時 $\sigma_{sa} (= \sigma_{ta}) = 2100 \text{ Kg}/m^2$

3.7 設計照査用ノモグラムとその使い方

目

次

SP-1	極限引抜力 (P_u) を求めるノモグラム	52
SP-2	くい先端極限支持力 ($q_d \cdot A$) を求めるノモグラフ	55
SP-3	水平抵抗に關与する地盤の深さ ($1/\beta$) を求めるノモグラフ	58
SP-4	横方向地盤反力係数 (k) を求めるノモグラフ	61
SP-5	くいの特性値 (β) を求めるノモグラフ	64
SP-6	軸直角方向支持力 (H_a) を求めるノモグラフ	67
SP-7	くいの軸方向バネ定数 (K_v) を求めるノモグラフ	70
SP-8	くいの軸直角方向バネ定数 ($K_1 \sim K_2$) を求めるノモグラフ	73
SP-9	くい群の 2 次モーメント ($\sum x_i^2$) を求めるノモグラフ	76
SP-10.1~10.3	フーチングの水平変位量 (δx) を求めるノモグラフ	79
SP-11.1~11.4	フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラフ	86
SP-12	フーチング及びくいの鉛直変位量 (δy_i) を求めるノモグラフ	95
SP-13	くいの軸方向力 (P_{N_i}) を求めるノモグラフ	99
SP-14	くいの軸直角方向力 (P_H) を求めるノモグラフ	102
SP-15	くい頭曲げモーメント (M_t) を求めるノモグラフ	105
SP-16.1~16.5	くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラフ	111
	SP-16.1 ($\beta=0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40$ の場合)	
	SP-16.2 ($\beta=0.21, 0.26, 0.31, 0.36$ の場合)	
	SP-16.3 ($\beta=0.22, 0.27, 0.32, 0.37$ の場合)	
	SP-16.4 ($\beta=0.23, 0.28, 0.33, 0.38$ の場合)	
	SP-16.5 ($\beta=0.24, 0.29, 0.34, 0.39$ の場合)	
SP-17	くい頭ヒンジ地中部最大曲げモーメント (M_m) を求めるノモグラフ	118
SP-18.1~18.5	くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラフ	121
	SP-18.1 ($\beta=0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40$ の場合)	
	SP-18.2 ($\beta=0.21, 0.26, 0.31, 0.36$ の場合)	
	SP-18.3 ($\beta=0.22, 0.27, 0.32, 0.37$ の場合)	
	SP-18.4 ($\beta=0.23, 0.28, 0.33, 0.38$ の場合)	
	SP-18.5 ($\beta=0.24, 0.29, 0.34, 0.39$ の場合)	
SP-19	くい本体の応力度 (σ) を求めるノモグラム	128

1. 1947-1948	1-10
2. 1949-1950	1-10
3. 1951-1952	1-10
4. 1953-1954	1-10
5. 1955-1956	1-10
6. 1957-1958	1-10
7. 1959-1960	1-10
8. 1961-1962	1-10
9. 1963-1964	1-10
10. 1965-1966	1-10
11. 1967-1968	1-10
12. 1969-1970	1-10
13. 1971-1972	1-10
14. 1973-1974	1-10
15. 1975-1976	1-10
16. 1977-1978	1-10
17. 1979-1980	1-10
18. 1981-1982	1-10
19. 1983-1984	1-10
20. 1985-1986	1-10
21. 1987-1988	1-10
22. 1989-1990	1-10
23. 1991-1992	1-10
24. 1993-1994	1-10
25. 1995-1996	1-10
26. 1997-1998	1-10
27. 1999-2000	1-10
28. 2001-2002	1-10
29. 2003-2004	1-10
30. 2005-2006	1-10
31. 2007-2008	1-10
32. 2009-2010	1-10
33. 2011-2012	1-10
34. 2013-2014	1-10
35. 2015-2016	1-10
36. 2017-2018	1-10
37. 2019-2020	1-10
38. 2021-2022	1-10
39. 2023-2024	1-10
40. 2025-2026	1-10
41. 2027-2028	1-10
42. 2029-2030	1-10
43. 2031-2032	1-10
44. 2033-2034	1-10
45. 2035-2036	1-10
46. 2037-2038	1-10
47. 2039-2040	1-10
48. 2041-2042	1-10
49. 2043-2044	1-10
50. 2045-2046	1-10
51. 2047-2048	1-10
52. 2049-2050	1-10
53. 2051-2052	1-10
54. 2053-2054	1-10
55. 2055-2056	1-10
56. 2057-2058	1-10
57. 2059-2060	1-10
58. 2061-2062	1-10
59. 2063-2064	1-10
60. 2065-2066	1-10
61. 2067-2068	1-10
62. 2069-2070	1-10
63. 2071-2072	1-10
64. 2073-2074	1-10
65. 2075-2076	1-10
66. 2077-2078	1-10
67. 2079-2080	1-10
68. 2081-2082	1-10
69. 2083-2084	1-10
70. 2085-2086	1-10
71. 2087-2088	1-10
72. 2089-2090	1-10
73. 2091-2092	1-10
74. 2093-2094	1-10
75. 2095-2096	1-10
76. 2097-2098	1-10
77. 2099-2100	1-10
78. 2101-2102	1-10
79. 2103-2104	1-10
80. 2105-2106	1-10
81. 2107-2108	1-10
82. 2109-2110	1-10
83. 2111-2112	1-10
84. 2113-2114	1-10
85. 2115-2116	1-10
86. 2117-2118	1-10
87. 2119-2120	1-10
88. 2121-2122	1-10
89. 2123-2124	1-10
90. 2125-2126	1-10
91. 2127-2128	1-10
92. 2129-2130	1-10
93. 2131-2132	1-10
94. 2133-2134	1-10
95. 2135-2136	1-10
96. 2137-2138	1-10
97. 2139-2140	1-10
98. 2141-2142	1-10
99. 2143-2144	1-10
100. 2145-2146	1-10
101. 2147-2148	1-10
102. 2149-2150	1-10
103. 2151-2152	1-10
104. 2153-2154	1-10
105. 2155-2156	1-10
106. 2157-2158	1-10
107. 2159-2160	1-10
108. 2161-2162	1-10
109. 2163-2164	1-10
110. 2165-2166	1-10
111. 2167-2168	1-10
112. 2169-2170	1-10
113. 2171-2172	1-10
114. 2173-2174	1-10
115. 2175-2176	1-10
116. 2177-2178	1-10
117. 2179-2180	1-10
118. 2181-2182	1-10
119. 2183-2184	1-10
120. 2185-2186	1-10
121. 2187-2188	1-10
122. 2189-2190	1-10
123. 2191-2192	1-10
124. 2193-2194	1-10
125. 2195-2196	1-10
126. 2197-2198	1-10
127. 2199-2200	1-10
128. 2201-2202	1-10
129. 2203-2204	1-10
130. 2205-2206	1-10
131. 2207-2208	1-10
132. 2209-2210	1-10
133. 2211-2212	1-10
134. 2213-2214	1-10
135. 2215-2216	1-10
136. 2217-2218	1-10
137. 2219-2220	1-10
138. 2221-2222	1-10
139. 2223-2224	1-10
140. 2225-2226	1-10
141. 2227-2228	1-10
142. 2229-2230	1-10
143. 2231-2232	1-10
144. 2233-2234	1-10
145. 2235-2236	1-10
146. 2237-2238	1-10
147. 2239-2240	1-10
148. 2241-2242	1-10
149. 2243-2244	1-10
150. 2245-2246	1-10
151. 2247-2248	1-10
152. 2249-2250	1-10
153. 2251-2252	1-10
154. 2253-2254	1-10
155. 2255-2256	1-10
156. 2257-2258	1-10
157. 2259-2260	1-10
158. 2261-2262	1-10
159. 2263-2264	1-10
160. 2265-2266	1-10
161. 2267-2268	1-10
162. 2269-2270	1-10
163. 2271-2272	1-10
164. 2273-2274	1-10
165. 2275-2276	1-10
166. 2277-2278	1-10
167. 2279-2280	1-10
168. 2281-2282	1-10
169. 2283-2284	1-10
170. 2285-2286	1-10
171. 2287-2288	1-10
172. 2289-2290	1-10
173. 2291-2292	1-10
174. 2293-2294	1-10
175. 2295-2296	1-10
176. 2297-2298	1-10
177. 2299-2300	1-10
178. 2301-2302	1-10
179. 2303-2304	1-10
180. 2305-2306	1-10
181. 2307-2308	1-10
182. 2309-2310	1-10
183. 2311-2312	1-10
184. 2313-2314	1-10
185. 2315-2316	1-10
186. 2317-2318	1-10
187. 2319-2320	1-10
188. 2321-2322	1-10
189. 2323-2324	1-10
190. 2325-2326	1-10
191. 2327-2328	1-10
192. 2329-2330	1-10
193. 2331-2332	1-10
194. 2333-2334	1-10
195. 2335-2336	1-10
196. 2337-2338	1-10
197. 2339-2340	1-10
198. 2341-2342	1-10
199. 2343-2344	1-10
200. 2345-2346	1-10
201. 2347-2348	1-10
202. 2349-2350	1-10
203. 2351-2352	1-10
204. 2353-2354	1-10
205. 2355-2356	1-10
206. 2357-2358	1-10
207. 2359-2360	1-10
208. 2361-2362	1-10
209. 2363-2364	1-10
210. 2365-2366	1-10
211. 2367-2368	1-10
212. 2369-2370	1-10
213. 2371-2372	1-10
214. 2373-2374	1-10
215. 2375-2376	1-10
216. 2377-2378	1-10
217. 2379-2380	1-10
218. 2381-2382	1-10
219. 2383-2384	1-10
220. 2385-2386	1-10
221. 2387-2388	1-10
222. 2389-2390	1-10
223. 2391-2392	1-10
224. 2393-2394	1-10
225. 2395-2396	1-10
226. 2397-2398	1-10
227. 2399-2400	1-10
228. 2401-2402	1-10
229. 2403-2404	1-10
230. 2405-2406	1-10
231. 2407-2408	1-10
232. 2409-2410	1-10
233. 2411-2412	1-10
234. 2413-2414	1-10
235. 2415-2416	1-10
236. 2417-2418	1-10
237. 2419-2420	1-10
238. 2421-2422	1-10
239. 2423-2424	1-10
240. 2425-2426	1-10
241. 2427-2428	1-10
242. 2429-2430	1-10
243. 2431-2432	1-10
244. 2433-2434	1-10
245. 2435-2436	1-10
246. 2437-2438	1-10
247. 2439-2440	1-10
248. 2441-2442	1-10
249. 2443-2444	1-10
250. 2445-2446	1-10
251. 2447-2448	1-10
252. 2449-2450	1-10
253. 2451-2452	1-10
254. 2453-2454	1-10
255. 2455-2456	1-10
256. 2457-2458	1-10
257. 2459-2460	1-10
258. 2461-2462	1-10
259. 2463-2464	1-10
260. 2465-2466	1-10
261. 2467-2468	1-10
262. 2469-2470	1-10
263. 2471-2472	1-10
264. 2473-2474	1-10
265. 2475-2476	1-10
266. 2477-2478	1-10
267. 2479-2480	1-10
268. 2481-2482	1-10
269. 2483-2484	1-10
270. 2485-2486	1-10
271. 2487-2488	1-10
272. 2489-2490	1-10
273. 2491-2492	1-10
274. 2493-2494	1-10
275. 2495-2496	1-10
276. 2497-2498	1-10
277. 2499-2500	1-10
278. 2501-2502	1-10
279. 2503-2504	1-10
280. 2505-2506	1-10
281. 2507-2508	1-10
282. 2509-2510	1-10
283. 2511-2512	1-10
284. 2513-2514	1-10
285. 2515-2516	1-10
286. 2517-2518	1-10
287. 2519-2520	1-10
288. 2521-2522	1-10
289. 2523-2524	1-10
290. 2525-2526	1-10
291. 2527-2528	1-10
292. 2529-2530	1-10
293. 2531-2532	1-10
294. 2533-2534	1-10
295. 2535-2536	1-10
296. 2537-2538	1-10
297. 2539-2540	1-10
298. 2541-2542	1-10
299. 2543-2544	1-10
300. 2545-2546	1-10
301. 2547-2548	1-10
302. 2549-2550	1-10
303. 2551-2552	1-10
304. 2553-2554	1-10
305. 2555-2556	1-10
306. 2557-2558	1-10
307. 2559-2560	1-10
308. 2561-2562	1-10
309. 2563-2564	1-10
310. 2565-2566	1-10
311. 2567-2568	1-10
312. 2569-2570	1-10
313. 2571-2572	1-10
314. 2573-2574	1-10
315. 2575-2576	1-10
316. 2577-2578	1-10
317. 2579-2580	1-10
318. 2581-2582	1-10
319. 2583-2584	1-10
320. 2585-2586	1-10
321. 2587-2588	1-10
322. 2589-2590	1-10
323. 2591-2592	1-10
324. 2593-2594	1-10
325. 2595-2596	1-10
326. 2597-2598	1-10
327. 2599-2600	1-10
328. 2601-2602	1-10
329. 2603-2604	1-10
330. 2605-2606	1-10
331. 2607-2608	1-10
332. 2609-2610	1-10
333. 2611-2612	1-10
334. 2613-2614	1-10
335. 2615-2616	1-10
336. 2617-2618	1-10
337. 2619-2620	1-10
338. 2621-2622	1-10
339. 2623-2624	1-10
340. 2625-2626	1-10
341. 2627-2628	1-10
342. 2629-2630	1-10
343. 2631-2632	1-10
344. 2633-2634	1-10
345. 2635-2636	1-10
346. 2637-2638	1-10
347. 2639-2640	1-10
348. 2641-2642	1-10
349. 2643-2644	1-10
350. 2645-2646	1-10
351. 2647-2648	1-10
352. 2649-2650	1-10
353. 2651-2652	1-10
354. 2653-2654	1-10
355. 2655-2656	1-10
356. 2657-2658	1-10
357. 2659-2660	1-10
358. 2661-2662	1-10
359. 2663-2664	1-10
360. 2665-2666	1-10
361. 2667-2668	1-10
362. 2669-2670	1-10
363. 2671-2672	1-10
364. 2673-2674	1-10
365. 2675-2676	1-10
366. 2677-2678	1-10
367. 2679-268	

本節では、各ノモグラムについて、その使用方法及び使用上の留意点を述べる。

ノモグラムの使用方法がわかり易いように各項目ごとにその使用例を掲げることとしたが、基本的な設計条件は、図 3.19 に示すとおりであり集計表を用いた照査例も以下にまとめている。

〔例〕 橋脚の橋軸方向・地震時を対象とする。

フーチング底面荷重

鉛直荷重 N	2150 (t)
水平荷重 H	750 (t)
モーメント M	8100 (t・m)

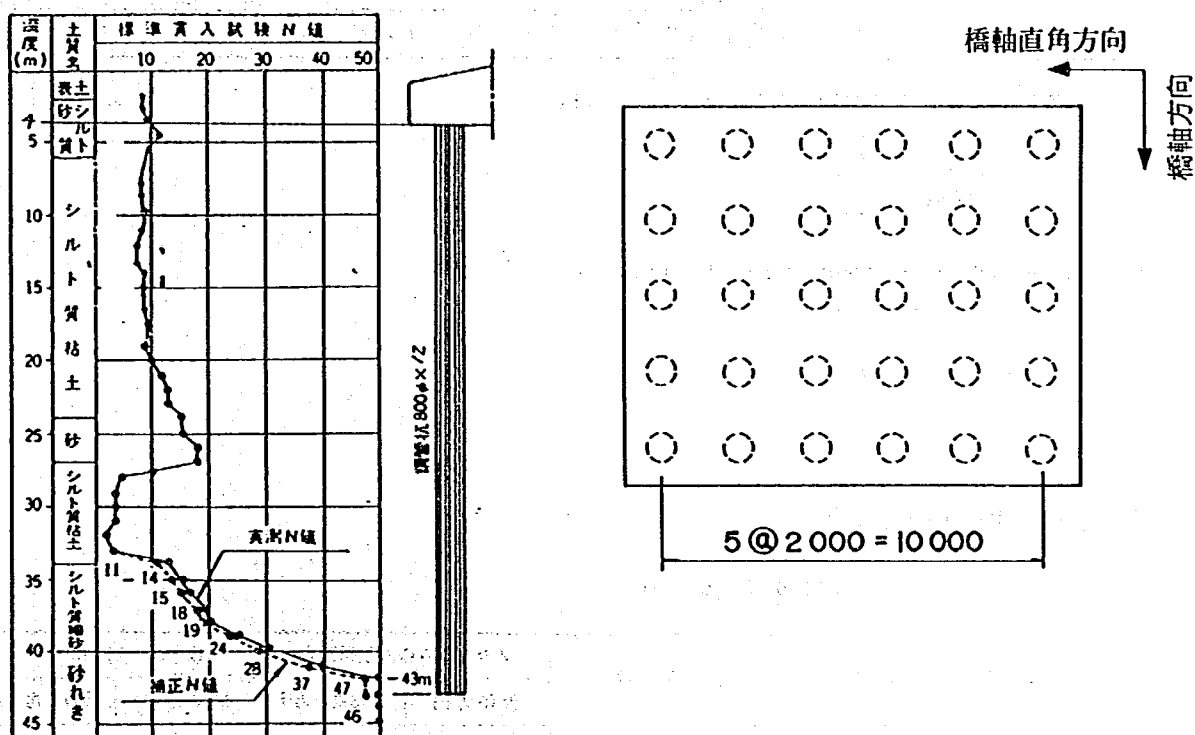


図 - 3.19 設 計 条 件

支持層への根入れ 3.0 D

くい先端地盤の設計用 N 値 40

表- 3.17 集計表の記入例

集計表- 1 くいの1本当たりの許容支持力の照査

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値		設 計 成 果 値		判 定
			常一時	地震時	常一時	地震時	
軸方向押込力	① 周面摩擦力	SP-1 $\Sigma 0.2 N_{xi} L_{xi} = 190 \frac{t}{m}, \Sigma N_{xi} L_{xi} = 68.2 \frac{t}{m}$	$P_k = 620 \quad t$				
	② くいの先端支持力	SP-2 $\bar{N} = 40, L/D = 3.0, A = \frac{m^2}{m}, (D = 800 \frac{mm}{mm})$	$q d A = 359 \quad t$				
	$\frac{1}{n} * 1 (① + ②)$	—	$R_a = \text{—} \quad t$	$R_a = 490 \quad t$	$R_a = \text{—} \quad t$	$R_a = 490 \quad t$	OK
軸方向引抜力	$\frac{1}{n} * 2$	—	$P_a = \text{—} \quad t$	$P_a = 207 \quad t$	$P_a = \text{—} \quad t$	$P_a = 207 \quad t$	OK
水平抵抗に關与する地盤の深さ	SP-3	$D = 800 \frac{mm}{mm}, t = 12 \frac{mm}{mm}$	$\frac{1}{\beta} = 3.11, N = 10 \quad m$		$\frac{1}{\beta} = 3.125, N = 10 \quad m$		OK
横 方 向 地 盤 反 力 係 数	SP-4	$N(E_0) = 10 \frac{kg/cm^2}{mm}, D = 800 \frac{mm}{mm}$	$k = 2.10 \quad kg/cm^2$		$k = 2.10 \quad kg/cm^2$		OK
く い の 特 性 値	SP-5	$D = 800 \frac{mm}{mm}, k = 2.10 \frac{kg/cm^2}{mm}, t = 12 \frac{mm}{mm}$	$\beta = 0.32 \quad m^{-1}$		$\beta = 0.320 \quad m^{-1}$		OK
水 平 支 持 力	SP-6	$D = 800 \frac{mm}{mm}, k = 2.10 \frac{kg/cm^2}{mm}, \beta = 0.320 \quad m^{-1}$	$H_a = \text{—} \quad t$	$H_a = 78 \quad t$	$H_a = \text{—} \quad t$	$H_a = 78.4 \quad t$	OK

* 1. *は安全率を表わす。軸方向押込力の場合、下表のようになる。

常 時	3
地震時	2

* 2. *は安全率を表わす。軸方向引抜力の場合、下表のようになる。

常 時	6
地震時	3

表- 3.18 集計表の記入例

集計表- 2 くいの安定計算用諸定数の照査

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値		設 計 成 果 値		判 定
			横軸方向	横軸直角方向	横軸方向	横軸直角方向	
軸 方 向 バ ネ 定 数	SP-7	$L = 39.0 \frac{m}{mm}, D = 800 \frac{mm}{mm}, t = 12 \frac{mm}{mm}$	$K_v = 20250 \quad t/m$		$K_v = 20250 \quad t/m$		OK
軸 直 角 方 向 バ ネ 定 数	SP-8	$I = 19.1 \times 10^4 \frac{m^4}{mm^4}, \beta = 0.320 \quad m^{-1}$	$K_1 = 52 \times 10^3 \quad t/m$		$K_1 = 5230 \quad t/m$		OK
			$K_2 = K_3 = 82 \times 10^3 \quad t/rad$		$K_2 = K_3 = 8171 \quad t/rad$		OK
			$K_4 = 255 \times 10^3 \quad tm/rad$		$K_4 = 25536 \quad tm/rad$		OK
く い 群 の 2 次 モーメント	SP-9	$m_1 = 5, d = 2.0 \frac{mm}{mm}, \bar{m}_1 = 6 \frac{mm}{mm}$ (例)	$\Sigma X_i^2 = \text{—} \quad m^2$	$\Sigma X_i^2 = 350 \quad m^2$	$\Sigma X_i^2 = \text{—} \quad m^2$	$\Sigma X_i^2 = 350 \quad m^2$	OK

表3-19 集計表の記入例

集計表-3 フーチング変位量の照査 (橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)

照 査 項 目	ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値	設 計 成 果 値	判 定
水平変位量	T_1	SP-10.1 $K_V = 20250 \text{ t/m}, \Sigma X_i/n = 11.7$ $K_1 = 8171 \text{ t/rad}, K_2 = 25536 \text{ t/rad}$	$T_1 = 0.0315 \text{ m}^{-1}$	—	—
	T_2	SP-10.2 $K_1 = 8171 \text{ t/rad}, n = 30$ (株) $\beta = 0.320 \text{ m}^{-1}, T_1 = 0.03$	$T_2 = 1.5 \times 10^4 \text{ t/m}$	—	—
		SP-10.3 $H = 750 \text{ t}, M = 8100 \text{ t}\cdot\text{m}$ $T_1 = 0.03 \text{ m}^{-1}, T_2 = 1.5 \times 10^4 \text{ t/m}$	$\delta x = 0.67 \text{ cm}$	$\delta x = 0.667 \text{ cm}$	OK
回 転 角	T_1	SP-11.1 $K_V = 20250 \text{ t/m}, n = 30$ (株) $\Sigma X_i = 350 \text{ m}^2$	$T_1 = 2.35 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}$	—	—
	T_2	SP-11.2 $EI = 3.99 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}^2, \beta = 0.320 \text{ m}^{-1}$	$T_2 = 1.27 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}$	—	—
	T_3	SP-11.3 $H = 750 \text{ t}, M = 8100 \text{ t}\cdot\text{m}$ $\beta = 0.320 \text{ m}^{-1}, n = 30$ (株)	$T_3 = 310 \text{ t}\cdot\text{m}$	—	—
		SP-11.4 $T_1 = 2.35 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}, T_2 = 1.27 \times 10^4 \text{ t}\cdot\text{m}$ $T_3 = 310 \text{ t}\cdot\text{m}$	$\alpha = 12.8 \times 10^{-4} \text{ rad}$	$\alpha = 12.5 \times 10^{-4} \text{ rad}$	OK
鉛直変位量	T_1	SP-12 $N = 2150 \text{ t}, n = 30$ (株) $K_V = 20250 \text{ t/m}$	$\delta y = 0.35 \text{ cm}$	$\delta y = 0.354 \text{ cm}$	OK

くいの鉛直変位量・軸方向力・軸直角方向力

鉛直変位量	T_1	SP-12	$\alpha = 12.8 \times 10^{-4} \text{ rad}$ $X = 5.0 \text{ m}$	$T_1 = 0.62 \text{ cm}$	—	—
(最大最小)	$T_1 \pm T_2$	—	—	$\delta y_{max} = 0.97 \text{ cm}$ $\delta y_{min} = -0.27 \text{ cm}$	$\delta y_{max} = 0.969 \text{ cm}$ $\delta y_{min} = 0.261 \text{ cm}$	OK OK
軸 方 向 力	P_{Nmax}	SP-13	$\delta y_{max} = 0.969 \text{ cm}$ $K_V = 20250 \text{ t/m}$	$P_{Nmax} = 197 \text{ t}$	$P_{Nmax} = 196 \text{ t}$	OK
	P_{Nmin}		$\delta y_{min} = -0.27 \text{ cm}$ $K_V = 20250 \text{ t/m}$	$P_{Nmin} = 50 \text{ t}$	$P_{Nmin} = 53 \text{ t}$	OK
軸 直 角 方 向 力		SP-14	$H = 750 \text{ t}$ $n = 30$ (株)	$P_B = 25.0 \text{ t}$	$P_B = 25.0 \text{ t}$	OK

表3-20 集計表の記入例

集計表-4 くいの本体の応力度の照査

(橋軸方向・橋軸直角方向)・(常時・地震時)

照 査 項 目		ノモグラム	照 査 条 件	ノモグラムによる照査値	設 計 成 果 値	判定
くい頭モーメント	T_1	SP-15.1	$M = 8100 \text{ t}\cdot\text{m}$ $n = 30 \text{ (株)}$	$T_1 = 270 \text{ t}\cdot\text{m}$	—	—
	T_2	SP-15.2	$\alpha = 0.00128 \text{ rad}, K_V = 20250 \text{ t/m}$ $n = 30 \text{ (株)}, \Sigma X_i = 350 \text{ m}^2$	$T_2 = 290 \text{ t}\cdot\text{m}$	—	—
	$T_1 - T_2$	—	—	$M_n = -20 \text{ t}\cdot\text{m}$	$M_t = -23 \text{ t}\cdot\text{m}$	—
くい頭ヒンジ地中部最大モーメント		SP- 17	$H = 25.0 \text{ t}$ $\beta = 0.320 \text{ m}^{-1}$	$M_n = -25 \text{ t}\cdot\text{m}$	$M = -25 \text{ t}\cdot\text{m}$	OK
くい本体の応力度 (くい軸方向力最大)	T_{11}	SP- 19	$N = -25 \text{ t}$ $A_F = 4790 \text{ cm}^2$	$T_{11} = 790 \text{ kg/cm}^2$	—	—
	T_{12}		$M = \text{ t}\cdot\text{m}$ $Z_F = \text{ cm}^3$	$T_{12} = -520 \text{ kg/cm}^2$	—	—
	$T_{11} + T_{12}$	—	—	$\sigma_{max} = 1310 \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_{max} = 1316 \text{ kg/cm}^2$	OK
くい本体の応力度 (くい軸方向力最小)	T_{11}	SP- 19	$N = \text{ t}$ $A_F = \text{ cm}^2$	$T_{11} = \text{ kg/cm}^2$	—	—
	T_{12}		$M = \text{ t}\cdot\text{m}$ $Z_F = \text{ cm}^3$	$T_{12} = \text{ kg/cm}^2$	—	—
	$T_{11} + T_{12}$	—	—	$\sigma_{min} = \text{ kg/cm}^2$	$\sigma_{min} = \text{ kg/cm}^2$	—

注) くいの許容応力度は、SS41の場合次のとおりである。

常 時 $\sigma_{ts} (= \sigma_{ts}) = 1400 \text{ kg/cm}^2$ 地震時 $\sigma_{ts} (= \sigma_{ts}) = 2100 \text{ kg/cm}^2$

SP-1 極限引抜き力 (P_u) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くいの極限引抜き力を各々の条件 ($\Sigma N_{ci} l_{ci}$, $\Sigma 0.2 N_{si} l_{si}$, D) を用いて求めるものである。

$\Sigma N_{ci} l_{ci}$	: 粘性土層の周面摩擦抵抗の総和	(t/m)
$\Sigma 0.2 N_{si} l_{si}$	: 砂質土層の周面摩擦抵抗の総和	(t/m)
D	: くい径	(mm)

$\rightarrow P_u$

このノモグラムより求めた値 P_u は、軸方向押込み許容支持力 (R_a) 及び軸方向引抜き支持力 (P_a) の計算に使用するものである。

なお、ノモグラム利用上の留意点は次の通りである。

- (a) 鋼管ぐいの場合、くいの有効重量は小さいので無視する。
- (b) 鋼管ぐいの腐食しろとして 2mm を見込み作成している。

2) 計算式

$$P_u = U (\Sigma N_{ci} l_{ci} + \Sigma 0.2 N_{si} l_{si})$$

ここに P_u : くい 1 本当たりの極限引抜き力 (t)

U : くい周長

$$U = \pi D$$

N_{ci} : i 番目の粘質土層の N 値

l_{ci} : i 番目の粘質土層の層厚 (m)

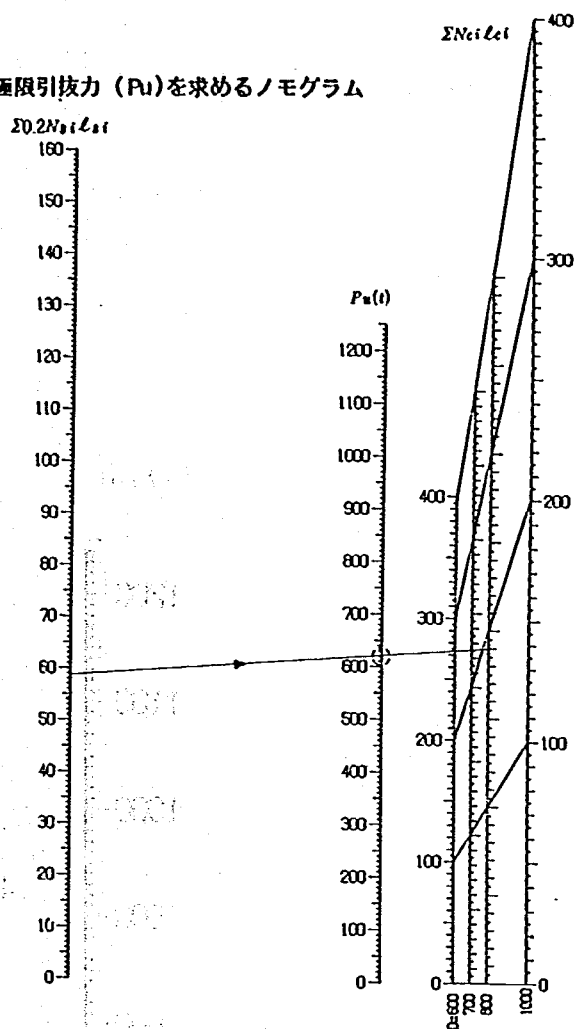
N_{si} : i 番目の粘質土層の N 値

l_{si} : i 番目の粘質土層の層厚 (m)

3) ノモグラムの見方

- ① くい径より $\Sigma N_{ci} l_{ci}$ 軸の検索をする。
- ② 左軸に $\Sigma 0.2 N_{si} l_{si}$ をとり、右軸に $\Sigma N_{ci} l_{ci}$ をとる。
- ③ 両点を結び、中軸との交点より P_u を読みとる。

SP-1 極限引抜力 (P_u)を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

図-3.19の N 値分布より

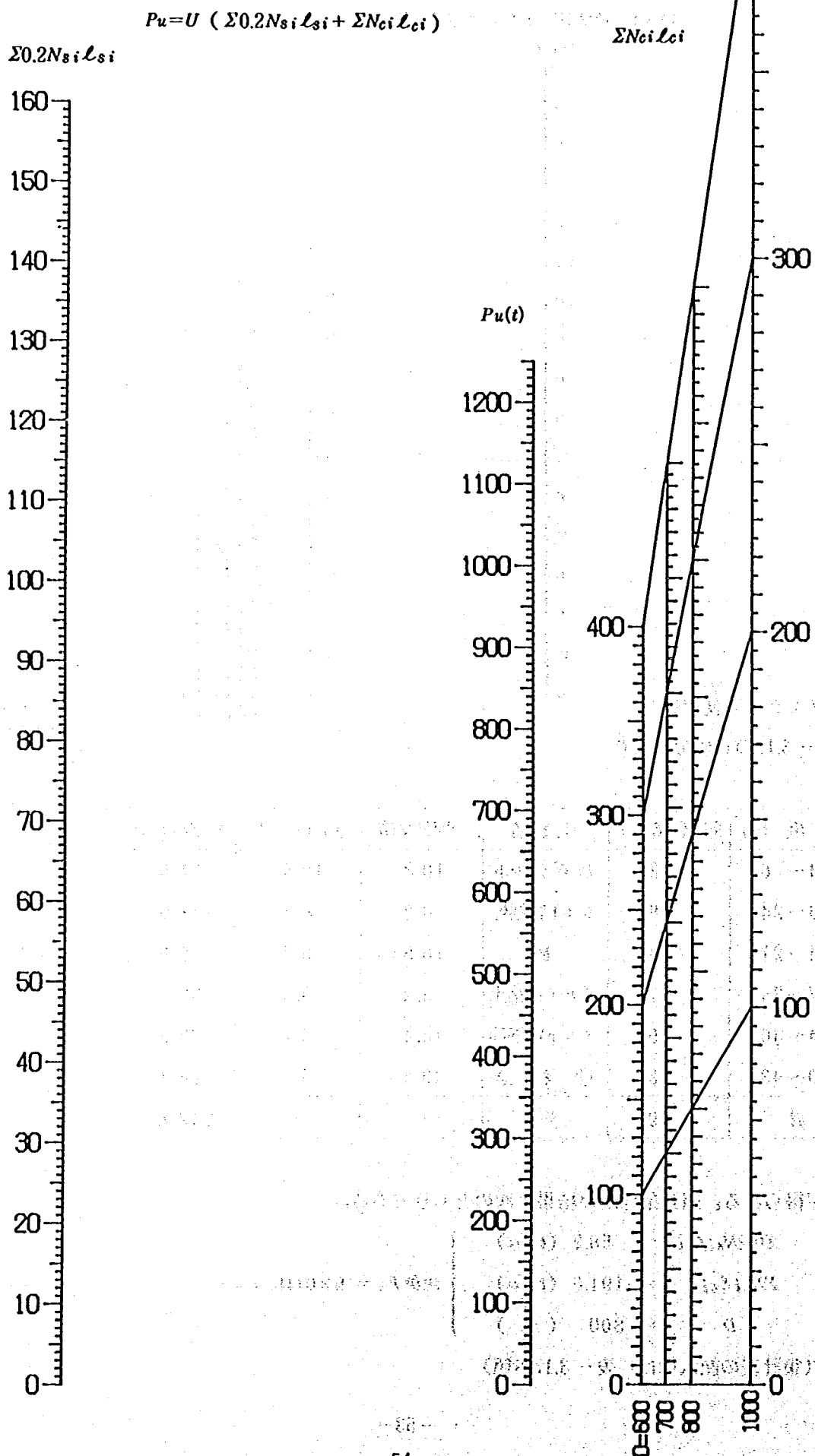
深 度 (m)	層 厚 l_i (m)	土 質 名	平均 N 値	f_i (t/m ²)	$l_i f_i$ (t/m)
4~6	3	砂質シルト	10.8	10.8	21.6
6~24	18	シルト質粘性	8.2	8.2	147.6
24~27	3	砂	16.5	3.3	9.9
27~34	7	シルト質粘土	3.2	3.2	22.4
34~40	6	シルト質細砂	18.4	3.7	22.2
40~43	3	砂 れ き	43.3	8.7	26.1
計	39	—	—	—	249.8

が得られる。照査条件及び結果は次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma 0.2 N_{si} l_{si} &= 58.2 \text{ (t/m)} \\ \Sigma N_{ci} l_{ci} &= 191.6 \text{ (t/m)} \\ D &= 800 \text{ (mm)} \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_u = 620 \text{ (t)}$$

(集計表の記入例は、表-3.17参照)

SP-1 極限引抜力 (Pu)を求めるノモグラム



SP-2 くい先端極限支持力 ($q_d \cdot A$) を求めるノモグラフ

1) ノモグラム説明

このノモグラムはくい先端極限支持力を各々の条件 ($\bar{N}$, L/D , A (or D)) を用いて求めるものである。

$\bar{N}$ (t)	: くい先端地盤の設計用 N 値	
L/D (t)	: 支持層への根入れ長さ (L) とくい径 (D) との比	
A (or D) (m^2)	: くい先端面積 (くい径) (m)	$\rightarrow q_d \cdot A$

このノモグラムより求めた値 ($q_d \cdot A$) は、軸方向押込許容支持力 (R_a) の計算に使用するものである。

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は次の通りである。

- (a) 鋼管ぐいの腐食しろとしては、2mmを見込んでいる。
- (b) くい先端状態は、開端を対象とし作成している。

2) 計算式

$$q_d \cdot A = 6 \bar{N} \frac{L}{D} \cdot A$$

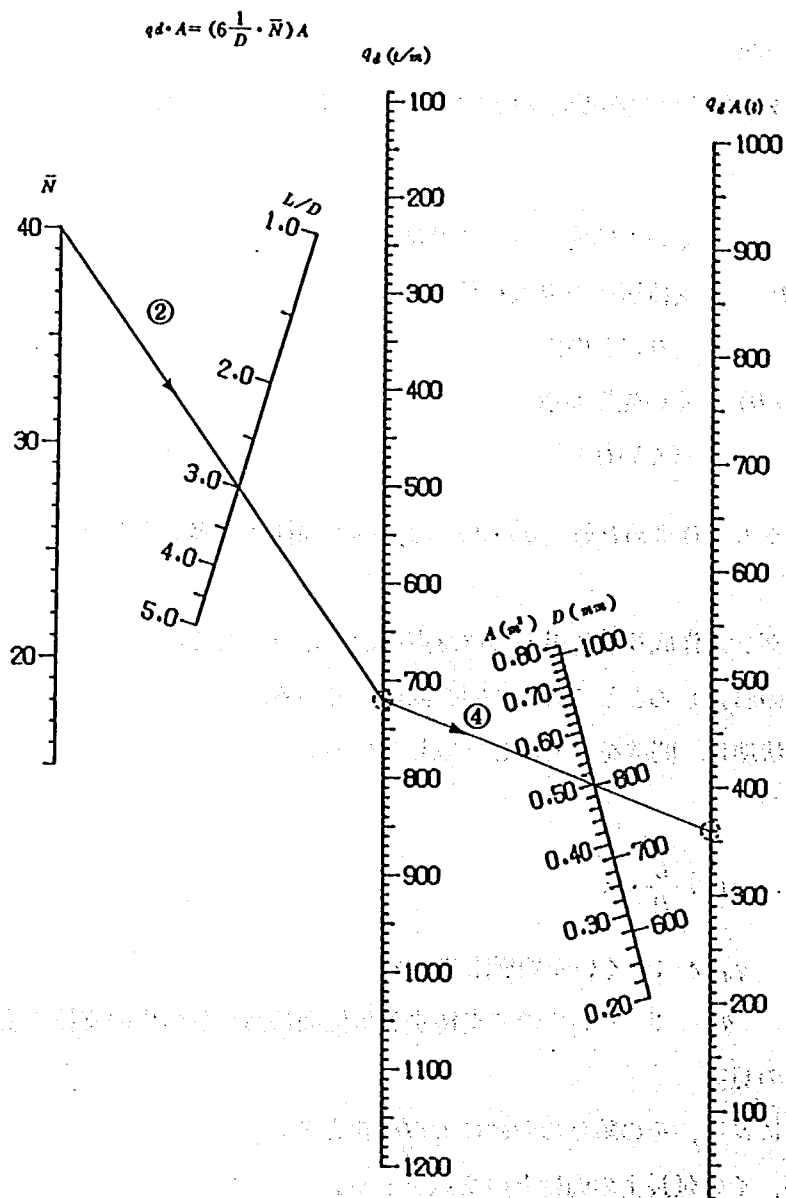
ここに $q_d \cdot A$: くい先端極限支持力 (t)

q_d : くい先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度 (t/m^2)

3) ノモグラムの見方

- ① 左端の $\bar{N}$ 軸に $\bar{N}$ を、その隣りの斜軸に L/D をとる。
- ② 両点を結び、その延長上の q_d 軸との交点をとる。
- ③ q_d 軸の隣りの斜軸に A (or D) をとる。
- ④ ②と③の両端を結びその延長上の $q_d \cdot A$ 軸との交点を読み取る。

SP-2 くい先端極限支持力 ($q_d \cdot A$) を求めるノモグラフ



4) ノモグラム使用例

設計条件より、このノモグラムの照査条件及び結果

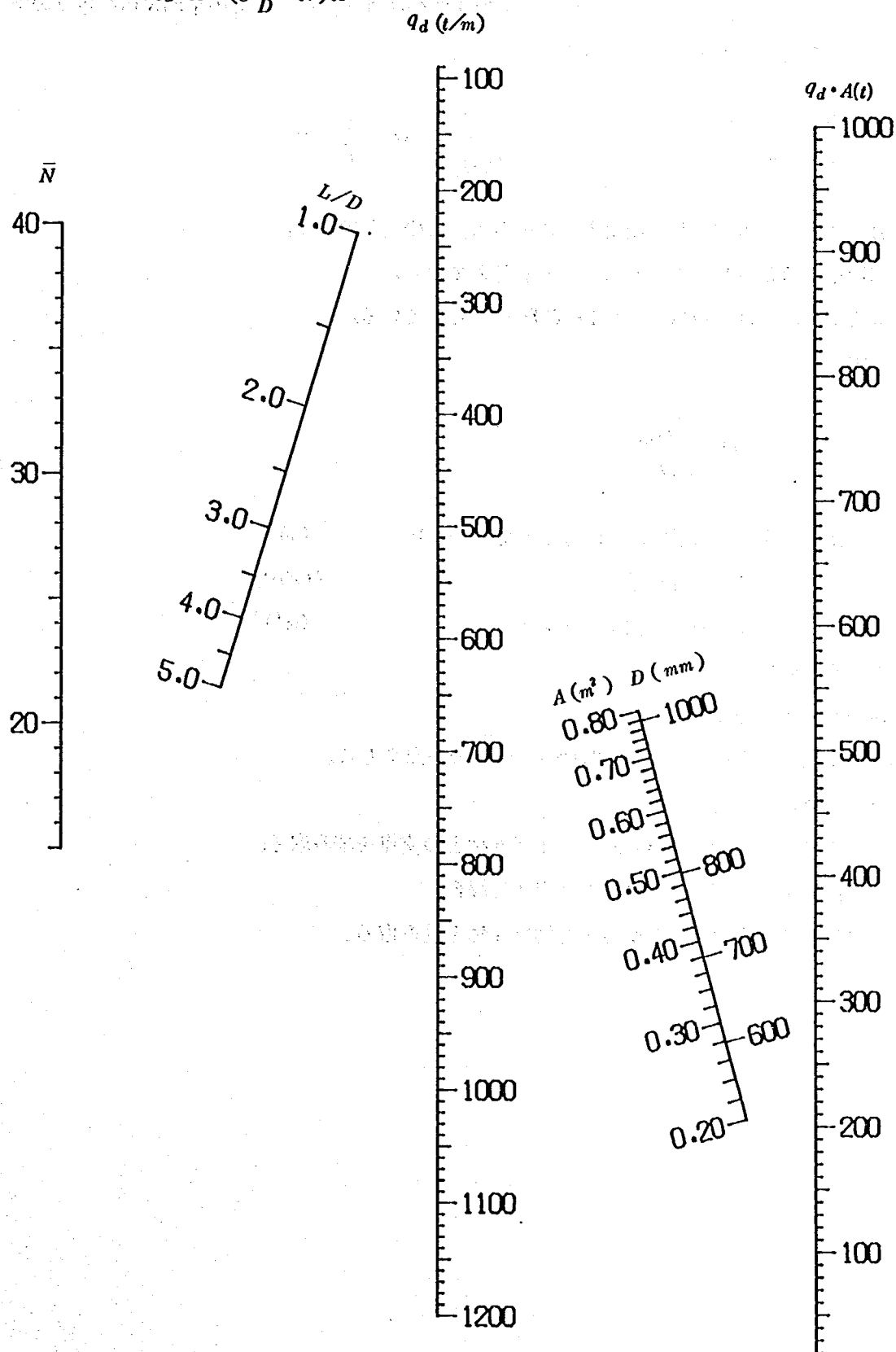
$$\left. \begin{array}{l} \bar{N} = 40 \\ L/D = 3.0 \end{array} \right\} \rightarrow q_d = 720 \text{ (t/m)} \left. \begin{array}{l} D = 800 \text{ (mm)} \end{array} \right\} \rightarrow q_d \cdot A = 359 \text{ (t)}$$

となる。

(集計表の記入例は表-3.17参照)

SP-2 くい先端極限支持力 ($q_d \cdot A$) を求めるノモグラフ

$$q_d \cdot A = \left(6 \cdot \frac{1}{D} \cdot \bar{N}\right) A$$



SP-3 水平抵抗に関与する地盤の深さ ($1/\beta$) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、水平抵抗に関与する地盤までの深さと、そこまでの平均 N 値を各々の条件 (D, t) を用いて求めるものである。

D : くい径	(mm)
t : 肉厚	(mm)

 $\Rightarrow \frac{1}{\beta}, N$

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は、次の通りである。

- (a) 鋼管ぐいの腐食しろとしては 2mm を見込んである。
- (b) 鋼管ぐいの弾性係数は $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ としている。

2) 計算式

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{5.6ND^4}{4EI}}}$$

ここに $\frac{1}{\beta}$: 水平抵抗に関与する地盤の深さ (m)
 E : 弾性係数 (t/m^2)
 I : 断面 2 次モーメント (m^4)

3) ノモグラムの見方

- ① 左端の D と t の交点をとる
- ② ①での交点を水平移動し $(I/5.6D^4)^{1/4}$ 軸との交点をとる。
- ③ 平均 N 値既知の場合

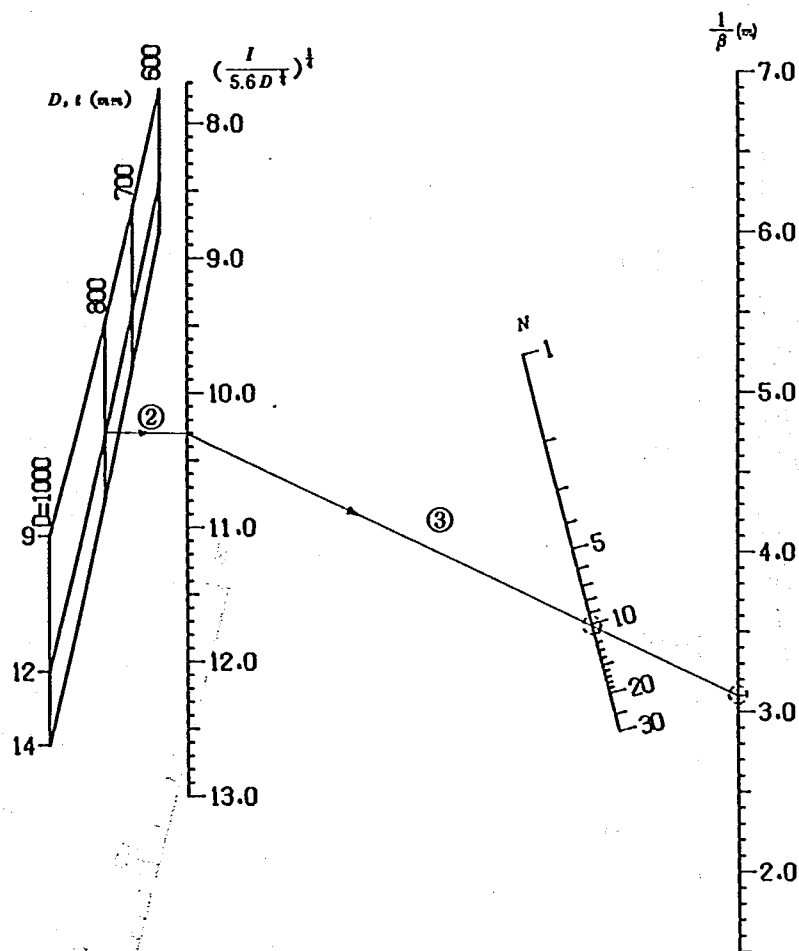
N 軸に点を取り、②の交点と結び、 $1/\beta$ 軸との交点を読み取る。

$1/\beta$ 既知の場合 (k 値より β を推定する場合)

$1/\beta$ 軸に点を取り、②の交点とを結び N 軸を読み取る。

SP-3 水平抵抗に關与する地盤の深さ ($1/\beta$) を求めるノモグラム

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{5.6 N \cdot D t}{4 E I}}}$$



4) ノモグラム使用例

図-3.19の N 値分布を参照し、その他の照査条件及び結果は

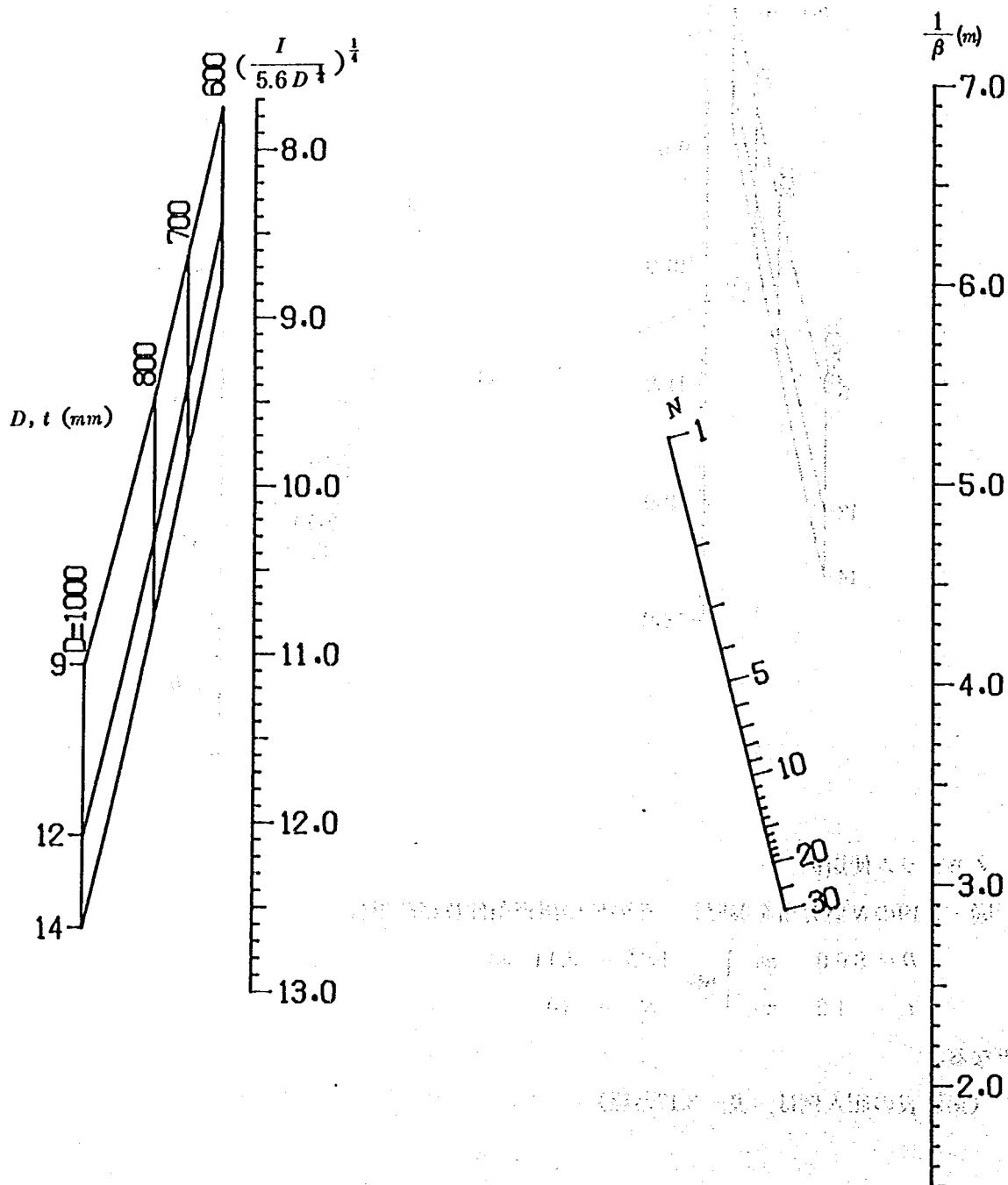
$$\left. \begin{array}{l} D = 800 \text{ mm} \\ t = 12 \text{ mm} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} 1/\beta = 3.11 \text{ m} \\ N = 10 \end{array}$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.17参照)

SP-3 水平抵抗に關与する地盤の深さ ($1/\beta$) を求めるノモグラム

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{4 \sqrt{\frac{5.6 N \cdot D^4}{4EI}}}$$



SP-4 横方向地盤反力係数 (k) を求めるノモグラム

1) ノモグラム説明

このノモグラムは横方向地盤反力係数を各々の条件 (N or E_0 , D) を用いて求めるものである。

N : 水平抵抗に関与する地盤の深さまでの平均 N 値

E_0 : 水平抵抗に関与する地盤の深さまでの平均変形係数 Kg/cm

D : くい径

mm

→ k

なお、ノモグラム作成上及び利用上の留意点は、次の通りである。

(a) 鋼管ぐいの腐食しろとして 2mm を見込み作成している。

2) 計 算 式

$$k = 5.6 N D^{-\frac{3}{4}}$$

$$k = 0.8 E_0 D^{-\frac{3}{4}}$$

ここに k : 横方向地盤反力係数

Kg/cm

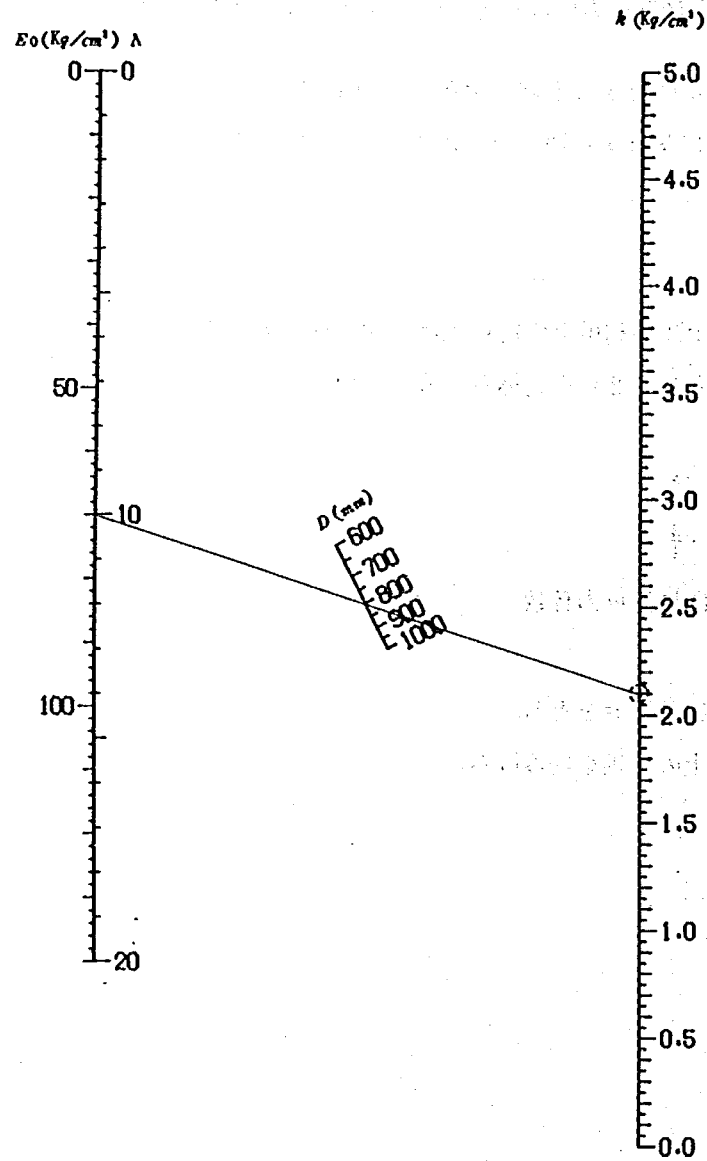
3) ノモグラムの見方

- ① 左軸に N または E_0 を、斜軸に D をとる。
- ② 両点を結び、その延長上の k 軸を読み取る。

SP-4 横方向地盤反力係数 (k) を求めるノモグラム

$$k = 0.8 E_0 D^{-1}$$

$$k = 5.6 ND^{-1}$$



4) ノモグラム使用例

照査条件及び結果は

$$\left. \begin{array}{l} N = 10 \\ D = 800 \text{ mm} \end{array} \right\} \Rightarrow k = 2.10 \text{ kg/cm}^3$$

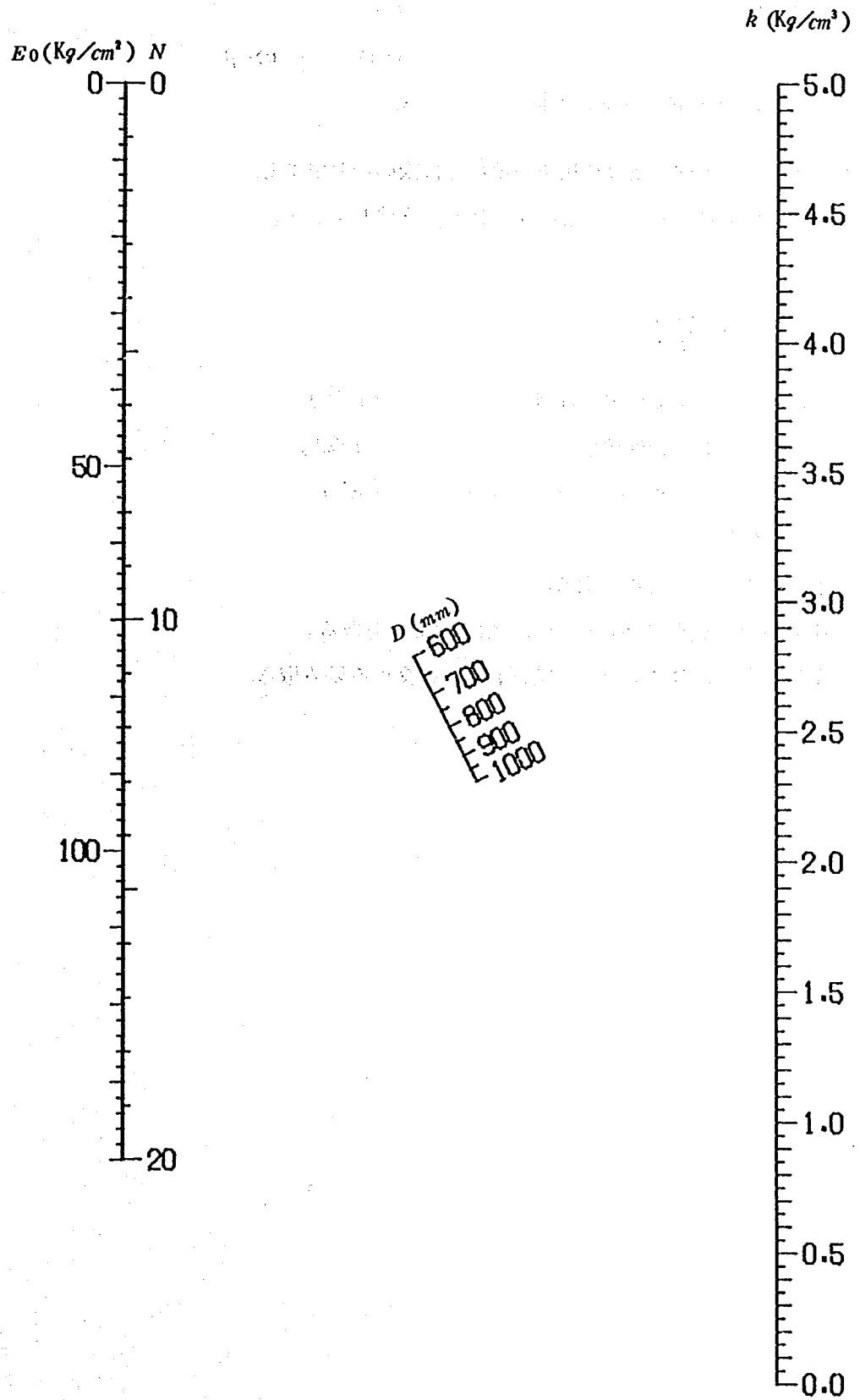
となる。

(集計表の記入例は、表 - 3.17 参照)

SP-4 横方向地盤反力係数 (k) を求めるノモグラム

$$k = 0.8 E_0 D^{-\frac{1}{3}}$$

$$k = 5.6 N D^{-\frac{1}{3}}$$



SP-5 くいの特性値 (β) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くいの特性値を各々の条件 (D, t, k) を用いて求めるものである。

D : くい径	(mm)	$\Rightarrow \beta$
t : 肉厚	(mm)	
k : 横方向地盤反力係数	(kg/cm ³)	

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は次の通りである。

(a) 鋼管くいの腐食しろとして 2mm を見込み、作成している。

2) 計 算 式

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4EI}}$$

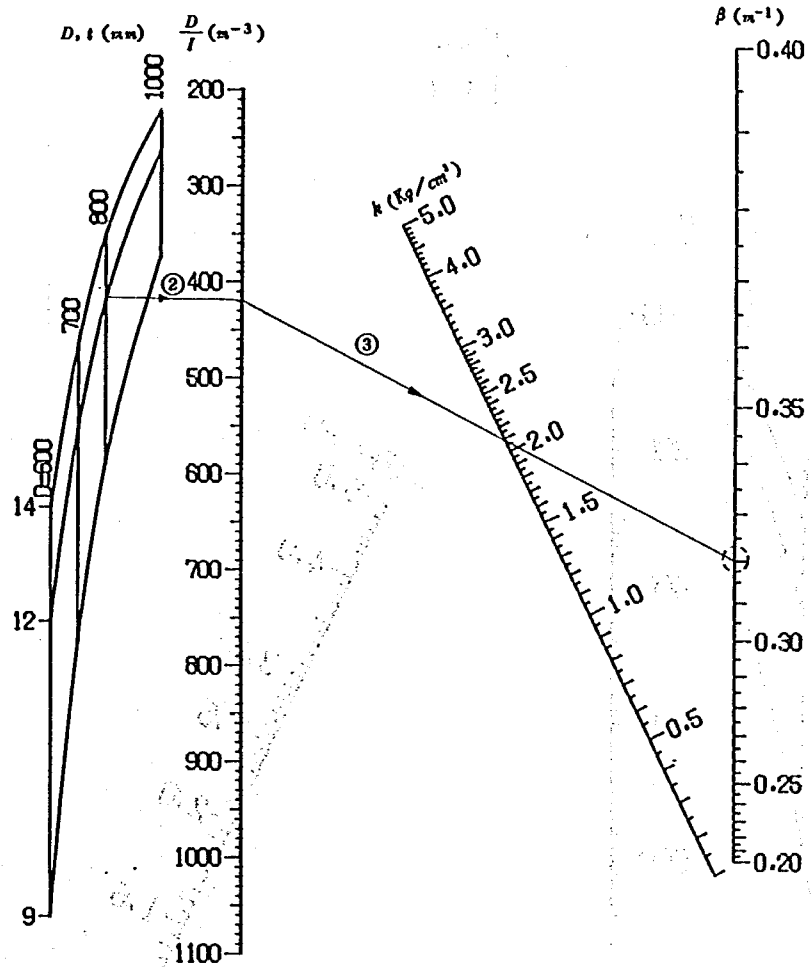
ここに β : くいの特性値 (m⁻¹)
 E : 弾性係数 (t/m²)
 I : 断面 2 次モーメント (m⁴)

3) ノモグラムの見方

- ① 左端の D と t の交点を取る。
- ② ①での交点を水平移動し (D/I) 軸との交点を取る。
- ③ k 軸に点を取り②の交点と結び β 軸との交点を読み取る。

SP-5 くいの特性値 (β) を求めるノモグラム

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{kD}{4EI}}$$



4) ノモグラムの使用例

照査条件及び結果は、

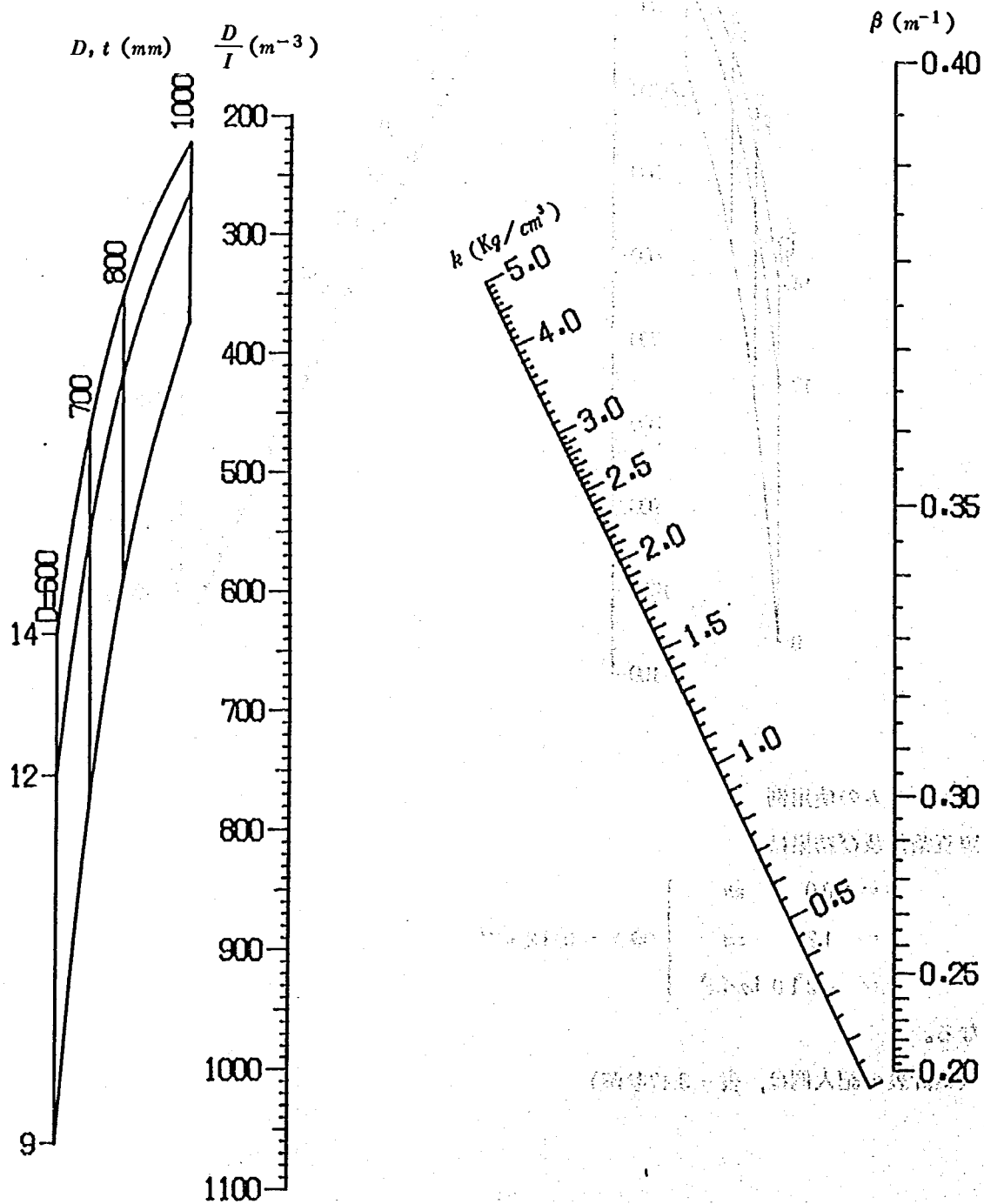
$$\left. \begin{array}{l} D = 800 \text{ mm} \\ l = 12 \text{ mm} \\ k = 2.10 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \beta = 0.32 \text{ m}^{-1}$$

となる。

(集計表の記入例は、表 - 3.17 参照)

SP-5 くいの特性値 (β) を求めるノモグラム

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{kD}{4EI}}$$



SP-6 軸直角方向許容支持力 (H_a) を求めるノモグラム

1) ノモグラム説明

このノモグラムは軸直角方向許容支持力を各々の条件(k, D, β, δ_a)を用いて求めるものである。

k :	横方向地盤反力係数	kg/cm^2
D :	くい径	mm
β :	くいの特性値	m^{-1}
δ_a :	基準変位量	cm

→ H_a

なお、ノモグラムの作成及び利用上の留意点は、次の通りである。

(a) 鋼管くいの腐食しろとして2mmを見込み、作成している。

2) 計 算 式

$$H_a = \frac{kD}{\beta} \delta_a$$

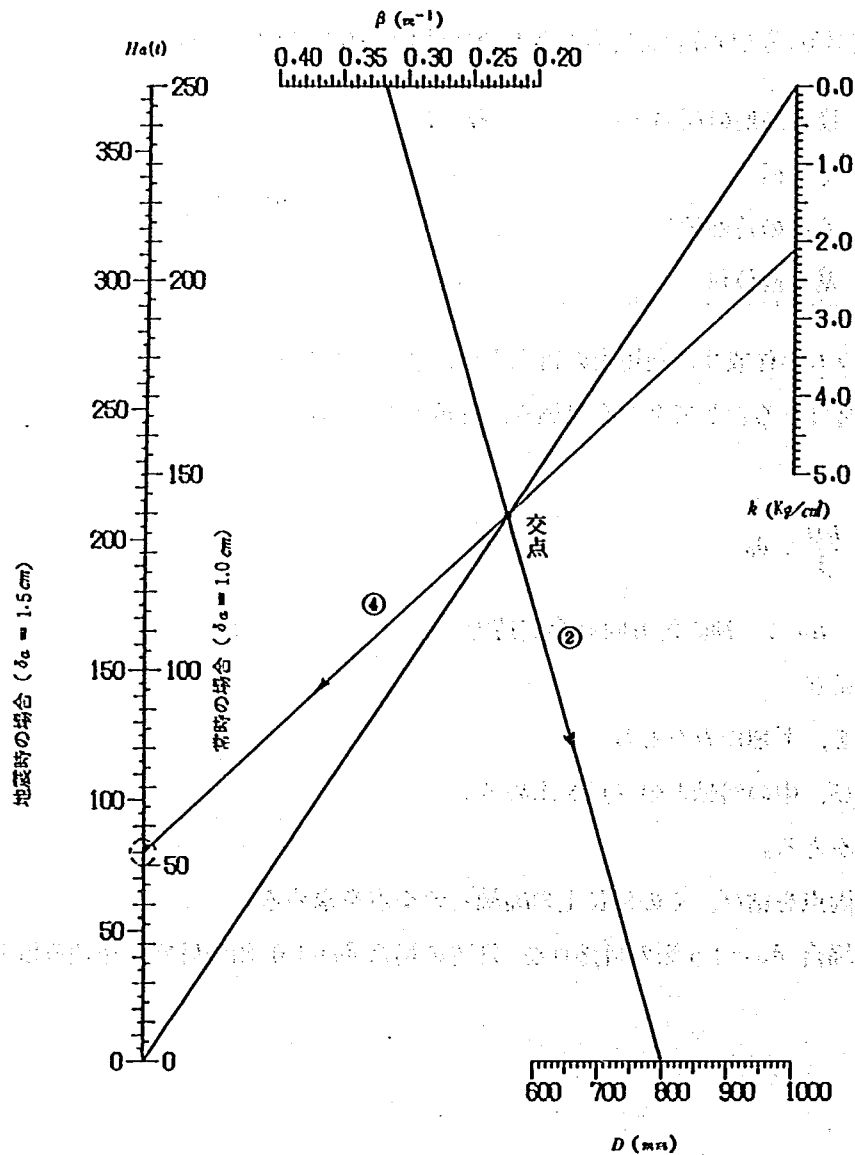
ここに H_a : 軸直角方向許容支持力

3) ノモグラムの見方

- ① 上軸に β を、下軸に D をとる
- ② 両点を結び、中の斜軸との交点を求める。
- ③ 右軸に k をとる。
- ④ ②と③の両点を結び、その延長上の H_a 軸との交点を求める。
- ⑤ 地震時の場合 $\delta_a=1.5$ 側の目盛りを、常時の場合 $\delta_a=1.0$ 側の目盛りを読み取る。

SP-6 軸直角方向許容支持力 (H_a) を求めるノモグラム

$$H_a = \frac{kD}{\beta} \cdot \delta_a$$



4) ノモグラム使用例

照査条件及びその結果は

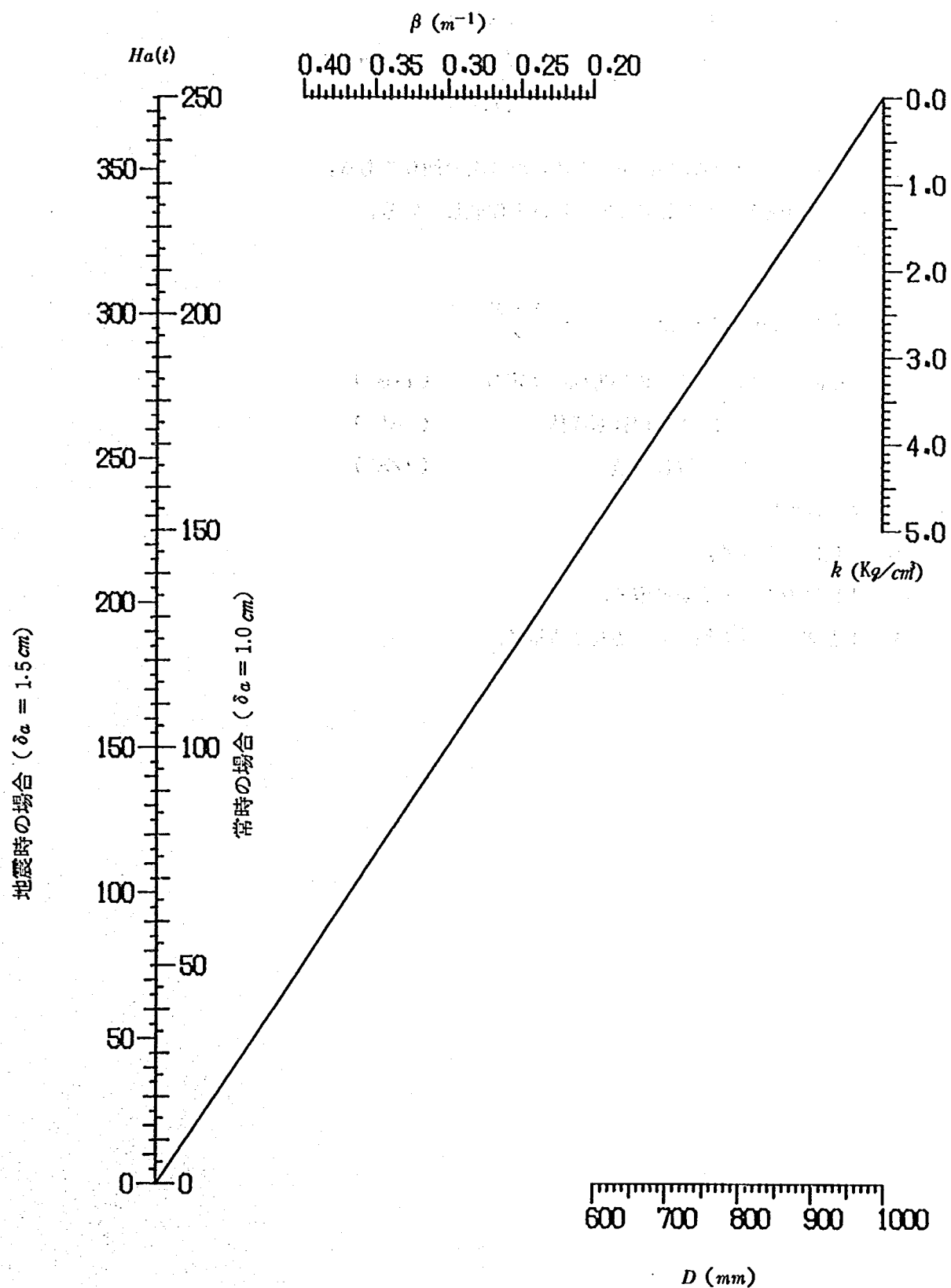
$\beta = 0.320$	m^{-1}	} $\Rightarrow H_a = 78 \text{ t}$
$D = 800$	mm	
$k = 2.10$	Kg/cm^2	
$\delta_a = 1.5$	cm	

となる。

(集計表の記入例は、表- 3.17参照)

SP-6 軸直角方向許容支持力 (Ha) を求めるノモグラム

$$Ha = \frac{kD}{\beta} \cdot \delta_a$$



SP-7 くいの軸方向バネ定数 (K_V)を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くいの軸方向バネ定数を各々の条件 (ℓ, D, t) を用いて求めるものである。

ℓ : く い 長	(m)	
D : く い 径	(mm)	$\rightarrow K_V$
t : 肉 厚	(mm)	

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は次の通りである。

(a) 鋼管くいの腐食しろとして $2mm$ を見込み作成している。

2) 計 算 式

$$K_V = (0.027 \cdot \frac{\ell}{D} + 0.2) \cdot \frac{A_P \cdot E}{\ell}$$

ここに K_V : くいの軸方向バネ定数 (t/m)

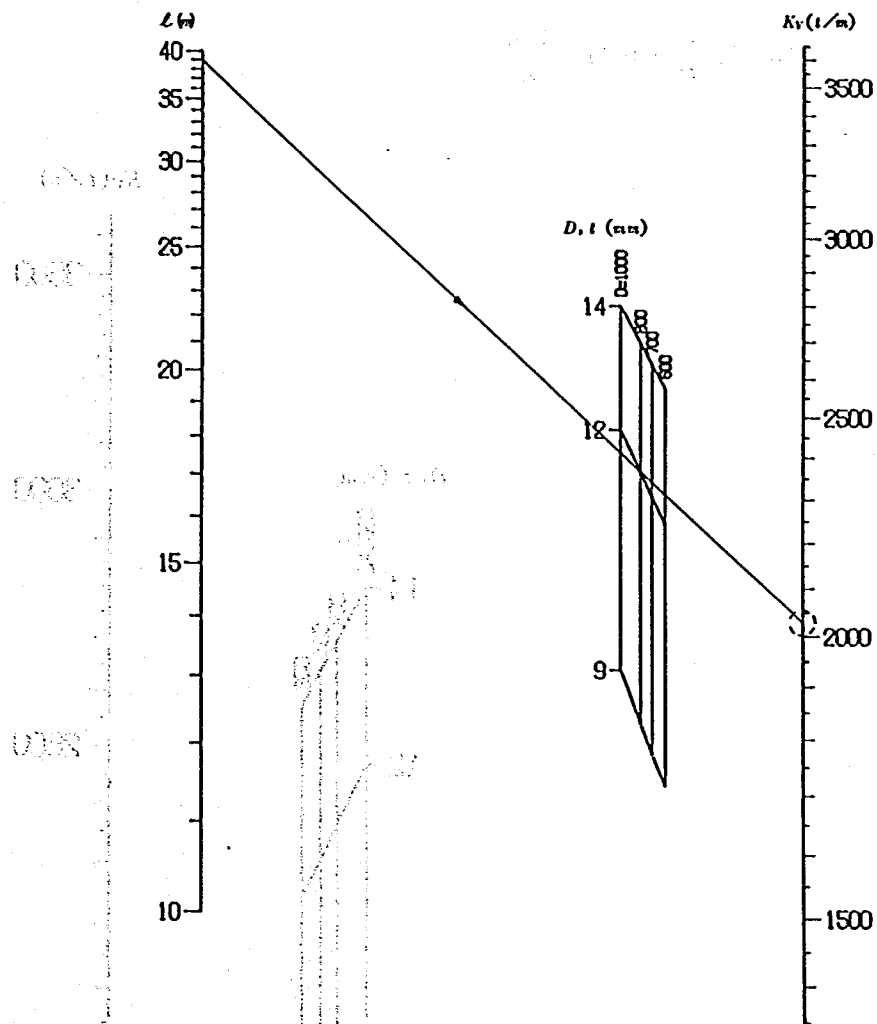
A_P : くいの純断面積 (m^2)

E : 弾性係数 (t/m^2)

3) ノモグラムの見方

- ① 左軸に ℓ を取る。
- ② 中軸に D と t の交点を取る。
- ③ ①と②を結び K_V 軸との交点を読み取る。

SP-7 くいの軸方向バネ定数 (K_V)を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

照査条件及び結果は,

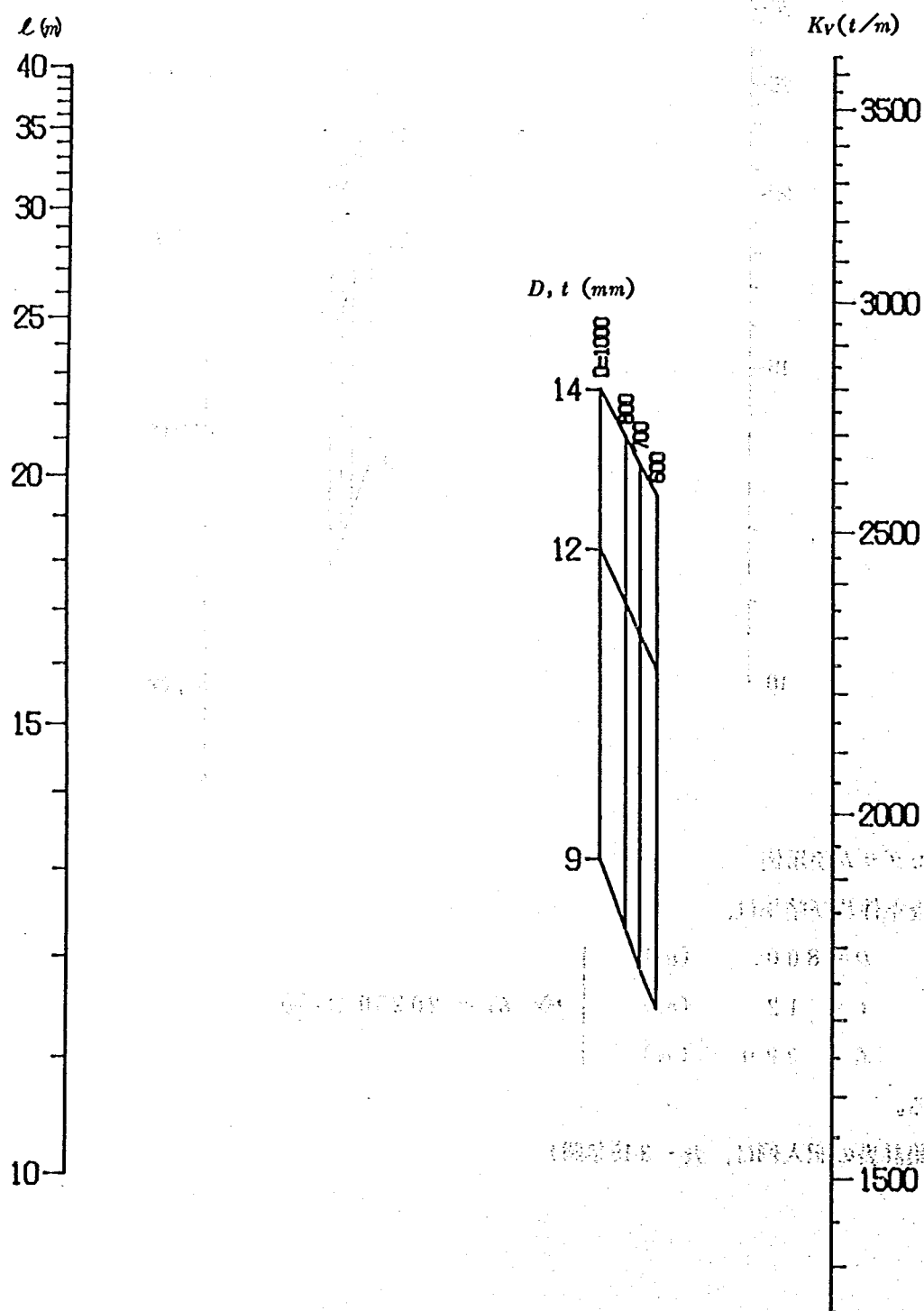
$$\left. \begin{array}{ll} D = 800 & (\text{mm}) \\ t = 12 & (\text{mm}) \\ L = 39.0 & (\text{m}) \end{array} \right\} \Rightarrow K_V = 20250 \text{ (t/m)}$$

となる。

(集計表の記入例は, 表- 3.18参照)

SP-7 くの軸方向バネ定数 (K_V)を求めるノモグラム

$$K_V = (0.027 \frac{\ell}{D} + 0.2) \frac{A_P E}{\ell}$$



SP-8 くいの軸直角方向バネ定数 ($K_1 \sim K_4$) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くい軸直角方向バネ定数を各々の条件 (β, I) を用いて求めるものである。

I : 断面2次モーメント (m^4) β : ぐいの特性値 (m^{-1})	$\Rightarrow K_1 \sim K_2$
--	----------------------------

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は次の通りである。

- (a) 鋼管ぐいの腐食しろとして2mmを見込み、作成している。
- (b) 弾性係数は $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ としている。

2) 計 算 式

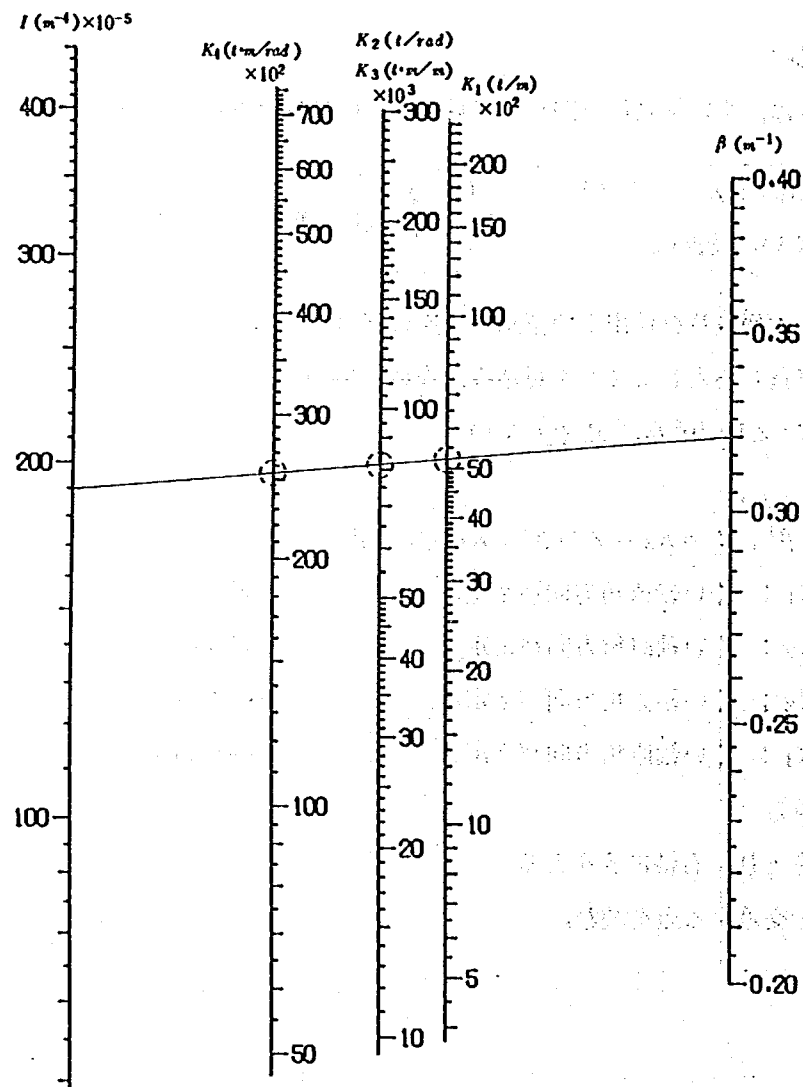
$$K_1 = 4EI\beta^3, K_2 = K_3 = 2EI\beta^2, K_4 = 2EI\beta$$

ここに	K_1 :	くい軸直角方向バネ定数	(t/m)
	K_2 :	くい軸直角方向バネ定数	(t/rad)
	K_3 :	くい軸直角方向バネ定数	($t \cdot m/m$)
	K_4 :	くい軸直角方向バネ定数	($t \cdot m/rad$)

3) ノモグラムの見方

- ① 左軸に I をとり、右軸に β をとる。
- ② ①の直線と交差する点を読む。

SP-8 くいの軸直角方向バネ定数 ($K_1 \sim K_4$) を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

照査条件及び結果は,

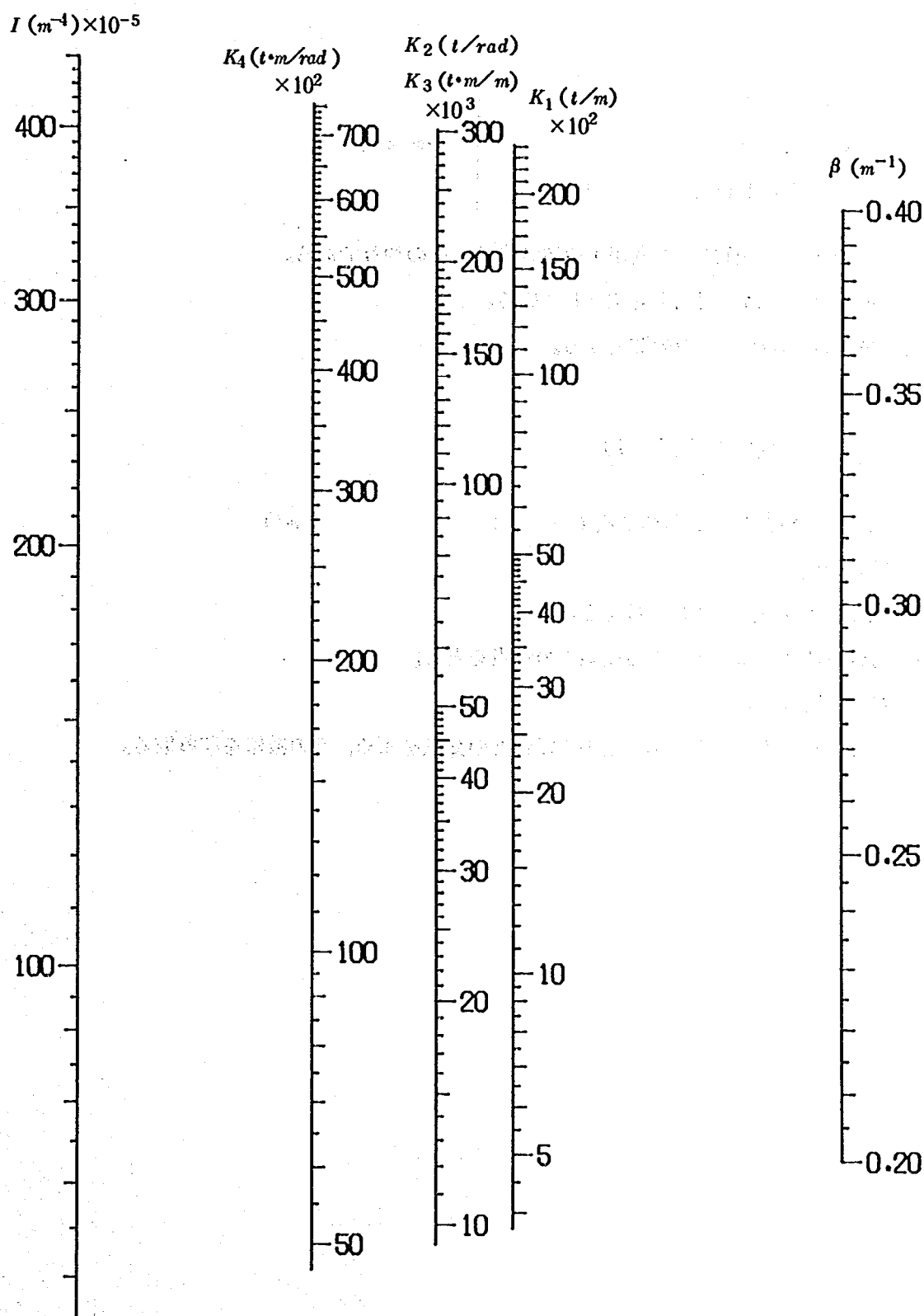
$$\left. \begin{array}{l} I = 19.0 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^4) \\ \beta = 0.32 \quad (\text{m}^{-1}) \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} K_1 = 52 \times 10^2 \quad (\text{t/m}) \\ K_2 = 82 \times 10^3 \quad (\text{t/rad}) \\ K_3 = \quad \quad \quad (\text{t} \cdot \text{m/m}) \\ K_4 = 255 \times 10^2 \quad (\text{t} \cdot \text{m/rad}) \end{array}$$

となる。

(集計表の記入例は, 表-3.18参照)

SP-8 くいの軸直角方向バネ定数 ($K_1 \sim K_4$) を求めるノモグラム

$$K_1 = 4EI\beta^3, K_2 = K_3 = 2EI\beta^2, K_4 = 2EI\beta$$



SP-9 くい群の2次モーメント (Σx_i^2) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムはくい群の2次モーメントを各々の条件 (m_1, m_2, d) を用いて求めるものである。

m_1 : 行 数
m_2 : 列 数
d : くい中心間隔 (m)

⇒ Σx_i^2

なお、ノモグラムの作成及び利用上の留意点は、次の通りである。

(a) くい配列として格子配列を対象としている。

(b) くい間隔は $2.5D \sim 5D$ の間とする。

2) 計 算 式

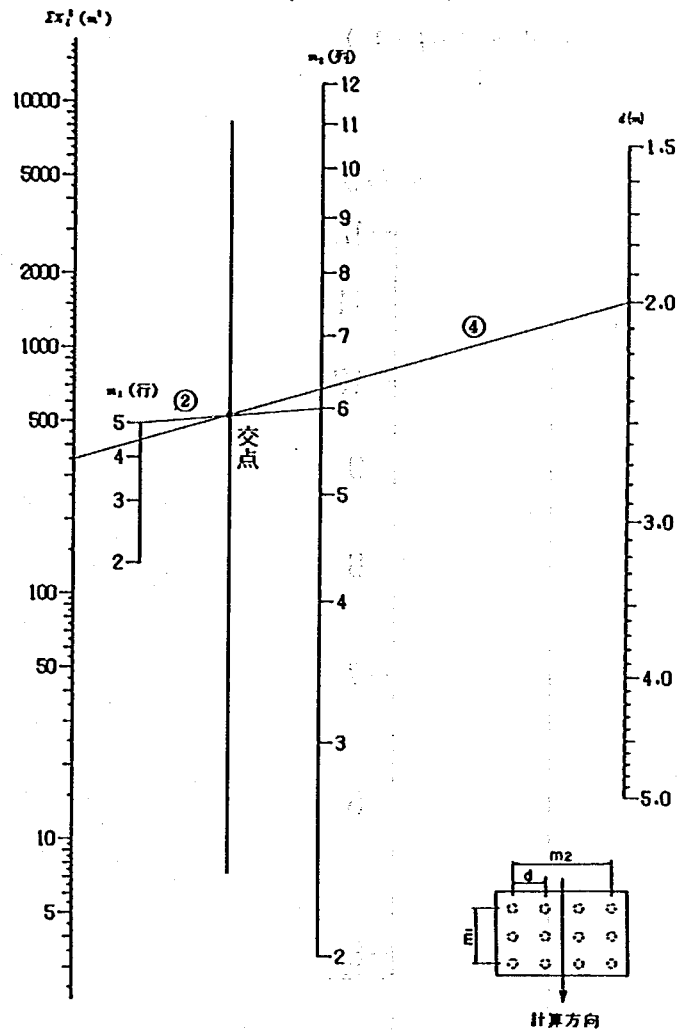
$$\Sigma x_i^2 = \frac{m_1 d^2 m_2 (m_2^2 - 1)}{12}$$

ここに Σx_i^2 : くい群の2次モーメント (m^2)

3) ノモグラムの見方

- ① m 軸に行数を, m_2 軸に列数をとる。
- ② 両点を結び, 両軸間に存る直線との交点をとる。
- ③ 右端の軸に d をとる。
- ④ ②と③とを結び, その延長上の Σx_i^2 軸との交点を求め, その数値を読み取る。

SP-9 くい群の2次モーメント (Σx_i^2) を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

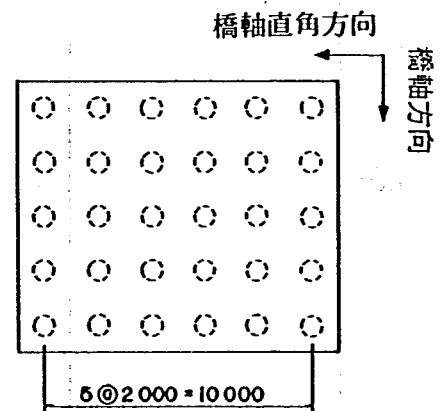
設計対照としているものは右図の
ような配列である。

この照査条件及びその結果は、

$$\left. \begin{array}{l} m_1 = 5 \text{ 行} \\ m_2 = 6 \text{ 列} \\ d = 2.0 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \Sigma x_i^2 = 350 \text{ m}^2$$

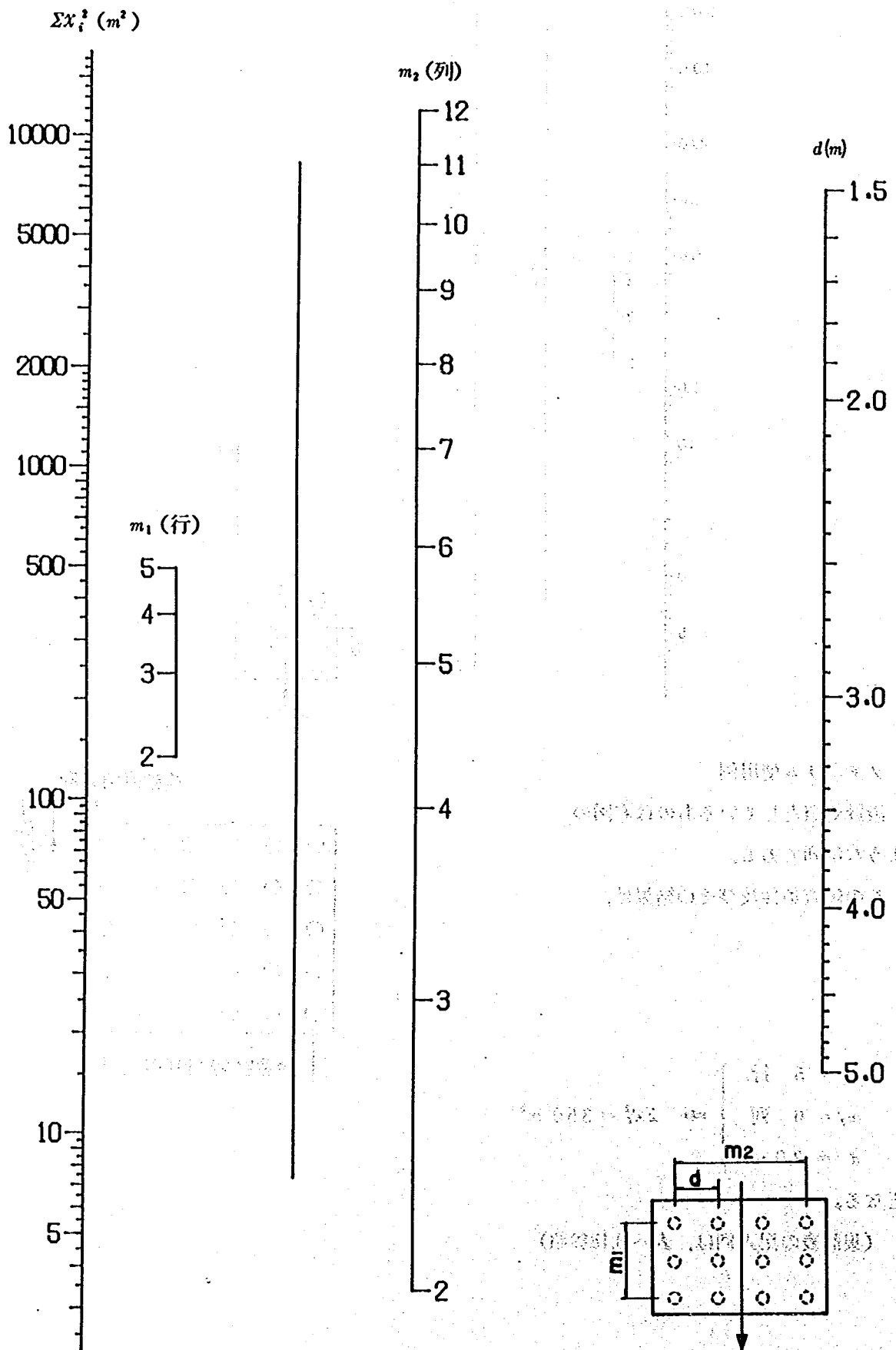
となる。

(集計表の記入例は、表-3.18参照)



SP-9 くい群の2次モーメント (Σx_i^2) を求めるノモグラム

$$\Sigma x_i^2 = \frac{m_1 d^2 m_2 (m_2^2 - 1)}{12}$$



SP-10 フーチングの水平変位量 (δ_x) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムはSP-10.1 ~ SP-10.3に分割されており、これらを一連の流れで操作することにより、フーチングの水平変位量を下記の条件を用いて求めるものである。なお、それぞれのノモグラムにおける条件と求値の関係は次のとおりである。

SP-10.1

$\Sigma X_i^2/n$	: くい群の2次モーメントをくい本数で除した値 (m^2)	
K_2	: くい軸直角方向バネ定数	(t/rad)
K_4	: くい軸直角方向バネ定数	($t \cdot m/rad$)
K_v	: くいの軸方向バネ定数	(t/m)

⇒ T_1

SP-10.2

K_2	: くい軸直角方向バネ定数	(t/rad)
n	: くい本数	(本)
β	: くいの特性値	(m^{-1})
T_1	: SP-10.1で求まる値	(m^{-1})

⇒ T_2

SP-10.3

M	: 曲げモーメント	($t \cdot m$)
H	: 水平力	(t)
T_1	: SP-10.1で求まる値	(m^{-1})
T_2	: SP-10.2で求まる値	(t/m)

⇒ δ_x

また、ノモグラムの作成及び使用上の留意点は次の通りである。

(a) くい配置が対称で鉛直ぐいの場合を対象としている

2) 計算式

$$\delta_x = \frac{H + \left(\frac{K_2}{K_v \cdot \Sigma X_i^2 / n + K_4} \right) \cdot M}{n \cdot K_2 \left\{ 2\beta - \left(\frac{K_2}{K_v \cdot \Sigma X_i^2 / n + K_4} \right) \right\}} \Rightarrow T_1 = \frac{K_2}{K_v \cdot \frac{\Sigma X_i^2}{n} + K_4}$$

$$T_2 = n \cdot K_2 \cdot (2\beta - T_1)$$

$$\delta_x = \frac{H + T_1 \cdot M}{T_2}$$

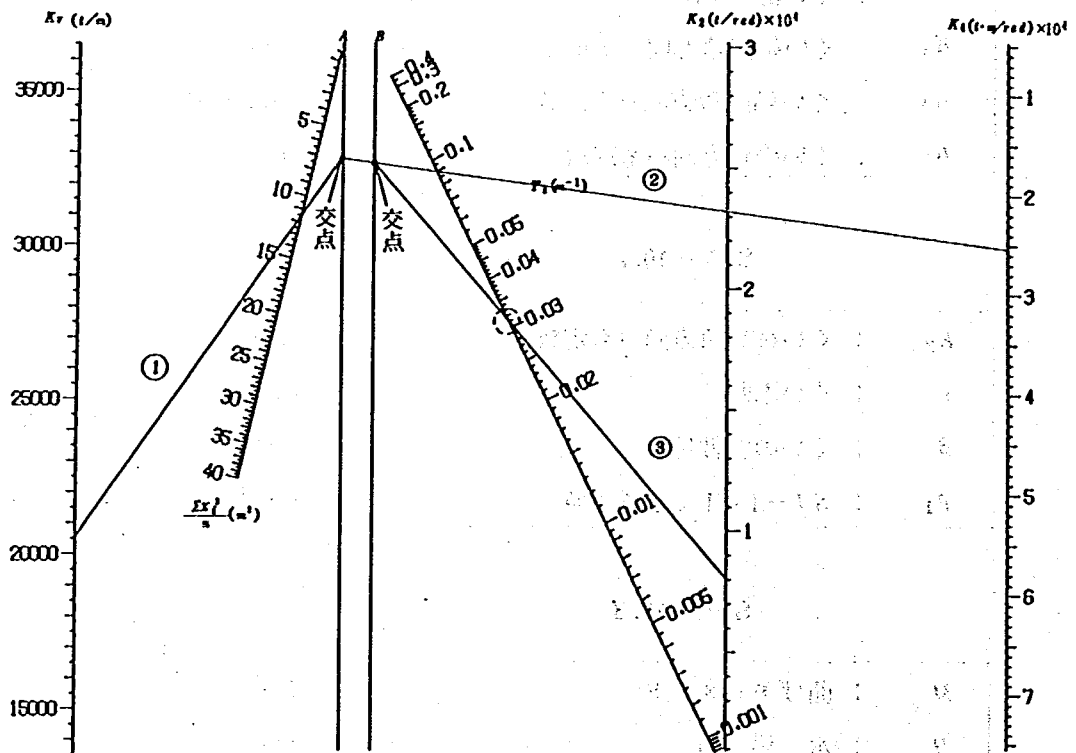
ここに δ_x : 水平変位量 (cm)

3) ノモグラムの見方

SP-10.1

- ① K_v 軸と $\Sigma x_i^2/n$ 軸とを結び、その延長上の A 軸に交点を取る。
- ② ①での交点と K_1 軸とを結び B 軸との交点を取る。
- ③ ②での交点と K_2 軸とを結び T_1 軸との交点を読み取る。

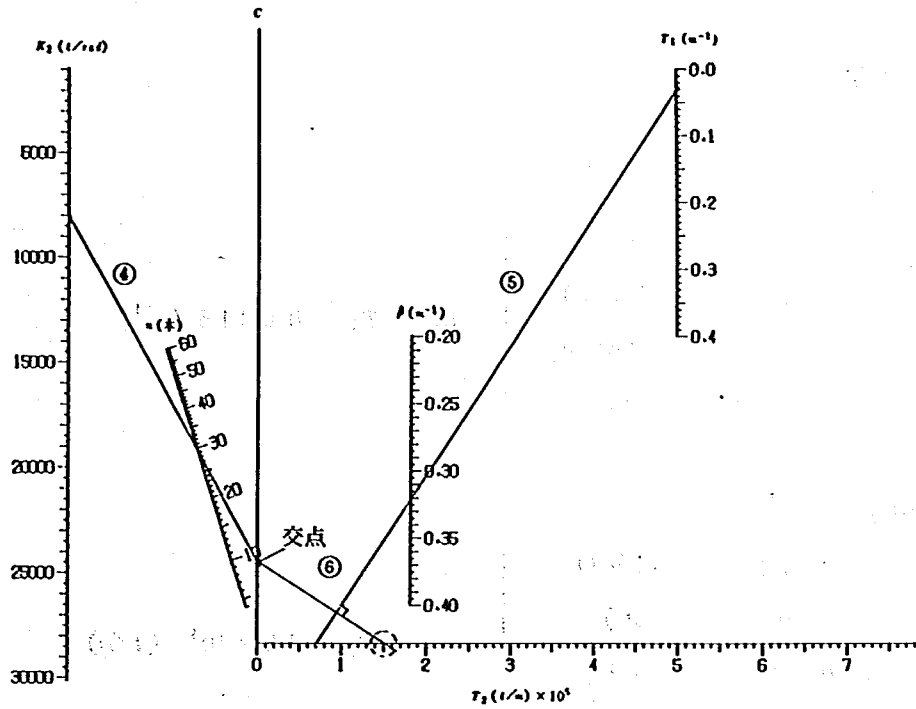
SP-10.1 フーチングの水平変位量 (δ_x) を求めるノモグラム (T_1 を求める場合)



SP-10.2

- ④ K_2 軸と n 軸とを結びその延長上の C 軸に交点を取る。
- ⑤ T_1 軸と β 軸とを結び T_2 軸付近まで延長させる。
- ⑥ ⑤に対して直角で、かつ④の交点を通る直線上の T_2 軸との交点を読み取る。

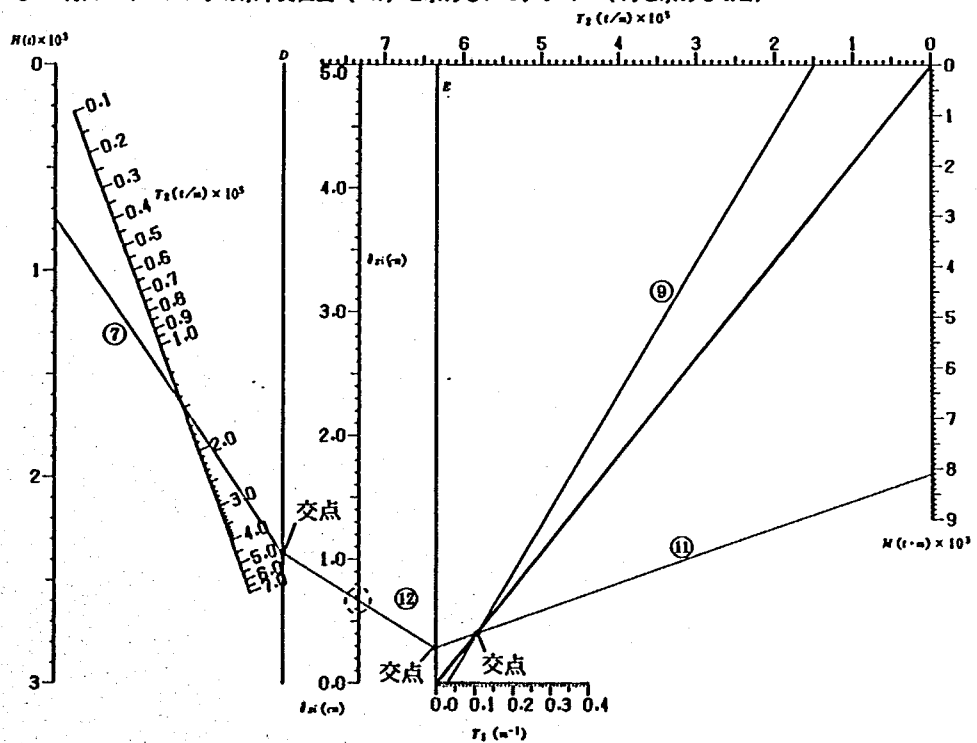
SP-10.2 フーチングの水平変位量 (δ_x) を求めるノモグラム (T_2 を求める場合)



SP-10.3

- ⑦ H 軸と T_2 軸とを結びその延長上の D 軸に交点を取る。
- ⑧ 上軸に T_2 を下軸に T_1 を取る。
- ⑨ 両点を結び中の斜軸との交点を求める。
- ⑩ 右軸に M を取る。
- ⑪ ⑨と⑩の両点を結びその延長上の E 軸に交点を取る。
- ⑫ ⑦と⑪の両点を結び δ_x 軸との交点を読み取る。

SP-10.1 フーチングの水平変位量 (δ_x) を求めるノモグラム (T_1 を求める場合)



4) ノモグラム使用例

照査条件及び結果は、

SP-10.1

$$\left. \begin{array}{ll} \Sigma x_i^2/n = 11.67 & (m^2) \\ K_2 = 8171 & (t/rad) \\ K_4 = 25536 & (t \cdot m/rad) \\ K_V = 20250 & (t/m) \end{array} \right\} \Rightarrow T_1 = 0.0315 (m^{-1})$$

SP-10.2

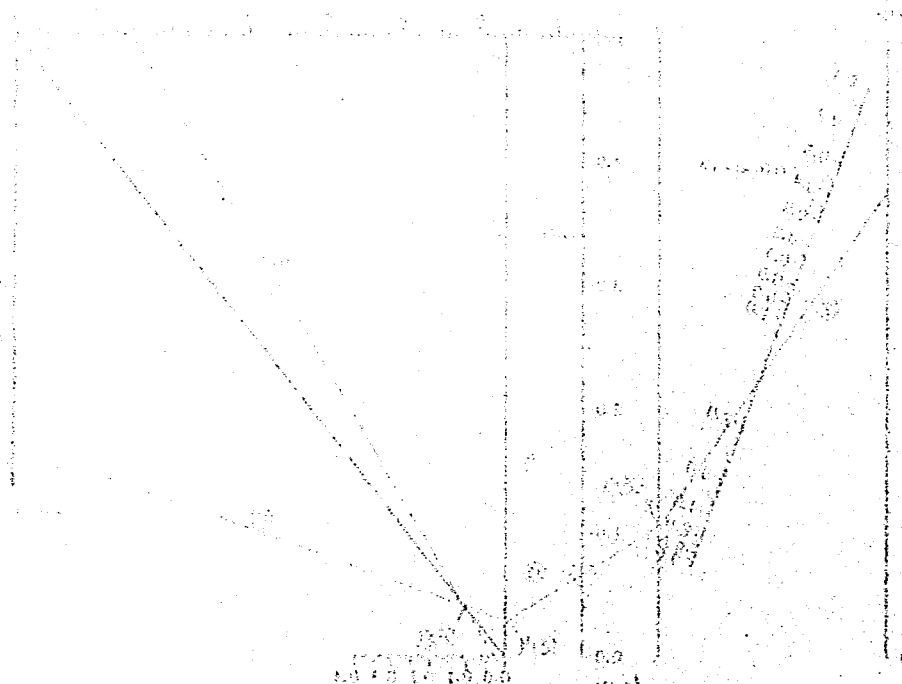
$$\left. \begin{array}{ll} K_2 = 8171 & (t/rad) \\ n = 30 & (\text{本}) \\ \beta = 0.32 & (m^{-1}) \\ T_1 = 0.0315 & (m^{-1}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_2 = 1.5 \times 10^5 (t/m)$$

SP-10.3

$$\left. \begin{array}{ll} M = 8100 & (t \cdot m) \\ H = 750 & (t) \\ T_1 = 0.0315 & (m^{-1}) \\ T_2 = 1.5 \times 10^5 & (t/m) \end{array} \right\} \Rightarrow \delta_x = 0.67 (cm)$$

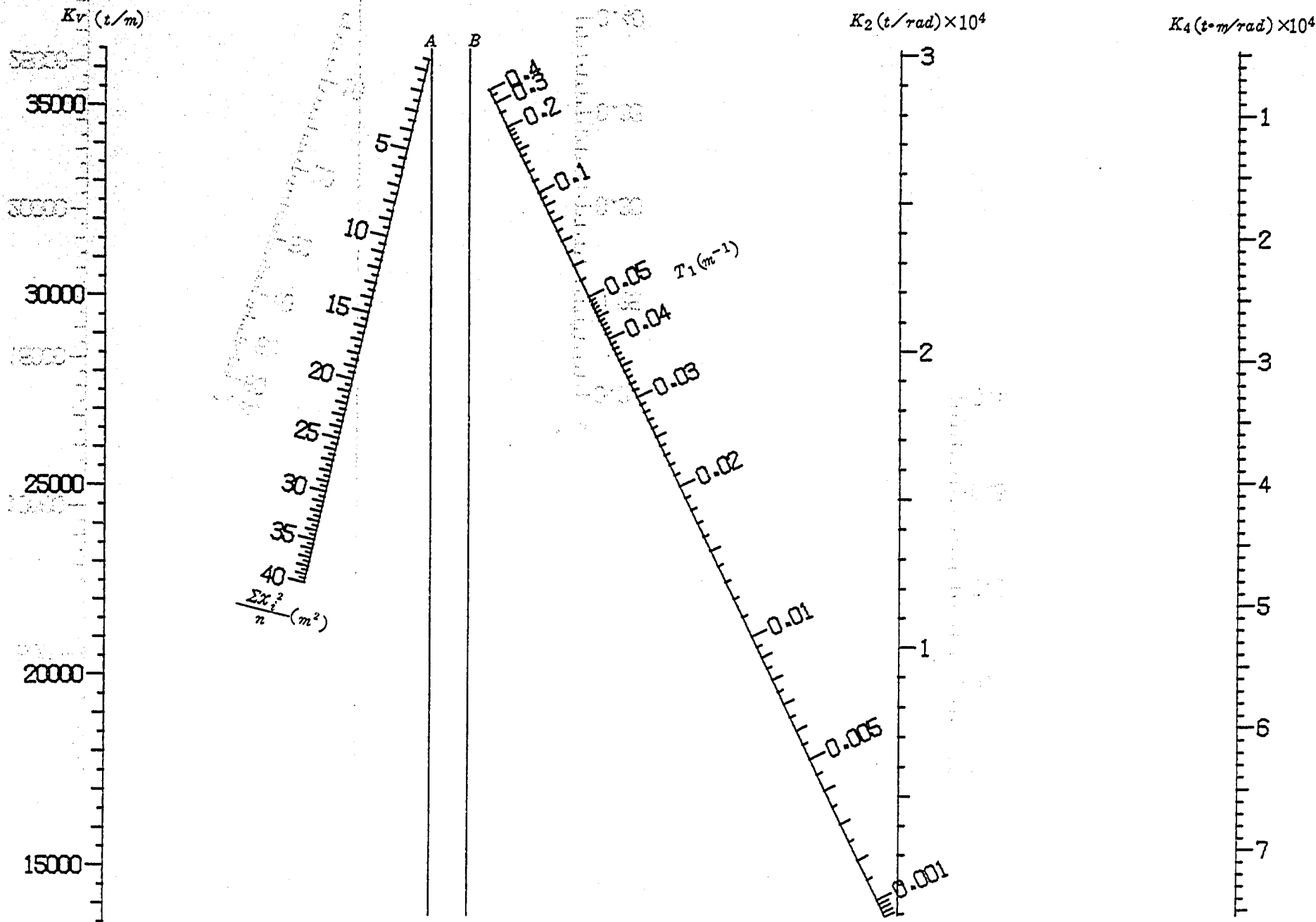
となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)



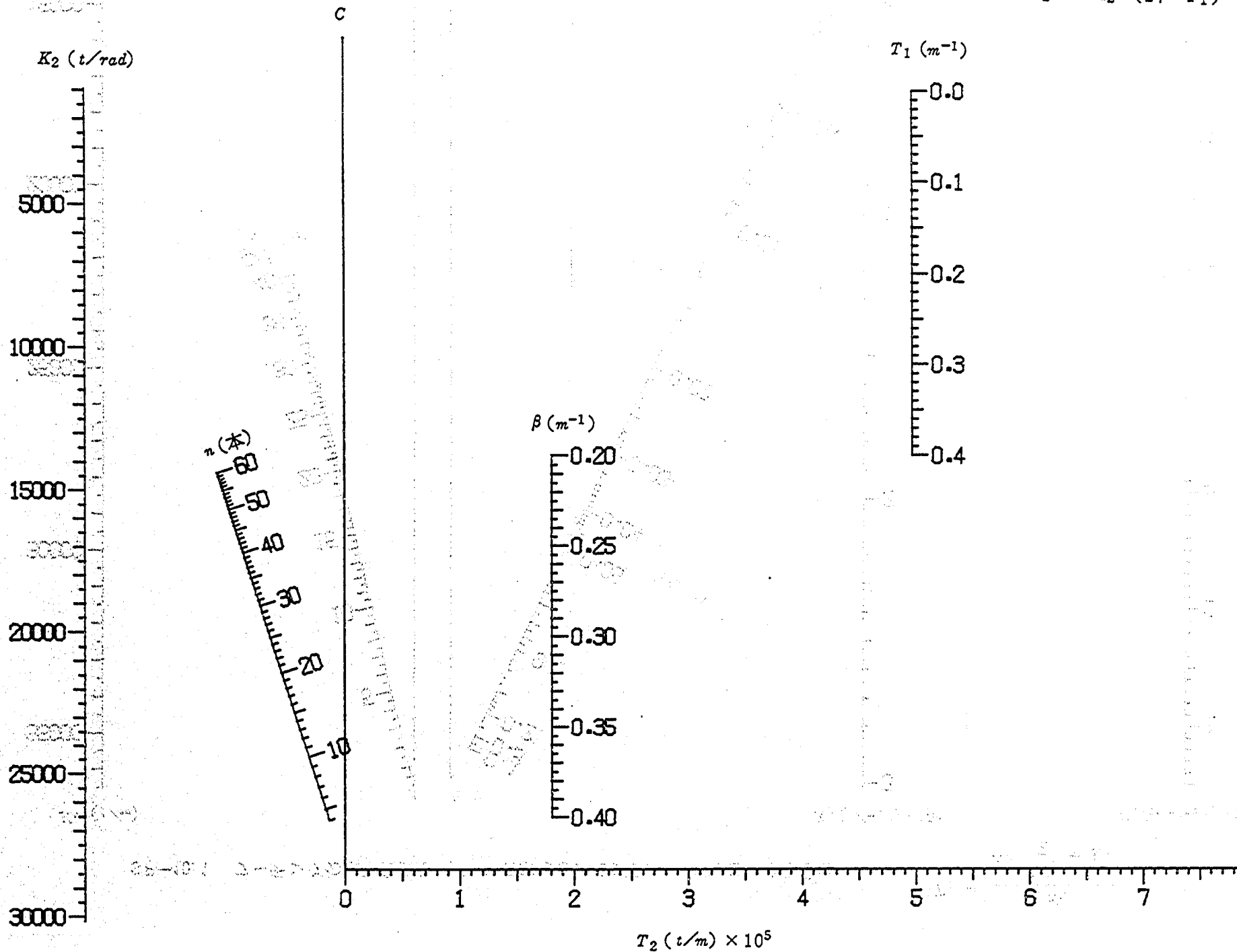
SP-10.1 フーチングの水平変位量 (δx) を求めるノモグラム (T_1 を求める場合)

$$T_1 = \frac{K_2}{K_v \frac{\sum x_i^2}{n} + K_4}$$



SP-10.2 フーチングの水平変位量 (δx) を求めるノモグラム (T_2 を求める場合)

$$T_2 = n \cdot K_2 \cdot (2\beta - T_1)$$

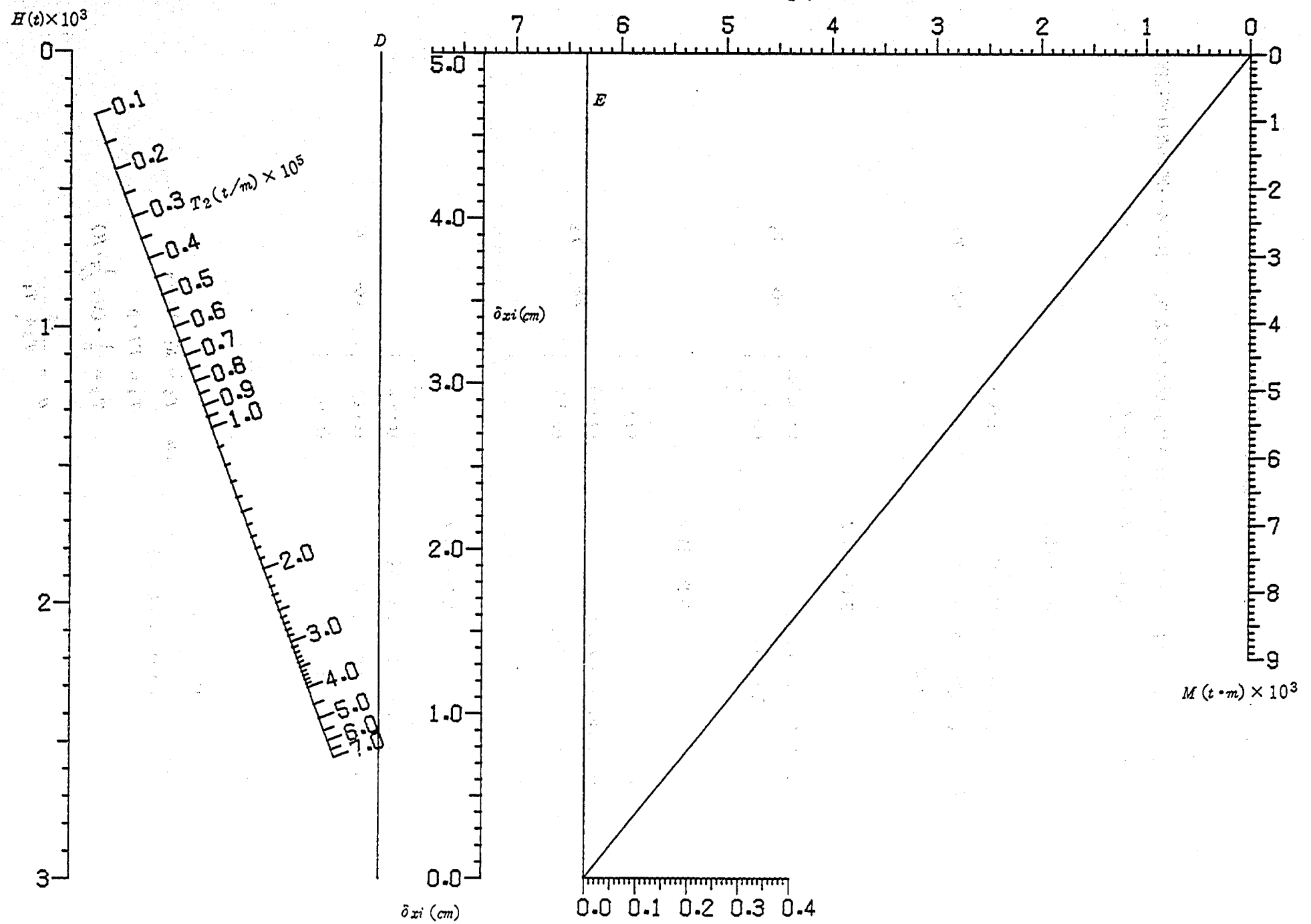


$$T_2 (t/m) \times 10^5$$

SP-10.3 フーチングの水平変位量 (δ_x) を求めるノモグラム

(T_2 を求める場合)

$$\delta_{xi} = \frac{H + T_1 \cdot M}{T_2}$$



SP-11 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、SP-11.1～SP-11.4に分割されており、これらを一連の流れで操作することによりフーチングの回転角を求めるものである。

SP-11.1

K_v : くい軸方向バネ定数	(t/m)	$\Rightarrow T_3$
Σx_i^2 : くい群の2次モーメント	(m^2)	
n : くい本数		

SP-11.2

EI : くい断面剛性	(t/m^2)	$\Rightarrow T_4$
β : くい特性値	(m^{-1})	

SP-11.3

H : 水平力	(t)	$\Rightarrow T_5$
M : 曲げモーメント	($t \cdot m$)	
β : くい特性値	(m^{-1})	
n : くい本数		

SP-11.4

T_3 : SP-11.1で求まる値	($t \cdot m$)	$\Rightarrow \alpha$
T_4 : SP-11.2で求まる値	($t \cdot m$)	
T_5 : SP-11.3で求まる値	($t \cdot m$)	

2) 計算式

$$\alpha = \frac{M + \frac{1}{2\beta} \cdot H}{K_v \cdot \Sigma x_i^2 + n \cdot EI \cdot \beta} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} T_3 &= K_v \cdot \Sigma x_i^2 / n \\ T_4 &= EI \cdot \beta \\ T_5 &= \frac{1}{n} \cdot (M + \frac{1}{2\beta} \cdot H) \\ \alpha &= \frac{T_5}{T_3 + T_4} \end{aligned}$$

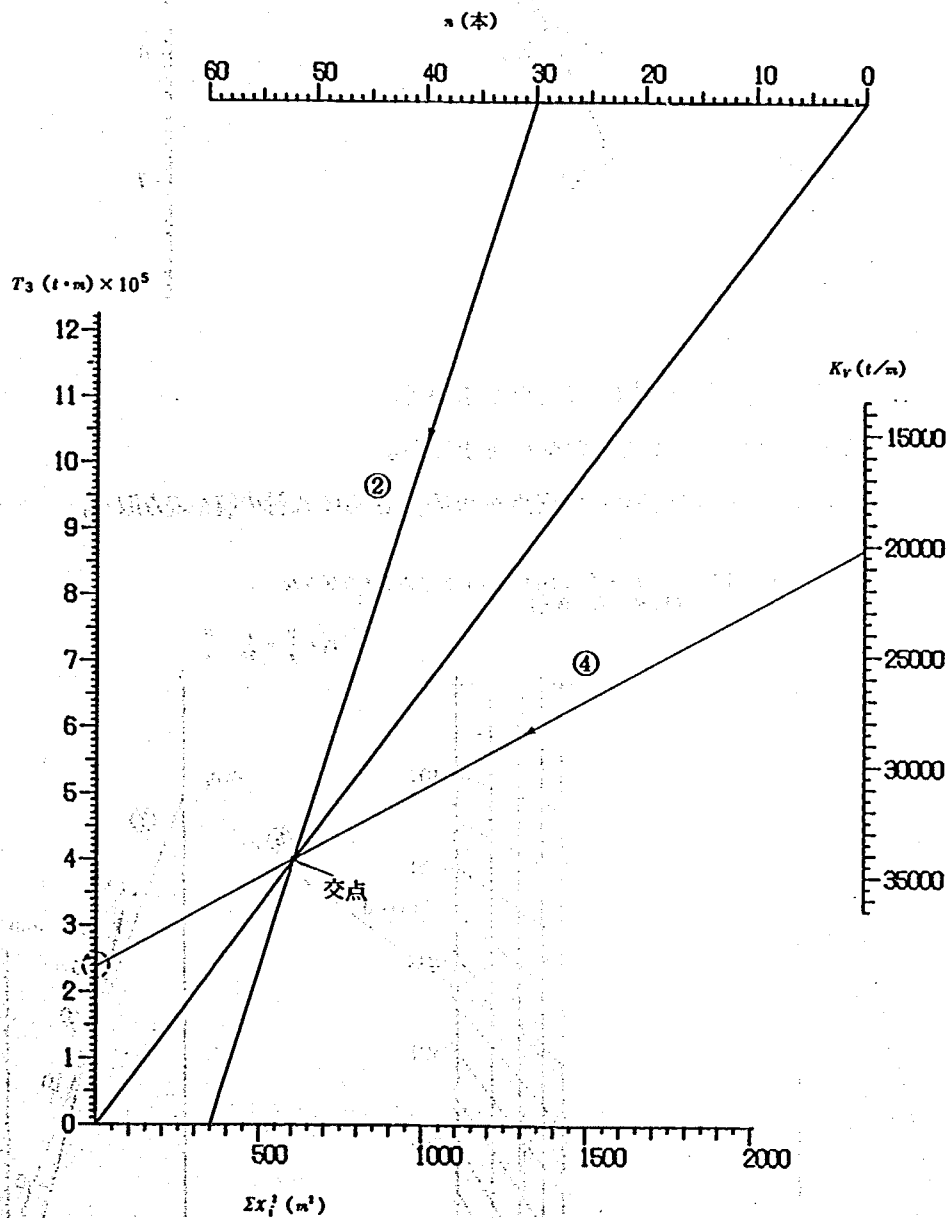
ここに α : フーチングの回転角 (rad)

3) ノモグラムの見方

SP-11.1

- ① 上軸に n を下軸に Σx_i^2 を取る。
- ② 両点を結んで中の斜軸との交点を求める。
- ③ 右軸に K_V を取る。
- ④ ②と③の両点を結びその延長上の T_3 軸との交点を読み取る。

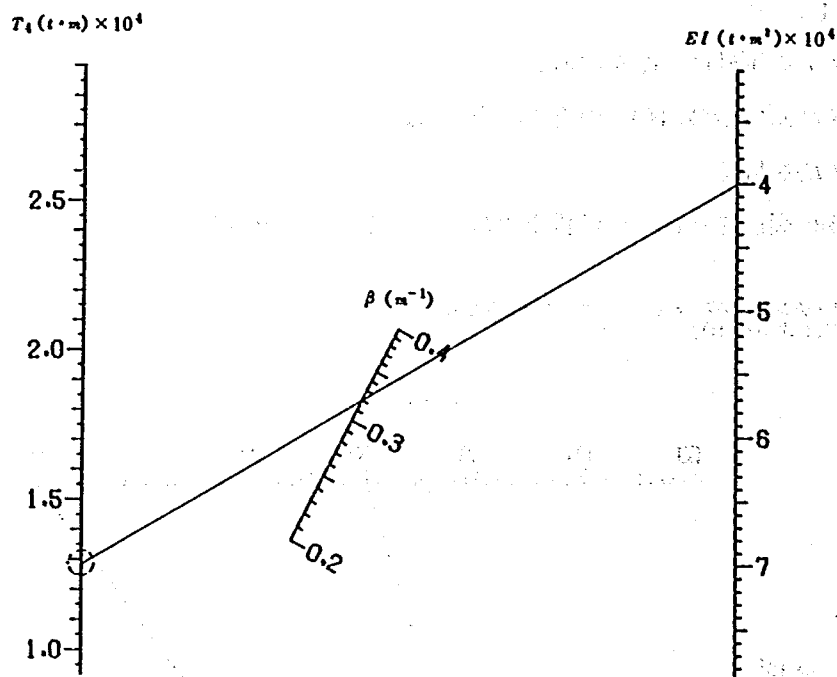
SP-11.1 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_3 を求める場合)



SP-11.2

- ⑤ EI 軸と β 軸とを結び T_4 軸との交点を読み取る。

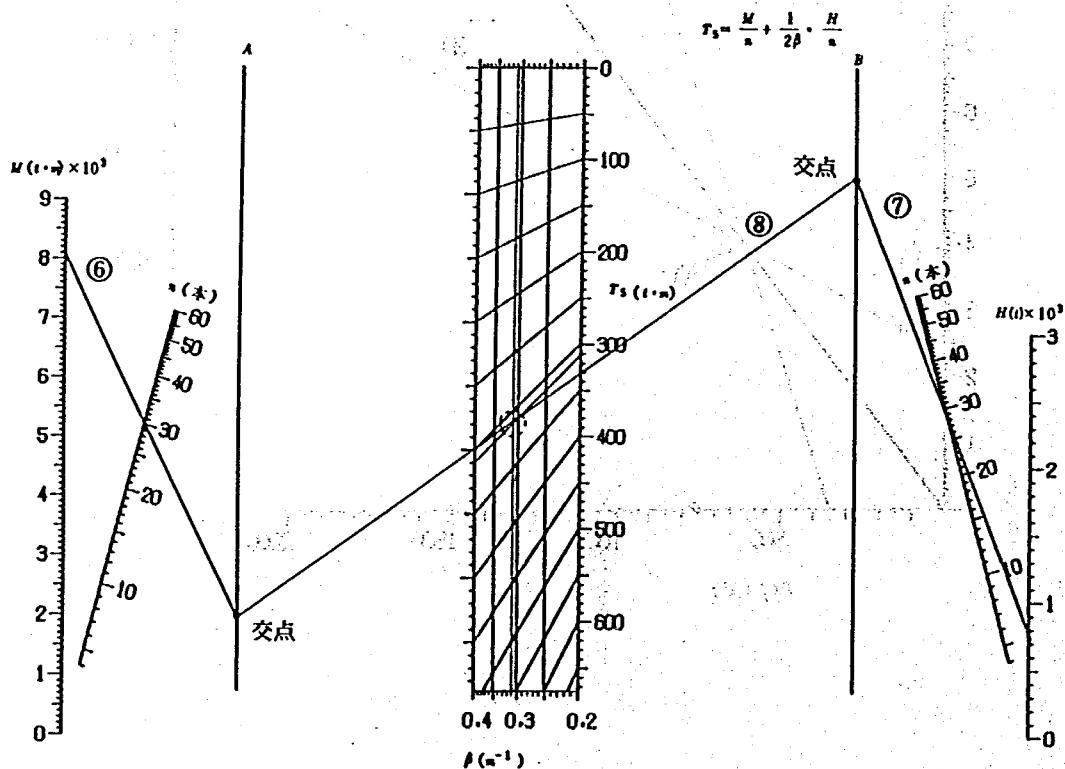
SP-11.2 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_4 を求める場合)



SP-11.3

- ⑥ M 軸と n 軸を結びその延長上の A 軸との交点を求める。
 ⑦ H 軸と n 軸を結びその延長上の B 軸との交点を求める。
 ⑧ ⑥と⑦の両点を結び β 軸からの垂線との交点を求め、さらに T_5 軸の値を読み取る。

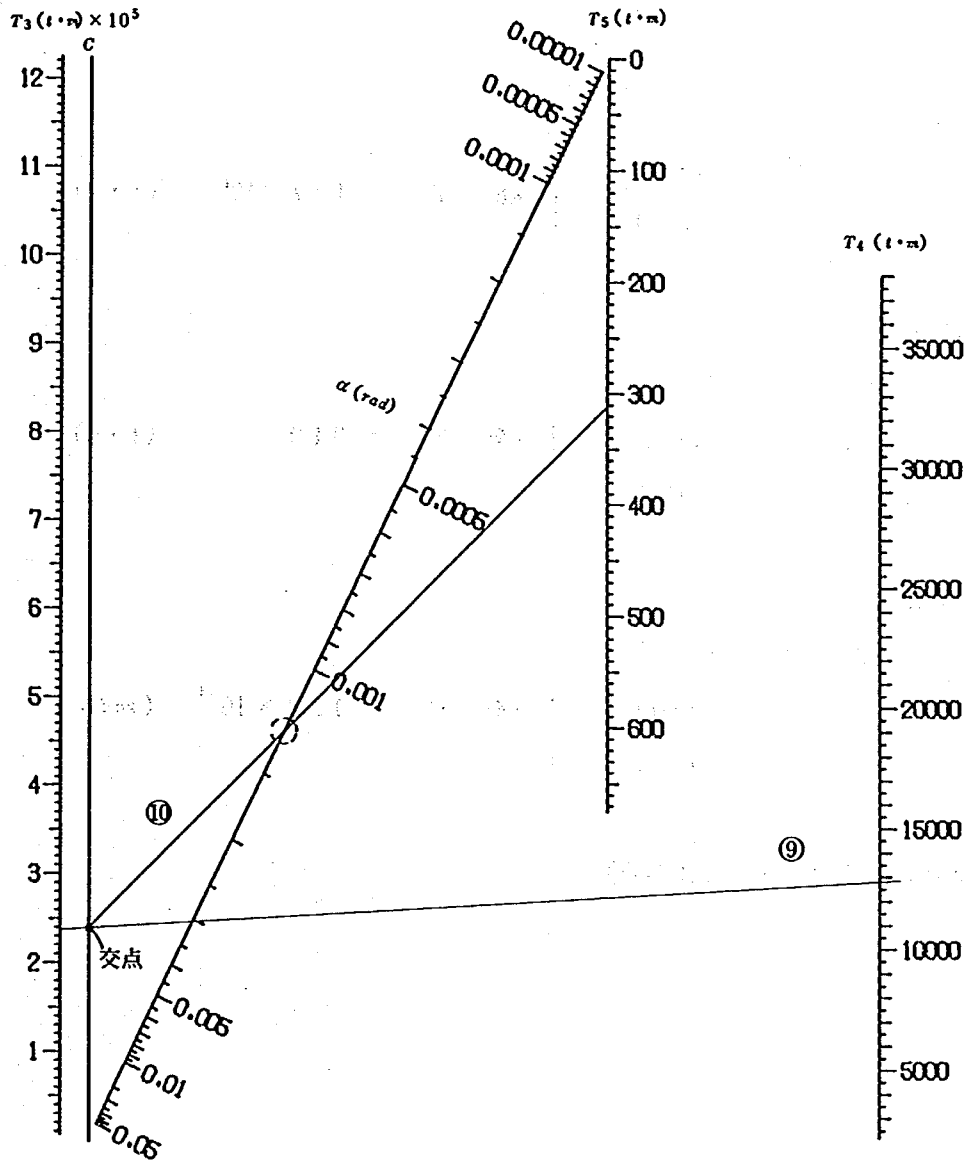
SP-11.3 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_5 を求める場合)



SP-11.4

- ⑨ T_3 軸と T_4 軸とを結びC軸との交点を求める。
 ⑩ ⑨の交点と T_5 軸とを結び α 軸との交点を読み取る。

SP-11.4 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

照査条件及び結果は、

SP-11.1

$$\left. \begin{array}{ll} K_V = 20250 & (t/m) \\ \Sigma X_i^2 = 350 & (m^2) \\ n = 30 & (\text{本}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_3 = 2.35 \times 10^5 \quad (t \cdot m)$$

SP-11.2

$$\left. \begin{array}{ll} EI = 3.99 \times 10^4 & (t \cdot m^2) \\ \beta = 0.32 & (m^{-1}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_4 = 1.27 \times 10^4 \quad (t \cdot m)$$

SP-11.3

$$\left. \begin{array}{ll} H = 750 & (t) \\ M = 8100 & (t \cdot m) \\ \beta = 0.32 & (m^{-1}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_5 = 310 \quad (t \cdot m)$$

SP-11.4

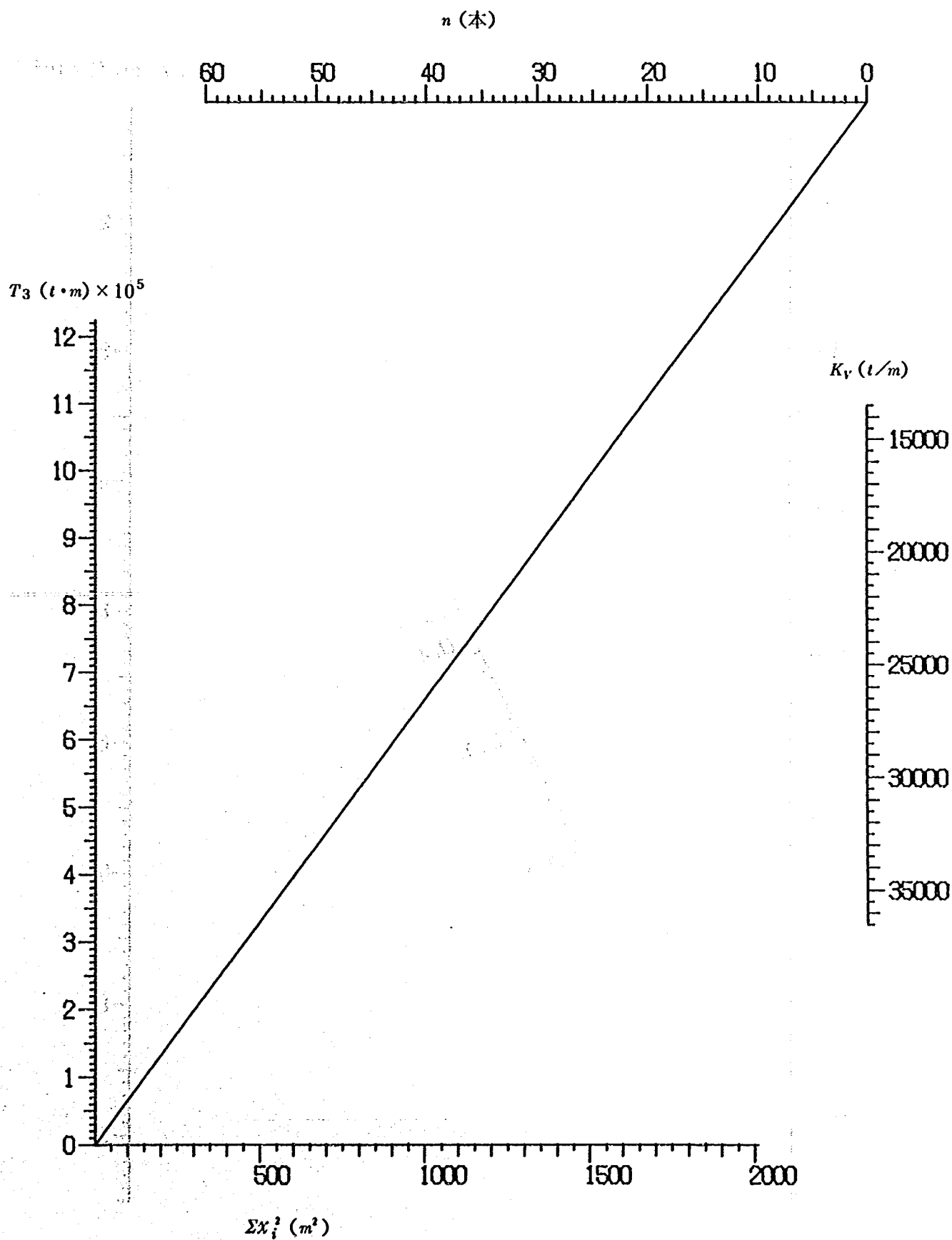
$$\left. \begin{array}{ll} T_3 = 2.35 \times 10^5 & (t \cdot m) \\ T_4 = 1.27 \times 10^4 & (t \cdot m) \\ T_5 = 310 & (t \cdot m) \end{array} \right\} \Rightarrow \alpha = 12.8 \times 10^{-4} \quad (rad)$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)

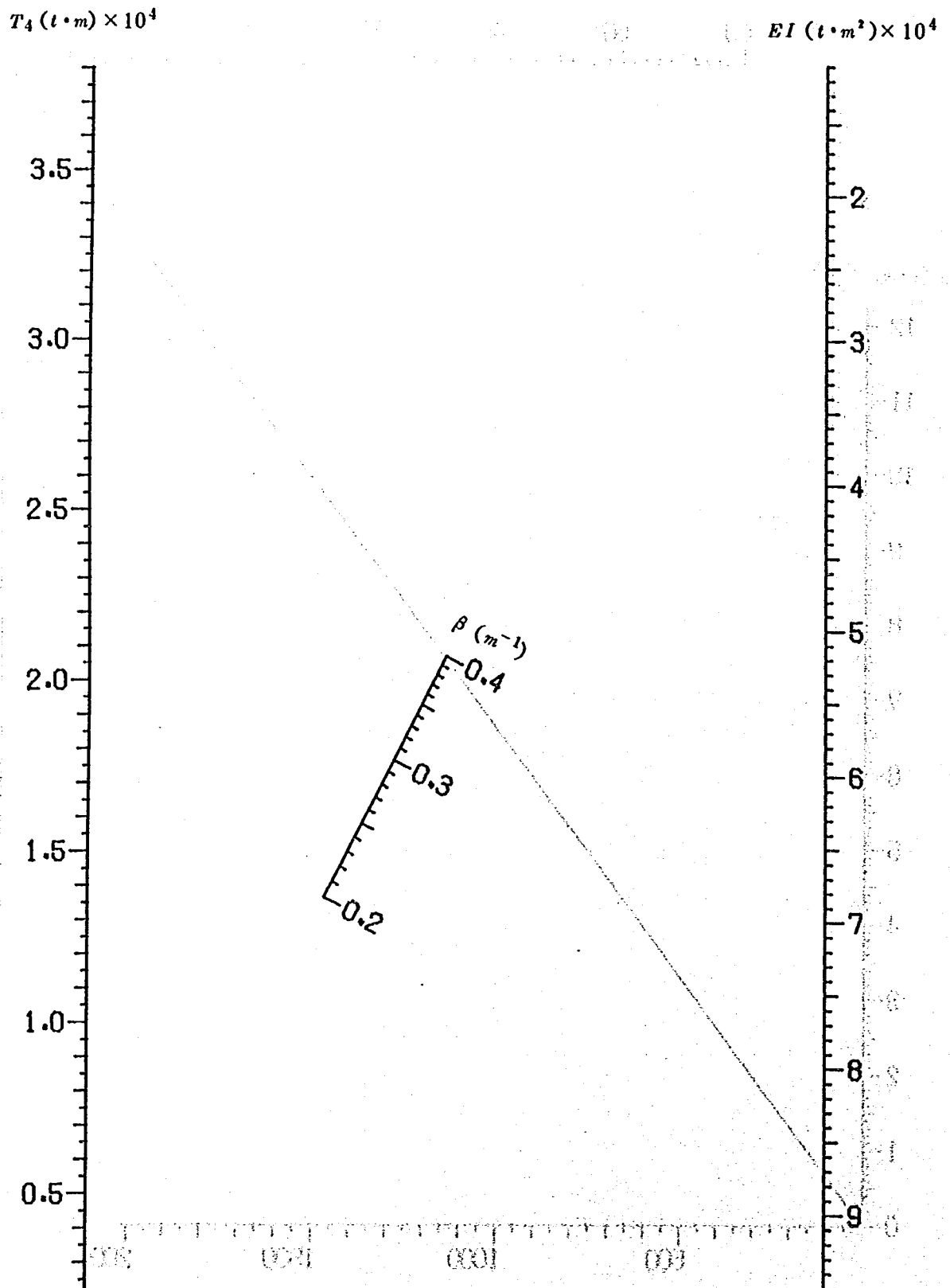
SP-11.1 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_3 を求める場合)

$$T_3 = K_V - \frac{\sum x_i^2}{n}$$



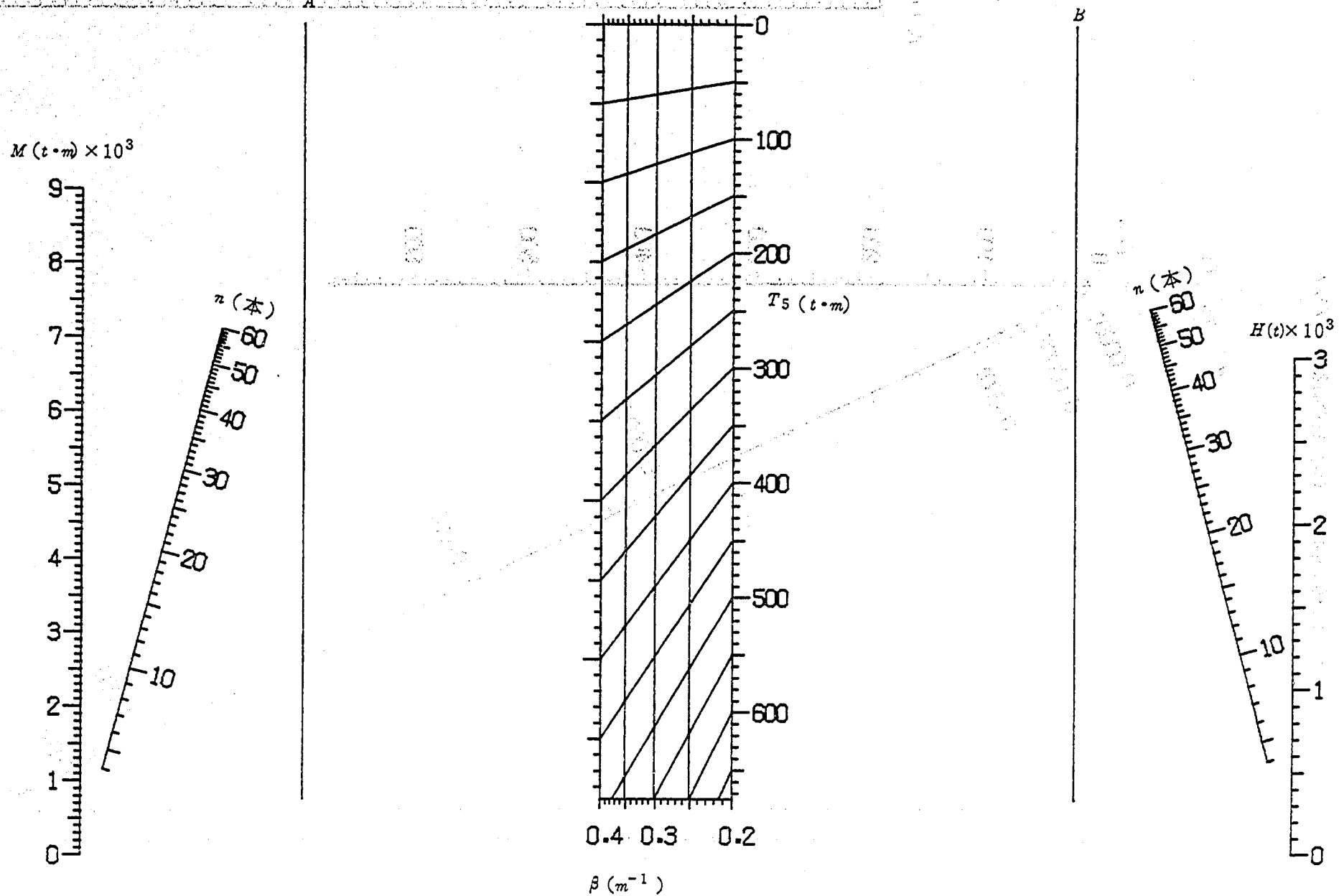
SP-11.2 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_4 を求める場合)

$$T_4 = EI\beta$$

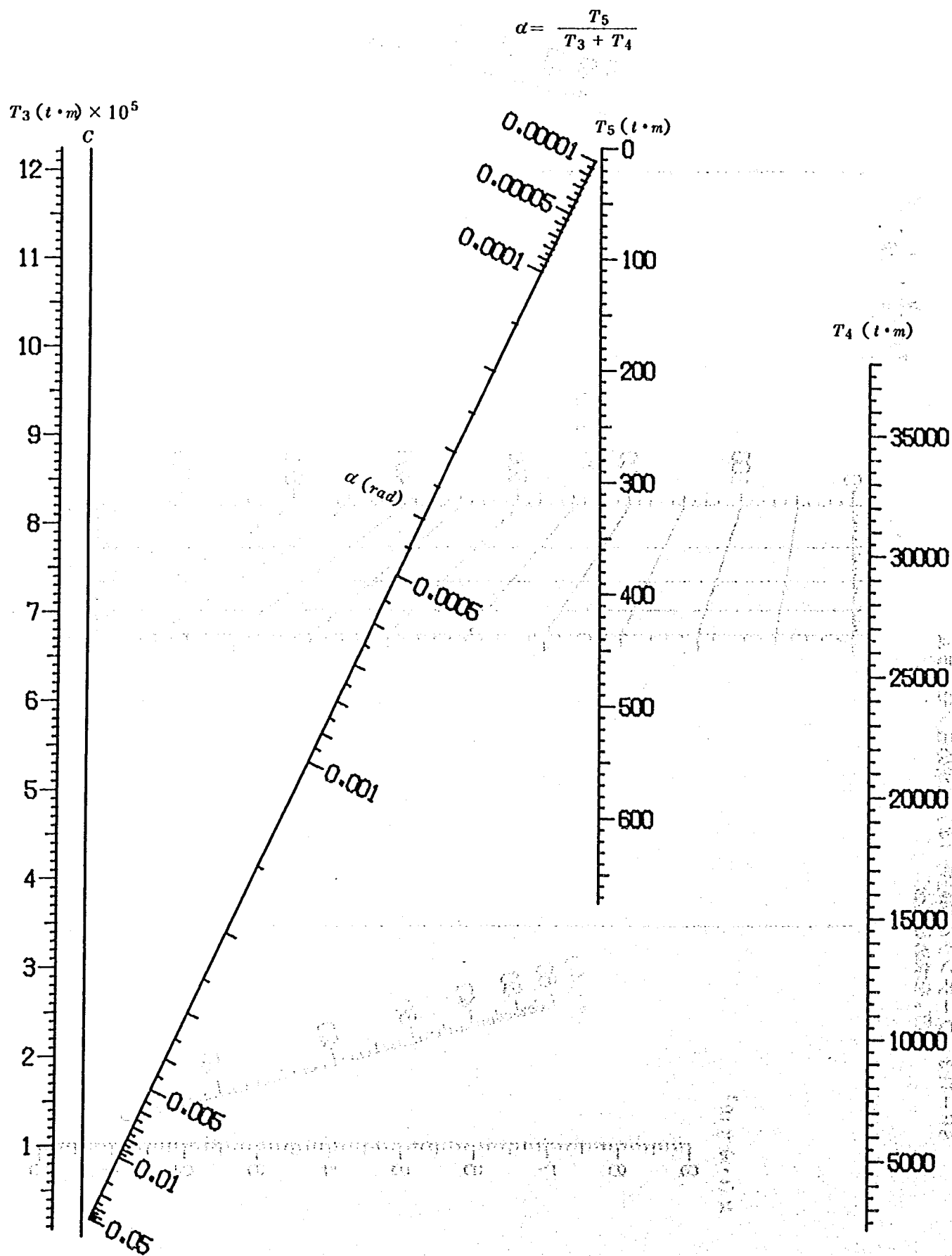


SP-113 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム
(T_5 を求める場合)

$$T_5 = \frac{M}{n} + \frac{1}{2\beta} \cdot \frac{H}{n}$$



SP-11.4 フーチングの回転角 (α) を求めるノモグラム



SP-12 フーチング及びくいの鉛直変位量 (δ_y) 及びくいの鉛直変位量 (δ_{yi}) を求める
ノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、フーチング及びくいの鉛直変位量を各々の条件 (N, n, K_v, α, x_i) を用いて求めるものである。

N :	鉛直荷重	(t)	
n :	くい本数	(本)	$\Rightarrow \delta_y (=T_6)$
K_v :	くいの軸方向バネ定数	(t/m)	

α :	フーチングの回転角	(rad)	
x_i :	くい群図心位置から i 番目のくい中心までの距離	(m)	$\Rightarrow T_7$

以上の値を用い、くいの鉛直変位量を次式より求める。

$$\delta_{yi} = T_6 + T_7$$

なお、ノモグラム作成及び利用上の留意点は次の通りである。

(a) くい配置が対称で鉛直ぐいの場合を対象としている。

2) 計 算 式

$$\delta_y = \frac{N}{n K_v}$$

ここに δ_y : フーチングの鉛直変位量 (cm)

$$\delta_{yi} = \frac{N}{n K_v} + \alpha x_i = T_6 + T_7$$

ここに δ_{yi} : i 番目のくいの鉛直変位量

3) ノモグラムの見方

(a) フーチングの鉛直変位量 (δ_y)

- ① n 軸に n を, K_v 軸に K_v の値をとる。
- ② 两点を結び, その間に存る目盛りの無い直線との交点をとる。
- ③ N 軸に N の値をとる。
- ④ ②と③の两点を結び, T_6 軸との交点を読み取る。

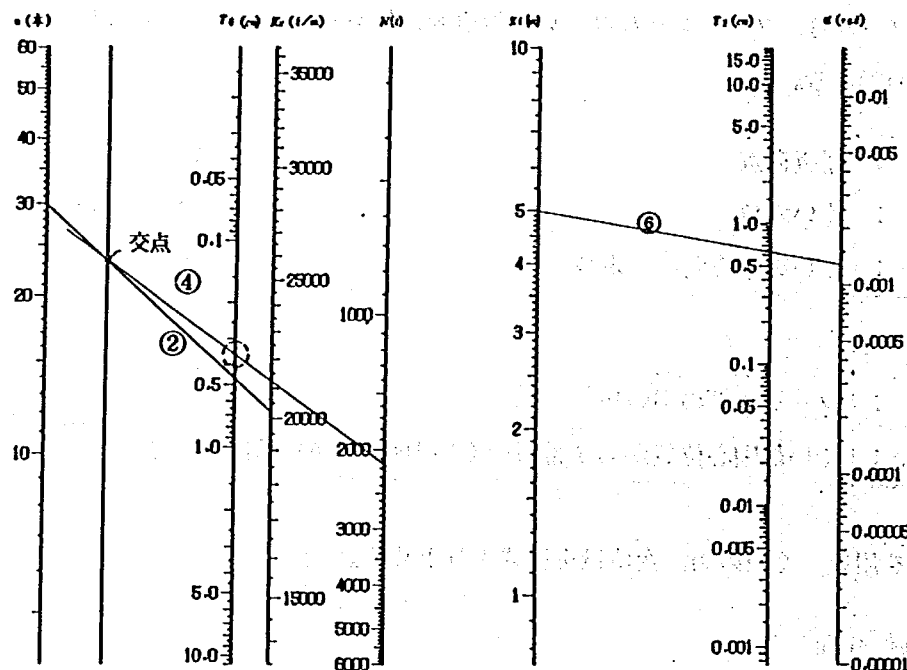
(b) くいの鉛直変位量 (δ_{yi})

⑤ α 軸に α の値を、 x_i 軸に求めるくい(い番目のくい)までの距離 x_i をとる。

⑥ 両点を結びその間に存る T_7 軸との交点を求め、読み取る。

SP-12 フーチング及びくいの鉛直変位量(δ_y)及びくいの鉛直変位量(δ_{yi})を求める

ノモグラム



(c) 以上で求めた T_6 及び T_7 を用いて次式により、くいの鉛直変位量を求めた。

$$\delta_{yi} = T_6 + T_7$$

4) ノモグラム使用例

(a) フーチングの鉛直変位量

照査条件及びその結果は、次の通りである。

$$N = 2150 \text{ t} \quad K_V = 20250 \text{ t/m}$$

$$n = 30 \text{ 本}$$

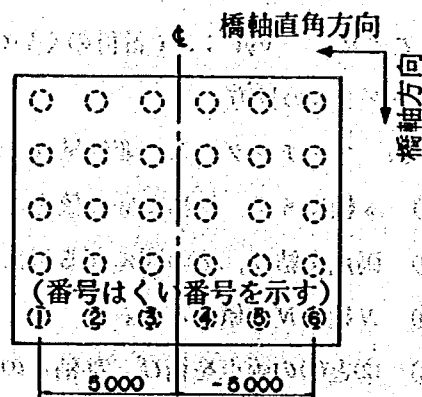
$$\rightarrow \delta_y = 0.35 \text{ cm}$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)

(b) くいの鉛直変位量

右図のような配列になっている場合、照査条件及び結果を次に示す。



1番目のくい

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0.00128 \quad \text{rad} \\ x_1 = 5.0 \quad \text{m} \end{array} \right\} \Rightarrow T_{7.1} = 0.62 \quad \text{cm}$$

6番目のくい

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0.00128 \quad \text{rad} \\ x_6 = -5.0 \quad \text{m} \end{array} \right\} \Rightarrow T_{7.6} = -0.62 \quad \text{cm}$$

それぞれのくいの鉛直変位量

$$\delta y_1 = T_6 + T_7 = 0.35 + 0.62 = 0.97$$

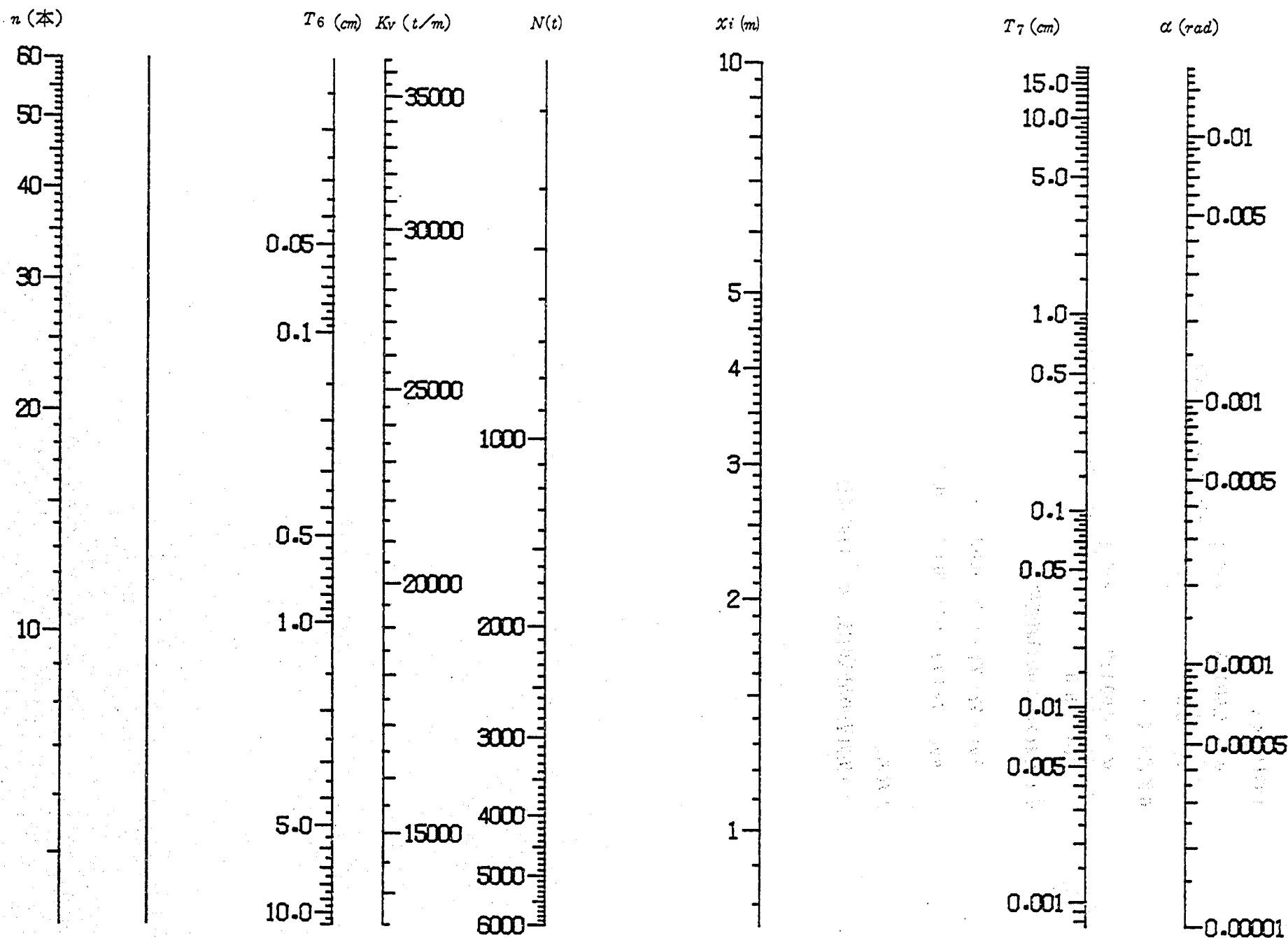
$$\delta y_6 = T_6 + T_7 = 0.35 - 0.62 = -0.27$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)

SP-12 フーチング及びくいの鉛直変位量 (δy) 及びくいの鉛直変位量 (δy_i) を求める
ノモグラム

$$\delta y_i = \frac{N}{n \cdot K_v} + \alpha \cdot x_i = T_6 + T_7$$



SP-13 くいの軸方向力 (P_{Ni}) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くいの軸方向力を各々の条件 (δ_{yi} , K_V) を用いて求めるものである。

δ_{yi} : i 番目のくいの鉛直変位量	(cm)	$\Rightarrow P_{Ni}$
K_V : 軸方向バネ定数	(t/m)	

2) 計 算 式

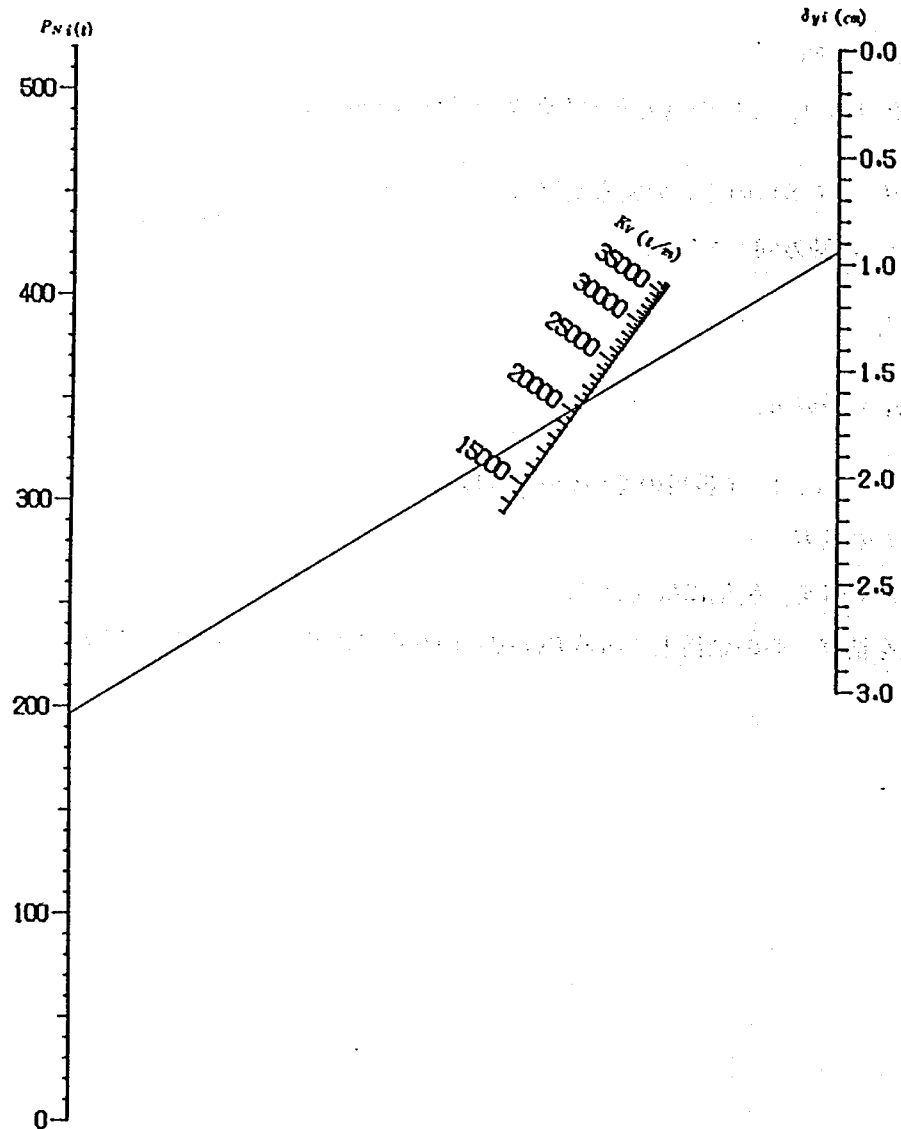
$$P_{Ni} = \delta_{yi} K_V$$

ここに P_{Ni} : i 番目のくいの軸方向力 (t)

3) ノモグラムの見方

- ① 右軸に δ_{yi} を、斜軸に K_V をとる。
- ② 両点を結び、その延長上にある P_{Ni} 軸との交点を求め、その値を読み取る。

SP-13 くの軸方向力 (P_{Ni}) を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

SP-12で求めた値を用いる。その照査例と結果は、次の通りである。

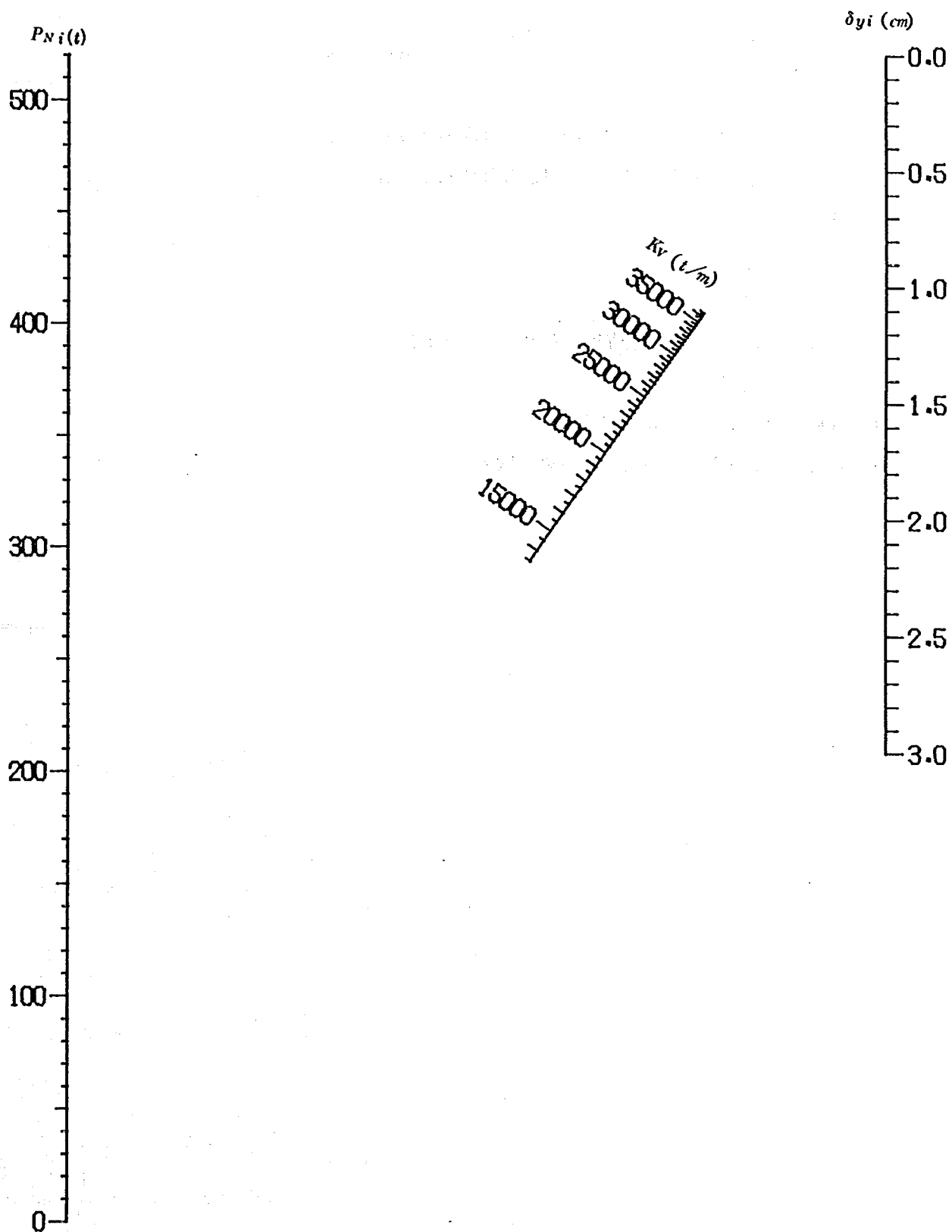
$$\left. \begin{array}{l} \text{1 番目のくの} \quad \delta_{yi} = 0.97 \quad \text{cm} \\ \quad \quad \quad K_v = 20\,250 \quad \text{t/cm} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{Ni} = 197 \quad \text{t}$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)

SP-13 くいの軸方向力 (P_{Ni}) を求めるノモグラム

$$P_{Ni} = \delta y_i \cdot K_v$$



SP-14 ぐいの軸直角方向力 (P_H) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、ぐい軸直角方向力を各々の条件 (H, n) を用いて求めるものである。

H : 水平力	(t)	$\Rightarrow P_H$
n : ぐい本数	(本)	

なお、ノモグラム作成及び使用上の留意点は次の通りである。

鋼管ぐいの腐食しろとして 2mm を見込み作成している。

2) 計 算 式

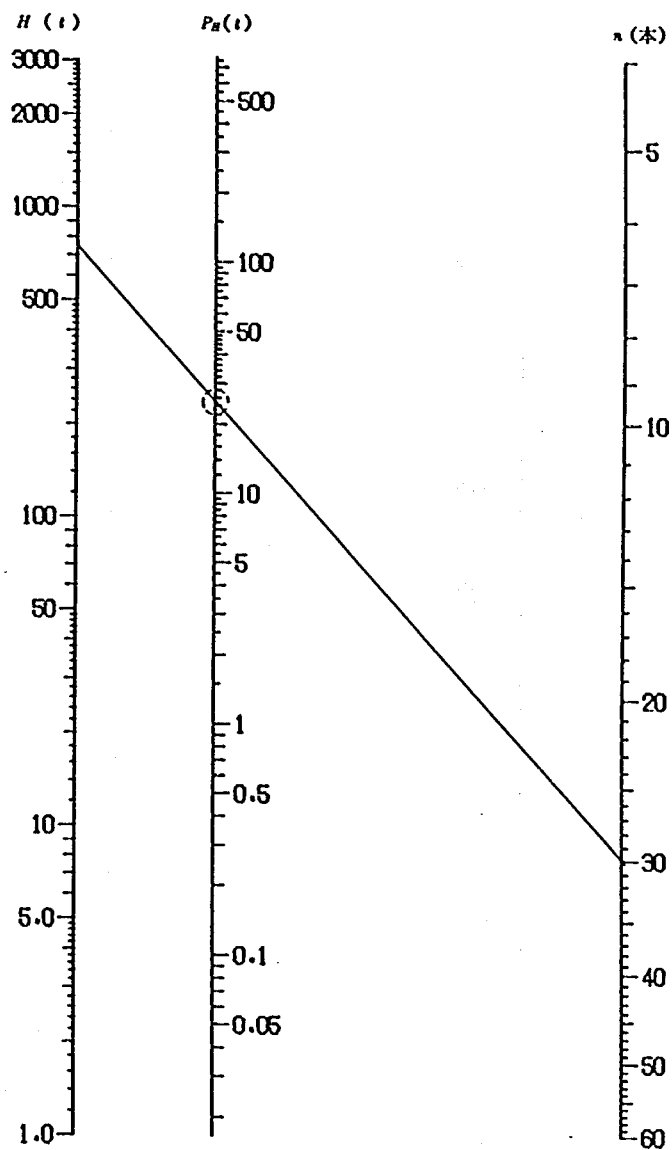
$$P_H = \frac{H}{n}$$

ここに P_H : ぐい軸直角方向力 (t)

3) ノモグラムの見方

- ① 左軸に H を取り右軸に n を取る。
- ② 両点を結び中軸との交点 P_H を読み取る。

SP-14 くい軸直角方向力 (P_H) を求めるノモグラム



4) ノモグラム使用例

調査条件及び結果は、

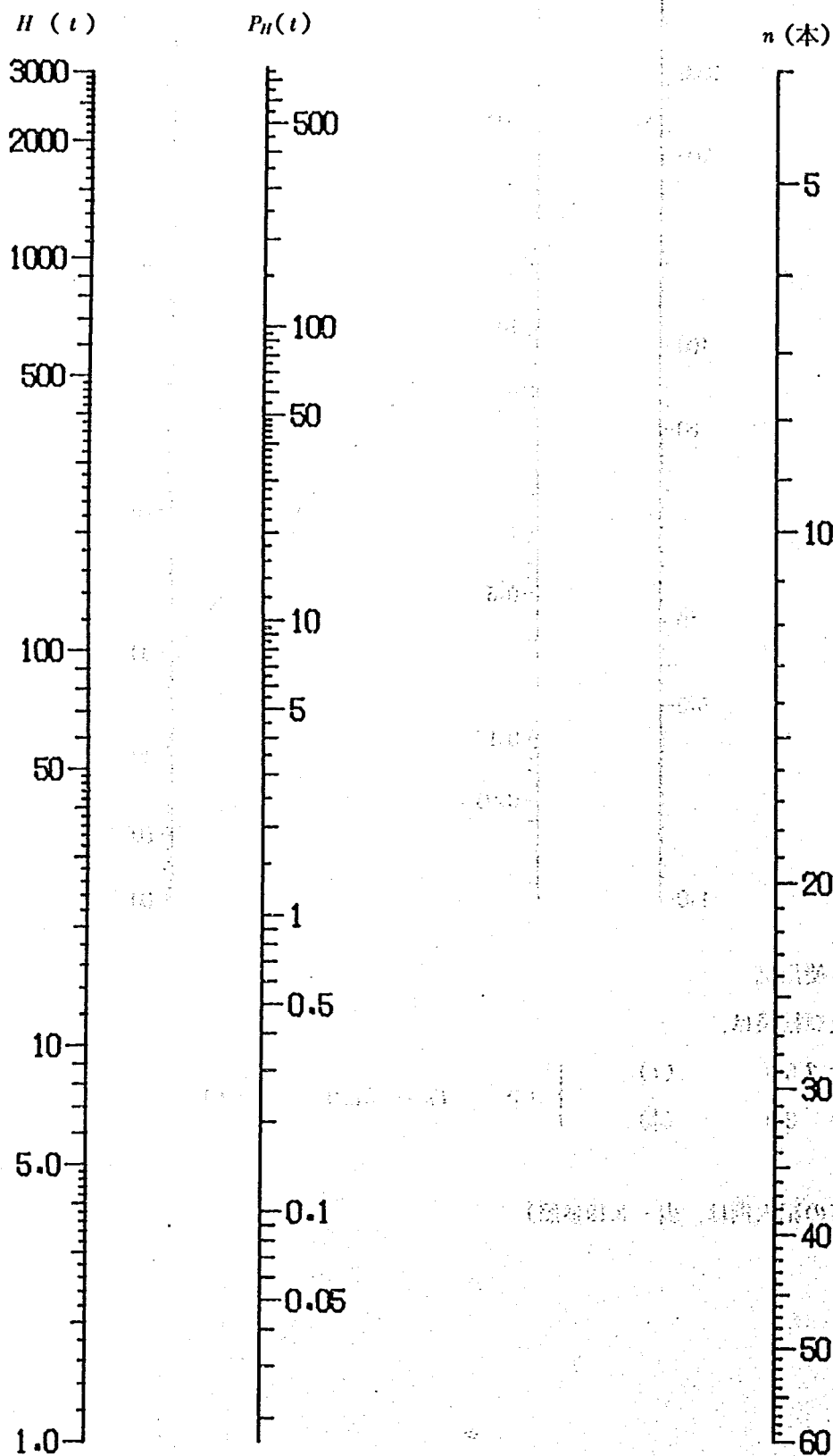
$$\left. \begin{array}{ll} H = 750 & (t) \\ n = 30 & (\text{本}) \end{array} \right\} \Rightarrow P_H = 25.0 \quad (t)$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.19参照)

SP-14 くいの軸直角方向力 (P_H) を求めるノモグラム

$$P_H = \frac{H}{n}$$



SP-15 くい頭曲げモーメント (M_t) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、SP-15.1～SP-15.2に分割されており、これらを、一連の流れで操作することにより、くい頭曲げモーメントを求めるものである。

SP-15.1

M	: 曲げモーメント	($t \cdot m$)
n	: くい本数	(本)

→ T_8

SP-15.2

K_V	: くいの軸方向バネ定数	(t/m)
α	: フーチングの回転角	(rad)
Σx_i^2	: くい群の2次モーメント	(m^2)
n	: くい本数	(本)

→ T_9

以上の値 (T_8, T_9)を用い、くい頭曲げモーメントを次式より求める。

$$M_t = T_8 - T_9$$

なお、ノモグラム作成及び利用上の留意点は次の通りである。

(a) くい配置が対称で鉛直ぐいの場合を対象としている。

2) 計 算 式

$$M_t = \frac{M}{n} - \frac{1}{n} \cdot \alpha \cdot K_V \cdot \Sigma x_i^2 = T_8 - T_9$$

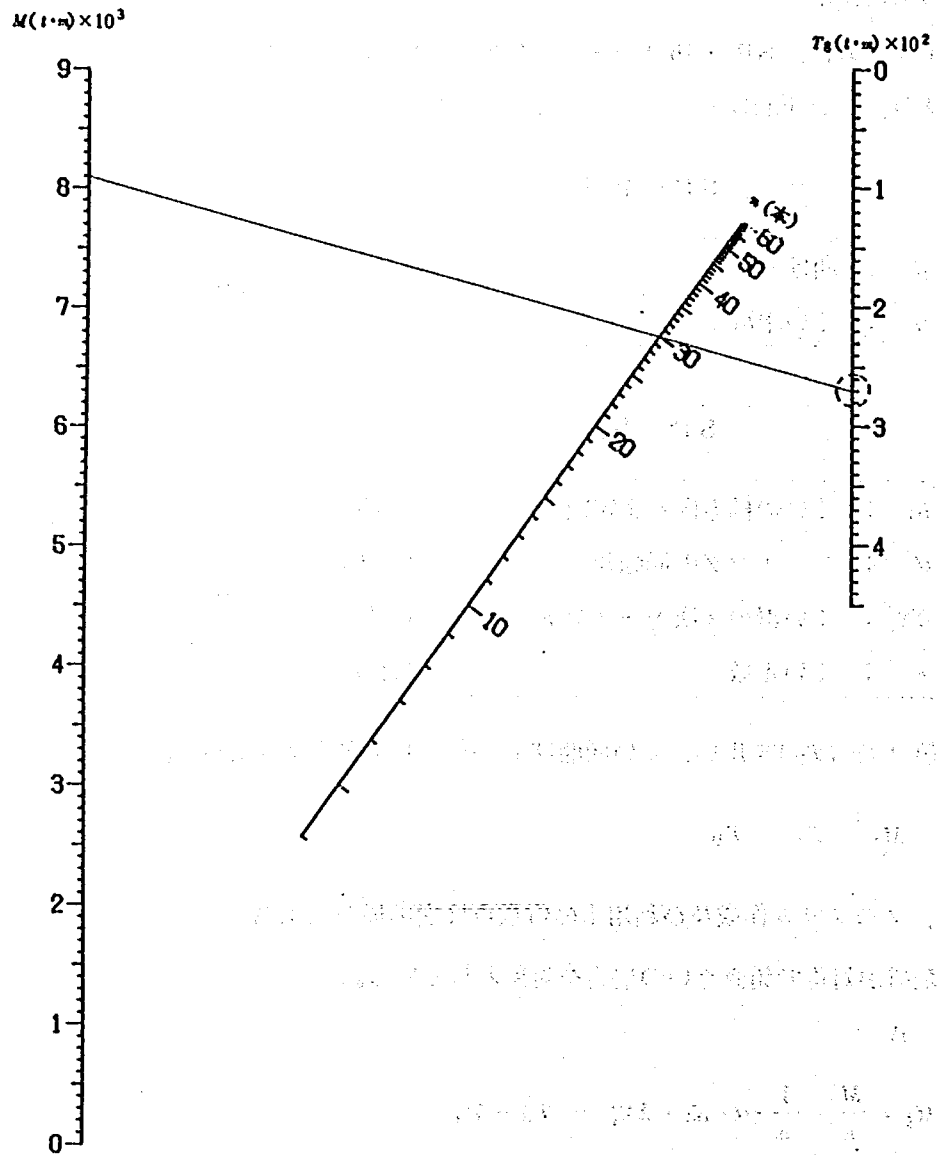
ここに M_t : くい頭曲げモーメント ($t \cdot m$)

3) ノモグラムの見方

SP-15.1

- ① 左軸に M を取り斜面軸に n を取る。
- ② 両点を結びその延長上の T_8 軸との交点を読み取る。

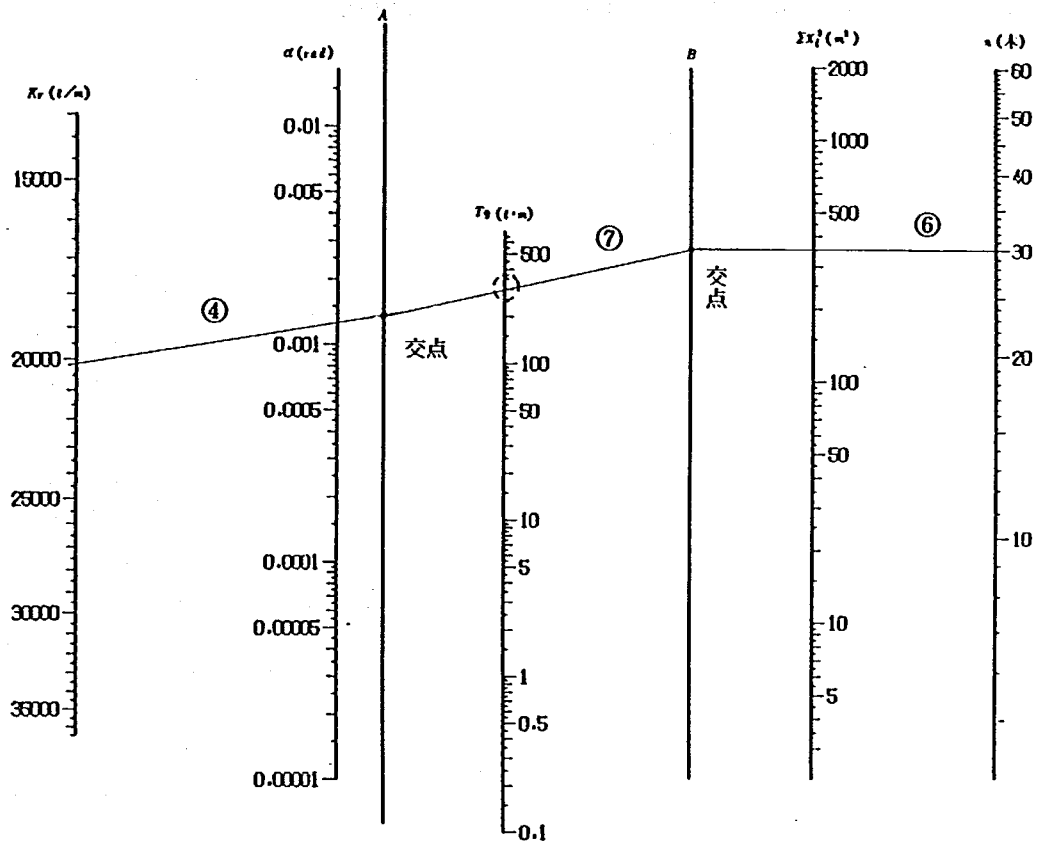
SP-15.1 くい頭曲げモーメント (M_t) を求めるノグラム
(T_9 を求める場合)



SP-15.2

- ③ K_V 軸に K_V を, α 軸に α の値を取る。
- ④ 両点を結び, A 軸まで延長させてその交点を取る。
- ⑤ n 軸に n を, Σx_i^2 軸に Σx_i^2 の値を取る。
- ⑥ 両点を結び, B 軸まで延長させその交点を取る。
- ⑦ ④と⑥の両点を結び中軸との交点 T_9 の値を読み取る。

SP-15.2 くい頭曲げモーメント (M_t) を求めるノグラム
(T_9 を求める場合)



T_8, T_9 が求まったら、次式によりくい頭曲げモーメントを求める。

$$M_t = T_8 - T_9$$

4) ノグラム使用例

照査条件及び結果は次の通りである。

SP-15.1

$$\left. \begin{array}{ll} M = 8100 & (t \cdot m) \\ n = 30 & (\text{本}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_8 = 270 \quad (t \cdot m)$$

SP-15.2

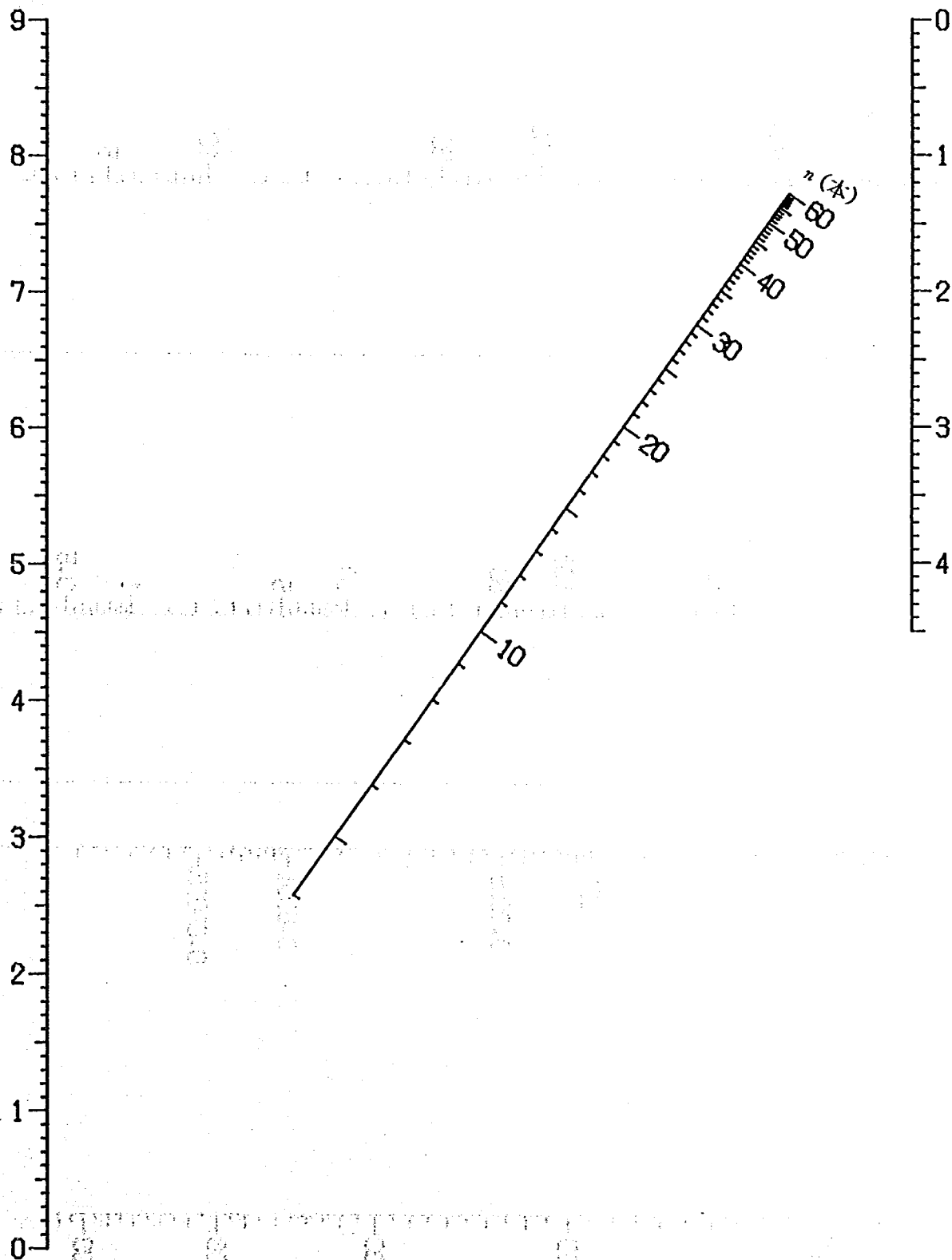
$$\left. \begin{array}{ll} K_v = 20250 & (t/m) \\ \alpha = 0.00128 & (rad) \\ \sum x_i^2 = 350 & (m^2) \\ n = 30 & (\text{本}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_9 = 290 \quad (t \cdot m)$$

SP-15.1 くい頭曲げモーメント (M_t) を求めるノグラム
(T_8 を求める場合)

$$T_8 = \frac{M}{n}$$

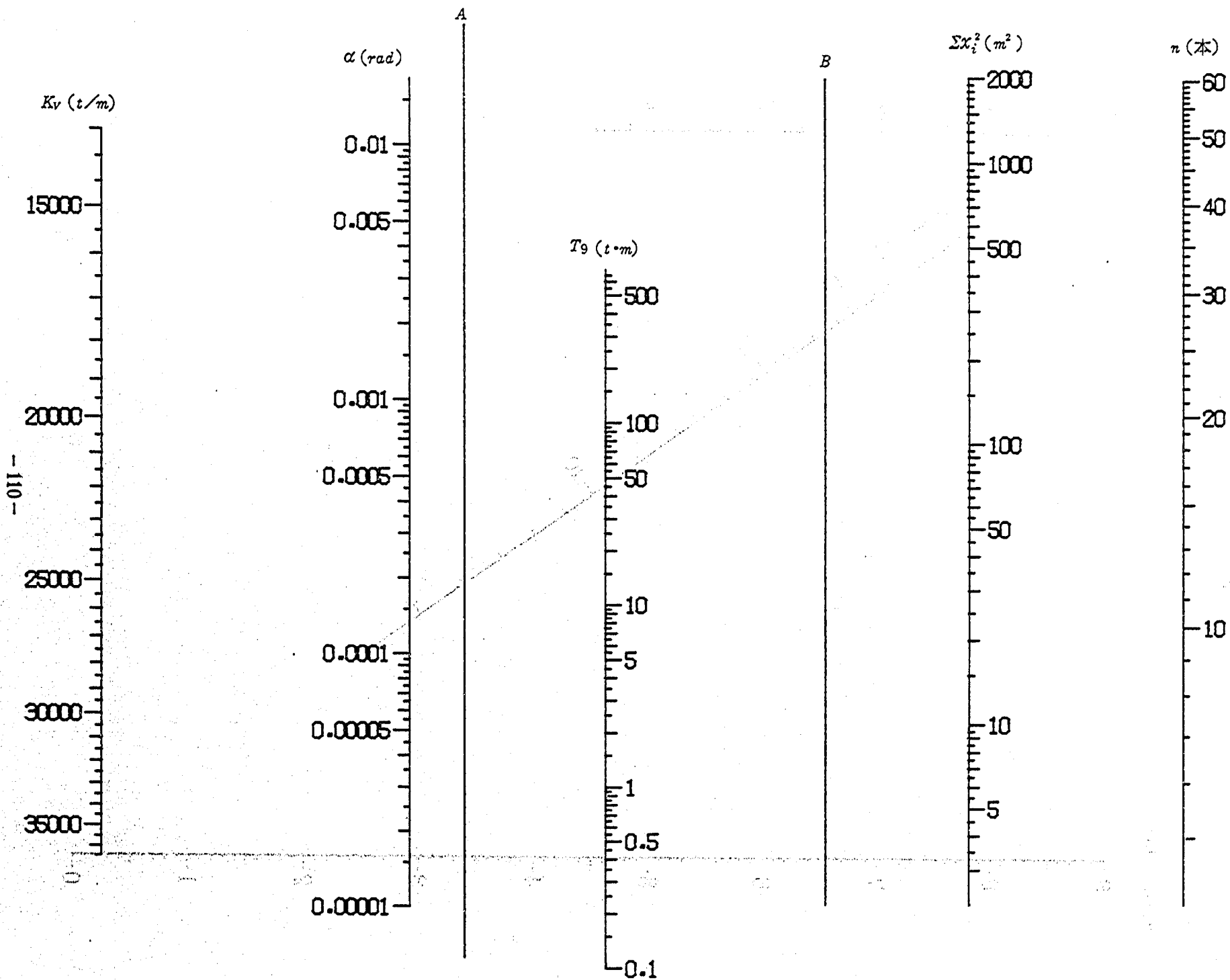
$M(t \cdot m) \times 10^3$

$T_8(t \cdot m) \times 10^2$



SP-15.2 くい頭曲げモーメント (Mt) を求めるノグラム
(T₀を求める場合)

$$T_0 = \frac{1}{n} \cdot \alpha \cdot K_v \cdot \sum x_i^2$$



SP-16 くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるためのノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くい頭ヒンジ地中部曲げモーメントを各々の条件 (H, β, x) を用いて求めるものである。

H : くいに働く水平力	(t)	$\rightarrow M$
β : くいの特性値	(m^{-1})	
x : くい頭から求める深さまでの距離	(m)	

なお、ノモグラム作成及び利用上の留意点は次の通りである。

- (a) くいは半無限長を対象としている。
- (b) くいは地中に埋め込まれたくいを対象としている。

2) 計 算 式

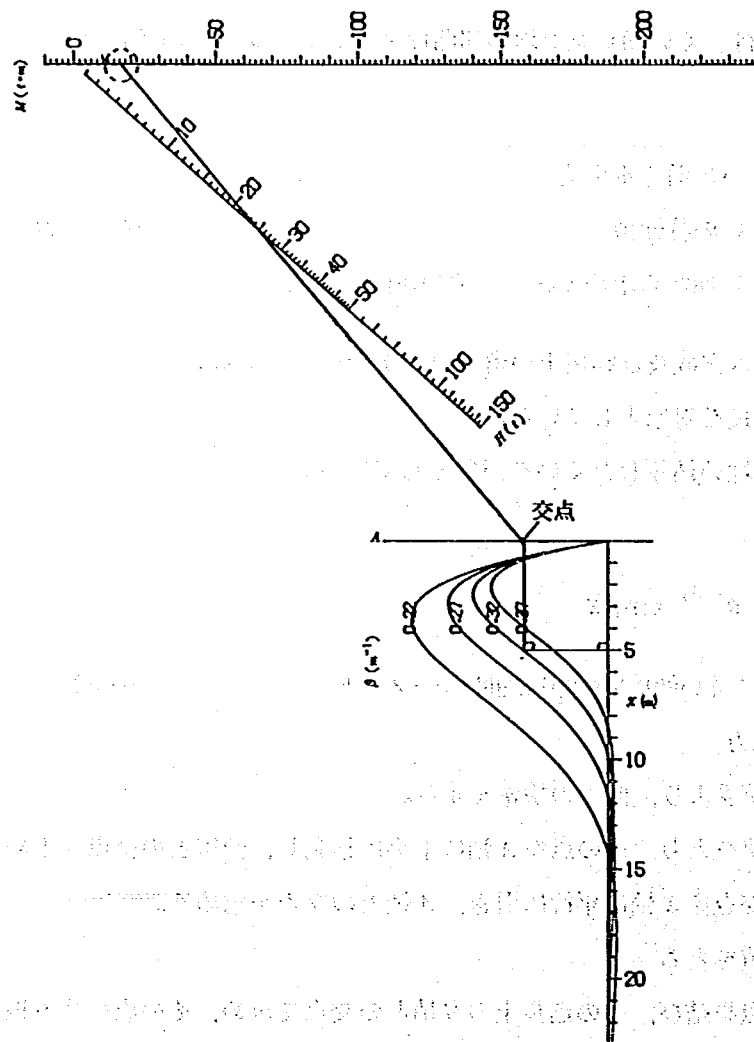
$$M = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \sin \beta x$$

ここに M : くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント ($t \cdot m$)

3) ノモグラムの見方

- ① くいの特性値 β より、曲線の検索をする。
- ② x 軸に x の値をとり、その点を A 軸に水平に移動し、曲線との交点を求める。
- ③ ②で求めた交点を x 軸に平行に引き、 A 軸との交点を求める。
- ④ H 軸に H の値をとる。
- ⑤ ③と④の両点を結び、その延長上の M 軸との交点を求め、その点を読み取る。

SP-16.3 くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
($\beta = 0.22, 0.27, 0.32, 0.37$ の場合)



4) ノモグラムの使用例

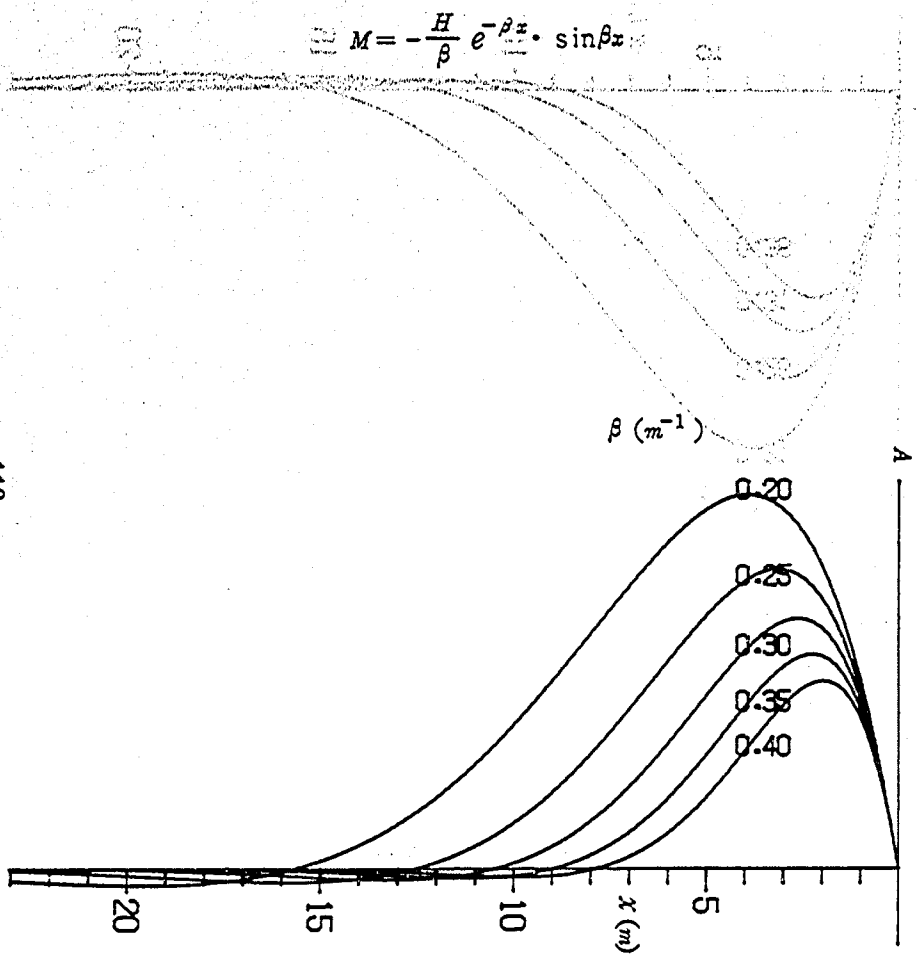
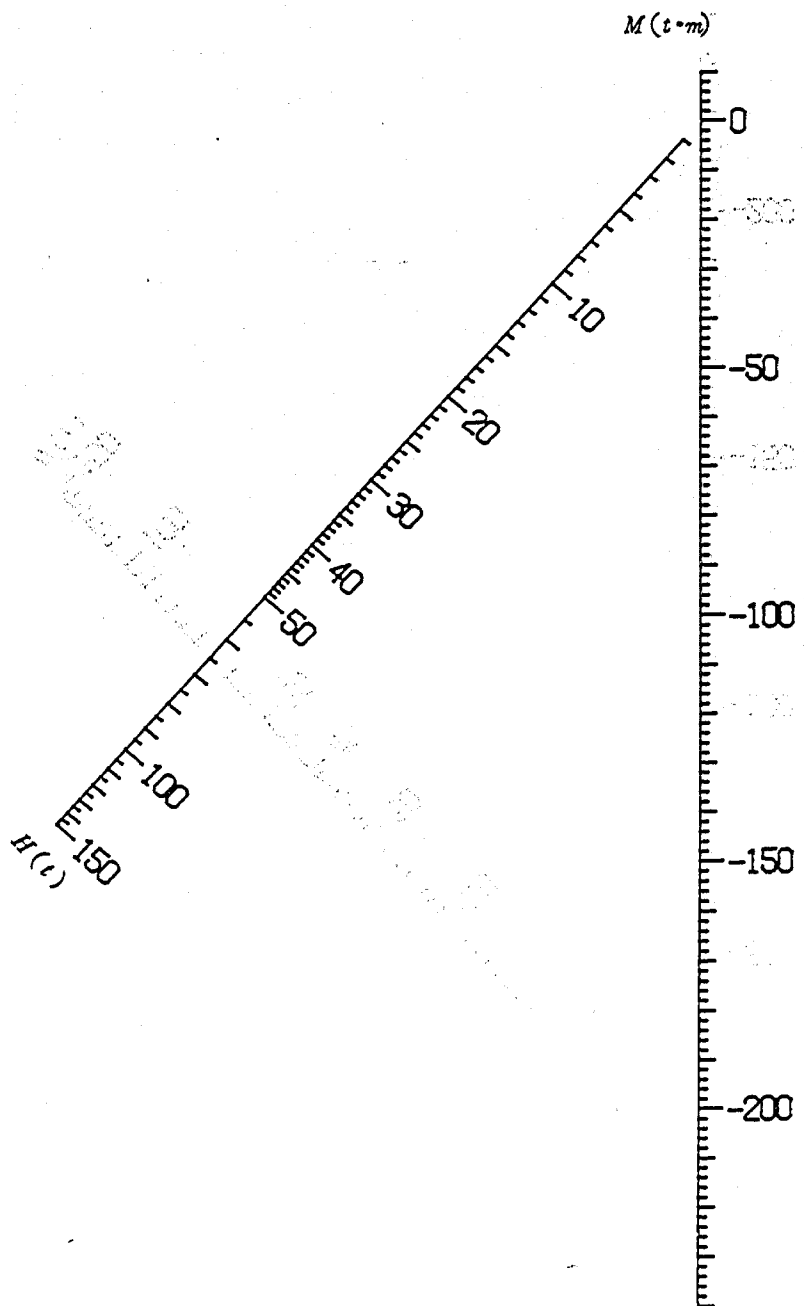
照査条件及びその結果は、次のとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} \beta = 0.320 \quad (m^{-1}) \\ H = 25.0 \quad (t) \\ x = 5.0 \quad (m) \end{array} \right\} \Rightarrow M = -16 \quad t \cdot m$$

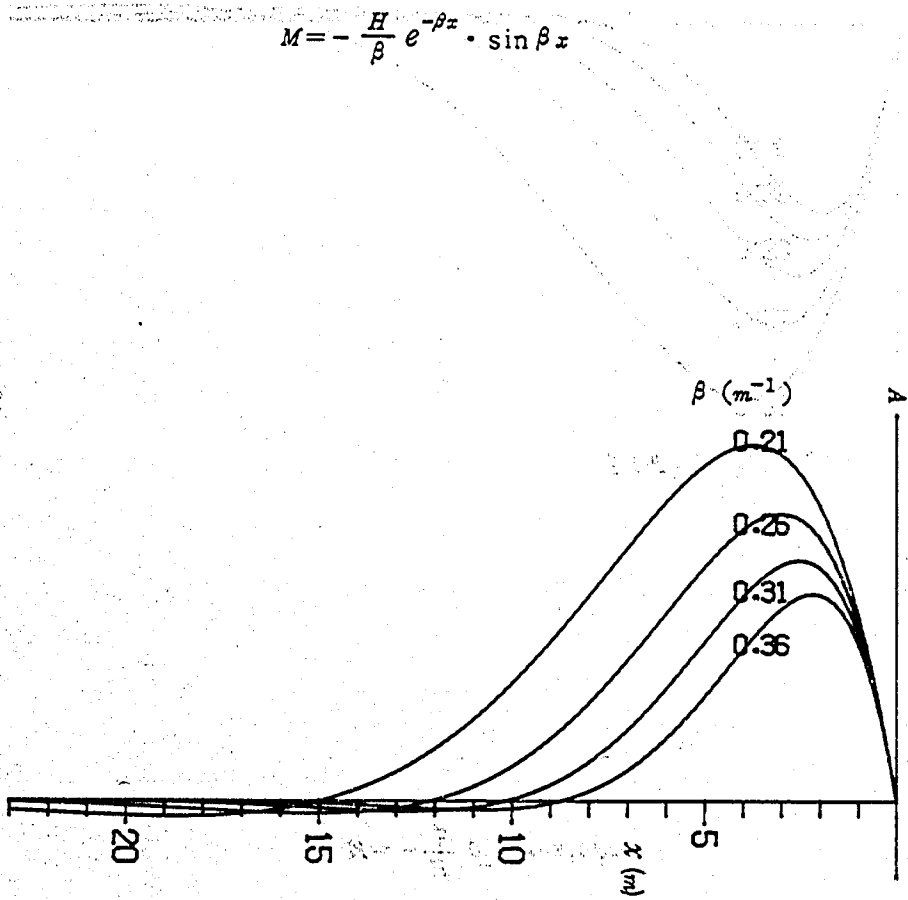
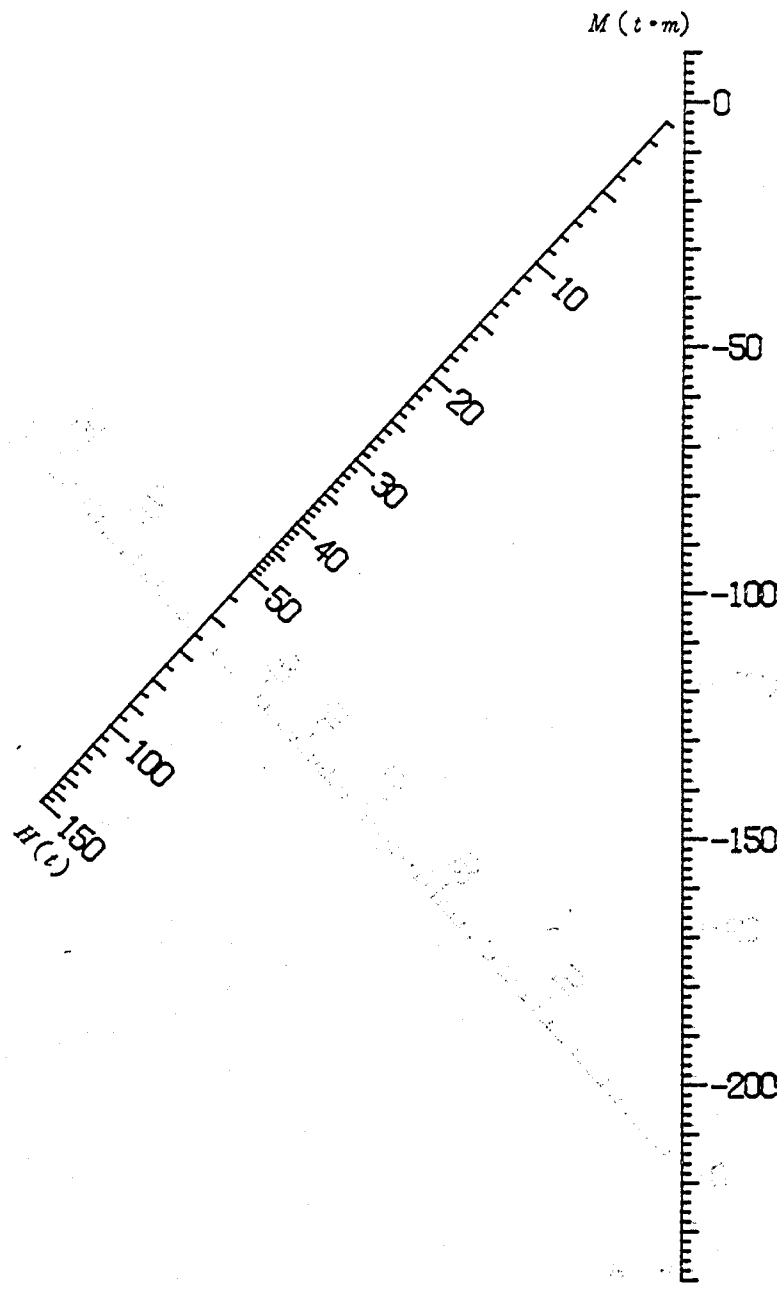
となる。

(集計表の記入例は、表-3.20参照)

SP-16.1 くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40$ の場合)



SP-16.2 くい頭ヒンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.21, 0.26, 0.31, 0.36$ の場合)



$$M = -\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x$$

$\beta (m^{-1})$

0.21

0.26

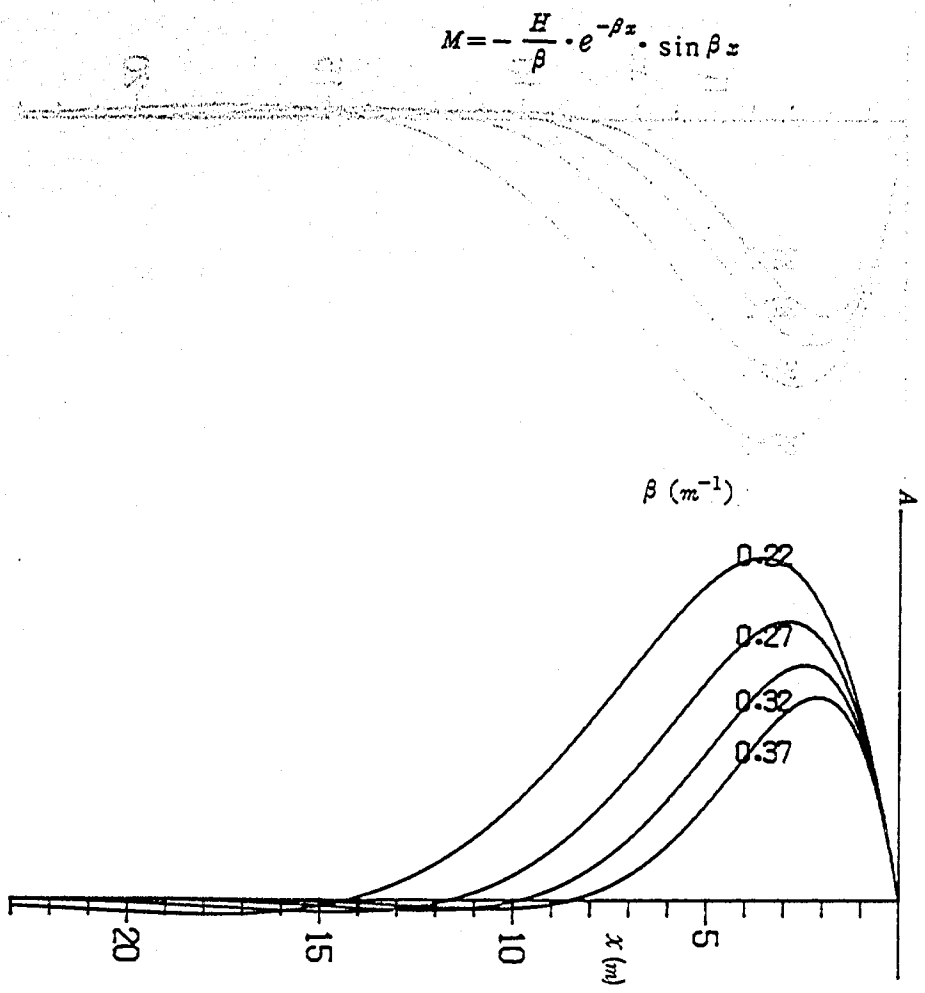
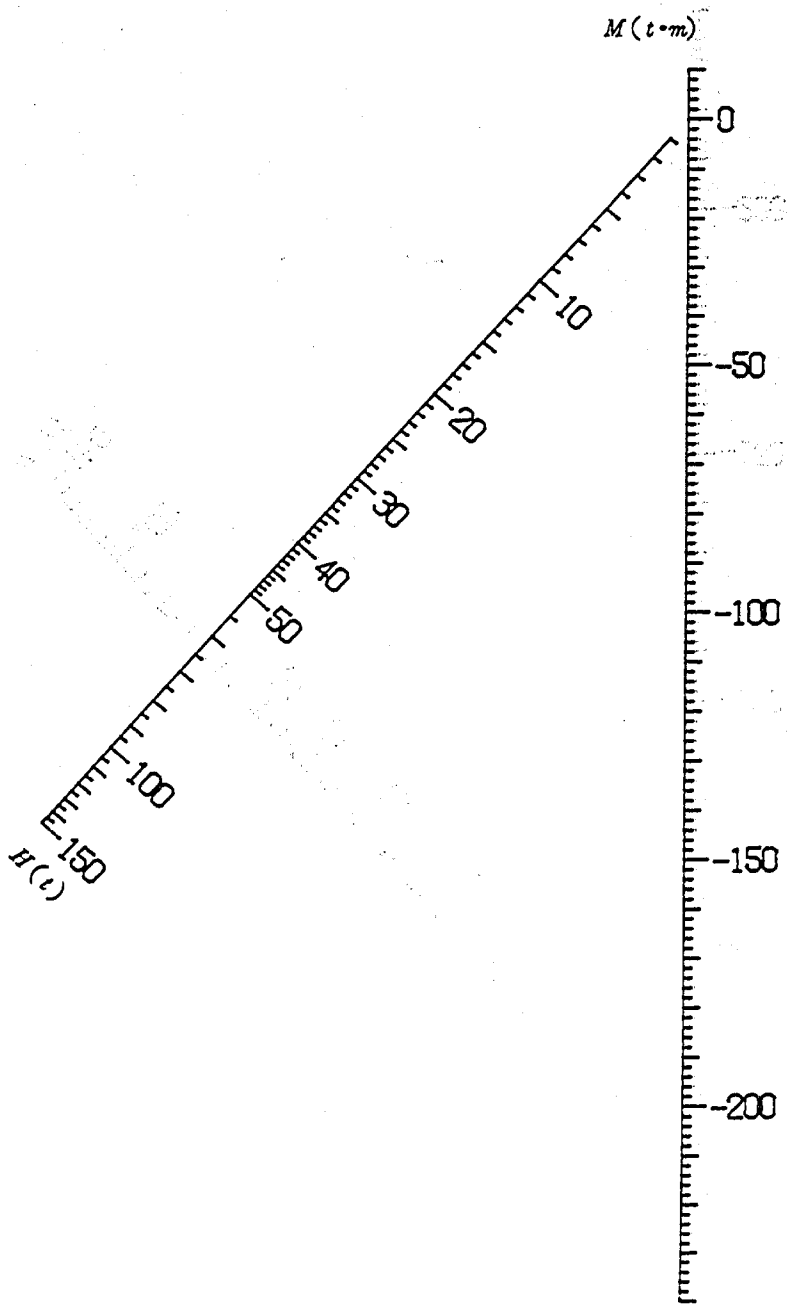
0.31

0.36

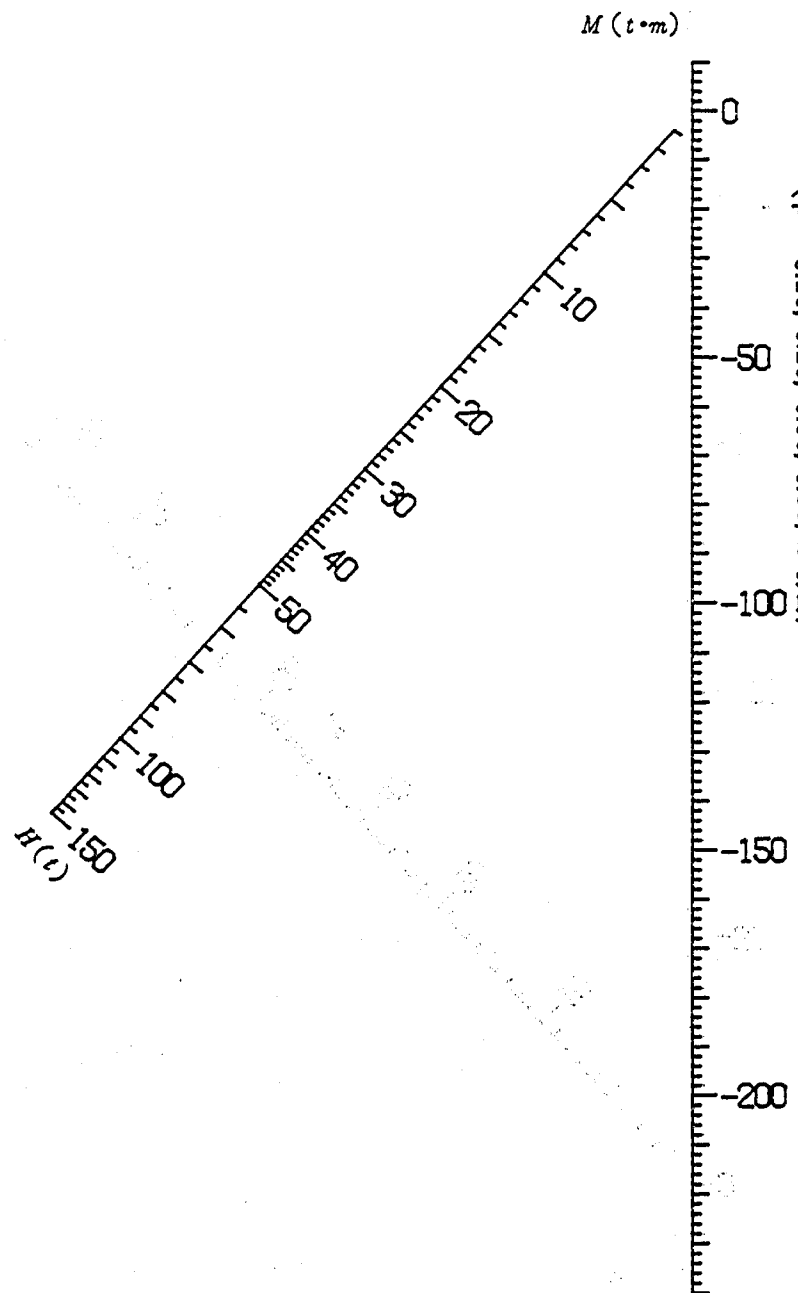
$x (m)$

M

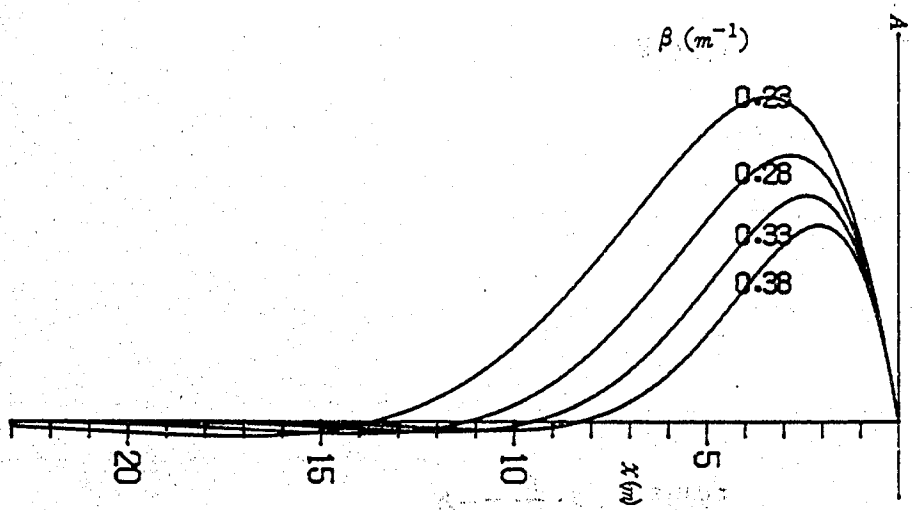
SP-16.3 くい頭ヒンジ地中曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 (β = 0.22, 0.27, 0.32, 0.37, の場合)



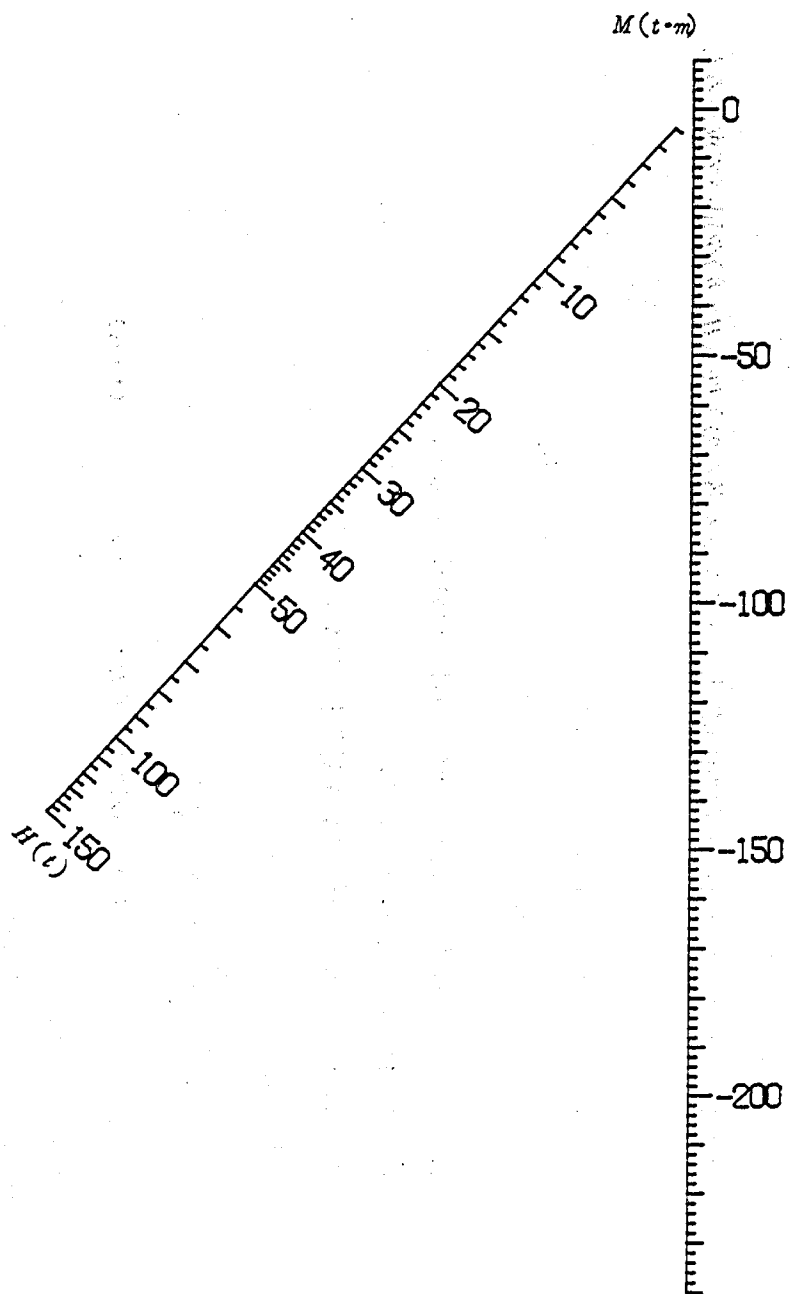
SP-16.4 くい頭ビンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.23, 0.28, 0.33, 0.38$ の場合)



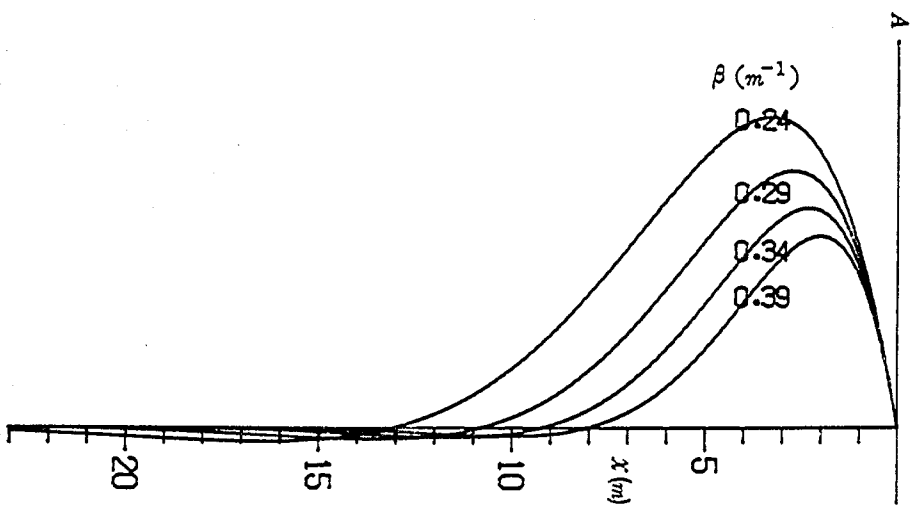
$$M = -\frac{H}{\beta} \cdot e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x$$



SP-16.6 くい頭ピンジ地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.24, 0.29, 0.34, 0.39$ の場合)



$$M = -\frac{H}{\beta} \cdot e^{-\beta x} \cdot \sin \beta x$$



SP-17 くい頭ヒンジ地中部最大モーメント (M_m) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くい頭ヒンジ地中部最大モーメントを各々の条件 ($H \cdot \beta$) を用いて求めるものである。

H : くいに働く水平力 (t) β : くいの特性値 (m^{-1})	$\Rightarrow$	M_m
---	---------------	-------

なお、ノモグラム作成及び利用上の留意点は、次の通りである。

- (a) くいは半無限長を対象としている。
- (b) くいは地中に埋め込まれたくいを対象としている。

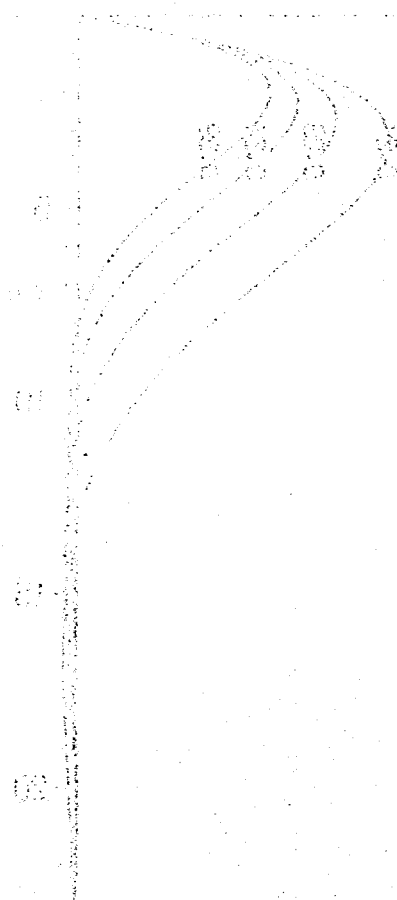
2) 計 算 式

$$-M_m = \frac{H}{\sqrt{2} \beta} \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4}\right)$$

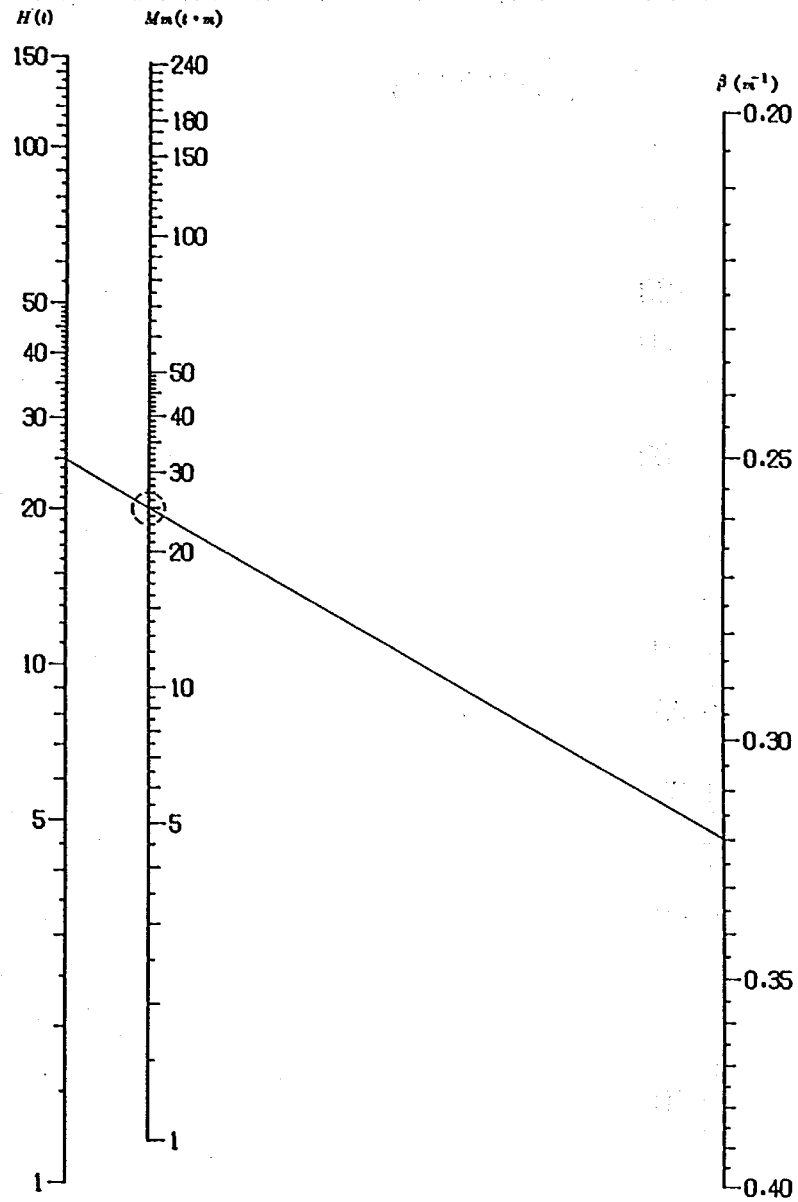
ここに M_m : くい頭ヒンジ地中部最大モーメント ($t \cdot m$)

3) ノモグラムの見方

- ① 左軸に H を、右軸に β をとる。
- ② 両点を結び M_m 軸との交点を求め、その点を読み取る。



SP-17 くい頭ヒンジ地中最大モーメント (M_m) を求めるノモグラム



4) ノモグラムの使用例

照査条件及びその結果は、次のとおりである。

$$\left. \begin{array}{l} H = 25 \\ \beta = 0.320 \end{array} \right\} \begin{array}{l} t \\ m^{-1} \end{array} \Rightarrow M_m = -25 \quad t \cdot m$$

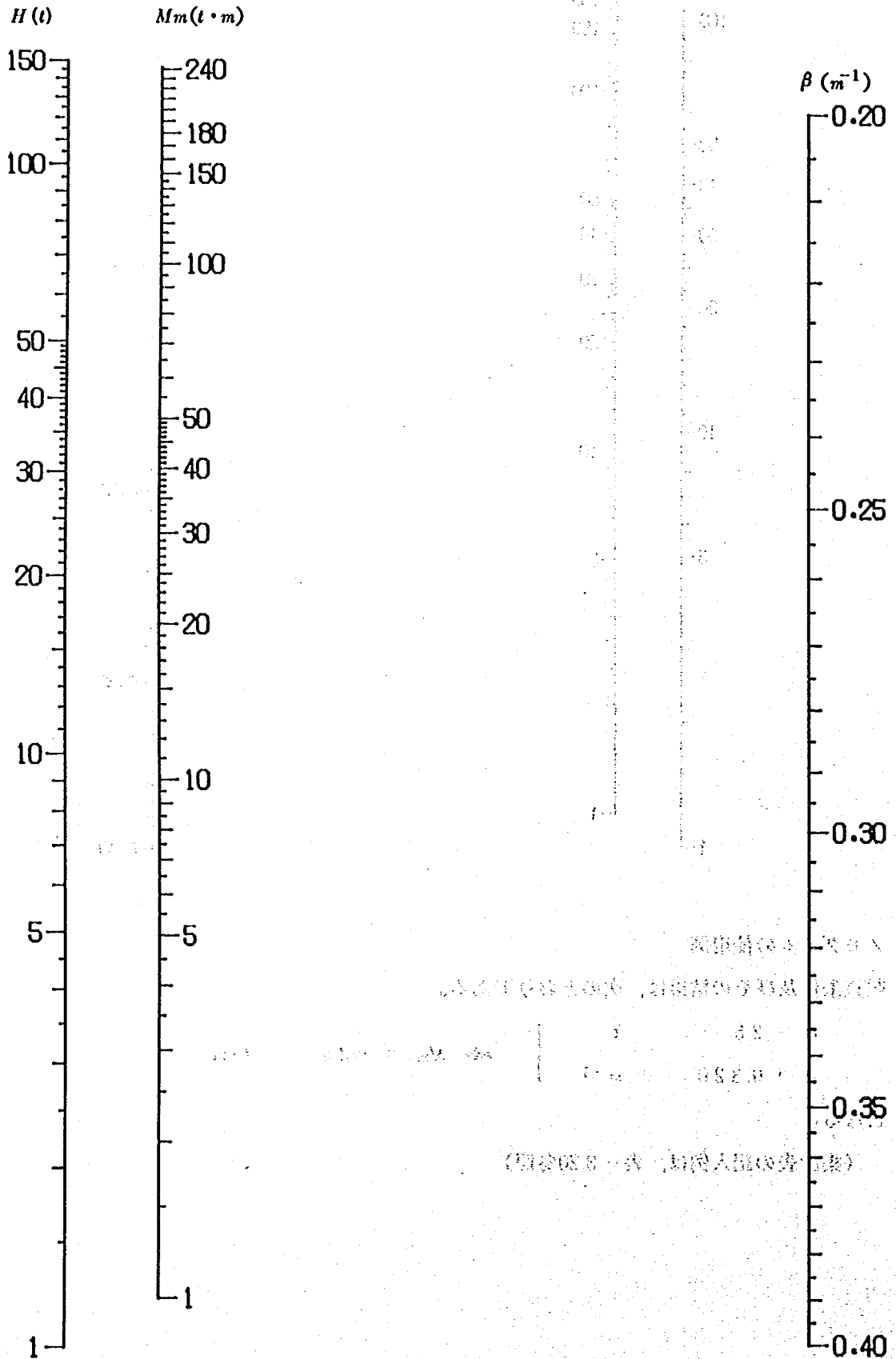
となる。

(集計表の記入例は、表-3.20参照)

SP-17

くい頭ヒンジ地中部最大モーメント (Mm) を求めるノモグラム

$$-M_m = \frac{H}{\sqrt{2} \cdot \beta} \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4}\right)$$



SP-18 くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くい頭剛結地中部曲げモーメントを各々の条件 (H, β, x) を用いて求めるものである。

H : くいに働く水平力	(t)	$\Rightarrow M$
β : くいの特性値	(m^{-1})	
x : くい頭から求める深さまでの距離	(m)	

なお、ノモグラム作成及び利用上の留意点は次の通りである。

- (a) くいは半無限長を対象としている。
- (b) くいは地中に埋め込まれたくいを対象としている。

2) 計 算 式

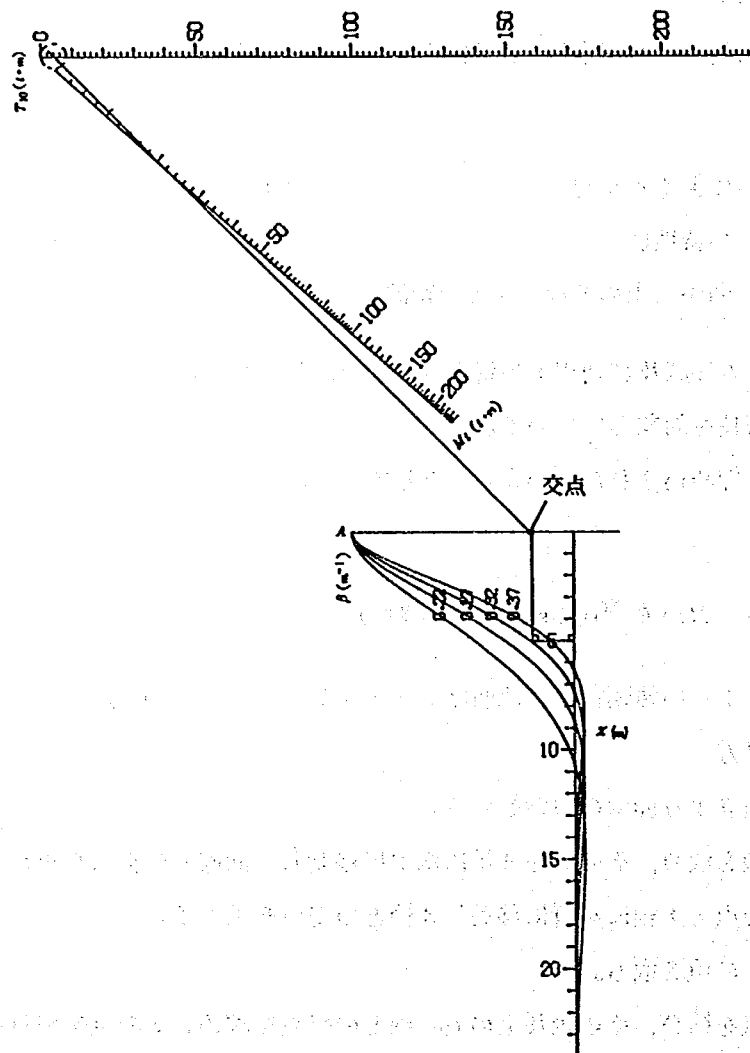
$$M(T_{10}) = M_t \cdot e^{-\beta x} \cdot (\cos \beta x + \sin \beta x)$$

ここに M : くい頭剛結地中部曲げモーメント ($t \cdot m$)

3) ノモグラムの見方

- ① くいの特性値 β より曲線の検索をする。
- ② x 軸に x の値を取り、その点を A 軸に水平に移動し、曲線との交点を求める。
- ③ ②で求めた交点を x 軸に平行に移動し A 軸との交点を求める。
- ④ M_t 軸に M_t の値を取る。
- ⑤ ③と④の両点を結び、その延長上の T_{10} 軸との交点を求め、その点を読み取る。

SP-18.3 くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
($\beta = 0.22, 0.27, 0.32, 0.37$ の場合)



4) ノモグラムの使用例

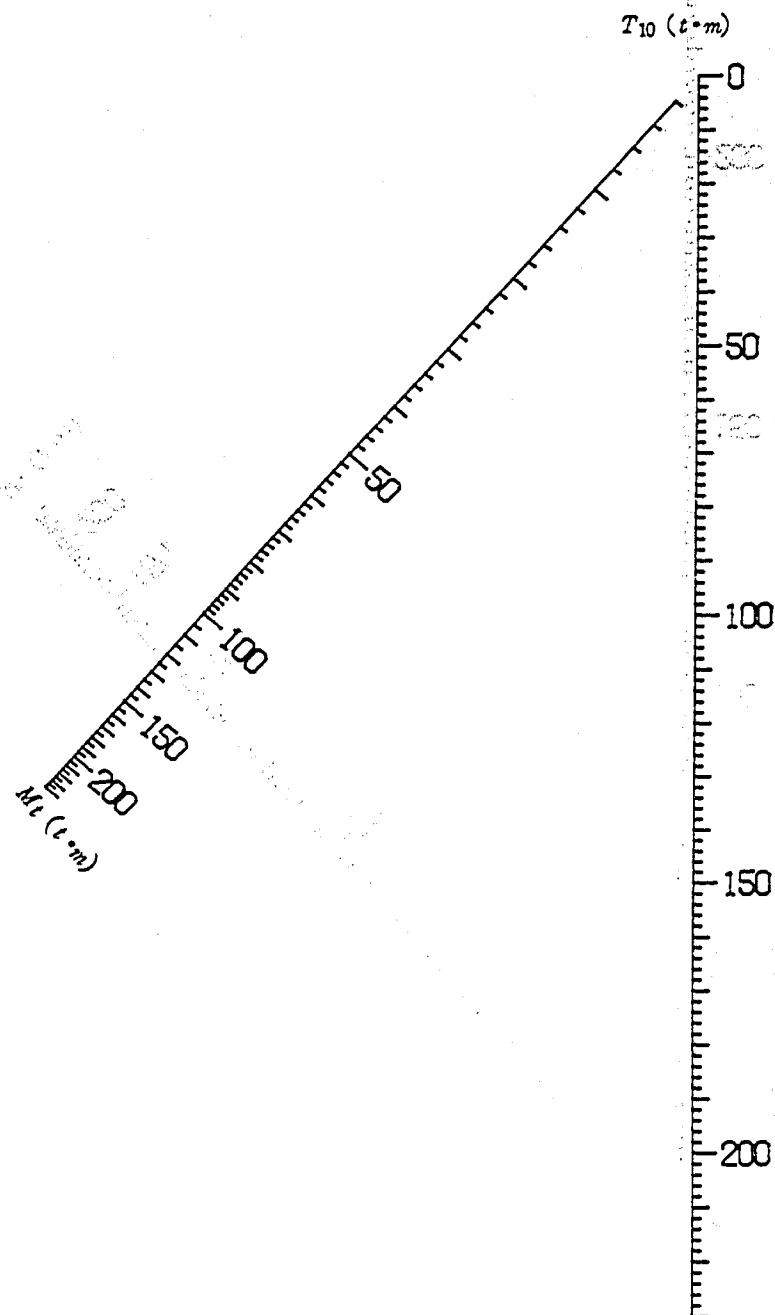
照査条件及び結果は次の通りである。

$$\left. \begin{array}{ll} \beta = 0.32 & (m^{-1}) \\ M_t = -23.0 & (t \cdot m) \\ x = 5.0 & (m) \end{array} \right\} \Rightarrow M(T_{10}) = -4.5 \quad (t \cdot m)$$

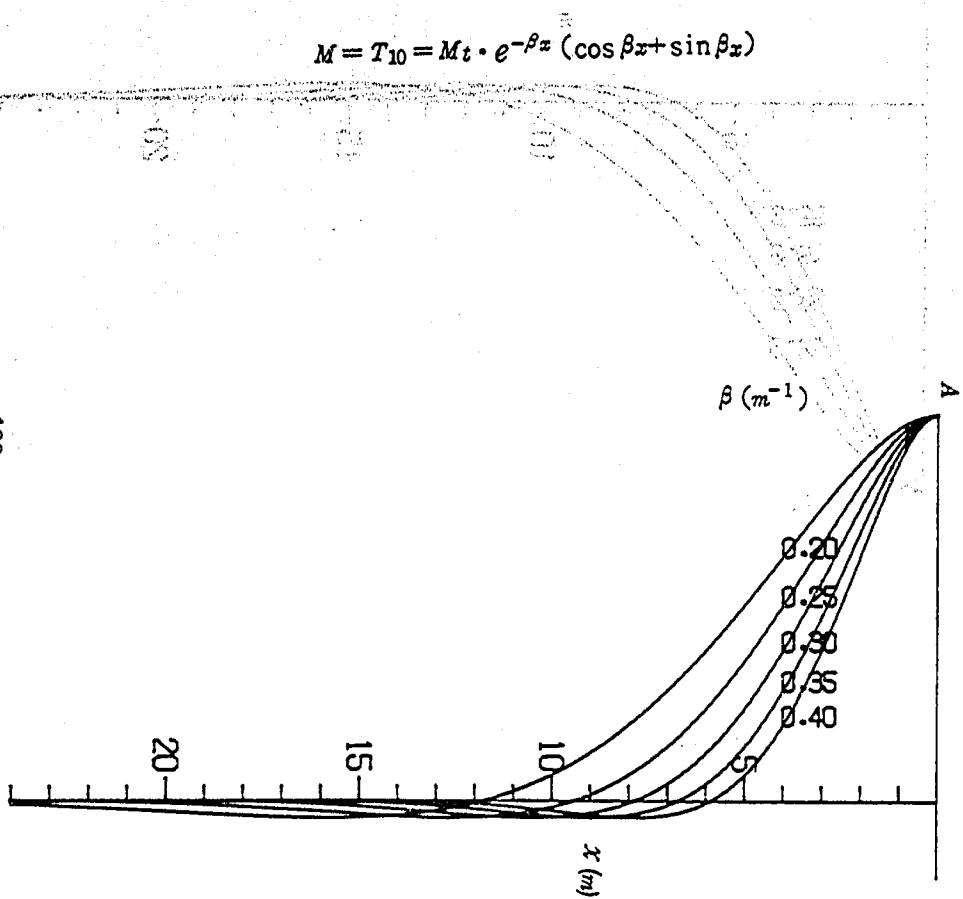
となる。

(集計表の記入例は、表-3.20参照)

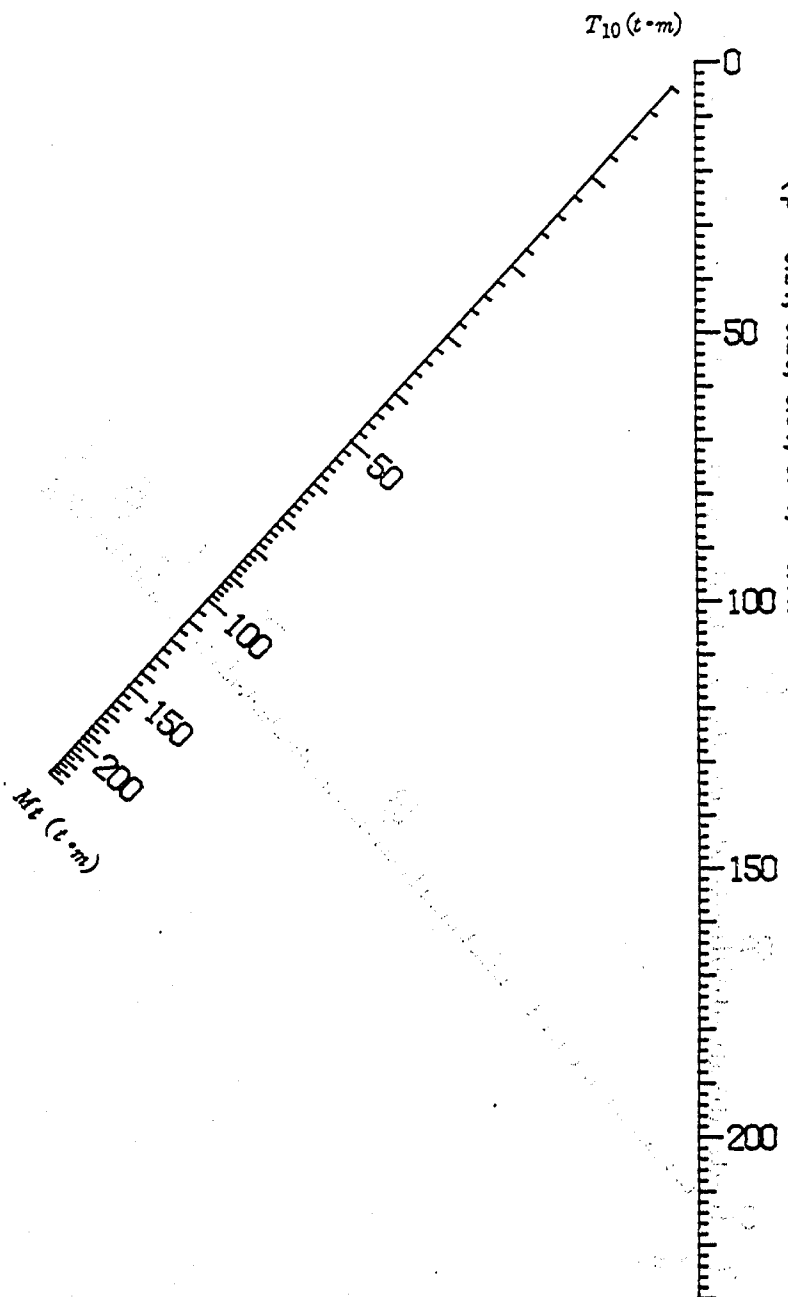
SP-18.1 くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40$ の場合)



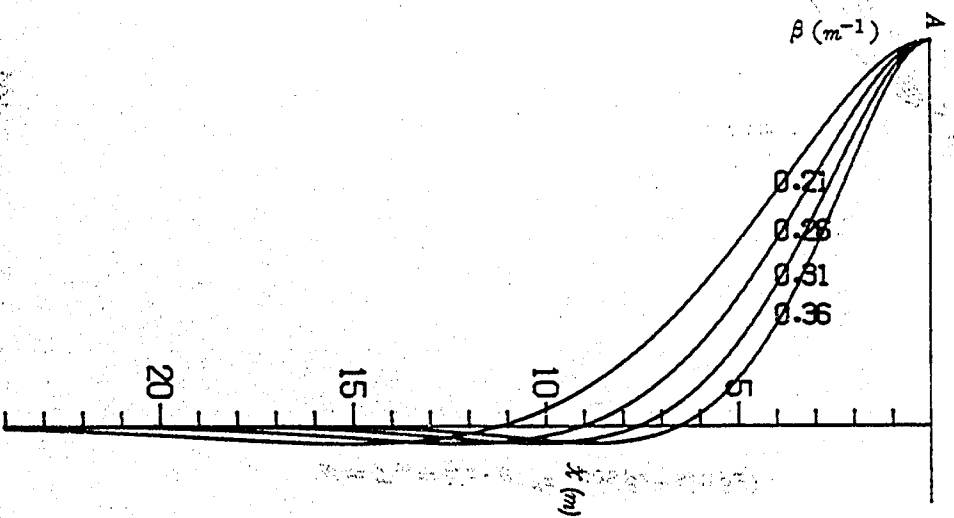
$$M = T_{10} = M_t \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$



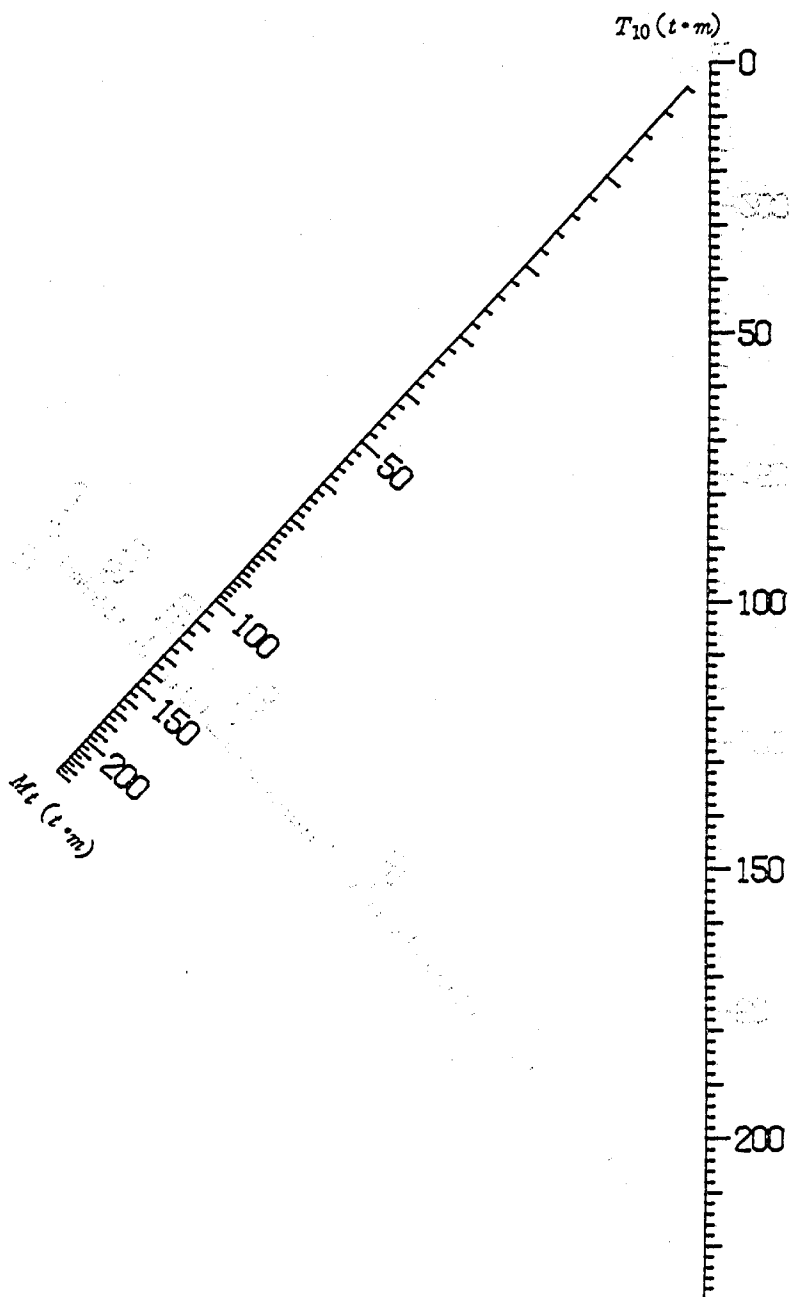
SP-18.2 <い頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
($\beta = 0.21, 0.26, 0.31, 0.36$ の場合)



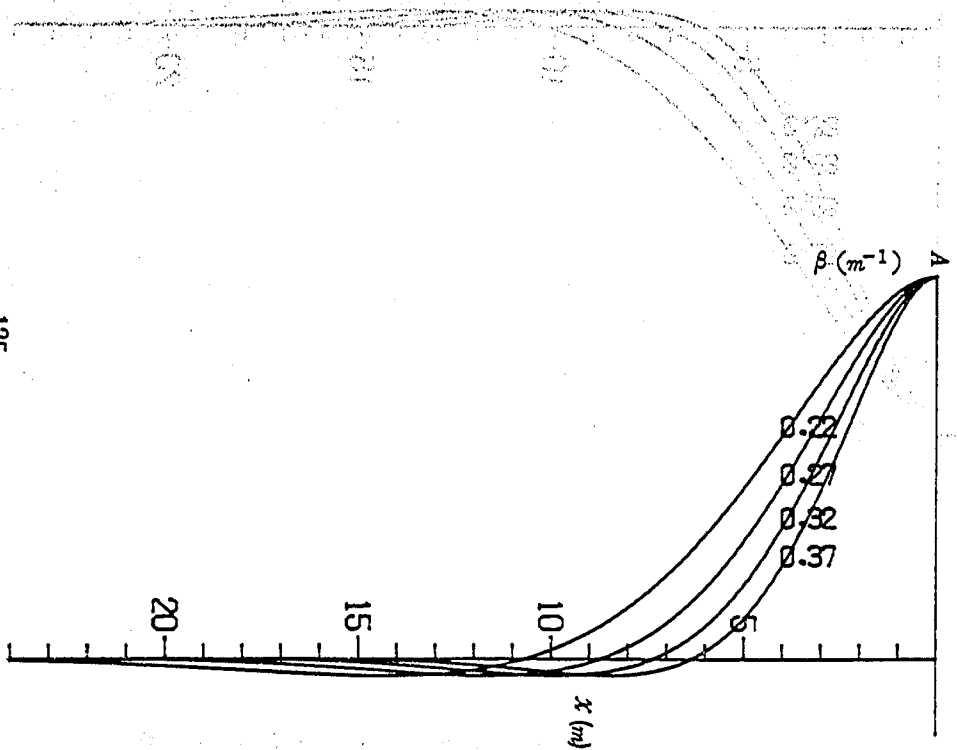
$$M = T_{10} = M_t \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$



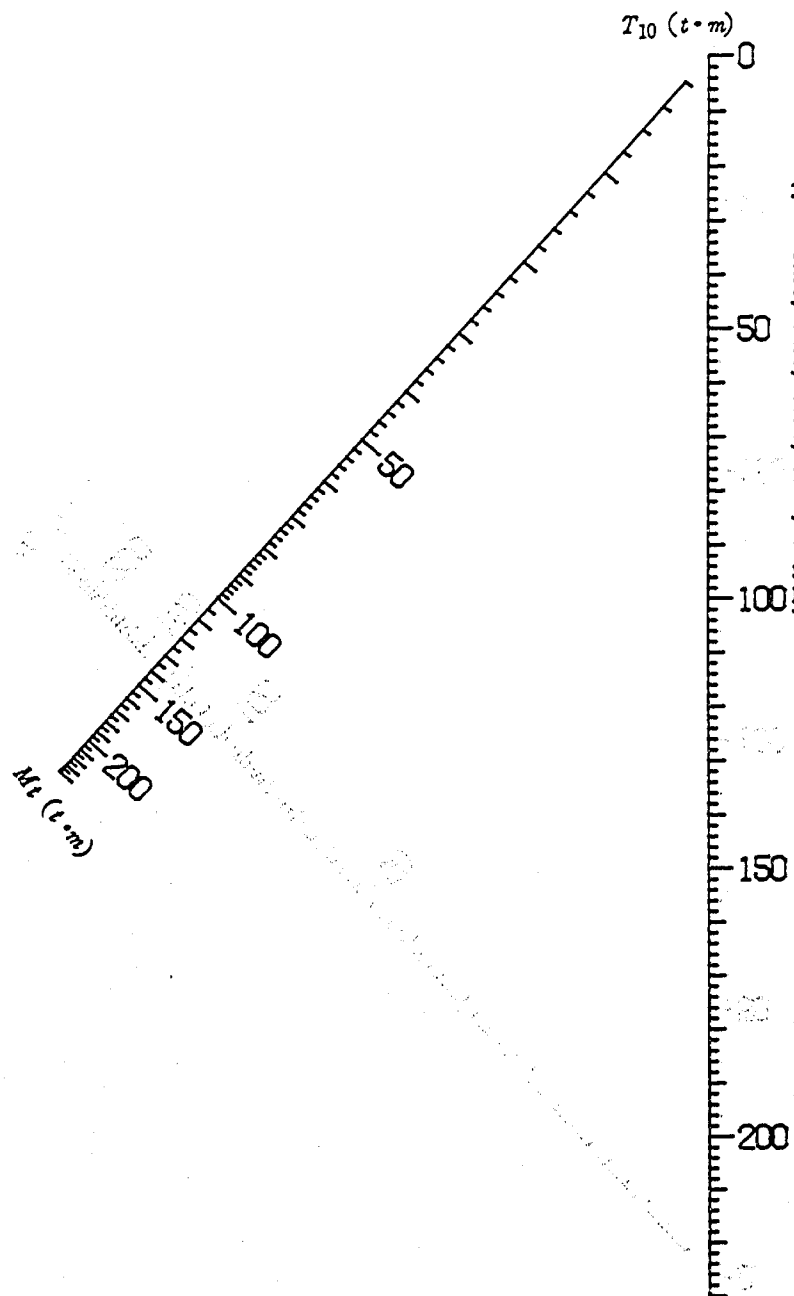
SP-18.3 くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.22, 0.27, 0.32, 0.37$ の場合)



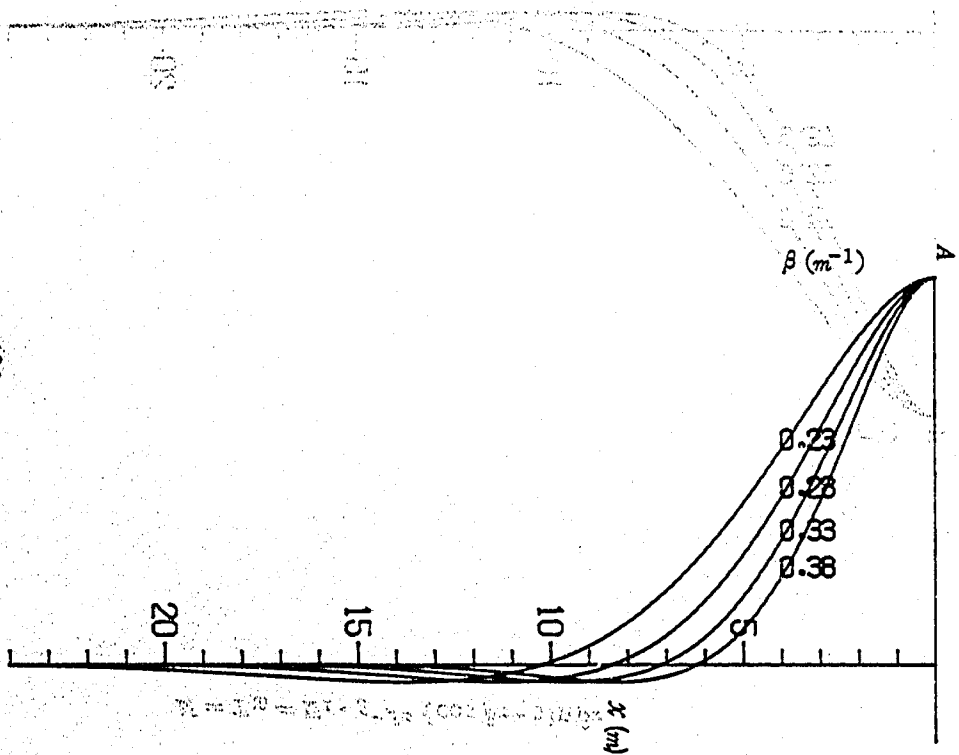
$$M = T_{10} = M_t \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$



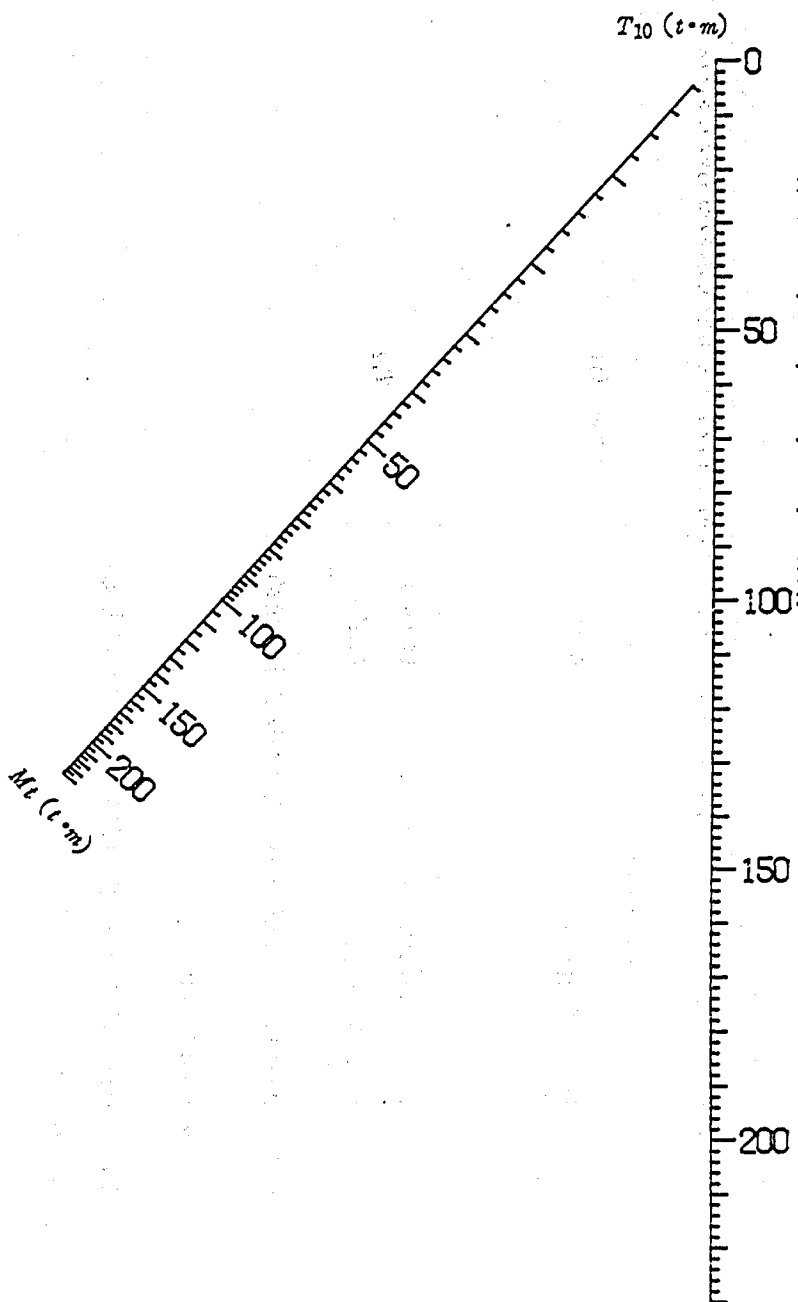
SP-18.4 くい頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
 ($\beta = 0.23, 0.28, 0.33, 0.38$ の場合)



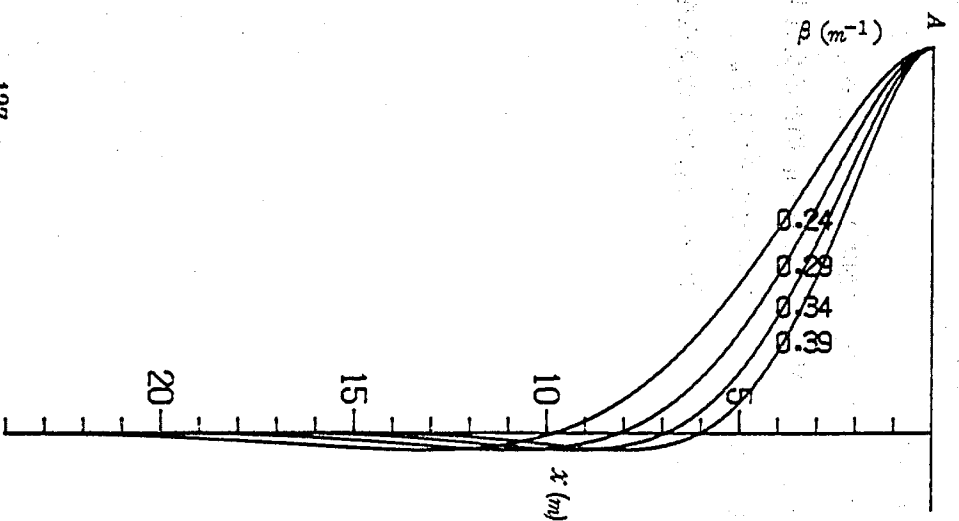
$$M = T_{10} = Mt \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$



SP-18.5 <い頭剛結地中部曲げモーメント (M) を求めるノモグラム
($\beta = 0.24, 0.29, 0.34, 0.39$ の場合)



$$M = T_{10} = Mt \cdot e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$



SP-19 くい本体の応力度 (σ) を求めるノモグラム

1) ノモグラムの説明

このノモグラムは、くい本体の応力を各々の条件 (N, A_P, M, Z_P) を用いて求めるものである。

N : くいに働く軸力	(t)
A_P : 純断面積	(cm^2)

$\Rightarrow T_{11}$

M : くいに働くモーメント	($t \cdot m$)
Z_P : 断面係数	(cm^3)

$\Rightarrow T_{12}$

以上の値を用い、くい本体の応力度を次式より求める。

$$\sigma = T_{11} \pm T_{12}$$

T_{12} 側の符号は σ の絶対値が大きくなるようにとる。

2) 計 算 式

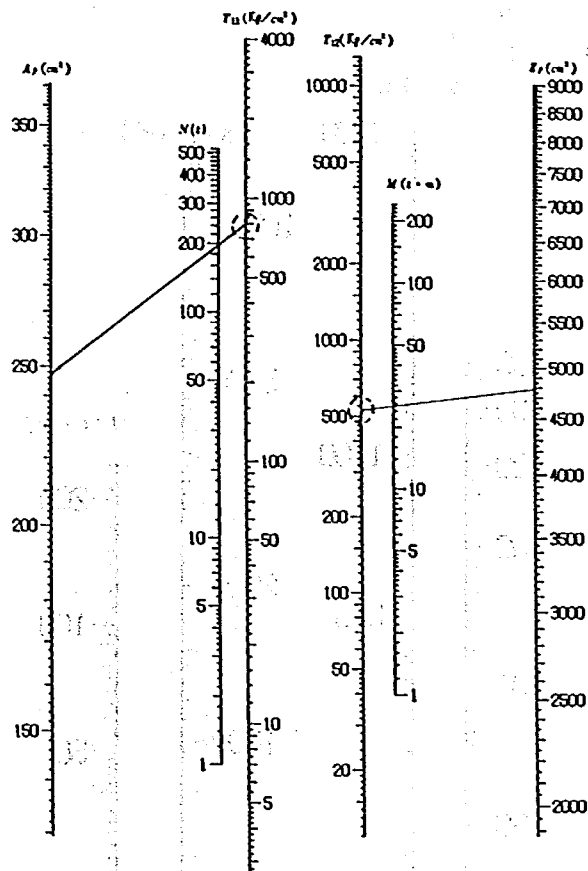
$$\sigma = \frac{N}{A_P} \pm \frac{M}{Z_P} = T_{11} \pm T_{12}$$

ここに σ : 応力度 Kg/cm^2

3) ノモグラムの見方

- ① A_P 軸に A_P の値を、 N 軸に N の値をとる。
- ② 両点を結び、その延長上に存る T_{11} 軸との交点を求め、その点を読み取る。
- ③ Z_P 軸に Z_P の値を、 M 軸に M の値をとる。
- ④ 両点を結び、その延長上に存る T_{12} 軸との交点を求め、その点を読み取る。

SP-19 くい本体の応力度 (σ) を求めるノモグラム



次式により、くい本体の応力度を求める。

$$\sigma = T_{11} \pm T_{12}$$

4) ノモグラムの使用例

照査条件及びその結果は、次の通りである。

$$\left. \begin{array}{ll} N = 196 & (t) \\ A_P = 247 & (cm^2) \end{array} \right\} \Rightarrow T_{11} = 790 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left. \begin{array}{ll} M = -25 & (t \cdot m) \\ Z_P = 4790 & (cm^2) \end{array} \right\} \Rightarrow T_{12} = -520 \text{ kg/cm}^2$$

よって

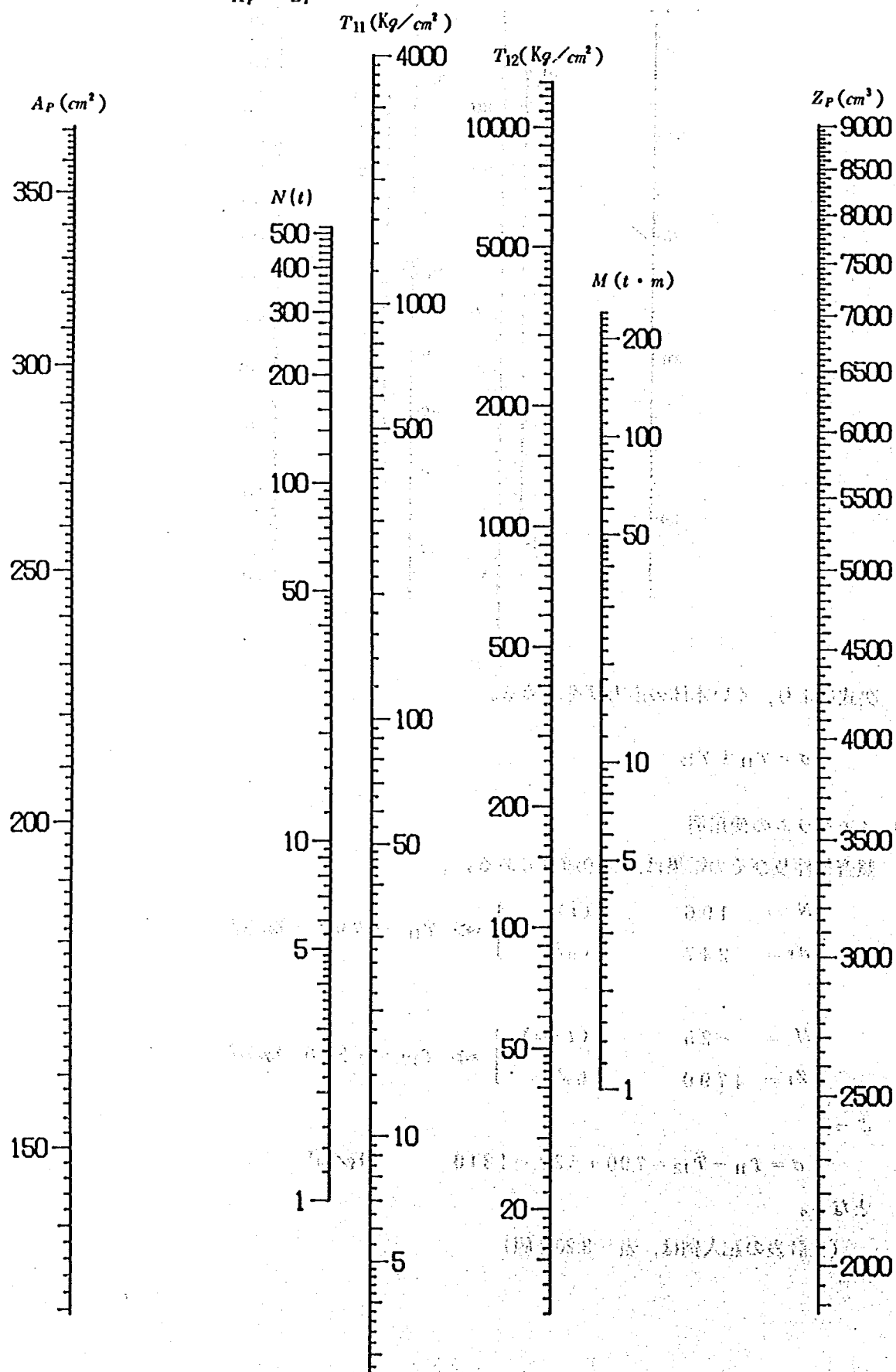
$$\sigma = T_{11} - T_{12} = 790 + 520 = 1310 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

(集計表の記入例は、表-3.20参照)

SP-19 くい本体の応力度 (σ) を求めるノモグラム

$$\sigma = \frac{N}{A_P} \pm \frac{M}{Z_P} = T_{11} \pm T_{12}$$



鋼管ぐいの設計照査システム

土木研究所資料第 2058 号

昭和 59 年 3 月 (1984)

小川敏治, 海江田光正, 工藤真之助,
庵 直, 樋口洋一, 館 敏幸

キーワード くい基礎・鋼管ぐい

要 旨

本資料は鋼管ぐいの設計照査システムについて, その考え方およびノモグラム等を集録したものである。



郵便はがき

40
円切
手
をは
いて
下
さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
企画部システム課 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2058 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印