講座　土質工学における図解法の使い方

3. ノモグラムの原理と実際

木更津工業高等専門学校　飯竹　重夫

3.1 まえがき

ノモグラム（ノモグラフともいう）は技術者であれば，たいていの人が構造物の設計計算などで1度は使ったことはあろうし，その便利さも認識していることと思う。しかし，構造設計などに比べると土質工学の分野ではまだ十分に利用されているとはいえないようである。

ノモグラムは図解法ということで，厳密性に乏しく，概略解しか与えないもののような印象を持たれがちであるが，所定の精度の範囲内では正確に求められる。したがって，このためには目的に応じて所定の精度を持った結果を得ることのできるものを作ることが必要となってくる。

このことから本講座では原理よりも作り方に主眼を置いたが，これを機会にノモグラムを作った経験のない方でも手軽に作って利用してもらいたい。

ノモグラムといえば広義には共線図表だけでなく共点図表も含まれるのであろうが，一般的には共線図表を示していると考えられる。また両者を比較すると，おもに前者のほうが図の作成および使いやすさの点ですぐれている。これらのことから本講座では共点図表については他の書物[1)2)]に譲り，共線図表[注1)]について紹介する。

なお，これは初めてノモグラムを作ってみようとする方への入門的なもので，高度なものにはあまり触れておらず，したがって読者がノモグラムに少しでも興味を持ち，思ったより簡単に作れるという認識を持たれれば筆者の意図は果たし得たと考えている。

3.2 ノモグラムの原理

ノモグラムの原理はなじみにくいところがあるので，できるだけむずかしい数学の概念は避け，平易になるように努めたが，もし理解しにくい点があれば次章の作り方のほうを先に読み，その後にこの章の原理に戻ってもらいたい。

3.2.1 直線座標と点座標

ノモグラムの原理は (x, y) で表わす点座標よりつぎの直線座標を用いると考えやすくなるので，以下この座標で考えてみる。

図—3.1 のように平面上に2点A，Bをとりそれぞれの点を通って二つの平行線 AM，BN を引く。任意の1直線 l がこれらの平行線をそれぞれH，Kで切るとき，

$$AH=\xi,\quad BK=\eta$$

とおくと，直線 l は ξ，η によって定まる。ここで ξ，η を直線 l の座標とし，AM，BN を ξ 軸，η 軸と呼ぶ。この座標は (x, y) によって点を定める点座標に対し，(ξ, η) によって直線 l を決定するから直線座標といわれる。

図—3.1 で AB の中点 O を原点に，AB を x 軸に，O を通り AM に平行に y 軸をとり，かつ $OA=OB=\lambda$ とおくと，点座標 (x, y) についての1次方程式

$$ax+by+c=0 \qquad (a,\ b,\ c\ \text{は定数})$$

は一つの直線を表わすことは衆知のことであるが，直線座標 (ξ, η) についての1次方程式

$$a\xi+b\eta+c=0 \qquad (a,\ b,\ c\ \text{は定数}) \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

はある1点を表わす。（証明略）[1),2),4)]

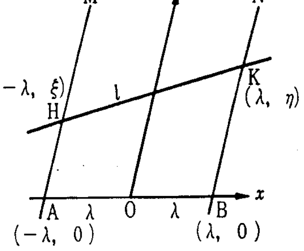
(1)式で表わされる1点の点座標は

$$x=-\frac{a-b}{a+b}\lambda,\quad y=-\frac{c}{a+b} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

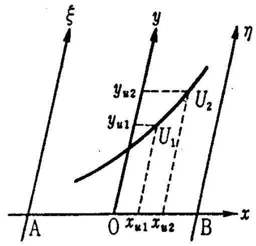
で表わされる。（証明略）[1),2),4)]

3.2.2 曲線関数尺

(1)式の係数 a, b, c がある変数 u の関数となっているつぎのような方程式の場合を考えてみる。



図—3.1



図—3.2

注1) フランスのドカニューの創案によるもので，1884年にその原理が，フランスの土木学会誌に発表されてから工学をはじめ，他の多くの分野にも広く普及した。

$$f_1(u)\xi+f_2(u)\eta+f_3(u)=0 \quad \cdots\cdots(3)$$

(3)式でもし，変数uが定数でu_1，u_2，u_3……と与えられると，これに対して点U_1，U_2，U_3……が定まり，これらの点を連結すると図―3.2のような曲線となる。さらにその曲線上にある点U_1，U_2，U_3……を目盛り点と考えると，それはある尺度を表わしているので，これを曲線関数尺という。実際にこの関数尺を作るには，その尺上の各点の点座標を求めておけばよいから，その値は(2)，(3)式よりつぎのように表わされる。

$$x=-\frac{f_1(u)-f_2(u)}{f_1(u)+f_2(u)}\lambda,\ y=-\frac{f_3(u)}{f_1(u)+f_2(u)} \quad \cdots(4)$$

3.2.3 関数の共線条件

3変数u，v，wより成るある関係式

$$F(u,\ v,\ w)=0 \quad \cdots\cdots(5)$$

があり，これをノモグラム化しようとする。一方，変数をu，v，w，媒介変数をξ，ηとする3つの方程式

$$\left.\begin{array}{l} f_1(u)\xi+f_2(u)\eta+f_3(u)=0 \\ g_1(v)\xi+g_2(v)\eta+g_3(v)=0 \\ h_1(w)\xi+h_2(w)\eta+h_3(w)=0 \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(6)$$

がある。ここで(6)式が同時に成立すれば（すなわち(5)式を同時に満足すれば）それらの係数行列式は一般に，

$$\begin{vmatrix} f_1(u) & f_2(u) & f_3(u) \\ g_1(v) & g_2(v) & g_3(v) \\ h_1(w) & h_2(w) & h_3(w) \end{vmatrix}=0 \quad \cdots\cdots(7)$$

となる。また，(6)式で表わされる3つの関数尺上の（目盛り）点U, V, W（図―3.3参照）のそれぞれの点座標（x_1，y_1），（x_2，y_2），（x_3，y_3）は(4)式と同様に，

$$\left.\begin{array}{ll} (u)\text{尺} & x_1=-\dfrac{f_1(u)-f_2(u)}{f_1(u)+f_2(u)}\lambda,\ y_1=-\dfrac{f_3(u)}{f_1(u)+f_2(u)} \\ (v)\text{尺} & x_2=-\dfrac{g_1(v)-g_2(v)}{g_1(v)+g_2(v)}\lambda,\ y_2=-\dfrac{g_3(v)}{g_1(v)+g_2(v)} \\ (w)\text{尺} & x_3=-\dfrac{h_1(w)-h_2(w)}{h_1(w)+h_2(w)}\lambda,\ y_3=-\dfrac{h_3(w)}{h_1(w)+h_2(w)} \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(8)$$

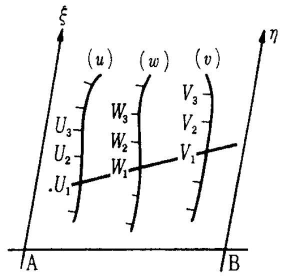
である。また，図―3.3に示すようにU，V，W，すなわち点座標で（x_1，y_1），（x_2，y_2），（x_3，y_3）が同一直線上にあるための必要十分条件は解析幾何学の知識より

$$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}=0 \quad \cdots\cdots(9)$$

である。一方，(9)式の左辺に(8)式を代入し，整理すると，

$$\text{左辺}=\frac{-2\lambda}{\{f_1(u)+f_2(u)\}\{g_1(v)+g_2(v)\}\{h_1(w)+h_2(w)\}} \times\begin{vmatrix} f_1(u) & f_2(u) & f_3(u) \\ g_1(v) & g_2(v) & g_3(v) \\ h_1(w) & h_2(w) & h_3(w) \end{vmatrix}$$

となり，この式の右辺は(7)式によって明らかに0となる。したがって，(9)式が成立するから，(7)式を満足する(6)式の関数尺上の1組の点U, V, Wは同一直線上にあるといえる。すなわち，「**3変数の関係式 $F(u,\ v,\ w)=0$ が(7)式の形に書き直し得る場合には，3点U，V，Wが同一直線上にあるような三つの関数尺（u），（v），（w）から成るノモグラムを作ることができる。**」



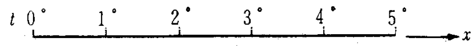
図―3.3

したがって，(5)式のような，与えられた関係式が(7)式の行列式の形に直せなければ共線図表で表わすことはできないことになる。

3.3 ノモグラムの作り方

3.3.1 関数尺の作り方

図―3.4はある関係式$x=f(t)$の関数尺である。目盛りは0°～5°まで目盛ってあるが，これを変数の範囲（または限界）といい，$0°\leq t\leq 5°$で表わす。また，図―3.4は$t=1°$に対する長さを1cmとしたが，このように単位量に対する関数尺上の長さをこの尺度の尺度係数（本講座では以下mで表わす）といい，この値の大小によって関数尺の長さを自由に変えられる。



図―3.4

一般に，変数uから成るある関数$f(u)$が与えられた時，尺度係数をm，変数の範囲を$a\leq u\leq b$とすると（$f(u)$は単調変化とする），関数の範囲は$|f(b)-f(a)|$であるから関数尺の全長lは，

$$l=m|f(b)-f(a)|$$

で求められる。したがって，長さlの関数尺を作りたい場合は尺度係数を

$$m=l/|f(b)-f(a)| \quad \cdots\cdots(10)$$

とすればよい。また関数尺の目盛りの位置は$x=mf(u)$で表わされ，これを尺度方程式と呼ぶ。

実際に関数尺を作る場合は，まず，必要とする変数の範囲を設定し，つぎに得ようとする値の有効けた数あるいはノモグラムを描く用紙の大きさなどから関数尺の全長lを決め，さらに(10)式よりmを算定し尺度方程式を求める。したがって，得られる結果の有効けた数が多く必要な場合はlを長くするか，変数の範囲を狭くする。また変数の範囲が広く必要であればlを長くするか，mを小さくすればよい。

3.3.2 3変数のノモグラム

3変数のノモグラムがほとんどのノモグラムの構成の基本となっており，3変数以上の場合であっても多くはこれらを組合わせれば作成が可能である。

(1)〔A〕型（3平行直線尺のノモグラム）

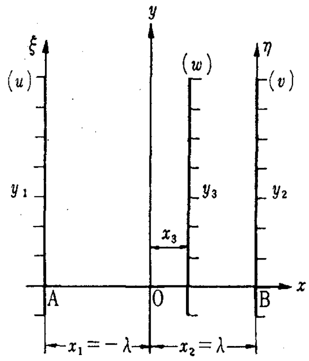
関係式　$f(u)+g(v)=h(w)$

この型の関係式は三つの関数尺が直線であって互いに平行な図表となる。

まず，**図—3.5** のように (u)，(v) 尺を ξ，η 軸上にとり，その位置を x，y 座標の原点からそれぞれ $-\lambda$，λ とする。また，(u) 尺，(v) 尺の尺度係数をそれぞれ m_1，m_2 とすると，

$$\xi=m_1f(u),$$
$$\eta=m_2g(v)$$

となり，これを与式に代入して



図—3.5

$$m_2\xi+m_1\eta=m_1m_2h(w)$$

を得る。つぎにこれら3式を整理し，(6)式に相当する

$$1\cdot\xi+0\cdot\eta-m_1f(u)=0$$
$$0\cdot\xi+1\cdot\eta-m_2g(v)=0$$
$$m_2\xi+m_1\cdot\eta-m_1m_2h(w)=0$$

を得て，これからさらに，(7)式に相当する係数行列式を求めると，

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -m_1f(u) \\ 0 & 1 & -m_2g(v) \\ m_2 & m_1 & -m_1m_2h(w) \end{vmatrix}=0$$

となる。また，この式は(7)式で

$$f_1(u)=1,\ f_2(u)=0,\ f_3(u)=-m_1f(u)$$
$$g_1(v)=0,\ g_2(v)=1,\ g_3(v)=-m_2g(v)$$
$$h_1(w)=m_2,\ h_3(w)=m_1,\ h_3(w)=-m_1m_2h(w)$$

と置いたものとなっているから，これらを(8)式に代入し三つの関数尺の尺度方程式を求めると，

(u)尺　$x_1=-\lambda,\ y_1=m_1f(u)$

(v)尺　$x_2=\lambda,\ y_2=m_2g(v)$

(w)尺　$x_3=\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\lambda,\ y_2=\dfrac{m_1m_2}{m_1+m_2}h(w)$

となる。x_1，y_1，x_2，y_2 は(8)式から求めなくても最初の設定をそのまま用いてもよい。

〔A′〕型（3平行直線対数尺のノモグラム）

関係式　$\log f(u)+\log g(v)=\log h(w)$

この型は関係式 $f(u)\cdot g(v)=h(w)$（B型）の両辺の対数をとり，A型に直した場合に得られる。また，これは3変数のノモグラムの過半数を占めているもので，ノモグラムはすべて対数尺からできているものと錯覚されているような人もいるほどである。原理的にはA型と全く同じであるので尺度方程式だけをあげておく。

(u)尺　$x_1=-\lambda,\ y_1=m_1\log f(u)$

(v)尺　$x_2=\lambda,\quad y_2=m_2\log g(v)$

(w)尺　$x_3=\dfrac{m_1-m_2}{m_1+m_2}\lambda,\ y_3=\dfrac{m_1m_2}{m_1+m_2}\log h(w)$

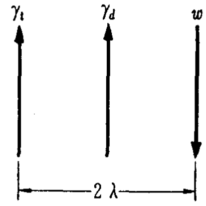
〔A′型作成例〕

関係式　$\gamma_d=\dfrac{\gamma_t}{1+w/100}$

①与式の両辺の常用対数をとれば

$$\log\gamma_t-\log(1+w/100)$$
$$=\log\gamma_d$$

となり，$\log\gamma_t=f(u)$，$\log(1+w/100)=g(v)$，　$\log\gamma_d=h(w)$ とすれば〔A′〕型となる。(w) 尺は $g(v)$ の符号が負であるので**図—3.6** に示すように目盛りの方向は下向きとなる。



図—3.6

②変数と関数の範囲の設定

γ_d，γ_t，w の範囲は土の種類とか目的によっても異なるが，多くの場合がカバーできることを主眼とし，つぎのように設定した。

(a)　(b)

$1.00\ \mathrm{t/m^3}\leq\gamma_t\leq3.00\ \mathrm{t/m^3}$　$f(a)=0,\ f(b)=0.477$

$0\%\leq w\leq200\%$　$g(a)=0,\ g(b)=0.477$

これを関係式に代入して $0.333\ \mathrm{t/m^3}\leq\gamma_d\leq3.0\ \mathrm{t/m^3}$ を得る。

③全体を予定の大きさにするために，関数尺の長さ (L) と間隔 (2λ) を設定する。(γ_t)尺，(w)尺の長さを $L_{\gamma t}$，L_w とする。

$$L_{\gamma t}=L_w=10\ \mathrm{cm}\qquad\lambda=7\ \mathrm{cm}$$

④尺度係数の計算

(γ_t)尺　$m_1=L_{\gamma t}/|f(b)-f(a)|=10/0.477=21.0$

(w)尺　$m_2=L_w/|g(b)-g(a)|=10/0.477=21.0$

⑤尺度方程式を求める。

(γ_t)尺　$x_1=-7.0\ \mathrm{cm},\ y_1=21.0\log\gamma_t$

(w)尺　$x_2=7.0\ \mathrm{cm},\quad y_2=21.0\log(1+w/100)$

(γ_d)尺　$x_3=\dfrac{21.0-21.0}{21.0+21.0}\times7=0,$

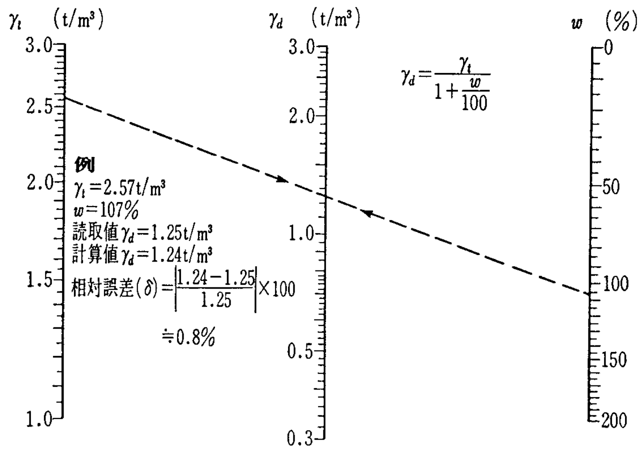
$$y_3=\frac{21.0\times21.0}{21.0+21.0}\log\gamma_d=10.5\log\gamma_d$$

⑥関数尺の作成

γ_t	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	……	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
y_1	0	0.44	0.87	1.27	1.66	2.03	2.39	……	8.87	9.04	9.21	9.37	9.53	9.69	9.85	10.00

w	0	5	10	15	20	25	30	35	……	160	165	170	175	180	185	190	195	200
y_2	0.00	0.44	0.87	1.27	1.66	2.03	2.39	2.73	……	8.70	8.87	9.04	9.21	9.37	9.53	9.69	9.85	10.00

γ_d	0.30	0.32*	0.333	0.34	0.36	0.38	0.40	0.42	……	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
y_3'	−5.48	−5.19	−5.00	−4.91	−4.65	−4.40	−4.17	−3.95	……	3.38	3.59	3.79	3.98	4.17	4.35	4.52	4.69	4.85	5.00
y_3 注2)	−0.48	−0.19	0.00	0.09	0.35	0.60	0.83	1.05	……	8.38	8.59	8.79	8.98	9.17	9.35	9.52	9.69	9.85	10.00



図—3.7 〔A′〕型の作成例

これらを図表にすると**図—3.7**となる。

(2)〔B〕型（2平行線と1斜線尺またはN字型のノモグラム）

関係式　$f(u)=g(v)h(w)$

この型は前述のごとく両辺の対数をとれば〔A〕型に帰着するが，関数尺が対数尺では好ましくないこともあるので，ここではこのままの形で図表化する方法について述べる。まずA型で述べたように，$f(u)$，$g(v)$ を ξ 軸，η 軸にとりそれぞれの尺度係数を m_1，m_2 とし，$\xi=-m_1f_1$，$\eta=m_2f_2$ とおき(6)，(7)式を使って係数行列式を求めると

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & m_1f(u) \\ 0 & 1 & -m_2g(v) \\ m_2 & m_1h(w) & 0 \end{vmatrix}=0$$

となる。さらにこれらの係数を(8)式に代入すると尺度方程式が求まる。

(u)尺　$x_1=-\lambda$

$y_1=-m_1f(u)$

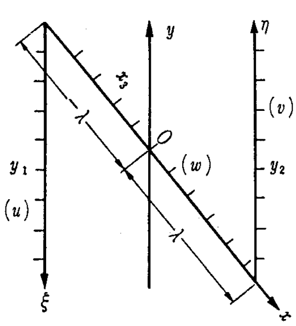
(v)尺　$x_2=\lambda$

$y_2=m_2g(v)$

(w)尺

$$x_3=\frac{m_1h(w)-m_2}{m_1h(w)+m_2}\lambda$$

$y_3=0$



図—3.8

注2)　y_3 は②で記したように $\gamma_t=1.0\text{t/m}^3$，$w=200\%$ のとき $\gamma_d=0.333\text{t/m}^3$ で，これらの値が各関数尺の基点となるから，$\gamma_d=0.333\text{t/m}^3$ のときの y_3 の値を0とするために y_3' に5.00を加えた。また y_3 が負の値の場合は基点から下方に目盛りがあることを示している。

これの図表を描くには**図—3.8**のように斜交軸（交角は適当にとってよい）x，0，y を設け，原点0から $-\lambda$，λ の距離にあるA，B点を通ってそれぞれ y 軸に平行線を引き，それに (u)尺，(v)尺を目盛る。また(u)尺の y_1 は負であるからA点の下方に描かれる。また(w)尺は $y_3=0$ であるから x 軸上に目盛ればよい。

〔B型の作成例〕

A′型の作成例と同じ関係式をB型で図表化してみる。

関係式　$\gamma_t=\gamma_d(1+w/100)$

$\gamma_t=f(u)$，$\gamma_d=h(w)$，$(1+w/100)=g(v)$ とおくとB型であることがわかる。

①変数と関数の範囲の設定

	(a)	(b)
$1.00\text{ t/m}^3\leq\gamma_t\leq3.00\text{ t/m}^3$	$f(a)=1.00$,	$f(b)=3.00$
$0\%\leq w\leq200\%$	$g(a)=1.00$,	$g(b)=3.00$

②関数尺 (γ_t)尺，(w) 尺の長さをともに $L_{\gamma_t}=L_w=8.0$ cm，$\lambda=11.0$ cm とする。

③尺度係数の計算

(γ_t)尺　$m_1=L_{\gamma_t}/|f(b)-f(a)|=8/2=4.0$

(w)尺　$m_2=L_w/|g(b)-g(a)|=8/2=4.0$

④尺度方程式

(γ_t)尺　$x_1=-11.0\text{ cm}$,　　$y_1=4\gamma_t$

(w)尺　$x_2=11.0\text{ cm}$,　　$y_2=4(1+w/100)$

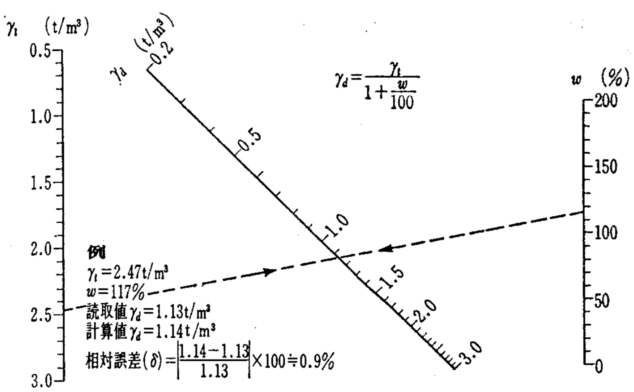
(γ_d)尺　$x_3=\dfrac{(\gamma_d-1)\times11}{\gamma_d+1}$,　$y_3=0$

これを図表化すると**図—3.9**のようになる。

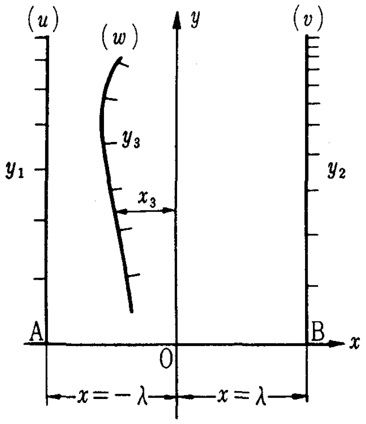
(3)〔C〕型（2平行直線と1曲線尺のノモグラム）

関係式　$f(u)h_1(w)+g(v)h_2(w)+h_3(w)=0$

この型は $h_1(w)$，$h_2(w)$ が定数であればA型に，$h_1(w)$，



図—3.9 〔B〕型の作成例



図—3.10

$h_3(w)$ が定数であればB型になり，A，B型を一般化した型である。図—3.10 に示すように，$f(u)$，$g(v)$ を ξ 軸，η 軸にとり尺度係数をそれぞれ m_1，m_2 とする。まずA，B型で述べたように(6)(7)式より係数行列式を求めると

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & -m_1 f(u) \\ 0 & 1 & -m_2 g(v) \\ m_2 h_1(w) & m_1 h_2(w) & m_1 m_2 h_3(w) \end{vmatrix} = 0$$

となる。つぎにこれを(8)式に代入すると尺度方程式が求まる。

(u)尺　$x_1=-\lambda$，$y_1=m_1 f(u)$

(v)尺　$x_2=\lambda$，　$y_2=m_2 g(v)$

(w)尺　$x_3=\dfrac{m_1 h_2(w)-m_2 h_1(w)}{m_1 h_2(w)+m_2 h_1(w)}\lambda$，

$$y_3=-\frac{m_1 m_2 h_3(w)}{m_1 h_2(w)+m_2 h_1(w)}$$

3.3.3　多変数のノモグラム

つぎのような4変数の関係式

$$F(u,\ v,\ w,\ r)=0 \quad\cdots\cdots(11)$$

を図表化する場合，まずこれらの変数の関係について考えてみると，

i）分離可能な場合；与式を二つの関数に分離でき，たとえば $f_1(u,\ v)=f_2(w,\ r)$ の形に書き直すことができる。

ii）分離不能な場合；i）のように与式を二つの関数に分離できない。

本講座では i）の場合の図表について述べるが，ii）の場合は若干複雑となるので，これに進まれる方は文末の参考文献[1),2),5)] を利用してもらいたい。

(11)式は分離可能であれば，分離した両式に共通の補助の変数を導入すると，つぎのような二つの3変数の関係式に分けることができる。

$$F_1(u,\ v,\ k)=0,\quad F_2(w,\ r,\ k)=0$$

これより4変数のノモグラムはまず，分離したそれぞれの3変数のノモグラムを作り，つぎに変数 k を共通にして両者を組合わせればよいことになる。4変数以上の場合であっても全く同じ方法で図表化できる。3変数のノモグラムの組合わせは非常に多いので，その中で特にひん度の高いと思われる例について紹介する。

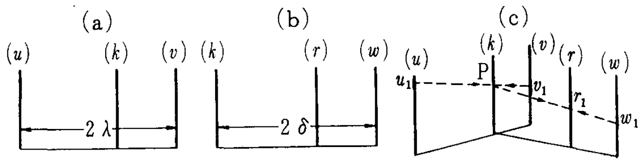
(1)〔AA〕型（4平行直線尺のノモグラム）

$$\text{関係式}\quad \overset{\text{(b)}}{f(u)+g(v)}=\overset{\text{(a)}}{h(w)+F(r)}$$

3変数の図表を組合わせる方法は与式の分離の仕方によっていろいろ考えられる。この例では，たとえば与式をつぎのように分離すると

$$\overset{\text{(a)}}{f(u)+g(v)=k},\quad \overset{\text{(d)}}{k-h(w)=F(r)}$$

図の組合わせは 図—3.11 のようになる。



図—3.11

ここで 図—3.11 の（a）と（b）の k 尺を重ね合わせるのであるから，当然それらの尺度係数は等しくなければならない。

この図の使い方は u_1，v_1 よりP点を求め，w_1 とPを結べば未知数 r_1 が求まる。この時，k 尺は単に交点Pの位置を求めるだけであるから目盛りを施す必要は無く，これを補助線または参考線という。

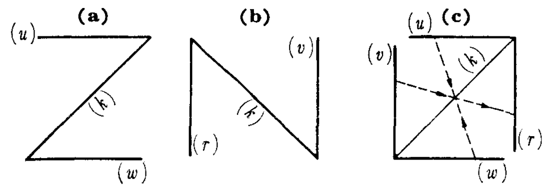
(2)〔BB〕型（N字型の組合わせノモグラム）

関係式　$f(u)g(v)=h(w)F(r)$

与式をたとえば，つぎのような2つに分離すると，

$$f(u)=h(w)k,\quad F(r)=g(v)k$$

となる。またこれを模式図で表わすと 図—3.12 のようになる。



図—3.12

(3)〔AB〕型（A，B型の組合わせノモグラム）

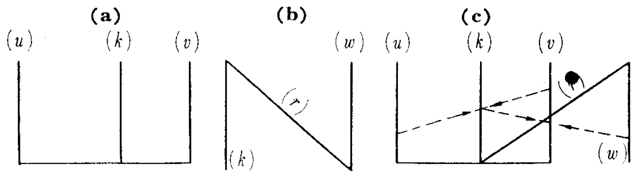
関係式　$f(u)+g(v)=h(w)F(r)$

たとえば，与式をつぎのような2式に分離すると組合わせ図は 図—3.13 のようになる。

$$\overset{\text{(a)}}{f(u)+g(v)=k},\quad \overset{\text{(b)}}{k=h(w)F(r)}$$

〔A′A′ 型作成例〕

4変数の例としてクイ打公式の中で代表的な Engineering News 公式を図表化してみる。



図—3.13

関係式　$P=\dfrac{W\cdot H}{6(s+2.54)}$ （ドロップハンマーの場合で安全率6とする。）

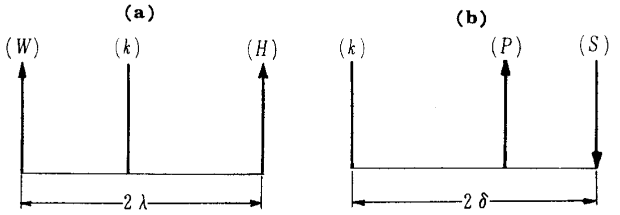
①与式の両辺の常用対数をとり，3変数に分離する。

$\log P=\log W+\log H-\log(6s+15.24)$

$\log W+\log H=k$

$k-\log(6s+15.24)=\log P$

ここで $\log W=f(u)$，$\log H=g(v)$，$\log P=F(r)$，$\log(6s+15.24)=h(w)$ と置くと，(1)と同じ形になる。また $h(w)$ は符号が負であるので (s) 尺の目盛りの方向は下向きである。



図—3.14

①変数と関数の範囲の設定

	(a)	(b)
$0.5\,t\leq W\leq 4.0\,t$	$f(a)=-0.3010$,	$f(b)=0.6021$
$50\,\text{cm}\leq H\leq 500\,\text{cm}$	$g(a)=1.6990$,	$g(b)=2.6990$
$0.1\,\text{cm}\leq S\leq 5.0\,\text{cm}$	$F(a)=1.1998$,	$F(b)=1.6555$

これを与式に代入すると，$0.552\,t\leq P\leq 126.3\,t$

③$L=10.0\,\text{cm}$，$\lambda=\delta=4.0\,\text{cm}$ とする。

④尺度係数の計算

(W)尺　$m_1=L/|f(b)-f(a)|=10/(0.602+0.301)$
$=11.1$

(H)尺　$m_2=L/|g(b)-g(a)|=10/(2.699-1.699)$
$=10.0$

(k)尺　$m_0=m_1m_2/(m_1+m_2)$
$=11.1\times10.0/(11.1+10.0)=5.25$

(S)尺　$m_3=L/|F(b)-F(a)|=10/(1.656-1.200)$
$=21.9$

⑥尺度方程式

(W)尺　$x_1=-\lambda=-4.0\,\text{cm}$
$y_1=m_1f(u)=11.1\log W$

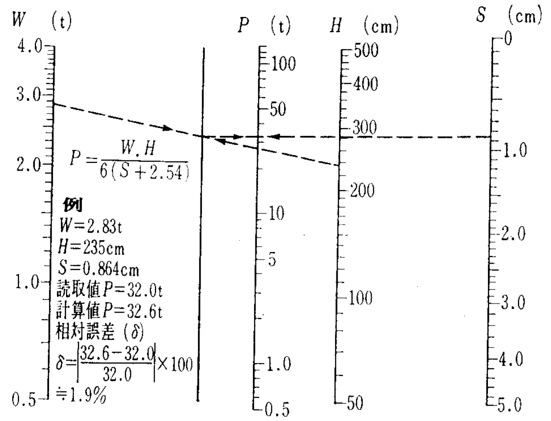
(H)尺　$x_2=4.0\,\text{cm}$，$y_2=m_2g(v)=10.0\log H$

(k)尺　$x_3=(m_1-m_2)/(m_1+m_2)\cdot\lambda$
$=(11.1-10.0)/(11.1+10.0)\times4=0.203$
$y_3=m_0k$

(k)尺　$x_4=-\delta=-4.0\,\text{cm}$，$y_3=m_0k$

(s)尺　$x_5=\delta=4.0\,\text{cm}$
$y_5=m_3h(w)=21.9\log(6s+15.24)$

(P)尺　$x_6=(m_0-m_3)\delta/(m_0+m_3)$
$=(5.45-21.9)4/(5.25+21.9)=-2.46$
$y_6=(m_0+m_3)F(r)/(m_0+m_3)$
$=(5.25\times21.9)/(5.25+21.9)\cdot F(r)$
$=4.24\log P$



図—3.15 〔AA′〕型の作成例

これを図表化すると**図—3.15**のようになる。

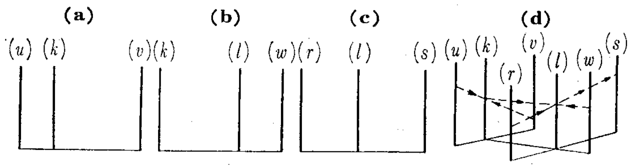
(4)〔AAA〕型（5平行直線尺のノモグラム）

関係式　$f(u)+g(v)+h(w)=F(r)+G(s)$

与式をたとえば，つぎのように分離すると，それらはすべてA型となり，それを模式図で表わすと**図—3.16**のようになる。

(a)　(b)　(c)

$f(u)+g(v)=k$，$k+(w)=l$，$F(\gamma)+G(s)=l$



図—3.16

3.4 ノモグラム作成上の留意点

精度の良い，使いやすいノモグラムを作ることはむずかしいことで，そのための十分な法則はなく，ある程度経験的なものが必要となるようである。このためには，つぎのような点に留意して何種かの図を作り，最も良いものを採用するといったことも必要であろう。

①関数尺の配置によって異なる図となるから，与式を整理，分離する際にこのことを考慮する。

②関数尺の間隔はできるだけ等距離がよい。これも関数尺の配置によって異なり，特に4変数以上の組合わせ図表

の場合は十分考慮すること。

③目盛りはできるだけ逆数，対数を避け等間隔とする。

④関数尺の形は斜線，曲線より垂直な直線がよい。

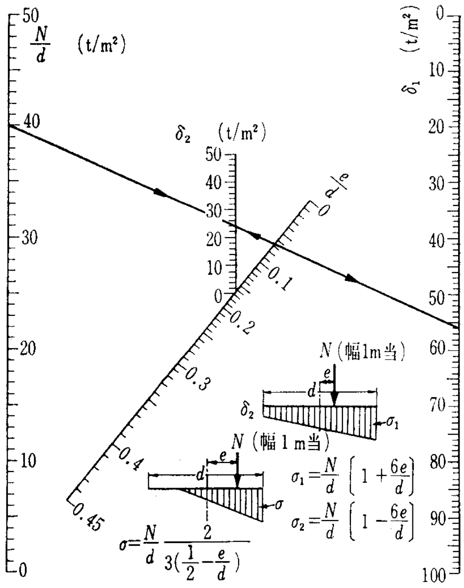
⑤全体の形は正方形に近いほうがよい。しかし多変数の場合は関数尺の数が多いので横幅が広くなる。

なお，本講座とりまとめの際には本校武田，中村助教授より，多くの示唆と文献の提供をしていただいた。また実例は竹中工務店技研新名氏の資料と参考文献[6),7)]から転載させていただいた。

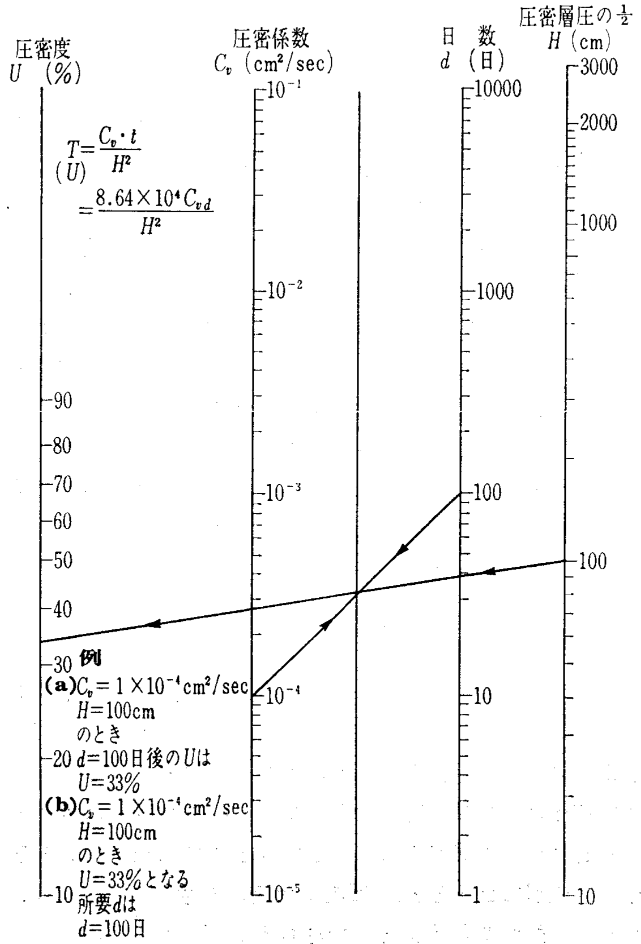
参　考　文　献

1) 小倉金之助：計算図表，岩波書店
2) 宮本逸治：計算図表の理論と作り方，文修堂
3) 本間仁・内田茂男：計算図表，図式計算法，コロナ社
4) 北村友圭・寺本政次：計算図表入門，槇書店
5) 柴田直光：ノモグラムの作り方，理工図書
6) 三木五三郎：土質力学演習，オーム社
7) 柴田直光：基礎反力の解法，㈱鹿島研究所出版会

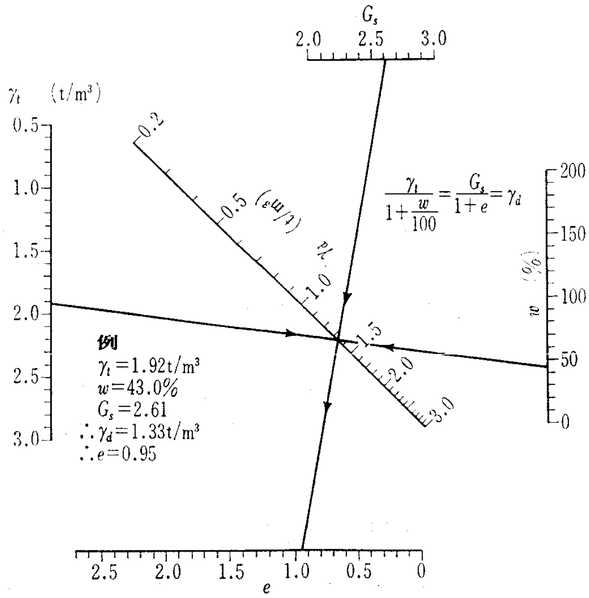
（原稿受理，1972.9.2）



図—3.18 〔A〕，〔B〕型



図—3.17 〔A′A′〕型



図—3.19 〔BB〕型

*　　　*　　　*