

道路橋の最大活荷重特性に関する 確率分布の解析解

久保雅邦*・亀田弘行**

本ノートは先の論文内容を補足するもので、活荷重列を受ける橋梁部材の静的な応答を対象として、着目点載荷と渋滞荷重列の組合せによる最大活荷重の確率特性を評価するために、裾切りした2変数の指数分布のたたみ込み積分による解析解のすべてのケースと、3変数の指数分布による代表的なケースの解析解を提示した。これによって、最大活荷重特性に関する確率分布の裾部の理論的な理解が容易になった。

Keywords : probability distribution, live load, highway bridge, convolution

1. ま え が き

道路橋の活荷重に対する安全性や使用性の大きさを評価するためには、ある期間における最大活荷重の特性について知ることが一つの課題になる。たとえば、主桁などの主構造においては、渋滞時のような活荷重列による応答の最大値が支配的な意味をもち、そのような荷重状態を推定するとともに、最大応答の確率分布における裾部の特性や活荷重の実態特性との関係などを明らかにしなければならない。しかも、一般には橋梁の供用期間にに応じて、比較的長い期間の応答値が対象になるため、効率的な解析手法が必要になる。

著者らは先の論文¹⁾において、このような最大応答を解析する方法として、橋梁上の活荷重列を着目点載荷とそれ以外の渋滞荷重列、さらには他の車線上の活荷重列などに分離して考え、それらの荷重や荷重列による応答の確率分布をたたみ込み積分する解析を示した。その際、個々の確率分布に解析可能な理論モデルを採用すれば、最大応答の確率分布における特徴的な諸性質を理論的に理解することができる。なお、同論文では2変数の指数分布モデルによる解析解の一部のみを示した。

本ノートでは、この手法を容易に適用し得るようになるために、2変数の指数分布モデルによる解析解のすべての場合を示すとともに、3変数の指数分布モデルによる解析解をも提示する。

2. 確率分布の解析解

(1) 指数分布モデルの仮定

橋梁上の配列が不規則な活荷重列に関して、ある着目

点上に車種 k の荷重が載荷し、その前後左右に渋滞時の活荷重列が載荷している状態を事象 E_k として考える(図-1)。事象 E_k が発生しているという条件のもとで、着目点載荷による応答値を $Y_k^{(1)}$ 、同じ車線上の渋滞荷重列による応答値を $Y_k^{(2)}$ 、および他の車線上の活荷重列による応答値を $Y_k^{(3)}$ とすれば、重ね合わせの原理からこれらの和によって応答値 Y_k を求めることができる。

$$Y_k = Y_k^{(1)} + Y_k^{(2)} + Y_k^{(3)} \quad (k=1,2,\dots) \quad (1)$$

そこで、 $Y_k^{(1)}$ 、 $Y_k^{(2)}$ 、 $Y_k^{(3)}$ のおのおのについて、 $Y_k^{(1)} = y_1$ 、 $Y_k^{(2)} = y_2$ 、 $Y_k^{(3)} = y_3$ となる確率密度関数として、それぞれ次の裾切りした指数分布 $f_1(y_1)$ 、 $f_2(y_2)$ 、 $f_3(y_3)$ を仮定する¹⁾。ただし、 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3 > 0$ 、および $b_0 \geq 0$ とする。

$$f_1(y_1) = \begin{cases} A_1 e^{-a_1(y_1 - b_0)} & : b_0 \leq y_1 \leq b_1 \\ 0 & : y_1 < b_0, b_1 < y_1 \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 $A_1 = \frac{a_1}{1 - e^{-a_1(b_1 - b_0)}}$

$$f_2(y_2) = \begin{cases} A_2 e^{-a_2 y_2} & : 0 \leq y_2 \leq b_2 \\ 0 & : y_2 < 0, b_2 < y_2 \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $A_2 = \frac{a_2}{1 - e^{-a_2 b_2}}$

$$f_3(y_3) = \begin{cases} A_3 e^{-a_3 y_3} & : 0 \leq y_3 \leq b_3 \\ 0 & : y_3 < 0, b_3 < y_3 \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 $A_3 = \frac{a_3}{1 - e^{-a_3 b_3}}$

それぞれの確率密度関数を図-2に示す。 $f_1(y_1)$ の境界値 b_0 と b_1 は着目点載荷として考える車両重量の分布の範囲から決まり、 $f_2(y_2)$ と $f_3(y_3)$ の境界値 b_2 と b_3 はそれぞれの活荷重列による応答値の上限値を表す。

なお、ここでの解析解は指数分布の仮定が成り立つ場合に意味がある。したがって、このような応答値に対して指数分布を仮定することについて議論しなければならないが、文献1)と2)の例題が示すように、分布の裾

* 正会員 工修 総合技術コンサルタント技術開発部課長
(〒533 大阪市東淀川区東中島3-5-9)

** 正会員 工博 京都大学防災研究所教授 都市施設耐震システム研究センター (〒611 宇治市五ヶ庄)

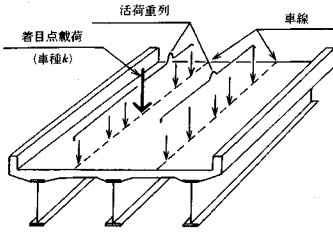


図-1 不規則な活荷重列を受ける橋梁モデルの例

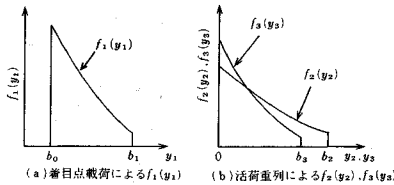


図-2 裾切りした指数分布による応答値のモデル

部に関してはおおむね妥当なものと考えられる。

(2) 2変数のたたみ込み積分

たとえば、1車線上の活荷重列のみを考える場合には、 $Y_k^{(3)}=0$ として $f_1(y_1)$ と $f_2(y_2)$ のたたみ込み積分をすることによって、 $Y_k=y$ となる確率密度関数 $f_0(y)$ および累積分布関数 $F_0(y)$ を次のように求めることができる。

$$f_0(y) = \int_0^y f_1(y-t)f_2(t) dt \dots\dots\dots (5)$$

$$F_0(y) = \int_0^y f_0(y) dy \dots\dots\dots (6)$$

分布のパラメーター a_1, a_2 および b_0, b_1, b_2 の大小関係に応じて、式(5)と式(6)の解析解を以下に示す。ただし、表記上、次の記号を用いる。

$$\left. \begin{aligned} B_0 &= \frac{A_1 A_2}{(a_1 - a_2)^2}, & B_1 &= \frac{A_1 A_2}{(a_1)^2} \\ E_1 &= e^{-a_1(b_1 - b_0)}, & E_2 &= e^{-a_2 b_2} \\ \beta_1 &= \frac{a_2 - a_1}{a_1}, & \beta_2 &= \frac{a_1 - a_2}{a_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

a) $a_1 \neq a_2, (b_1 - b_0) \geq b_2$ の場合
以下を式(8)とする

- 1) $y < b_0 : f_0(y) = 0, F_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_0 + b_2 : f_0(y) = B_0 [(a_2 - a_1)e^{-a_1(y-b_0)} + (a_1 - a_2)e^{-a_2(y-b_0)}], F_0(y) = B_0 \{ \beta_1 [1 - e^{-a_1(y-b_0)}] + \beta_2 [1 - e^{-a_2(y-b_0)}] \}$
- 3) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 : f_0(y) = B_0 [(a_2 - a_1)e^{-a_1(y-b_0)} + (a_1 - a_2)E_2 e^{-a_1(y-b_0-b_2)}], F_0(y) = B_0 \{ \beta_1 [1 - E_2 - e^{-a_1(y-b_0)} + E_2 e^{-a_1(y-b_0-b_2)}] + \beta_2 (1 - E_2) \}$
- 4) $b_1 \leq y < b_1 + b_2 : f_0(y) = B_0 [(a_2 - a_1)E_1 e^{-a_2(y-b_1)} + (a_1 - a_2)E_2 e^{-a_1(y-b_0-b_2)}], F_0(y) = B_0 \{ \beta_1 [1 - E_1 - E_2 +$

$$E_2 e^{-a_1(y-b_0-b_2)}] + \beta_2 [1 - E_1 - E_2 + E_1 e^{-a_2(y-b_1)}] \}$$

5) $b_1 + b_2 \leq y : f_0(y) = 0, F_0(y) = 1$

b) $a_1 \neq a_2, b_2 > (b_1 - b_0)$ の場合

.....以下を式(9)とする

- 1) $y < b_0 : f_0(y) = 0, F_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_1 : f_0(y), F_0(y)$ は式(8)の2)と同じ
- 3) $b_1 \leq y < b_0 + b_2 : f_0(y) = B_0 [(a_2 - a_1)E_1 e^{-a_2(y-b_1)} + (a_1 - a_2)e^{-a_2(y-b_0)}], F_0(y) = B_0 \{ \beta_1 (1 - E_1) + \beta_2 [1 - E_1 + E_1 e^{-a_2(y-b_1)} - e^{-a_2(y-b_0)}] \}$
- 4) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 : f_0(y), F_0(y)$ は式(8)の4)と同じ
- 5) $b_1 + b_2 \leq y : f_0(y) = 0, F_0(y) = 1$

c) $a_1 = a_2, (b_1 - b_0) \geq b_2$ の場合

.....以下を式(10)とする

- 1) $y < b_0 : f_0(y) = 0, F_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_0 + b_2 : f_0(y) = A_1 A_2 (y - b_0) e^{-a_1(y-b_0)}, F_0(y) = B_1 \{ 1 - [1 + a_1(y - b_0)] e^{-a_1(y-b_0)} \}$
- 3) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 : f_0(y) = A_1 A_2 b_2 e^{-a_1(y-b_0)}, F_0(y) = B_1 [1 - E_2 - a_1 b_2 e^{-a_1(y-b_0)}]$
- 4) $b_1 \leq y < b_1 + b_2 : f_0(y) = A_1 A_2 (b_1 + b_2 - y) e^{-a_1(y-b_0)}, F_0(y) = B_1 \{ 1 - E_1 - E_2 + [1 - a_1(b_1 + b_2 - y)] e^{-a_1(y-b_0)} \}$
- 5) $b_1 + b_2 \leq y : f_0(y) = 0, F_0(y) = 1$

d) $a_1 = a_2, b_2 > (b_1 - b_0)$ の場合

.....以下を式(11)とする

- 1) $y < b_0 : f_0(y) = 0, F_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_1 : f_0(y), F_0(y)$ は式(10)の2)と同じ
- 3) $b_1 \leq y < b_0 + b_2 : f_0(y) = A_1 A_2 (b_1 - b_0) e^{-a_1(y-b_0)}, F_0(y) = B_1 [1 - E_1 - a_1(b_1 - b_0) e^{-a_1(y-b_0)}]$
- 4) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 : f_0(y), F_0(y)$ は式(10)の4)と同じ
- 5) $b_1 + b_2 \leq y : f_0(y) = 0, F_0(y) = 1$

(3) 3変数のたたみ込み積分

式(1)に基づいて $Y_k^{(1)}, Y_k^{(2)}, Y_k^{(3)}$ を考える場合には、3変数のたたみ込み積分によって、 $Y_k=y$ となる確率密度関数 $g_0(y)$ および累積分布関数 $G_0(y)$ を次のように求めることができる。

$$g_0(y) = \int_0^y \int_0^s f_1(y-s)f_2(s-t)f_3(t) dt ds \dots\dots\dots (12)$$

$$G_0(y) = \int_0^y g_0(y) dy \dots\dots\dots (13)$$

分布のパラメーター a_1, a_2, a_3 の等号と不等号の関係に応じて5種類、および b_0, b_1, b_2, b_3 の大小関係に応じて6種類、したがって式(12)と式(13)から厳密には $5 \times 6 = 30$ 通りの解析解が得られるが、紙面の都合

により最も生じやすい4通りの結果を以下に示す。ただし、表記上、式(7)に加えて次の記号を用いる。

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= -\frac{A_1 A_2 A_3}{(a_1 - a_2)(a_2 - a_3)(a_3 - a_1)} \\ E_3 &= e^{-a_3 b_3} \\ \gamma_1 &= \frac{a_2 - a_3}{a_1}, \quad \gamma_2 = \frac{a_3 - a_1}{a_2}, \quad \gamma_3 = \frac{a_1 - a_2}{a_3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

a) $a_1 \neq a_2 \neq a_3, (b_2 + b_3) \geq (b_1 - b_0) \geq b_2 \geq b_3$ の場合
以下を式(15)とする

- 1) $y < b_0 : g_0(y) = 0, G_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_0 + b_3 : g_0(y) = C_0[(a_2 - a_3)e^{-a_1(y-b_0)} + (a_3 - a_1)e^{-a_2(y-b_0)} + (a_1 - a_2)e^{-a_3(y-b_0)}], G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - e^{-a_1(y-b_0)}] + \gamma_2[1 - e^{-a_2(y-b_0)}] + \gamma_3[1 - e^{-a_3(y-b_0)}]\}$
- 3) $b_0 + b_3 \leq y < b_0 + b_2 : g_0(y) = C_0\{(a_2 - a_3)[e^{-a_1(y-b_0)} - E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] + (a_3 - a_1)[e^{-a_2(y-b_0)} - E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}]\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_3 - e^{-a_1(y-b_0)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_3 - e^{-a_2(y-b_0)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] + \gamma_3(1 - E_3)\}$
- 4) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 : g_0(y) = C_0\{(a_2 - a_3)[e^{-a_1(y-b_0)} - E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] - (a_3 - a_1)E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} - (a_1 - a_2)E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_2 - E_3 - e^{-a_1(y-b_0)} + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_2 - E_3 + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] + \gamma_3[1 - E_2 - E_3 + E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}]\}$
- 5) $b_1 \leq y < b_0 + b_2 + b_3 : g_0(y) = C_0\{-(a_2 - a_3)[E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] - (a_3 - a_1)[E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] - (a_1 - a_2)[E_1e^{-a_3(y-b_1)} + E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}]\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1e^{-a_3(y-b_1)} + E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}]\}$
- 6) $b_0 + b_2 + b_3 \leq y < b_1 + b_3 : g_0(y) = C_0\{-(a_2 - a_3)[E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)} - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] - (a_3 - a_1)E_1e^{-a_2(y-b_1)} - (a_1 - a_2)E_1e^{-a_3(y-b_1)}\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_2E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)} - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_2E_3 + E_1e^{-a_2(y-b_1)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_2E_3 + E_1e^{-a_3(y-b_1)}]\}$
- 7) $b_1 + b_3 \leq y < b_1 + b_2 : g_0(y) = C_0\{-(a_2 - a_3)[E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] - (a_3 - a_1)[E_1e^{-a_2(y-b_1)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}]\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2E_3 + E_1e^{-a_2(y-b_1)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] + \gamma_3(1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2E_3)\}$

- 8) $b_1 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 + b_3 : g_0(y) = C_0\{(a_2 - a_3)E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)} + (a_3 - a_1)E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)} + (a_1 - a_2)E_1E_2e^{-a_3(y-b_1-b_2)}\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_2 + E_2E_3 + E_1E_3 - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_2 + E_2E_3 + E_1E_3 - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_2 + E_2E_3 + E_1E_3 - E_1E_2e^{-a_3(y-b_1-b_2)}]\}$

9) $b_1 + b_2 + b_3 \leq y : g_0(y) = 0, G_0(y) = 1$
 b) $a_1 \neq a_2 \neq a_3, (b_1 - b_0) > (b_2 + b_3) > b_2 \geq b_3$ の場合
以下を式(16)とする

- 1) $y < b_0 : g_0(y) = 0, G_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_0 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の2)と同じ
- 3) $b_0 + b_3 \leq y < b_0 + b_2 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の3)と同じ
- 4) $b_0 + b_2 \leq y < b_0 + b_2 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の4)と同じ
- 5) $b_0 + b_2 + b_3 \leq y < b_1 : g_0(y) = C_0\{(a_2 - a_3)[e^{-a_1(y-b_0)} - E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)} + E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}]\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_2 - E_3 + E_2E_3 - e^{-a_1(y-b_0)} + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)} - E_2E_3e^{-a_1(y-b_0-b_2-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_2 - E_3 + E_2E_3] + \gamma_3[1 - E_2 - E_3 + E_2E_3]\}$
- 6) $b_1 \leq y < b_1 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の6)と同じ
- 7) $b_1 + b_3 \leq y < b_1 + b_2 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の7)と同じ
- 8) $b_1 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の8)と同じ
- 9) $b_1 + b_2 + b_3 \leq y : g_0(y) = 0, G_0(y) = 1$

c) $a_1 \neq a_2 \neq a_3, (b_1 - b_0) + b_3 \geq b_2 > (b_1 - b_0) \geq b_3$ の場合
以下を式(17)とする

- 1) $y < b_0 : g_0(y) = 0, G_0(y) = 0$
- 2) $b_0 \leq y < b_0 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の2)と同じ
- 3) $b_0 + b_3 \leq y < b_1 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の3)と同じ
- 4) $b_1 \leq y < b_0 + b_2 : g_0(y) = C_0\{-(a_2 - a_3)E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)} + (a_3 - a_1)[e^{-a_2(y-b_0)} - E_1e^{-a_2(y-b_1)} - E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] - (a_1 - a_2)E_1e^{-a_3(y-b_1)}\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_3 + E_3e^{-a_1(y-b_0-b_3)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_3 - e^{-a_2(y-b_0)} + E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_3 + E_1e^{-a_3(y-b_1)}]\}$
- 5) $b_0 + b_2 \leq y < b_1 + b_3 : g_0(y), G_0(y)$ は式(15)の5)と同じ
- 6) $b_1 + b_3 \leq y < b_0 + b_2 + b_3 : g_0(y) = C_0\{-(a_2 - a_3)E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - (a_3 - a_1)[E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] - (a_1 - a_2)E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}\}, G_0(y) = C_0\{\gamma_1[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)} - (a_3 - a_1)[E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] - (a_1 - a_2)E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)}] + \gamma_2[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)}] + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_1(y-b_0-b_2)}]\}$

$$E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_1e^{-a_2(y-b_1)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)} + \gamma_3[1 - E_1 - E_2 - E_3 + E_1E_3 + E_2e^{-a_3(y-b_0-b_2)}]$$

7) $b_0 + b_2 + b_3 \leq y < b_1 + b_2$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式 (15) の 7) に同じ

8) $b_1 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 + b_3$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式 (15) の 8) に同じ

9) $b_1 + b_2 + b_3 \leq y$: $g_0(y) = 0$, $G_0(y) = 1$

d) $a_1 \neq a_2 \neq a_3$, $b_2 > (b_1 - b_0) + b_3 > (b_1 - b_0) \geq b_3$ の場合.....以下を式(18)とする

1) $y < b_0$: $g_0(y) = 0$, $G_0(y) = 0$

2) $b_0 \leq y < b_0 + b_3$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式(15)の 2) に同じ

3) $b_0 + b_3 \leq y < b_1$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式(15)の 3) に同じ

4) $b_1 \leq y < b_1 + b_3$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式(17)の 4) に同じ

5) $b_1 + b_3 \leq y < b_0 + b_2$: $g_0(y) = C_0 \{ (a_3 - a_1) [e^{-a_2(y-b_0)} - E_1e^{-a_2(y-b_1)} - E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} + E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] \}$, $G_0(y) = C_0 \{ \gamma_1 [1 - E_1 - E_3 + E_1E_3] + \gamma_2 [1 - E_1 - E_3 + E_1E_3 + E_1e^{-a_2(y-b_1)} - e^{-a_2(y-b_0)} + E_3e^{-a_2(y-b_0-b_3)} - E_1E_3e^{-a_2(y-b_1-b_3)}] + \gamma_3 [1 - E_1 - E_3 + E_1E_3] \}$

6) $b_0 + b_2 \leq y < b_0 + b_2 + b_3$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式 (17) の 6) に同じ

7) $b_0 + b_2 + b_3 \leq y < b_1 + b_2$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式 (15) の 7) に同じ

8) $b_1 + b_2 \leq y < b_1 + b_2 + b_3$: $g_0(y)$, $G_0(y)$ は式 (15) の 8) に同じ

9) $b_1 + b_2 + b_3 \leq y$: $g_0(y) = 0$, $G_0(y) = 1$

3. 計算例

2変数の場合の $f_0(y)$ と $F_0(y)$, および 3変数の場合の $g_0(y)$ と $G_0(y)$ に関する計算例を図-3に示す。ただし、分布のパラメーターの値を図中に示すが、応答値 y は文献1) や 2) の例題と同じく、設計荷重で正規化した値を表すものとする。 $f_0(y)$ と $F_0(y)$ についてはケースb) の場合、 $g_0(y)$ と $G_0(y)$ についてはケースc) の場合をそれぞれ表す。

この結果から、たとえば極値I型確率紙上に表示した

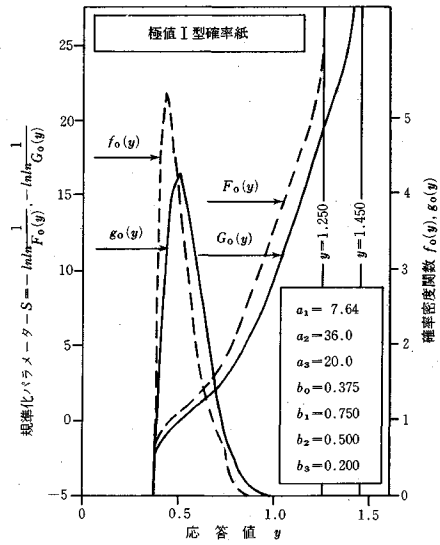


図-3 計算例

累積分布関数が、応答値 y の分布範囲に応じて上側に漸近する傾向をみる事ができる。また、 $f_0(y)$, $F_0(y)$ と $g_0(y)$, $G_0(y)$ のそれぞれの差から、 $f_3(y_3)$ を組み合わせた影響を定量的に把握することができる。このように、確率分布の解析解を利用すれば、最大応答の確率分布における諸性質を理論的に理解することができる。なお、本論文では3変数のたたみ込み積分による解析解の代表例のみを示したが、そのすべてを誘導することができ、コンピュータプログラム化してある。さらに、上記の方法を拡張することによって、4変数以上のたたみ込み積分にも適用することができる。

参考文献

- 1) 久保雅邦・亀田弘行：着目点載荷と渋滞荷重列の組合せによる道路橋の最大活荷重特性の解析，土木学会論文集，第398号/I-10，1988年10月。
- 2) Kameda, H. and Kubo, M. : Lifetime-Maximum Load Effect for Highway Bridges Based on Stochastic Combination of Typical Traffic Loadings, Proc. of ICOSAR'89, San Francisco, Aug. 1989.

(1990.10.8受付)

CLOSED-FORM SOLUTION FOR THE PROBABILITY DISTRIBUTION OF LIFETIME MAXIMUM LIVE LOAD FOR HIGHWAY BRIDGES

Masakuni KUBO and Hiroyuki KAMEDA

A set of closed-form solution for the probability distribution of maximum live load for highway bridges are presented by using the method developed in Refs. 1)-2). Whereas Ref. 1) contained only a part of analytical results of a single-fold convolution, their complete set is presented herein. In addition, the results for two-fold convolution are also presented herein. This will enable one to make wider application of the method.

圧密解析ソフトパソコンに上陸!!

未来設計企業
CRC

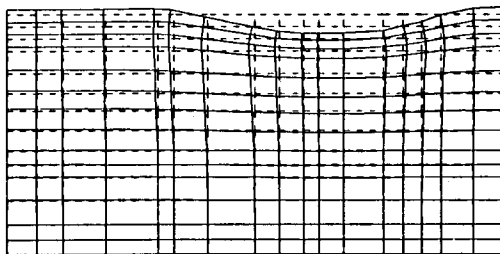
地盤の非定常圧密解析プログラム

Mr. 圧密

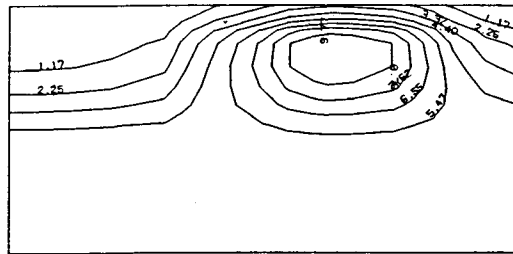
(特長)

- 非定常FEMによる線形弾性解析(christian系の解法)。
- 二次元平面歪解析。
- 要素として三角形・任意四角形が扱える。
- スケーリングをしているので安定して解が求まる。
- リスタート機能の完備。
- 入力はわかりやすいコマンド形式を採用(フリーフォーマット)。
- 図化处理(プロッタ、画像出力)等、豊富な機能を持つポストプログラムを完備。
- ジェネレート機能(長方形要素)により簡単にモデル作成が可能。
- 大モデルはそのままCRCネットワークでも(ホスト処理)可能。

販売価格：60万円 機種：NEC PC9800シリーズ 他



変形図



過剰間隙水圧コンター図

※EWS、汎用機用の圧密解析プログラム(逆解析も可能)として"UNICON"も用意しております。

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06)241-4121 営業担当: 岩崎

土と水の連成逆解析プログラム

未来設計企業
CRC

UNICOUP

応力解析と浸透解析がドッキングした!

軟弱地盤の解析に!

海洋開発・埋立

盛土・掘削

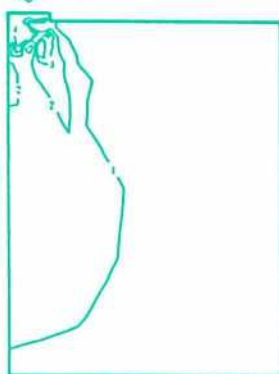
出力項目

- 各節点での変位、各要素での応力
- 各節点での全水頭・圧力水頭 他
- 豊富な図化処理
変位図、変位ベクトル図、応力ベクトル図、応力コンター図、安全率コンター図、水頭コンター図、圧力水頭コンター図

プログラムの特長

- 応力と地下水の流れをカップルさせた問題が解析可能です。(圧密含む)
- 地下水の流れは飽和・不飽和域を対象としています。
- 多段掘削・盛土や降雨等が扱えます。
- 梁や連結要素も扱え実用的です。
- 終時観測記録(変位・水位)があれば、非線形最小二乗法に基づき変形係数や透水係数が逆解析できます。(順解析、逆解析がスイッチにて選択可能です。)
- 弾性・非線形弾性・弾塑性・弾粘塑性を示す地盤が扱えます。
非線形弾性(電中研式、ダンカン・チャンの双曲線モデル)
弾塑性(ドラッカー・ブラガー、モール・クーロン、カムクレイモデル、ハードニング、ソフトニング)
弾粘塑性(関口・太田モデル)

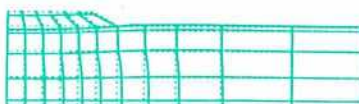
↓(荷重)



応力増分コンター ($d\sigma_V$)
(10日後)



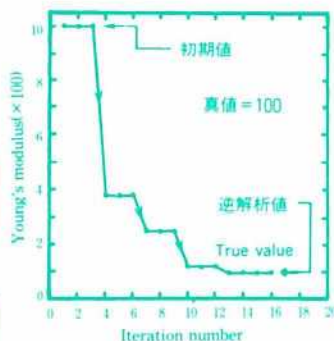
変位ベクトル図 (40日後)



盛土(40日)後の地盤の変形



盛土(40日)後の地下水の流れと水頭
コンターおよび自由水面



ヤング率と繰り返し回数
の関係
逆解析によるパラメータの推定

このシステムは、情報処理振興事業協会の委託を受けて開発したものです。

IPA 情報処理振興事業協会

株式会社 **CRC総合研究所** 西日本支社

問合せ先
大阪市中央区久太郎町4丁目1-3
(06-241-4121) 営業担当: 岩崎