

振動台上に設置された実験箱の振動—その I —
—厳密解と収束解の検討—

澤田 知之*・能町 純雄**・近藤 崇***・田中 健司****

Vibration Behavior of Sand-Box on the Shaking Table — I —
—Study for the Closed and Summation forms of the Numerical Analysis—

Tomoyuki SAWADA, Sumio G. NOMACHI, Takashi KONDO and Kennji TANAKA

要 旨

本論文は、既発表の表題¹⁾に関する数値解の詳細検討を行ったものの報告である。

Abstract

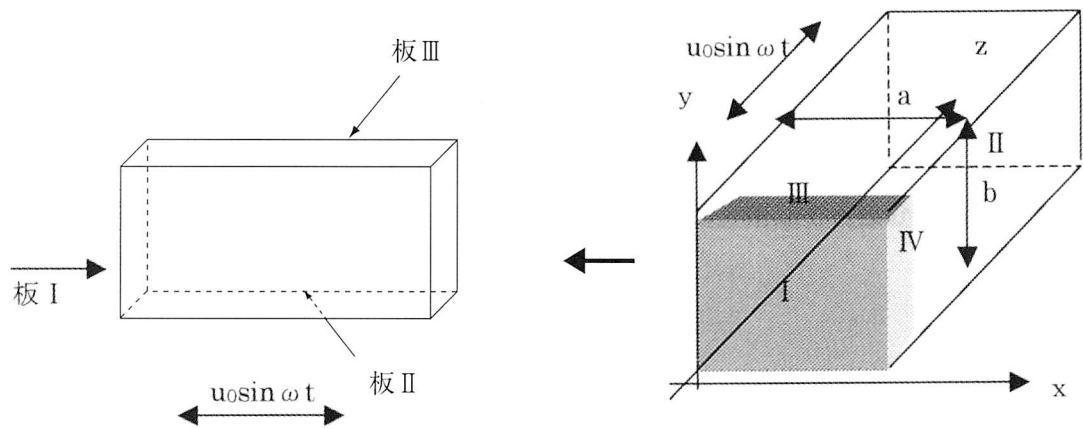
According to the previous paper, in which the analysis solution of the sand box on shaking table had been described, we keep carefully our eyes on the simulation for the closed form and summation form of these functions of the solution ,in this paper.

1. まえがき

既発表^{1),2)}等では様々な着目点からモデル地盤による振動台実験を行ってきたが、共振現象と考えられる結果が表れ、その信頼性、整合性をさらに検討する必要に迫られた。この点に着目し、振動台上に設置された砂箱（実験箱）に対する 2 次元弾性論による動的解析を行った。本報告は、その固有周期の存在を含む周波数特性を従来の実験データを基にして解析的に検討を進めた際の、解析解に厳密解と収束解の 2 種類が混在する形となりその数値的検証を述べたものである。

*教 授 環境都市工学科
**名誉教授 北海道大学
***助 手 環境都市工学科
**** 室蘭工大建設システム工学科

1. 解析概要



図—1 解析一般図

板のたわみを w 、振動台の入力変位を $u_0 \sin \omega t$ とする。いま、振動台による板 I の応答を考えると、板 I は側板 II、III と底板 IV と接合され、上辺 ($x=a$) は自由辺となっている。

板 I の x, y 方向断面の直応力による曲げモーメントを M_x, M_y とし、せん断力によるモーメントを M_{xy} とすれば、

$$M_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \tag{1}$$

$$M_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \tag{2}$$

$$M_{xy} = -D(1-\nu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \tag{3}$$

$$R_x = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \tag{4}$$

ただし、
$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

- E : 板の弾性係数 (kgf/cm²)
- h : 板厚 (cm)
- ν : 板のポアソン比

従って、力のつり合い式は、

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} = \rho h \omega^2 u_0 \sin \omega t \quad (5)$$

ω (radian/sec) は入力加速度の円振動角速度である。

(5)式に $\sin \frac{m\pi}{a} x \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y$ を (Integration kernel) 積分核とする積分変換を施せば、その逆変換として、次の強制振動解が得られる。

$$\begin{aligned} w = \frac{4}{ab} \sum_m \sum_n \frac{\sin \omega t \cdot \sin \frac{m\pi}{a} \sin \frac{n\pi}{b}}{D \cdot \Omega_{mn}} & \left[\frac{ab \rho h u_0 \omega^2 (1 - (-1)^m)(1 - (-1)^n)}{\pi^2 mn} \right. \\ & + \frac{m\pi}{a} \left\{ (-1)^m S_n \left[\overline{M_x} \right]_{x=a} - S_n \left[\overline{M_x} \right]_{x=0} \right\} + D \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^3 + (2 - \nu) \frac{m\pi}{a} \cdot \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} \\ & \times \left\{ (-1)^m S_n \left[\overline{w_{ay}} \right] - S_n \left[\overline{w_{by}} \right] \right\} + D \left\{ \left(\frac{n\pi}{b} \right)^3 + (2 - \nu) \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right) \right\} \\ & \times \left\{ (-1)^n S_m \left[\overline{w_{xb}} \right] - S_m \left[\overline{w_{xa}} \right] \right\} \left. \right] \quad (6) \end{aligned}$$

上式中、

$$\Omega_{mn} = \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\}^2 - \frac{\omega^2 \rho h}{D} = \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\}^2 - \lambda^2$$

$$\overline{M_x} \sin \omega t = M_x \quad , \quad \overline{w_a} \sin \omega t = w_a \quad , \quad \overline{w_b} \sin \omega t = M_b \quad , \quad \lambda^2 = \omega^2 \rho h / D$$

$$S_n \left[\left(\overline{M_x} \right)_{x=a} \right] = \int_0^b \left(\overline{M_x} \right)_{x=a} \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y dy$$

$$S_n \left[\overline{w_a} \right] = \int_0^b \overline{w_a} \cdot \sin \frac{n\pi}{b} y dy$$

$$S_n \left[\left(\overline{M_y} \right)_{y=b} \right] = \int_0^a \left(\overline{M_y} \right)_{y=b} \cdot \sin \frac{m\pi}{b} x dx$$

$$m, n = 1, 2, 3, \dots \quad \text{整数}$$

平板 I の境界条件

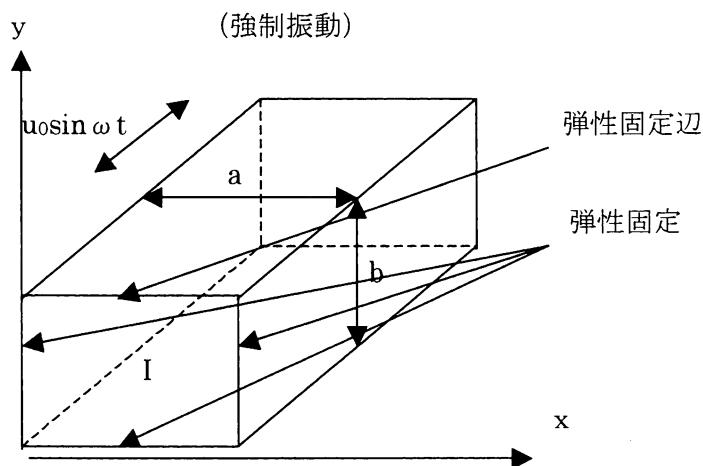


図-2 境界条件

図-1.2の板 I では、

$y=b$: 弾性固定辺

$$M_x = 0 \quad (\text{i}) \quad , \quad R_x = 0 \quad (\text{ii})$$

$y=0$ で底板との接合を次のように仮定する。

$$w = 0 \quad (\text{iii}) \quad , \quad M_x = K_0 \frac{\partial w}{\partial x} \quad (\text{iv})$$

$x=0, a$ で側板との接合部を上式にならない

$$w = 0 \quad (\text{v}) \quad , \quad M_x = K_1 \frac{\partial w}{\partial x} \quad (\text{vi})$$

(iv) と (vi) は弾性固定と考え、辺長にわたり、固定度一定と仮定したものであるが、 $K_0, K_1 = 0$ 三辺支持の仮定

$$K_0 = \infty, K_1 = 0 \quad y \text{ 方向二辺単純支持、底辺固定}$$

などの仮定も考えられる。

(ii) 式は、

$$R_x = -D \left(\frac{\partial^3 w}{\partial x^3} + (2-\nu) \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial y^2} \right)$$

さらに解式を簡単にするために、次のようにおく、

$$S_n \left[\left(\overline{M}_x \right)_{x=a} \right] / D = A_n \quad , \quad S_n \left[\overline{w}_a \right] = A_n \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2$$

(vii)

$$S_m \left[\left(\overline{M}_y \right)_{y=b} \right] / D = B_m' - B_m \quad , \quad S_m \left[\left(\overline{M}_y \right)_{y=0} \right] = B_m' + B_m$$

解式中の級数のClosed Formの誘導

ここで、考慮する境界条件を以下に示す。

$$w_{y=b} = 0 \quad , \quad w_{y=0} = 0 \quad , \quad w_{x=0} = 0 \quad , \quad (M_x)_{x=a} = 0$$

これらを代入し、逆変換を施すと、

$$\begin{aligned} w = \frac{4}{ab} \sum_m \sum_n \frac{\sin \omega t \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}}{\Omega_{mn}} & \left[\frac{ab\rho h u_0 \omega^2 (1 - (-1)^m)(1 - (-1)^n)}{\pi^2 Dmn} \right. \\ & + \frac{m\pi}{a} \cdot A_n + \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^3 + (2 - \nu) \frac{m\pi}{a} \cdot \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} (-1)^m A_n' \left(\frac{b}{n\pi} \right)^2 \\ & \left. - \frac{n\pi}{b} \left\{ (1 - (-1)^m) B_m + (1 - (-1)^n) B_m' \right\} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

となる。 A_n, A_n', B_m, B_m' は上記 (vii) に示してある。

1) (7) 式中の A_n の級数は $x/a = \xi$ として、

$$\frac{4}{ab} \sum_m \frac{\frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi}{a} x}{\Omega_{mn}} = \frac{4}{ab} \sum_m \left[\frac{m\pi}{a} \sin(m\pi\xi) \frac{1}{2\lambda} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \lambda} - \frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \lambda} \right\} \right] \quad (8)$$

いま、

$$\frac{\frac{m\pi}{a}}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \lambda} = \frac{a}{\pi} \frac{m}{m^2 + \mu_n^2} : \mu_n^2 = a_n^2 - \frac{\lambda a^2}{\pi^2}$$

$$\frac{\frac{m\pi}{a}}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \lambda} = \frac{a}{\pi} \frac{m}{m^2 + \mu_n'^2} : \mu_n'^2 = a_n^2 + \frac{\lambda a^2}{\pi^2}$$

とおけば、(8) 式は、

$$\begin{aligned} \frac{4}{ab} \sum_m \frac{\frac{m\pi}{a} \sin \frac{m\pi}{a} x}{\Omega_{mn}} &= \frac{2}{\pi b \lambda} \sum_m \sin(m\pi\xi) \left(\frac{m}{m^2 + \mu_n^2} - \frac{m}{m^2 + \mu_n'^2} \right) \\ &= \frac{1}{b \lambda} \left(\frac{\sinh\{\pi\mu_n(1-\xi)\}}{\sinh(\pi\mu_n)} - \frac{\sinh\{\pi\mu_n'(1-\xi)\}}{\sinh(\pi\mu_n')} \right) = \frac{1}{b \lambda} P_n(\xi) \end{aligned} \quad (9)$$

2) $A_n b^2 / (n\pi)^2$ の級数は

$$\begin{aligned}
 & \frac{4}{ab} \sum_m \sin(m\pi\xi) \cdot (-1)^m \frac{m\pi \left\{ \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right\} + (1-\nu) \left(\frac{m\pi}{a} \right) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2}{\Omega_{mn}} \\
 &= \frac{4}{ab} \sum_m \sin(m\pi\xi) \cdot (-1)^m \frac{\left(\frac{m\pi}{a} \right)}{2} \left\{ \frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \lambda} + \frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \lambda} \right. \\
 & \quad \left. + \frac{(1-\nu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2}{2\lambda} \left(\frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 - \lambda} - \frac{1}{\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \lambda} \right) \right\} \quad (10)
 \end{aligned}$$

(10) 式の第1項は

$$\begin{aligned}
 & \frac{2}{\pi b} \sum_m \sin(m\pi\xi) \cdot (-1)^m \left(\frac{m}{m^2 + \mu_n^2} + \frac{m}{m^2 + \mu_n'^2} \right) \\
 &= -\frac{1}{b} \left(\frac{\sinh(\pi\mu_n\xi)}{\sinh(\pi\mu_n)} - \frac{\sinh(\pi\mu_n'\xi)}{\sinh(\pi\mu_n')} \right) = \frac{1}{b} Q_n(\xi) \quad (11)
 \end{aligned}$$

同じく第2項は

$$\begin{aligned}
 & \frac{2}{\pi b \lambda} (1-\nu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \sum_m \sin(m\pi\xi) \cdot (-1)^m \left(\frac{m}{m^2 + \mu_n^2} + \frac{m}{m^2 + \mu_n'^2} \right) \\
 &= \frac{2(1-\nu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2}{\pi b \lambda} \left(\frac{\sinh(\pi\mu_n\xi)}{\sinh(\pi\mu_n)} - \frac{\sinh(\pi\mu_n'\xi)}{\sinh(\pi\mu_n')} \right) = -\frac{(1-\nu) \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2}{b \lambda} \cdot P_n(\xi) \quad (12)
 \end{aligned}$$

3) B_m , B'_m に伴う級数の Closed Form

$$\begin{aligned} & \frac{4}{ab} \sum_n \frac{\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \frac{n\pi}{b} \{1 \mp (-1)^n\}}{\Omega_{mn}} \\ &= \frac{2}{\lambda ab} \sum_n \frac{n\pi}{b} \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \left(\frac{1}{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \lambda} - \frac{1}{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \lambda} \right) \end{aligned}$$

$(1 - (-1)^n)$ が B_m 、 $(1 + (-1)^n)$ が B'_m に対応する。

次に、 n についての Closed Form は以下の如く示される。

$$\begin{aligned} & \sum_n \frac{(1 - (-1)^n) \frac{n\pi}{b} \cdot \sin(n\pi\eta)}{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \lambda} = \frac{b}{\pi} \sum_n \frac{(1 - (-1)^n) n \cdot \sin(n\pi\eta)}{n^2 + \gamma_m^2} \\ &= \frac{b}{2} \frac{\sinh\{\pi\gamma_m(1-\eta)\} + \sinh(\pi\gamma_m\eta)}{\sinh(\pi\gamma_m)} \\ & \sum_n \frac{(1 - (-1)^n) \frac{n\pi}{b} \cdot \sin(n\pi\eta)}{\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \lambda} = \frac{b}{\pi} \sum_n \frac{(1 - (-1)^n) n \cdot \sin(n\pi\eta)}{n^2 + \gamma_m'^2} \\ &= \frac{b}{2} \frac{\sinh\{\pi\gamma'_m(1-\eta)\} + \sinh(\pi\gamma'_m\eta)}{\sinh(\pi\gamma'_m)} \end{aligned}$$

ただし、 $\left. \begin{matrix} \gamma_m^2 \\ \gamma_m'^2 \end{matrix} \right\} = \beta_m^2 \mp \frac{\lambda b^2}{\pi^2}, \quad \beta_m = \frac{bm}{a}, \quad \eta = \frac{y}{b}$

$$\therefore \frac{4}{ab} \sum_n \frac{\frac{n\pi}{b} \cdot \sin(n\pi\eta)}{\Omega_{mn}} = \frac{1}{a\lambda} \left(\frac{\sinh\{\pi\gamma_m(1-\eta)\}}{\sinh(\pi\gamma_m)} - \frac{\sinh\{\pi\gamma'_m(1-\eta)\}}{\sinh(\pi\gamma'_m)} \right) = P_m(\eta) \frac{1}{a\lambda} \quad (13)$$

とおけば、

$$\frac{4}{ab} \sum_n \frac{\sin\left(\frac{n\pi}{b}y\right) \cdot \frac{n\pi}{b} \{1 \mp (-1)^n\}}{\Omega_{mn}} = (P_m(\eta) \pm P_m(1-\eta)) \frac{1}{a\lambda} \quad (14)$$

従って、(7) 式は $w = \bar{w} \sin \omega t$ とおいて

$$\begin{aligned} w = & A_n \frac{1}{b \lambda} P_n(1-\xi) - A_n' \frac{b}{\pi^2} Q_n(\xi) + (1-\nu) \frac{1}{b \lambda} P_n(\xi) \\ & + \left\{ B_m(P_m(\eta) + P_m(1-\eta)) + B_m'(P_m(\eta) - P_m(1-\eta)) \right\} \frac{1}{a \lambda} \\ & + \frac{\rho h u \omega^2}{D} \sum_m \sum_n \frac{\sin(m \pi \xi) \cdot \sin(n \pi \eta) \cdot (1 - (-1)^m) \cdot (1 - (-1)^n)}{\pi^2 m n \cdot \Omega_{mn}} \end{aligned}$$

(15)

境界条件によって (15) 式中の A_n, A_n', B_m, B_m' を求めて応答加速度

$(u + \bar{w}) \omega^2$

が求められる。 $u \omega^2$ は入力加速度で ω は入力角速度である。

2. 解の関数の検討結果

以下にそれぞれの解で使用される関数の計算結果を示す。

- (1) 厳密解としての関数 P 及び Q の m、n に対する関数形状及びその一階から三階微分形を図に示すと以下の様に図-3~10となる。

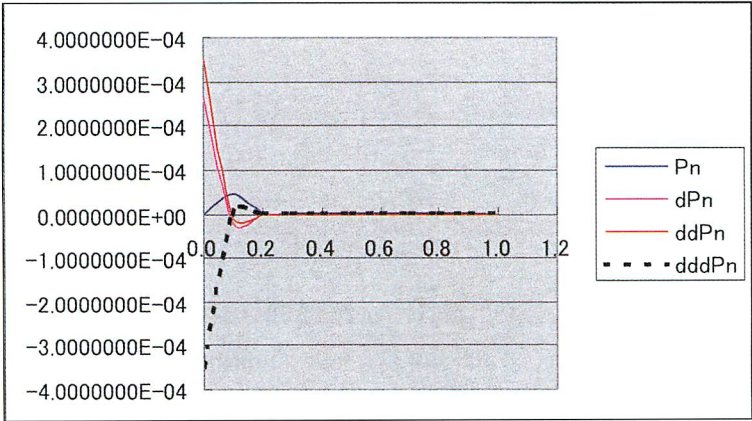
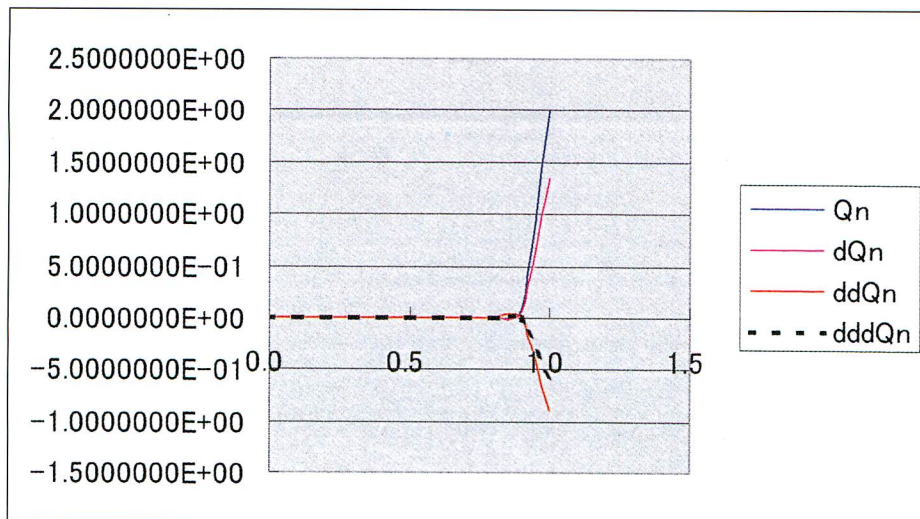
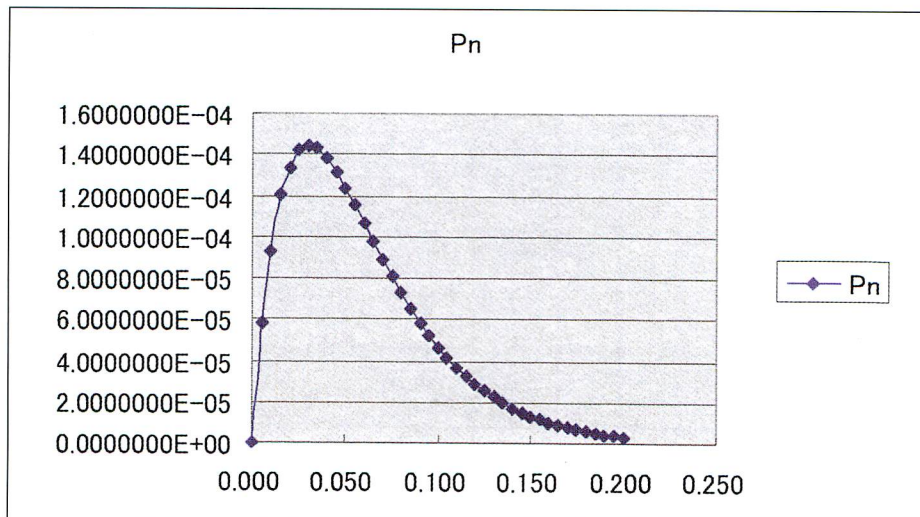
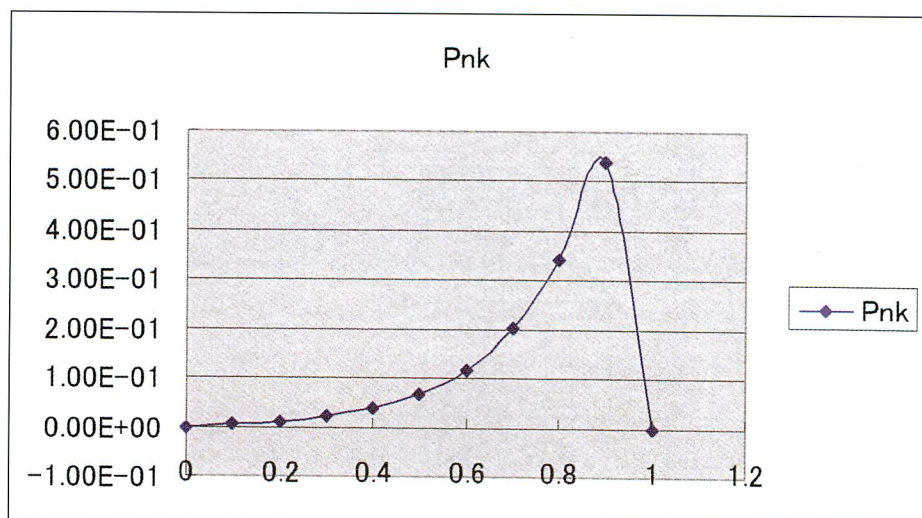


図-3 P関数の1~3回微分モード

図－4 Q 関数の 1 ～ 3 回微分モード図－5 P_n 関数図－6 $P_n(1-\xi)$ 関数

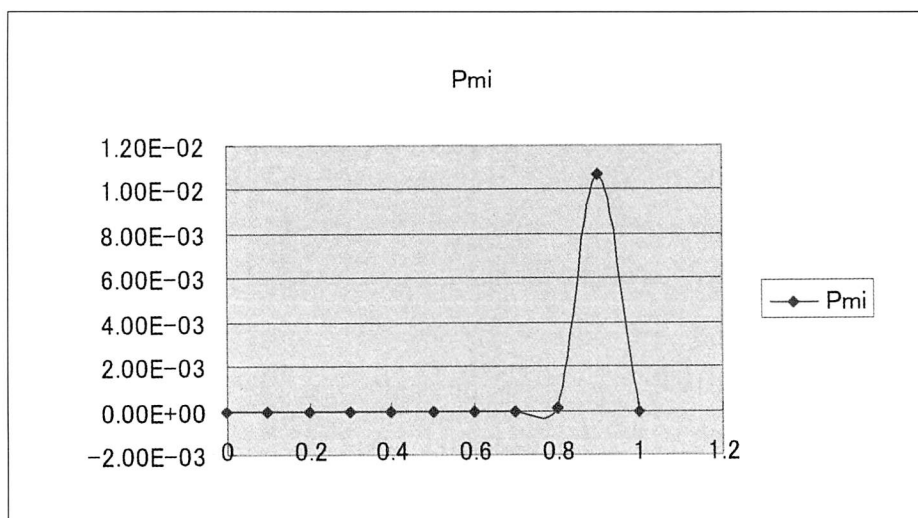


図-7 P m 関数

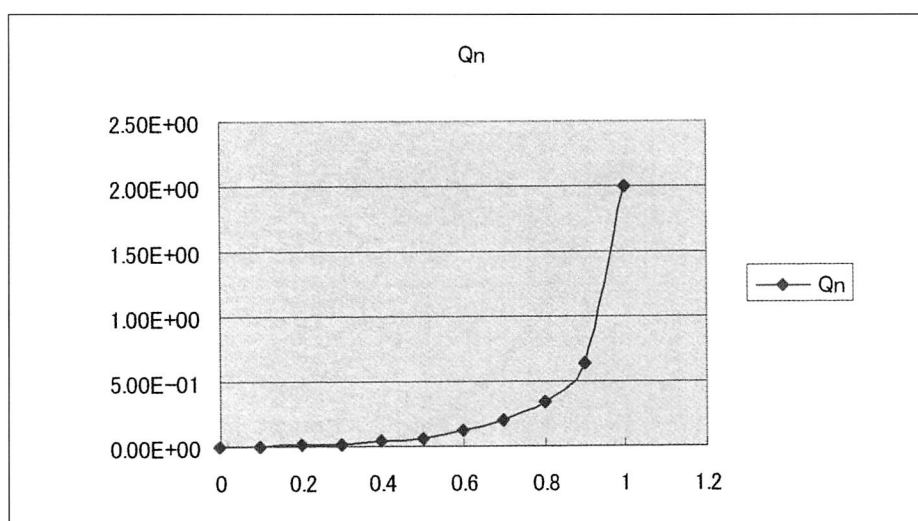


図-8 Qn 関数

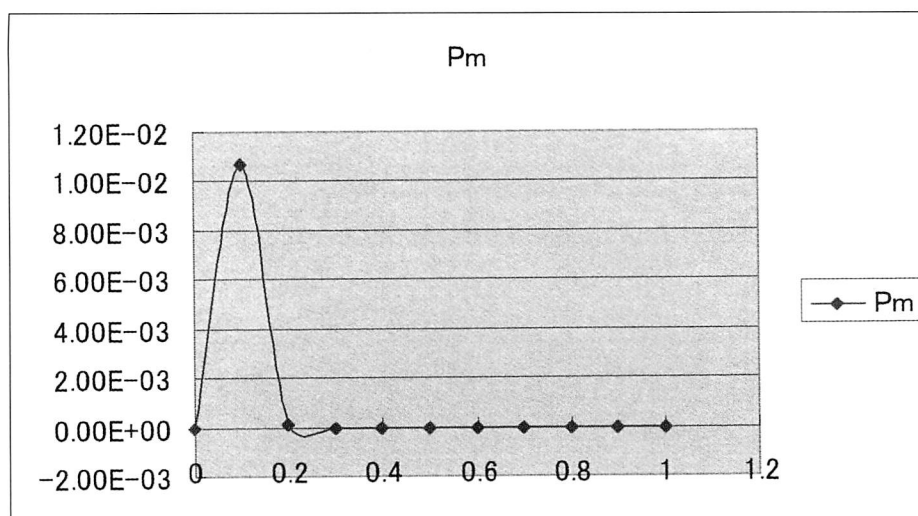
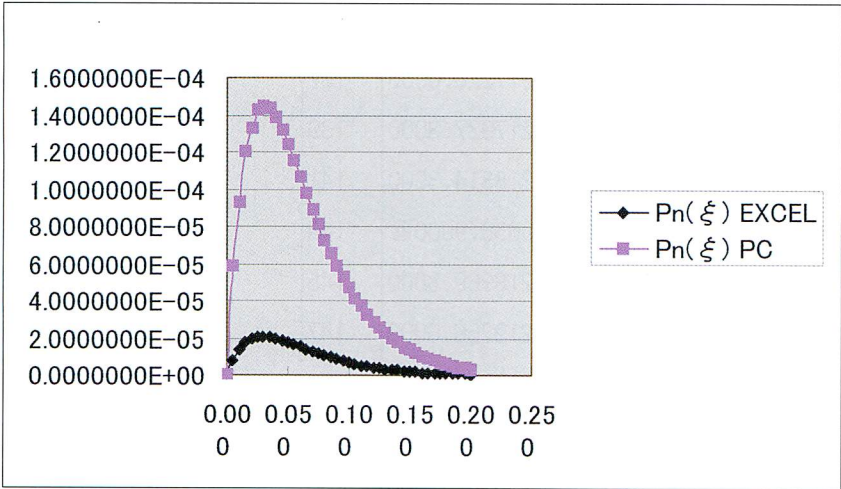


図-9 P m 関数



図－10 P_n 比較

(2) - 1 次に収束解として $m = 570$ (表では469個までを表示)、 $n = 199$ 個まで集めた結果を以下に表で示す。

m=570					
n=199					
m	sum1	sum2	m	sum1	sum2
1	-569.8781	-569.8781	101	62.0484	222747.8000
3	-5509.9330	-6079.8110	103	59.6606	222807.4000
5	116470.4000	110390.5000	105	57.4080	222864.8000
7	71404.9200	181795.5000	107	55.2806	222920.1000
9	11174.1300	192969.6000	109	53.2692	222973.4000
11	6047.4830	199017.1000	111	51.3655	223024.8000
13	4024.7790	203041.9000	113	49.5621	223074.3000
15	2928.4680	205970.3000	115	47.8519	223122.2000
17	2244.1490	208214.5000	117	46.2287	223168.4000
19	1781.1060	209995.6000	119	44.6867	223213.1000
21	1450.6540	211446.3000	121	43.2206	223256.3000
23	1205.5700	212651.8000	123	41.8253	223298.1000
25	1018.3450	213670.2000	125	40.4966	223338.6000
27	871.8940	214542.0000	127	39.2301	223377.9000
29	755.0798	215297.1000	129	38.0221	223415.9000
31	660.3593	215957.5000	131	36.8691	223452.8000
33	582.4637	216540.0000	133	35.7676	223488.5000

35	517.6163	217057.6000	135	34.7148	223523.3000
37	463.0470	217520.6000	137	33.7078	223557.0000
39	416.6875	217937.3000	139	32.7439	223589.7000
41	376.9667	218314.3000	141	31.8208	223621.5000
43	342.6721	218656.9000@	143	30.9362	223652.5000
45	312.8571	218969.8000	145	30.0879	223682.6000
47	286.7735	219256.6000	147	29.2740	223711.8000
49	263.8228	219520.4000	149	28.4927	223740.3000
51	243.5222	219763.9000	151	27.7422	223768.1000
53	225.4785	219989.4000	153	27.0210	223795.1000
55	209.3691	220198.8000	155	26.3276	223821.4000
57	194.9266	220393.7000	157	25.6605	223847.1000
59	181.9288	220575.6000	159	25.0184	223872.1000
61	170.1891	220745.8000	161	24.4001	223896.5000
63	159.5501	220905.4000	163	23.8045	223920.3000
65	149.8785	221055.2000	165	23.2303	223943.5000
67	141.0602	221196.3000	167	22.6767	223966.2000
69	132.9979	221329.3000	169	22.1427	223988.4000
71	125.6074	221454.9000	171	21.6273	224010.0000
73	118.8162	221573.7000	173	21.1296	224031.1000
75	112.5611	221686.3000	175	20.6490	224051.8000
77	106.7871	221793.1000	177	20.1846	224072.0000
79	101.4462	221894.5000	179	19.7356	224091.7000
81	96.4961	221991.0000	181	19.3015	224111.0000
83	91.8995	222082.9000	183	18.8815	224129.9000
85	87.6236	222170.5000	185	18.4751	224148.3000
87	83.6392	222254.2000	187	18.0816	224166.4000
89	79.9204	222334.1000	189	17.7006	224184.1000
91	76.4442	222410.5000	191	17.3315	224201.4000
93	73.1898	222483.7000	193	16.9738	224218.4000
95	70.1388	222553.9000	195	16.6271	224235.0000
97	67.2747	222621.2000	197	16.2909	224251.3000
99	64.5823	222685.7000	199	15.9648	224267.3000

m	sum1	sum2	m	sum1	sum2
201	15.6484	224282.9000	301	6.9733	224800.9000
203	15.3413	224298.3000	303	6.8815	224807.8000
205	15.0431	224313.3000	305	6.7915	224814.6000
207	14.7536	224328.1000	307	6.7033	224821.3000
209	14.4723	224342.5000	309	6.6167	224827.9000
211	14.1990	224356.8000	311	6.5318	224834.4000
213	13.9334	224370.7000	313	6.4486	224840.9000
215	13.6751	224384.4000	315	6.3669	224847.3000
217	13.4240	224397.8000	317	6.2867	224853.5000
219	13.1797	224411.0000	319	6.2081	224859.7000
221	12.9420	224423.9000	321	6.1309	224865.9000
223	12.7107	224436.6000	323	6.0552	224871.9000
225	12.4856	224449.1000	325	5.9809	224877.9000
227	12.2663	224461.4000	327	5.9079	224883.8000
229	12.0528	224473.4000	329	5.8362	224889.7000
231	11.8448	224485.3000	331	5.7659	224895.4000
233	11.6422	224496.9000	333	5.6968	224901.1000
235	11.4447	224508.3000	335	5.6289	224906.8000
237	11.2522	224519.6000	337	5.5623	224912.3000
239	11.0645	224530.6000	339	5.4968	224917.8000
241	10.8815	224541.5000	341	5.4325	224923.3000
243	10.7029	224552.2000	343	5.3693	224928.6000
245	10.5288	224562.8000	345	5.3071	224933.9000
247	10.3588	224573.1000	347	5.2461	224939.2000
249	10.1929	224583.3000	349	5.1861	224944.4000
251	10.0310	224593.3000	351	5.1272	224949.5000
253	9.8729	224603.2000	353	5.0692	224954.6000
255	9.7185	224612.9000	355	5.0122	224959.6000
257	9.5677	224622.5000	357	4.9562	224964.5000
259	9.4204	224631.9000	359	4.9011	224969.4000
261	9.2765	224641.2000	361	4.8469	224974.3000
263	9.1358	224650.3000	363	4.7936	224979.1000
265	8.9984	224659.3000	365	4.7412	224983.8000
267	8.8640	224668.2000	367	4.6896	224988.5000

269	8.7325	224676.9000	369	4.6389	224993.1000
271	8.6040	224685.5000	371	4.5890	224997.7000
273	8.4783	224694.0000	373	4.5399	225002.3000
275	8.3554	224702.4000	375	4.4916	225006.8000
277	8.2350	224710.6000	377	4.4440	225011.2000
279	8.1173	224718.7000	379	4.3972	225015.6000
281	8.0021	224726.7000	381	4.3511	225019.9000
283	7.8893	224734.6000	383	4.3058	225024.3000
285	7.7789	224742.4000	385	4.2611	225028.5000
287	7.6708	224750.1000	387	4.2172	225032.7000
289	7.5649	224757.6000	389	4.1739	225036.9000
291	7.4612	224765.1000	391	4.1313	225041.0000
293	7.3596	224772.5000	393	4.0893	225045.1000
295	7.2601	224779.7000	395	4.0480	225049.2000
297	7.1626	224786.9000	397	4.0073	225053.2000
299	7.0670	224794.0000	399	3.9672	225057.1000

m	sum1	sum2	m	sum1	sum2
401	3.9277	225061.1000	501	2.5158	225217.6000
403	3.8888	225065.0000	503	2.4958	225220.1000
405	3.8505	225068.8000	505	2.4761	225222.5000
407	3.8127	225072.6000	507	2.4566	225225.0000
409	3.7755	225076.4000	509	2.4373	225227.4000
411	3.7388	225080.1000	511	2.4183	225229.9000
413	3.7027	225083.8000	513	2.3995	225232.3000
415	3.6671	225087.5000	515	2.3808	225234.6000
417	3.6320	225091.1000	517	2.3625	225237.0000
419	3.5974	225094.7000	519	2.3443	225239.3000
421	3.5633	225098.3000	521	2.3263	225241.7000
423	3.5296	225101.8000	523	2.3085	225244.0000
425	3.4965	225105.3000	525	2.2910	225246.3000
427	3.4638	225108.8000	527	2.2736	225248.6000
429	3.4315	225112.2000	529	2.2565	225250.8000
431	3.3998	225115.6000	531	2.2395	225253.0000
433	3.3684	225119.0000	533	2.2227	225255.3000
435	3.3375	225122.3000	535	2.2061	225257.5000
437	3.3070	225125.7000	537	2.1897	225259.7000

439	3.2769	225128.9000	539	2.1735	225261.8000
441	3.2473	225132.2000	541	2.1574	225264.0000
443	3.2180	225135.4000	543	2.1416	225266.1000
445	3.1891	225138.6000	545	2.1259	225268.3000
447	3.1606	225141.8000	547	2.1104	225270.4000
449	3.1325	225144.9000	549	2.0950	225272.5000
451	3.1048	225148.0000	551	2.0798	225274.5000
453	3.0774	225151.1000	553	2.0648	225276.6000
455	3.0504	225154.1000	555	2.0499	225278.6000
457	3.0238	225157.1000	557	2.0352	225280.7000
459	2.9975	225160.1000	559	2.0207	225282.7000
461	2.9715	225163.1000	561	2.0063	225284.7000
463	2.9459	225166.1000	563	1.9921	225286.7000
465	2.9206	225169.0000	565	1.9780	225288.7000
467	2.8956	225171.9000	567	1.9641	225290.6000
469	2.8710	225174.8000	569	1.9503	225292.6000
471	2.8466	225177.6000			
473	2.8226	225180.4000			
475	2.7989	225183.2000			
477	2.7754	225186.0000			
479	2.7523	225188.8000			
481	2.7295	225191.5000			
483	2.7069	225194.2000			
485	2.6846	225196.9000			
487	2.6626	225199.5000			
489	2.6408	225202.2000			
491	2.6194	225204.8000			
493	2.5982	225207.4000			
495	2.5772	225210.0000			
497	2.5565	225212.5000			
499	2.5360	225215.1000			

(2) - 2 上記の結果を踏まえると一回、二回微分形はそれぞれ以下の項数まで集めたものを下表に示す。

m	m=29 n=199		m=99 n=99		m=99 n=99	
	sum1	sum2	sum1	sum2	sum1	sum2
1	-27588.6400	-27588.6400	57.7408	57.7408	-27.0981	-27.0981
3	-25104.7100	-52693.3500	62.0304	119.7712	-113.9089	-141.0069
5	254633.7000	201940.4000	-472.0367	-352.2655	758.2521	617.2451
7	165.3605	202105.7000	-147.6496	-499.9151	59.8372	677.0823
9	-0.3180	202105.4000	-13.9775	-513.8925	-9.7511	667.3312
11	-0.3253	202105.1000	-5.0639	-518.9564	3.8283	671.1595
13	-0.3231	202104.8000	-2.4130	-521.3694	-1.8727	669.2869
15	-0.3209	202104.4000	-1.3187	-522.6881	1.0338	670.3207
17	-0.3183	202104.1000	-0.7868	-523.4749	-0.6190	669.7017
19	-0.3154	202103.8000	-0.4999	-523.9747	0.3934	670.0951
21	-0.3123	202103.5000	-0.3333	-524.3080	-0.2619	669.8332
23	-0.3090	202103.2000	-0.2309	-524.5389	0.1809	670.0141
25	-0.3053	202102.9000	-0.1651	-524.7039	-0.1288	669.8853
27	-0.3014	202102.6000	-0.1212	-524.8251	0.0941	669.9794
29	-0.2973	202102.3000	-0.0910	-524.9160	-0.0703	669.9091
31			-0.0696	-524.9856	0.0534	669.9626
33			-0.0542	-525.0398	-0.0413	669.9213
35			-0.0428	-525.0826	0.0324	669.9537
37			-0.0343	-525.1168	-0.0257	669.9279
39			-0.0277	-525.1446	0.0207	669.9486
41			-0.0227	-525.1673	-0.0168	669.9318
43			-0.0188	-525.1860	0.0137	669.9456
45			-0.0156	-525.2017	-0.0113	669.9342
47			-0.0131	-525.2148	0.0094	669.9436
49			-0.0111	-525.2259	-0.0079	669.9357
51			-0.0095	-525.2354	0.0066	669.9424
53			-0.0081	-525.2435	-0.0056	669.9368
55			-0.0070	-525.2505	0.0048	669.9416
57			-0.0061	-525.2565	-0.0041	669.9375
59			-0.0053	-525.2618	0.0035	669.9410

61			-0.0046	-525.2665	-0.0031	669.9380
63			-0.0041	-525.2706	0.0027	669.9407
65			-0.0036	-525.2742	-0.0023	669.9384
67			-0.0032	-525.2773	0.0020	669.9404
69			-0.0028	-525.2802	-0.0018	669.9386
71			-0.0025	-525.2827	0.0016	669.9402
73			-0.0023	-525.2849	-0.0014	669.9388
75			-0.0020	-525.2869	0.0012	669.9400
77			-0.0018	-525.2888	-0.0011	669.9389
79			-0.0016	-525.2904	0.0010	669.9399
81			-0.0015	-525.2919	-0.0009	669.9390
83			-0.0013	-525.2932	0.0008	669.9398
85			-0.0012	-525.2944	-0.0007	669.9391
87			-0.0011	-525.2955	0.0006	669.9398
89			-0.0010	-525.2966	-0.0006	669.9392
91			-0.0009	-525.2975	0.0005	669.9397
93			-0.0009	-525.2983	-0.0005	669.9392
95			-0.0008	-525.2991	0.0004	669.9396
97			-0.0007	-525.2999	-0.0004	669.9393
99			-0.0007	-525.3005	0.0003	669.9396

以上の結果を用いて、境界値及び変位、モーメントが計算されることになり収束値としての妥当性について今後さらに検討の必要がある結果となっている。

参考文献

1) 澤田・能町・近藤：振動台の上の砂箱内地盤モデルにおける動的応力と変位の弾性解、
苦小牧工業高等専門学校紀要、第32号、pp.95～112、1997。
2) 澤田・能町・近藤：地震時地盤における深さ方向の慣性力分布の模型実験、土木学会第53 回
年次学術講演会概要集、Ⅰ－B209、1998。
3) 物部高穂：地震上下動に関する考察ならびに振動雑論、土木学会誌、Vol.10、No.5、
pp.1063～1094、1924。

(平成14年11月29日受理)

