

IV-16

道路遮音壁の音響解析

旭川高専 鏡 慎
 北大工学部 正員 森吉昭博
 北大工学部 深井一郎

1. まえがき

道路交通騒音は、社会的に重要な問題で、その対策としては、遮音壁の設置と車両の速度制限があげられる。本報告においては、遮音壁の効果について数値解析を用いて検討を行っている。従来行われてきたこの問題に対する研究は波動場としての積極的な取扱いをしていない¹⁾。著者らは、遮音壁の設計に当たっては、周波数に関する考察が不可欠であるとの考えをもとに本研究を行っている。即ち、音源である車両と遮音壁のある構造は、一つの音響放射系であるから、その形状いかんによって放射音響場に指向性を持たせることができるし、また、無理な音の閉じ込めは、構造全体の共振を生じし易いと考えられる。なお、数値解析の手法としては、境界要素法を採用し、対象とした周波数は、耳障りであるとされている250Hzを中心に150-350Hzの範囲を10Hz刻みに、また、遮音壁の形状は、直立したもののほか、道路の外側方向に傾けた場合、内側に傾けた場合を解析した。

2. 境界要素法による音響場の取扱い

2次元領域Dにおいて定常音響場が存在する時、2次元 Helmholtz方程式が成立する。この問題を境界要素法によって定式化すると、次の行列方程式が得られる^{2), 3)}。

$$H u = G q \quad (1)$$

ここで、H、Gは Green関数および形状関数に関するDの周囲B上での積分によって決定される係数行列である。また、u、qは解析のポテンシャルおよびそのB上外向法線方向微分値のベクトルで、uとqはそれぞれ、音圧p、粒子速度 ξ 、角周波数 ω 、媒質密度 ρ と次の関係に取られる^{2), 3)}。

$$p = j \omega \rho u \quad (2)$$

$$\xi = q \quad (3)$$

3. 解析モデルの設定

図1のような左右対称な構造を考える。道路幅員は片側5mで、音源は車両のタイヤの位置に線状にあるとする。音源の位置および大きさは図2に示すとおりである。図1は遮音壁が直立している場合であるが、実際には図2のような4種類の形状を取り扱った。また、図2は同時に、解析モデルを示すもので、いずれも対称性を考慮した右半分の1/2モデルとなっており、接点数181である。周波数は、250Hz程度が最も耳障りであるとされているので、150-350Hzの範囲を10Hz間隔に21個選んだ。

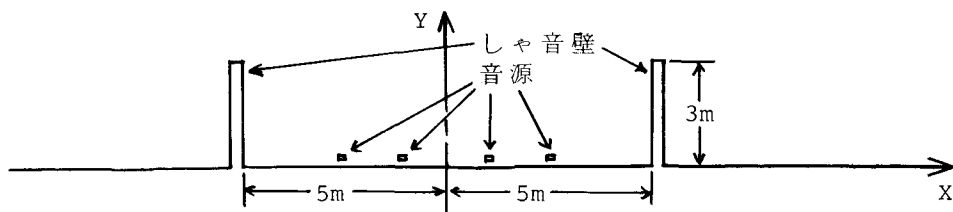


図1. 遮音壁のある道路

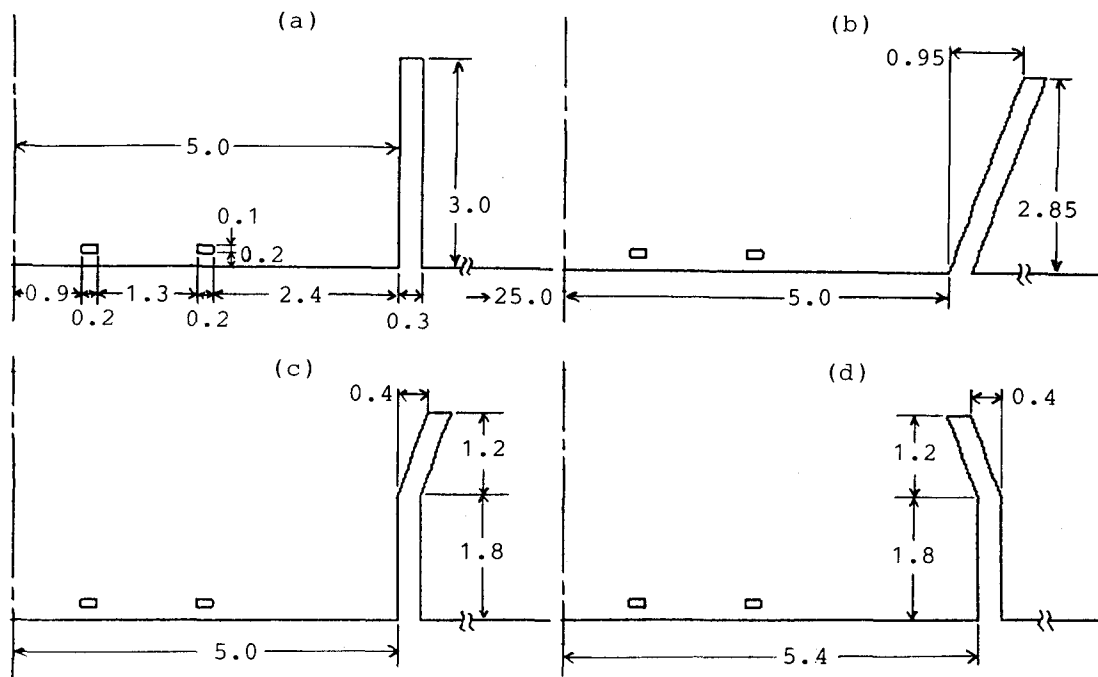


図2 解析モデル

境界条件は、粒子速度 q が、音源を除く部分で零、音源で 1.0 を与える。前者は剛体壁を、後者は呼吸体を意味する。この場合、境界要素法の直接の解としては、境界上の u 、即ち、音圧（と周波数の逆数の積）に比例した量が得られ、これらの u 、 q を境界上で積分することによって任意の点における u を計算することができる。この 2 次的に u を求める範囲は、 $(x, y): (0, 1) - (40, 10) (\text{m})$ とする。

4. 解析結果

表 1 は解析を行なったすべての周波数における、 $(x, y) = (40, 10) (\text{m})$ の点の u の値に 1000 を乗じたものを、(a) から (d) までの 4 種類の遮音壁形状について示すものである。遮音壁の直立している (a) の場合、周波数 $f = 200 \text{ Hz}$ で著しく大きな値となっている。これは、この周波数の付近で共振が起きているためであると考えられる。必ずしも全ての場合とは言えないが、遮音壁全体を道路の外側へ傾斜させた (b) が、次いで、上部 2/5 を外側へ傾斜させた (c) が、周辺の音圧を低減させることに効果のあること

表 1 周辺の音圧の周波数による変化

$f (\text{Hz})$	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
case/																					
a	8	4	36	25	11	131	58	26	17	11	7	4	28	15	8	16	11	8	3	3	2
b	9	12	10	10	12	30	31	15	14	11	7	8	7	3	6	8	4	5	3	1	1
c	4	13	44	15	11	66	30	20	12	8	3	5	17	11	11	7	6	7	4	2	1
d	7	10	8	10	28	52	22	2	34	16	17	12	6	10	30	14	7	11	5	4	2

$x=40.0 (\text{m})$, $y=10.0 (\text{m})$

(a)

10.0	222	157	36	23	24	84	63	34	149	195	158	92	97	111	88	72	119	160	170	142	102	81	98	75	108	167	196	191	169	155	162	197	122	115	131
9.0	207	144	85	60	58	112	47	142	225	182	82	97	123	97	106	156	182	158	109	68	83	115	101	149	205	218	196	169	165	182	203	172	101	121	154
8.0	138	122	174	88	118	140	118	238	203	60	119	151	120	142	185	175	119	67	98	137	148	139	195	242	234	197	177	190	213	225	222	114	124	144	149
7.0	32	140	248	83	211	170	201	215	32	176	187	141	171	189	137	78	129	184	198	188	186	244	272	237	195	195	219	234	230	210	183	117	155	160	116
6.0	310	173	253	105	315	123	204	54	260	249	139	194	176	115	178	250	266	244	236	260	288	286	224	197	220	238	231	204	168	134	112	144	145	131	74
5.0	577	85	334	185	280	192	231	299	296	133	264	203	238	331	345	299	275	295	315	307	271	200	212	238	228	191	147	115	107	118	135	167	141	72	55
4.0	544	227	587	293	263	529	171	414	194	468	285	407	416	326	278	298	306	269	215	182	187	226	215	167	118	101	118	142	159	169	171	130	80	50	66
3.0	851	275	588	870	343	838	328	722	729	289	721	232	209	249	227	164	138	169	197	203	185	122	91	117	149	168	174	171	161	147	132	68	44	76	78
2.0	1389	4821	1941034	2301520	5511841311	497	750	62	90	134	160	154	122	85	70	89	118	159	171	163	146	126	105	85	68	55	47	63	95	87	80				
1.0	1904	53114451587	7741707	43314161297	456	886	99	108	118	127	130	128	120	109	94	79	50	30	29	41	55	66	76	85	92	97	111	94	80	74					

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.510.011.012.013.014.015.016.017.018.019.020.025.030.035.040.0 (a)

(a)

10.0	257	159	78	158	71	97	177	123	19	87	100	82	82	83	64	47	48	52	47	39	38	47	44	50	60	61	53	42	36	36	40	33	21	26	30
9.0	296	165	78	157	30	153	166	38	92	124	85	70	75	55	38	47	50	42	37	42	48	48	51	62	61	51	40	36	39	42	44	26	23	28	32
8.0	306	147	133	166	40	176	99	83	155	99	44	65	45	32	49	49	39	40	49	53	52	53	62	61	49	38	37	42	46	45	42	21	30	31	29
7.0	262	105	218	169	81	156	44	176	139	9	62	43	30	55	50	38	46	56	58	54	54	63	61	47	37	41	46	48	44	38	32	28	34	32	21
6.0	164	64	264	144	152	115	127	190	79	93	61	27	64	52	40	56	65	62	58	61	65	62	45	39	46	50	47	40	32	26	23	34	30	25	13
5.0	133	44	207	122	220	99	162	150	157	133	13	87	63	46	72	76	67	64	68	69	62	42	44	52	51	42	32	25	25	23	32	36	28	13	9
4.0	166	45	80	88	215	121	166	130	255	107	146	102	56	99	85	68	70	70	60	47	41	52	54	44	31	25	28	33	36	38	38	26	15	7	10
3.0	144	46	107	68	109	136	175	138	247	173	276	63	170	65	65	65	51	40	45	53	54	42	26	25	32	37	38	38	35	32	28	13	6	12	13
2.0	118	91	199	75	104	240	94	224	26	320	112	304	20	8	19	33	39	36	26	16	14	27	34	35	32	27	22	18	13	9	7	9	16	14	13
1.0	304	46	181	253	230	189	111	291	160	277	213	2	24	17	30	38	39	35	30	24	19	10	3	3	7	10	13	15	16	17	18	20	16	14	12

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.510.011.012.013.014.015.016.017.018.019.020.025.030.035.040.0 (b)

(a)

10.0	203	118	96	156	60	93	140	54	103	177	147	66	107	161	164	136	128	145	158	150	128	103	105	85	74	96	114	114	103	93	93	98	59	58	66
9.0	165	76	165	177	11	155	124	74	191	172	70	130	191	177	137	134	156	157	135	107	97	103	85	84	111	123	115	100	93	97	104	81	50	61	74
8.0	118	34	228	161	98	208	75	185	208	79	157	222	183	126	139	158	142	107	89	97	105	91	99	127	130	113	98	98	106	110	107	54	63	70	69
7.0	174	67	255	83	230	212	120	250	105	176	251	171	105	145	150	110	82	97	113	112	102	117	140	130	106	98	105	111	108	98	85	58	75	74	53
6.0	327	83	249	51	334	114	254	187	162	274	136	93	157	125	78	103	131	130	118	119	133	147	121	98	101	109	107	94	77	62	52	70	68	59	34
5.0	428	32	339	113	327	92	325	44	283	93	153	177	87	113	159	156	134	131	144	151	142	102	93	105	104	88	69	54	51	57	65	78	64	33	25
4.0	400	105	464	100	279	245	227	259	134	285	211	96	201	186	139	129	143	141	118	92	80	95	98	80	57	49	56	67	75	79	80	60	36	22	29
3.0	429	81	339	337	275	348	56	427	189	434	256	164	97	106	121	100	68	62	78	90	90	66	46	53	68	78	81	80	75	68	61	30	18	32	33
2.0	387	182	331	400	27	600	180	468	417	217	617	31	27	47	71	82	76	60	43	37	46	68	77	75	68	59	49	39	30	23	19	25	40	37	34
1.0	800	241	584	681	258	732	382	631	797	800	426	57	55	54	57	59	59	56	51	45	37	23	12	10	16	23	28	33	36	39	42	47	40	34	31

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.510.011.012.013.014.015.016.017.018.019.020.025.030.035.040.0 (c)

(a)

10.0	152	122	53	9	33	21	24	54	70	64	39	8	20	34	35	28	24	30	40	49	55	58	60	74	90	97	91	80	72	72	77	70	43	47	52
9.0	153	121	51	24	42	26	35	66	72	48	12	24	39	38	29	24	31	45	58	67	71	72	84	102	105	95	81	74	77	82	85	56	41	49	57
8.0	143	116	56	45	61	36	48	73	56	20	23	42	40	32	27	39	59	78	87	90	88	97	113	112	96	81	79	84	88	87	81	40	51	54	52
7.0	129	108	54	73	86	37	50	57	34	33	40	48	50	47	62	89	108	113	109	107	111	124	116	93	81	84	90	89	82	72	60	48	59	56	38
6.0	139	89	49	106	89	16	29	50	38	37	80	89	83	102	130	141	135	125	124	130	132	113	86	82	89	90	82	68	55	45	41	56	51	43	22
5.0	116	66	110	92	75	55	45	73	47	147	147	126	150	170	161	139	130	133	131	120	101	78	85	90	80	64	48	41	43	49	55	59	46	21	15
4.0	29	71	81	176	132	82	133	125	219	211	150	189	179	142	121	121	117	99	78	69	74	85	76	56	41	40	48	56	61	62	61	42	24	14	21
3.0	230	60	209	267	64	331	151	281	226	107	282	107	82	90	82	60	53	65	74	74	66	42	35	47	57	61	62	59	54	48	42	18	15	26	26
2.0	460	106	444	206	294	333	74	391	146	430	138	1	36	51	61	58	45	31	27	34	45	58	59	55	47	39	31	23	17	13	11	23	34	30	27
1.0	273	47	206	85	309	125	224	70	160	194	94	2	32	40	48	52	52	47	41	34	27	15	11	15	21	25	29	32	35	37	38	41	33	28	25

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0 8.5 9.0 9.510.011.012.013.014.015.016.017.018.019.020.025.030.035.040.0 (d)

図3 周辺の音圧分布 (f=200Hz)

が分かる。上部を道路内側へ傾斜させた(d)では、(a)同様、音を閉じ込める構造となり、更に、共振する周波数を多数もつことになると思われる。図3は、 $f=200\text{Hz}$ における道路中央から横方向に40m、高さ10mまでの u (*1000) の分布を示すもので、(a)および(c)では、遮音壁を含む構造全体が共鳴箱の役目を果たし、回折の結果、かなり遠方まで大きな音圧分布を生じさせていることが分かる。(b)の場合には道路の上方向に音を指向性を持たせて放射していると考えられ、結果として、横方向の音圧分布の低減をもたらしていると判断される。(d)では、道路中央部の音圧が四者の中で最も低いにもかかわらず、横方向の音圧分布は意外と大きく、強制的に音を閉じ込めようとする構造が、かえって強い回折効果をもたらすことが分かる。

5. むすび

境界要素法を用いて、道路交通騒音に対する遮音壁の効果、特に、遮音壁の形状について検討を行った。結果として、直立した形状や、強制的に音を閉じ込めるような構造は、共振現象や大きな回折効果をもたらす易く、むしろ、穏やかな指向性を持たせて、道路上部の方へ音響エネルギーを放射させる方が横方向の遮音に効果の有ることが分かった。このような構造が耳障りな周波数の音の波長の数倍程度の大きさで共振が起きやすいことも分かったので、その特性についての検討をあわせて行なっていく予定である。

参考文献

- 1) 石井：“道路交通騒音予測計算方法に関する研究(その1)”、日本音響学会誌、31巻、8号、p. 507-517 (Aug. 1975)
- 2) 加川、小柴、池内、鏡：“電気電子のための 有限/境界要素法 ---波動問題への適用---”、オーム社 (昭59-10)
- 3) 鏡、深井：“3次元音響問題の境界要素法による定式化”、信学論(A)、Vol. J70-A、No. 1、pp. 110-115 (昭62-01)