



土 木 研 究 所 資 料

第928号

首都高速道路公団委託試験

— 軟弱地盤における地盤振動の防除に関する研究 —

昭和49年 3 月

建設省土木研究所

まえがき

首都高速道路葛飾川口線の路線北端部の川口市安行地区において、将来建設される高架の道路下の一般街路が1日沼沢地の埋立部を横断する工区の施工に際して、近隣住家等から振動による障害が発生しているという指摘があった。将来、本道路を使用した場合の交通車輛による振動を抑止するために、最も効果的な工法を選定するべく、本研究を実施した。

研究の対象は次の二点である。1) 平面街路から発生する交通による振動の防除対策を選定すること。2) 高架の道路から発生する交通による振動の防除対策に関する見とおしを得ること。

問題解決のために、次の事項について試験を行なった。

① 現位置における地盤の動的特性の測定。

② 地盤模型による防除対策に関する実験。

結論として、平面街路では、防除効果としては、路床、路盤、舗装を剛にして、且つ、重くすることと共に道路側に振動遮断層などを設けることが、効果を発揮すると云う結果を得た。

昭和49年3月

土木研究所 振動研究室

室長	栗林 栄一
	福田 富三
	木本 正則

振動障害防止対策に関する研究

目 次

まえがき

1. 地点の概況	1
1.1. 地形, 地質	1
1.2. 道路の構造	1
2. 現地における試験	7
2.1. 弾性波探査試験	7
2.1.1. 測定方法及び測点	7
2.1.2. 解析方法	9
2.1.3. 測定及び解析結果	9
2.2. 当該地点近傍の既設街路の自動交通による沿道の振動の測定	12
2.2.1. 測定地点の概要及び測定方法	12
(1) 測定地点	12
(2) 荷重車	12
2.2.2. 測定計器	12
2.2.3. 測定方法	12
2.3. パイルドライバー操業時における沿道の振動測定	15
2.3.1. 測定地点の概要及び測定方法	15
2.3.2. 測定結果	15
3. 防除対策工法の選定のための地盤模型による実験	22
3.1. 模型製作及び実験	22
3.2. 実験結果	25
4. 結 論	27

1. 地点の概況

1.1. 地形、地質

図1-1に示すとおり、測定場所は埼玉県川口市安行地区であり、この地点は城址の堀を埋た場所である。対象となる現地平面図は図1-2に示すとおりである。地質は図1-3，図1-4-1，図1-4-2に示すように表層部は腐植土シルト質粘土となっている。

1.2. 当該地区は将来、高架で通じる、高速葛飾・川口線の下を埼玉県足立川口線が通る平面道路である。その標準断面は図1-5に示すとおりです。

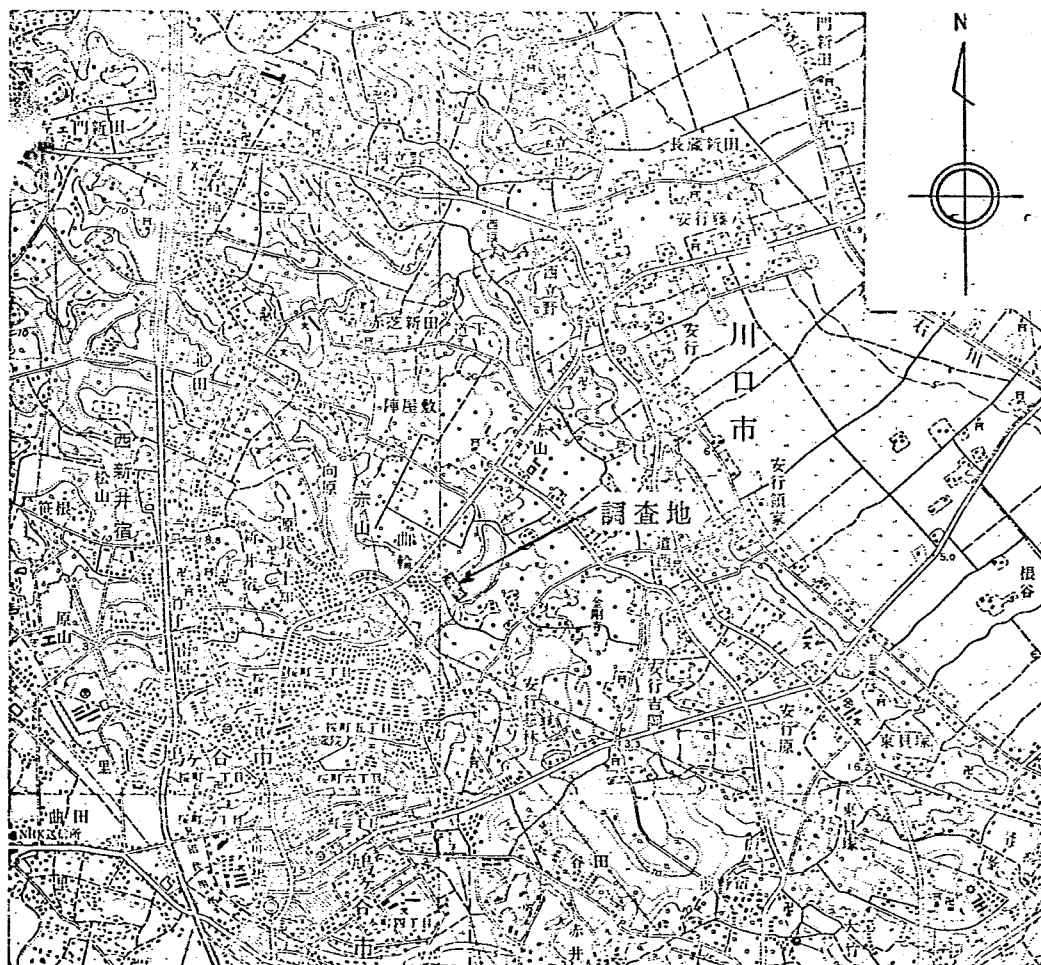
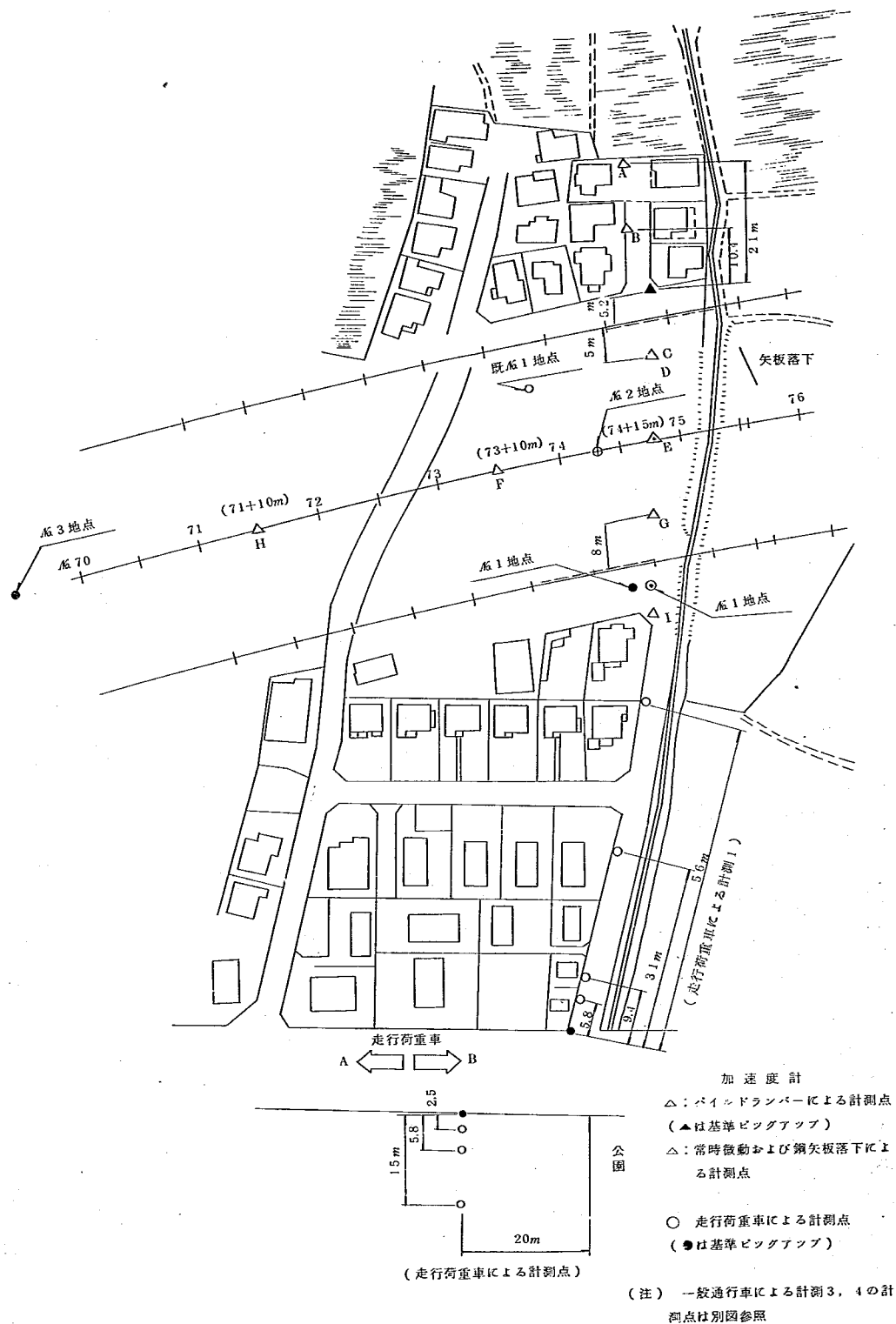


図1-1 川口地区地形図



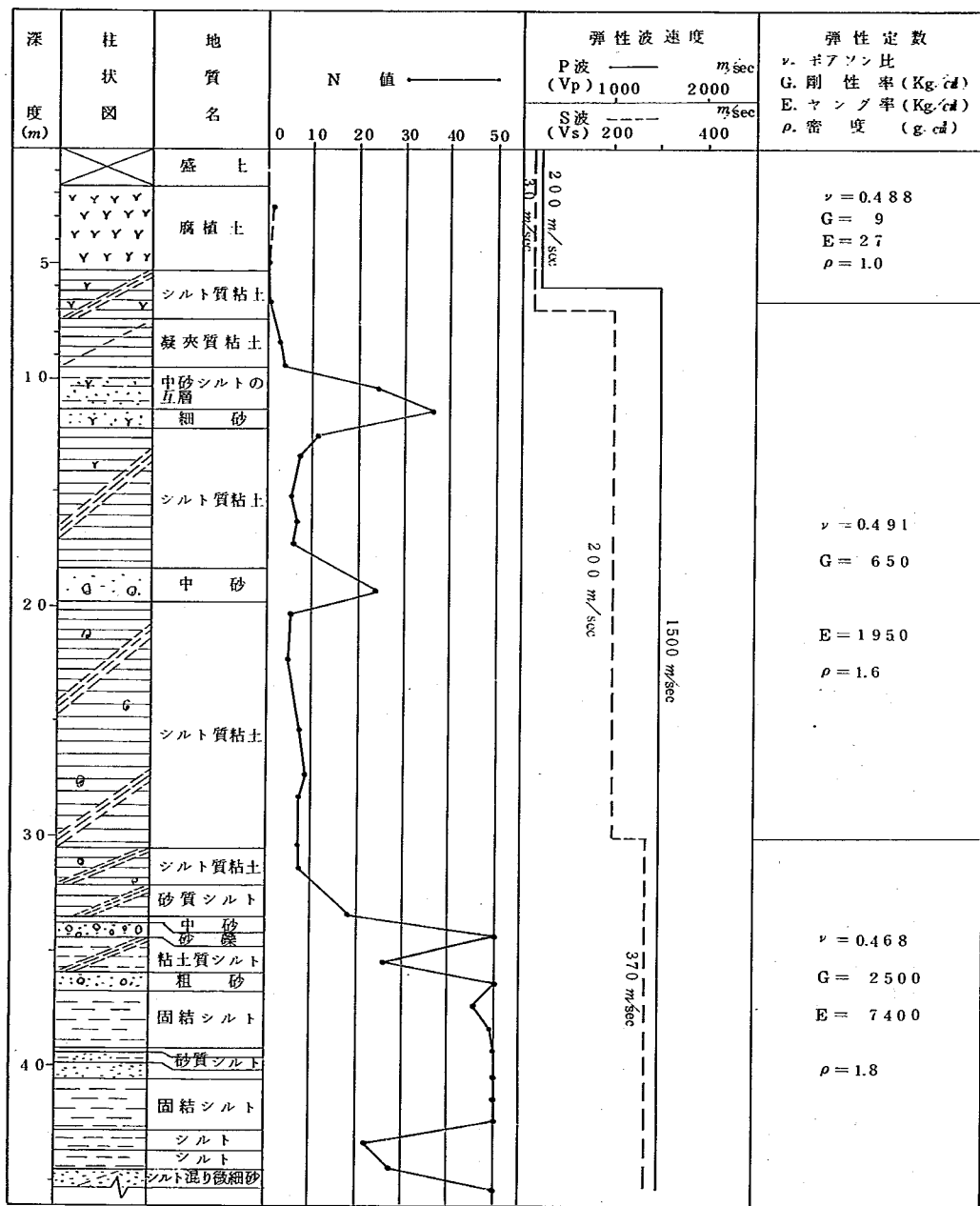


図 1 - 3 P S 検層波結果 Point No1'

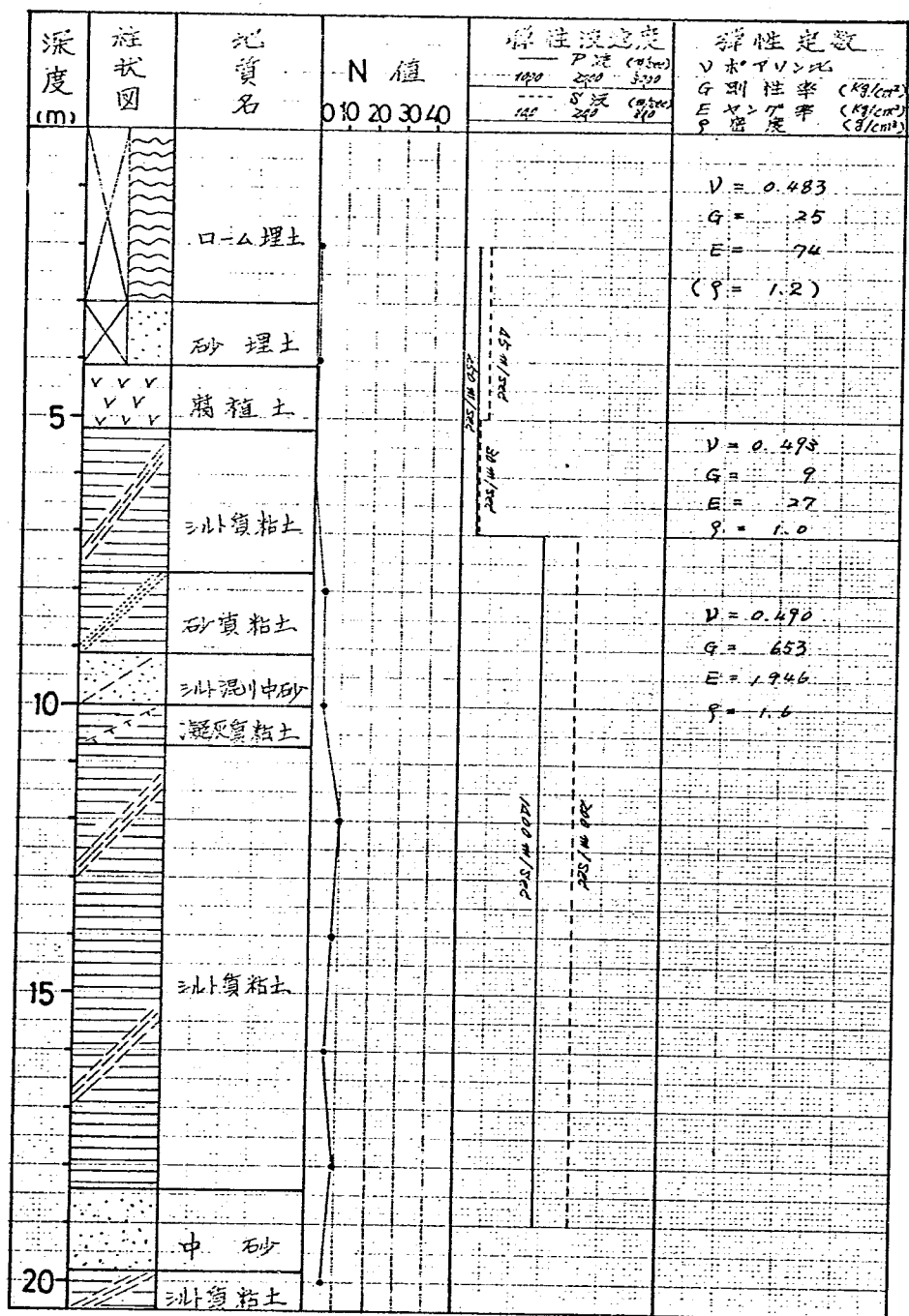


图 1-4-1 综合柱状图

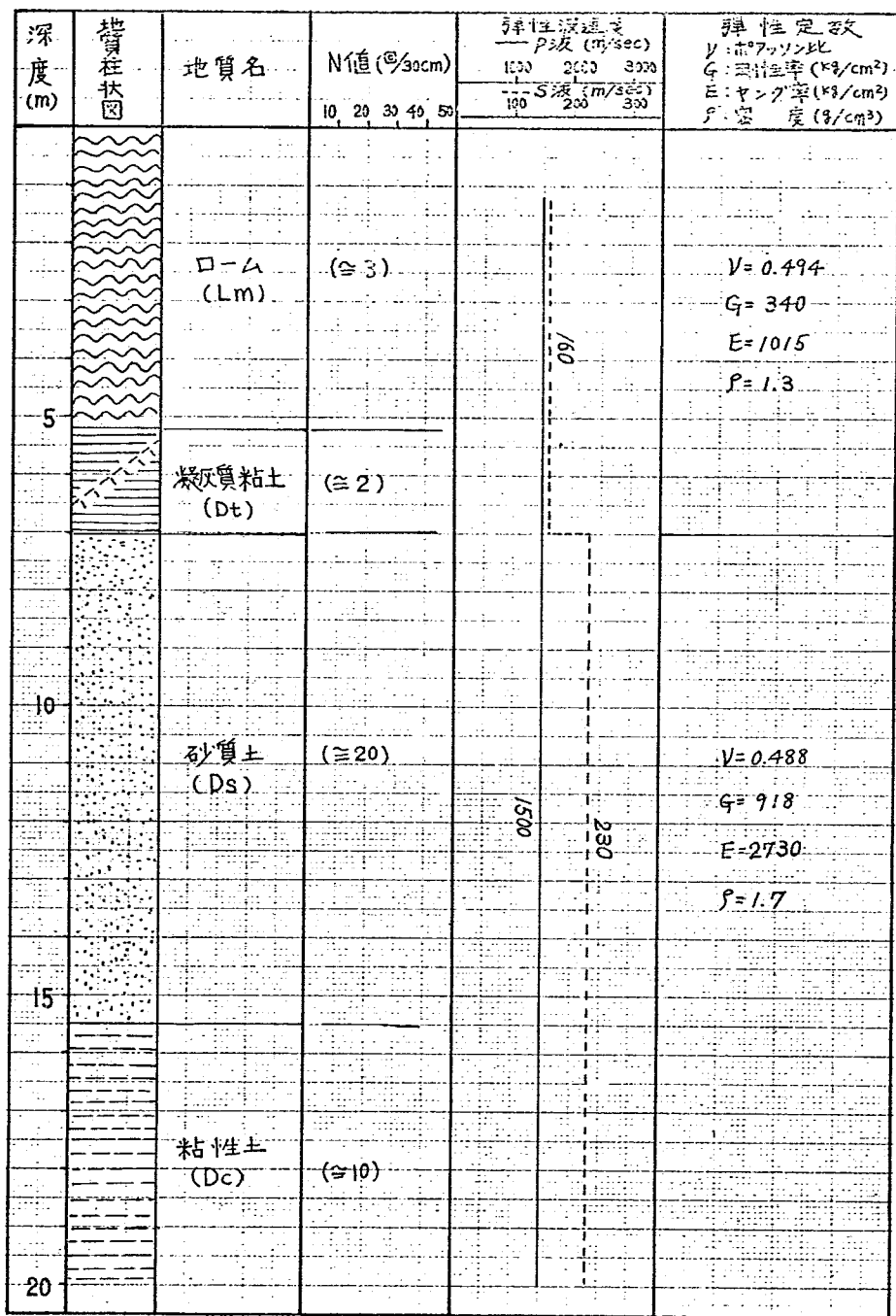


図 1 - 4 - 2 総合柱状図

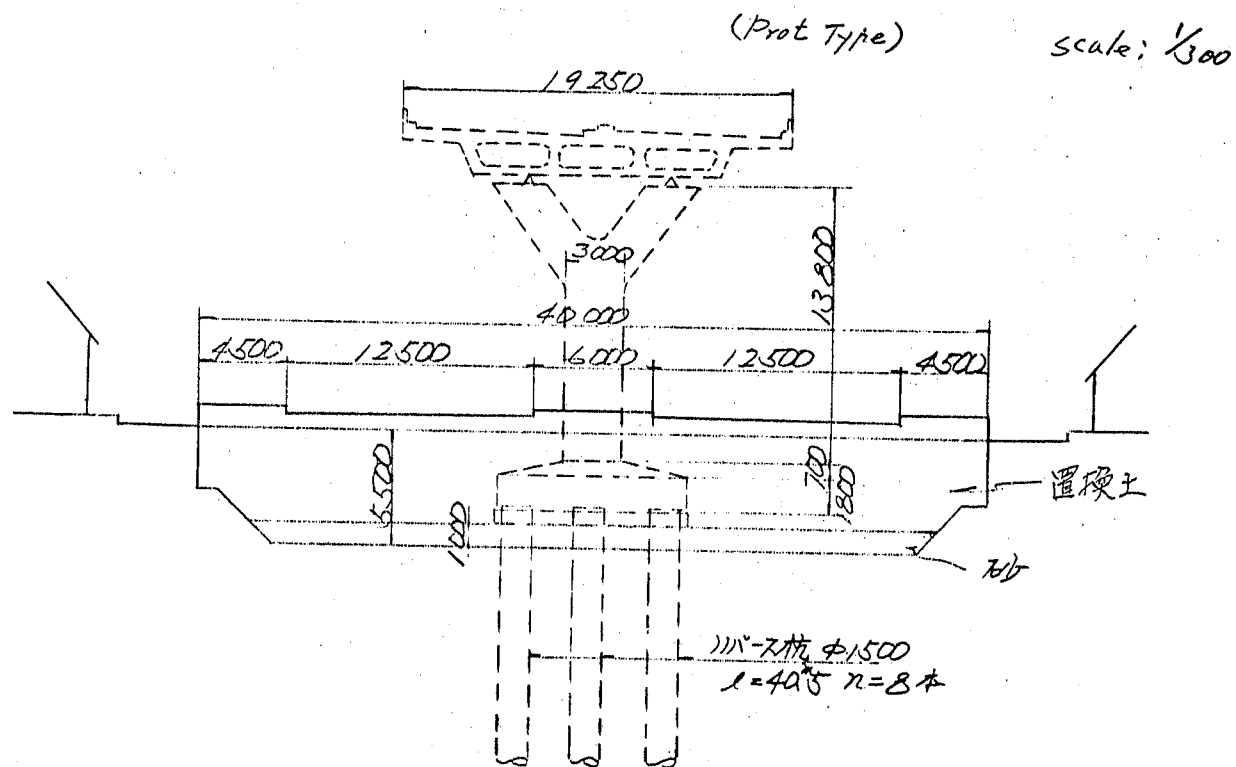


図 1-5 腐植土置換部標準断面

2. 現地における試験

2.1 弾性波探査試験

2.1.1. 測定方法および測点

地盤の弾性波（P波およびS波）速度および動的弾性定数を求めるためのP S速度検層は図1-2に示す $\phi 1'$ 、 $\phi 2'$ および $\phi 3'$ の3本のボーリング孔に於いて行なった。

測定深度は、 $\phi 1'$ 孔が45m、 $\phi 2'$ および $\phi 3'$ 孔はいずれも20mである。

測定方法を図2-1、P S検層測定系統図に示す。測定に用いた孔中受振器には、水平2成分上下1成分の換振器と孔内水の圧力変化をとらえるためのハイドロフォンおよび方位検出部が内蔵されている。この孔中受振器をボーリング孔の所定の深度に下ろした後、加圧装置により送水し、受振器を覆っているゴムチューブを膨らませて受振器を孔中に固定し、地表の起振源からの振動を検知する。

換振器およびハイドロフォンにより検出された信号は電気信号に変換後増巾器によって適当なレベルに増巾され、記録器に収録される。

この様にして所定の深度に於ける測定が終了すると、加圧装置によってゴムチューブ内の水を排水し、受振器の次の測定深度へ移行し、また同様な手順によって測定を行なう。

なお発振方法としては、P波の場合、地表面に疎密振動を与える様に地表面をカケヤにより垂直に強打、S波の場合は地表面に水平せん断振動を与える様に、上載荷重を加えて地表面に密着させた厚板の側方をカケヤによって水平に強打する。いわゆる板叩き法によった。

なお、S波の場合はその振動の方向性が重要であるため、振源と受振器の方位関係を明らかにしておかなければならず、そのため方位検出部によって地磁気を検出しアダプターにより各測定深度毎の受振器の方位を測定した。

写真記録には、振動記録とともに1/100秒間隔のタイムマークおよび地盤に振動を与えた瞬間を示すショットマークが同時に記録される。

なお、受振器の周波数特性は図2-1下部に示す約30Hz以上の振動に対しほぼ平坦な特性である。

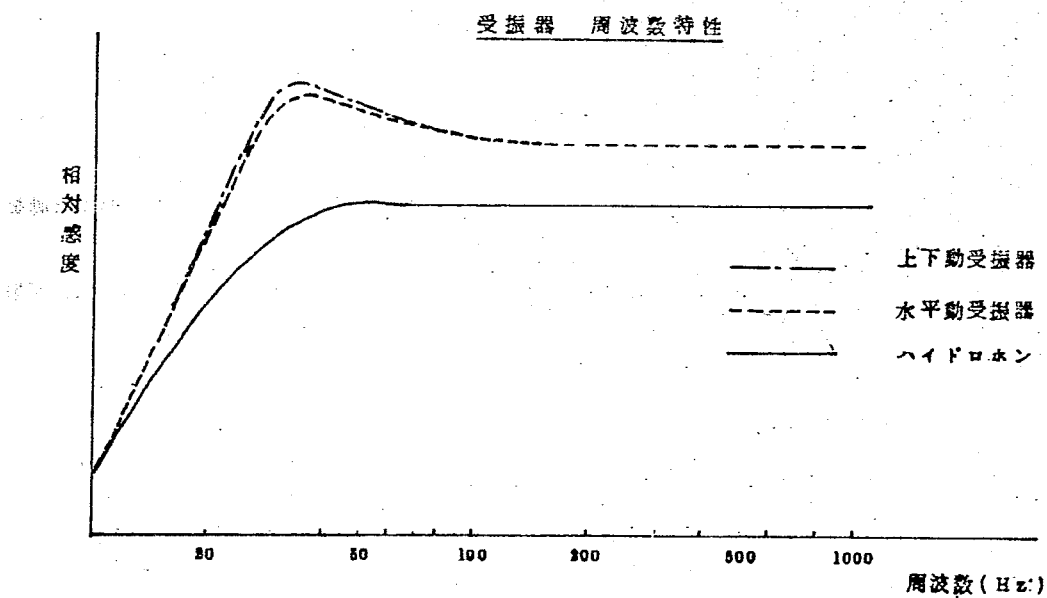
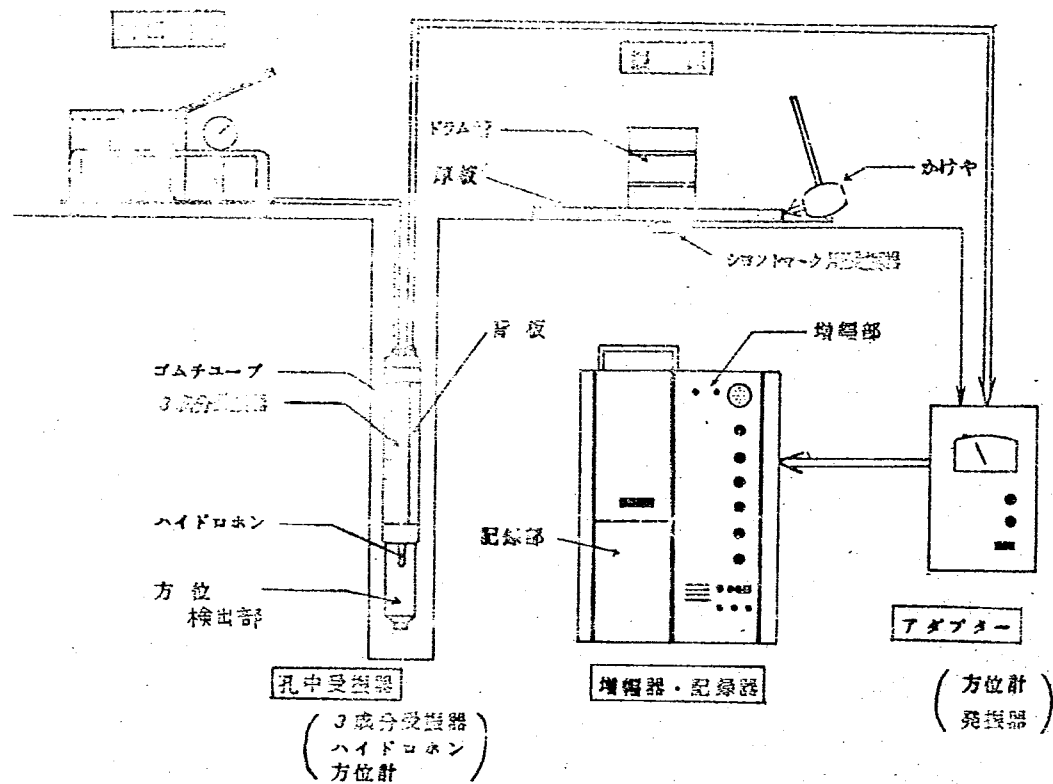


図 2-1 PS 検層測定系統図

2.1.2. 解析方法

弾性波速度は、前述の方法によって得られた記録を深度順にラインアップし、P波、S波の位相を確認した後、ショットマークからそれぞれの波の位相までの時間を各記録から読取り、走時曲線を作製し、その直線の勾配から決定される。

この様にして求められた弾性波速度よりポアソン比および動的弾性定数は次式によって算出される。

$$\text{ポアソン比} : \nu = \frac{A^2 - 2}{2(A^2 - 1)}$$

$$\text{剛性率} : G = \rho \cdot V_s^2$$

$$\text{ヤング率} : E = 2(1 + \nu) \cdot G$$

$$\begin{aligned} \text{但し, } V_p : & \text{P波速度, } V_s : \text{S波速度} \\ \rho : & \text{密度} \quad A : V_p/V_s \end{aligned}$$

2.1.3. 測定および解析結果

№1' 孔のP波速度は今回の測定深度内でG.L. - 6 mまでが $V_p = 200 \text{ m/sec}$, G.L. - 6 m以深 $V_p = 1500 \text{ m/sec}$ の2層構造である。S波はN値=0~1の盛土、腐植土より成るG.L. - 7 mまで $V_s = 30 \text{ m/sec}$, 平均N値10以下の粘性土層であるG.L. - 7 mよりG.L. - 30 mまでが $V_s = 200 \text{ m/sec}$, さらにG.L. - 30 m以深では $V_s = 370 \text{ m/s}$ の3層構造となっている。(図1-3)

№2' 孔のP波については、N値0~1の置換土(砂およびローム), 腐植土およびシルト質粘土より成るG.L. - 7 mまでが $V_p = 250 \text{ m/sec}$, N値10以下の粘性土からなるG.L. - 7 m以深が $V_p = 1400 \text{ m/sec}$ の2層構造となっている。またS波についてはG.L. - 5 mまでが $V_s = 45 \text{ m/sec}$, G.L. - 5 m~-7 m間が第1層より遅くなり $V_s = 30 \text{ m/sec}$, さらにG.L. - 7 m以深は $V_s = 200 \text{ m/sec}$ の速度を示す。

(図1-4-1)

№3' 孔について言えば、P波速度はG.L. - 0 m~-20 mまで $V_p = 1500 \text{ m/sec}$ と変わらないが、S波はG.L. - 7 mで変化し、上部のロームおよび凝灰質粘土は $V_s = 160 \text{ m/sec}$, G.L. - 7 m以深の砂質土および粘性土は $V_s = 230 \text{ m/sec}$ である。(

(図1-4-2)

弾性波速度測定の結果より得られた動的弾性定数より洪積ローム台地を削り沖積の腐植土および粘性土の堆積したボーリング№2' 近傍の低地域の層構造を決定すれば凡そ3層構造と見なし得よう。

第1層は腐植土が主体のヤング率約 30 kg/cm^2 の層であり、またこれがロームによって置換された場合はヤング率約 70 kg/cm^2 を示すが、いずれにしろ非常に軟かいGL. -5 ~ -7 mまでの表層であり、第2層はそれより以深より約GL. -30 m附近までの洪積世の粘性土層であり、ヤング率は約 2000 kg/cm^2 である。

第3層は粘性土層を若干含むが約30 m以深の主として洪積世砂質土よりなるヤング率約 7400 kg/cm^2 の基盤層である。

以上、弾性波速度測定結果および動的弾性定数について簡単に記したが、原地盤を模型化する場合、今回の結果が一つの目安となるであろう。

なお、参考までに、静的弾性定数と動的弾性定数を比較したものを図2-2に、同じポアソン比をパラメーターとした場合の静的弾性定数と動的弾性定数の対比結果を図2-3に示す。

弾性波速度測定の結果をまとめて表2-1に示す。

表2-1 弾性波速度測定結果一覧表

a) P 波

№ 1'		№ 2'		№ 3'	
I. 0~GL-6 m 盛土および 腐植土	200 m/sec	I. 0~GL-7 m 置換土(ローム他) 腐植土およびシ ルト質粘土	250 m/sec	I. 0以深 ローム 粘性土 砂質土	1500 m/sec
II. GL-6 m 以深 粘性土	1500 m/sec	II. GL-7 m 以深 粘土	1500 m/sec		

b) S 波

№ 1'		№ 2'		№ 3'	
I. 0~GL-7 m 盛土および 腐植土	30 m/sec	I. 0~GL-5 m 置換土 腐植土	45 m/sec	I. 0~GL-7 m ロームおよび 凝灰質粘土	160 m/sec
II. GL-7 m ~GL-30 m シルト質粘土	200 m/sec	II. GL-5~7 m シルト質 粘土	30 m/sec	II. GL-7 m以深 砂質土 粘性土	230 m/sec
III. GL-30 m 以深 シルト	370 m/sec	III. GL-7 m 以浅 粘土	200 m/sec		

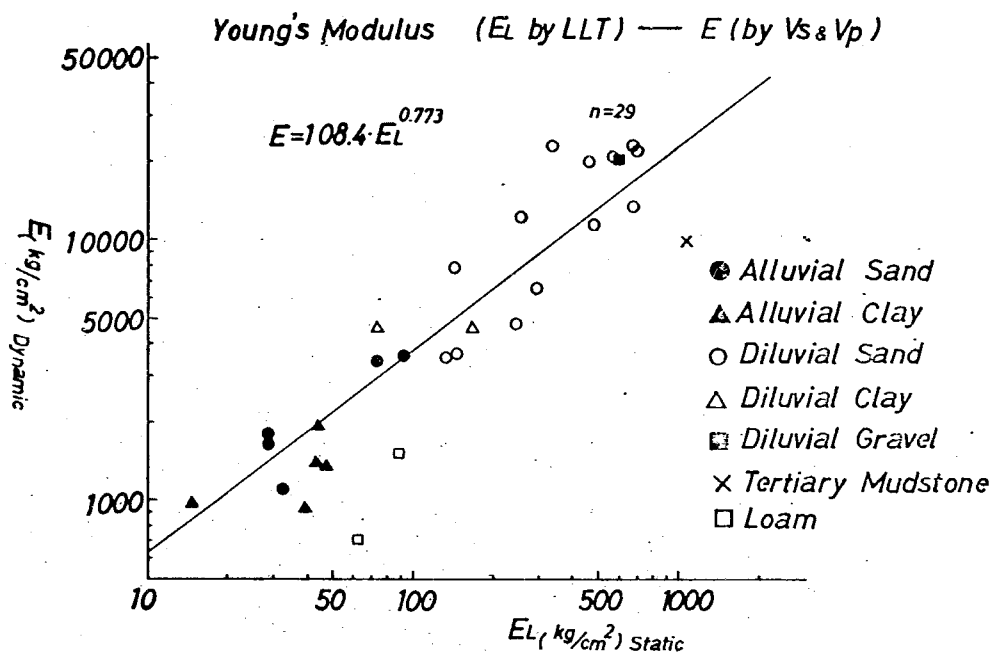


図 2-2 静的弾性定数と動的弾性定数の比較

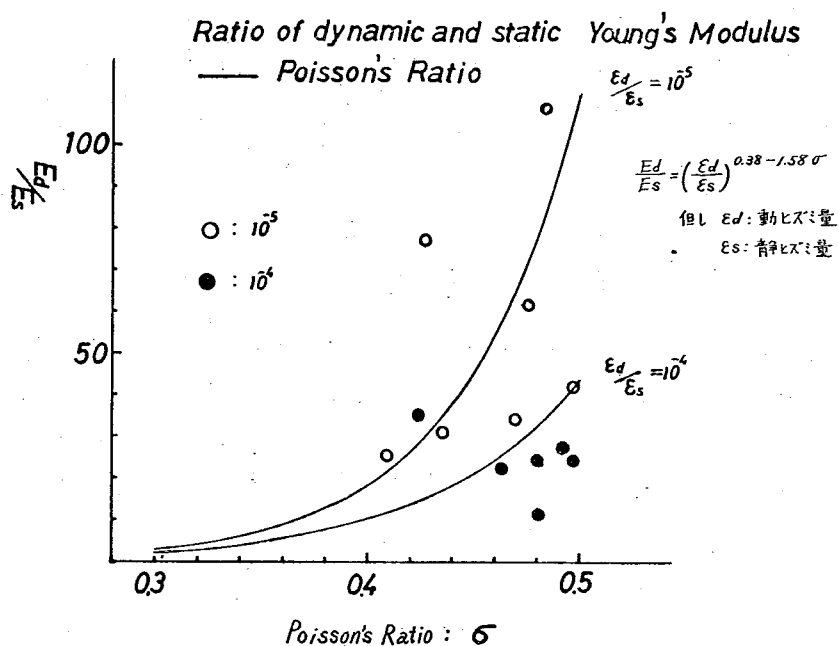


図 2-3 静的弾性定数と動的弾性定数の比較

2.2.1. 測定地点の概要及び測定法

川口地区の測定地点は図 2-4 及び図 2-5 に示す。測定点は県道の両側を対称とし、地形上の制約を受ける場所では、適宜省略したり、近くの地点で測定した。

荷重車としては2トントラック(土砂2 m^3 、2名乗車、総重量約5.88 ton)を用い、走行速度は20~30 km/時とした。

測定に使用した計器は次の通りである。

計 器 名	使用台数	製 造 会 社 名
速度計（動コイル型）水平（V-261H）	4	明石製作所
"（V-261V）	2	"
増幅器 AVL-122E	1	明石製作所
データレコーダ R271型	1	T E A C
電磁オシログラフ（直視式） EMO-121	1	横河電機
シンクロスコープ（323型）	1	ソニーテクトロニクス

測定は図 2-6 の通り電磁式速度計（加速度を計測）水平動 4 台、鉛直動 2 台を使用し、水平 2 台、鉛直 1 台合計 3 台を 1 組として基準（固定）とするもの及び移設するものとを区別した。

- 12 -

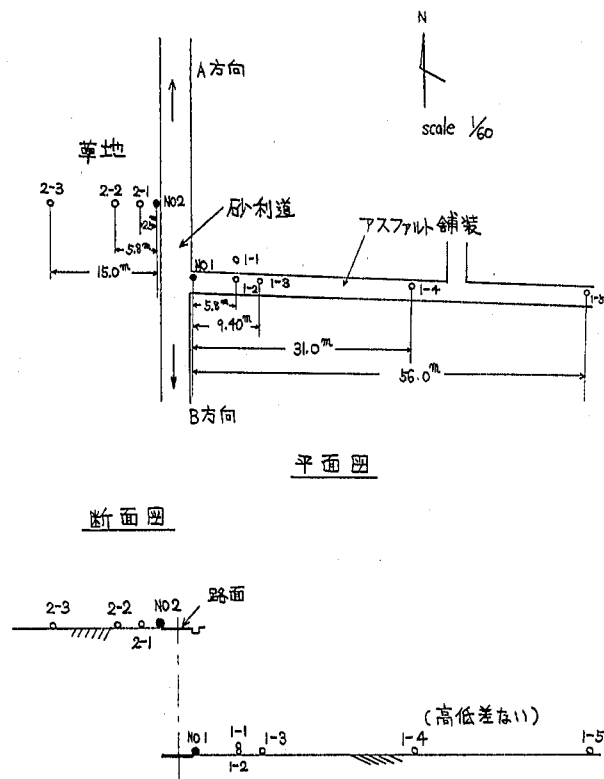


図 2-4 走行車荷重による試験の測定地点

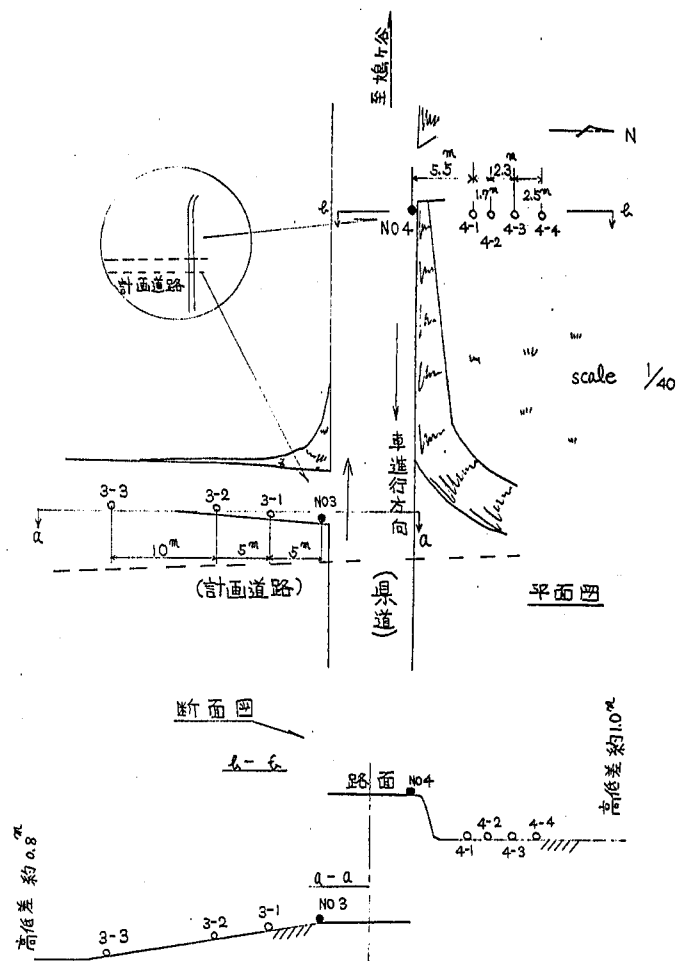


図 2-5 当該地点近傍の既設街路の自動交通による沿道の振巾の測定点

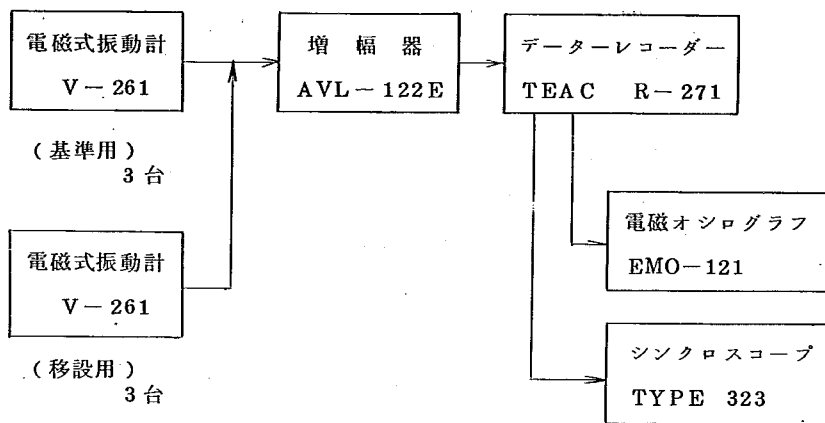


図 2-6

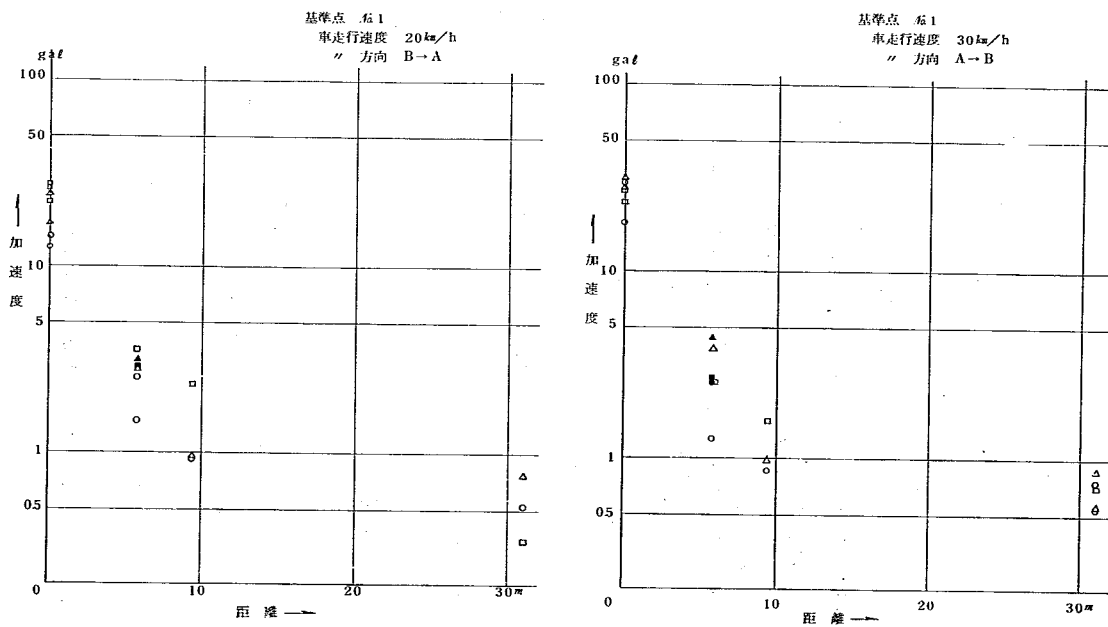


図 2-7

2.3. バイルドランバー操業時における沿道の振動測定

2.3.1. 測定地点の概要と測定法

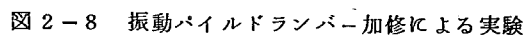
埼玉県川口市安行慈林地区において、昭和48年6月に地盤振動の測定が行なわれたが、その後、同一個所において鋼矢板を引きぬく作業が行なわれたので鋼矢板をぬくに当って、その振動が民家及び計画道路に伝わる状況を測定した。それとともに鋼矢板をたおした場合の振動の伝播を測定した。測定地点は図2-8に示す。また使用した計測器は2.2で述べたものと同様で速度計（上下動、2成分、水平動4成分）、データレコーダー（1成分）オシログラフ（1成分）、シンクロスコープ（1成分）を使用した。

2.3.2. 測定結果

バイルドライバー操業時の川口市安行地区における地盤振動の結果を示すと、表2-2、表2-3、および図2-8、2-9、2-10、2-11に示すとおりとなる。

加振点④、で加振しその時における移設点、距離15.0m、22.0m、32.0m地点の加速度を測定し、⑤も同様12.5m、23.0m、42.0m、37.0m、50.5m、79.0mの地点の加速度を測定したが加振点がかかなり遠くなっても振動があまり減衰しないように思われる。また波動伝播時間は表2-4に示すとおりとなった。

3-1 計測位置



3-2 振動パイルドライバー加振による各点の速度、加速度値、

加 速 度 ④

移 設 点 (加振点からの距離)	振動記 録方向	振 動 数 (Hz)	速 度 (mm/sec)	加 速 度 (gal)
Point - A (32.0m)	X	17.5	0.48	5.28
	Y	"	1.09	12.00
	Z	"	0.34	3.70
	x	"	2.09	22.96
	y	"	1.39	15.24
	z	"	1.02	11.19
	X	17.0	0.36	3.85
	Y	"	0.90	9.62
	Z	"	0.50	5.35
	x	"	2.35	25.09
	y	"	1.23	13.16
	z	"	1.46	15.61
Point - B (22.0m)	X	17.5	0.44	4.84
	Y	"	0.96	10.51
	Z	"	0.64	7.00
	x	"	1.18	12.91
	y	"	1.32	14.48
	z	"	0.32	3.54
	X	16.7	0.60	6.28
	Y	"	0.64	6.67
	Z	"	1.18	12.39
	x	"	0.91	9.57
	y	"	1.16	12.10
	z	"	0.60	6.38
Point - C (15.0m)	X	16.95	0.66	6.99
	Y	"	0.91	9.69
	Z	"	0.98	10.47
	x	"	1.07	11.40
	y	"	1.04	11.07
	z	"	0.74	7.87
	X	15.63	0.36	3.53
	Y	"	0.56	5.54
	Z	"	1.01	9.92
	x	"	0.42	4.10
	y	"	0.76	7.48
	z	"	0.41	4.01

表 2-2

加 振 点 ; ⊕

移 設 点 (加振点からの距離)	振動記 録方向	振 動 数 (Hz)	速 度 (mm/sec)	加 速 度 (gal)
Point - D (12.5m)	X	16.4	0.34	3.45
	Y	"	0.22	2.31
	Z	"	0.24	2.47
	x	"	0.091	0.94
	y	"	1.27	13.09
	z	"	0.83	8.55
	X	17.1	0.62	6.61
	Y	"	0.083	0.89
	Z	"	0.20	2.15
	x	"	0.69	7.40
	y	"	0.92	9.93
	z	"	0.55	5.86
Point - E (23.0m)	X	14.7	0.42	3.91
	Y	"	0.50	4.60
	Z	"	0.34	3.18
	x	"	2.37	21.85
	y	"	2.43	22.40
	z	"	0.71	6.57
	X	15.2	0.27	2.58
	Y	"	0.37	3.57
	Z	"	0.32	3.06
	x	"	1.89	18.07
	y	"	2.91	27.79
	z	"	0.47	4.53
"	X	15.9	0.17	1.73
	Y	"	0.25	2.49
	Z	"	0.76	7.59
	x	"	1.62	16.17
	y	"	1.62	16.15
	z	"	0.89	8.87
Point - F (42.0m)	X	17.0	0.42	4.47
	Y	"	0.23	2.44
	Z	"	1.20	12.81
	x	"	0.13	1.33
	y	"	0.25	2.67
	z	"	0.47	5.06

表 2 - 3

(表 2-3 のつづき)

加 振 点 ; ㊤

移 設 点 (加振点からの距離)	振動記 録方向	振 動 数 (Hz)	速 度 (mm/sec)	加 速 度 (gal)
Point - G (37.5m)	X	1 5.0	0.2 8	2.6 1
	Y	"	0.2 0	1.8 8
	Z	"	0.6 2	5.8 8
	x	"	1.3 9	1 3.1 4
	y	"	1.3 9	1 3.0 6
	z	"	0.3 6	3.3 5
Point - H (79.0m)	X	1 2.5	1.7 3	13.6 1
	Y	"	0.4 2	3.2 6
	Z	"	1.0 0	7.8 5
	x	"	0.6 0	4.7 3
	y	"	0.3 5	2.7 3
	z	"	0.2 4	1.8 6
Point - I (50.5m)	X	1 6.7	0.4 6	4.8 5
	Y	"	0.5 0	5.2 2
	Z	"	0.7 7	8.0 6
	x	"	0.7 7	0.7 2
	y	"	0.2 3	2.4 2
	z	"	0.1 5	1.5 7
" 加速度で記録	X	1 6.7	—	4.6 2
	Y	"	—	5.8 3
	Z	"	—	8.0 0
	x	"	—	0.9 1
	y	"	—	2.6 9
	z	"	—	1.8 9

但し X ; 計画道路軸方向
 Y ; " 直角方向
 Z ; " 鉛直方向

} 基準点

x ; 計画道路軸方向
 " 直角方向
 " 鉛直方向

} 移設点

3-3. 波動伝播時間

x: 計画道路軸方向
y: " 直角方向
z: " 鉛直方向

移 設 点	加 設 点 から 移 設 点 迄 の 距 離	基 準 点						移 設 点						備 考
		x		y		z		x		y		z		
		時間(sec)	速度(m/sec)	時間(sec)	速度(m/sec)	時間(sec)	速度(m/sec)	時間(sec)	速度(m/sec)	時間(sec)	速度(m/sec)	時間(sec)	速度(m/sec)	
Point-D	1 7.5	3.2 2 (2.85)	6.8	3.2 7 (3.7 4)	6.7	3.2 3 (3.2 0)	6.8	3.2 6 (15.77)	5.4	3.3 0 (9.2 4)	5.3	3.2 2 (17.38)	5.4	加振点から基準点迄の距離は2 2.0 mである。 矢板打撃による移設点平均 6 m / sec
E	2 1.0	3.1 6 (0.8 5)	6.9	3.2 2 (2.0 8)	6.8	3.1 6 (2 9 6)	6.9	3.2 0 (8.9 6)	6.6	3.3 5 (5.7 8)	6.3	3.2 6 (18.1 7)	6.4	
F	4 2.0	0.6 5 (10.4 0)	1 3.8	0.6 0 (4.6 5)	1 5.0	0.5 5 (12.0 0)	1 6.4	0.2 0 (13.7 0)	6 0.0	0.7 6 (7.7 0)	5 5.3	0.7 5 (10.6 7)	5 6.0	加振点から基準点迄の距離は9.0 mである。 振動パイルドランプ始動による。
G	3 7.5	0.7 0 (4.6 2)	1 2.9	0.6 0 (2.9 1)	1 5.0	0.5 0 (6.0 0)	1 8.0	1.1 0 (3.9 8)	3 4.1	0.9 0 (9.2 4)	4 1.7	0.7 0 (7.1 1)	5 3.6	
"	"	0.8 2 (6.2 4)	1 1.0	0.7 6 (4.1 5)	1 1.8	0.7 0 (10.8 0)	1 2.9	1.1 0 (4.9 8)	3 4.1	1.0 5 (12.7 1)	3 5.7	1.0 0 (8.3 0)	3 7.5	
H	7 9.0	1.1 6 (15.4 0)	7.8	1.2 0 (5.8 1)	7.5	0.8 5 (9.6 0)	1 0.6	1.6 0 (5.8 1)	4 9.4	1.6 0 (4.2 4)	4 9.4	1.4 2 (1.9 8)	5 5.6	移設点平均 4 8 m / sec
"	"	1.0 0 (12.7 1)	9.0	0.9 5 (4.9 5)	9.5	0.7 2 (9.6 0)	1 2.5	1.2 8 (4.5 7)	6 1.7	1.1 0 (3.3 4)	7 1.8	1.1 0 (1.5 0)	7 1.8	
I	5 0.5	1.2 8 (16.1 7)	7.0	1.3 5 (6.7 2)	6.7	0.9 7 (22.0 8)	9.3	1.9 5 (4.9 8)	2 5.9	1.6 3 (5.7 8)	3 1.0	1.3 8 (6.7 2)	3 6.6	

但し()内の数値は最大速度振巾値を示す。(単位は $\times 10^{-2}$ hinc)

表2-4

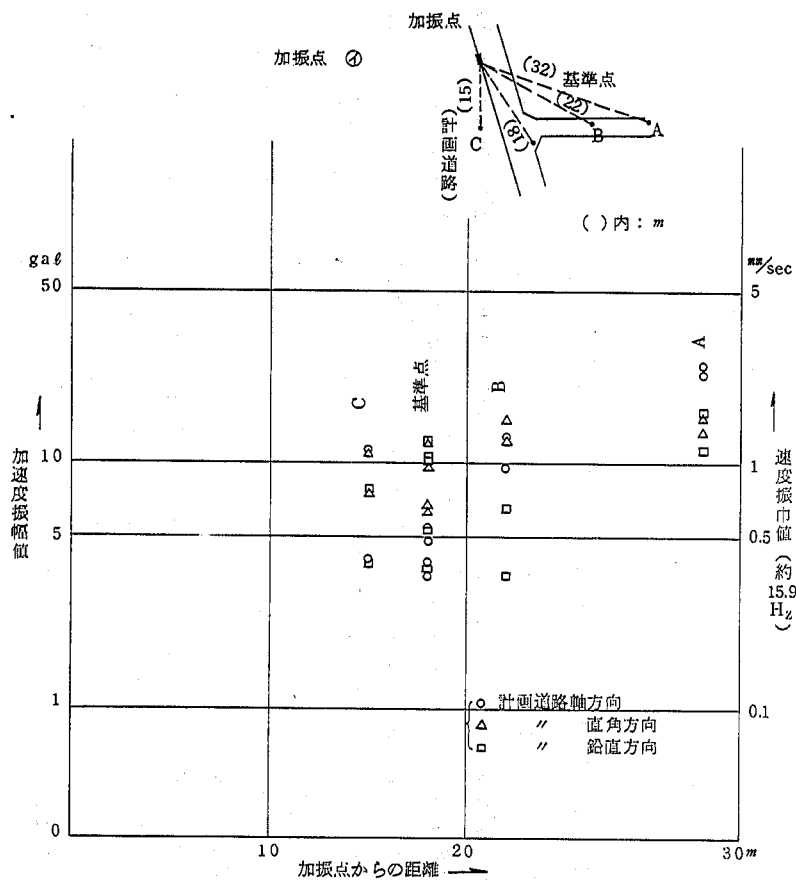


図 2 - 9

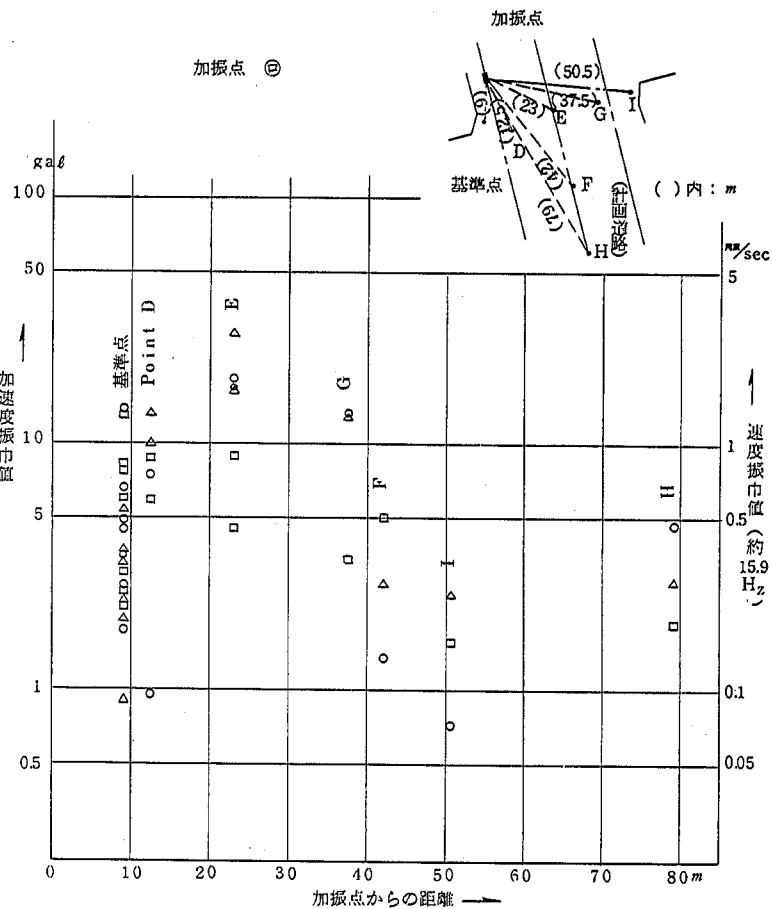


図 2 - 1 0 加速度比の距離による減衰

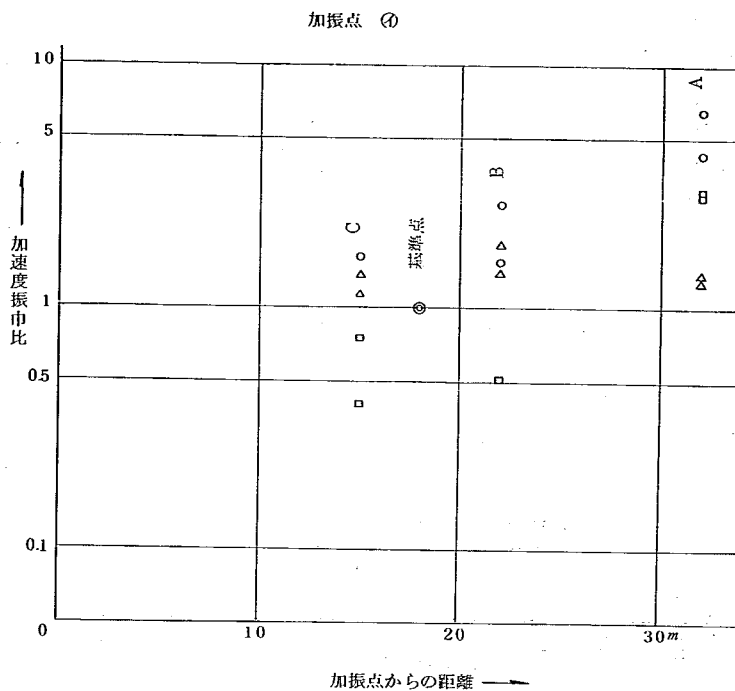


図 2-11

3. 防除対策工法の選定のための地盤模型による実験

3.1 模型製作および実験

現地盤の物理的性質、地形の状況を用いて、道路方向 105 m 、道路直角方向 200 m 、深さ方向 7 m の範囲を長さ $1/50$ 、密度 $1/1$ 、時間 $1/\sqrt{50}$ の縮尺で模型化した。

すなわち、道路方向 2.1 m 、道路直角方向 4.0 m 、深さ方向 14 cm の模型を製作して、計画道路内に外乱を与えたときの各所に発生する振動現象を把えるとともに、図 3-1 に示す各防振対策案に対する振動減少効果を実験的に求めた。

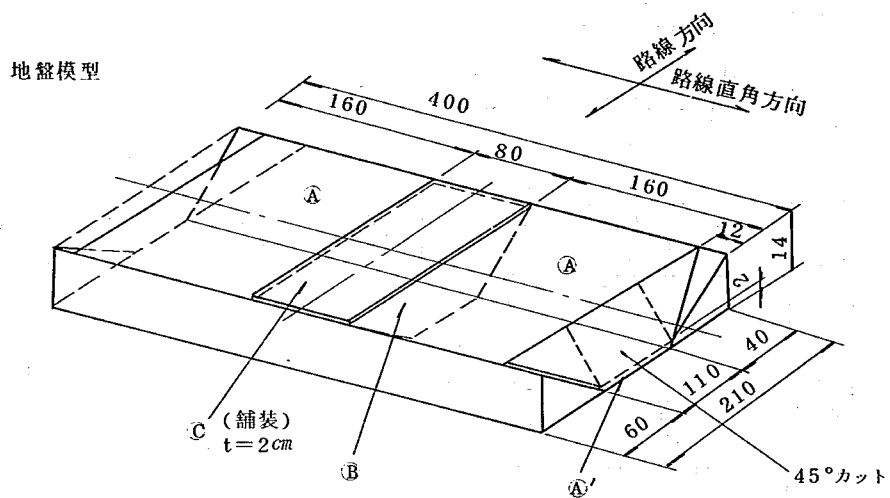
図 3-2 に示すように地盤には、アクリルアミドを主剤とした地盤改良剤（商品名・日東 SS）を使用した。

この地盤材料は配合濃度によってヤング率約 $100 \sim 6000\text{ gr/cm}^2$ の範囲で硬さを調節することができ、ほぼ完全弾性体でポアソン比約 0.5 という性質をもっている。

実験は計画路線内 8ヶ所ずつ重錘を落下させたときに発生する加速度の測定、地盤の硬さ測定小型起振機による振動測定等からなる。

ケース M-0		・路線部分も腐植土発生上で置換する前の状態
M-1 M-1'		・路線部分を比較的硬い地盤で置換したケース ・M-1では $E=5.5 \frac{kg}{cm^2}$ の日東SS舗装 ・M-1'では舗装なし
M-2		・計画道路の両端に曲げ剛性の小さな板状壁（アクリル樹脂製）を設けたケース。 ・壁底部の支条件：国定
M-3		・計画道路の両端に剛性の大きな箱状壁（アクリル樹脂製：中空）を設けたケース。 ・壁底部の支持条件：ヒンジ
M-4		・M-3の箱状壁に日東SS（路線部置換土と同一硬さ）を注入したケース。
M-5		・M-4の日東SSを注入した箱壁上に約1.2 kgの重錘を8枚付加したケース。 （剛な箱壁の重量を約2倍にしたケース）
M-6		・M-1の状態で、舗装部にゴム（硬度50、厚さ6 mm）を敷いたケース。 ・ゴムと置換土とは密着
P		・計画道路中央に回転自由な模型橋脚（円柱状）を設置し天端を水平方向に打撃するケース。

図3-1 模型実験ケース



地盤模型俯瞰図

模型材料の配合比

地盤名称	地質分類	主材料の配合		設定ヤング率
		日東SS(%)	ベントナイト(%)	
地盤 Ⓐ	沖積層 (腐植土, ガレキ)	10	5	0.6 kg/cm^2
" Ⓐ'	沖積層 (シルト質粘土)	10	5	0.6
" Ⓑ	置換層 (粘性土, 砂質土)	20	5	1.5
" Ⓒ	舗装部	30	5	6

図 3-2

3.2 実験結果

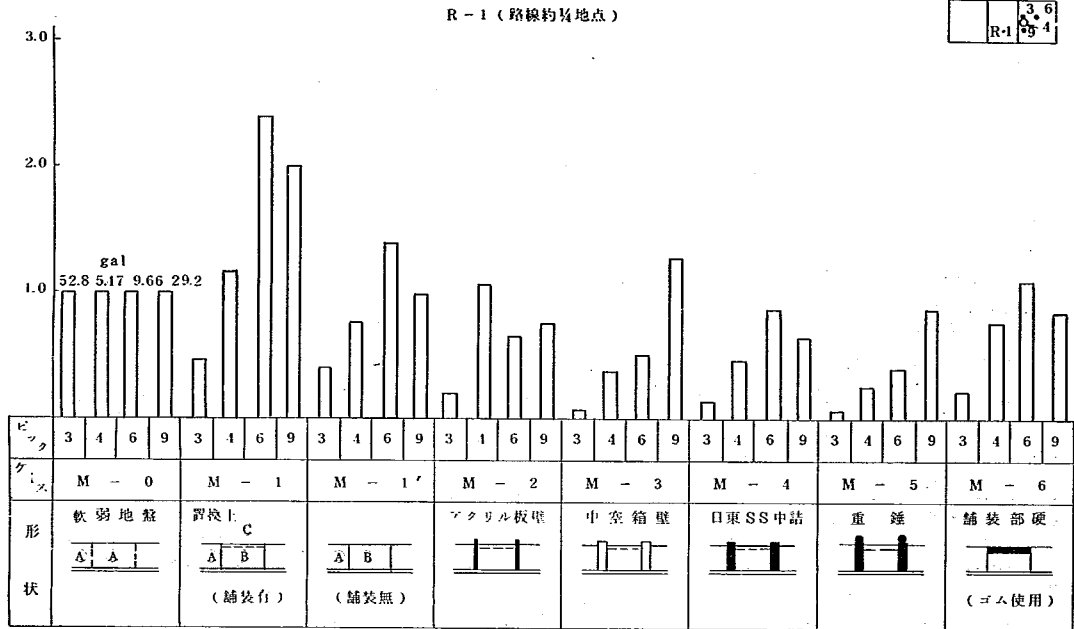


図3-3 最大加速度のケース別比較

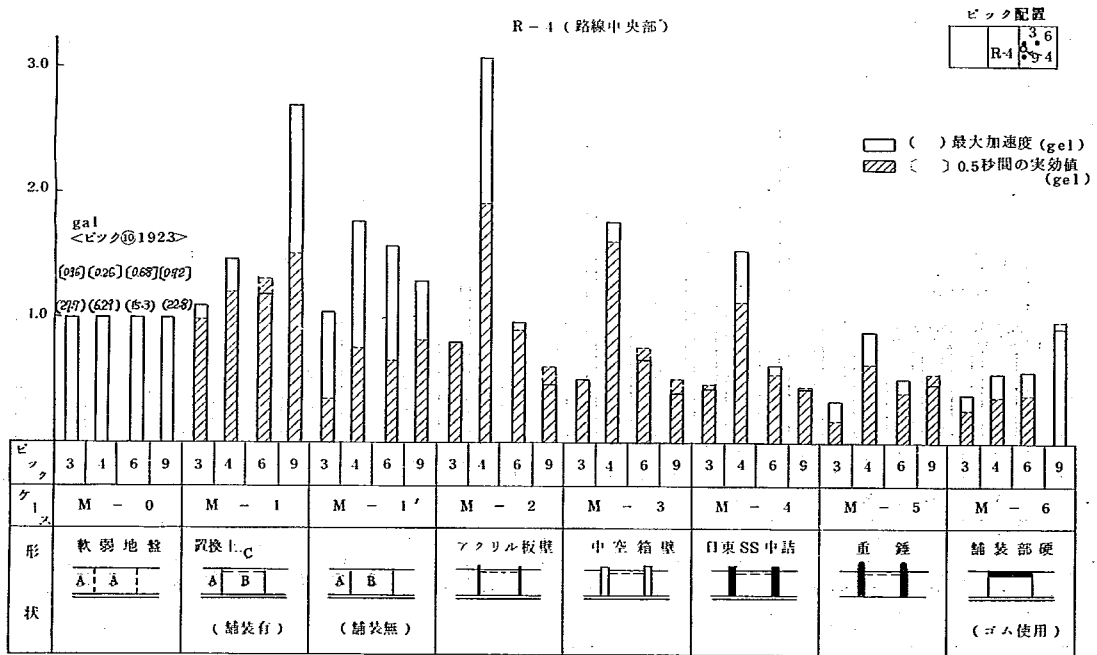


図3-4 最大加速度のケース別比較

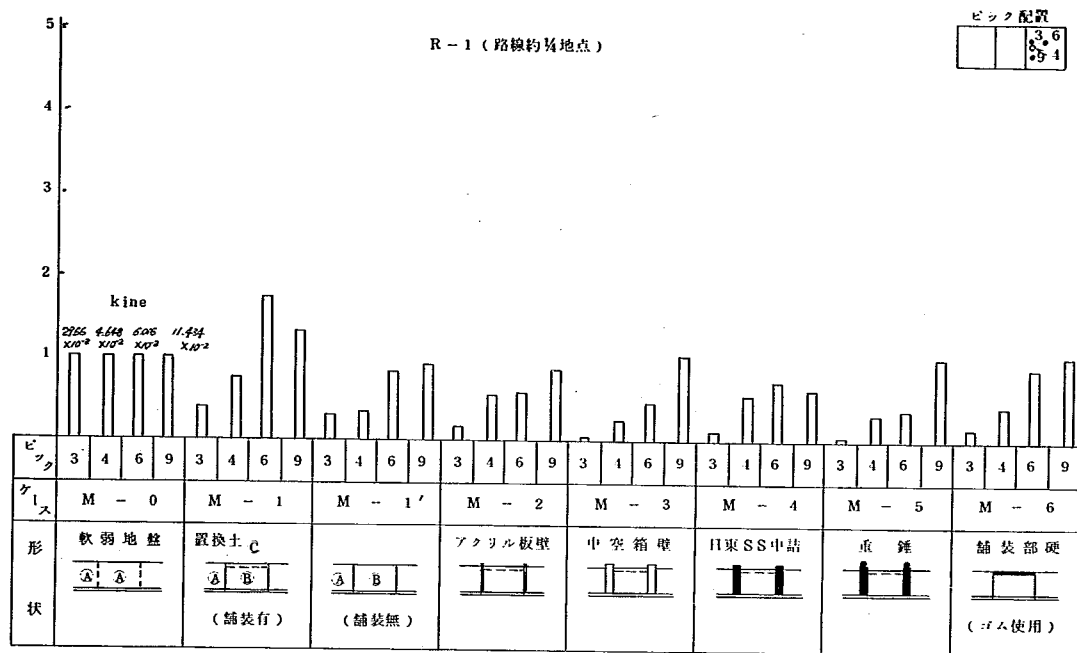


図 3-5 最大速度のケース別比較

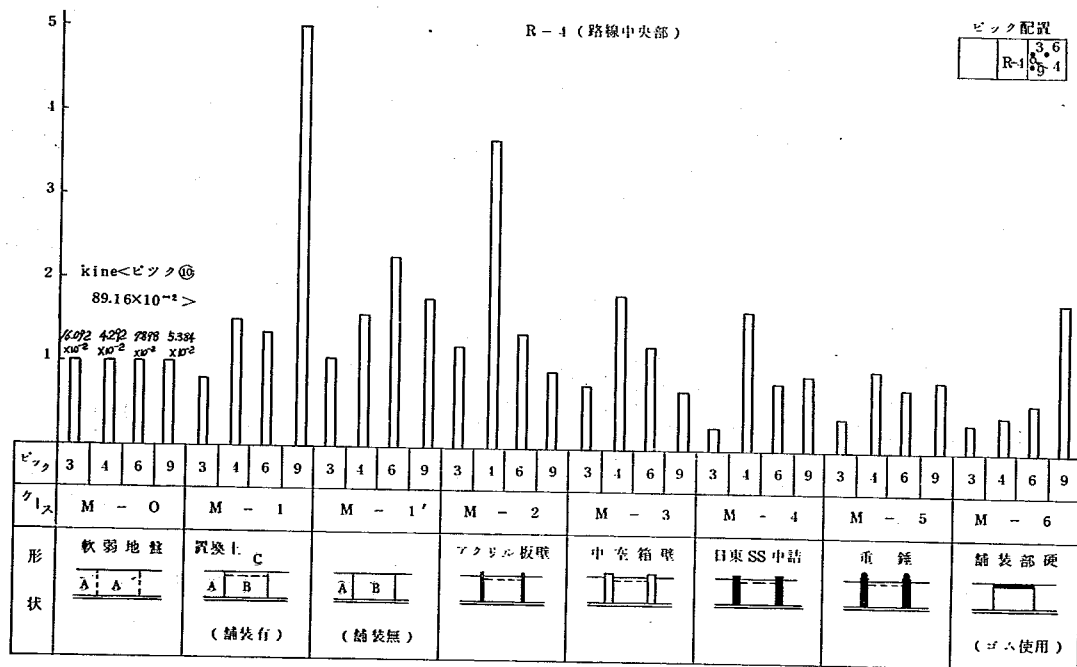


図 3-6 最大速度のケース別比較

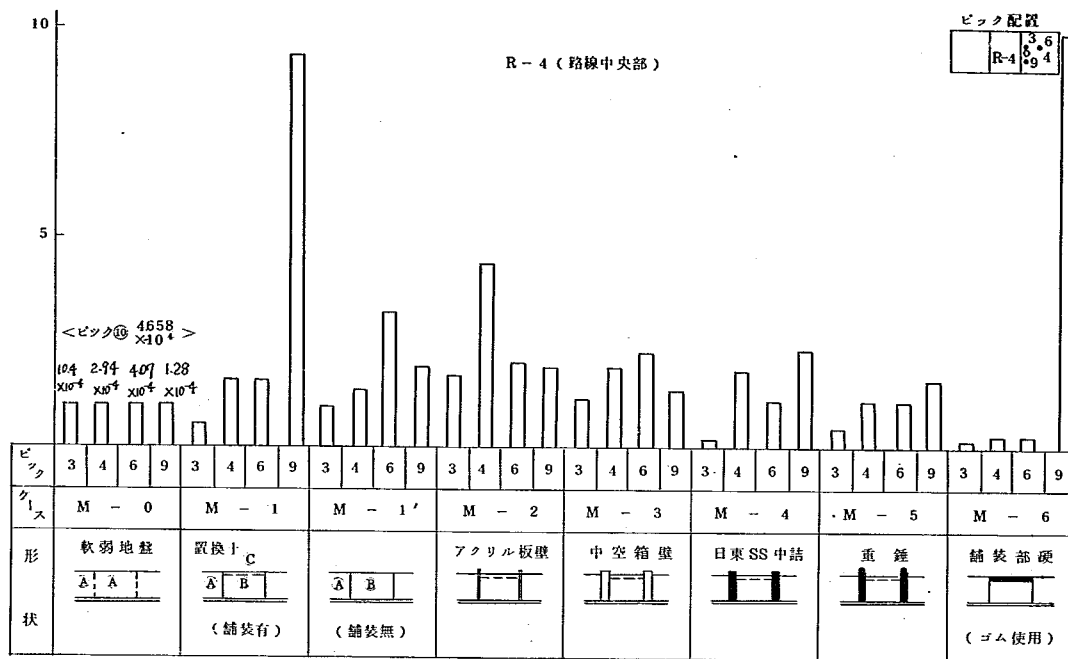


図 3-7 最大変位のケース別比較

4. 結 論

上述の実験から次のことが言える。

- (1) 路床部の軟弱土層の良質な土砂による入れ替えによって沿道の振動は著しく減少する。
- (2) 路盤および舗装を剛かつ重くすることは沿道の振動の減少に寄与する。
- (3) 路側に遮断壁を設ける場合、その壁体の重量が大きい程、沿道の振動の軽減に寄与する度合が大きい。
- (4) 観察によれば一柱式高架橋によって発生する振動は極めて大きい。振動防除の観点からは橋軸および橋軸直角方向のいずれにも、より大きな剛性を橋脚にもたせるのがよい。

首都高速道路公団委託試験
軟弱地盤における地盤振動の防除に関する研究

土研資料第928号
昭 49. 3.(1974)
栗林栄一, 福田富三
木本正則

キーワード
地盤振動, 振動防除, 現地振動実験
模型振動実験

本報告書は首都高速道路公団の委託により, 軟弱地盤における振動障害防止法選定のため, 現地振動特性および模型による振動特性をとりまとめたものである。

