

ア1712

124

土研資料第1302号

土 木 研 究 所 資 料

改良地盤における地盤振動調査

昭和53年3月

建設省土木研究所
動土質研究室

ま え が き

土木構造物の建設に当って軟弱地盤地帯を避ける方が経済性あるいは安全性等の面から有利であることは言を待たない。しかし現在の我国の平野部においては高度に土地利用が図られているので、軟弱地盤上に盛土あるいは橋梁等を建設せざるを得ない場合が多い。

軟弱地盤上に盛土等を構築する場合、静的荷重に対する安定性の検討も重要であるが、地震あるいは交通荷重等の動的荷重に対する配慮も必要である。

たとえば地盤に交通荷重が作用する場合を考えてみると、軟弱地盤の方が一般の地盤に比べて地盤振動振幅は大きくなり、また遠方まで伝播するという特性を有している。更に軟弱地盤上の道路盛土においては盛土の不等沈下による路面の平坦性の悪化のために、自動車の衝撃荷重が増大するという現象も見られる。

このように軟弱地盤は動的荷重に対して弱い性質を持っているが、本報告書では主に軟弱地盤上の道路における道路交通振動の防除の問題について報告する。防除のための方法としては交通規制、自動車の改善、環境施設帯の設置等いろいろのものがあるが、軟弱地盤特有の方法として地盤改良による方法が考えられる。現在までのところ、交通振動の防除の観点から地盤改良を検討するということはあまり行なわれていないが、軟弱地盤上の道路建設が多くなっている今日においては十分検討する価値のある問題であると考えられる。

今回行なった調査は全国5ヶ所の地点における現場振動実験および振動調査よりなっている。現場は建設省技術研究会指定課題「軟弱地盤上の低盛土道路の設計法に関する研究」（昭和48年～50年）のために地盤改良が実施された場所である。地盤改良としてはケミコパイル、サンドコンパクションパイル、ネット敷設等が施工されている。まだ舗装の完成していない地点においては重錘落下実験を行ない、舗装の完成している地点では試験車による振動実験を実施した。また供用後の道路では実交通による振動調査を行なった。以下に実験および調査結果について述べ、軟弱地盤改良による道路交通振動防除の問題について考察を加える。

最後に本調査の実施に当り多大の御協力をいただいた北海道開発局土木試験所、建設省東北技術事務所、秋田工事事務所、関東技術事務所、北首都国道工事事務所、中部技術事務所、沼津工事事務所、九州技術事務所の方々に対し深く感謝の意を表する。

昭和53年3月

動土質研究室	沢	田	健	吉
	谷	口	栄	一
	小笠原			久
	館	山		悟

目 次

ま え が き

1. 従来の研究	1
2. 各種の軟弱地盤改良工法の原理	4
3. 地盤の土質条件と振動特性の関係	5
3.1 弾性論による考察	5
3.2 地盤振動の評価の問題	7
4. 現場振動調査	9
4.1 概 説	9
4.2 調査地点の状況	9
4.3 調査方法	38
4.4 調査結果および考察	43
5. 結 論	72
参 考 文 献	73

1. 従 来 の 研 究

軟弱地盤改良による地盤の振動特性の改善に関する従来の研究について述べる。

(1) 北海道開発局土木試験所土質研究室における研究⁽¹⁾⁽²⁾

佐々木、木元、能登等はケミコパイル工法、サンドコンパクション工法による地盤振動軽減効果に関する一連の研究を発表している。軟弱粘土地盤に直径 200 mm、深さ 3 m のケミコパイルを 80 cm ピッチで道路全面（幅 13 m、長さ 100 m）に打設した区間と無改良区間（両者は約 100 m 離れている）において、ブルドーザー、スクレーパー、ダンプトラック走行による振動実験を行ない、振動加速度を比較した。その結果図 1-1 に示すように改良区間の加速度は無改良区間の加速度の約 3/5 に減少した。測定位置は道路端より 15 m 以内の数点であり、測定点は全て地盤改良の範囲外である。

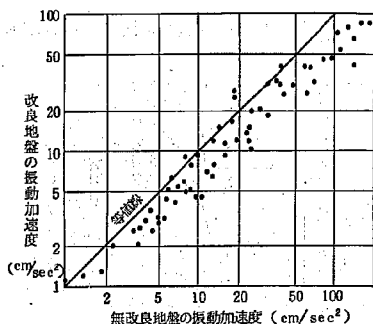


図 1-1 ケミコパイルによる振動軽減効果（北海道開発局土木試験所，1974）

表 1-1 ケミコパイルによる改良区間と無改良区間の土質定数比較（札幌新道）

	含水比 w (%)	単位体積重量 γ (t/m^3)	粘着力 c (t/m^2)
無改良	50~80	1.038	1.0
改良	25~70	1.141	4.4~5.8

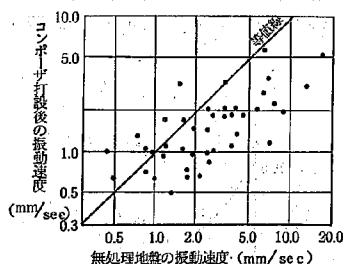


図 1-2 サンドコンパクションパイルによる振動軽減効果（北海道開発局土木試験所，1974）

表 1-2 サンドコンパクションパイル打設前後の土質定数比較（浦幌バイパス）

	含水比 w (%)	コーン貫入力 q_c (kg/cm^2)
打設前	250	3
打設後	—	4~5

また泥炭地盤に直径 700 mm、深さ 8 m のサンドコンパクションパイルを打設し、打設前と打設後にブルドーザーによる地盤振動を測定した。その結果、打設後の振動速度は打設前に比べて約 2/3 に減少した。測定位置はケミコパイルの場合と同様に道路端より 15 m 以内の数点である。

以上の結果より筆者等はケミコパイル工法、サンドコンパクションパイル工法が地盤振動軽減

のために有効であると結論付けている。

(2) 東海道新幹線における研究⁽³⁾

横浜市保土谷区西谷町地内の東海道新幹線の下り線において、列車通過時の振動により道床バラストが流動するため、列車速度を160km/hに制限しなければならないという状況になっていた。現場は図1-3に示すように腐植土より成る軟弱地盤であり、飯高、加藤、土屋はケミコパイル工法による地盤改良によりこの障害を取り除くことに成功したと報告している。ケミコパイルの直径は15cm、深さ3.2m、配列は横断方向40cm、線路方向36cmの千鳥状配列である。図1-4に改良前後の振動振幅が示されているが、改良によって振動振幅がかなり小さくなり、改良後新幹線は時速200km/hの正常運転に入った。

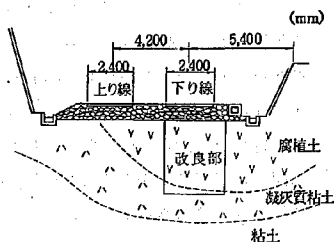


図1-3 現場断面図（東海道新幹線）

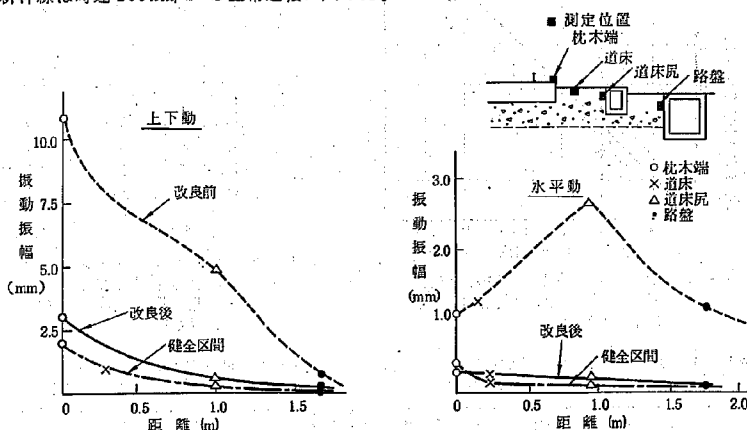


図1-4 振動軽減効果（飯高、加藤、土屋、1968）

表1-3 ケミコパイルによる改良前後の土質定数比較（東海道新幹線、横浜）

	深 度 (m)	含水比 w (%)	コーン貫入力 (kg/cm^2)	間 隙 比 e	飽 和 S_r (%)	単位体積重量 γ (t/m^3)	乾燥密度 γ_d (t/m^3)	一軸圧縮強度 (kg/cm^2)
改良前	1.0~1.7	160.7	4	4.1	100	1.28	0.51	0.316
	2.0~2.8	159.2	7	3.7	100	1.31	0.52	0.170
改良後	2.0	110.0	18	2.6	100	1.39	0.66	0.479
	2.5	58.7	20	1.42	100	1.59	1.00	0.638

この研究はケミコパイルによる地盤改良によって非常に良い結果を得ているが、振動測定位置が振源より2 m以内という近い範囲内であり、改良区域の直上である点に注意する必要がある。

(3) 筆者等の研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾

筆者等は埼玉県川口市安行の軟弱地盤において、プレロード（盛土）による地盤振動軽減に関する実験を行なった。振動源として重さ150 kgの重錘を2 mの高さより落下させた。高さ2 m、幅20 m、長さ75 mの盛土によるプレロードを9ヶ月間かけた区間とプレロードのない区間における地盤振動速度を比較したものが図1-5であり、振源より30 m以内ではかなりの振動軽減効果が見られる。また、図1-6はプレロード施工前後の一軸圧縮強度 q_u であり、プレロードにより q_u は2～3倍に増大している。

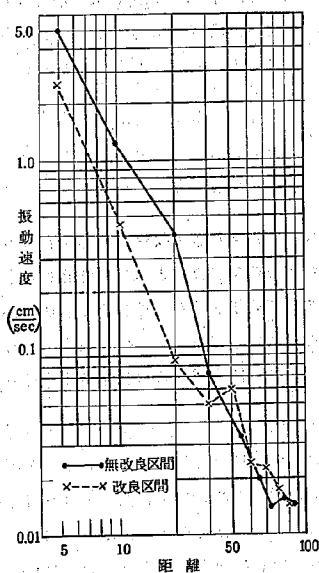


図1-5 プレロード（高さ2 m）による振動軽減効果（安行、重錘落下、鉛直成分）

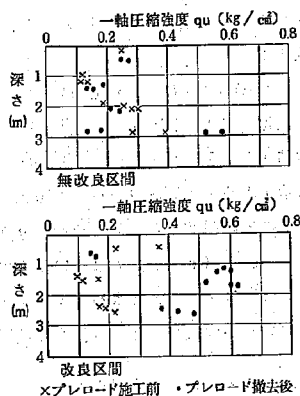


図1-6 プレロード施工前後の q_u の変化

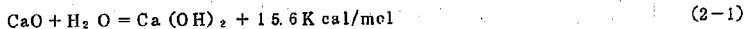
2. 各種の軟弱地盤改良工法の原理

軟弱地盤改良の本来の目的は軟弱地盤上に施工される盛土あるいは擁壁等の構造物の沈下を防止し、安定性を確保することである。そのためには圧密変形による地盤の沈下を予め促進させたり、あるいは地盤の強度を増してせん断変形に対する抵抗を大きくすればよい。このような地盤改良が地盤の動的特性の改良にも当然役に立つと考えられる。

現在、種々の軟弱地盤改良工法が考案されているが、今回の調査地点に施工されている主な工法について以下に簡単にその目的と原理を述べる。⁽⁶⁾

(1) ケミコバイル工法

文献(6)によれば本工法は生石灰を粘性土地盤中にバイル状に打設し、生石灰の消化吸水と続いて起る水和物生成と毛細管吸水作用により粘性土中の含水量低下をはかり、ひいては地盤の強度増加および沈下量の低減を期待するものである。即ち生石灰は次のような化学反応を起して水を吸収する。



重量比 1 0.32 1.32

体積比 1 1.08 1.99

上に示すように生石灰は重量比で0.32倍の水を吸収する。また水を吸収すると生石灰の体積は1.99倍に膨張するが、体積比で1.08倍の水を吸収するので、全体としての体積はほとんど変化がない。式(2-1)のような反応は打設後2～3日で完了するが、その後消石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)がモンモリロナイト、加水ハロイサイト等の粘土鉱物と反応して新しい硬化鉱物を生成しコンシステンシーの改良が促される。また毛細管吸水作用により粘性土層の含水比を低下させる。

(2) サンドコンパクションバイル工法

本工法は衝撃荷重あるいは振動荷重によって砂を地盤中に圧入し砂杭を形成させるものであり、ゆるい砂質地盤に対しては液状化の防止をはかるために用いられ、粘土質地盤では支持力を向上させたり橋梁取付け部などで掘土の軽減と沈下量の減少をはかる場合等に用いられる。軟弱粘土地盤中に多数のコンパクションバイルが打ち込まれると、砂杭と粘土より構成された複合地盤となり、強度増加、沈下量の減少が期待できる。また砂杭が排水柱の役割も果たす。

(3) ネットおよびシート敷設工法

本工法は敷設する材料のせん断力および引張力を利用して施工機械のトラフィカビリティを増すほか、盛土荷重を均等に支持し地盤の局部的な沈下および側方変位を減じ地盤の支持力を向上させることを主目的としている。軟弱地盤に盛土を施工すると引張強さを持たない盛土は、地盤の側方流動によって破壊されることがある。この場合盛土底面に高い引張強さを持つ敷設材を介在させると地盤の側方流動に抵抗し盛土の局部的破壊を防ぐことができる。

3. 地盤の土質条件と振動特性の関係

3.1 弾性論による考察

軟弱地盤改良により地盤振動が小さくなる可能性について地盤の土質条件との関連から考えてみる。

軟弱地盤を改良することによって一般に地盤の土質定数に変化する。地盤の振動問題を取り扱う場合に重要な土質定数は弾性係数、密度、ポアソン比、減衰定数等であるが、地盤改良によるこれらの定数の変化を定性的に表わしたものが表3-1である。軟弱地盤改良の過程においては土の間隙水の排水の促進および空隙の減少が行なわれるので含水比、間隙比は当然減少するものと考えられる。また排水された後には比重が1より大きい土粒子あるいは消石灰等に置き換えられるから密度は増加することになる。弾性係数につい

表3-1 軟弱地盤改良による地盤の土質定数の定性的変化

土 質 定 数	地盤改良による変化
含 水 比	減 少
間 隙 比	減 少
密 度	増 加
粘 着 力	増 加
弾 性 係 数	増 加
ポアソン比	変化なし
減 衰 定 数	不 明

ては、たとえば粘土のせん断弾性係数 G は Hardin, Drnevich⁽⁷⁾ によれば次のように表わされる。

$$G \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 326 \frac{(2.973-e)^2}{(1+e)} (OCR)^k \frac{1}{\sigma_0^{1/2}} \quad (3-1)$$

ただし、 e : 間隙比、 OCR : 過圧密比、 k : 定数、 σ_0 : 平均主応力 (kg/cm²)
式(3-1)は $e < 2.973$ の範囲にしか適用されないが、日本における普通の沖積粘土の e は 2.973 以下のものが多い。そこで式(3-1)を用いると、地盤改良によって e が減少し、密度の増加によって σ_0 が増加するとすれば G は増加すると言える。また粘土の G は2次圧密によって増大することが実験的に確かめられており⁽⁸⁾、これは e の減少では説明できないものである。従って軟弱地盤改良の過程においては G は一般に増大するものと考えられる。ポアソン比については、飽和土において微小歪の波動伝播を考える限りにおいては非排水状態にあり、体積変化がないと考えられるので、常にほぼ 0.5 に近い値であるとしてよい。減衰定数については粘土についての信頼できるデータが少ないので、砂に関するデータ⁽⁹⁾ から類推すると、地盤改良によって拘束圧が増大するので減衰定数は若干減少するかも知れない。

次に上に述べたような土質定数の変化と地盤の荷重に対する動的応答について考察を加える。

まず最も簡単な場合として、図3-1のように半無限弾性体上の1点に正弦波的に変動する鉛直荷重 $Re^{i\omega t}$ (R : 荷重振幅、 $i = \sqrt{-1}$ 、 ω : 振動数、 t : 時間) が作用する場合を考える。この場合には H. Lamb⁽¹⁰⁾ によって解析解が得られており、振源からの距離 r の大きい所では Rayleigh 波が卓越し、鉛直振動の振幅 A は次式で与えられる。

$$A = \frac{RK\sqrt{\omega}}{G\sqrt{2\pi V_R} r} \exp \left(i \left(\omega t - \frac{\omega r}{V_R} - \frac{\pi}{4} \right) \right) \quad (3-2)$$

ただし

$$K = \frac{(V_R/V_S)^2 (1+h^2)^2}{16h \{2+2h^2-2hk-(h^2+k^2)/hk\}}$$

$$h = \sqrt{1 - (V_R/V_S)^2}, \quad k = \sqrt{1 - (V_R/V_P)^2}$$

G : せん断弾性係数,

V_S, V_P, V_R : S波, P波, Rayleigh波の速度

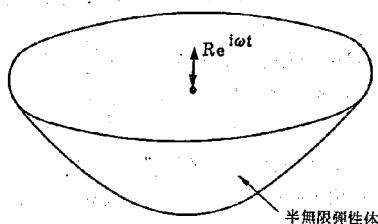


図 3-1

上式中の K はポアソン比のみに依存する。従って例えば 2 つの半無限弾性体があって、両者のポアソン比が同一で G だけが異っている場合、式 (3-2) より G の大きい方が同一入力 $Re^{i\omega t}$ に対して同一距離 r の点の振動振幅は小さいということになる。^(注)

次に実際の地盤について考えてみると、実際の地盤は弾性体ではないが、交通振動等で問題となる微小歪 ($10^{-6} \sim 10^{-4}$) の範囲においては一般に弾性的性質が強いのて、一応地盤を弾性体と考える。さらに地盤は一般に層構造を有しており、この場合には解析解を得ることは困難である。しかし、交通振動等のように表面波が主成分を成している振動問題では振動の特性は表面の層の性質に大きく支配されるので、定性的には上記の議論を準用して、地盤改良によって表面層の G が増大すれば振動の減少に寄与するものと考えられる。

また交通振動において主成分を成していると考えられる Rayleigh 波の振動振幅は図 3-2 のように地表付近が大きく、地中深く入る程小さくなるが、振動数の低い Rayleigh では比較的深い地点まで振動することが知られている。⁽ⁱⁱ⁾ 従って低振動数の振動を対象とする場合には、地盤改良の深さを深くしなければならない。

注) 式 (3-2) の分母に V_R が入っているが、 V_R は G が大きくなれば大きくなる。なぜならば弾性体では G と V_S の間に

$$G = \rho V_S^2 \quad (a)$$

ただし、 ρ : 密度

の関係があり、半無限弾性体の V_S と V_R の間には

$$V_R = f(\nu) \cdot V_S \quad (b)$$

の関係がある。従ってポアソン比 ν が一定であれば、 G が大きくなれば式 (a), (b) より V_R も大きくなる。

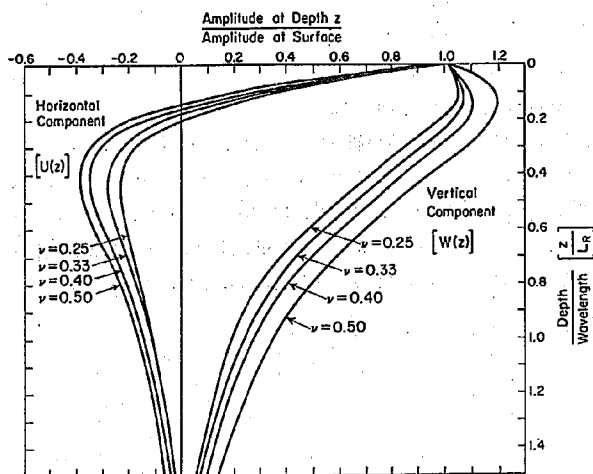


図 3-2 半無限弾性体を伝播する Rayleigh 波の理論的地中分布
(F. E. Richart et al)

3.2 地盤振動の評価の問題

今までは地盤振動を振動振幅、振動加速度等で表現してきたが、道路交通振動を取り扱う場合には補正加速度レベル (VL) で評価するのが一般的である。VLとは、次式で定義される VALに人体感覚の補正フィルター (図-3) をかけたものである。

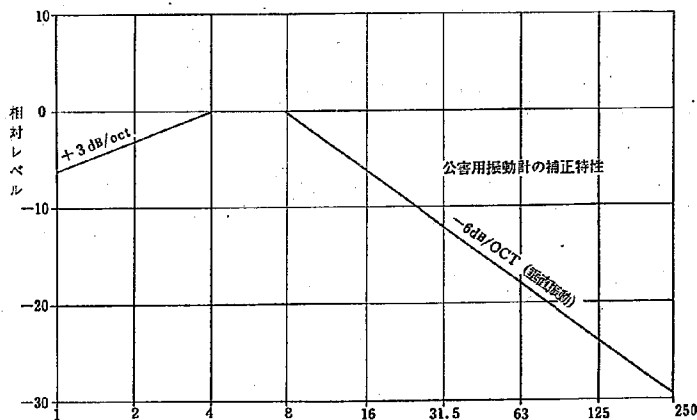


図 3-3 人体感覚の補正フィルター

$$VAL = 20 \log_{10} \frac{A_e}{A_o} \quad (3-3)$$

ただし、 A_e : 加速度の実効値

A_o : 基準加速度 = 10^{-3} cm/sec^2

図3-3は振動数が8Hzより大きい領域においては、加速度が同じであっても振動数の高い振動の方がVLは小さくなることを示している。道路交通振動の卓越振動数の範囲は大体5~30Hzであることが確かめられており、⁽¹²⁾ ほぼこの領域（倍振動数に対して6dB減少する領域）に入っている。従って地盤改良によって卓越振動数を高くすることができれば、加速度の値は変らなくとも、VLで評価すれば小さくなるということが有り得る。

4. 現場振動調査

4.1 概 説

全国5ヶ所の国道または国道予定地において現場振動調査を実施した。実施地点を表4-1に

表4-1 現場振動実験実施地点一覧表

番号	地方名	実験担当 事務所	実験場所	路 線 名	所轄 事務所名	実験時の 道路の状況	振 動 源
1	北海道	北海道開発局 土木試験所	北海道札幌市東区 東苗穂	一般国道5号 札幌新道	札幌新道	供用後3年	実 交 通
2	東北	東北技術 土木研究所	秋田県秋田市金足 字大清水地内	一般国道7号 昭和バイパス	秋田工事	供用前(路床まで 完成)	重錘落下
3	関東	土木研究所・ 関東技術	埼玉県越谷市 平方地内	一般国道4号 越谷・春日部バイパス	北首都国道	供用前(路床まで 完成及び舗装後)	重錘落下
4	中部	中部技術	静岡県沼津市 浮島ヶ原地先	一般国道1号 沼津バイパス	沼津工事	供用前(路床まで 完成)	重錘落下
5	九州	九州技術	熊本県熊本市野田町	一般国道3号 川尻バイパス	熊本工事	供用後3年	実 交 通

示す。今回調査を行なった現場は、建設省技術研究会道路部門指定課題「軟弱地盤上の低盛土道路の設計法に関する研究」(昭和48年~昭和50年)⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾のために地盤改良が実施された場所である。道路構造は札幌の現場がほぼ平面道路であるが、残り4ヶ所は盛土道路である。表4-1に示すようにまだ舗装の完成していない道路では重錘落下を振動源とし、舗装完成後で供用前の道路では試験車走行による実験を行ない、供用後の道路では実交通による振動調査を行なった。

4.2 調査地点の状況

各調査地点はいくつかの工区に分れており、各種の軟弱地盤改良が行なわれている。表4-2にその一覧表を示す。

表4-2 各調査地点の軟弱地盤改良工法の種類

改良工法名	地 名	札 幌	秋 田	越 谷	沼 津	熊 本
ケ ミ コ パ イ ル	○ (深さ3.0m, 5.0m)	○ (深さ2.7m, 5.0m)	○ (深さ2.0m, 4.0m)	○ (深 さ 5.3 m)	—	—
サンドコンパクション	—	○ (深 さ 4.5 m)	—	○ (深 さ 5.0 m)	○ (深 さ 7.0 m)	—
ネ ッ ト 敷 設	○	○	○	—	—	—
シ ー ト 敷 設	—	○	—	—	—	—
石 灰 安 定 処 理	—	—	—	—	—	○
サ ン ド ド レ ー ン	—	—	—	—	—	○ (深 さ 7.0 m)

凡 〇 改良工事を実施して、振動実験を行なった。

例 — 改良工事を実施していない。あるいは改良工事は実施しているが今回振動実験を実施しなかった。

以下に各調査地点の概要を述べる。

(1) 札幌（札幌新道）

図4-1に調査地点位置図を、図4-2に平面図を示す。平面図中のA～D測線は振動測定

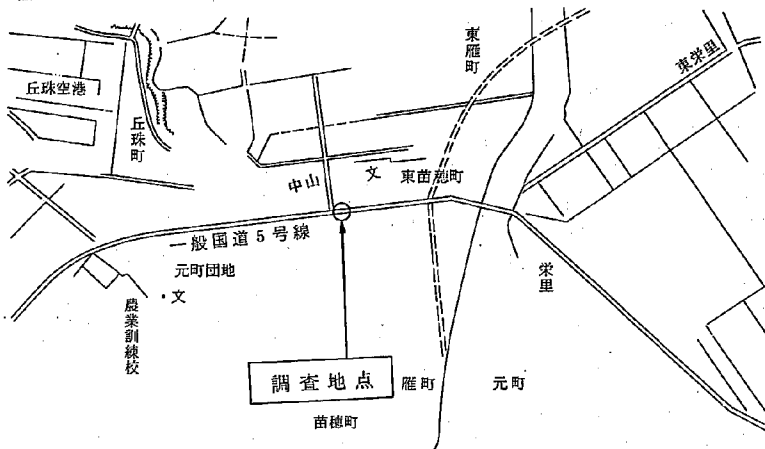


図4-1 調査地点位置図（札幌）

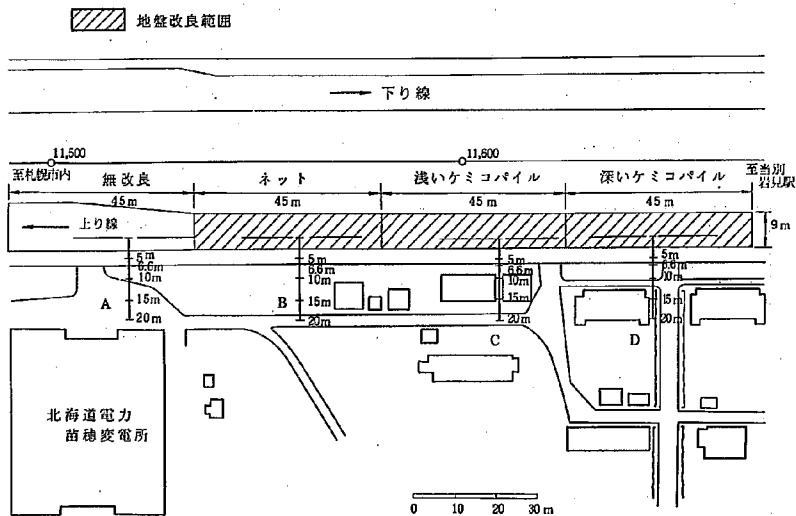


図4-2 平面図（札幌）

を実施した測線を表わす。写真4-1は現場概況を表わしている。本調査地点は4区間に分れており、3種類の軟弱地盤改良が実施されている。表4-3にその詳細を示す。図4-3にA

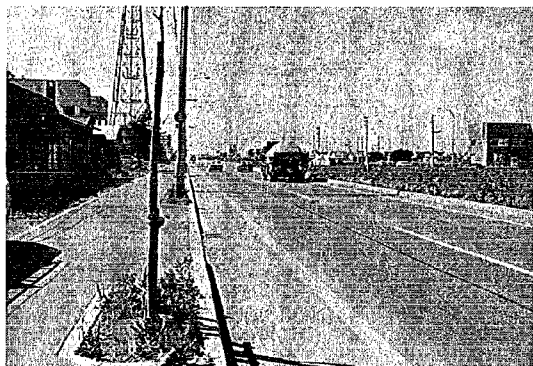


写真4-1 現場概況（札幌）

表4-3 各区間の軟弱地盤改良（札幌）

区 間	A	B	C	D
地 盤 改 良	無 改 良	ネット敷設	浅い ケミコパイル	深い ケミコパイル
測 点 番 号	11K490～ 11K535	11K535～ 11K580	11K580～ 11K625	11K625～ 11K670
延 長 (m)	45	45	45	45
軟弱層厚 (m)	7.4	7.5	6.7	3.5
地盤改良工			直径 20cm 深さ 3.0m ピッチ 80cm	直径 20cm 深さ 5.0m ピッチ 80cm

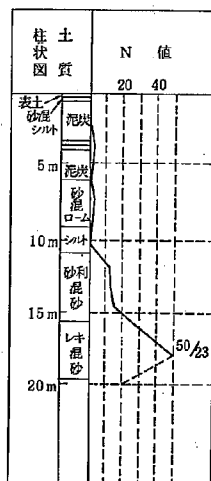


図4-3 土質柱状図（札幌）

区間の道路中心における土質柱状図（道路建設前）を示す。本地点は泥炭およびロームよりなる厚さ約10mの軟弱層を持っている。図4-4に舗装断面図、表4-4に路面凹凸の標準偏

差 σ およびベンケルマンビームによるたわみ試験結果を示す。また表4-5に道路建設前の土質試験結果を示す。

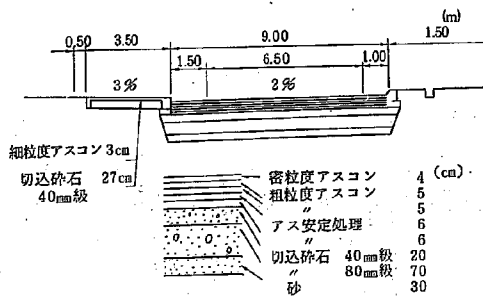


図4-4 舗装断面図（札幌）

表4-4 各区間の路面凹凸およびたわみ性（札幌）

特性値	区 間	A	B	C	D
路面凹凸の標準偏差	外 側 車 線	1.3	1.5	1.6	4.3
σ (mm)	内 側 車 線	2.0	2.3	1.2	4.6
ベンケルマンビームによる弾性たわみ量 (mm)		0.7	1.1	1.5	1.4

注1) 路面凹凸は、3mプロファイルメーターを用いて振動測線の前後20m、計40mの縦断方向に測定を行なった。

注2) ベンケルマン試験の輪荷重は5 ton、空気圧は6.5 kg/cm²である。

表4-5 地盤改良施工前の土質定数（札幌）

区 間	A				B				C				D			
地 盤 改 良	無 改 良				ネ ッ ト				浅いケミコパイル				深いケミコパイル			
層番号および深度 (m)	I 1.60 ~3.45	II 3.60 ~4.45	III 5.00 ~7.80	IV 5.00 ~2.55	I 1.70 ~4.44	II 2.70 ~6.45	III 5.60 ~7.65	IV 6.80 ~1.55	I 0.70 ~1.55	II 1.70 ~3.55	III 6.00 ~5.70	IV 6.00 ~1.55	I 0.70 ~1.55	II 2.70 ~3.50	III 5.30 ~6.15	IV 5.30 ~6.15
物理特性	自然含水比 w (%)	86.5	55.3	33.3 ~132	157	337 ~651	216	31.4	165	211 ~617	457	211	211	653	102	102
	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	1.514	1.026	1.206 ~1.675	1.204	0.956 ~1.208	1.300	1.373	1.203	1.030 ~1.068	1.079	1.164	0.977	1.287	1.287	1.287
	土粒子比重 G_s	2.140 ~2.538	2.137	2.301 ~2.670	2.338 ~2.344	2.088 ~2.476	2.260 ~2.290	2.668 ~2.677	2.289 ~2.320	2.046 ~2.921	2.629 ~2.670	2.306 ~2.327	2.054 ~2.076	2.749 ~2.762	2.749	2.762
テコンシス	液性限界 w_L (%)	57.9		NP	NP		51.4	NP	NP			NP				
	塑性指数 I_p (%)	16.0		-	-		19.6	-	-			-				
土 質 分 類 名	MIH		ML	ML		MIH	OL					OL				
グッチコン q_c	4.0 ~15.0	3.0 ~6.0	3.0 ~20.0	2.0 ~4.0	3.0 ~12.0	2.0 ~5.0	3.0 ~26.0	3.0 ~8.0	2.0 ~4.0	3.0 ~4.0	2.0 ~10.0	2.0 ~3.0	3.0 ~8.0	3.0 ~8.0	3.0 ~8.0	3.0 ~8.0

(2) 秋 田（昭和バイパス）

図4-5に調査地点位置図を、図4-6に平面図を示す。写真4-2は現場の概況を示す。
平面図中のA～F測線は振動測定を実施した測線を表わす。本調査地点は6区間に分れており、
5種類の軟弱地盤改良が実施されている。表4-6に軟弱地盤改良の詳細を記す。図4-7は

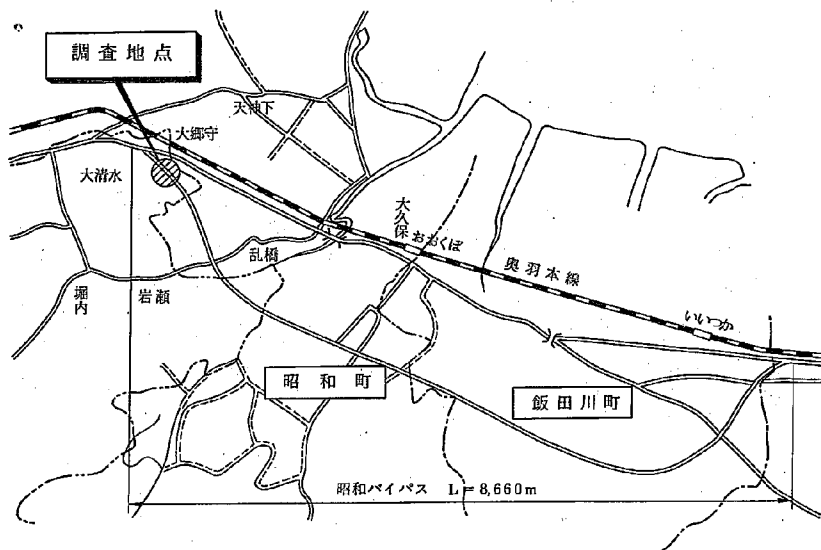


図4-5 調査地点位置図（秋田，昭和バイパス）

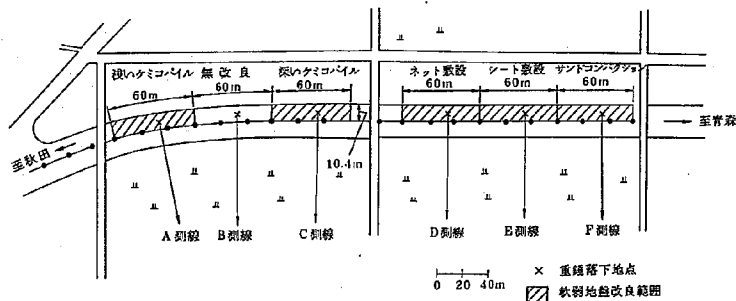
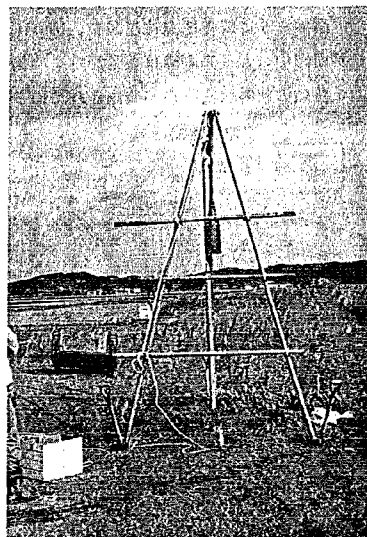


図4-6 平面図（秋田）



(a) A 測 線



(b) 重錘落下装置（道路の路床上）

写真 4-2 秋 田

表 4-6 各区間の軟弱地盤改良（秋田）

区 間	A	B	C	D	E	F
地 盤 改 良	浅いケミコ パイル	無 改 良	深いケミコ パイル	ネット敷設	シート敷設	サンドコン パクション
測 定 番 号	42~45	45~48	48~51	53~56	56~59	59~62
延 長 (m)	60	60	60	60	60	60
軟弱層厚 (m)	4.4	4.4	4.25	4.25	4.05	3.2
地 盤 改 良 工	径 40 cm 間隔 2.0 m 深さ 2.7 m 三角形配置 パイル本数 325 本		径 40 cm 間隔 2.0 m 深さ 5.0 m 三角形配置 パイル本数 325 本			径 40 cm 間隔 1.5 m 深さ 4.5 m 三角形配置

道路中心線上において実施した5本のボーリング結果より作成した地質縦断面図であり、図4-8はスエーデン式サウンディングによる抵抗断面図である。また図4-9にボーリングによる

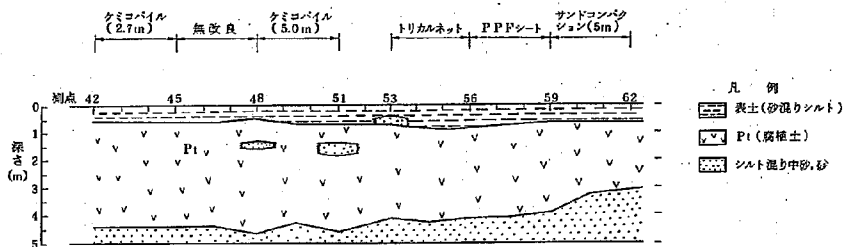


図4-7 地質縦断面図(秋田)

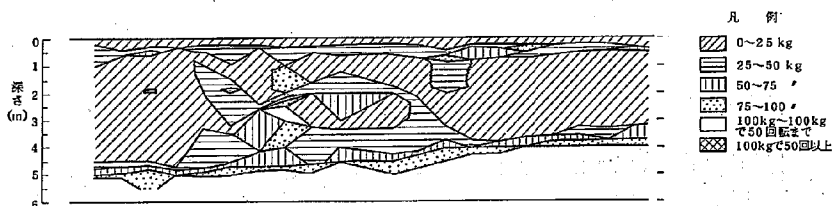


図4-8 スエーデン式サウンディング抵抗断面図(秋田)

る土質柱状図及びPS検層結果を示す。本調査地点の地盤はシルトと腐植土の互層から成る軟弱地盤である。また図4-10は各測線の軟弱地盤改良施工前後の土質諸定数を比較したものである。これによるとケミコパイル、ネットの施工によって一軸圧縮強度がかなり大きくなっている。

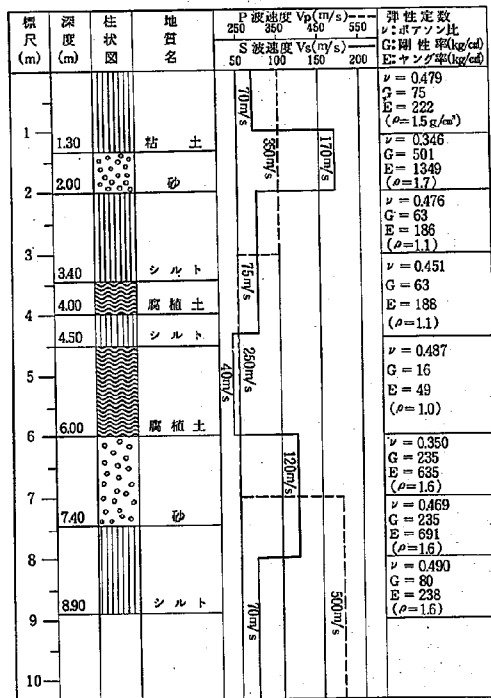


図 4-9(a) 土質柱状図 (無改良, No 46 + 17.5 m)

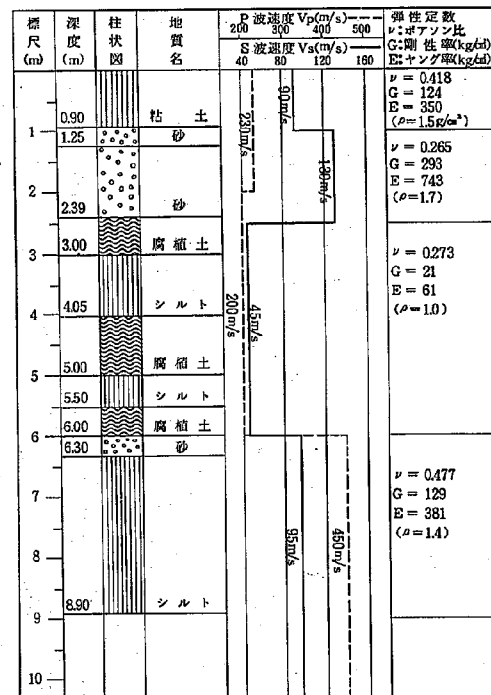


図 4-9(b) 土質柱状図 (深いケミコ, No 49 + 17.5 m)

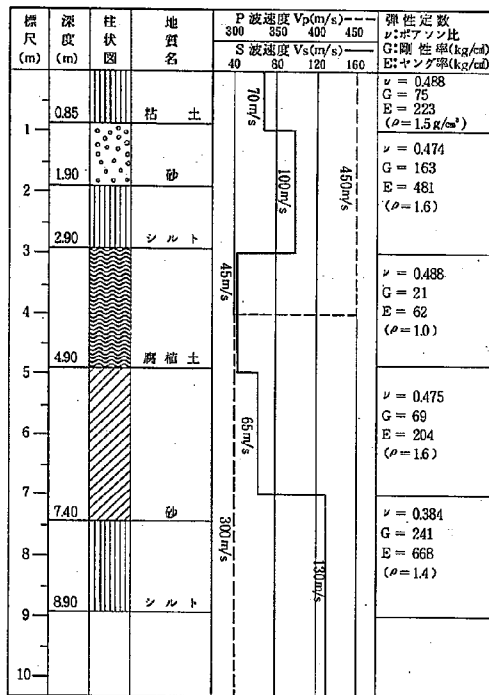


図 4-9(c) 土質柱状図 (トリカルネット, No 54 + 17.5 m)

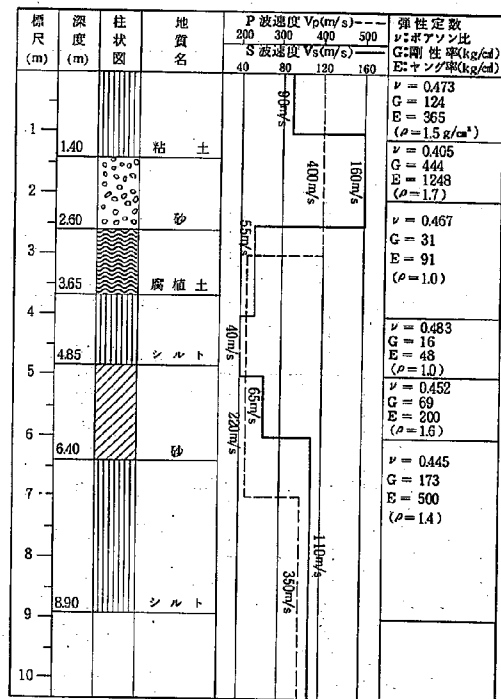


図 4-9(d) 土質柱状図 (P P Fシート, No 57 + 17.5 m)

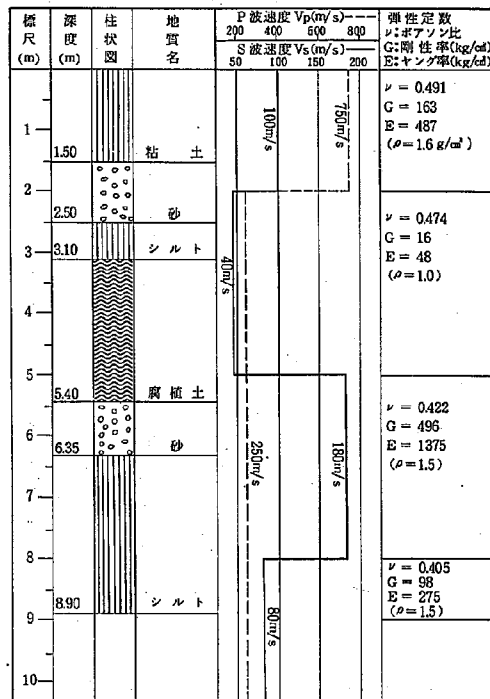


図 4 - 9 (e) 土質柱状図 (サンドコンパクション, No.60 + 17.5 m)

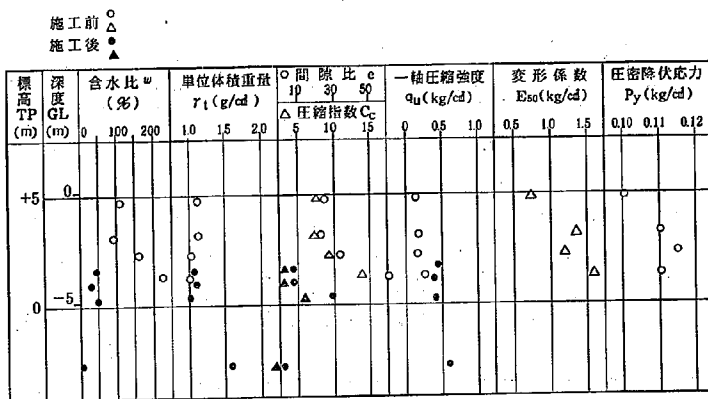


図 4-10(a) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, A, 浅いケミコパイル)

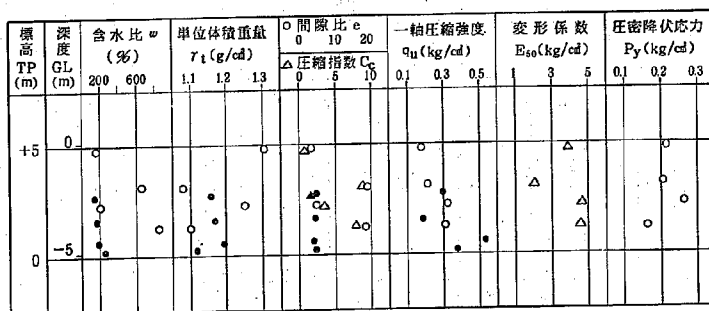


図 4-10(b) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, B, 無改良)

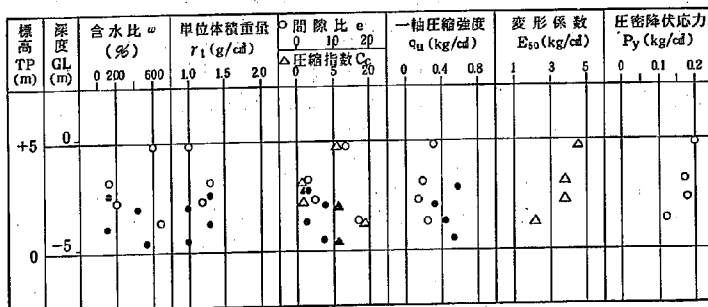


図 4-10(c) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, C, 深いケミコパイル)

施工前 ○
施工後 ▲

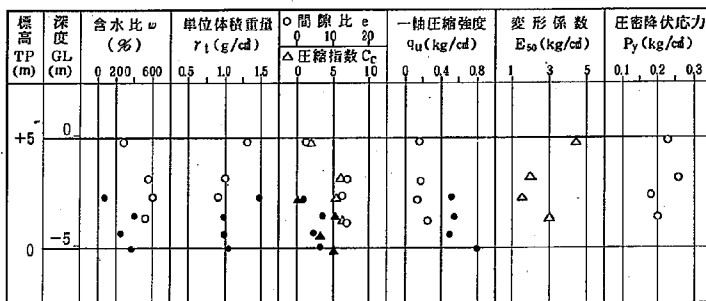


図 4-10(d) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, D, ネット)

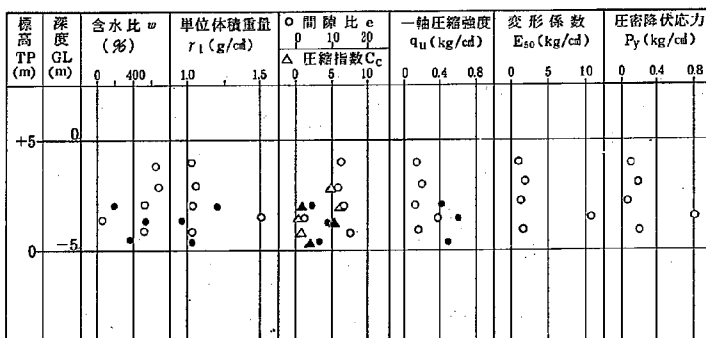


図 4-10(e) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, E, シート)

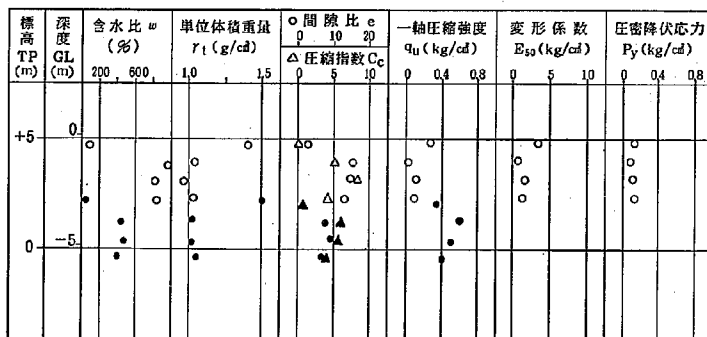


図 4-10(f) 地盤改良施工前後の土質定数 (秋田, F, サンドコンパクション)

(3) 越谷 (越谷・春日部バイパス)

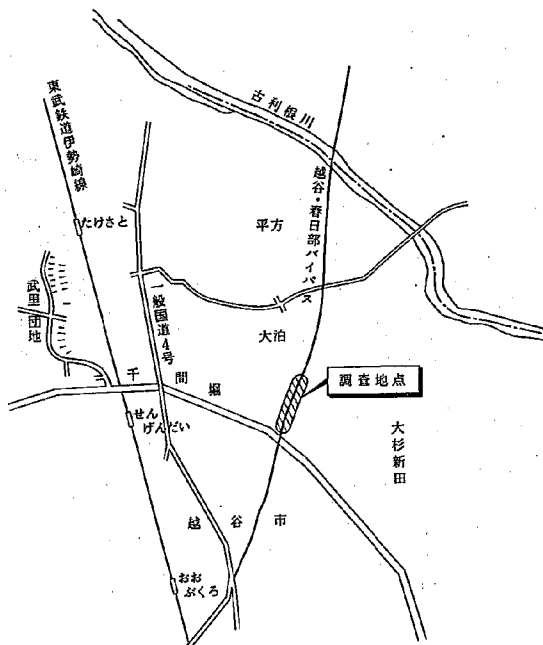
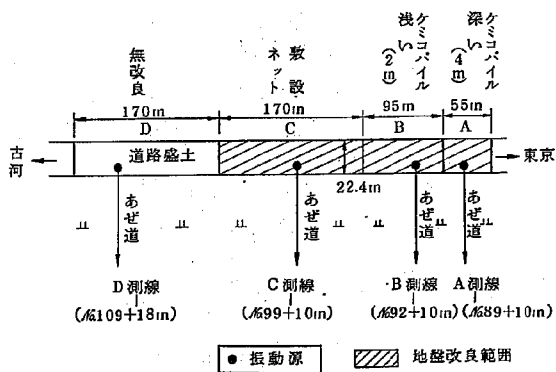
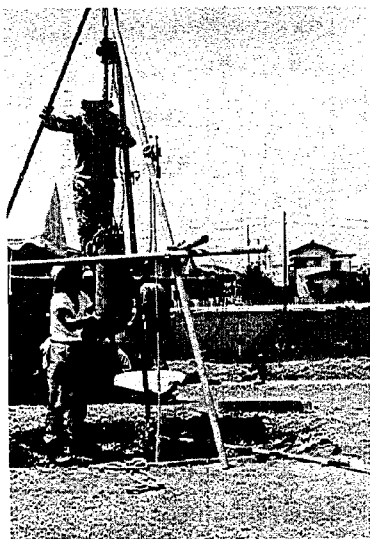
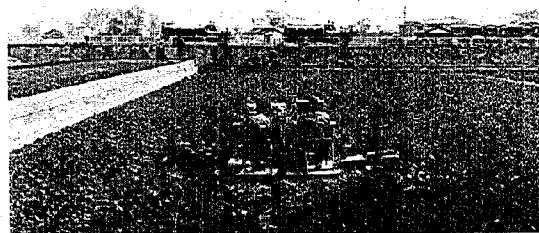


図 4-11 調査地点位置図 (越谷)

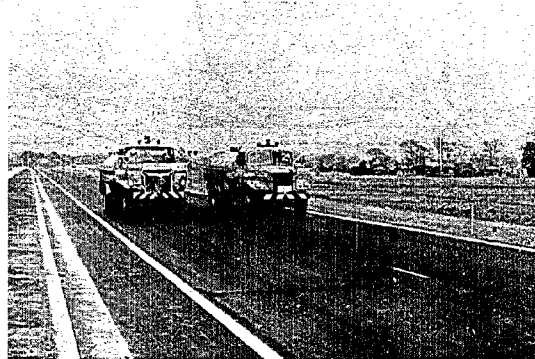




(a) 重錘落下実験 (B 測線)



(b) 試験車走行実験 (A 測線)



(c) 試験車走行実験 (A 測線)

図4-11に調査地点位置図を、図4-12に平面図を示す。写真4-3は現場概況を示す。本調査地点は4区間に分れており、3種類の軟弱地盤改良が実施されている。表4-7に軟弱地盤改良の詳細を記す。図4-13は道路中心線上において実施した4本のボーリング結果より作成した地質縦断面図である。

表4-7 各区間の軟弱地盤改良（越谷）

区 間	A	B	C	D
地 盤 改 良	深いケミコパイル +シート敷設	浅いケミコパイル +シート敷設	ネット敷設	無 改 良
測 点 番 号	88~90+15 m	90+15 m ~95+10 m	95+10 m ~104	104~ 112+10 m
延 長 (m)	75	75	170	170
軟 弱 層 厚 (m)	約 30	約 30	3.6	2.3
地 盤 改 良 工	径 20 cm 間隔 80 cm 深さ 4 m 三 角 形 配 置	径 20 cm 間隔 80 cm 深さ 2 m 三 角 形 配 置		

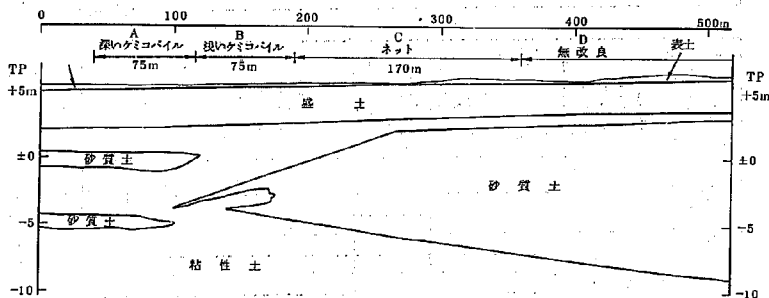
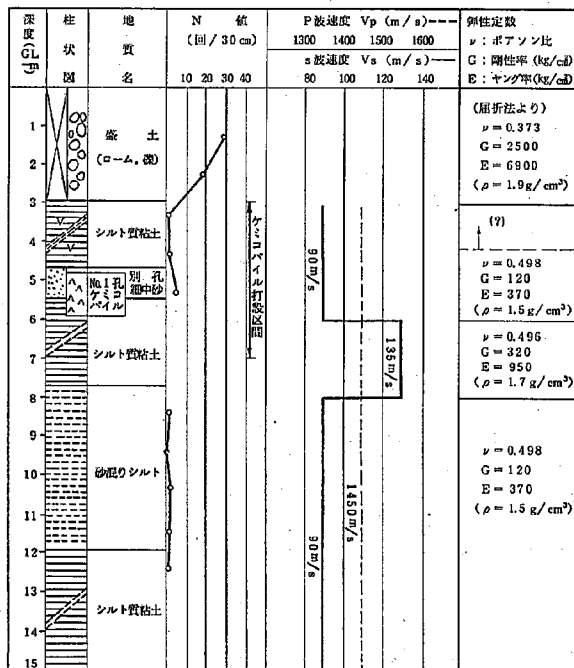


図4-13 地質縦断面図（越谷）

また図4-14に道路中心におけるボーリングによる土質柱状図及びP S検層結果を示す。本調査地点の地盤は主に沖積粘土より成り、その間に砂層がレンズ状に入り込んでいる。図4-15は各測線の軟弱地盤改良施工前後の土質諸定数を比較したものであるが、軟弱地盤改良により地盤の比較的浅い部分の強度増加が見られる。図4-16に舗装断面図、表4-8に路面凹凸およびベンケルマン試験結果を示す。



(注) 別孔とは、No.1地点において試料採取の為に掘り直したボーリング孔を示す。

図 4-14(a) 土質柱状図および P S 検層結果 (越谷 A)

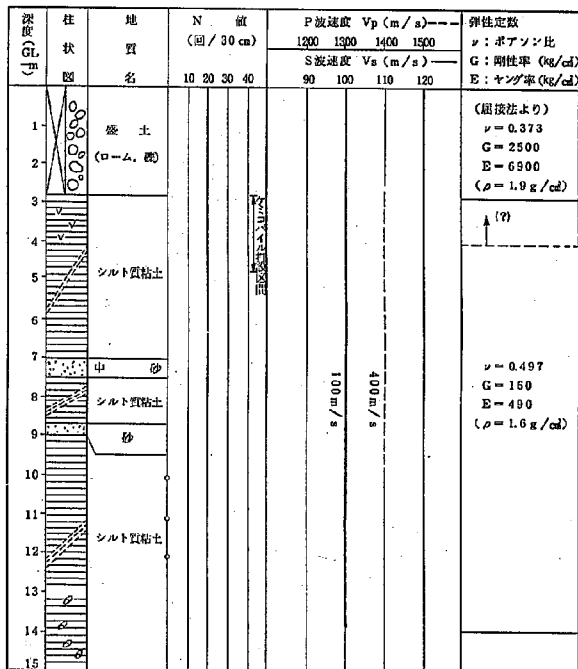


図 4-14(b) 土質柱状図および P S 検層結果 (越谷 B)

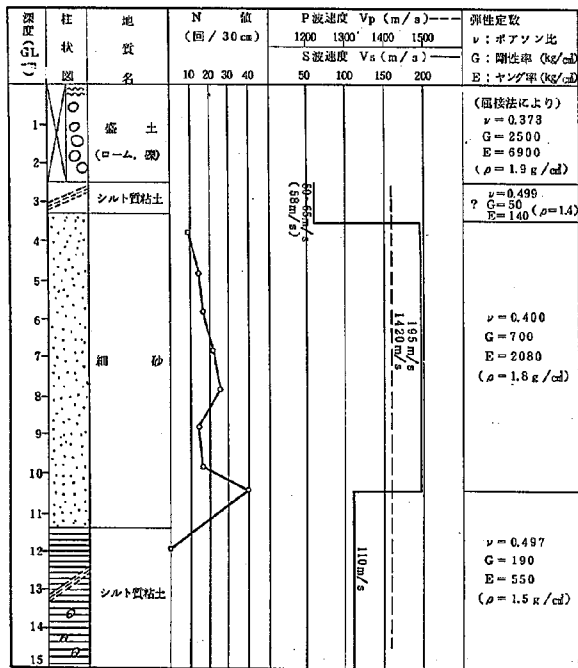


図 4-14(c) 土質柱状図および PS 検層結果 (越谷 C)

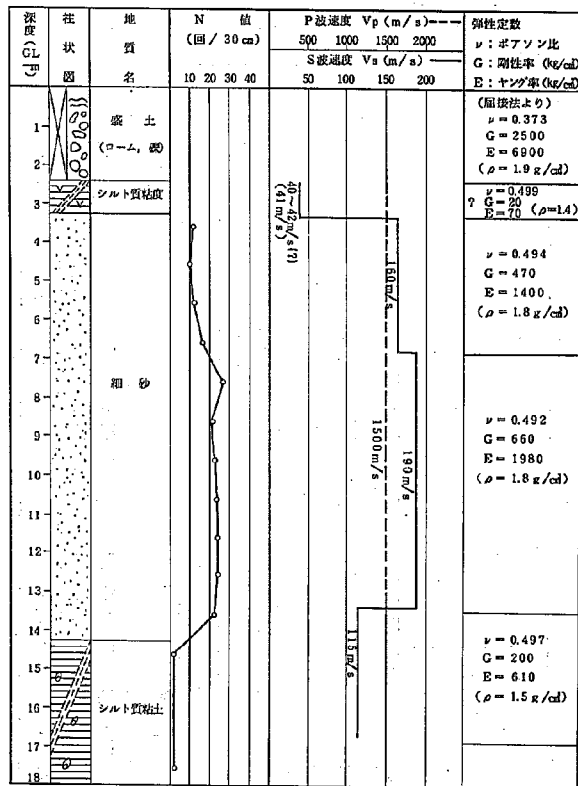


図 4-14(d) 土質柱状図および PS 検層結果 (越谷 D)

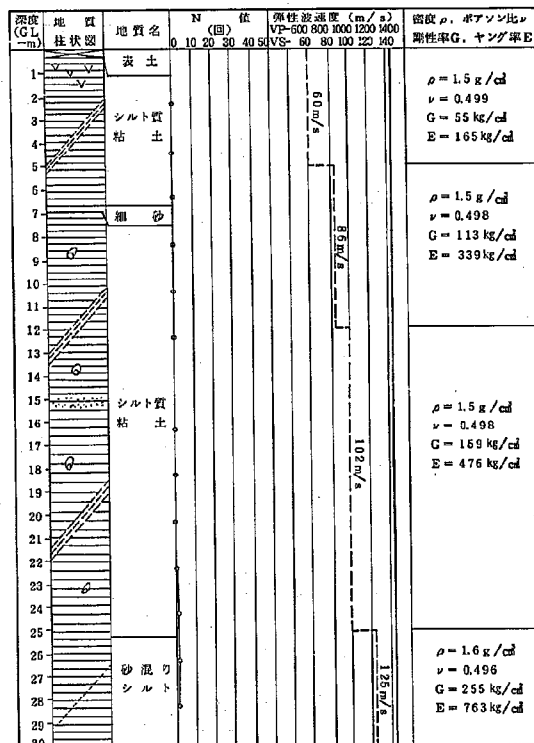


図 4 - 14(e) 土質柱状図および P S 検層結果 (越谷, 道路
外 (道路端より約 10m), B 測線付近)

施工前（昭和48年度成果） ○—○

施工後（昭和51年度成果） ●—●

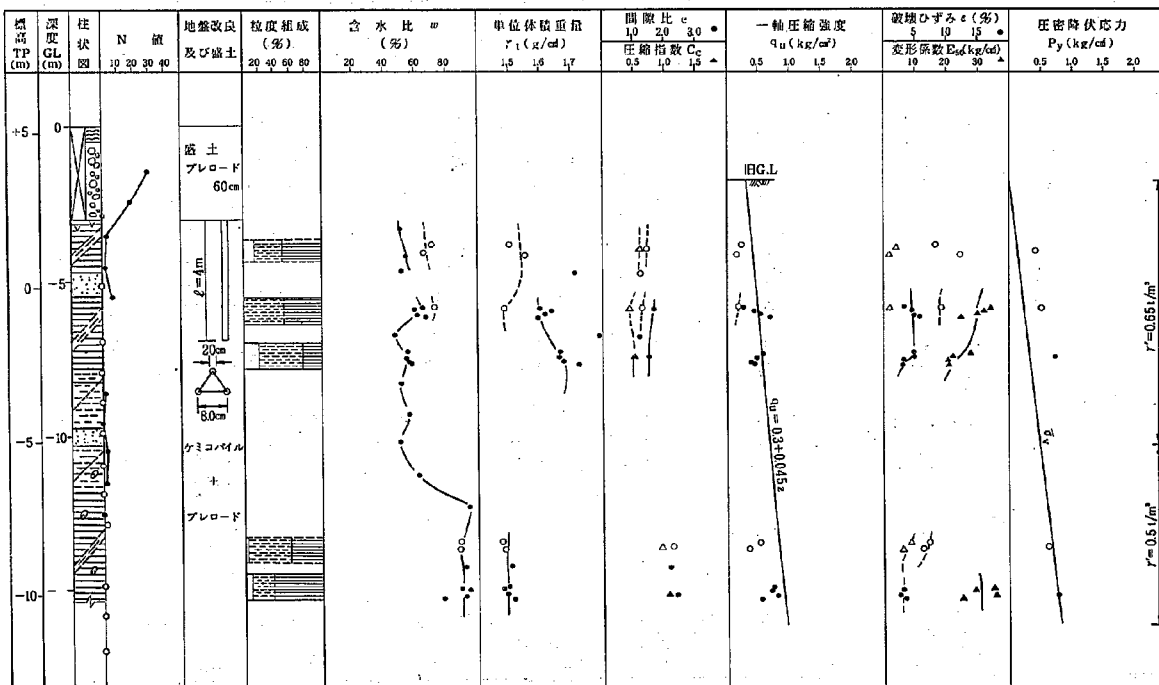


図 4-15 (a) 地盤改良施工前後の土質定数（越谷 A，深いケミコパイル）

施工前（昭和48年度成果） ○—○
 施工後（昭和51年度成果） ●—●

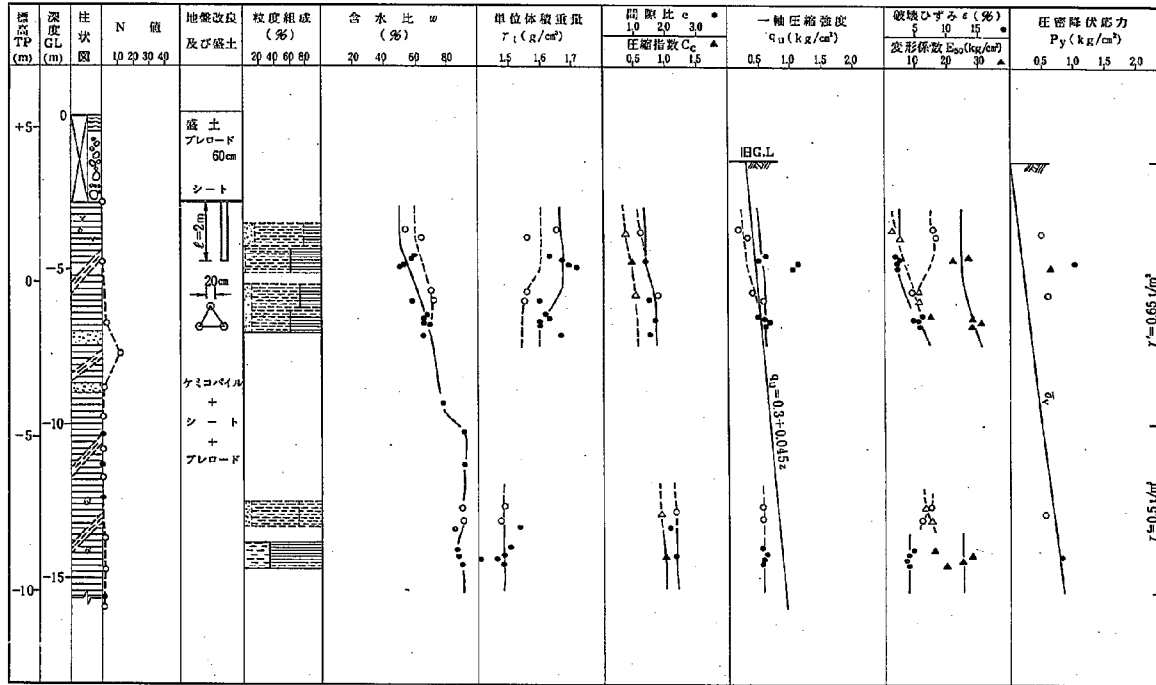


図 4-15(b) 地盤改良施工前後の土質定数（越谷 B，浅いケミコパイル）

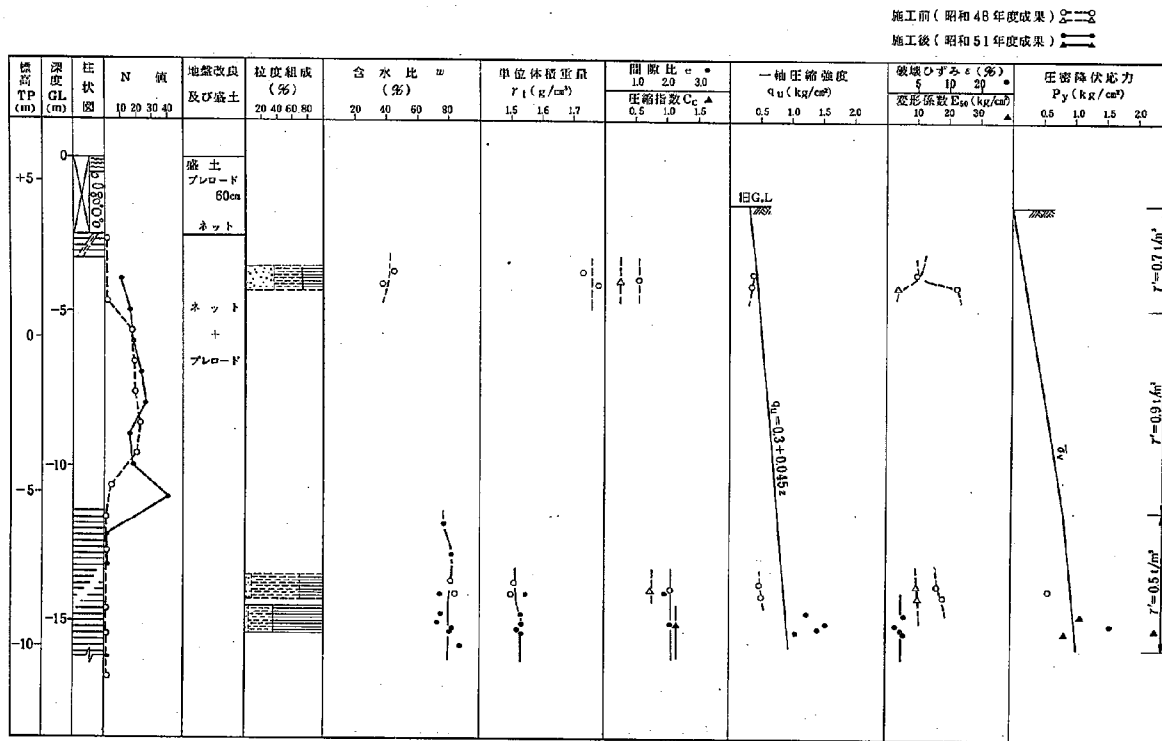


図 4-15(c) 地盤改良施工前後の土質定数（越谷 C，ネット）

施工前（昭和48年度成果）

施工後（昭和51年度成果）

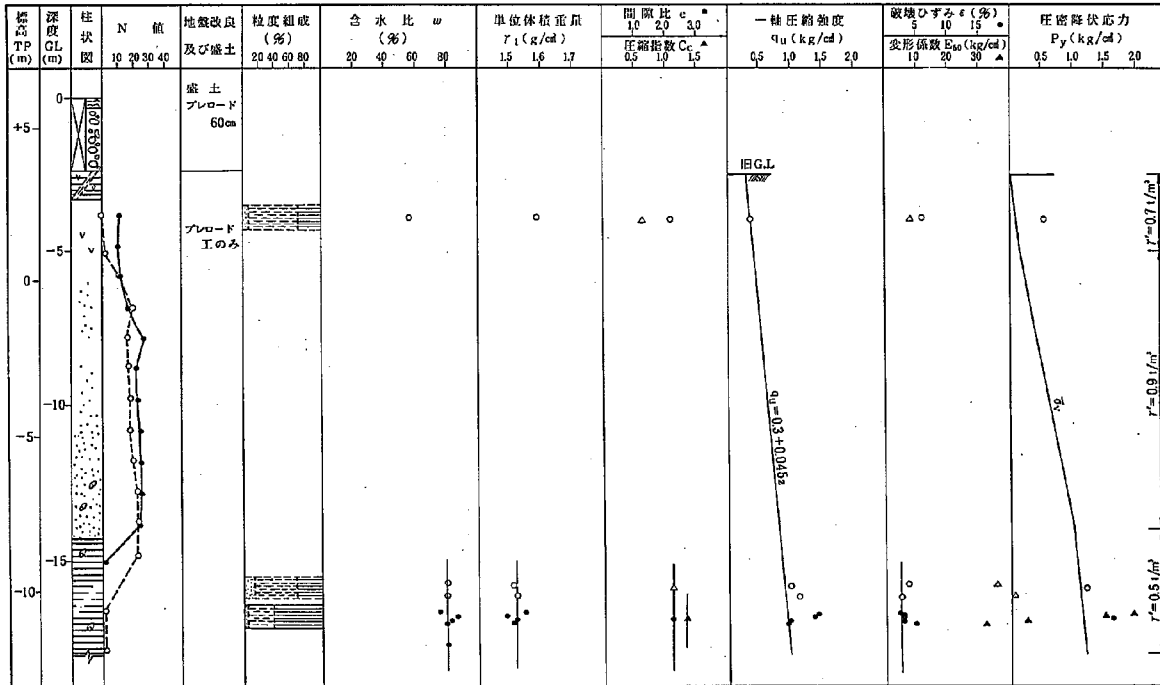


図4-15(d) 地盤改良施工前後の土質定数（越谷D，無改良）

密粒アスコン最大粒径 20mm, A _s 6%	50	450 mm
A _s 安定処理混合物 最大粒径 40mm, A _s 4%	100	
粒調碎石, 最大粒径 40mm 修正 CBR 80% 以上	100	
切込碎石, 最大粒径 40mm 修正 CBR 30% 以上	200	

タックコート 0.5 ℓ/m²
プライムコート 1.5 ℓ/m²

図 4-16 舗装断面図 (越谷)

表 4-8 各区間の路面凹凸およびたわみ性 (越谷)

特性値	区 間	A	B	C	D
路面凹凸の標準 偏差 σ (mm)	第 1 車 線	0.61	0.61	0.80	0.80
	第 2 車 線	0.74	0.74	0.68	0.68
ベンケルマン 試 験 結 果	最大たわみ量 (mm)	0.36	0.38	0.48	0.48
	残留たわみ量 (mm)	0.10	0.18	0.18	0.18
	弾性たわみ量 (mm)	0.26	0.20	0.30	0.24

注 1) 路面凹凸は 3 m プロフィールメーターを用いて振動測線の前後 20 m, 計 40 m の縦断方向に測定を行なった。

注 2) 第 1 車線が測線側である。

注 3) ベンケルマン試験の輪荷重は 5 ton, 空気圧は 6.5 kg/cm² である。

(4) 沼 津 (沼津バイパス)

図 4-17 に調査地点位置図を, 図 4-18 に平面図を示す。写真 4-4 は現場概況を示す。本調査地点は 4 車線道路として計画され海側 (図 4-18) 2 車線について軟弱地盤改良が実施されており, その詳細を表 4-9 に示す。また図 4-18 に示す道路中心において振動実験時に実施したボーリング及び P S 検層の結果を図 4-19 に, 土質試験結果を表 4-10 に示す。本調査地点の地盤は極めて軟弱な地盤であり, 表 4-10 に示すように含水比が約 300 % と非常に高い値となっている。

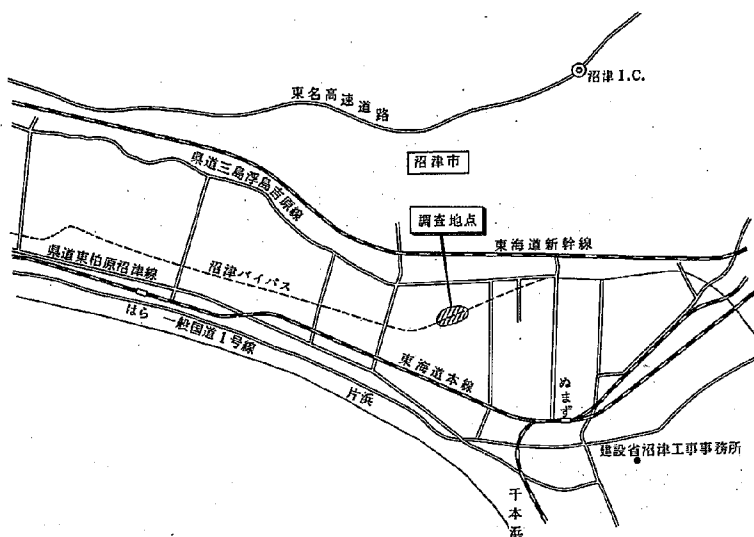


図 4-17 調査地点位置図 (沼津)

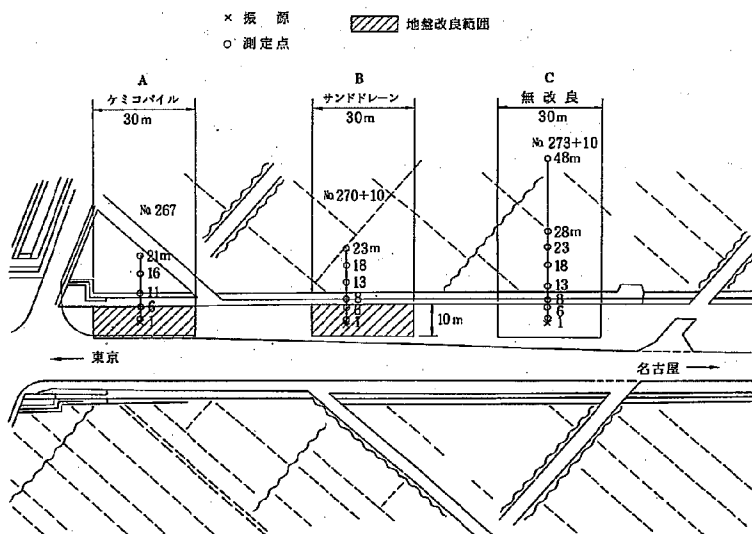


図 4-18 平面図 (沼津)

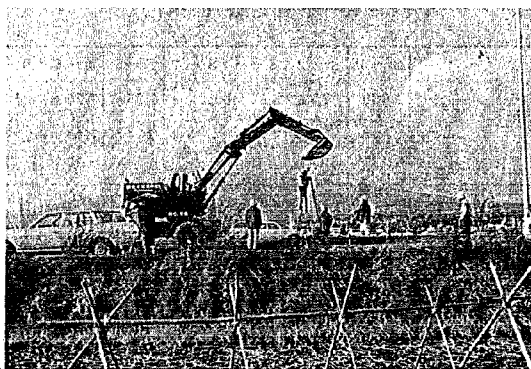


写真4-4 沼津(A測線)(バックホウの先端より重錘を落下させた)

表4-9 各区間の軟弱地盤改良(沼津)

区 間	A	B	C
地 盤 改 良	深いケミコパイル+ シート敷設	サンドドレーン+ シート敷設	シ ー ト 敷 設
測 点 番 号	266+13.5m~268+3.5m	270+5m~271+15m	272+6m~274+3.5m
延 長 (m)	30	30	30
軟弱層厚 (m)	8.0	7.9	8.0
地 盤 改 良 工	径 40cm 間隔 140cm 深さ 5.3m	径 40cm 間隔 140cm 深さ 5.0m	

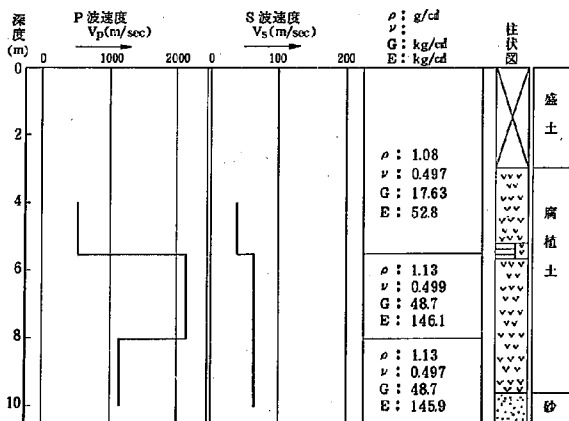


図4-19 土質柱状図およびPS検層結果(沼津)

表 4-10 土質定數 (沼津)

試 料 番 号		S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9
採 取 深 度		3.65m ↓ 3.75m	3.75m ↓ 3.80m	3.80m ↓ 3.90m	5.25m ↓ 5.35m	5.35m ↓ 5.55m	7.25m ↓ 7.45m	8.40m ↓ 8.60m	8.60m ↓ 8.65m	8.75m ↓ 8.95m
試 料 の 種 類		乱さない	乱さない	乱さない	乱さない	乱さない	乱さない	乱さない	乱さない	乱さない
自 然 状 態	含 水 比 (%)	352.0		279.7	109.0	126.3	381.6	395.2		350.5
	土 粒 子 の 比 重			2.050		2.731	1.728			1.716
	湿潤単位体積重量 (g/cm ³)	1.082	1.134	1.130	1.429		1.058	1.091	1.166	1.080
	乾 燥 密 度 (g/cm ³)			0.298			0.220			0.240
	間 隙 比			5.879			0.855			6.150
	飽 和 度 (%)			97.5			96.2			97.8
一軸圧縮	一軸圧縮強度(kg/cm ²)	0.679		0.620	0.060		1.247	0.841 ~1.230		0.432
試 験	破 壊 歪 (%)	15.0		11.3	15.0		15.0	6.0 ~15.0		5.1
圧 密	圧密降伏応力(kg/cm ²)		0.54						0.84	
試 験	圧 縮 指 数		2.47						3.30	
強 熱 減 量 試 験 (%)		49.7		40.5	3.4	2.9	64.8	62.2		62.1

(5) 熊 本 (川尻バイパス)

調査地点位置図を図 4-20 に、平面図を図 4-21 に示す。写真 4-5 は現場概況を示す。本調査地点は 4 区間に分れており、3 種類の軟弱地盤改良が実施されている。表 4-11 に軟弱地盤改良の詳細を記す。図 4-22 は道路中心における道路建設前の土質柱状図であり、表 4-12 は土質試験結果である。本調査地点は現在 2 車線が供用されている。図 4-23 に舗装構造図を、表 4-13 に路面凹凸の標準偏差とベンケルマンビームによるたわみ試験結果を示す。なお本調査地点では舗装完成前に起振機による振動実験を実施し、既に報告されている。¹⁵⁾

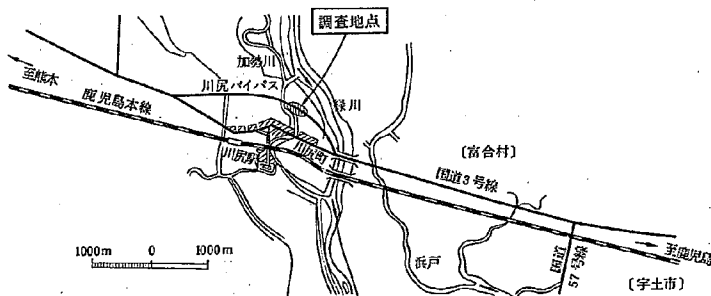


図 4-20 調査地点位置図 (熊本)

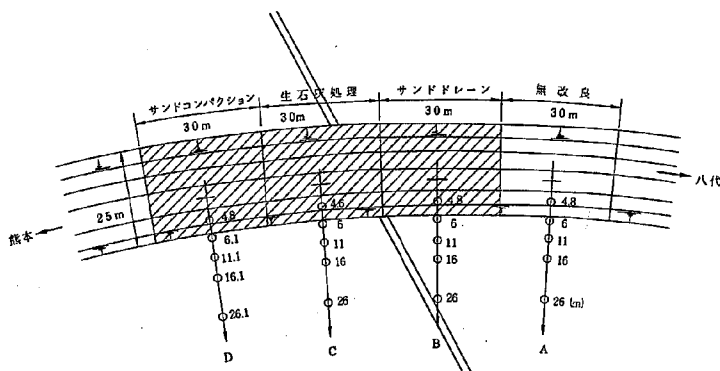
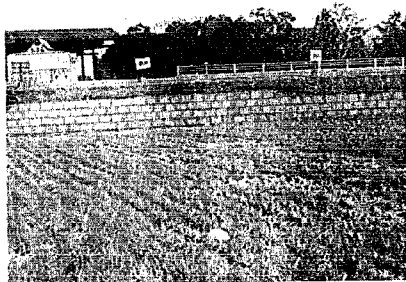
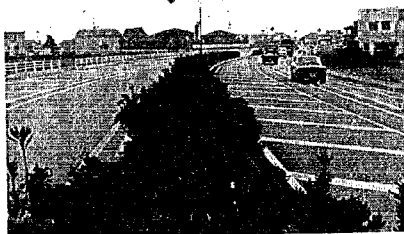


図4-21 平面図（熊本）



(a) 振動測線



(b) 交通状況

写真4-5 熊本

表4-11 各区間の軟弱地盤改良（熊本）

区 間	A	B	C	D
地盤改良	無改良	サンドドレーン+プレロード	生石灰処理	サンドコンパクション
測点番号	No114+5~No115+15	No112+15~No114+5	No111+5~No112+15	No109+15~No111+5
延長(m)	30	30	30	30
軟弱層厚(m)	4.3		5.9	
地盤改良工		径 30cm 深さ 7.0m ピッチ 1.3m 正方形配置	表層部 50cm 混合処理 重量混合比 6%	径 40cm 深さ 7.0m ピッチ 1.8m 正方形配置

表 4-12 軟弱層の土質的性質 (熊本)

土 性	土 性 値	土 性	土 性 値
粒度構成	礫 0%, 砂 6~33%	鋭敏比	3~8
	シルト 25~55%	コーン支持力	3~6 kg/cm ²
	粘土 26~42%	セン断特性	$\phi_{cu} = 14^{\circ} \sim 28^{\circ}30'$
自然含水比	表層 1.0 m... 60~70%		$C_{cu} = 0.03 \sim 0.19 \text{ kg/cm}^2$
	1.0 m 以深... 90~105%		$\phi' = 28^{\circ} \sim 38^{\circ}30'$
液性限界	58~109% ($W_L \sim W_U$)		$C' = 0.05 \sim 0.17 \text{ kg/cm}^2$
塑性限界	31~50%	圧密先行荷重	0.38~0.91 kg/cm ² (やや過圧密)
土粒子比重	2.51~2.57	圧縮指数	0.63~1.28
キャサグランデ分類	CH	圧密係数	$6 \times 10^{-2} \sim 3 \times 10^{-1} \text{ cm}^2/\text{min}$
自然間隙比	2.5~2.8	強熱減量	7.6~10.0%
湿潤密度	1.40 t/m ³	PH 値	H ₂ O 法... 6.5~6.7
一軸圧縮強度	0.20~0.60 kg/cm ²		KCl 法... 5.3~5.5
	(深度に伴い増大傾向にあるが、バラつき大)		

表 4-13 各区間の路面凹凸およびたわみ性 (熊本)

特性値	区間	A	B	C	D
路面凹凸の標準偏差 (振動測線側車線) (mm)		1.43	2.50	1.05	1.14
ベマンケ試験	最大たわみ量 (mm)	0.86	0.54	0.59	0.40
	残留たわみ量 (mm)	0.45	0.16	0.17	0.03
	弾性たわみ量 (mm)	0.38	0.37	1.26	0.37

注 1) 路面凹凸は 3 m プロフィールメーターを用いて振動測線の前後 20 m, 計 40 m の縦断方向に測定を行なった。

注 2) ベンケルマン試験の輪荷重は 5 ton, 空気圧は 6.5 kg/cm² である。

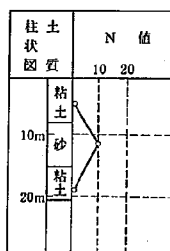


図 4-22 土質柱状図 (熊本)

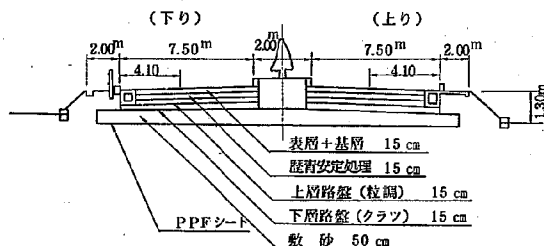


図 4-23(a) 舗装断面図 (熊本 A)

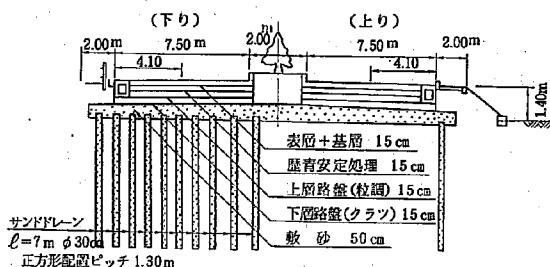


図 4-23(b) 舗装断面図 (熊本 B)

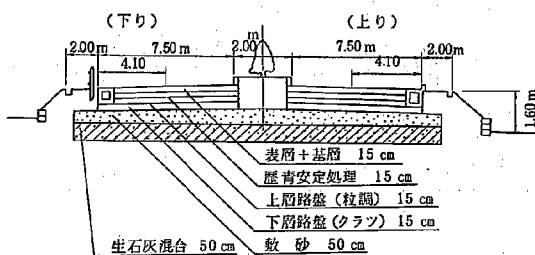


図 4-23(c) 舗装断面図 (熊本 C)

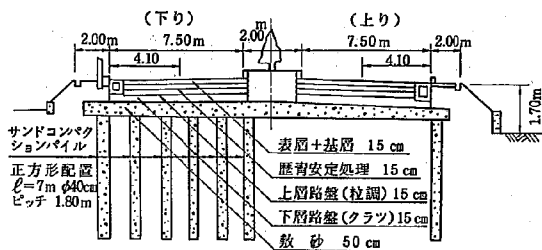


図 4-23(d) 舗装断面図 (熊本 D)

4.3 調査方法

4.3.1 振動源

各調査地点のうち供用前の道路で路床まで施工されている地点（秋田、越谷、沼津）では重錘を路床の上に落下させ、供用前の道路で舗装が完成している地点（越谷）では試験車（散水車）を用いて振動実験を行なった。（越谷では舗装完成前後に2回実験を行なった。）また供用後の道路（札幌、熊本）では実交通を対象として振動調査を行なった。重錘の重量は63.5kgと150kgの2種類あり、いずれも円柱形である。重錘の形状・寸法を表4-14に示す。越谷で用いた試験車は写真4-3(c)に見られるように、2軸の散水車であり、実験には同型の車両を2台用いた。車両の空車時、積載時の重量を表4-15に示す。

表4-14 重錘の重量・形状・寸法

調査地点	重量(kg)	形状	高さ(cm)	外径(cm)	内径(cm)	材質
秋 田	63.5	円柱形 (中空)	33.0	15.7	3.9	鉄
	150	円柱形 (中実)	64.8	25.2	0	"
越 谷	63.5	円柱形(中空) 下が広がっている	40.9	上 14.6 下 20.8	3.6	"
	150	円柱形(中実) 下が広がっている	75.0	上 20.0 下 30.0	0	"
沼 津	63.5	円柱形 (中空)	60.5	14.5	4.8	"

表4-15 試験車（散水車）の重量

特性 車両	重 量 (ton)					
	積 載 時			空 車 時		
	前 輪	後 輪	計	前 輪	後 輪	計
1 号 車	2.8	7.7	10.5	2.8	3.3	6.1
2 号 車	2.6	7.4	10.0	2.4	3.2	5.6

4.3.2 振動測定法

振動測定は道路直角方向に測線を設け、図4-24に示すような各点において地表面の地盤振動を測定した。振動測定成分は主に鉛直方向成分であり、一部の測定点では水平方向成分も測定した。なお以下においては振動の水平道路直角方向をX成分、水平道路走行方向をY成分、鉛直成分をZ成分と呼ぶことにする。（図4-25）地盤振動測定には公害用振動計を用い、振

動は全てデータレコーダーに記録した。なお振動計のピックアップは比較的地表面のかたい所では直接土の上に設置したが、田圃の中等でやむを得ない場合はコンクリート板あるいは鉄板の上に設置した。また試験車走行
実験においては試験車のバネ上、
バネ下の加速度も測定した。

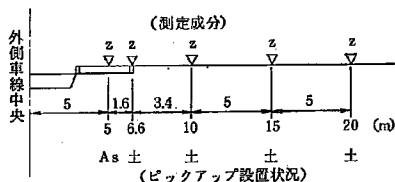


図 4-24(a) 測定点位置 (札幌各測線共通)

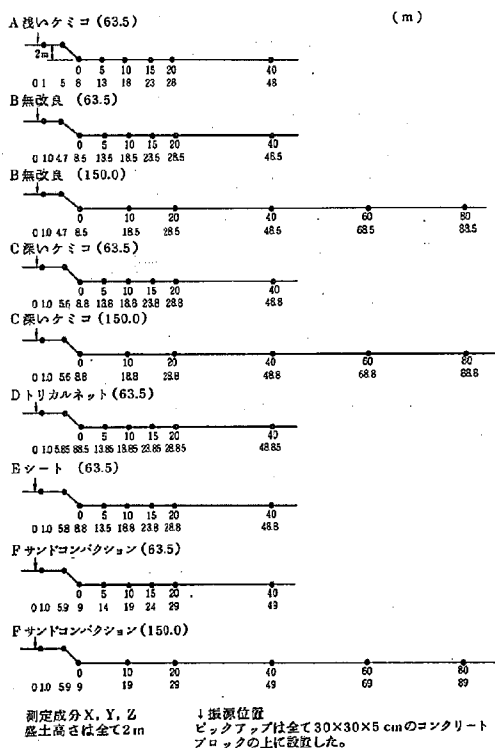
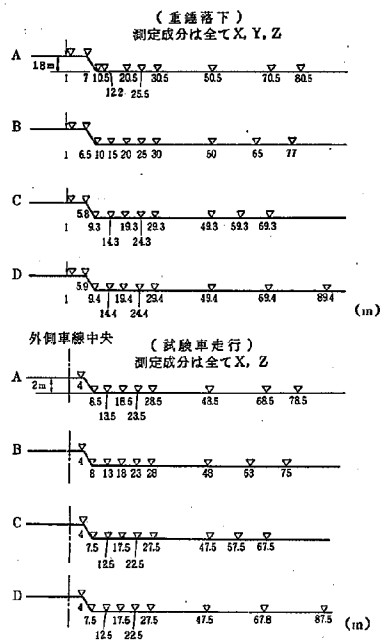


図 4-24(b)



ピックアップは田圃の畔道の上に直接設置した。

図 4-24 (c) 測定点位置 (越谷)

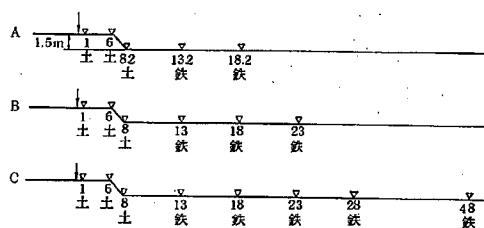


図 4 - 24 (d) 測定点位置 (沼津)

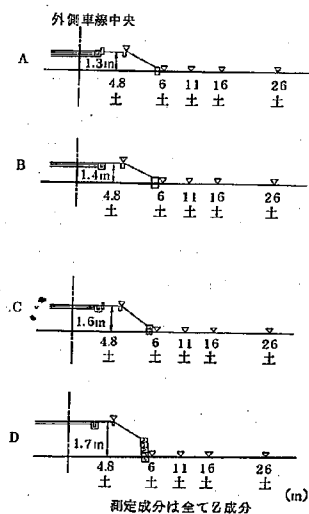


図 4 - 24 (e) 測定点位置図 (熊本)

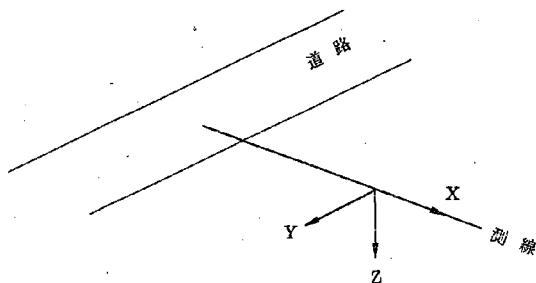


図 4-25 振動の 3 成分

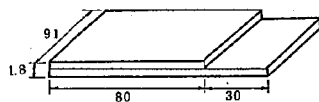
4.3.3 実験条件

(a) 重錘落下実験

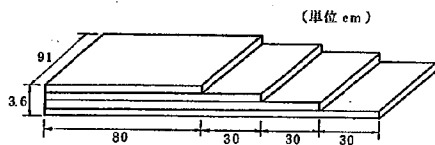
重錘落下実験では 63.5 kg または 150 kg の重錘を 2 m の高さより路床の上に 3 回自由落下させた。(X, Y, Z の成分毎に測定する場合には合計 9 回落下させなければならない) 重錘落下地点は路床上であるので重錘が落下する度に地面に数 mm ~ 1 cm 程度めり込む。従って 3 ~ 4 回落下させて地盤がいたんでくると、落下地点を少しずらせるようにした。

(b) 試験車走行実験

試験車走行実験では試験車の走行速度、積載条件を変化させ、単独走行、2 台直列走行、2 台並列走行を行なった。また図 4-26 に示すような木製の段差を用いて段差走行実験を実施した。実験条件の詳細を表 4-16 に示す。



(a) 18mm 段差



(b) 36mm 段差

図 4-26 段差形状

表 4-16 試験車走行条件 (越谷)

段 差	走 行 条 件	積載条件	走 行 速 度 (km/h)
な し	単 独 走 行	積 載	20, 40, 50,
		空 車	20, 30, 40, 50, 60, 65
	2 台直列走行	積 載	20, 40, 50,
	2 台並列走行	積 載	20, 40, 50,
18 mm	単 独 走 行	積 載	20, 40, 50,
36 mm	単 独 走 行	積 載	20, 40, 50,

(c) 実交通による地盤振動調査

本調査は昭和 52 年度建設省道路交通振動調査要領 77A-1 によって行なった。測定項目は①地盤振動、②交通量、③走行速度、④路面凹凸の 4 つである。地盤振動測定は図 4-24 に示すように道路外側車線中央より 20 m までの 5 点において 12 時間 (12 時～24 時) にわたって行なった。測定は各正時および 30 分毎に 10 分間連続して実施した。測定値は全て鉛直振動の振動レベル (VL) の L_{10} (累積頻度曲線の 80 百分位上端値) でまとめた。交通量は振動測定と同時に各車線で 10 分間ずつ測定した。平均走行速度は 10 分間に、大型車・小型車・乗用車の車種別に代表的な 5 台を測定して平均値を求めた。

4.3.4 解析方法

解析では次のようなデータを得た。

- ① 振動加速度のピーク値 (gal)
- ② 振動レベル VL (dB)
- ③ フーリエスペクトル
- ④ 波形記録

振動加速度のピーク値はオシログラフの波形より読み取り、VL は高速度レベルレコーダーの記録より読み取った。周波数分析にはフーリエアナライザーあるいは 1/3 オクターブ分析器を用いた。

4.4 調査結果および考察

以下に各調査地点の調査結果について述べ、考察を加える。

4.4.1 札幌 (札幌新道)

表 4-17 に各測線の L_{10} の測定値を、表 4-18 に交通量および平均速度を示す。図 4-27 (a) は各測線の 5 m および 10 m 地点の L_{10} の平均値 (各時刻に測定された 24 個のデータの平均値) を表わしている。この図によれば地盤改良を行なうことによってかなりの振動軽減効果が現われている。特にケミコパイルについては無改良の場合に比べて 5 m 地点で 3～6 dB 減少

表 4-17 (a) 各測定の L_{10} (dB) (札幌 A 測線)

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	5	6.6	10	15	20
12:00~12:10	55	53	50	49	40
12:30~12:40	49	49	46	44	34
13:00~13:10	56	55	52	50	44
13:30~13:40	57	55	52	51	44
14:00~14:10	55	54	51	50	42
14:30~14:40	54	52	50	49	42
15:00~15:10	55	54	54	50	42
15:30~15:40	53	52	51	50	42
16:00~16:10	54	53	50	48	40
16:30~16:40	57	56	52	52	44
17:00~17:10	53	52	50	48	40
17:30~17:40	54	52	50	49	42
18:00~18:10	56	56	53	52	44
18:30~18:40	50	50	49	46	39
19:00~19:10	50	47	47	44	36
19:30~19:40	49	48	46	43	36
20:00~20:10	46	46	43	40	35
20:30~20:40	48	48	47	45	37
21:00~21:10	43	42	42	41	35
21:30~21:40	43	43	41	38	32
22:00~22:10	37	37	37	30	26
22:30~22:40	39	40	36	35	29
23:00~23:10	37	37	36	35	26
23:30~23:40	39	39	36	33	28

表 4-17 (b) 各測定の L_{10} (dB) (札幌 B 測線)

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	5	6.6	10	15	20
12:00~12:10	53	52	53	52	50
12:30~12:40	54	51	53	51	50
13:00~13:10	56	54	55	52	51
13:30~13:40	55	56	56	54	52
14:00~14:10	56	52	51	49	49
14:30~14:40	56	55	53	53	52
15:00~15:10	55	52	52	51	50
15:30~15:40	55	52	52	51	48
16:00~16:10	51	53	50	52	52
16:30~16:40	53	54	54	53	52
17:00~17:10	51	50	48	49	48
17:30~17:40	51	51	50	49	49
18:00~18:10	50	51	51	50	50
18:30~18:40	47	49	50	48	48
19:00~19:10	47	48	46	45	44
19:30~19:40	46	46	45	44	45
20:00~20:10	41	43	43	41	42
20:30~20:40	45	46	45	44	44
21:00~21:10	42	45	43	42	41
21:30~21:40	40	41	40	40	39
22:00~22:10	33	35	35	33	33
22:30~22:40	34	40	39	35	37
23:00~23:10	37	37	36	34	35
23:30~23:40	34	32	34	30	30

表 4-17 (c) 各測定の L_{10} (dB) (札幌 C 測線)

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	5	6.6	10	15	20
12:00~12:10	48	48	47	45	40
12:30~12:40	42	44	41	37	34
13:00~13:10	46	46	44	39	37
13:30~13:40	48	49	48	47	41
14:00~14:10	47	47	46	43	40
14:30~14:40	45	46	44	40	37
15:00~15:10	46	46	43	40	39
15:30~15:40	45	46	45	42	38
16:00~16:10	45	46	46	44	39
16:30~16:40	46	48	46	42	39
17:00~17:10	48	48	45	44	40
17:30~17:40	48	49	47	43	40
18:00~18:10	43	46	44	41	37
18:30~18:40	46	47	45	41	39
19:00~19:10	48	49	48	46	43
19:30~19:40	46	49	45	44	39
20:00~20:10	42	44	40	39	37
20:30~20:40	41	43	40	37	33
21:00~21:10	41	41	40	36	33
21:30~21:40	41	43	40	39	36
22:00~22:10	40	42	39	35	32
22:30~22:40	39	40	37	35	30
23:00~23:10	36	37	36	34	28
23:30~23:40	34	37	34	33	29

表 4-17 (d) 各測定の L_{10} (dB) (札幌 D 測線)

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	5	6.6	10	15	20
12:00~12:10	50	47	48	45	41
12:30~12:40	45	44	45	43	40
13:00~13:10	49	50	50	48	43
13:30~13:40	51	52	48	47	44
14:00~14:10	45	44	45	44	43
14:30~14:40	47	47	45	44	42
15:00~15:10	49	48	47	46	47
15:30~15:40	47	47	46	46	43
16:00~16:10	47	46	45	44	42
16:30~16:40	48	48	48	46	43
17:00~17:10	48	48	47	47	44
17:30~17:40	51	52	51	50	48
18:00~18:10	46	46	46	45	41
18:30~18:40	47	46	46	45	41
19:00~19:10	51	51	50	50	45
19:30~19:40	48	48	49	47	45
20:00~20:10	45	43	45	44	38
20:30~20:40	45	44	44	44	40
21:00~21:10	45	44	45	45	39
21:30~21:40	46	46	45	44	40
22:00~22:10	44	43	45	44	39
22:30~22:40	37	39	37	37	34
23:00~23:10	39	40	40	40	36
23:30~23:40	38	40	37	38	35

表 4-18(a) 交通量および平均走行速度
(2車線合計、札幌 A、B 区間)

時 刻	大型 車類	小型 車類	乗用 車類	小計	時 刻	大型 車類	小型 車類	乗用 車類	小計
12:00~10	33	16	101	150	18:00~10	22	28	139	189
	48	50	51	50		47	49	53	50
30~40	22	8	84	114	30~40	12	17	175	204
	50	45	53	49		48	45	51	48
13:00~10	29	16	83	128	19:00~10	17	26	140	183
	51	47	50	49		48	52	49	50
30~40	44	25	111	180	30~40	16	17	111	144
	48	51	51	50		48	49	51	49
14:00~10	34	28	79	141	20:00~10	9	9	103	121
	46	49	54	50		48	52	52	51
30~40	22	29	122	173	30~40	11	4	72	87
	45	48	50	48		49	48	56	51
15:00~10	26	22	123	171	21:00~10	4	4	51	59
	43	47	52	47		48	48	55	50
30~40	24	27	94	145	30~40	6	4	61	71
	47	45	51	48		50	49	52	50
16:00~10	24	27	105	156	22:00~10	3	1	46	50
	47	49	46	47		46	59	61	55
30~40	32	26	134	192	30~40	3	0	35	38
	47	48	50	48		50	—	57	54
17:00~10	34	27	158	219	23:00~10	0	5	25	30
	43	52	47	47		—	56	54	55
30~40	27	25	179	231	30~40	1	5	27	33
	48	48	48	48		47	54	27	53

上段：合数

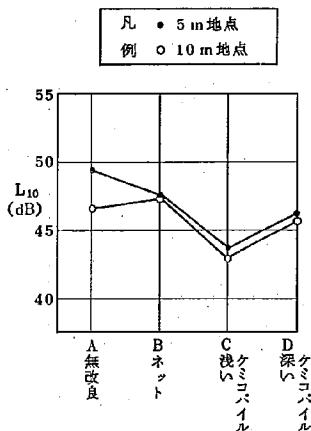
下段：平均速度 (km/h)

表 4-18(b) 交通量および平均走行速度
(2車線合計、札幌 C、D 区間)

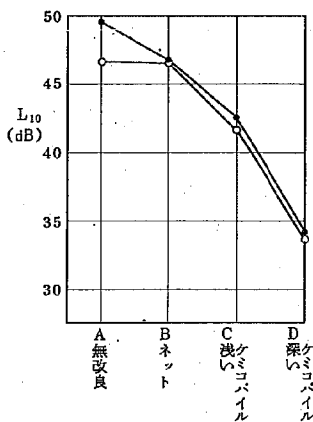
時 刻	大型 車類	小型 車類	乗用 車類	小計	時 刻	大型 車類	小型 車類	乗用 車類	小計
12:00~10	5	12	91	108	18:00~10	18	19	136	173
	50	55	57	54		47	49	52	49
30~40	9	10	99	118	30~40	7	25	158	190
	51	57	55	54		48	53	55	52
13:00~10	6	7	90	103	19:00~10	14	15	140	169
	48	57	59	55		50	52	54	52
30~40	8	9	111	128	30~40	11	20	116	147
	51	56	58	55		46	52	57	52
14:00~10	14	11	106	131	20:00~10	9	11	81	101
	50	57	54	54		51	53	57	54
30~40	8	8	111	127	30~40	4	0	71	75
	52	52	54	53		46	—	56	51
15:00~10	15	8	128	151	21:00~10	0	8	62	70
	50	53	57	53		—	51	53	52
30~40	9	12	113	134	30~40	1	9	78	88
	47	55	58	53		50	54	54	53
16:00~10	8	7	110	125	22:00~10	1	3	54	58
	49	54	54	52		49	55	56	53
30~40	9	12	128	149	30~40	0	4	50	54
	53	53	55	54		—	48	56	52
17:00~10	13	11	127	151	23:00~10	1	0	20	21
	48	54	56	53		61	—	58	60
30~40	17	17	138	172	30~40	2	0	29	31
	45	55	52	51		53	—	56	55

上段：合数

下段：平均速度 (km/h)



(a) 実測値



(b) 路面凹凸を補正した場合

図 4-27 各測線の 5 m, 10 m 地点の L_{10} の平均値

している。C 測線（浅いケミコパイル（深さ 3 m））と D 測線（深いケミコパイル（深さ 5 m））を比べると C 測線の方が振動が小さくなっている。この結果は常識的に考えられる結果と逆になっており、以下にその原因について述べる。表 4-5 より C 測線と D 測線の改良前の土質は大差ないと考えられる。また走行する自動車は両測線で全く同一のものであり、走行速度も C 測線と D 測線ではほぼ同一である。両測線のピックアップ設置条件もほぼ同一である。そこで考えられる最も大きな原因は路面凹凸の相違である。表 4-4 に示すように路面凹凸の標準偏差 σ は D 区間の方が C 区間より約 3 mm 大きくなっており、この影響が大きいものと思われる。桂樹等⁽²⁰⁾によれば路面凹凸の標準偏差 σ が 1 mm 増大すれば路側での地盤振動 (VL) は約 4 dB 大きくなると報告されている。それでこの関係を用いて今回のデータを補正して、A 区間の σ を基準とした場合の各測線の L_{10} を示したものが図 4-27(b) である。このように補正を行なうと、D 測線の L_{10} の方が C 測線よりかなり小さくなる。なお D 区間の路面凹凸が大きいのは沈下によるものではなく、路面の施工不良によるものと考えられる。

図 4-28 は各測線の L_{10} の距離減衰を示している。これによると各測線で若干距離減衰の傾向に差が見られる。外側車線中央より 15 m 以内においてはケミコパイルを打設した C, D 測線の L_{10} は無改良の A 測線に比べて 5 ~ 10 dB 小さくなっている。従ってケミコパイルによる地盤改良は振動軽減にかなり効果があると考えられる。ネット敷設ではあまり振動軽減効果が見られない。

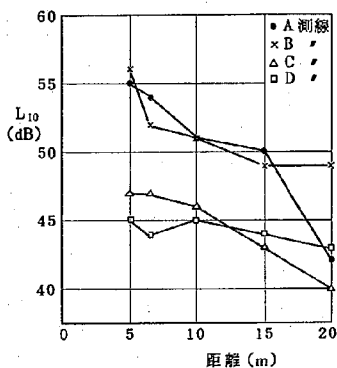


図 4-28(a) 距離減衰 (札幌, 14:00~14:10)

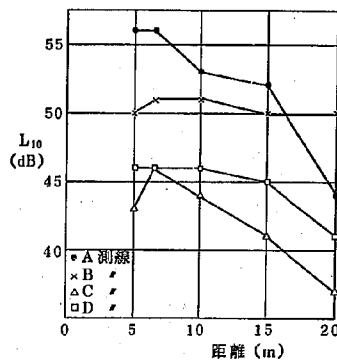


図 4-28(b) 距離減衰 (札幌, 18:00~18:10)

4.4.2 秋田 (昭和バイパス)

表 4-19 に各測線における測定値を示す。図 4-29, 図 4-30 は各測点の振源より 5 m, 10 m 地点の VL の平均値を比較したものである。5 m, 10 m 地点のデータのないものは他の地点のデータより内挿した。また図 4-31 は各測線の Z 成分の加速度の距離減衰を表わしている。これらの図より地盤改良による顕著な振動軽減効果は見られない。ケミコパイルについてみると, A 測線 (浅いケミコパイル) の振動は B 測線 (無改良) より若干小さくなっている

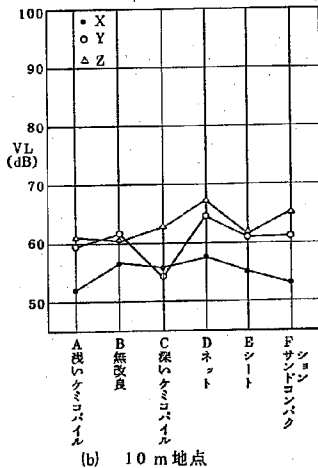
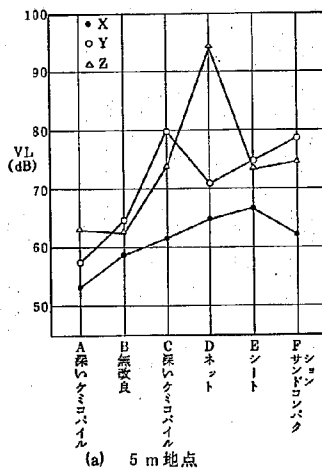


図 4-29 各測線の VL (重錘重量 63.5 kg)

表4-19(a) 振動測定値 (A測線, 浅いケミコパイル, 63.5 kg)

区分	距離(m)	1	5	8	13	18	23	28	48
X方向-1回目		36.6	15.5	-	3.19	1.17(245)	0.70	0.38	0.11
		2.0	53.0	-	51.0	45.0	42.0	40.4	32.0
		48.4	16.5	-	4.51	1.36(218)	0.64	0.44	0.11
-2回目		63.0	52.0	-	51.0	46.0	41.0	40.8	29.0
-3回目		39.9	16.1	-	3.32	1.28(245)	0.67	0.38	0.09
		62.0	55.0	-	52.0	46.0	41.0	40.0	28.0
		41.6	16.03	-	3.67	1.27	0.67	0.40	0.10
平 均		62.3	53.33	-	51.33	46.0	41.33	40.40	29.67
Y方向-1回目		111.1	26.9	-	4.96	2.27(211)	1.16	0.77	0.12
		90.0	59.0	-	61.0	55.0	51.0	46.0	29.0
		107.8	15.3	-	4.37	2.18(239)	1.19	0.79	0.15
-2回目		90.0	57.0	-	60.0	55.0	50.0	45.4	31.0
-3回目		107.2	25.8	-	4.03	2.40(239)	1.16	0.77	0.15
		89.0	57.0	-	61.0	55.0	51.0	47.6	28.0
		108.7	22.67	-	4.45	2.28	1.17	0.78	0.14
平 均		89.67	57.67	-	60.67	55.0	50.67	46.33	29.33
Z方向-1回目		-	53.7	-	4.80	2.11	0.73	-	0.11
		91.0	63.0	-	59.0	51.0	49.0	-	31.0
		-	45.7	-	4.40	1.92	0.78	-	0.12
-2回目		91.0	64.0	-	60.0	52.0	50.0	-	33.0
-3回目		-	47.5	-	4.00	1.80	0.76	-	0.10
		91.0	63.0	-	60.0	52.0	49.0	-	34.0
		-	47.9	-	4.96	1.92	0.76	-	0.08
-4回目		86.0	63.0	-	60.0	51.0	50.0	-	34.0
平 均		-	48.7	-	4.54	1.94	0.76	-	0.10
		89.75	63.25	-	59.75	51.5	49.5	-	33.0

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

表4-19(b) 振動測定値 (B測線, 無改良, 63.5 kg)

区分	距離(m)	1.0	4.7	8.5	13.5	18.5	23.5	28.5	48.5
X方向-1回目		114.6	78.8	-	3.41	2.31(465)	0.70	0.50	-
		77.0	60.0	-	51.0	43.0	40.0	40.2	-
		111.4	55.7	-	4.03	2.21(465)	1.22	0.63	-
-2回目		79.0	58.0	-	57.0	42.0	42.0	39.4	-
-3回目		105.1	48.5	-	3.75	2.22(470)	1.07	0.51	-
		76.0	-	-	57.0	42.0	42.0	39.8	-
		110.37	61.0	-	3.73	2.25	0.997	0.55	-
平 均		58.0	59.0	-	55.0	42.33	41.33	39.80	-
Y方向-1回目		-	139.3	-	6.07	5.09(478)	1.60	1.11	0.47
		90.0	66.0	-	61.0	53.0	48.0	48.8	38.0
		-	134.5	-	5.52	5.21(423)	1.42	0.89	0.54
-2回目		89.0	64.0	-	58.0	52.0	47.0	46.0	33.0
-3回目		-	133.3	-	5.89	5.59(423)	1.35	0.95	-
		92.0	65.0	-	60.0	53.0	48.0	47.0	-
		-	135.7	-	5.83	5.30	1.46	0.98	0.505
平 均		90.33	65.0	-	59.67	52.67	47.67	47.27	35.50
Z方向-1回目		-	109.1	-	5.73	(478)	1.67	-	0.23
		104.0	-	-	57.0	51.0	50.0	-	27.0
		-	116.1	-	5.52	(478)	1.63	-	0.23
-2回目		99.0	63.0	-	60.0	51.0	50.0	-	32.0
-3回目		-	109.1	-	5.76	(457)	1.76	-	0.22
		99.0	63.0	-	60.0	51.0	50.0	-	30.0
		-	111.1	-	5.67	-	1.69	-	0.226
平 均		100.67	63.0	-	59.0	51.0	50.0	-	29.67

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

表 4-19(1) 梨の測定値 (B組機, 梨品種, 10 kg)

区分	距離(m)	1.0	1.7	3.0	12.5	28	12.5	68.5	83.5
X方向-1回目	165.6	53.7	47.9	57.5 (2.4)	1.7		6.1	6.1	
	86.0	60.2	60.5	51.2	1.6		2.8	2.8	
	216.5	54.3	41.5	50.5 (8.20)	1.62		0.15	0.15	
-2回目	-		67.0	50.0	1.6		1.5	1.0	
	-		42.0	50.5 (6.30)	0.91		1.1	0.11	
-3回目	191.0	61.5	40.0	50.0	1.8		1.0	1.0	
平均	-	57.5	47.9	57.5	1.61		6.1	6.1	
Y方向-1回目	490.4	53.7	54.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0	
	92.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	496.8	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0	
-2回目	93.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	496.8	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0	
-3回目	93.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
平均	491.2	54.5	58.5	57.5	1.6		1.0	1.0	
	92.6	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
Z方向-1回目	1,210.0	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	112.7	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0	
-2回目	1,210.0	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	113.1	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
-3回目	1,274.7	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	95.1	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0	
平均	1,231.1	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0	
	106.1	54.5	58.5	57.5	1.6		1.0	1.0	

表 4-19(2) 梨の測定値 (C組機, 梨品種, 10 kg)

区分	距離(m)	1.0	3.0	12.5	28	12.5	68.5	83.5
X方向-1回目	184.7	54.5	57.5	57.5 (2.4)	1.7		6.1	6.1
	8.0	60.2	60.5	51.2	1.6		2.8	2.8
	19.7	54.3	41.5	50.5 (8.20)	1.62		0.15	0.15
-2回目	8.0	60.2	60.5	51.2	1.6		2.8	2.8
	19.7	54.3	41.5	50.5 (8.20)	1.62		0.15	0.15
	8.0	60.2	60.5	51.2	1.6		2.8	2.8
-3回目	13.1	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	8.0	60.2	60.5	51.2	1.6		2.8	2.8
	13.1	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
平 均		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
Y方向-1回目	490.4	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	92.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	496.8	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
-2回目	93.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	496.8	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	93.0	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
-3回目	491.7	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	92.6	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	112.7	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
平 均		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
		57.5	47.9	57.5	1.6		6.1	6.1
Z方向-1回目	1,210.0	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	112.7	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	1,210.0	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
-2回目	113.1	72.0	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	1,274.7	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	95.1	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
-3回目	1,231.1	191.7	60.0	51.0	1.6		1.0	1.0
	106.1	54.5	58.5	57.5 (7.7)	1.6		1.0	1.0
	平均		57.5	47.9	57.5	1.6	6.1	6.1

表4-19(e) 振動測定値 (C測線, 深いケミコ, 150 kg)

区分	距離(m)	1.0	5.6	8.8	18.8	28.8	48.8	68.8	88.8
X方向-1回目		364.2 89.0	179.9 64.0	45.3 65.0	(4.50) —	2.57 51.2	0.79 41.0	0.14 36.0	0.06 30.0
-2回目		307.1 91.0	80.0 63.0	41.3 65.0	(5.40) —	2.09 50.4	0.55 41.0	0.15 37.0	0.07 36.0
-3回目		292.8 90.0	86.6 63.0	42.7 69.0	(6.00) —	2.38 51.0	0.58 41.0	0.15 40.0	0.07 37.0
平均		321.37 90.0	115.5 63.3	43.1 65.67	— —	2.35 50.87	0.64 41.0	0.147 37.67	0.066 34.33
Y方向-1回目		500.0 103.0	283.0 69.0	54.7 69.0	(5.87) —	3.14 57.2	0.76 43.0	0.15 35.0	0.10 30.0
-2回目		611.7 95.0	340.8 70.0	58.6 70.0	(6.15) —	2.98 57.4	0.83 43.0	0.18 36.0	0.11 32.0
-3回目		647.0 95.0	358.3 70.0	60.0 70.0	(5.87) —	2.84 57.6	0.84 43.0	0.12 36.0	0.10 31.0
平均		686.2 98.0	327.37 69.67	57.77 69.67	— —	2.99 57.4	0.81 43.0	0.13 35.67	0.103 31.0
Z方向-1回目		1,176.4 98.0	352.5 70.0	67.3 70.0	(5.87) —	— —	0.44 39.0	0.12 33.0	0.07 26.0
-2回目		1,235.3 99.0	375.6 70.0	67.3 70.0	(6.15) —	— —	0.46 40.0	0.15 38.0	0.08 32.0
-3回目		1,264.7 100.0	352.5 70.0	66.7 71.0	(5.46) —	— —	0.48 40.0	0.14 35.0	0.07 26.0
平均		1,225.47 99.0	360.2 70.0	67.1 70.33	— —	— —	0.46 39.67	0.137 35.33	0.073 28.0

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

表4-19(f) 振動測定値 (D測線, トリカルネット, 63.5 kg)

区分	距離(m)	1.0	5.85	8.85	13.85	23.85	28.85	48.85
X方向-1回目		141.0 70.0	86.1 64.0	30.4 57.0	5.08 58.0	1.85 (4.78) 51.0	1.55 45.0	1.36 49.4
-2回目		139.0 72.0	93.9 65.0	34.3 58.0	5.70 58.0	1.16 (6.49) 52.0	1.57 46.0	1.72 50.0
-3回目		118.8 72.0	80.7 62.0	30.4 57.0	5.11 58.0	1.89 (7.29) 51.0	1.67 45.0	1.75 49.4
平均		132.9 71.3	86.9 63.67	31.7 57.3	5.30 58.0	1.63 51.33	1.56 45.33	1.61 49.6
Y方向-1回目		— 82.0	— 67.0	— 63.0	— 60.0	1.33 (3.82) 54.0	1.29 47.0	1.69 47.0
-2回目		306.1 82.0	123.5 69.0	86.3 66.0	— 59.0	1.63 (4.64) 54.0	1.35 47.0	1.81 47.4
-3回目		392.7 83.0	150.6 70.0	90.2 69.0	— 59.0	1.63 (4.36) 54.0	1.44 47.0	1.76 47.6
平均		349.4 82.33	137.05 68.67	88.25 66.0	— 59.3	1.53 54.0	1.36 47.0	1.753 47.33
Z方向-1回目		— 91.0	— 70.0	— 69.0	5.60 55.0	— (4.23) 53.0	1.55 41.0	—
-2回目		— 91.0	— 72.0	— 70.0	5.70 55.0	— (4.64) 54.0	1.65 45.0	—
-3回目		— 91.0	— 71.0	51.1 73.0	6.00 56.0	— (4.91) 54.0	1.63 —	—
-4回目		— 96.0	130.0 72.0	61.8 —	6.32 57.0	1.93 (6.55) 55.0	1.93 49.0	—
平均		— 92.25	130.1 95.0	51.1 70.67	5.905 55.75	1.93 54.0	1.69 45.0	—

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

表 4-19(g) 振動測定値 (E 測線, PPF シート, 63.5 kg)

区分	距離(m)	1.0	5.8	8.8	13.8	18.8	23.8	28.8	48.8
X 方向-1 回目		114.8	42.5	22.0	3.62	1.60 (2.73)	1.20	1.03	-
		70.0	63.0	57.0	50.0	45.0	43.0	40.6	-
	-2 回目	100.7	41.9	22.0	3.62	1.73 (2.73)	1.34	1.01	-
-2 回目		70.0	68.0	57.0	50.0	45.0	43.0	40.6	-
	-3 回目	108.7	42.1	23.2	3.52	1.73 (2.45)	1.51	0.92	-
		70.0	67.0	57.0	49.0	45.0	43.0	40.0	-
平 均		108.07	42.17	22.4	3.59	1.753	1.35	0.987	-
		70.0	66.0	57.0	49.67	45.0	43.0	40.4	-
	-Y 方向-1 回目	281.9	-	44.9	6.67	3.53 (3.07)	-	3.40	-
-2 回目		78.0	74.0	63.0	57.0	59.0	-	49.8	-
	-3 回目	288.0	-	41.2	6.67	3.29 (2.45)	-	3.24	-
		78.0	74.0	63.0	57.0	58.0	-	49.6	-
平 均		256.8	-	35.9	6.19	3.53 (2.80)	-	3.26	-
		79.0	75.0	62.0	57.0	58.0	-	50.0	-
	-Z 方向-1 回目	275.57	-	40.67	6.51	3.45	-	3.30	-
-2 回目		78.33	74.33	62.67	57.0	58.3	-	49.3	-
	-3 回目	-	133.1	24.9	6.28	2.66	1.06	-	-
		85.0	70.0	62.0	58.0	55.0	49.0	-	-
平 均		-	133.1	24.5	5.81	2.50	1.04	-	-
		85.0	72.0	65.0	58.0	55.0	49.0	-	-
	-4 回目	-	130.1	24.5	6.38	2.46	0.83	-	-
平 均		85.0	73.0	62.0	58.0	54.0	48.0	-	-
		-	-	21.6	6.19	2.83 (2.52)	0.88	-	-
		81.0	-	-	58.0	55.0	48.0	-	-
平 均		-	132.10	23.875	6.165	2.61	1.27	-	-
		84.0	71.67	63.0	58.0	54.75	48.50	-	-

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

表 4-19(h) 振動測定値 (F 測線, サンドコンパクション, 63.5 kg)

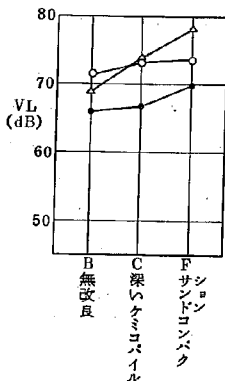
区分	距離(m)	1.0	5.9	9.0	14.0	19.0	24.0	29.0	49.0	⁻⁹ -10	69.0 89.0
X 方向-1 回目		128.9	41.9	14.3	-	2.35 (3.41)	1.16	0.78	-	-	-
		73.0	61.0	54.0	-	50.0	48.0	38.6	-	-	-
	-2 回目	116.8	40.8	13.2	-	2.02 (3.33)	1.36	0.79	-	-	-
-2 回目		71.0	60.0	53.0	-	50.0	47.6	39.0	-	-	-
	-3 回目	88.6	38.1	13.2	-	2.22 (3.50)	1.45	0.77	-	-	-
		70.0	60.0	54.0	-	50.0	46.0	39.2	-	-	-
平 均		111.4	40.27	13.57	-	2.20	1.32	0.78	-	-	-
		71.3	60.33	53.66	-	50.0	47.0	39.27	-	-	-
	-Y 方向-1 回目	-	-	-	-	- (3.14)	-	1.40	-	-	-
-2 回目		251.7	-	44.9	-	3.30 (3.07)	1.50	1.50	-	-	-
		81.0	78.0	62.0	-	58.0	52.0	46.5	-	-	-
	-3 回目	231.6	-	46.7	-	3.57 (3.41)	1.55	1.78	-	-	-
平 均		80.0	79.0	61.0	-	58.0	52.0	46.2	-	-	-
		241.65	-	45.80	-	3.585	1.525	1.56	-	-	-
		80.5	78.5	61.5	-	58.0	52.0	46.17	-	-	-
Z 方向-1 回目		662.4	68.3	20.9	-	3.19 (3.58)	1.52	0.75	0.09	0.06	-
		94.0	69.0	65.0	-	58.0	51.0	46.4	25.0	24.0	-
	-2 回目	463.0	59.4	21.5	-	4.14 (4.23)	1.55	0.73	0.08	0.04	-
-2 回目		95.0	71.0	68.0	-	59.0	51.0	46.5	25.0	23.0	-
	-3 回目	487.0	63.6	22.7	-	3.82 (4.23)	1.57	0.75	0.08	0.05	-
		97.0	70.0	65.0	-	59.0	51.0	46.2	25.0	23.0	-
平 均		544.13	63.77	21.7	-	3.72	1.547	0.74	0.083	0.05	-
		95.33	70.0	66.0	-	58.67	51.0	46.37	25.33	23.33	-

上段: 加速度 (gal), 下段: VL (dB)

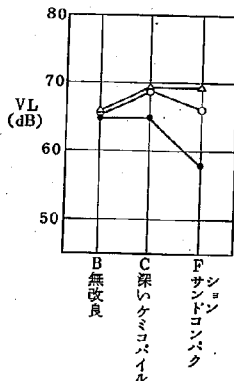
表4-19(i) 振動測定値 (F測線, サンドコンパクション, 150 kg)

区分	距離(m)	1.0	5.9	9.0	19.0	29.0	49.0	69.0	89.0
X方向-1回目		114.3	24.2	12.0	4.47 (7.12)	1.00	—	0.17	0.12
		95.0	61.0	58.0	59.0	42.4	—	32.0	31.0
	-2回目	—	—	—	— (7.24)	0.87	—	—	—
-3回目		—	29.0	13.8	4.36 (7.10)	0.83	—	0.18	0.11
		105.0	65.0	58.0	58.0	40.8	—	32.0	29.0
	平均	114.3	26.6	6.007	4.415	0.90	—	0.175	0.115
Y方向-1回目		100.0	63.0	58.0	58.5	41.80	—	32.0	30.0
		305.7	93.5	37.1	7.55 (5.65)	2.30	—	0.14	0.10
	-2回目	85.0	71.0	65.0	65.0	54.0	—	31.0	30.0
-3回目		382.1	116.1	50.3	7.87 (6.62)	3.08	—	0.14	0.11
		86.0	72.0	67.0	66.0	54.2	—	31.0	31.0
	平均	401.2	116.1	52.7	7.87 (6.55)	2.96	—	0.15	0.10
Z方向-1回目		363.0	108.56	46.7	7.763	3.11	—	0.143	0.103
		86.0	71.6	66.33	65.66	54.06	—	31.0	30.33
	平均	401.2	117.3	38.3	6.48 (5.66)	1.34	—	0.10	0.06
-2回目		83.0	76.0	70.0	64.0	52.0	—	32.0	30.0
		541.4	153.0	37.1	6.17 (6.15)	1.28	—	0.11	0.08
	-3回目	86.0	78.0	70.0	65.0	52.4	—	32.0	30.0
平均		636.9	158.1	39.5	6.38 (6.15)	1.33	—	0.11	0.07
		87.0	76.0	70.0	65.0	52.4	—	33.0	30.0
	平均	526.5	142.8	38.3	6.34	1.32	—	0.1067	0.063
		85.3	76.6	70.0	64.66	52.27	—	32.67	30.0

上段：加速度 (gal), 下段：VL (dB)

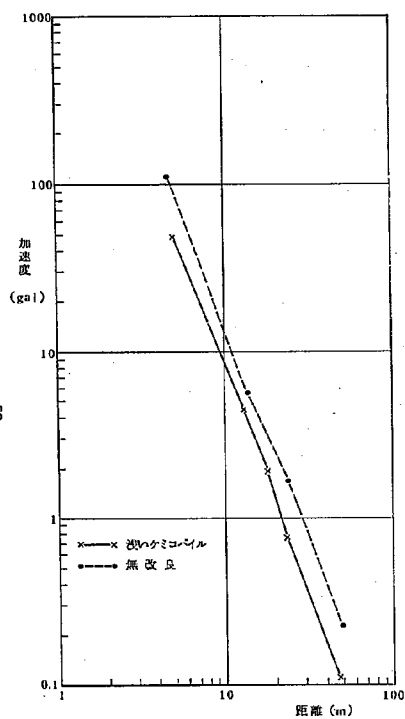


(a) 5m 地点

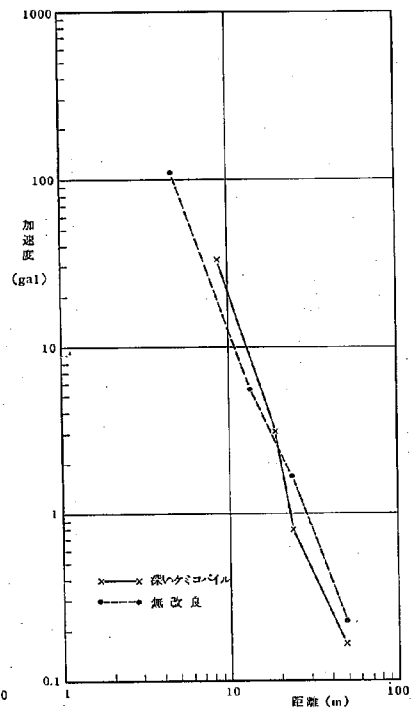


(b) 10m 地点

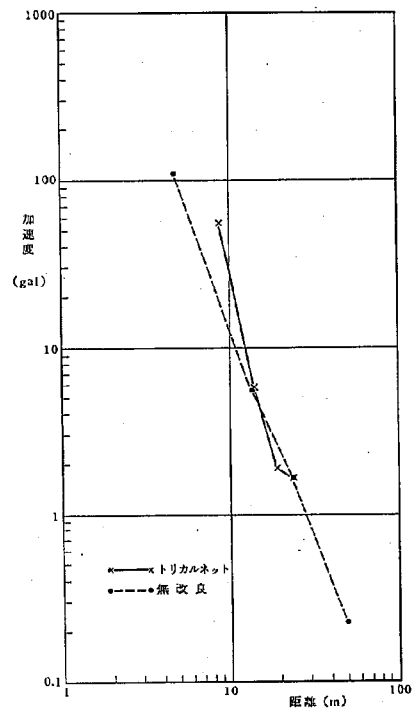
図4-30 各測線のVL (重錘重量150 kg)



(a)

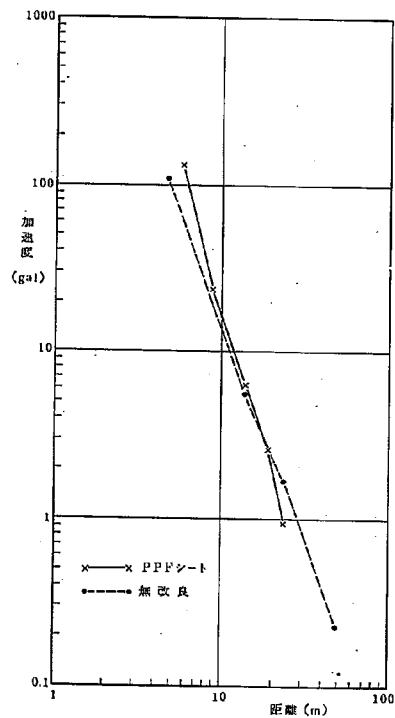


(b)

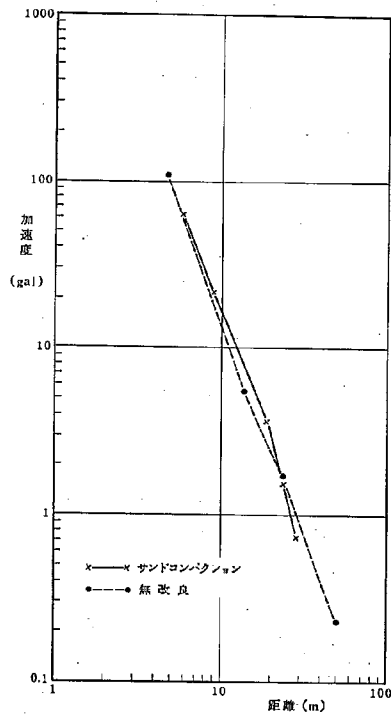


(c)

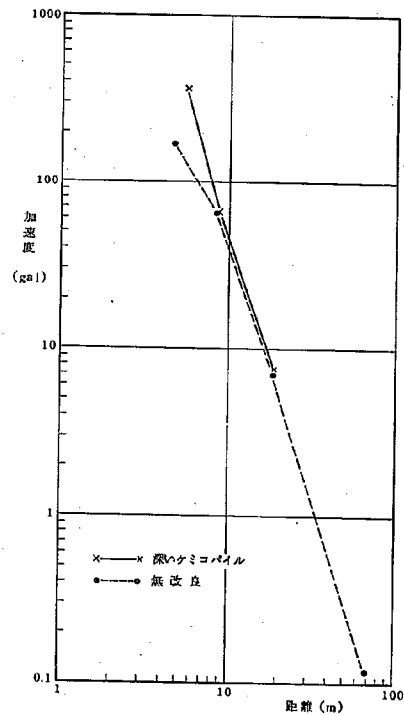
图 4-31 振動軽減効果 (63.5 kg, Z 成分)



(d) 63.5 kg, Z成分



(e) 63.5 kg, Z成分



(f) 150 kg, Z成分

図 4-31 振動軽減効果

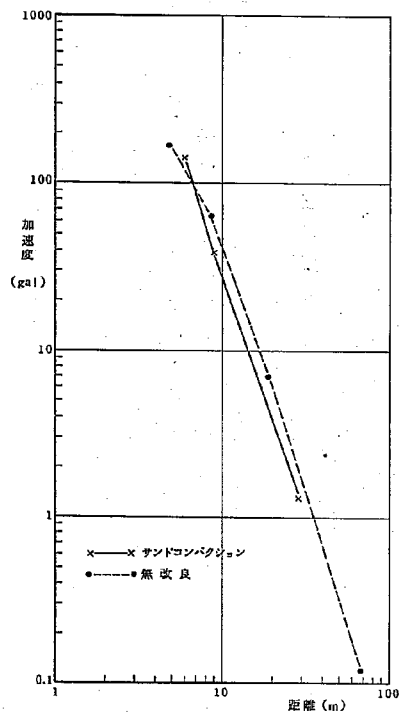


図 4 - 31 (g) 振動軽減効果 (150 kg, Z 成分)

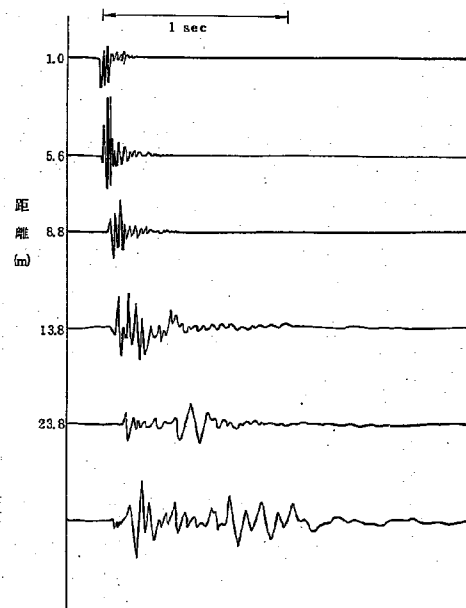


図 4 - 32 重錘落下による振動波形 (秋田 C 測線, Z 成分, 63.5 kg)

が、C測線（深いケミコパイル）ではB測線と同等あるいは若干大きくなっている。D、E測線（ネット、シート敷設）については振動軽減効果はみられない。F測線（サンドコンパクション）については重錘重量が150kgの場合に若干無改良より小さくなっている。

地盤改良の効果を強度の面からみると、表4-20に示すように一軸圧縮強度は地盤強度によってかなり増加している。また施工後の改良区間の地盤の強度は無改良区間に比べて20～50

図4-20 地盤改良施工前後の地表より5mまでの
深さの地盤の一軸圧縮強度（秋田）

区 間	地盤改良の種類	一軸圧縮強度 q_u (kg/cm ²)		r (%)
		施 工 前	施 工 後	
A	浅いケミコパイル	0.124	0.424	19.1
B	無 改 良	0.251	0.356	—
C	深いケミコパイル	0.231	0.485	36.2
D	ネ ッ ト	0.168	0.551	54.8
E	シ ー ト	0.194	0.530	48.9
F	サンドコンパクション	0.149	0.505	41.9

注1) 一軸圧縮強度は深さ0～5mまでの試料による試験結果8～10個の平均値である。

注2) rは、施工後のB区間の q_u と他区間の q_u の差を表す。

$$r = \frac{q_{ui} - q_{uB}}{q_{uB}} \times 100$$

q_{uB} : B区間の施工後の q_u

q_{ui} : i区間 " (i=A, C, D, E, F)

多大きくなっている。強度増加は地盤が固くなったことを意味し、振動軽減に結びつくはずであるが、上記のように実際には地盤改良による振動軽減効果があり見られない。この原因として無改良区間においても盛土のために軟弱地盤の圧密が促進されてある程度地盤改良が行なわれた結果になっているため、完全に無改良区間ではないことおよび地盤改良区間の改良面積が狭い（10.4m×60m）こと等が考えられる。

図4-32に振動波形の一例を示す。振源に近い地点では衝撃的な波であるが、振源より遠く去るにつれて振動の継続時間が長くなっている。図4-33(a)は各測線の振源より18～19m付近の振動を1/3オクターブ分析器を用いて周波数分析を行なった結果である。この図によると各測線における卓越振動数は10Hz付近にあり、測線による有意な差は見られない。図4-33(b)は4.7～6m地点の周波数分析結果であり、30～50Hz付近にピークが見られる。

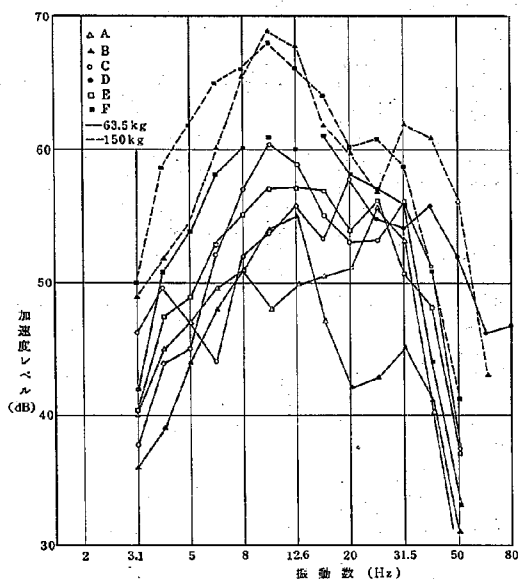


図4-33(a) 周波数分析結果(秋田, Z成分, 18~19 m地点)

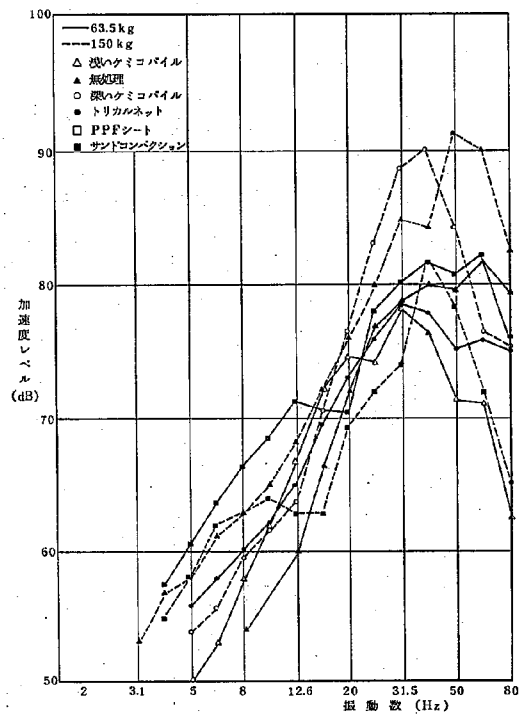


図4-33(b) 周波数分析結果(秋田, Z成分, 4.7~6 m地点)

表 4-21(a) VLの測定値 (越谷, A測線, 重錘落下, 63.5 kg)

成分	No	距 離 (m)									
		1.0	7.0	10.5	12.2	20.5	25.5	30.5	50.5	70.5	80.5
X	1	78.9	59.5	64.0	55.0	48.5	44.3	40.6	38.1	32.0	37.1
	2	80.0	58.5	63.2	54.9	48.5	44.1	41.0	36.0	—	36.9
	3	78.0	59.0	63.2	54.5	48.2	43.0	40.8	37.2	38.1	37.0
	平均	79.0	59.0	63.5	54.8	48.4	73.4	40.8	37.1	—	37.0
Y	1	64.8	48.1	54.2	51.0	42.7	40.0	38.4	18.0	—	41.0
	2	65.0	48.5	53.8	51.0	41.4	39.2	35.3	17.0	22.5	42.1
	3	67.5	49.5	55.5	51.9	43.1	39.7	35.5	17.0	36.1	37.9
	平均	65.8	48.7	54.5	51.3	42.4	39.7	34.4	17.3	—	40.7
Z	1	81.3	61.2	60.2	55.6	47.0	42.5	38.9	31.0	34.3	32.0
	2	82.5	59.7	60.0	55.5	47.5	42.1	38.9	31.3	33.8	32.0
	3	86.8	65.0	62.3	55.4	47.2	42.1	38.9	31.7	32.9	31.8
	平均	83.5	62.0	60.8	55.5	47.2	42.2	38.9	32.1	34.0	31.9

表 4-21(b) VLの測定値 (越谷, B測線, 重錘落下, 63.5 kg)

成分	No	距 離 (m)									
		1.0	6.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	50.0	65.0	77.0
X	1	86.9	61.0	58.0	53.2	39.6	45.0	40.2	37.8	39.1	36.5
	2	74.4	55.6	53.2	50.9	36.9	43.5	39.3	37.9	37.6	34.5
	3	75.0	57.1	54.8	52.1	37.3	44.3	39.5	35.5	38.1	35.1
	平均	78.8	57.9	55.3	52.1	37.9	59.3	39.6	37.1	38.3	37.5
Y	1	79.2	64.0	52.1	49.2	32.8	33.6	38.1	32.6	32.0	33.2
	2	79.8	62.3	51.1	47.6	32.3	33.3	32.5	31.9	31.9	30.9
	3	80.2	63.0	52.0	48.8	35.1	34.8	35.1	34.7	33.5	31.4
	平均	79.7	63.1	51.7	48.5	33.4	33.9	35.2	33.1	32.5	31.8
Z	1	82.2	59.5	55.0	53.0	45.1	43.9	39.5	33.0	34.0	40.1
	2	84.0	59.5	55.9	53.2	45.6	45.3	40.3	33.0	33.2	38.0
	3	84.0	60.4	56.2	53.2	45.2	44.0	40.2	32.7	33.5	37.7
	平均	83.4	59.8	55.7	53.1	45.3	44.3	40.0	32.9	33.6	38.6

(dB)

表 4-21(c) VLの測定値 (越谷, C測線, 重錘落下, 63.5 kg)

成分	No	距 離 (m)									
		1.0	5.8	9.3	14.3	19.3	24.3	29.3	49.3	59.3	69.3
X	1	70.0	64.0	59.3	58.6	56.2	54.0	48.8	43.4	40.1	37.0
	2	64.0	64.0	57.3	58.0	55.0	53.5	48.0	43.0	40.0	36.7
	3	64.6	64.1	57.8	58.2	55.5	53.6	48.2	44.0	40.0	37.0
	平均	66.2	64.0	58.1	58.3	55.6	53.7	48.3	43.5	40.0	36.9
Y	1	61.5	55.0	46.8	44.5	47.0	45.8	37.9	34.0	34.0	31.0
	2	59.3	55.0	46.2	45.4	46.6	46.2	38.8	35.0	34.5	31.0
	3	59.0	55.3	46.9	45.6	47.0	46.3	38.5	34.1	33.6	31.2
	平均	59.9	55.1	46.6	45.2	46.9	46.1	38.4	34.4	34.0	31.1
Z	1	76.9	68.4	64.5	59.9	58.9	55.0	51.9	42.8	38.4	38.5
	2	72.5	65.4	63.1	59.1	57.9	54.7	51.8	43.1	38.1	37.1
	3	72.5	65.0	63.7	59.9	58.6	55.0	52.0	43.0	38.0	37.8
	平均	74.0	66.3	63.8	59.6	61.8	54.9	51.9	43.0	38.2	37.8

(dB)

表 4-21 (d) VLの測定値 (越谷, D測線, 重錘落下, 63.5 kg)

成分	No	距					離 (m)				
		1.0	5.9	9.4	14.4	19.4	24.4	29.4	49.4	69.4	89.4
X	1	69.0	61.7	60.0	56.0	50.0	49.0	42.4	38.0	34.0	48.3
	2	66.7	59.1	59.0	55.9	49.2	48.9	42.6	38.0	33.0	46.0
	3	64.1	58.4	58.1	55.5	50.1	48.0	42.0	37.0	32.0	47.0
	平均	66.6	59.7	59.0	55.8	49.8	48.6	42.3	37.7	33.0	47.1
Y	1	63.8	56.0	54.8	48.0	41.9	42.8	40.1	34.0	28.1	27.0
	2	68.0	59.7	57.2	49.0	42.8	43.1	40.7	34.0	30.1	26.2
	3	65.8	58.0	55.6	48.5	42.5	42.7	40.0	33.0	28.7	26.2
	平均	65.9	57.9	55.9	48.5	42.4	42.9	40.3	33.7	29.0	26.5
Z	1	79.0	68.2	59.0	53.2	43.0	47.2	44.3	37.0	30.1	50.0
	2	73.2	62.1	56.9	52.5	42.2	46.9	44.2	35.0	30.0	50.8
	3	75.9	64.2	56.9	52.1	42.9	46.9	44.0	34.0	29.9	41.0
	平均	76.0	64.8	57.6	52.6	42.7	47.0	44.2	35.3	30.0	47.3

(dB)

表 4-21 (e) VLの測定値 (越谷, A測線, 重錘落下, 150 kg)

成分	No	距					離 (m)				
		1.0	7.0	10.5	12.2	20.5	25.5	30.5	50.5	70.5	80.5
X	1	87.0	67.6	67.5	61.5	53.1	53.7	50.0	46.6	11.1	46.5
	2	81.0	66.0	67.1	61.2	52.5	53.6	50.0	46.4	22.0	46.6
	3	80.2	69.0	67.6	61.2	52.5	53.5	49.9	46.1	18.1	46.4
	平均	82.7	67.5	67.4	61.3	52.7	53.6	50.0	46.4	17.1	46.5
Y	1	67.2	65.3	69.9	64.6	48.2	47.6	39.0	10.4	35.8	33.4
	2	67.0	67.6	71.3	65.3	48.5	48.1	38.9	15.5	36.5	35.0
	3	68.6	67.1	71.0	65.0	49.1	48.1	39.2	15.0	36.0	33.0
	平均	67.6	66.7	70.7	65.0	48.6	48.0	39.0	13.8	36.1	33.8
Z	1	93.2	85.0	67.5	63.0	55.1	51.0	47.6	40.1	41.7	43.1
	2	92.9	77.0	67.0	62.5	55.1	51.1	47.8	40.1	42.0	39.0
	3	87.8	76.5	67.0	62.5	55.4	51.1	47.5	40.5	42.0	39.6
	平均	91.3	79.5	67.2	62.7	55.2	51.1	47.6	40.2	41.9	40.6

(dB)

表 4-21 (f) VLの測定値 (越谷, B測線, 重錘落下, 150 kg)

成分	No	距					離 (m)				
		1.0	6.5	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	50.0	65.0	77.0
X	1	85.0	67.8	65.9	61.9	47.2	55.1	50.1	48.0	47.0	44.0
	2	86.0	69.0	67.9	62.7	47.9	55.1	50.1	48.4	47.4	44.5
	3	80.8	69.0	67.0	62.1	47.4	54.9	50.0	47.7	47.0	44.2
	平均	83.9	68.6	66.9	62.2	47.5	55.0	50.1	48.0	47.1	44.2
Y	1	78.2	64.0	63.9	57.1	42.6	42.6	41.7	23.2	39.0	37.2
	2	81.2	71.0	65.9	61.0	42.7	42.4	40.6	24.4	39.0	38.8
	3	80.2	68.4	63.0	58.0	42.1	42.5	41.2	27.9	39.9	38.5
	平均	79.9	67.8	64.3	58.7	42.5	42.5	41.2	25.4	39.9	38.2
Z	1	91.0	67.7	77.5	63.1	55.5	53.6	49.4	42.0	42.1	43.2
	2	107.2	69.2	79.1	64.1	55.6	54.1	49.8	44.0	42.3	44.0
	3	89.2	69.0	79.0	63.7	55.2	54.0	49.8	44.0	42.2	44.6
	平均	95.8	68.7	78.5	63.7	55.4	53.9	49.7	43.4	42.2	43.9

(dB)

表 4-21 (g) VL の測定値 (越谷, C 測線, 重錘落下, 150 kg)

成分	No.	距離 (m)									
		1.0	5.8	9.3	14.3	19.3	24.3	29.3	49.3	59.3	69.3
X	1	75.8	68.5	66.1	66.1	64.2	52.9	48.0	53.0	49.7	47.9
	2	75.0	67.1	67.0	66.2	64.6	53.0	48.1	53.0	50.0	48.2
	3	69.2	67.1	66.8	66.5	64.1	52.0	47.1	52.5	49.6	46.9
	平均	73.3	68.9	66.6	66.3	64.3	52.6	47.7	52.8	49.8	47.7
Y	1	67.1	60.1	58.0	53.8	55.2	55.2	46.9	44.0	42.9	40.8
	2	67.5	60.9	58.8	54.0	55.4	45.2	37.1	44.1	42.9	41.0
	3	68.4	60.0	58.2	53.7	55.2	45.1	37.1	44.6	43.0	41.8
	平均	67.7	60.3	58.3	53.8	55.3	48.5	47.0	44.2	42.9	41.2
Z	1	78.0	61.0	72.0	69.0	67.8	54.5	51.3	52.7	38.0	47.2
	2	80.0	62.8	72.1	69.0	68.1	55.0	51.9	53.0	48.3	48.0
	3	78.7	61.5	72.0	69.1	68.1	55.0	51.9	53.0	48.2	47.9
	平均	78.9	61.8	72.0	69.0	68.0	54.8	51.7	52.9	44.8	47.7

(dB)

表 4-21 (h) VL の測定値 (越谷, D 測線, 重錘落下, 150 kg)

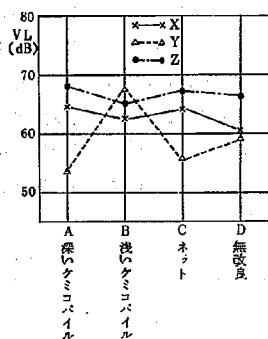
成分	No.	距離 (m)									
		1.0	5.9	9.4	14.4	19.4	24.4	29.4	49.4	69.4	89.4
X	1	76.1	70.0	65.0	64.1	58.1	57.7	54.1	48.0	42.2	38.2
	2	77.0	70.8	66.0	64.8	58.8	58.0	54.3	53.1	42.0	38.2
	3	77.2	73.9	67.0	65.0	59.0	58.6	54.9	52.2	42.0	38.2
	平均	76.8	71.6	66.0	64.6	58.6	58.1	54.4	51.1	42.1	38.2
Y	1	69.1	65.1	64.4	57.0	51.3	52.2	50.2	42.7	35.1	32.2
	2	53.1	62.8	63.8	60.8	53.1	55.2	51.1	44.0	36.5	33.8
	3	64.8	63.1	66.0	62.0	54.2	56.3	52.0	45.0	37.6	34.7
	平均	65.7	65.4	64.7	59.9	52.9	54.6	51.1	43.9	36.4	33.6
Z	1	78.2	69.8	69.2	61.0	58.1	57.0	54.7	44.7	39.0	36.7
	2	80.0	70.9	67.8	61.5	58.7	57.0	54.8	45.0	39.2	34.0
	3	78.1	70.1	68.1	61.7	59.0	57.2	55.1	44.7	39.2	35.3
	平均	78.8	70.3	67.7	61.4	58.6	57.1	54.9	44.8	39.1	35.3

(dB)

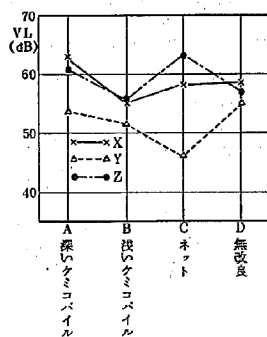
図 4-33(a) と合わせて考えると、重錘落下により発生する振動数はかなり高いが、地盤を伝播する間に高周波成分は早く減衰し、低周波成分が遠方まで伝播するようである。

4.4.3 越谷 (越谷・春日部バイパス)

表 4-21 に各測線における重錘落下実験の地盤振動測定値を示す。図 4-34, 図 4-35 は振源より 5 m, 10 m 地点の VL を比較したものであるが、いずれの図においても地盤改良による振動軽減効果についてはっきりした傾向をつかむことは困難である。越谷の現場の地盤は図 4-14 に見られるようにレンズ状の砂層があり、A, B 区間 (ケミコパイル) と D 区間 (無改良) では軟弱層の厚さがかなり違っているため、本来比較することに無理があるのかも知れない。

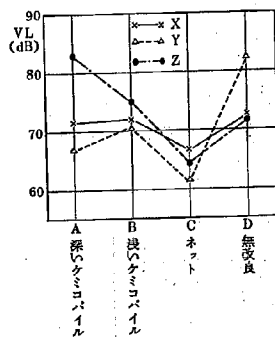


(a) 5 m地点

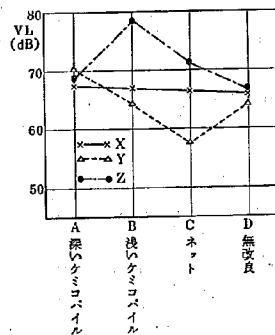


(b) 10 m地点

図4-34 各測線のVL (越谷, 重錘重量 63.5 kg)



(a) 5 m地点



(b) 10 m地点

図4-35 各測線のVL (越谷, 重錘重量 150 kg)

図4-14のPS検層の結果を見ると、B測線付近の道路外の地点においては(図4-14(e))地表より5 mまでの深さのせん断弾性係数 G は 55 kg/cm^2 である。それに対しケミコパイルを打設したA、B区間の道路直下においてはA区間で $G=120 \text{ kg/cm}^2$ 、B区間で $G=160 \text{ kg/cm}^2$ となっており、地盤改良によってかなり G の値が増大している。一方、無改良のD区間においては図4-14(d)に示すように $G=20 \text{ kg/cm}^2$ の軟弱な層が1 mしかなく、その下は $G=470 \text{ kg/cm}^2$ の砂層が存在している。従ってこの砂層の影響によって無改良区間の振動が小さくなったのではないと思われる。

図4-36、図4-37は試験車走行による各測線の5 m、10 m地点のVLを比較したもの

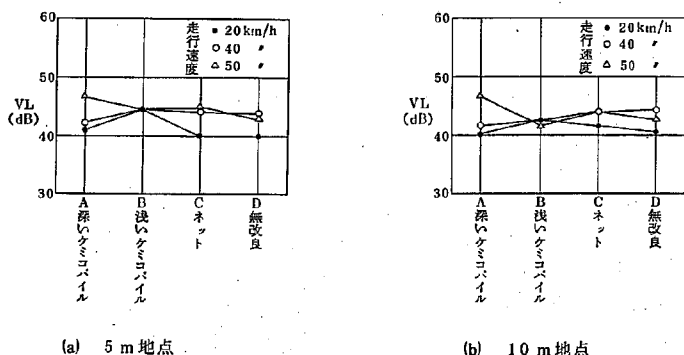


図4-36 試験車走行による各測線のVL (積載、段差なし)

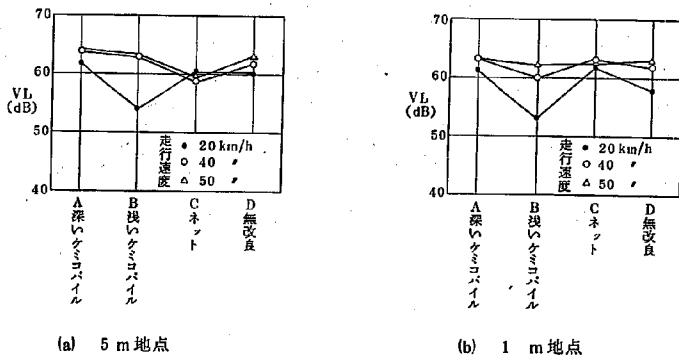


図4-37 試験車走行による各測線のVL (積載、段差36 mm)

であるが、各測線間の有意な差を見出すことは困難である。ただ段差がある場合のB測線（浅いケミコパイル）のVLが無改良に比べて若干小さくなっている。

図4-38は段差走行実験における地盤振動波形の一例であり、波の伝播速度は約65m/secとなっている。また図4-39は各測線の距離減衰を示しているが、どの測線においても減衰が非常に小さい。このことは軟弱地盤の特質である。⁽¹²⁾ 図4-40は1/3オクターブ分析器による周波数分析結果であるが、どの測線についてもほぼ10Hz付近にピークが存在しており、今回実施した程度の地盤改良によれば地盤振動の卓越振動数は大きく変化しないことを示し

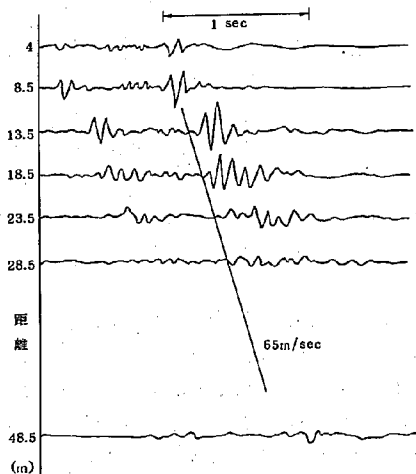


図4-38 試験車走行による地盤振動波形

（越谷，A測線，Z成分，段差36mm，走行速度20km/h）

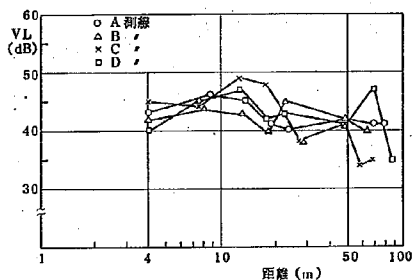


図4-39 距離減衰（越谷，Z成分，試験車走行，積載，50km/h）

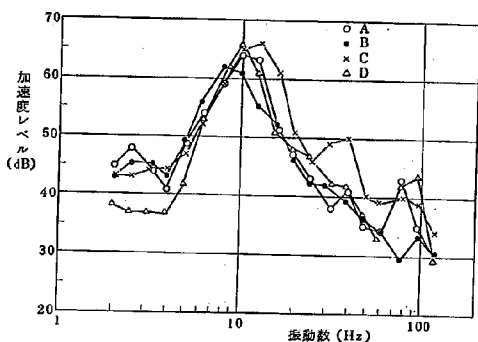


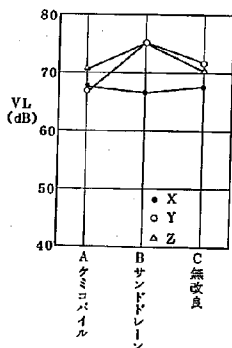
図 4-40 周波数分析結果

(越谷, 段差 36 mm, 走行速度 50 km/h, Z 成分)

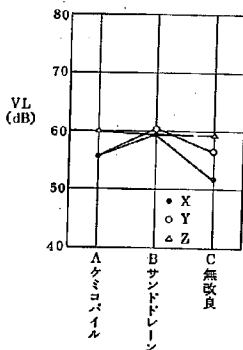
ている。また 10 Hz という振動数は道路交通振動としては少し低い方であり、地盤振動の振動数が低いということも軟弱地盤の特質の 1 つである。

4.4.4 沼津 (沼津バイパス)

表 4-22 に各測線の VL の測定値を示す。図 4-41 は各測線の振源より 5 m, 10 m 地点の VL を比較したものである。(ただし 5 m, 10 m 地点の測定値がないので、他の地点の値より内挿して求めた。) 図 4-41 に示されるように地盤改良による振動軽減効果はあまり見られない。図 4-42 は Z 成分についての A, B, C 3 測線の距離減衰を表わしているが、振源より 5 m 以遠においては 3 測線共ほとんど同じ値となっている。このように振動軽減効果が



(a) 5 m 地点



(b) 10 m 地点

図 4-41 各測線の VL の比較 (沼津)

表 4-22(a) VLの測定値 (沼津, A測線)

成分	No	距離 (m)				
		1.0	6.0	8.2	13.2	18.2
X	1	63.2	70.5	58.5	49.5	44.5
	2	65.0	69.3	58.5	55.1	48.0
	3	64.0	66.0	58.5	49.0	46.5
	平均	64.1	68.6	58.5	51.2	46.3
Y	1	66.0	68.0	57.3	53.2	50.8
	2	65.0	67.5	56.9	54.5	51.5
	3	63.0	66.5	57.5	54.2	50.3
	平均	64.7	67.3	57.2	54.0	50.9
Z	1	81.7	68.0	62.0	56.3	57.0
	2	81.5	67.3	62.0	57.0	57.0
	3	84.2	68.4	62.0	57.2	57.5
	平均	82.5	67.9	62.0	56.8	57.2

(dB)

表 4-22(b) VLの測定値 (沼津, B測線)

成分	No	距離 (m)					
		1.0	6.0	8.0	13.0	18.0	23.0
X	1	71.3	62.6	63.5	53.9	47.8	49.1
	2	71.2	64.5	63.0	53.8	44.5	43.5
	3	74.0	68.5	64.3	53.1	43.3	50.0
	平均	72.2	65.2	63.6	53.6	45.2	47.5
Y	1	101.6	72.5	60.0	52.6	51.0	52.1
	2	78.0	71.8	68.5	53.0	50.9	46.2
	3	81.6	71.9	67.2	54.1	49.5	49.5
	平均	87.1	72.1	65.2	53.2	50.5	49.3
Z	1	76.9	70.6	60.9	57.5	51.5	47.6
	2	99.9	71.0	60.8	57.3	52.0	47.0
	3	101.0	71.0	60.7	56.7	51.5	47.2
	平均	92.6	70.9	60.8	57.2	51.7	47.3

(dB)

表 4-22(c) VLの測定値 (沼津, C測線)

成分	No	距離 (m)							
		1.0	6.0	8.0	13.0	18.0	23.0	28.0	48.0
X	1	68.5	69.5	52.0	48.5	57.0	49.5	42.3	50.5
	2	71.0	67.5	53.5	48.0	55.0	54.0	41.5	46.5
	3	67.0	65.3	59.2	47.0	52.2	46.2	42.0	46.6
	平均	68.8	67.4	54.9	47.8	54.7	49.9	41.9	47.8
Y	1	71.2	70.0	60.2	54.2	49.3	52.5	55.1	55.5
	2	72.0	71.5	59.2	52.5	50.5	52.0	50.5	55.5
	3	76.0	72.3	58.3	53.0	51.5	54.5	53.5	53.1
	平均	73.1	71.3	59.2	53.2	50.4	53.0	53.0	54.7
Z	1	74.5	69.1	60.5	56.5	55.0	49.5	47.5	48.0
	2	73.5	69.5	61.3	56.5	55.3	50.0	47.0	46.5
	3	74.5	69.5	62.0	55.7	55.2	50.0	47.1	45.5
	平均	74.2	69.4	61.3	56.2	55.2	49.8	47.2	46.7

(dB)

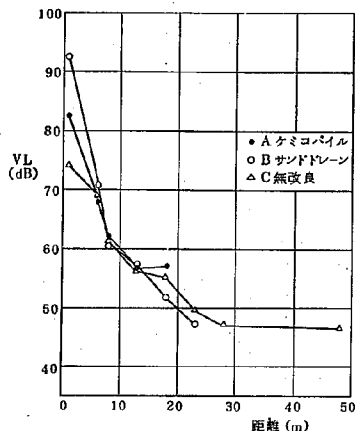


図 4-42 距離減衰 (沼津, Z 成分)

とんど見られないのは、やはり地盤改良の面積が小さい ($10\text{ m} \times 30\text{ m}$) ことと関係があるのではないと思われる。

図 4-43(a) は各測線の振源より約 18 m の地点の振動の周波数分析結果である。無改良、サンドドレーン区間では $12 \sim 16\text{ Hz}$ のところにピークがあり、ケミコパイル区間では 30 Hz のところにピークがみられる。ちなみに今回の現場の反対側車線（舗装が完了している）で行なった試験車走行実験においては地盤振動の卓越振動数は $4 \sim 5\text{ Hz}$ であった。このことは重錘落下による地盤振動の振動数と自動車走行による地盤振動数は必ずしも一致しないということを示しており、道路交通振動の卓越振動数を決定する際に注意を要する点である。図 4-43 (b) は 6 m 地点の周波数分析結果であるが、 $60 \sim 80\text{ Hz}$ のかなり高い振動数の領域にピークがあるので、重錘落下地点に近い所の振動は振動数の点で交通振動とはかなり違った振動になっている。

4.4.5 熊本（川尻バイパス）

表 4-23 に各測線の VL の L_{10} の実測値を、表 4-24 に交通量（2 車線合計）および平均走行速度を示す。図 4-44(a) は各測線の外側車線中央より 5 m 、 10 m 地点の L_{10} の平均値を表わしている。これによると B 測線（サンドドレーン）、D 測線（サンドコンパクション）の L_{10} が A 測線（無改良）に比べてかなり小さくなっている。例えば 10 m 地点では B 測線は 2.1 dB 、D 測線は 3.9 dB 小さくなっている。地盤改良施工前の地盤の土質条件はどの測線においてもほぼ同様であろうと思われるので、B、D 測線においては地盤改良によって上記の振動軽減がもたらされたものと考えられる。

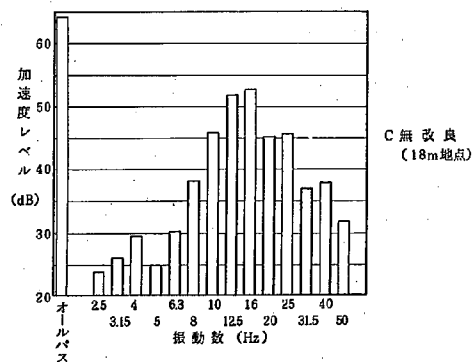
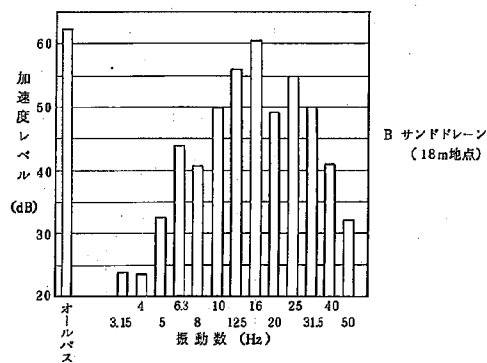
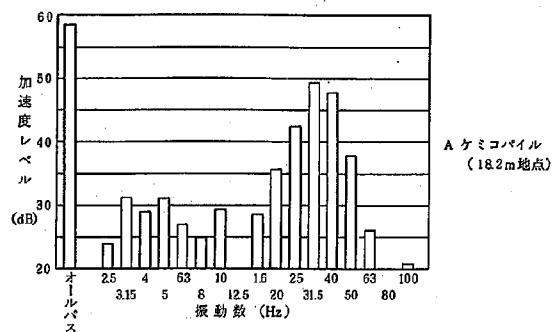


図4-43(a) 周波数分析結果 (沼津, Z成分)

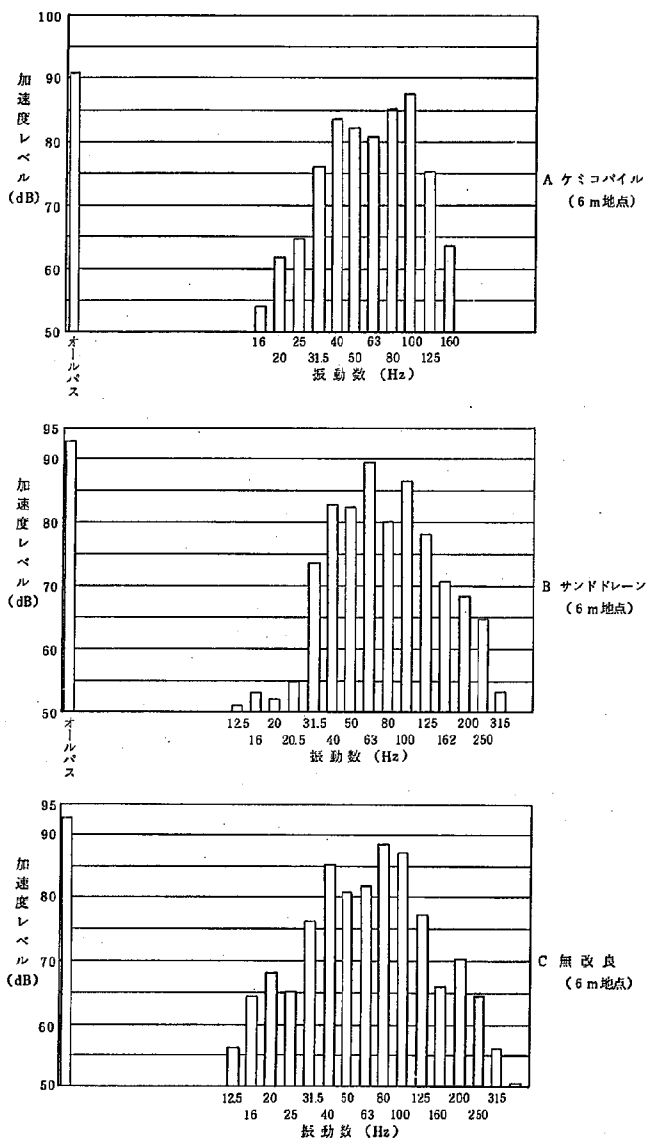


図 4 - 43 (b) 周波数分析結果 (沼津, Z 成分)

表 4-23(a) L_{10} の実測値 (熊本, A 測線 (無改良))

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	4.8	6.0	11.0	16.0	26.0
12:00~12:10	52	49	51	49	50
12:30~12:40	51	47	49	49	48
13:00~13:10	53	51	53	51	51
13:30~13:40	52	48	51	50	50
14:00~14:10	51	49	51	49	51
14:30~14:40	54	51	51	50	51
15:00~15:10	52	50	51	50	50
15:30~15:40	55	51	52	50	51
16:00~16:10	55	51	52	52	52
16:30~16:40	51	47	49	47	48
17:00~17:10	54	49	50	49	51
17:30~17:40	52	48	51	49	50
18:00~18:10	53	51	52	49	49
18:30~18:40	50	48	49	47	49
19:00~19:10	52	48	50	49	48
19:30~19:40	56	52	53	51	52
20:00~20:10	49	46	48	47	46
20:30~20:40	46	47	48	47	45
21:00~21:10	51	48	49	47	46
21:30~21:40	50	48	50	47	47
22:00~22:10	46	44	44	43	42
22:30~22:40	50	47	50	47	48
23:00~23:10	51	49	51	48	47
23:30~23:40	50	48	49	47	47

表 4-23(c) L_{10} の実測値 (熊本, C 測線 (生石灰処理))

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	4.8	6.0	11.0	16.0	26.0
12:00~12:10	50	49	49	51	50
12:30~12:40	51	51	52	51	51
13:00~13:10	51	53	52	53	52
13:30~13:40	51	52	54	54	53
14:00~14:10	52	53	54	53	52
14:30~14:40	54	53	53	52	53
15:00~15:10	51	53	53	53	52
15:30~15:40	53	53	53	53	52
16:00~16:10	57	55	55	54	55
16:30~16:40	51	50	50	51	51
17:00~17:10	52	52	52	51	52
17:30~17:40	55	53	53	51	52
18:00~18:10	51	50	50	50	49
18:30~18:40	51	52	51	51	51
19:00~19:10	51	51	51	51	51
19:30~19:40	54	54	53	53	53
20:00~20:10	50	51	51	50	51
20:30~20:40	59	49	48	48	48
21:00~21:10	51	51	51	50	50
21:30~21:40	50	52	50	50	51
22:00~22:10	48	57	48	48	47
22:30~22:40	53	54	54	51	51
23:00~23:10	55	53	52	51	51
23:30~23:40	52	51	50	49	50

表 4-23(b) L_{10} の実測値 (熊本, B 測線 (サンドドレーン))

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	4.8	6.0	11.0	16.0	26.0
12:00~12:10	45	45	47	45	46
12:30~12:40	48	48	50	47	47
13:00~13:10	49	49	51	49	48
13:30~13:40	50	48	50	48	48
14:00~14:10	48	47	49	48	47
14:30~14:40	49	50	52	49	48
15:00~15:10	50	49	50	49	48
15:30~15:40	49	48	51	48	48
16:00~16:10	48	49	50	48	48
16:30~16:40	46	46	48	47	45
17:00~17:10	46	47	50	48	46
17:30~17:40	47	46	48	46	46
18:00~18:10	46	46	47	46	45
18:30~18:40	45	45	45	49	48
19:00~19:10	46	47	48	47	47
19:30~19:40	50	49	50	43	43
20:00~20:10	46	46	48	47	46
20:30~20:40	43	43	45	47	46
21:00~21:10	45	47	47	47	46
21:30~21:40	45	47	46	47	46
22:00~22:10	43	42	45	43	42
22:30~22:40	46	48	50	48	46
23:00~23:10	46	46	48	46	46
23:30~23:40	47	46	48	46	46

表 4-23(d) L_{10} の実測値 (熊本, D 測線 (サンドコンパクション))

時 刻	外側車線中央からの距離(m)				
	4.8	6.1	11.1	16.1	26.1
12:00~12:10	51	51	欠	48	44
12:30~12:40	52	51	欠	48	44
13:00~13:10	50	50	欠	48	46
13:30~13:40	52	52	45	49	45
14:00~14:10	49	50	49	47	44
14:30~14:40	52	52	欠	49	50
15:00~15:10	51	51	欠	49	50
15:30~15:40	53	53	欠	48	51
16:00~16:10	51	欠	欠	49	50
16:30~16:40	51	50	46	46	47
17:00~17:10	50	51	47	48	48
17:30~17:40	51	49	44	欠	50
18:00~18:10	47	48	46	46	48
18:30~18:40	48	48	46	欠	47
19:00~19:10	49	48	45	47	48
19:30~19:40	53	52	49	49	50
20:00~20:10	45	46	43	45	47
20:30~20:40	43	45	41	43	44
21:00~21:10	47	49	45	48	47
21:30~21:40	47	49	45	46	46
22:00~22:10	43	43	40	41	43
22:30~22:40	51	50	47	47	49
23:00~23:10	47	48	46	47	48
23:30~23:40	47	47	44	46	47

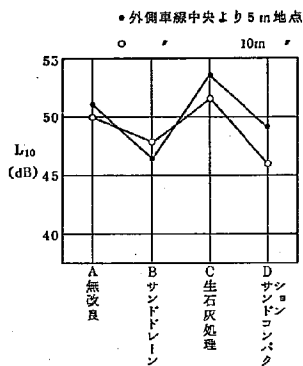
表 4-24 交通量および平均走行速度 (熊本)

時 刻	大型車類	小型車類	乗用車類	合 計	時 刻	大型車類	小型車類	乗用車類	合 計
12°00'	42	38	145	225	18°30'	29	18	144	191
				43.2					40.0
12°30'	45	43	126	211	19°00'	37	16	200	253
				43.6					40.0
13°00'	43	40	149	232	19°30'	53	24	165	232
				41.3					36.8
13°30'	64	39	133	236	20°00'	18	6	129	153
				42.9					38.9
14°00'	45	34	137	216	20°30'	21	12	110	143
				40.7					40.5
14°30'	47	38	122	207	21°00'	22	10	111	143
				42.9					39.7
15°00'	38	47	134	219	21°30'	32	6	102	140
				36.6					43.5
15°30'	58	39	126	213	22°00'	13	9	80	102
				38.5					43.7
16°00'	52	29	149	230	22°30'	28	10	72	110
				42.7					37.9
16°30'	33	39	141	213	23°00'	26	1	58	85
				43.6					40.6
17°00'	35	26	149	210	23°30'	38	7	52	97
				41.8					42.0
17°30'	30	31	209	270					
				44.7					
18°00'	32	28	207	267					
				37.4					

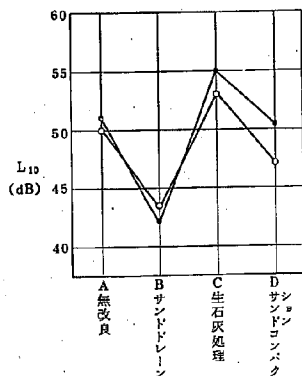
上段：台数

下段：平均速度 (km/h)

この地点において振動軽減効果が見られた原因として、サンドドレーン、サンドコンパクションパイルの深さが7mという深いものであり、改良区間の測線方向の幅が25mであり、他の地点に比べて長いことを挙げることができる。なお生石灰処理については振動軽減効果はあまりみられない。図4-44(b)は4.4.1の場合と同様に路面凹凸の影響を補正した場合 (σ が1m増加すると L_{10} は4dB増大すると仮定)の L_{10} を比較したものでありAとBの差がさらに大きくなっている。一般的には軟弱地盤処理を行なった方が不等沈下が少なくなり、路面凹凸が良好になっているはずである。表4-13によればC、D区間では路面凹凸の σ がAの無改良区間より小さくなっているが、B区間では逆に無改良区間より大きくなっている。この原因の詳細については不明であるが、不等沈下以外の何らかの要因によって起されたものと思われる。



(a) 実測値



(b) 路面凹凸を補正した場合

図4-44 各測線の5m, 10m地点のL₁₀の平均値

図4-45は各測線の距離減衰の一例であり、各測線ともにほぼ同様な距離減衰の傾向を示しており、かつ減衰が非常に小さい。

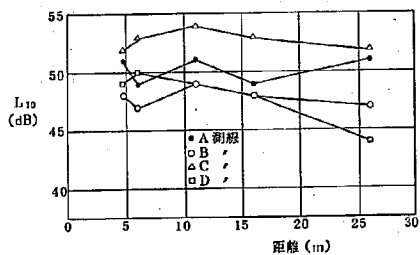


図4-45(a) 距離減衰
(熊本, 14:00~14:10)

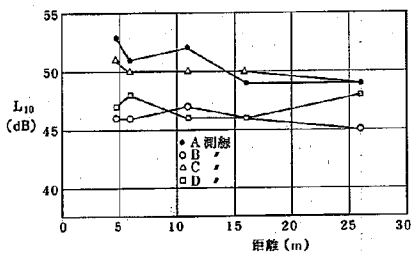


図4-45(b) 距離減衰
(熊本, 18:00~18:10)

5. 結 論

軟弱地盤改良による地盤振動の軽減効果に関する今回の一連の実験は無改良区間と改良区間を比較するという方法をとったために両区間の地盤の土質条件、地形条件等が完全に同一ではないという弱点をもっている。しかしながら、無改良区間と改良区間は隣接しているため、地盤条件は大部分の現場においてほぼ同一であろうと考えられる。

以下に今回の5地点の現場における実験より得られた結論を述べる。

- ① ケミコパイル、サンドドレーン、サンドコンパクションパイルによる地盤振動軽減効果については表5-1に示すように5地点のうち札幌、熊本の2地点で認められたが、他の3地点では認

表5-1 地盤振動軽減効果のまとめ

地 点	測 線	地盤改良の種類	地 盤 改 良 の 範 囲			振 動 源	V Lの無改良区間 との差 (dB) 注) (z成分)	
			幅 (m)	長 さ (m)	深 さ (m)		5 m地点	10 m地点
札 幌	B	ネ ッ ト	9	45	—	実 交 通	- 1.6	+ 0.6
	C	ケミコパイル	"	"	3.0	"	- 5.5	- 3.7
	D	"	"	"	5.0	"	- 3.1	- 1.0
秋 田	A	ケミコパイル	10.4	60	2.7	重 錘 落 下 (63.5 kg)	+ 0.4	+ 0.5
	C	"	"	"	5.0	"	+ 11.2	+ 2.3
	D	ネ ッ ト	"	"	—	"	+ 31.6	+ 6.6
	E	シ ー ト	"	"	—	"	+ 10.8	+ 1.2
	F	サ ン ド コ ン パ ク シ ョ ン	"	"	4.5	"	+ 11.8	+ 4.7
	F	ケミコパイル	"	"	5.0	重 錘 落 下 (150 kg)	+ 4.7	+ 3.4
山 形	F	サ ン ド コ ン パ ク シ ョ ン	"	"	4.5	"	+ 9.1	+ 3.5
越 前	A	ケミコパイル	22.4	75	4.0	重 錘 落 下 (63.5 kg)	+ 1.7	+ 4.0
	B	"	"	"	2.0	"	- 1.2	- 1.0
	C	ネ ッ ト	"	170	—	"	+ 0.8	+ 6.0
	A	ケミコパイル	"	75	4.0	試 験 車 走 行 (50 km/h)	+ 3.7	+ 4.0
谷 川	B	"	"	"	2.0	"	+ 1.7	- 1.0
	C	ネ ッ ト	"	170	—	"	+ 2.0	+ 1.6
沼 津	A	ケミコパイル	10	30	5.3	重 錘 落 下 (63.5 kg)	+ 0.4	+ 0.8
	B	サンドドレーン	"	"	5.0	"	+ 4.8	+ 0.1
熊 本	B	サンドドレーン	25	30	7.0	実 交 通	- 4.5	- 2.1
	C	生 石 灰 処 理	"	"	0.5	"	+ 2.6	+ 1.7
	D	サ ン ド コ ン パ ク シ ョ ン	"	"	7.0	"	- 1.8	- 3.9

注) マイナスは地盤改良によって振動が軽減されたことを表わし、プラスはその逆である。

められなかった。従って今回の実験から結論を出すことは困難であるが、札幌・熊本にのみ振動軽減効果が見られた原因について考えてみると、熊本では地盤改良の幅が他の地点に比べて広く、深さも深いことが挙げられる。札幌の場合は平面道路であるために、無改良地盤がほとんど無改良のまま残されたと考えられるが、他の3地点においては高さ1~2mの盛土が施工されているため、無改良区間においても盛土による土載荷重によって圧密沈下が促進され、ある程度地盤改良が行なわれていたために改良区間との差があまり出なかったのではないと思われる。

- ② ネット、シート敷設についてはあまり振動軽減効果は期待できないと考えられる。
- ③ 振動軽減効果の見られた札幌・熊本の場合、5m地点で改良区間の L_{10} は無改良区間に比べて2~5dB小さくなっている。この減少量を土木研究所でまとめた距離減衰⁽¹²⁾⁽¹⁹⁾(L_{10} は倍距離で1~2dB減少する)を仮定した場合の環境施設帯と比較すると、ほぼ20mの環境施設帯を設けた場合に匹敵する。従って軟弱地盤改良工法は道路交通振動の防除という点から見て非常に有力な方法であろうと考えられる。
- ④ 今後は同一地点において地盤改良の前後の振動を測定して比較する必要がある。また改良の面積、深さの効果についても系統的な実験を行なう必要があると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 北海道開発局土木試験所土質研究室, "昭和49年度地盤振動調査研究報告," 1974
- (2) H. Sasaki, T. Kimoto, S. Noto, "Investigations on the Vibrations due to Traffic — Their Actual Condition, Prediction and Reduction," Proc. of the 8th IRF World Meeting, Tokyo, 1977
- (3) 飯高新一郎, 加藤泰典, 土屋喜代雄, "ケミコライムパイル工法による東海道新幹線30k460m付近の軟弱地盤改良工事について," 第3回土質工学研究発表会, 1968
- (4) 沢田健吉, 谷口栄一, 小笠原久, 館山悟, "軟弱地盤における道路交通振動調査(第1報)," 土木研究所資料第1151号, 1976
- (5) 沢田健吉, 谷口栄一, 小笠原久, "重錘落下による地盤振動実験," 第4回土木学会関東支部年次研究発表会, 1977
- (6) "道路土工 軟弱地盤対策工指針," 日本道路協会, 1977
- (7) B. O. Hardin, V. P. Drnevich, "Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves," Proc. of ASCE, SM7, 1972
- (8) S. S. Afifi, F. E. Richart, Jr., "Stress-History Effects on Shear Modulus of Soils," Soils and Foundations, Vol. 13, No. 1, 1973
- (9) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 吉田精一, "地盤の動的変形特性に関する実験的研究(I)——微小ひずみ

領域における砂の動的変形特性——, "土木研究所報告第148号, 1977

- (10) H. Lamb, "On the Propagation of Tremore over the Surface of an Elastic Solid," Phil. Trans. Roy. Soc. London, Series A203, 1904
- (11) F. E. Richart, Jr., J. R. Hall, Jr., R. D. Woods, "Vibrations of Soils and Foundations," Prentice-Hall, 1970
- (12) 沢田健吉, 谷口栄一, "道路交通振動の距離減衰について(第1報)," 土木技術資料 Vol. 20, No. 3, 1978
- (13) "第27回 建設省技術研究会報告," 建設省, 1973
- (14) "第28回 " " " " , 1974
- (15) "第29回 " " " " , 1975
- (16) 矢部正宏, 元田良孝, 橋本秀男, "軟弱地盤上の低盛土道路に関する調査報告書(1)," 土木研究所資料第1117号, 1976
- (17) 矢部正宏, 元田良孝, 橋本秀男, "軟弱地盤上の低盛土道路に関する調査報告書(2)," 土木研究所資料第1194号, 1977
- (18) 江崎正敏, 尾林一字, "川尻バイパス低盛土試験施工報告," 第26回建設省技術研究会, 1972
- (19) 土木研究所, "道路交通振動の対策に関する研究," 第31回建設省技術研究会, 1977
- (20) 成田信之, 桂樹正隆, "道路交通振動予測式," 土木技術資料 Vol. 20, No. 5 (予定), 1978

付 録

各地点の調査年月日を以下に示す。

調査地点	調 査 年 月 日
札幌	昭和52年8月6～7日
秋田	昭和51年11月16～17日
越谷	昭和51年8月23～26日(重錘落下) 昭和52年3月8～11日(試験車走行)
沼津	昭和51年11月24日
熊本	昭和52年12月13日