

九州灰土の特性に関する研究

—その3, 灰土の振動特性—

齋藤 二郎
木村 薫
若松 雍 継
後藤 洋 三

1. まえがき

わが国の高速道路は、火山国の特殊性を反映して、火山性粘性土上に建設される機会が多い。火山性粘性土は動的な攪乱により劣化する土性を一般に有するため、その土工に際し、多くの技術上の問題を提示してきた。

現在施工中の九州縦貫自動車道路福岡熊本線においても、熊本県植木町附近で灰土と呼ばれるこの地方特有の火山性粘性土上を通過する。今日までの研究、たとえば本研究その1およびその2で述べられているように、この灰土は攪乱により顕著な劣化を示す土性を有することが明らかにされてきた。しかるに、植木インターチェンジ附近の丘陵地帯では大規模な切土工事が行なわれ、灰土の切取面に直接上部路床工が行なわれる。このため路面から灰土面までが約80cmの断面構成となり、高速で路面を走行する自動車から伝達する動荷重により上部路床下の灰土が劣化し、路面を損傷させることが懸念される。

このような問題を解明するにあたって、従来の静的な試験と解析方法は適用できないと考えられ、新たに動的な解析方法を用いて検討することが必要とされる。動的な解析方法の骨子をなすものは、i)道路の動的応答解析(振動の測定、理論計算による応答解析)、ii)土の動的特性の解析(動的荷重が作用した場合の土の強度低下等)の二項目となるが、本報では九州縦貫道植木地区の灰土について行なった二種の動的特性試験について述べる。

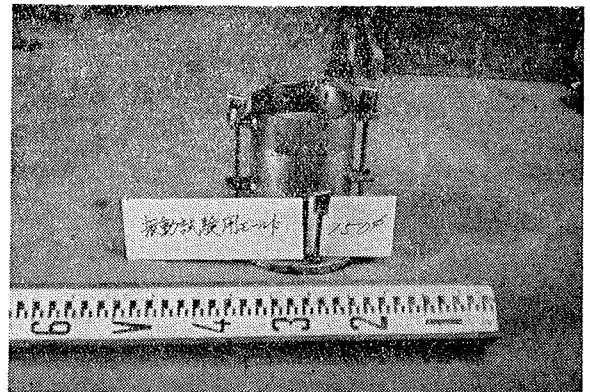
2. 室内加振動試験

2.1. 試験方法

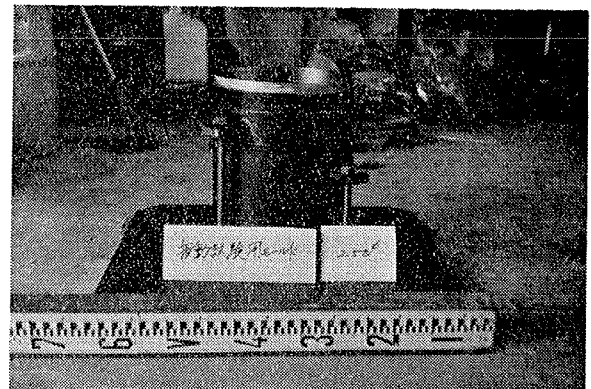
灰土の振動による劣化を室内において検討する一試験方法として、現場から採取した灰土を円筒モールドに詰め、これを振動台に取り付けて加振する試験を行なった。

モールドは図一1、一2に示すような円筒鋼製で $\phi=250$, $h=250$ および $\phi=150$, $h=170$ の2種を用いた。

モールドの内壁は厚さ5mmの発泡性合成ゴムをはり、試料土と鋼壁のなじみをよくした。また、円筒とベースプレートの取付部分にはパッキンをかまし、モールド内の水が外部に逃げないようにした。



図一1 モールド $\phi 150$



図一2 モールド $\phi 250$

地山から採取し運搬された灰土はほぐされある程度の攪乱を受けている。そのためこれをさらに乱すことなしに締固め、いかにして灰土地山と同じ条件の供試体をモールド内に再現するかが問題となる。本試験では図一3に示すように試料土を一回につき厚さ3cmにまきだし、その都度図一4に示す大型プレスで静的に締固めて、地山の密度に近い供試体の作製をこころみた。試験に用いた試料土は劣化の有無により2種にわけられたが、いずれも圧縮されると劣化が部分的に進行して水分が浮いてくるため大きな締固め圧はとれな

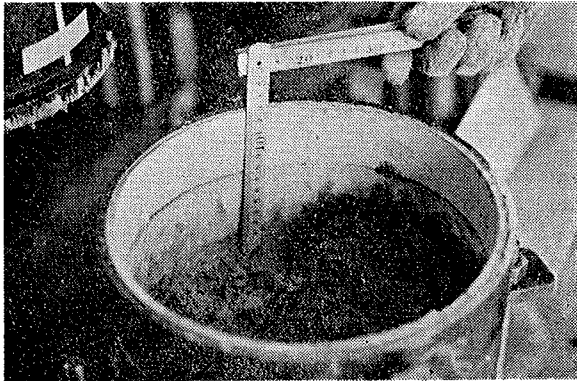


図-3 試料土のまきだし

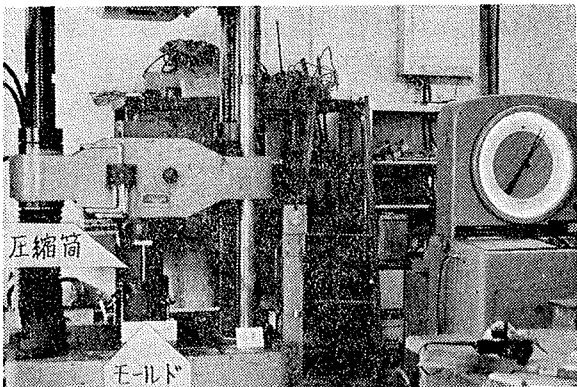


図-4 大型プレスによる締固め

かった。すなわち、最初から劣化していた試料土では、 0.25 kg/cm^2 、比較的劣化していなかった試料土の場合は 1.00 kg/cm^2 となった。

圧縮時間は各層とも初期的圧密がおちつく時間としたが、およそ5分間であった。

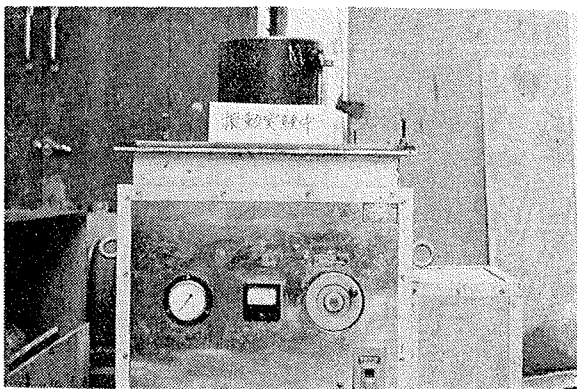


図-5 振動台

図-5には試験に用いた振動台を示す。この振動台は振動板の下に偏心マスのついたシャフトが一本取付けられたもので、モーターの回転をプーリーとベルトでこのシャフトに伝え、軟らかなゴムで支持された、板に振動を生じせしめるものである。シャフトが一本であるため振動は水平と鉛直の二方向に発生する。ま

た偏心マスの大きさは変えられないので加速度は回転数とともに増加する。図-6にこの振動台の加速度と回転数の関係を示す。振動板にモールドを取付けると、加速度は図-6より若干減少する。

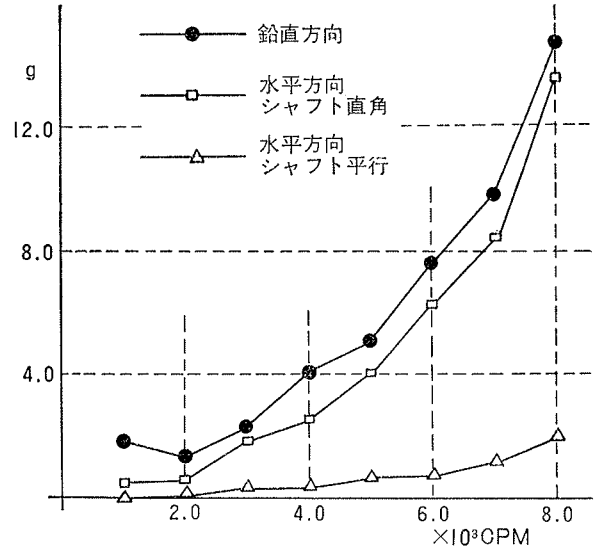


図-6

加振方法は、各供試体毎にモールドごと振動台に取付け、一定時間一定回転数の加振である。すなわち $\phi 150$ のモールドについては、最初から一部劣化している試料の場合、 $0 \sim 8,000 \text{ CPM}$ の間で段階を各2回、比較的劣化の少ない試料の場合、各1回、計19回の試験を行なった。 $\phi 250$ のモールドについては6段階を各1回、計7回の試験を行なった。試験内容をまとめると表-1の通りとなる。

記号	モールド径	試料土	加振時間	サイクル CPM	測定内容
—◇—	150	劣化試料	15分	0, 2, 3, $\times 10^3$ 4, 5, 8	qc, w qc, w
—□—	150	劣化試料	15分	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, $\times 10^3$	qc, rd, w
—△—	150	初期劣化のない試料	1時間	0, 2, 3, $\times 10^3$ 4, 5, 6	qc, pF, rd
—○—	250	初期劣化のない試料	1時間	0, 2, 3, $\times 10^3$ 4, 5, 6	qc, pF, rd, w

表-1

2.2. 試験結果

結果を図-7にまとめて示す。図中0 CPM 時の値は、作った供試体を全く加振しなかった場合で、 $2,000 \sim 8,000 \text{ CPM}$ 時の値は、それぞれ異なった供試体について、定められた時間一定の cycle で加振した後、 q_c pF 等を測定したものを示す。

測点数は、 $\phi=150$ のモールドの場合、 q_c ; 18点, pF; 8点, ω ; 4点

$\phi=250$ のモールドの場合

q_c ; 54点, pF ; 36点, ω ; 27点

で、図に示したものはこれらの平均値である。

q_c の測定値をみると 3000CPM で強度低下が生じている。その内一例は全体に右下りの傾向にある。

pF の測定値も 3000CPM がひとつのピークとなっていることがわかる。

密度の測定値には 3000CPM から増加の傾向を示す

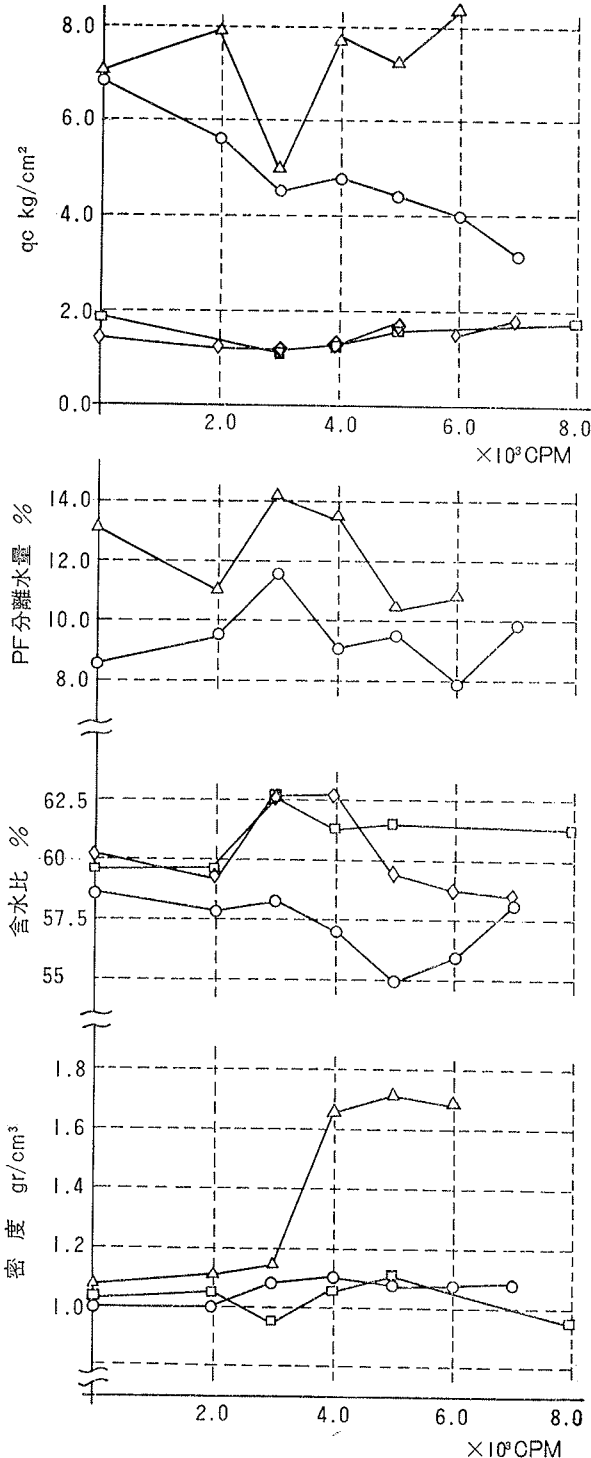


図-7

ものと、そのような傾向を示さないものがある。

以上の結果から、3000CPM (約 2.3g)以上になると灰土は劣化を始め、同時に密度も増加する傾向が明らかになった。

3. 灰土の動的繰返し载荷試験

本試験は灰土が大型自動車の走行による動的荷重を繰返し受けた場合、どのような影響を受けるか調査する目的で考案した試験方法である。すなわち、自動車の荷重に等しい起振力を有する振動杭打機を円型の载荷板に取り付け、振動の 1 cycle を自動車の 1 回の走行に等価して、上部路床上から载荷する。

3.1. 動的繰返し载荷装置と自動車荷重との関係

载荷装置の概略断面を図-8に、外観を図-10に示す。ロードセルは起振力を測定するものである。ウェイトは運転時の装置のタンピングを防止するためのものである。载荷板の大きさは図-9に示す土圧分布の考え方に従い、 $\phi 150\text{cm}$ ($\alpha=45^\circ$ と仮定)の鋼製円板とした。振動杭打機の起振力と回転数(振動数)は、実際に自動車が行った場合に灰土面に生じる载荷重量と载荷速度に合わせて決める必要がある。

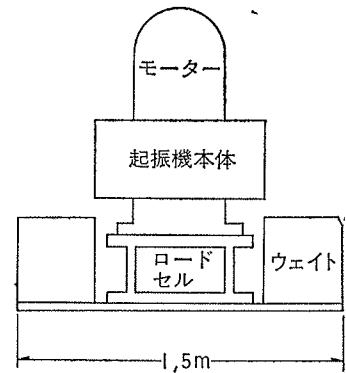


図-8

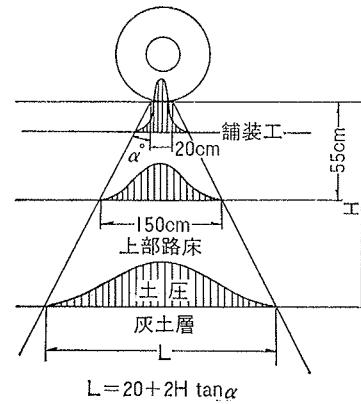


図-9

大型自動車が走行した時、路面下約 0.8m の灰土面上に作用する鉛直土圧と鉛直加速度を実測した。その代表的なものを図-11を示す。動的繰返し载荷試験

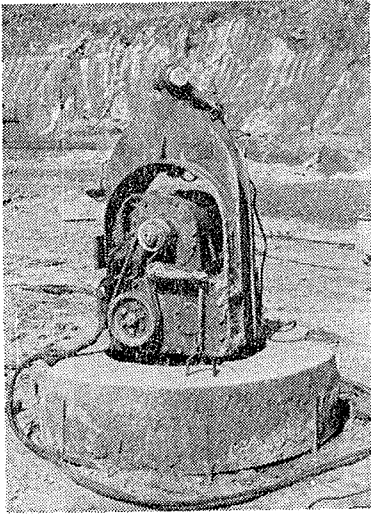


図-10 載荷装置

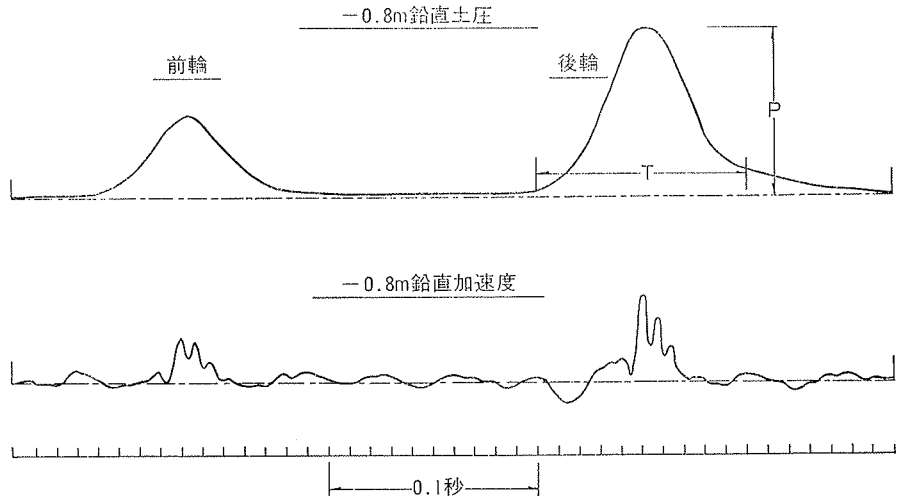


図-11 路面下土圧加速度測定記録 車速 65km/h

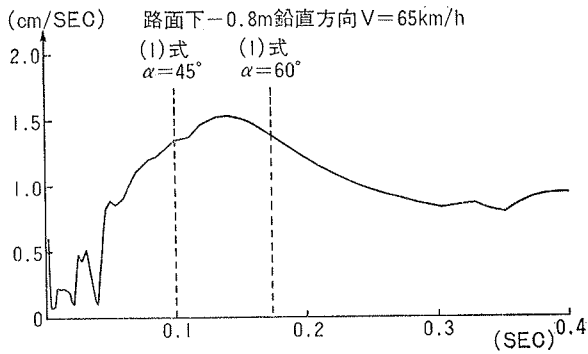


図-12 クーリエ速度スペクトル図

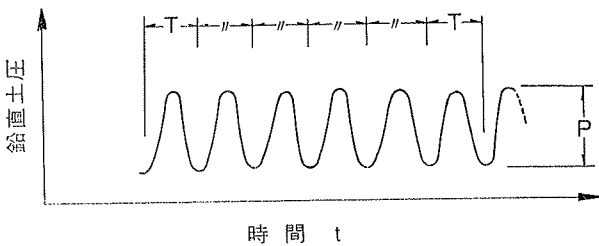


図-13 動的繰返し載荷

では、この鉛直土圧の波形の間隔をつめ、図-13に示すように連続して作用させる。載荷速度を規定する周期Tは、図-5の加速度記録に含まれる周期成分の内、代表的な周期に合致させる必要がある。この周期Tを求めるためには、図-5の加速度記録をフーリエ解析し図-12の速度スペクトル図を作って、そのピークを示す周期を取る。

他方この周期Tは、土圧の分散を考慮することにより図-4を参照して次の略算式でも求めることができる。

$$T \doteq \frac{L}{V} = \frac{0.20 + 2H \tan \alpha}{V} \dots\dots\dots(1)式$$

ここに V; 自動車の速度 α; 荷重分散角
H; 試験の対象となる地層の深さである。

(1)式の計算値を図-6と対応させると $\alpha=45^\circ \sim 60^\circ$ が得られ、これは分散角としてこれまで採用されてきた値と一致する。

なお、間歇的に作用する自動車荷重を連続繰返し荷重におきかえる過程で、灰土の時間的な強度回復の影響が無視されてしまっている点に注意しなければならない。しかるに、この現象には解明されていない問題が多く、現時点で適当な評価をすることは不可能である。

3.2. 試験方法

試験場所として、植木インターチェンジ内の切土区間で灰土が一樣に露出している所を選び、図-14の試験地盤を造成した。この地盤に図-15に示す測定計器

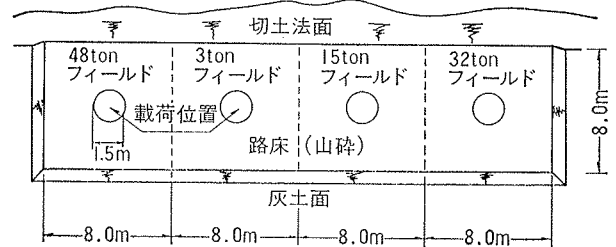


図-14

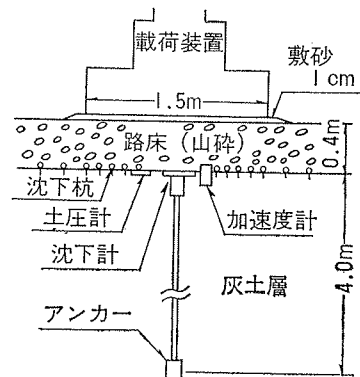


図-15

沈下、土圧、加速度

沈下抗の残留沈下

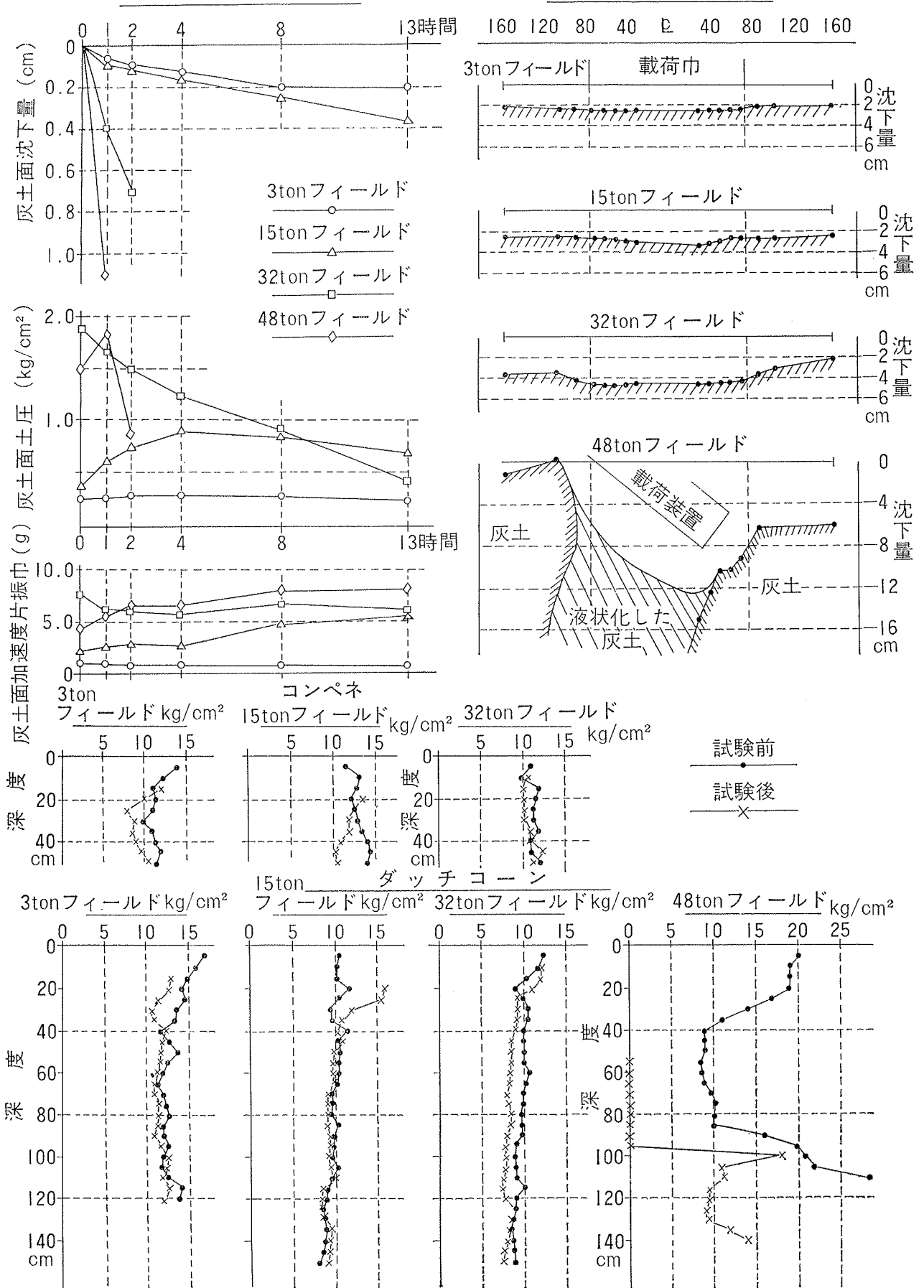


図-17

を埋込み、上部路床として切込砕石を 40cm 施工した。

載荷方法は 32ton, 48ton, 15ton, 3ton の起振力の順に、それぞれ 17Hz で 106 回の繰返し載荷 (約13時間) を行なった。測定は 0, 1, 2, 4, 8, 13の各時間について行ない、測定内容は灰土面上の加速度、土圧、沈下、路床表面の沈下、および起振力である。地盤に作用する起振力は、ロードセルの値と、ウエイトの加速度から求めた慣性を加算して求めた。また試験の前後に 1 フィールドにつきダッチコーン 2 点、コンペネトロメーター 6 点の測定を行なった。さらに沈下杭をセットして灰土面の残留沈下を調べた。

3.3. 試験結果

載荷装置を運転し土圧と加速度を測定して自動車荷重との相似性を調べると、起振力 3ton では図-7 に示すような土圧カーブが得られた。しかし起振力 15ton 以上では装置の自重が不足し、タンピングを起したためきれいなカーブは得られなかった。

試験の測定値をまとめて図-10に示す。3ton および 15ton フィールドの測定値をみると、沈下は若干生じているが、試験前後の q_c の変化はなく劣化は認められない。15ton フィールドでは表面近くの q_c が上昇しているが、加速度および土圧が時間とともに上昇していくことをも考慮すれば、これは締固めの効果があったものと考えられる。

32ton フィールドでは、 q_c の測定値から示されるように 1m 以上の深さにわたって劣化が進行した。この現象は土圧が時間とともに減少したことから説明される。また、試験中に灰土の温度が上昇し、試験終了時には 45°C (外気温は約 15°C) になっていた。

48ton フィールドでは、試験中に灰土が完全に劣化して液状化した。そのため試験開始後約 8 時間で載荷装置は不等沈下をはじめ、試験終了時には液化した灰土が上部路床上に吹き出して図-16の状態となった。この時灰土面の温度は 57°C まで上昇している。また凝灰岩を含んでいたため、他フィールドより大きな初期値を示した q_c も試験後は 0 となっている。

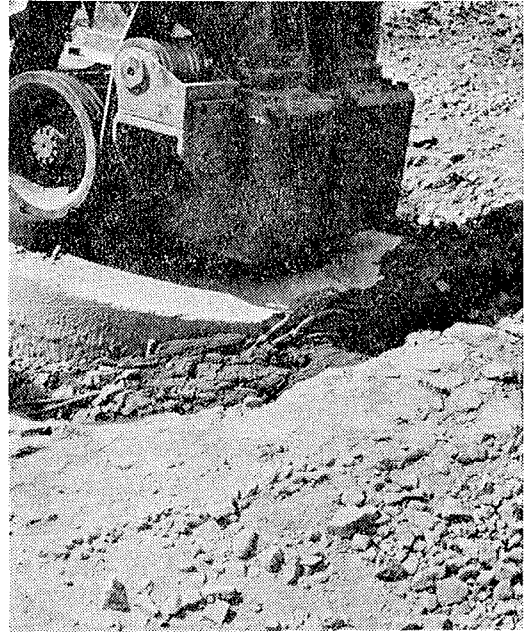


図-16

4. むすび

以上の試験結果から動的荷重に対する灰土の劣化特性の一面が明らかになった。一方、高速道路上を走行する大型トラックの荷重は、後輪片側で約 10ton であり、路床直下に発生する加速度は数百ガルのオーダーであることが知られている。したがって灰土上に高速道路を建設しても、動的な影響による灰土の劣化は生じないと考えられた。

最後に、本試験は日本道路公団福岡支社、熊本工事事務所の依頼で行なったものであり、本報文をここに発表させていただくことを感謝いたします。

参考文献

- ・齋藤他 九州縦貫道福岡熊本線植木地区
灰土路床の動的特性試験
大林組技研報告書
- ・本報 その 1) および その 2)