

IV-72 道路の動的載荷試験

日本道路公団 土肥正彦 持永龍一郎

大林組技研 斉藤二郎 木村 薫

○若松雍継 後藤洋三

1 まえがき

現在、建設中の九州縦貫自動車道のうち熊本県植木地区は阿蘇火山の噴出物である火山屑石岩、通称灰土と呼ばれる火山性土によって覆われている。灰土の土質工学的な特性として、練返しによる強度低下が著しく関東ロームのなかでも特に悪質とされている愛鷹ロームの比でない。

灰土の主要粘土鉱物はハロイサイトであり地山不かく乱の状態では**粒子結合力の強い**骨組構造をしていると推定されている。したがって、地山不かく乱の状態においては比較的強度が大きいものの、いったん練返すと骨組み構造が破壊され関東ロームに比べて約半分以下の自然含水比であるにもかかわらず大巾な強度低下を生ずる原因の一つになっている。灰土の骨組み構造の破壊要因としては土工事の施工機械による練返しその他、高速道路完成後における**車両**交通による振動伝ばんの影響が考えられる。特に振動による影響については先年実施された植木試験盛土ならびに国道3号線の舗装調査の結果などから灰土が振動により劣化しやすい土質と判断された。

近年、車輛は、ますます大型化するとともに交通量も激増の傾向にある。したがって高速道路としての機能を十分に果すためには高速で走行する車輛から伝達される振動を適切に評価し設計および施工に反映することが必要とされる。しかし、現時点ではこの問題に対する満足できる解決策もなく在来の静的な試験方法や理論に頼った設計や施工が行なわれているに過ぎない。そこで本試験は、灰土が振動により劣化が生ずるかどうかが、もし劣化が生じるとすれば切土面灰土上の路床構造をどのようにするべきか、この2点を主目的とし室内および現場試験を行なった。試験時の条件設定などに多くの問題点を有するものであるが、灰土の動的な性質に関し2～3の結果が得られたので報告する。

2 室内試験

灰土の振動による劣化を検討するため地山で採取した代表的な試料土を円筒型モールドに詰め振動台により加振した。モールドは $\phi 250$ 、 $h=250$ と $\phi 150$ 、 $h=170$ (CBR用モールド)の2種類を用いた。モールドの内壁は厚さ5mmの発泡性合成ゴムをはり振動時の側壁の影響を軽減させる方法とした。またモールド底部内面にはパッキンをかまし振動中、試料土からの遊離した水の水洩れを防いだ。

試料土の締固めは静的な方法とし、モールド内に灰土を一層3cm程度にまき出し0.25 $\times$ 10 $\times$ 10 $\times$ の圧力で約5分間(圧縮沈下が落書き時間)圧縮して10層($\phi 150$ モールドの場合)～15層($\phi 250$ モールドの場合)の締固めを行なった。試料土の締固めにはできるだけかく乱を少なくし、しかも地山密度に近い供試体を作製することに留意した。

上記の方法によって作製した供試体はモールドに詰められた状態のまま振動台に取付け一定の時間加振して振動後の劣化の有無を調べた。試料土は運送途中すでに劣化を生じて軟化したものもあり、実験時、試料土の性状に応じて実験方法も多少変えた。表-1に実験内容を示す。また試験に使用した振動台の加速度と回転数との関係を図-1に示す。

試験結果を図-2に示す。図中の0cycle時の値は供試体作製直後のまだ加振していない状態を示すものである。2000~8000CPMに対応する諸数値は、それぞれ異なる供試体について所定の時間、一定のCycleで加振した後の測定結果である。

測定は、一測点につきqc18点、PF8点、W4点の平均でプロットしてある。また、 $\phi 250$ モールドの場合は一測定につきqc54点、PF36点、W27点の平均値をプロットした。

ここで云うPFとは遠心分離法による測定値であり、PF32で遠心分離した際の試料土の遊離水分量を測定した結果示すものである。また、qc測定はコーン先端面積3.2cm²のけい帯型コーンペネトrometerを使用して供試体貫入深度2.5cmごとの貫入抵抗を測定し、その同貫入抵抗値を平均してグラフ上にプロットした。

試料	材料	加振時間	サイクル CPM	測定内容
○	150 汚泥材料	15分	0.2, 3, 4, 5, 6	qc, w
□	150 汚泥材料	15分	0.2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	qc, Id, w
△	150 汚泥材料	1時間	0.2, 3, 4, 5, 6	qc, PF, Id, w
◇	250 汚泥材料	1時間	0.2, 3, 4, 5, 6	qc, PF, Id, w

表-1 実験の内容

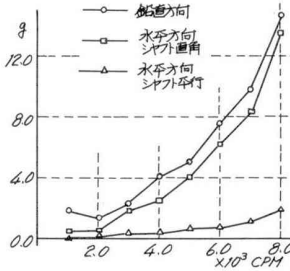


図-1 振動台の特性

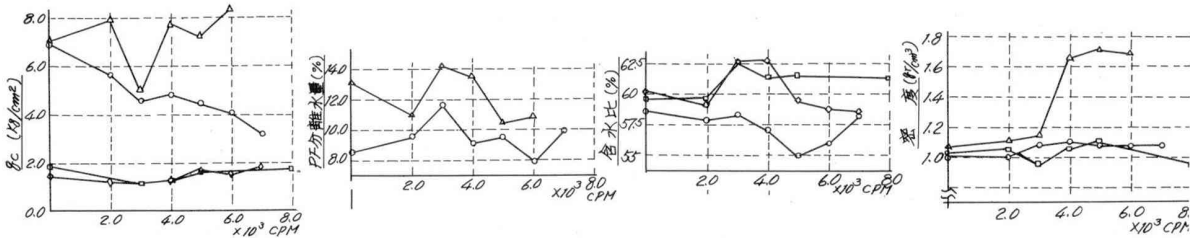


図-2(a) qcとCPMとの関係 図-2(b) PFとCPMとの関係 図-2(c) 含水比とCPMとの関係 図-2(d) 密度とCPMとの関係

図-2の実験結果から比較のかく乱を受けていなかった試料土の試験については、3000CPMで(全振巾約4g)で灰土の劣化が認められる。すなわち、qcの低下、PF分離水量の増加がみられる。3000CPM以上では強度が若干の増加傾向を示している。このことは、4000CPM以上での密度の増加($\phi 150$ mmモールド試料)を考慮すると締め固めによる効果と考えられる。一方、比較のかく乱を多く受けていた試料土についてはCycleの違いによる明確な傾向が見出せなかった。

3 現場試験

試験は切土部上部路床上より走行時の自動車荷重に相応する繰返し荷重を直接載荷し灰土面の強度低下ならびに変形の状況を調査しようとするものである。繰返し載荷装置には図-3に示す構造のものを考案して試験に用いた。

図中のロードセルは起振力を測定するためのものであり、ウェイトは運転時の装置のバウンドを防止するためのものである。載荷板の大きさは、自動車走行時の舗装面下55cmの深さにおける荷重の分布形状が15mの円形と考え $\phi 150$ cm厚30mmの鋼製円板とした。また、振動源には、それぞれ全振巾で3, 15, 32および48tの起振力を有する4種類の振動杭打機(日平産業製)を使用した。

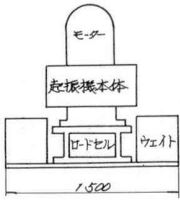


図-3 繰返し載荷装置



写真-1

振動杭打機の回転数は、実際に自動車が行った場合の載荷速度に合わせて決める必要がある。舗装面下約1mの地盤中に生ずる鉛直土圧の分布は図-4の波形が生ずるものと考えられる。現場試験ではこの波形の間隔をせばめて図-5に示すような連続的な正弦波形に置きかえて試験を行なった。

繰返し載荷速度を規定する周期は自動車の速度をV、荷重の分散角度をα、問題とする地層の深度をH、とすればTは次の関係にある。

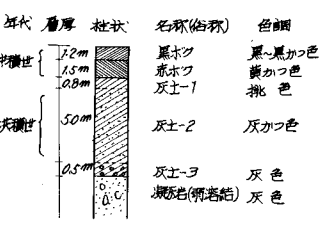
$$T = \frac{L}{V} = \frac{20 + 2H \tan \alpha}{V}$$

以上、土中応力の問題に触れたが、土中の加速度についても実際に類似させる必要がある。自動車の走行によって地盤内に生ずる加速度は非常に複雑であり、これらをすべて満足させた上で実験をすることは不可能である。すなわち、振動杭打機の回転数と起振力との関係から発生する加速度は一意的に決まってしまうので、結局、自動車が走ったときの動的変位にもなって生じる加速度しか発生させることができなかった。

3.1 試験フィールドの配置

試験場所は本線内切土面路床区間とし、灰土が一様に分布している代表的な場所を選び4ヶ所の試験地盤を造成した。

図-6に灰土分布地区の土質柱状に表-2に灰土の土質力学的特性を示す。



試験名	灰土-2	試験名	灰土-2
比重	2.53	地山比 %	1.4
自然含水比 (%)	74	地山不排水比	1.7
粒 砂	13	排水比 E	0~0.2
シルト	65	地山不排水比	6~10
粘土	22	排水比 E	0.5~1.0
分類	粘土質シルト	Wopt	44
LL (%)	89	Idmax	1.10
PL (%)	59	不排水比	1.1~1.2
FI (%)	40	排水比	26~
主要鉱物	ハロサイト	CI Ca	0.78
注: E=5.143%		CI Mg	26.2
2.5%液限	35.56回		

試験地盤は1区かく8m×8mであり、繰返し載荷装置は試験フィールドの中央に設置し試験を行なった。

表-2 灰土の土質特性

切土面灰土上の路床構造には厚さ40cmの山砕施工を計画した。上部路床上の載荷装置セットには敷砂を用い装置と地盤とのなじみを良くするようにした。

繰返し載荷方法は起振力として32t,48t,15tおよび3tを選び、それぞれ17CPSで10⁶回の繰返し載荷を行なった。繰返し載荷時の測定は灰土面の加速度、土圧、沈下、路床表面の沈下ならびに繰返し載荷時の起振力である。これらの諸観測は繰返し載荷を開始し0

1, 2, 4, 8および13の各時間ごとに行なった。また、繰返し載荷前後の灰土面の強度変化を調査するため、ダッチコーンおよびコーンペネトロメーターによるqc調査を実施した。この他にも、灰土面の変形調査を行なうため図-8に示す位置に杭を設置し試験前後の杭頭のレベリングを行なった。

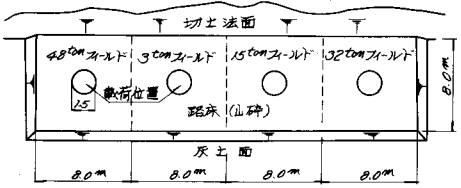


図-7 試験フィールドの配置

3.2 試験結果

試験結果を図-9に示す。起振力3 tおよび15 tの試験フィールドでは灰土地盤の強度低下は認められない。起振力15 t試験フィールドでは灰土地盤表層部のqc増加が認められる。この原因として締固めによる効果が考えられる。すなわち、繰返し載荷時の経過とともに加速度および土圧の増加が認められる。起振力32 t試験フィールドではqcの調査結果から灰土地盤がかなりの深度にまで強度低下を生じた。

本試験の結果から地盤の劣化を生じた際の地盤の動的な性状は、動的土圧の低下、加速度の減少が認められる。したがって、土の劣化等を問題とする際は、これら動的な諸性質を測定することにより地盤の力学的性状やその他の諸状況を判断することができると考えられる。

起振力48 tフィールドでは試験中に灰土が完全に劣化し液状化した。このため試験開始後8時間で載荷装置が不等沈下し実験を中止した。この時の灰土面の温度57℃まで上昇していた。

繰返し載荷試験結果を設計および施工に適用するには実験の諸条件を考慮した上で利用しなければならない。試験結果より、実際の自動車荷重は大型車輛の場合、8 t程度と10⁶回の繰返し載荷(100万台の交通)に対して上部路床の変形が3 mm弱と推定される。また、この荷重に対する灰土地盤の強度は低下しないと考えられる。したがって、山砕40 cm厚さの上部路床構造で十分安全と推定された。

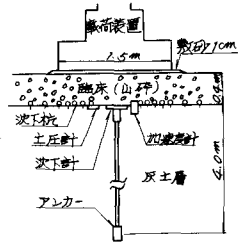


図-8 計器の配置

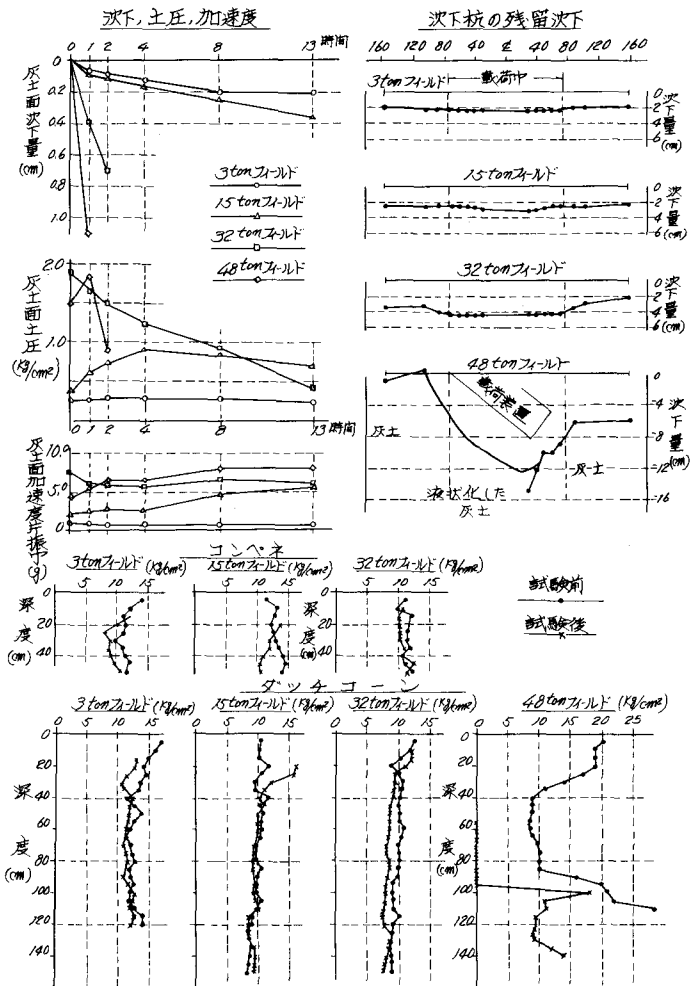


図-9 繰返し載荷試験結果

参考文献 (1) 日本道路公団 土肥正彦他 九州灰土の動的載荷試験 昭和45年関東ロームに関するシンポジウム