

15. 簡易支持力測定手法の開発（その１）

浅田 毅
溝口 義弘

要 旨

構造物の基礎，道路の路床部などにおける地盤の支持力を求めるには、一般に平板載荷試験，現場 CBR 試験が用いられているが、それらの試験は煩雑な上に大きな反力を必要とし、また結果が判るまでにかなりの時間を要するなど種々の問題があった。

それらの試験に替わる、あるいは補完する比較的簡易な試験方法として土研式動的貫入試験，球体落下試験などが用いられている。

本報告は、ランマーを地盤に自由落下させたときに生じる衝撃加速度と土の強度定数を相関させる応答加速度法が支持力測定手法としてどのように適応できるかを、簡易支持力測定装置を用いて検討した結果について、述べるものである。

キーワード

応答加速度法／簡易支持力測定手法

目 次

1. はじめに
2. 簡易支持力測定手法について
3. 簡易支持力測定手法の適用例
4. ま と め
5. あとがき

15. DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED METHOD FOR MESURING BEARING CAPACITY OF THE GROUND (Part 1)

Tsuyoshi Asada
Yoshihiro Mizoguchi

Abstract

In order to obtain the bearing capacity of the ground for foundations and road subgrades, plate bearing tests and field CBR tests are generally employed. However, these tests are complicated and, in addition, they require a large reaction force and long time is needed before conclusions can be drawn.

To substitute for or complement these tests with relatively simple measuring systems, dynamic cone penetration tests developed by the PWRI and drop-ball CBR tests have conventionally been employed.

This paper reports on the results of a study conducted to verify whether the response acceleration measuring system, which correlates impact acceleration generated with free-fall of a rammer against the ground and soil strength parameter, is applicable for a measurement of bearing capacity while using simplified measurement system for bearing capacity.

1. はじめに

対象地盤が構築しようとする構造物を支える地盤支持力を持っているかどうかを判定する方法として、平板載荷試験、現場CBR試験などがあるが、それらの試験は実施するのに煩雑で大きな反力を必要とし、しかも、試験結果が分かるまでかなりの時間を要するなど問題点があった。特に、直接基礎で比較的小規模な構造物の地盤支持力を判定するにはいささか大がかりな試験方法であり、以前からこれらの試験に替わる測定手法の開発が望まれていた。

当社では、試験が簡単に行え、その結果がすぐに分かる方法として、ランマーを地盤に自由落下させたときの衝撃加速度を利用した「応答加速度法」に着目し、その測定装置の開発と研究を行ってきた。本報告は、支持力測定装置とその適用性などについて述べるものである。

2. 簡易支持力測定手法について

2.1 測定原理および測定装置の構造

測定原理は、ランマーを地盤に自由落下させたときに生じる衝撃加速度を土の密度や地盤反力係数などの強度指数と実験的に相関させる「応答加速度法」である。

図-1に測定装置の構造図を示す。直径50mm、重量4.5kgfで加速度計を内蔵したランマーを高さ45cmから地面に自由落下させる構造となっており、加速度計で測定した衝撃加速度の最大値をディスプレイ上にデジ

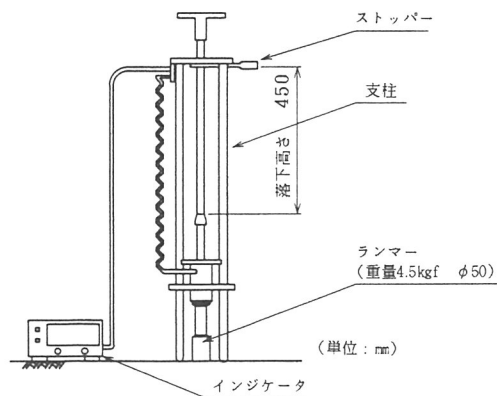


図-1 測定装置の構造図

タル表示するシステムとなっている。

2.2 衝撃加速度の波形

この測定器を用いて砂地盤と粘性土地盤の2種類の地盤について測定したときに、ランマーに内蔵された加速度計から出力された衝撃加速度の波形の一例を図-2に示す。

これらの波形は砂地盤と粘性土地盤の場合で形状に多少の差異は見られるが、ランマーが地盤に衝突するとともに立ち上がり、少し遅れて最大値が現れ、その後減衰する形状となっている。

2.3 土質による衝撃加速度の影響範囲

6種類の土質について、直径と高さを変化させた供試体を作製し、それらの衝撃加速度を測定して、この測定器がどの程度の範囲まで測定できるかを調べた。

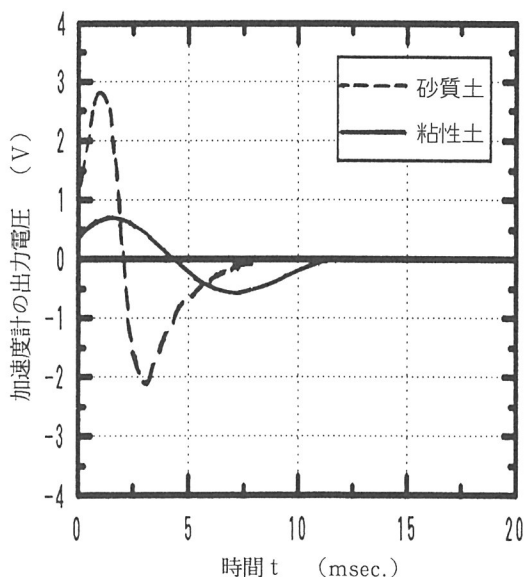


図-2 衝撃加速度の波形

2.3.1 試料の物理特性

試験に使用した材料土を表-1に示す。材料土は、材質ができるだけ均一なもので手に入りやすいものを用いた。

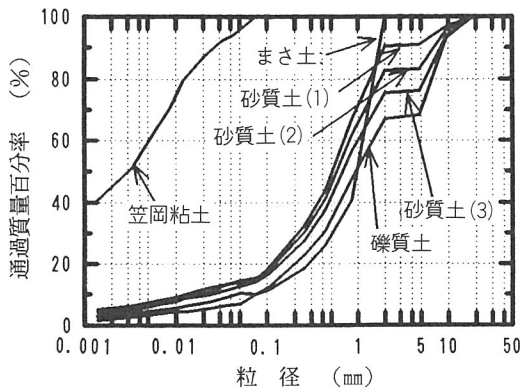
表-2にそれらの物理特性を、図-3に粒度分布を示す。砂質土(1)、(2)、(3)および礫質土は大阪府枚方産のまさ土と淀川産の礫を混合した材料であるので一部で階段状になっているが、締固め特性は良好であった。

表－１ 使用材料

試 料	使 用 材 料
笠岡粘土	岡山県笠岡産の粘土
ま さ 土	大阪府枚方産のまさ土
砂質土(1)	同上のまさ土と淀川産の礫を混合比10:1で混合
砂質土(2)	同上のまさ土と淀川産の礫を混合比10:2で混合
砂質土(3)	同上のまさ土と淀川産の礫を混合比10:3で混合
礫 質 土	同上のまさ土と淀川産の礫を混合比10:5で混合

表－２ 試料の物理特性

試 料	日本統一分類 による分類	土粒子 の密度	液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}
笠岡粘土	{C}	2.564	53.7	16.3	—	—
ま さ 土	{S}	2.625	NP	NP	26.1	5.5
砂質土(1)	{SF}	2.717	NP	NP	41.7	3.6
砂質土(2)	{SF}	2.696	NP	NP	53.1	5.0
砂質土(3)	{SF}	2.691	NP	NP	33.3	3.0
礫 質 土	{GF}	2.689	NP	NP	46.7	3.8



図－３ 粒度分布

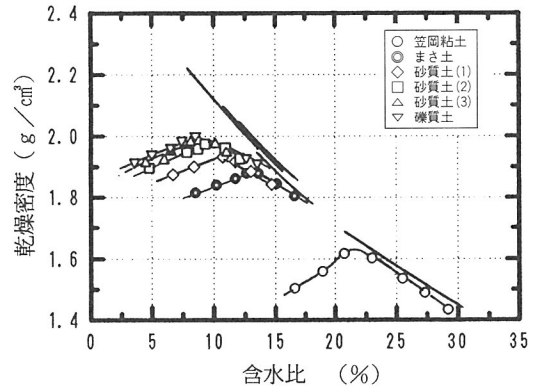
2.3.2 試料の締固め特性

各材料土の締固め試験の結果を表－３と図－４に示す。その中で砂質土(1), (2), (3)および礫質土では、礫の混合率が大きくなっていくにつれて最大乾燥密度は大きくなり、最適含水比が低くなっていることが分かる。

表－４は、衝撃加速度の影響範囲を調べるのに用いた各材料土の締固め状態を示し、それらの締固め度は影響範囲を把握しやすいようにほぼ100%に設定した。なお、締固め度はそれぞれの材料の最大乾燥密度に対する各試料の乾燥密度の百分率を示す。

表－３ 締固め特性

試 料	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	最適含水比 w _{opt} (%)
笠岡粘土	1.619	21.4
ま さ 土	1.882	13.2
砂質土(1)	1.932	10.5
砂質土(2)	1.974	9.9
砂質土(3)	1.990	8.9
礫 質 土	2.000	8.5



図－４ 締固め曲線

表－４ 試料の締固め度

試 料	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含 水 比 (%)	締 固 め 度 ρ_d / ρ_{dmax} (%)
笠岡粘土	1.619	20.0	100.0
ま さ 土	1.917	9.0	101.9
砂質土(1)	1.923	9.5	99.5
砂質土(2)	1.974	8.5	100.0
砂質土(3)	1.960	7.5	98.5
礫 質 土	2.000	7.0	100.0

2.3.3 衝撃加速度の影響範囲

６種類の土質について、高さを一定にして直径を数種類に変化させた供試体の衝撃加速度を測定した結果を、図－５に示す。

笠岡粘土においては、供試体の直径の大きさに関係なく衝撃加速度は一定の値を示している。また、まさ土、砂質土(1), (2)では、供試体の直径がφ25cm以上になると衝撃加速度はほぼ一定値になっており、砂質土(3)、礫質土ではそれぞれφ35cm, φ45cmで一定値に収束している。

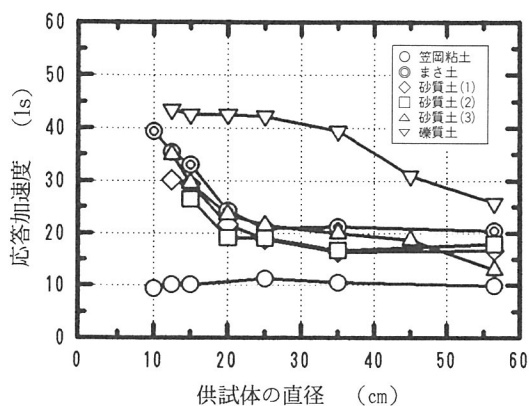


図-5 応答加速度の変化(高さ一定)

図-6は、供試体の直径を $\phi 45\text{cm}$ として高さを数種類に変化させた供試体の衝撃加速度を測定した結果をプロットしたものである。

笠岡粘土においては、供試体の高さが10cm以上になると衝撃加速度はほぼ一定値を示している。また、まさ土では15cm以上で、砂質土(1)、(2)、(3)、および礫質土では20cm以上で一定値に収束している。

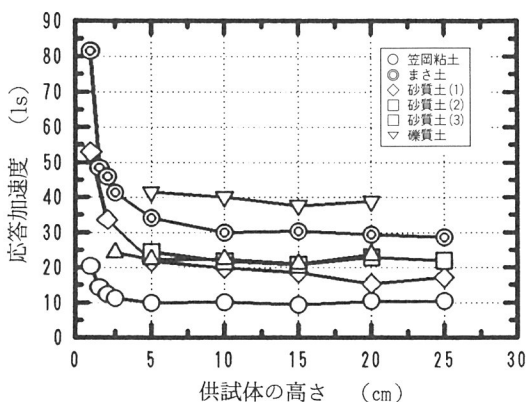


図-6 応答加速度の変化(直径一定)

以上の測定結果をまとめると表-5のようになる。礫の混入率が大きくなると、衝撃加速度の影響がおおよぼ範囲は直径方向、深さ方向ともに広がっていることが分かる。

表-5 影響範囲

試料	影響範囲 直径×高さ(mm)
笠岡粘土	$\phi 100 \times 100$
まさ土	$\phi 250 \times 150$
砂質土(1)	$\phi 250 \times 200$
砂質土(2)	$\phi 250 \times 200$
砂質土(3)	$\phi 350 \times 200$
礫質土	$\phi 450 \times 200$

3. 簡易支持力測定手法の適用例

地盤の支持力特性値と衝撃加速度の相関性を調べるために実験フィールドを造り、そのフィールドにおいて平板載荷試験、現場CBR試験、現場密度試験および衝撃加速度測定試験の原位置試験を行った。

3.1 盛土材の物理特性および締固め特性

実験フィールド用盛土材の物理試験の結果を、表-6に示す。盛土材は大阪府枚方産のまさ土で、土粒子の密度は 2.703 g/cm^3 、自然含水比は10.7%である。図-7に、盛土材の粒度分布を示している。また、締固め試験の結果、最大乾燥密度は 1.947 g/cm^3 、最適含水比は11.9%である。

表-2 試料の物理特性

試料	日本統一分類 による分類	土粒子 の密度	液性限界 WL(%)	塑性限界 WP(%)	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}
まさ土	{SF}	2.703	NP	NP	25.2	2.66

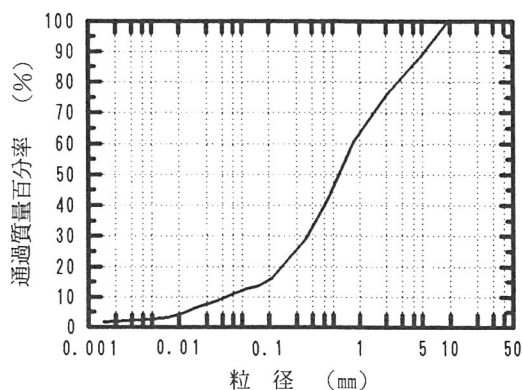
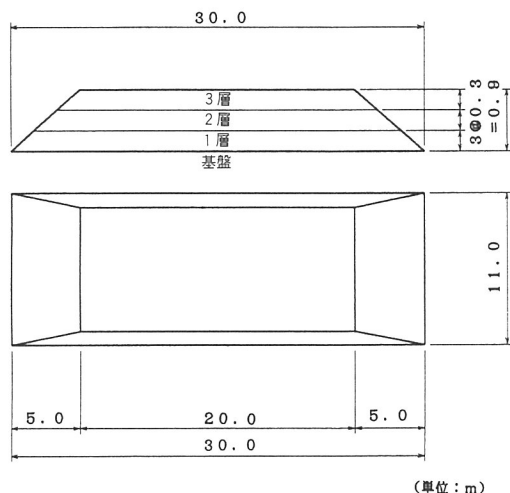


図-7 盛土材の粒度分布

3.2 実験フィールドの形状および施工方法

実験フィールドの形状を図－8に示す。施工方法は、盛土の締固め度が95%以上になるように、盛土材を厚さ35cmで巻き出し、その上を4 tの振動ローラーで4回以上転圧した。



図－8 実験フィールドの形状

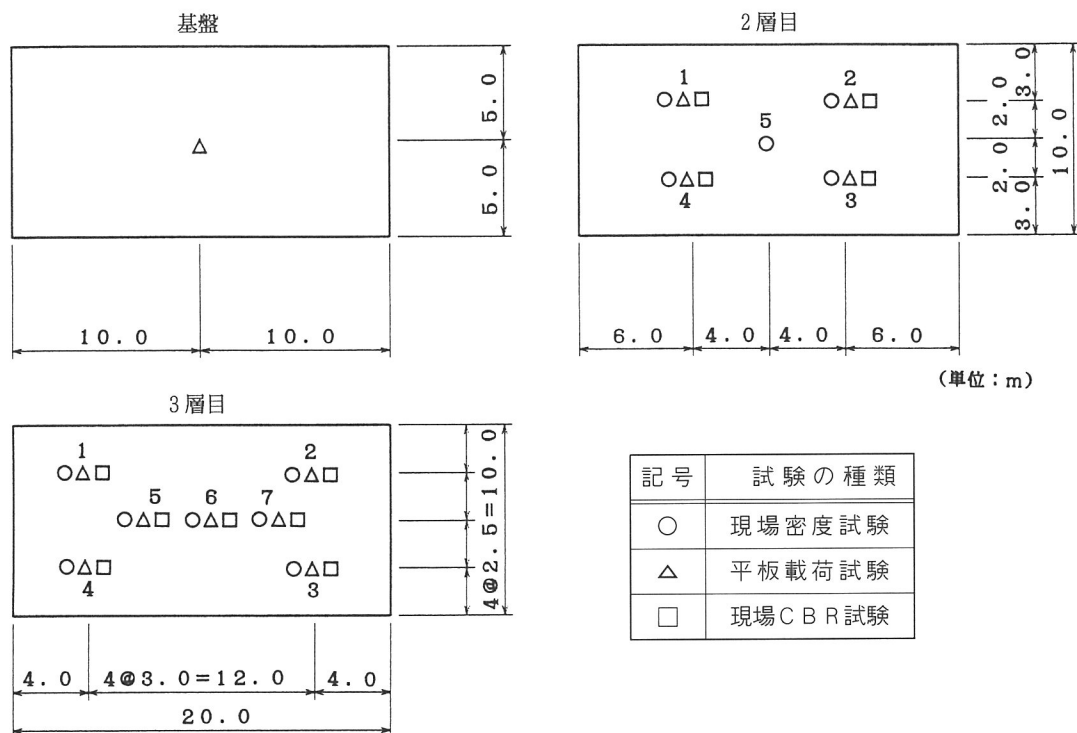
3.3 原位置試験の結果

実験フィールドにおいて行った原位置試験の測定位置を図－9に、試験結果を表－7に示す。現場密度試験の結果から、盛土の第2層目と第3層目の締固め度はそれぞれ平均で95.5%、100.2%であり、第3層目の締固め度が第2層目のそれに比べて高くなっている。

また、それを反映して現場C B R値、地盤係数および応答加速度は、それぞれ第3層目における値が第2層目における値に比較して、平均的に高い値を示している。

図－10は、縦軸に応答加速度を、横軸に現場C B R値を取り、測定値をプロットしたものである。この中で応答加速度と現場C B R値の一次回帰式を求めると相関係数は0.84であり、両者の間に高い相関性が認められる。

また、応答加速度を縦軸に、地盤係数を横軸に取って測定データをプロットしたものを図－11に示す。この中で求めた一次回帰式の相関係数は0.73であり、応答加速度と現場C B Rとの関係ほどではないにしても両者の間に高い相関性が認められる。

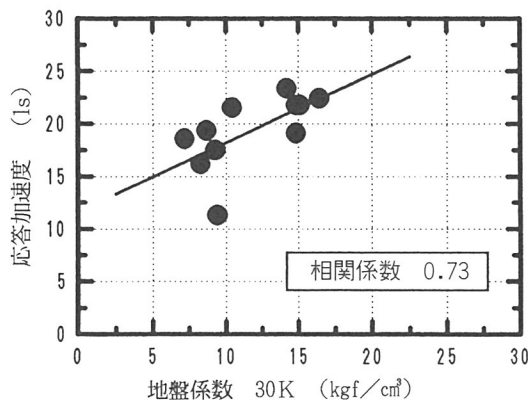
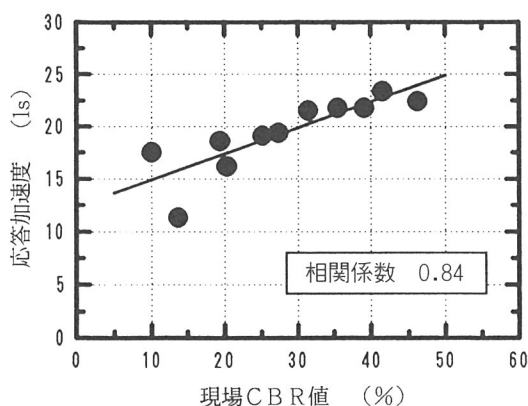


記号	試験の種類
○	現場密度試験
△	平板載荷試験
□	現場C B R試験

図－9 原位置試験の位置

表-7 原位置試験の結果

層別	No.	現場密度試験			現場 C B R	K30 (%)	衝撃 加速度 (1 s)
		乾燥密度 (g/cm^3)	含水比 (%)	締固め度 (%)			
基 盤		—	—	—	—	5.6	—
2 層目	1	1.918	10.1	98.5	19.4	7.2	18.6
	2	1.830	11.3	94.0	10.0	9.3	17.5
	3	1.855	9.3	95.3	25.1	14.8	19.1
	4	1.859	9.4	95.5	27.3	8.7	19.4
	5	1.831	9.1	94.0	—	—	—
	平均	1.859	9.8	95.5	20.5	10.0	18.7
3 層目	1	1.979	9.5	101.6	13.7	9.4	11.3
	2	1.984	9.6	101.9	31.3	10.4	21.5
	3	1.895	9.2	97.3	35.4	14.8	21.8
	4	1.964	10.8	100.9	20.3	8.3	16.2
	5	2.002	9.5	102.8	41.5	14.2	23.4
	6	1.922	9.0	98.7	46.2	16.4	22.4
	7	1.907	9.1	97.9	39.1	15.1	21.8
	平均	1.963	9.5	100.2	32.5	12.7	19.8



4. まとめ

今回行った実験の結果、以下のことが確認された。

- ①ランマーを地盤に落下させたときに得られる応答加速度と現場 C B R 値あるいは地盤係数との間には高い相関性がある。
- ②応答加速度の影響する範囲は土質によって多少異なり、礫の混入率が大きくなると直径方向、深さ方向ともに広がっている。

5. あとがき

今回の室内試験および実験フィールドで行った原位置試験によって、この支持力測定手法の基本的な事項が確認できたものと考えている。

今後、室内試験において、室内 C B R 試験、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験および衝撃加速度の測定試験などを行って土の強度特性と衝撃加速度の関係を調べると同時に、この測定手法を実際の現場に適応してデータを収集し、「小型」・「軽量」・「迅速」を実現できる支持力測定手法を確立していきたいと考えている。

この簡易支持力測定手法は、建設省近畿技術事務所において昭和60年から3カ年の間に行われた「機械化施工における施工管理手法の合理化に関する研究」の中で調査された経緯があり、この研究開発はこれを踏まえて行ったものである。

最後に、この実験を行うにあたり貴重なご意見とご指導をいただいた大阪土質試験所の岩崎所長、坂元副所長、またこの報告書を掲載することに快諾いただいた建設省近畿技術事務所の雀部係長はじめ関係各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- (1) 土質工学会編：土の締固めと管理, 土質基礎工学ライブラリー-36, 土質工学会, PP.212~215, 1991
- (2) 才木繁・坂元稔・本郷隆夫・藤原正明・加藤豊・北村明洋：簡易締固め測定器を用いた施工管理例, 第47回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部, PP.768~769, 1992
- (3) 浅田毅・溝口義弘・佐野久二・坂元稔：応答加速度法による締固め管理手法について (その1), 第48回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部, PP.216~217, 1993

- (4) 建設省近畿地方建設局近畿技術事務所編：軟弱地盤固化処理対策調査（その2）報告書,1987
- (5) 北野勝康・寺田邦夫・大下俊之・平井芳雄：衝撃加速度を用いた地盤反力係数測定法の検討（その1）,第26回土質工学会発表会概要集,PP.91～92,1991
- (6) 雀部和男・松井志図雄・浅田毅・溝口義弘・坂元稔：応答加速度法による支持力測定手法について（その1）,土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第3部（A）,PP.12～13,1994