

14. 簡易支持力測定手法の開発（その２）

浅田 毅
溝口 義弘

要 旨

前回の報告で、地盤に重錘を落下させたときに生じる衝撃加速度が支持力定数と高い相関性を示すことから、応答加速度法を用いた測定手法が、地盤の支持力を簡易に測定する方法として有効であることを述べた。

本報告は、室内において土の強度定数と衝撃加速度の関係などを調査し、この測定手法を実際の現場に適用したところ、良好な結果が得られたので、その内容について述べる。

キーワード

衝撃加速度／簡易支持力測定手法／応答加速度法

目 次

1. はじめに
2. 土の強度定数と衝撃加速度の関係
3. 礫が衝撃加速度に及ぼす影響
4. 適用事例
5. ま と め
6. あとがき

14. DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED METHOD FOR MEASURING BEARING CAPACITY OF SOIL GROUND (Part 2)

Tsuyoshi Asada
Yoshihiro Mizoguchi

Abstract

The previous paper described that a measurement by response acceleration method was an effective way of easily measuring bearing capacity of ground as impact acceleration created by dropping a weight on the ground has a strong correlation with bearing capacity constant.

This paper describes the favorable results of our study of relationship between ground's strength constant and impact acceleration and subsequent application of the measuring method at the actual construction site.

1. はじめに

前回の報告で、簡易支持力測定手法の原理、試作測定器による衝撃加速度の影響範囲の調査結果および実験フィールドにおける現場CBR試験、平板载荷試験などから得られた地盤の支持力定数と衝撃加速度の関係などについて報告したが、その中でこの測定手法が道路の路床などの支持力を測定する方法として有効であることを述べた。

本報告は、室内でCBR試験、三軸圧縮試験などを行って得られた土の強度定数と衝撃加速度の関係を明らかにするとともに、礫が土中に存在した場合の衝撃加速度への影響について調査した結果を述べるものである。また、本手法を実際の現場に適用した事例についても合わせて報告する。

2. 土の強度定数と衝撃加速度の関係

2.1 試料の物理特性と締固め特性

室内試験で土の強度定数と衝撃加速度の関係を調べるために、試験に用いる試料の物理試験と締固め試験を行った。

試料の粒度分布とその他の物理試験の結果をそれぞれ図-1、表-1に示すが、これらの試料は、前回の報告の中で試験に用いた土質材料と同一のものを使用した。

また、試料の締固め試験の結果を図-2に示す。

粘性土、砂質土①、②、③および礫質土の順に礫

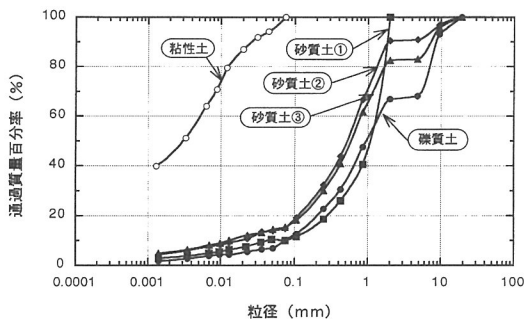


図-1 試料の粒径加積曲線

表-1 試料の物理試験結果

No.	試料名	土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 WL (%)	塑性限界 WP (%)	均等係数 U _c	曲率係数 U _{c'}	備 考
1	粘性土	2.564	53.7	16.3	—	—	笠岡産の粘土
2	砂質土①	2.625	NP	NP	26.1	5.5	枚方産のマサ土
3	砂質土②	2.717	NP	NP	41.7	3.6	
4	砂質土③	2.696	NP	NP	53.1	5.0	
5	礫質土	2.689	NP	NP	46.7	3.8	

の混入率が多くなるにつれて、最大乾燥密度 ρ_{dmax} が大きくなっていることがわかる。

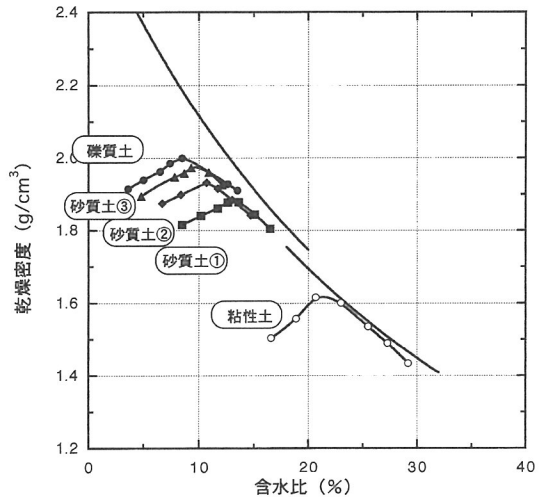


図-2 試料の締固め曲線

2.2 土のせん断抵抗角と衝撃加速度の関係

砂質土①、②、③および礫質土を用いて、密度を変えた試料を作製し、それらの試料について、三軸圧縮試験(UU試験)と衝撃加速度試験を行った。

それらの試験から得られたせん断抵抗角 ϕ と衝撃加速度 I_a をプロットしたものを図-3に示す。

図中の回帰式の相関係数 r は0.88であり、土のせん断抵抗角 ϕ と衝撃加速度 I_a は、直線状に高い相関性を有することが認められた。

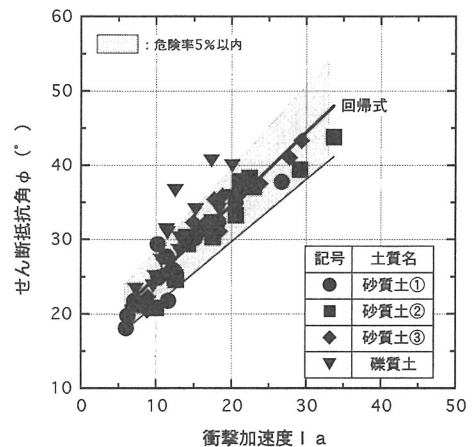


図-3 衝撃加速度 I_a とせん断抵抗角 ϕ の関係

2.3 土の粘着力と衝撃加速度の関係

粘性土について、三軸圧縮試験(UU試験)と衝撃加速度測定試験を行った。

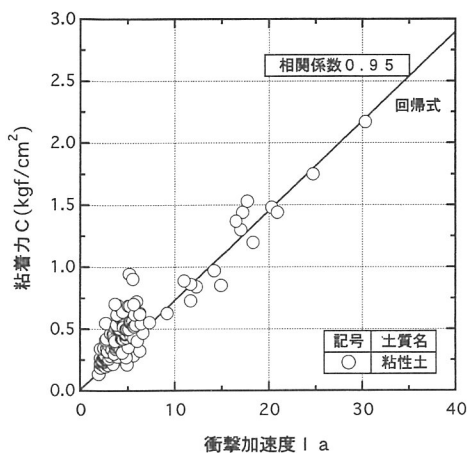


図-4 衝撃加速度 I_a と粘着力 c の関係

それらの試験から得られた粘着力と衝撃加速度の関係を図-4に示す。

図中で一次回帰式を示すが、その相関係数 r は0.95であり、粘着力 c と衝撃加速度 I_a とは高い相関関係にあることがわかる。

2.4 CBR値と衝撃加速度の関係

砂質土①、②、③および礫質土を用いて密度を変えた試料を作製し、それらの試料について室内CBR試験と衝撃加速度測定試験を行った。

また、粘性土にセメントを添加した試料についても同様の試験を行った。

CBR値を縦軸に、衝撃加速度を横軸に取り、砂質土①、②、③および礫質土について行った試験結果をプロットしたものを図-5に示す。

図中の一次回帰式の相関係数 r は0.89であり、他の土の強度定数と同様に、両者の間に高い相関関係があることがわかる。

また、粘性土にセメントを添加した試料について、室内CBR試験と衝撃加速度測定試験を行った結果を図-6に示しているが、一次回帰式の相関係数 r が0.96であり、高い相関性があることが認められる。

図-7に図-5と6を重ね合わせたものを示すが、前者と後者の回帰式は合致していない。

このことは、セメントを混合した土のCBR値を衝撃加速度で推定する場合、セメントを混合しない土について求めた回帰式は使用できないことを示している。

2.5 地盤反力係数と衝撃加速度の関係

地盤反力係数と衝撃加速度の関係を調べるために、道路改良工事などの実現場において、平板載荷試験と

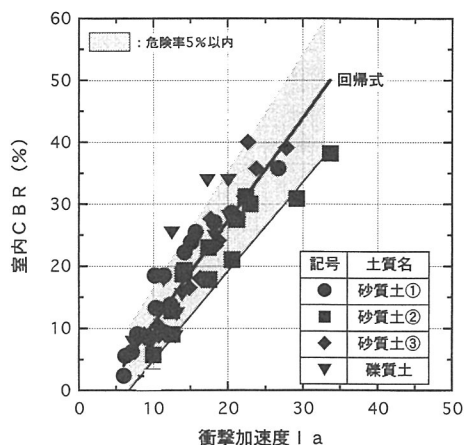


図-5 衝撃加速度 I_a とCBR値の関係

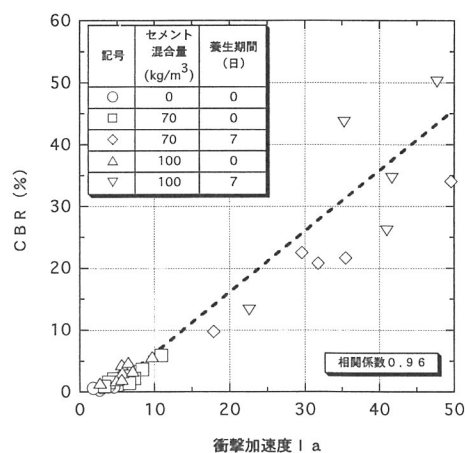


図-6 改良土の衝撃加速度 I_a とCBR値の関係

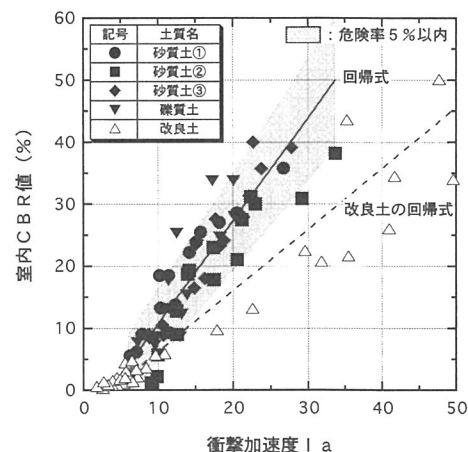


図-4 衝撃加速度 I_a とCBR値の関係

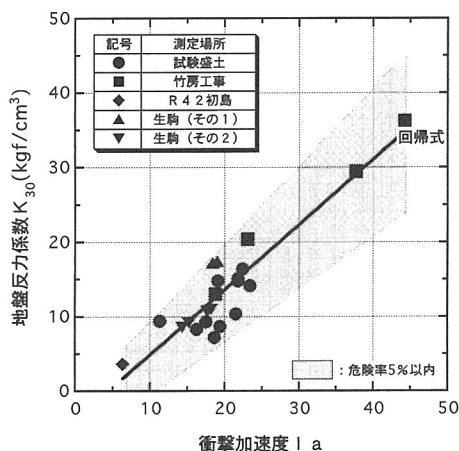


図-8 衝撃加速度 I_a と地盤反力係数 K_{30} の関係

衝撃加速度測定試験を同時に行った。

その結果を図-8に示すが、回帰式に対して求めた危険率5%の範囲にすべての測定値が入っており、地盤反力係数と衝撃加速度は高い相関性を有することがわかった。

3. 礫が衝撃加速度に及ぼす影響

この測定手法では、重錘の径に対してある程度以上の大きさを持つ礫に重錘が当たると、衝撃加速度は大きな値を示し、その測定値のばらつきも大きくなる。

そこで、衝撃加速度が礫径、礫の位置（地表面から深さ方向）および礫の個数などによって、どのように変化するかを調べた。

3.1 礫径による衝撃加速度の変化

平均粒径が $\phi 5.8\text{mm}$ から $\phi 76.7\text{mm}$ までの大きさの礫に、重錘が直接当たったときの衝撃加速度の変化を図-9に示す。

この図から、礫の平均粒径が大きくなるにつれて、衝撃加速度が大きくなり、その値のばらつき幅も広がっていることがわかる。

3.2 礫の位置による衝撃加速度の変化

礫の位置が地盤の地表面から深くなるにつれて、衝撃加速度がどのように変化するかを調べたものを図-10に示す。

この図から礫の個数に関係なく、地表面から1cm以下に深に礫があれば、その影響を受けていないことがわかる。

3.3 礫の個数による衝撃加速度の変化

重錘に当たる礫の個数が多くなるにつれて、衝撃加

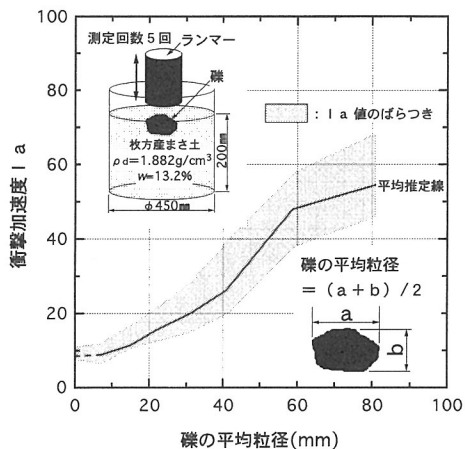


図-9 礫径による衝撃加速度 I_a の変化

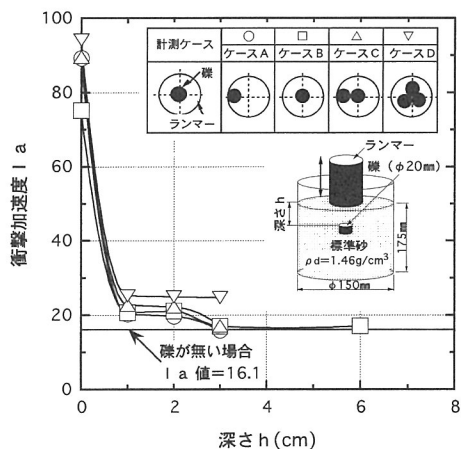


図-10 礫の位置による衝撃加速度 I_a の変化

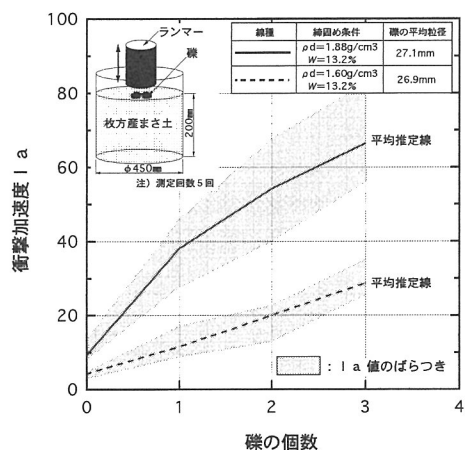


図-11 礫の個数による衝撃加速度 I_a の変化

速度がどのような変化をするのかを調べたものを図-11に示す。

この図から、礫の個数が多くなれば、衝撃加速度が大きく変動することがわかる。

このことは、重錘に当たる礫の数が多くなるほど、測定精度が悪くなることを示している。

4. 適用事例

この測定手法を使って、道路の路床部と擁壁の基礎地盤の支持力の推定に適用してみた。その事例を以下に示す。

4.1 路床部のCBR値を測定した事例

国道24号線の道路補修工事（京都府内）において、簡易支持力測定器を使って路床のCBR値を測定した。

写真-1は、測定器で測定している状況を示す。測定箇所は交通量が多いため、測定は迅速に行わねばならず、また測定後、直ちに元の状態に復旧しなければならない状況であった。

また、試掘時に現場試料を採取して室内でCBR試験を行った。

その結果を表-2に示すが、路床は城陽産のマサ土とシルト混じり砂の2層に分かれていた。測定数は各10点である。

以下に、測定器から計算した平均CBRと室内CBR試験の結果から求めたものを示すが、両者の値は、ほぼ同じであった。



写真-1 測定状況（国道24号線）

表-2 測定結果（国道24号線）

測点番号	GL-0.5m（第1層目）まさ土			GL-0.7m（第2層目）シルト混じり砂		
	I s 値	推定CBR(%)	備考	I s 値	推定CBR(%)	備考
1	34.5	48.3		6.3	5.4	
2	25.5	34.6		6.3	5.4	
3	38.5	54.4		14.2	17.4	
4	41.1	58.4	20~50mm	15.3	19.1	
5	48.5	69.6	の礫あたる	5.2	3.7	粘性土部分
6	39.5	55.9		7.9	7.8	
7	25.8	35.1		9.9	10.9	
8	38.5	54.4		6.3	5.4	
9	30.9	42.8		5.2	3.7	
10	42.0	59.7		5.0	3.4	
平均	34.4	48.1※1		8.2	8.2	
設計CBR (%)	室内試験より 44.5			室内試験より 9.0		

※1：測点番号4、5は、測定器のランマーが礫にあたったので、平均値はその値を削除して求める。

〔室内試験の結果より算出した平均CBR〕

$$CBR_m = \{14 \times (44.5)^{1/3} + 86 \times (9.0)^{1/3}\}^3 \div 100 \\ \approx 11.9$$

〔測定器の結果から算出した平均CBR〕

$$CBR_m = \{14 \times (48.1)^{1/3} + 86 \times (8.2)^{1/3}\}^3 \div 100 \\ \approx 11.3$$

4.2 擁壁の基礎地盤の支持力を検討した事例

国道8号線の道路改良工事（滋賀県内）において、擁壁の基礎地盤の支持力を簡易支持力測定器とスウェーデン式サウンディング試験機を用いて測定した。

写真-2は、擁壁の基礎地盤の支持力を簡易支持力測定器によって測定している状況である。

測定箇所は車などを通行させながらの工事であり、床堀の幅が狭く、平板載荷試験などが実施できない箇所であった。

両者の試験結果をもとに推定したせん断抵抗角 ϕ 、粘着力 c を表-3に示すが、それらの値はほぼ同じである。



写真-2 測定状況（国道8号線）

表-3 測定結果(国道8号線)

調査地点	N o. 1	N o. 2
土質名	砂質土	粘性土
換算N値 ^{※1}	N=6	N=4
換算N値によるせん断抵抗角および粘着力 ^{※2}	$\phi=26^\circ$	$c=0.25\text{kgf/cm}^2$
インパクト値	I a=11	I a=2
インパクト値により求めたせん断抵抗角および粘着力 ^{※3}	$\phi=26^\circ$	$c=0.15\text{kgf/cm}^2$
許容支持力 ^{※4}	$q_a=1.6\text{tf/m}^2$	$q_a=4.4\text{tf/m}^2$
擁壁の地盤反力	$q_0=10.0\text{tf/m}^2$	$q_0=10.0\text{tf/m}^2$
判定結果	良質土に置換え	良質土に置換え

※1：スウェーデン式サウンディング試験により求めたN値

※2： $\phi=\sqrt{20N+15}$ (大崎の式)、 $q_u=N/8$

※3：図-3、4から求めた ϕ 、Cの値

※4：支持力公式より求めた許容支持力

5. まとめ

室内における実験とその成果をもとに測定器を実際の現場に適用した結果から、以下のことが確認された。

- (1) 衝撃加速度は、土のせん断抵抗角 ϕ 、粘着力 c 、C B R値および地盤反力係数 K_0 値などと高い相関性を示す。
- (2) 重錘が礫に直接当たった場合、礫径が重錘径に対してある程度以上の大きさになると、衝撃加速度の値が大きくなり、値のばらつき範囲も広がる。
- (3) 重錘に当たる礫径が比較的小さくて、単体では測定値のばらつきに影響を与えない礫でも、1カ所に複数個あると、その地点の測定値のばらつきが大きくなる。
- (4) 礫が地表面から1cm以深にあれば、測定値は影響されない。

以上、実際の現場に適用した結果から見て、この支持力測定法は、できるだけ多くの実績を積上げ、得られた測定値の平均化を図っていけば、従来の試験器で得られた測定値と変わらない支持力を算定できることがわかった。

なお、この測定器を使用するにあたっては、以下のことに注意が必要である^⑨。

- (1) この測定手法が適用できる土質は、土砂に含まれる礫の最大粒径が37.5mmで、粒径10mm以上の礫の含有量が30%以下とする。
- (2) できるだけ数多くの測定(1測線あたり5個以上)を行い、測定値の平均化をはかる。
- (3) 測定されたいくつかの衝撃加速度のなかで、特に高い値を示すものがあった場合は、重錘が礫に直接当たっているか、あるいは地表面直下に礫が存在しているかのいずれかであるので、再測定を行う。

6. あとがき

今回の室内試験および実際の現場において、この測定器と従来の試験機を使って、支持力の測定を行ったところ、ほぼ同一の結果が得られた。

したがって、この測定器を用いて支持力を測定する方法について、実用上問題がないものとする。

ここに述べた簡易支持力測定手法は、建設省が制定した道路技術5カ年計画の1つのテーマとして、平成6年度から7年度にかけて、建設省近畿技術事務所と当社が共同開発した測定法である。

今後、この測定法が広く一般に認められ、施工管理の効率化・省力化に役立つことを願うものである。

最後に、この開発を行うに当たり、貴重なご意見とご指導をいただいた神戸大学名誉教授 谷本喜一先生、(財)兵庫県技術センターの坂元稔氏、(財)大阪土質試験所の本郷隆夫副所長、またこの報告書を掲載することを快諾いただいた建設省近畿技術事務所の雀部和男係長はじめ関係各位に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 浅田・溝口：簡易支持力測定手法の開発(その1)、浅沼組技術研究所報 No.6、PP.110~116、1994
- 2) 雀部和男・浅田毅他：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回年次学術講演会概要集、PP.12~13、1994
- 3) 『簡易支持力測定機開発調査業務』報告書、1995
- 4) 雀部和男・浅田毅他：応答加速度法による支持力測定手法について(その2)、土木学会第51回年次学術講演会概要集、PP.778~773、1996
- 5) 簡易支持力測定器による試験方法(第1版)：測定器使用マニュアル作成委員会制定、(建設省近畿地方建設局)、1996