

# 岩砕埋立地盤の特性に関する研究（その1）

——静荷重による沈下特性——

西林清茂 細谷芳巳  
柴田健司

## Studies on Characteristics of Gravel-fill Ground (Part 1)

——Characteristics of Settlement under Static Load——

Kiyoshige Nishibayashi Yoshimi Hosoya  
Kenji Shibata

### Abstract

The characteristics of compression and settlement of gravel-fill ground are of intricate nature with much needing to be explained. The authors, therefore, performed static settlement tests of ground models of different textures and unit weights using a large compression device. The results were as follows:

- (1) Ground filled loosely with gravel exhibits settlement under static load, particularly in case of filling in water.
- (2) In case of gravel-fill specimens of identical particle-size distributions, settlement is greater the smaller the unit weight and the higher the void ratio.
- (3) Gravel-fill ground specimens containing large proportions of large-size gravel particles do not settle readily. It is thought that the extent of settlement in such case is affected by gradation and rearrangement of material on breaking of gravels.

### 概 要

埋立材料として岩砕を使用する例が最近増加しているが、その圧縮沈下特性については不明な点が多い。そこで、直径1 m、高さ1 mのモールドに粒径30 cmまでの岩砕の粒度組成や単位体積重量を変えた岩砕試料による大型供試体を作製し、圧縮試験機を用いて、静的荷重100 tを段階的に載荷する静荷重—沈下試験を実施した。結果は次のとおりである。

- (1) 緩く埋立てられた岩砕からなる供試体は静的荷重により沈下する。特に水中埋立てしたものは間隙が大きく、沈下も大きい。
- (2) 同じ粒度分布をもつ岩砕からなる供試体は、単位体積重量が小さく、間隙比が大きいものほど沈下する。
- (3) 粗大な粒径を多く含む岩砕からなる供試体は、静的荷重に対して沈下しにくい特性をもつ。このときの沈下の大小は、粒度組成と岩砕の破碎に伴う再配列が影響しているものと考えられる。

### 1. まえがき

陸上での宅地造成、道路盛土などのほか、海上での地盤造成は従来、山土や山砂あるいは浚渫土による盛立て、埋立てが主体であったが、最近、岩砕を使用する例が増加している。

硬質な岩砕材料で盛立て、埋立てられた地盤は支持力など強度の面で問題の生じることは少ないが、沈下の面では種々問題の生じることが報告されている。<sup>1)</sup>

岩砕埋立地盤の沈下を引き起こす要因としては、

- (1) 静的荷重による沈下
- (2) 振動の影響による沈下

(3) 雨水・潮位の影響による沈下

(4) 岩の風化の影響による沈下

などが挙げられる。しかし、これらの沈下特性に関しては、岩砕の工学的性質が複雑な上に粒径が大きいためその性状はほとんど知られていないのが現状である。

また、これらの沈下を防ぐために重要構造物では締固めなどの地盤改良を行なう例が多いが、改良基準の設定や評価方法は地盤材料の粒径が大きいため難しい。

この研究は、以上のような岩砕埋立地盤の圧縮性を主体にした基本特性を調査研究し、圧縮性の改良技術や施工・品質管理技術を確立することを目的としている。

この報告は、前述の岩砕埋立地盤の沈下を引き起こす

要因のうち、静的荷重による沈下特性に着目して、直径1m、高さ1mのモールドを有する大型圧縮試験機を用いて実施した静荷重—沈下試験の結果についてまとめたものである。

## 2. 試験に使用した岩砕試料の基本的特性

試験に用いた岩砕は、阪南丘陵土砂採取現場（大阪府泉南）から採取したものである。岩種としては、砂岩・頁岩の2種類であり、その主な工学的性質は表—1に示すとおりである。今回の試験に用いた岩砕試料は採取材料のうちの300 m/mアンダーであり、その粒度特性は図—1に示すとおりである。

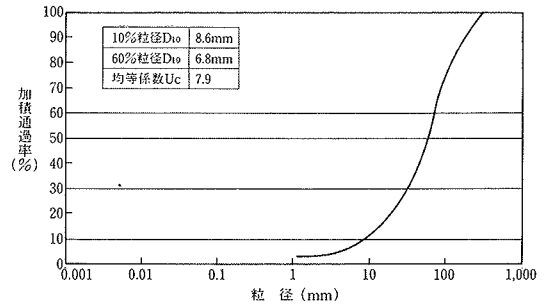
ところで、このような粗粒な岩砕材料によって埋立てられた単位体積重量や間隙比の関係については十分把握されていない。そこで、直径85 cmのモールドおよび1×1×1 (m)の土槽を使用し、岩砕試料の粒径、締固め状態、詰め方の相違による影響を調べた。間隙比はこ

のようにして作製した土槽に水をはり、投入した水量から求めた。試験結果を図—2に示す。間隙比と単位体積重量の関係は、試験条件によらずよい相関性を示しており、片対数紙面上で直線関係となった。

## 3. 静的荷重による圧縮試験方法

### 3.1. 装置および荷重方法

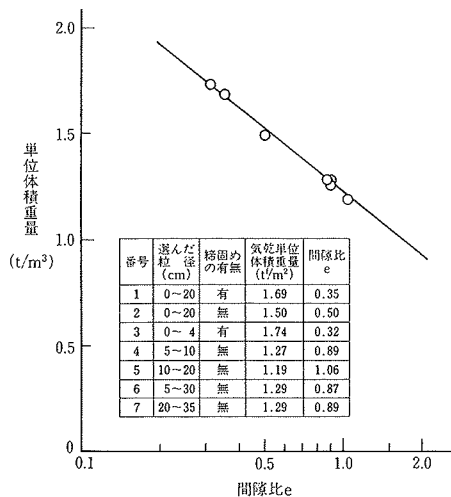
図—3に示すような装置を組み、直径1mのモールドに詰められた岩砕材料をロードセルを介して100 tジャッキにて載荷した。モールド底部には、図—4に示すような



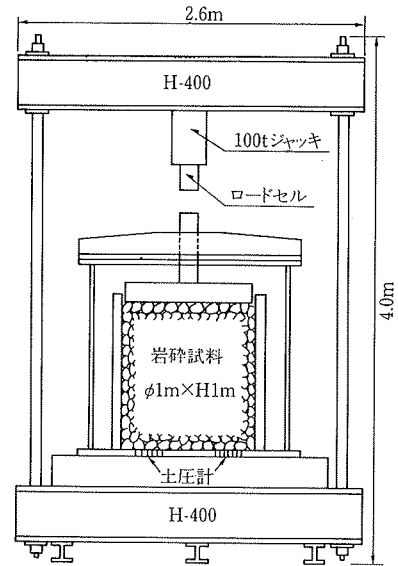
図—1 試験に用いた岩砕の粒度分布

試験項目	頁岩	砂岩	
単位体積重量(gf/cm <sup>3</sup> )	2.55~2.58	2.59~2.61	
真比重	2.69	2.67	
含水比(%)	0.44~0.97	0.25~0.70	
一軸圧縮試験	一軸圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	460~720	1650~2490
	静弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )	1.5~2.5×10 <sup>5</sup>	2.4~2.8×10 <sup>5</sup>
圧縮試験	静ポアソン比	0.10~0.15	0.16~0.19
	圧裂引張強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	60~65	125~150
三軸圧縮試験	粘着力(kgf/cm <sup>2</sup> )	180	310
	内部摩擦角(度)	33	46
弾性波速度試験	P波速度(km/sec)	4.3~4.6	4.9~5.0
	S波速度(km/sec)	2.0~2.2	2.5~2.6

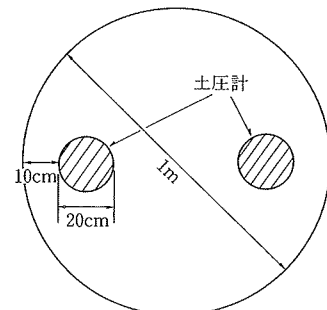
表—1 岩石試験結果



図—2 単位体積重量と間隙比の関係



図—3 大型圧縮試験装置



図—4 土圧計セット位置

位置に土圧計をセットした。

荷重方法は初期荷重を  $p=0.4\text{ t}$ 、荷重増加率を  $\Delta p/p=1$  として 0.4, 0.8, 1.5, 3, 6, 12.5, 25, 50, 100 t の 9 段階とした。また同一荷重の荷重時間は、変位計の値が落ち着くまでとし、荷重到達後15分間とした。

### 3.2. 試験ケース

試験条件として粒度分布(せん頭粒度を変化)、粒度組成(粒径 100 mm 以上と粒径 100 mm 以下の比を変化)、締固め状態(締固めの有無)、詰め方(dry 投入, 水中投入)の相違による影響を調べた。

表一 2 に全試験ケースを示す。間隙比は有効間隙比<sup>2)</sup>(粒子間のみの間隙)を用いた。

## 4. 試験結果および考察

### 4.1. 時間一沈下特性

図一 5 は各荷重を載荷したときの代表的な時間一沈下曲線である。この図から特徴的に読み取れるのは、岩砕試料と比較のために実施した砂試料(川砂)との圧縮沈下特性の相違である。すなわち、砂は荷重に伴い卓越した瞬時沈下を生じるものの、その後には生じるクリープ的な沈下はそれほど大きくなく、早期にほぼ一定値に至るのに対し、岩砕の瞬時沈下は比較的小さく、その後によくクリープ的な沈下が継続して生じていることである。これは後述するように岩砕試料の破碎と再配列が大きく起因しているものと考えられる。事実、荷重強度  $p=30\sim 60\text{ t}^2/\text{m}^2$  以上になると試験機内から破碎音が聞こえてくることから破碎の進行状況が伺えた。

### 4.2. 応力一ひずみ関係

図一 6 は試料作製方法を dry 投入とした場合および水中投入とした場合の応力一ひずみ関係である。沈下量をひずみで表示したのは、初期試料高さが作製上 90~95 cm とまちまちなため、比較基準をひずみで整理したためである。

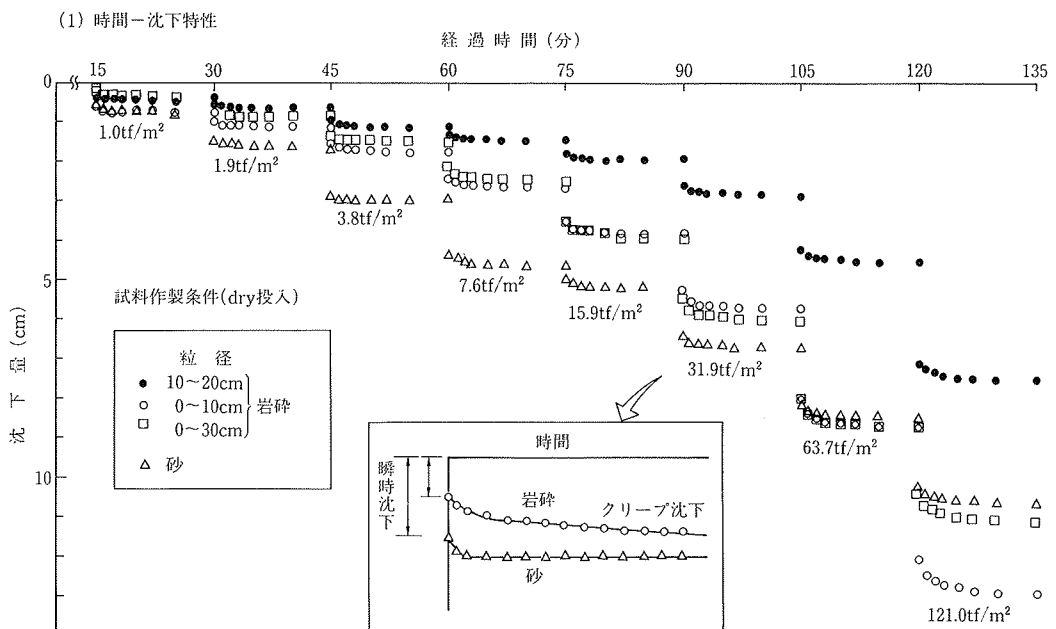
まず最初に、試料作成方法を dry 投入とした場合について検討する。砂と岩砕を比較すると、砂の方が荷重が小さいときひずみ量が大きい、荷重重

が大きくなると次第にひずみ量は収束する傾向を示すのに対し、岩砕は荷重に伴い、いつまでも沈下が直線的に生じて収束する傾向が見られない。この相違は前述のように、岩の破碎、粒子再配列が卓越しているためと考えられる。

ところで一般に、沈下は単位体積重量が小さく、間隙比が大きいのほど大きいと考えられている。しかしこの図から粒径 100~200 mm の粗大な岩砕試料からなる供試体は、 $\gamma_d=1.28\text{ tf}/\text{m}^3$ 、 $e_0=1.03$  と単位体積重量は最も小さく、逆に間隙比は大きいにもかかわらず、ひずみは他の岩砕試料に比べて最も小さい。このことから、粗大なレキや岩石質材料のみで構成される地盤は、細かい

番号	粒径 (mm)	重量比 100mm:100mm 以下 以上	試料作成方法	初期単位 体積重量 $\gamma_d(\text{t}/\text{m}^3)$	間隙比 $e_0$
1	砂 (0~2)	—	—	1.30	—
2	0~200	9:1	dry投入	1.52	0.71
3	0~100	10:0	dry投入	1.41	0.84
4	0~300	7.5:2.5	dry投入	1.51	0.72
5	0~200	9:1	水中投入	1.40	0.86
6	100~200	0:10	水中投入	1.18	1.20
7	0~100	10:0	水中投入	1.38	0.88
8	0~300	7:3	水中投入	1.47	0.77
9	100~200	0:10	dry投入	1.28	1.03
10	0~200	8:2	dry投入	1.56	0.67
11	0~200	6:4	dry投入	1.49	0.74
12	0~200	4:6	dry投入	1.52	0.71
13	0~100	10:0	dry投入	1.56	0.67

表一 2 試験ケース



図一 5 時間一沈下曲線

粒子を多く含む岩砕地盤と比較して静荷重に対して沈下が少ないといえる。

次に、埋立て方法の相違を比較すると、水中投入によって岩砕を埋立てると dry 投入と比較して初期単位体積重量が小さくなるため、同じ粒度分布のものを使用した場合、沈下量が大きくなるのがわかる。また岩砕の間隙に水があるため、破碎した岩砕試料の間隙への沈降など、粒子の再配列が容易になり、沈下を促進することも沈下が大きくなる原因の1つと考えられる。今回の試験では、水中投入で緩く埋め立てられた場合、載荷重 120 tf/m<sup>2</sup> で 15%以上のひずみを生じるものもあった。その他の沈下特性は dry 投入の場合とほぼ同様である。

ところで図-7は、試料作成方法を dry 投入とした場合の応力-ひずみ関係である。図中の表には粒度組成の影響を検討するために粒径 100 mm 以下と粒径 100 mm 以上の岩砕の比率を示している。検討に当たって、この粒径で分けた根拠は特にない。

図から、次のことがわかる。まず、粒径 100 mm 以下の岩砕試料を用いて作製した地盤の  $\gamma_d$  が密なものとならぬもの2種類の沈下曲線に対して、粒径 100 mm 以下が50%以上存在する岩砕試料からなる供試体はこの2本の応力-ひずみ関係の間にすべて含まれる。このときの沈下の大小は、粒径 100 mm 以下

と粒径 100 mm 以上の岩砕の比率よりも、むしろ初期単位体積重量  $\gamma_d$  や初期間隙比  $e_0$  に左右される。すなわち、 $\gamma_d$  が小さく、 $e_0$  が大きいものはひずみ量も大きくなっている。

一方、粒径 100 mm 以下が50%より少ないものは、50%より多いものに比べてひずみ量が小さい。特に、粒径 100 mm 以下が40%存在する供試体のひずみ量が粒

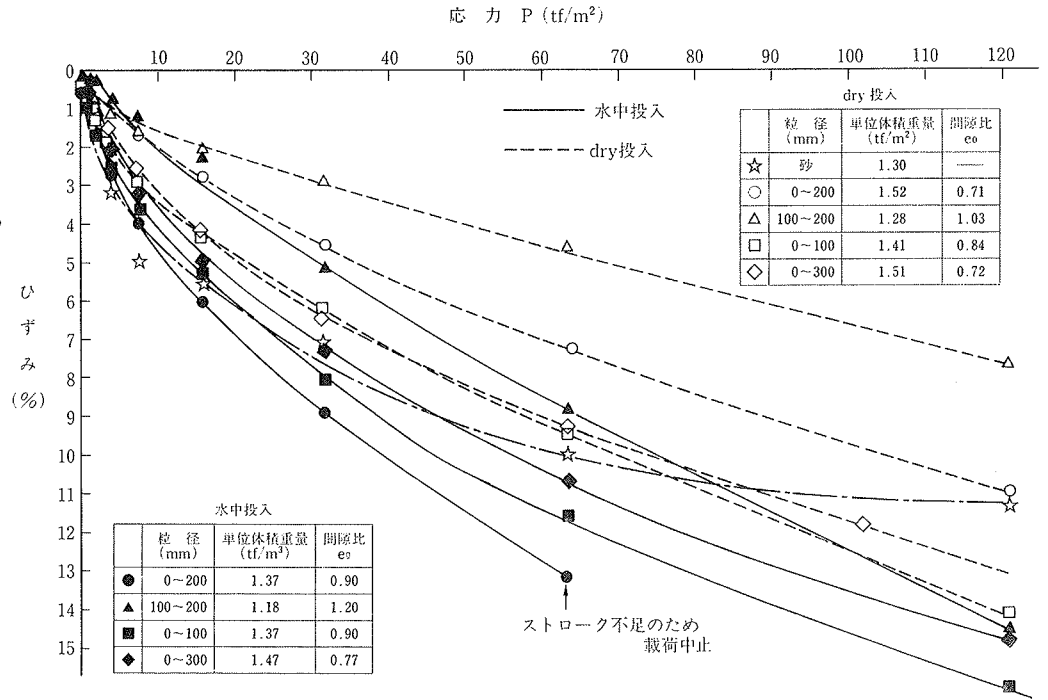


図-6 応力-ひずみ関係 (単位体積重量と埋立て状態の相違)

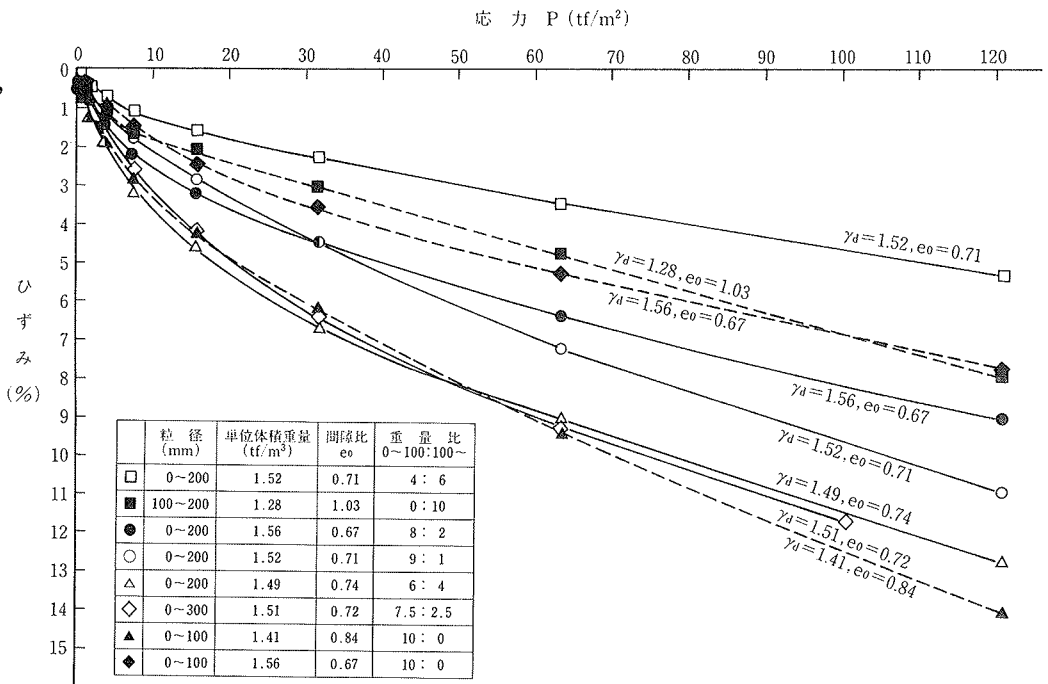


図-7 応力-ひずみ関係 (粒度組成の相違)

径 100 mm 以下のまったくない供試体よりもひずみ量が小さいことは注目される。これは、粒径 100 mm 以上の岩砕が構成する空隙に細かい岩砕や粒子が充填された形態となるため、単位体積重量が大きく、間隙比が小さくなり、そのため細かい岩砕や粒子が破碎を抑制するほか、粗粒子間への落ち込みや再配列を抑制していると考えられる。

4.3. 破碎率

前述のように岩砕材料の沈下には破碎の影響が一つの要因になっていることがわかった。

図-8 は試験前後に実施した粒度試験結果をもとに破碎に伴う粒度分布の相違を調査したものである。いずれの岩砕試料も粒度分布は圧縮試験後左側にスライドし、

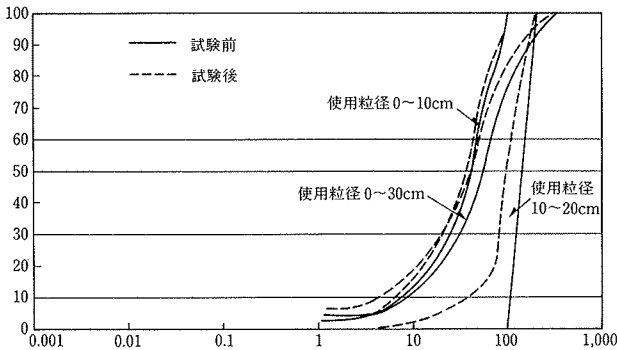


図-8 試験前後の粒度分布

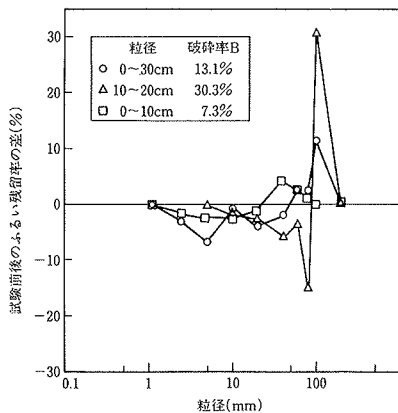


図-9 マルサルの破碎率

粒径の小さいものが多くなっていることがわかる。

この結果を、Marsalの細粒化比率<sup>3)</sup>に基づきまとめたものが図-9である。粒径の大きな岩砕ほど破碎率が大きく、最大粒径に近い粒径のものが大きく破碎されていることがよくわかる。

4.4. 土圧計の応力

供試体下に作用する応力を知る目的で参考のために図-4に示す位置に2か所土圧計をセットした。土圧計への応力集中を防ぐ目的で土圧計の回りにはモルタルを打設し、各試験ごと地盤作製前にモールド下面に砂を約3

cm敷いた。

図-10、図-11は载荷応力に対するこの2か所の土圧

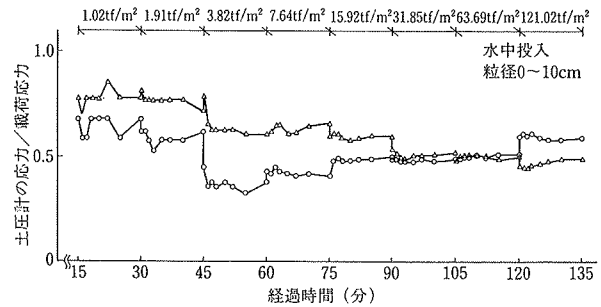


図-10 土圧計の応力 (粒径 0~100 mm)

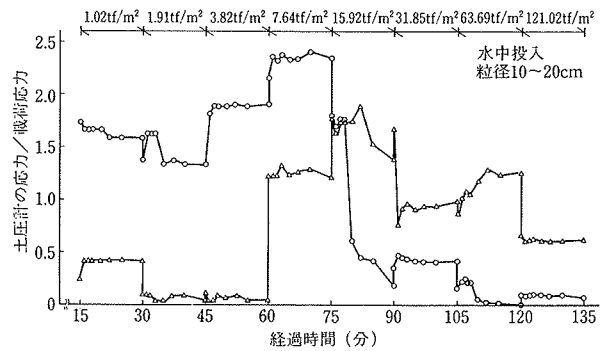


図-11 土圧計の応力 (粒径 100~200 mm)

計の応力の経時変化である。応力集中と破碎によるものとみられる応力減少が繰り返されていることがわかる。そして当然のことながら、粒径の小さいものは2個の土圧計の示す値が近いのに対して、粒径が大きくなるにしたがってバラツキが激しくなっている。

5. まとめ

岩砕試料を用いて作製した大型供試体の静的圧縮試験結果をまとめると以下のようである。

- (1) dry埋立てと水中埋立てを比較すると水中埋立てのものは、間隙が大きく、沈下も大きい。
- (2) 同じ粒度分布をもつ岩砕からなる供試体は、単位体積重量が小さく、間隙比が大きいものほど沈下する。
- (3) 沈下の大小は、粒度組成と岩砕の破碎に伴う再配列が影響しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 木下哲生：礫質盛土の沈下と改良に関する研究，学位論文，(1986)
- 2) 赤司六哉，他：締め固められた粗粒土の密度補正に関する一考察，第20回土質工学研究発表会講演集，(1985)，p. 1586
- 3) 大根義男：盛立て材料としての岩魂の諸問題，土と基礎，vol. 32, No. 7, (1984)，pp. 3~5