

# 岩砕埋立地盤の特性に関する研究 (その2)

—振動台実験によるゆすり込み沈下特性—

西林 清茂      細谷 芳巳  
日笠山 徹巳      柴田 健司

## Studies on Characteristics of Gravel-fill Ground (Part 2)

—Characteristics of Dynamic Settlement Using Shaking Table—

Kiyoshige Nishibayashi      Yoshimi Hosoya  
Tetsumi Higasayama      Kenji Shibata

### Abstract

Shaking table tests using shearing stack containers were carried out to gain an understanding of the settlement characteristics of ground filled with gravel containing boulders and cobbles. The following results were obtained with the experiments:

(1) At gravel-fill ground having the same particle-size distributions as in these experiments, liquefaction will not occur in an earthquake, but there will be fairly large settlement due to rearrangement of particles.

(2) As a result of increase in density because of settlement, the dynamic properties of the ground are increased, particularly, shear modulus  $G$ .

(3) Therefore, it will be effective for compaction to be done beforehand to reduce settlement caused by vibration as in an earthquake.

### 概 要

大粒径の岩石質材料を含む岩砕材料で埋立てられた地盤の振動による沈下特性を把握するために、せん断土槽と振動台を用いたゆすり込み沈下実験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

(1) 今回用いた粒度分布の岩砕地盤においては、地震時に液状化には至らないものの緩く埋立てられた岩砕地盤では粒子の再配列によりかなり大きな沈下が生じる。

(2) 沈下に伴う密度増加の結果、岩砕埋立地盤の動的特性、特にせん断剛性が増す。

(3) したがって、地震等の振動が地盤に作用した場合の沈下を低減するのに、あらかじめ地盤を締固めておくことが有効である。

## 1. まえがき

粗粒な岩砕材料で埋立てられた地盤の沈下を引き起こす要因のうち、この研究では振動の影響による沈下に着目し、岩砕埋立地盤の振動台実験を実施した。(以後この実験を「ゆすり込み沈下実験」と称す)

この報告は、上述のゆすり込み沈下実験から得られた地震時の沈下特性ならびに岩砕埋立地盤の動的特性について述べるものである。

## 2. 実験方法

### 2.1. 模型地盤作製方法

今回の実験に用いた岩砕材料は(その1)で用いたものと同様であり、使用粒径は300 mm以下である。

実験には図-1に示すように長さ2.5 m、奥行き1.5 m、深さ2.0 mのせん断土槽を用いた。このせん断土槽は、地盤の応答に追随して変形できる構造になっている。<sup>1)</sup>

模型地盤は、このせん断土槽に水を張り、0.2 m<sup>3</sup>のクラムシェルバケットを用いて岩砕材料を水中投入することによって作製した。投入に際しては細粒分と粗粒分が分離しないように水面近くでバケットを開いた。この方法で作製した初期地盤の単位体積重量は $\gamma_d=1.45 \text{ tf/m}^3$ であった。

### 2.2. 計測項目

計測項目は、地盤の加速度、間隙水圧、地表面の沈下量および常時微動である。計器の配置を図-2に示す。深度方向の計器の配置は基本的に30 cmピッチとし、沈

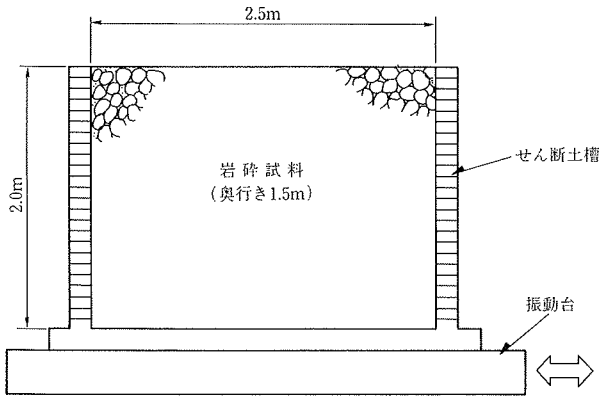


図-1 せん断土槽概要図

下量は地表面に沈下板を設置し変位計により測定した。

### 2.3. 実験内容

岩砕地盤作製後、下記のような入力波を用いて各種試験を行なった。図-3に実験フローを示す。

#### (1) 地盤特性確認試験

初期状態およびゆすり込み沈下過程における模型岩砕地盤の動的特性を把握することを目的に、以下の試験を行なった。

- (a) 常時微動測定
- (b) S波速度検層……………板たたき法
- (c) ランダム波入力試験……最大 20 gal, 0.1~50 Hz

#### (2) ゆすり込み沈下試験

地震時の模型岩砕地盤の沈下特性を把握するために次の地震波を入力し、その挙動を測定した。

- ・地震波形……………EL-CENTRO (1940 NS) 波 (時間軸1/2)
- ・最大振幅……………入力加速度 300 gal

#### (3) 共振実験

正弦波 (3Hz, 150 gal, 10,000波) 入力による地盤の

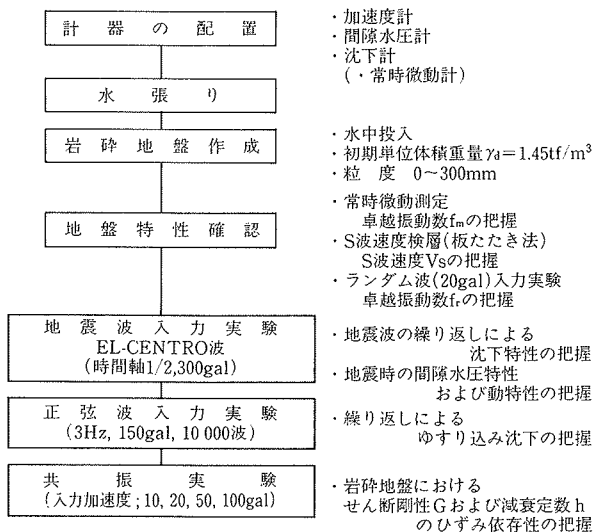


図-3 実験フロー図

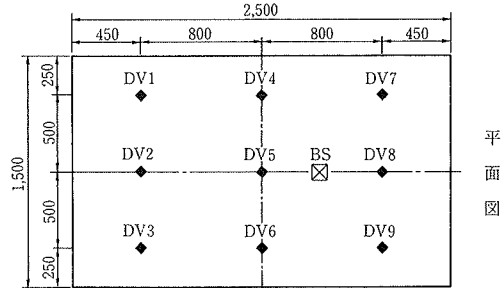
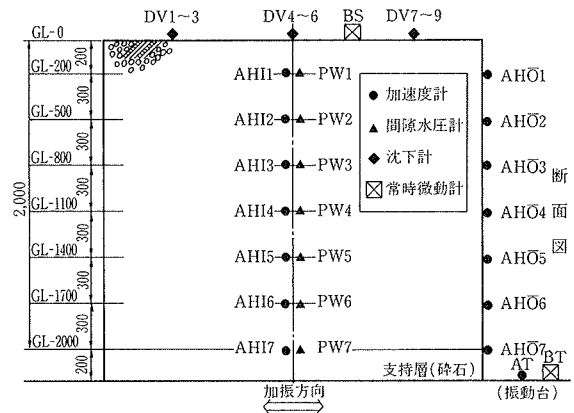


図-2 計器の配置

締固めを行なった後、共振実験を行ない、模型岩砕地盤におけるせん断剛性と減衰定数のひずみ依存性を把握した。

- ・入力波形……………正弦波
- ・最大振幅……………入力加速度 10, 20, 50, 100 gal

## 3. 実験結果

### 3.1. 沈下特性

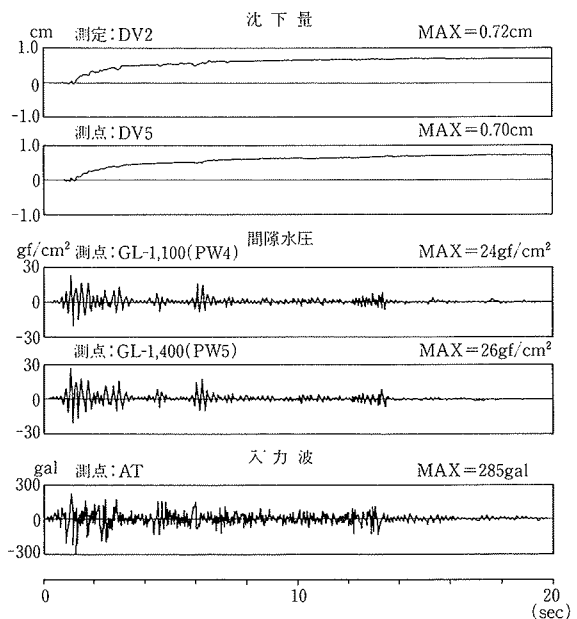


図-4 地震波入力時の地表面沈下および間隙水圧の経時変化例

図-4に地震波入力時における地表面沈下の経時変化の一例を示す。図中、最下段に入力した地震波を示すが、沈下はその初動時で急激に発生し、そして主要動の終了後は一定値を保ち進行していない。

図-5には全過程における累積沈下量および平均的な単位体積重量を示す。この図からわかるように、地震波を50回入力することによって初期層厚の6%に相当する沈下が生じ、共振実験終了時では11%となった。

3.2. 相対密度の変化

土の相対密度は下式で与えられるが、粒径の大きい岩石質材料からなる岩砕の最大間隙比  $e_{max}$ 、最小間隙比  $e_{min}$  の求め方については、現段階では標準化されたものはない。<sup>2)</sup>

$$\text{相対密度 } Dr(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

そこで、相対密度を求めるときの基準となる  $e_{max}$ 、 $e_{min}$  を次の方法で求めた。

•  $e_{max}$  ( $\gamma_{d_{min}}$ ) ; (その1) に示した手法で得られた種々の  $\gamma_d$ 、 $e$  のうち、最も緩い状態のもの。

( $e_{max} = 0.68$ ,  $\gamma_{d_{min}} = 1.39 \text{ tf/m}^3$ )

•  $e_{min}$  ( $\gamma_{d_{max}}$ ) ; 振動台による締固め法によって得られた最も締まった状態のもの。

( $e_{min} = 0.26$ ,  $\gamma_{d_{max}} = 1.81 \text{ tf/m}^3$ ) なお、締固めに用いた容器は図-1に示したせん断土槽と同様な構造をもつ寸法  $\phi 1.2 \text{ m} \times h 0.8 \text{ m} \times h 1.0 \text{ m}$  のもので、飽和状態の試料がゆすり込み沈下がなくなるまで共振させ求めた。

以上の  $e_{max}$ 、 $e_{min}$  を用いて今回の実験結果に適用した時の相対密度の変化を図-5に示す。初期地盤は  $Dr = 21\%$  ( $\gamma_d = 1.45 \text{ tf/m}^3$ ) とかなり緩い状態であり、地震波を50回入力した後は  $Dr = 48\%$  ( $\gamma_d = 1.54 \text{ tf/m}^3$ ) まで増加し、後述する共振実験後では最終的に  $Dr = 69\%$  ( $\gamma_d = 1.63 \text{ tf/m}^3$ ) となった。

3.3. 間隙水圧特性

地震波入力時における過剰間隙水圧の経時変化の一例を図-4に示す。この間隙水圧の波形から、水圧値も加速度応答と同様に振動しており、その蓄積は見られないようである。これらについては、透水係数が大きいと予測されることと、密な地盤などで見られる正のダイレタンシーによって一側の値も出ることが考えられる。つまり、今回実験で用いた粒度組成の岩砕地盤では

地震時には液状化には至らないと推測される。

3.4. 応答加速度特性

図-6に地震波入力時における地盤の応答加速度の経時変化の一例を示す。この応答波形から上層へ向かうほど高振動数成分が消え、この地盤の固有振動成分 (2.7 Hz) が増加していく。また、表層より中間部の応答の方が大きいことが特徴である。

3.5. ゆすり込み沈下に伴う動的特性の変化

図-7に単位体積重量と常時微動測定および20 gal ランダム波入力実験から得られる地盤の一次卓越振動数を示す。また、図-8に単位体積重量とS波速度検層および常時微動測定により下式で算出した地盤の平均的なせん断剛性の関係を示す。

$$f = \frac{Vs}{4H} \dots\dots\dots(2)$$

$$G = \rho Vs^2 \dots\dots\dots(3)$$

ただし、H ; 層厚 (2 m)

f ; 卓越振動数 (Hz)

$\rho$  ; 地盤の平均的な密度 ( $\text{t/m}^3$ )

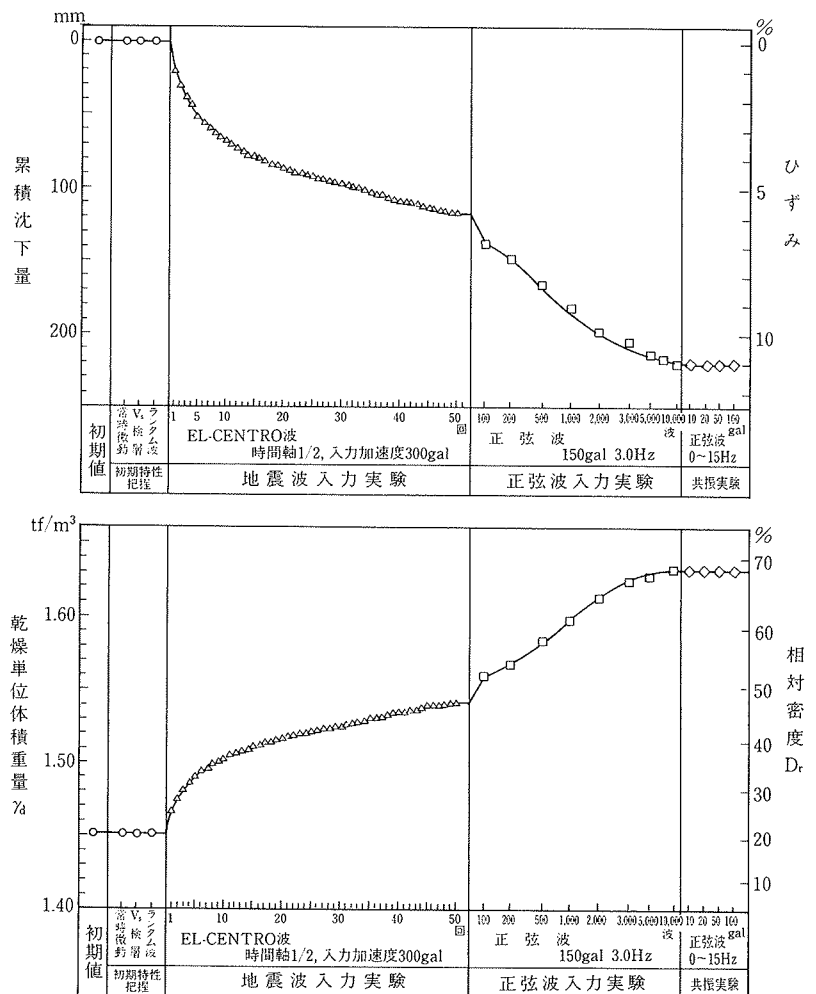
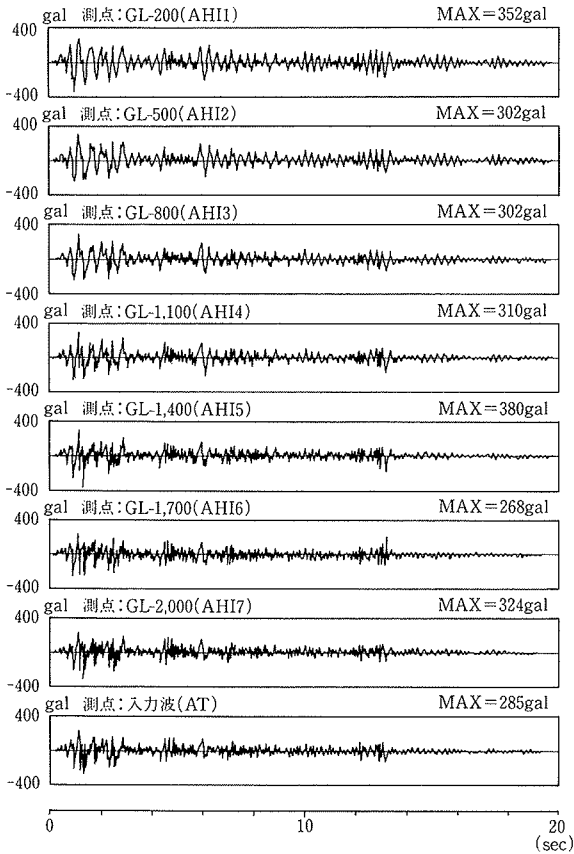


図-5 全過程における累積沈下量および単位体積重量の関係



図一六 地震波入力時の地盤の応答加速度の経時変化例

両図から、ゆすり込みによる締固めによってせん断剛性  $G$  が増加することがわかる。特に  $S$  波速度検層によればこの相対密度 ( $D=21\sim69\%$ ) においては、せん断剛性  $G$  と単位体積重量  $\gamma_d$  は図中に示す回帰式で表わすことができる。

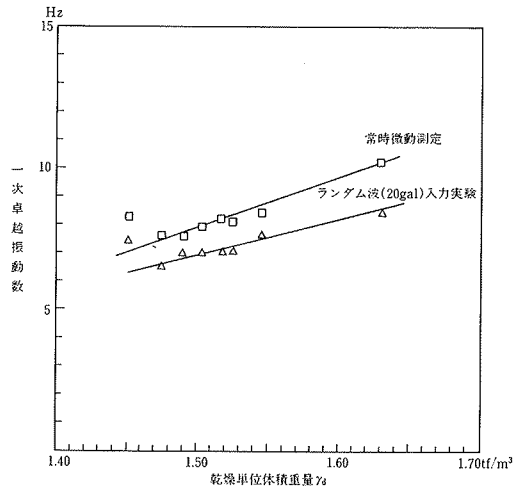
3.6. 共振実験結果

地震波を50回入力したあと、3.0 Hz, 150 gal の正弦波を10,000波入力し締固めを行なった後、入力加速度を10, 20, 50, 100 gal と変化させて共振実験を行なった。この4ケースの共振実験中では沈下が認められなかったため、同一地盤条件で入力加速度振幅をパラメータとした実験ととらえられる。(地盤条件;  $\gamma_d=1.63 \text{ tf/m}^3$ ,  $e=0.39$ ,  $Dr=69\%$ )

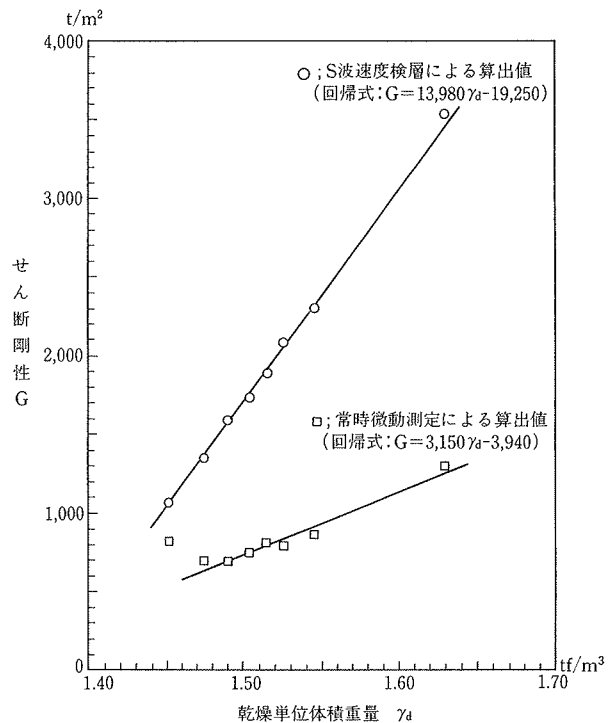
図一九に地表面位置の共振曲線を示す。入力加速度振幅の増大とともに共振振動数および最大応答倍率が低下している。これは、入力加速度振幅の増大とともに地盤内に生じるせん断ひずみ振幅が大きくなったためで次に示す岩砕材料の動的定数に起因すると考えられる。

3.7. 岩砕地盤の動的定数の算定

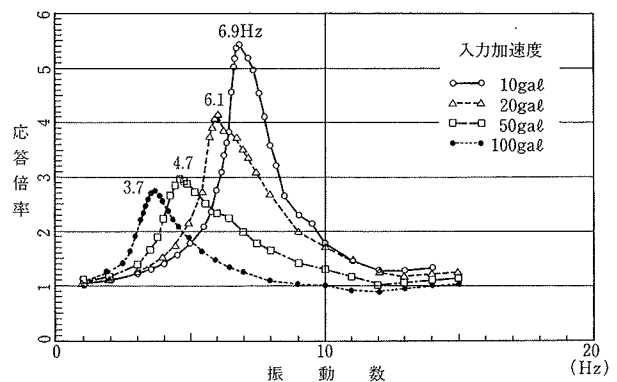
岩砕地盤のせん断剛性および減衰定数のひずみ依存性について検討した。なお、せん断剛性  $G$  および減衰定数



図一七 単位体積重量と一次卓越振動数



図一八 単位体積重量とせん断剛性



図一九 地表面位置の共振曲線

h を算出するのに必要なせん断ひずみ  $\gamma$  およびせん断応力  $\tau$  は図-11に示すように加速度記録から算定したものである。<sup>3)</sup>

図-10に入力加速度振幅とせん断剛性および減衰数の関係を示す。また、図-12にこの実験で得られたせん断ひずみ  $\gamma$  とせん断剛性  $G$ /初期せん断剛性  $G_0$  および減衰定数  $h$  の関係を示す。なお、初期せん断剛性  $G_0$  は、共振実験前に行なった常時微動測定から算出した値  $G_0=1298 \text{ t/m}^2$  を用いた。この図からせん断ひずみが大きくなるにつれて  $G$  の値は減少し、 $h$  の値は増大する傾向が明確に現われている。

#### 4. まとめ

今回実験に用いた粒度分布特性をもつ岩砕地盤においては、地震時に液状化に至らないものの緩く埋立てられた場合には、粒子の再配列によりかなり大きな沈下量が発生することがわかった。

また、地震波入力の際返しによる岩砕地盤の動的特性の変化から、あらかじめ地盤を締め固めておくことは、地震などの振動が地盤に作用した場合の沈下を低減するのに有効であることがわかった。

最後に今回得られた岩砕地盤の動的特性は、今後の動的解析に省く際して、有効な資料になるものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 松田 隆, 後藤洋三: せん断土槽を用いた模型地盤の振動実験 (その1), 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 42~46
- 2) (社)土質工学会: 粗粒材料の変形と強度, (1986), pp. 17~30
- 3) 石原研而: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会 (1976), pp. 236~242

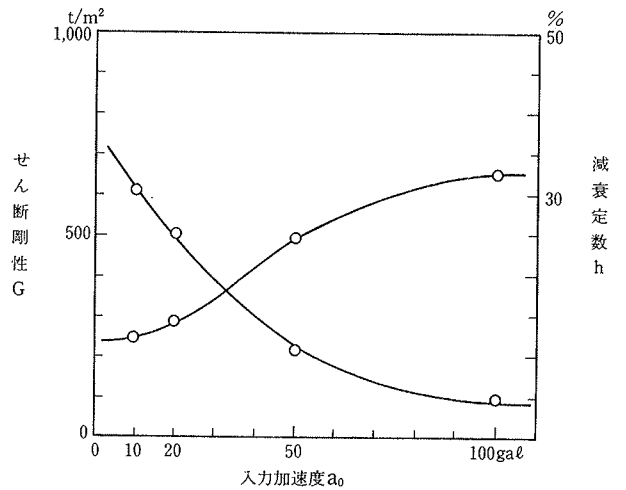


図-10 入力加速度とせん断剛性および減衰定数の関係

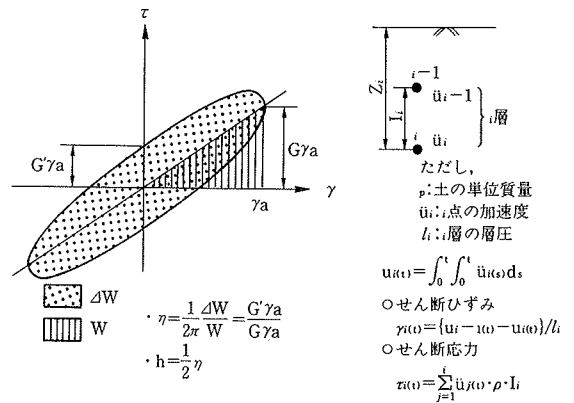


図-11 せん断剛性  $G$  および減衰定数  $h$  の算出法

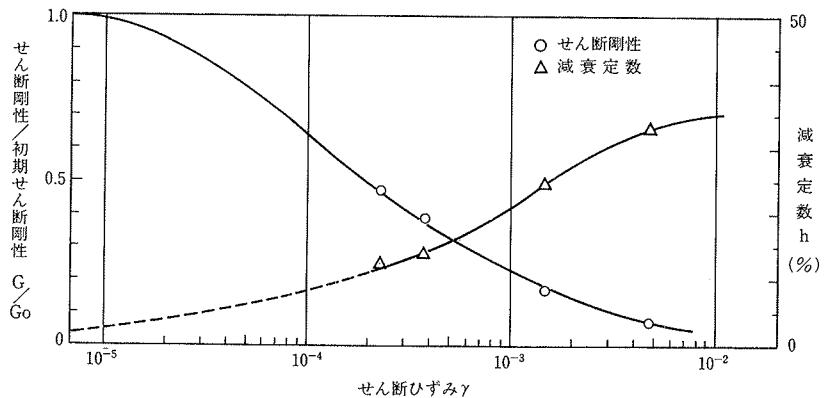


図-12 岩砕地盤の  $\gamma \sim G/G_0, h$  の関係