

セメント混合改良土の動的特性

——セメント添加率と養生日数の影響について——

平間 邦興 鳥井原 誠

Dynamic Properties of Cement-Mixed Soils

——Influences of Cement Content and Duration of Curing——

Kunioki Hirama Makoto Toriihara

Abstract

Recently, “deep mixing methods” using cement have come to be employed for improvement of soft ground on a large scale. However, these methods are so new that hardly anything has been investigated concerning the dynamic properties of the improved soils.

Therefore, in the study reported here, two types of dynamic tests were carried out to examine the influences of cement content (a_w) and number of days of curing (t) on shear modulus (G) and damping ratio (h) of cement-mixed soils. One was the resonant column test, and the other the dynamic torsional shear test.

As a result, it was found that cement-mixed soils are extremely dependent on strain similarly to ordinary soils. Furthermore, it was confirmed that there is a cement content which is optimum and most economical for the soil concerned.

概 要

近年、大規模な軟弱地盤改良工法の一つとして、セメントを用いた深層混合処理工法が定着しつつある。しかしながら、このような改良工法の歴史はまだごく新しく、従ってその改良土の動的特性についての研究は、ほとんど行なわれていない。

そこで、今回、室内で調整したセメント混合改良土を用いて、セメント添加率(a_w)と養生日数(t)が土のせん断剛性率(G)と減衰定数(h)にどのような影響を及ぼすかを知るために、2種類の動的試験を実施した。一つは共振法ねじり振動試験であり、もう一つは動的中空ねじりせん断試験である。

その結果、セメント混合改良土についても、一般の土と同様に顕著な G 、 h のひずみ依存性が存在することや、セメント添加率には最も経済的な最適添加率が存在することなどが明らかになった。

1. まえがき

近年、大規模な軟弱地盤改良工法の一つとして、セメントなどの硬化剤を用いた深層混合処理工法が定着しつつある。

しかしながら、このような改良工法の歴史はまだごく新しく、従って改良土の動的特性についての研究は、改良地盤の耐震設計上非常に重要であるにもかかわらずほとんど行なわれていない。

そこで、今回、室内で調整したセメント混合改良土を用いて、セメント添加率(a_w)と養生日数(t)が、土の

動的特性値として最も重要なせん断剛性率(G)と減衰定数(h)にどのような影響を及ぼすかを知るために、室内動的試験を実施した。

使用した試験装置は、 G 、 h のひずみ(γ)依存性を広いひずみ領域で把握するために、共振法ねじり振動試験機(共振法)と動的中空ねじりせん断試験機(中空)の2種類である。

2. 試料

使用した試料は千葉県佐倉市白井で採取した軟弱な沖積粘性土を乱したものであり、その物理的性質を表一1

に示す。初期含水比 150% に調整した試料にセメント添加率（試料の乾燥土重量に対する重量比） $a_w=10, 15, 20, 25, 30\%$ となるようにセメントミルクを加え、十分に混合した後、モールドに入れ、温度 20°C 、湿度 80% の恒温恒湿室で所定の養生を行なった。養生日数は7, 14, 28日の3ケースである。

粒度組成(%)			比重	コンシステンシー特性		
砂	シルト	粘土		LL	PL	PI
4.3	26.2	69.5	2.66	73.2	34.8	38.4

表-1 試料の物理的性質

3. 実験方法

実験はすべて CU 条件で応力制御のステージテストであり、拘束圧は等方で 1.0 kgf/cm^2 である。動的中空ね

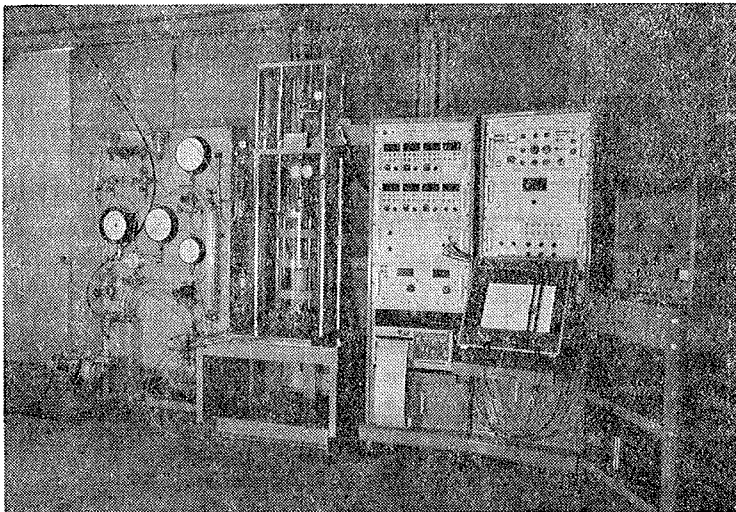


写真-1 動的中空ねじりせん断試験機

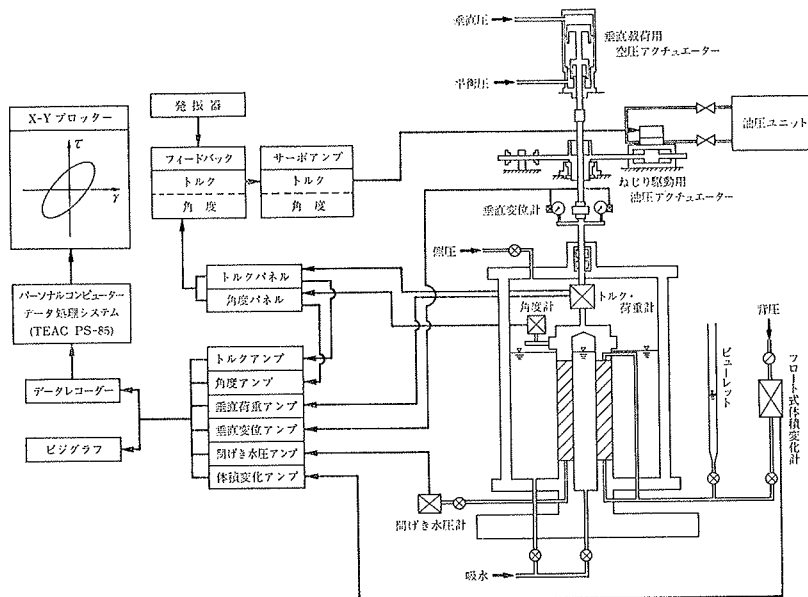


図-1 動的中空ねじりせん断試験機系統図

じりせん断試験機の周波数は 0.5 Hz 、一段階の載荷回数は10波である。

今回、使用した試験機の内、共振法ねじり振動試験機については以前の論文¹⁾で報告したので、ここでは、新しく製作した動的中空ねじりせん断試験機の概要を示す。

写真-1は、この試験機の全容写真を、また図-1はその機構系統図を示したものである。

一般に、地震時に地盤の土の要素に加わる応力は水平方向の繰返し力だといわれているが、この試験機はまさに、その原位置の応力状態を再現できるものである。供試体は図-2に示すような中空円筒型をしており、その寸法は、外径 7 cm 、内径 3 cm 、高さ 14 cm である。

試験時の応力状態概念図を図-2に示すが、任意の軸圧 (σ_1) 及び側圧 (σ_3) のもとで、油圧サーボシステムにより繰返しねじりせん断力を加える機構になっている。この時、供試体中の微小要素は地震時の地盤内の微小要素と同様に、単純せん断型の変形をしているのである。

応力・荷重系としては、軸圧と側圧はそれぞれ独立して空気圧により、また繰返しねじりせん断力は油圧により与える機構になっている。

測定系としては、軸力、ねじり力、軸変位、回転角、間引き水圧、体積変化などがある。軸力とねじり力は、セル内に設置されたトルク・荷重検出器により測定できるので、ピストン部の摩擦の影響が無視でき、正確な測定値を得ることができる。回転角はセル内に設置した回転角検出器により求めるが、その測定範囲はせん

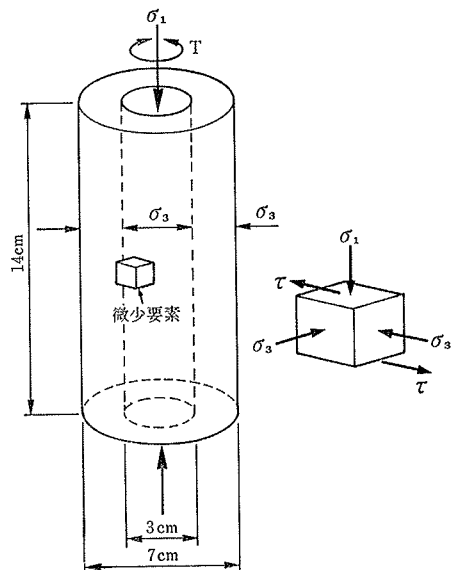


図-2 動的中空ねじりせん断試験機での応力状態概念図

断ひずみに換算して $5 \times 10^{-5} \sim 10^{-1}$ である。体積変化はビュレットの目視でも測定できるし、フロート式体積計によれば自動計測も可能である。

計測データの処理としては、全データをアナログデータレコーダに収録した後、パソコン (TE-AC PS-85) を用いて A/D 変換を含めた自動処理を行ない、X-Y プロッターにヒステリシスループを作図させた。

4. 結果と考察

図-3, 4, 5 は 7 日, 14 日, 28 日養生時の G と r の関係を示したものである。各セメント添加率ごとに、「共振法」と「中空」の 2 種類の試験を行なったが、両者の値は比較的良好な対応を示している。図中の実線は「中空」の試験結果に(1)式に示す Hardin-Druevich モデルを適用して求めたものである²⁾。

$$G = \frac{G_0}{1 + r/r_r} \dots\dots\dots(1)$$

G_0 : 微小ひずみ時の G

r_r : 規準ひずみ

いずれの養生日数においても、セメント添加率が増えたと G が大きくなるが、その傾向は特に微小ひずみ領域で顕著である。しかしひずみが大きくなるとセメント添加率の相異なる G の差異は小さくなる。

図-6, 7, 8 は図-3, 4, 5 の H-D モデルによる $G \sim r$ 曲線を、 $G/G_0 \sim r$ 曲線に変換したものである。セメント添加率が大きくなるほど、ひずみの増加に対して G/G_0 が急激に減少していく様子が明らかである。

図-9 は G とセメント添加率の関係をひずみと養生日数をパラメータにして示したものである。いずれの場合も、セメント添加率の増加に伴い G が大きくなるが、特に微小ひずみ時 ($r = 1 \times 10^{-5}$) にその傾向が著しい。また、増大する G の値がある一定値に漸近していく様子も明らかであるが、このことは地盤の耐震性を向上させるためのセメント混合改良工法の設計についても、最も経済的な最適添加率が存在することを意味している。

図-10 は G と養生日数の関係をひずみとセメント添加率をパラメータにして示したものである。一般に、ひずみが大きい場合 ($r = 1 \times 10^{-3}$) には養生日数による G の変化はほとんどないようである。ひずみが小さい場合 ($r = 1 \times 10^{-5}$) には、

セメント添加率が 10% では G の変化はほとんどないが、セメント添加率が大きくなるにつれて、養生日数の増加による G の増加が著しくなる。しかも、セメント添加率

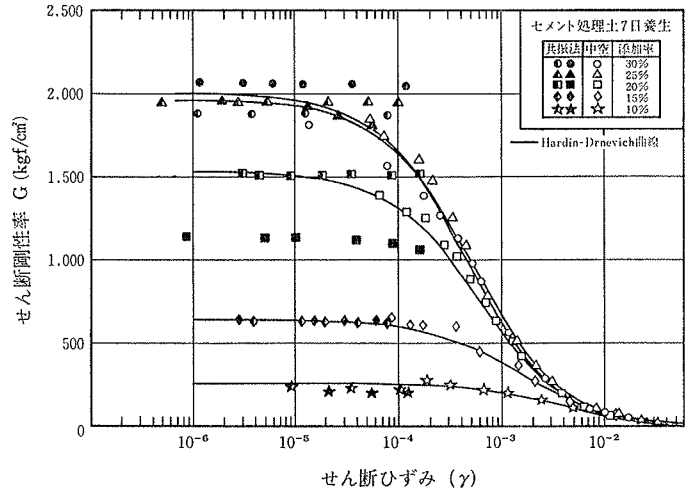


図-3 G と r の関係 (7 日養生)

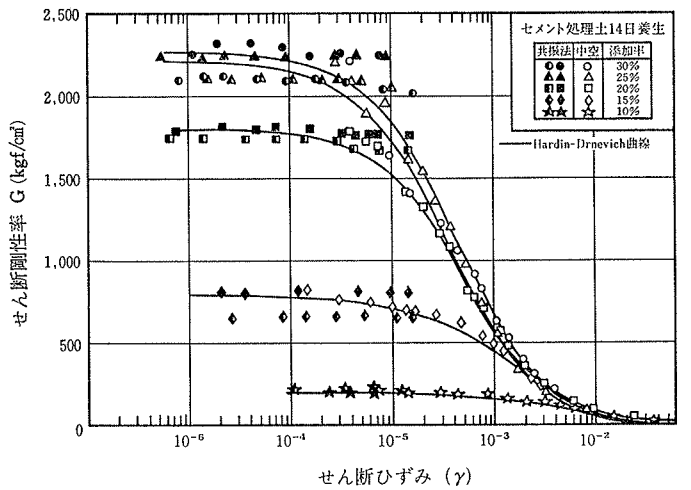


図-4 G と r の関係 (14 日養生)

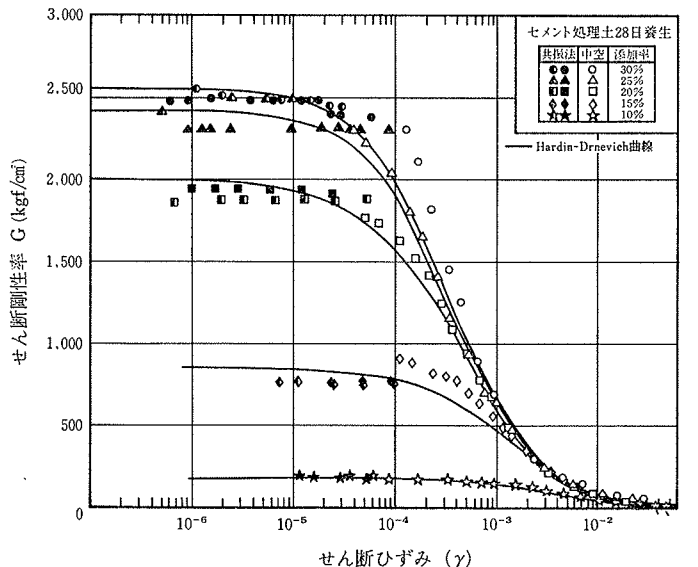


図-5 G と r の関係 (28 日養生)

が15, 20%ではGの値がある一定値に漸近していく傾向が認められるが, 25, 30%では増大していく傾向がまだ続いている。すなわち, セメント添加率が大きくなるほど改良効果の発現が遅れる傾向にあるようである。

図-11, 12, 13は7, 14, 28日養生時のhと γ の関係を示したものである。図中の実線は「中空」の試験結果に(2)式に示すH-Dモデルを適用して求めたものである²⁾。

$$h = h_0 \left(1 - \frac{G}{G_0} \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

h_0 : 最大減衰定数

多少のパラッキはあるものの, いずれの養生日数においても, セメント添加率が大きくなるほど, hが大きくなる傾向は明らかである。

図-14はhとセメント添加率の関係をひずみと養生日数をパラメータにして示したものである。ひずみが小さい場合 ($\gamma = 1 \times 10^{-4}$) にはセメント添加率によるhの変化はほとんどないが, ひずみが大きい場合 ($\gamma = 1 \times 10^{-3}$) にはセメント添加率の増加に伴い, hは大きくなり, ある一定値に漸近していくようである。

図-15はhと養生日数の関係をひずみとセメント添加率をパラメータにして示したものである。ひずみが小さい場合 ($\gamma = 1 \times 10^{-4}$) には養生日数によるhの変化はほとんどないようである。ひずみが大きい場合 ($\gamma = 1 \times 10^{-3}$) には, セメント添加率が10, 15%ではhの変化は

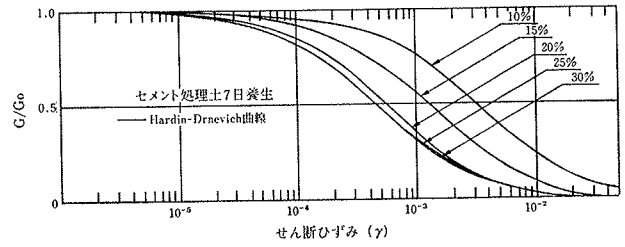


図-6 G/G₀ と γ の関係 (7日養生)

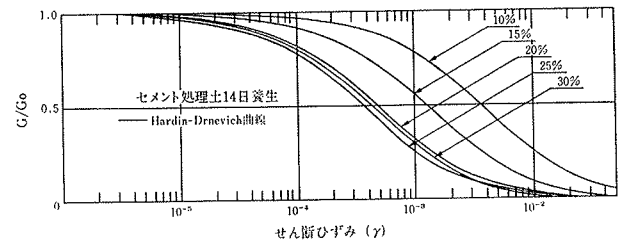


図-7 G/G₀ と γ の関係 (14日養生)

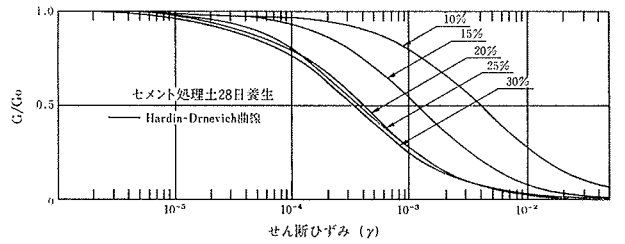


図-8 G/G₀ と γ の関係 (28日養生)

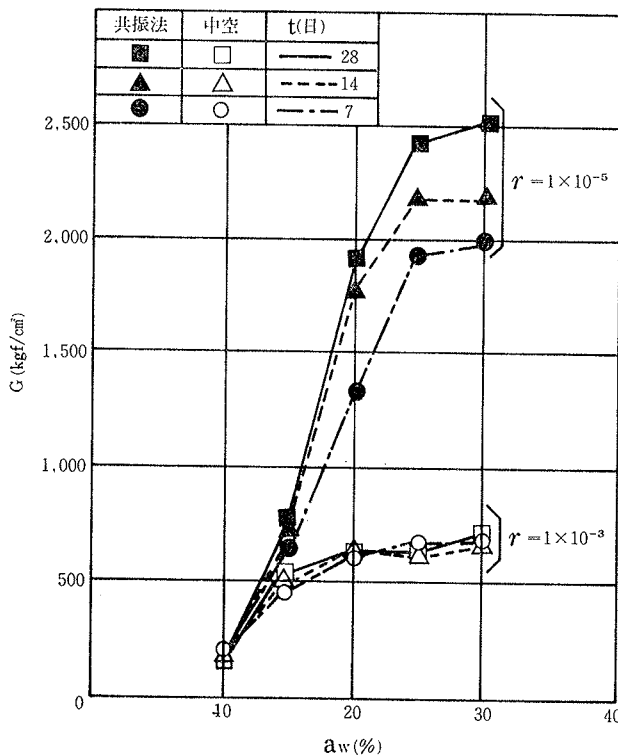


図-9 G と a_w の関係

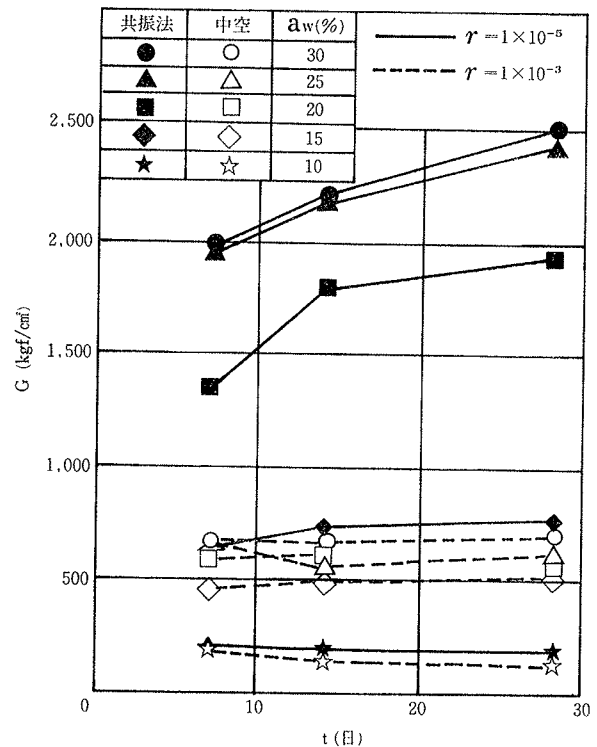


図-10 G と t の関係

ほとんどないが、20%以上になると、養生日数の増加に伴い、 h は若干大きくなり、ある一定値に漸近していくようである。

5. あとがき

今回の一連の実験で、セメント混合改良土についても一般の土と同様に顕著な G, h のひずみ依存性が存在することや、セメントには最も経済的な最適添加率が存在することなどが明らかになった。

しかし、今回の報告ではセメント混合改良土の動的特性を支配するさまざまな要因の内、セメント添加率と養生日数の影響を主な検討対象としたので、その他の要因(例えば水-セメント比、拘束圧など)については、今後の研究課題としたい。

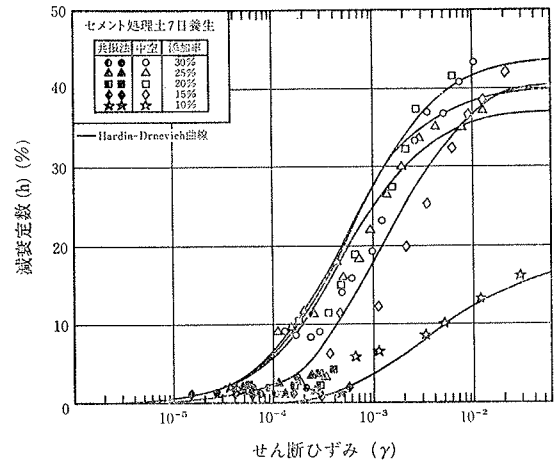


図-11 h と γ の関係 (7日養生)

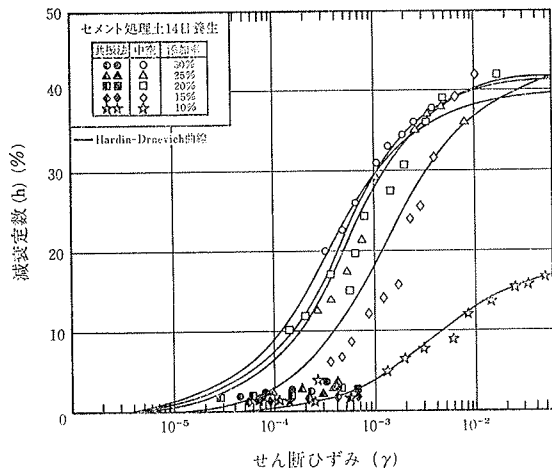


図-12 h と γ の関係 (14日養生)

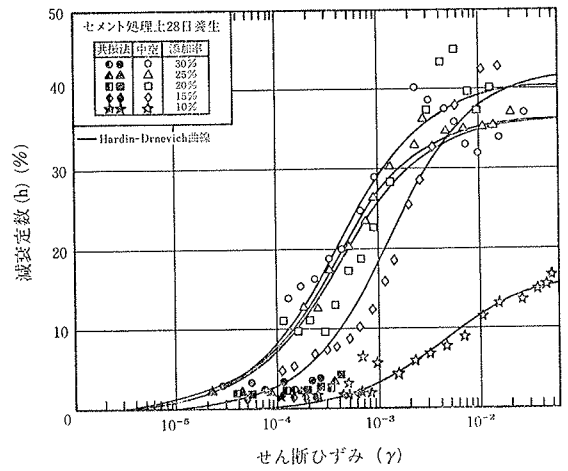


図-13 h と γ の関係 (28日養生)

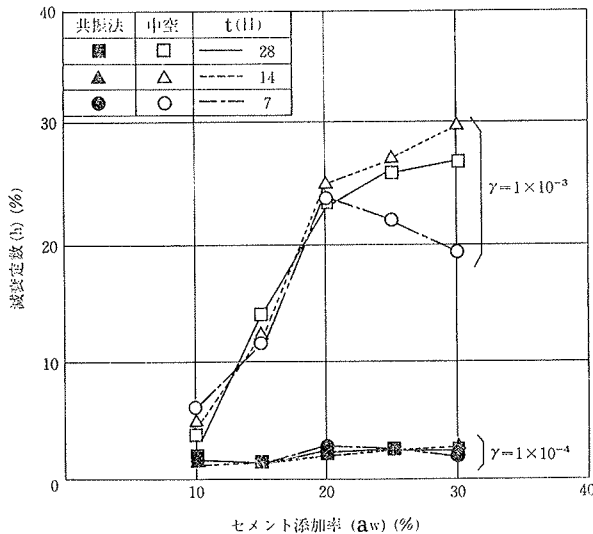


図-14 h と a_w の関係

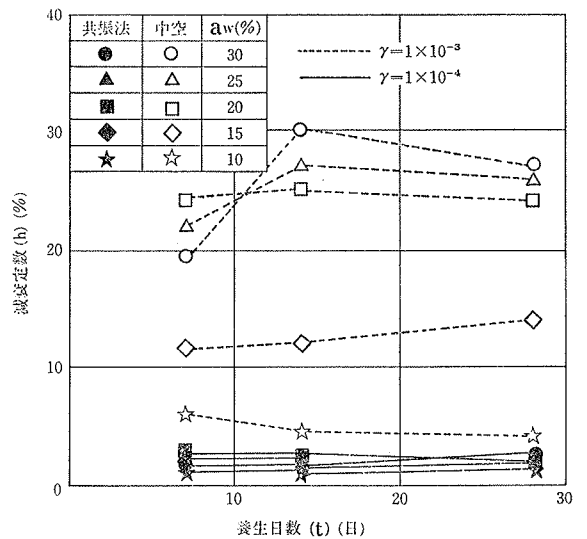


図-15 h と t の関係

参考文献

1) 斎藤, 平間, 鳥井原: 土のネジリ振動試験装置の試作と2, 3の試験結果について, 大林組技術研究所報, No.16, (1978), pp.56~59

2) 斎藤, 平間, 鳥井原: 粘性土の動剛性率と減衰定数の挙動について(その3), 大林組技術研究所報, No.24, (1982), pp.78~81