

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

第 5 卷 2 号

Vol. 5 No. 2

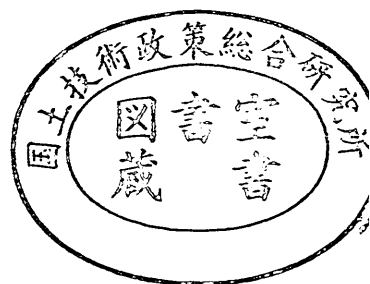
(通卷第 24 号)

斜面における鉛直単杭の横抵抗……………鈴木敦巳・久保浩一・田中芳夫

土の強さへのヒズミ速さによる影響……………沢口正俊

1966年1月

運輸省港湾技術研究所



斜面における鉛直単杭の横抵抗

目 次

英文要旨	1
まえがき	2
1. 実験方法	2
1.1 実験概要	2
1.2 杭の設置	3
1.3 締固めおよび斜面の形成	3
1.4 砂の性質	4
1.5 載荷方法	5
1.6 測定方法	5
2. 実験結果	5
2.1 予備実験	5
2.2 本実験	7
2.2.1 斜面の崩れ	7
2.2.2 杭頭の水平変位	8
2.2.3 杭の曲げモーメント分布・反力分布・たわみ分布	10
3. 考 察	13
4. 計 算 例	18
む す び	19
参 考 文 献	20
記 号 表	20

土の強さへのヒズミ速さによる影響

沢 口 正 俊

The influence of the rate of strain on the undrained strength of soil

Masatoshi Sawaguchi *

Synopsis

There have been as yet no definite opinions as to what rate of strain should be used to obtain the undrained shearing strength of soil in a triaxial compression test, though the specified rate of strain was stated in the book published by Japan Society of Soil and Foundation Engineering, as 1%/min. However, as this rate of strain was specified recently, what difference between the results of triaxial compression test carried out hitherto at other rates of strain and those obtained at the specified rate of strain existed was described in this report. In conclusion was it clear as has been stated by other investigators that there was a little difference in the undrained strength and, moreover, the pore-water pressure at failure which were tested in the range extending from 0.1%/min to 10%/min, which resulted in decreasing of the angle of internal friction by 3 degrees as the rate of strain increased. Other soil properties in view of the strength characteristics with several rates of strain were stated.

* Chief Researcher, Soil and Structure Division

土の強さへのヒズミ速さによる影響

沢口正俊

1. ま え が き

土の三軸圧縮試験で、ヒズミ速さをどの程度にとるべきかについては今のところ定見がない。土質試験法には1%/minが適当であると述べられているが、それ以外の各種のヒズミ速さで求めたせん断強さとどれ程の相違が生ずるかについて実験を行ない調べた。その結果0.1%/minから10%/minまでのヒズミ速さの範囲ではせん断強さおよび間ゲキ水圧は、わずかながらも変化をみせ、それらの結果から求めたせん断抵抗角では、3°近くの相違があることがわかった。またこの事以外にヒズミ速さの変化に対して土の強度特性がどのように変化するかについても調べてみた。

2. 試 料

実験に使った試料は高島粘土で、なるべく原位置と同じ状態しておくために、コンクリートで作られた水槽に海水を満たし、その中に保存しておいたものである。

表一 高島粘土の物理的性質諸元

高 島 粘 土		
物 理 指 数	比 重	2.70
	液 性 限 界	103.7
	塑 性 限 界	42.4
	塑 性 指 数	61.3
粒 度	砂	4.9%
	シルト	43.9%
	粘 土	51.2%

表二 圧密試験による諸性質

圧密係数	$1.8 \times 10^{-1} \sim 4.5 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{min.}$
透水係数	$2.3 \times 10^{-5} \sim 1.7 \times 10^{-6} \text{cm}/\text{min.}$
体積圧縮係数	$4.0 \times 10^{-1} \sim 1.7 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{kg}$

この粘土の物理的諸元は表一に示す。また圧密試験結果を表二に示す。この結果からわかるように、この高島粘土は透水係数の低いプラスチックな粘土である。

3. 実 験 装 置

本試験に使用された三軸圧縮試験機については、港研報告、第4巻第1号にすでに詳細に述べられており、試験装置の主要部分は、供試体を置く三軸圧縮室、荷重を加える載荷装置、定圧装置、測定装置として間ゲキ水圧測定装置、体積変化測定装置に分けられる。供試体は直径3.57cm、高さ8.0cmのもの以外に直径5cm、高さ12cmのものも試験できるようになっている。載荷方法は段階を変えたヒズミ速さで圧縮できるヒズミ制御型である。

4. 実 験 方 法

試験はまず試料を供試体として成型する時に、くずれない程度に締め固めるために、またなるべくせん断試験のための圧密荷重から遠ざけるという意味から最初、再圧密試験機によって0.4kg/cm²で等方圧密した。しかし側圧3kg/cm²の最後の2つの供試体は実験の都合上、1kg/cm²で等方圧密したものを使った。この圧密された試料から直径3.57cm高さ8.0cmの供試体を平均6個とり、これを実験で予定された3種類の圧密荷重、1kg/cm²、2kg/cm²、3kg/cm²によって三軸セル内で圧密した。この成型中に、試料の上、中、下の3か所について含水比を求めた。供試体の寸法は三軸セルにセットする前に、

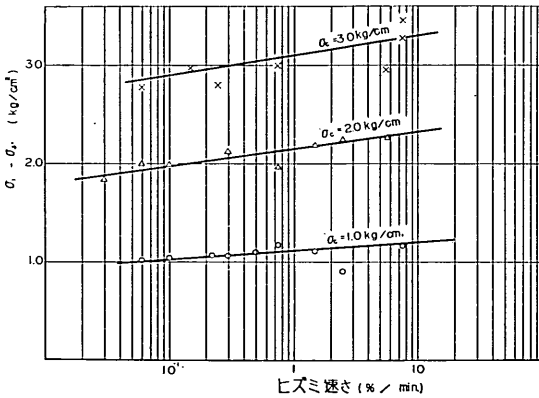
表三 実験に使われたヒズミ速さ

1 kg/cm ²		2 kg/cm ²		3 kg/cm ²	
No.	%/min.	No.	%/min.	No.	%/min.
1	0.06	10	0.03	18	0.06
2	0.1	11	0.06	19	0.15
3	0.225	12	0.1	20	0.25
4	0.3	13	0.3	21	0.75
5	0.5	14	0.75	22	5.625
6	0.75	15	1.5	23	7.5
7	1.5	16	2.5	24	7.5
8	2.5	17	5.625		
9	7.5				

断面の直径と高さをノギスによって求め、セン断中の断面面積は圧密による体積変化量を差し引いたものについて算定した。圧密は一昼夜にわたり排水量、間ゲキ水圧の測定を行ない、圧密曲線をプロットした。この圧密曲線から圧密終了時を推定し、その後非排水セン断試験に移った。実験で行なったヒズミ速さは表一3に示すように試験機の性能が充分発揮できる範囲で、対数目盛上でできる限り等間隔になるように選んだ。セン断試験はセン断強さのピークがでるまで軸ヒズミで0.5%/min前後の間隔で測定し、ピークがでた後もしばらく測定を続けた。

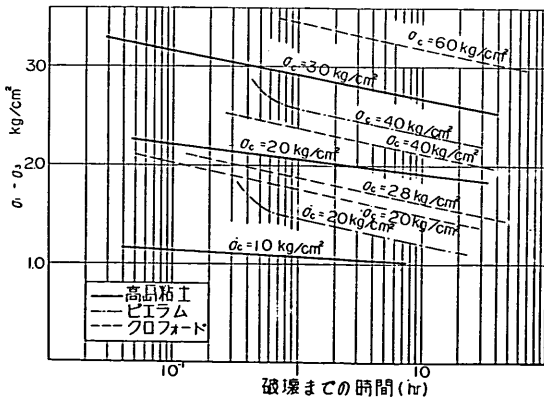
5. 考 察

図一1はヒズミ速さを対数目盛で横軸にとり、各側圧に対して、非排水セン断強さをプロットしたものであ



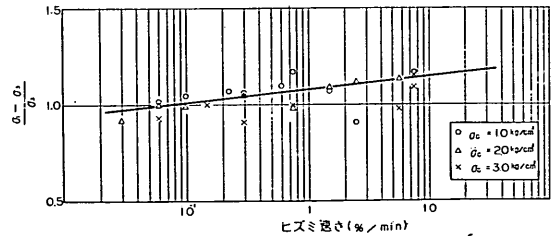
図一1 ヒズミ速さとセン断強さとの関係

る。これによるとヒズミ速さが大きい程、どの側圧の場合にもセン断強さが増加していることがわかる。例えば0.1%/minから10%/minに変化するとセン断強さは側圧1 kg/cm²では約20%、側圧2 kg/cm²では約15%、



図一2 破壊迄の時間とセン断強さとの関係

側圧3 kg/cm²では約13%程度増加している。しかしいずれの側圧についてもセン断強さはヒズミ速さに対して直線的に変化していることがわかる。またこれを破壊までの時間について書き換えてみると図一2のようになる。この図の中にビエラムとクロフオードが行なった同じような実験による結果も書き加えてある。これらの他の実験結果に比べると高島粘土は側圧が増加すると、ヒズミ速さによるセン断強さの変化率が増すことがわかる。これに対してビエラムとクロフオードが行なった実験では側圧の大きさに無関係に変化率が一定である。特にビエラムの行なった試験では破壊までの時間が減少するにつれて、あるヒズミ速さ以上では急激にセン断強さが増加する。この傾向はキャサグランデが応力制御式で行なった実験結果と同じである。高島粘土と他の実験試料の物理的性質の違いを調べてみると高島粘土は沖積堆積土で、液性限界が104、塑性限界が42であるのに対し、ビエラムのそれは海底粘土であるが、液性限界39~59、塑性限界21~25程度であり、クロフオードのそれは氷河堆積河底粘土で液性限界95、塑性限界が26である。したがって高島粘土の液性限界、塑性限界は他の試料のものに比べると倍近くもある。しかし、これらの物理的性質がヒズミ速さの違いによるセン断強さの変化にどのような影響を及ぼすのかについては更に今後の研究が必要である。



図一3 ヒズミ速さとセン断強さに対する側圧の比との関係

図一3には、ヒズミ速さに対してセン断強さを側圧で割った値をプロットしてある。この図によれば、側圧の違いによって多少巾を持つにしても、いずれのヒズミ速さに対しても側圧にはほとんど無関係であることがわかる。ただ、この図からもわかるように側圧が小さい時は比較的直線上に並びやすいが、側圧が大きくなると実験結果のバラツキが大きくなっている。したがって、この結果だけから言うと土のセン断強さを求める場合には、できる限り低い側圧によって実験した方がよいように思われる。それではヒズミ速さによるセン断強さへの影響が、セン断中に生ずる間ゲキ水圧によるものかどうかを

調べるために破壊時の間ゲキ水圧を側圧で割った値、 u_f/σ_3 をヒズミ速さに対してプロットしてみる。その結果が図-4に示されている。この図では、ヒズミ速さが増すにつれて u_f/σ_3 の値は減少していくが、これも側圧の大きさによらずあるヒズミ速さに対して一定の値を示している。ヒズミ速さの増加に対して u_f/σ_3 が減少する

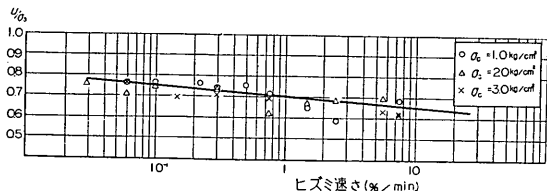


図-4 ヒズミ速さと間ゲキ水圧に対する側圧の比との関係

ことは、破壊時に破壊面近くに生ずる間ゲキ水圧が、供試体の中で一様化するのに、ある決まった時間がかかるのに対して、その時間よりもはやくセン断が終了してしまうことによると考えられる。それで、これを簡単な式で説明すると、今、供試体の高さ L 、破壊時のヒズミを ϵ_f とすれば、供試体の単位断面積当りの間ゲキ水の移動量は $L\epsilon_f$ に比例するものとして $\alpha L\epsilon_f$ で与えられる。ここで α は土の間ゲキによってきまる無次元定数である。この移動量を破壊までの時間で割れば、流れの平均的速さが求まる。つまり $\alpha L\epsilon_f/t_f$ であり、これは流量である。

ところで供試体中に、 $4p$ の間ゲキ水圧の差ができたとすれば、圧力水頭勾配は $4p/\beta L\gamma_w$ である。ここで β はやはり土の間ゲキによってきまる無次元定数である。したがってダルシーの法則を使えば

$$4p = (\alpha\beta) \left(\frac{\rho_f \gamma_w L^2}{k} \right)$$

が求まる。ここで $\rho_f = \epsilon_f/t_f$ で、 k は透水係数である。

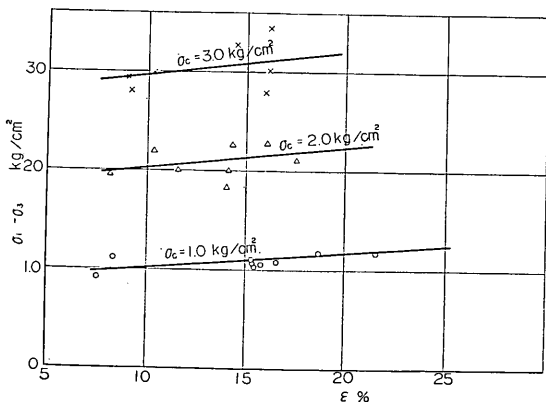


図-5 破壊ヒズミとセン断強さとの関係

上の式で側圧の項は右辺に含まれているが、間ゲキ水圧の差とヒズミ速さの関係だけを考えれば、ヒズミ速さが増すにつれて間ゲキ水圧の差が大きくなって端部の間ゲキ水圧が減少することがわかる。それではヒズミ速さに対して破壊時のヒズミがどのように変化するかについては各側圧に対する相違をみるために、セン断強さをパラメーターと考えて、セン断強さと破壊時のヒズミについてプロットしたものが図-5である。この図によるとセン断強さが増す、つまりヒズミ速さが増すにつれて破壊時のヒズミは大きくでる。これはホイットマンが得た結果と同じ傾向を示している。つまりヒズミ速さの変化による破壊までの時間は、破壊時のヒズミを一定と考えた場合よりも多少長くなることを意味している。したがって図-2に示すように破壊までの時間に対してプロットしたものは変化率が多少小さくでている。ヒズミ速さによる破壊ヒズミの変化に関連して、セン断強さの50%でおさえた変形係数についてヒズミ速さの影響を調べたも

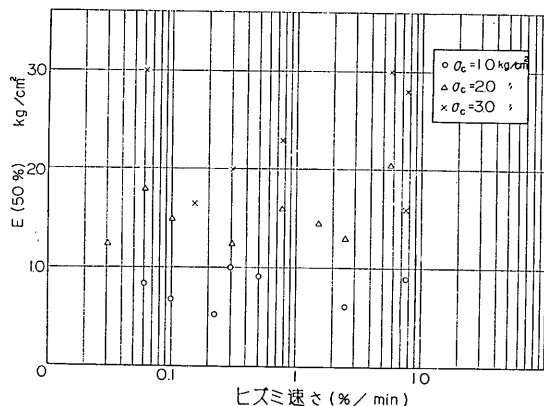


図-6 ヒズミ速さと変形率との関係

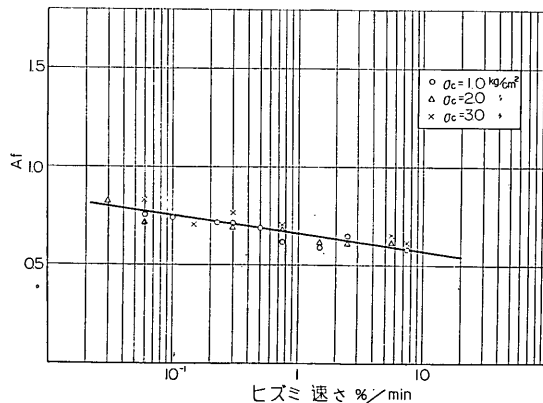


図-7 ヒズミ速さと間ゲキ水圧係数 A_f との関係

のが図-6である。これによるとはっきりとした傾向がつかめないが、ホイットマンは変形係数はヒズミ速さが増すにつれて増加することを述べている。

図-7は図-1と図-4から求められたヒズミ速さに対する間ゲキ水圧係数 A_f の値をプロットしたものである。この図からヒズミ速さが増加するにつれて A_f の値は減少することがわかる。これはヒズミ速さが増加するにつれて間ゲキ水圧が減少しセン断強さが増加することから当然の帰結である。この A_f の値についてもピエラムとクロフォードが行なった実験から求めた A_f の値を比べたものが図-8である。高島粘土の結果とピエラムの得た結果は側圧の変化にかかわらず一本の線ののるが

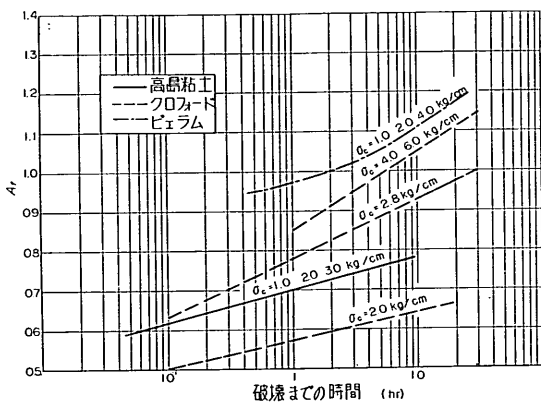


図-8 破壊迄の時間と間隙水圧係数 A_f との関係

クロフォードが得た結果は側圧によって異なる A_f 値を与えている。しかしこの場合でも高島粘土の A_f の変化率は他の粘土に比べると小さくなっている。図-4と図-7を使えばこの実験に使用した高島粘土は正規圧密されたものであるから $C'=0$ と考えて

$$\frac{u}{\sigma_3} = \frac{1}{1 + \frac{1}{2A_f} \frac{1 - \sin\phi'}{\sin\phi'}}$$

の式を使ってセン断抵抗角 ϕ' を求めることができる。その結果を示したものが図-9である。この結果によればヒズミ速さが増すにつれて ϕ' は減少していくことが

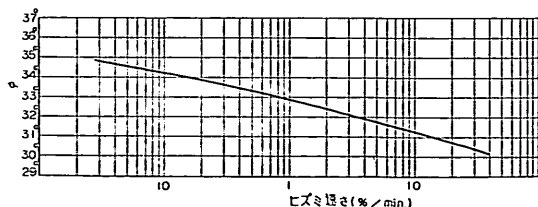


図-9 ヒズミ速さとセン断抵抗角 ϕ' との関係

わかる。これはヒズミ速さが増すにつれてセン断強さが増加する以上に、間ゲキ水圧の減少のしかたが大きい結果として ϕ' が小さくできるものと考えられる。この傾向はクロフォードが行なった実験結果に一致した傾向をあらわしている。

6. 結 論

以上の実験でわかったことを繰り返して要約すると

- 1) ヒズミ速さが増すにつれて圧密非排水セン断強さは半対数グラフ上で直線的に増加する。また側圧が大きい程この増加率は大きくなる。しかし実験結果のパラツキが大きくなる。
- 2) 発生する破壊時の間ゲキ水圧はヒズミ速さが増すにつれて減少する。しかし各側圧に対する間ゲキ水圧の割合は側圧の如何によらず一定である。
- 3) 破壊時のヒズミはヒズミ速さが増すにつれて増加する。しかしセン断強さの50%でおえた変形率はほとんど一定の傾向を示さない。
- 4) 間ゲキ水圧係数 A_f はヒズミ速さが増すにつれて減少する。これはセン断強さの増加と共に間ゲキ水圧の減少による。 A_f の値も各側圧に対する割合は、側圧の如何によらず一定である。
- 5) 正規圧密粘土で C' を零とした結果から ϕ' を求めるとヒズミ速さが増すにつれて ϕ' が減少していく。

7. あとがき

三軸試験のヒズミ速さを最大限どの程度に決めればそれ以下のセン断強さに対しては無視し得る程度に近い値を与えるかについて、この実験結果からは結論づけられなかったがヒズミ速さの異なる実験結果の関連性がある程度明らかになったと考えられる。また、同時にある程度粘土の時間効果というものもわずかな範囲ではあるがつかみ得たように思われる。

最後にこの報告のとりまとめに数多くの助言をしていただいた中瀬室長、および、実験および整理を担当してもらった長谷川武道君に謝意を表したい。

参 考 書

- 1) C.B. Crawford; The influence of rate of strain on effective stresses in sensitive clay; papers on soil 1959 meetings, ASTM.
- 2) 中瀬明男; 土の三軸圧縮試験 (第1報), 港研報告 4巻1号,
- 3) 土質試験法, 土質工学会,

- 4) R.V. Whitman ; Testing soil with transient loads ;
Conference on soil for engineering purpose, ASTM,
M, 1957
- 5) A. Casagrande, & W.L. Shanon ; Stress-deformation
and strength characteristics of soils under dynamic
loads ; 1948 Int. Conf. Soil Mech. and Found.
Engr. proceeding. Vol. V.

(昭和41年 1月31日受付)