

1. まえがき

不飽和土の有効応力は一般に Bishop が提案している $p = \sigma - u_a + \alpha(u_a - u_w)$ であらわされる。すなわち不飽和土のせん断強さは u_a , $\alpha(u_a - u_w) = P$ の大きさに関係しており, P が有効応力増加に寄与している。この P を仮りに毛管水による粒子間圧縮力と呼ぶことにする。特に粘性土の場合, せん断強さは上記の P 以外に, 含水状態の変化によって異なる電気化学的な力や土の構造にも影響を受ける。不飽和土のせん断強さ

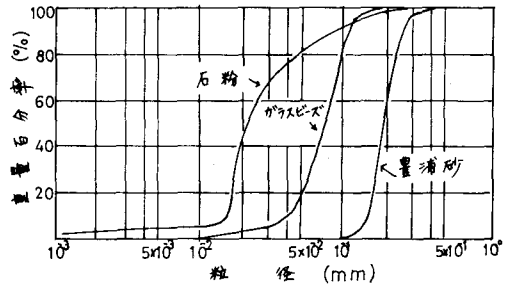


図-1 粒径加積曲線

に影響を及ぼす多くの要因のうち, 毛管水による粒子間圧縮力すなわち $\alpha(u_a - u_w) = -\alpha u_w = P$ (排水試験 $u_a = 0$)

に注目し, この P がせん断強さを含めた不飽和土のせん断特性に及ぼす影響を実験的に調べることにした。そこで電気化学的な力や土の構造の影響がほとんどないと思われる種類の非粘性材料を選び, これらの間ゲキ比と含水比を変えて排水三軸圧縮試験を行なった。

2. 供試体と試験方法

用いた3試料の粒径加積曲線を図-1に示している。石粉はアスファルト混合用骨材として用いられるもので74μフ

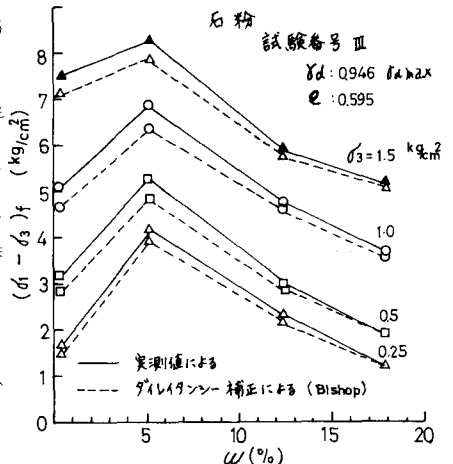


図-2 最大軸差応力と含水比

ルイ通過率が86.3%である。またガラスビーズは研磨材として市販されている東芝製GB701Kである。これを顕微鏡で観察するとほとんど完全な球状であることがわかる。供試体の寸法は直径5.0cm, 高さ12.5cmである。間ゲキ比は石粉3種類, ガラスビーズ1種類, 豊浦砂2種類とし各々の間ゲキ比に対して含水比を気乾状態から飽和状態まで変えて試験を行なった。圧密時間は60分間, 側圧は石粉の場合のみ $\sigma_3 = 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 \text{ kg/cm}^2$, ガラスビーズと豊浦砂では $\sigma_3 = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 \text{ kg/cm}^2$ の4段階である。ヒズミ速度は石粉の場合 $0.3\%/min$ 。他の2試料では $0.8\%/min$ である。

3. 応力とヒズミ

応力-ヒズミと含水比の関係は, 石粉では粘性土や砂質土(マサ土)とよく近似している。これに対してガラスビーズ, 豊浦砂では含水条件が変わっても応力-ヒズミの関係にはっきりした違いは見られない。

石粉では粘性土, 砂質土と同様に一定の間ゲキ比では, 含水比が低い程(ただし含水比 $w=0$ 附近を除く)応力-ヒズミ曲線においてピークがあらわれやすく, それに対応するヒズミ ϵ_f は小さい。

(図面省略) 図-2

～図-4に最大軸差

応力と初期含水比の

関係を示している。

石粉では w が 0～

6%の間では各々の

側圧に対して一様に

増加の傾向を示して

いるが、その間の

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ の増加の割

合は側圧が小さい方

が大きい。この傾向

は他の間ゲキ比の場合も同じである。 w が 6%を越えると

$(\sigma_1 - \sigma_3)$ は w の増加に従ってほぼ一定の割合で減少している。

含水比が 6%あたりで最大軸差応力がピークを示すのは後で

も述べるが、最大軸差応力時の毛管水による粒子間圧縮力

がこの含水比あたりで最大になるためである。含水比が零附

近では水の働きが皆無に近しい、飽和度が $S_r > 80\%$ では

斥の値が零に近く水が潤滑材として働いたためこれらの含水比

では最大軸差応力は小さくなる。

上記の石粉に対してガラスビーズと豊浦砂では含水比による

影響はつきりしない。これはいくらか供試体の間ゲキ比

のバラツキ、試験のまずさにも関係すると思われるが、本質

的理由はこれらの試料に於く粒子間圧縮力が石粉にくらべ

て非常に小さいからである。これは粒径、粒度分布、形状の

違い、供試体の平均間ゲキ比が石粉で $e = 0.46 \sim 0.60$ 、ガラ

スビーズ $e = 0.64$ 、豊浦砂 $e = 0.70 \sim 0.77$ であること

はとから容易に予想される。

4. 体積変化

3試料のダイレイタンシー指数 (D.I.), $d(\frac{V}{V_0})/de$ が含水比によってどのように変わるかを示したのが図-5～図-7である。ガラスビーズ、豊浦砂では含水比の影響はつきりしないが、石粉のみ含水比によって変わり特に $w = 6\%$ あたりでピークを示している。同含水比で石粉の毛管水による粒子間圧縮力が最大になることが予想できることは既に述べた。これらよりこの粒子間圧縮力の効果が角ばりのある砂で多くみられるインターロッキング効果と同様な役割りを演じていることが考えられる。すなわち毛管水によって互いに押しつけられた土粒子はせん断が生じるのには一度分離しなければならぬので、体積変化としては膨張が生じるのである。石粉のダイレイタンシー指数を気乾状態

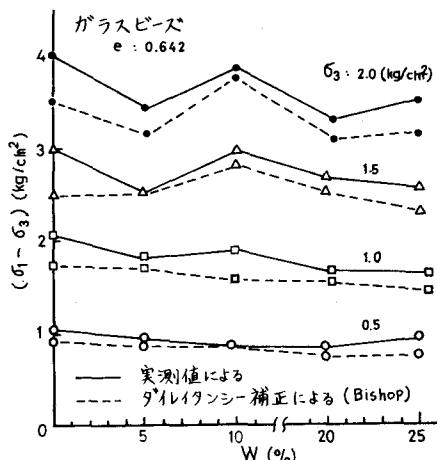


図-3 最大軸差応力と含水比

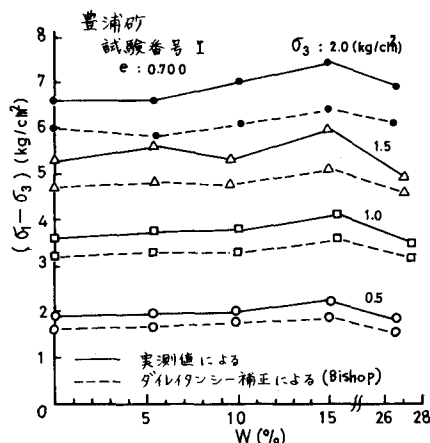


図-4 最大軸差応力と含水比

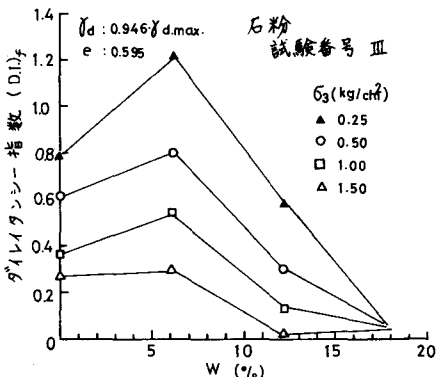


図-5 ダイレイタンシー指数と含水比

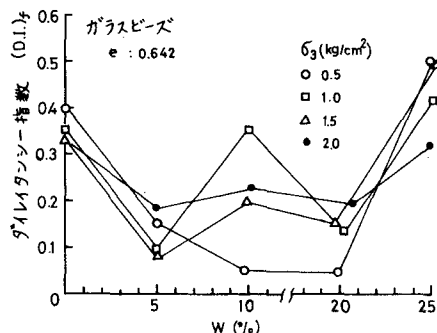


図-6 ダイレイタンシー指数と含水比

のものと $w=18\%$ のものを比較すると後者の方が前者のものよりいくらか小さい。そこで不飽和粘性材料のダイレイタンスー指数は乾燥した試料の D.I. + (毛管水の粒子間圧縮力効果による D.I.) -

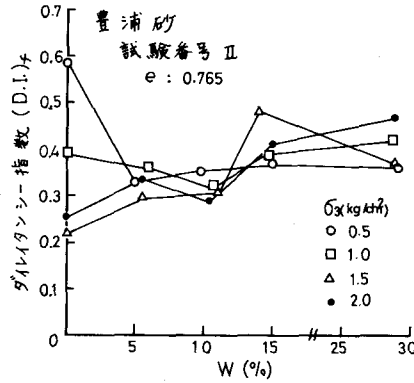


図-7 ダイレイタンスー指数と含水比

水の潤滑作用による D.I. の低下量) であらわされることになる。ガラスビーズと豊浦砂では粒子間圧縮力が小さいために含水比が変わっても D.I. はあまり変化を示さない。ダイレイタンスー指数と側圧の関係を見ると、石粉では側圧が大きくなると D.I. は小さくなるが、他の 2 試料では側圧の影響は明らかでない。

次に等方圧縮時と最大軸差応力時の体積変化について述べる。各々の体積変化量を初期の供試体の体積で割って求めたのが図-8～図-9 である。不飽和土の非排水三軸試験において特に粘性土では飽和度が高くなる程 (但し $S_r=100\%$ を除く) 体積変化が大きくなることは既に報告したが、石粉においても同様な傾向が見られる。最適含水比の約 12% あたりを境にして気乾状態、飽和状態に近づくに従って体積変化率が大きくなる。6～12% あたりで働く粒子間圧縮力が等方圧せん断による土粒子の密着状態への移行を妨げている。他の 2 試料では体積変化率と含水比の関係ははっきりしない。

5. セン断抵抗

図-10～図-12 に 3 試料の見かけの粘着力、セン断抵抗角と含水比の関係を示している。セン断抵抗をこのように見かけの粘着力とセン断抵抗角に合せてこれらに物理的意味をもたせようことは正しくないが、破壊包絡線が交わる軸の切片の大きさとその傾斜角をあらわすこれらの値は試料の種類、締め密度や含水条件との関係において興味ある特性を示している。

石粉では見かけの粘着力 C_d は粘性土や砂質土と同じく含水比に対して明らかなピークがみられる。このピークを示す含水比は $w=6\%$ であり既に述べたように最大軸差応力、ダイレイタンスー指数もこの含水比で最大値を示している。見かけの粘着力は土上で最大

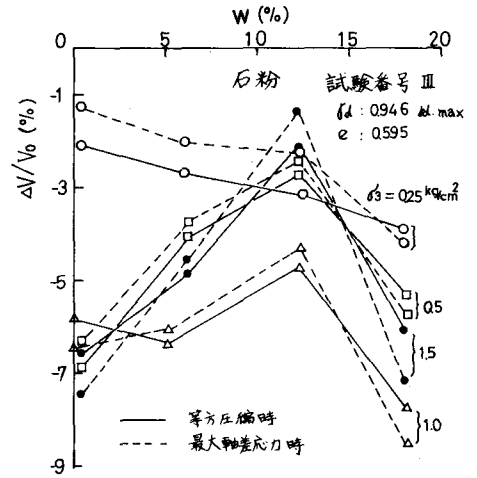


図-8 体積変化率と含水比

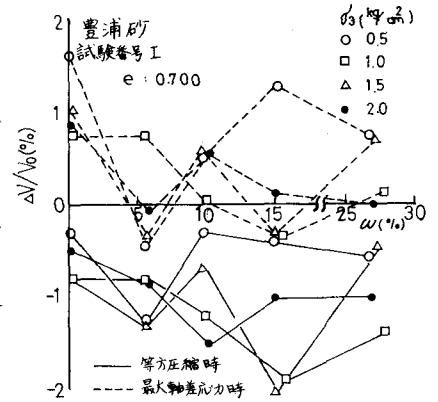


図-9 体積変化率と含水比

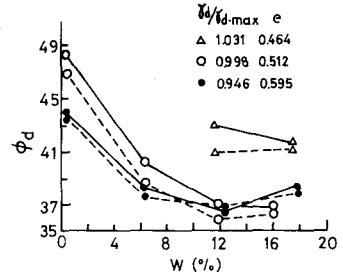
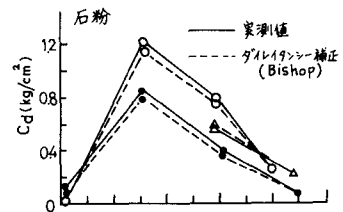
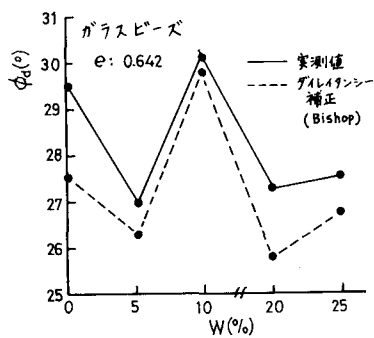


図-10 見かけの粘着力、セン断抵抗角と含水比

値は約1.2 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ と予想より
はるかに大きなものである。
コンシステンシー特性ではNPであるが、
粒度分布が粘性土に近い
この試料でインターロッキング
効果が大きいことも寄与して、
毛管水による粒子間圧縮力が大とな
るため見かけ上の粘着力が大きくなるのである。



図一 11 セン断抵抗角と含水比

セン断抵抗角 ϕ_d は含水比の増加とともに減少してある含水比を越えるとほぼ一定値に落着く。このように $w=0$ でピークを示し含水量の増加でセン断抵抗角が減少するのは水の潤滑的効果のためであろう。

次にガラスビーズと豊浦砂について述べる。完全な球状で表面がなめらかなガラスビーズではインターロッキング効果はほとんどないので C_d は零に近い。いくら角ばりと表面の粗さがみられる豊浦砂では C_d が最大で0.15 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ である。豊浦砂でも密な場合は $w=10\%$ あたりでピークがみられるが、あまり信頼性のおける傾向とは云えない。これらの2試料に関する C_d , ϕ_d と含水比の関係は顕著な傾向は得られていない。

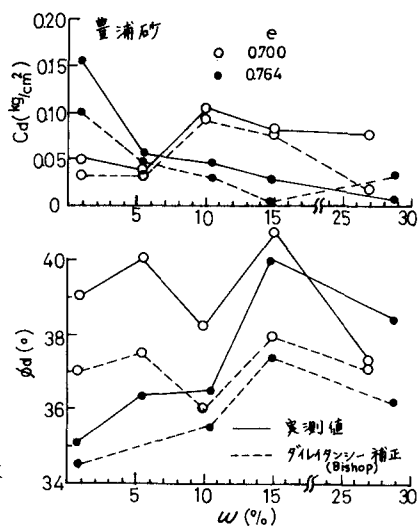
6. 毛管水による粒子間圧縮力

石粉の排水三軸圧縮試験で最大軸差応力時に働く毛管水による粒子間圧縮力 $P_f = -\alpha u_w$ を α の算定法を適用して求めた。石粉では完全に飽和した試料について三軸試験を行っていないので、 $w=0.3\%$ の石粉で P_f は零と仮定し、これを基準にして他の含水比の供試体に働く P_f を求めた。図一13の破壊包絡線から P_f を求めると図一14のようになる。含水比が低いと P_f は正の値を示し、含水比が増すにつれて負の値を示すようになる。この値は側圧の大きさによって異なり、

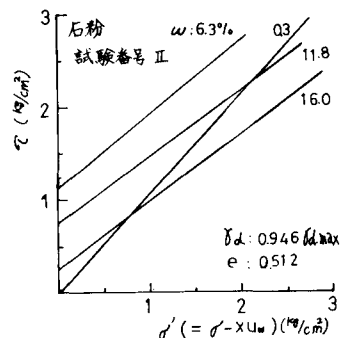
側圧が増すにつれて正から負の値をとるようになる。図一14において $w=6\%$ で P_f が最大値をとることは、今まで述べてきた粒子間圧縮力と含水比の関係の正しさを裏づけるものである。終わりにあたり御指導と御援助いただいた九大工学部の内田先生、昭和地下工業(株)の松本先生に深く感謝いたします。

参考文献

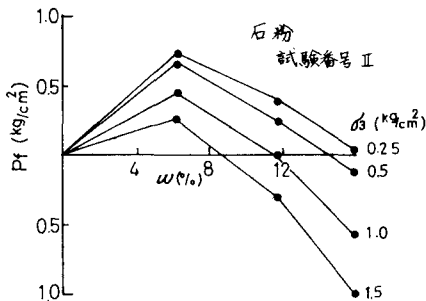
- 内田 4名「締固めた不飽和粘性土のセン断特性について」土基基礎 Vol.17/1969
鬼塚 渡辺「非粘性材料のセン断特性に及ぼす水の影響」土木学会西部支部 研究発表論文集 昭和46年2月
鬼塚 滝本「」(続報)「昭和47年2月



図一 12 見かけの粘着力, セン断抵抗角と含水比



図一 13 破壊包絡線



図一 14 粒子間圧縮力と含水比