

水溶性ポリマーの濃厚溶液を使用した 新しいサンプリング方法のメカニズム

Mechanism of Undisturbed Sampling Using High-Concentration Water-Soluble Polymer

柳澤希実*・谷 和夫**・金子 進***・酒井運雄***

Nozomi YANAGISAWA, Kazuo TANI, Susumu KANEKO and Katsuo SAKAI

A new method of undisturbed sampling using polymer is developed. This method can be used even for difficult conditions including degraded weathered rocks, weakly cemented soft-rocks and fractured zones. The typical features of this method is that, instead of circulating drilling liquid, water-soluble polymer of high concentration is initially enclosed in the core-barrel and squeezed as rotary drilling proceeds. A series of field as well as laboratory model tests with instrumented drilling technique are conducted to understand the behavior of a core barrel and polymer during the relevant sampling. Furthermore, unconfined compression tests are carried out on sand specimens saturated with polymer to evaluate apparent cohesion.

Key Words: polymer, undisturbed sample, sampling, rotary drilling, mechanism

1. はじめに

風化した岩盤、固結度の低い軟岩、破碎帯などでも乱れの少ない試料を採取することができる新しいサンプリング方法が開発され¹⁾、実用化された²⁾。このサンプリング方法の特徴は、試料の表面を洗い流す可能性がある循環水の代わりに、ビットの冷却とカッティングスの排出に水溶性ポリマーの濃厚溶液（以後、ポリマー溶液と称す）を使用して、ロータリードリリングにおいて過度な荷重を加えずにダイヤモンドビットで地盤の構成粒子を切削しようとする点である³⁾。

このポリマー溶液を利用した新しいサンプリング方法の有効性は実務レベルで実証されているが³⁾、そのメカニズムは未だに解明されていない。そこで、著者らはポリマー溶液の特性に注目して複数の挙動モデルを提案してきた⁴⁾。本研究では、これらのポリマー溶液の挙動モデルが正しいか否かを検討するために、模擬地盤を用いたサンプリング実験、コアバレルの回転を模擬した室内模型実験、さらにポリマー溶液を浸潤させた砂を供試体に用いた一軸圧縮試験を行った。そして、これらの実験結果を元に、この新しいサンプリング方法におけるポリマー溶液の効果について論じる。

2. 模擬地盤におけるサンプリング実験

模擬地盤に対してポリマー溶液を利用したサンプリングを実施した。サンプリング時の掘進状況を把握するため、計測ボーリング技術を利用して掘進速度 v 、ポリマー溶液の圧力 P_p 、軸力 Q を測定した。

2.1 実験のケース（模擬地盤および掘削条件）

* 修士（工学） ライト工業（株） 技術本部
** Ph.D. 横浜国立大学大学院 工学研究院
*** 正会員 工学士 基礎地盤コンサルタンツ（株）

表-1 に実験のケース（模擬地盤と掘削条件）を示す。突き固めにより密に締め固めた模擬地盤（直径 1.2m, 高さ 1.8m）に対してポリマー溶液を利用したサンプリングを実施した。ケース 2 を基本条件（不飽和な砂, コア径 150mm, 回転数 350rpm）とし、模擬地盤の材料（ケース 1）、模擬地盤の含水状態（ケース 4）、コアの径と回転数（ケース 3）の各影響を検討した。

表-1 模擬地盤におけるサンプリング実験のケース

実験の ケース	模擬地盤		掘削条件		
	材料	含水 状態	コアの径 (mm)	回転数 (rpm)	
1	セメント+砂礫 ^{#1}	不飽和	150	350	
2 (基本)	砂 ^{#2}		55	900	
3			飽和	150	350
4					

*1: 重量構成比は, 砂礫:セメント:水=40:1.4:1.7

*2: 土粒子の密度 2.76g/cm³, 平均粒径 0.586mm, 均等係数 2.59

2.2 サンプリング装置と計測システム

出力 2200W のボーリング機械は, ストローク 1.1m の簡易なハンドフィード式の装置を使用した。単管式のコアバレルの先端にインブリグネーティッド・ダイヤモンド・ビットを接続して掘削した。コアバレルの上部にロードセルと圧力計を設けて, 軸力 Q とポリマー溶液の圧力 P_p

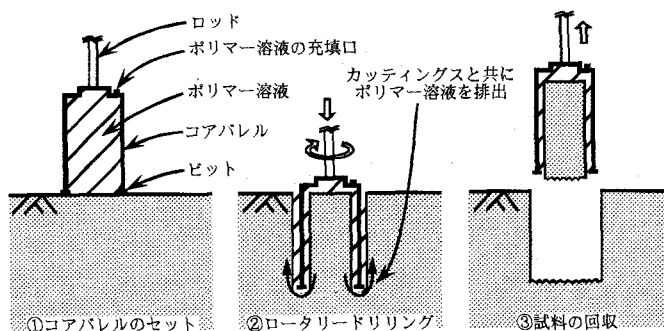


図-1 ポリマー溶液を利用したサンプリングの実験手順

(水頭差分を補正したビットの位置の圧力) を計測した。また, 変位計を用いて掘削深さ D も計測した。

2.3 ポリマー溶液

一般のボーリングに使用する泥水作製の増粘剤 ((株) テルナイト製, イージードリル) を, 通常の泥水の作液時よりも高い濃度 (重量比 $C_p=2\sim3\%$) になるように水と混ぜ合わせて作製した。この水溶性ポリマーの主成分は, 合成高分子に属するポリアクリルアミドである⁵⁾。

2.4 実験の手順

図-1 にポリマー溶液を利用したサンプリングの実験手順を示す。まず, 模擬地盤の表面にセットしたコアバレルの上面にあるポリマー充填口より, ポリマー溶液をコアバレル内に封入する。そして, ロータリードリリングによって, ほぼ一定の速度 ($1\sim3\text{cm/min}$) となるように掘進する。試料がコアバレル内に入るに従って, ポリマー溶液がビットよりコアバレルの外に押し出されてカッティングスを排出する。掘進終了後に, 試料をコアバレルと共に回収する。

2.5 計測の結果と考察

計測ボーリングにより得られた掘削変数 (制御項目である掘進速度 (掘削深さ D の時間微分) v , および応答項目であるポリマー溶液の圧力 P_p と見掛けの軸応力 Q/A_{bit} : A_{bit} はビットの掘削断面積) の深度分布を図-2 に示す。また, 今回の実験ケースで得られた計測データの平均値と,

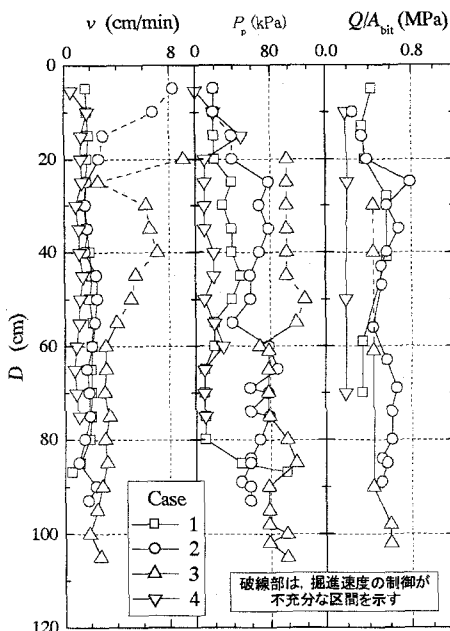


図-2 サンプリング実験の計測結果

過去にロータリーサンプリングを行った時に計測ボーリングによって得られた計測結果を表-2に比較する。

ポリマー溶液を利用したサンプリングの掘進速度 v は、未固結な砂地盤における通常のロータリーサンプリングに比較して非常に遅く、岩盤に相当する凍結した砂礫における掘進速度と同程度である。循環水で洗い流さずに、個々の粒子をダイヤモンドで切削しながら掘進するためである。一方、ポリマー溶液の圧力 P_p は、通常のロータリーサンプリングにおける循環水の送水圧と比較することは難しいが、浅い部分（深度0.0～1.1m）でサンプリング実験を行ったためか、非常に小さい値になった。粘性が高いポリマー溶液でも、コアバレルの内側からビットを通過して外周に抜ける際の抵抗が、循環水の場合に比べて特に過大になることは無いと思われる。さらに、ポリマー溶液を利用したサンプリング時の見掛けの軸応力 Q/A_{bit} も、通常のロータリーサンプリングに比較して小さい。切削面に過大な軸応力を加えずに、丁寧に切削が行われているからである。

基本条件のケース2と比較した結果を表-3に示す。模擬地盤に砂礫が含まれて不均質な場合（ケース1）でも、飽和条件の場合（ケース4）でも、やや遅い掘進速度で削孔することでポリマー溶液の圧力も見掛けの軸力も小さく保ったままでサンプリングできる。一方、小さいコアバレルを用いて高回転で掘進した場合（ケース3）には、見掛けの軸力は小さいが掘進速度が大きく、ポリマー溶液の圧力も高い。

2.6 採取された試料

写真-1に模擬地盤よりポリマー溶液を利用したサンプリングで採取された試料を示す。セメントを混ぜた砂礫（ケース1）でも未固結な砂（ケース2～4）でも崩れることなく、側面が非常に滑らかな棒状コアが得られた。側面には、ポリマー溶液が薄膜状に張り付いており、試料の表面を保護しているように見受けられた。

3. ポリマー溶液を利用したサンプリング時のポリマー溶液の挙動モデル

模擬地盤におけるサンプリング実験の結果と一般的なポリマー溶液の性質を踏まえ

表-2 サンプリング実験の結果

掘削変数	新しいサンプリングの模型実験					通常のロータリーサンプリング*2	
	1	2	3	4	平均	砂 ⁵⁾	凍結した砂礫 ⁶⁾
v (cm/min)	1.77	1.93	3.00	1.11	1.96	6-30	1-3
P_p (kPa)*1	30.0	64.3	86.2	16.6	49.3	300-400	700-1000
Q/A_{bit} (MPa)	0.42	0.57	0.52	0.19	0.43	0.4-1.8	0.5-2.8

*1：通常のロータリーサンプリングにおける P_p は、循環水の送水圧を示す。

*2：砂の深度は30～40m、凍結した砂礫の深度は7.3～8.0mに対応する。

表-3 サンプリング実験の結果のまとめ

検討項目	実験ケース ^{注1)}	掘進速度 v	ポリマー溶液の圧力 P_p	見掛けの軸応力 Q/A_{bit}
模擬地盤の材料	1 セメント+砂礫	0.92	0.47	0.74
模擬地盤の含水条件	4 飽和条件	0.57	0.26	0.34
コアの径/回転数	3 55mm/900rpm	1.55	1.34	0.91

注1：基本条件はケース2（不飽和条件の砂、コアの径150mm、回転数350rpm）

注2：数字は基本条件（ケース2）に対する比率を表す。

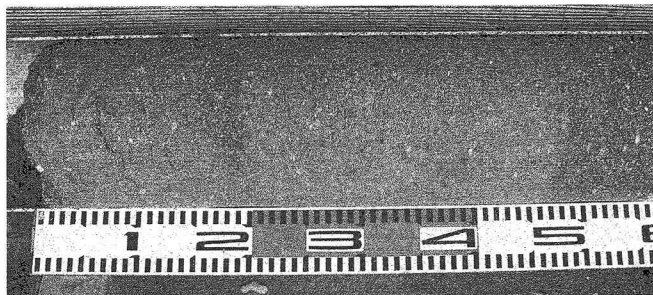
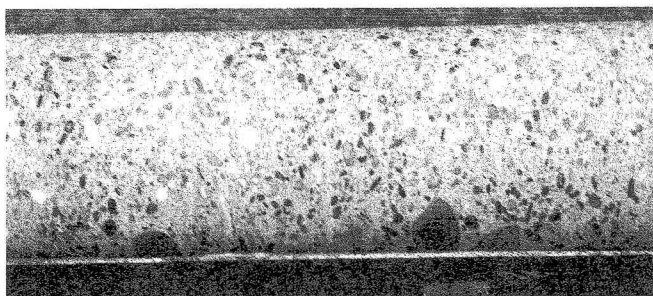


写真-1 模擬地盤より採取されたコア
（上：ケース1、下：ケース2）

て、ポリマー溶液を利用したサンプリング時におけるポリマー溶液の挙動モデルの仮説を立てた⁴⁾。

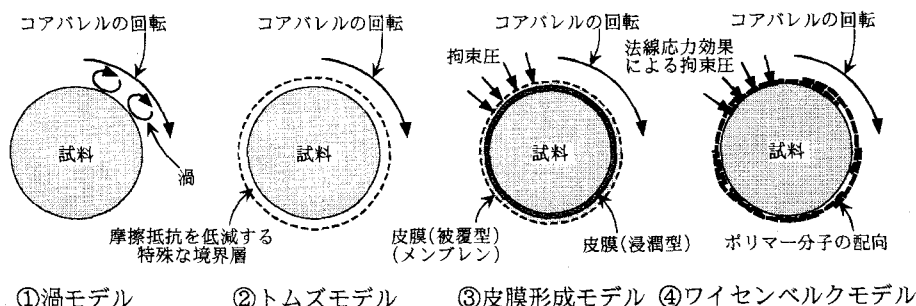


図-3 ポリマー溶液の挙動モデル (文献4に修正加筆)

3.1 ポリマー

溶液の一般的な性質

もともと増粘剤として開発された製品であるので、その粘性特性を検討して既に報告した⁴⁾。非ニュートン流体の一種で、せん断速度の増加に伴い粘性係数が減少する擬塑性流体である。よって、静止した状態では非常に粘性係数が高い(数百～千 Pa・s)が、コアバレルの回転中には1Pa・sよりはるかに小さくなる。

ポリマー溶液を利用したサンプリングによって良質なコアが採取できる理由には、ポリマー溶液のさまざまな特性が寄与していることが考えられる。例えば、水溶性ポリマーの一般的な機能として、レオロジー的性質の改善(例えば増粘作用)、界面活性作用(表面張力低下作用・乳化作用)、皮膜形成作用、保湿作用、包接作用、殺菌作用などの多岐にわたる機能が挙げられている^{7,8)}。さらに、配管内に特殊な境界層が形成されて管内壁面と流体間の摩擦抵抗が減少するトムズ(Tom's)効果¹⁾や、法線応力効果の一種であるワイゼンベルグ(Weissenberg)効果⁸⁾などの特異な性質も知られている⁸⁾。

3.2 ポリマー溶液の挙動モデル

模擬地盤より採取された試料(写真-1)を観察すると、試料の表面が非常に滑らかで、乱された形跡が見られない。このことから、(a)ポリマー溶液は静止状態では高い粘性を有しているが、掘進中に高速回転するコアバレルが狭いクリアランスで内側の試料の側面に作用させるせん断応力は小さく、さらに、(b)機械的な振動や少なからず作用するであろう様々な外力に対して、地盤から切り離されて無拘束状態になった試料が乱されない程度のせん断強さを有する(直応力が作用している)、と推測される。また、(c)試料の表面から粒子が移動したり剥離したりしないように、試料を包み込んで(ラッピングして)一体化させる表面保護効果が働いていることも考えられる。(a)は掘進中のみの効果だが、コアバレルの回転が終了して試料を回収する段階では、(b)および(c)の効果が発揮されていると考えられる。

以上の考察を元に、ポリマー溶液の挙動を説明するために考案したモデルを図-3に示す。①の渦モデルは、高速で回転するコアバレルと静止した試料の間(クリアランス)のポリマー溶液に複数の渦が形成され、この渦がベアリング機能を発揮して試料に作用するせん断応力を低減するというモデルである。②のトムズモデルは、ポリマー溶液のトムズ効果により、試料の側面近傍に特殊な境界層が形成されて摩擦抵抗が減少するというモデルである。③の皮膜形成モデルは、試料の側面に皮膜の形成を考えるモデルである。ポリマー溶液による薄い皮膜(メンブレン)が試料の表面を包むよう

表-4 挙動モデルと期待される効果

モデルの種類		せん断応力の低下	直応力の増加	表面の保護
渦モデル		○	×	×
トムズモデル		○	×	×
皮膜形成モデル	被覆型	×	○	○
	浸潤型	×	△	○
ワイゼンベルグモデル		×	○	○

(注) 判定は、効果が期待できる(○)、少し期待できる(△)、ほとんど期待できない(×)で示す。

に形成される被覆型の皮膜と、ポリマー溶液が試料の表層に浸潤して高分子の曳糸性(納豆が糸を引くような性質)⁸⁾により粒子が絡み込まれた層を形成する浸潤型の皮膜が考えられる。④のワイゼンベルグモデルは、高分子が試料の側面に配向して巻き付き、法線応力効果によ

て拘束圧が試料に作用すると考えるモデルである³⁾。

これらのモデルがそれぞれ機能した場合に、ポリマー溶液が試料に及ぼすであろうと期待される影響を表-4に示す。渦モデルとトムズモデルは、コアバレルが回転する掘進中に試料に作用するせん断応力が小さいことを説明できるが、掘進終了後の静止状態でも乱されないことを説明するには不十分である。一方、皮膜形成モデルやワイゼンベルグモデルは、直応力の増加（拘束効果の増大）と表面の保護の2つの効果が期待できる。

これらの効果の有無を検討するために、コアバレルの回転を模擬した模型実験と、ポリマー溶液を浸潤させた試料の一軸圧縮試験を行った。

4. コアバレルの回転を模擬した模型実験

表-4に示すポリマー溶液の効果のうち、掘進中に試料の側面に作用するせん断応力が低下したり、直応力が増加（拘束効果が増大）したりする程度を評価することを目的とした。ポリマー溶液を利用したサンプリング中のコアバレルと試料を模擬した実験装置を製作し、コアバレルの回転数とポリマー溶液の圧力が、試料の側面に作用する直応力とせん断応力に及ぼす影響を検討した。

4.1 実験装置と実験の方法

回転部とポリマー溶液セルから構成される模型コアバレル実験装置を図-4に示す。回転部は2重管構造で、最高450rpmで回転させることが可能な外管（内径102mm）はコアバレルを、静止した内管（外径100mm）は試料を模擬する。よって、ポリマー溶液が充填される内管と外管のクリアランスは1mmである。内管（試料）の中央高さには、中心角度90°で高さ100mmの受圧板を対角位置に2枚設置して、それぞれの周面に作用する直荷重 N とせん断荷重 T を2方向ロードセルにより計測した。

最初に、回転部のクリアランスに濃度を調整したポリマー溶液を封入し、ポリマー溶液セルを通じて拘束圧 P_m を作用させる。そして、外管（コアバレル）の回転速度を段階的に変化させ、内管（試料）の側面に作用する直荷重 N とせん断荷重 T を計測した。現場で実施されたポリマー溶液を利用したサンプリングの実績³⁾と2章に記した模擬地盤での結果を考慮して（回転数 R は350rpm程度、ポリマー溶液の圧力 P_m は100kPa程度）、外管の回転数の段階（ $R=0 \rightarrow 50 \rightarrow 100 \rightarrow \dots \rightarrow 400 \rightarrow \dots \rightarrow 50 \rightarrow 0$ rpm）とポリマー溶

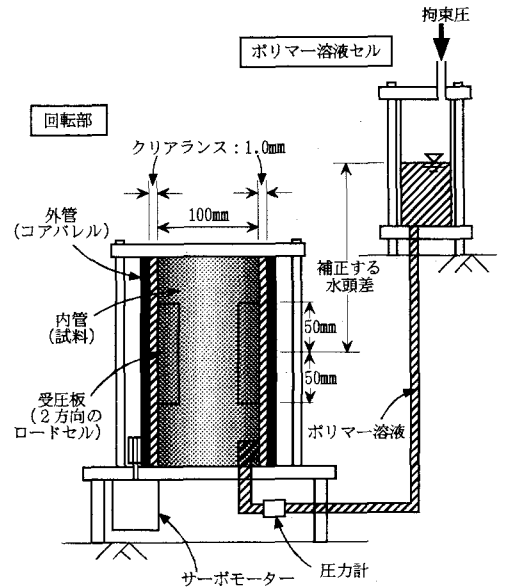


図-4 模型コアバレル実験装置

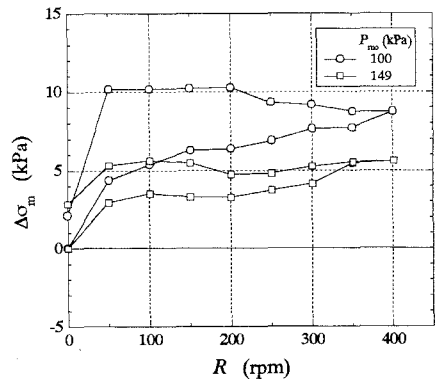


図-5 $\Delta\sigma_m$ と R の関係

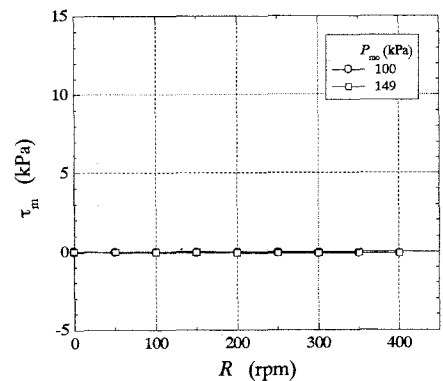


図-6 τ_m と R の関係

液に作用させる拘束圧2種類 ($P_{m0}=100, 149\text{kPa}$) を決定した。
なお、ポリマー溶液に作用する拘束圧は、受圧板の中央高さを基準高さとして、水頭差の分を補正した値 P_{m0} で示す。

計測した直荷重 N とせん断荷重 T より、受圧板に作用する平均の直応力 σ_m とせん断応力 τ_m を計算した。さらに、直応力 σ_m については、外管の回転の影響を見るために、静止時からの変化分 $\Delta\sigma_m$ を検討した (せん断応力 τ_m は静止時に 0.0 であるので、常に $\tau=\Delta\tau$)。

4.2 実験の結果

内管 (試料) の側面に作用する直応力の変化 $\Delta\sigma_m$ およびせん断応力 τ と外管 (コアバレル) の回転数 R の関係を図-5 & 6 に示す。

静止状態のポリマー溶液の粘性が非常に高く (数百～千 $\text{Pa}\cdot\text{s}$)、高速に回転する外管 ($R_{\max}=400\text{rpm}$ のときの周速度は約 2m/s) とのクリアランスが 1.0mm と薄いにも係わらず、せん断応力 τ の値が非常に小さくほとんどゼロ ($|\tau|_{\max}<0.12\text{kPa}$) であることは注目に値する。したがって、振るようなトルクが作用して試料が乱されることはないことが分かる。せん断応力の絶対値が非常に小さいことと共に、負の値である (外管 (コアバレル) の回転方向とは逆方向のせん断応力が作用する) ことが特徴的である。この理由として、クリアランス内に渦が発生し、内管 (試料) の表面でポリマー溶液が外管 (コアバレル) と逆方向の流れを有することが考えられる。ただし、クリアランス内のポリマー溶液の流れを直接に観測することが難しいので、渦の存在 (渦モデル) を確認することができない。また、せん断応力の値自体も非常に小さいので、計測誤差の可能性も捨てきれない。作用するせん断応力が微小である理由が、擬塑性流体であるために流速が大きいと粘性が非常に低くなることが影響しているのか、試料表面に渦 (渦モデル) や特殊な境界層 (トムズモデル) が形成されているためなのかを判定するためには、さらなる検討が必要である。

静止状態からの直応力の変化 $\Delta\sigma_m$ はせん断応力 τ に比較して非常に大きく、数 kPa 程度の応力増分 (圧縮) が 50rpm 以上の回転速度で見られる。この直応力の増加の原因は、ワイゼンベルグ効果 (法線応力効果) によると考えられる。写真-2 に示すように、回転軸の周りにポリマー溶液の高分子 (ポリマー) が巻き付いて放射 (半径) 内側向きの直応力が増大するからである。ただし、直応力の変化 $\Delta\sigma_m$ に対する回転速度の大きさの影響は小さく、ポリマー溶液の拘束圧の影響も不明瞭である。

さらに、実験終了後に回転部を分解して内管 (試料) の側面を観察すると、模擬地盤におけるサンプリング実験の場合と同じく、ポリマー溶液がべったりと張り付いている (塗り付けられて、完全に拭き取ることが困難な) 状態だった。ポリマー溶液と固体表面との親和性が高く、被覆型の皮膜が十分に形成されているように思われる。

5. ポリマー溶液を浸潤させた砂の供試体の一軸圧縮試験

表-4 に示すポリマー溶液の効果のうち、浸潤型の皮膜形成モデルを検証することを目的とした。ポリマー溶液を浸潤させた砂の円柱供試体を作製し、自立することを確認すると共に、一軸圧縮試験を行ってせん断強さが増加する程度を検討した。

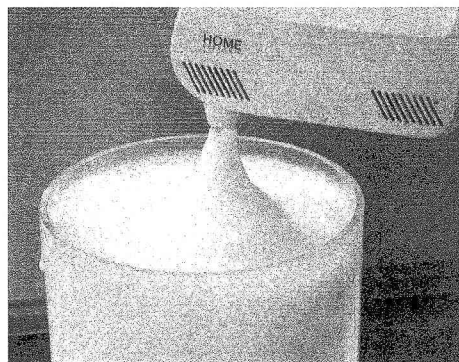


写真-2 ワイゼンベルグ効果 (ミキサーの回転軸にポリマー溶液が絡みついて上昇する)

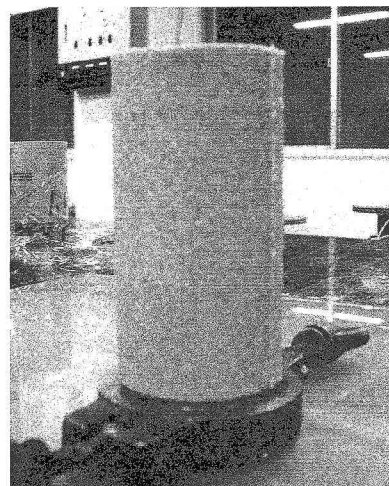


写真-3 自立する一軸圧縮試験の供試体 (直径 50mm , $C_p=0.1\%$)

5.1 実験の方法

炉乾燥した豊浦砂に4種類の濃度（重量比 $C_p=0.1, 1.0, 2.5, 3.5\%$ ）のポリマー溶液を完全飽和条件となる配合で混ぜ合わせて、モールド内で間隙比 $e=0.72$ （相対密度 $D_r=68\%$ ）となるように突き固め、直径 50mm、高さ 100mm の供試体を4本作製した。写真-3に示すように、最も濃度が低い $C_p=0.1\%$ の供試体でも容易に自立することを確認した。その後、「土の一軸圧縮試験方法」（JIS A 1216：1998）に従って試験を行った。

5.2 実験の結果

一軸圧縮試験で得られた軸応力 q と軸ひずみ ε_a の関係を図-7に示す。また、一軸圧縮強さ q_u の1/2で定義した見かけの粘着力 $c_a (=q_u/2)$ とポリマー溶液の濃度 C_p の関係を図-8に示す。

$C_p=0.1\sim 3.5\%$ の範囲で、一軸圧縮強さ $q_u=3.8\sim 4.5\text{kPa}$ 、見かけの粘着力 $c_a=1.9\sim 2.2\text{kPa}$ でほぼ一定である。ポリマー溶液の曳糸性が発揮されて、砂の粒子が引き合っているためと推測される。

よって、ポリマー溶液を利用したサンプリングにおいて、ポリマー溶液が試料の側面からある深さまで浸潤すれば⁴⁾、表層に見かけの粘着力を有する領域が形成されることになる。この 2kPa 程度の見かけの粘着力は 50cm 程度（鉛直自立高さ $H_c=4c_a/\gamma_i$ ； γ_i は単位体積重量、内部摩擦角 $\phi=0$ を仮定）の無支保の鉛直壁（サンプリング時のコアの側面）が自立することに相当するので、サンプリングによる試料の乱れを低減する効果は大きい。

6. ポリマー溶液の効果に関する考察

コアバレルの回転を模擬した模型実験とポリマー溶液を浸潤させた砂の供試体に対する一軸圧縮試験の結果から、ポリマー溶液の挙動モデルを判定した結果を表-5に示す。現段階で判断できる範囲では、ポリマー溶液を用いたサンプリング方法によって良質な試料の採取が可能となる理由は、ポリマー溶液が皮膜を形成することと、ワイゼンベルグ効果（法線応力効果）により拘束圧が作用することの複合的な効果による影響が強いと推論できる。まず、浸潤型の皮膜形成モデルが機能することにより、試料の側面からある深さまでの領域に見かけの粘着力が付加されて、試料自体の強度が高まる。この状態で被覆型の皮膜形成モデルが機能することにより、側面に露出する粒子が一体化されると共に、メンブレン効果を発揮してポリマー溶液の有効圧力 P_p^* が試料に拘束圧として作用する。そして、ワイゼンベルグ効果がさらに機能することによって、試料の側面に作用する直応力の変化分 ($\Delta\sigma_m$) が上記のメンブレン効果と相まって、さらに試料の有効応力を高めるといったシナリオが描ける。

これらの複合的な効果によって、サンプリングされる試料の側面で発揮されるせん断強さが増加する量 $\Delta\tau_f$ を式-1で算定した。

$$\Delta\tau_f = c_a + (P_p^* + \Delta\sigma_m) \tan\phi' \quad (\phi': \text{試料の内部摩擦角}) \quad \dots (\text{式1})$$

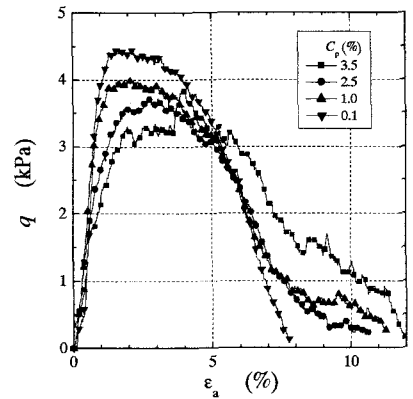


図-7 軸応力と軸ひずみ関係

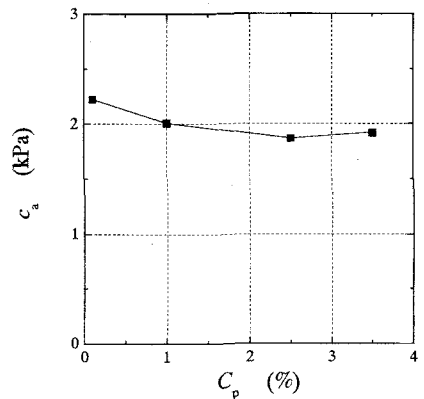


図-8 見かけの粘着力とポリマー溶液の濃度の関係

表-5 ポリマー溶液の挙動モデルの判定

モデルの種類		判定の結果	判定の根拠
渦モデル		△	- 試料に作用するせん断応力の向きとコアバレルの回転方向が逆。 - 渦の存在を確認していない。
トムズモデル		—	境界層の存在を確認していない。
皮膜形成モデル	被覆型	○	側面にポリマー溶液が張り付いている。
	浸潤型	○	- ポリマー溶液は試料にある程度は浸潤する。 - ポリマー溶液を含んだ粒状体は、見かけの粘着力を有する。
ワイセンベルグモデル		○	側面に作用する直応力が増加する。

(凡例) 判定は、機能している可能性が高い(○)，機能している可能性がある(△)，機能していない(×)，判定不能(—)で示す。

ただし、ポリマー溶液の有効圧力 P_p^* は、泥水掘削でマッドケーキを介して地盤に作用する有効な泥水圧と同じように、被覆型の皮膜により発揮されるメンブレン効果による寄与分であり、現段階で定量的に評価することはできない。この効果を見無視 ($P_p^*=0$) したとしても、 $c_a=2\text{kPa}$ 、 $\Delta\sigma_m=5\sim 10\text{kPa}$ 、 $\phi'=30^\circ$ と仮定すると、せん断強さの増分 $\Delta\tau_f=5\sim 8\text{kPa}$ が期待できる。これは 1~2m 程度 (鉛直自立高さ H_c) の無支保の鉛直壁 (サンプリング時のコアの側面) が自立することに相当するので、サンプリングによる試料の乱れを低減する効果は非常に大きいと考えられる。

この他、コアバレルの高速回転時でも試料の側面に作用するせん断応力が非常に小さいことは、渦モデルによっても、ポリマー溶液の擬塑性流体としての特性 (高流速下での粘性係数が低い性質) によっても説明できる。さらに検討が必要である。

7. おわりに

ポリマー溶液を使用する新しいサンプリングにおいて、ポリマー溶液の挙動のメカニズムは、皮膜形成モデルとワイセンベルグモデルの総合的な効果による試料のせん断強さの増大である可能性が高いことが分かった。さらに、試料の側面に作用するせん断応力が非常に小さいことも確認できた。今後は、実際にクリアランス内のポリマー溶液の挙動を可視化して、ポリマー溶液の挙動を確認する必要がある。また、ポリマー溶液の挙動のメカニズムを考慮して、ポリマー溶液を利用するサンプリング技術を高度化するために最適な掘削条件を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 酒井運雄・金子 進・川原 隆：粒状体地盤コアバレル，特許出願公開番号P2001-98539A，1999。
- 2) 基礎地盤コンサルタンツ株式会社：高機能サンプリングシステム技術資料「GPサンプラー」，1999。
- 3) 柳澤希実・金子 進・酒井運雄・谷 和夫：ポリマーの濃厚溶液を用いた乱れの少ないサンプリング，第38回地盤工学研究発表会，pp.137-138，2003。
- 4) 柳澤希実・金子 進・酒井運雄・谷 和夫：高濃度ポリマー溶液を使用した新しいサンプリング方法の実験的研究，第32回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.311-316，2003。
- 5) 我妻達弥・金子 進・豊嶋賢治・谷 和夫：振動給圧式サウンディング手法による強度定数の評価に関する検討，大深度地下利用における地盤および構造物の調査・計測技術に関するワークショップ，地盤工学会，pp.4/11-16，2002。
- 6) 眞本悠一・谷 和夫・金子 進：計測ボーリングによって掘進中のトラブル発生および回避作業をモニタリングした事例，土と基礎，第50巻，第11号，pp.9-11，2002。
- 7) 堀内照夫：水溶性高分子の最新技術，シーエムシー，366p，2000。
- 8) 中村喜代次：非ニュートン力学，コロナ社，166p，1997。