

# (65) 重泥水を長期に沈澱させず安定なゲル圧として利用する材料の設計と実証実験

—軟岩での都市型CAESタンクのプレストレスへの応用—

林 正夫(東海大)・O森田晃弘(東海大)、西村宏之(テルナイト)、富樫嗣彦(テルナイト)

Hayashi M.

Morita A.

Nishimura H.

Togashi T.

"Long Term Gel Pressure of Heavy Mud for Prestressing the CAES Tank in Deep Soft Rock"

Abstract : Urban CAES tank in deep soft ground is proposed as submerged deep shaft excavation , settlement of submerged open caisson made of concrete and then prestressing the concrete wall induced by gel pressure of heavy mud for long term which has been designed and tested in 2m and 9m deep shaft. The tests of gel pressure of heavy mud were stable for 6 months.

1 はしがき 水没立坑にコンクリート円筒を沈設し裏込め溝に重泥水を充填し下半部をCAESタンクとし、余地となる上半部を水質浄化に独立して共同利用する図1の案をかねて提案してきた。<sup>2),3),4)</sup>将来は火力発電所の稼働率向上になるMF兼用のCAESも考えられる。ここでは圧縮構造の覆工の提案<sup>2),3)</sup>の裏付けとしての重泥水の実験の中間報告を行う。

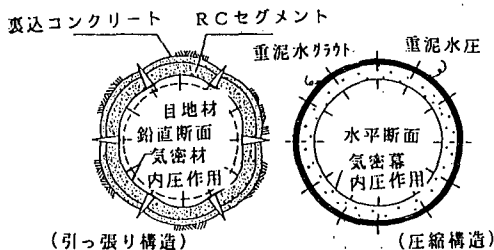
2 CAESタンクの重泥水のゲル圧分布の役割割り(表1と図3):HWLあたりの加圧を主目的とする。

3 重泥水のゲル圧の微視的なメカニズム

ここで重泥水のゲル圧とは、電解質のベントナイト水に比重4.30のBaSO<sub>4</sub>の微粒子を増粘剤・分散剤・アルカリ剤とともに混合し、ミクロ級・サブミクロ級の微粒子群が相互に電気2重層で反発力と吸引力を発生しさらに高分子のイオンも加勢し3次元的な網目構造を形成し、結合水・半結合水・自由水で加重材であるバ

表1 重泥水圧方式の地下圧力タンク(提案)<sup>2),3)</sup>

| 原理                              | 副次効果                                                                   |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 重泥水のゲル圧によって、長期に覆工に安定なプレストレスを与える | 緩み領域を押し戻し、不測の不連続面・異方土圧・未知な長期クレーン等に流体圧で未然に対処できる。不測の透水路を未然に重泥水圧でグラウトできる。 |



(引張り構造) (圧縮構造)  
図2 従来のCAESタンク(左)と提案のCAESタンク(右)の概念

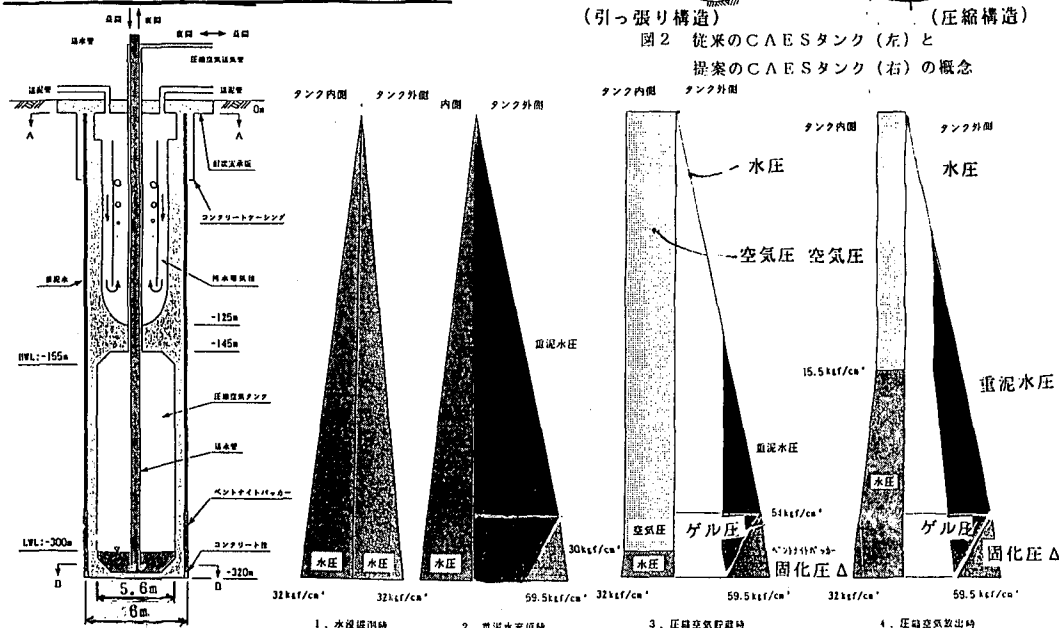


図1 下半部3,000kw×14h発電CAESタンク4本と上半部8万人/4本下水処理タンクの共用システム概念

図3 重泥水頭下のゲル圧によるコンクリート円筒のプレストレス(下半部)

ベントナイトを水に対し増加させた配合では結合水の割合が高くなり、自由水の割合が減少するので凝固化しゲル圧は低下する（図 11 の Δ）。従来のベントナイト泥水は比重が 1.05 ないし 1.10 程度で水没掘削中の壁の安定と割れ目の目詰め効果に着目して低比重・低粘性が基本要件であった。また加重材としての従来の重泥水は石油掘削時にガス噴出事故を応急的に阻止するため閉塞に利用されたが、構造財として長期に安定なゲル材として設計する発想はなく、ましてゲル圧を長期に計測した例は見当たらないようである。

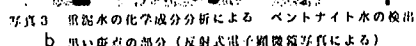
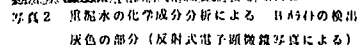
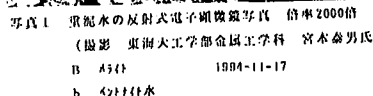
超微粒子が懸濁状態を維持できる電気化学的な理論は溶液中のイオン相互間の静電作用である。その溶液中のイオンの活動度を算出する静電場の理論がDebye-Huckelらが独立に編みだした理論を基本とし

2) 一般にベントナイトの微粒子は、アルミナ八面体のイオン  $Al^{III}$  が占める位置の一部分が電荷の低い  $Mg^{II}$  によって同じ型で置き換えられているため、正電荷が不足していて全体としては負に帯電している。

4) ペントナイト粒子が反発しあって安定に分散しているためには微粒子間の反発力が微粒子間の吸引力より大きくなくてはならない。この反発力はゼエター電位の大きさできまる。

6) 都市でのC A E Sなら大深度工事の環境対策として  
地盤沈下を未然に防ぐ受動土圧として重泥水比重  
を堆積軟岩の単位体積重量1.8ないし2.0程度にする。

分散剤には広い範囲の pH（アルカリ側）の値で効き多価の陽イオンの存在下でも分散効果のある低分子量



のメタクリル酸無水マレイン酸共重合体SSMA (Na塩)を用いた。

2) 長期にわたり 加重材が沈降しない安定な粘性を与えることが、通常のベントナイト泥水と違った技術になる。重微粒子であるバライトから溶出している $Ca^{++}$ とか  $Mg^{++}$ 等のアルカリ土類金属の作用で、ベントナイトの水和反応が抑制されバライトの沈降が起こり易いことを予備実験で見出した。そこでアルカリ土類金属によっても水和反応が抑制され十分に活性を有するベントナイトを選択し、さらに分解や腐敗につよい高分子ポリマーやアクリルアミドメチルロパンスルホン酸AMP Sを少量用いて、それらの総合効果によって重微粒子の沈降をおこさせないことに成功した (表2、図6)

3) 粘性に関しヤストロビツキ回転粘度特性 (図4と図5)をまず、作泥直後に計り、せん断速度が速い場合には図7でどのアルカリ剤も同じ程度の粘性を示すが遅い場合には水酸化カルシウム/炭酸ナトリウムに水酸化ナトリウムの混合物を加えた場合等の粘性は水酸化ナトリウムを加えた場合の粘性よりやや高い程度であるが、図8の50度Cで14日養生後にせん断歪みを測つた場合には、水酸化カルシウム添加の泥水のせん断クリープ歪みの回復は少く安定で、また別な試験として

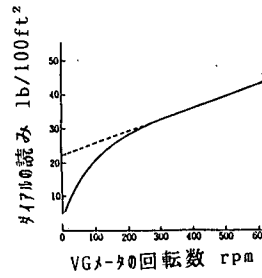


図4 VGメータによる測定

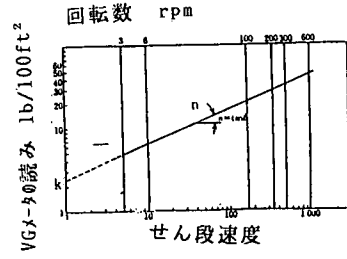


図5 Power Law によるレオグラム

4) 遊離水の試験を2リットルのポリ瓶中で実施した表2の比較試験の結果でも、水酸化カルシウムの場合が表3のよに6ヶ月後で優れていることが判った。

表2 重泥水の性能比較試験の組成

| No | 水酸化ナトリウム (g) | SSMA (g) | DRISCOL (g) | 水酸化カルシウム (g) |
|----|--------------|----------|-------------|--------------|
| 1  | 7.0          | -        | -           | 1.8          |
| 2  | 8.5          | 0.2      | -           | 1.8          |
| 3  | 8.0          | 0.2      | 0.3         | 1.8          |
| 4  | 7.0          | 0.2      | 0.2         | 1.8          |
| 5  | 8.0          | 0.2      | 0.1         | 1.8          |
| 6  | 7.0          | 0.3      | 0.25        | 1.8          |
| 7  | 7.0          | 0.3      | 0.3         | 1.8          |
| 8  | 8.0          | 0.3      | 0.2         | 1.8          |
| 9  | 5.0          | -        | -           | 2.0          |
| 10 | 8.0          | 0.2      | -           | 2.0          |
| 11 | 6.0          | 0.2      | 0.25        | 2.0          |
| 12 | 7.0          | 0.2      | 0.15        | 2.0          |
| 13 | 8.0          | 0.2      | 0.05        | 2.0          |
| 14 | 7.0          | 0.3      | 0.2         | 2.0          |
| 15 | 7.0          | 0.3      | 0.25        | 2.0          |
| 16 | 8.0          | 0.3      | 0.15        | 2.0          |

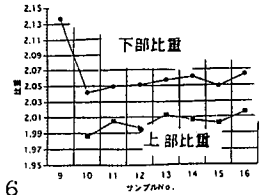


図6 比重2の重泥水の分離試験

5) 造壁性 (濾水が30ml/7kgf/cm<sup>2</sup>で停止する性能) 低分子のスチレンスルホン酸/無水マレイン酸共重合体SSMAを少量添加し重泥水が壁に着きできたケークから濾過してくる水を7kgf/cm<sup>2</sup>の圧力差で30ml以下に抑えられることを確認した。

6) 腐敗防止

重泥水が腐敗すると物性が変わったり酸性ガスを発生して鋼管を腐食させる恐れがある。これを防止するため泥水に若干の防腐剤を添加した。

7) 腐食防止

水酸化ナトリウムと水酸化カルシウムにより、PHを10.5ないし11.0に調整し、鋼管の腐食対策とした。

8) チキソロピーの利用

微粒子の反発力を活性化するため振動をあたえたり変位を与えたりし分散させることで品質を維持管理できる。

9) 作泥手順

水にベントナイトを膨潤させこれにSSMAとAMP Sを加えて ゆっくりと混ぜ合わせる。次ぎにバライトを加え十分に混合後に、最後にアルカリでPHを調整する。

表3 遊離水量のPH調整用アルカリ剤依存性

| アルカリ剤                | 遊離水量     |           |
|----------------------|----------|-----------|
|                      | 3ヵ月後     | 6ヵ月後      |
| 水酸化ナトリウム             | 7.5 Vol% | 10.1 Vol% |
| 水酸化カルシウム             | 3.6 Vol% | 4.0 Vol%  |
| 水酸化ナトリウムと炭酸ナトリウムの混合物 | 6.2 Vol% | 6.9 Vol%  |

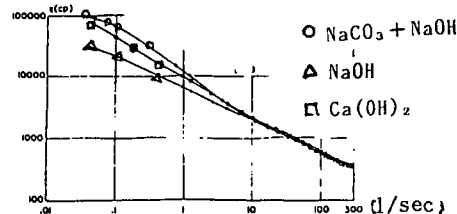
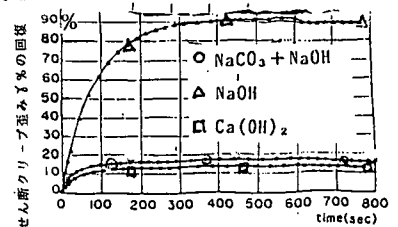


図7 重泥水に添加したPH調整剤による重泥水粘性のせん断回転速度依存性 (作泥直後)

図8 重泥水のPH調整剤の違いによる回転粘度計でのせん断クリープ歪みの回復曲線 (作泥14日後)



6 重泥水の配合の比較試験 (表2) の内容

- 1) ミキサで作泥直後に粘性測定 (
- 2) 1 昼夜室温に静置しラボスターで5分混ぜ、50度Cで粘性を測定した
- 3) ガラス容器に重泥水を密封し50度Cで2週間養生。
- 4) 2週間後に、遊離水の比重測定



## 9 重泥水とパッカーのゲル圧の9 mカラムテスト 現地実験は大和市所在の利根地下技術(株)

敷地1隅で既存水没立坑(150 mm内径鋼管)で共和電業の円盤状土圧計と水圧計によって、東洋建設・住友建設と施工実験も兼ね共同研究した。

1) 重泥水 a 重泥水Bのゲル圧の等方性の実証: 鉛直圧と水平圧を図12とで比較した結果流体の基本性質である等方性が確認できた。 b 重泥水のゲル圧の深さ方向分布: 重泥水Bのゲル圧は6ヶ月間ほぼ安定で深さに比例する。ややゲル圧が長期に低下傾向にあるのは粘性が増加するためであり今後配合設計を精密化する研究を継続する。

2) 上が重泥水B、下が軽泥水bの2層構造ゲル圧の測定 a 両者の境界部は仕切り材にベントナイト粉を投入した後に、上半部に重泥水を充填した。この場合、境界部の粉に下と上からそれぞれ吸水され低比重のベントナイトパッカb側は高濃度化が顕著にゲル圧が低下した(図13の△)。今後は上部重泥水B側は下半部の粘性抵抗が十分に増加するのを待ってから上の重泥水を充填する方法がよい。

3) 結論として2層構造の長期のゲル圧は流体置換を発生せず提案した設計法は基本的には認められる。

10 重泥水封方式の硬岩でのトンネル型CAESタンクもさきに提案<sup>2)</sup>したが実証実験に入りたい。

11 結び 1) CAES用立坑円筒は裏込に重泥水を充填し長期に安定な圧力圧力容器にできる可能性がある。

2) 比重2の重泥水中の比重4.3のバライト微粒子はベントナイト水に密に混合され、微粒子間は電解質溶液の電気2重層とのイオン群と平衡し、結合水と非結合水に捕捉されゲル状の流体圧を発生している模様である。

3) 重泥水のゲル圧が十分長期に安定と実証された硬岩CAES・揚水発電・燃料貯蔵・軟弱地盤上の浮体構造物等にも利用可能になろう。今後、長期安定特性に関する電気化学的な微視的試験法も研究したい。

12 謝辞 この実験は産学の実証研究の成果であり、コロイド化学に関し、東京理科大学北原文雄・筑波大古沢邦夫・東海大松田恵三の諸先生(化学)、電子顕微鏡撮影に関し東海大宮本泰男先生(金属)、カラムテストに関し東洋建設・住友建設・利根地下技術・共和電業の諸氏、重泥水の積年の実験に関し日大大学院久野・神野・大森、東海大大学院立木・嘉成・田村ら多くの学生諸氏に厚く感謝します。

## 13 参考文献

- 1) 林 正夫 "ベークライト兼用発電の圧気貯蔵-メタ-ヒド発電の実現性の予測" 土木学会論文集、412、III-12、1989
- 2) 林 正夫 "都市の水質浄化と圧気電力貯蔵-メタ-ヒド発電の共用システム" 土と基礎、1993-12、PP 7-8
- 3) 林 正夫 "水質浄化と深夜電力貯蔵に共用の小型CAES構想、大深度地下利用の地盤シフト" 土質工学会、1993
- 4) 林 正夫 "7つの複合価値を秘めた水質浄化事業における圧縮空気貯蔵" 月刊下水道、17-9、1994-6特集号
- 5) 神野文吉 "ボーリング用泥水" 技報堂、1981
- 6) 土質工学会 "粘土の不思議" 1986
- 7) Darley George, H.C.H., R.Gray "Compositional Properties of Drilling and Completion Fluids, Gulf Publication company, 1988
- 8) Mitchel James, K. "Fundamentals of Soil Behavior, University of California, Berkley, John Wiley and Sons, 1993
- 9) 北原文雄・古沢邦夫 "分散・乳化系の化学" 工学図書、1991

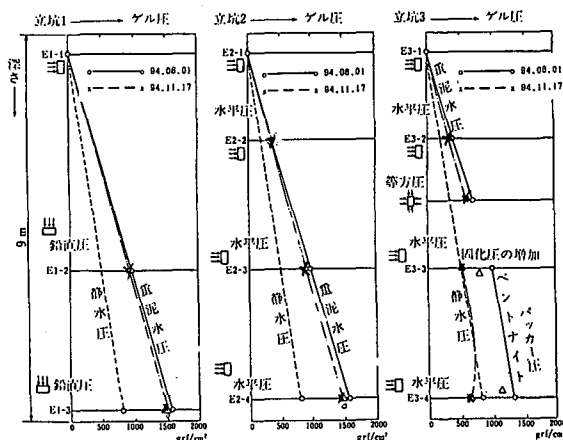


図12 9 mカラムでの重泥水とベントナイトパッカーのゲル圧

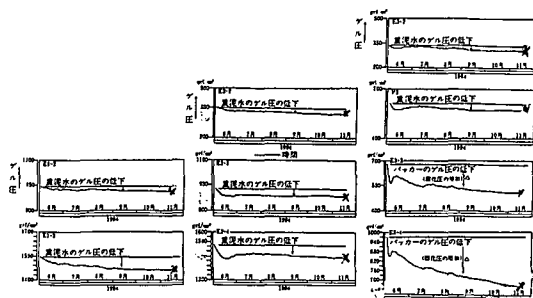


図13 重泥水とパッカー用ベントナイト泥水のゲル圧の低下  
(固化圧の増加)