

泥水工法における泥水管理に関する研究 (第15報)

——ポリマー泥水の開発(I)——

喜 田 大 三
川 地 武

Studies on Control of Slurry for Underground Excavation (Part 15)

—Development of Polymer Base Slurry (Part 1)—

Daizo Kita
Takeshi Kawachi

Abstract

The slurry used for underground excavation is necessary for stability of the trench and enhancement of the excavation process, but recently, there has been a shortage of bentonite, the main ingredient of this slurry. Therefore, development of slurry with a substitute for bentonite has been attempted and slurries using some kinds of polymer have been found useful. The results of indoor and field experiments using polymer-base slurries containing three cellulose derivatives (CMC, MC, HEC) are as follows:

- i) A polymer solution is as viscous as bentonite slurry at lower concentration, but is lower in wall building properties. Polymer-base slurry containing excavated soil is excellent in wall building and cement-resisting properties.
- ii) In field experiments using CMC slurry, trench stability and a high rate of reuse were confirmed.

概 要

泥水工法で地盤掘削時に使用される泥水は掘削壁面の安定、施工性の向上に不可欠なものであるが、最近、この泥水の主材料であるベントナイトが不足気味である。そこで、ベントナイト泥水に代る泥水として、水溶性ポリマーを主体とするポリマー泥水の開発を意図し、今回は三種のセルロース誘導体 (CMC, MC, HEC) をそれぞれ主体とするポリマー泥水について室内実験および現場実験を行なった結果、以下の知見を得た。

i) ポリマーは溶液状態では、粘度は低濃度でベントナイト泥水に匹敵するが、造壁性がやや低い。しかし、掘削土が少量混入したポリマー泥水では造壁性が著しく改善される。ポリマー泥水は耐セメント性が MC および HEC、泥水ではベントナイト泥水と同程度で、CMC 泥水では数倍に及ぶ。ポリマー泥水の造壁性、耐セメント性は保護コロイドの形成による。

ii) CMC 泥水に関する現場実験で、CMC は壁面安定上有効であり、また転用回数も約 3.5 回と高い値を得た。

1. まえがき

近年きわめて広汎に採用されるに至った泥水工法では、地盤掘削時に泥水を使用する。この泥水は掘削壁面の安定、施工性の向上に不可欠のものであり、これらの泥水の機能は泥水の特長、すなわち泥壁形成性 (造壁性) および適度な流動特性にもとづくものである。この泥水はベントナイトを 4~12% の濃度で水に懸濁させ、必要に応じて各種の調整剤を加えたものであり、泥水の特長は主としてベントナイトの特異な性質、すなわち高い膨潤性、大きな表面積および高いイオン交換能などに由来している。筆者らは、これまでベントナイト泥水に関して、泥水の機能、管理方法について研究するとともに、材料の開発あるいは廃泥水の処理

などについても研究を重ねてきた¹⁾。

ところが、最近ベントナイトの不足が伝えられ、現場においては良質なベントナイトの入手が困難になりつつあり、高価な外国産のものを使用したり、低品質のものを利用することを余儀なくされている。したがって、ベントナイトを従来にも増して経済的に利用することが必要であるとともに、ベントナイト泥水と同様な機能を果しうる泥水の開発が望まれるに至った。

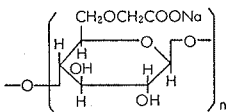
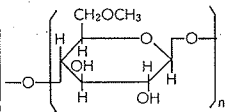
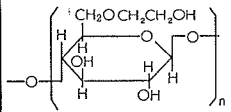
幸い筆者の一人喜田は十数年前から、粘土とポリマーの反応系について研究を手がけており²⁾、この研究成果が応用できるものと思われる。そこで、このような期待に応えうる泥水の材料として、水溶性高分子 (ポリマー) に着目し、天然物誘導体、合成ポリマーなどを検討し、いくつかの有効な材料を見出し、ポリ

マー泥水を開発した。今回はセルロース誘導体を主体とする泥水に関する室内実験と現場実験の一例について報告する。

2. 室内実験

2.1. 供試材料

今回とりあげたポリマーは表—1に示す三種のセルロース誘導体であり、これらの1%までの水溶液および泥水を試料とした。

名 称	基 本 構 造	重合度, 置換度
カルボキシメチルセルロース CMC		DP: 500 DS: 0.6
メチルセルロース MC		DP: 400 DM: 1.0
ヒドロキシエチルセルロース HEC		DP: 10000 DS: 1.8~3.0

表—1 供試ポリマーの構造

2.2. 測定項目と方法

i) 造壁性: API 規格の加圧濾過試験器により, 加圧条件を, 3 kg/cm^2 , 30 分とした時の, 濾過水を測定し, 脱水量(ml)として表示した。

ii) 流動性: API 規格のファンネル粘度計 (500ml) で測定し, ファンネル粘度(sec) で表示した。なお, 必要に応じて回転粘度計を併用した。

iii) pH: ガラス電極法による。

iv) 保護コロイド性: Na^+ , Ca^{++} に対する凝集抵抗性を, それぞれの陽イオンの水溶液を加えて, 分散・凝集状態を観察し, 凝集に要する最低液量を測定し, ポリマー無添加のものを1とした比を耐凝集比で示した。

2.3. 実験結果

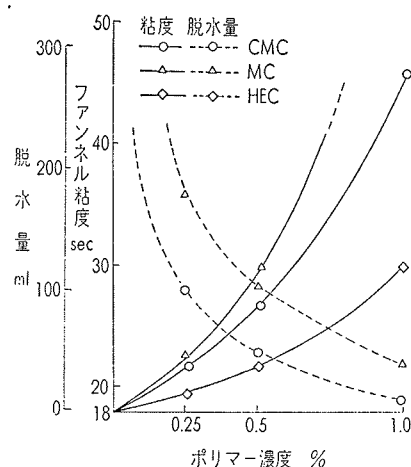
2.3.1. ポリマー溶液の特性 図—1にポリマーの水溶液の粘度および脱水量を示す。いずれのポリマー溶液も低濃度でベントナイト 8~10%に匹敵する粘度を示す。このうち, メチルセルロース (MC) 溶液が最も高い粘度を示し, カルボキシメチルセルロース (CMC), ヒドロキシエチルセルロース (HEC) の順に低くなる。これらの溶液は, 別に測定した回転粘度計による流動曲線によれば, ズリ応力, ズリ速度は直線関係にあり, ほぼニュートン流体として扱いうるといえ

る。なお, 電解質である CMC は低濃度かつイオン強度の低い場合には非ニュートン性の構造粘性を示すといわれている³⁾が, ここで試験した濃度範囲では明らかでない。セルロース誘導体の溶液がこのように高い粘度を有するのは, ポリマーの OH 基に水分子が水素結合によってとりこまれるとともに, ポリマーのからみあいがあるからといわれている⁴⁾。

なお, 泥水は粘度が高すぎると送泥, 循環, 掘削土の分離に支障を生じるので, 粘度の上限をファンネル粘度で45sec. としている⁵⁾。この基準によれば, CMC は1%以下, MC は0.8%以下, HEC は1.5%以下が使用可といえる。

一方, ポリマー溶液の造壁性は図の濃度範囲ではベントナイト 8~10%泥水より劣り, 特に HEC 溶液は脱水量が300ml をうわまわる。泥水工法で使用可とされる泥水の造壁性に関しては基準が確立されていないが, 当社の現場では脱水量 60ml 以下のものが使用可と判定されている⁶⁾。したがって, ポリマー溶液単独で使用可とされる濃度範囲は, CMC で0.4%以上, MC では0.8%以上となり HEC では供試した濃度範囲内には存在しない。

以上の流動性, 造壁性の両方を満足するポリマー溶液の濃度範囲は, CMC で0.4~1.0%, MC で0.8%であるといえる。



図—1 ポリマー溶液の造壁性, 流動性

なお, 各ポリマー溶液の変質は10日以内では起らず溶液のpHはCMCで7.2前後, MCで6.9前後, HECで6.7前後であり, いずれも中性である。

2.3.2. ポリマー泥水の性状 泥水工法では掘削中にはほとんど必ず掘削土が混入するため, ポリマー溶液は, 特に混練時に粘土などを加えなくとも, 掘削孔内ではポリマー泥水となる。そこで, 現場で採取した掘削土 (東京沖積層シルト) を 0.5%ポリマー溶液

に混練し、ポリマー泥水を作成した。ポリマー泥水の流動性、造壁性を図-2に示す。

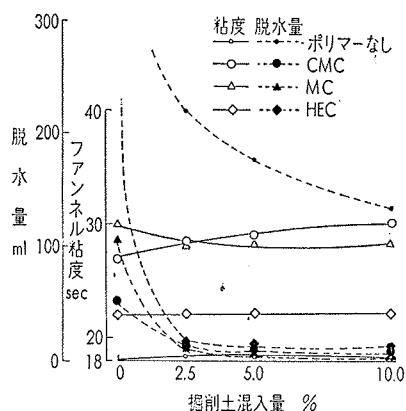


図-2 ポリマー泥水の流動性、造壁性
(ポリマー0.5%)

ポリマーの含まれない、土の懸濁液では粘度で水とほとんど同じ 18 sec 前後であり、脱水量も極めて高い。ところが、ポリマー泥水では掘削土の濃度が高くなっても粘度は溶液とほとんど同様であるが、脱水量は溶液より著しく減少し、造壁性が改善される。溶液の状態では全く劣る HEC でも 2.5%の掘削土が混入することにより脱水量が 20ml 以下になるのをはじめ、CMC、MC においても脱水量の低下は著しい。この原因は、土粘土ポリマー反応系の特徴であり、その機構については後日報告するが、親水化された土粒子の形成する泥膜が密になると思われる。ポリマー泥水がこのようにすぐれた造壁性を示すために必要とされる掘削土の量は、掘削土の種類、ポリマーの種類によって異なると思われる、さらに検討を要するが、2.5%程度の細粒掘削土の混入は通常的地盤では充分期待でき、ポリマー泥水となりうる。

泥水工法ではコンクリート打設の際に泥水にセメントが混入し、ベントナイト泥水の場合にはセメント0.5%前後の混入でゲル化し、粘度が異常に上昇し、また造壁性が低下する。図-3にセメントが混入したポリマー泥水の性状を示す。ポリマーの入らない土の懸濁液ではセメント 0.5%の混入によって粘度がやや上昇し、MCおよび HEC でも同様である。ところが、CMC ではセメントの混入によってむしろ粘度は低下する。

一方、脱水量はポリマーの入らない土の懸濁液ではセメント0.25%の混入で脱水量が300mlを越えるが、ポリマー泥水ではセメント混入のない場合とほとんど変わらない。しかし、セメント0.5%の混入では MC、HEC のポリマー泥水で脱水量が 300ml を越える。こ

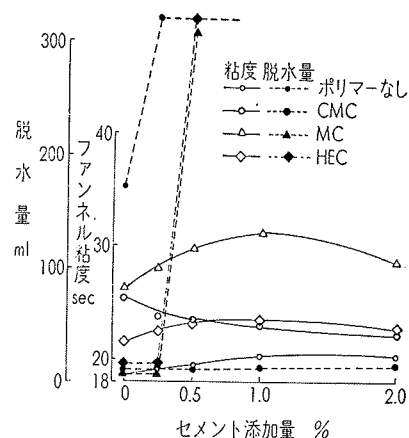


図-3 セメント混入によるポリマー泥水の変化 (ポリマー0.5%, 掘削土5%)

れはベントナイト泥水とほぼ同様の耐セメント性といえる。ところが、CMC 泥水ではセメント2%が混入しても脱水量はほとんど増加せず、耐セメント性がすぐれた泥水といえる。

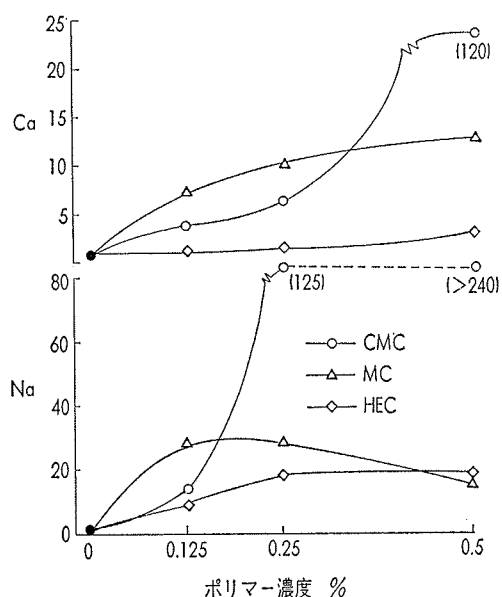
このようにポリマー泥水のセメントの混入による変化がポリマーによって異なる理由は、土粒子-ポリマー反応系の保護コロイド作用の差異にあると推察されるが、それに関する一実験を行なったので、次項に紹介する。

2.3.3. ポリマー泥水の保護コロイド作用 ポリマー泥水の特性がポリマーの保護コロイド作用に由来することを述べた。水を分散媒とする分散系における保護コロイド作用とは、疎水性ゾルに親水性コロイド等が吸着してゾルの粒子表面を親水化することにより、ゾルの安定性を向上させることとされている⁶⁾。粘土粒子と高分子の一例として、ベントナイトへの CMC の保護コロイド作用が知られている⁷⁾。ここで扱うポリマー泥水では、掘削土粒子が疎水性ゾル、ポリマーが親水性コロイドとみなすことができる。

図-4にポリマー泥水の Na^+ 、 Ca^{++} による凝集点を示す。まず Na^+ に対しては、いずれのポリマーも耐凝集比を上昇せしめ、いずれも保護コロイド作用を有している。しかし、その作用の程度はポリマーによって異なり、CMC は濃度が高くなると極めて大きな凝集点となり、0.5%泥水では約240となり、ベントナイト8%泥水の6前後をはるかにうわまわる。MC、HEC の泥水でもベントナイト泥水より凝集点が大きくなるものの、ポリマー濃度が高くなっても頭打ちあるいはやや低下する。

次に、 Ca^{++} に対する耐凝集比は Na^+ の場合と同様の傾向となるが、この場合にも CMC 泥水が特にすぐれた保護コロイド作用を示す。CMC0.5%泥水の場合

には凝集点が100を越え、ベントナイト8%泥水の8前後よりはるかに高い。このように高い耐凝集比がCMC泥水の高い耐セメント性の原因であろう。



図一4 ポリマー泥水の耐凝集比 (掘削土 2.5%)

3. 現場実験

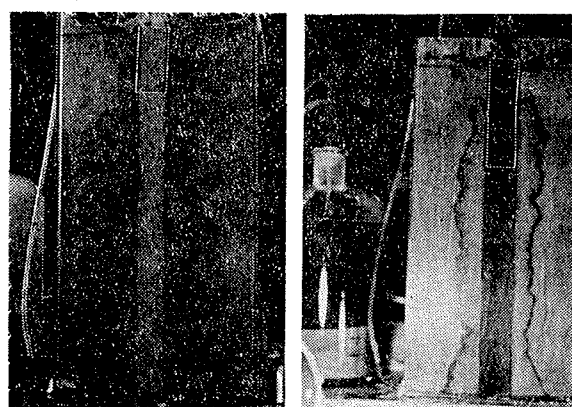
3.1. 予備実験

以上の室内実験の結果、ポリマー泥水、なかでもCMC泥水がすぐれた性能を示すことが判明したので現場実験を行なうことにし、その前に予備実験を行なった。実験は30cm×30cm×60cmの透明水槽に標準砂を深さ55cmに水締めして突め、砂の間隙水にはフェノールフタレインを加えておき、アルカリ性にしたポリマー溶液やベントナイト泥水が浸とうした範囲が赤紫色に発色するように模型地盤を作成した。掘削は小型ショベルまたは真空ポンプにつないだ、ガラス管(内径5mm)によって行なった。

結果例を写真に示すように、ベントナイト8%泥水は当然ながら、CMC溶液(0.5%, 1%)でも壁面崩壊もなく掘削することができ、ベントナイト8%泥水CMC 0.5%溶液では壁から最高5cm前後まで浸とうし、CMC溶液では濃度を上昇させると浸とう距離は小さくなる。形成される泥膜はCMC溶液で1mm前後のうすいものである。

3.2. 現場実験

実験を行なったのは東京都心部の某現場であり、その土質は図一5に示すように砂を主体としている。掘削パネルは長さ1.8~9.2mの各種、幅は0.6m、深さ23mの各々が独立したものであり、掘削機は、油圧クラムシエル方式のKELLY-40Mである。以上の条件を考慮して、ポリマー泥水の標準調合をCMC0.5%、



ベントナイト8%泥水

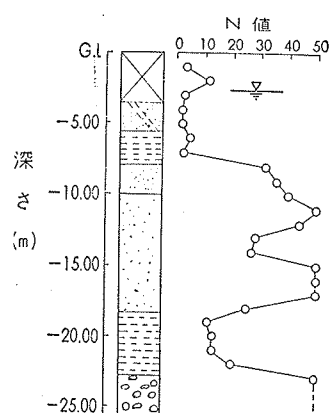
CMC 0.5%溶液



CMC 1%溶液

写真 各種泥水の掘削壁面への浸透状況

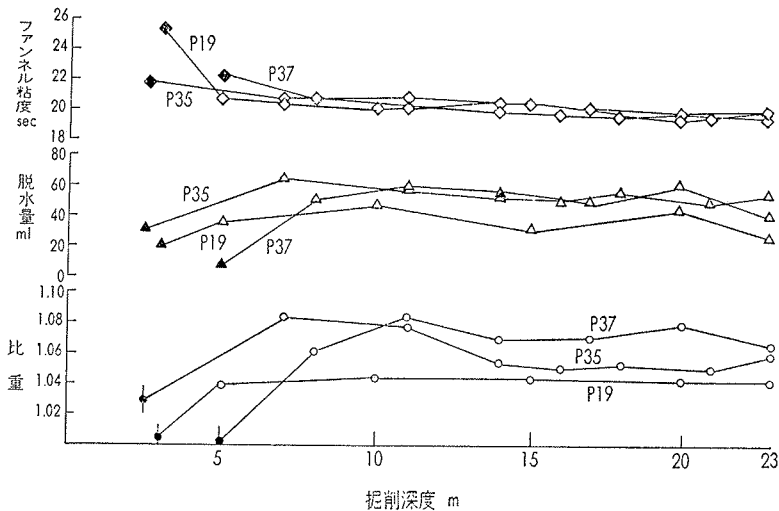
ヘキサメタリン酸ソーダ0.1%とした。



図一5 土質柱状図

ポリマー泥水によって合計16パネルを掘削したが、壁面の崩壊は全く認められず工事は順調に進行し、CMC泥水が壁面安定上有効な泥水であることを確認し、さらに後述するようにコンクリート打設時にも劣化しないため約3.5回という高い転用が可能であることが判明した。

図一6に掘削の進行に伴う泥水の性状変化を示す。掘削を開始して深さ5~10mの位置で泥水の性状がほぼ安定化し、泥水比重は0.03~0.05単位上昇する。この値は掘削土が5~8%混入することを意味し、このうち、砂は1~3%であるので、4%内外の細粒掘削土(粘土、シルト)が供給されたものと言うことが



図一六 削掘の進行に伴う泥水の性状変化 (添字はパネル番号)

でき、ポリマー泥水で期待する細粒掘削土の混入が砂地盤でも可能であることを示している。粘度は未使用泥水で25sec、前後のものが掘削中には20sec前後へと低下する。さらに、脱水量は未使用のもので30ml前後であるが、掘削孔内では40~60mlになり、やや高くなる。これは当現場では砂を主体とする土質であるために、砂が泥膜の透水性を向上せしめているものと推察される。

次に、コンクリート打設の場合、ベントナイト泥水ではコンクリートとの接触面から10m前後までがゲル化して再使用不可となる⁸⁾が、今回のCMC泥水では全くそのようなことは見られず、また脱水量もほとんど変化しないで50ml前後を維持した。この結果、劣化泥水がほとんど発生せず、転用回数は約35回となり、従来のベントナイト泥水の平均値2回前後をうわまわり、この点でもポリマー泥水のすぐれた性能が実証されたといえる。

4. あとがき

最近、泥水工法における基本材料のひとつであるベントナイトが不足しているため、従来のベントナイト

泥水に代る泥水の開発が望まれている。そこで、水溶性ポリマーを主体とするポリマー泥水の開発を意図し、セルロース誘導体であるカルボキシルメチルセルロース(CMC)、メチルセルロース(MC)、ヒドロキシエチルセルロース(HEC)をそれぞれ主体とするポリマー泥水について検討し、いずれも掘削土が少量混入するだけですぐれたポリマー泥水となり、特にCMC泥水がすぐれていることが判明した。そして、CMC泥水については現場実験も行ない、壁面安定、転用の向上にすぐれた効果を示すことを確認した。

今後はこれらのポリマー泥水の性能についてさらに詳細に検討するとともに、ポリマーと掘削土粒子との保護コロイド形成の機構、ポリマー泥水の管理方法などについても検討する予定である。また合成高分子にもすぐれたものがあることをすでに確認しているが、これらに関する報告は次の機会に行なう予定である。

参考文献

- 1) 喜田・川地：建築技術，435，(1973)
- 2) 例えば喜田・高分子，13，306 (1964)，農芸化学実験書第3巻増補版，152 (1964) 産業図書出版
- 3) FUJITA, H. & HOMMA, T.: Jour. of Polymer Science, 15, 277 (1955)
- 4) 中村亦夫監修：水溶性高分子，4，化学工業社 (1973)
- 5) 喜田・川地：大林組技研所報，No. 7, 172 (1973)
- 6) 北原・青木訳：コロイドと界面の化学，145，(1972)
- 7) VAN OLPHEN, H.: An Introduction to Clay Colloid Chemistry, 168 (1963)
- 8) 喜田・川地：第8回土質工学研究発表会講演集，821，(1973) 大林組技研所報，No. 7, 167 (1973)