

# BH工法における安定液の特性と掘くず運搬能力

稲葉 力\*  
Tsutomu Inaba

この報告は既発表の報告2件<sup>1),2)</sup>、発表予定<sup>3)</sup>の報告1件をまとめ、BH工法における安定液の特性と掘くず運搬能力について再度考察を加えたものである。

## 1. BH工法で使用する安定液の特性

リバース（逆循環）方式で掘削する地下連続壁工法の場合、安定液に最も必要とされる特性は造壁形成である。高品質のベントナイトを使用した安定液の場合、形成されたマッドケーキが安定液の逸水を妨げるので、地下水位の急激な上昇がない限り、孔壁は安定であるといえる<sup>4)</sup>。

一方で、BH工法は正循環方式で掘削するので、安定液の密度が必然的に大きくなるので（時には $1.65\text{g/cm}^3$ まで達する）、孔壁はリバース方式で掘削するよりも安定と考えられる。ただ、安定液としては掘くずば大量に溶け込んだものとなるので、その造壁形成性を調べる必要がある。

BH工法の安定液に要求されるさらに大きな条件としては、掘った土粒子を安定液中に保持し運搬する能力がある。土粒子は、地層によって $74\mu\text{m}$ 以下の粘土のこともあれば、直径 $40\text{mm}$ に達するレキのこともある。この能力は、安定液の粘性・密度・孔内流速等によってきまる。

Fig. 1~3は、ベントナイト濃度と安定液の特性の関係を示している。図中番号1~3を付けた実線は3種類のベントナイト安定液を表わし、小さい番号順に高粘性・中粘性・低粘性を意味する。濃度は清水 $1\text{ m}^3$ に対する外割の表示で表わしている。詳しい実験方法は参考文献の1), 2)を参照されたい。これらの図に示し、また、周知のように高粘性のベントナイト程、泥膜も薄く脱水量も少さくなる。今回はベントナイト安定液を固化することを目的としていたので、番号3の低粘性のベントナ

イトを用いて実験した。

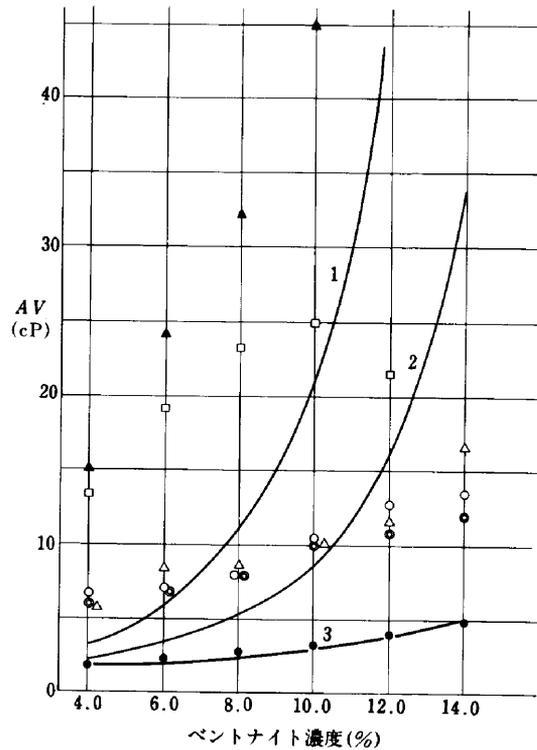


Fig.1 ベントナイト濃度～見かけ粘性の関係

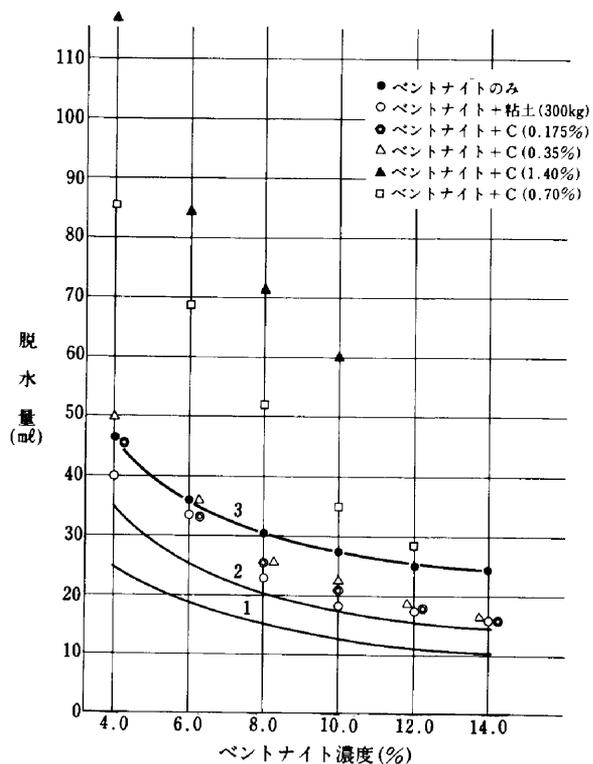


Fig.2 ベントナイト濃度～脱水量の関係

\*技術研究部土木技術課

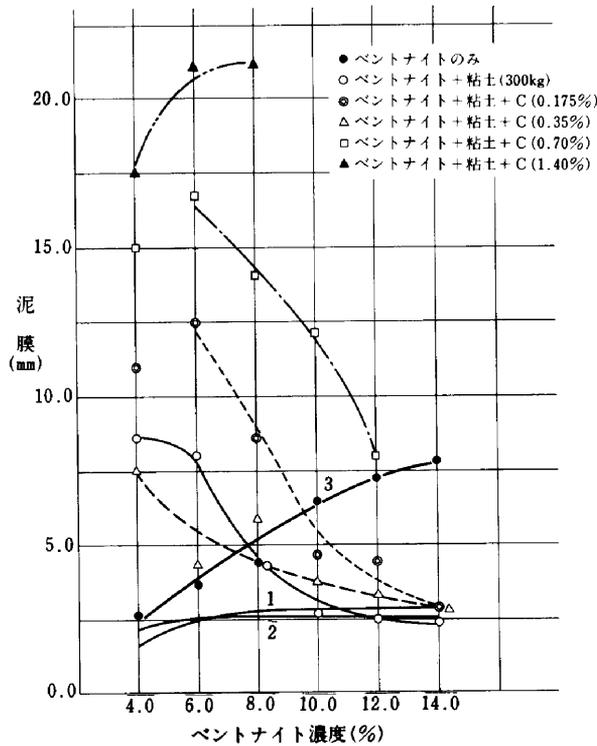


Fig.3 ベントナイト濃度～泥膜厚さの関係

次に実際の施工条件に合わせて、安定液の造壁形成性を考える。セメントを添加したのは、現実に合わせてためである。Fig. 1～3によると、いずれの関係も④から大きく変化している。③の段階までは、低粘性のベントナイトのみの安定液より、見かけ粘性・脱水量・泥膜厚さとも良好である。

- ①掘削することによって、掘くずが安定液中に溶け込む（粘土を清水 1 m<sup>3</sup>に対して300kg：○印）。
- ②安定液の粘性を上げるため普通セメントを添加（清水 1 m<sup>3</sup>に対して1.75kg：◎）。
- ③同上（清水 1 m<sup>3</sup>に対して3.5kg：△）。
- ④同上（清水 1 m<sup>3</sup>に対して7.0kg：□）。
- ⑤同上（清水 1 m<sup>3</sup>に対して14.0kg：▲）。

Fig. 4 はファン VG メータを用いて、せん断速度とせん断力の関係を調べたものである。図中の直線の勾配が小さい程、掘くず運搬能力は大きいと判断できるが、勾配の非常に小さいものは、ゲル化していると考えられる。

## 2. 掘くず運搬能力

次に安定液の掘くず運搬能力を考える。ここでは、安定液の粘性・密度・孔内流速・掘くずの平均粒径の全て要因が含まれる。石油さく井で用いられている算定式を借用する。粘性等、式の詳細は参考文献<sup>5)</sup>を参照されたい。

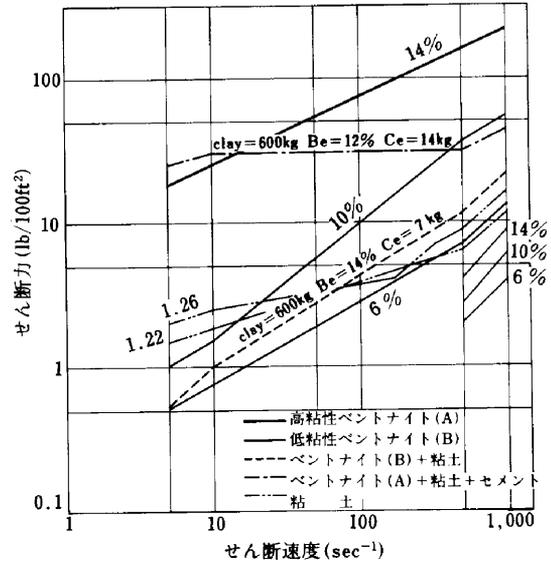


Fig.4 せん断速度～せん断力の関係

$$V_s = \frac{175d(W_1 - W_2)^{0.667}}{W_2^{0.333}\mu^{0.333}}$$

ここに、 $V_s$ ：スリップベロシティ（粒子沈降速度 ft/min）

$\mu$ ：アニュラス粘性（孔内の安定液の粘性 cP）

$W_1$ ：掘くずの密度 (lb/gal)

$d$ ：掘くずの平均粒径 (inch)

$W_2$ ：安定液の密度 (lb/gal)

上式において、 $V_s$ がアニュラス速度（孔内流速）よりも小さければ、平均粒径  $d$  の掘くずが運搬可能である。

Table 1 は条件を変えて、運搬可能な粒子径を求めた結果である。表中の  $n$ ,  $K$  は粘性に関するファクターで  $n$  は Fig. 4 の勾配で与えられている。ケース 1～4 はベントナイトのみの安定液、ケース 7～9 はそれに掘くずを加えたもの、ケース 10～13 はさらに普通セメントを添加したものである。ケース 5, 6 は清水に粘土のみを加えたものである。

ケース 1～4, 7～11 を比較すると、ベントナイト安定液の粘性を増加するだけでは、運搬可能な粒子径は 8 mm 程度に過ぎず、この状態の安定液のせん断特性は、Power law model で近似できることがわかる。ケース 12 は、ベントナイト濃度、粘土含有量、セメント添加量とも増やし、安定液はゲル化していない、つまり孔径は縮小していないとしたものである。ケース 13 は安定液がゲル化し、孔径が縮小したと仮定したものである。

両ケースの孔内流速分布の推定図を Fig. 5 に示す。Table 1 に示すようにケース 12 では、8 mm までしか運搬できないが、ケース 13 では 26mm まで運搬可能であ

Table1 運搬可能粒子径

ケース	配合 (kg/m <sup>3</sup> )				孔径 cm	管径 cm	流速 cm/s	n	K	$\mu$ cP	$\bar{d}'$ mm	$\bar{d}$ mm	備考	
	Be	粘土	Ce	比重										
①	1	80	—	—	1.05	70	9	2.19	0.52	0.043	36	0.02	0.7	Power
	2	140	—	—	1.07	70	9	2.19	0.72	0.043	36	0.01	0.8	Power
	3	80	—	—	1.05	70	9	2.19	0.72	0.015	103	0.14	1.1	Power, 高粘性
	4	140	—	—	1.08	70	9	2.19	0.47	8.37	7,300	0.8	4.5	Power, 高粘性
②	5	—	—	—	1.25	70	9	2.19	0.25	2.33	6,190	0.05	4.9	Modified
	6	—	—	—	1.34	70	9	2.19	0.12	18.5	30,700	1.3	8.9	Modified
③	7	80	300	—	1.18	70	9	2.19	0.70	0.032	22	0.07	0.7	Power
	8	140	300	—	1.20	70	9	2.19	0.70	0.32	217	0.2	1.5	Power
④	9	140	600	—	1.41	70	9	2.19	0.70	0.32	217	0.2	1.8	Power
⑤	10	120	300	7	1.20	70	9	2.19	0.70	0.32	109	0.05	1.2	Power
	11	120	300	14	1.20	70	9	2.19	0.033	23.7	27,800	0.9	7.7	Power
⑥	12	120	600	14	1.40	70	9	2.19	0.033	—	20,200	1.0	8.1	Bingham
⑦	13	120	600	14	1.40	30	9	13.0	0.033	—	3,440	1.0	26.4	Bingham

(単位: kg, cm, sec), Be: ペントナイト, Ce: セメント, Bingham: Bingham Plastic Model, Power: Power Law Model  
Modified: Modified Power Law Model,  $\bar{d}'$ : Weissの式から計算した浮遊粒子の径。

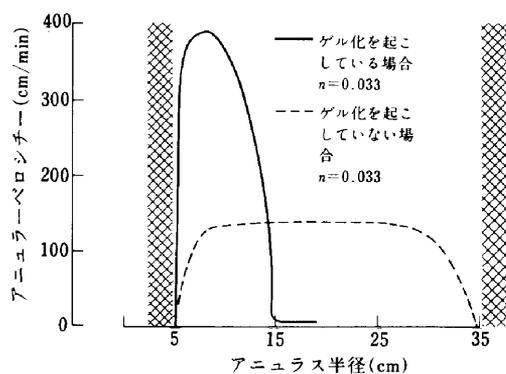


Fig.5 孔内流速分布図

る。施工上の経験によると、ロッド径約90mmのBH工法では、最大径40mm程度のレキまで排出し得るといわれる。したがって、ケース13の仮定がほぼ妥当であると考えられる。

以上のまとめとして、BH工法で大径のレキが排出できるのは、安定液の粘性の増加によるのではなく、安定液をゲル化させることにより孔径が縮小し、孔内流速が増加するためであると推定できる。

BH工法においてレキを排出するために採用される普通セメントを添加する方法は、造壁形成性に支障を与えず、しかも、そのメカニズムはゲル化による孔径の縮小にあると考察する。

参考文献

- 1) 稲葉 力, 齊藤顕次, 岩永克也: BH工法における泥水固化方法の検討 西松建設技報 VOL. 7 1984 p 1~9
- 2) 稲葉 力, 齊藤顕次, 岩永克也: BH工法による泥水固化と泥水の特性 (1) 第19回土質工学研究発表会講演集 p1419~1420
- 3) 稲葉 力, 高嶋克典: BH工法によるレキ層掘進についての考察 第20回土質工学研究発表会講演集(予定)
- 4) 金谷祐二, 秋野矩之: 泥水掘削における溝壁安定の実大実験 土質工学会論報告集 VOL.24 No. 4 172-182p
- 5) 沖野文吉: ボーリング用泥水 (新版) 技報堂