

# 高有機質地盤に対するセメント安定処理効果

## EFFECT OF SOIL STABILIZATION BY CEMENT TO HIGH ORGANIC SOIL

反町 容\*・濱 昌志\*\*・三浦敏弘\*\*\*・藤木 明\*\*\*\*・勝山 修\*\*\*\*\*

Yasushi SORIMACHI, Masashi HAMA, Toshihiro MIURA, Akira FUJIKI and Osamu KATSUYAMA

In the construction project of metropolitan highway Route No.8 in the Wakaki area, a value engineering (VE) design was attempted. In this area, the ground consisted of deposits of soft highly organic soil and clay, so consolidation settlement induced lateral spread and stability under the fill loading are the main concerns in the design stage. Through the estimation of the ground condition in the field and the cost performance of the construction methods, the deep mixing method using cement mixtures was proposed as the optimum countermeasure against the soft ground. In addition, that the effect of soil improvement depends extremely on the type of cement and soil was confirmed and reported in this paper.

*Key Words: poor ground, soil improvement, organic soil, alluvial clay, soil stabilisation by cement, Value Engineering*

### 1. はじめに

環状第8号線(北町～若木地区)の建設予定地の盛土区間に、沖積粘土や腐植土と称される高有機質土が分布している。沖積粘土も軟弱な地盤であるが、特に、当地の腐植土は間隙比が大きく高い圧縮性を示しており、盛土による圧密沈下や地盤の側方流動による変形と破壊が問題となった。そのため、何らかの軟弱地盤対策工が必要であり、基本設計時には深層混合処理工法が提案された。

本業務においては、基本設計後のVE検討を実施し、当地の条件、コスト面等から最も当地に適した軟弱地盤対策工としてセメント系の深層混合処理工法を提案した。その際実施した配合試験の結果、セメントおよび土質の種類によって改良効果に極端な差異が認められた。本報告では、高有機質地盤におけるセメント系配合材の適用上の問題点を主として報告する。

### 2. 環状第8号線について

#### (1) 計画概要

環状第8号線は、北町地区から若木地区間の延長約2kmにて建設事業計画が立案されており、既設道路から川越街道を跨ぎ東武東上線および補助第238号線を立体交差した後、台地上の補助第249号線を抜け、終点低地部の補助第201号線及び首都高速5号線へと交差する計画である。このうち本業務の検討区間は、擁壁構造区間である延長約0.8km(補助第238号線～補助第249号線～補助第201号線)である(図-1)。この区間は、低地部～台地部～低地部と起伏に富んでいるため切土、盛土工区に分割される。

#### (2) 設計VE検討

本業務は、基本設計後における道路構造物形式の比較設計の一部として、軟弱地盤対策のVE検討を実施した。軟弱地盤対策としては、コスト縮減を主眼においた工法選定を行った。基本設計時に提案された「深層混合処理工法」とその他の代替案の比較検討を行うとともに、ブロック毎に必要な最小限改良率を圧密沈下解析などにより検討し、経済的な改良パターンを決定した(図-2)。

\* 首都圏事業部 地盤構造部  
 \*\* 名古屋支店 技術部  
 \*\*\* 広島支店 技術部  
 \*\*\*\* 福岡支店 技術第一部  
 \*\*\*\*\* 首都圏事業部 道路部



図 - 1 環状8号線計画縦断面図(北町～若木)

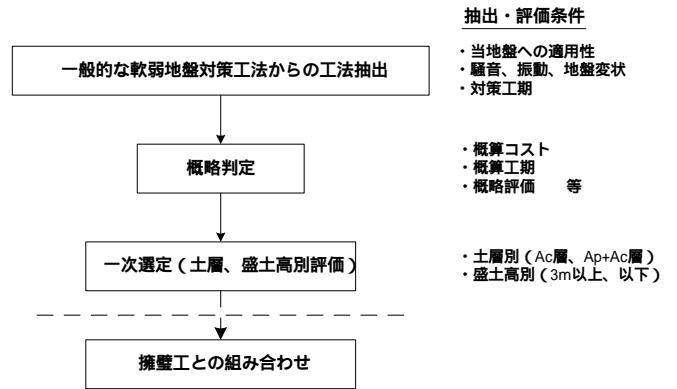


図 - 2 設計VE検討フロー(軟弱地盤関連)

表 - 1 当該地盤における代表土層物性値

土層	N値	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 C(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$
B	3	18.64	9.81	20
Ac	2	14.22	29.43	—
Ap	2	11.28	19.62	—
Tos	42	17.66	—	40
Tog	50	19.62	—	40

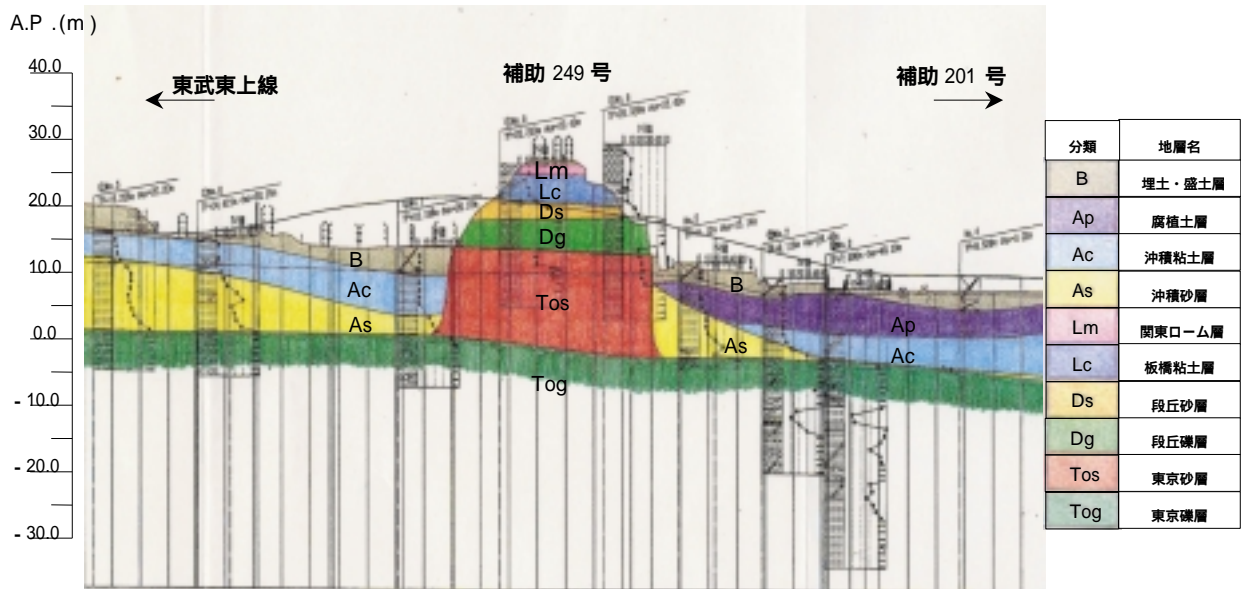


図 - 3 推定土層断面図

### 3. 調査結果

#### (1) 地盤特性

当該地は、武蔵野面に相当する台地と谷底低地に位置している。低地部の土層構成は、GL 10m～GL 15m前後にN値50以上の東京礫層が工学的基盤として存在し、対象区間のほぼ中間に位置する補助第249号線を境に上部層の構成が変化している。東武東上線～補助第249号線側(以下起点側と称す)は埋土層の直下に沖積粘土層(Ac層)が厚さ

4～7m程度、沖積砂層の上位に堆積しているのに対し、補助第249号線側～補助第201号線側(以下終点側と称す)は、埋土層の直下に腐植土層(Ap層)が3～6m程度、その直下に沖積粘土層(Ac層)が2～6m程度、沖積砂層(As層)および洪積砂礫層(Tog層)の上位に堆積している(図-3)。補助第249号線が取付く台地部は、洪積砂層及びロームから形成されている。表-1に既往調査結果より得られた当該地盤における主要な土質の物性値を示す。また、Ac層、

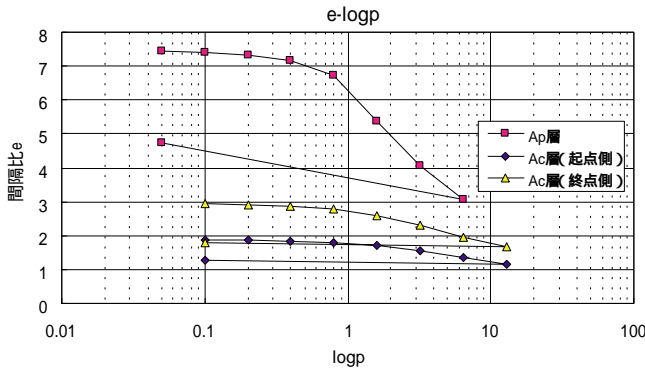


図 - 4 e-logp 曲線

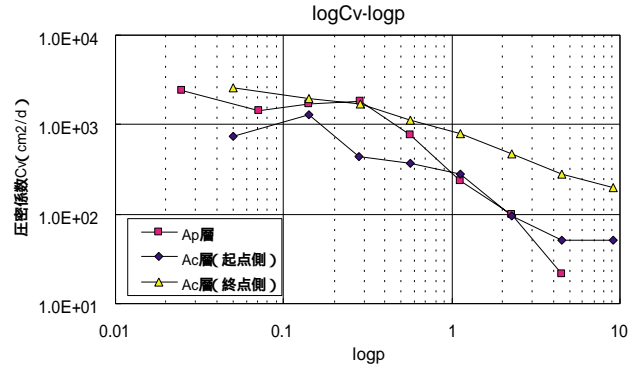


図 - 5 log Cv · logp 曲線

Ap層の圧密特性を図 - 4, 5 に示す。

## (2) 対策工法比較検討

当該地は住宅の密集した市街地に位置していること、基礎地盤に極めて軟弱な土層が分布していること、関連工事の工程上、短期間で施工する必要があることなどの制約から、比較検討する工種の選定に際しては、以下に示す条件に重点を置いた。

- ・市街地を意識し、振動・騒音を極力抑制する。
- ・当該軟弱地盤 (Ac層、Ap層) に適用可能である。
- ・家屋が近接していることから側方地盤への影響を極力抑制する。
- ・時間効果を図る工法の適用は、工程の制約上困難である。
- ・施工工程上の制約から、施工の煩雑化を防ぎ、極力全線統一した工法にする。
- ・切土によって発生する建設発生土を極力盛土材として利用する。

### 1) 一般的な軟弱地盤対策工法からの抽出

一般的な軟弱地盤対策工法から上記条件を考慮し、5工法を抽出した。抽出した工法は深層混合処理工法、構造物的工法 (パイルスラブ工法)、プレロード工法、軽量盛土工法 (FCB工法、EPS工法)、補強土工法であり、これら5工法の概略判定を次の段階で行った。

### 2) 概略判定

1)で抽出された工法に対して、概算コストを含めた形で比較検討を実施した (表 - 2)。この中でもっとも適用性の高い工法として深層混合処理工法があげられたが、腐植土層に対するセメントによる改良効果が懸念されたため、現地盤より採取した試料を用いて配合試験を実施した。また、必要改良強度はすべりに対する安定性から供用時の必要安全率1.25を満足する強度として一軸圧縮強度 (室内強度) で589 k N/m<sup>2</sup>と設定した。

## (3) 配合試験結果と評価対策

### 1) 一次配合試験

配合試験で使用した改良材の種類や諸元は以下に示す通りである。

- ・改良材：高炉セメント、改良材D、改良材E
- ・混合量：200, 300, 500kg
- ・材令：28日

改良材としては、普通ポルトランドセメントや高炉セメントを用いることが多いが、有機物含有量が多い土質ではセメント系固化材が用いられる。本試験時においては、経済性から高炉セメントBと、セメント系固化材として関東における高含水比の有機質土に対する施工実績等から、改良材D、改良材Eを選定した。

### 2) 一次配合試験結果

一軸圧縮試験結果を図 - 6 に示す。沖積粘土に対してはいずれの改良材を用いても効果が確認できた。特に、安価な高炉セメントB、200kg程度で一軸圧縮強さ616 k N/m<sup>2</sup>と目標改良強度 = 589 k N/m<sup>2</sup>を満足する結果となり、十分な効果が得られると判断された。しかし、腐植土はいずれの改良材でも所定の強度に達せず、強度の発現効果が認められなかった。

### 3) 二次配合試験

一次配合試験の結果、前記改良材では当該地の腐植土に対して改良効果が認められないと判断された。しかし、深層混合処理工法は、セメント単価が29,500円/t、混合量250kg以下であれば、他工法に比べ経済的に優位性があると判断されたため、再度改良材を変えて配合試験を実施した。

セメントによる固化は多くの土質に対して適用できるが、対象土がフミン酸あるいはフルボ酸などの有機物を多く含む場合には、水和反応が阻害されるため、セメントや消石灰では改良効果が小さいといわれている<sup>1)</sup>。そのほか、腐植酸と言われる土質の化学成分が効果発現に大きく関与

表 - 2 軟弱地盤対策工概略判定

	深層混合処理工法	構造的工法	載荷盛土工法+サンドドレーン工法	軽量盛土工法	補強土工法
当該地盤への適用性	配合試験にて改良強度、改良可否の確認が必要。	杭支持のため問題ない。	泥炭地盤にはサンドドレーンによる効果はほとんど認められない。	盛土による対策のため問題ない。	単独では沈下問題に対して対応不可。他工法との併用が必要。
騒音・振動変位問題	・騒音、振動は既定値以内。 ・変位量の抑制は、排土機構の付加した工法で対応可	・騒音、振動は工種により対応可 ・変位問題はなし。	・騒音、振動は懸念される。 ・盛土・載荷による隆起引込み沈下等が懸念	・騒音、振動は問題ない。 ・変位問題はなし。	・騒音、振動は問題ない。 ・単独工法では適用不可
概略設計による概算数量(奥行き100m当たり)	改良径: φ1,000 改良率:60% 改良長:8.6m 改良土量:6,880m <sup>3</sup>	PHC杭、中掘工、打撃打止め 杭長15m、杭径φ600 横断方向:5本、縦断2mピッチ コンクリート床版:幅8m、長100m、厚さ1m	サンドマット:厚さ0.5m、改良幅32.5m サンドドレーン:改良径φ400、ピッチ2m 改良長8.6m 載荷盛土工法:盛土高7m	EPSブロック8,700m <sup>3</sup> 排水対策砕石工等を考慮	
コスト比	深層混合(高炉B種)を1.0とした場合 1.0	2.08	1.6	10.1	比較対象外 -----
施工性	事前対策が可能	擁壁基礎工と同時期施工が可能と判断	側方への影響対策が必要	施工は容易である	盛土工事の工程が遅れる。
切土に伴う発生土の利用可否(対盛土)	適用可能	適用可能	適用可能 ただし、載荷盛土後の撤去が必要。	利用不可能 EPSにおいては発生土が増加	当地の発生土に対して適用困難
概略評価	対策工法としては望ましいが、今後改良効果、仕様についての検討を必要とする。ただし、特殊セメントの場合はコスト増。	パイル本数に限界がある。	時間制約があるため補助的に、対策可能な箇所について検討する必要がある。	EPSの単独工法はコスト的に問題有り。	他工法との併用が必要である。

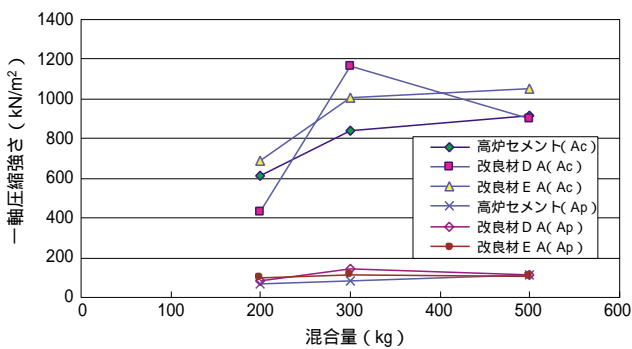


図 - 6 一軸圧縮強さ(材令28日)と混合量の関係

するとされている。一次配合試験においては腐植土を対象とした一般的な改良材を使用し、対象土の特殊性が十分に考慮されていなかったため、二次配合試験における改良材の選定に当たっては、固化材と土質の化学成分にも留意して選定した。具体的には、以下の項目を参考とした選定を行った。

高有機質土( =170 ~ 900%、Li = 30.8 ~ 83.6%、pH = 6.85 ~ 5.75 )の場合は、CaOが55%以下、SO<sub>3</sub>が6%以上の固化材が高強度を示す。<sup>2)</sup>

原則としてSO<sub>3</sub>が10%以上で、CaOが57%以下またはSAC含有比率が0.29以上を満足する固化材を使用するのが適当である。<sup>3)</sup>

腐植酸量とフルボ酸量により、SAC含有比率およびセメント係数を考慮した改良材の選定ができる(表 - 3)。<sup>4)</sup>

ここでいうSAC含有比率、セメント係数の定義は以下の通りである。

$$\text{SAC含有比率} = (\text{SO}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{CaO}$$

$$\text{セメント係数} = \text{比表面積} / \text{比重}$$

改良材Dの性状はCaO : 49.5%、SO<sub>3</sub> : 10%、SAC含有比率 : 0.38、セメント係数1289となっており、上記条件のは満足するものであった。しかし、当地の腐植土の

腐植酸量、フルボ酸量を強熱減量から推定すると、それぞれ46.53%、17.24%となるため、表-3を参考にした場合、SAC含有比率が40%以上かつセメント係数が1200以上である改良材の選定が必要であったと考えられた。そこで、改めて上記条件をすべて満足する改良材として、改良材Fを選定した(表-4)。改良材Fは北海道の泥炭を対象として配合された改良材であり、表-4中で最も高価なものでもある。しかし、これを採用しても深層混合処理が他工法に比べ安価となるセメント単価29,500円/t以内となっている。

なお、表-5に若木地区の腐植土と北海道泥炭(主として石狩泥炭)の物性の比較を示す。北海道泥炭には、含水比1150%、強熱減量90%という極端な数値を示すものがあるが、これはほとんど繊維状の未分解有機物から成る泥炭と言える。そのため、湿潤密度は1.0g/cm<sup>3</sup>を下回り、圧縮指数が5以上の圧縮性に富んだスポンジ状を呈しているものと推定される。このような未分解有機物を除けば、若木地区の腐植土は、北海道泥炭に近似していると言える。

4) 二次配合試験結果

図-7に一次配合試験結果と合わせて改良材Fを固化材として使用した際の軸圧縮強さの結果を示す。同図に示す通り、目標強度：589kN/m<sup>2</sup>は200kg以下の混合量でも十分に確保が可能と推定された。

5) 評価

配合試験の結果、深層混合処理工法の当該地盤への適用性が確認された。この結果を踏まえ、深層混合処理工は、

表-3 改良材選定手法

腐食酸量		40%以下		40%を超える	
フルボ酸量		10%以下	10%を超える	10%以下	10%を超える
改良材	SAC含有比率	高炉B種	0.20以上	0.25以上	0.40以上
	セメント係数	高炉B種	1200以上	1200以上	1200以上

表-5 若木地区腐植土と北海道泥炭の物理特性

物性値	若木地区	北海道泥炭
自然含水比 $\omega_n$	279~390%	115~1150%
湿潤密度 $\rho_t$	1.06~1.13 g/cm <sup>3</sup>	0.95~1.12g/cm <sup>3</sup>
乾燥密度 $\rho_d$	0.22~0.30 g/cm <sup>3</sup>	0.09~0.27g/cm <sup>3</sup>
圧縮指数 Cc	2.7~3.2	2.6~5.3
強熱減量 Li	48.7~68.6%	30.0~90.0%
間隙比 e	5.7~6.9	5.0~19.0
比重	1.7~2.0	1.3~2.1

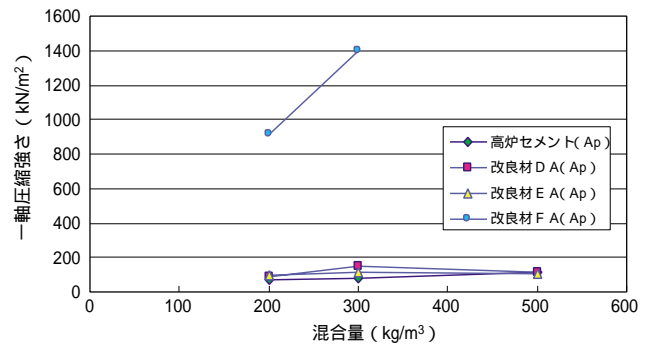


図-7 軸圧縮強さ(材令28日)と混合量の関係

表-4 改良材一覧

	改良材	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	化学成分(%)			SAC $\geq$ 0.4, セメント係数 $\geq$ 1300		判定
				酸化アルミニウム (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	酸化カルシウム (CaO)	三酸化硫黄 (SO <sub>3</sub> )	SAC含有率	セメント係数	
	高炉セメントB種	3.05	3910	8.4	54.8	2.0	0.19	1282	×
A社	改良材A	3.02	3960	4.62	60.39	7.45	0.20	1311	×
	改良材B	3.09	4280	5.3	57.13	9.67	0.26	1385	×
	改良材C	3.09	4240	4.28	61.81	8.73	0.21	1372	×
	改良材D	2.91	3750	9.0	49.5	10.0	0.38	1289	×
B社	改良材E	2.91	3720	7.8	49.8	10.0	0.36	1278	×
	改良材F	2.98	6330	9.2	50.2	11.2	0.41	2124	○
C社	改良材G	2.98	6300	9.2	50.2	11.5	0.41	2114	○
	改良材H	3.03	3910	8.1	53.1	9.6	0.33	1290	×
D社	改良材I	2.99	3960	8.7	49.1	12.3	0.43	1324	○
	改良材J	3.12	3410	4.39	62.38	6.71	0.18	1093	×
E社	改良材K	3.09	4150	6.31	59.73	11.48	0.30	1343	×

Ac層に対しては高炉セメントB、Ap層に対しては改良材Fによる改良を考え、コスト試算も同改良材の単価を使用した。また土質構成の違いから、検討区間を起点側、終点側に分け、低盛土区間として3mを基準とした盛土高さの違いによる区分けも行い、計4ケースについて検討した。結果として、起点側の3m以下の低盛土に対しては、プレロード工法を採用し、それ以外は、深層混合処理工法を提案した。

#### 4. おわりに

本業務において、沖積粘土層に対してはセメントによる改良効果が得られたが、腐植土層に対しては、固化材によ

っては全くといっていい程、強度が発現しなかった。今後は、施工実績からの判断も重要であるが、高有機質の土質に対しては、その化学成分も十分に考慮した固化材の選定が必要と考える。

#### 参考文献

- 1) 財団法人 土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル、平成11年6月
- 2) 木暮敬二：高有機質土の地盤工学、1995
- 3) 泥炭性軟弱地盤対策工指針編集委員会監修：泥炭性軟弱地盤対策工指針、社団法人 北海道開発技術センター、昭和63年10月
- 4) 小田島大、能登繁幸、山崎達哉：泥炭に含まれる有機物を考慮した改良材の選定について、第34回(平成2年度)北海道開発局技術研究発表会、pp.33-38