

# 埋立て工事における凝集沈殿促進剤の添加効果

ひら やま ひとし  
平 山 平\*

## 1. まえがき

本論は、日本住宅公団が、38年に着工した千葉県T地区約30万坪のSand-Pump式シュンセツ船による水面埋立て事業において、その約1/4地区に対し、松尾博士によって紹介された凝集沈殿促進剤(Pan-flock)の添加による歩どまり(留)率のアップ、流亡土砂の減少による付近海域汚染の軽減、埋立て地盤の均一性などを目的とした埋立て工事の紹介で、臨海開発課が行なった実験室的調査の一部である。

## 2. 凝集沈殿促進剤 (Pan-flock)

### (1) 組成, 性状

Pan-flockは、界面活性剤の一つで、土粒子のような懸濁質を凝集する水溶性の高分子化合物で、石油化学製品の一つであるアクリルアミドを、特殊合成法によって分子量を数百万に高分子化した、全く新しいタイプの高分子化合物である。その性状は、

- (i) 有効成分 3% 水溶液
- (ii) 外 観 粘調な無色透明液状
- (iii) 相対粘度 1.6以上 (30°C)
- (iv) pH 中性 (7.0±1.0)
- (v) 毒 性 なし (一般的混合濃度において)

### (2) 凝集作用

Pan-flockの特徴とするところは、上水道原水の浄化で使用する硫酸バンドのように、粒子電荷の中和作用による極性会合を行なう電解質と異なり、吸着基による吸着作用と高分子鎖による橋架け作用、すなわち分子の長く並んだ高分子化合物に、多くの微細な土粒子が結合してからみ合って団粒体となることである。

## 3. Pan-flock 添加によるメリット

Sand-Pump式シュンセツ船で海底などの土砂をシュンセツし、海水とともにポンプ圧送するときは、送泥管にPan-flockを混入し、吐出口に至るまでによく懸濁質に混合し、吐出口を出て流速の衰えたところで凝集作用が起こるよう設計するが、これによって生ずるメリットは次のように考えられる。

- (i) 歩どまりのアップによりシュンセツ土量が減少する。

- (ii) したがって、工期が短縮する。
- (iii) 埋立て地盤が相対的に均一となる。
- (iv) 流亡土砂が減少するので、付近海域に及ぼす影響が小さい。

添加による埋立て地盤の良否については、現地の調査結果を待つこととし、ここでは凝集沈殿速度の測定から土質別添加適量の検討および歩どまりの算定、またモデル埋立て土質による沈降時間別(深さ別)粒度の均一性について調査を行なった。

## 4. 凝集沈降速度

シュンセツ区域のボーリング資料から土質を分類し、これから代表的試料を抽出し、この試料に対する添加適量と沈降速度とを測定した。

### (1) 埋立て土質

シュンセツ土の粒度柱状は図-1のとおりで、シュンセツ土量から約A.P-11.30mまでシュンセツすることになる。また、この粒度柱状図から推定すれば、シュンセツ全土量に対する粒度百分率は、ほぼ表-1のようである。

### (2) Pan-floc 添加適量と沈降速度

土質に応じた添加量については、それぞれの土質に對

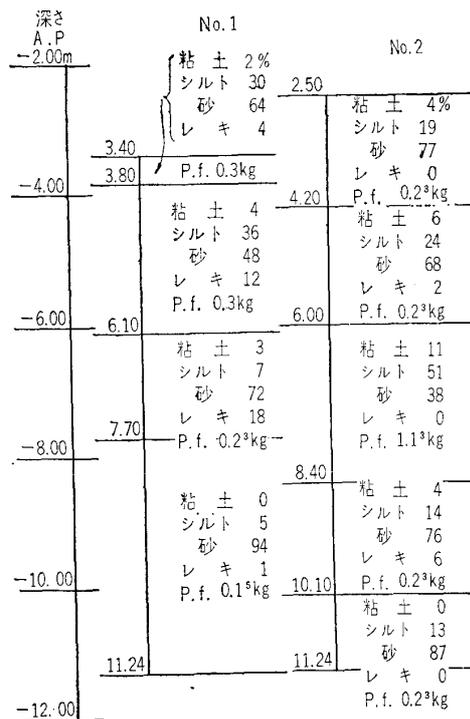


図-1 シュンセツ土質粒度柱状

\* 日本住宅公団首都圏宅地開発本部 副参事

表-1 粒度百分率

粒径 (mm)	地点	No. 1 (%)	No. 2 (%)	平均 (%)
粘 土	~0.002	0.93	4.16	—
	0.002~0.005	1.13	1.61	—
	小 計	2.06	5.77	3.91 <sup>5</sup>
シルト	0.005~0.010	0.56	2.88	—
	0.010~0.020	1.68	7.60	—
	0.020~0.050	13.92	16.50	—
	小 計	16.16	26.98	21.57
砂	0.050~0.100	16.24	22.93	—
	0.100~0.200	22.10	29.02	—
	0.200~0.500	30.90	10.40	—
	0.500~2.000	4.86	3.36	—
	小 計	74.10	65.71	69.90 <sup>5</sup>
レキ	2,000	7.68	1.54	4.61
	計	100.00	100.00	100.00

し添加量を変え、凝集最小径の沈降速度が、0.1 cm/s を下らない凝集量をもって適量とした。

実験は、NaCl 3% 溶液 100 cc に、乾土 10 g を混入した懸濁液に、Pan-flock を加えて振トウ (盪) の後静置し、上層部浮遊土砂の沈降によって生ずる上層清澄部の水深 (h) と経過時間 (t) から、 $h/t$  をもって沈降速度とした。

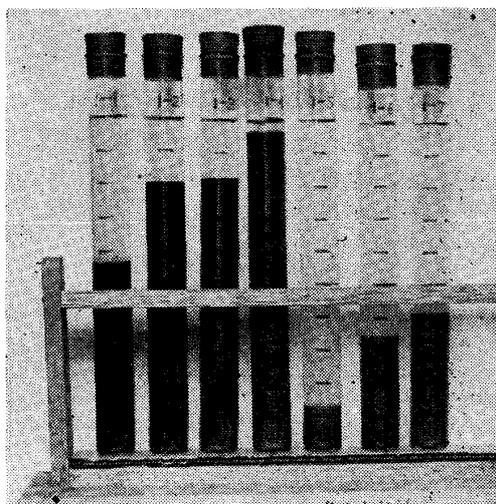


写真-1 沈殿試験

写真-1 は、沈殿試験中の試験管で、溶液高さ 21 cm、管径 2.45 cm のものである。また、図-2、図-3 は、それぞれの土質について行なった添加量別の時間と清澄部水深 (容積) との関係の一例を図示したものである。

この図から添加量と沈降速度を求めれば次のようになる。

試料 No. 1-1 1/5 kg 添加 (図-2)

$$21 \text{ cm} \times (100\% - 60\%) / 1 \text{ min} \approx 0.14 \text{ cm/s}$$

試料 No. 2-3 3/4 kg 添加 (図-3)

$$21 \text{ cm} \times (100\% - 28\%) / 2 \text{ min} \approx 0.12 \text{ cm/s}$$

この添加量は乾土 1 t に対する割合の値で、これをシュンセツ時の見かけ単位体積当たりの添加量に換算すれば、次のようになる。すなわち、土粒子の平均比重 2.65、

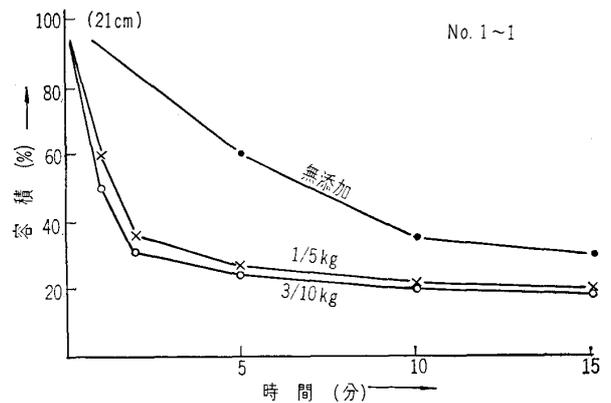


図-2 時間~沈降容積

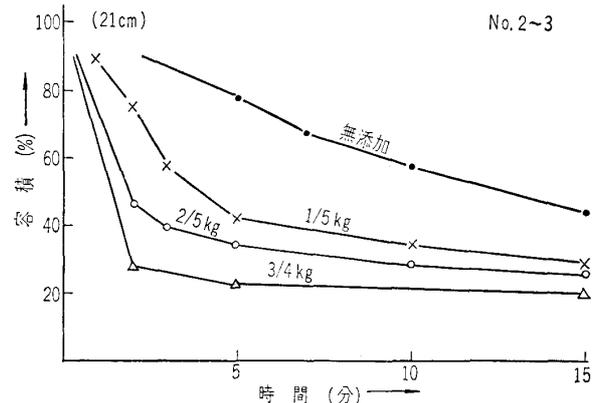


図-3 時間~沈降容積

飽和度 100% と考え、含水比と乾燥密度との関係を求めれば図-4 のようになる。

シュンセツ地盤の含水比には、若干のバラツキがあるが、ほぼ 30% と考えれば、乾燥密度は 1.5 t/m<sup>3</sup> となる。したがってシュンセツ土 1 m<sup>3</sup> 当たりの添加量は表-2 のようになる。なお、実験を行なわなかった土質については、類似の実験を行なった土質から推定した。これによりシュンセツ土質柱状に対し、凝集沈降速度 0.1

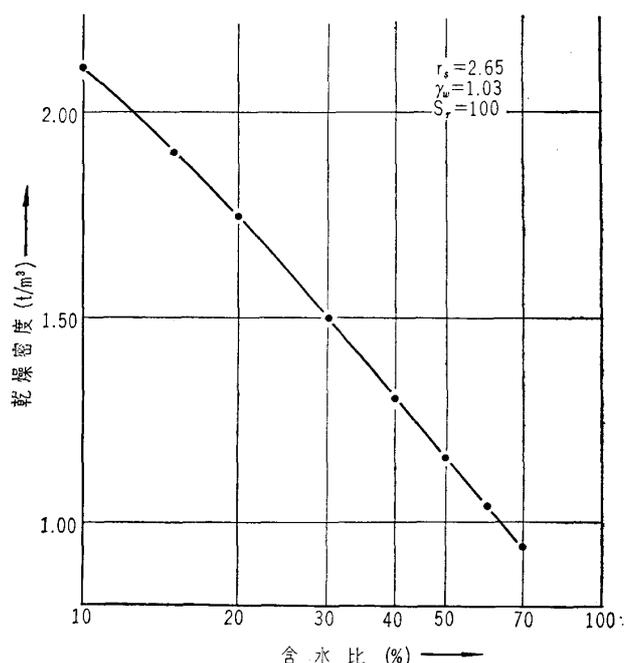


図-4 乾燥密度と含水比との関係

表-2 Pan-flock 添加量と沈降速度

試料 No.	試料採取位置 (m)	添加量 (kg/m <sup>3</sup> )	沈降速度 (cm/s)	見かけ粒径 (mm)	
				小川式	速見式
1-1	地表から2.00~2.20 (A.P-5.40~5.60)	0.30	0.14	0.042	0.032
2-3	3.50~4.00 ( " -6.00~6.50)	1.13	0.12	0.040	0.031

cm/s 以上とする シュンセツ 土量 1.0 m<sup>3</sup> 当たりの添加適量は図-1 のようになる。

(3) 最小凝集沈降速度 0.1 cm/s のときの歩どまり

埋立て地の断面は、図-5 のように考えられる。いま、吹き上げられた  $v_\phi$  なる沈降速度を持つ  $\phi$  なる径の土粒子が、 $v$  なる平均流速を持つ埋立て地内で  $h$  だけ沈殿する関係は、

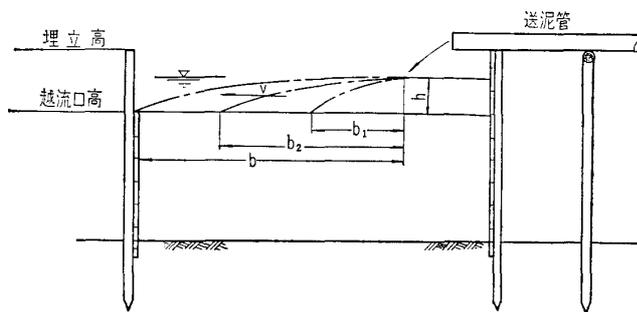


図-5 埋立て地断面図

$$b/h \geq v/v_\phi \dots\dots\dots(1)$$

である。しかしながら、埋立て地内の流速は不同であり、乱流を起こすから、余裕を見て、

$$b/h \geq n \cdot v/v_\phi \dots\dots\dots(2)$$

とし、 $n$  は流れの状況に応じ 1.0 より大きな値とする。したがって、 $v_\phi$  なる沈降速度を持つ径  $\phi$  なる土粒子は越流口から  $b$  以上の距離に吹き上げられれば、すべて沈殿滞積し歩どまりは 100% となる。

一度沈殿した土粒子を洗い流す底面流速は、粘土で 8 cm/s 前後、細砂で 15 cm/s 前後であるが、シュンセツ土砂は Pan-flock の添加によってほぼ細砂以上の凝集を目標としていること、また、凝集が元に戻った場合については、底面流速が表面流速の 1/2 とすれば、粘土、細砂を掃流運搬する流れの表面流速は 16~30 cm/s 以上であり、埋立て地内におけるこの程度の流速は、限られた時期および地点においてのみ生起するものと推定されるから、ここでは掃流運搬作用は考えない。

2 式から、 $h=50$  cm,  $v=20$  cm/s,  $n=1.4$  と仮定して沈殿到達距離  $b$  を求めれば次のようになる。ただし、 $h$  は越流口テンバ面まで土砂が滞積しない時点においては、テンバ面までの深さとし、テンバ面を越えた時点では流路の水深とする。

$$b \geq n \cdot v/v_\phi \cdot h = 140 \text{ m}$$

したがって、Pan-flock の添加によって、0.1 cm/s 以上の凝集沈降速度を持つ土砂は、越流口から 140 m 以

表-3 粒径別沈殿到達距離

区分	粒径 (mm)			
	<0.05 (0.03)	0.05~0.10 (0.07)	0.10~0.20 (0.13)	>0.20 (0.30)
沈降速度 (cm/s)	0.10	0.40	1.30	4.00
沈殿時間 (s)	700	175	55	19
沈殿到達距離 (m)	140	35	11	4

遠の領域に吹き上げられれば、歩どまりは 100% となる。

(4) 越流口~140 m 領域の歩どまり

最小凝集径をその沈降速度が 0.1 cm/s 以上としたが、この場合の凝集見かけ粒度の検討を行なわなかったため、この領域については、安全を見て実粒度により歩どまりを推定するものとする。

表-3 における沈降速度は、速見式によった。この表から 0.05 mm までの平均粒径を 0.03 mm とすれば沈降速度 0.1 cm/s から沈殿到達距離は 140 m となり、歩どまりは 0.0% となる。また、0.05~0.10 mm の平均粒径を 0.07 mm とすれば、この粒径の沈殿到達距離は 35 m となる。したがって、越流口から 35 m 以上の領域に吹き上げられれば、100% 沈殿滞積する。また、0.10~0.20 mm, 平均 0.13 mm 粒径の沈殿到達距離は 11 m となる。

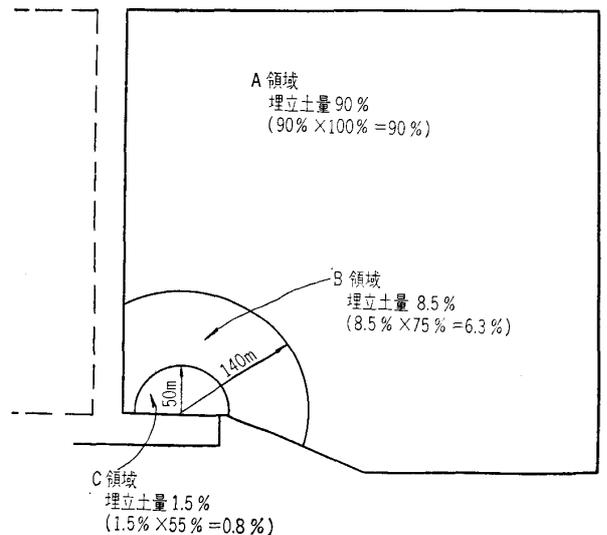


図-6 領域別占有土量

(3) および (4) に基づいて、歩どまりを集計するにあたり、埋立て法線を図-6 のように想定する。この場合越流口から 140 m 以遠の A 領域の埋立て土量は全体の 90% で、この領域の歩どまりは 100% となる。また 140 m 以近については、あまり越流口の近くに吹き上げられた土砂は、乱流拡散のまま流亡する恐れが大きいので、さらに余裕を見て越流口から 50 m 以遠 140 m までの B 領域に吹き上げられる全埋立て土量の 8.5% の土砂については、実粒径 0.05 mm 以上の土粒子が沈殿滞積するものとした。また、C 領域の 1.5% の土量については、0.10 mm 以上の土粒子が滞積するも

報 文-380

のとすれば、表-1 の粒度百分率から、

A 領域 :  $90\% \times 100\% = 90\%$

B 領域 :  $8.5\% \times 75\% = 6\%$

C 領域 :  $1.5\% \times 55\% = 0.8\%$

計 96.8%

なお、根吹きの手どまりは、これが完了後のものと比較すれば、一般に低いものと考えられるが、B, C 領域における Pan-flock の効果を考慮しなかった分と相殺するものとする。

(5) 経済性について

Pan-flock を添加することによって手どまりがアップし、これによって減少したシュンセツ土量に相当するシュンセツ費以下で Pan-flock を使用し得るならば、その他のメリットを度外視しても経済効果が生まれる。すなわち、下記により検討が可能である。

$$s \cdot 1/\alpha_1 \cdot g_1 \leq s \cdot 1/\alpha_2 \cdot (g_1 + g_2) \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $s$  : 埋立て土量 ( $m^3$ )

$\alpha_1$  : 無添加時の手どまり率 (%)

$\alpha_2$  : 添加時の手どまり率 (%)

$g_1$  : シュンセツ単価 (円/ $m^3$ )

$g_2$  : シュンセツ土量  $1 m^3$  当たりの Pan-floc 費 (円/ $m^3$ )

5. 埋立て地盤の均一性

一般に Sand-Pump 式シュンセツ船による埋立て地盤は、流水による土粒子のふるい分け作用を受け、平面的、立体的に粒度分布が比較的顕著で、滞水作用をなした区部から越流口に向け軟弱な地盤が形成され、後の土工事に大きな障害となる。したがって、場合によっては手どまりの高いことがかえってデメリットとなる。

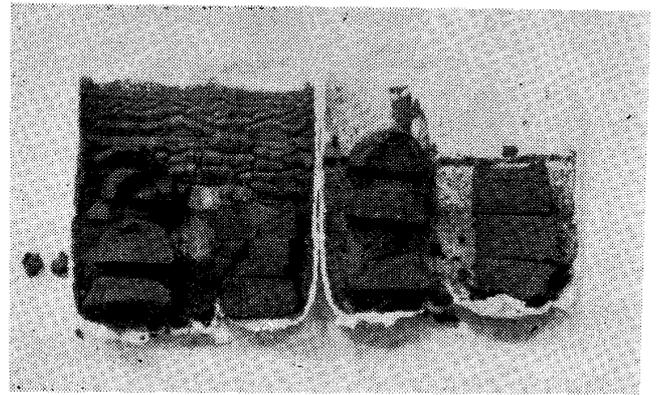


写真-2 沈殿滞積土、無添加(左)、添加(右)

ここではモデル土質を使用し、海水中に  $\phi=7.5 \text{ cm}$ ,  $L=21 \text{ cm}$  の底付き円筒口(濾)紙を浮かして、これにパイプ ( $L=50 \text{ cm}$ ) を連結し、乾土  $1 \text{ t}$  当たり  $0.5 \text{ kg}$  相当量の Pan-flock を添加した見かけ重量  $800 \text{ g}$  (含水比  $107\%$ ) の土を、口(濾)紙内側の水位と、外側の水位とが一致するように注意しつつ流し込み、沈殿終了後円筒筒を取り出し、滞積土を写真-2 のように重量3等分して、上層、中層、下層とし、これらの粒度加積曲線を求めれば図-7 のようであった。これと同じ方法による無添加の三層の土質について、 $30\%$  および  $60\%$  粒径を

表-4 無添加, 添加時の  $D_{30}$ ,  $D_{60}$

層別	土質重量	無添加土質		添加土質	
		$D_{30} \text{mm}$	$D_{60} \text{mm}$	$D_{30} \text{mm}$	$D_{60} \text{mm}$
上層		0.0017	0.010	0.012	0.040
中層		0.038 <sup>0</sup>	0.060	0.025	0.120
下層		0.130 <sup>0</sup>	0.180	0.040	0.130
モデル土質		$D_{30} : 0.023, D_{60} : 0.110$			

比較すれば表-4 のようになり、添加土質は無添加土質に比べ、各層の粒子配合が相対的に類似し、均一性がう

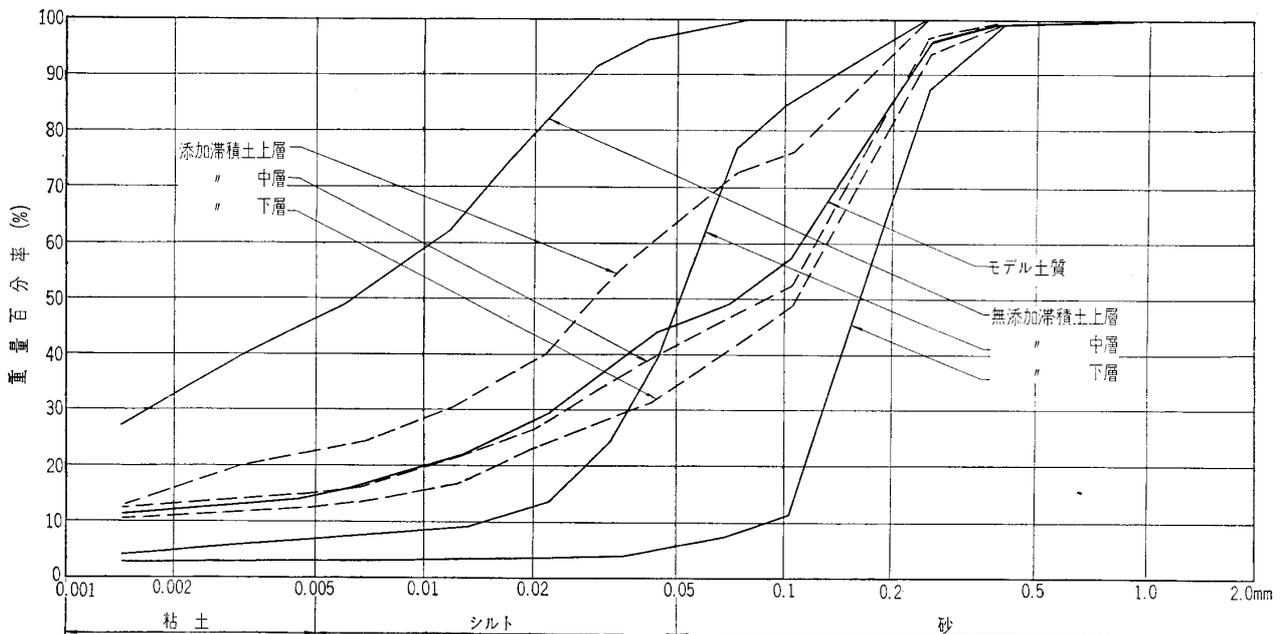


図-7 Pan-floc 添加, 無添加滞積土層別粒度加積曲線

かがわれた。

このことは、軟弱地盤形成の要素を薄めて全地区にばらまいたことになり、この場合の地耐力、透水性などについて検討が終わっていないので、無添加時のように軟弱部分を一個所に集約した場合と比べ、常にメリットがあると結論するには早計に思える。

## 6. む す び

以上は埋立て工事における凝集沈殿促進剤 (Pan-floc) の添加効果について、若干の実験室的検討を試みたもので一応の使用効果を期待できた。しかしながらこれが開発市販されて日なお浅く、まだ十分な実験的現場的資料が少ないように思えるので、全般的な効果については、なお、深い検討の必要があるように思われる。すなわち添加適量については同一試料について2回以上、流水中

の凝集効果についてのチェック、最も効果の上がる添加位置、でき上がり地盤の圧縮、透水の効果、さらに重要なことは推定歩どまりアップが期待できたかどうかのチェックであろう。これらの点については、T地区の使用結果をとりまとめて報告したい。

最後に、この検討に当たって、細かい実験などを行なってくれた、第一工業製薬 KK 長谷川伸一化成品第一課長および岩瀬達吉両氏に対し、深い敬意を表するものである。

## 参 考 文 献

- 1) 松尾新一郎：土木学会年次学術講演会講演概要 (昭 37) p. 97~98
- 2) 杉戸 清：下水道学, p. 73
- 3) 宮本武之輔：河川工学, p. 106
- 4) 平山 平：日本住宅公団論文集 (昭 37) p. 381~393  
(原稿受付 1964. 3. 6)

## 書 評

### 土 質 力 学 (改 訂 版)

河 上 房 義 著

戦前戦後を通じて、日本における土質力学ないし土質工学のテキスト (翻訳を除いて) はかなり出ているが、本書旧版はなかでも最もオーソドックスなテキストの最初のものと考えられる。もっとも、オーソドックスとは何かとなると、人によって考え方は違うのであろうが、全分野にわたって重要な項目を一通り取上げており、力点を置き過ぎた部分や手を抜いた部分がないという特長を持つものとみることができよう。あるいは端的に、テルツァギ・ペックの「土質力学」におけるような構成あるいは力点分布をなすものという方が誤解は少ないかも知れない。いずれにせよ、本書が各方面でテキストとして広く利用されて来た理由の一半はこのような点にあったのではないかと思われる。

しかし一方、近年の科学技術の進歩は土質力学にも及んでおり、またとくに戦後の復興の第一線に立った建設部門はアメリカの土質力学ならびに関係規程をそのまま利用してきたので、この 10 年間に、世界的な研究成果も、日本の土質に関するデータの蓄積も、かなりの量に達しているわけである。このときに当たって著者が本書の改訂に踏切ったことはまことに時宜を得たものといえることができよう。

用語の統一 (土質工学会制定用語へ) のほか、主な改訂は次のようなところにみられる。

土の工学的分類では AC 分類法の改訂版として、今

日広く利用されている統一分類法の折込み表つき紹介、圧密では圧密指数や二次圧密についての加筆、セン断ではベーン試験の節の追加などがあげられる。また斜面安定では地スベリ対策、透水では現場における測定法などに筆が加えられている。土の締固めではバイプロフローテーションに1節を設け、土質調査ではスウェーデン式貫入試験機、オランダ式円スイ貫入試験機、フォイルサンプラーなどをかなりくわしく紹介している。また付録の土質試験法 JIS には、旧版出版以後 1961 年までに制定された4項目 (一軸圧縮、圧密、透水、標準貫入の各試験方法) が追加されている。

なお、小さいことではあるが、参考文献を各章ごとまたは巻末にあげてもらえればありがたかった。また、本文の活字は旧版と同じ 9P であるが、極端なページ増を抑えるためか、行間をいくらか縮めており、このため旧版に比べて多少読みにくくなったように思われる。しかし、いずれにせよ、本書が今度の改訂により、オーソドックスなテキストとして、さらに広く利用されていくであろうことはまちがいない。 (渡辺)

294 ページ

A 5 判

定価 800 円

森北出版発行 Tel. 201-9696