

ISSN 0386-5878

土研資料 第1936号

マイクロフィルム 第 号

土木研究所資料

大型ピット薬液注入実験報告書

昭和58年3月

建設省土木研究所
機械施工部施工研究室

Copyright © 1983 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

まえがき

薬液注入工法は、薬液を地盤に注入して地盤を固結させることにより地盤の強度を増加させ、または、地盤の透水性を減少させる地盤改良工法であり、主に、トンネルやシールド掘削における切羽の安定および湧水防止を目的として使用されている。特に最近では、他の工法と比べて簡便に施工できることからその使用件数が年々増加しており、都市土木工事に欠くことのできない重要な工法となっている。しかし、薬液注入工法は、その注入メカニズムが明らかにされないまま、注入設計および施工は注入技術者の経験に基づいて行なわれ、また、様々な問題を生じてきた。そこで当研究室では昭和52年度から昭和54年度まで「薬液注入工法の評価と開発に関する研究」という課題で、現状の薬液注入工法の問題点を把握するとともに、より安全で信頼性の高い新しい注入工法を提案し、それを受けて昭和55年度から昭和57年度まで「大型ピット薬液注入実験」の課題のもとで、本工法の注入モニターの改良および砂質地盤における注入実験を行なった。

本報告書は上記注入実験をとりまとめたものである。

昭和 58 年 3 月

施工研究室 嶋 津 晃 臣
塚 田 幸 広
佐々木 審

目 次

まえがき

I 概 要

- 1. 実験の目的と経緯 1
- 2. 実験施設の概要 2

II 実験方法

1. 地盤条件

- 1.1 地盤の構成概要 3
- 1.2 地盤材料 4
- 1.3 地盤の作成方法 5
- 1.4 地盤の性状 6

2. 注入ケース 8

3. 注入設計

- 3.1 注入孔の配置 10
- 3.2 注入材料と配合 12
- 3.3 設計注入量 16

4. 注入条件 16

5. 注入方法 18

- 5.1 注入用機械の仕様と配置 18
- 5.2 注入モニター 20
- 5.3 施工順序 22

III 実験結果および考察

1. 各種注入材の固結形状と適用性

- 1.1 均一地盤 23
- 1.2 互層地盤 24

2. 固結長の頻度分布 42

3. 固結形状の簡易評価 47

- 3.1 簡易評価指数の定議 47
- 3.2 簡易評価指数の適応性 48

4. 固結土の填充率 50

5. 懸濁型注入材の浸透性 52

IV 特殊二重管注入工法（バイモード工法）の取扱いについて

- 1. 開発経緯 53

2. 注入原理	53
3. 施工順序	54
4. 注入モニターの構成	54
5. 注入設計	55
5.1 注 入 量	55
5.2 注入ピッチ	56
5.3 注入ステップ	56
5.4 注入速度	56
5.5 注入圧力	56
5.6 瞬結注入と緩結注入の量比率	57
6. 注入施工方式	57
6.1 2ショット+1ショット方式	57
6.2 2ショット+1.5ショット方式	58
7. その他の注意事項	59
8. 分解及び点検	60
あとがき	62
参考文献	62

I 概 要

1. 実験の目的と経緯

本実験は、昭和55年度から昭和57年度までの3年間「大型ビット薬液注入実験」の課題のもとに行なったものである。本実験では主に次の項目について研究を行なった。

- ① 懸濁液型、溶液型などの各種注入材の砂質地盤における浸透性および割裂特性の把握
- ② 各種注入材の固結土の形状特性およびその評価方法の検討
- ③ 特殊二重管注入工法（バイモード工法^注）の施工性の調査および作業能率の向上の検討

^注 この呼称は（社）日本薬液注入協会によるもので、以下この呼称を用いる。

- ④ バイモード工法注入モニターの改良
- ⑤ バイモード工法の設計・施工法の確立
- ⑥ 注入効果確認法の検討

本実験は、次図の4つの実験よりなり、本報告書においては各年度別に実験Ⅰ、実験Ⅱ、実験Ⅲと区分する。

実験Ⅰ…………… 昭和55年度

実験Ⅱ…………… 昭和56年度

実験Ⅲ…………… 昭和57年度

建設省総合技術開発
プロジェクト「新地盤
改良技術の開発」
(昭和50～54)
………
「薬液注入工法の評
価と開発に関する研
究」(昭和52～54)

実験区分	実 験 Ⅰ	実 験 Ⅱ		実 験 Ⅲ
実 験 名	大型ビット薬液注入実験	特殊二重管注入工法の 砂質地盤への注入実験	特殊二重管薬液 注入実験	互層地盤への薬液 注入実験
実験年月	昭和55年11月 ～昭和56年2月	昭和56年7月 ～昭和56年9月	昭和56年12月 ～昭和57年2月	昭和57年10月 ～昭和57年12月
実験目的	○注入モニターの性能 確認と改良 ○懸濁液型注入材の適用 性 ○注入仕様の調査	○均一砂質地盤におけ る各種薬液の浸透・ 固結性状の把握 ○注入モニターの適用 性および改良	○同 左 ○施工性向上の 検討	○互層砂質地盤に おける薬液注入 工法の適用性 ○注入効果に及ぼ す影響についての 把握 ○注入モニターの 標準化
対象地盤	・均一地盤 ・互層地盤	均一地盤	均一地盤	互層地盤

図-I.1 実 験 経 緯

2. 実験施設の概要

注入実験は、土工実験棟内の大型ピット（実験Ⅰ）および中型ピット（実験Ⅱ、Ⅲ）を使用して行った。各ピットの平面および断面を図-1・2に示す。なお、大型・中型ピットとも給排水、フィルターを介して任意の位置に水位を設定できるとともに、長辺方向に動水勾配をつけて地下水流を発生させることができる。

ピットの仕様

- (1) 大型ピット……H 4.0 m × B 8.0 m × L 15.0 m 1 槽
- (2) 中型ピット……H 4.0 m × B 4.0 m × L 8.0 m 2 槽
- (3) 小型ピット……H 4.0 m × B 4.0 m × L 4.0 m 2 槽

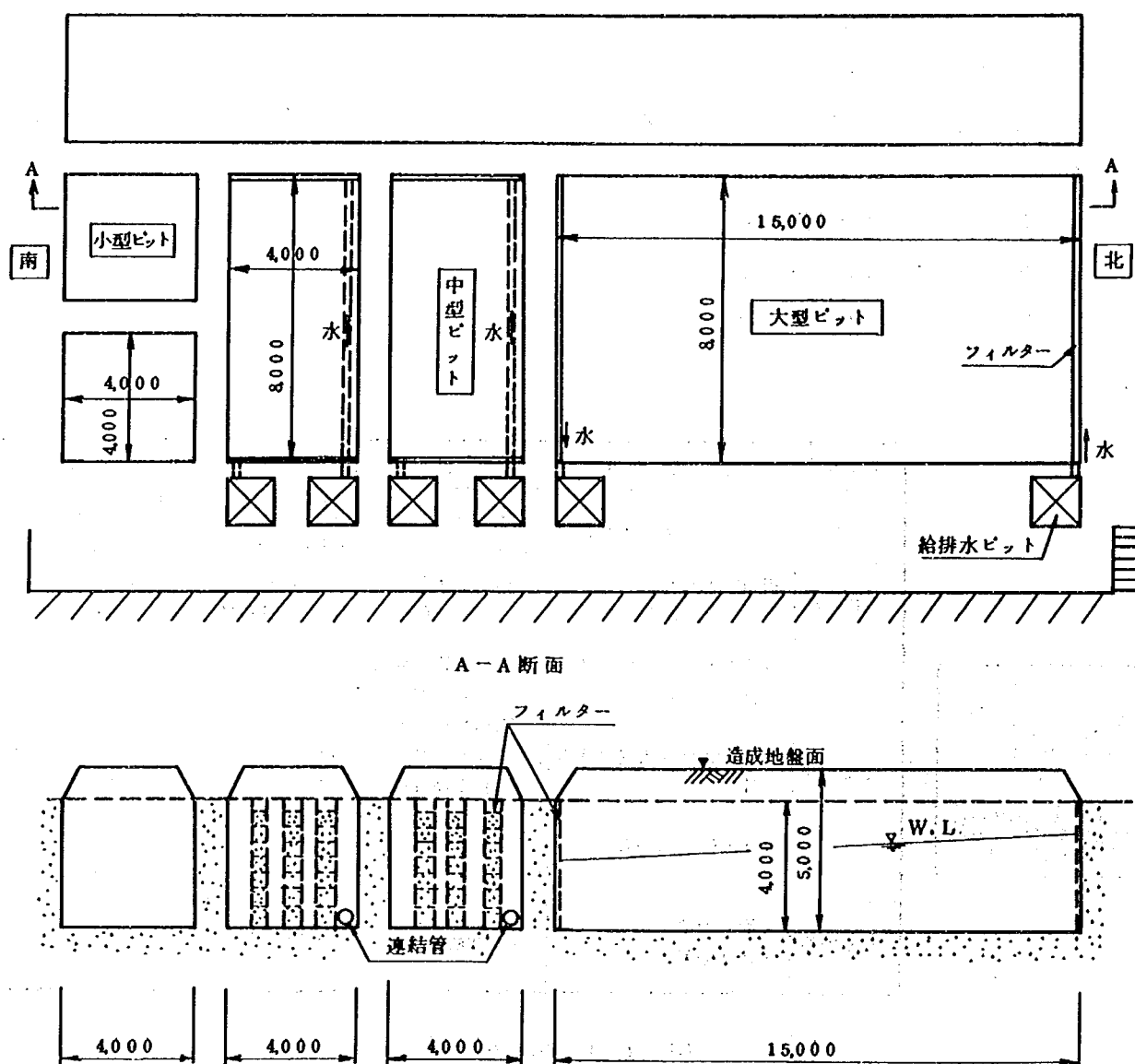


図-1.2 ピットの平面、断面図

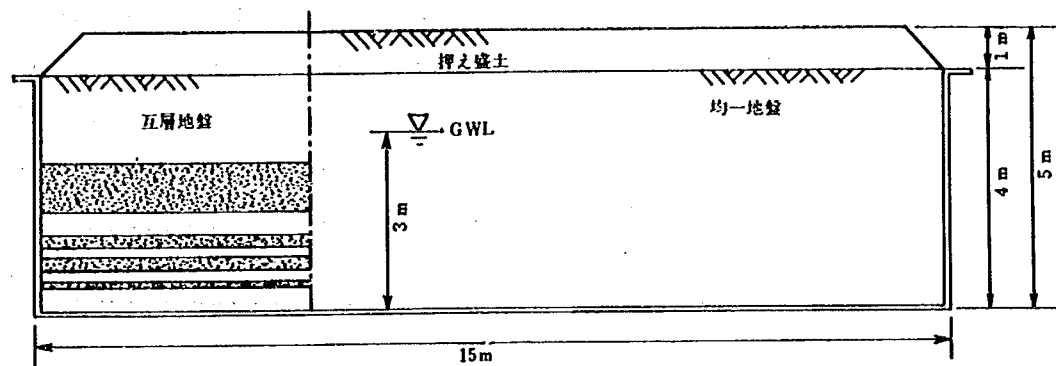
Ⅱ 実 験

1. 地盤条件

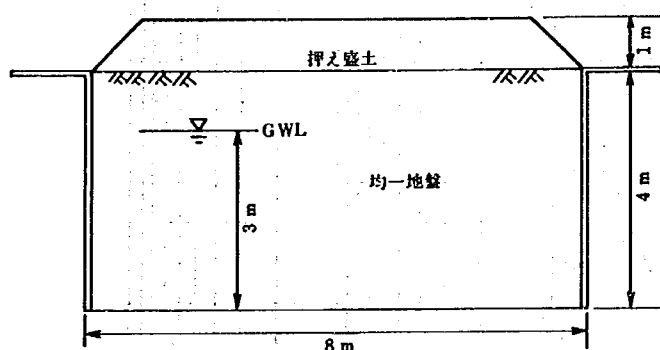
1.1 地盤の構成概要

実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲのそれぞれの注入地盤模式図を図－Ⅱ．１，図－Ⅱ．２，図－Ⅱ．３に示す。

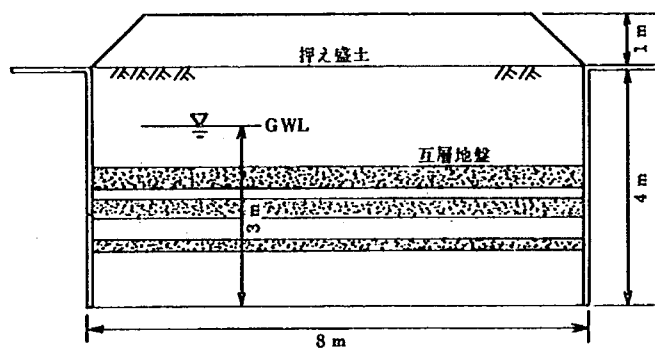
図－Ⅱ．４には実験Ⅰ，Ⅲにおける互層地盤の状態（層厚など）を示す。



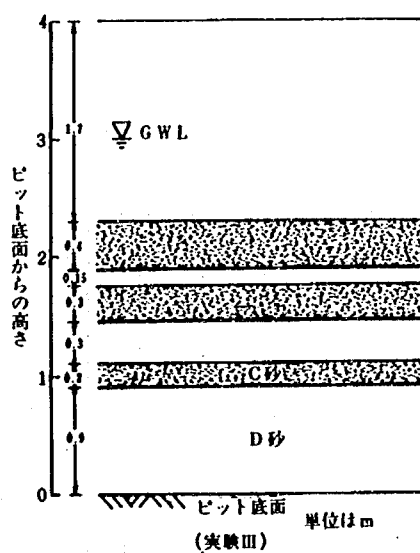
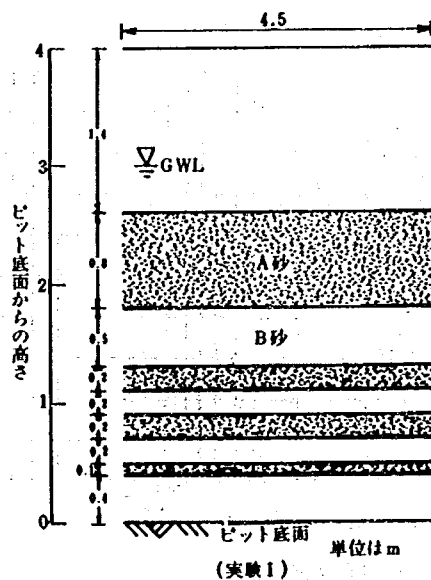
図－Ⅱ．１ 実験Ⅰの土層構成



図－Ⅱ．２ 実験Ⅱの土層構成



図－Ⅱ．３ 実験Ⅲの土層構成



図－Ⅱ．４ 互層地盤の構成

1.2 地盤材料

本実験で使用した地盤材料は4種類の砂質土であり、それぞれA砂、B砂、C砂、D砂とする。実験ⅠではA砂、B砂、実験ⅡではB砂、また実験ⅢではC砂、D砂を用いた。各々の物理的性質を表Ⅱ.1、表Ⅱ.2に示し、粒径加積曲線を図Ⅱ.5、図Ⅱ.6に示す。

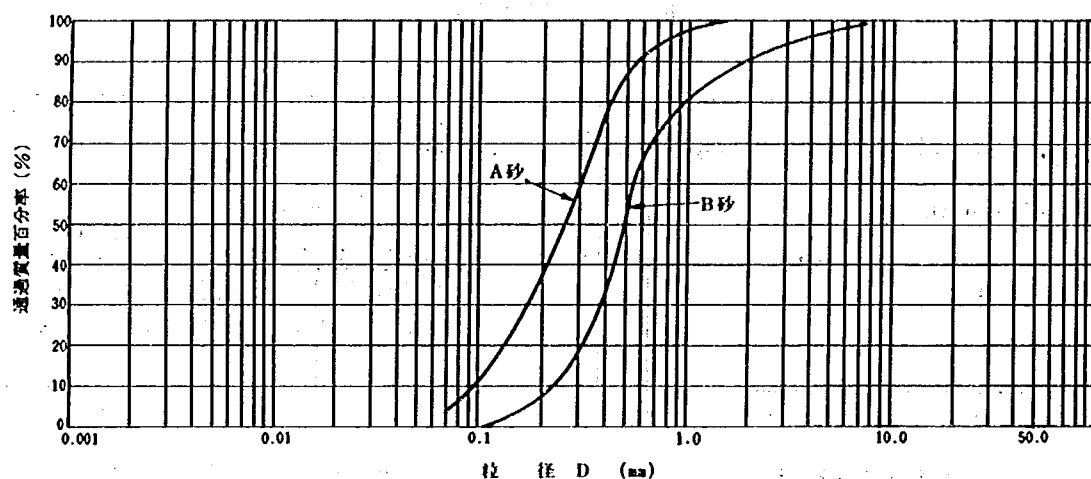
表Ⅱ.1 A, B砂の物性(実験Ⅰ, Ⅱ)

物 性	産 地	
	種類	
	A 砂	B 砂
最大粒径 $D_{\max}$ (mm)	4.76	9.52
60%粒径 D_{60} (mm)	0.30	0.54
10%粒径 D_{10} (mm)	0.11	0.25
均等係数 U	2.30	2.20
比 重 G_s	2.67	2.68

(注) 実験ⅡではB砂のみ使用

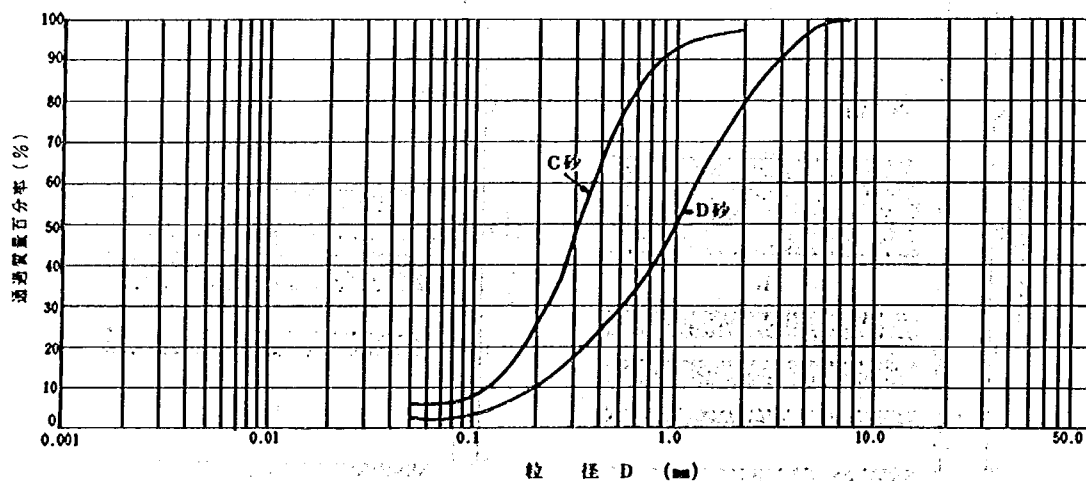
表Ⅱ.2 C, D砂の物性(実験Ⅲ)

物 性	産 地	
	種類	
	C 砂	D 砂
最大粒径 $D_{\max}$ (mm)	9.52	4.76
60%粒径 D_{60} (mm)	0.36	1.15
10%粒径 D_{10} (mm)	0.12	0.20
均等係数 U	3.00	5.80
比 重 G_s	2.71	2.70



図Ⅱ.5 A, B砂の粒度分布(実験Ⅰ, Ⅱ)

(注) 実験ⅡではB砂のみ使用



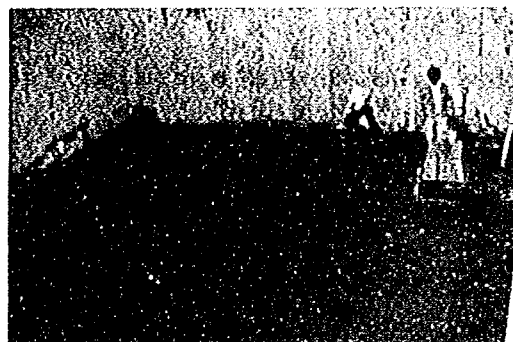
図Ⅱ.6 C, D砂の粒度分布(実験Ⅲ)

1.3 地盤の作成方法

表－Ⅱ. 3 に各実験における地盤作成手順を示す。なお、実験Ⅰ，Ⅲは、互層地盤（実験Ⅰは一部）であるため振動ローラとタンパを用い、実験Ⅱでは棒状締固め機（写真－Ⅱ. 2）とタンパを用いた。

表－Ⅱ. 3 地盤の作成手順

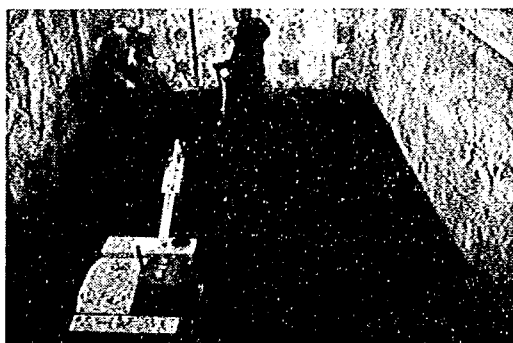
方法 区分	地 盤 の 作 成 手 順
実 験 Ⅰ	① 1 層分（層厚30cm）の砂を投入する ② 振動ローラで10回転圧する ③ 3.3 mまで①～②をくり返す ④ 層厚60cm分の砂を投入する ⑤ タンパーで2回転圧する ⑥ ④～⑤のくり返し1回行なう（押え盛土）
実 験 Ⅱ	① ピット内に水を貯める ② 土を投入し、棒状締固め機で十分締固める ③ 深さ 3.5 mまで②の方法で行なう ④ ブリージングした浮遊物等を除去する ⑤ 3.5 m以上 5.0 mまで土を50cmずつ撤出し、 タンパーで3回転圧する。
実 験 Ⅲ	① 各層（粗砂あるいは細砂）の砂を投入する ② 振動ローラで10回転圧する ③ 深さ 3 mまで①～②をくり返す ④ 層厚30cm分の粗砂を投入する ⑤ 振動ローラで10回転圧する ⑥ ピット上端まで④～⑤をくり返す ⑦ （押え盛土部 1 m）は層厚 1 cm分の粗砂を盛る ⑧ タンパーで5回転圧する ⑨ ⑦～⑧をくり返す ⑩ ピット底面より 3 mの位置まで水を貯める



写真－Ⅱ. 1 振動ローラによる締固め
（実験Ⅰ）



写真－Ⅱ. 2 棒状締固め機による締固め
（実験Ⅱ）



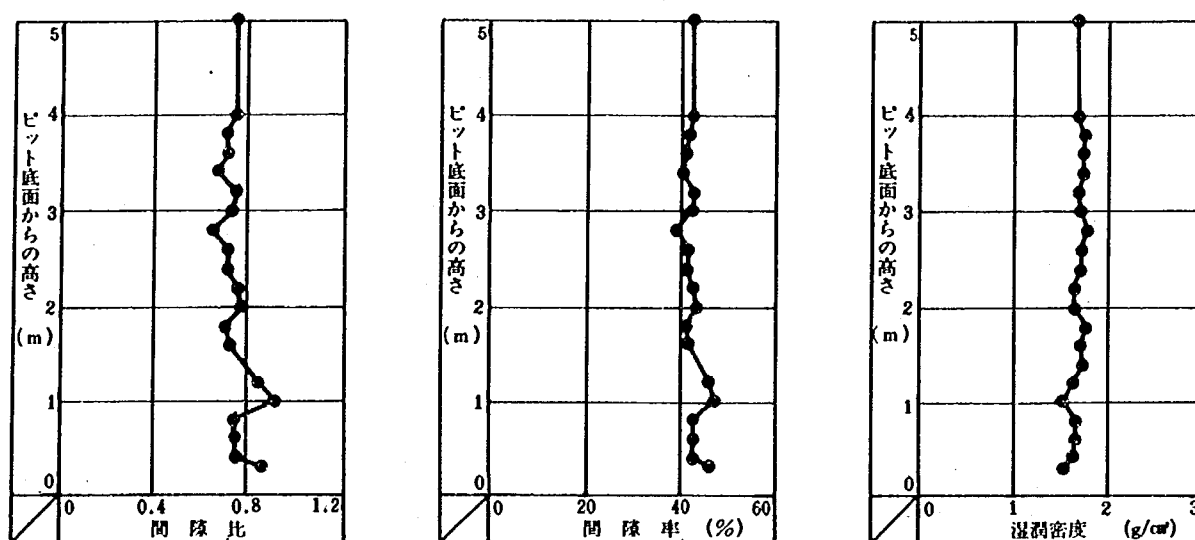
写真－Ⅱ. 3 振動ローラによる締固め
（実験Ⅲ）

1.4 地盤の性状

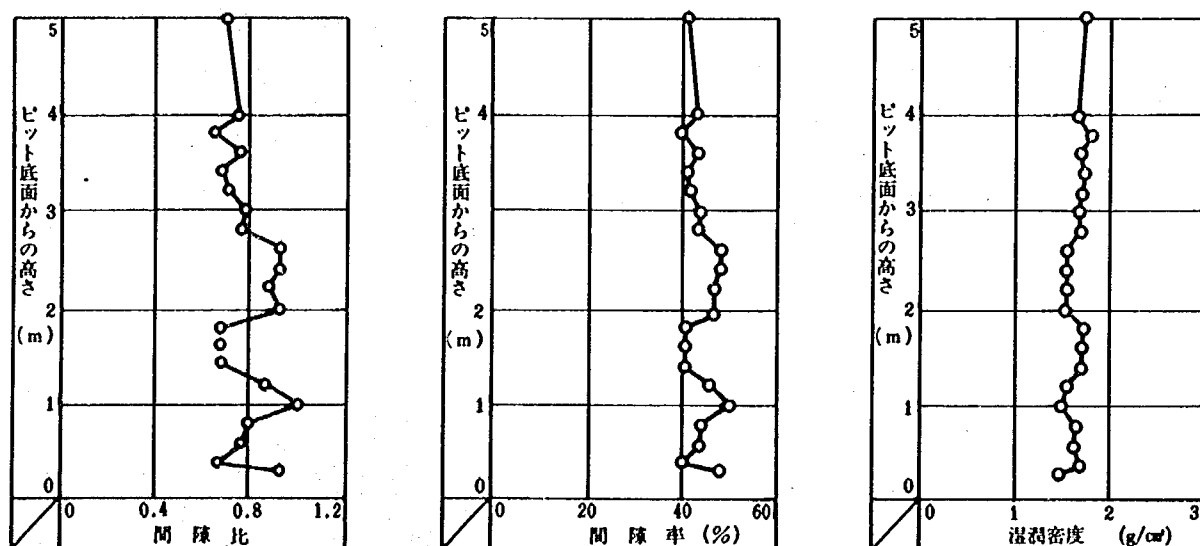
地盤造成後、地盤の湿潤密度、間隙率を R I 密度計および砂置換法によって測定した。測定した結果を実験 I については、深度方向に連続的な変化図として表わし、実験 II, III については表にして表わす。

<実験 I>

図 - II. 7 に均一地盤と互層地盤のそれぞれの測定結果を示す。間隙率は 40~47% (平均 42.7%) の間に分布するが両者の差は認められない。



均一地盤 (実験 I)



互層地盤 (実験 I)

図 - II. 7 実験 I の地盤性状

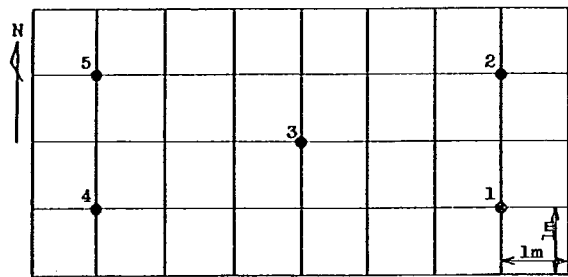
<実験Ⅱ>

表－Ⅱ. 4 および図－Ⅱ. 8 にそれぞれ実験Ⅱ（Ⅱ－1～8，Ⅱ－9～16）の地盤性状とその測定位置を示す。その結果Ⅱ－1～8では間隙率48%，Ⅱ－9～16では38%と10%程度の差が生じた。

表－Ⅱ. 4 地盤の性状（実験Ⅱ）

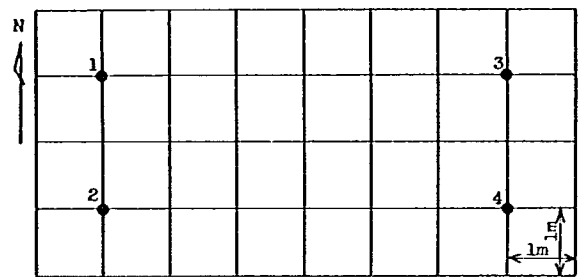
測定位置 測定値	1	2	3	4	5
湿潤密度(g/cm ³)	1.603	1.569	1.555	1.532	1.352
水分量(mg/cm ³)	0.191	0.182	0.185	0.195	0.211
乾燥密度(g/cm ³)	1.412	1.477	1.370	1.337	1.352
間隙率(%)	46.7	44.3	48.3	49.5	49.0
間隙比	0.877	0.794	0.934	0.982	0.960

測定位置 測定方法 および測定値		1	2	3	4
R I 法	乾燥密度(g/cm ³)	1.666	1.716	1.629	1.540
	間 隙 率(%)	37.1	35.3	38.5	41.4
	間 隙 比	0.590	0.546	0.626	0.707
置換法	乾燥密度(g/cm ³)	1.71	1.61	1.65	1.57



(Ⅱ－1～8)

● 測定位置
左肩数字は測定番号



(Ⅱ－9～16)

● 測定位置
左肩数字は測定番号

図－Ⅱ. 8 測定位置（実験Ⅱ）

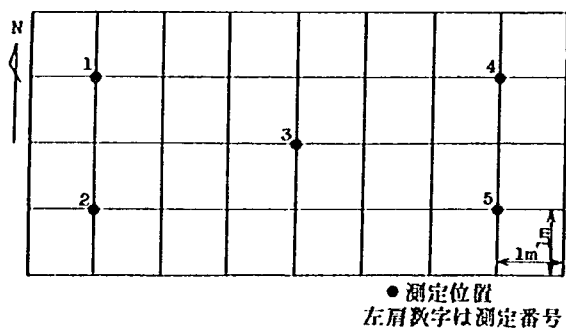
<実験Ⅲ>

表－Ⅱ. 5 に実験Ⅲの測定値を示す。なお表中上とはピット底面より 2.3 m（細砂：C砂）の位置，下とは 1.45 m（粗砂：D砂）の位置で測定したものである。この結果，細砂層では間隙率が44%，粗砂層では50%と若干の差が生じた。

表－Ⅱ. 5 地盤の性状（実験Ⅲ）

測定位置 測定値	1 上	2 上	3 上	4 上	5 上	1 下	2 下	3 下	4 下	5 下
湿潤密度(g/cm ³)	1.79	1.77	1.83	1.82	1.77	1.41	1.48	1.44	1.46	1.46
水分量(g/cm ³)	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.09	0.10	0.09	0.11	0.09
乾燥密度(g/cm ³)	1.51	1.50	1.56	1.53	1.50	1.32	1.38	1.35	1.35	1.37
間隙率(%)	44.0	44.6	42.2	43.2	44.6	51.2	48.8	50.0	49.9	49.3
間隙比	0.79	0.81	0.73	0.76	0.81	1.05	0.95	1.00	1.00	0.97
比重	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70

上：ピット底面より 2.3 m（C砂）
下： " 1.45 m（D砂）



図－Ⅱ. 9 測定位置（実験Ⅲ）

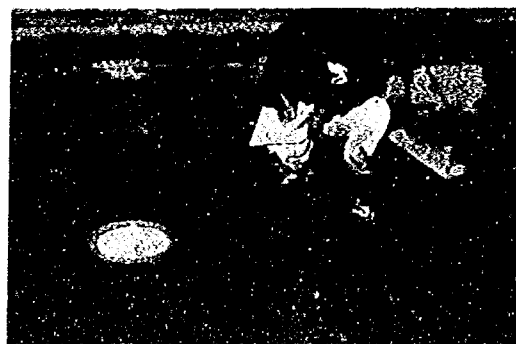


写真 RI 計測

2. 注入ケース

各実験の注入ケースは表－Ⅱ. 6に示す通りである。実験Ⅰでは注入モニターはストレーナ方式（A），（B），先端方式（C）の3種類を使用し（注入モニターについては5.2 注入モニター図－Ⅱ. 16～19参照），注入材は緩結材として溶液型有機系および懸濁型を用いた。実験Ⅱでは先端方式（C），ストレーナ方式（B）の注入モニターを用い，注入材は瞬結材および緩結材ともに溶液型有機系，溶液型無機系，懸濁型の3種類とし，各ケースによりその組合せを変えて注入した。実験Ⅲではストレーナ方式（D）の注入モニターを使用し，注入材は瞬結材に溶液型有機系，溶液型無機系を用い，緩結材は溶液型有機系，溶液型無機系，懸濁型を用いた。

注入方式は，瞬結材の注入は2ショット，緩結材の注入は注入材が懸濁型および溶液型無機系の場合に1.5ショット，溶液型有機系の場合には1ショットで注入した。

2ショット方式とはA・B液を別々の経路で注入管吐出口まで送り，そこで両液を混合し注入する方式をいい，1.5ショット方式とはA・B2液を別々の経路で注入管頭部まで送り，そこで両液を混合し注入する方式であり，1ショット方式とはA・B両液をあらかじめミキサ内で十分混合したものを注入管を介して注入する方式をいう。また注入管の昇降は上昇式とした。

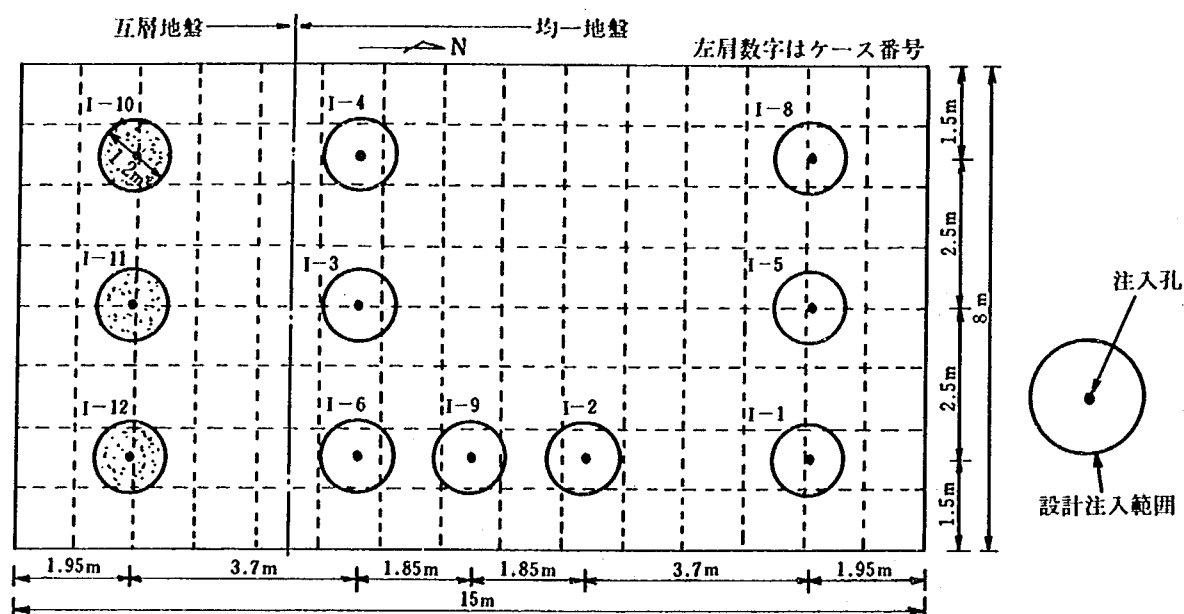
表-Ⅱ.6 注入ケース一覧表

ケース名	先端モニター	注 入 材		注 入 方 式	
		瞬 結	緩 結	瞬 結	緩 結
I-1	ストレーナ方式	溶液型無機系	溶液型有機系	2ショット	1ショット
I-2	先端方式 (スベーサなし)	"	"	"	"
I-3	ストレーナ方式	"	"	"	"
I-4	先端方式	"	懸濁型(MC)	"	1.5ショット
I-5	"	"	" (MC)	"	"
I-6	ストレーナ方式	"	" (MC)	"	"
I-7	"	"	" (MC)	"	"
I-8	先端方式	"	" (CC)	"	"
I-9	ストレーナ方式	"	" (CC)	"	"
I-10	"	"	溶液型有機系	"	1ショット
I-11	"	"	"	"	"
I-12	"	"	"	"	"
Ⅱ-1	先端方式	"	懸濁型(PC)	2ショット	1.5ショット
Ⅱ-2	"	"	" (MC)	"	"
Ⅱ-3	"	懸濁型(MC)	" (MC)	"	"
Ⅱ-4	"	溶液型無機系	" (PC)	"	"
Ⅱ-5	"	"	溶液型無機系	"	"
Ⅱ-6	"	"	"	"	"
Ⅱ-7	"	"	溶液型有機系	"	1ショット
Ⅱ-8	ストレーナ方式	"	"	"	"
Ⅱ-9	"	溶液型有機系	"	2ショット	"
Ⅱ-10	"	"	"	"	"
Ⅱ-11	"	溶液型無機系	"	"	"
Ⅱ-12	"	"	溶液型無機系	"	1.5ショット
Ⅱ-13	"	"	懸濁型(PC)	"	"
Ⅱ-14	"	"	" (MC)	"	"
Ⅱ-15	"	"	—	"	—
Ⅱ-16	"	"	溶液型無機系	"	1.5ショット
Ⅲ-1	"	"	懸濁型(PC)	2ショット	"
Ⅲ-2	"	"	" (PC)	"	"
Ⅲ-3	"	"	" (MC)	"	"
Ⅲ-4	"	"	溶液型無機系	"	"
Ⅲ-5	"	溶液型有機系	溶液型有機系	"	1ショット
Ⅲ-6	"	"	"	"	"

3. 注入設計

3.1 注入孔の配置

図－Ⅱ.10, 11, 12に各実験における注入孔の配置を示す。注入はすべて単孔注入とし、相互に干渉しないような配置とした。図中の円は、各注入ケースの設計注入範囲を示し、実験Ⅰでは設計注入半径を60cm、実験ⅡおよびⅢでは50cmに設定している。



図－Ⅱ.10 注入孔配置図（実験Ⅰ）：均一地盤（1～9）
互層地盤（10～12）

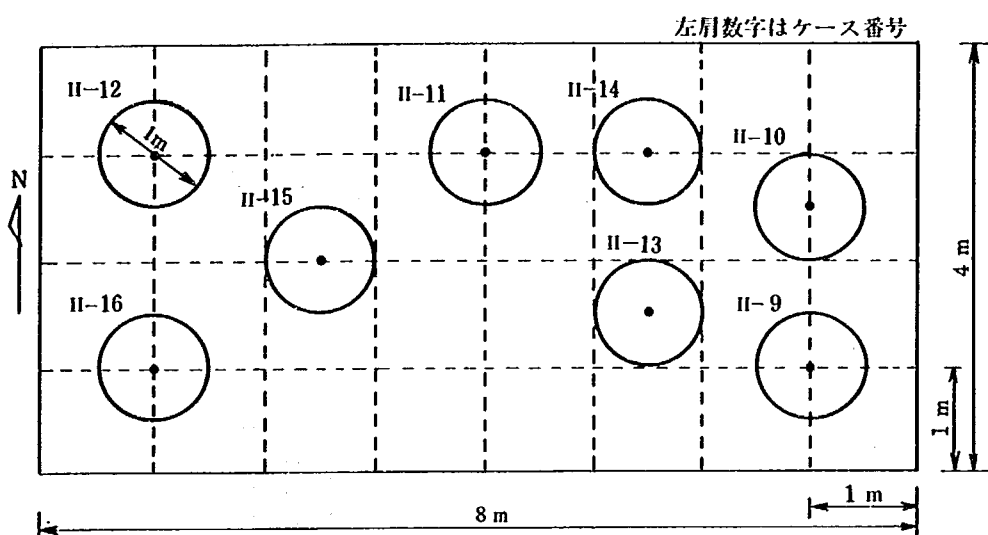
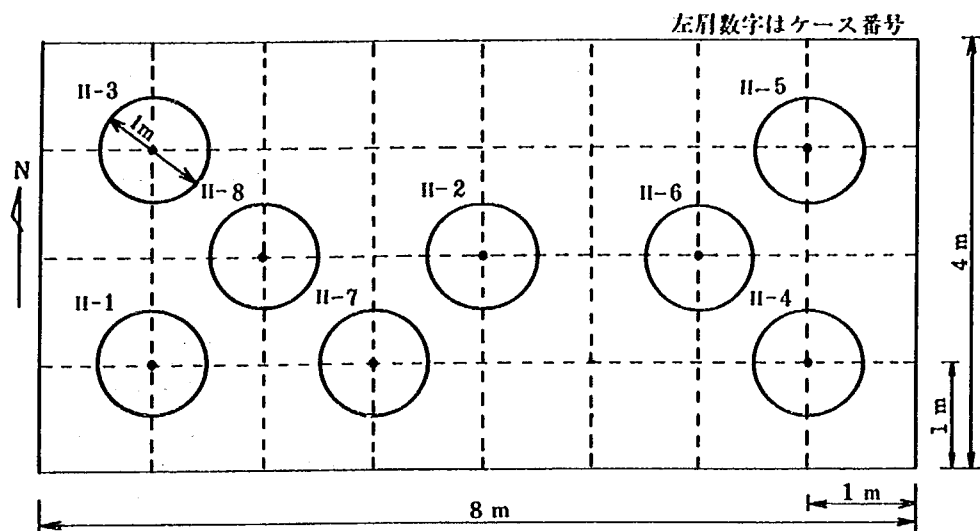


図-Ⅱ.11 注入孔配置図(実験Ⅱ): 均一地盤

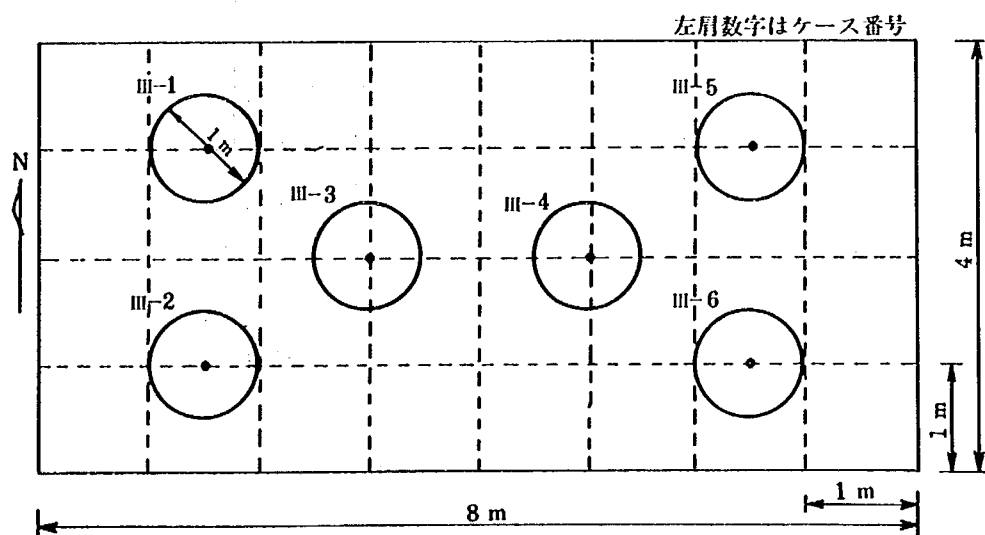


図-Ⅱ.12 注入孔配置図(実験Ⅲ): 互層地盤

3.2 注入材料と配合

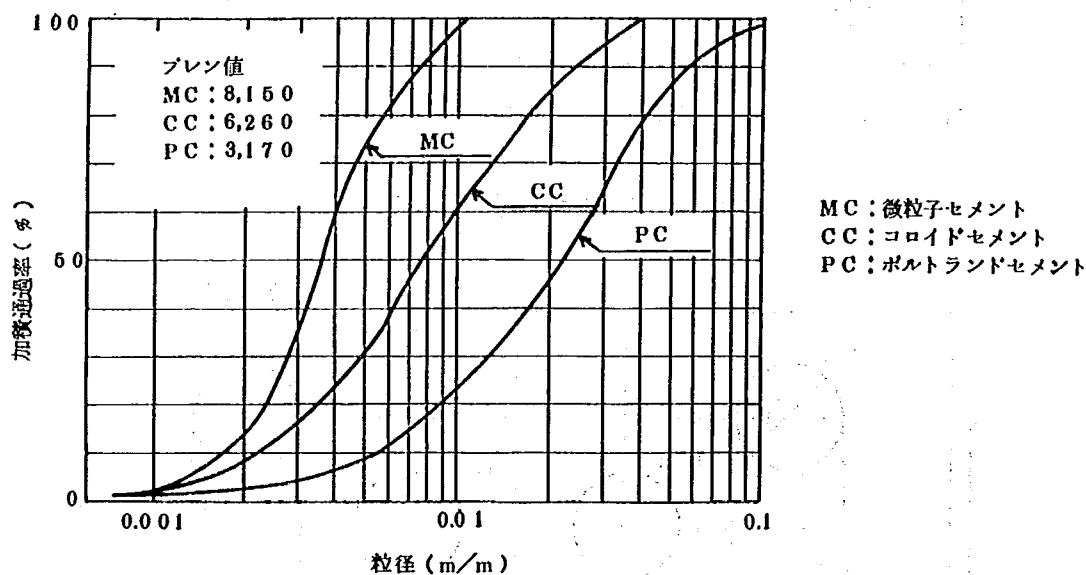
表－Ⅱ. 7には各種水ガラス（珪酸ナトリウム）の物性を示す。本実験では主に3号水ガラス（25%濃度）を使用した。また図－Ⅱ. 13にはポルトランドセメント，コロイドセメント，微粒子セメントの粒度分布とブレン比表面積を示す。なお，コロイドセメントはケースⅠ－8のみ使用した。

表－Ⅱ. 8, 9, 10には実験Ⅰ, Ⅱ, Ⅲの現場配合を示す。

表－Ⅱ. 7 珪酸ナトリウム（珪酸ソーダ） JIS K 1408

項 目 \ 種類	1 号	2 号	3 号	メタ珪酸ナトリウム	
				1 種	2 種
外 観	水あめ状の無色ないしわずかに着色した液体			白色粉末または粒状	白色結晶
比 重(15℃ Be')	—	54以上	40以上	—	—
二 酸 化 珪 素(SiO ₂) %	35～38	34～36	28～30	27.5 ～ 29	19～22
酸化ナトリウム(Na ₂ O) %	17～19	14～15	9 ～10	28.5 ～ 30	20～22
鉄 (Fe) %	0.03 以下	0.03 以下	0.02 以下	—	—
水 不 溶 分 %	0.2 以下	0.2 以下	0.2 以下	—	—

備考：メタ珪酸ナトリウムの1種は5水塩，2種は9水塩である。



図－Ⅱ. 13 各種セメントの粒径加算曲線

表-Ⅱ. 8 現場配合表(実験Ⅰ)

ケース名	注 入 材 料				注 入 組 合 せ	
	A 材	標準配合	B 材	標準配合	瞬 結	緩 結
I-1 I-2	A ₁ エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム 塩化ナトリウム 水	4.2 kg 2.1 kg 1.8 kg 95 ℓ	特殊水ガラス 硫 酸 リ ン 酸 水	40 ℓ 5.4 ℓ 5.3 ℓ 140 ℓ	(A ₁ +A ₂) + B	A ₁ +A ₂
	A ₂ 3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ				
I-4	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 特殊水ガラス 硫 酸 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ 微粒子セメント 分散剤 水	35.3 kg 0.353 kg 88 ℓ		
I-5 I-6	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 特殊水ガラス 硫 酸 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ 超微粒子セメント 分 散 剤 水	23kg 0.23 kg 92 ℓ		
I-7	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 特殊水ガラス 硫 酸 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ 超微粒子セメント 分 散 剤 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ		
I-8	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 特殊水ガラス 硫 酸 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			高炉コロイドセメント 分 散 剤 水	23kg 0.23 kg 92 ℓ		
I-9	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 特殊水ガラス 硫 酸 水	40 ℓ 20 ℓ 140 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ 普通ポルトランドセメント 分 散 剤 水	23 kg 0.23 kg 92 ℓ		
I-10	エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム 塩化ナトリウム 水	4.2 kg 5.5 kg 1.8 kg 95 ℓ	特殊水ガラス 硫 酸 リ ン 酸 水	40 ℓ 5.4 ℓ 5.3 ℓ 140 ℓ	(A ₁ +A ₂) + B	A ₁ +A ₂
	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ				
I-3 I-11 I-12	エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム 塩化ナトリウム 水 3号水ガラス 水	4.2 kg 1.5 kg 1.8 kg 95 ℓ 50 ℓ 50 ℓ	特殊水ガラス 硫 酸 リ ン 酸 水	40 ℓ 5.4 ℓ 5.3 ℓ 140 ℓ	(A ₁ +A ₂) + B	A ₁ +A ₂

表-Ⅱ.9 現場配合表(実験Ⅱ)

ケース	注 入 材 料				注 入 組 合 せ	
	A 材	標準配合	B 材	標準配合	瞬 結	緩 結
Ⅱ-1, 2	A ₁ エチレンカーボネイト 塩化ナトリウム 重炭酸ナトリウム 水	6 kg 2 kg 2 kg 残り	4号水ガラス 硫酸(98%) リン酸(75%) 水	40 ℓ 3.6 ℓ 5.4 ℓ 残り	(A ₁ +A ₂) + B	A ₁ +A ₂
	A ₂ 3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ				
Ⅱ-3	3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	8 ℓ 6 kg 残り	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ エチレンカーボネイト 塩化ナトリウム 重炭酸ナトリウム 水	6 kg 2 kg 6 kg 残り		
Ⅱ-4, 8	3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	8 ℓ 6 kg 残り	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ 硫酸マグネシウム 重硫酸ソーダ 水	4 kg 115 kg 残り		
Ⅱ-5	3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	8 ℓ 6 kg 残り	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ ボルトランドセメント マイティ 150 R (分散剤) リン酸第1ナトリウム 水	40kg 160 cc 625 g 残り		
Ⅱ-6	As 3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	8 ℓ 6 kg 残り	As + Bs	A ₁ + B ₁
	A ₁ 特殊水ガラス 水	150 ℓ 50 ℓ	As 微粒子セメント マイティ 150 R (分散剤) 塩化カルシウム 水	23 kg 380 cc 1.15 kg 残り		
Ⅱ-7	3号水ガラス 水	100 ℓ 100 ℓ	リン酸 重硫酸 水	8 ℓ 6 kg 残り	A + B	
Ⅱ-9	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	4 ℓ 3 kg 96 ℓ	A + Bs	A + B ₁
			B ₁ ボルトランドセメント リン酸第1ナトリウム 水	30 kg 0.4 kg 90 ℓ		
Ⅱ-10	As 3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	4 ℓ 3 kg 96 ℓ	As + Bs	A ₁ + B ₁
	A ₁ 1号水ガラス 水	135 ℓ 45 ℓ	B ₁ 微粒子セメント 水 遅延剤 分散剤	24 kg 112 ℓ 0.151 kg 0.033 ℓ		

II-11	超微粒子セメント 水 分散剤	36 kg 108 ℓ 0.595 ℓ	硬化剤 水 分散剤 急結剤	8 kg 17.3 ℓ 0.066 ℓ 0.02 kg	A + B	A
II-12	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 水 瞬結剤	96 ℓ 11 kg	A + Bs	A + BI
			BI 水 遅延剤 ポルトランドセメント 分散剤	85 ℓ 4 kg 40 kg 0.2 kg		
II-13, 14	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs リン酸 重硫酸ソーダ 水	4 ℓ 3 kg 96 ℓ	A + Bs	A + BI
			BI 硫酸マグネシウム 重硫酸ソーダ 水	2 kg 4.5 kg 97 ℓ		
II-15, 16	A ₁ エチレンカーボネイト 塩化ナトリウム 重炭酸ナトリウム 水	3 kg 1 kg 1 kg 100 ℓ	特殊水ガラス 硫 酸 リン酸 水	40 ℓ 5.6 ℓ 5.4 ℓ 149 ℓ	(A ₁ + A ₂) + B	A ₁ + A ₂
	A ₂ 3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ				

表- II. 10 現場配合表 (実験Ⅲ)

ケース	注 入 材 料				注 入 組 合 せ	
	A 材	標準配合	B 材	標準配合	瞬 結	緩 結
III-1, 2	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 硫酸マグネシウム 炭酸水素ナトリウム 水	4.5 kg 7 kg 残り	A + Bs	A + BI
			BI ポルトランドセメント リン酸第1ナトリウム 水	30 kg 0.4 kg 残り		
III-3	As 3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 硫酸マグネシウム 炭酸水素ナトリウム 水	4.5 kg 7 kg 残り	As + Bs	AI + BI
	AI 1号水ガラス 水	75 ℓ 25 ℓ	BI 超微粒子セメント 分散剤 水	23 kg 0.38 kg 残り		
III-4	3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ	Bs 硫酸マグネシウム 炭酸水素ナトリウム 水	4.5 kg 7 kg 残り	A + Bs	A + BI
			BI 硫酸マグネシウム 炭酸水素ナトリウム 水	2 kg 4.65 kg 残り		
III-5, 6	A ₁ エチレンカーボネイト 塩化ナトリウム 重炭酸ナトリウム 水	3 kg 1 kg 1 kg 残り	3号水ガラス 硫 酸 リン酸 水	40 ℓ 3.2 ℓ 5.4 ℓ 151 ℓ	(A ₁ + A ₂) + B	A ₁ + A ₂
	A ₂ 3号水ガラス 水	50 ℓ 50 ℓ				

3.3 設計注入量

設計注入量は注入材の種類、注入工法および地盤条件などの多くの要因を考慮したうえで設定する必要がある。ここでは一般的に用いられる次式より設計注入量を求めた。

$$Q = n \cdot \alpha \cdot (1 + \beta) \cdot V \dots\dots\dots (II.1)$$

ここに、 Q ：設計注入量

n ：地盤の間隙率

α ：填充率

β ：損出係数

V ：設計注入範囲（体積）

なお、(II.1)式における設計注入範囲は通常、円柱形が得られるものとすることから(II.1)式に

$V = \pi r^2 h$ を代入し(II.2)式を得る。

$$Q = \pi r^2 h \cdot n \cdot \alpha \cdot (1 + \beta) \dots\dots\dots (II.2)$$

ここに、 r ：設計注入半径

h ：設計注入高さ

(II.2)式における填充率 α は、緩い砂地盤の性状や注入材の貫入形態の相違にかかわらず50～70%であるという報告もある(図-II.14参照)。ここでは α はケースII-1～4を除いて $\alpha = 0.6$ を用いた。また、損出係数は一律に $\beta = 0.1$ を採用した。これらの条件を表にまとめると次のようになる。

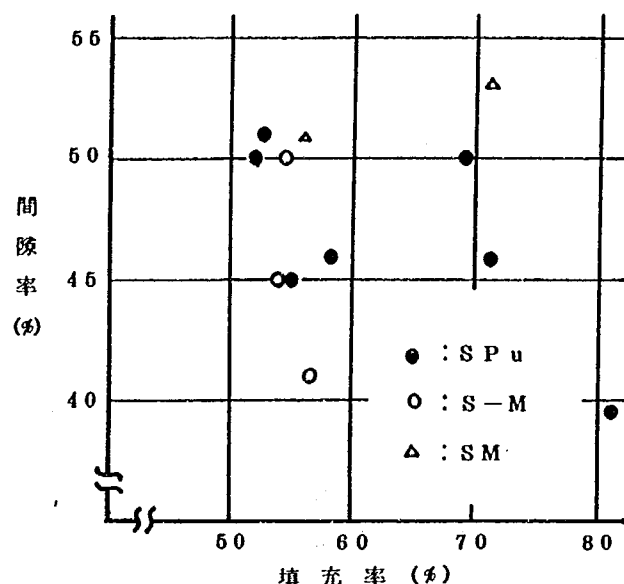


図-II.14 地盤と填充率

表-II.11 各実験ケースの設計定数

区分	ケース No	r (cm)	h (cm)	n (%)	α	β	Q (ℓ)
I	I-1～I-12	60	300	45	0.6	0.1	1,000
II	II-1～II-4	50	250	45	0.4	0.1	583
	II-5～II-8	50	250	45	0.6	0.1	389
	II-9～II-16	50	250	45	0.6	0.1	583
III	III-1～III-6	50	250	45	0.6	0.1	583

4. 注入条件

注入条件の一覧表を表-II.12に示す。ゲルタイムおよび注入量は実績値である。また緩結注入材の主要材料の項目では3号水ガラスは除いてある。

表-Ⅱ.12 注入条件一覧

ケース No	使用砂 (産地)	間隙率 (%)	注 入 モニター	注 入 材 料		緩結注入材の主要材料	注 入 方 式		ゲルタイム		注 入 量		注入比率 瞬結:緩結	ステップ長 (cm)
				瞬 結	緩 結		瞬 結	緩 結	瞬 結	緩 結	瞬 結	緩 結		
I-1	霞ヶ浦産	42	B	溶液型無機系	溶液型有機系	エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム	2ショット	1ショット	7秒	40分	144	864	1:6	50
I-2			C	"	"		"	"	"	"	"	"	"	"
I-3			A	"	"		"	"	"	22分	"	"	"	"
I-4			C	"	懸濁型(MC)	微粒子セメント	"	1.5ショット	3秒	6分30秒	"	"	"	"
I-5			"	"	"		"	"	6秒	6分50秒	"	"	"	"
I-6			A	"	"		"	"	"	5分35秒	"	"	"	"
I-7			"	"	"		"	"	"	10分	120	600	1:5	"
I-8			C	"	懸濁型(CC)	高炉コロイドセメント	"	"	3秒	9分13秒	144	864	1:6	"
I-9			A	"	"	普通ポルトランドセメント	"	"	6秒	9分	72	432	"	100
I-10	江戸崎産 霞ヶ浦産	44	"	"	溶液型有機系	エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム	"	1ショット	6.5秒	4分50秒	144	864	"	50
I-11			"	"	"		"	"	8秒	22分	120	600	1:5	"
I-12			"	"	"		"	"	7秒	19分	252	750	1:3	"
II-1	霞ヶ浦産	48	C	溶液型無機系	懸濁型(PC)	普通ポルトランドセメント	"	1.5ショット	4秒	4分	146	398	3:7	40
II-2			"	"	懸濁型(MC)	1号 微粒子セメント	"	"	3.5秒	6分15秒	120	360	"	"
II-3			"	懸濁型(MC)	"	微粒子セメント	"	1ショット	15秒	∞	"	"	"	"
II-4			"	溶液型無機系	懸濁型(PC)	普通ポルトランドセメント	"	1.5ショット	10秒	16分30秒	"	384	"	"
II-5			"	"	溶液型無機系	硫酸マグネシウム	"	"	4秒	3分50秒	"	576	2:8	"
II-6			"	"	"	重硫酸ソーダ	"	"	"	4分50秒	"	552	"	"
II-7			"	"	溶液型有機系	エチレンカーボネイト	"	1ショット	3秒	29分	180	600	"	"
II-8			B	"	"	塩化ナトリウム	"	"	3.5秒	21分	120	450	"	"
II-9		38	"	溶液型有機系	"	エチレンカーボネイト	"	"	6秒	37分	218	350	"	"
II-10			"	"	"	塩化ナトリウム	"	"	7秒	"	168	388	"	"
II-11			"	溶液型無機系	"	エチレンカーボネイト 重炭酸ナトリウム	"	"	6.5秒	12分30秒	"	392	3:7	"
II-12			"	"	溶液型無機系	重硫酸ソーダ	"	1.5ショット	6秒	4分53秒	(112)	(448)	2:8	"
II-13			"	"	懸濁型(PC)	普通ポルトランドセメント	"	"	5秒	4分54秒	220	332	3:7	"
II-14			"	"	懸濁型(MC)	微粒子セメント	"	"	6秒	9分52秒	224	336	4:6	"
II-15			"	"			"		"		560		瞬結のみ	"
II-16			"	"	溶液型無機系	重硫酸ソーダ	"	1.5ショット	"	37分40秒	104	138	3:7	"
III-1	江戸崎産 鬼怒川産	上部 44	"	溶液型無機系	懸濁型(PC)	普通ポルトランドセメント	"	"	"	1分39秒	175	410	"	ビット底面より 50, 50, 60, 50, 50
III-2			"	"	"		"	"	"	1分43秒	290	290	5:5	"
III-3		下部 50	"	"	懸濁型(MC)	1号 微粒子セメント	"	"	"	7分30秒	175	410	3:7	"
III-4			"	"	溶液型無機系	炭酸水素ナトリウム	"	"	"	5分07秒	120	465	2:8	75, 50, 60, 50, 50
III-5			"	溶液型有機系	溶液型有機系	エチレンカーボネイト	"	1ショット	3秒	23分	120	465	"	"
III-6			"	"	"	塩化ナトリウム	"	"	"	22分	235	350	4:6	"

5. 注入方法

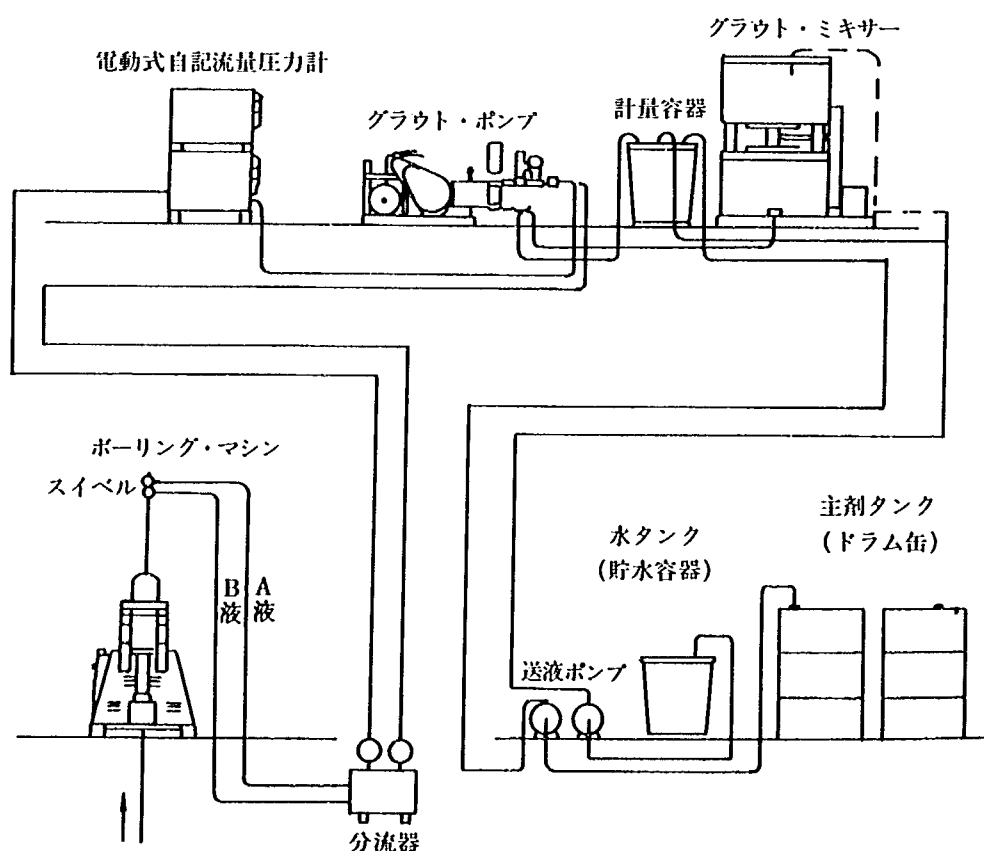
5.1 注入機械の仕様と配置

表－Ⅱ.13に実験で使した注入機械の仕様を示し、図－Ⅱ.15にはその配置例を示す。なお、実験Ⅰ，Ⅱ，Ⅲでは若干その仕様が異なる。

表－Ⅱ.13 注入機械の仕様（実験Ⅲ）

種 類	型 式	能 力	動力容量	台数
穿孔機械	D 2 - J S	150 m	5.5 kw	1
グラウトポンプ	PCD - 5	$Q = 7 \sim 30 \times 2 \text{ } \ell / \text{min}$ $P_{\text{max}} = 50 \text{ kg} / \text{cm}^2$	3.7 kw	1
グラウトミキサー	MVT - 200	上下各 240 ℓ	2.2 kw	2
送液ポンプ 水中ポンプ	モノクレックス FPM	揚程 30m 流量 100 ℓ / min	0.75 kw	1
	ギャー式 IHL - 40	揚程 20m 流量 66 ℓ / min	0.75 kw	1
	水中ポンプ	揚程 12m 流量 450 ℓ / min	1.9 kw	1
攪 拌 槽	ポリエチレン	200 ℓ		6

種 類	諸 元	台数
流量・圧力自記記録計	流量 0～60 ℓ / min	1
	圧力 0～30 kg / cm^2	
	積算 6桁記録2ペン	



図－Ⅱ.15 注入機械の配置例

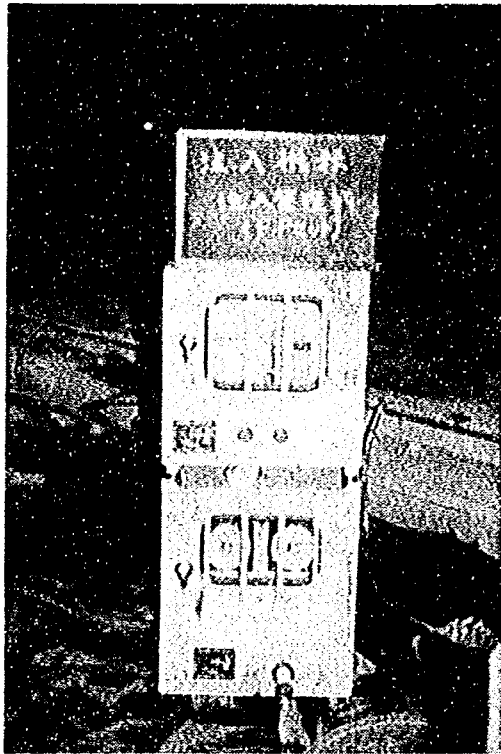


写真-Ⅱ. 4 圧力・流量計

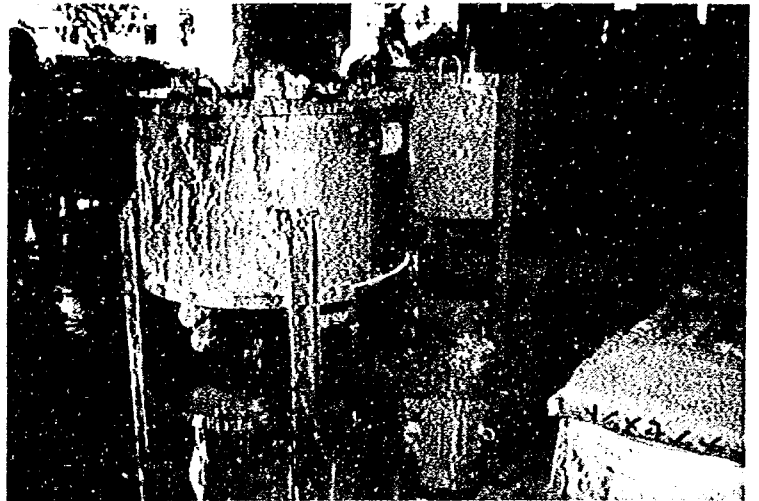


写真-Ⅱ. 5 グラウトミキサー

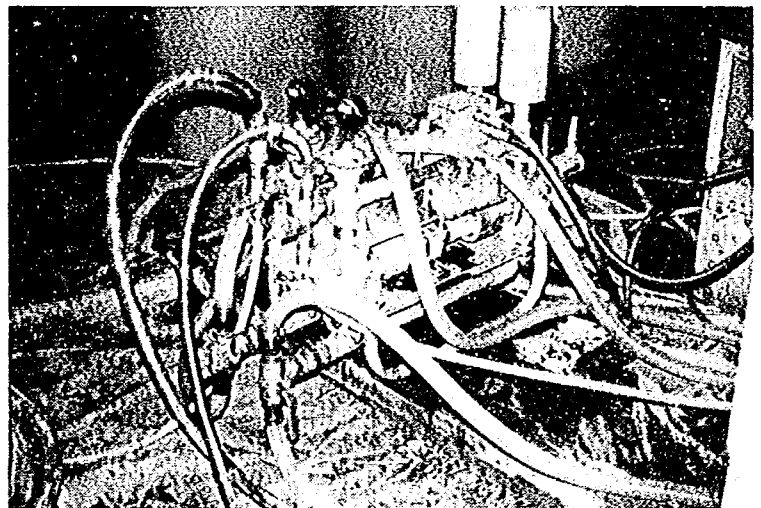


写真-Ⅱ. 6 グラウトポンプ

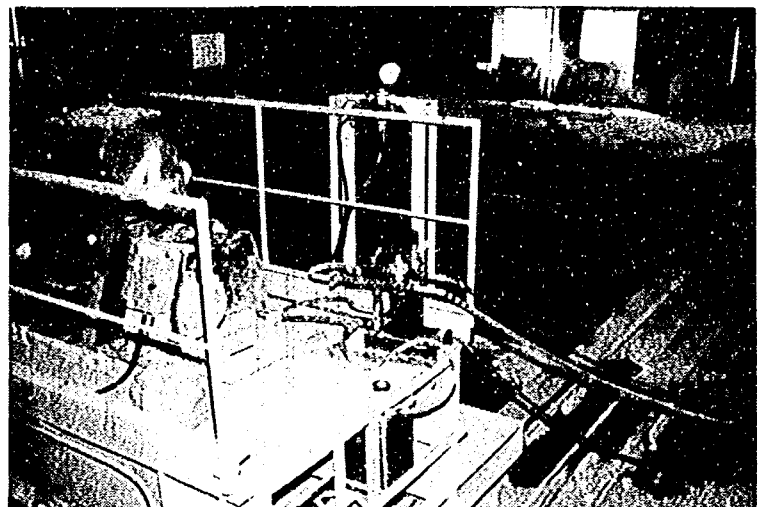


写真-Ⅱ. 7 分 流 器

5.2 注入モニター

本実験で使用した注入モニターは図-Ⅱ.16, 17, 18, 19の4種類である。実験ⅠではモニターA, B, Cを, 実験ⅡではB, Cを, 実験ⅢではDを使用した。モニターはA, B, C, Dと順次改良してきた。写真-Ⅱ.8はモニターDの噴射状況を示したものである。

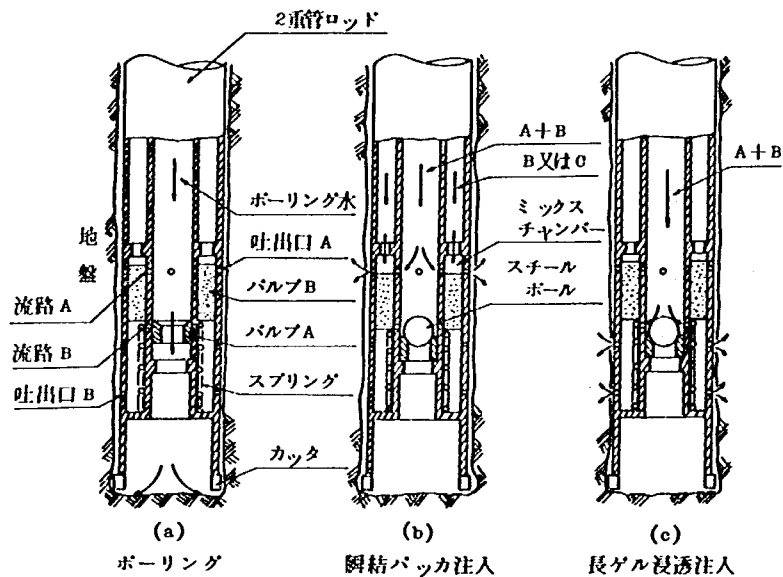


図-Ⅱ.16 注入モニターA

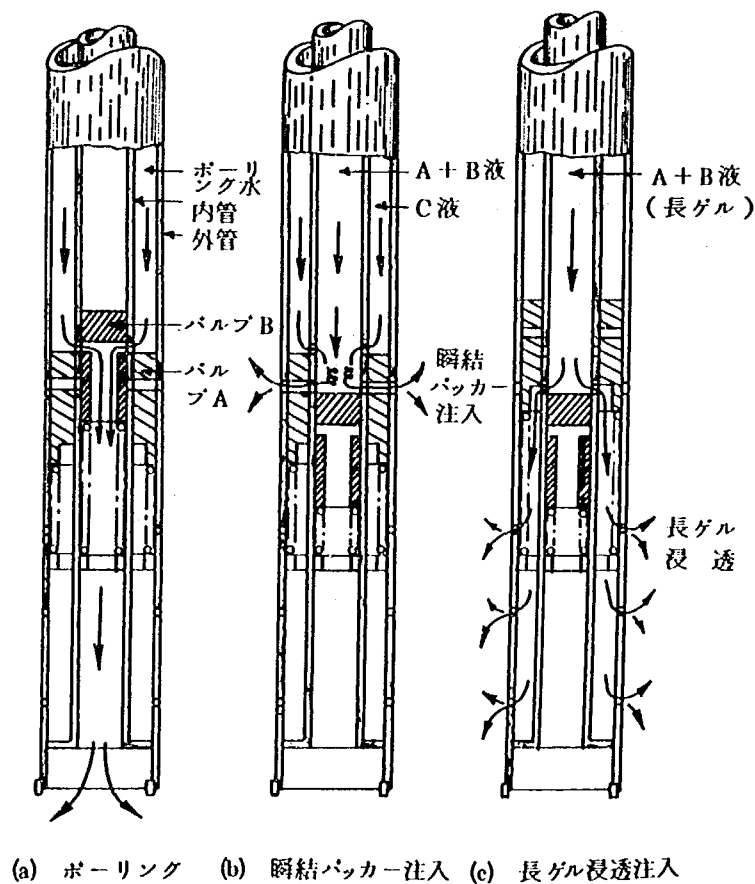


図-Ⅱ.17 注入モニターB

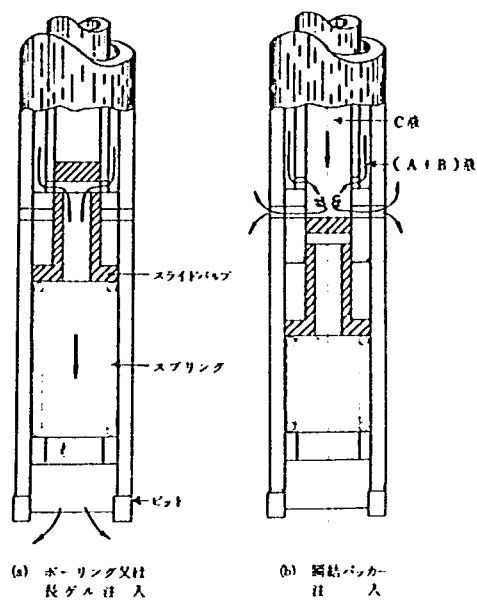


図- II. 18 注入モニター C

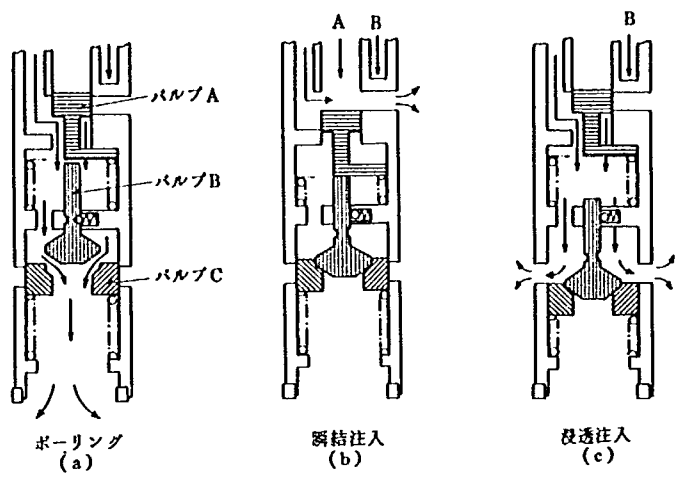


図- II. 19 注入モニター D (標準型)

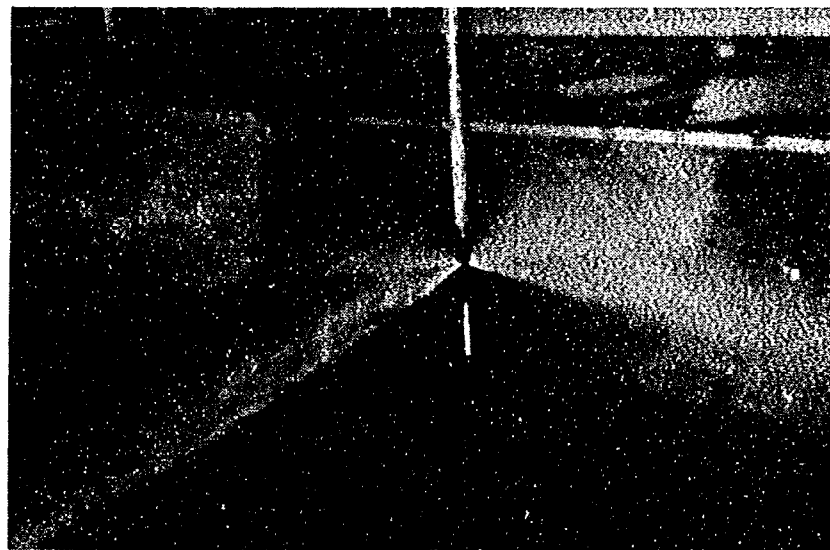
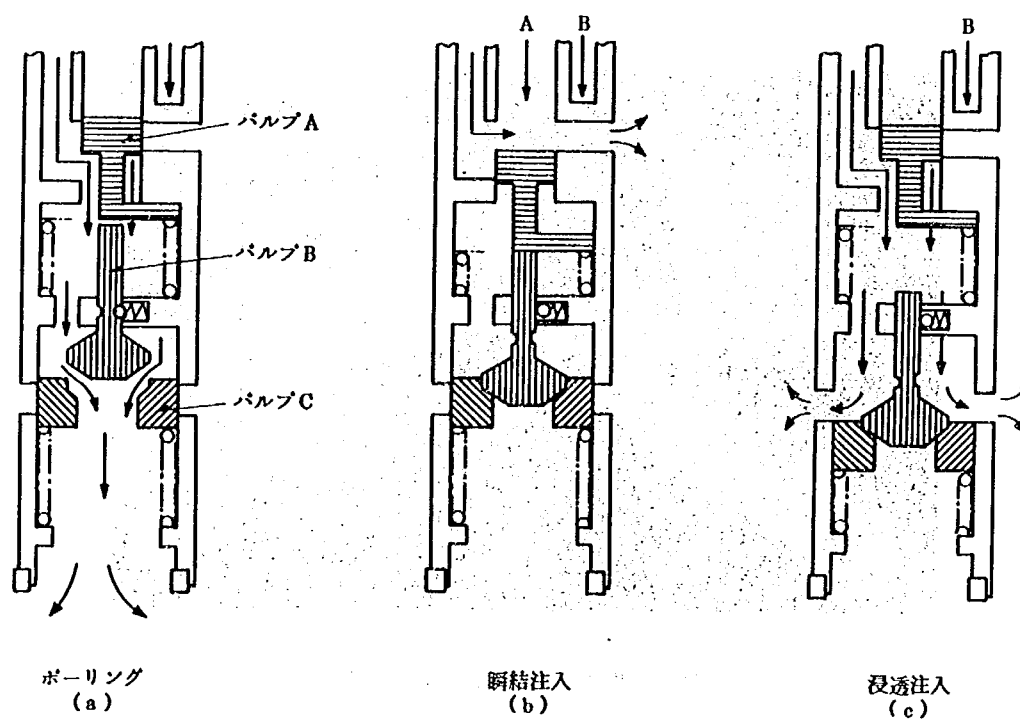


写真- II. 8 注入材の噴射状況

5.3 施工手順

注入の施工手順は以下の通りである（図－Ⅱ.20参照）。

- ①ボーリング (a)の状態の外管からボーリング水を供給しながら所定の深度まで削孔する。この場合、ボーリング水はロッド先端から従来のボーリングロッドと同様流出する。
- ②瞬結パッカー注入 所定深度までのボーリング終了後、内外管からそれぞれ瞬結配合になるようにA液（主剤）、B液（硬化剤）を送ると、(b)に示すように内管からの圧力によりバルブAが下がり、A・B両液が合流してストレーナ注入口から注入される。このとき、(a)の状態に保持されていたバルブBが、バルブAとともに押し下げられ(b)の状態になる。
- ③緩結材の注入 …… 瞬結パッカーの形成と1次注入を行なったのち、内管からの送液を止めて外管から緩結材を注入すると、その圧力によって(c)に示すようにバルブBとともにバルブCも押し下げられ、瞬結用のストレーナ孔の下部のストレーナ孔から噴出する。
- ④ステップアップ・瞬結注入 所定量の緩結材の浸透注入終了後、ロッドを引き上げ再び瞬結注入、緩結注入を繰り返す。



図－Ⅱ.20 モニターの作動状態

Ⅲ 実験結果および考察

1. 各種注入材の固結形状と適用性

1.1 均一地盤

実験Ⅰ（Ⅰ-1～9）および実験Ⅱにおいては均一地盤での注入であり、それぞれ注入後（数日後）未固結部分の掘削を行ない次の項目について観察した。

- ① 各注入固結物の深度方向における平面形状のスケッチ（10～20cmピッチで観察）
- ② 断面形状のスケッチ（2方向でスケッチ）
- ③ 注入脈状の観察：注入脈状の観察には、フローレセン（蛍光剤）を用いた。

図-Ⅲ.3(1)～(4)には実験Ⅰにおける固結物の平面形状および断面形状を示す。また、図-Ⅲ.4(1)～(6)には、実験Ⅱにおける平面形状と断面形状を示す。これらの図より、均一地盤における、各種注入材の固結形状をまとめると次のようになる。

(1) 懸濁液型ポルトランドセメント系（PC）

ポルトランドセメント系注入材による固結物は、ほとんどのケースが注入孔から太い注入脈が発達しており、固結物は、この脈に沿って形成されている。これは、注入孔近傍では、セメント粒子の圧入により脈が地盤の弱い部分に生じ進行的に発達するが、注入管から離れるにつれて圧力が低下し、脈から周囲に浸透する貫入形態をとるためと考えられる。また、図-Ⅲ.1に示すように、脈から浸透する過程においても土粒子によるセメント粒子のろ過作用が生じ、分析試験を行った結果、セメントのトレーサである Ca^{2+} が閉塞する現象がみられる。

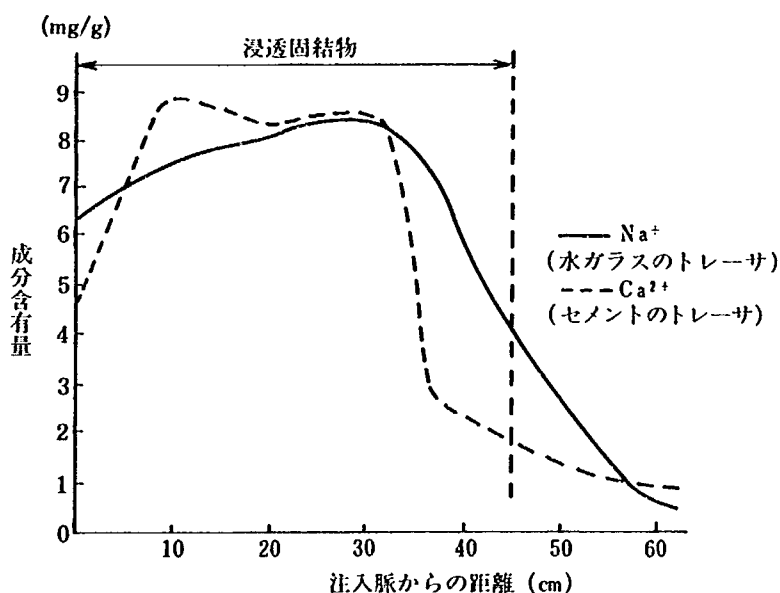


図-Ⅲ.1 懸濁型注入材の閉性状

これらの固結形状から判断すると、ポルトランドセメント系注入材を止水工として砂質地盤へ単独で適用させるのは困難であり、その適用範囲は、砂礫地盤または、空洞などに限られると思われる。

(2) 懸濁液型微粒子セメント系（Cc または MC）

微粒子セメント系注入材は、ブレン比表面積が、 $6,000 \text{ cm}^2/\text{mg} \sim 8,000 \text{ cm}^2/\text{mg}$ とポルトランドセメント（ブレン比表面積が $3,000 \text{ cm}^2/\text{mg}$ ）に比べてかなり微粒子化されている。このため、注入固結物の形状も、ポルトランドセメント系注入材に比べてかなり良好であり、注入管を中心とした円柱状に近い形

状を呈していることが確認された。また、注入脈もかなり細かく、その浸透性は溶液型に近いものである。これは、後で述べるグラウトピリティ比 (GR) によっても評価される。

しかし、このように微粒子セメント系注入材は浸透性が、本実験ではかなり優れているがその一方では、微粒子化に伴って表面自由エネルギーを減少させる吸着作用が生じるため、凝集化する傾向が強く、実際の配合においては、分散剤の添加を必要とするなど、一般に配合が複雑になる傾向がある。

(3) 溶液型無機系

無機系注入材は、一般にゲル化時間が数分程度であるため十分な浸透時間をとることができず、また、ゲル化が比較的不安定であることから、その固結形状は均質になりにくいという特徴を有している。本実験においてもその傾向がうかがうことができ、特にケースⅢ-15のようにゲル化時間が数秒程度の注入材の場合には、その傾向が顕著に表われた。

(4) 溶液型有機系

写真-Ⅲ.4に有機系注入材による固結物の断面を示す。この写真から、注入孔から等厚に固結物が形成され、また注入脈もほとんど見られないのがわかる。これは、有機系注入材の場合、ゲル化時間が数十分と長く、また低粘性であることから浸透性が優れているためと考えられる。また、有機系注入材の場合には、注入材の注入方式が1ショット方式であるため、攪拌装置で十分混合できるという利点もある。

このように、有機系注入材は、バイモード工法の注入原理である瞬結パッカー注入、浸透注入の有効性を立証した良い例といえる。

1.2 互層地盤

実験Ⅰ(I-10~I-12)、実験Ⅲは互層地盤での注入実験であり、均一地盤と同様に各種注入材の浸透性および固結形状に有意な差が生じた。例えば、写真-Ⅲ.7、Ⅲ.8はポルトランドセメント系注入材の固結物を示すが、この写真より、太い注入脈が観察され、その脈のまわりに固結物が形成されていることがわかる。実験Ⅲにおける平面形状の概略は、ケースⅢ.1では帯状であり、ケースⅢ.3ではだ円形、ケースⅢ.5、6はほぼ円形を示しており、断面形状と組合せると、それぞれ壁状、だ円柱形、円柱形の固結形状を呈していることがわかる。しかし、全ケースとも粗砂層と細砂層の固結規模が著しく異なっており、細砂層でくびれた状態となっている。また、細砂層と粗砂層の境界部分に板状の注入脈が多く観察された。これら結果は、例えば Karol³⁾らによっても報告されている。

図-Ⅲ.2には、実験Ⅲの各ケースにおける各層の平均固結面積(A)と層厚(l)の関係を示す。この図において細砂層では層厚による変化はあまりみられないが、粗砂層では層厚の増加に伴ない固結面積が減少していることがわかる。ここで次式を用いて、1ステップ当りの注入量($Q = 116\ell$, 1ステップ長 = 50cm)のうち粗砂層および細砂層へ注入される比率(γ)を試算してみる。

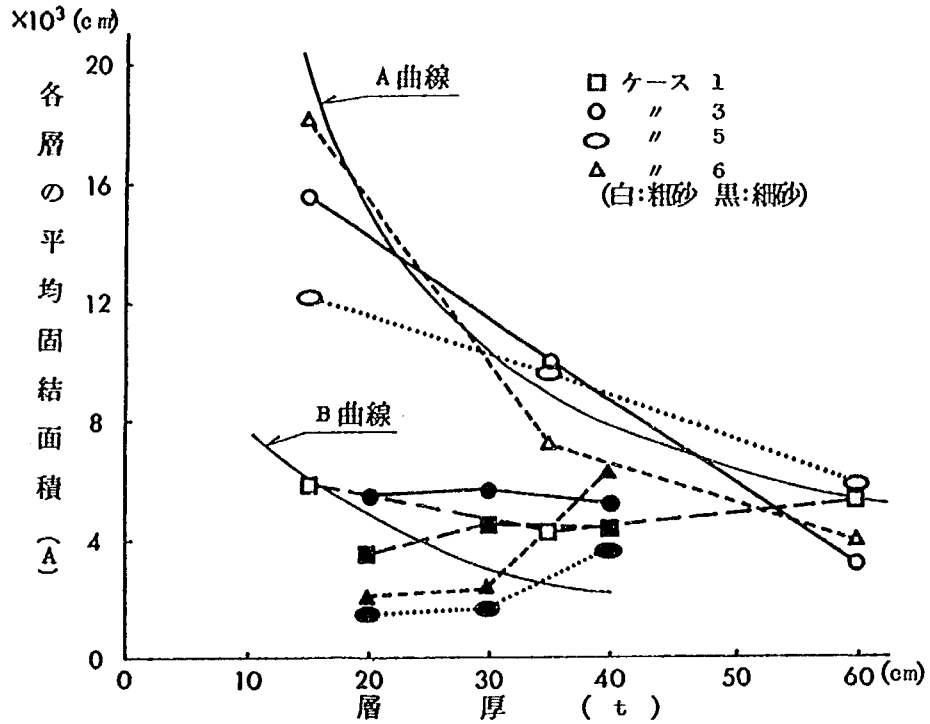


図-Ⅲ. 2 平均固結面積と層厚の関係 (互層地盤)

$$A = \frac{r \cdot Q}{n \cdot \alpha \cdot (1 + \beta) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (Ⅲ. 1)$$

ここに,

A : 固結面積, Q : 1 ステップ当り注入量 n : 地盤の間隙率 t : 層厚

α : 填充率 (= 0.65) β : 損出係数 (= 0.1) r : 粗砂層または細砂層への注入量比率

である。

その結果, 粗砂層では $r = 80\%$, 細砂層では $r = 20\%$ と仮定すると実測値と比較的良く合致し, 今回の様な互層地盤 (透水係数が 2 オーダ程度異なる) では, 注入量の大半が粗砂層へ流入することがわかる。

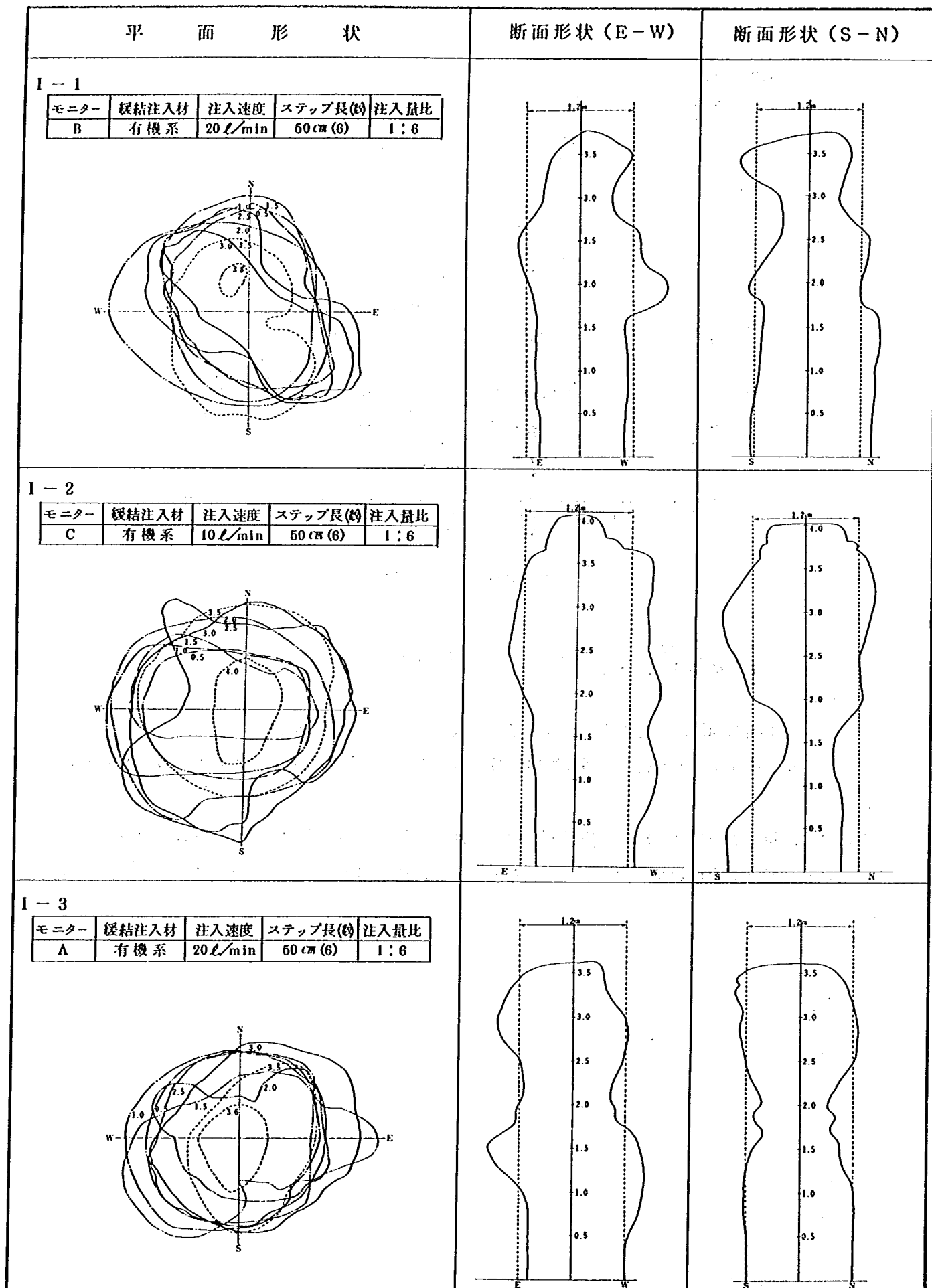


図-Ⅲ.3(Ⅰ) 実験Ⅰの形状

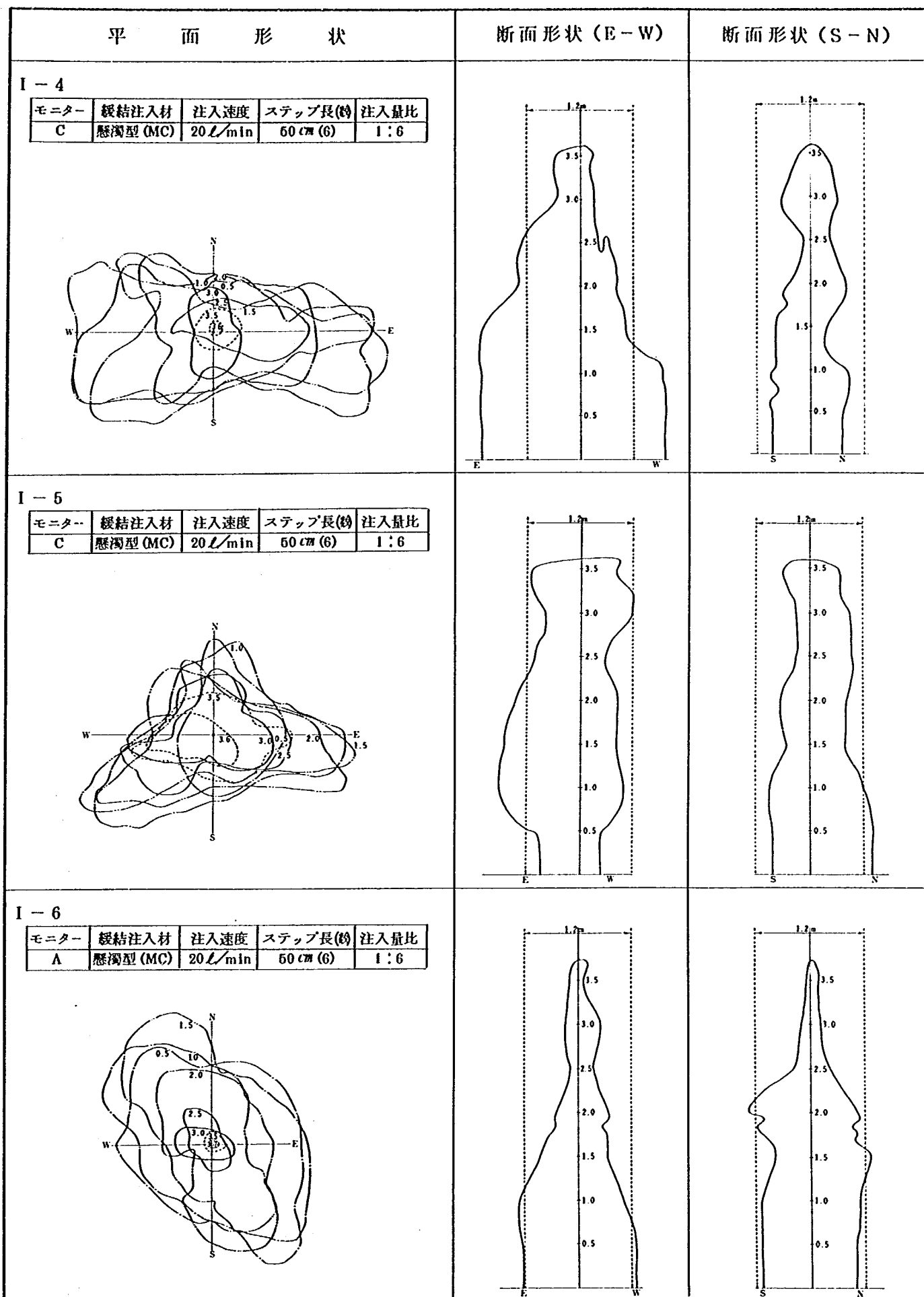


図-Ⅲ. 3 (2)

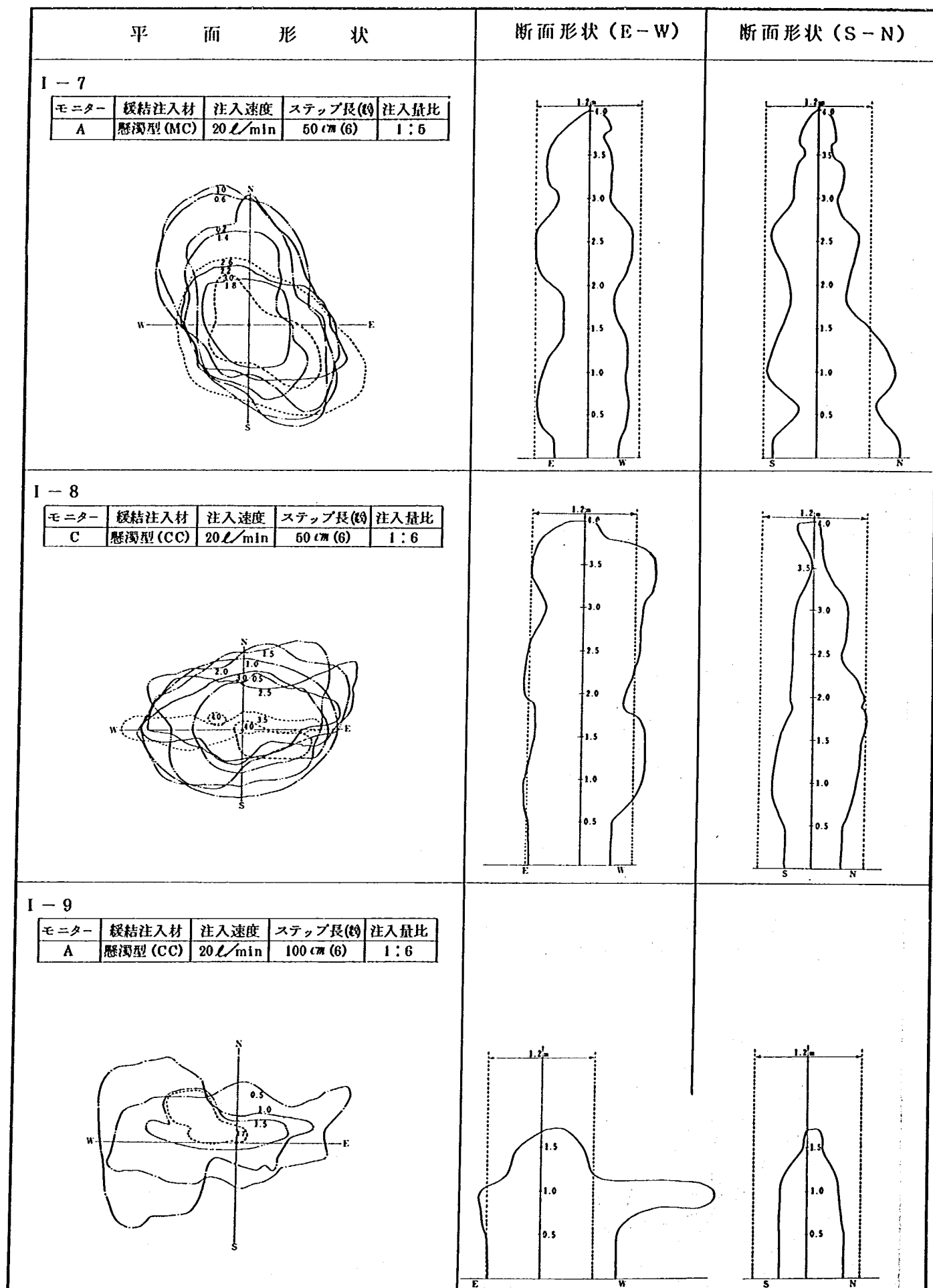


図-Ⅲ. 3(3)

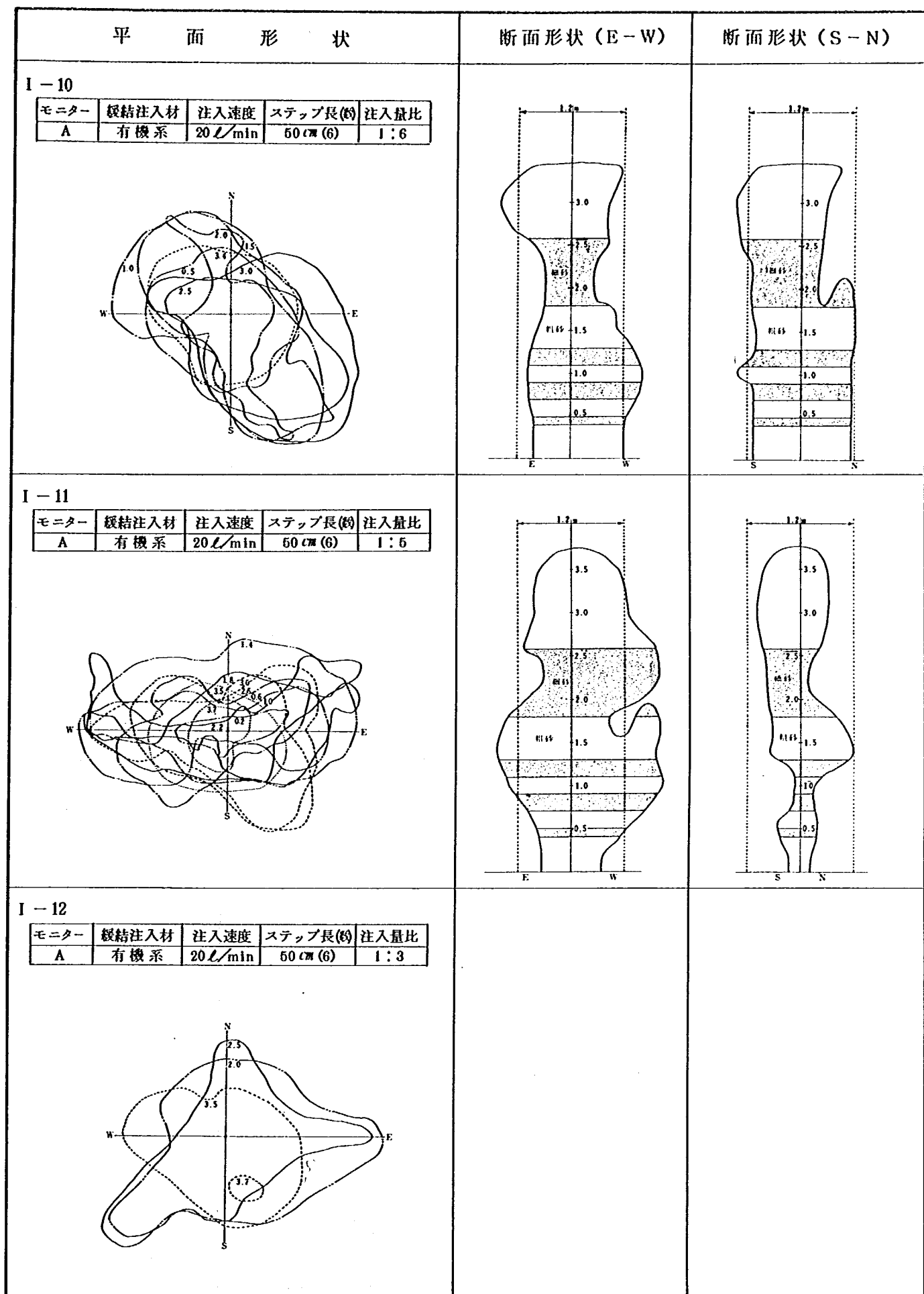


図-Ⅲ. 3(4)

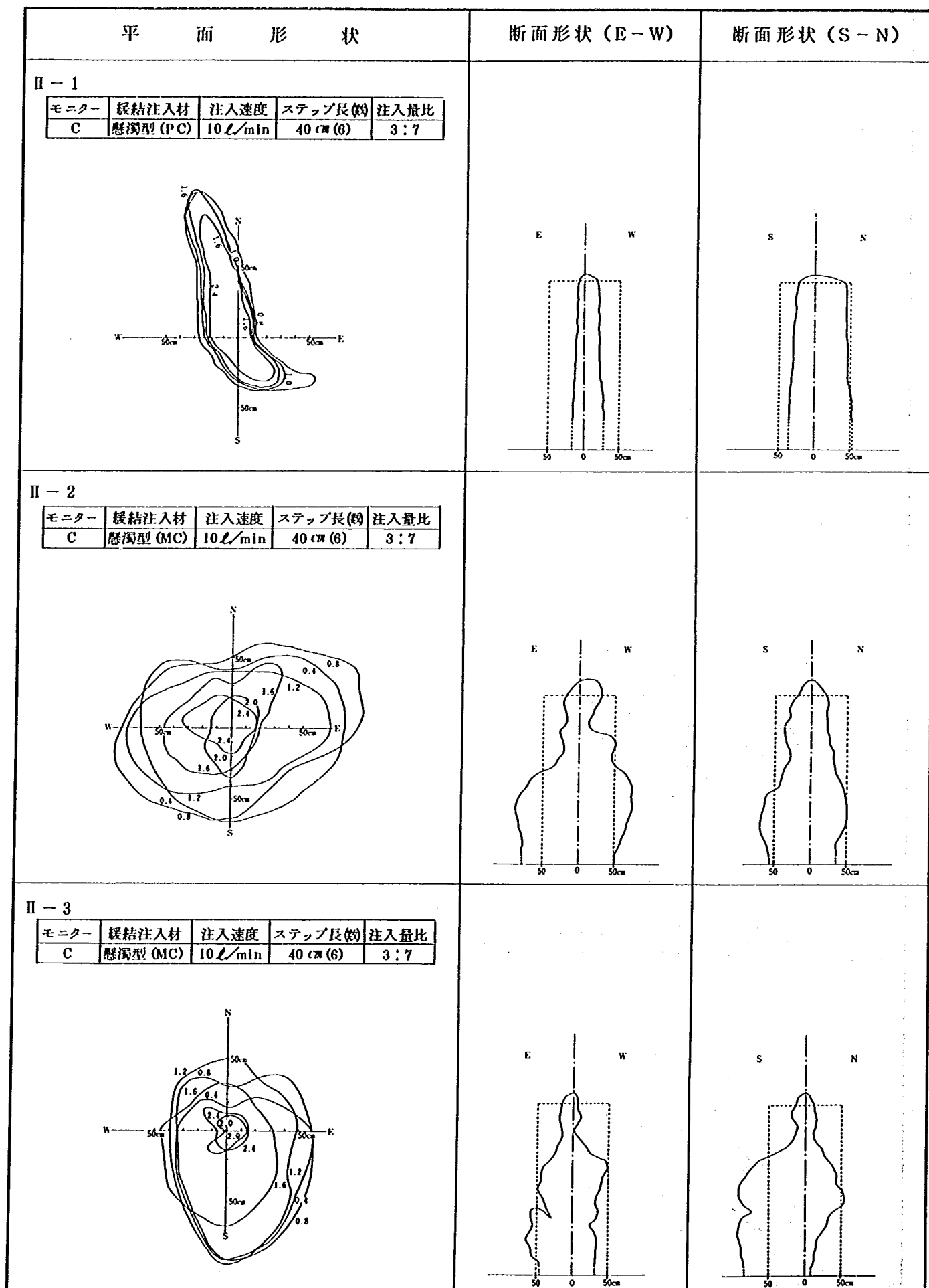


図-III. 4 (1) 実験IIの形状

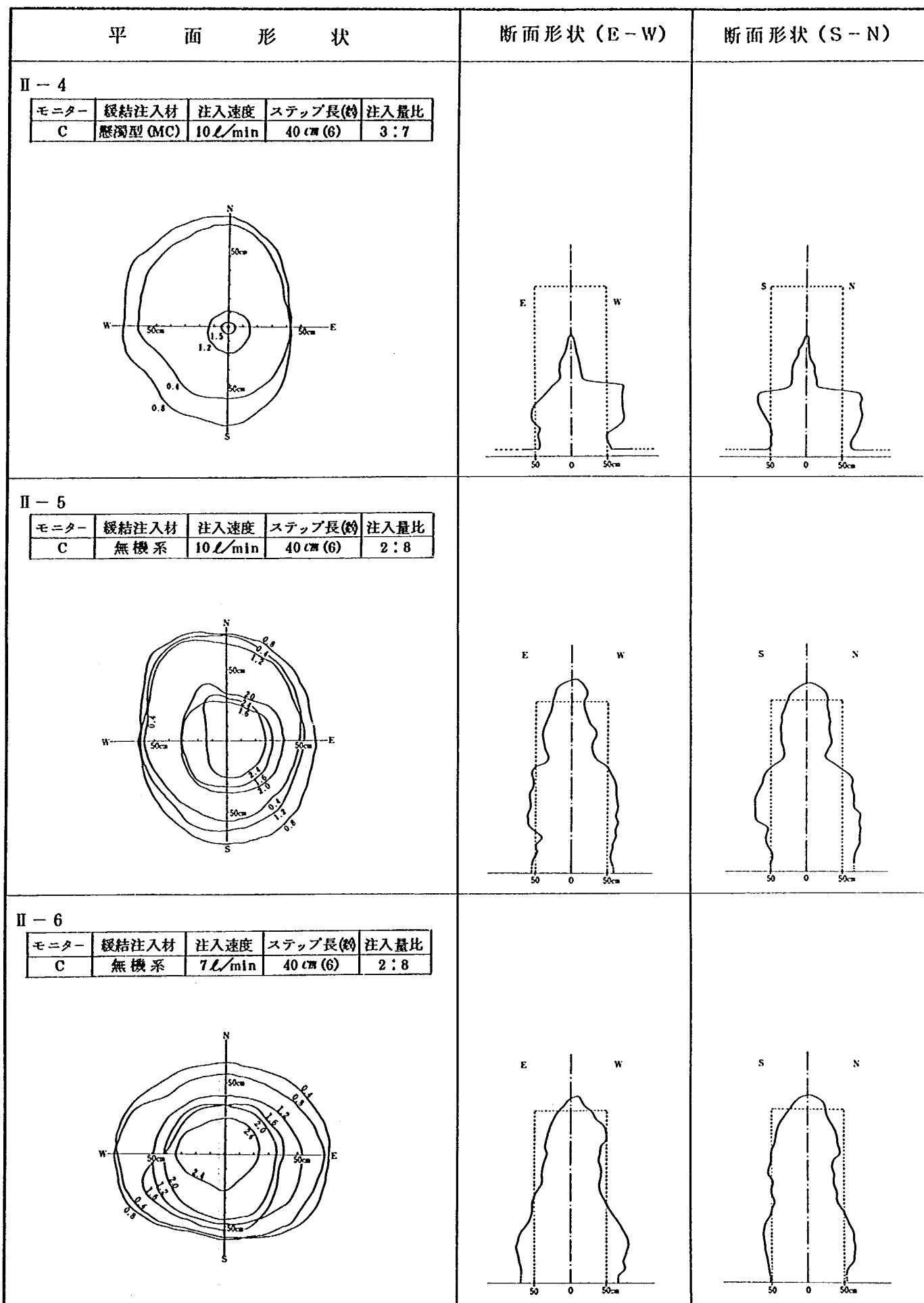


図-III.4(2)

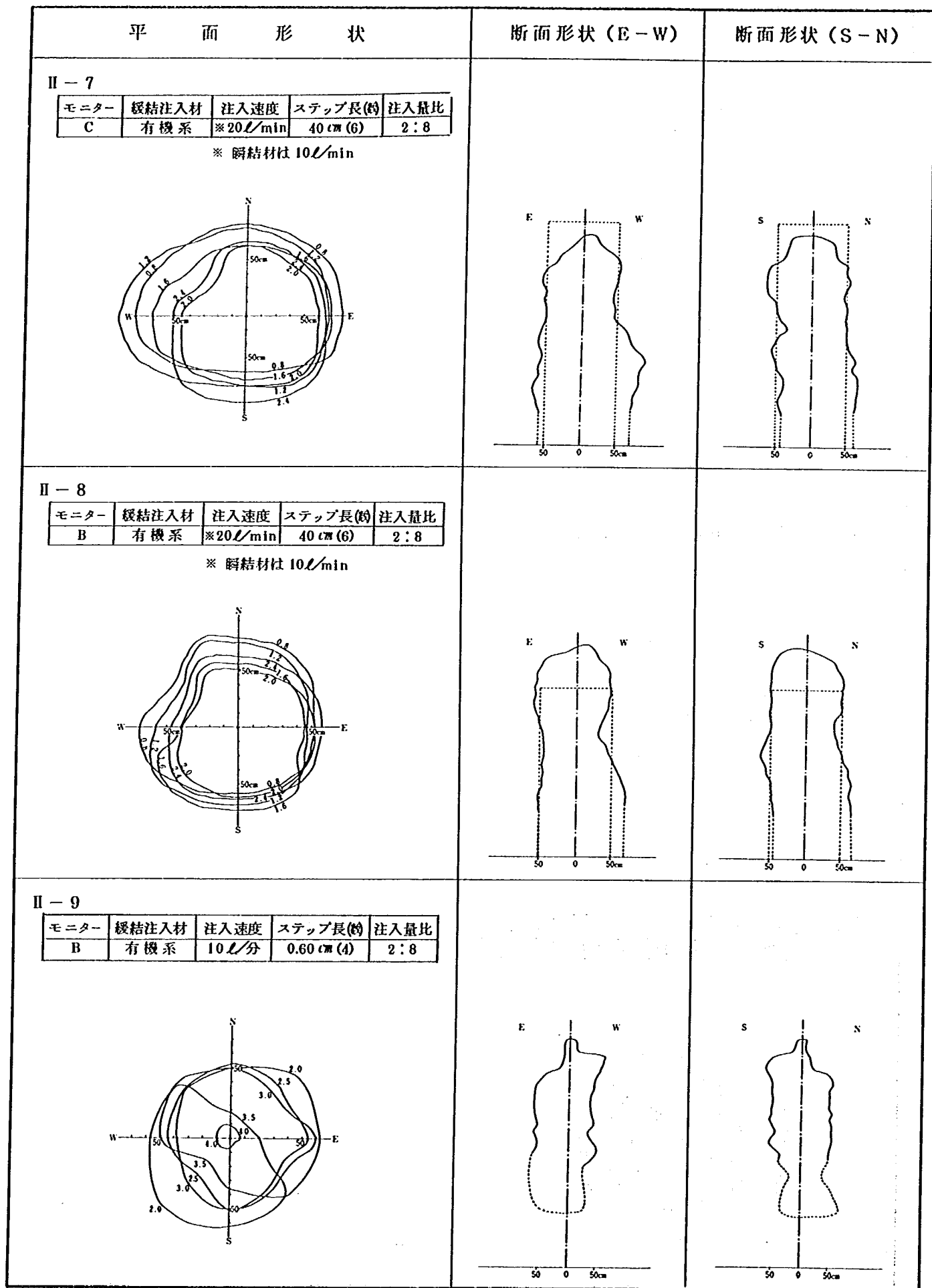


図-Ⅲ.4(3)

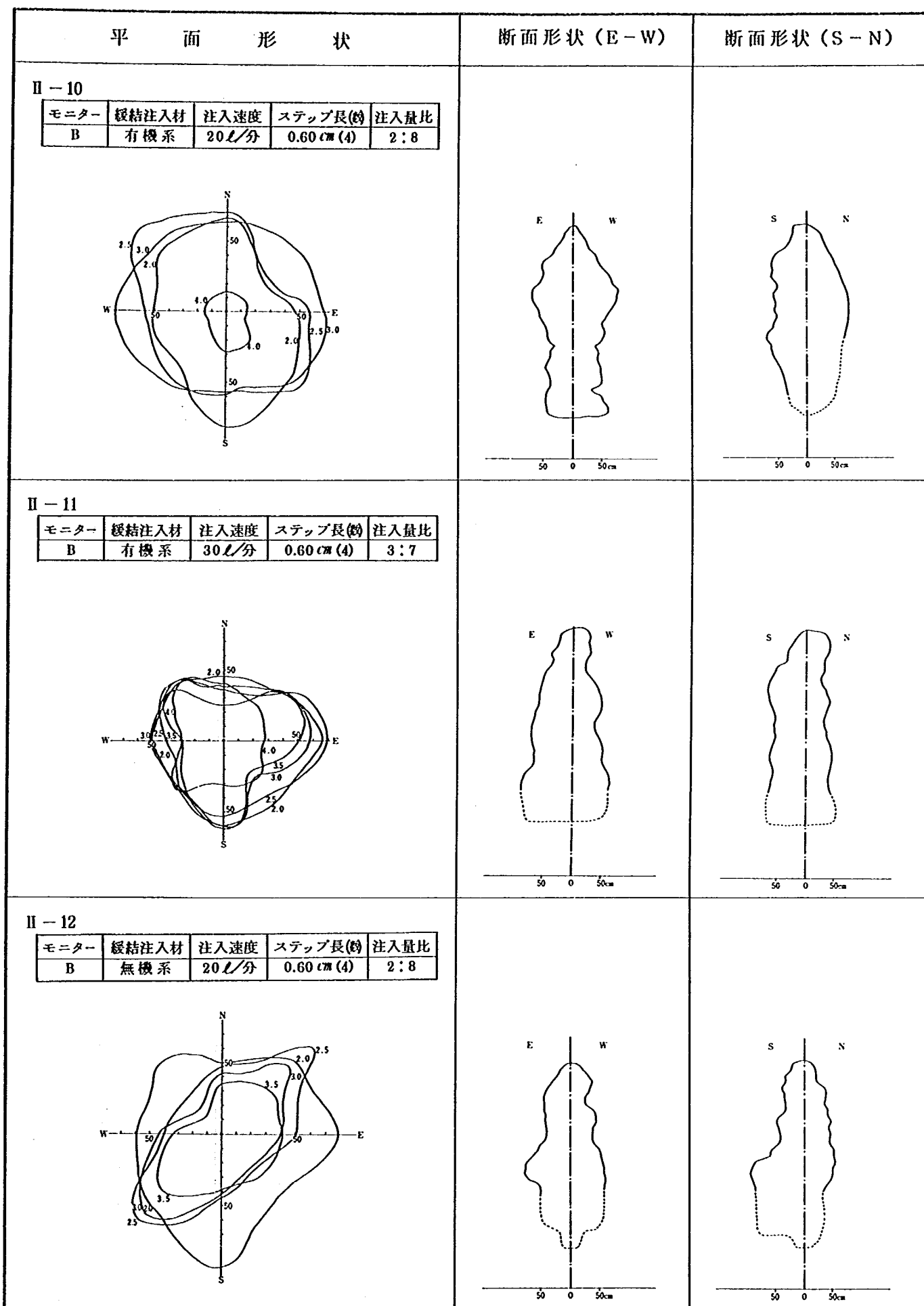


図-Ⅲ. 4(4)

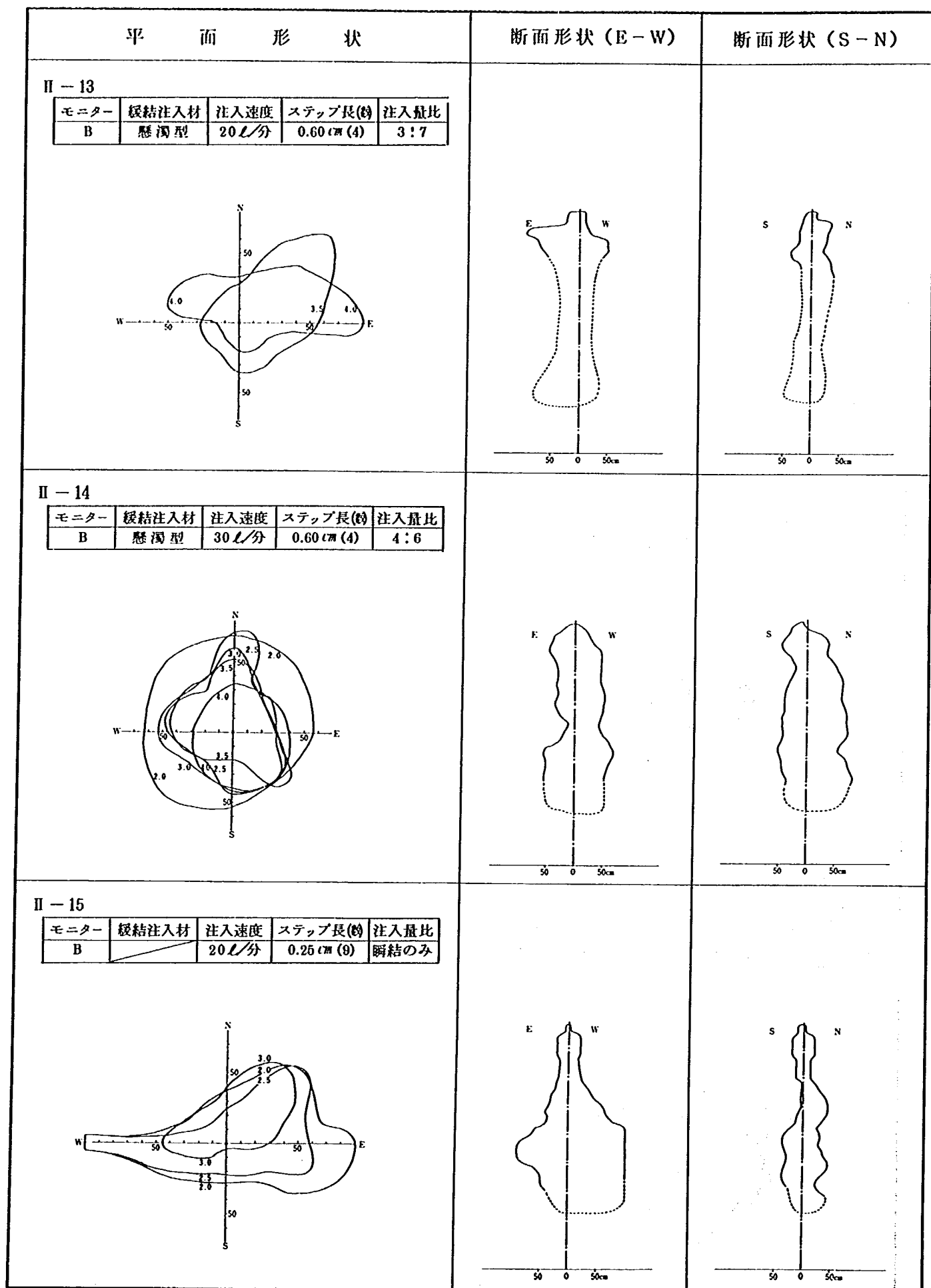


図-III. 4(5)

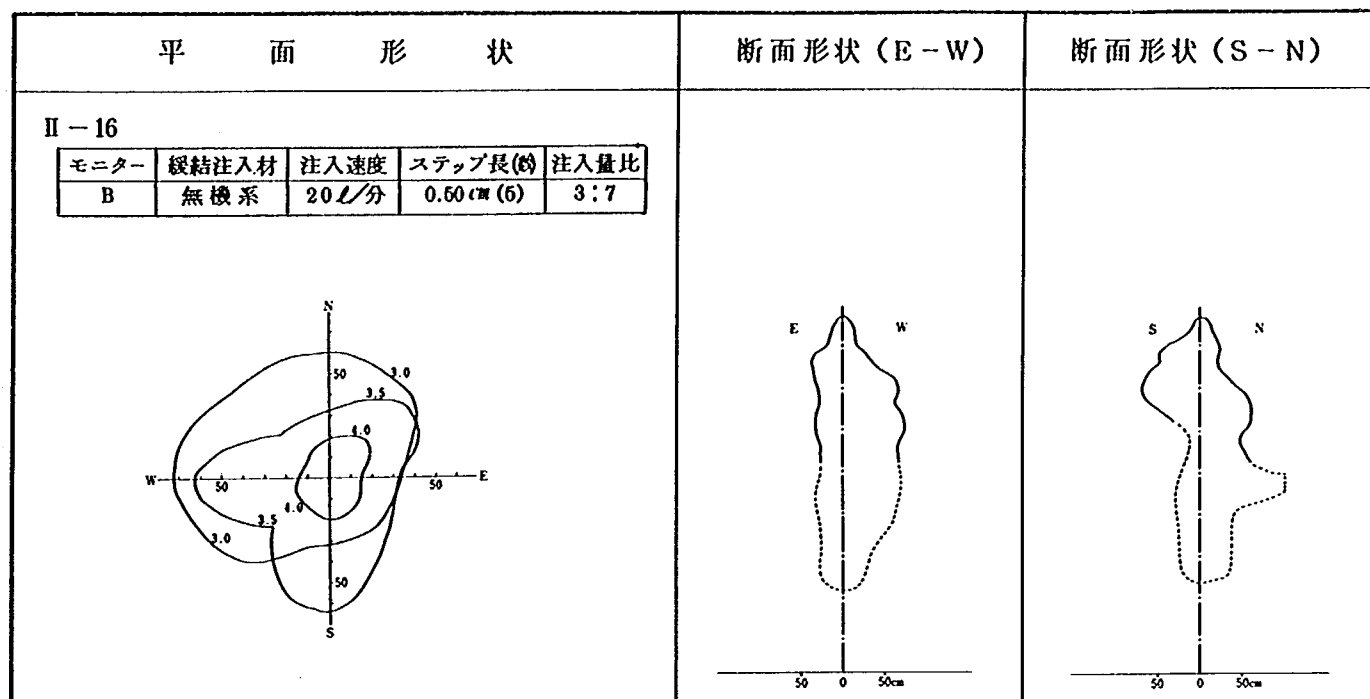


図 - III . 4 (6)

平 面 形 状

断面形状 (E-W)

断面形状 (S-N)

Ⅲ-1

モニター	緩結注入材	注入速度	ステップ長(秒)	注入量比
B	懸濁型 (PC)	20 L/min	※ 50 cm (5)	3 : 7

※第3ステップ 60 cm

Ⅲ-2

モニター	緩結注入材	注入速度	ステップ長(秒)	注入量比
B	懸濁型 (PC)	20 L/min	※ 50 cm (5)	5 : 5

※第3ステップ 60 cm

図-Ⅲ. 5(1) 実験Ⅲの形状

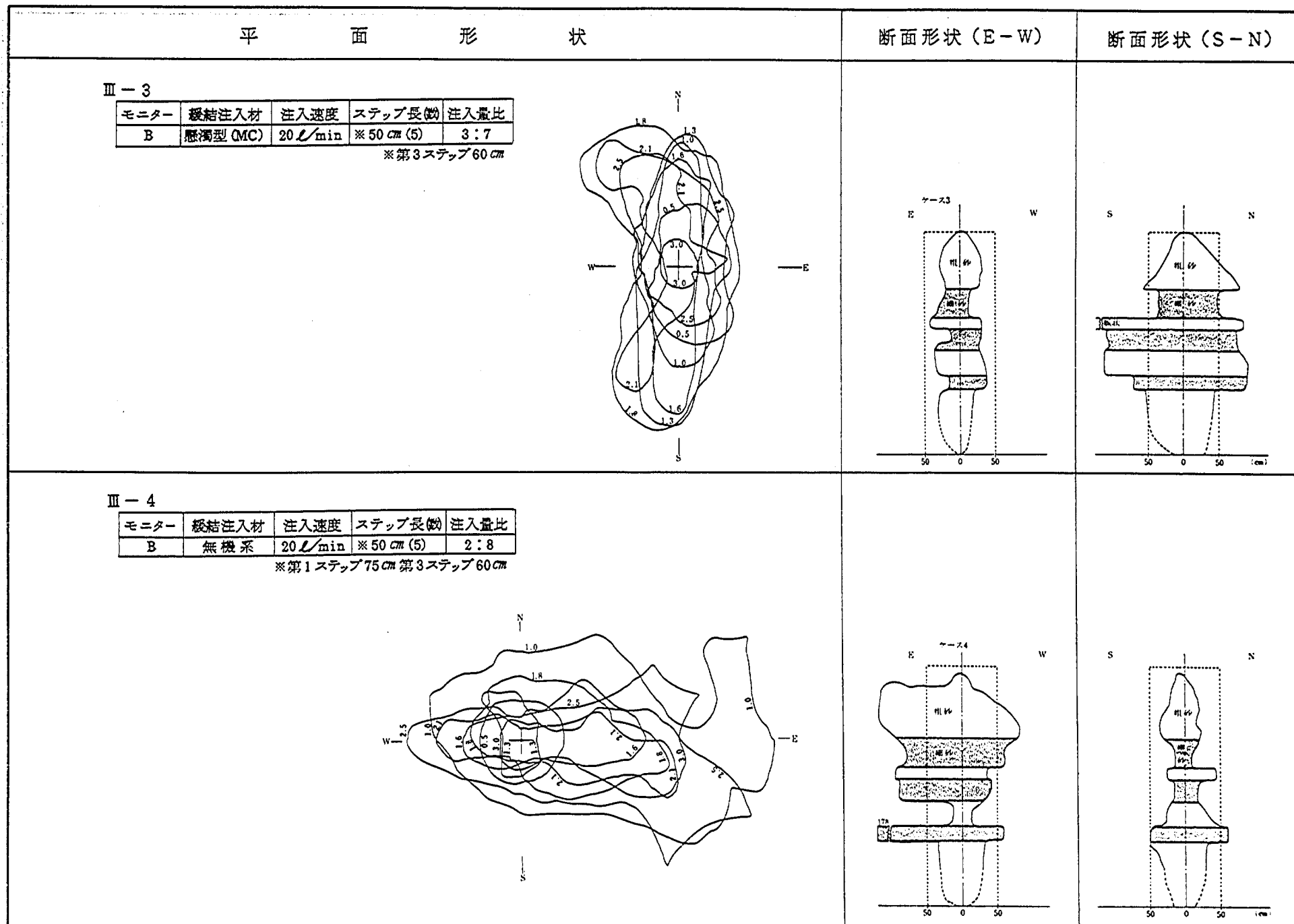


図 - Ⅲ . 5(2)

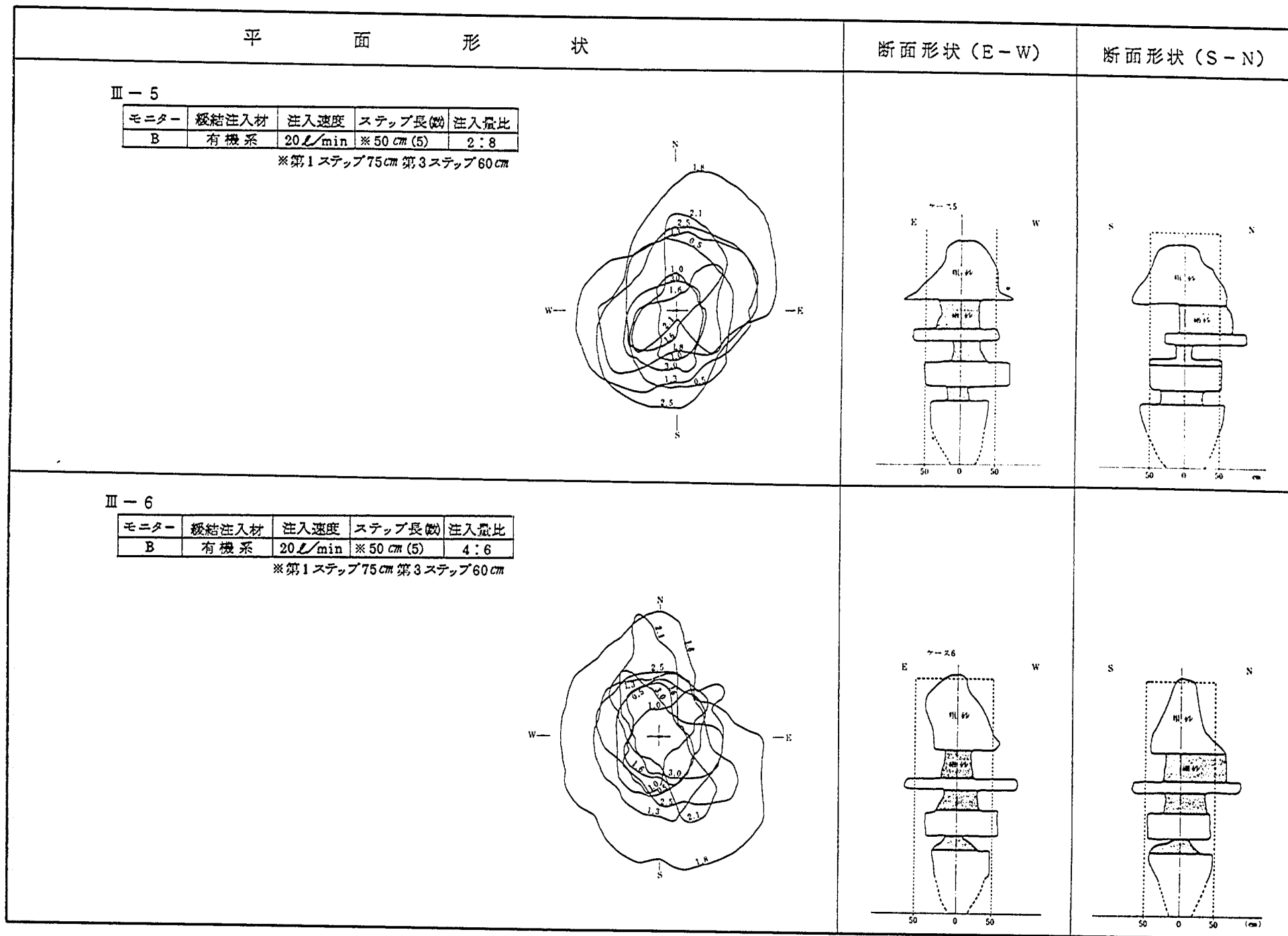


図-Ⅲ. 5 (3)

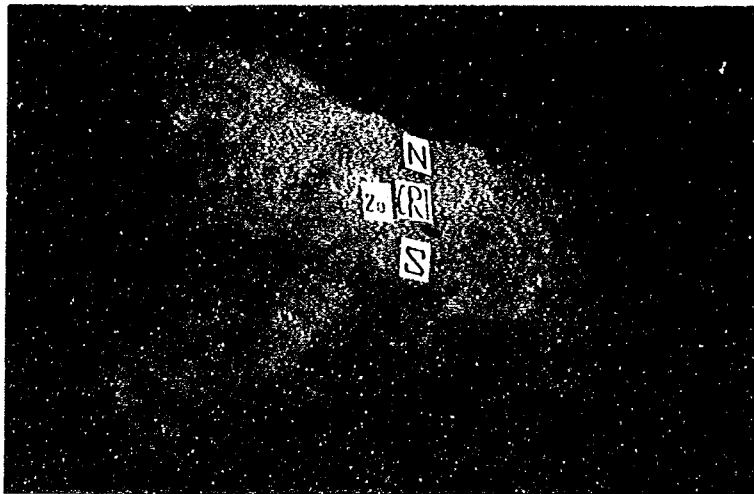


写真-Ⅲ. 1 ケースⅠ-4 (懸濁液型MC)

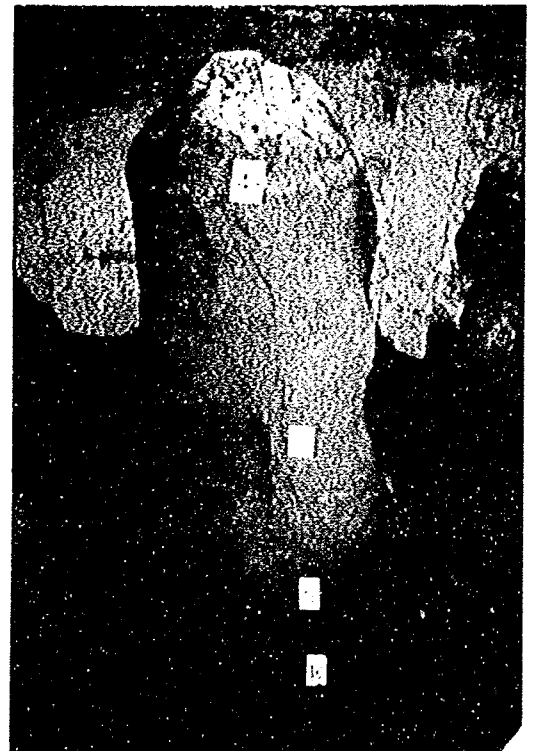


写真-Ⅲ. 2 ケースⅡ-14 (MC)



写真-Ⅲ. 3 ケースⅡ-5 (溶液型無機素)

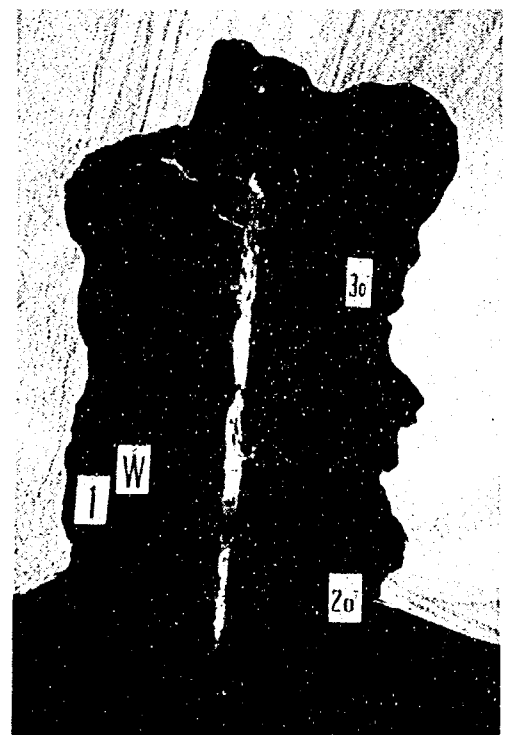


写真-Ⅲ. 4 ケースⅡ-1 (溶液型有機素)
(断面)

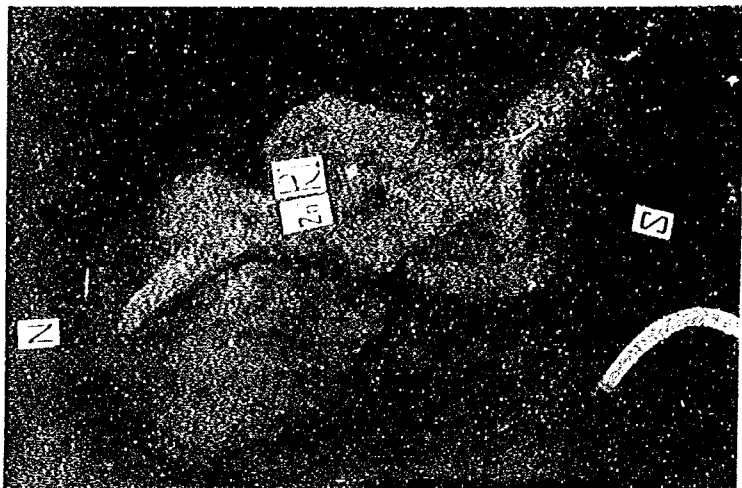


写真-Ⅲ. 5 ケースⅠ-10



写真-Ⅲ. 6 実験Ⅲ全景

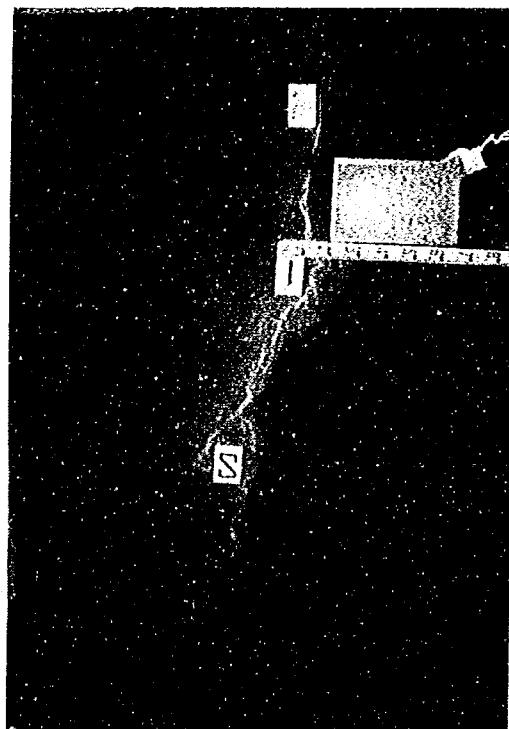


写真-Ⅲ. 7 ケースⅢ-1 (PC)

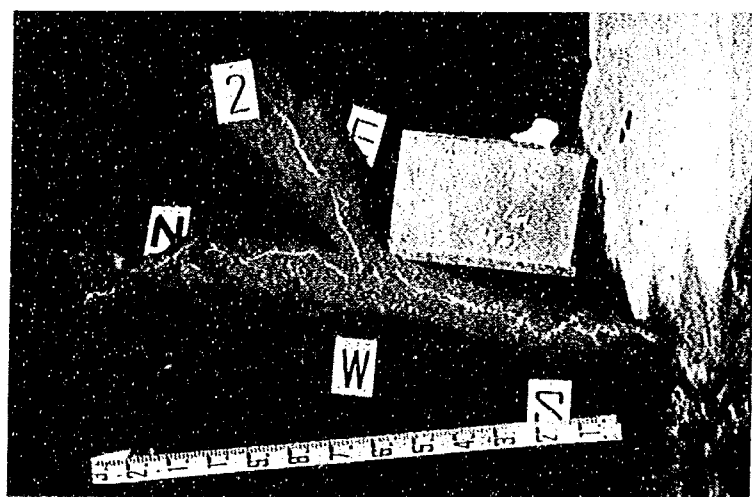


写真-Ⅲ. 8 ケースⅢ-2 (PC)

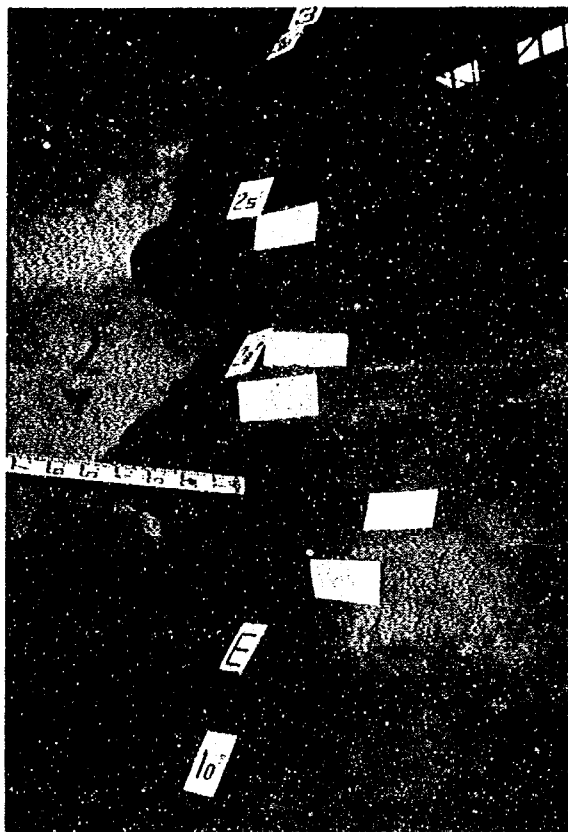


写真-Ⅲ. 9 ケースⅢ-3

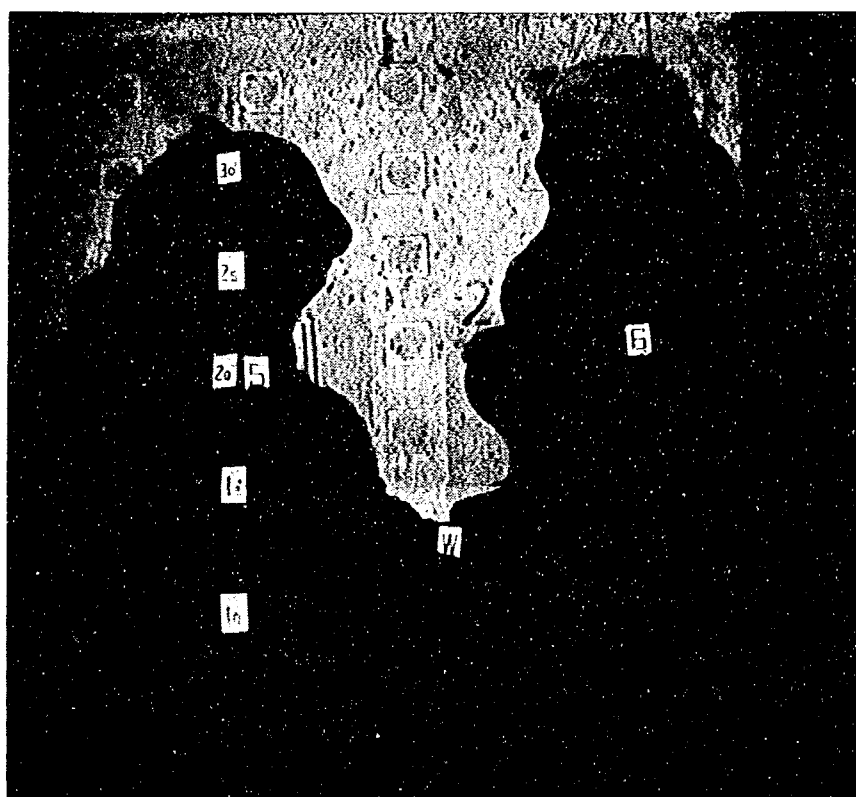
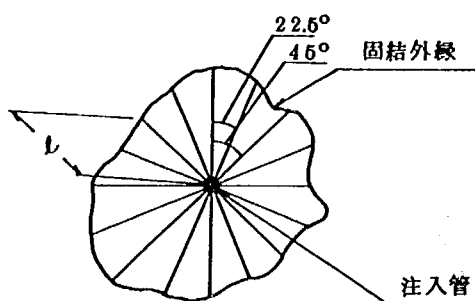


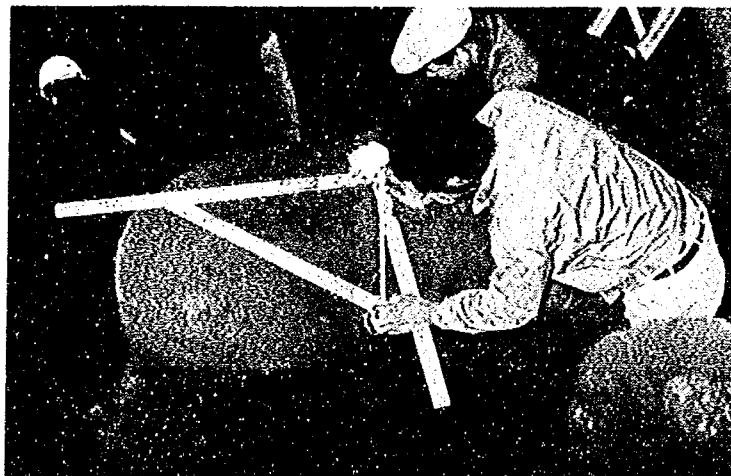
写真-Ⅲ. 10 ケースⅢ-5, 6

2. 固結長の頻度分布

理想的な注入状態として、ここでは固結物が注入管を中心とした設計注入範囲内に均等・等厚（円柱状）に形成されるものとする。そこで、本実験では、各種注入材の固結形状を評価するため図－Ⅲ.6に示すように固結物を注入管に垂直な断面で切断し注入管と固結物外縁までの長さ（ ℓ ：固結長と称する）を深度方向に10cmピッチ16方位について測定した。（写真－Ⅲ.11）



図－Ⅲ.6 固結長の測定方法



写真－Ⅲ.11 固結長の測定状況

図－Ⅲ.8、Ⅲ.9(1)、(2)、Ⅲ.10に本実験における各種注入材の固結長の頻度分布を示す。これらの図において均一地盤では懸濁液型注入材のうちポルトランドセメント系注入材の場合、その分布が設計注入半径より短い固結長に集中し、頻度分布図からもその浸透性が不十分であることがわかる。それに対して、微粒子セメント系注入材の場合、多少ばらつきが大きいものの設計注入半径を中心とした分布を呈しており、ポルトランドセメントに比べて浸透性が優れていることがうかがえる。また、溶液型注入材では、無機系、有機系とも懸濁液型に比べて良好な分布を呈しており、特に有機系注入材の場合、固結長の分布が設計注入半径およびその近傍に集中している。

次に互層地盤（実験Ⅲ）において、その頻度分布の特徴を細砂層に分けて比較する。図－Ⅲ.7にケースⅢ－1（ポルトランドセメント系）、ケースⅢ－6（有機系）の固結長の頻度を示す。この図において、細砂層ではケースⅢ－1、Ⅲ－6とも固結長がほぼ30cm以下に集中しており、注入材による差はみられない。しかし、粗砂層については、ケースⅢ－1では、固結長の変動係数が、0.90とばらつきが大きく、また固結長の平均も27cmと小さい値を示している一方、ケースⅢ－6では、変動係数が0.30、平均値が46cmと比較的良好な分布を呈しており、懸濁型と溶液型の差が顕著にみられる。ここで、実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲを合せて述べるとポルトランドセメント系注入材は透水係数 $k = 10^{-1}$ cm/sec程度の粗砂層においても脈状が卓越し、固結物の形状が複雑になる一方、溶液型有機系注入材は $k = 10^{-3}$ cm/sec程度までは比較的均等な注入が可能であることが明らかとなった。

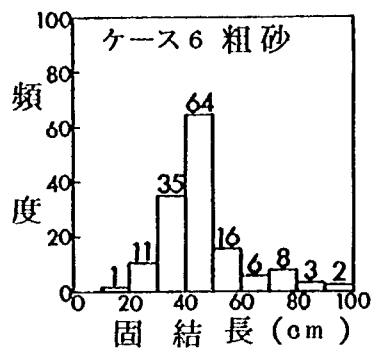
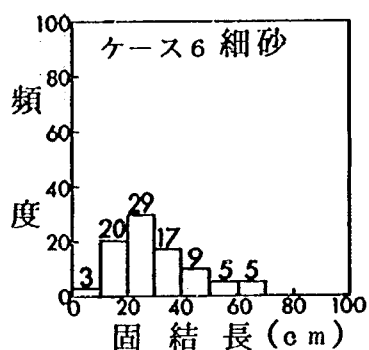
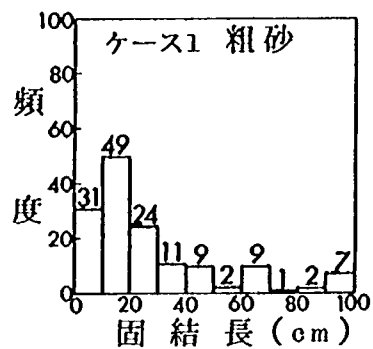
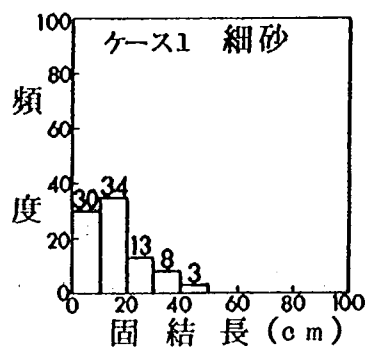


図-Ⅲ. 7 固結長の頻度分布

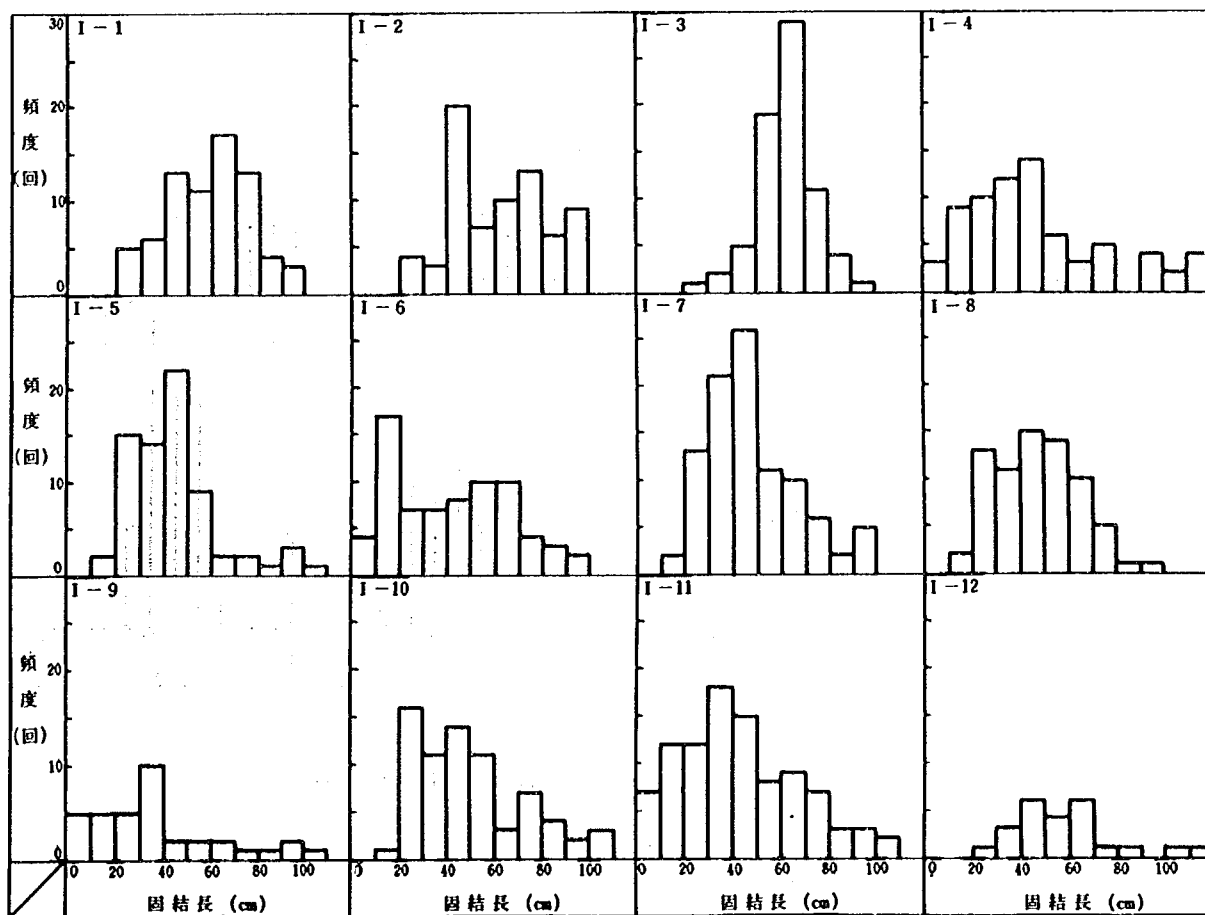


図-Ⅲ. 8 固結長の頻度分布 (実験 I)

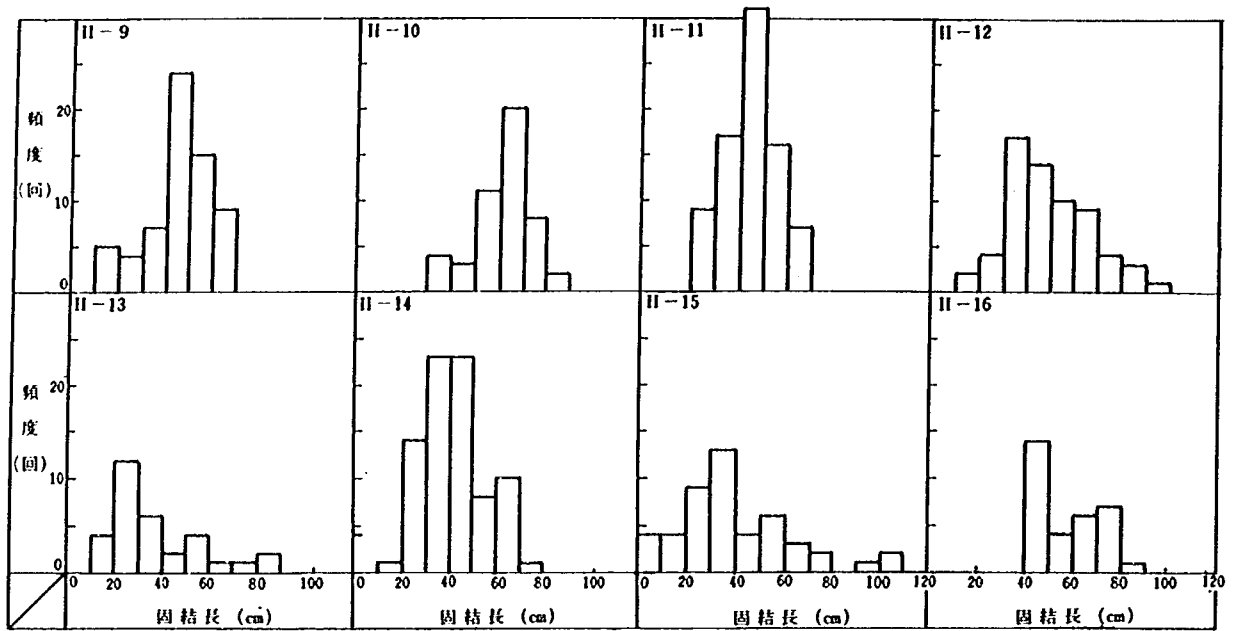


図-Ⅲ. 9(1)固結長の頻度分布 (実験Ⅱ, Ⅱ-1~8)

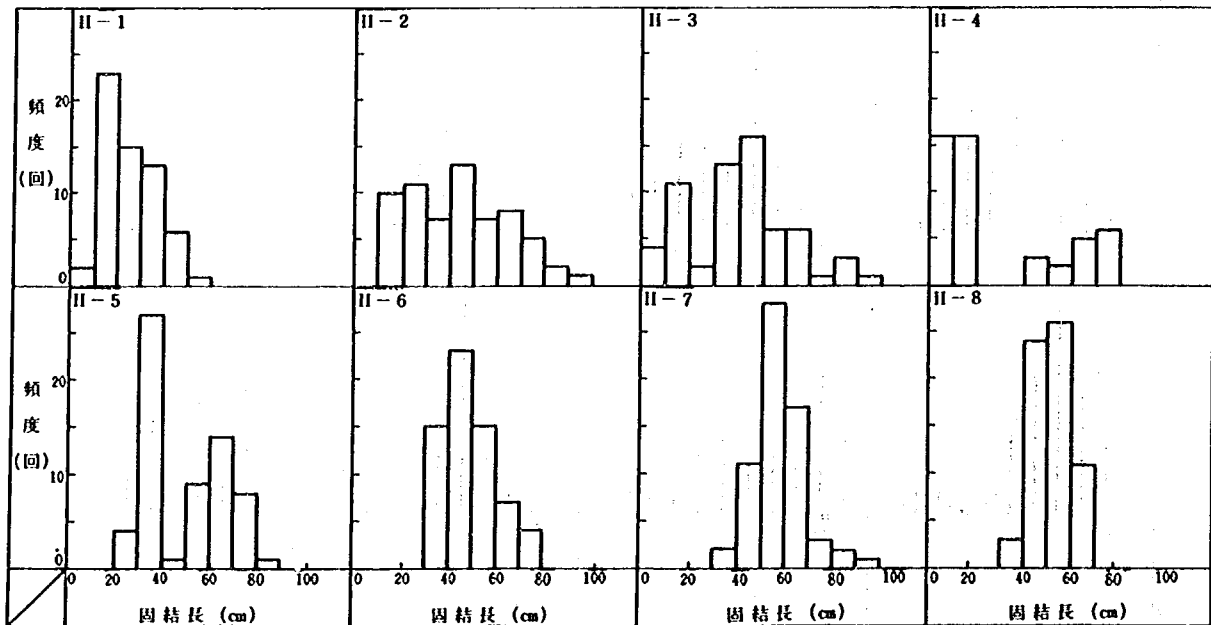
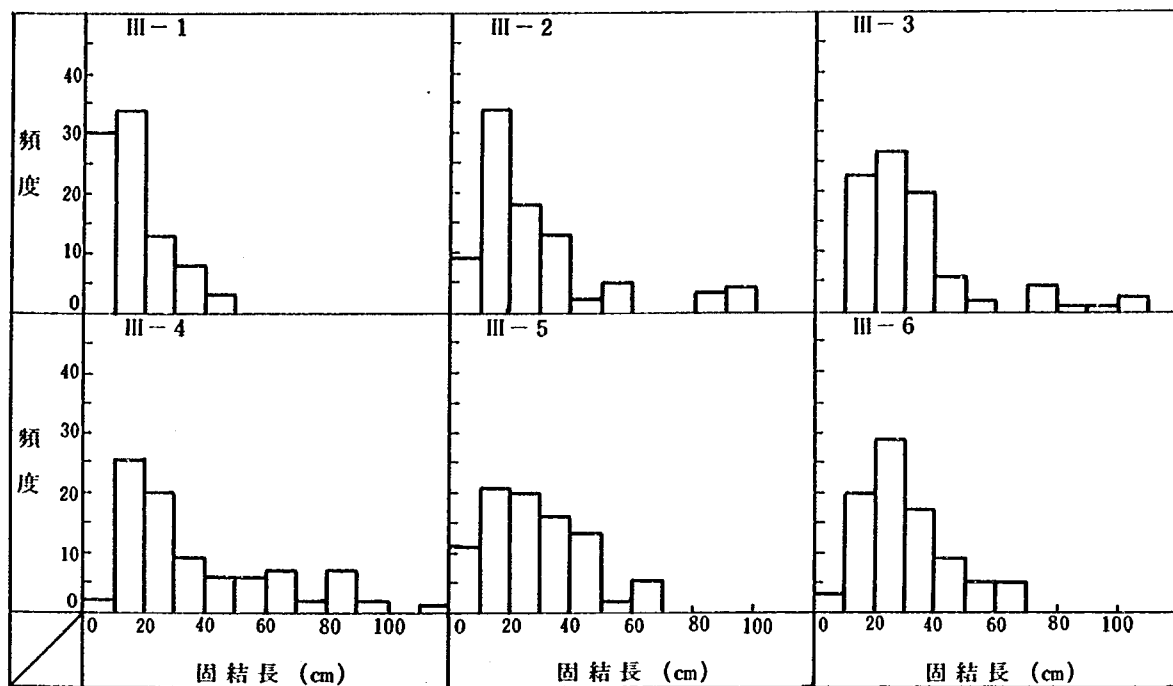
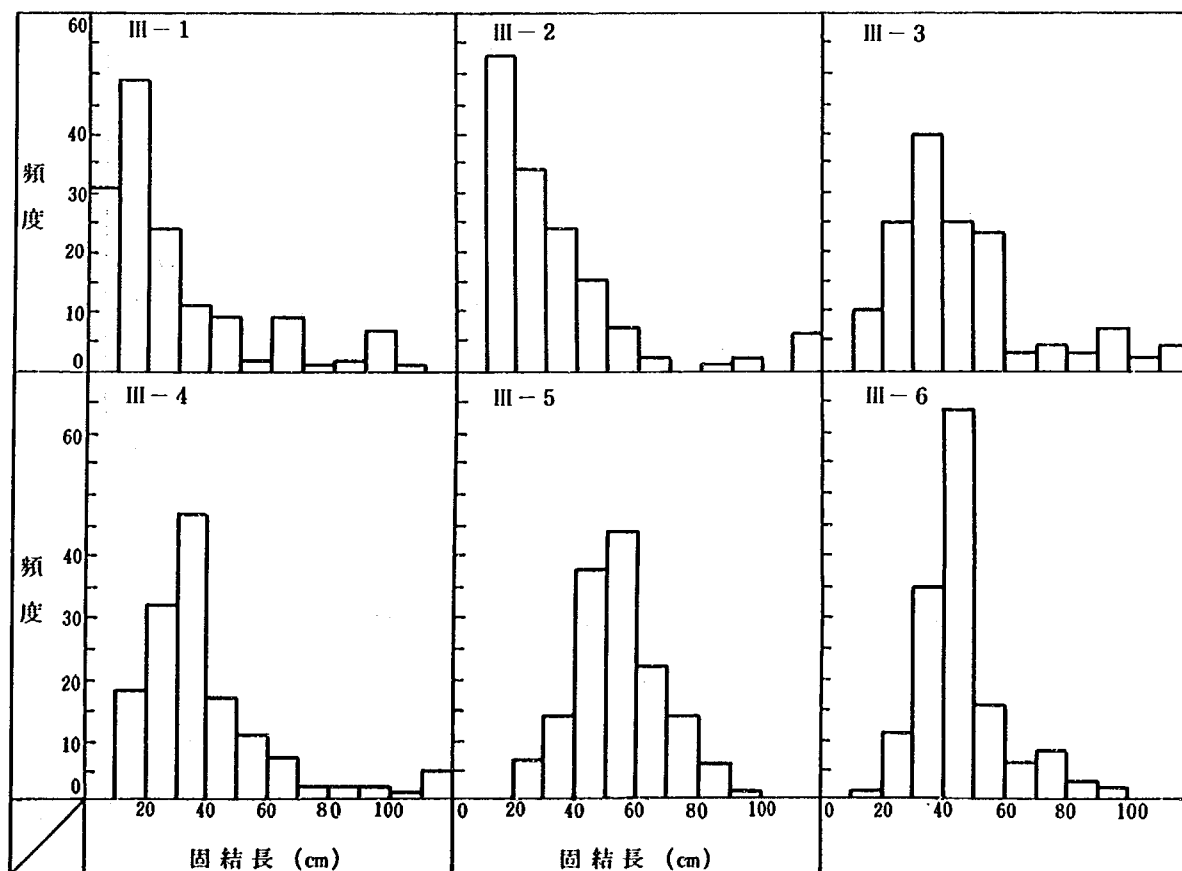


図-Ⅲ. 9(2) 固結長の頻度分布 (実験Ⅱ, Ⅱ-9~16)



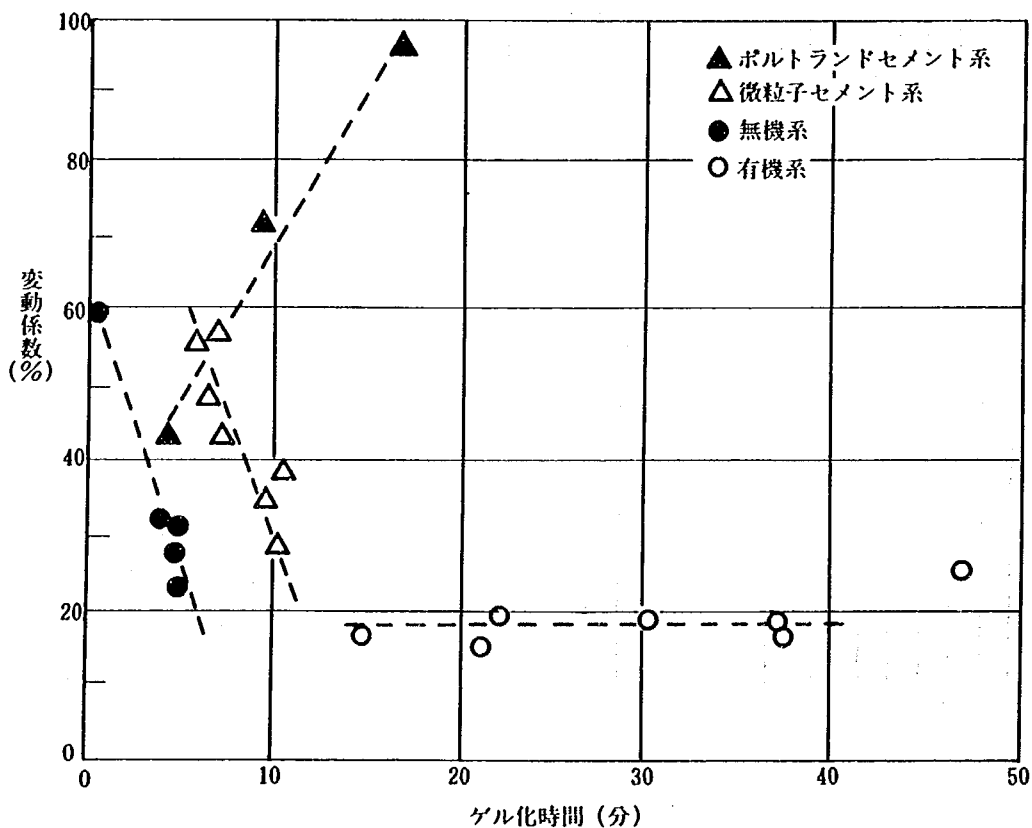
(実験Ⅲ 細砂：C砂)



(実験Ⅲ 粗砂：D砂)

図-Ⅲ.10 固結長の頻度分布 (実験Ⅲ)

また、図－Ⅲ.11に均一地盤での固結長の変動係数とゲル化時間の関係を示す。この図において、ゲル化時間が比較的短い微粒子セメント系、無機系注入材は、ゲル化時間が長くなるにつれて変動係数が減少する傾向を示しており、また、狭いゲル化時間の範囲でその減少割合が大きいなどゲル化時間が固結形状に与える影響が大きいことがわかる。また、微粒子セメント系注入材の場合その変動係数の減少割合が、無機系注入材のものと似かよっていることから、その浸透性が、溶液型注入材に比較的近いものと思われる。次に、有機系注入材の場合、ゲル化時間が10分から40分程度と広範囲におよぶが、変動係数は、ゲル化時間の影響を受けず、ほぼ20%と一定であり、他の注入材よりかなり小さい値を示している。しかし、これらの注入材とは逆にポルトランド系注入材では、ゲル化時間が長くなっているにもかかわらず変動係数が大きくなるなど、他の注入材と異なった傾向を示しており、これは、注入圧力などの施工状態および脈の発生状態などが複雑に影響しているためと思われる。



図－Ⅲ.11 固結長の変動係数とゲル化時間の関係

3. 固結形状の簡易評価

3.1 簡易評価指数の定義

各種注入材の固結形状に関して、これまでは次の評価により行ってきた。

- ① 固結土の全体的な形状
- ② 固結長の頻度分布
- ③ 固結長の変動係数

以上の評価方法によっても、視覚的な評価は一応可能である。しかし、例えば懸濁液型ポルトランドセメント系注入材の場合では、固結長の頻度分布が設計注入半径以下に集中的に分布しているため、その変動係数が比較的小さい値を示し、注入の主目的である「止水効果」を考慮するには不十分である。

そこで、ここでは、①～③までを総括的に含み、かつ、止水効果を考慮した評価方法を試案した。この評価方法は次の3つの評価指数よりなる。

$$A \text{ (信頼性指数)} = \frac{N(r-10 \leq \ell \leq r+10)}{N} \times 100 (\%) \dots\dots (III.2)$$

$$B \text{ (効果指数)} = \frac{N(r \leq \ell)}{N} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (III.3)$$

$$C \text{ (総合指数)} = \frac{A+B}{2} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (III.4)$$

ここで、

N : 固結長の全データ数

$N(r-10 \leq \ell \leq r+10)$: 設計注入半径 (r) ± 10 cm以内の固結長のデータ数

$N(r \leq \ell)$: 設計注入半径 (r) 以上の固結長のデータ数

r : 設計注入半径

ℓ : 固結長

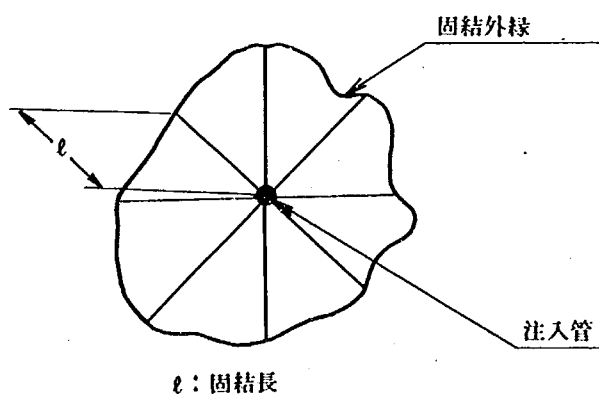


図-Ⅲ.12 固結長の測定方法

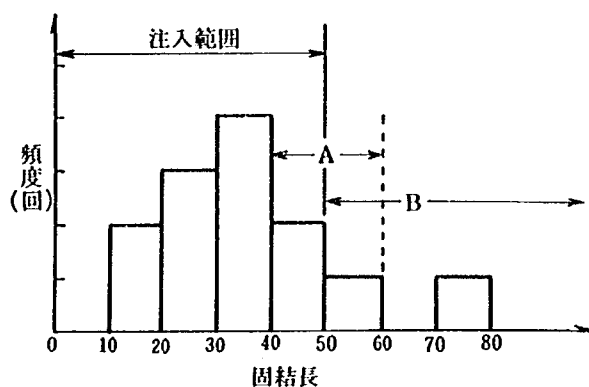


図-Ⅲ.13 固結長の頻度分布(例)
注) 実験Ⅰでは $r = 60$ cm

(Ⅲ. 2)式で表わされるA指数(信頼性指数)は、設計注入半径を基準とした場合の注入固結物の信頼性を表わす。例えば、懸濁液型ポルトランド系注入材より得られる固結物の場合は、固結長の頻度分布が設計注入半径(r)以下に集中し、また、脈状注入に従って固結物が壁状になり、 $\ell < r$ となる傾向がある。この場合には、A指数の値は小さくなる。それとは反対に、浸透性が優れ、かつ固結形状が設計とほぼ等しく得られる溶液型有機系の場合には、A指数は大きな値を示すことになる。なお、A指数は、0～100%の範囲をとる。

(Ⅲ. 3)式で表わされるB指数(効果指数)は、固結物が設計注入範囲より大きい場合、それは止水効果に寄与するという考えに基づくものである。なお、B指数も0～100%の値をとる。

(Ⅲ. 4)式で示すC指数は、A指数とB指数の単純合計で表わされ、「総合的な注入効果」を示すものとする。

3.2 簡易評価指数の適応性

3.1で定義したA、B、C指数を均一地盤(実験Ⅰ、Ⅱ)に適応させると図-Ⅲ.14のようになる。この図において、例えば、懸濁液型ポルトランドセメント系注入材は、A指数、B指数とも20%と小さな値を示し、同時にC指数も10～20%とかなり劣った評価となる。これは、懸濁液型ポルトランドセメント系注入材は、止水効果には不適當と判断されるものであり、固結形状の平面・断面図からの視覚的な判断、および従来からの考えと合致するものと思われる。また、瞬結性の無機系注入材もかなり劣った評価となっている。

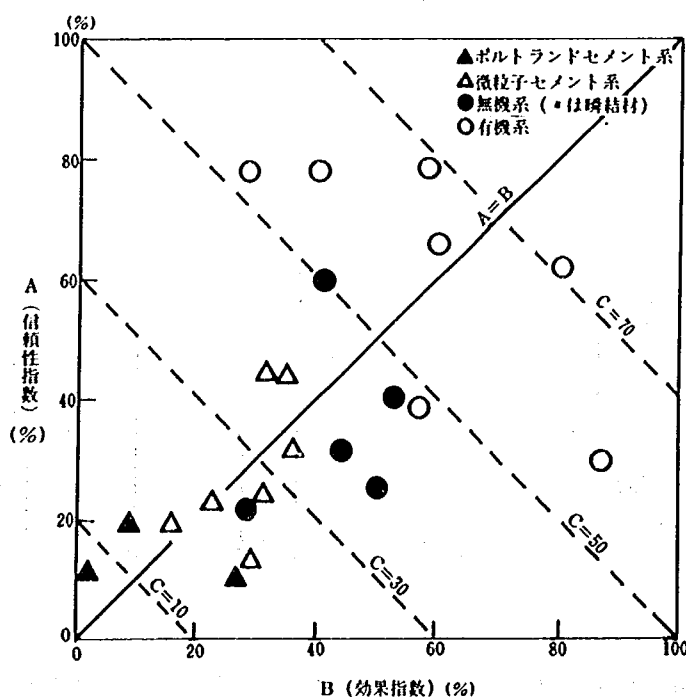


図-Ⅲ.14 各種注入材のA、B、C指数(均一地盤)

これとは逆に、溶液型有機系注入材の場合は、A指数、B指数それぞればらつきはあるが、全体的にC指数が50%以上と大きな値を示し、改めてその固結効果の優秀さがわかる。

これらをまとめて各種注入材のC指数による順位をつけると次のようになる。

ポルトランドセメント系<微粒子セメント系<無機系<有機系

また、図-Ⅲ.15にはC指数と固結長の変動係数の相関を示す。この図において、ポルトランドセメント系注入材を除いてC指数と変動係数が比較的良好な相関にある。すなわち、浸透可能な注入材の場合、変動係数（固結物の複雑さ）と止水効果は比較的良好に対応するものと思われる。

図-Ⅲ.16は、均一地盤（間隙率が40%程度）における各種注入材の変動係数とC指数のとりまとめたものである。

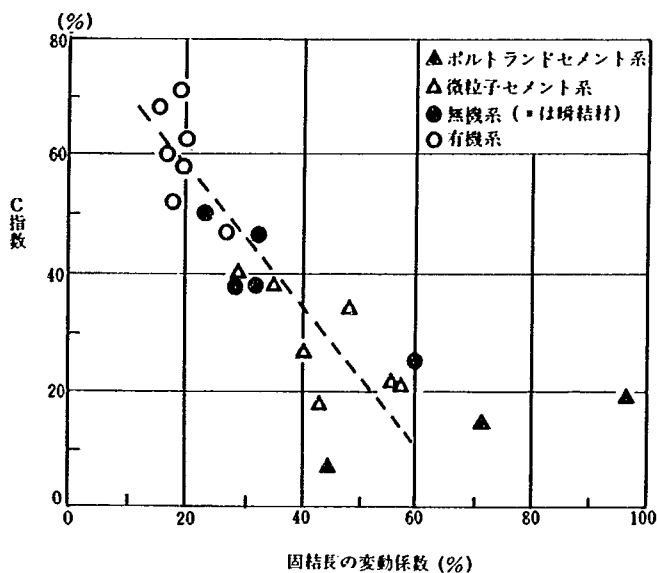


図-Ⅲ.15 C指数と変動係数の相関

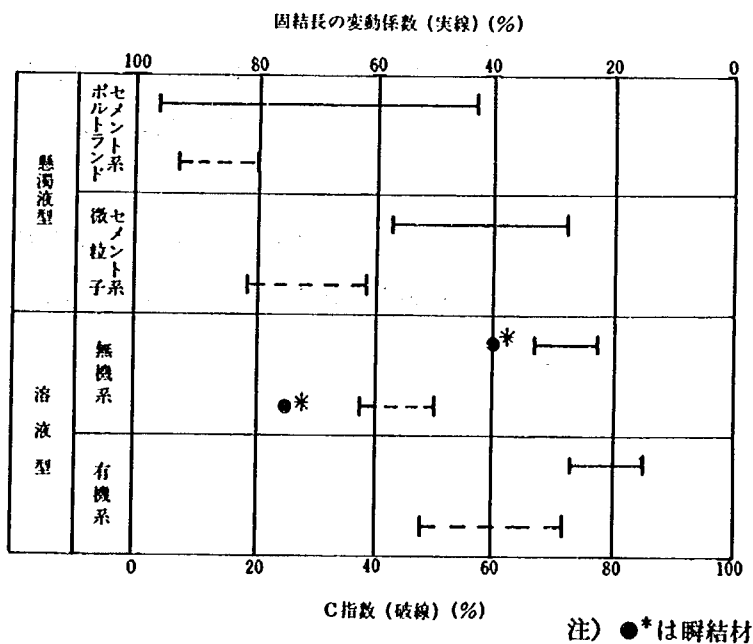


図-Ⅲ.16 各種注入材の固結形状評価

以上のように、ここで試算した簡易評価指数は、固結効果（止水性）を数量的に説明するのに十分な説得性を有していると思われる。ただし、本実験は、注入孔が単孔であることから、この結果を直ちに各注入材、工法の施工性を示す絶対的指数と読みかえるにはやや問題がある。それは、通常の注入工事では、注入孔間隔が0.8～1.0 mと近接した配置で行なわれることによる固結部の相互干渉効果⁽⁴⁾があり、単孔の場合以上に止水効果があると予想されるためである。しかし、合理的設計のためには、これらの効果に過大な期待を抱くことは、避けなければならない。すなわち、注入工法が十分に工学的であるためには当初にあげた様々な要因と注入効果との関係を正しく把握する必要があると考える。

(4) 相互干渉効果とは、注入率を大きく（40%程度）とすることで、設計半径以上の固結部を形成するとともに先行する注入孔における非填充部分を改良するために、それに続く注入孔間隔を設計どおりとすることで非填充部分を十分に注入材で浸透固結させることである。

4. 固結土の填充率

注入填充率は注入設計時には60%としたが、注入後固結土の体積と重量を計測し、次式により実際の填充率を求め、表－Ⅲ. 2～4にまとめた。

$$\alpha_1 = \frac{Q \cdot \gamma_t}{W \cdot n} \times 10,000 (\%)$$

$$\alpha_2 = \frac{Q}{V \cdot n} \times 10,000 (\%)$$

ここに、 W：固結物の重量（t）

n：地盤の間隙率（%）

Q：全注入量（m³）

γ_t ：単位体積重量（t/m³）

V：固結土の体積（m³）

なお、地盤の間隙率は実験Ⅰでは42.7%，実験Ⅱ（ケースⅡ－1～8）では48%，実験Ⅲでは45.5%として計算した。また固結土の重量はロードセルで、体積は固結形状からプランメータで面積を計算し、高さを乗じて求めた。

計算結果ではそのほとんどが設計注入填充率60%を上まわっている。これは注入材が地上へ噴出したリ、脈状注入、境界注入が行なわれた結果、採取した固結土に含まれる注入量は実際に注入した量より少ないのであるが、計算においてはQを設計注入量としたためと考えられる。

表-Ⅲ. 2 填 充 率 (実験Ⅰ)

項目 ケース	Q (m ³)	γt (t/m ³)	W (t)	V (m ³)	α_1 (%)	α_2 (%)
I-1	1.0	1.87	8.03	4.19	54.5	55.9
I-2	1.0	1.87	7.36	5.05	59.5	46.4
I-3	1.0	1.87	7.31	4.27	59.9	54.9
I-4	1.0	1.87	6.38	3.09	68.6	75.8
I-5	1.0	1.87	5.07	2.47	86.4	94.8
I-6	1.0	1.87	6.67	2.56	65.7	91.5
I-7	0.72	1.87	5.32	2.68	59.3	62.9
I-8	1.0	1.87	4.87	2.58	89.9	90.8
I-9	0.504	1.87	2.52	1.24	87.6	95.2
I-10	1.0	1.87	2.27	3.26	192.9	71.8
I-11	0.72	1.87	4.61	2.79	68.4	60.4
I-12	1.0	1.87	—	—	—	—

表-Ⅲ. 3 填 充 率 (実験Ⅱ)

項目 ケース	Q (m ³)	γt (t/m ³)	W (t)	V (m ³)	α_1 (%)	α_2 (%)
II-1	0.54	1.48	1.81	1.22	92.0	92.2
II-2	0.48	1.56	2.89	1.85	54.0	54.1
II-3	0.48	3.08	4.72	1.53	65.3	65.4
II-4	0.53	1.07	1.23	1.15	96.1	96.0
II-5	0.70	1.81	3.76	2.08	70.2	70.1
II-6	0.67	—	—	2.15	—	64.9
II-7	0.67	—	7.24	2.61	—	53.5
II-8	0.67	—		2.24	—	62.3

表-Ⅲ. 4 填 充 率 (実験Ⅲ)

項目 ケース	Q (m ³)	γt (t/m ³)	W (t)	V (m ³)	α_1 (%)	α_2 (%)
III-1	0.646	(1.576)	2.077	1.318	136.7	107.7
III-2	0.549	(1.849)	1.990	1.076	121.3	112.1
III-3	0.585	(1.871)	3.427	1.832	75.0	70.2
III-4	0.585	(2.232)	3.878	1.737	66.3	74.0
III-5	0.585	(2.111)	3.449	1.634	74.6	78.7
III-6	0.585	(2.330)	3.316	1.423	77.5	90.3

5. 懸濁型注入材の浸透性

懸濁液型の注入材は、セメントや粘土の粒土の粒子がどんなに微細であっても粒子であることに変わりなく、注入対象地盤の条件によって浸透不能なところが出てくる。すなわち、懸濁液型注入材の粒子が地盤の間隙より大きければそこを浸透することはできないのは当然であるが、粒子が小さいときでもそれらが互いに付着して塊状になったり、土粒子の間を通過するときに付着して間隙を狭め、ついにはあとからくる粒子の通過を妨げるようになる。

このように懸濁液型注入材が浸透するか否かを判定する方法として、グラウタビリティ比がある。グラウタビリティ比（GR）は次式によって求められる。

$$GR = \frac{D_{15}}{DG_{85}}$$

ここに、GR：グラウタビリティ比

D_{15} ：注入地盤の15%粒径

DG_{85} ：注入材の85%粒径

である。

GRの評価値は、各機関によって多少異なるが、ここでは Corps of Engineer⁽⁴⁾の例を用いる。

$GR < 11$ ：浸透不能

$11 < GR < 19$ ：浸透可能（ただし、注入材の粒径がそろっている場合）

$19 < GR < 24$ ：十分浸透可能

$24 < GR$ ：浸透良好

これらの関係から、本実験で用いたポルトランドセメント、および微粒子セメントの浸透性を検討してみる。実験Ⅰ、Ⅱで使用したB砂の D_{15} は0.3 mm、実験Ⅲで使用したD砂の D_{15} は0.26 mmであり、またポルトランドセメント、微粒子セメントの DG_{85} はそれぞれ0.045 mm、0.0065 mmである。これらの値を用いてGRを求めると、

$$\begin{array}{l} \text{ポルトランドセメント} \left\{ \begin{array}{l} \text{B砂： } GR = 6.4 < 11 \quad \text{浸透不能} \\ \text{D砂： } GR = 5.7 < 11 \quad \text{浸透不能} \end{array} \right. \\ \text{微粒子セメント} \left\{ \begin{array}{l} \text{B砂： } 24 < GR = 46 \quad \text{浸透良好} \\ \text{D砂： } 24 < GR = 40 \quad \text{浸透良好} \end{array} \right. \end{array}$$

これらの結果からも、ポルトランドセメント系注入材はいずれの実験地盤においても浸透不可能であるが、微粒子セメント系注入材は浸透良好であることがわかる。この結果は各実験ケースから得られた固結形状および注入脈の状態ともうまく合致するものと考えられる。

Ⅳ 特殊二重管注入工法（バイモード工法）の取扱いについて

1. 開発経緯

薬液注入工法は比較的簡便でかつ経済的な地盤改良工法として都市土木工事を中心にさかんに利用されてきている。また注入薬液の開発とともに注入工法も従来からの単管ロッド工法やストレーナ工法に加え瞬結性の注入材を用いて地上への噴出や遠方への流失を防止する目的で開発された2重管ロッド工法やフランスから導入されたソレタンス工法を原型としたダブルパッカー工法など数多くの工法が開発され広く使用されている。しかし、これらの工法はそれぞれ注入原理が異なるため地盤によって注入効果が異なる。そこでこれらの工法の長所を取り入れ、適応地盤が広くまた注入効果も優れ、しかも作業性、経済性、安全性にも優れた工法の開発することを目的に、昭和50年度から始まった建設省総合技術開発プロジェクト「新地盤改良技術の開発」の研究の課題の一つに取り上げて開発したのがバイモード工法である。この工法の作業性や経済性についても実験及び試験施工をくり返し、溶液型あるいは懸濁型注入材における注入システムを開発し、実用化の段階に入っている。

2. 注入原理

従来より使用されている単管ロッド工法では注入材によるパッカー効果が十分でなく注入材が法入管の周囲から流出することが多く固結効果に問題がある。また瞬結性注入材を使用する2重管ロッド工法では、注入材の混合性が必ずしも良好ではなくゲル化が不安定であり、またその固結物の形状も先に注入されて固結した部分の間隙から次に送られた注入材が入り込んで所定の固結物を得ようとする工法原理上、その固結物は凹凸が激しく必ずしも均質な止水壁になるとは限らないという問題点がある。一方ダブルパッカー工法は、1次注入としてセメントベントナイト（CB）注入を行ない地盤を浸透注入に適した状態に1次処理したのち、ゲル化時間の長い注入材を用いて浸透注入を行なうため砂質地盤においてはかなり良好な固結物が得られるという特長をもっているが、注入外管をシールグラウトで固着し、そのまま埋殺するため大きい径のボーリングが必要であり、またシールグラウトの養生など施工時間がかかり高価な工法となっている。

以上のように各種の注入工法はそれぞれ長所及び短所を有している。そこでそれらの長所を取り入れ、また施工性などを考慮した新しい注入工法としてバイモードショット工法が開発された。

その原理は注入一工程の中で瞬結配合の注入材（以下瞬結材と称する）と長いゲル化時間になるように配合された注入材（以下緩結材と称す）による2つのモードの注入を行なうことを基本としたものであり、まず2重管ロッドでボーリングを行なったのち瞬結材によるパッカー注入を兼ねた1次注入を行ない注入管周辺に注入材の逸脱防止のためのパッカーを形成するとともに水みちや粗い地層を充填する。次に1次注入で均質化された地盤中にストレーナ方式により2次注入（本注入）を行ない、限定された範囲内で土の構造を破壊することなく土粒子の間隙に注入材を均質に浸透させることによって確実な効果を得ようとするものである。

3. 施工順序（図－IV. 1）

バイモード工法の施工順序は次のとおりである。

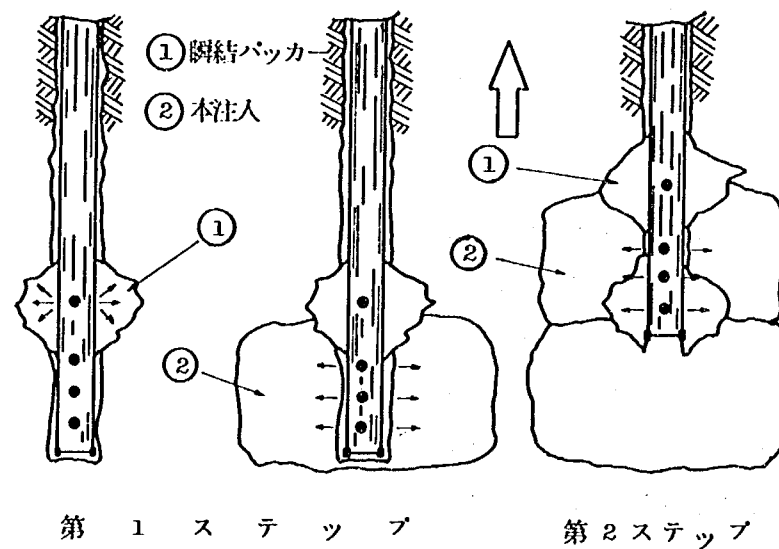
①所定の深度まで削孔する。この場合ボーリング水はロッド先端から出る。

②ボーリング水を注入材に換え2重管ロッドを利用して2液を送り瞬結パッカー注入を行なう。

③そのままの位置で内管からの送液を止め、下段ストレーナから長ゲル配合の注入材を注入し地盤中に浸透させる。

④所定の注入量の注入が終わったのち、ステップアップを行ない瞬結パッカー注入、長ゲル浸透注入を順次くり返す。

⑤注入完了後水洗いを行ない、次の注入地点に移動する。



図－IV. 1 注入原理図

4. モニターの構成

図－IV. 2 に注入先端モニターの構造概要を示す。

瞬結パッカー注入は内外管から瞬結配合になっている注入材（A材及びB材と称す）を別々に送り、内管中のスライドバルブを押し上段注入口より地盤注入される。次に内管への注入材の送りを止め（圧力を抜く）外管だけから緩結配合の注入材を送り下段注入口より地盤に浸透注入を行なう。

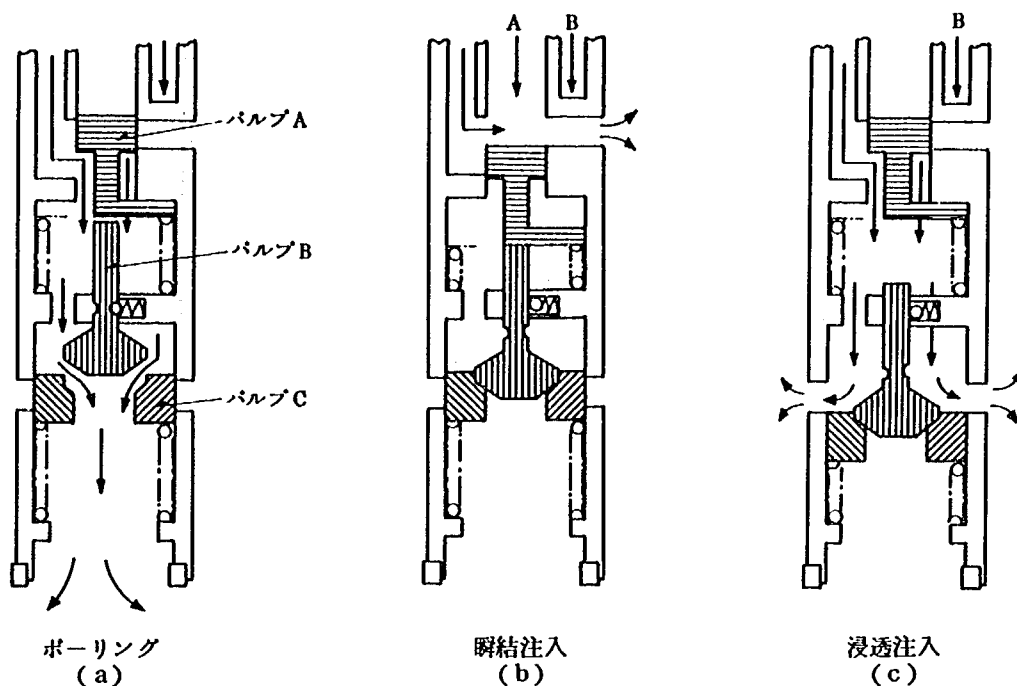


図-IV. 2 パイモード工法モニターの構成

5. 注入設計

5.1 注入量

一般に注入量を決定する要因として地盤の間隙率や填充率などがあり次式により算出する。

$$Q = V \cdot n \cdot \alpha (1 + \beta) \quad Q: \text{注入量}$$

V : 改良土量

n : 改良土の間隙率

α : 填充率

β : 損失係数

上式において $\alpha (1 + \beta)$ を填充率と考える場合や $n \cdot \alpha (1 + \beta)$ を注入率と呼ぶ場合もある。改良土の間隙率は事前の土質調査により概略的な値が求められるが、 α 、あるいは $\alpha (1 + \beta)$ は一義的には決まらず改良土の土性や地下水流の有無などを考慮する必要がある。また砂質土の場合、間隙水中で物理化学的作用により土粒子に付着しているものがあり、これは注入による圧力程度では置換されないものであり、注入材が填充される量は間隙率以下となる。図-IV. 3 に土の10%粒径 (D_{10})と間隙率 (n)と有効間隙率(貯留係数)の間係例を示すが、これは砂質土における試験施工から得られた填充率(60~70%)とほぼ一致している。このほか、注入量は注入による有効固結範囲の設計法によっても左右されるもので、今後のデータの蓄積によって求めなければならない。しかし、現在においては他工法に準じて決めなければならないものと考えている。

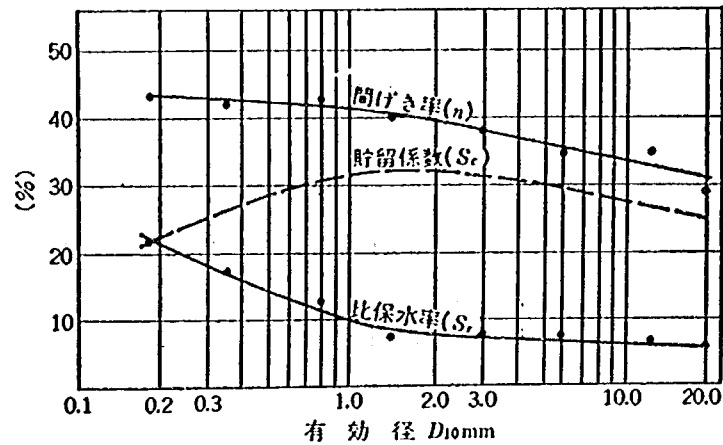


図-IV. 3 有効間隙率

5.2 注入ピッチ

従来の注入においては地盤条件、注入目的、使用材料、工法などにより注入ピッチが決定されていたが、本工法でも特に理論的に裏付けられていない。しかし、一般的な場合には0.8～1.2 m程度を用い、特に高い止水効果を期待する場合や、湧水が激しい場合などについては、詳細な検討を行なったのち各条件に合った注入ピッチを決定する必要がある。

5.3 注入ステップ

注入ステップ長を決定する要因としては、まず地盤調査により注入改良範囲の地盤構成を調べることが必要である。複雑に地盤が入りくんだり、互層となっていた場合には短かいステップで注入を行なう必要があり、均一あるいは層が大別されている場合には注入材の浸透性や浸透面積を考慮しなければならない。なお均一砂（粗砂）においては試験施工結果から50cm程度が適当である。

5.4 注入速度

一般的に薬液注入における注入速度は、少なければ少ない程良いと言われており特に maag の理論が全盛時にはかなり少ない値が論じられていた。この理論は、完全な浸透状況下で論じられたものであり、実際の注入において懸濁型注入材を用いる場合など合致しない部分もあり、またあくまでも浸透注入を考えた場合には注入材の浸透面積の大きさが問題となる。本工法では前述のように吐出口が多く、また浸透面積も大きく、試験施工の結果から瞬結パッカー注入は10～20 ℓ/min，長ゲル浸透注入で10～30 ℓ/min としている。

5.5 注入圧力

本工法の注入圧力は在来工法（単管ロッド工法、ストレーナ工法）と比較して大きな値となることは工法原理の説明からわかることと思われるが、在来工法が地盤に対する直接的な注入抵抗が主な圧力として表わされるのに対し、本工法では先端モニターの構造に関するもので

①スライドバルブを押し下げる圧力（バネの圧力）

②瞬結注入の際、先行固結領域を割って注入材が外部へ出るときのセン断破壊エネルギー

などが付加したものが表わされる。なお図-IV. 4 にパイモード工法の代表的なステップの圧力～流量図を示す。

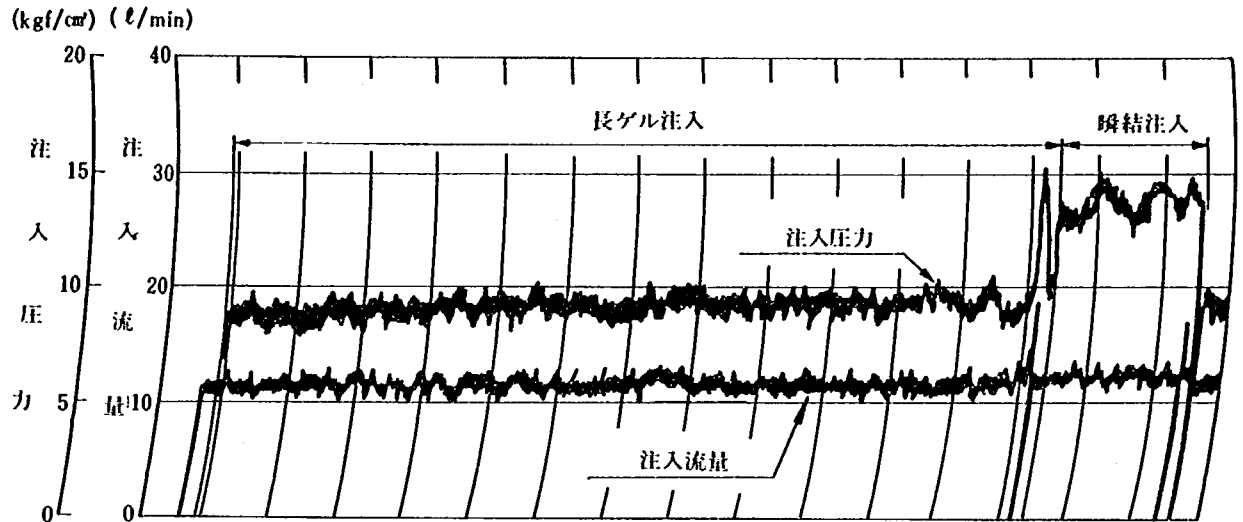


図-IV.4 バイモード工法の圧力～流量図

5.6 瞬結注入と緩結注入の量比率

本工法で注入設計を行う際の一つの特徴として、瞬結注入と緩結注入の注入量比率のとり方がある。瞬結注入をダブルパッカー工法のCB注入と同様に一次注入として考え本注入とは別と考える場合もあるが、一般的には両者を加えたものを注入量とする。そこで両者の比率は他の設計と同様に地盤条件あるいは地下水や湧水等を考慮して決定する必要があるが、砂質土に溶液型注入材を注入する場合、2 : 8 ~ 3 : 7 程度、また懸濁型注入材の時には3 : 7 ~ 4 : 6 程度を目安として設計を行なった方がよいようである。なお、土砂り厚が薄かったり、近接構造物がある場合、複雑な地層構成の場合などは瞬結注入の量をふやしたり瞬結注入のみを行なうことも可能である。

6. 注入施工方式

バイモード工法で使用する注入材は溶液型及び懸濁型注入材のいずれでもよく、その注入は瞬結注入が2ショット方式、緩結注入が1ショット及び1.5ショット方式で行なう。次に各注入材の組合せによる各機材の配置方法の一例を紹介する。

6.1 2ショット+1ショット方式 (図-IV.5)

瞬結注入は外、内管から別々に送られた(A材及びB材と称す)注入材を合流させ注入する2ショット方式であり、緩結注入はあらかじめ混合された注入材を外管より1ショット方式で送るものである。図-IV.5に各機材の配置図を示す。組合せは次の2つの方法がある。

- イ) A材自体が緩結配合であり、これにB材を加えて瞬結配合としたもの。
- ロ) A材を瞬結のときと緩結のときにサクションホースあるいは三方コック等により別々の注入材を送るもの。

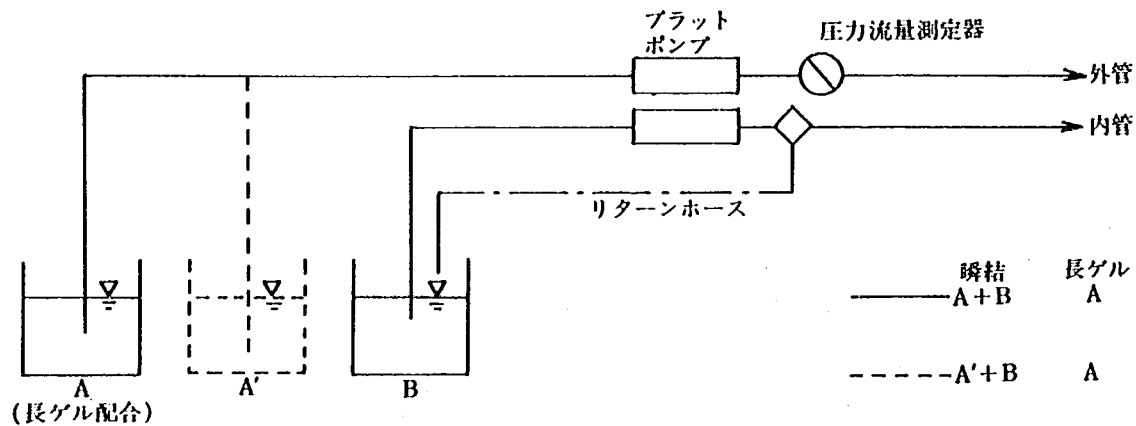


図-IV. 5 2ショット+1ショット方式

2ショット+1ショット方式を用いる場合の留意点として

- ① 瞬結注入終了後、内管の圧力をリターンホースを介して抜く。(内管スライドバルブが上がる)
- ② 内管の圧力が抜けたことを確認したのち、外管だけの注入を行なう。この際内管側はリターンホースにより管内への送液が行なわれないように注意する。
- ③ 瞬結注入と緩結注入の注入速度が異なる場合、圧抜き終了後すみやかに速度をセットする。

などがある。この方式の配合材としては、

{ A : 有機系水ガラス
 B : 酸性シリカゲル

{ A : 懸濁材
 A' : 水ガラス
 B : 無機系瞬結剤

などがあげられる。

6.2 2ショット+1.5ショット方式 (図-IV. 6)

無機系溶液型注入材や懸濁型注入材などゲル化時間があまり長くとれない(1~5分)注入材を用いる場合には、緩結注入を1.5ショット方式で行なう必要がある。

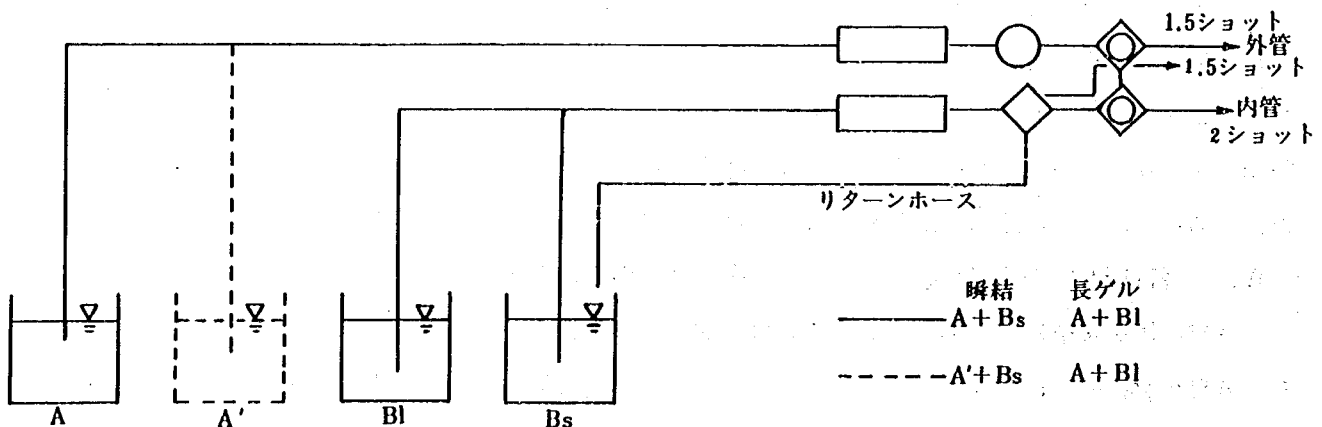


図-IV. 6 2ショット+1.5ショット方式

注入手順は次の通りである。

- ① 外管からA (A') 内管からBs 材を2ショット方式で送り瞬結注入を行なう。
- ② 所定量注入後、内管側の圧力を抜く。
- ③ バルブ①, ②を用いて内管と外管を接続する。
- ④ 外管A材, 内管 Bl 材に切り換えて①バルブをY字管とする1.5ショット方式で緩結注入を行なう。
- ⑤ 注入終了後ステップアップし、バルブを2ショット方式に切り換え、A (A') + Bs の瞬結注入を行なう。
- ⑥ 以上の作業を順次くり返す。

2ショット+1.5ショット方式を用いる際の留意点は、

- ① 瞬結注入終了後の内管側の圧力抜きを充分に行なう。
- ② 瞬結注入から緩結注入に切り換わる際に注入材タンクから切り換えバルブまでの間の内管ホース内にBs 材が入っていると1.5ショット方式で注入を行なう際に瞬結ゲルが生成されホースがつまるおそれがあるので、瞬結注入の最終時にBs 材から Bl 材に切換え、バルブ②までを Bl 材に置き換える。
- ③ Bs 材から Bl 材への注入材の切り換えは、サクションホースを入れ換えることや三方コック等により行なう。
- ④ Bs 材と Bl 材あるいはA材とA'材は両注入材同志では反応しないこと。
- ⑤ 注入終了後は清水により管内を洗浄する。

などである。この方式の配合例として、

$\left\{ \begin{array}{l} A : \text{水ガラス} \\ Bs : \text{無機系瞬結剤} \\ Bl : \text{無機系硬化剤} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} A : \text{水ガラス} \\ Bs : \text{無機系瞬結剤} \\ Bl : \text{懸濁材} \end{array} \right.$
--	---

などがあげられる。

7. その他の注意事項

バイモード工法用モニターは構造上、瞬結注入を行なう際にボーリング水吐出口を閉鎖してしまうので、注入終了後、次の注入地点に移り削孔する前にモニター中のバルブを元の位置にもどしておく。また洗浄は1本の注入終了後必ず行い(通水洗浄でもよい)、バルブの作動を確認後、次の注入に移動する。

なおモニター部品のうちスライドバルブやバネといった消耗品は適時交換する。使用注入材によっては瞬結配合であってもゲル化時間が10~15秒程度となる場合などは、注入中にロッドに沿って注入材がリークすることがあるので、この時は注入を一時中止し、注入材が固まった後注入を再開する。これは最初のステップだけでその後のステップからはリークしなくなる。それでもリークする場合は配合のチェックが必要になる。

8. 分解及び点検(図-IV. 7)

モニターは充分に厳選された材質を使用しているが、くり返し作業していると薬品の附着等が出来てその機能を発揮出来なくなる場合があるので、次の順序で分解清掃、点検を行なう。モニター外管部は5分割されていてすべてネジ接続となっている。クラウン側よりネジ部にNa-1~Na-4とする。Na-1はクラウンの摩耗やチップの脱落がなければ特に分解する必要はない。Na-2, Na-3下段のピストン部、薬品の付着を取り除く、外部の内面はピストンが撓動するため特に注意して清掃する。ピストンロック機構、内管の作動圧力によりロック解除するようになっているがボールの溝の部分に薬液やスライムが付着すると動きが悪くなるので、その場合には抜き出して溝をきれいにして止ネジを少し調整して、手で押してスムーズに動くようにする。ピストンの位置は外管のネジと面が一致するのが正常である。Na-4のネジを切り離し、上段のピストンは内管より押し出す。内管とピストンとの撓動部は特に念入りに清掃するようにする。外管と内管は分離しないこと。その他Oリングの損傷の点検を行ない、損傷していれば交換する。組立てはクラウン側より順次行う。作業終了後は分解水洗いしてネジ部やピストン撓動部にはうすくグリス等を塗り錆を防ぐようにする。特に酸性、アルカリ性の強い薬液を使用の場合には中和剤で完全に中和後、清水で清掃する。

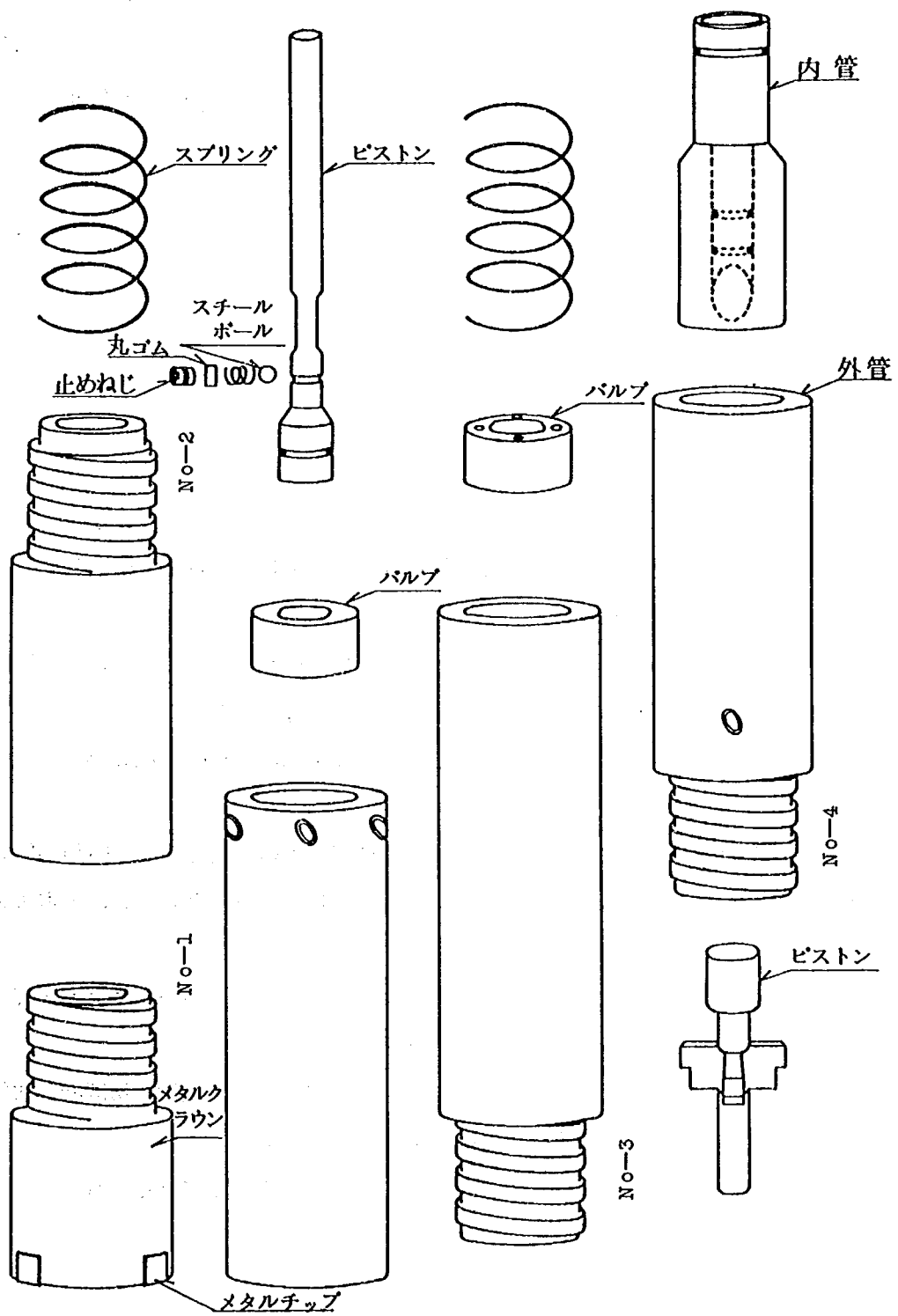


図-IV. 7 モニターの部品

あ と が き

「大型ピット薬液注入実験」から、砂質地盤における各種注入材の固結形状および注入脈状の形態について把握することができ、また、土木研究所で開発した新しい注入工法（バイモード工法）の性能を確認することができた。今後は、これら実験データを活用し、注入効果確認方法の検討に取りくんできたいと考えている。

なお、以下に各実験の担当者を付記しておく。

実験Ⅰ……千田昌平・苗村正三・武田節朗

実験Ⅱ……千田昌平・塚田幸広・武田節朗

実験Ⅲ……嶋津晃臣・塚田幸広・佐々木審

参 考 文 献

- 1) 千田昌平：軟弱地盤改良工法，鹿島出版
- 2) 千田昌平・苗村正三：大型ピットを用いた薬液注入実験，第15回土質工学研究発表会，昭和55年6月
- 3) R. H. Karol: Chemical Grouting Technology, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, January, 1968
- 4) "Grouting of Foundation Sands and Gravels" Technical Memorandum No 3—408, Corps of Engineers, June, 1955
- 5) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト 新地盤改良技術の開発報告書，昭和55年3月
- 6) 国土開発技術研究センター：薬液注入工法の評価と開発に関する研究報告書，土木研究所委託研究報告書，昭和54年3月
- 7) 千田昌平：新地盤改良工法—薬液注入工法及び噴射攪拌工法—，昭和55年度土木研究所講演会講演集，土木研究所資料第1651号，昭和56年3月
- 8) 塚田幸広・千田昌平・小林正毅：注入固結効果の数値化についての試案，第37回年次学術講演概要集，昭和57年10月，土木学会
- 9) 塚田幸広：“暫定指針”以後の薬液注入工法について，基礎工，昭和58年2月

大型ビット薬液注入実験報告書

ISSN 0386-5878

土研資料第1936号

昭和58年3月

施工研究室 嶋津晃臣, 塚田幸広
佐々木 審

キーワード 薬液注入工法, 固結工法, 注入実験,
注入効果, 固結形状

要旨

本報告書は, 新しく開発した薬液注入工法を紹介するとともに,
一連の砂質地盤を対象とした薬液注入実験から得られた各種注入材
の固結性状(主に固結形状)についてとりまとめたものである。