

6. シールド掘進用添加剤の開発 (その1)

浅 田 毅
溝 口 義 弘
原 田 哲 夫*

要 旨

土圧系シールドの添加剤には、粉末粘土、ベントナイトなどの粘土系の材料、気泡、高吸水性樹脂等が挙げられるが、今回、従来のタイプとは違う添加剤「(仮称)加泥剤A」を考案し、現在開発中である。

本報告書は、「加泥剤A」を添加した掘削土の改良効果試験を行ったので、その結果の一部について報告するものである。

キーワード

添加剤／加泥剤A／フォームスチレンビーズ／改良効果試験／流動性／圧縮性

目 次

1. はじめに
2. 試験方法
3. 試験結果
4. まとめ

6. DEVELOPMENT OF AN ADDITIVE USED FOR SHIELD TUNNELING METHOD - NO.1

Tsuyoshi Asada
Yoshihiro Mizoguchi
Tetsuo Harada

Abstract

Earth pressure type shield additives include clay powder, clay materials like bentonite, gas forming agent, and highly water-absorptive foamed resins. We have devised and are now developing "Mud Additive A (tentative)" quite different from conventional products.

We report on the results of the tests we conducted to confirm the effect of improving excavated soil by adding a "Mud Additive A"

* 大阪本店土木部機械課

1. はじめに

土圧系シールドで掘削を行う場合、掘削土は、①チャンバおよびスクリーコンベア内で閉塞することなく一様に混合され、流動性を保つこと、②攪拌が容易に行えるように十分な圧縮性を持つこと、③切羽前面に作用する水圧に抵抗でき、また排出口から土砂が噴出することのないよう、十分な止水性を持つこと等が必要とされる。

したがって、掘進用添加剤は土圧系シールドの掘削土を改良して、主に流動性、圧縮性、止水性を高める性質を備えていなければならない。

現在、開発中の掘進用添加剤（以下、加泥剤Aという）は、フォームスチレンビーズに、添加土を付加したものである。フォームスチレンビーズは、空気を包

含したもので、それ自体圧縮性に富んだ弾性体のような挙動を示し、土粒子間でベアリング効果を発揮して掘削土の流動性、圧縮性を高めるものであり、添加土は粘土を、CMC水溶液で溶解したものであり、高い止水性を有している。

本報告は、山砂に加泥剤Aを添加して行った改良効果試験のうち、流動性、圧縮性を調べる攪拌抵抗試験の方法とその結果について報告するものである。

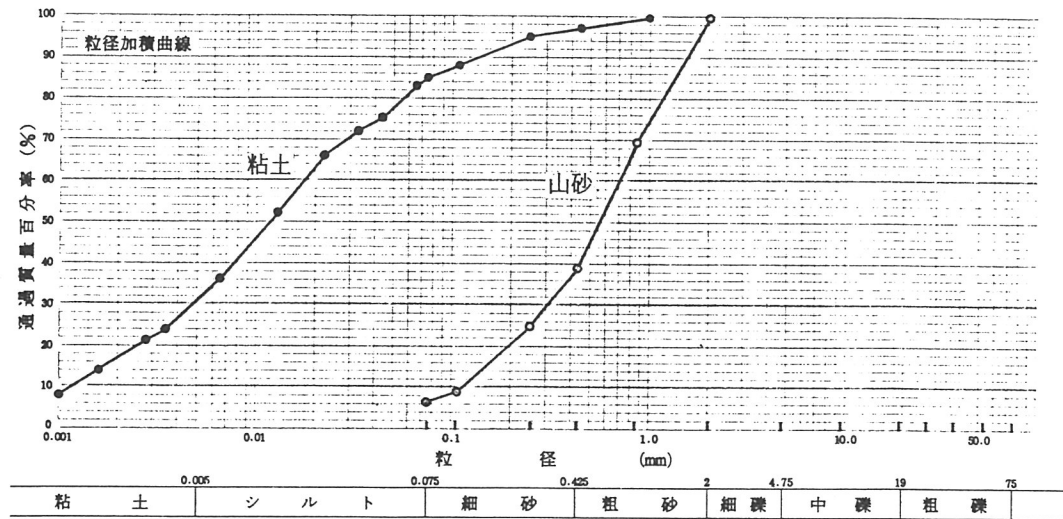
2. 試験方法

2.1 試験材料

試験に用いた材料は、表－1に示すように、大阪府産の山砂，フォームスチレンビーズ，粘土およびCMCである。山砂および粘土の粒径加積曲線を、図－1に示す。山砂は2mmフルイの通過分を使用してい

表－1 試験に用いた材料

No.	試験に用いた材料	日本統一土質分類による分類	粒 度 特 性					比 重	液性限界LL (%)	塑性限界PL (%)
			シルト分 (%)	砂 分 (%)	レキ分 (%)	均等係数U _c	曲率係数U' _c			
①	山 砂	細粒分混り砂 S ～ F	6.3	93.7	——	6.2	0.67	2.620	——	——
②	添 加 土 (粘 土)	細粒土 F	85.8	14.2	——			2.450	53.0	19.6
③	フォームスチレンビーズ	5～8 m/m						0.028		
④	C M C	増 粘 剤								



図－1 山砂および粘土の粒径加積曲線

る。そのうち砂分は93.7%含まれており、比重は2.620である。粘土は岡山県笠岡産の粘土で、液性限界 $L=53.0\%$ 、塑性限界 $PL=19.6\%$ と低塑性で、比重は2.450である。フォームスチレンビーズは、ポリスチレン樹脂を空気によって発泡させて球形に成形したもので、 $\phi 5\text{mm} \sim \phi 8\text{mm}$ である。CMCはメチルセルロース系の増粘剤である。

2.2 試験方法

攪拌抵抗試験装置の全体図を、図-2に示す。

試験は、以下の手順に従って行う。

直径 $\phi 30\text{cm}$ 、高さ 50cm の円形の土槽に試料を入れて、一定の締固めエネルギーで締固める。締固めた試料に所定の空気圧で載荷板を介して拘束圧を加え、油圧モータで攪拌羽根（ $l=22\text{cm}$ 、 $\phi 20\text{mm}$ ）を1分間に一回転させて15分間攪拌する。

試料の攪拌抵抗値（攪拌羽根のトルク）は、図-2に示すように攪拌羽根の芯棒とドライブチェーンで連結されているトルク変換器で測定し、拘束圧による試料の圧縮量および攪拌時の圧縮の変化量を載荷板の上部に取り付けた変位計で測定する。

2.3 試験体

試験体の種類の内容を表-2に示す。試料は、山砂のみケース(A)、（山砂+フォームスチレンビーズ）ケース(B)および（山砂+加泥剤A）ケース(C)の3種類とし、山砂の含水比を3～5種類に変化させた。また、拘束圧は $P=0, 0.5, 1, 2, 4\text{ kgf/cm}^2$ の5種類とした。ケース(B)の場合、山砂とフォームスチレンビーズの混合割合は、体積比で（山砂）：（フォームスチレンビーズ） $=1:0.3$ とし、(C)の場合は、フォームスチレンビーズと添加土をあらかじめ混合して加泥剤Aを作っておき、(B)の場合と同様に（山砂）：（加泥剤A） $=1:0.3$ とした。

3. 試験結果

攪拌抵抗試験の結果を図-3～図-20に示す。

ケース(A-1)～(A-5)について、各拘束圧での攪拌抵抗値を図-3に、各拘束圧での圧縮率を図-4に示す。

ケース(A-1)～(A-4)まで、攪拌抵抗値は、拘束圧が高くなるにつれて、大きな値になっている。ケース(A-5)では、拘束圧が高くなっても横ばい

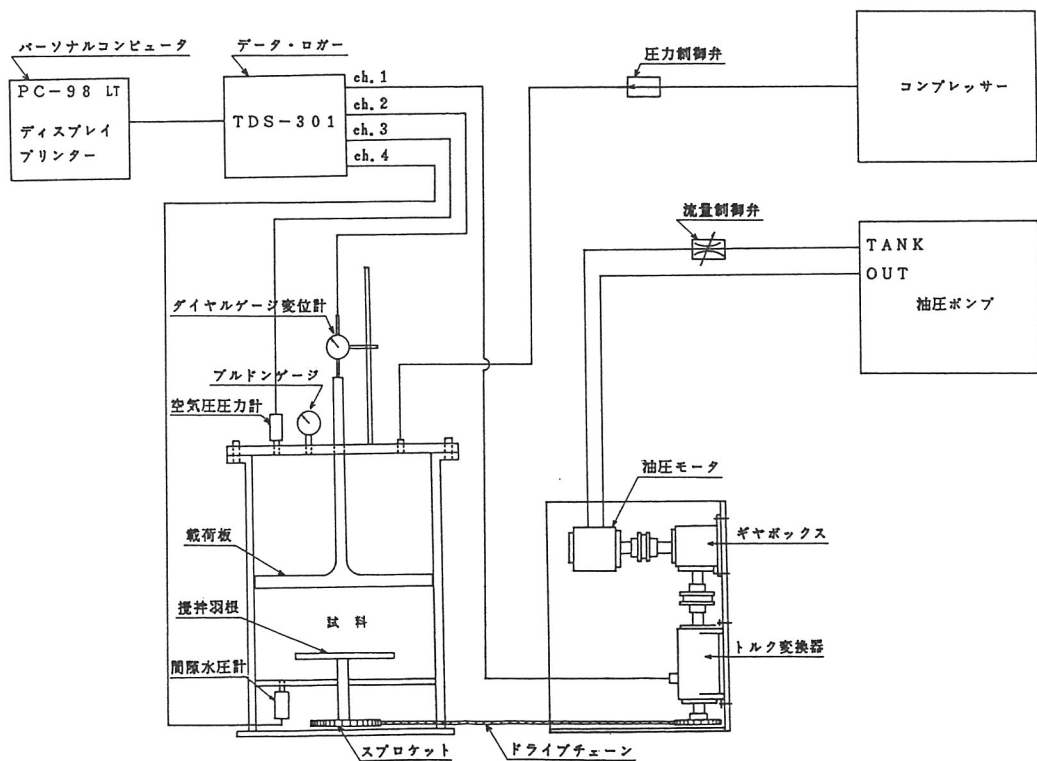


図-2 攪拌抵抗試験装置

の状態となっている。全体的にみると、山砂の含水比が大きくなると撈拌抵抗値は小さくなる傾向にあることが分かる。また、ケース（A－4）の撈拌抵抗値は、（A－3）と比較して大きく変化している。このことから撈拌抵抗値は、山砂の含水比がW=20%とW=25%の間で大きく変化することが認められた。

ケース（A－1）～（A－5）の全ケースにおいて、圧縮率は、拘束圧が高くなるにつれて、 $P_b = 0 \sim 4.7\%$ の範囲で漸増している。また、山砂の含水比が大きくなると、圧縮率も大きくなる傾向にある。

ケース（B－1）～（B－4）における各拘束圧での撈拌抵抗値を図－5に、各拘束圧での圧縮率を図－6に示す。

ケース（B－1）～（B－3）の全ケースとも、撈拌抵抗値は、拘束圧が高くなるにつれて大きな値を示しているが、（B－4）の値は、ほぼ横ばい状態になっている。全体的にみて、山砂の含水比が大きくなると、撈拌抵抗値は小さくなっている。

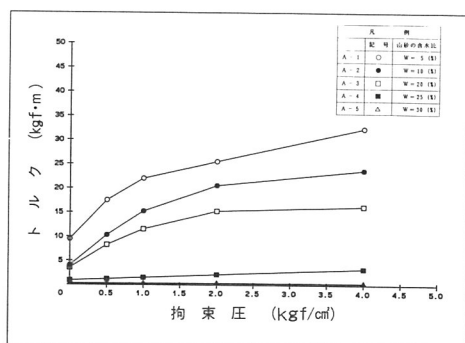
ケース（B－1）～（B－4）まで、圧縮率は、拘束圧が高くなるにつれて大きな値を示している。また、山砂の含水比が大きくなるほど、圧縮率は撈拌抵抗値と同様、大きくなっている。

ケース（C－1）～（C－3）について、各拘束圧での撈拌抵抗値を図－7に、各拘束圧での圧縮率を図－8に示している。

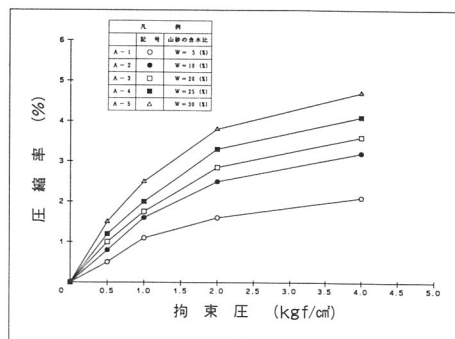
（C－1）の撈拌抵抗値は、拘束圧が高くなると大

表－2 試験体の種類の内容

試 料	試験ケース	山砂の含水比 (%)	拘束圧 (kgf/cm ²)	混合割合（体積比） 山砂の体積を1として
山砂のみ	A	A－1 W＝5	0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0	――
		A－2 W＝10	〃	――
		A－3 W＝20	〃	――
		A－4 W＝25	〃	――
		A－5 W＝30	〃	――
山 砂 ＋ フォーム スチレン ビーズ	B	B－1 W＝5	〃	1：0.3
		B－2 W＝15	〃	1：0.3
		B－3 W＝20	〃	1：0.3
		B－4 W＝30	〃	1：0.3
山 砂 ＋ 加泥剤A	C	C－1 W＝5	〃	1：0.3
		C－2 W＝10	〃	1：0.3
		C－3 W＝20	〃	1：0.3



図－3 拘束圧と最大トルクの関係
（山砂のみ：ケースA）



図－4 拘束圧と最大圧縮率の関係
（山砂のみ：ケースA）

きくなっているが、ケース（C-2），（C-3）の値は、ほぼ横ばい状態になっている。

ケース（C-1）～（C-3）の全ケースにおいて、圧縮率は拘束圧が高くなるにつれて大きな値を示しており、山砂の含水比が低いほど、圧縮率は大きくなっている。

図-9は、含水率比が $W=5\%$ の山砂について、ケース（A-1），（B-1），（C-1）の撈拌抵抗値を示している。（C-1）の値が他のケースに比べ、最小の値となった。

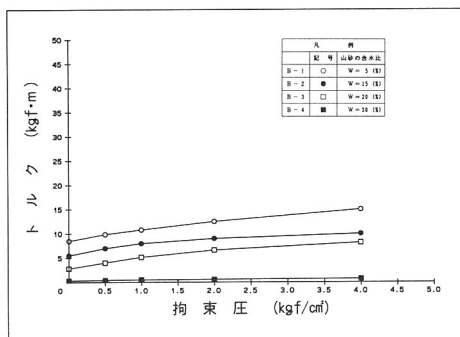


図-5 拘束圧と最大トルクの関係
(山砂+ビーズ：ケースB)

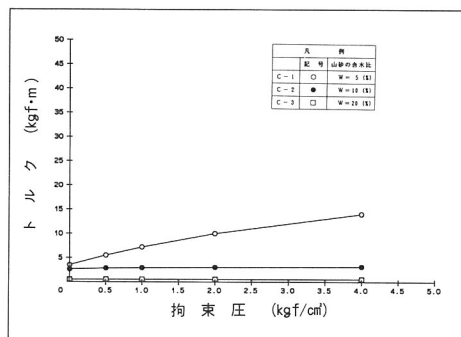


図-7 拘束圧と最大トルクの関係
(山砂+加泥剤A：ケースC)

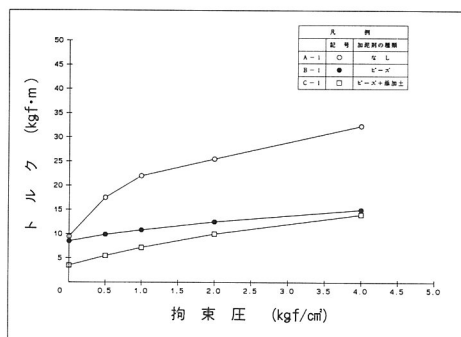


図-9 拘束圧と最大トルクの関係
(山砂の含水比 $W=5\%$)

図-10は、図-9で示す3ケースについて、ケース（A-1）の各拘束圧での撈拌抵抗値でケース（B-1），（C-1）の各拘束圧での撈拌抵抗値を除した値を示している。

この図をみると、ケース（C-1）の撈拌抵抗値がケース（A-1）の0.3～0.43倍の値になっており、山砂の流動性は大きく改良されていることが分かる。ケース（B-1）の撈拌抵抗値は、拘束圧が $P=0$ kgf/cm^2 の場合を除けば（A-1）の0.56～0.46倍の値を示しており、拘束圧が $P=4$ kgf/cm^2 では（C-1）

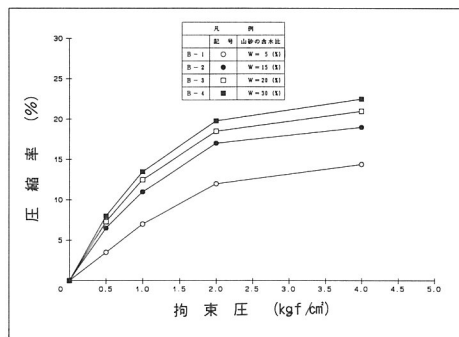


図-6 拘束圧と最大圧縮率の関係
(山砂+ビーズ：ケースB)

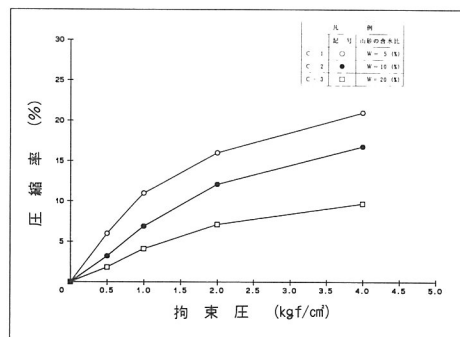


図-8 拘束圧と最大圧縮率の関係
(山砂+加泥剤A：ケースC)

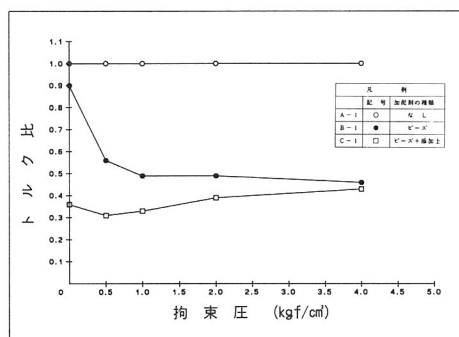


図-10 拘束圧とトルク比の関係
(山砂の含水比 $W=5\%$)

の値と同程度の値になっている。

図-11は、含水比が $W = 5\%$ の山砂について、ケース（A-1）、（B-1）、（C-1）の圧縮率を示している。

ケース（C-1）の圧縮率が他のケースに比べ、最大の値である。

図-12は、図-11の3ケースについて、ケース（A-1）の各拘束圧での圧縮率で、ケース（B-1）、（C-1）の各拘束圧での圧縮率を除いた値を示したものである。この図からケース（C-1）の圧縮率は（A

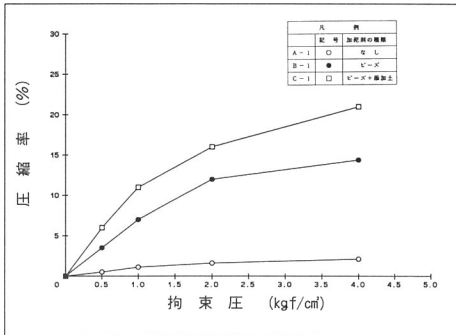


図-11 拘束圧と最大圧縮率の関係
(山砂の含水比 $W = 5\%$)

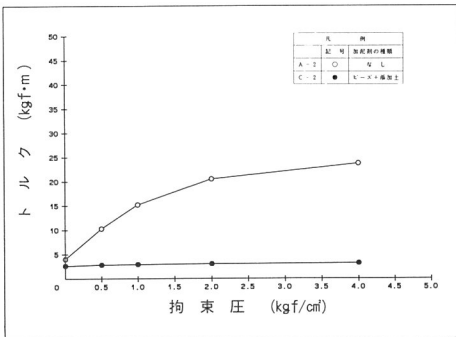


図-13 拘束圧と最大トルクの関係
(山砂の含水比 $W = 10\%$)

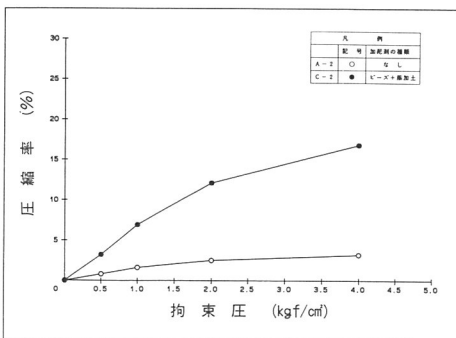


図-15 拘束圧と最大圧縮率の関係
(山砂の含水比 $W = 10\%$)

-1)の10~12倍の値となっており、ケース（B-1）の圧縮率は（A-1）の6.5倍~7.5倍の値になっている。このことから、ケース（C-1）、（B-1）とも山砂の圧縮性が大きく改良されていることが分かる。

図-13は、含水比が $W = 10\%$ の山砂について、ケース（A-2）、（C-2）の撈拌抵抗値を示している。ケース（C-2）の撈拌抵抗値は、拘束圧が高くなるとケース（A-2）の撈拌抵抗値に比べ、小さくなっている。

図-14は、図-13の2ケースについて、ケース（A

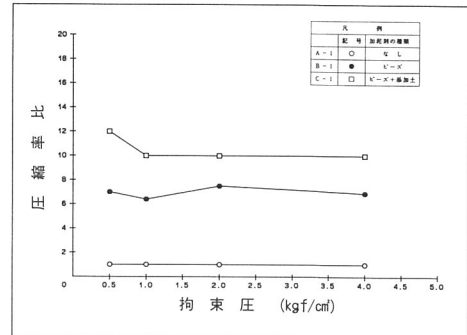


図-12 拘束圧と圧縮率比の関係
(山砂の含水比 $W = 5\%$)

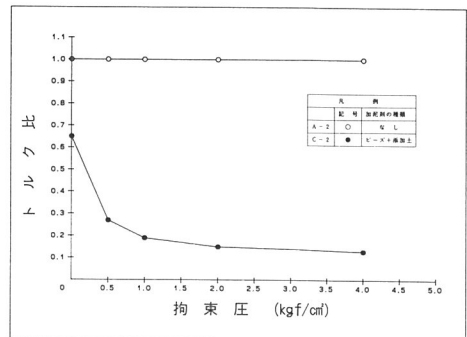


図-14 拘束圧とトルク比の関係
(山砂の含水比 $W = 10\%$)

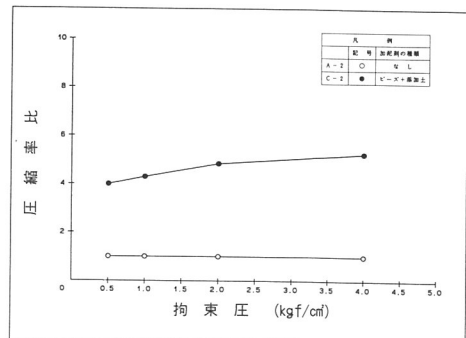


図-16 拘束圧と圧縮率比の関係
(山砂の含水比 $W = 10\%$)

ー２)の各拘束圧での撈拌抵抗値で、(C-2)の各拘束圧での撈拌抵抗値を除した値を示したものである。

ケース(C-2)の撈拌抵抗値は、(A-2)の値の0.55~0.13倍を示しており、中でも拘束圧が $P=1.0 \sim 4.0 \text{ kgf/cm}^2$ では、(A-2)の値の0.18~0.13倍であり、山砂の流動性が大きく改良されていることが分る。

図-15は、含水比が $W=10\%$ の山砂について、ケース(A-2)、(C-2)の圧縮率を示したものである。ケース(C-2)の圧縮率は、拘束圧が高くなると、撈拌抵抗値と同様に、(A-2)の圧縮率に比べ、大きくなっている。

図-16は、図-15の2ケースについて、ケース(A-2)の各拘束圧での圧縮率で、(C-2)の各拘束圧での圧縮率を除した値を示したものである。(C-2)の圧縮率は、(A-2)の圧縮率の4.0~5.2倍となっており、山砂の圧縮性が改良されていることが分かる。

図-17は、含水比が $W=20\%$ の山砂について、ケース(A-3)、(B-3)、(C-3)の撈拌抵抗値を示したものである。

(C-3)の各拘束圧での撈拌抵抗値が、他のケースに比べ、最小の値となっている。また、ケース(A-

3)、(B-3)の撈拌抵抗値は、拘束圧が高くなると漸増しているが、ケース(C-3)の撈拌抵抗値は横ばい状態となっている。

図-18は、図-17の3ケースについて、(A-3)の各拘束圧での撈拌抵抗値で、ケース(B-3)、(C-3)の各拘束圧での撈拌抵抗値を除した値を示したものである。

ケース(C-3)の撈拌抵抗値は、(A-3)の値の0.15~0.04倍であり、拘束圧が $P=1.0 \text{ kgf/cm}^2$ 以上ではケース(A-3)の値の0.04倍となっている。ケース(B-3)の撈拌抵抗値は、(A-3)の撈拌抵抗値の0.8~0.45倍となっている。ケース(B-3)、(C-3)の場合とも山砂の流動性が改良されていることがわかる。図-19は、含水比が $W=20\%$ の山砂について、ケース(A-3)、(B-3)、(C-3)の圧縮率を示したものである。

ケース(B-3)の圧縮率が、他のケースと比べ、最大の値を示している。

図-20は、図-19の3ケースについて、ケース(A-3)の各拘束圧での圧縮率で、ケース(B-3)、(C-3)の各拘束圧での圧縮率を除した値を示した

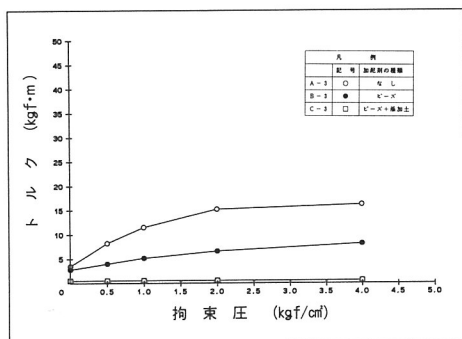


図-17 拘束圧と最大トルクの関係
(山砂の含水比 $W=20\%$)

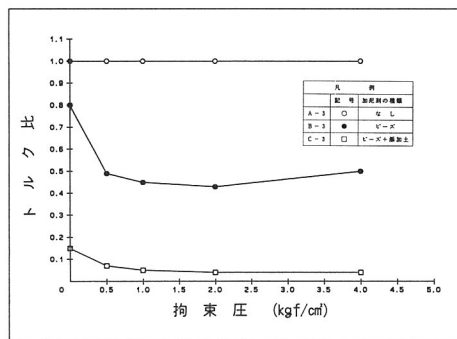


図-18 拘束圧とトルク比の関係
(山砂の含水比 $W=20\%$)

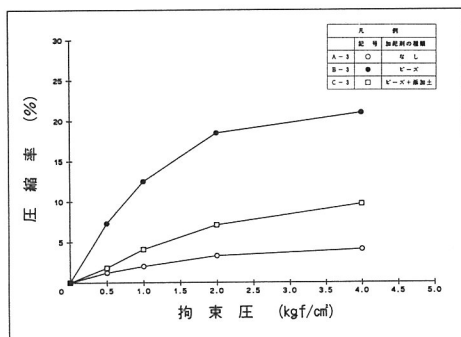


図-19 拘束圧と最大圧縮率の関係
(山砂の含水比 $W=20\%$)

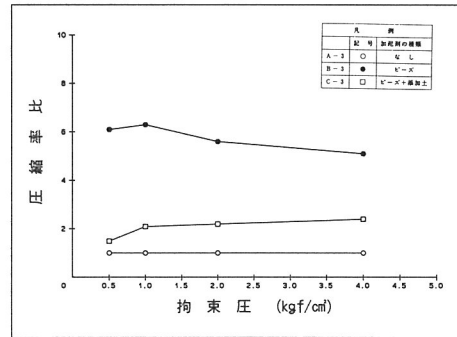


図-20 拘束圧と圧縮率比の関係
(山砂の含水比 $W=20\%$)

ものである。

ケース（C－3）の圧縮率は、（A－3）の値の1.5～2.4倍である。また、ケース（B－3）の圧縮率は（A－3）の値の6.1～5.1倍であり、（C－3）の値の4.1～2.1倍になっている。

4. まとめ

山砂を試料土として、フォームスチレンビーズを用いた加泥剤Aを添加した掘削土の改良効果試験を行った結果、以下のことが確認された。

- ① 加泥剤Aを添加した山砂は、添加しなかった山砂に比べ、流動性、圧縮性が大幅に改良されている。特に拘束圧が高くなってくると、その傾向が大きい。
- ② フォームスチレンビーズを単体で添加した山砂は、加泥剤Aを添加した山砂ほどではないが、添加しなかった山砂に比べ、流動性、圧縮性が改良されている。山砂の含水比によっては、圧縮性の点で加泥剤Aを添加した山砂より改良度が大きくなっている。
- ③ 山砂の流動性、圧縮性は、山砂の含水比によって大きく影響され、山砂の含水比が高くなると両方とも、大きくなる。

フォームスチレンビーズは圧縮性に富み、復元力があって、疎水性の材料で、土砂に混ぜると流動性と圧縮性を高める働きがある。今後、この加泥剤Aの止水性を確認するため、透水試験を行うとともに、加泥剤Aを砂礫土に添加したときの改良効果試験を行い、加泥剤Aの実用化をめざしたいと考えている。

最後に、本試験を行うにあたり、いろいろと御指導いただいた（財）大阪土質試験所の岩崎好規所長、坂元稔副所長と、アドバイスをいただいた当社大阪本店土木部技術企画課の各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) フォームスチレンビーズを用いた加泥剤の掘削土の改良効果試験報告書
財団法人 大阪土質試験所 S. 62. 3
- 2) 一長距離・カーブ推進―最近の技術的動向―
日本プロジェクト・リサーチ S. 58.11.16
- 3) “最近の土圧系シールド”（掘削用添加剤併用方式）―技術的動向と課題―
日本プロジェクト・リサーチ S. 59. 4. 3
- 4) 長距離推進の計画と実施例
日本プロジェクト・リサーチ S. 60.11.18
- 5) 掘進用添加剤の計画と実施例
日本プロジェクト・リサーチ S. 61. 7.14
- 6) “最近の推進工法”その新技術と実施例
日本プロジェクト・リサーチ S. 61.10.29
- 7) 土圧系シールドの“可能性と問題点”
日本プロジェクト・リサーチ S. 62.12. 2