

運輸省港湾技術研究所

港湾技術研究所 報告

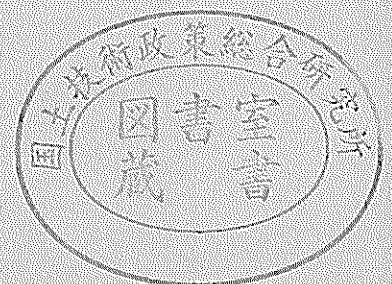
REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 13

NO. 2

JUNE 1974

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第13巻 第2号 (Vol. 13, No. 2), 1974年6月 (June 1974)

目 次 (CONTENTS)

1. 石灰による深層混合処理工法 (第3報)
… 奥村樹郎・寺師昌明・光 本 司・吉田富雄・渡辺光男…… 3
(Deep-Lime-Mixing Method for Soil Stabilization (3rd Report)
…………… Tatsuro OKUMURA, Masaaki TERASHI, Tsukasa MITSUMOTO,
Tomio YOSHIDA and Mitsuo WATANABE)
2. 軽量ブロックによる土圧低減工法…………… 善 功 企・沢口正俊・
中瀬明男・高橋邦夫・篠原邦彦・橋本光寿…… 45
(A Method to Decrease Active Earth Pressure by Applying the Light-weight Blocks
as Back-filling
…… Kouki ZEN, Masatoshi SAWAGUCHI, Akio NAKASE, Kunio TAKAHASHI,
Kunihiko SHINOHARA and Kouji HASHIMOTO)
3. 砂層の振動性状…………… 荒井秀夫・岩淵守義・中沢定男・北島誠治…… 65
(Vibrational Properties of Sand Layers
…………… Hideo ARAI, Moriyoshi IWABUCHI, Sadao NAKAZAWA and
Seiji KITAJIMA)

2. 軽量ブロックによる土圧低減工法

善 功 企*・沢口正俊**・中瀬明男***
高橋邦夫*・篠原邦彦*・橋本光寿*

要 旨

矢板壁などの裏込め材として、単位重量の小さな軽量体を用いて、壁体に作用する主働土圧を低減する工法について報告する。実験に使用した軽量体は、セメントモルタルと発泡スチロールからなる軽量コンクリートで、その飽和単位体積重量は、ほぼ 1.0 t/m^3 となるように製造管理されている。用いる軽量体の形状については、粒形、矩形ブロック、版などが考えられるが、現場での施工性や軽量コンクリートの製造コストなどを考慮すると、矩形ブロックを適用した方が有利であることから、矩形軽量ブロック（幅 43 cm、高さ 43 cm、長さ 60 cm）を用いて実験を行なった。実験は次の2つのケースについて実施した。(1) 裏込めが砂のみの場合。(2) 裏込めが軽量ブロックと砂の場合。これらの実験結果から、軽量ブロックを裏込めに用いることによって、壁体に加わる主働土圧の大幅な低減が可能であることが明らかとなった。

* 土質部 基礎工研究室

** 土質部 基礎工研究室長

*** 土質部長

2. A Method to Decrease Active Earth Pressure by Applying the Light-weight Blocks as Back-filling

Kouki ZEN*

Masatoshi SAWAGUCHI**

Akio NAKASE***

Kunio TAKAHASHI*

Kunihiko SHINOHARA*

Kouji HASHIMOTO*

Synopsis

This paper describes a method to decrease active earth pressure acting on the sheet pile walls by applying light-weight material as back-filling. As light-weight back-filling material, the light-weight concrete which consists of cement mortal and bubbled polystyren was used in tests, and its density was nearly 1.0 t/m^3 in saturated condition. Being considered to use three forms of light-weight concrete like as grain type, block type or plank type, it is profitable to apply block type, because the production cost of light-weight blocks becomes cheaper than the others and the execution of work in field is easier. So the experiments were performed by using rectangular blocks (43 cm width, 43 cm height, 60 cm length) and were carried out in following two cases of back-filling condition: (1) back-filling is filled with only sand, (2) back-filling is filled with the light-weight blocks and sand. In comparison with these test results it was found that applying the light-weight blocks as back-filling in stead of sand was very effective to decrease active earth pressure.

* Member of the Foundations Laboratory, Soils Division

** Chief of the Foundations Laboratory, Soils Division

*** Head of the Soils Division

目 次

要 旨	45
1. ま え が き	49
2. 軽量体による土圧低減工法	50
2.1 理論式の適用	50
2.2 軽量体（セメントフォーム）の特性	51
2.3 軽量体の適用方法と土圧低減効果	52
3. 実験概要	54
3.1 軽量体（セメントフォーム）	54
3.2 裏込め砂	55
3.3 大型土圧実験槽および装置	55
3.4 実験方法	55
4. 実験結果および考察	56
5. む す び	58
参考文献	58
記号一覧表	58
付 録	60

1. ま え が き

擁壁や矢板壁などの設計において、その安定を検討するさいに、壁体に作用する外力のうち、主働土圧の大きさは、できるだけ小さくしたほうが壁体の安定にとって有利である。

一般に、壁体に作用する土圧強度および土圧分布におよぼす支配的な要因として、裏込め材の

- (1) 単位体積重量
- (2) 粒径・粒度分布
- (3) 内部摩擦角
- (4) 粘着力
- (5) 壁面との摩擦角

があげられる。また、壁体の構造的な要因として

- (6) 壁体の剛性
- (7) 壁体の形状
- (8) 壁体の変位様式
- (9) 排水状況の良否

などがある。単位体積重量は裏込めの自重、粒径・粒度分布は排水性、内部摩擦角・粘着力は裏込めの強度、壁面の摩擦角は土圧の作用線の傾きに影響する。また、壁体が矢板のようなたわみ性壁と、重力壁のような剛性壁とでは、土圧の分布状況に著しい違いがあり、壁体の変位様式の違いによっても、土圧分布が異なってくる。

壁体に作用する主働土圧の算定は、実験的に行なうか、Coulomb または Rankine の土圧理論によって行なうが、理論的に土圧を求めようとする場合には、壁体の形式、壁面の水平面からの傾き、裏込め断面の形状、壁面の摩擦角などの条件によって、Coulomb の土圧論か Rankine の土圧論を適用する。主働土圧の大きさ P_A は、裏込め地表面が水平となす角 β 、壁面が鉛直となす角 ϕ 、壁面摩擦角 δ として、Coulomb の式によると、砂質土について、

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 \times \frac{\cos^2(\phi - \psi) \cos \psi}{\cos^2 \psi \cos^2(\delta + \phi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \phi) \cos(\phi - \beta)}} \right]^2} \quad (1)$$

で与えられる。 β, ϕ, δ が 0 のとき、Rankine の式によると、粘着力を有する土に対して、

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) - 2cH \tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2)$$

で与えられる。ここで γ : 裏込め材の単位体積重量、 ϕ : 裏込め材の内部摩擦角、 c : 裏込め材の粘着力、 H : 壁高である。

上式において、主働土圧強度に影響する γ, ϕ, c, δ などの要因が相互に独立ならば、単位体積重量の減少および内部摩擦角、粘着力、壁面摩擦角の増大は、主働土圧の減少をもたらすが、実際には、これらの要因は互に密接な関連があり（たとえば、間げき比と内部摩擦角は逆比例するといったような）、個々の要因だけを取上げて土圧の増減を論じることではできない。壁体に作用する土圧を低減するためには、これらの要因相互間の適切な改善が必要である。

一般に行なわれている主働土圧を減少させる方法をいくつかあげれば、次のものがある。

(1) 排水工を設ける方法

これは、壁体背後の裏込めの含水比の増加による裏込め重量の増加、裏込め材の強度低下を防止し、さらに、浸透圧、静水圧による土圧の増大を防ぐ目的で、裏込め地表面や、裏込め中に排水設備を設けるもので、擁壁ではドレーンの形式によって簡易排水工、みぞ形排水工、連続背面排水工、傾斜排水工がある。また、矢板岸壁などでは、残留水位をさげる目的で Weepholl, Flap valve を設けることがある。

(2) 良質の裏込め材を用いる方法(裏込め効果)

重力壁などの裏込めの一部に、砕石、割栗などのかみ合せの大きな材料を用いることによって、内部摩擦角の増大、透水性の増大をもたらす、主働土圧を減少させる方法である。用いられた砕石、割栗の裏込め形状が長方形で、裏込め幅が壁高より大きいとき、また、裏込め形状が三角形で、斜面と水平面となす角が裏込め材の安息角以下のときには、壁体背後がすべて砕石、割栗で満たされた場合と同様に取扱われ、それらによる内部摩擦角、透水性の増大にともなう土圧の低減が可能である。

(3) 壁体の背後にアンカー、控え杭、控え版を設置する方法

これは壁面に作用する土圧を減少させる方法ではないが、一種の土圧対策として、壁体背後にアンカー、控え杭、控え版などを設けて、壁体に作用する土圧に抵抗す

る方法である。

上述の例のように、裏込め材の物理的条件（単位体積重量、粒径粒度分布）や力学的条件（内部摩擦角、粘着力、壁面摩擦角）および壁の構造的條件（排水工、壁体の剛性・形状）などを適切に改善することによって、壁体に作用する土圧を減少させることが可能である。

ここで述べる軽量体を用いた土圧低減工法についての基礎的研究は、上述の土圧強度、土圧分布に影響する種々の要因のなかで、特に裏込め材の単位体積重量に着目し、この値の減少が土圧低減に与える効果について調べたものである。

2. 軽量体による土圧低減工法

2.1 理論式の適用

自然地盤や盛土などを切取り、壁体を設けてその裏込めに異なった種類の土を裏込めた場合や、矢板壁の背後に良質の裏込め材を埋戻した場合に、壁体に作用する土圧は、裏込め形状によって異なり、裏込め形状は図-1、図-2 に示すように二つのケースが考えられる²⁾。図-1 (a) (b) は壁体後趾から埋戻し土砂が傾斜している場合、図-2 は埋戻し土砂が直立している場合である。これらの場合の土圧を求めると、図-1(a) に示されるよう

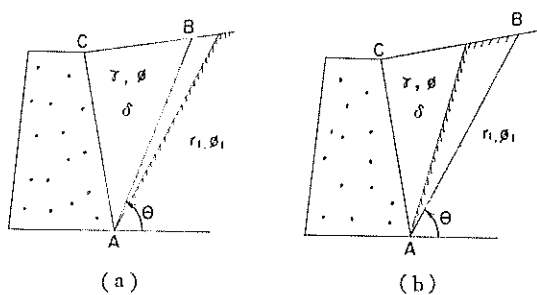


図-1

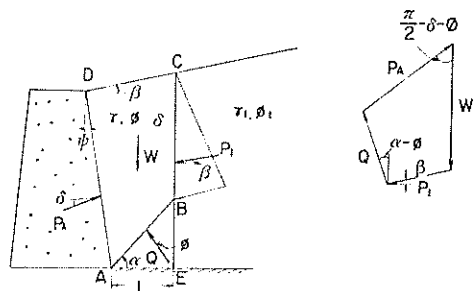


図-2

にすべり面が裏込め中に存在する場合には、埋戻し土砂に無関係に、壁体背後がすべて裏込め材のみによって埋戻されたと考えたときの土圧式(1)に等しい。図-1(b)のように無限斜面について Rankine の塑性理論から求められたすべり面の水平となす角が埋戻し土砂の勾配より小さいとき（すべり面が埋戻し土砂中に存在する場合）には、実用的に、壁体背後がすべて裏込め材で埋戻されたときの土圧と、壁体背後がすべて埋戻し土砂による土圧を、埋戻し土砂断面の傾き θ に比例して配分する。図-2 に示されるように、埋戻し土砂が壁体後趾から離れて直立している場合には、壁体後趾 A を通って、水平面から α の任意のすべり面 AB を描き、すべり面に働く反力を Q とする。面 BC には、埋戻し土砂による土圧 P_1 が作用し、四辺形の自重 W 、壁面の主働土圧 P_A とすると、

$$P_1 = \frac{1}{2} \gamma_1 K_{A1} \{ H(1 + \tan \phi \tan \beta) + L(\tan \beta - \tan \alpha) \}^2 \quad (3)$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left\{ \tan \phi + 2 \frac{L}{H} + \left(\frac{L}{H} + \tan \phi \right)^2 \tan \beta - \left(\frac{L}{H} \right) \left(\tan \phi + 2 \frac{L}{H} \right) \tan \alpha \right\} \quad (4)$$

$$BC = H(1 + \tan \phi \tan \beta) + L(\tan \beta - \tan \alpha) \quad (5)$$

ここで、

$$K_{A1} = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_1}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi_1}} \quad (6)$$

となる。四辺形 ABCD のつりあいから

$$P_A = \frac{W \sin(\alpha - \phi) + P_1 \cos(\beta + \phi - \alpha)}{\cos(\phi - \alpha + \delta + \phi)} \quad (7)$$

ただし、

$$\tan \phi < \tan \alpha < \frac{H}{L} (1 + \tan \beta \tan \phi) \quad (8)$$

上式を α で微分するか、または、図解法によって P_A の最大値を求めると、そのときの P_A の値が壁面に作用する主働土圧となる。ここで、 K_{A1} : 埋戻し土砂の主働土圧係数、 β : 裏込め地表面が水平となす角、 ϕ : 壁背面が鉛直となす角、 δ : 壁面摩擦角、 ϕ, ϕ_1 : 裏込め材および埋戻し土砂の内部摩擦角、 γ, γ_1 : 裏込め材および埋戻し土砂の単位体積重量、 H : 壁高である。式(1)、式(7)において、裏込め材の内部摩擦角が同じであれば、単位体

積重量の小さな材料を選んだ方が、主働土圧は小さくなる
ことが明らかであるが、上記の条件を満足する裏込め
材として軽量体（セメントフォーム）があげられる。

2.2 軽量体（セメントフォーム）の特性

粒径 10mm 程度の破砕スチロフォーム屑もしくは発
泡スチロフォームを、セメントペーストと混合したも
の、セメントペーストの量によって、理論的には、スチ
ロフォームの比重 0.02 からセメントペーストの比重 2.0
の範囲の任意の値を選びうるが、強度的制約から公称比
重 0.4 以上のセメントフォームを使用することが考えら
れる。また、乾燥単位体積重量に相当する実測気乾比重
 ρ は、公称比重 ρ_0 に対して、 $\rho = \rho_0 + (0.1 \sim 0.2)$ の範
囲で製造管理されている。形状・寸法については、一般
のコンクリート同様に、型枠製法によって任意のもの
が可能であるが、実際の使用にあたっては、レキなどのよ
うな粒形、大型の矩形ブロック形、版などにして用い
ることが考えられる。

図-3 はセメントフォームの吸水量比重の関係を示す。
公称比重 0.4, 0.6 のセメントフォームは5~10分間で

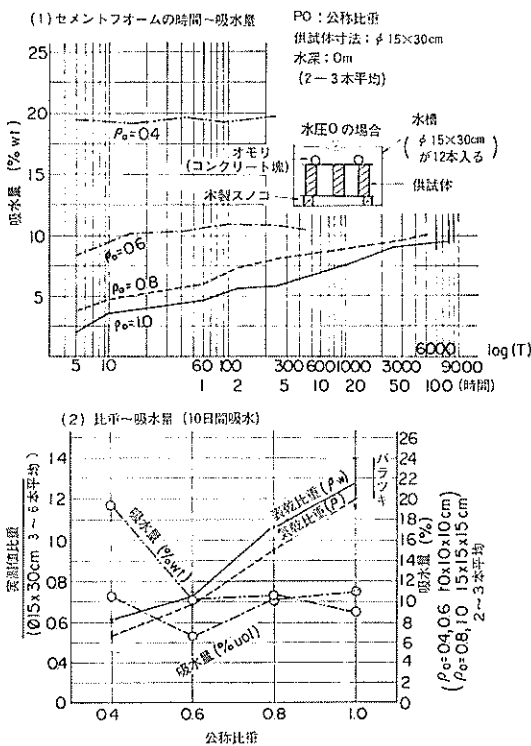


図-3 セメントフォームの時間-吸水量と比重-吸水量

完全飽和状態に達し、吸水量はそれぞれ 20%wt, 10%wt
程度であるが、公称比重 0.8, 1.0 では完全飽和状態に
いたるまで5日間以上を要する。そのときの吸水量は重
量の約 10% 程度であるから、排水の良好な壁体の裏込
め材としてセメントフォームを用いた場合に、短期間
における裏込め飽和による裏込め自重の増大は、約10%程
度であろう。また、公称比重 0.8 の矩形軽量ブロック
(43 cm \times 43 cm \times 60 cm) の長期間 (30 および 60 日間) の
水浸試験の結果、吸水量は 16~17%wt であった。図-4
は圧縮強度、せん断強度、曲げ強度を示す。セメント
フォームの特性として、曲げ強度、せん断強度が相対的に
大きく、曲げ強度 \geq せん断強度 \approx (1~1/3) 圧縮強度の関
係にあり、公称比重 0.4 においても 4~6 kg/cm² 程度
の曲げ強度が確保できる。表-1 は粒径 20mm, 50mm の
セメントフォームの安息角測定結果である。測定結果に
はかなりのばらつきがあるが、平均的な値を示す。表-2
にセメントフォームのヤング率、ポアソン比、最大伸

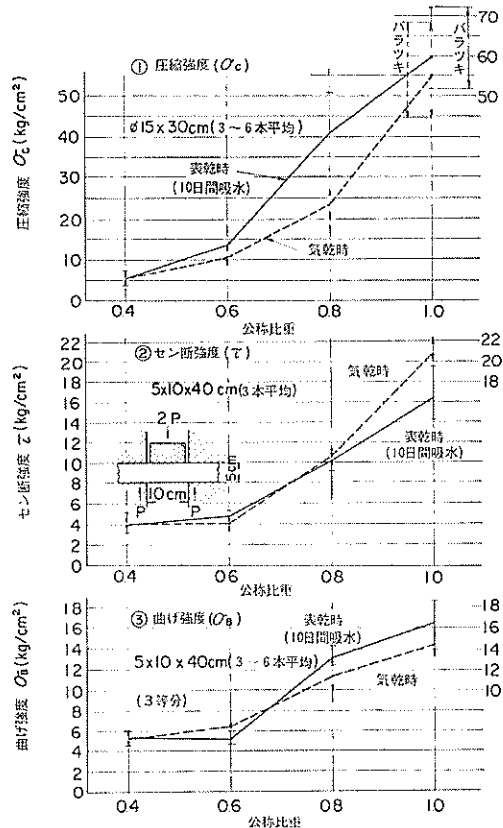


図-4 セメントフォームの比重と強度

表-1 安 息 角

粒 径	気 乾 状 態	表 乾 状 態
20 mm	35°	37°
50 mm	40°	39°

びひずみ、最大たわみ比などの変形特性をあげる。ヤング率は圧縮時および曲げ載荷時の応力-ひずみ関係、荷重-たわみ関係の両方から算定した値を示す。測定法によってかなり差があるが公称比重の増大に比例して大き

くなる傾向にある。ポアソン比は公称比重に関係なく0.16~0.27の範囲の値をとり、表乾状態に比較し、気乾状態の値はやや小さい。その他の特性については、付録に示す。

2.3 軽量体の適用方法と土圧低減効果

裏込め材に軽量体を用いるときの形状として、粒形、大型矩形ブロック、版などがあり、壁体背後の裏込め形式についても、三角形、長方形、逆三角形、埋戻し土砂と互層に軽量体を用いるなど種々考えられる。また、岸壁のように裏込めが水浸状態の場合には、軽量体が浮き上らないように単位重量を選ぶなど、軽量体の単位重量

表-2 セメントフォームの変形特性

		φ 15×30 cm 圧縮時 (1/3 σ _c)				
		気 乾 状 態			表 乾 状 態	
公 称 比 重 (ρ ₀)	比 重	ヤング率 E (×10 ³ kg/cm ²)	ポアソン比 ν	比 重	ヤング率 E (×10 ³ kg/cm ²)	ポアソン比 ν
0.4	0.51~0.55	7.6	0.16	0.60~0.61	5.6~8.9	0.16~0.26
0.6	0.66~0.69	10.4~11.2	0.18~0.19	0.74~0.75	13.0~16.0	0.24~0.27
0.8	0.96~0.99	41.7	—	1.06~1.08	30.0	0.23
1.0	1.20	56.4~80.0	0.10~0.23	1.21~1.30	56.0~58.0	0.17~0.19

		5×10×40 cm (3等分点曲げ載荷時)						
		気 乾 状 態			表 乾 状 態			
公 称 比 重 (ρ ₀)	ヤング率: E		ε max (×10 ⁻⁶)	δ max/l (×10 ⁻³)	ヤング率: E		ε max (×10 ⁻⁶)	δ max/l (×10 ⁻³)
	$\frac{\sigma-\epsilon}{\times 10^3}$ (kg/cm ²)	$\frac{p-\delta}{\times 10^3}$ *			$\frac{\sigma-\epsilon}{\times 10^3}$ (kg/cm ²)	$\frac{p-\delta}{\times 10^3}$ *		
0.4	1.7~2.5	2.8~5.0	3,340~6,100	2.7~4.1	2.7~3.6	2.5~3.4	1,590~2,150	2.6~4.7
0.6	3.3~4.7	4.0~4.4	1,110~2,940	2.3~2.8	7.5~8.3	2.8~3.3	480~1,150	2.0~3.9
0.8	13.9~20.8	8.0~13.2	530~1,450	1.1~1.6	31.7	22.3	390	0.9
1.0	30.3~50.0	19.9~33.8	400~500	0.5~1.6	41.6	23.8	380	0.6

* δ: 1/3 δ max 算定式……δ = $\frac{P' \cdot b'}{48 E \cdot I} (3l^2 - 4b^2) \left[b'; \frac{2}{3}l \quad P'; \frac{P}{2} \quad I; \frac{bh^3}{12} \right]$

についての考慮も必要である。軽量体の形状の違いによる裏込め特性の最大の相違点は、粒形の場合にはその内部摩擦角が期待できる点である。以下に形状の異なる種類の軽量体の適用方法について述べる。

(1) 粒形の軽量体 (図-5 (a), (b))

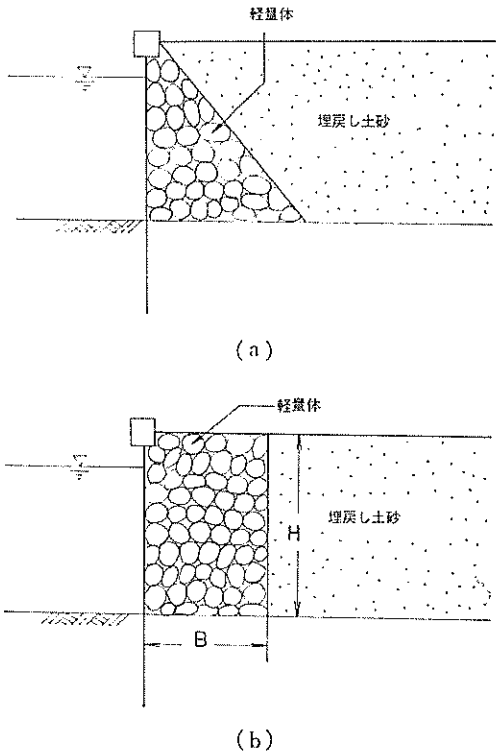


図-5 粒形軽量体の適用方法

粒径が大きくなると内部摩擦角の決定が困難であるが、低拘束圧下においては、粗粒材の内部摩擦角は安息角より大きいことが報告されている⁴⁾から、表-1より50mm粒径の軽量体の内部摩擦角は、39°より大きいことが推測される。したがって、重力壁などの裏込め材として用いられている砕石・割栗・鋳滓などの裏込め効果と類似の効果が期待され、さらに、軽量体の自重は非常に小さいことから、粒形の軽量体を裏込め材として使用することにより主働土圧の低減が可能である。裏込め材に粒径のセメントフォームを用いた場合の理論式による土圧低減量を計算する。セメントフォームの飽和単位重量を0.6t/m³、内部摩擦角を安全側にとって安息角に等しく39°とする。また、埋戻し土砂の単位重量を1.7t/m³、内部摩擦角35°とする。図-1(a)のケースで

は、主働土圧は式(1)で与えられるが、簡単のために、 $\beta, \phi, \delta=0$ とすると、式(2)の $c=0$ と同じくなり、主働土圧 P_A は

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

よって、上記の値を代入して

$$\text{軽量体を使用したときの土圧} \quad 0.068 H^2$$

$$\text{埋戻し土砂のみの土圧} \quad 0.244 H^2$$

となり、72%の土圧低減効果となる。図-2のような裏込め状態の場合についても、同様にして土圧低減効果が求められる。高さ60cm、幅60cm、奥行き70cmの土圧実験槽に、裏込め材として、粒径50cmのセメントフォームを長方形断面に中詰めしたときの実験結果から、裏込め幅 B と壁高 H との関係が

$$B = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2} \right) H$$

の場合に、裏込めが砂のみの場合の35~55%軽減されたと報告されている⁵⁾。

(2) 大型ブロック形の軽量体

粒形の軽量体のような内部摩擦角による裏込め効果は期待できないが、軽量ブロックの作製コスト、現場での施工性などで大きなメリットを有することから、できるだけ大型の軽量ブロックを使用することが望ましい。大型ブロックとしての軽量体の使用方法を示すと図-6の

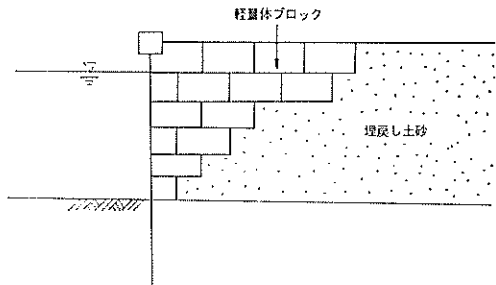


図-6 軽量体ブロックの適用方法

ような裏込め形状があげられるが、この場合、積み上げたブロックのみによる水平方向の力はゼロと考えられるから、壁体に加わる主働土圧は軽量体背後の埋戻し土砂による土圧が、軽量体を通して壁体に伝達されるものである。したがって、埋戻し土砂の斜面の、水平とのなす傾きがある角度以下になると、埋戻し土砂による土圧もゼロとなるから、壁体には土圧が作用しないことになる。

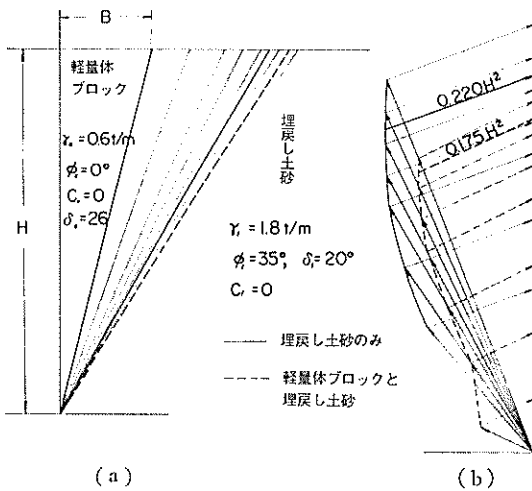


図-7 軽量ブロックを用いた場合の土圧計算例

また、図-7 (a) のように、埋戻し土砂の水平となす角が大きく、主働すべり面が埋戻し土砂中に存在すると考えられる場合、Coulomb の土圧理論が成立つとして、壁体背後が埋戻し土砂のみの場合と軽量ブロックを用いた場合について、図解法により主働土圧を求めると図-7 (b) のようになる。このとき、軽量ブロックは単に裏込め自重の軽減だけを考慮し、主働破壊は軽量体と埋戻し土砂が一体となつて、土のクサビを生じるものとする。

一例として、軽量体の単位重量 $\gamma_0=0.6 \text{ t/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi_0=0^\circ$ 、粘着力 $c_0=0$ 、壁面摩擦角 $\delta_0=26^\circ$ 、埋戻し土砂との摩擦角 $\delta'_0=26^\circ$ 、埋戻し土砂の単位重量 $\gamma_1=1.8 \text{ t/m}^3$ 、内部摩擦角 $\phi_1=35^\circ$ 、粘着力 $c_1=0$ 、壁面摩擦角 $\delta_1=20^\circ$ とし、裏込め軽量体断面の幅 $B=1/4 H$ とした場合の主働土圧を比較すると、

埋戻し土砂のみ	$0.220 H^2$
軽量体と埋戻し土砂	$0.175 H^2$

となり、約20%の土圧軽減効果がある。ただし、ここで用いた壁面摩擦角 $\delta_0=26^\circ$ 、埋戻し土砂との摩擦角 $\delta'_0=26^\circ$ は、軽量体 (セメントフォーム) と矢板および相模砂の摩擦試験結果 (図-8) をそのまま用いた。この計算によると、軽量ブロックを裏込め材として使用する場合に、裏込め幅 B の大きさによって任意の土圧軽減効果を達成することができるから、現場の条件、経済性、構造物の重要度、施工条件等を考慮して、適切な裏込め幅 B を決定すればよい。

(8) 軽量体版

図-9 に示すように、軽量体を版形にして裏込め材として適用する方法も可能であろう。

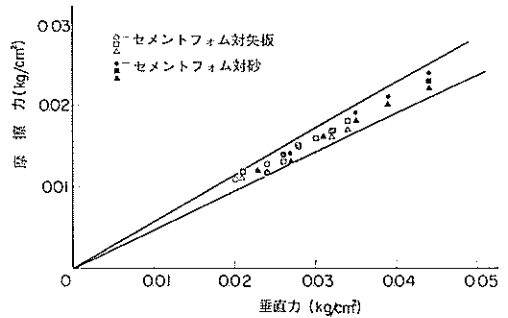


図-8 セメントフォームと矢板および砂との摩擦角

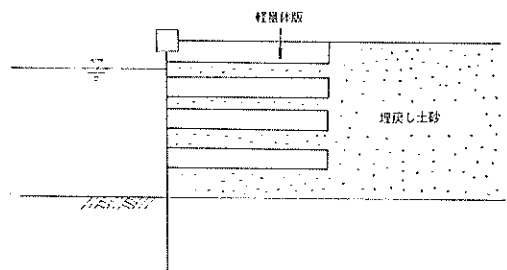


図-9 軽量体版の適用方法

3. 実験概要

裏込め材として用いる軽量体の形状について、粒形、ブロック形、版形の3つがあげられるが、ここで行なった実験は、軽量ブロックによる土圧軽減効果を調べることを目的とした。

3.1 軽量体 (セメントフォーム)

裏込めに用いたセメントフォームは、発泡スチロフォームと砂をセメントで固めた公称比重 0.8、長さ 60 cm、幅 43 cm、高さ 43 cm の矩形ブロック (写真-1) で、水

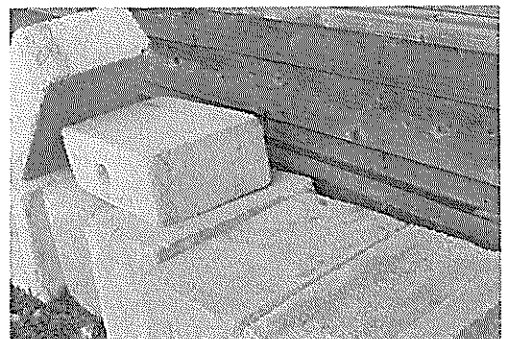


写真-1 軽量ブロック

軽量ブロックによる土圧低減工法

表-3 セメントフォームの特性

公称 比重	吸水量 (短期) %Wt	圧縮強度 kg/cm ²		せん断強度 kg/cm ²		単位体積重量 t/m ³		ヤング率 ×10 ³ kg/cm ²		ポアソン比	
		気乾状態	表乾状態	気乾状態	表乾状態	気乾状態	表乾状態	気乾状態	表乾状態	気乾状態	表乾状態
0.8	10	23	40	10	10	0.96 ~ 0.00	1.06 ~ 1.08	41.7	30.0	—	0.23

中単位体積重量はほぼ0である。今回の実験に用いたセメントフォームの特性を表-3に示す。

3.2 裏込め砂

相模川下流で採取した砂で、物理的力学的性質を表-4に示す。裏込めが砂のみの場合と軽量体背後に砂を搬入した場合の単位体積重量(乾燥重量)の測定結果は、前者が1.70 t/m³、後者が1.62 t/m³であり、相対密度は、それぞれ56.5%、40.3%である。

表-4 相模川砂の特性

比重	内等係数	最大乾燥密度	最小乾燥密度	内部摩擦角	粘着力
2.675	4.1	1.96	1.45	40°~45°	0

3.3 大型土圧実験槽および装置

図-10に示すような奥行き8m、幅4.5m、深さ4mのコンクリート槽に、深さ3m、幅89cmの矢板壁5枚を設置した。その根入れ長は1mとし、根入れ部分の砂はタンパーで十分締固められている。それぞれの矢板は互に独立しており、それぞれ天端中央にて1個づつのロードセルで支承されている。ロードセルに作用する外力(矢板天端反力)は、H型鋼、ジャッキを通して、剛なコンクリートの反力壁で支持される。また、矢板はその天端で1本、深さ2mの位置(矢板の根入れ上部)で2本、計3本の固定材で裏込め終了時まで固定されている。裏込めの終了後、矢板前面上下2本の固定材は取りはずされる。固定材を取りはずした後、矢板壁の前後に同時に水を満たしていき、裏込め表面と水位を一致させ、裏込めを飽和状態とした。

裏込めとして用いた軽量ブロックは、図-15のように水平面とのなす角が35°の面以上に、1段目は0.5ブロック、2段目は2ブロック、3段目は3.5ブロック、4段目は5ブロック、6段目は6.5ブロックとなるように規則正しく積み上げられ、各段階のブロック底面に接す

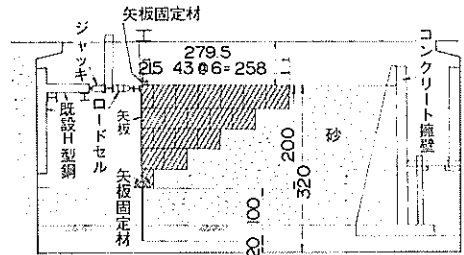
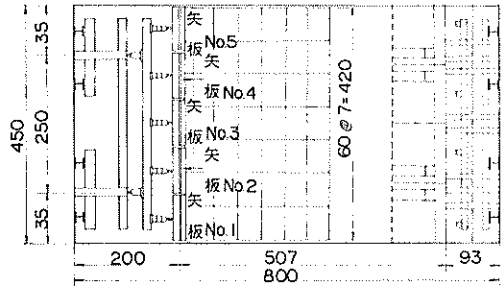


図-10 大型土圧実験槽と裏込め断面

る砂は、十分に締固められている。軽量ブロックは単に積み上げただけで、相互の結合は行なわなかった。裏込め完了時の状態を写真-2に示す。

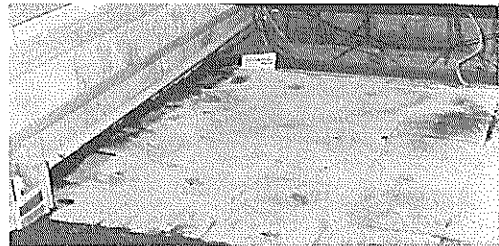


写真-2 裏込め完了時

3.4 実験方法

(a) 主働土圧の測定

矢板天端に設置したロードセルを用いて、裏込め完了

時までの土圧変化と、裏込め完了後矢板固定材を取りはずした後の主働土圧を測定した。

また、上載荷重として、幅 35 cm、長さ 430 cm の長方形剛性板を用い、0.4 t/m²、1.5 t/m² の分布荷重を載荷し、壁面から分布荷重中心までの距離が、86 cm、172 cm、236.5 cm、327 cm、382 cm の位置にあるときの矢板天端反力を測定した。写真-8 に載荷時の状況を示す。

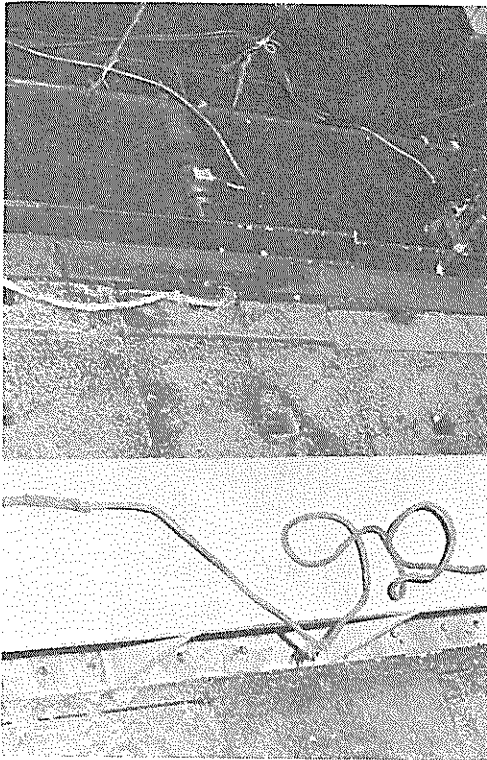


写真-3 載荷試験時

(b) 受働側載荷した場合の矢板天端反力の測定

図-10 中のジャッキにより矢板天端を裏込め側に変位させて、そのときの矢板天端の反力と変位、および裏込め地表面の垂直方向の変位を測定した。

4. 実験結果および考察

図-11 は、裏込め工事過程での矢板天端反力の変化状況と矢板固定材を取りはずし、矢板の前後を裏込め表面までの水位にしたときの矢板天端反力の大きさについて表わしている。実線が裏込めに砂のみを用いたときの矢板天端反力で、1点鎖線が裏込めに軽量ブロックを用い

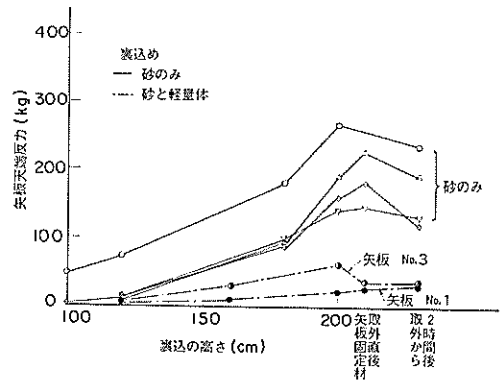


図-11 矢板天端反力の変化

たときの矢板天端反力である。矢板を壁高 2 m の壁体として、Coulomb の式によって主働土圧係数を求めると

$$K_A = 0.248$$

となる。

したがって、これらの値から矢板壁に作用する主働土圧 P_A を算出すると、

$$P_A = \frac{\gamma H^2}{2} \cdot K_A = \frac{0.97 \times 2.0^2}{2} \times 0.248 = 0.481 \text{ t/m}$$

土圧の作用点が、矢板底面から壁高の 1/3 の位置にあるとすると、矢板天端反力 P_{At} は、矢板幅 89 cm だから、

$$P_{At} = 0.143 \text{ t} = 143 \text{ kg}$$

となる。

一方、今回のような裏込め形状で軽量ブロックを使用した場合に、前節で述べたように、理論的には壁体に作用する主働土圧は 0 になる。

以上の理論値と実測値を比較してみると、表-5 のようになる。これらの図-11、表-5 から、裏込め材に軽量体を使用すれば、矢板壁に作用する主働土圧が70~85% 低減されることが明らかである。なお、軽量体を用いた実験で、35 kg の矢板天端反力が生じたのは、裏込め搬入締固め時における裏込め砂の土圧と思われる。

表-5 矢板天端反力

裏込めに砂のみ使用		軽量体使用	
141 kg	120~234 kg	0	35 kg

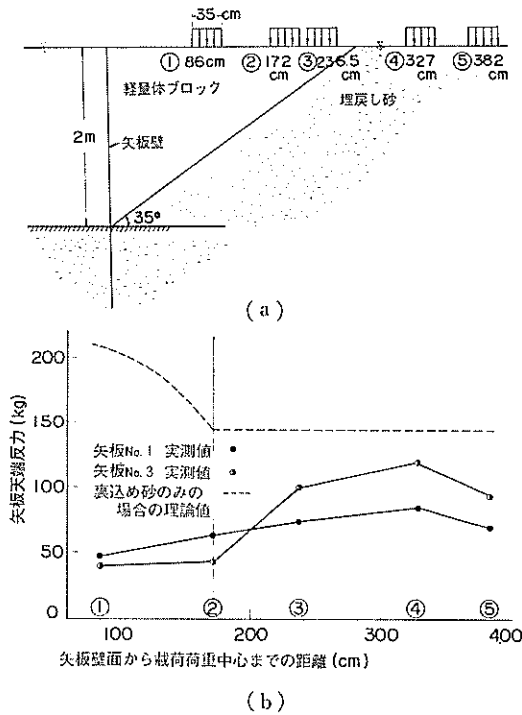


図-12 分布荷重位置と矢板天端反力

次に、軽量体表面に荷重が載荷された場合の矢板天端反力を調べるために、図-12(a)のように5ヶ所の地点に、 1.5 t/m^2 の不等分布荷重を載荷し、矢板天端反力と荷重位置の関係をプロットしたのが図-12(b)である。裏込めが砂のみの場合の主働土圧を図解法で求め、そのときの矢板天端反力を図中の破線で示している。このときには、荷重位置が矢板に接近するほど大きな土圧を生じるが、軽量体を用いた場合には、上載荷重が矢板壁に接近するほど、小さな土圧を生じている。これは矢板壁付近に載荷された荷重による応力が、軽量ブロックを通して、直接裏込め砂下部に伝達され、矢板壁全体に作用する主働土圧が小さくなるものと思われる。したがって、軽量ブロックを裏込めに用いることによって、載荷重によって壁体を生じる主働土圧は低減される。一方、載荷位置が裏込め表面において、軽量体と裏込め砂との境界付近にある場合に、矢板に加わる主働土圧は最大となった。図-13は載荷位置と矢板天端反力の関係であるが、荷重位置が矢板壁付近(①, ②)にある場合に比較して、軽量体と裏込め砂付近(③, ④)にある場合に、矢板壁に作用する主働土圧は著しく増大する。軽量ブロック自体による土圧は発生しえないから、このことは、載荷

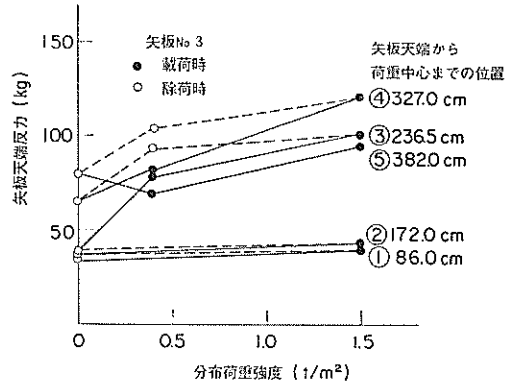


図-13 載荷荷重強度・位置と矢板天端反力

荷重を受けた裏込め砂によって生じた土圧が軽量体ブロックを通して矢板壁に伝達されたと考えられる。さらに、境界付近で載荷重による過大な土圧が発生した大きな原因は、裏込め砂の締固めが十分でなかったことに起因するものと思われる。

したがって、軽量体背後の裏込め砂を十分に締固めることによって、載荷重による過大な土圧の発生を防ぎうるものと思われる。図-14は矢板天端に集中荷重を加えた場合の矢板天端変位量、図-15はそのときの地表面の

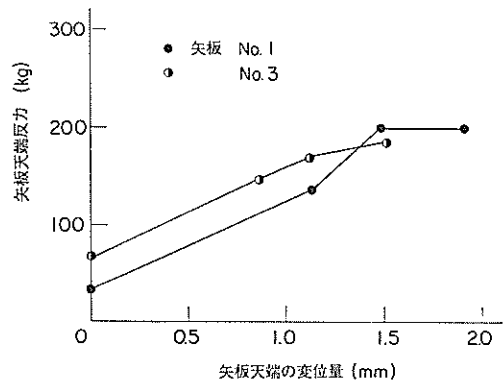


図-14 矢板天端の変位量と反力

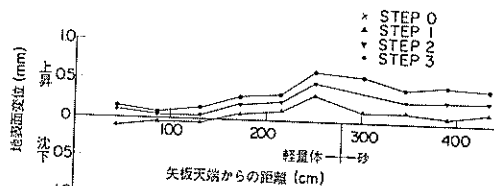


図-15 裏込め地表面垂直変位量

垂直変位量を示す。荷重 200 kg に対する矢板天端変位量は 2.0 mm であり、そのときの裏込め地表面の垂直変位量は 0.7 mm であった。裏込め砂の地表面変位量が大きく、軽量体部分の地表面変位量が小さいことから、矢板に作用する荷重は、軽量体を通して裏込め砂に伝達され、裏込め砂によって支持されることがわかる。さらに、軽量体と砂との境界付近の軽量ブロックを除けば、裏込めに用いた軽量体の地表面変位はほぼ同じであることから、ブロック相互の結合を行なわなくとも、裏込めの軽量体は、外力に対して、一体となった挙動をなすことを示唆する。また、軽量体と裏込め砂の境界の軽量ブロックの変位量が大きくでたのは、裏込め砂の反力によって軽量ブロックが浮き上がったものと判断される。

5. むすび

土圧低減工法の基礎的研究として、矢板壁背後の裏込めに単位重量の非常に小さな軽量ブロックを用い、図-10 の裏込め断面形状において、矢板壁に作用する土圧の低減効果を調べた今回の実験から、以下の結果をえた。

(1) 裏込めに水中重量がほぼ 0 となる軽量ブロックを用いて、矢板壁背後の裏込め水浸状態における主働土圧を測定し、裏込めが砂のみの場合の測定結果と比較した結果、軽量ブロックを使用することによって 70~85% の土圧低減が可能である。

(2) 軽量ブロックを用いた裏込めの地表面上に荷重が加わった場合、壁体に作用する主働土圧は、裏込め砂中に生じた土圧が矢板壁に伝達されたものであり、軽量体と砂との境界上に荷重があるときその土圧は最大となる。したがって、軽量体背後の裏込め砂の締固めを十分行なわねばならない。

(3) 矢板壁付近の軽量体上に載荷した場合には、荷重による壁体土圧の増加はみられず、裏込めが砂のみの場合に比較して、壁体に作用する主働土圧は著しく小さい。

(4) 矢板天端に受働方向の集中荷重を加えた場合、裏込めの受働抵抗は裏込め砂のみによるものであり、また裏込め砂の反力により、軽量体と裏込め砂の境界にある軽量体ブロックの地表面垂直変位量は最大となる。

これらの結果は、定量的把握という点においては不十分であるが、軽量ブロックを用いた土圧低減工法が可能であることを明らかにした点、さらに、この工法の設計基準確立のためのワンステップとして、意義あるものと

思われる。今後に残された問題も多く、軽量体の耐久性、耐水性、耐薬品性等の材料特性、繰返し荷重等の動的強度特性、壁構造物の地震に対する安定性、軽量体ブロックの積み方等についての研究が必要であろう。

本研究の実施にあたり、セメントフォームの貸与ならびにセメントフォームの特性についての貴重な資料を提供していただいた積水化成工業株式会社、株式会社開発機構に対し、深甚の謝意を表したい。

(工法特許出願中)

(1974年4月1日受付)

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，(1967)
- 2) 土質工学会：擁壁，土質工学ハンドブック，(1965)
- 3) 西沢紀昭，土橋正久：発泡スチロール混入セメントモルタルの力学的性質，第17回材料研究連合会講演会，(1973)
- 4) 岩片 透：粗粒材料のせん断試験の問題点とその結果の適用性，「土と基礎」，Vol. 21, No. 4, (1973)
- 5) 中瀬明男，波木 守：軽量体による擁壁裏込めの土圧低減工法，第 28 回年次学術講演会，土木学会，(1973)
- 6) 広恵章利，本吉正信：成形加工技術者のためのプラスチック物性入門，日刊工業新聞社

記号一覧表

B :	裏込め幅
c :	裏込め材の粘着力
c_0 :	軽量体の粘着力
c_1 :	埋戻し土砂の粘着力
H :	壁 高
K_A :	主働土圧係数
K_{A1} :	埋戻し土砂の主働土圧係数
P_A :	主働土圧
P_{Au} :	主働土圧によって矢板天端に生じる反力
P_1 :	埋戻し土砂による土圧
β :	裏込め地表面が水平となす角
γ :	裏込め材の単位体積重量
γ_0 :	軽量体の単位体積重量
γ_1 :	埋戻し土砂の単位体積重量
δ :	裏込め材と壁面の摩擦角
δ_0 :	軽量体と壁面の摩擦角
δ_1 :	埋戻し土砂と軽量体の摩擦角
ϕ :	裏込め材の内部摩擦角

軽量ブロックによる土圧低減工法

ϕ_0 : 軽量体の内部摩擦角
 ϕ_1 : 埋戻し土砂の内部摩擦角
 ψ : 壁面が鉛直となす角
 ρ : 実測気乾比重

ρ_0 : 公称比重
 σ_c : 圧縮強度
 σ_B : 曲げ強度
 τ : セン断強度

付 録

本研究に用いた(軽量体セメントフォーム)の応力-ひずみ曲線, 応力-たわみ曲線, セン断スパン厚さ比と曲げ強度またはセン断強度, 支圧強度, ロサンゼルス試験機によるすりへり試験, キャッピング仕上げ機による摩耗試験, ポリスチレンの耐薬品性など特性について述べる。

(1) 応力-ひずみ曲線, 応力-たわみ曲線 (図-16)

公称比重の違いによって挙動が異なり, 公称比重 0.8 1.0 の場合は弾性的挙動を示し, 公称比重 0.4~0.6 の場合には塑性的挙動を示す傾向にある。この傾向は表乾状態, 気乾状態にかかわらず表われる。また, 最大伸びひずみ, 最大たわみは, 公称比重や乾燥状態によってかなり変化するが, 最大伸びひずみは比重 1.0 の場合, 類似コンクリート(オートクレーブ養生気泡コンクリート)の最大ひずみ $1\sim 2 \times 10^{-4}$ に比べて, 4×10^{-4} 以上と大

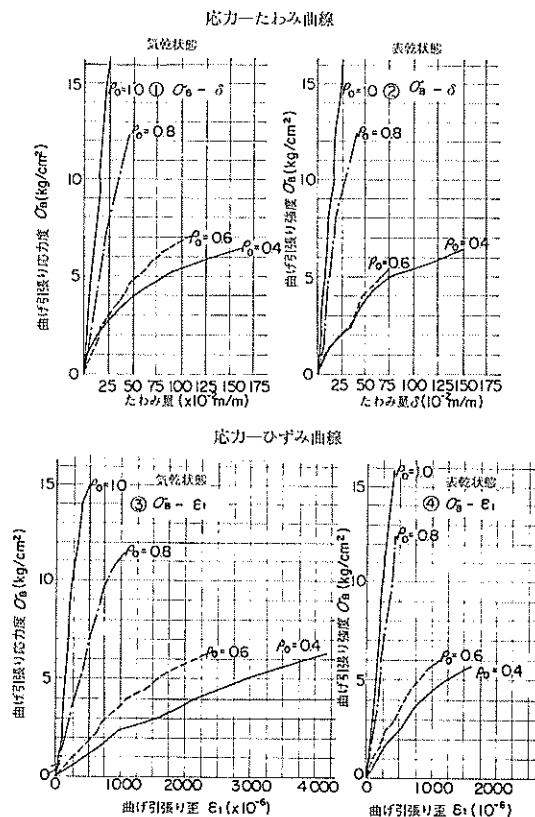


図-16 セメントフォームの応力-ひずみ曲線と応力-たわみ曲線

きい。また, 比重が小さい場合には, $30\sim 60 \times 10^{-4}$ と著しく変形能力が大となる。

(2) セン断スパン厚さ比と曲げ強度またはセン断強度 (図-17)

セメントフォームの破壊機構については, セン断スパン厚さ比が 2 以下ではセン断破壊を生じ, 2 以上では曲げ破壊をおこすことが 図-17 からわかる。

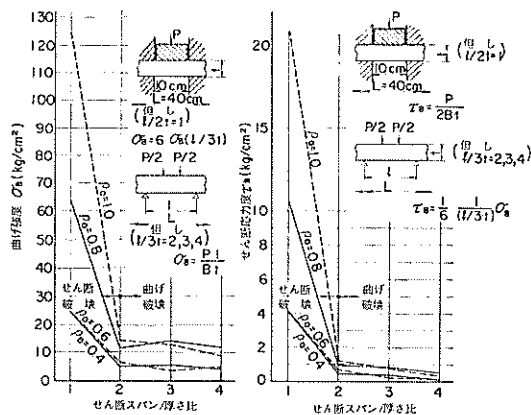


図-17 セン断スパン厚さ比と曲げ強度またはセン断強度

(3) 支圧強度 (図-18, 図-19)

セメントフォームに支圧力が加わったときの強度を 図-18, 図-19 に示す。公称比重が 1.0 の場合の最終貫入量は約 3cm と大きく, さらに公称比重が小さく 0.4 の場合には 30cm と非常に大きくなる。このような特

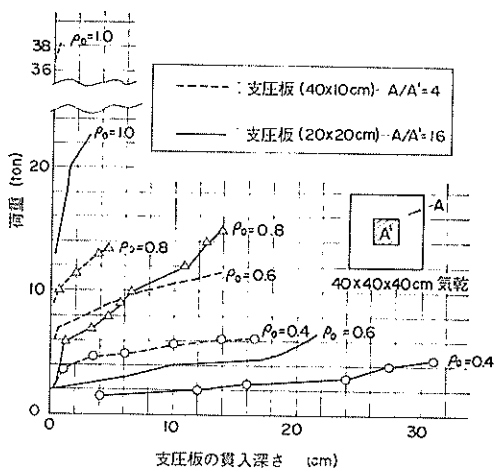


図-18 セメントフォーム支圧時の荷重貫入深さ

軽量ブロックによる土圧低減工法

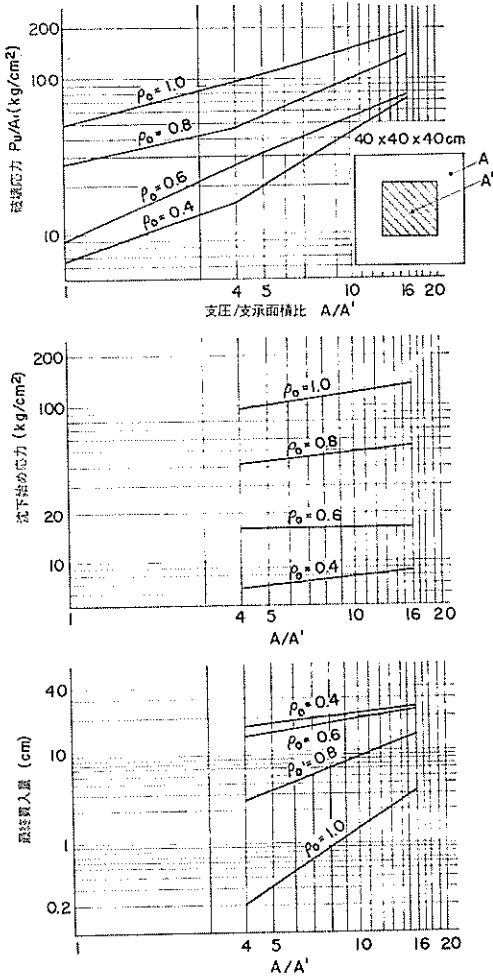


図-19 セメントフォームの支圧試験結果²⁾

性は他のコンクリート材料にはみられないセメントフォーム特有のものである。また、支圧面積比、公称比重が大きくなるほど支圧強度（破壊応力）は増大する。

(4) ロサンゼルス試験機によるすりへり試験結果 (表-6, 表-7, 図-20, 図-21)

この試験法は、直径 71 cm のドラムが毎分 30~33 回転するさいに、この中に入れた骨材粒と直径 4.75 cm の鋼球との衝突などによって、試料が摩耗する程度を調べるものである。図-20 から推定すると、寸法が 50 cm~100 cm のセメントフォームの衝撃による摩耗量は数パーセントであるが、裏込め材として用いられた場合の条

件は、当試験ほど過酷でないことから、実用上は無視しうる。

表-6 ロサンゼルス試験機によるすりへり試験の試料

試料	粒度の区分	寸法 (mm)	試料の重量 (g)	試料の絶対容積 (cm ³)
粗骨材	(JIS A 1121)	40~50	5,000*	1,920※
		50~60	2,500*	950※
		60~80	2,500*	950※
合計			10,000	3,820
スチロール骨材	I	50×50×50: 16箇	/	125×16= 2,000
		90×90×90: 2箇		720×2= 1,460
100×100×100: 1箇	1,000×1= 1,000			
合計				4,460
コンクリート塊	II	50×50×50: 24箇	/	125×24= 3,000
		90×90×90: 2箇		730×2= 1,460
		100×100×100: 0箇		0
合計				4,460

* それぞれ 2% までの増減を許す。

※ 比重 2.6 として概算した。

表-7 ロサンゼルス試験機によるすりへり試験結果 (350 回転)

比重量理論値 (公称)	粒度の区分	すりへり量 (%)			
		50 mm 立方体	90 mm 立方体	100 mm 立方体	全試料
0.64 (0.6)	I	71.4	37.4	56.0	56.8
	II	67.4	43.1	—	59.5
0.98 (1.0)	I	58.0	39.1	32.4	46.0
	II	53.4	36.9	—	48.1

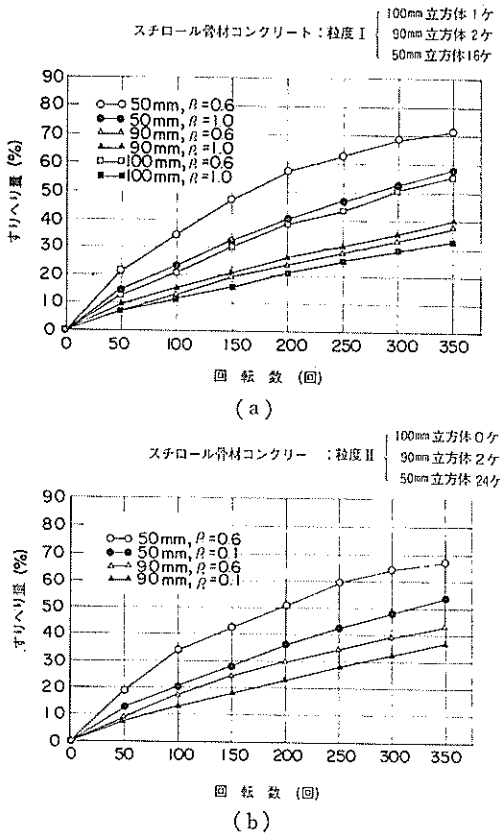


図-20 ロサンゼルス試験機によるすりへり試験結果

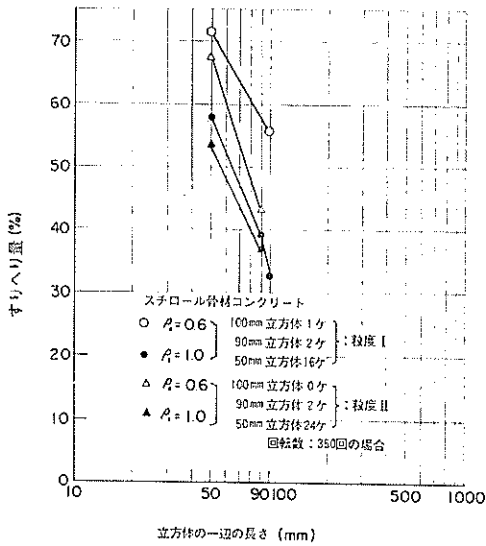
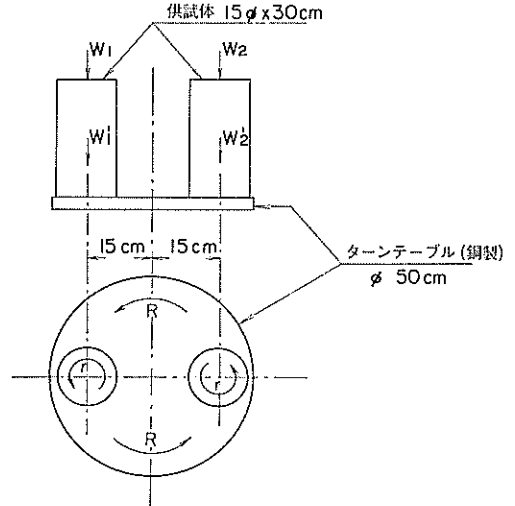


図-21 ロサンゼルス試験機によるすりへり量と試料の寸法

(5) キャッピング仕上げ機による摩耗試験 (図-22, 図-23, 図-24)

試験に用いられたキャッピング仕上げ機を図-22に示す。セメントフォームの摩擦による摩耗量は、セメントモルタルの2~2.5倍程度であり、裏込め材として適用する場合には、摩擦による摩耗量は問題とならないように思われる。



W: 重錘の重量
 W': 供試体の重量
 $P = W_1 + W_2 = W_2 + W_2$: 総重量 13kg, 26kg, 39kg
 R: ターンテーブルの回転数, 29回/分
 r: 供試体の回転数, 29回/分

図-22 キャッピングすりへり仕上げ機による摩耗試験方法

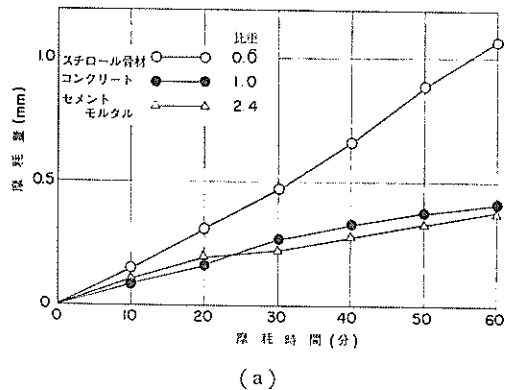


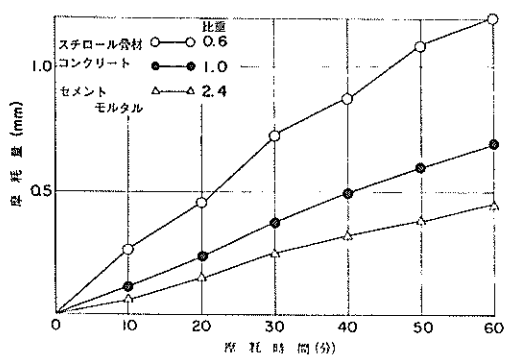
図-23 キャッピングすりへり仕上げ機による摩耗試験結果

軽量ブロックによる土圧低減工法

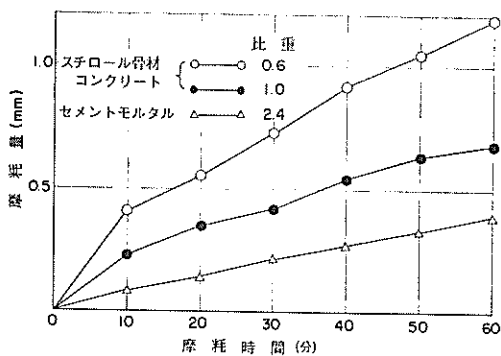
表-8 ポリスチレン耐薬品性⁶⁾

- 1) 試験条件——温度の記載のないものは 21°C, 7日間浸漬。
 2) 記号説明——◎ 優：重量変化 $\pm 2\%$
 ○ 良：+2~+14%, -2~-3%
 △ 可：+14~+19%, -3~-4%
 × 不可：使用不可能 この評価は W.H. Adams による。
 ※：使用限界温度とはその樹脂が普通使用しうる最高の限界温度。
 3) 耐薬品性

	環 境 剤	耐 薬 品 性		環 境 剤	耐 薬 品 性
1	硫 酸	10, 50%: ○, 濃: ×	28	硫酸水素ナトリウム	◎
2	硝 酸	20, 70%: ×	29	過酸化水素	◎
3	塩 酸	10%: ◎, 30%: △	30	クロム酸	20%: ◎
4	ふっ化水素酸	1%: △, 48%: ×	31	重クロム酸カリ	◎
5	塩 素	◎	32	酢 酸	5%, 25%: ◎ 氷醋酸: ×
6	硫化水素	×	33	無水酢酸	—
7	二酸化いおう	—	34	酢酸ナトリウム	◎
8	ひ 酸	◎	35	ぎ 酸	90%: △
9	ほう 酸	◎	36	無水マレイン酸	—
10	りん 酸	50%: ◎	37	くえん酸	10%: ◎, 20%: △
11	水酸化カリウム	10~30%: ◎, 脂肪: ○	38	脂 肪 酸	◎, 60°C: ×
12	水酸化ナトリウム	◎	39	無水フタル酸	—
13	アンモニア	—	40	炭化水素	ベンゼン, トルエン, キシレン: 溶解
14	無水アンモニア	◎	41	アルコール	エタノール: ◎
15	水酸化カルシウム	飽和: ◎	42	イソプロピルアルコール	◎
16	水	◎	43	ブチルアルコール	◎
17	塩化ナトリウム	◎	44	グリセリン	◎
18	硝酸アンモニウム	◎	45	グリコール	◎
19	硝酸ナトリウム	全濃度, 使用限界温度※: ◎	46	エステル	溶 解
20	炭酸カルシウム	◎	47	酢酸エチル	溶 解
21	炭酸マグネシウム	◎	48	塩化エチル	×
22	塩化カルシウム	◎	49	ケ ト ン	アセトン: X, MEK: 溶解
23	塩化マグネシウム	◎	50	アセトアルデヒド	△※
24	硝酸マグネシウム	◎	51	尿 素	
25	硫酸マグネシウム	◎	52	洗 剤	◎
26	硫酸亜鉛	◎	53	タール油	◎
27	塩化亜鉛	◎	54	塩素化溶剤	CCl ₄ : 溶解, パラコール: ×



(b)



(c)

図-23 キャッピングすりへり仕上げ機による摩耗試験方法

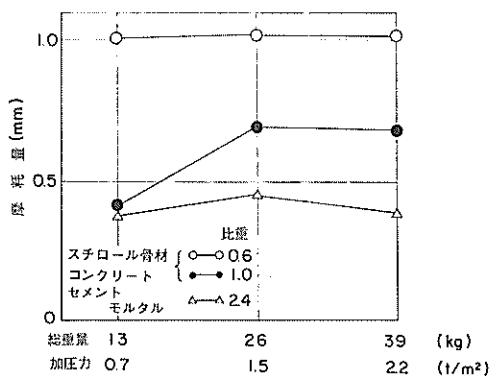


図-24 摩耗量と加圧 (力摩耗時間 60分)

(6) ポリスチレンの耐薬品性 (表-8)

セメントフォームはセメントモルタルとポリスチレンからなるが、この耐薬品性を検討するためにポリスチレンの耐薬品性について表-8に示す。表-8から定性的に判断すると硫酸、硝酸、フッ化水素酸、硫化水素に対する耐薬品性は悪いが、港湾関係で用いられる場合に、普通の海水中に含まれる化学成分(塩素、ナトリウム、マグネシウム、カルシウムなど)に対する耐薬品性は良いことがわかる。