

港湾技研資料

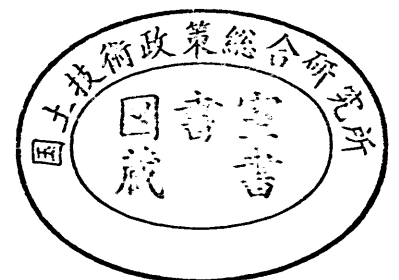
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 906 June 1998

リサイクル材としてのコンクリート塊の諸特性

水	上	純	一
菊	池	喜	昭
吉	野	博	之

運輸省港湾技術研究所



目 次

要旨	3
1. まえがき	3
2. 試料	3
2.1 試料採取および試料調整	3
2.2 試料の物理的性質	4
2.3 点荷試験による一軸圧縮強度の推定	4
3. コンクリート塊の大型三軸試験	7
3.1 試験方法	7
3.2 試験結果	8
3.3 強度定数に関する考察	11
4. コンクリート塊の溶出試験	16
5. 長期溶出試験	16
5.1 長期溶出試験方法	16
5.2 長期溶出試験結果	18
5.3 現地調査結果	18
6. 結論	21
7. あとがき	21
参考文献	23
付録	24

Characteristics of concrete debris as rubble in marine construction

Jun-ichi MIZUKAMI*
Yoshiaki KIKUCHI**
Hiroyuki YOSHINO***

Synopsis

The quantity of construction byproducts has recently been increasing with an increase in maintenance and demolition works for structures built in the 1960's of Japanese economic growth. On the other hand, natural resources for construction materials have been depleted which are considered to be conserved. Because of these background, the effective reuse of the construction byproducts is strongly needed.

This paper describes the engineering properties of concrete debris which occupies a large proportion of the byproducts, in the aspect of its use for marine construction as rubbles. The strength parameters of the debris and the influence of contained alkaline components on sea water were particularly focused on in this paper.

A series of large scale triaxial tests (consolidated/drained) were carried out to examine the strength parameters of three types of the debris. Specimens used were 30cm diameter and 60cm high. These specimens were prepared in loose conditions because the density of the debris was difficult to control in the marine construction. Elution tests were also conducted to characterize debris leachate in terms of pH and 33 chemical species. Concrete debris was soaked for 60 days in tanks containing two different liquids; fresh water (FW) and sea water (SW).

The main conclusions are as follows:

(1)The variation of internal friction angle ϕ_0 with confining pressure σ_3 compared with the ϕ_0 values of several materials obtained in the previous studies by the authors for comparison purposes. In this study, the ϕ_0 values are calculated under a condition that cohesion was nil. A proportional relation between ϕ_0 and σ_3 is generally observed for all the materials. The compression strength of Mortar A and sandstone is lower than 30MPa whereas that of mortar B, granite and limestone exceeds 30MPa. The ϕ_0 values of concrete debris are as same as those of sandstone.

(2)The results of elution tests indicate that test chemical species do not exceed the water quality guideline of Japan in concentration. The pH values measured with sea water decrease less than 9. The pH values measured with fresh water exceeds 12 and are larger than those with sea water.

Key words; Angle of internal friction, Particle breakage, Gravel, Triaxial test, Recycle

*Senior Research Engineer, Geotechnical Engineering Division
Port and Harbour Research Institute, 3-1-1 Nagase, Yokosuka, Kanagawa, Japan, 239-0826
e-mail; mizukami@phri.go.jp Phone; +81-469-44-5024 Fax; +81-468-44-0618
**Chief, Laboratory of Foundations, Geotechnical Engineering Division
***Trainee of Laboratory of Foundations, Geotechnical Engineering Division
(Yachiyo Engineering Coop.)

リサイクル材としてのコンクリート塊の諸特性

水上純一*

菊池喜昭**

吉野博之***

要旨

海上工事で用いるマウンド材や裏込め材としての良質の自然石材が減少してきており、かつ自然環境の保全という観点からその採取・利用が困難となってきた。一方では、建設副産物として発生するコンクリート塊の有効利用は約65%に留まっており、残余は処分場に埋立処分されている。コンクリート塊を海上工事においてレキ材の代替として有効に再利用することが可能であれば、上記の問題の解決に資する。本論文ではコンクリート塊のレキ材・地盤材料としての適用性を調べるため、その力学特性とアルカリ成分等の溶出特性について検討した。

主な結論は以下の通りである。

(1)コンクリート塊破碎直後の試料を用いた大型三軸試験(最大粒径53mm)による強度定数は、見かけの粘着力 $c_d=0.2\text{kgf/cm}^2$ とすると、内部摩擦角 ϕ_d は 30° 以下となる。一方、相似粒度で実施した中型三軸試験(最大粒径19.0mm)結果を同様に整理すると、 c_d は 0.2kgf/cm^2 、 ϕ_d は 35° を確保できる。

(2)(1)の結果は、コンクリート塊のような個々の粒子が不均一な材料では、相似粒度の概念を適用することは難しいことを示している。

(3)一年間水中養生したコンクリート塊の強度定数は、水浸前よりも大きかった。この現象は、水中養生中のモルタル分の剥離・脱落に起因していると考えられる。

(4)溶出試験結果によると、コンクリート塊からの溶出水は「海洋投入処分規定」を満足していることが確認された。

(5)長期溶出試験結果から、コンクリート塊からの溶出液のpHは徐々に低下すること、また養生液を海水とした場合、一年間経過後はほぼ海水のpHまで低下することがわかった。以上のことから海水中で使用する場合には環境に与える影響は小さいと考えられる。

キーワード：内部摩擦角，粒子破碎，レキ，三軸試験，リサイクル

1. まえがき

海上工事で用いるマウンド材や裏込め材としての良質の自然石材が減少してきており、かつ自然環境の保全という観点からその採取・利用が困難となってきた。現在のところ、このような傾向は一部地域に限定されているが、将来的には全国的に広がることが予想される。一方では、建設副産物として発生するコンクリート塊は、平成7年度で約3,650万tであるが、その有効利用は約65%に留まっており、残余は処分場に埋立処分されている。コンク

リート塊を、海上工事においてレキ材あるいは地盤材料として有効に再利用することが可能であれば、上記の問題の解決に資する。本論文ではコンクリート塊のレキ材・地盤材料としての適用性を調べるため、その力学特性とアルカリ成分等の溶出特性について検討している。

2. 試料

2.1. 試料採取および試料調整

本研究で対象としたコンクリート塊は、陸上のビル解体

* 土質部主任研究官 (e-mail; mizukami@phri.go.jp)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 Phone; 0468-44-5024 Fax; 0468-44-0618

** 土質部基礎工研究室長

*** 土質部基礎工研究室研修生 (㈱八千代エンジニアリング)

現場から発生するものと、港湾工事で使用することを考慮し港湾構造物の解体で発生するものとした。具体的には、発生地として以下の3地点で採取した試料を用いた。

- ①横浜市磯子区内のビル解体で発生したコンクリート塊（磯子試料）
- ②第一港湾建設局管内で発生したコンクリート塊（一建試料）
- ③第二港湾建設局管内で発生したコンクリート塊（二建試料）

②③の試料は、護岸の上部工（パラペット）の無筋コンクリートを解体した破砕片である。①～③の試料は、全て施工後20年以上経過しているものである。いずれのコンクリートも設計強度等の施工時の諸元は不明であるが、②③については、構造物の形式から圧縮強度 200kgf/cm^2 程度で設計されたと推定される。

コンクリート塊は、処分地の受入れ基準。あるいは鉄筋コンクリートの場合は解体現場での鉄筋引き抜き作業や、ダンプトラックによる運搬・積み下ろしの都合から概ね 30cm 以下に小割する場合が多い。しかし今回は最大粒径の指定をしなかったこと、特に②③の港湾構造物では無筋コンクリートだったことから、最大の塊では長辺長 80cm 、短辺長 30cm 程度の大きなものもあった。

全ての試料は一度港研に搬入した後、コンクリート塊中間処理工場に持込み、クラッシャー（破砕機）にかけて最大粒径 53mm となるように破砕した。破砕後の試料をふるい分けし 2mm 通過分を除外して試験粒度とした。図-1に粒径加積曲線を示す。図-1中にあるように均等係数は $3.6\sim 4.2$ と小さい値を示しており、分級された（粒度分布の悪い）試料となっている。

2.2 試料の物理的性質

試料の物理的性質として、見かけ比重、吸水率を調べた。試験は、「岩の調査と試験」²⁾および「JIS A 1110 粗骨材の比重及び吸水率試験方法」に準じて下記のように行った。各試験結果はふるい分けした粒度階別に求めている。

①試験試料を各ふるい目ごとに 100g 程度採取し、試料の自然状態の重量を測定する。

②①の試料を水浸させ62時間以上真空脱気し、試料の

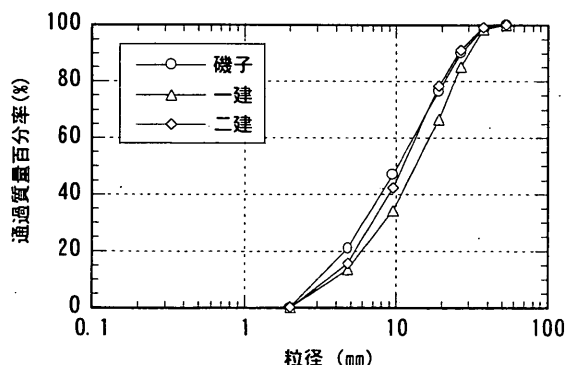


図-1 粒径加積曲線（原粒度）

水中重量を測定する。

③試料の表面水を丁寧に拭き取り、試料の表乾状態の重量を測定する。

④試料を 110°C の乾燥炉に入れ、試料の重量が一定になるまで炉乾燥する。

⑤デシケータ内で室温になるまで冷まし、試料の炉乾燥重量を測定する。

また、 2mm ふるい通過分のモルタル分のみに対して「JIS A 1202 土粒子の密度試験方法」を行い、いわゆる真比重を求めた。

見かけ比重・吸水率の測定結果を表-1に示す。ここで、吸水率とは表乾状態で試料が含んでいる水の質量と試料の炉乾燥質量との比である。また、表-1中の合成値は以下のように求めた。

合成絶対比重 G_b および合成吸水率 Q は、

$$G_b = 100 / \sum (f_i / G_i) \quad (1)$$

$$Q = \sum (f_i Q_i) / 100 \quad (2)$$

ここに、

f_i : 粒度階ごとの残留率 (%)

G_i : 粒度階ごとの絶対比重

Q_i : 粒度階ごとの吸水率 (%)

また、以上の結果から合成表乾比重 G_s を次式で求める。

$$G_s = (1 + Q / 100) \times G_b \quad (3)$$

粒度階別の試験結果は、粒径 9.5mm を境界として傾向が異なっている。粒径が 9.5mm 以上の試料では、見かけ比重が大きく、吸水率は相対的に低くなっている。港湾構造物を解体したコンクリート塊の表乾比重は、 $2.3\sim 2.4$ 、合成表乾比重も約 2.3 を示しており、ビル解体コンクリート塊よりも若干大きな値を示している。

粒径 9.5mm 以下の試料は、見かけ比重が小さく吸水率が大きい。また、有効間隙率も 30% 前後と高い値を示している。特殊モルタルの試験結果をみると³⁾、一軸圧縮強度約 300kgf/cm^2 の試料では、絶対比重 2.226 、表乾比重 2.013 、吸水率 10.6% となっている。粒径 9.5mm 以下のコンクリート塊試料と特殊モルタル試料の見かけ比重・吸水率の試験結果はほぼ一致しており、 9.5mm 以下の試料は、モルタル分の含有量が卓越しているものと考えられる。

2.3 点荷試験による一軸圧縮強度の推定

石材試料の力学に関する代表的な基本的性質をあらわす指標として、一軸圧縮強度があげられる。本研究では、一軸圧縮試験用のコア抜きを実施しなかったため、何らかの手法で一軸圧縮強度を推定する必要がある。

岩の調査では、地山の強度を推定する手法として、原位置で非成形のずりを供試体とした点荷試験方法が利用されている。点荷強度は引張り強度（圧裂強度）に関連した量である。そのため、点荷試験は一種の圧裂試験といえるが、一軸圧縮強度の推定が可能であるとされている。本研究では、点荷試験から一軸圧縮強度を推定すること

表-1 試料の見かけ比重および吸水率一覧

(a) 礫子試料

試料粒径 (mm)	見かけ比重			吸水率 (%)	含水比 (%)	有効間隙率 (%)
	自然状態	表乾状態	絶乾状態			
53.0-37.5	2.207	2.283	2.083	9.61	5.97	20.0
37.5-26.5	2.127	2.212	1.963	12.7	8.33	24.9
26.5-19.0	2.134	2.193	1.945	12.8	9.76	24.8
19.0-9.5	2.162	2.229	1.985	12.3	8.91	24.3
9.5-4.75	2.076	2.154	1.843	16.9	12.7	31.1
4.75-2.00	2.025	2.109	1.759	19.9	15.1	34.9
合成値	2.10	2.18	1.89	15.2		
モルタルの ρ_s (g/cm ³)	2.717					

(b) 一建試料

試料粒径 (mm)	見かけ比重			吸水率 (%)	含水比 (%)	有効間隙率 (%)
	自然状態	表乾状態	絶乾状態			
53.0-37.5	2.251	2.328	2.127	9.42	5.80	20.0
37.5-26.5	2.256	2.321	2.127	9.12	6.05	19.4
26.5-19.0	2.268	2.336	2.148	8.75	5.61	18.8
19.0-9.5	2.286	2.338	2.146	8.95	6.53	19.2
9.5-4.75	2.142	2.195	1.904	15.3	12.5	29.1
4.75-2.00	2.084	2.146	1.848	16.1	12.8	29.8
合成値	2.22	2.27	2.05	11.2		
モルタルの ρ_s (g/cm ³)	2.677					

(c) 二建試料

試料粒径 (mm)	見かけ比重			吸水率 (%)	含水比 (%)	有効間隙率 (%)
	自然状態	表乾状態	絶乾状態			
53.0-37.5	2.348	2.406	2.251	6.88	4.29	15.5
37.5-26.5	2.354	2.401	2.241	7.11	5.03	15.9
26.5-19.0	2.278	2.339	2.135	9.55	6.74	20.4
19.0-9.5	2.252	2.311	2.093	10.4	7.60	21.8
9.5-4.75	2.219	2.281	2.026	12.6	9.50	25.5
4.75-2.00	2.084	2.178	1.860	17.1	12.0	31.8
合成値	2.23	2.29	2.050	11.6		
モルタルの ρ_s (g/cm ³)	2.713					

とした。

(1) 点荷試験方法

点荷試験の方法と、その結果から一軸圧縮強度を推定する手法をまとめると以下ようになる。試験方法は、非成形の塊状供試体の上下2点を図-2(a)に示す治具を用いてはさみ、油圧ジャッキで荷重する、という単純な方法である。この治具の先端は曲率半径5mmの球形となっている。治具の先端が鋭い場合には試料に貫入してしまい、くさびの効果が出ることもあり、圧縮強度を測定できない。荷重方法は現場で簡便に行えるよう、手動の油圧ジャッキで荷重する装置が標準となっている。そのため、荷重速度に関しては明確な規定はなく、破壊に至るまでの時間を10～60秒となるように荷重することを推奨しているのみである。本研究では、2～3分で破壊が生じるように荷重した。

試験結果の整理方法は、図-2(b)のように荷重点を含む断面の等価コアを仮定し等価直径 D_e を決め、

$$I_p = P/D_e^2 \quad (4)$$

ここに、 I_p : 点荷強度 (kgf/cm²)

P : 破壊時の荷重 (kgf)

D_e : 等価直径 (cm)

として点荷強度 I_p を求める。しかし、この I_p は D_e の関数となるため試料の特性を表す指標とはなりえない。そこで、直径50mmのコアの点荷強度を基準として、異なる等価直径を持つ試料の点荷強度を規準化し強度指標としての $I_p(50)$ を(5)式で求め代表値とする。

$$I_p(50) = F \cdot I_p \quad (5)$$

ここに、 $F = (D_e/5)^{0.45}$

推定一軸圧縮強度は ISRM (International Society of Rock Mechanics) の報告によると、 $I_p(50)$

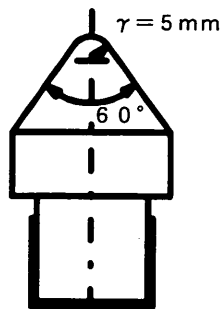


図-2(a) 点載荷試験 (治具)

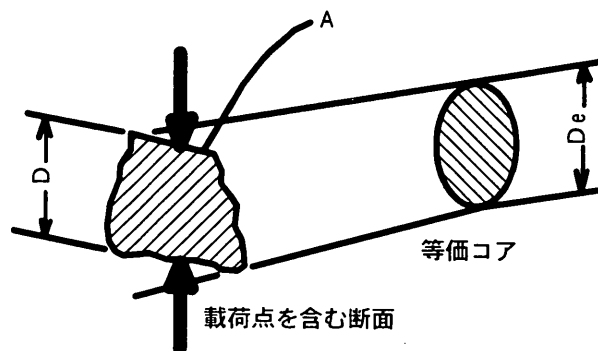


図-2(b) 点載荷試験 (等価コア)

表-2 点載荷試験結果 (一建試料)

	載荷点間隔 cm	等価直径 D_e (cm)	破壊荷重 P(kgf)	点載荷強度 I_s (kgf/cm ²)	$I_s(50)$ (kgf/cm ²)	推定一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)
骨材1	2.30	2.88	866	105	81.9	1,800
骨材2	2.10	2.71	1,390	189	143	3,160
骨材3	2.80	3.13	1,040	106	85.9	1,890
平均値				130	100	2,300

	載荷点間隔 cm	等価直径 D_e (cm)	破壊荷重 P(kgf)	点載荷強度 I_s (kgf/cm ²)	$I_s(50)$ (kgf/cm ²)	推定一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)
骨材+モルタル1	3.15	3.27	387	36.1	29.8	656
骨材+モルタル2	2.55	2.97	59.8	6.80	5.38	118
骨材+モルタル3	2.65	3.28	215	19.9	16.5	362
平均値				21	17	380

	載荷点間隔 cm	等価直径 D_e (cm)	破壊荷重 P(kgf)	点載荷強度 I_s (kgf/cm ²)	$I_s(50)$ (kgf/cm ²)	推定一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)
モルタル1	2.90	3.16	259	25.9	21.1	463
モルタル2	2.65	3.00	297	32.9	26.1	575
モルタル3	2.60	2.84	203	25.2	19.5	429
平均値				28	22	490

の20~25倍とされている⁴⁾。本研究では便宜的に、 $I_s(50)$ の22倍をもって推定一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm²)とした。

(2) 点載荷試験結果

本研究では、点載荷試験による一軸圧縮強度を推定する際に、粒子の性状を詳しく把握するため①粗骨材②粗骨材+モルタル(コンクリート)③モルタルのみ、の3種類の試料をコンクリート塊の破砕片の中から選別採取して試験

を行った。試験に供したのは一建試料である。

試験結果の一覧を表-2に示す。ここで、点載荷強度 I_s 、 $I_s(50)$ および推定一軸圧縮強度 q_u は、試験結果を単純平均して求めた。一建試料の場合、発生源が護岸上部工(パラペット)であることから、配合強度は240kgf/cm²(設計強度180kgf/cm²)と推定できる。打設時の配合強度が200kgf/cm²程度のコンクリートが、打設後10年で発揮する強度は300~380kgf/cm²程度になるとの報告がある⁵⁾。文献5)と養生・暴露条件は若干

異なるが、推定 q_u はほぼ妥当な値を示していると考えられる。

q_u を見ると値の大きな順に、①粗骨材 > ③モルタル > ②粗骨材 + モルタルとなる。粗骨材の強度が一番大きいのは予想通りであるが、モルタルの方が粗骨材 + モルタルよりも強度が大きい結果となった。試験後の供試体の観察によると、粗骨材 + モルタルは破壊面で粗骨材が突起状に露出しており、破壊面は粗骨材を避けるようにモルタル内を通過していることがわかった。この観察結果から、②の場合、コンクリート塊の圧裂強度というよりも、粗骨材をとり囲むモルタルの圧裂と粗骨材とモルタルが剥離する時の強度を計測していたことが予想される。

3. コンクリート塊の大型三軸試験

破碎し調整したコンクリート塊を用いて、三軸試験を実施して力学特性を調べた。破碎直後のせん断特性を調べるために大型三軸試験、最大粒径の影響を調べるために、中型三軸試験を行った。また、コンクリート塊を港湾工事とで使用した場合には、長期間水浸状態になることから一年間人工海水、蒸留水でそれぞれ養生した試料を用いて大型三軸試験を実施した。この際、対比のために1年間空中に放置した試料を用いた大型三軸試験も実施した。

試験内容を分類すると下記ようになる。

- ①破碎直後の大型三軸試験（最大粒径 53.0mm）
- ②破碎直後の中型三軸試験（最大粒径 19.0, 26.5mm.

最大粒径 19.0mm では密詰め供試体での試験も実施)

③人工海水、蒸留水中で一年間養生した試料の大型三軸試験

④一年間空中で放置した後の密詰め供試体の大型三軸試験（磯子試料、セル圧 4kgf/cm²）

も実施した。

なお、②の中型三軸試験用試料は、大型供試体用試料を再度クラッシャーにかけて使用した。

3.1 試験方法

(1) 試験装置

大型三軸試験装置の全体図を図-3に、諸元を表-3に示す。供試体寸法は直径 30cm、高さ 60cm である。三軸室は内部支柱式で、上板、底盤および支柱はステンレス製である。圧力円筒は、試験中の供試体の挙動が観察しやすいように、肉厚 25mm のアクリル円筒でできている。なお、安全性を高めるために圧力円筒をステンレス性のバンド5本で補強してある。

軸力载荷時には、油圧ポンプユニットから一定速度でオイルを送り出す機構となっている。その際に変形量をフィードバックして、サーボ制御機構を用いてひずみ速度（変位速度）一定でせん断試験ができるようになっている。軸力の測定は、セル圧および予想される圧縮強度に応じて容量 5tf、20tf のロードセルを付け替えて測定した。

排水量の測定は、差圧計を用いてピュレットの水頭変化から求めている。そのため、供試体からの排水に濁りが生

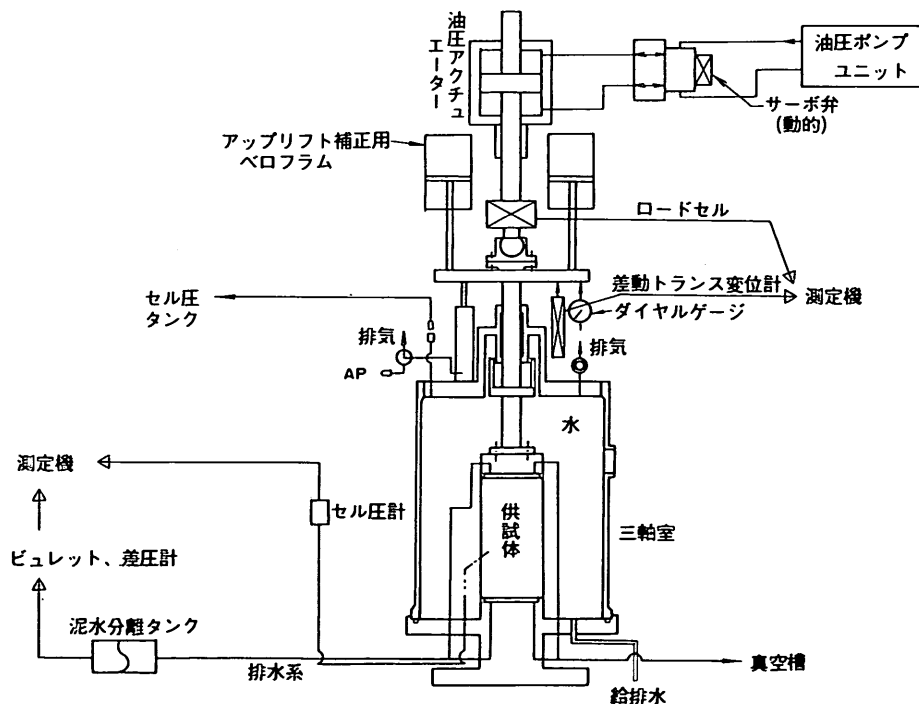


図-3 大型三軸試験機

表-3 大型三軸試験機諸元

項目	諸元	測定方式
供試体寸法	D300mm×H600mm	
最大軸力	50tf	
最大セル圧	10kgf/cm ²	
測定機器容量	軸力	5tf, 20tf
	セル圧	10kgf/cm ²
	間隙水圧	10kgf/cm ²
	体積変化	0.1kgf/cm ² (水頭差 100cm)
	軸変化	150mm
		差動トランス

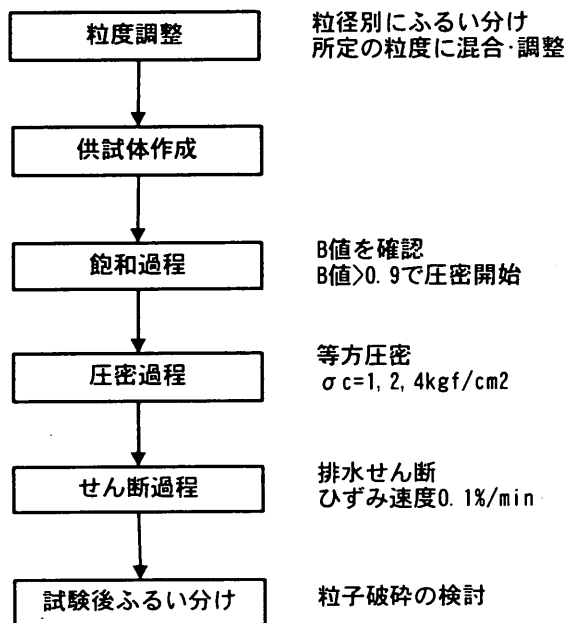


図-4 大型三軸試験フロー

じた場合には、測定する液体の比重が変化し、正確な排水量を測定できないことになる。そこで、排水経路に泥水分離タンクを設置し、ピュレット内は蒸留水のみとなるようにして、比重が一定の条件で水頭変化を測定できる機構になっている。

中型三軸試験機の構成は、基本的に大型三軸試験装置と同様である。

(2) 試験方法

(a) 試験手順

試験手順のフロー図を図-4に示す。粒度調整した試料を図-1の粒度配合となるように混合した。混合試料を、内面に厚さ1mmのゴムスリーブを密着させたモールド内に、落下高さが30cmとなるように水中落下させ供試体を作成した。作成した供試体上端面を均した後載荷キャップをのせ、0.2kgf/cm²の負圧を作用させ自立させてからモールドをはずした。三軸室を組み立て、供試体への脱気水通水を約4時間、背圧1kgf/cm²を作用させながら脱気水通水

を約2時間行って、試料の飽和度を高めた。その後、B値チェックを行い、B値>0.9を確認してから圧密を開始した。

圧密過程では、圧密圧力を1.0, 2.0, 4.0kgf/cm²の3種類とし、背圧として1kgf/cm²を作用させて等方圧密を行った。圧密時間は約6時間とした。軸圧縮過程はセル圧一定、ひずみ制御の排水せん断とした。ひずみ速度は0.1%/minとし、軸ひずみが15%に達するまでせん断を行った。

三軸試験終了後は、供試体を解体し全量を110℃で炉乾燥した。炉乾燥した試料に対してふるい分け試験を行ない、粒子破碎の検討を行った。

密詰め試料は、大型供試体ではバイブレータを用い締め固めている。なお、密詰め供試体の試験はコンクリート破碎から土のう袋に入れ気中で一年間放置した後、水浸後の試験と同時期に実施している。中型供試体の密詰め試料は、モールド側面をたたき締め固めて作成した。

中型三軸試験の供試体寸法は、直径10cm、高さ20cmとした。試験粒度は大型三軸試料と相似粒度になるように、試料の最大粒径を19.0mmおよび26.5mmとして2種類の粒度調整を行なった。

(b) 一年間水中養生した試料の取扱い

2.1で調整した試料を一年間水中で養生した。養生水は、真水(蒸留水)、海水(人工海水)の2種類とした。また、一部の試料は4. 溶出特性で使用した試料を用いている。なお、水中養生前にふるい分けし、粒度階別にかごに入れ養生土層中で水中養生を行なった。

養生後の試料は、所定の粒度分布(図-1)になるよう混ぜ合わせ供試体を作成した。水中養生後の試料は、試験前に炉乾燥し再度ふるい分けするとモルタル部が欠損したり、再度水浸したときに破碎するおそれがある。そのため、再度の炉乾燥・ふるい分けは実施せず、水中養生前にふるい分けした粒径が変化していないと仮定して供試体を作成した。

大型三軸試験方法は(a)の試験方法と同じである。

3.2 試験結果

(1) 供試体の初期状態および圧密過程

水中落下法で作成した大型供試体の初期状態の一覧を表-4に示す。緩詰め供試体であることと絶対比重が小さいことから、乾燥密度が $1.15 \sim 1.25 \text{g/cm}^3$ と低い値を示している。花崗岩のように稠密な石材試料（絶対比重約2.6）を用いた場合には、乾燥密度が 1.5g/cm^3 程度あることから考えると、コンクリート塊は密度の小さい試料である。この事は、表-1に示した有効間隙率の値が大きく絶対比重が小さいためであると考えられる。なお、表-4中の湿潤密度は、供試体作成後の通水前の値である。湿潤密度と乾燥密度との差は、粒子の含水状態によるものである。

表-5には、水中養生後の試料の初期状態を示す。真水養生の場合、乾燥密度は水浸の前後でほとんど変化していないことがわかる。湿潤密度は、一年間水浸した後なので間隙がほとんど飽和しているため、水浸前よりも大きな値となっている。海水養生した試料の密度は、湿潤・乾燥密度とも大きな値を示している。

表-6, 7に大型密詰め供試体と中型供試体の初期状態を示す。モールド側面をたたく中型供試体の締固め方法は、土質工学会編「土質試験の方法と解説」⁶⁾では締固め効果が小さいとされている。今回の結果では、表-7を見ると

見かけ比重が増加して締固め効果が表れていることがわかる。

圧密過程における排水量と時間の関係を図-5～9に示す。ここでは、代表例として大型供試体の礫子試料（図-5）、礫子真水養生試料（図-6）、礫子密詰め試料（図-7）、中型供試体（最大粒径 19.0mm ）の一建緩詰め試料（図-8）および密詰め試料（図-9）の結果を示す。一連の礫子試料の結果では、水浸前後の試料で排水挙動にはあまり変化は生じていないことがわかる。一方、密詰め試料では、排水量が少なく緩詰め供試体の場合に比して圧密中に生じる体積ひずみは $1/4$ である。中型供試体では、多少のばらつきはあるが排水量は密詰めの場合、緩詰めの場合の $1/2$ となっている。

(2) 間隙比

粒子間の間隙比 e は、「土質試験の方法と解説」⁶⁾にならって次式で求めた。この式から得られる間隙比は、粒子間の間隙比である。計算で用いる比重はいわゆる見かけ比重であり、土粒子の密度ではない。このため、粒子内の間隙は無視した間隙比となっている。本研究では、せん断挙動に関連するのは粒子間間隙比であるとみなし、式(6)から間隙比を求めた。

表-4 破碎直後の大型三軸試験初期状態および圧密過程

試料名	初期状態				圧密過程	
	セル圧 σ_3 kgf/cm ²	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	軸ひずみ ϵ_a %	体積ひずみ ϵ_v %
礫子試料	1	1.252	1.165	2.717	0.31	2.47
	2	1.242	1.147		0.82	3.40
	4	1.260	1.183		1.58	5.63
一建試料	1	1.320	1.260	2.677	0.14	1.79
	2	1.315	1.252		0.42	1.96
	4	1.307	1.251		0.53	3.97
二建試料	1	1.285	1.223	2.713	0.71	0.30
	2	1.281	1.219		0.45	2.28
	4	1.269	1.203		1.13	5.71

表-5 水中養生後の大型三軸試験初期状態および圧密過程

試料名	初期状態				圧密過程	
	セル圧 σ_3 kgf/cm ²	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	軸ひずみ ϵ_a %	体積ひずみ ϵ_v %
礫子真水	1	1.396	1.163	2.717	0.21	1.23
	2	1.393	1.174		0.69	2.89
	4	1.399	1.175		1.64	6.05
二建真水	4	1.454	1.252	2.713	1.20	4.95
二建海水	4	1.704	1.440	2.713	1.15	4.19

表-6 密詰め試料の大型三軸試験初期状態および圧密過程

試料名	初期状態				圧密過程	
	セル圧 σ_3 kgf/cm ²	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	軸ひずみ ϵ_a %	体積ひずみ ϵ_v %
礫子密詰め	4	1.414	1.329	2.717	0.11	1.47

表-7 中型三軸試験初期状態および圧密過程 (一建試料)

試料名 および 最大粒径	初期状態			圧密過程	
	セル圧 σ_3 kgf/cm ²	湿潤密度 ρ_t g/cm ³	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	軸ひずみ ϵ_a %	体積ひずみ ϵ_v %
緩詰め 19.0mm	1	1.272	1.231	0.20	2.41
	2	1.297	1.267	0.60	4.46
	4	1.308	1.280	0.77	4.88
密詰め 19.0mm	1	1.569	1.535	0.04	1.04
	2	1.554	1.521	0.11	1.66
	4	1.568	1.536	0.24	2.69
緩詰め 26.5mm	1	1.434	1.406	0.04	1.49
	2	1.381	1.354	0.15	2.61
	4	1.391	1.365	0.88	4.98

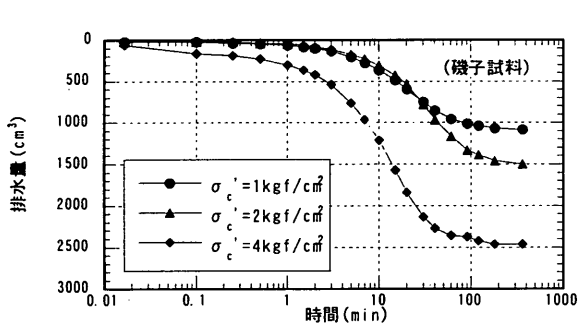


図-5 圧密過程 (礫子試料)

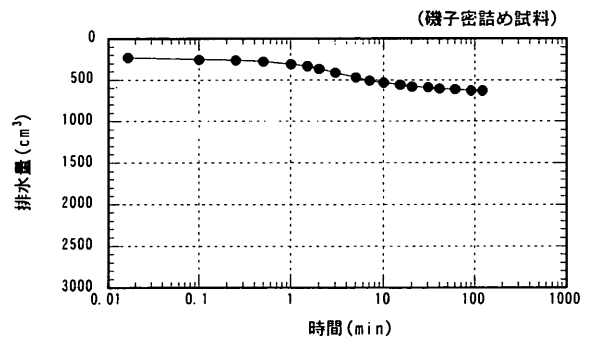


図-7 圧密過程 (礫子密詰め試料)

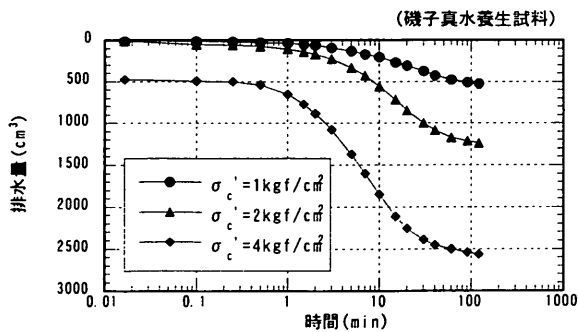


図-6 圧密過程 (礫子真水養生試料)

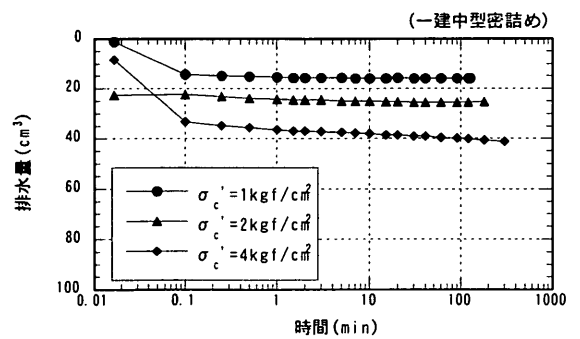


図-8 圧密過程 (一建中型密詰め試料)

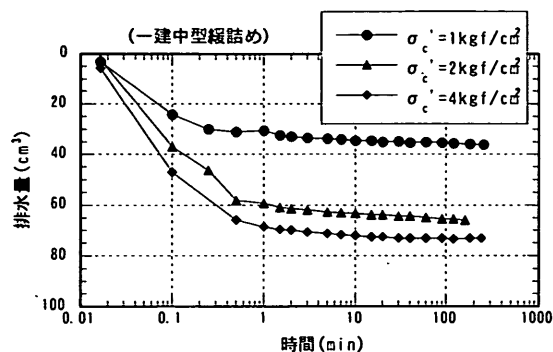


図-9 圧密過程 (一建中型緩詰め試料)

$$e = G_b \rho_w / \rho_d - 1 \quad (6)$$

ここに、 G_b : 合成絶対乾比重

ρ_d : 乾燥密度 (g/cm^3)

ρ_w : 水の密度 (g/cm^3)

表-8に初期状態と圧密後の間隙比を示す。大型緩詰め供試体の初期状態の間隙比はほぼ0.6~0.7であり、圧密後の間隙比は0.5~0.6である。

(3) 軸圧縮過程

軸圧縮過程の応力-ひずみ曲線の代表例を図-10~14および表-9~12に示す。軸差応力にピークがあらわれな

い場合は、軸ひずみ15%時を破壊とみなしている。なお、表-9~12中に示してある内部摩擦角 ϕ_o と粘着力 c_o は参考値として示すにとどめ、強度定数の評価は3.3で述べる ϕ_o で行なう。

図-10と図-11を見ると礫子試料の水浸前後では体積ひずみの発生量に違いはみられない。しかし、最大軸差応力は各セル圧で水浸後の試料の方が2~3倍大きくなっている。また、図-10と図-12からわかるように密詰め供試体と緩詰めの供試体の排水挙動は、絶対量は圧密圧力4kgf/cm²の場合約2%と差はあるものの、ダイレイタンシー傾向に違いは見られない。しかし、最大軸差応力は大きく異なっている。また、図-12から密詰めの供試体であるにもかかわらず、ピーク強度はあらわれていないことがわかる。

図-14の中型供試体の結果では、締固めの影響が見られ軸圧縮過程でダイレイタンシー挙動が変化している。軸ひずみ10%未満でダイレイタンシー係数($-d\varepsilon_v/d\varepsilon_h$)が負から正へ変化し、軸ひずみ10~13%でピーク強度があらわれている。

3.3 強度定数に関する考察

石材の強度定数は見かけの内部摩擦角 ϕ_o と粘着力 c_o で評価するが、本研究では「港湾の施設の技術上の基準・同

表-8 試料の初期間隙比および圧密後の間隙比

試料名	絶対乾比重	乾燥質量 (g)	排水量 (cm ³)	体積		乾燥密度		間隙比	
				初期 (cm ³)	圧密後 (cm ³)	初期 (g/cm ³)	圧密後 (g/cm ³)	初期	圧密後
礫子 1	1.890	51,275	1086.3	44,021	42,935	1.165	1.194	0.622	0.583
礫子 2	1.890	50,400	1495.2	43,940	42,445	1.147	1.187	0.648	0.592
礫子 4	1.890	51,720	2461.4	43,732	41,270	1.183	1.253	0.598	0.508
一建 1	2.050	55,075	784.4	43,754	42,970	1.259	1.282	0.629	0.599
一建 2	2.050	55,293	864.1	44,164	43,300	1.252	1.277	0.637	0.605
一建 4	2.050	55,445	1761.3	44,332	42,570	1.251	1.302	0.639	0.574
二建 1	2.050	53,555	130.58	43,783	43,652	1.223	1.227	0.676	0.671
二建 2	2.050	53,930	1009.9	44,230	43,220	1.219	1.247	0.681	0.643
二建 4	2.050	53,360	2533.2	44,355	41,822	1.203	1.275	0.704	0.607
礫子密 4	1.890	57,276	632.7	43,114	42,481	1.328	1.348	0.423	0.402
礫子真水 1	1.890	49,286	522.9	42,361	41,838	1.163	1.178	0.624	0.604
礫子真水 2	1.890	50,004	1233.2	42,624	41,390	1.173	1.208	0.611	0.564
礫子真水 4	1.890	49,818	2565.8	42,411	39,845	1.175	1.250	0.609	0.512
二建真水 4	2.050	53,180	2100.9	42,460	40,359	1.252	1.318	0.636	0.556
二建海水 4	2.050	61,404	1784.9	42,617	40,832	1.441	1.504	0.422	0.363

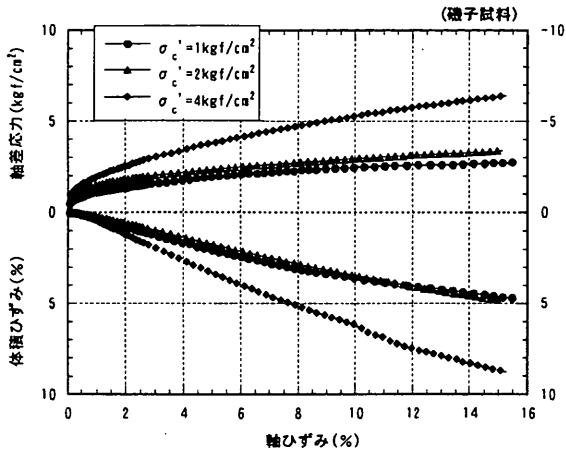


図-10 軸圧縮過程 (礫子試料)

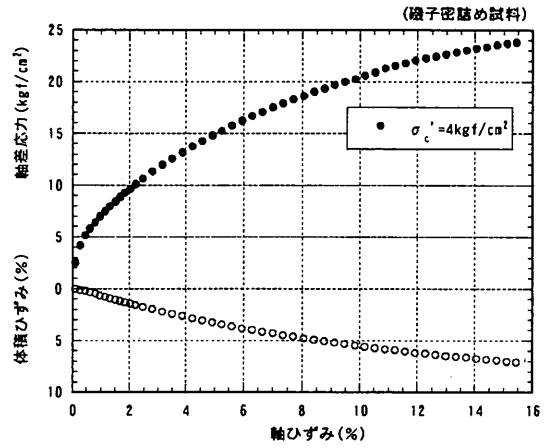


図-12 軸圧縮過程 (礫子密詰め試料)

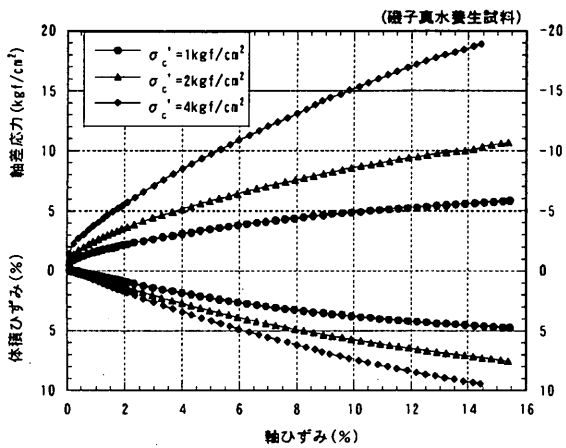


図-11 軸圧縮過程 (礫子真水養生試料)

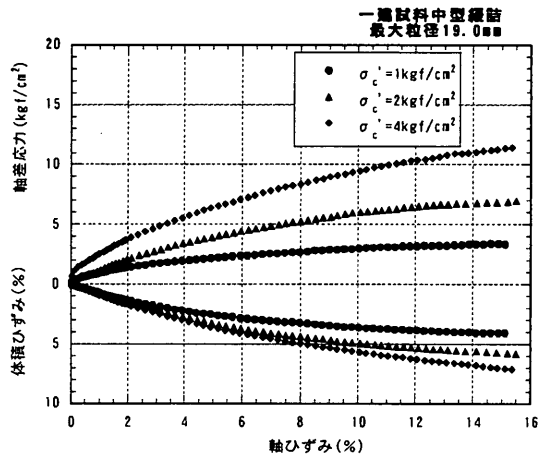


図-13 軸圧縮過程 (一建中型密詰め試料)

表-9 大型三軸試験軸圧縮過程

試料名	軸圧縮過程				強度定数			粒子破碎率 B _M %
	セル圧 σ ₃ kgf/cm ²	最大軸差 応力 (σ ₁ -σ ₃) _f kgf/cm ²	圧縮 ひずみ ε _a %	体積 ひずみ ε _v %	内部 摩擦角 φ _o 度	内部 摩擦角 φ _a 度	粘着力 c _a kgf/cm ²	
礫子試料	1	2.73	15.0	4.63	35.3	22.8	0.399	4.4
	2	3.37	15.0	4.84	27.2			6.9
	4	6.36	15.0	8.69	26.4			14.0
一建試料	1	2.07	15.0	1.68	30.6	16.8	0.561	2.8
	2	3.55	15.0	3.55	28.2			2.8
	4	4.89	15.0	4.89	21.4			6.4
二建試料	1	2.65	15.0	3.45	34.7	26.9	0.225	5.6
	2	3.67	15.0	4.04	28.9			8.7
	4	7.44	15.0	9.81	29.0			7.7

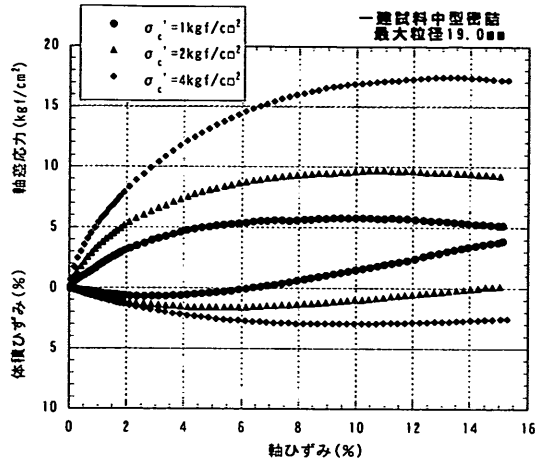


図-14 軸圧縮過程（一建中型緩詰め試料）

表-10 大型三軸試験軸圧縮過程（水中養生後）

試料名	軸圧縮過程				強度定数			粒子破碎率 B _M %
	セル圧 σ ₃ kgf/cm ²	最大軸差 応力 (σ ₁ -σ ₃) _f kgf/cm ²	圧縮 ひずみ ε _a %	体積 ひずみ ε _v %	内部 摩擦角 φ ₀ 度	内部 摩擦角 φ _a 度	粘着力 c _d kgf/cm ²	
磯子真水	1	5.78	15.0	4.67	48.0	43.2	0.349	4.0
	2	10.6	15.0	7.41	46.6			6.3
	4	18.9	14.4	9.43	44.6			9.3
二建真水	4	19.6	15.1	7.18	45.2	-	-	8.6
二建海水	4	23.2	14.1	5.96	48.0	-	-	20.0

表-11 密詰め試料の大型三軸試験軸圧縮過程

試料名	軸圧縮過程				強度定数			粒子破碎率 B _M %
	セル圧 σ ₃ kgf/cm ²	最大軸差 応力 (σ ₁ -σ ₃) _f kgf/cm ²	圧縮 ひずみ ε _a %	体積 ひずみ ε _v %	内部 摩擦角 φ ₀ 度	内部 摩擦角 φ _a 度	粘着力 c _d kgf/cm ²	
磯子真水	4	23.7	15.0	6.98	48.4	-	-	11.5

表-12 中型三軸試験軸圧縮過程（一建試料）

試料名	軸圧縮過程				強度定数			粒子破碎率 B _M %
	セル圧 σ ₃ kgf/cm ²	最大軸差 応力 (σ ₁ -σ ₃) _f kgf/cm ²	圧縮 ひずみ ε _a %	体積 ひずみ ε _v %	内部 摩擦角 φ ₀ 度	内部 摩擦角 φ _a 度	粘着力 c _d kgf/cm ²	
緩詰め 19.0mm	1	3.39	15.0	4.08	39.0	34.5	0.295	2.4
	2	6.90	15.0	5.76	39.4			4.9
	4	11.3	15.0	7.03	36.1			5.4
密詰め 19.0mm	1	5.80	10.1	-1.55	48.1	41.3	0.441	3.0
	2	9.74	10.9	0.776	45.1			4.4
	4	17.5	13.2	2.76	43.3			5.4
緩詰め 26.5mm	1	4.27	12.9	1.82	42.9	35.2	0.393	3.9
	2	6.90	15.0	4.44	39.4			4.0
	4	12.4	15.0	6.39	37.5			8.3

解説」⁷⁾にしたがって、個々の供試体から得られるモールの応力円で粘着力 $c_a=0$ としたときの内部摩擦角 ϕ_0 を用いて評価することとする。

(1) 粒子内の強度の不均一と最大粒径の影響

図-15は、数種類の自然石材および圧縮強度を調整した特殊モルタル試料の強度定数を比較した結果である³⁾。一般的な傾向として拘束圧力(セル圧)が大きくなるにしたがって内部摩擦角 ϕ_0 は低下する、つまり粗粒材料には拘束圧依存性があることがわかる。図-15中の試料は、母岩の一軸圧縮強度 q_u を指標として2種類に分類できる。一軸圧縮強度の大きい試料として花崗岩、石灰岩およびモルタルBをグループ1(図中黒ぬりでプロット)とすると、いずれも 300kgf/cm^2 以上の q_u があり石材粒子は堅硬である。内部摩擦角 ϕ_0 は35度から45度の範囲にあり、拘束圧依存性を考慮して見かけの粘着力を $c_a=0.2\text{kgf/cm}^2$ としても ϕ_0 として35度をとることが出来る。一方、砂岩、

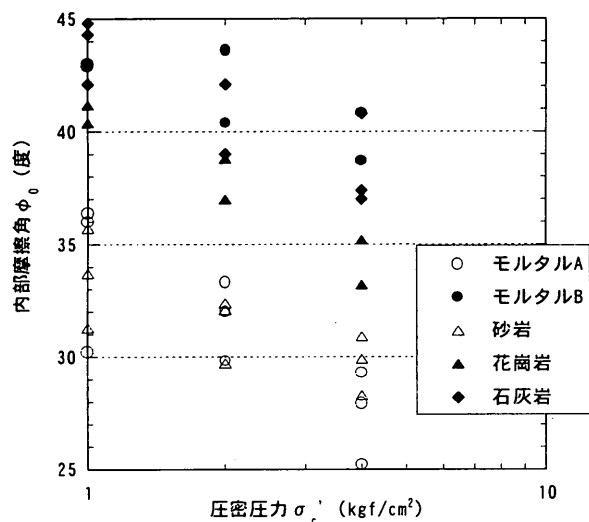


図-15 自然石材の内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係

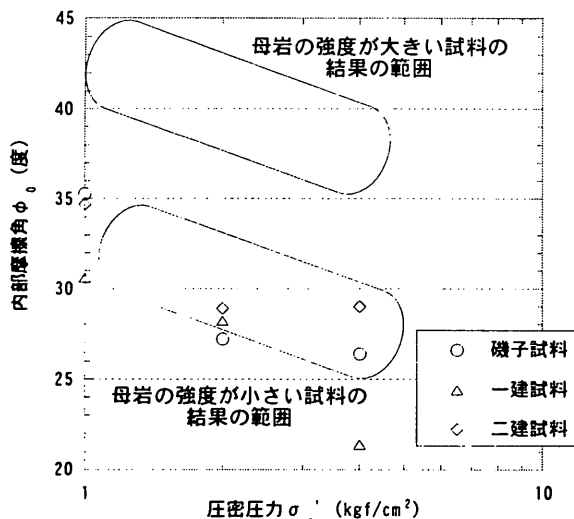


図-16 コンクリート塊の内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係

モルタルA(グループ2、図中白抜きでプロット)は、 q_u が $40 \sim 200\text{kgf/cm}^2$ と石材としては非常に低い値の試料である。 ϕ_0 は $25 \sim 35$ 度の範囲となり、拘束圧依存性を考慮すると ($c_a=0.2\text{kgf/cm}^2$ とすると) ϕ_0 としては30度以下となる。

コンクリート塊の強度定数を、自然石材の結果の範囲とともに示したものが図-16である。コンクリート塊試料の試験結果は、一軸圧縮強度が低いグループ2の ϕ_0 の下限値とほぼ一致している。この結果からは、 $c_a=0$ とすると ϕ_0 としては25度程度となる。

コンクリート塊試料の石材粒子は(粗骨材+モルタル)であるので、表-2に示したとおりばらつきはあるものの推定 q_u は 380kgf/cm^2 となりグループ1に分類できるが強度定数は小さい。 q_u が 100kgf/cm^2 以下の特殊モルタル試料と同程度の ϕ_0 となっている。一方、水浸後の試料は水浸前よりも ϕ_0 が15度程度大きくなっている。この原因を検討するため強度定数と関連が強い粒子破碎率について整理したものが図-17である。粒子破碎率はMarsalの粒子破碎率 B_M で定義している。この図ではグループ1の粒子破碎率は10%以下と小さく、コンクリート塊の B_M も小さい値を示している。一方、グループ2の B_M は10~30%と大きな値を示している。 B_M が大きいと ϕ_0 が小さくなる傾向が確認される。この結果から、コンクリート塊が小さな強度定数を示す原因は、粒子破碎率からは説明できないことがわかる。

粒子内の強度が均一に近い自然石材と異なり、コンクリート塊試料の粒子は粗骨材とモルタルからなる不均一な強度分布を示している。そのため、粒子間接点の応力集中によりモルタル表面等の弱面で剥離および滑りが生じ、粒子破碎率に影響するほどの粒度分布の大きな変化を伴わずに圧縮強度が低下していることが考えられる。

中型三軸試験の結果を、同一試料の大型三軸試験結果と示したものが図-18である。凡例中の数字は最大粒径(単位:mm)を示し、L(Loose)およびD(Dense)はそれぞれ緩詰め、密詰めを示している。図-18からは、供試体を密詰めにより、内部摩擦角が5度程度大きくなることがわかる。同じく図-18から、最大粒径の小さな試料では大きな強度定数が得られることがわかる。図-19⁹⁾は最大粒径が内部摩擦角におよぼす影響を示すが、この結果からは図-18で示した ϕ_0 の違いを説明できない。寸法効果の影響を定量的に詳しく調べていないので断定はできないが、最大粒径の小さな試料では一軸圧縮強度が大きい粗骨材の影響が大きいことが推定される。これは、中型三軸用の試料はクラッシャーを二度かけて粒度調整したことにより、モルタルの剥離した量が多く、粗骨材のみとなった粒子が多くなったためであると推定している。

同じ試験から得られた粒子破碎率について整理したものが図-20である。この図-20からコンクリート塊試料の粒子破碎率は最大粒径にはあまり影響を受けていないことが読み取れる。

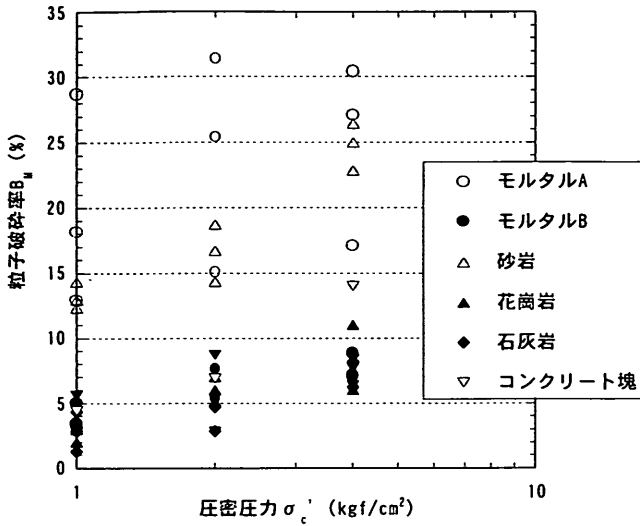


図-17 粒子破碎率と圧密圧力の関係

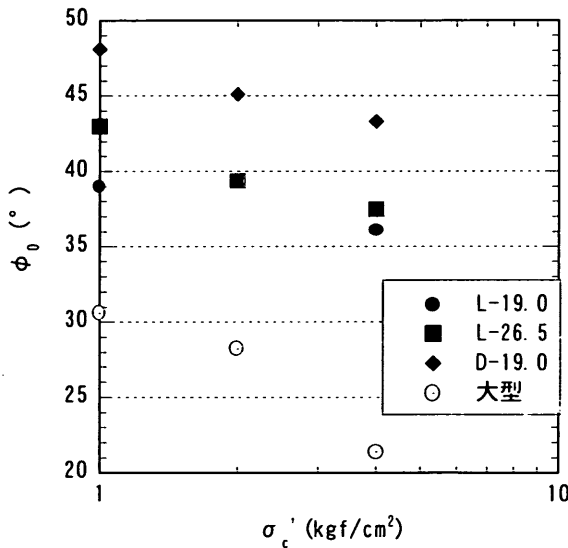


図-18 中型三軸試験における内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係

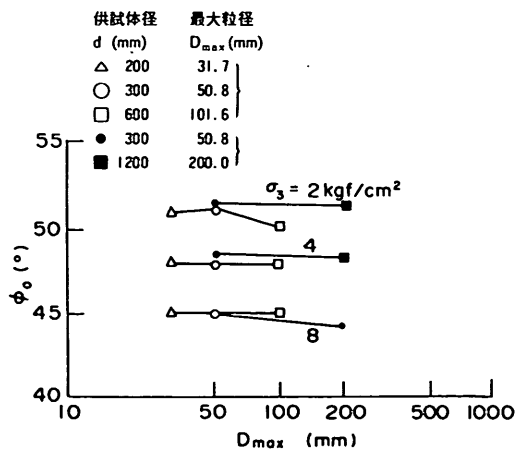


図-19 最大粒径と内部摩擦角 ϕ_0 の関係

これらの結果は、粗粒材料の室内試験で適用している相似粒度の概念が、粒子内の強度分布が不均一であるようなコンクリート塊の場合には適用できない可能性を示唆している。

(2) 水浸の影響

図-21 に内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係を示す。図-21 中には強度を調整して作成した特殊モルタル試料の ϕ_0 も合わせて示している(モルタル40は一軸圧縮強度 q_u が 40 kgf/cm^2 であることを示す)。破碎直後の試料では、

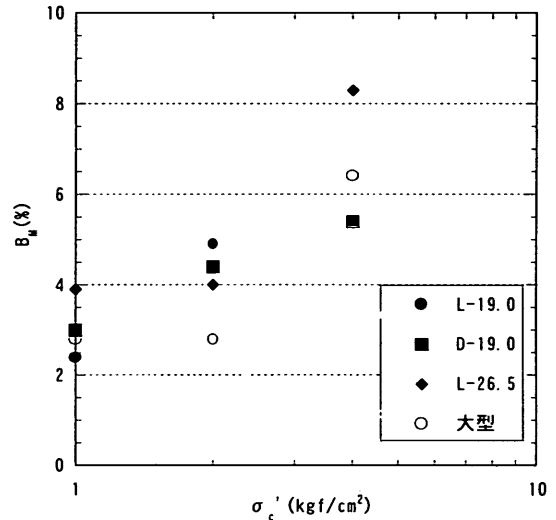


図-20 中型三軸試験における粒子破碎率と圧密圧力の関係

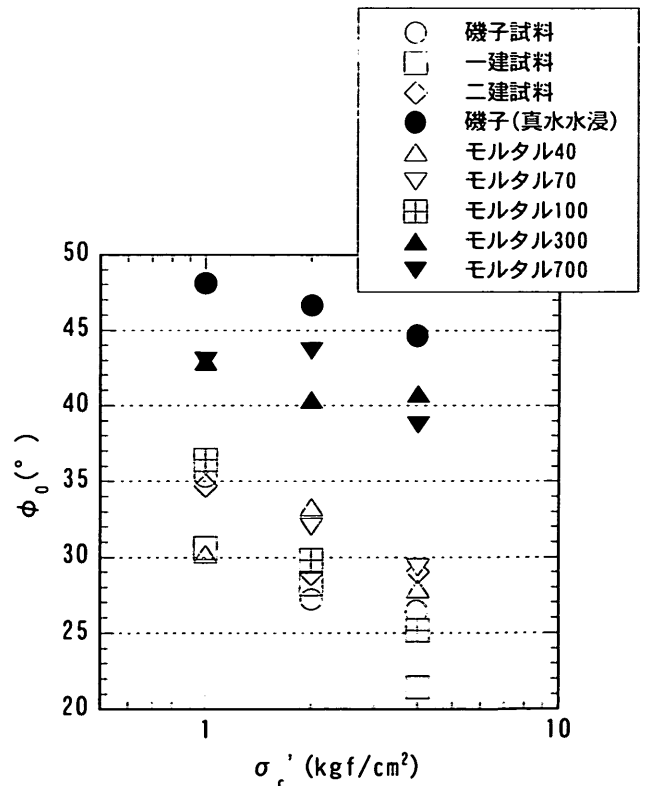


図-21 水中養生後の内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係

推定 α_u が 380kgf/cm^2 程度であるにもかかわらず、 α_u が 100kgf/cm^2 以下の特殊モルタル試料と同程度の ϕ_0 となっている。一方水浸後の試料は水浸前よりも15度程度大きくなっている。

図-22に試料-Ⅲの中型三軸試験結果を大型三軸試験結果とともに示す。水浸後の結果は密詰め供試体の結果とほぼ一致している。せん断中の排水挙動を見ると図-23のようになり、水浸の前後でほぼ同じ挙動を示している。また、中型密詰め供試体の挙動とも異なっており、強度の大きさの違いはダイレイタンスー特性の変化に起因していないことがわかる。

以上の結果から、水浸後の強度が高い理由として、水中養生中に粗骨材に付着したモルタルの薄い部分が中性化の影響を強く受け剥離し粗骨材の影響が三軸試験結果にあらわれたものと考えられる。供試体粒子の目視による観察によると、モルタル部が完全に脱落し、粗骨材のみとなっている粒子が多数見られた。また、個々の粒子は、粒径の大きなものでは粗骨材1個と付着しているモルタルで構成されており、水浸後には粗骨材の露出部分の割合が大きくなっている傾向がわかった。また、上記の傾向と矛盾するが、軸圧縮過程後の供試体解体時には、粒子同士の固結が見られ作業が困難であった。拘束圧力を受けることによる粒子の固結も、水浸後の圧縮強度が大きくなった一因である可能性がある。今後は、水浸前後の粒子自体の性状を詳

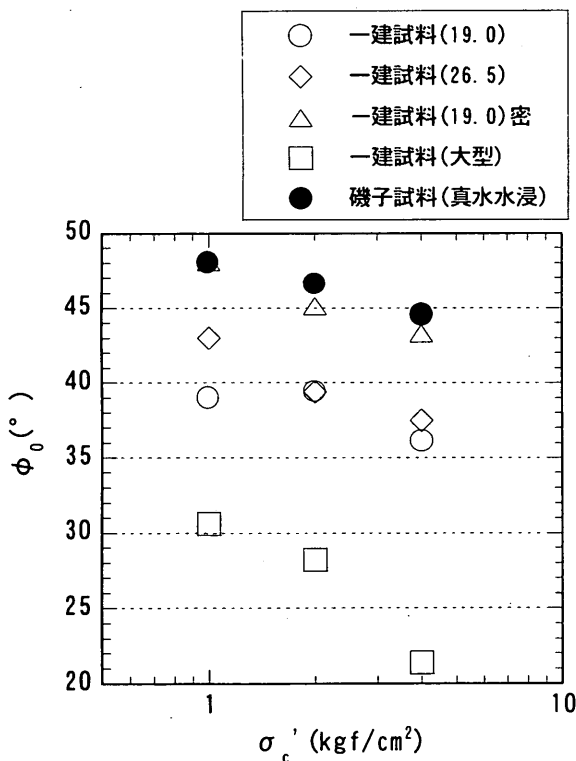


図-22 内部摩擦角 ϕ_0 と圧密圧力の関係 (一建試料)

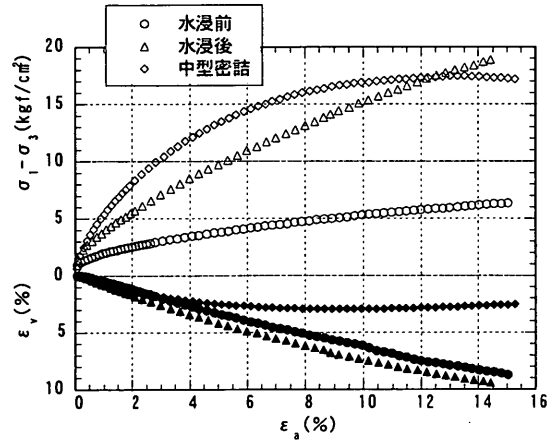


図-23 軸圧縮過程の比較 (一建試料)

しく調べていく必要があると考えられる。

4. コンクリート塊の溶出試験

溶出特性は、法令に基づく溶出物質の検定 (溶出試験) と、長期にわたる溶出特性を調べるための長期溶出試験の2種類の試験を行なって調べた。

溶出試験は海洋投入処分規定に基づき環境庁告示第13号にしたがって検定を行った。検定項目は、表-13に示すようにアルキル水銀化合物を始め33項目である。本研究で用いた試料からは海洋投棄に関する基準値を超えるような物質は含まれていないことが確認された。特殊な骨材あるいは添加剤を使用しない限り、普通のコンクリート塊は環境基準を満足すると考えられる。

5. 長期溶出試験

5.1 長期溶出試験方法

長期溶出試験は、養生液として海水と真水の2種類とした。海水としては、養生液の性質がばらつかないようにするためと放置期間中の腐敗を防ぐため、人工海水を利用した。人工海水には作成後3日間放置し、成分が安定するの待ってから試験に使用した。また、真水としては蒸留水を利用した。試験には、図-24に示す溶出土槽 (高さ1200×幅1000×奥行き1000mm) を、2個準備した。それぞれの土槽にコンクリートガラを、1槽あたり約150kg用意し、コンクリートガラと溶媒の質量比を1:5として水浸させた。環境庁告示第13号の検定等では質量比は約1:10となっているが (規定では試料 [g]、溶媒 [ml] の質量体積比が10%であり、質量比では1:10とはならず約1:10となる)、本研究では溶液が高濃度となるように試料の質量比を1:5として試験を行なった。養生液は全量を30日ごとに交換し、養生液交換直前に採水し以下の測定を行なった。

測定項目は、pH、カルシウムイオン (Ca^{2+} イオン)、カリウムイオン (K^+ イオン)、ナトリウムイオン (Na^+ イオン) および塩素イオン (Cl^- イオン) の5項目である。測定は、図-24に示した溶出土槽の側面に設置したバルブから採水して、計測を行なった。

表-13 コンクリート塊の溶出試験結果一覧

(単位：mg/l)

		定量限界	分析値
1	アルキル水銀化合物	0.0005	<0.0005
2	水銀又はその化合物	0.0005	<0.0005
3	カドミウム又はその化合物	0.001	<0.001
4	鉛又はその化合物	0.001	0.005
5	有機燐化合物	0.1	<0.1
6	六価クロム化合物	0.02	<0.02
7	砒素又はその化合物	0.001	<0.001
8	シアン化合物	0.1	<0.1
9	PCB	0.0005	<0.0005
10	トリクロロエチレン	0.003	<0.003
11	テトラクロロエチレン	0.001	<0.001
12	ジクロロメタン	0.002	<0.002
13	四塩化炭素	0.0002	<0.0002
14	1, 2-ジクロロエタン	0.0004	<0.0004
15	1, 1-ジクロロエチレン	0.002	<0.002
16	シス-1, 2-ジクロロエチレン	0.004	<0.004
17	1, 1, 1-トリクロロエタン	0.1	<0.1
18	1, 1, 2-トリクロロエタン	0.0006	<0.0006
19	1, 3-ジクロロプロペン	0.0002	<0.0002
20	チウラム	0.0006	<0.0006
21	シマジン	0.0003	<0.0003
22	チオベンカルブ	0.002	<0.002
23	ベンゼン	0.001	<0.001
24	セレン又はその化合物	0.001	<0.001
25	有機塩素化合物	0.8	<0.8
26	銅又はその化合物	0.02	<0.02
27	亜鉛又はその化合物	0.05	<0.05
28	弗化物	0.3	<0.3
29	ベリリウム又はその化合物	0.05	<0.05
30	クロム又はその化合物	0.02	<0.02
31	ニッケル又はその化合物	0.02	<0.02
32	バナジウム又はその化合物	0.05	<0.05
33	フェノール類	0.02	<0.02

検定方法は「環境庁告示第13号」による

*) 溶出試験に関する基準値の一覧表を付録に示す

5.2 長期溶出試験結果

図-25は長期溶出試験から得られたpHの経時変化を土槽中の採水位置ごとに示したものである。図-25から海水中で溶出させた溶液のpHは真水中のものよりも低いことがわかる。この結果に関する化学的な検討は今後の課題であるが、荘司らが行った石炭灰の溶液に関する研究²⁾と同様の結果である。また、採水位置との関連から試料から離れた位置ではpHが低いことがわかる。

海水養生の場合、試験開始後210日(7回目の測定)における測定データが最低値を示している。それ以降のデータは、若干大きくなっている。海水自体のpHは8.3であることを考えると、今回の結果からは、コンクリート塊試料を海水交換がある条件下で使用した場合、pHの上昇は問題にならないと考えられる。

図-26～29に、カルシウムイオン(Ca^{2+} イオン)、カリウムイオン(K^+ イオン)、ナトリウムイオン(Na^+ イオン)および塩素イオン(Cl^- イオン)の測定結果を示す。各測定結果では、いずれも海水養生での値の方が大きいことがわかる。イオンの溶出試験結果については、試料と養生液の質量比が試験結果におよぼす影響が大きいこと¹⁰⁾と、アルカリ条件下での測定値の精度の点から、現在のところ化学的な考察は行っていない。海水中のイオンの値(バックグラウンド)等も含めて、今後の課題としたい。

5.3 現地調査結果

完成後約20年経過している港湾区域の埋立地において岸壁法線から陸側へ30m(No.1)及び800m(No.2)離れた2地点の地下水の調査を実施した¹¹⁾。柱状図を図-30、31に示す。岸壁に近いNo.1は礫分を含む砂で構成されて

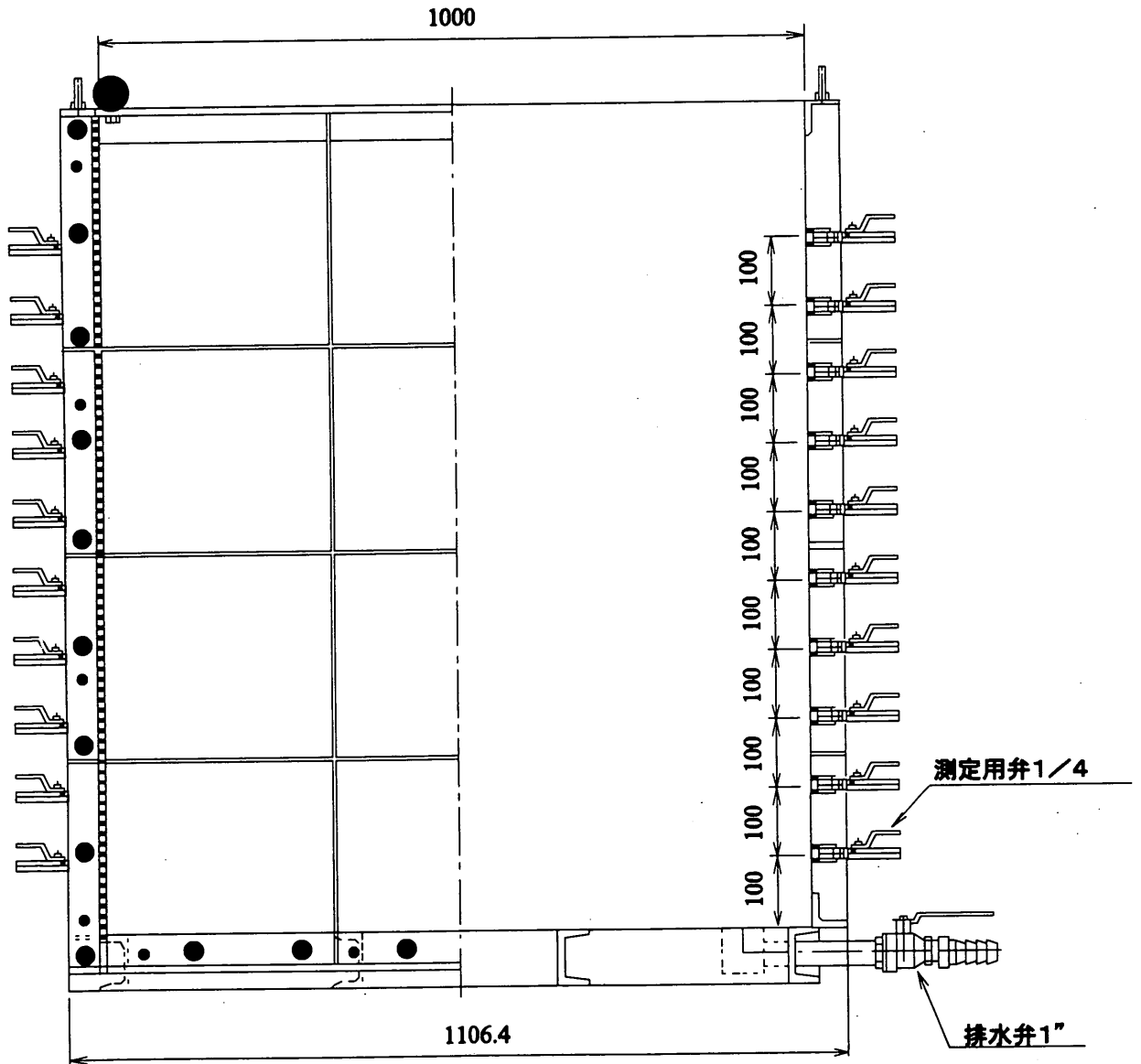


図-24 長期溶出土槽

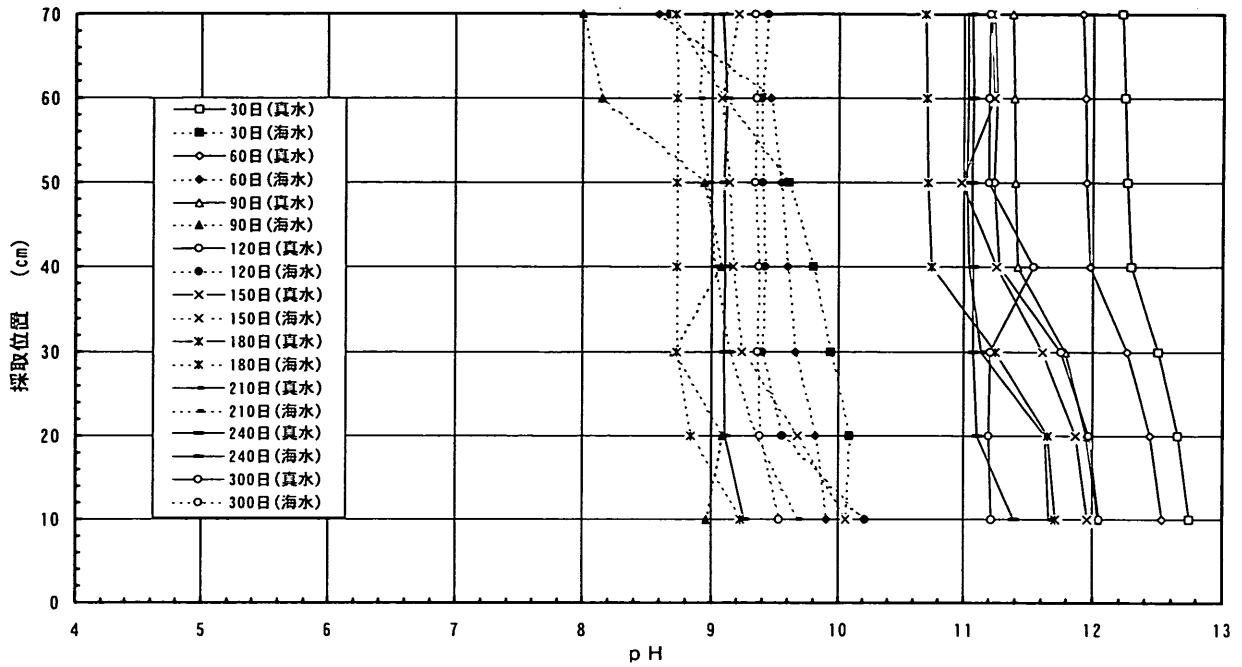


図-25 溶出試験結果 (pH測定)

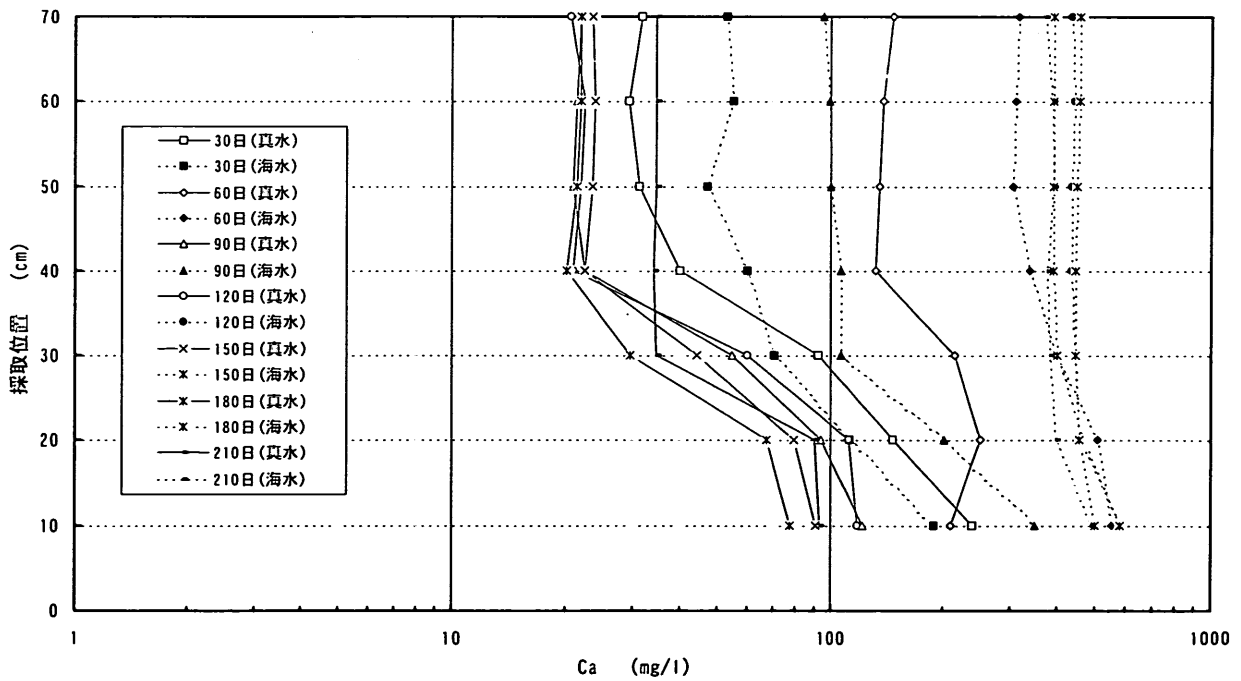


図-26 溶出試験結果 (カルシウムイオン)

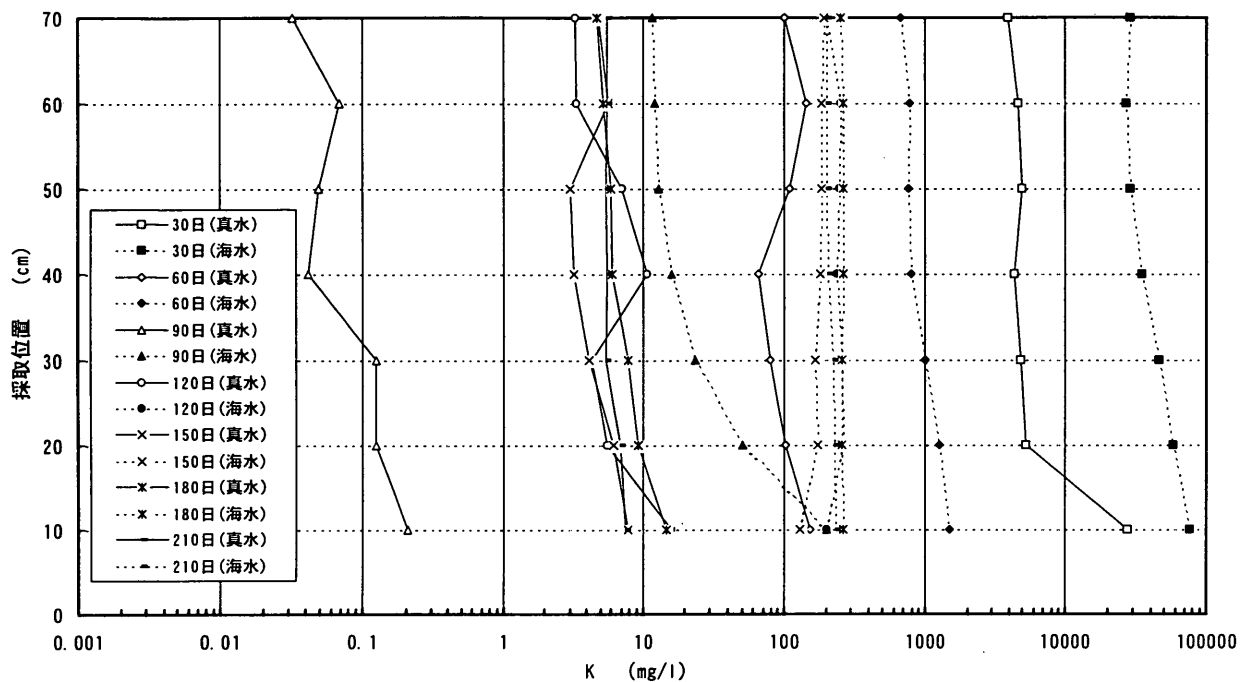


図-27 溶出試験結果 (カリウムイオン)

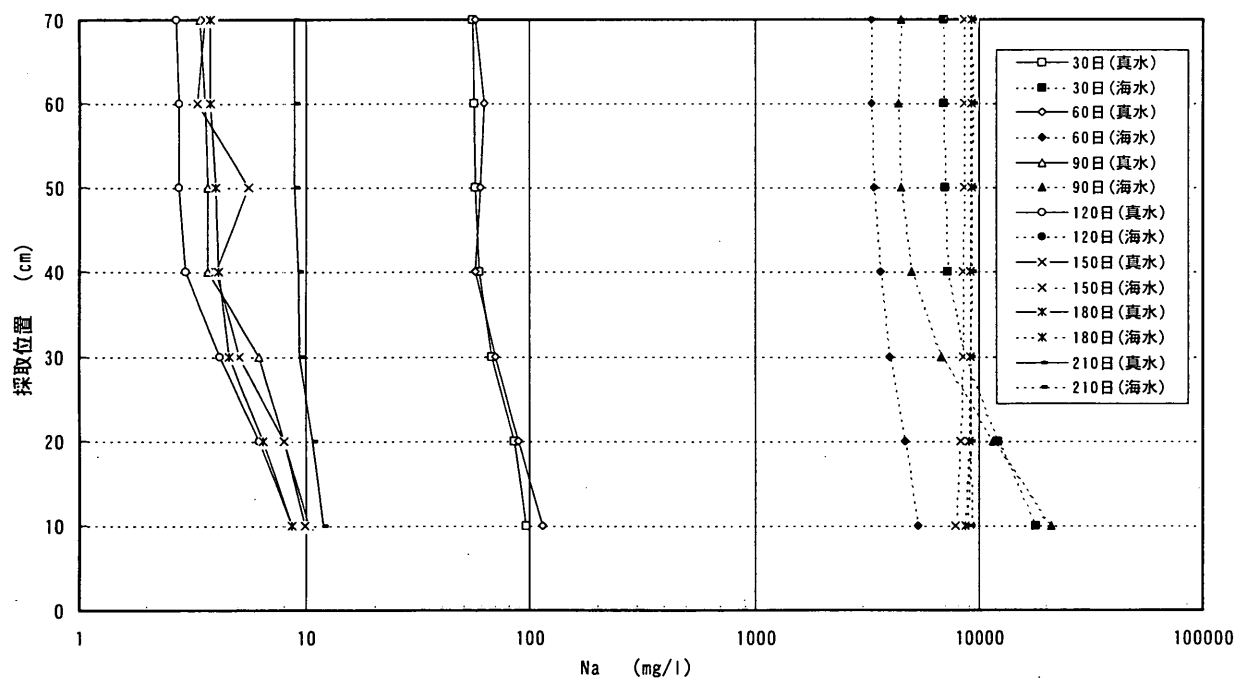


図-28 溶出試験結果 (ナトリウムイオン)

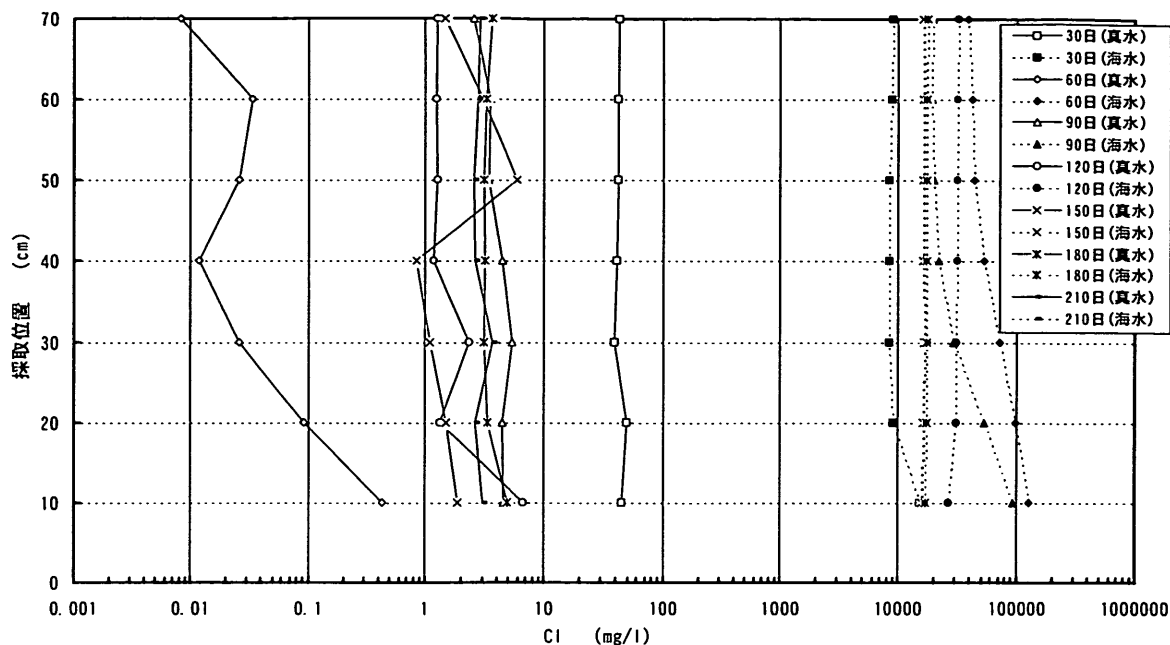


図-29 溶出試験結果 (塩素イオン)

いる地盤である。岸壁から遠いNo.2はGL.-15.4m付近までは細粒分を混入する不均質な礫および砂からなり、部分的にアスファルト(最大36%)やコンクリート(最大20%)を混入しており、GL.-15.4~-19m間は細粒分が86~96%を占める海成粘土主体の細粒土である。地下水のpHの測定値を図-32に示す。No.1では、測定された地下水はpHが6.8~7.6を示している。No.2では、アスファルトやコンクリートを混入している箇所ではpHが11~12と強いアルカリ性を示しているが、GL.-15.4m以深ではpHが7.3~8.1を示すという結果が得られた。同時に測定したイオンの割合からNo.1地点での地下水は海水、No.2では淡水であると考えられる。この結果から、海上埋立て地でも雨水の浸透等により淡水化し、かつその交換が不活発となる場合には、地下水中のpHは強アルカリ性を示すことが予想される。

6. 結論

本研究でえられた主な結論を以下に示す。

(1)コンクリート塊破碎直後の試料を用いた大型三軸試験(最大粒径53mm)による強度定数は、見かけの粘着力 $c_p=0.2\text{kgf/cm}^2$ とすると、内部摩擦角 ϕ_p は30度以下となる。一方、相似粒度で実施した中型三軸試験(最大粒径

19.0mm)結果を同様に整理すると、 ϕ_p は35度を確保できることとなる。

以上の結果から、コンクリート塊のような個々の粒子が不均一な材料では、相似粒度の概念を適用することは難しいことがわかった。

(2)一年間水中養生したコンクリート塊の強度定数は、水浸前よりも大きいことがわかった。この現象は、水中養生中のモルタル分の剥離・脱落に起因していると考えられる。

(3)溶出試験結果によると、コンクリート塊からの溶出液は「海洋投入処分規定」を満足していることが確認された。

(4)長期溶出試験結果から、コンクリート塊からの溶出液のpHは徐々に低下する。養生液を海水とした場合、一年間経過後はほぼ海水のpH(8.3)まで低下することがわかった。

7. あとがき

本研究ではコンクリート塊試料の大型三軸試験から得られる強度定数は自然石材に比べて小さいことがわかった。試験に用いた試料の粒径は原粒度よりも小さいこと、粒子が粗骨材とモルタルからなり粒子内の強度が不均一であ

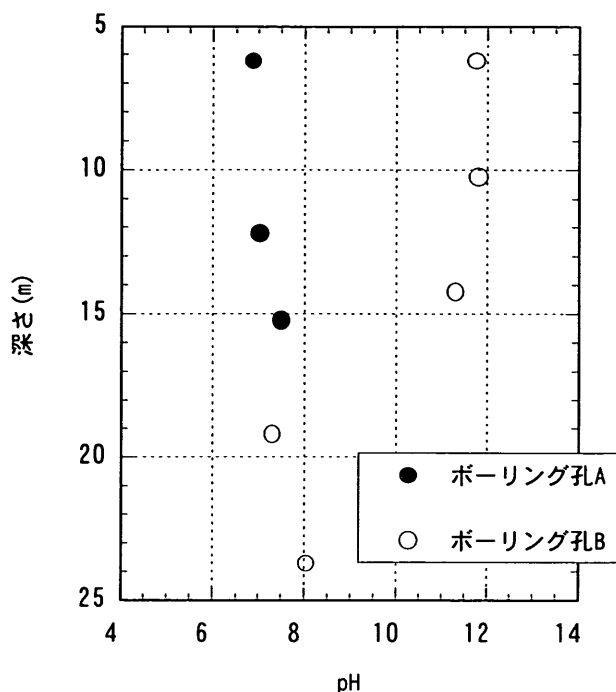


図-32 現地調査における地下水のpH

り、強度の評価が難しいこともわかった。横田らが行ったリサイクル材料に関する試設計¹²⁾では、材料の強度定数が経済性に大きな影響をおよぼすことが示されている。コンクリート塊の有効利用を促進するために、設計に用いるための強度評価手法の開発と、強度特性を改善する手法の開発が今後の課題である。また、5. コンクリート塊の溶出試験については化学的な考察を深める必要がある。

最後に本研究をまとめるにあたり、善功企土質部長に貴重なご助言をいただきました。また、実験実施にあたっては(株)ダイヤコンサルタント小泉和広氏、永野賢司氏、藤田

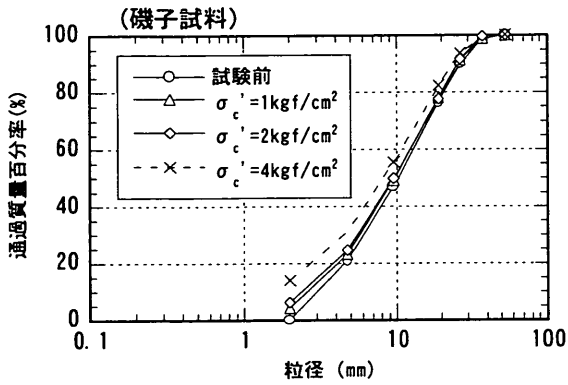
正弘氏にご助力いただきました。土田孝土性研究室長には、本テーマの設定にあたり、大きな示唆を与えていただきました。ここに記して謝意を表します。

(1998年3月31日受付)

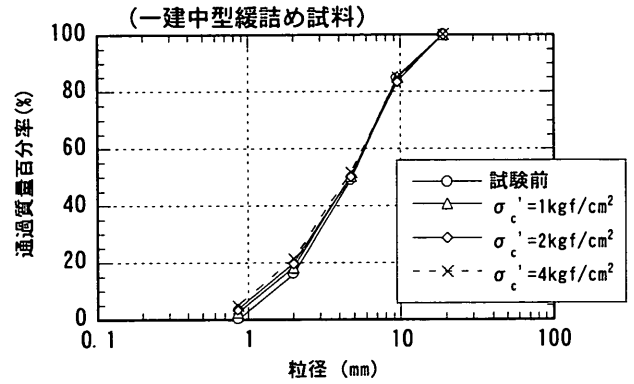
参考文献

- 1) 建設省：平成7年度 建設副産物実態調査
- 2) 土質工学会編：岩の調査と試験，1989.9
- 3) 水上純一，小林正樹：マウンド用捨石材の大型三軸試験による強度特性，港湾技研資料No.699,1991.3
- 4) ISRM:Suggested Method for Determining Point Load Strength, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 22, 1985
- 5) 港湾技術研究所，(社)セメント協会：コンクリートの耐海水性に関する研究—材令10年試験結果報告—，1981.3
- 6) 土質工学会：土質試験の方法と解説 第7編第8章「粗粒材料の三軸試験の供試体作成」，pp.397-406，1990
- 7) 運輸省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1989
- 8) 土質工学会：粗粒材料の変形と強度，1986
- 9) 荘司喜博，富樫浩一：石炭灰溶出液に関する室内実験，港湾技研資料No.432,1982.9
- 10) 酒井伸一，水谷聡，高月紘：溶出試験の基本的考え方，廃棄物学会誌，Vol.7, No.5, pp.383-393，1996
- 11) 運輸省港湾技術研究所土質部，林野庁森林総合研究所：臨海部防災緑地液状化被害対策調査報告書，1997.1
- 12) 横田弘，中島晋：リサイクル材料の港湾工事への活用に関する検討，港湾技研資料No.824，1996.3

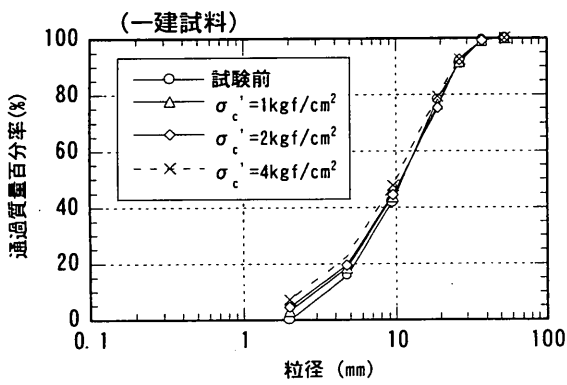
付録



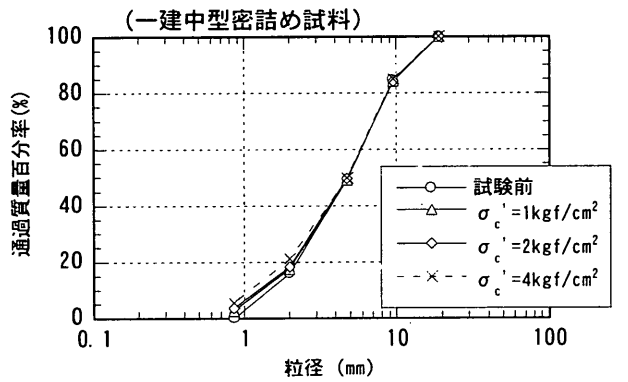
付図-1 試験前後の粒径加積曲線 (磯子試料)



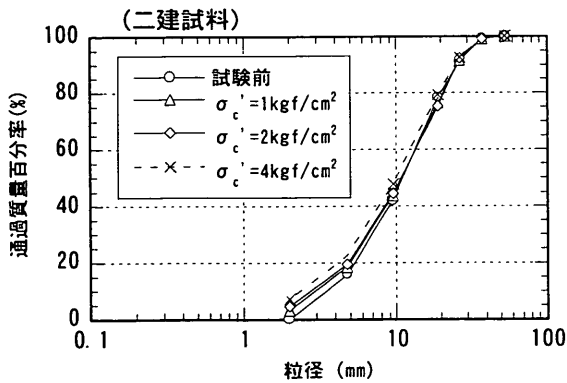
付図-4 試験前後の粒径加積曲線 (一建中型緩詰め試料)



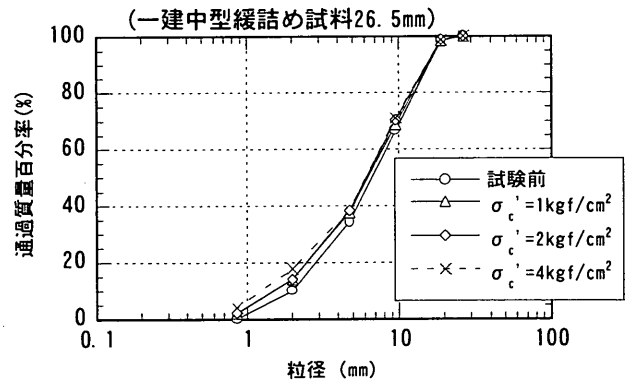
付図-2 試験前後の粒径加積曲線 (一建試料)



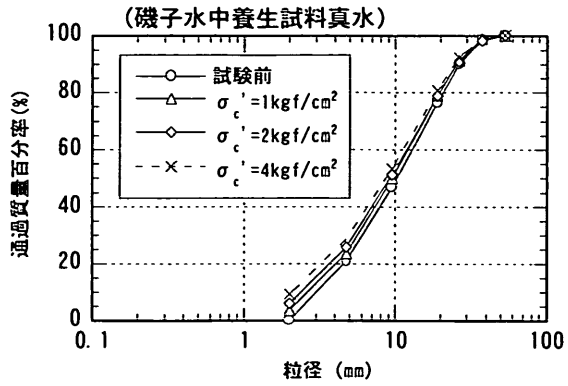
付図-5 試験前後の粒径加積曲線 (一建中型密詰め試料)



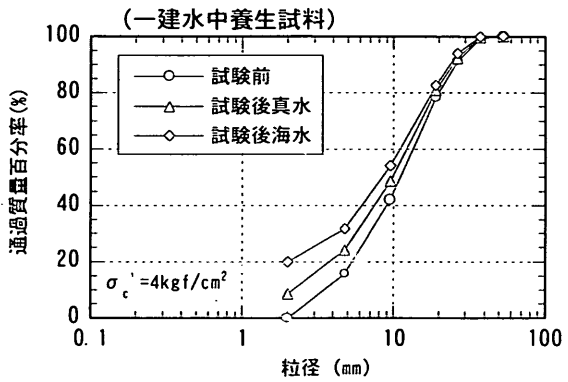
付図-3 試験前後の粒径加積曲線 (二建試料)



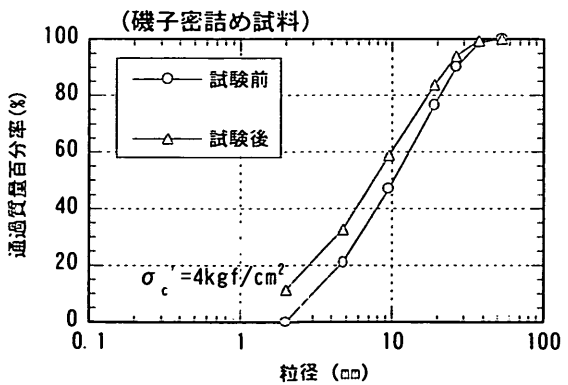
付図-6 試験前後の粒径加積曲線
(一建中型緩詰め試料, 最大粒径 26.5mm)



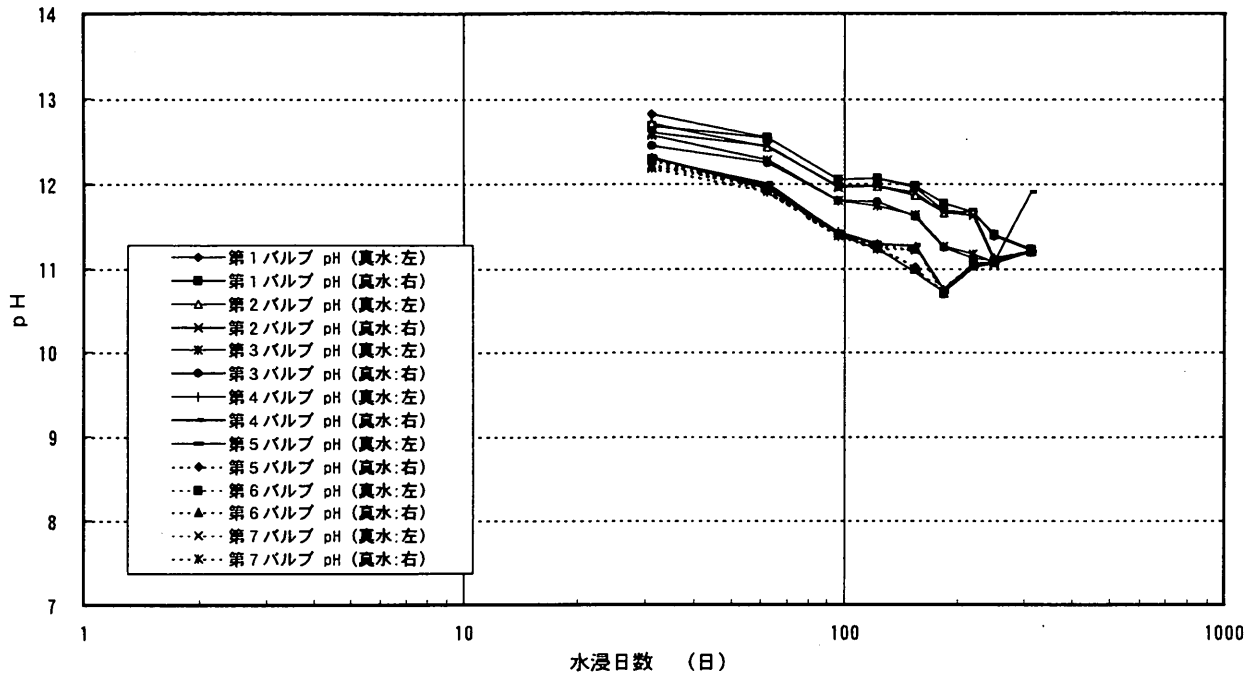
付図-7 試験前後の粒径加積曲線
(礫子水中養生試料. 真水)



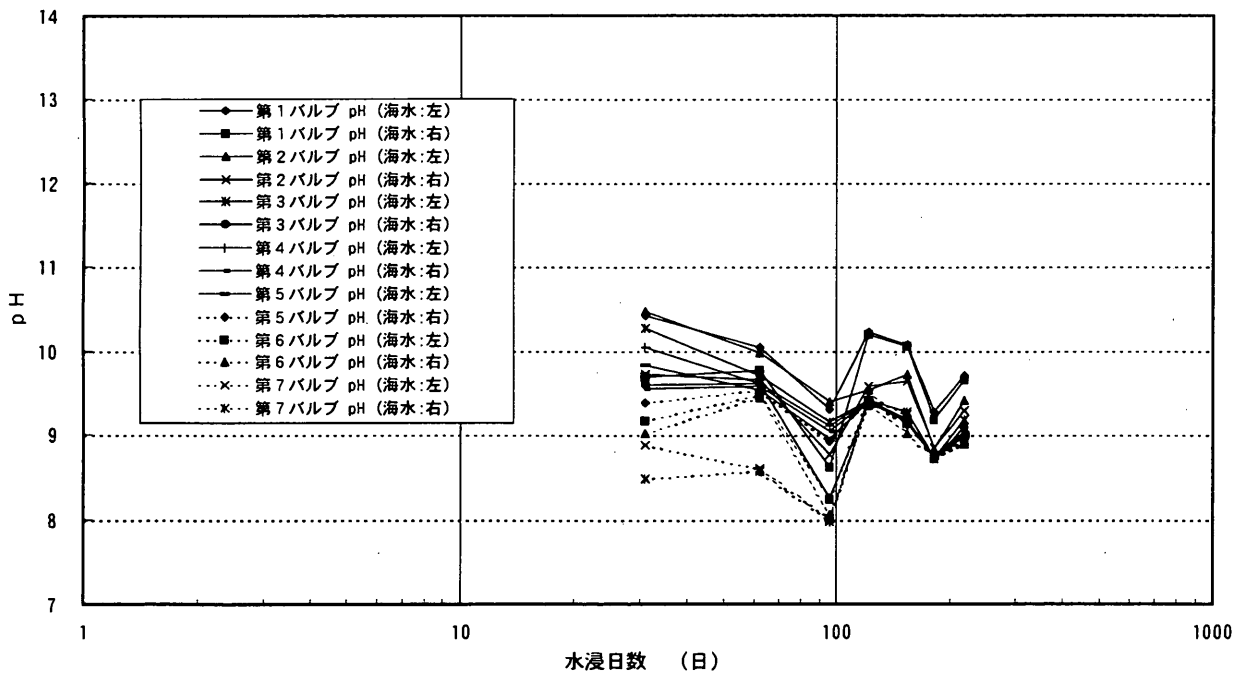
付図-8 試験前後の粒径加積曲線 (一建水中養生試料)



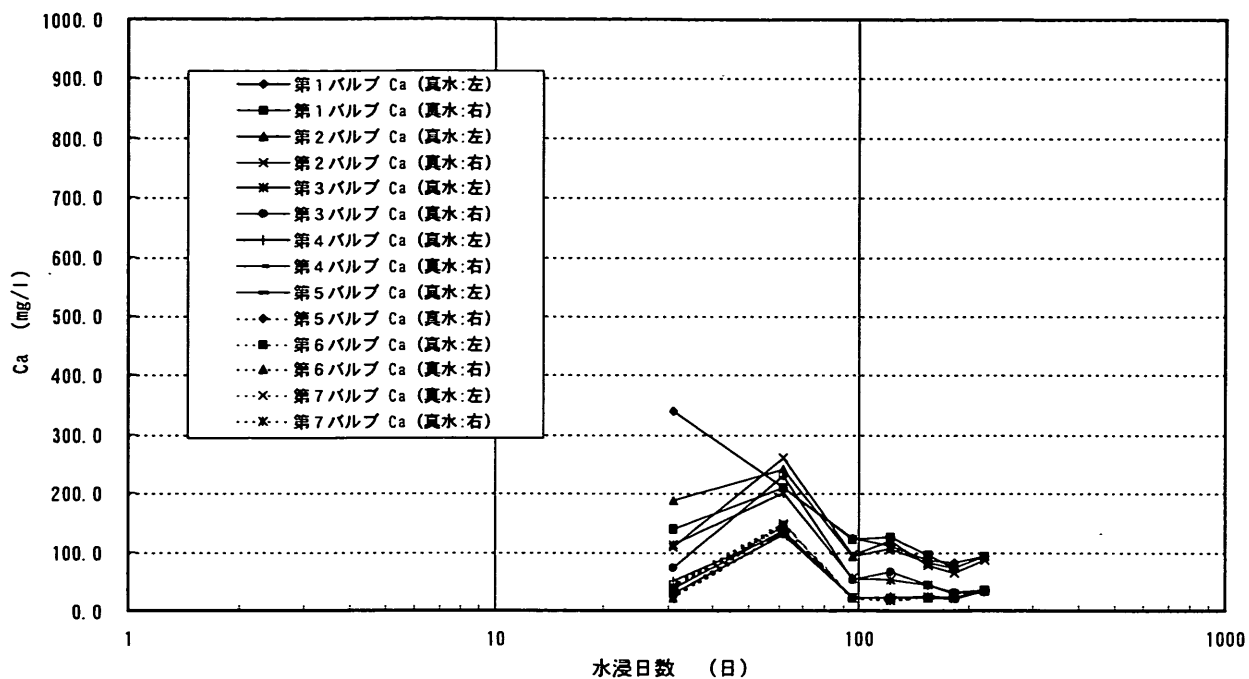
付図-9 試験前後の粒径加積曲線 (礫子密詰め試料)



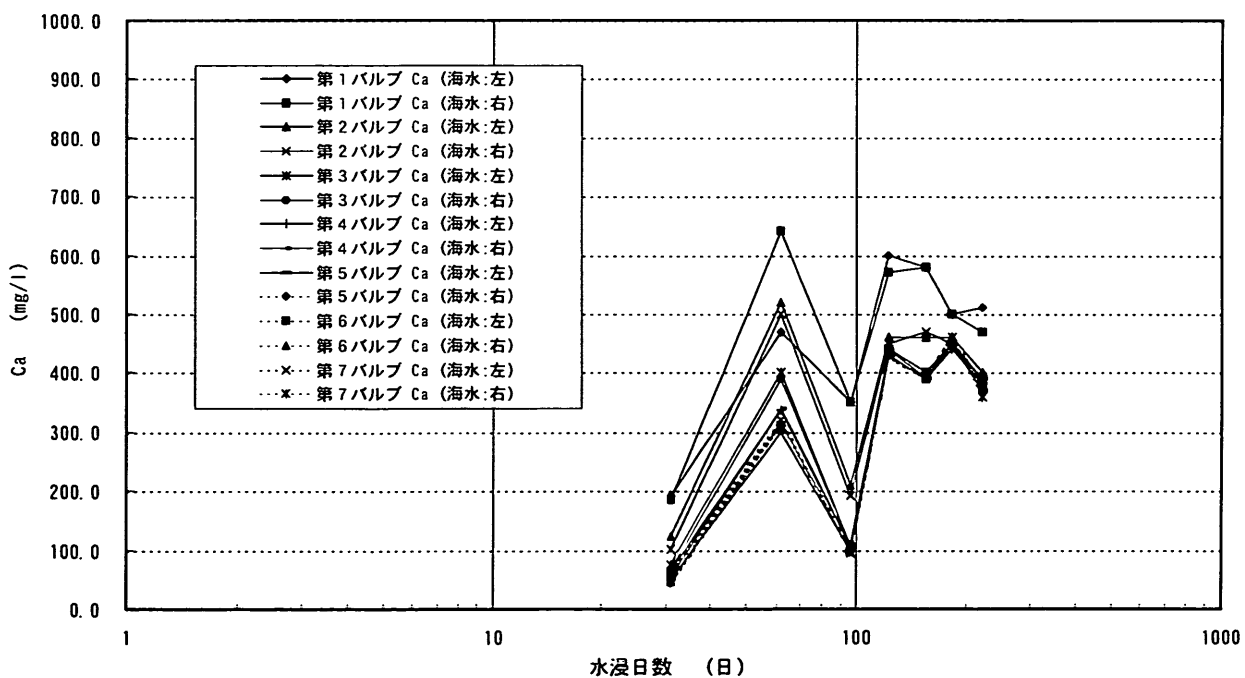
付図-10 pHの経時変化(真水養生)



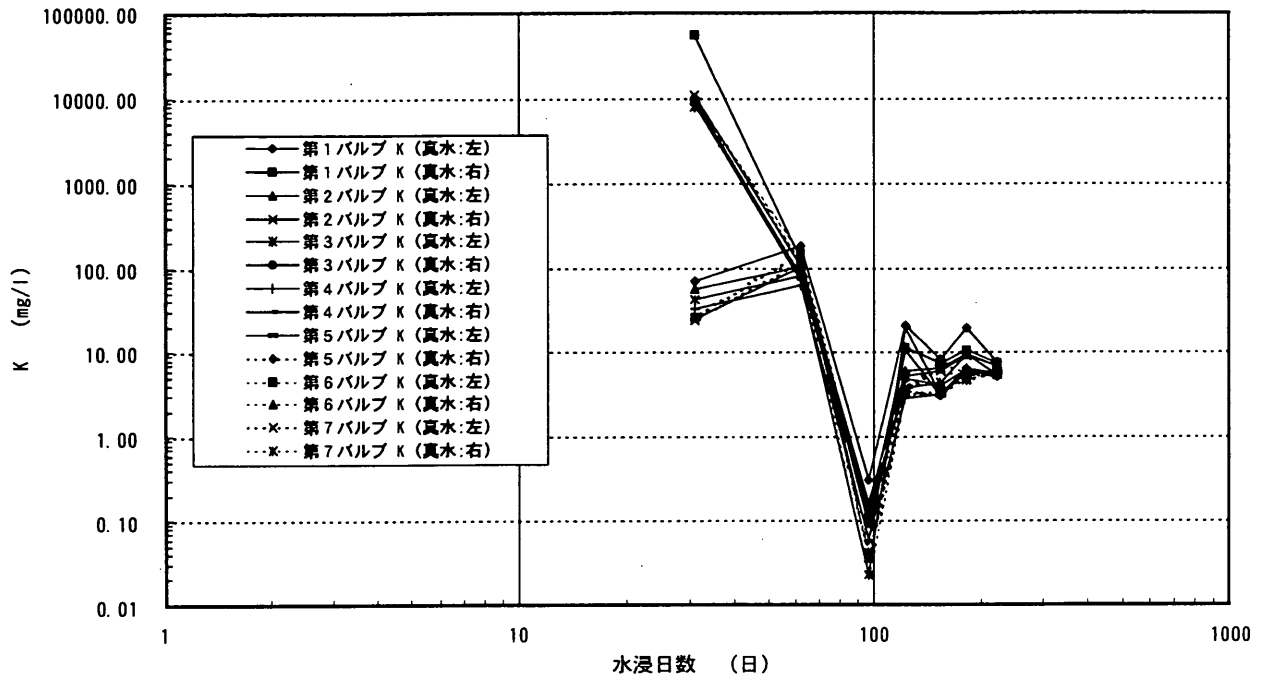
付図-11 pHの経時変化(海水養生)



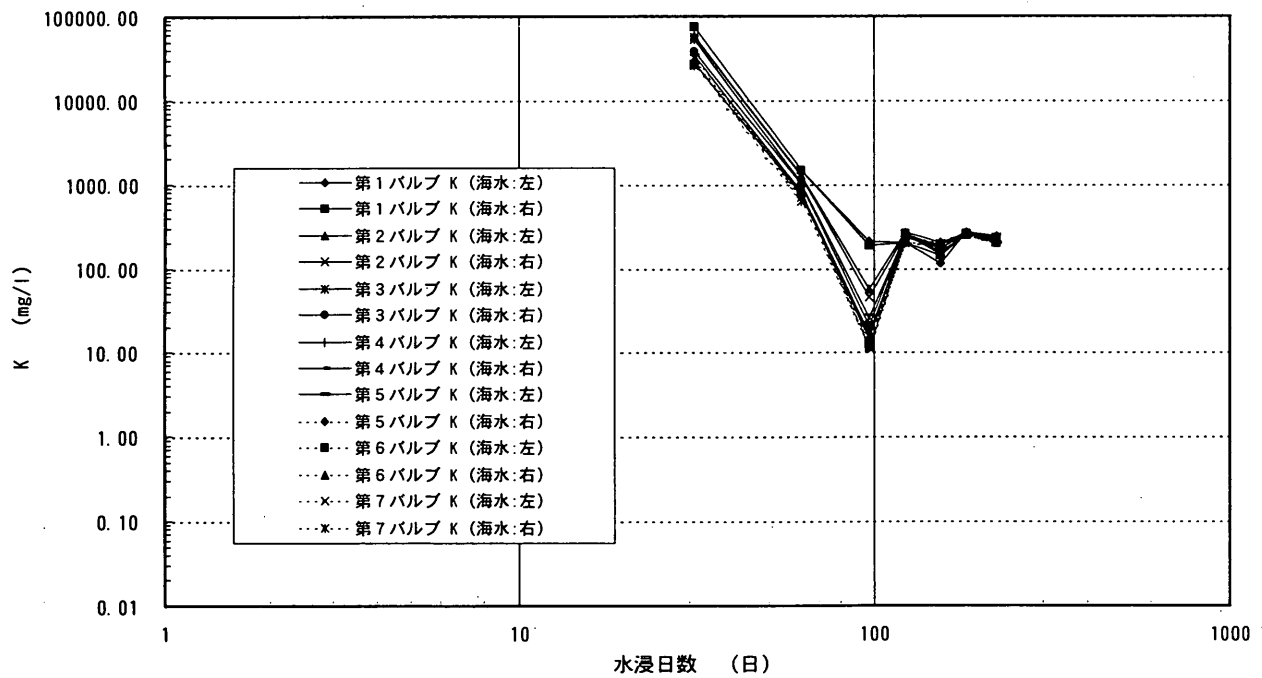
付図-12 カルシウムイオンの経時変化 (真水養生)



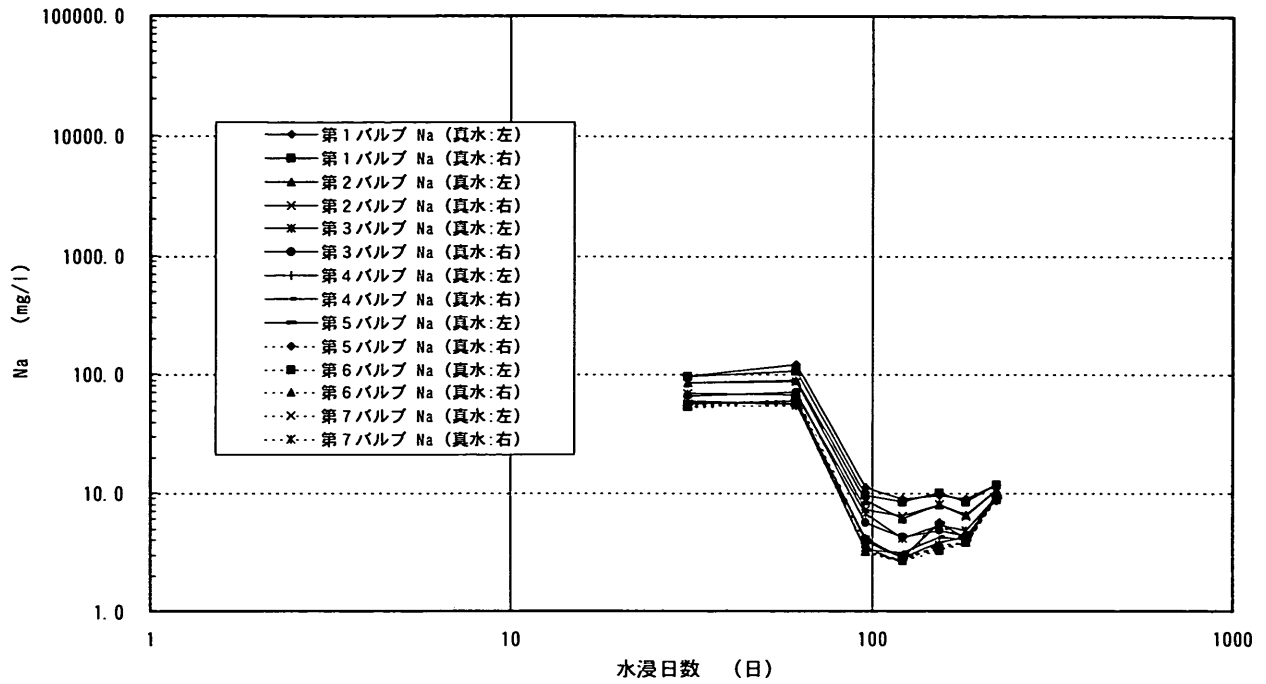
付図-13 カルシウムイオンの経時変化 (海水養生)



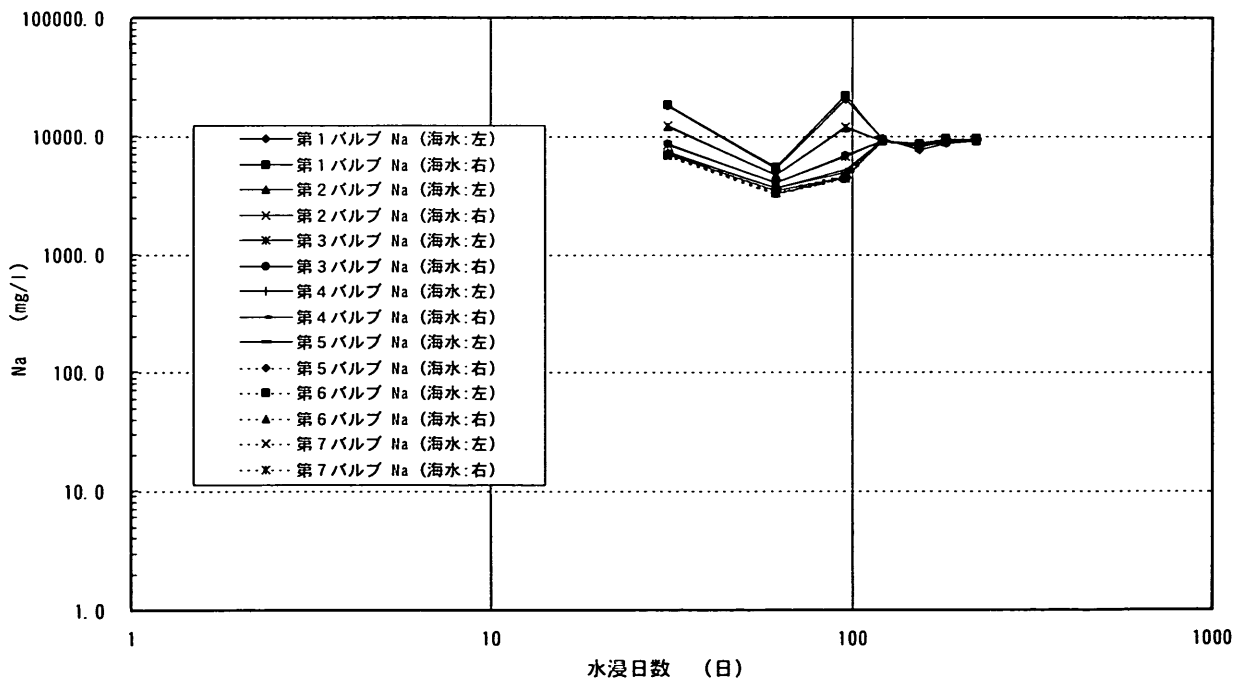
付図-14 カリウムイオンの経時変化 (真水養生)



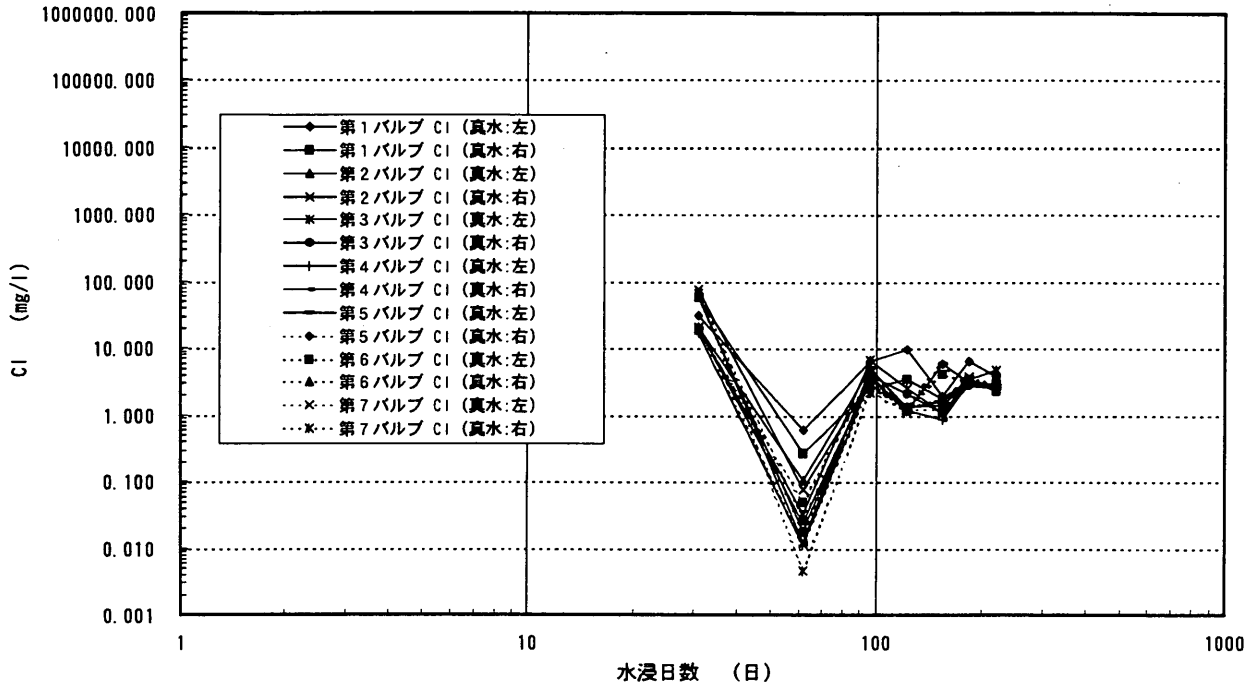
付図-15 カリウムイオンの経時変化 (海水養生)



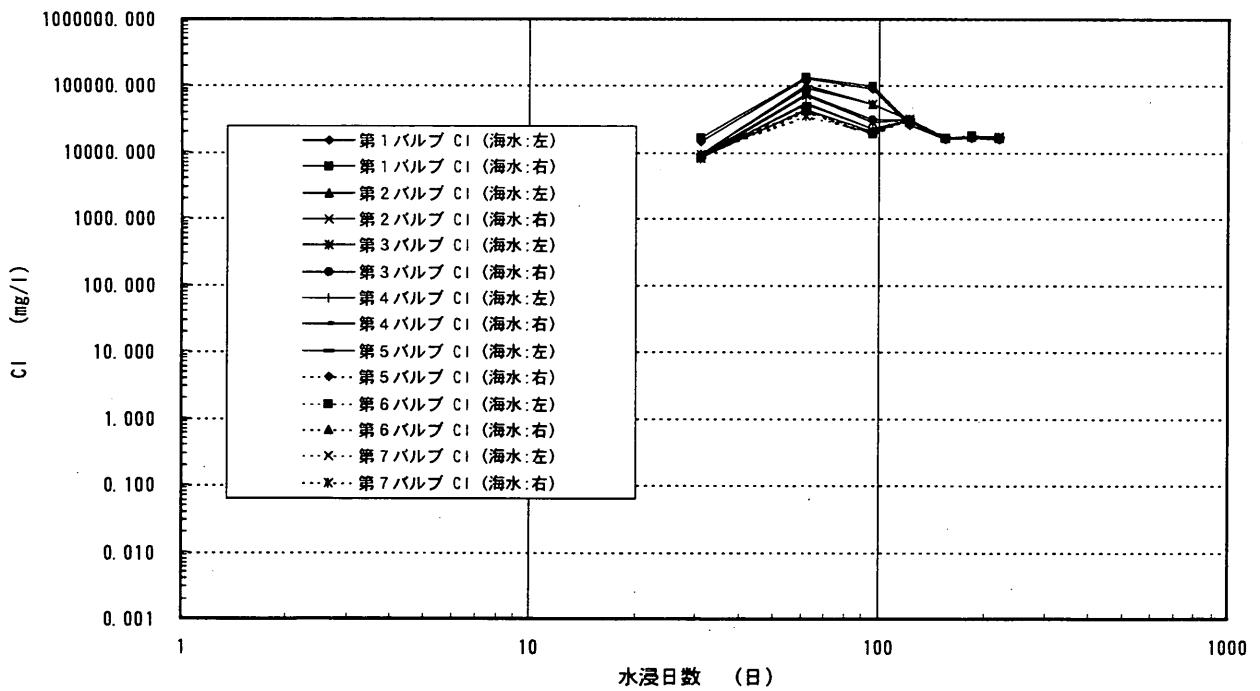
付図-16 ナトリウムイオンの経時変化 (真水養生)



付図-17 ナトリウムイオンの経時変化 (海水養生)



付図-18 塩素イオンの経時変化 (真水養生)



付図-19 塩素イオンの経時変化 (海水養生)

付表-1 礫子試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率

粒径	試験前	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ²	2kgf/cm ²	4kgf/cm ²
(mm)	加積通過率(%)	(%)	(%)	(%)
53	100	100	100	100
37.5	98.6	98.9	99.5	99.4
26.5	89.9	91.3	91.6	93.7
19.0	76.7	78.1	77.7	82.3
9.5	47.1	49.0	49.9	55.4
4.75	21	23.2	24.6	31.1
2.0	0	4.4	6.2	14.0
粒子破碎率(%)		4.4	6.9	14.0

付表-2 一建試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率

粒径	試験前	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ²	2kgf/cm ²	4kgf/cm ²
(mm)	加積通過率(%)	(%)	(%)	(%)
53	100	100	100	100
37.5	98.4	98.7	99.1	99.0
26.5	85.2	85.2	86.0	86.5
19.0	66.5	66.2	66.9	67.1
9.5	34.3	35.0	35.1	38.7
4.75	13.5	14.8	15.2	16.1
2.0	0	2.2	2.4	3.9
粒子破碎率(%)		2.8	2.8	6.4

付表-3 二建試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率

粒径	試験前	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ²	2kgf/cm ²	4kgf/cm ²
(mm)	加積通過率(%)	(%)	(%)	(%)
53	100	100	100	100
37.5	99.2	99.1	99.2	99.5
26.5	91.1	91.6	92.3	92.5
19.0	78.3	76.5	75.4	79.2
9.5	42.3	43.7	44.5	47.8
4.75	15.6	18.5	19.4	22.5
2.0	0	3.2	4.6	7.2
粒子破碎率(%)		5.6	8.7	7.7

付表-4 一建試料中型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（最大粒径 19.0mm. 緩詰め）

粒径 (mm)	試験前 加積通過率 (%)	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ² (%)	2kgf/cm ² (%)	4kgf/cm ² (%)
19.0	100	100	100	100
9.5	84.8	85.2	83.6	84.9
4.75	49.0	50.3	50.4	51.8
2.0	15.9	18.2	19.6	21.3
0.85	0	2.4	3.5	4.9
粒子破碎率 (%)		2.4	4.9	5.4

付表-5 一建試料中型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（最大粒径 19.0mm. 密詰め）

粒径 (mm)	試験前 加積通過率 (%)	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ² (%)	2kgf/cm ² (%)	4kgf/cm ² (%)
19.0	100	100	100	100
9.5	84.8	84.4	84.0	84.9
4.75	49.0	49.0	49.5	49.7
2.0	15.9	17.5	18.3	21.1
0.85	0	2.6	3.6	5.4
粒子破碎率 (%)		3.0	4.4	5.4

付表-6 一建試料中型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（最大粒径 26.5mm. 緩詰め）

粒径 (mm)	試験前 加積通過率 (%)	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ² (%)	2kgf/cm ² (%)	4kgf/cm ² (%)
26.5	100	100	100	100
19.0	98.4	98.4	98.9	98.6
9.5	66.5	68.7	70.4	71.1
4.75	34.3	37.5	38.3	38.3
2.0	10.0	13.9	13.9	17.7
0.85	0	1.9	2.2	4.1
粒子破碎率 (%)		3.9	4.0	8.3

付表-7 磯子水中養生試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（真水養生）

粒径 (mm)	試験前 加積通過率 (%)	試験後		
		セル圧 1kgf/cm ² (%)	2kgf/cm ² (%)	4kgf/cm ² (%)
53	100	100	100	100
37.5	98.6	98.9	98.2	99.1
26.5	89.9	91.4	90.8	92.3
19.0	76.7	79.4	78.8	80.8
9.5	47.1	50.1	51.2	53.4
4.75	21.0	23.7	25.7	28.7
2.0	0	3.7	5.9	9.3
粒子破碎率 (%)		4.0	6.3	9.3

付表-8 二建水中養生試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（セル圧 4kgf/cm²）

粒径 (mm)	試験前	試験後	
	加積通過率(%)	真水養生 (%)	海水養生 (%)
53	100	100	100
37.5	99.2	99.6	99.8
26.5	91.1	92.3	93.9
19.0	78.3	80.9	82.7
9.5	42.3	48.6	54.1
4.75	15.6	24.0	31.7
2.0	0	8.6	20.0
粒子破碎率(%)		8.6	20.0

付表-9 礫子試料大型三軸試験前後のふるい分け試験結果と粒子破碎率（セル圧 4kgf/cm². 密詰め）

粒径 (mm)	試験前 加積通過率(%)	試験後 (%)
53	100	100
37.5	98.6	99.4
26.5	89.9	94.0
19.0	76.7	83.9
9.5	47.1	58.8
4.75	21.0	32.6
2.0	0	11.5
粒子破碎率(%)		11.7

付表-10 中型三軸試験結果

(絶対比重は 2.050)

試料名	最大粒径 (mm)	乾燥質量 (g)	排水量 (cm ³)	体積		乾燥密度		間隙比	
				初期 (cm ³)	圧密後 (cm ³)	初期 (g/cm ³)	圧密後 (g/cm ³)	初期	圧密後
緩詰 1	19.6	1841.6	36.18	1495.8	1459.6	1.231	1.262	0.665	0.625
緩詰 2	19.6	1867.9	65.82	1474.6	1408.8	1.267	1.326	0.618	0.546
緩詰 4	19.6	1918.2	73.17	1499.4	1426.2	1.279	1.345	0.602	0.524
密詰 1	19.6	2354.8	15.97	1533.0	1517.0	1.536	1.552	0.334	0.321
密詰 2	19.6	2326.4	25.45	1530.0	1504.5	1.521	1.546	0.348	0.326
密詰 4	19.6	2339.5	41.00	1523.9	1482.9	1.535	1.578	0.335	0.300
緩詰 1	26.5	1962.6	20.83	1395.7	1374.9	1.406	1.427	0.458	0.436
緩詰 2	26.5	1961.2	37.79	1449.0	1411.2	1.353	1.390	0.515	0.475
緩詰 4	26.5	1962.9	71.57	1437.9	1366.3	1.365	1.437	0.502	0.430

付表-10 溶出試験に関する基準一覧

(単位: mg/l)

	埋立処分規定 ¹⁾	海洋投入処分規定 ¹⁾	埋立処分 ²⁾	海洋投入処分 ²⁾
				集中型排出
	①鉱さい②ばいじん ③燃え殻④汚泥⑤これらを処分するために処理したもの	①廃酸②廃アルカリ	①鉱さい②ばいじん ③燃え殻④汚泥⑤これらを処分するために処理したもの	①非水溶性無機性汚泥
1	アルキル水銀化合物	不検出	不検出	不検出
2	水銀又はその化合物	0.005	0.025	0.0005
3	カドミウム又はその化合物	0.3	0.1	0.01
4	鉛又はその化合物	1	1	0.01
5	有機リン化合物	1	1	不検出
6	六価クロム化合物	1.5	0.5	0.05
7	砒素又はその化合物	0.3	0.15	0.01
8	シアン化合物	1	1	不検出
9	PCB	0.003	0.003	不検出
10	トリクロロエチレン	0.3	0.3	0.03
11	テトラクロロエチレン	0.1	0.1	0.01
12	ジクロロメタン	0.2	0.2	0.02
13	四塩化炭素	0.02	0.02	0.002
14	1, 2-ジクロロエタン	0.04	0.04	0.004
15	1, 1-ジクロロエチレン	0.2	0.2	0.02
16	シス-1, 2-ジクロロエチレン	0.4	0.4	0.04
17	1, 1, 1-トリクロロエタン	3	3	1
18	1, 1, 2-トリクロロエタン	0.06	0.06	0.006
19	1, 3-ジクロロプロペン	0.02	0.02	0.002
20	チウラム	0.06	0.06	0.006
21	シマジン	0.03	0.03	0.003
22	チオベンカルブ	0.2	0.2	0.02
23	ベンゼン	0.1	0.1	0.01
24	セレン又はその化合物	0.3	0.1	0.01
25	有機塩素化合物		4	1
26	銅又はその化合物		10	0.14
27	亜鉛又はその化合物		20	0.8
28	弗化物		15	3
29	ベリリウム又はその化合物		2.5	0.25
30	クロム又はその化合物		2	0.2
31	ニッケル又はその化合物		1.2	0.12
32	バナジウム又はその化合物		1.5	0.15
33	フェノール類		20	0.2

1) 特定管理産業廃棄物の基準「廃棄物処理法」第12条第5項

⇒ 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令」第2条の2 (政令)

⇒ 「廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行規則」第1条の2 (省令)

2) 産業廃棄物の処分の基準

⇒ 「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令」総理府令第5号

港 湾 技 研 資 料 No. 906

1998. 6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株式会社 シ ー ケ ン

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (1998) by P.H.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 General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。