

本州・四国・基礎工
調査資料 No. 11

土 木 研 究 所 資 料

第 71 号

本州・四国連絡道路橋の基礎地盤の
せん断特性に関する資料

昭和 40 年 7 月

建設省土木研究所

§ 1. ま え が き

本州・四国連絡橋調査のうち、基礎地盤の支持力判定については、土木研究所の分担になっている。

支持力判定のために、現地調査事務所が、多数のボーリングと、それから得たコアについての室内試験のほかボーリング孔を利用した現位置試験などを実施しており、土木研究所も、現地の陸上部で載荷試験を実施している。また、土木研究所では、支持力判定のための資料になる、国内のダム地点の実測資料、文献に掲載されている資料を収集した。

この調査資料は、上記の資料を地盤別に収録したものである。

昭和40年7月1日

構造橋梁部基礎調査室 吉 田 殷

吉 中 竜之進

§ 2. 地盤のせん断特性と第1次判定

今回まとめた諸資料をもとにして、支持力計算、に必要な、地盤のせん断特性を〔表-1〕にまとめた。

この値はあくまで第1次判定値であり、40年度に引続いて行われている調査をまわって当然改定されるべきものである。

表-1 せん断特性の判定事項

事項 地点	判定のための直接資料	判 定 事 項
明石海峡	1) 明石層 (a) 陸上部載荷試験結果(8点) $qu=280\sim500\text{ t/m}^2$ に基き Terzaghi 公式より逆算して $c=1\text{ t/m}^2$ と仮定すれば $\phi=35^\circ$ (b) N値(陸上) 20~30 から $\phi=32^\circ\sim36^\circ$ (c) 三軸圧縮試験 $c=0$ $\phi=49^\circ$	海中明石層の直接のせん断特性はえられていないが、海中ボーリング・コアの観察から陸上部垂水附近に分布するもの岩層附近に分布するものをその代表的なものとするれば $c=1\text{ t/m}^2$ $\phi=35^\circ$ 礫に粘土分が混入するもの $c=4\text{ t/m}^2$ $\phi=30^\circ$
	2) 神戸層 (a) 海上陸上ボーリングコアの一軸圧縮試験結果。多数 $qu=5\sim150\text{ Kg/cm}^2$ (b) 海上、陸上ボーリングコアの三軸圧縮試験 10点 $c=4\sim350\text{ t/m}^2$ $\phi=13\sim60^\circ$ (c) 陸上部載荷試験(2点) $qu=920\sim936\text{ t/m}^2$ にもとずき Terzaghi 公式で逆算すると $\phi=30^\circ$ と仮定すれば $c=30\text{ t/m}^2$	神戸層はコアの一軸で $5\sim150\text{ Kg/cm}^2$ に亘り範囲が広いが、大部分は $10\sim50\text{ Kg/cm}^2$ である。この範囲のコア三軸では、 $c=3\sim30\text{ Kg/cm}^2$ 、及び $\phi=25\sim30^\circ$ 程度である。この結果等と載荷試験結果を加味して次の値が妥当と思われる。 $c=30\sim50\text{ t/m}^2$ $\phi=25\sim30^\circ$

鳴戸海峡	(a) 和泉層 ボーリングコアの一軸圧縮 試験、多数 $qu=200\sim1,300\text{Kg/cm}^2$	岩石そのものは強固であるが岩盤ではクラック、シーム、ジョイント及び風化のため強度は減少しているものとする。本岩層と地質的に類似の岩盤のせん断試験（天ヶ瀬ダムその他）結果を参考にして次の値をとる。 $c=100\text{ t/m}^2$ $\phi=35^\circ$
備前川 その他	1) 粘性土 (a) ボーリングコアの三軸、直接 剪断（58ヶ及び122ヶ） 試験結果 $c=4\sim10\text{ t/m}^2$ $\phi=4\sim30^\circ$ (b) N値=4~10	ここでは海底下20m以下に分布する地層を対象とした。物理力学試験結果では一般の沖積粘土とほぼ同じ力学的性質を有する。したがって圧密現象に対する考慮が必要である。せん断常数としては次の値が妥当であらう。 $c=5\sim10\text{ t/m}^2$ $\phi=5\sim9^\circ$
	2) 砂質土 (a) ボーリングコアのリモールド サンプルによる三軸、直接せん 断試験（多数） $c=0$ $\phi=30\sim45^\circ$ (b) N値=15~50	N値からみれば密な砂である。 N値及び三軸圧縮試験結果から $c=0$ $\phi=30^\circ\sim40^\circ$
	3) 三疊層砂質岩 (a) ボーリングコアの一軸圧縮強 度$qu=0.5\sim2.5\text{Kg/cm}^2$ (b) 直接せん断試験 $c=2\sim3\text{ t/m}^2$ $\phi=40^\circ$ (c) N値=40~60(部分的>100)	砂質岩 直接せん断試験では$\phi=40^\circ$であるが同試験法の特徴、及び資料数物理常数と神戸層調査結果等を参考にすると $c=2\text{ t/m}^2$ $\phi=30^\circ$
	4) 三疊層シルト質岩 (a) ボーリングコア一軸圧縮強度 $qu=5\sim6\text{Kg/cm}^2$ (b) コア一軸、直接せん断試 験 $c=5\sim10\text{ t/m}^2$ $\phi=20\sim34^\circ$	シルト質岩 全上と同様の見地から $c=5\text{ t/m}^2$ $\phi=20^\circ$

	5) 花こう岩 ボーリングコア一軸圧縮強度	ボーリングコアの観察によると^多クラックが多く、^た部分的に変質をうけている岩盤としての強度は黒四ダムその他のせん断試験結果が参考になろう。 $\sigma = 50 \sim 100 \text{ t/m}^2$ $\phi = 35 \sim 45^\circ$
--	----------------------------------	--

なお今回まとめた資料の一覧を〔表-2〕に示す。

「表-2」 資 料 一 覧 表

	直 接 的 資 料	間 接 的 資 料
明石海峡	明石層 - 海上ボーリングコア判定 - 陸上明石層に対する載荷試験 - 貫入試験 神戸層 - 海上ボーリングコアの力学試験（一軸、三軸圧縮） - 陸上神戸層に対する載荷試験 - コアのクリープ試験	明石層 - 洪積砂礫（モデル）の三軸圧縮試験 - 陸上明石層の地質踏査 神戸層 - 海上ボーリングの各種検層 - 陸上神戸層の地質踏査
鳴戸海峡	和泉層 ボーリングコア圧縮試験（一軸、ポアソン比）	和泉層 - スパーカー調査 - 類似岩盤に対する剪断試験（天ヶ瀬ダムその他） - 陸上地質踏査
備讃瀬戸	泥 層 - ボーリングコアの力学試験（三軸、一軸、一面剪断） - 貫入試験 砂 層 - ボーリングコアの三軸、直接剪断試験 - 貫入試験	泥 層 - スパーカー調査 - 検 層
備讃瀬戸	三疊層 - ボーリングコアの圧縮試験（一軸） - コアのクリープ 花こう岩 - ボーリングコアの圧縮試験	花こう岩 類似岩盤の剪断試験

§ 3. 明 石 海 峡

(i) 明石層

海峡部における明石層は水深—50 mより浅い面で神戸層をおくって分布する地層である。粒度組成は陸上の明石層と同様、主に砂礫からなり立っているが、その他、砂、粘性土層（ここに炭化石を含むことがある）を介在させている。

その堆積は洪積世に属し、以後氷河期の海退作用のため数度陸化している。したがって相当の先行荷重をうけているものと予想される。

海上ボーリングの結果、その厚さは確認されたが、砂礫層のコア・サンプリングが困難なため充分な試料を得ていない。図-1海峡の明石層は、それを取まく陸上の広範囲の明石層の一部であるから、海峡周辺陸上部の明石層を調査することによりその性状の大略の推定は可能である。

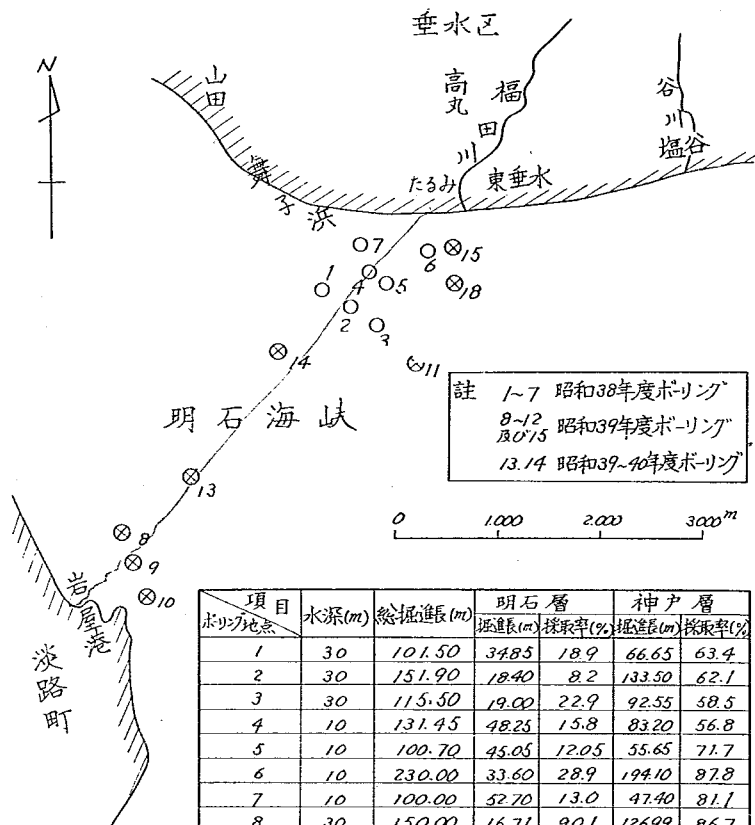
従って海峡に近い明石層のうち垂水附近及び淡路側の松崎崎地点で鉛直載荷試験を実施した。試験は直径30 cm、37.5 cmの剛体円板を使用した。その結果を表-3に示す。この地盤条件での小径基礎の支持力を求めることができたが、地盤はいずれも地下水位より上部にあるため海峡部での条件に一致しない。したがって、含水比の影響については今後に残された問題である。

なお一連の載荷試験が40年度に陸上部明石層のうち細粒土の多い層に対しても実施される予定である。支持力を理論式から算定する場合に必要な剪断定数 c 、 ϕ については現在、垂水の明石層砂礫試料につき三軸せん断試験を実施中である。これに関する参考資料としては表-3に示した洪積砂礫モデルの三軸試験があり（竹中、 $D_{80}=10\text{mm}$ 、 $D_{10}=0.3\text{mm}$ ） $c=0$ 、 $\phi=40^\circ$ が求められている。しかしこの場合粘性土分は明石層より少ない。

一方、現場載荷試験の極限支持力を、支持力公式(Terzaghi)をもちて逆算した場合、 $c=0.1\text{Kg/cm}^2$ と仮定すれば $\phi=35^\circ$ であり、ちなみに N 値より ϕ を推定すれば $32^\circ\sim 36^\circ$ をうる。しかし、いずれにしても、明石層の c 、 ϕ に関しては現在実施中の三軸試験結果を待たねばなるまい。

図-1

明石海峡ボ-リング地点及びコア採取率



項目 ボ-リング地点	水深(m)	総掘進長(m)	明石層		神戸層	
			掘進長(m)	採取率(%)	掘進長(m)	採取率(%)
1	30	101.50	34.85	18.9	66.65	63.4
2	30	151.90	18.40	8.2	133.50	62.1
3	30	115.50	19.00	22.9	92.55	58.5
4	10	131.45	48.25	15.8	83.20	56.8
5	10	100.70	45.05	12.05	55.65	71.7
6	10	230.00	33.60	28.9	194.10	87.8
7	10	100.00	52.70	13.0	47.40	81.1
8	30	150.00	16.71	90.1	126.99	86.7
9	30	120.00	17.10	76.5	102.90	64.5
10	913	140.00	8.25	39.1	125.85	70.4
11	32.16	120.00	71.00	45.6	49.00	39.7
12	11.51	106.00	27.50	76.3	78.50	85.4
13	ボ-リング中					
14	"					
15	10.16	17.000	16.00	0.0	154.00	69.8

表-3 明 石 層

1. 鉛直載荷試験結果

項 目 地 点	載荷板径 cm	弾性係数 (Kg/cm ²)		降伏荷重 強度(Kg/cm ²)	破壊荷重強 度 (Kg/cm ²)	備 考
		E ₁	E ₂			
垂水区下畑町	30.0	428	761	16.9	28.2	3点平均
垂水区高丸陸	30.0	418	925	30.9	45.5	2点平均
淡路町松帆崎	37.5	1,170	2,110	25.4	35.3	2点平均

試験地点地盤の物理的性状

項 目 地 点	湿潤密度	含水比%	10%粒径	60%粒径	N 値
垂水区下畑町	1.66	11.1	0.01mm以下	2mm	21
垂水区高丸陸	2.14	14.0	0.01mm	10mm	23~29 50~68
淡路町松帆崎	1.75	5.4	1.0mm	10mm	20

2. 砂礫試料の三軸圧縮試験（竹中）

試 料：60%径2mm、10%径0.3mm（洪積砂礫のモデル）、密度（密）

側 圧：最大10Kg/cm²

供試体： $\phi \approx 1.0$ cm、 $L = 2.0$ cm

結 果： $c = 0$ 、 $\phi = 4.0^\circ$

明石海峡

(2) 神戸層

(2)-1 一軸圧縮試験結果

神戸層コアの一軸圧縮試験は陸上および海上のボーリング調査（図-1）を通して総数約400ヶ実施され、そのうち海上ボーリングのコアは約360ヶである。これらのコア試験を通して得られる地盤の情報は実際の地盤についてよりも良好なものとして反映される。すなわち神戸層の如く

比較的軟かい地層のボーリングではボーリングの方法にもよるが地層の硬い部分ではコア採取率（供試体としての）が高くなるが、悪い地層ほどコアの採取率が悪くなり試験資料数が少なくなる。

従って地盤の強度を求める場合はこの点を考慮して柱状図の記載事項、各種の検層結果などを十分吟味してコアの試験結果を総合的に判定する必要がある。図-1にボーリング地点と採取率を示した。ここではコア一軸試験の結果を整理して神戸層の一般的傾向を求める。初めに本州側、淡路島側のボーリング№6及び№8の深さ方向の変化を柱状図と共に図-2、3に示す。これによるとコア試験で表現された、強度は、所々に大きい値をもつ所もあるがほぼ平均的な線にまとまっている。次に海上ボーリングの一軸コア試験の結果を、砂岩及び泥質岩に分け、それぞれ強度別に区分した。表-4。図-4は昭和38年度のボーリング試料の試験結果を（主に本州側でのボーリングで№1～8まで）ヒストグラムに表現し、図-5は同じ方法で昭和39年度（淡路側と本州側、№9～№15）の結果を図示した。図-4と図-5がほぼ同じ傾向にあることは、この分布状態から見て神戸層コアの一般性を示すものであると考えられる。

図-6は全資料を総合したものである。同図から判断されることは、泥岩では頻度のピークが2つ認められるがその主体は $15 \sim 35 \text{ Kg/cm}^2$ に集中すること、砂岩では強度の範囲は泥岩と大差がないが、テラバリが大きく全般的に強度の高い方へずれていること、以上から泥岩及び砂岩での各々の成因を同じくする正規分布の範囲を $0 \sim 60 \text{ Kg/cm}^2$ 、及び $0 \sim 90 \text{ Kg/cm}^2$ として統計的数値を計算すると砂岩は平均値 36 Kg/cm^2 、モード 25 Kg/cm^2 、標準偏差 21 Kg/cm^2 、泥岩は平均値 26 Kg/cm^2 、モード 25 Kg/cm^2 、標準偏差 9.8 Kg/cm^2 である。これらの数値は海峡神戸層の代表的な値となるものと思われるが、破砕やクラックでコアとならなかった部分も存在することを勘案して現実には多少、低減する必要がある。

クリープ破壊に関する問題。実験室で一軸条件のクリープ試験を泥岩、シルト岩についておこなったが各々のクリープ強度が一軸圧縮強度の 68% および 56% であった。神戸層のような軟質岩の場合はこのように粘弾性体として挙動を著しく生じることが明らかである。

NO. 6 ボーリング



図-3

NO.8 ボーリング

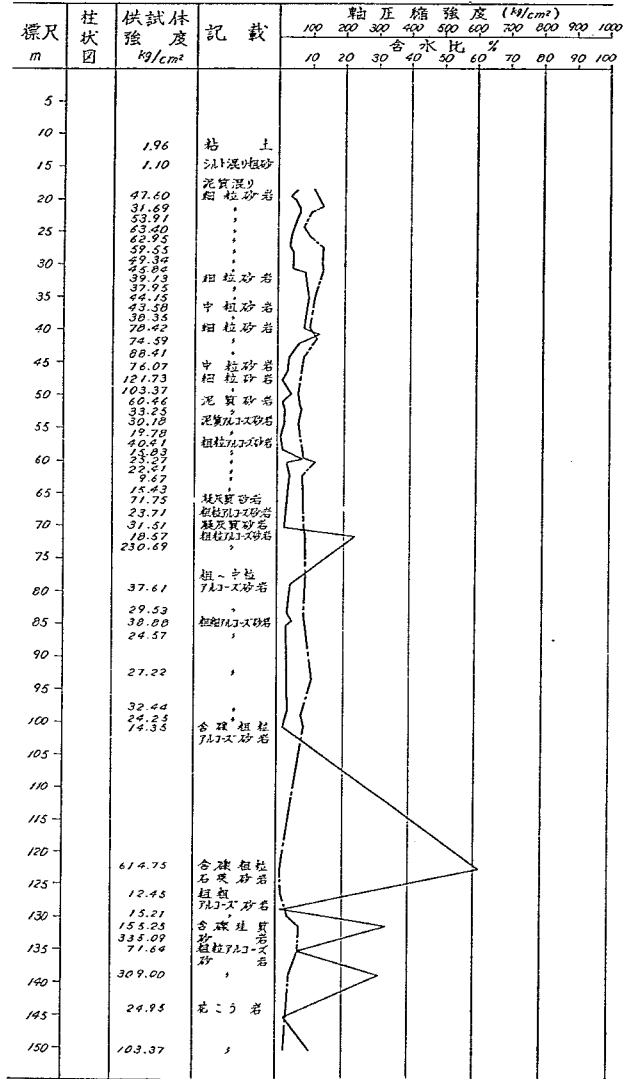


図 - 4

昭和38年度 海上ボーリングコア-軸圧縮
強度の度数グラフ

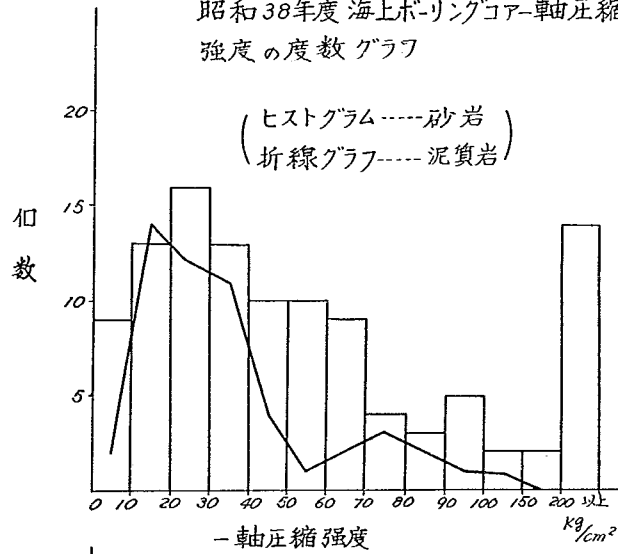


図 - 5

昭和39年度 海上ボーリングコア

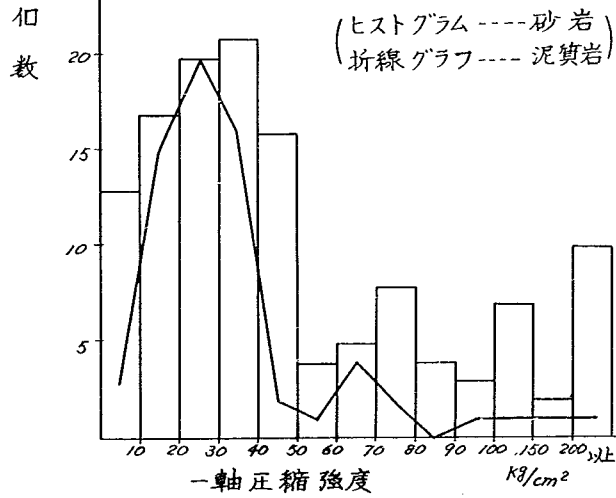


図 - 6

昭和38,39ホーリングコア圧縮強度
度数分布図

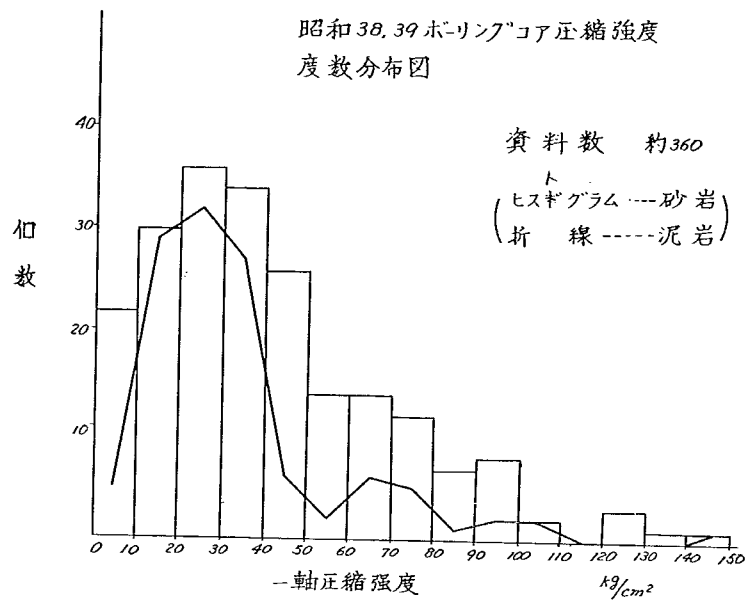


表-4 強度別圖数

S 3 9 年度資料-1

一 軸	砂 岩 { アルコーズ 粗粒砂岩 泥質 砂岩 細粒砂岩	泥 質 砂岩 { 泥岩、砂質泥岩 凝灰岩
Kg/cm ² 0~10	9.67 8.10 9.87 7.74 9.26 8.84 5.62 7.23 3.85 9.26 8.44	6.92 0.80
10~20	19.78 15.83 15.43 18.57 14.35 12.45 15.21 11.49 10.57 17.95 10.27 16.82 14.36	18.21 18.76 12.19 10.27 12.64 19.71 11.70 15.55 10.53
20~30	25.27 22.41 23.71 29.53 24.57 27.22 24.25 23.82 26.50 23.07 25.58 23.01 21.52	21.05 22.34 22.37 23.38 28.63 24.73 20.49
30~40	31.69 32.13 37.95 38.35 33.25 30.18 37.61 38.88 32.44 34.41 32.86 36.86	38.67 31.51 30.33 33.43 33.45 30.75 37.90 35.60
40~50	47.6 49.34 45.84 44.15 43.58 40.41 41.71 47.74 49.55 41.85 47.90 48.07	
50~60	53.91 59.55 57.07 57.40	
60~70	63.4 62.95 60.46	63.59
70~80	78.42 74.59 76.07 71.64 75.61 78.34 71.75	71.75 74.69
80~90	88.41 86.64	
90~100	91.46 93.58	92.21
100~150	121.73 103.37 106.50	
150~200	155.25	
200 以上	230.69 614.75 335.09 309.00 243.64	

表-4 強度別個数

S 3 9 年度資料-2

一軸	砂 岩 アルコーズ 粗粒砂岩 泥質 砂岩 細粒砂岩	泥 質 岩 泥岩 砂質泥岩 凝灰岩
0~10 Kg/cm ²	8.37 3.40	6.26
10~20	17.25 13.71 16.31 10.20	17.43 15.68 12.95 17.56 15.18 16.97
20~30	24.28 28.77 20.43 29.28 28.50 28.82 28.75	29.37 24.87 23.51 20.89 25.52 25.02 28.47 25.24 22.18 28.76 27.08 26.45 29.10
30~40	33.47 33.05 32.23 31.22 34.14 39.61 31.16 34.68 33.60	33.01 30.39 30.12 37.27 35.59 38.88 38.36 38.36
40~50	40.24 42.26 43.87 46.50	46.98 43.37
50~60		52.88
60~70	65.04 60.05	64.77 64.77 65.07
70~80	72.04	
80~90	84.91 88.93	
90~100	99.57	
100~150	125.0 142.18 123.05 139.62	145.59
150~200	170.69	188.16
200 以上	299.64 224.75 743.81 315.37 246.92	263.36
その他		

表 - 4

昭和8年度 - 1

五

軸	砂岩 アルコーズ 粗粒砂岩 泥質砂岩 細粒砂岩	泥質岩 泥岩、砂質泥岩 凝灰岩
0~10 Kg/cm ²	9.7 4.5 8.4 9.9 7.0 8.3 7.7 5.8 9.5	7.5 4.4
10~20	10.6 11.8 19.0 11.2 19.0 19.8 13.3 14.5 18.3 18.8 13.2 11.7 12.9	12.4 16.6 13.3 10.4 14.4 17.0 15.5 17.8 16.8 11.4 16.1 10.9 18.2 14.8
20~30	20.7 25.6 22.4 22.3 20.9 25.4 26.3 20.7 27.5 20.0 22.7 21.9 21.7 24.1 24.1 26.2	22.6 27.6 25.5 27.5 24.2 24.7 26.9 23.3 22.4 26.1 24.7 22.0
30~40	32.3 30.6 36.6 36.9 35.2 35.9 38.6 36.9 31.3 36.0 35.8 34.2 31.6	37.8 32.6 33.0 34.7 31.4 37.9 33.5 35.8 37.9 31.7 39.1
40~50	44.5 46.4 48.3 44.0 41.4 45.3 49.5 40.5 47.1 42.4	46.3 44.2 42.5 42.6
50~60	58.2 54.2 50.3 55.2 55.2 50.9 52.1 57.7 51.3 57.3	56.2
60~70	66.4 62.4 65.3 60.7 66.6 63.1 62.3 60.8 67.9	64.1 66.5
70~80	72.0 78.7 77.9 67.9	78.5 77.6 71.6
80~90	85.6 82.5 80.1	83.4 83.3
90~100	91.5 90.2 90.0 91.0	91.1
100~150	102.5 141.4	103.7
150~200	166.7 178.0	
200 以上	732.4 593.3 573.8 378.4 256.0 263.4 883.5 751.5 643.9 247.7 608.0 881.8 888.6 735.1	

(2)-2 三軸圧縮試験結果

陸上の下畑附近から採取したコアと海上ボーリングから得たコアについて非排水条件で試験をおこなった。供試体は径5cm、高さ10cmである。結果を表-5に示す。これによると泥質岩（凝灰岩も含む）で含水比が9～18%のものは、 $c=1.3\sim 1.6\text{Kg/cm}^2$ 、 $\phi=13^\circ\sim 21^\circ$

砂岩のうち含水比が高い10.4～12.5%の比較的軟質のものは

$$c=3\sim 3.7\text{Kg/cm}^2, \phi=16^\circ\sim 31^\circ$$

また砂岩のうち含水比の低い7.1～10.2%の細粒質のものは

$$c=0.4\sim 1.8\text{Kg/cm}^2, \phi=51^\circ\sim 60^\circ$$

となっている。ここに示した値を神戸層全体に照合してみると前項一軸圧縮強度の所でふれたように神戸層で最も代表的な一軸強度は泥質岩では15～35 Kg/cm^2 砂岩では15～55 Kg/cm^2 であることがわかっている。したがって密度、含水比、一軸圧縮強度等を対比の基準にすると、上記三軸圧縮試験での結果は泥質岩No.6では、その範囲の値を示しており、また砂岩でも軟質砂岩No.2,4のデータは神戸層としての代表的な値を示すものと考えられる。

しかしいずれの場合もデータ数が少ないので概略の見当がつく程度といえる。

淡路側のボーリングで多く現われた灰白色のアルコーズ砂岩については、三軸試験用の供試体整形が困難だったために値がえられなかった。このアルコーズ砂岩に岩質的に近い下畑での試料からは、 $c=3\text{Kg/cm}^2$ 、 $\phi=23^\circ$ がえられている。アルコーズ砂岩は一般に一軸強度が10～30 Kg/cm^2 のものが多く、下畑のものは一軸強度として15 Kg/cm^2 であるからほぼ近い値をしめしているものとみてよいだろう。神戸層のうちでも一軸強度で90 Kg/cm^2 以上のものは約10%ある。これらのc、 ϕ については三軸試験結果から、コアとして $c=0.4\sim 1.8\text{Kg/cm}^2$ 、 $\phi=51^\circ\sim 60^\circ$ がえられているがこの程度の硬さの岩石になると岩盤としての剪断強さはコアとしてのそれより、かなり小さくなるものと考えられる。

表-5 コア-の三軸圧縮試験結果

1. 試料：海上ボーリングのNo 8、No 9、No 12、及び陸上（下畑）

2. 供試体寸法等：

$\phi = 5 \text{ cm}$ $L = 10 \text{ cm}$ （ダイヤモンドビットで整形）

3. 荷圧：10 20 30 40 50 Kg/cm^2

4. 試験機 Soil Test社 [T-8000]

No	試料採取地点	採取深さ	岩石名	密度 g/cm^3	含水比 %	c Kg/cm^2	ϕ°	供試体数
1	下畑	1m	泥岩	2.18	18.0	13	21	5
2	下畑	1m	砂岩	2.15	19.5	3	23	5
3	No8 ボーリング	25.26m ~ 27.28	細粒 砂岩	2.22	10.4	35	24	3
4	No9 ボーリング	20.95 ~ 21.90	■ ■	2.27	11.3	20	16	3
5	■	21.90 ~ 24.90	■	2.32	11.6	37	26	4
6	■	48.70 ~	凝灰岩	2.35	9.0	1.6	13	3
7	No12 ボーリング	42.50 ~ 44.47	細粒 砂岩	2.28	8.4	13	60	3
8	■	44.47 ~	■	2.14	10.2	18	51	5
9	■	80.69 ~	泥質 砂岩	2.56	13.8	30	31	2
10	■	88.80 ~	細粒 砂岩	2.28	7.1	0.4	51	2

(2)ー3. 陸上神戸層に対する載荷試験結果

神戸層の陸上露出箇所を垂水区下畑町地点に求め支持力試験をおこなった。方法は試験溝 ($1.5\text{ m} \times 7.5\text{ m} \times$ 深さ 2.5 m) をもうけ 30 cm の剛体円板を用いて水平方向に加圧するものである。岩は砂岩と泥岩でいずれも自然含水状態にあるが地下水位より上に位置している。

結果を表ー6に示した。また合せてコアーによる室内試験結果も併記している。これによると一軸圧縮強度を海上ボーリングコアーの値と比較すると砂岩では平均値よりはやく弱い (15 Kg/cm^2) が、泥岩では平均値にほぼ等しい値であることを示している。載荷試験では砂岩の破壊強度が 93.6 Kg/cm^2 、泥岩では 92.0 Kg/cm^2 でほぼ等しい値をえたが、降伏点荷重強度 (stress-strain の両対数表現による折点) では砂岩が 84.6 Kg/cm^2 、泥岩では 62.0 Kg/cm^2 となり泥岩が破壊の $\frac{2}{3}$ 、砂岩が $\frac{2.6}{3}$ である。ここで求めた結果は水平方向についての値であり破壊が載荷板の「めり込み」と垂直上方へのクラックの発生によって生じているので、鉛直方向に載荷された試験値よりは小さいと判断される。昭和40年度では砂岩と泥岩について、代表的な地点を選び鉛直方向支持力試験を実施するので、陸上部の神戸層について更に適切な値が得られるであろう。

しかし海中の神戸層に想定される飽水状態での資料、および砂岩と泥質岩が細かく互層する場合の資料については入手しておらず、判定にあつての問題点として残る。

表-6 陸上部神戸層載荷試験結果

試験方法：試験溝（深さ2.5m、幅1.5m、長さ7.5m）内での水平方向載荷試験。 $\phi 30$ cm剛体円板。

試験地点：神戸市垂水区下畑

	地 点	変形係数 E_1 (Kg/cm^2)	変形係数 (反復) E_2 (Kg/cm^2)	E_2 E_1	降伏荷重 度 (Kg/cm^2)	破壊荷重強度 (Kg/cm^2)
砂 岩	No 1-1	1,346	2,027	1.5		
	No 1-2	1,749	2,846	1.6	—	
	No 1-3	1,312	1,936	1.5	84.6	93.6
泥 岩	No 2-1	4,800	4,800	1.0	—	—
	No 2-2	3,300	5,013	1.5	—	—
	No 2-3	3,500	4,533	1.3	62.0	92.0

〔参考資料〕

載荷試験溝より採取したコアー試験結果

	密 度	含水比	一軸圧縮強 さ (Kg/cm^2)	弾性係数 (Kg/cm^2)	動弾性係数 (Kg/cm^2)	備 考
砂 岩	2.15	10.9	15.0	1,870	25,600	5ヶ平均
泥 岩	2.18	18.0	25.5	3,286	125,000	8ヶ平均

§ 4. 鳴 門 海 峽 (和泉層群)

鳴門海峡の地盤はスパーカー及び陸上踏査の結果から比較的良好な岩盤が多くの部分に露出していると判断される。本海峡の岩盤は中生代の和泉層群とよばれる砂岩と頁岩からなり、岩体としてはいずれも硬質である。

このことは鳴門公園、裸島、および門崎でおこなわれたボーリングとそのコアの力学試験から明らかにされている。結果を表-7に示す。これによると砂岩は一軸強度500~1,300 Kg/cm^2 、頁岩、242~576 Kg/cm^2 でコアとしては問題はない。しかしここで問題となるのは岩盤としての強度と安定性であろう。この点に関しては資料が皆無である。そこで参考のために和泉層群の類似の岩盤について現場剪断試験がおこなわれた天ヶ瀬ダムの資料を図-7に示した。また図-8には日本各地のダム地点における岩盤剪断試験の結果を一括して示しておく。

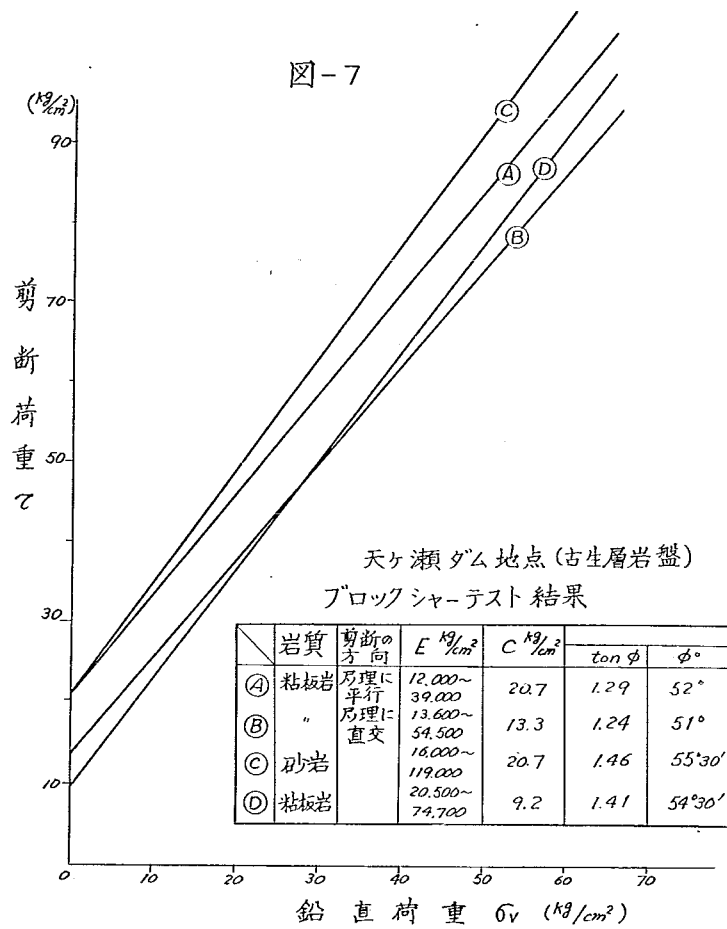
六
断

表-7 ボーリング・コア試験結果

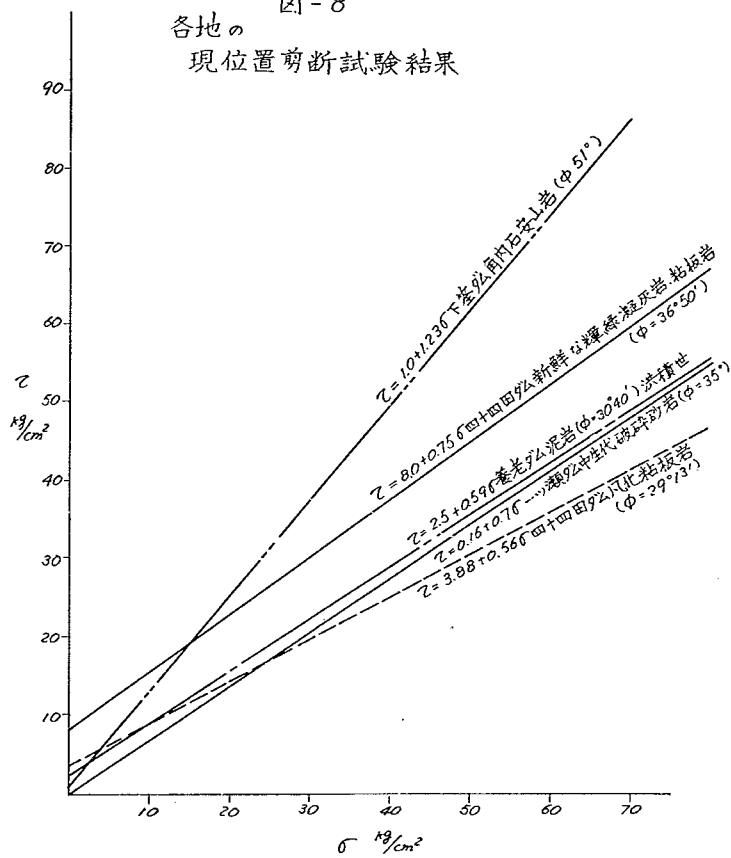
	岩石名	鳴 門 公 園	裸 島	門 崎
一軸圧縮 強度 (Kg/cm^2)	砂 岩	523~1,119	773~1,310	567~974
	頁 岩		242~576	
静弾性係数 Kg/cm^2	砂 岩	212,000~ 290,000	351,000~ 449,000	462,000~ 513,000
	頁 岩		95,000~ 374,000	
ポアソン比	砂 岩	0.11~0.18	0.12~0.20	0.16~0.29
	頁 岩		0.13~0.42	

調査機関：徳島県（昭和36年度）

図-7



各地の
現位置剪断試験結果



§ 5. 備讃瀬戸

(1) 粘質土層

備讃瀬戸のボーリング結果によればこの地域では軟岩層（三疊層）の上に沖積層及び洪積層が約20m（但しNo.5ボーリングでは約50m）堆積している箇所がある。この堆積物は粘土～砂が互層し、所々に植物片、貝片をまじえ暗灰色を呈している。

粘性土については上部の沖積堆積物を調査対象から除外し、海底下20m以下のものについて整理した。含水比は一般に50～60%で高い。ボーリングコアの剪断試験は三軸及び直接剪断試験をおこなった。三軸試験は非圧密非排水条件による。それぞれの試験結果を図-7に示す。この両試験方法では多少結果が異なり三軸圧縮試験の結果では ϕ 5～10°が最も多く $C=0.5\sim 0.9\text{Kg/cm}^2$ 、最頻値は $\phi=5^\circ$ 、 $C=0.6\text{Kg/cm}^2$ である。一方直接剪断試験では $\phi=5^\circ\sim 30^\circ$ でテラバリが大きい上に三軸による ϕ より大きな値を示す。 C では $0.4\sim 0.7\text{Kg/cm}^2$ でそのうち 0.4Kg/cm^2 が最頻値である。したがって三軸よりは小さくなる傾向がある。以上の試験結果から C 、 ϕ の代表的な値としては $5\sim 10^\circ$ 及び $0.5\text{Kg/cm}^2\sim 0.9\text{Kg/cm}^2$ を考えることが出来る。

上記各々の試験資料を表-8に一括して示す。

N値の資料は少ないが4～20程度のものが一般的である。

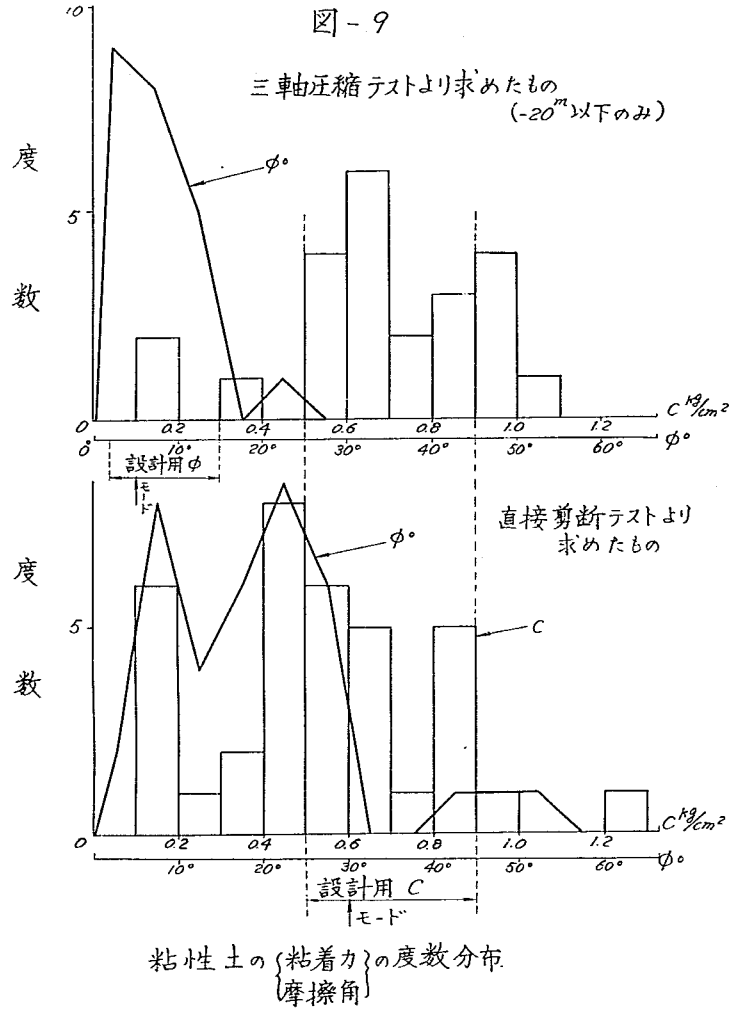


表-8

備 讃 瀬 P ボーリングコア・テスト

20m以深の粘土質試料

	ボーリングNo 1				No 2				No 3				No 4				No 5				No 6				No 7				No 8			
深 度	c		φ		c		φ		c		φ		c		φ		c		φ		c		φ		c		φ		c		φ	
	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三		
	0.45	0.63	25° 00'	7° 30'	0.57	0.96	6° 00'	1° 40'	0.11		4° 00'		0.81	1.00	29° 00'	10° 30'	0.49		70° 40'		0.69	0.90	12° 30'	2° 00'		0.58		8° 50'	0.88	0.8	23° 30'	23° 30'
	0.57		20° 30'		1.20		46° 00'		0.32		11° 30'		0.60		6° 40'		0.18		53° 00'		0.19	0.17	30° 00'	10° 00'	0.96	0.60	20° 30'	12° 00'				
	0.48	0.66	8° 30'	8° 20'	0.88		21° 00'		0.48	0.92	17° 30'	4° 45'					0.12		19° 00'		0.48	0.64	12° 00'	5° 30'								
									0.80	0.80	10° 00'	15° 30'					0.41		29° 15'		0.33		28° 30'									
									0.44	0.64	8° 00'	30° 30'					0.61	0.77	25° 00'	11° 30'	0.61		40° 20'									
									0.71	0.75	14° 00'	15° 40'					0.15	0.58	6° 20'	3° 40'	0.87		2° 17'									
									0.50	0.90	24° 00'	4° 00'					0.16	0.66	23° 20'	4° 45'	0.50		30° 63°									
									0.53	0.68	17° 00'	5° 30'					0.63		9° 00'		0.18		50° 8°									
									0.34	0.55	22° 00'	7° 00'					0.21		24° 00'		0.69		00° 4°									
									0.59	0.83	23° 00'	5° 00'					0.15		15° 30'		0.42		50° 20°									
																					0.43		00°									
計	1.50	1.29	54°	15° 50'	2.65	0.96	73°	1° 40'	4.39	6.50	135° 30'	55° 45'	1.41	1.00	35° 40'	10° 30'	3.11	2.01	216° 30'	19° 55'	3.85	2.82	239° 30'	17° 30'	0.96	1.18	20° 30'	20° 30'				
平 均	5.0	0.65	18°	7.9°	0.88	0.96	24.3°		0.55	0.65	16.9	5° 58'	0.71	1.00	17.8°		0.31	0.67	21.69	6.6°	0.48	0.56	21.7°	58°		0.59		10.4°				

(2) 砂質土

各ボーリング孔でN値が測定されている。砂質土は海底下30mの範囲内にある沖積ないし洪積層のもので粘性土と互層するがN値は深さとは無関係に分布している。

大槌島、小槌島間では砂の堆積が厚くこの成因を地形上からはSand Waveと考えているが、この部分でのN値は平均38、標準偏差12である。表-10-1の値から $N-\phi$ 式($\phi=\sqrt{20N+15}$)で ϕ を求めると 42° である。沙弥島附近のボーリングでは表-10-2に示すようにN値の平均が21、標準偏差10、これより ϕ を求めると 35° である。

シンワールチューブで採取した試料をモールドで突固め、成型した供試体の三軸圧縮及び直接せん断試験結果を表-9に示す。試験条件は非圧密非排水である。図-10は試験結果の内部摩擦角 ϕ について度数分布である。この場合三軸及び直接せん断試験の方法による差異はあまりなく平均値 40° 、最頻値 43° 、分散13.6と結果がかなり集中した値を示す。

以上のことから貫入試験の結果を用いて信頼しうる剪断常数としては
 $C=0$ $\phi=35^\circ\sim40^\circ$ とすることが可能である。

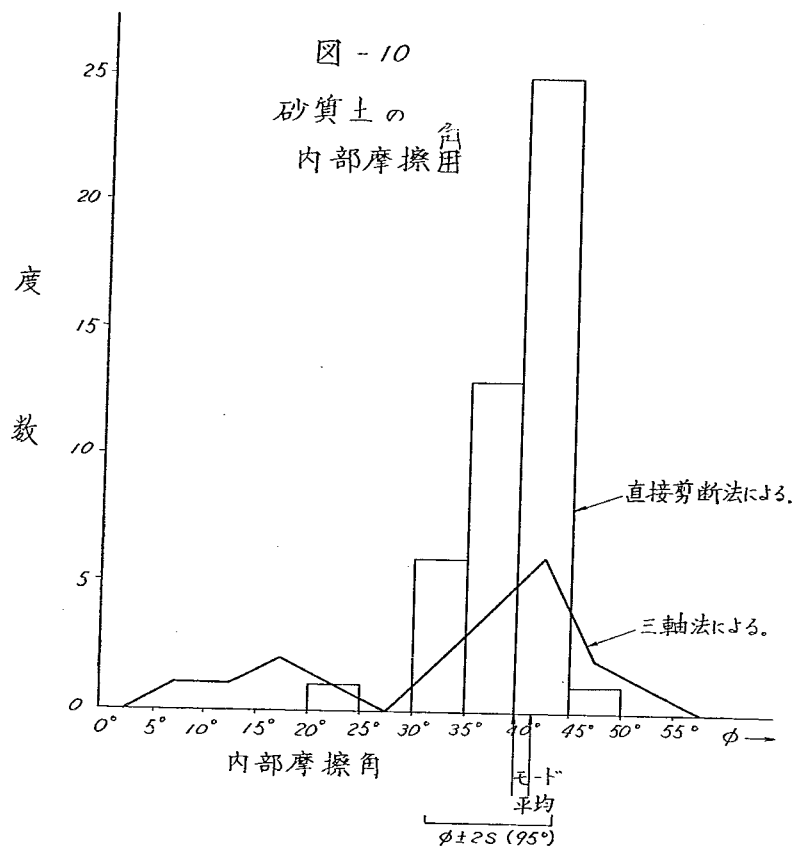
表-9 (砂、礫混り砂、砂質ローム 礫混り砂質ローム) 備費額

No. 1				No. 2				No. 3			
c		φ		c		φ		c		φ	
直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三
0.17		32°		0.05		42°		0.08	0.20	45°	35°
		40'				30'				00'	00'
0.09		47°		0.28		41°		0.75	3.00	30°	16°
		10'				00'				30'	15'
0.10		43°		0.20		44°					
		00'				30'					
0.05		45°		0.38		41°					
		00'				40'					
0.10		46°		0.20		40°					
		30'				00'					
0.03	0	46°	44°	1.52		36°					
		10'	30'			00'					
0.06		49°		0.75		37°					
		00'				00'					
0.09		45°		0.75		46°					
		00'				00'					
0.12	0	45°	45°								
		00'	45'								
0.13		47°									
		00'									
0.24		46°									
		00'									
0	0	47°	38°								
		40'	30'								
0.13		45°									
		00'									
0.15		43°									
		40'									
0		49°									
		40'									
0.13	0	47°	42°								
		00'	00'								
0.08		44°									
		30'									
0	0.20	35°	10°								
		00'	15'								
0.12		40°									
		00'									
	0		43°								
			15'								
0.15		36°									
		10'									
0.38		35°									
		00'									

平均

戸ボ－リング・コア－三軸試験

No. 4				No. 5				No. 6			
C		φ		C		φ		C		φ	
直	三	直	三	直	三	直	三	直	三	直	三
0.25	0.38	31° 00'	33° 00'	0.20	4.80	36° 30'	46° 15'	0.10		37° 45'	
0.04	0.22	38° 45'	37° 15'	0.50	0.71	36° 45'	37° 00'	0.30		44° 00'	
0.26	0.63	39° 40'	5° 22° 00'	0.46	※0.27	32° 30'	17° 45'	0.18		46° 00'	
	0.36			0.21		24° 00'		0.01	0	46° 10'	41° 30'
				0.31		42° 00'		0.67		49° 30'	
				0.19	0.17	30° 00'	10° 00'	0.40		35° 30'	
				0.42	0.82	32° 00'	33° 45'	0.08		41° 00'	
				0.30	0.40	37° 00'	42° 00'	0.02		50° 00'	
								0.10	0	49° 30'	41° 15'
								0.08		49° 00'	
								0.21		39° 40'	
								0.28		45° 00'	
								0.32		47° 30'	
								0.20		37° 40'	
								0.07		46° 00'	
								0.17		45° 00'	
								0.10		47° 20'	



	モード	平均(ϕ)	標準偏差 (s)	分散	備考
直接剪断法	43°20'	40°	3.69°	13.57	度数分布から 25°~50°までの値
三軸法	43°20'	—	—	—	度数が少ない

95%信頼度では 32°40' ~ 47°

設計用としては 30°~40°が適当

表-10-1 標準貫入試験結果（大槌、小槌島間）

ボーリング 深さ (m)	N 値		
	No i	Ni-Na	(Ni-Na) ²
0	58	20	400
}	30	-8	64
	34	-4	16
10	41	3	9
}	31	7	49
	63	25	625
	27	-11	121
	27	-17	289
	20	30	-8
}	47	9	81
	38	0	
	38	0	
30	38	0	
ΣN	496		1718
Ni	38		

$$Na = \frac{\Sigma Ni}{N} = 38$$

Ni の標準偏差 S は

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma (Ni - Na)^2}{n - 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{1718}{13 - 1}} = \sqrt{143} = 12$$

$$\phi = \sqrt{20N + 15} = \sqrt{20 \times 26 + 15}$$

$$= \sqrt{520 + 15}$$

$$= 23 + 15 = 38^\circ$$

表-10-2 標準貫入試験結果(沙弥島附近)

ボーリング 深さ (m)	N 値							計
	Na 8	Na 2	Na 3	Na 7	Na 4	Na 5	Na 6	
0	47	5	19	17	1	10	23	
}	50		7		18	35	27	
}	8				32	34		
10						40		
}	8		12		27			
}	13							
}	25							
20	18							
}	17				39		51	
30					6			
}	29							
40	49							
}	43							
ΣN	301	5	38	17	123	119	101	
Ni	27	5	13	17	21	30	34	
Ni-Na	6	-16	-8	-4	0	9	13	147
(Ni-Na) ²	36	256	64	16	0	81	169	622

$$Na = \frac{\sum Ni}{n} = \frac{147}{7} = 21$$

$$\bar{N} = Na - \sqrt{\frac{\sum (Ni - Na)^2}{n-1}}$$

$$\bar{N} = 21 - \sqrt{\frac{622}{7-1}} = 11$$

$$Ni \text{ の標準偏差は } \sqrt{\frac{\sum (Ni - Na)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{622}{7-1}} = 10$$

(3) 三疊層

最近海上ボーリングの結果から三疊層の存在について注目されて来たので、まず本層の概要を記す。三疊層は讃岐山脈の北麓に台地状あるいは丘陵を作り仲多度郡から三疊郡にかけて、とりわけ財田川の川崖、三疊郡大野原町井関から紀伊・河内・神田・十郎・江畑・造田をへて木田郡の三木町まで分布する。地層名は三疊郡の南部一帯に模式的に発達するのでその名がある。

この地層の堆積時代はその中に含まれる化石（旧象 *Parastegodon*、粘土から植物化石メタセコイヤ、花粉の *Liquidamber*、*Nyssa* 等植物化石 28 属 35 種、淡水珪藻化石 14 種）の研究から新第三紀鮮新世の湖沼性堆積層であることが明らかにされている。

地層の厚さは陸上部で 50～60 m、岩質は下部の花こう岩に接する附近ではマサに礫が混入したものが多く、中上部では、暗灰色のシルト岩、砂礫砂また褐鉄鉱に富む地層がある。全体として粒度組成の変化に極めて著しいものがあるとされている。河内附近、溝邊池附近のシルト岩は暗灰色を呈し硬さは指で圧力をかけて崩すことが出来る程度であり植物片を混入していることが多い。

海上ボーリングでは沙弥島附近全体に出ており、その識別（洪積層との）はコアそのものの硬さと N 値が 40～50 以上又は貫入不能となるので明らかである。すなわち N 値では砂岩で一般に 50 以上、多くは 40～100 程度、シルト岩は 40～80、硬いもので 100 以上である。層の厚さは最大 60 m、全般的には 20 m 前後で部分的に深く下刻された所がある。

海上ボーリングコアの物理試験力学試験結果を表-11-1、表-11-2 に示す。一軸圧縮度の度数分布を図-11 に示したが、資料が少ないので詳細は不明である。これによると砂岩は $1\sim 2\text{Kg/cm}^2$ シルト岩では $1\sim 6\text{Kg/cm}^2$ 程度で、極めて軟かい岩である。従って神戸層のコアーに比較すると砂岩、シルト岩とも約 $\frac{1}{10}$ の一軸圧縮強度しかない。含水比でも 2～3 倍に当り岩としての固結は充分でないことが判る。

三疊層としての地盤の剪断特性を示す資料は現在までの所得られていないが、神戸層程度に締った岩でも現地盤とコアーとの密接な関連性が明ら

かにされているので三疊層においてもコア試験の有用性が予想される。

40年度に実施される国鉄の現地支持力試験は河内附近の三疊層を対象としているので軟弱岩の支持力推定に関して、この辺の問題が明らかにされるものと期待される。

クリープ性状に関する試験はシルト岩質のボーリングコアの一軸圧縮条件でおこなった。その結果、流動性が著しく歪速度は神戸層のシルト岩質コアの15~20倍を示している。したがってクリープ破壊強度は一軸圧縮強度を相当下まわるものと予想される。またクリープにより破壊荷重以下の条件では強度が増加することが考えられ、この方面の研究が必要であろう。

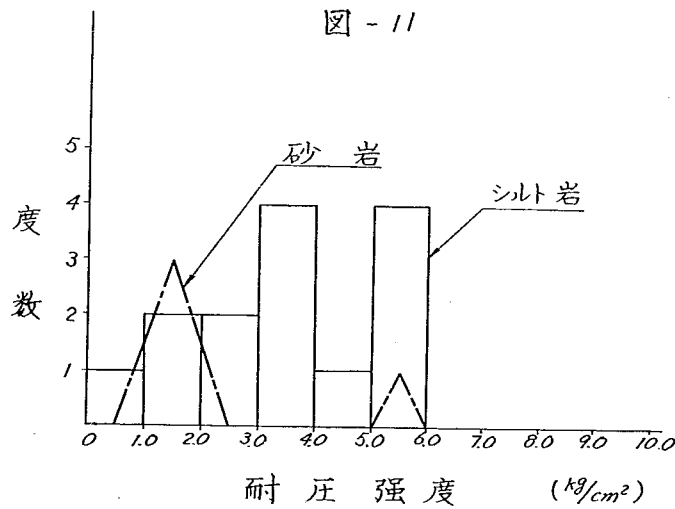


表-11-1 鶴貫瀬戸ボーリング・コア-

三豊相当層

供試体	岩石名	自然密度	含水比%	一軸圧縮強度 (Kg/cm^2)	静弾性係数 $E_s (Kg/cm^2)$	動弾性係数 $E_d (Kg/cm^2)$
6-70	砂岩	1.57	28.0	—	—	42,200
6-74	"	1.93	18.8	—	—	71,000
6-75A	"	1.99	27.2	54.5	520 (900)	71,800
6-75B	"	2.00	25.0	—	—	79,600
6-78A	"	1.95	19.1	—	—	69,000
6-78B	"	1.96	25.0	—	—	71,400
6-86	"	1.95	25.0	—	—	23,800
8-18A	砂岩	2.05	24.5	1.33	300 (300)	52,800
8-18B	"	2.01	24.5	1.65	280 (280)	56,600
8-19	"	2.05	24.5	—	—	55,200
8-20-1	"	1.98	23.6	—	—	62,000
8-20-2	"	2.01	20.3	1.42	(285)	71,200
平均	砂岩	1.96	23.8	2.46	366 (442)	60,550

E_s () はくり返し荷重における E_s を示す。

表-11-2

供試体記号	岩石名	自然 密度	含水比%	一軸圧縮強度 (Kg/cm ²)	静弾性係数 E _s (Kg/cm ²)	動弾性係数 E _d (Kg/cm ²)
5-60B-1	シルト岩	1.91	31.0	5.12	1,000 (2,000)	54,400
" 2	"	1.97	26.4	2.10	480 (800)	53,000
6-13a	"	1.95	27.3	5.18	870 (1750)	62,600
6-76A	"	2.00	27.5	5.39	640 (870)	63,500
6-76B	"	1.95	27.0	4.90	1,150	65,700
7-13	"	2.10	23.3	1.58	(60)	55,300
8-28	"	1.76	33.9	1.36	(290)	41,200
8-29A-1	"	1.85	31.8	0.84	(250)	42,800
8-29B-1	"	1.79	43.8	3.56	460 (620)	41,400
B-2	"	1.59	60.4	3.14	170 (250)	34,600
B-3	"	1.58	59.5	3.56	110 (170)	31,900
B-4	"	1.57	65.5	3.75	240 (400)	35,900
8-31	"	2.11	15.5	5.35	530 (800)	77,000
8-32	"	2.18	(9.8)	2.54	(420)	60,700
平 均	シルト岩	1.88	36.4	4.48	471	52,500

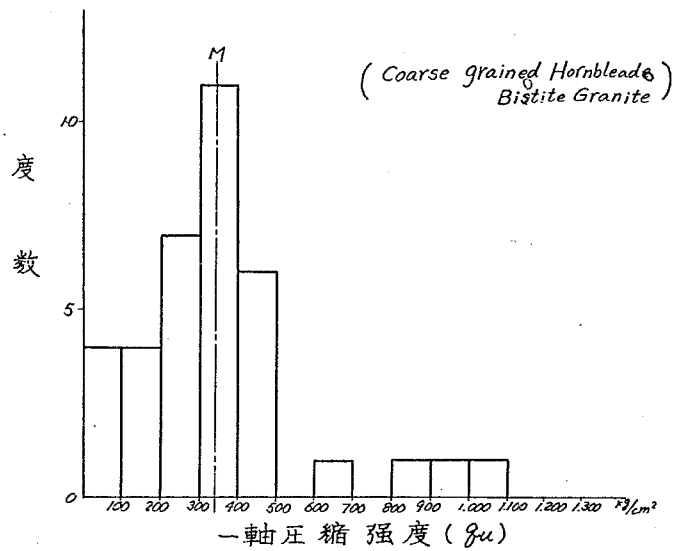
(4) 花こう岩

備讃瀬戸ボーリングのコアに関する一軸圧縮試験結果を表一に示す。資料は花こう岩に着岩後40～50m迄のものが6本、100mまでのものが1本で深さ方向に対する強度の変化を図一1に示したが、この深さの程度では強度増加の傾向はみられない。図一12に示した一軸強度の度数表によると平均強度は350Kg/cm²、大部分が200～500Kg/cm²である。これはダムサイトなどの健岩での平均強度1,500Kg/cm²に比較すると相当に軟化した岩であることがわかる。

次に参考資料として日本各地の花こう岩ダムサイトの岩盤試料結果を一括して表一12に示す。

図一13は、一般的露頭観察による岩盤区分と測定変形係数を示す。この区分を備讃瀬戸ボーリングコアの花こう岩に対比すると軟化又は破碎した花こう岩に相当するものとおもわれる。しかし現在の所備讃瀬戸の岩盤測定資料がないが将来追加すべき項目の一つと考えられる。

図-12



花こう岩コアの強度分布

	モード(M)	平均値($\bar{x}$)	標準偏差(S)	分散	備考
代表値	345	350 kg/cm^2	230 kg/cm^2	53.000	資料数 35

図 - 13

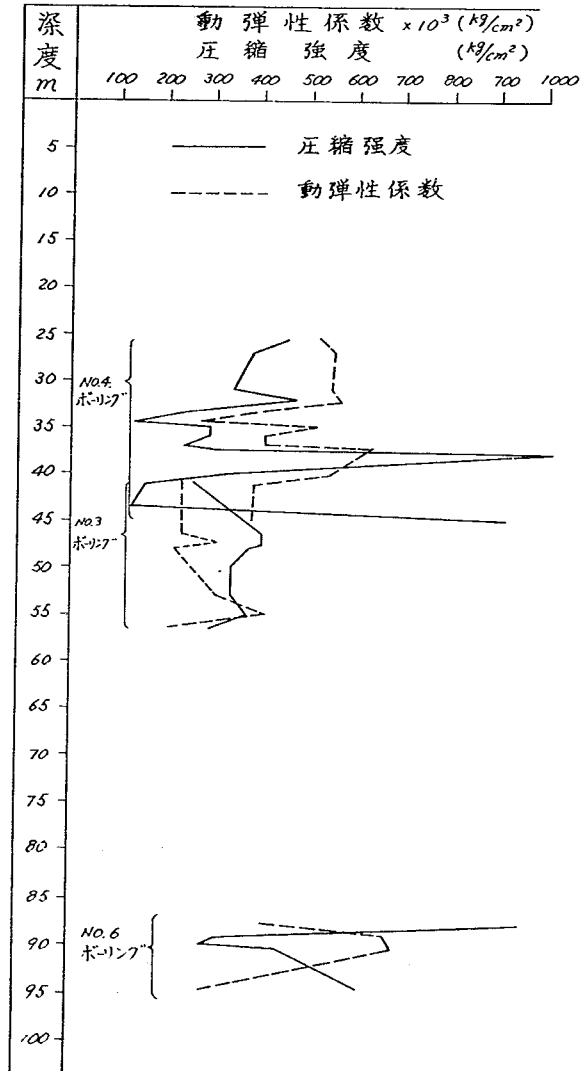
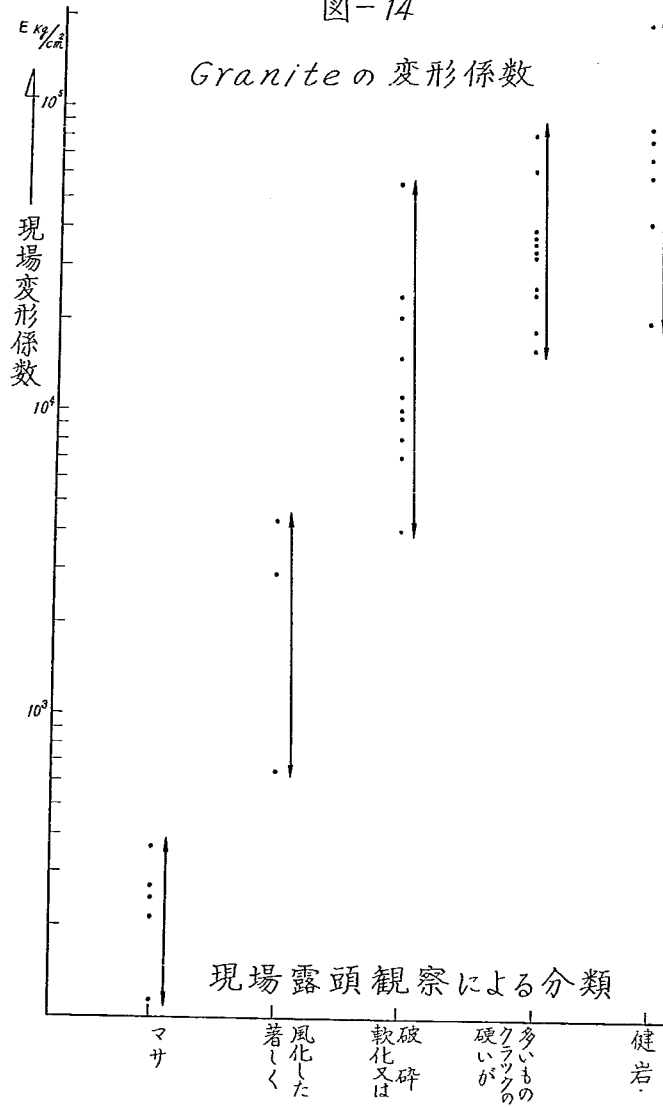


図-14

Graniteの変形係数



Granite の現場試験データー

typical
Granite
領家型

地点名	担当	試験方法	変形係数 E_1	変形係数くり返し E_2	C, ϕ	備考
黒部川 第四ダム	関西電力	剪断試験 剪断面積 約 9.4 m ²	1) ——— 2) ——— 3) ——— 4) ———	————— ————— ————— —————	13~17 Kg/cm ² 45° 45°~50° 10~13 45°~50° 18~32 45°~50° 2~3 45°~50° 30°~40°	E ₁ , virgin curve から E ₂ , repeated loading 4, faust shear-ring
		三軸圧縮試験 供試体約 1 m ²	1) 35,000 80,000 60,000 2) 25,000 32,000 33,000 3) 38,000 37,000 37,000 4) 7,000 10,000 4,000	88,000 120,000 120,000 33,000 78,000 58,000 64,000 52,000 77,000 ————— ————— —————	22~Kg/cm ² 45° 25 50° 22~Kg/cm ² 45° 50° " 45° 50° 5~6 Kg/cm ² 40° 45°	
中四連絡送電 幹線	電源開発 KK	鉛直載荷テスト ϕ 30 m	Na2) 108 212 367 278 Na3) 660 Na6) Na2) 250 2,980 4,330	————— ————— ————— 410 1,360 370 ————— ————— 4,330	Depth=5m マサ土 8m " 11m " 12m " Depth=5.3m 極めて風化した Gramite □=5.8m 大久野ルート Depth=5 マサ土 大久野島 Na3 A 脚 5.5 風化 来島ルート 6 風化 Na3 B 脚	大久野ルート 大島 Na2 C 脚 広島型 G8 N=30~60

中粒・黒母
花こう岩