

本州・四国連絡橋海底地盤（明石海峡）の調査について

たか 橋
高 はし
すぎ 杉 田
こう 蔵*
幸 ぞう
がく**
染**

1. はじめに

本州四国連絡架橋調査は、建設省においては昭和34年から、日本国有鉄道においては昭和30年から行なわれており、それぞれ日本道路公団、日本鉄道建設公団に引継がれ、現在本州四国連絡橋公団により昭和48年度着工をめざして実施調査が進められている。

明石海峡は、架橋ルートのうち神戸—鳴門を結ぶ路線で海象などの自然条件のもっともきびしい海域である。

これまで実施されてきた調査は多分に予備調査的色彩を持つものであり、地盤性状の定量的把握までには至っていない。しかし明石海峡の海底地盤については少なからず新しい知識が得られた。この報告はこれまでの調査の総括として述べるものである。

2. 調査方法

本四架橋の海底地盤調査方法として別¹⁾²⁾に報じているので簡単に表—1に記した。

海底地盤調査は、一つの調査手段によってのみ成果をあげうるものではなく、幾つかの調査手段が合成されたシステムによって解きあかされるものである。

3. 海底地形

明石海峡の地形調査について昭和32年度に日本国有鉄道が、海上保安庁に委託して1/10,000等深図（基準面T.P., 1mコンター）を作成し、続いて昭和38年度建設において上記等深図の東西部を補足測量し、明石海峡全域にわたる等深図が作成された。さらに主橋脚予定地点（高磯、ガジダジョ）を昭和40年1/2,000等深図を作成した。これらの資料により明石海峡の海底地形について述べる。

3.1

1) 0～-10m 平坦面

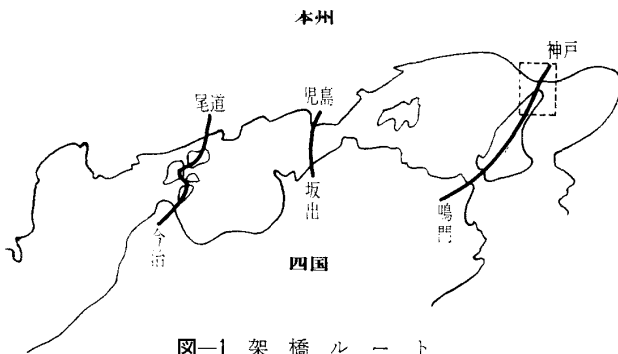
垂水沖および淡路長浜沖に発達し、その他の地域ではほとんどみられない。-10m等深線の平坦面の長さは垂水沖で約1km、長浜沖では約0.5km程度である。舞子～明石間ではてい(汀)線より-30mまでが一連の平坦面として認められる。

2) -40～-50m 平坦面

垂水沖および岩屋北東沖でよく発達する。垂水沖では-30～-40mの間に発達し、舞子沖で-40～-50mの間は平坦面が認められる。これらの平坦面の最も広い所で幅約500mである。岩屋北東沖では-40～-50m平坦面が約1.5kmの幅にわたって発達し、松帆崎北東沖で消滅する。垂水側、岩屋側とも主橋脚予定地点の高磯、ガジダジョはこれらの平坦面の一部に属するところの岩礁性の不規則な地形がみられる。これは-40～-50m平坦面形成時につくられた波蝕崖とみられる。

3.2 海釜

明石海峡中央部の-100mに達する海釜は細長く北西～南東方向にのび、また海峡西端部に前記のものとはほぼ連続的に発達する海釜がある。これは、最大-120mの深



図—1 架橋ルート

表—1 海底地盤の調査手段（明石海峡）

調査項目	調査方法	数量	目的
底質調査	ドレッジャー	420点	底質物の採取、底質・地質の解析
音波探査	スパーカー	227.6 km	地質構造の解析
潜水観察	えい・航式潜水船	}	海底地形観察、地質・底質の確認
	自航式潜水作業船		
	水中テレビダイバー		
ボーリング	沈潜式浅層ボーリング	47点	地質試料の採取、地質構造・層序の解析
	円筒足場		
物理検層	速度検層	}	地盤の物理的インデックスの把握、音波探査速度値の決定
	密度検層		
	電気検層		

* 本州四国連絡橋公団調査部調査課長代理

** 日本海上工事株式会社地質調査課長

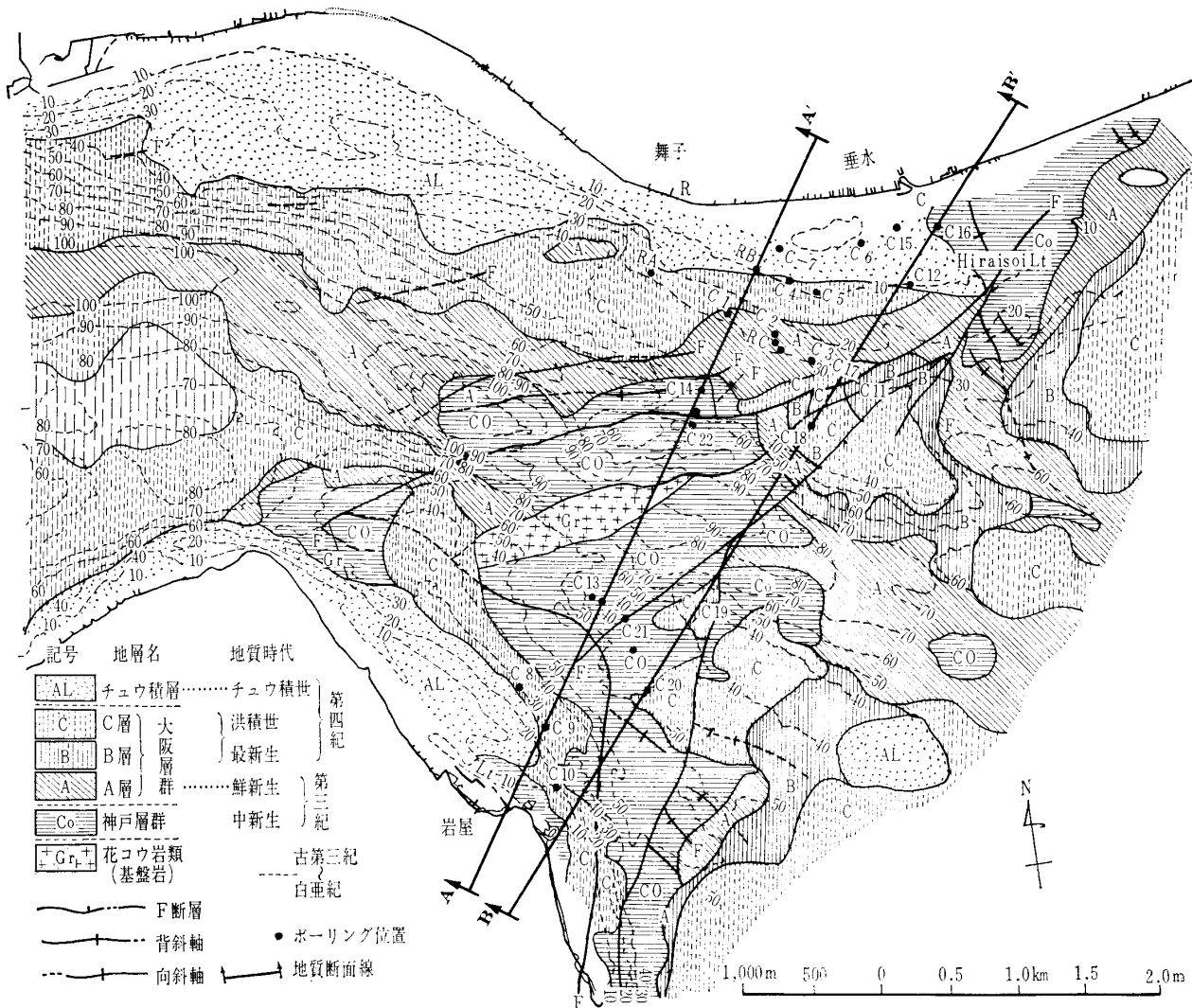


図-2 明石海峡地質平面図

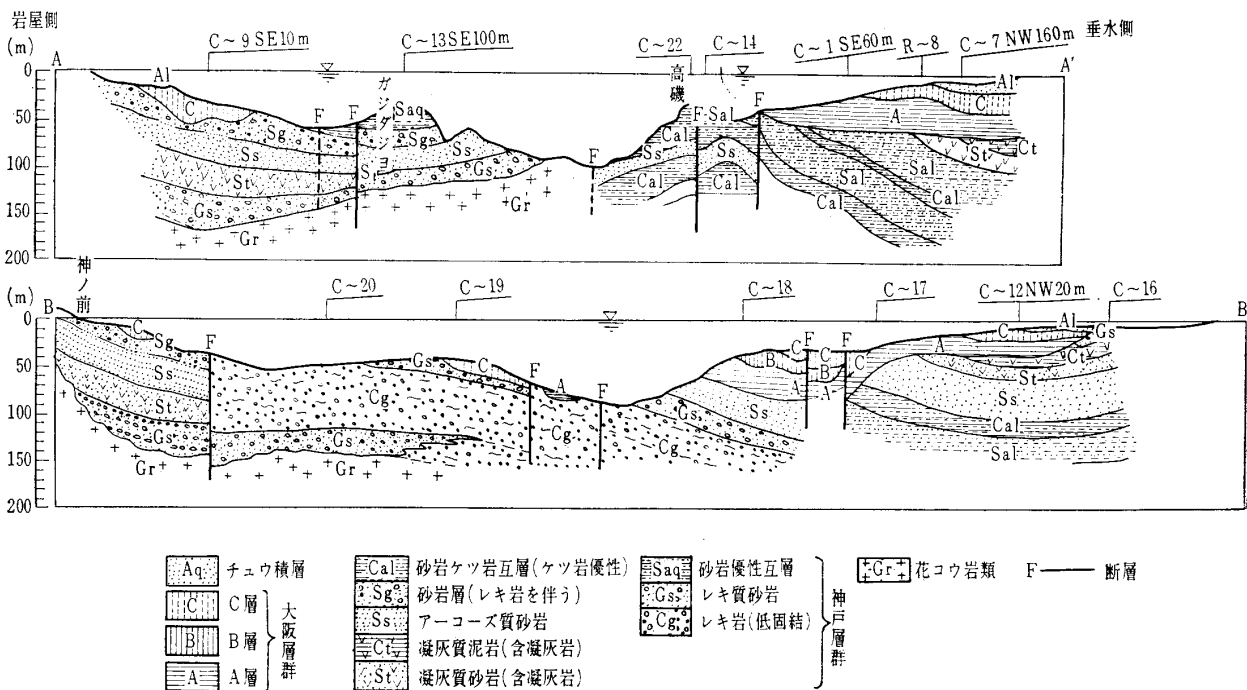


図-3 地質断面図

表-2 明石海峡の層序

新 生 代	地質・時代		地層名	記号	陸上との対比
	第四紀 更新世	現世	大阪層群 (明石層)	チュウ積層	AL
更新世				C	満池谷層
鮮新世				B	舞子貝層および高塚山粘土層
				A	垂水レキ層
新第三紀 中新世		神戸層群	C ₀	多井畑累層, 岩屋累層 神戸層群	
	白亜紀 三疊紀	花コウ岩類	Gr	広島型花コウ岩 (六甲花コウ岩) 領家型花コウ岩 (布引花コウ岩)	

表-3 花コウ岩深度

ボーリング番号	地域	海面下深度 (m)
C-6	本州側	-217.93
R-1	"	-139.50
C-8	淡路側	-173.64
C-13	"	-120.90
C-20	"	-139.21

度もち、平均 -100 m 内外のものである。これらの海釜は海峡の東~南東部 (大阪湾側) では -50 m 平たん面によりさえぎられ、西部は播磨灘の平たん面にさえぎられる。

4. 海底地質

これまで明石海峡の海底地質について伊崎³⁾によって報じられているが、その後の音波探査資料、ボーリング調査を加え総括し説明する。

海峡部の地質は、陸上の六甲西部および岩屋付近と同様、花コウ岩類を基盤岩として、新第三紀中新世の神戸層群、鮮新世~第四紀更新世の大阪層群およびチュウ積層より構

成されている。また地質構造は六甲変動⁴⁾の影響を受け、複雑な断層、しゅう(褶)曲構造を呈している。音波探査、ボーリングによって解釈された地質平面図を 図-2、地質断面図を 図-3、またこれらの層序を表-2に示す。

4.1 基盤岩類

明石海峡付近の基盤岩は主として黒雲母花コウ岩よりなり、ほぼ2種類あり、一つは、淡路島北部および六甲山地の一部に分布するもので、領家型花コウ岩 (布引花コウ岩)⁵⁾と、他の一つは須磨鉢伏山より六甲山地の主部を占める広島型花コウ岩 (六甲花コウ岩)⁵⁾がある。

海峡部では岩屋北方の海底にはほぼ東北東~西南西に露出し、露出部の表面は -60~-90 m の間にわたっている。海底ボーリングの結果確認された花コウ岩類の深度を表-3に示す。

花コウ岩上面はかなり激しい起伏を呈しており本州側の方が淡路側より深い。ボーリングコアの観察から、垂水側は広島型花コウ岩に、淡路側は領家型花コウ岩に属しているのがわかる。また全体的に淡路側海底部のものは表面でかなりの風化をうけ、へき開や節理が発達し、垂水側のもは新鮮な岩盤となっている。海底部における花コウ岩類の風化は一般に表面数 m~10 m にわたっている。それ以

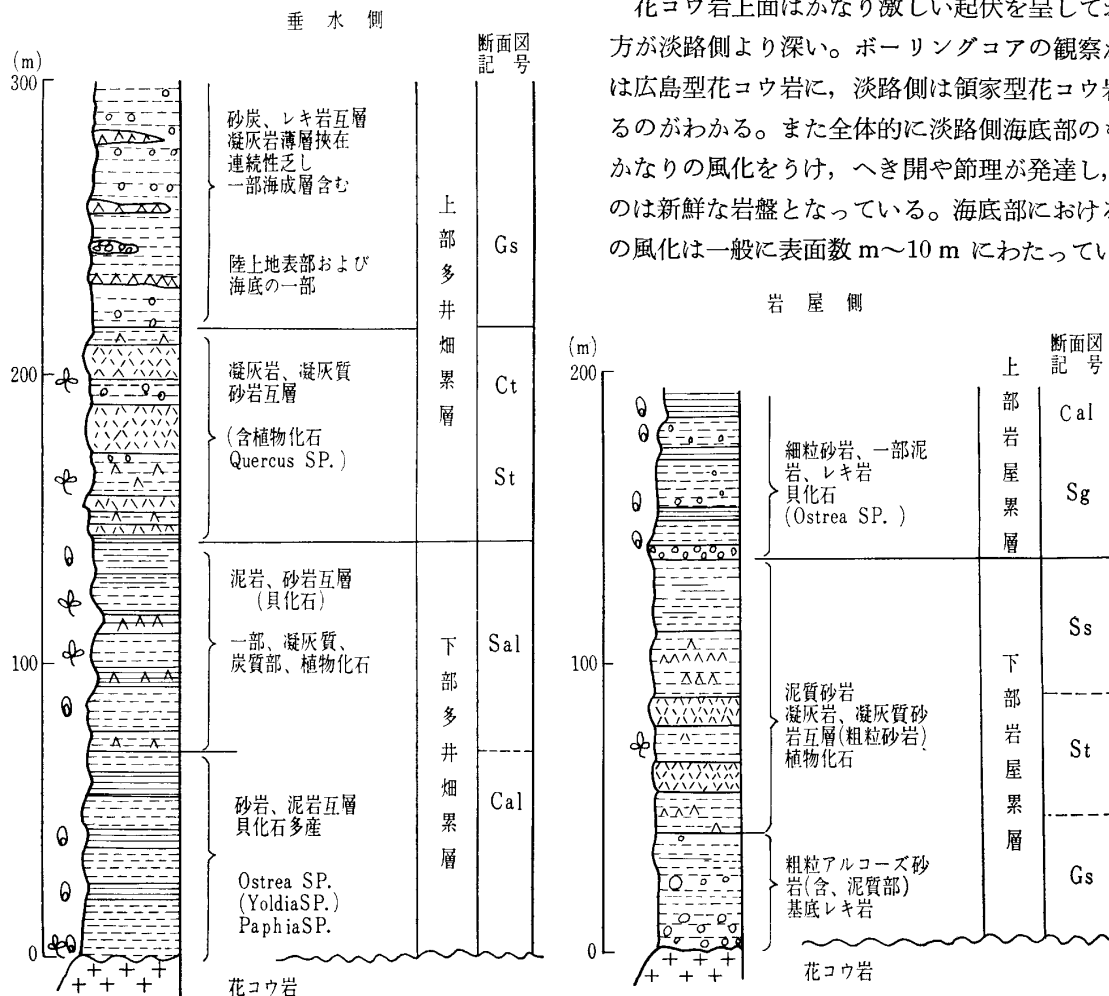


図-4 神戸層群模式柱状図

深はかなり新鮮であり、陸上部の風化帯の深さに比べきわめて薄い。

4.2 神戸層群

この地層は、花コウ岩と不整合、あるいは断層で接している。ボーリングで確認された神戸層群を大きくみて、三つのタイプに分類できる。すなわち、岩屋側のレキを混じえる砂岩地層を主体とし、垂水側の砂岩泥岩の互層からなる地層および、C-19, C-20 のようにきわめて固結度の低いレキ岩を主体とする地層に区分される。

図-4 に示す模式柱状図をこれまでの調査結果から得た。これら相互の地層対比は、まだ決定的に確立されたものではない部分が多いが岩層別で地質断面図を表わしてみた。すなわち、A-A' 断面図の中央海釜から岩屋側においては、砂岩を優勢とする地層をI, II, III帯に区分できる。

I, II帯は凝灰岩、植物化石、炭化物の存在などの特徴から陸成層と考えられ、III帯は海せい(棲)貝化石を多く含むことから海成層であろう。前者を下部岩屋累層とし、他方、垂水側においては、IV, V, VIの3帯に区分される。IV帯は海成と陸成地層が規則的な交互で重なった地層である。V, VI帯は陸成の滞積物と考えられる。前3帯を下部多井畑累層とし、後の2帯を上部多井畑累層とした。以下おのおの帯層別に説明する。

I帯(断面図記号Gs)はレキを含むアーコース砂岩で基底の花コウ岩を不整合におおっている。レキはチャート、砂岩、片岩などの細レキから巨レキまで雑多に含まれとうたが悪い。このレキ岩部は、C-18, C-10, ボーリング地点では厚く、C-9では比較的薄い。C-10では、幾分泥質となる。みかけの層厚は40m土である。

II帯(断面図記号St, Ss)は、暗緑色の凝灰岩(2~3層)とアーコース砂岩(数層)よりなる。Ssは非凝灰質でほとんどアーコース砂岩からなるが、C-18, C-9ではしばしば炭化物を含む。この層はほとんど陸成層と考えられる。ただしC-10の最上部ではわずかながらSand pipeを含む海性の滞積相を示す。以上I・II帯をもって下部岩屋累層とする。

III帯(断面図記号Sg, Cal)は下部岩屋累層とは軽微な不整合関係と考えられ、かなり連続性のある基底レキ岩よりはじまる。しかしこのレキ岩はC-13, C-21地点に向かって徐々に消滅するようである。本帯は細粒砂岩を主とし一部に泥岩をはさむが、この泥質部は上部にいくにしたがって優勢となり、C-13, C-21などでは砂岩、泥岩の互層となる。この層の特徴は、海せい化石を含み、岩屋絵島てい線付近の化石床と一致する。基底レキ岩から上部の海成層III帯を上部岩屋累層とする。

IV帯(断面図記号、垂水側Cal, Sal)は、垂水側で基盤の花コウ岩にアバットし、全体としては砂岩優勢の砂岩、泥岩の互層である。特に厚さ10m以上の砂岩層数層が認められる。この帯はリズムカルな三つの滞積輪廻がみられ、

いずれも化石床を含む。本帯を上部多井畑累層と仮称する。みかけの層厚は140m土である。

V帯(断面図記号、垂水側St, Ct)は海底部ではレキ質の砂岩を主体とする地層で、同層の陸上部でみられるものでは、中~粗粒砂岩とレキ岩の不規則な互層をなし、レンズ状の泥岩や数枚の凝灰岩をはさんでいる。なお、陸上の多井畑地区では海せい貝化石の産出が報ぜられているが、海底部でのこの大部分は非海域の滞積物とみなされる。この層の厚さは、見かけ上100m土程度である。V帯とあわせて上部多井畑累層とする。

B-B'断面のC-11, 18, 19, 20でみられる厚い低固結レキ岩が、海峡のなかではこの調査地点以外で認められない。それはこれら累層の層序的位置づけに問題があると考えられる。分布の範囲は、ほぼ平磯~ガジダジョおよび鶴崎を結ぶ線の南東部のみに限定される。ボーリングC-19, 20までは基盤岩上のアーコース砂岩を被覆し、C-18ではレキ岩の下限深度は不明である。C-11では、下限は炭化物を含むアーコース砂岩と接しており、この地層は神戸層群の一つに属することはほぼ間違いないと考えられるが、層序的にはどの帯に対比されるのか現状では不明である。しかし地質構造上から一応II帯に対比する。ただしII帯の岩相とはいちじるしく相違しており、あるいは神戸層群の基底レキ岩としてI帯に対比すべきものかもしれない。

4.3 大阪層群⁹⁾

大阪層群は、本地域では明石累層と呼ばれている。海底部ではA・B・Cの三層に区分される。

A層は凝灰質な部分を伴う厚い砂レキ層および砂層を主体とし、ところにより粘土をはさむ。レキはチャート、砂岩を主とし、花コウ岩、流紋岩などの岩種が多い。この層は大阪層群下部の垂水レキ層⁹⁾に対比される。

B層は貝類を含む海成粘土を主体とした地層である。C-18, C-1では海底近くで2枚の海成粘土が認められ、多数の貝化石を包含し、下位粘土層は4m、上位粘土層は17mの層厚を有している。それぞれ陸上部の舞子貝層⁹⁾および高塚山粘土層⁹⁾に対比される。

C層はレキ・砂を主とする地層で、淡水成のシルト質粘土を薄くはさむ。スパーカーの記録から下位のA層、B層とを不整合でおおっている。陸上部では、六甲東部の大阪層群上部、満池谷累層⁹⁾と対比されるものと思われる。

4.4 チュウ積層

明石海峡のチュウ積層は、岩屋北方の前ノ瀬および垂水、舞子海岸の10m平たん面に分布する。砂、レキを主体とし層厚は10m以下と思われるが、ボーリングコアでは、下部の大阪層群と識別が困難な場合が多い。

5. 地層の工学的性

海上ボーリングによって得られたコアを利用して岩石試験を実施し、その結果の一部として一軸圧縮強さと静弾性

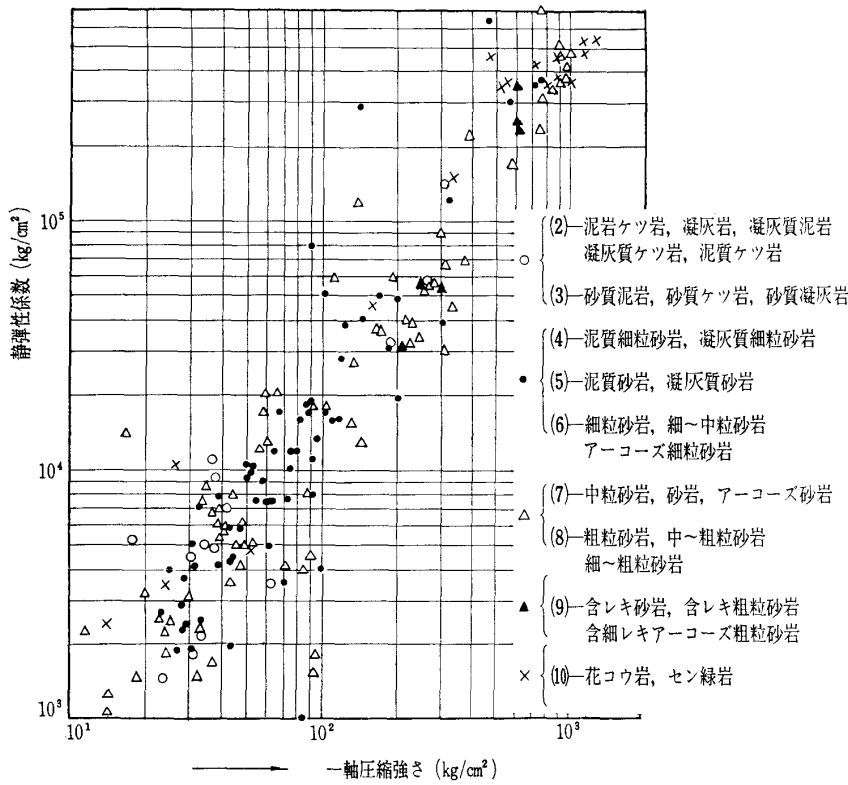


図-5 静弾性係数と一軸圧縮強さ相関図

係数の関係を 図-5 に示した。ほとんど軟岩的要素をもつもので、コアの Rebound による強度低下や、削孔時によって乱されたテストピースがある。また、削孔時の泥水圧によって溶解されやすく、コアになりにくい地盤もかなりあることから、必ずしも神戸層全般の地盤の強さを表わすものではない。

ルート沿いの地質断面図 A-A' (図-3) を基に一軸圧縮試験の結果から強度断面図 (図-6) を作成した。

本図の作成にあたっては、一軸圧縮強さの 10 kg/cm² 以下、10~30 kg/cm²、30~50 kg/cm² および 50 kg/cm² 以上の 4 段階に区分した。しかし垂水側の神戸層群は砂岩、泥岩および凝灰岩などの比較的薄い互層からなるので、地層ごとの強度区分が繁雑になりすぎるので岩相の変化にあまりとらわれず一軸圧縮強さの範囲を決定している。また砂岩、泥岩互層部では一般に泥岩のテストピースが採取し

にくいため、地盤の強度という意味では全体に若干大きめに表現されていると思われる。

本図にみれば、淡路側主橋脚予定位置 (ガジダジョ) では、花コウ岩上面まで部分的に強度が大きいものも含まれるがおしなべて、10~30 kg/cm² のものがほとんどである。一方、垂水側主橋脚予定位置 (高磯) では、C-22 ボーリングで海底部 3 m 程度が堅固な地層であり、深度 40 m 付近まで、50 kg/cm² 以上の砂岩が多い。しかし、泥岩部ではほとんどテストピースになりえず、おそらく 10 kg/cm² 以下のものが多いと判断される。C-14 ボーリング位置では、海底下 10 m 付近までは 10~30 kg/cm² 以下、その下に薄く 50 kg/cm² 以上のものも認められる。しかし、深度 67 m 付近までは 10~30 kg/cm² のものが主体となっている。

一般に垂水側主橋脚予定位置は、平磯から松帆のにびる断層 (F) に派生する小断層がボーリングコアの中にかなり認めることができる。これより垂水側では、海底部に砂レキ層が厚くおっており、砂レキ層直下は一般に軟化し、10 kg/cm² 程度の地盤があり厚さは約 20 m である。その下面深度は C-1 地点で海底下 53 m、C-7 ボーリング地点 (ルート北西 160 m) で海底下 70 m である。この 10 kg/cm² 以下の地盤の下位では、C-1 ボーリング地点付近を境として南方は 10~30 kg/cm² または 10 kg/cm² 以下の地盤となる。北方にむかって、30~50 kg/cm² または 50 kg/cm² 以上の地盤と変化する。岩屋側では主として砂岩層よりなり、C-9 ボーリング地点付近で砂レキ層がやや厚くみられるほかは海底下 20~30 m まではほとんど 50 kg/cm² 以上の堅い地盤である。しかし同一砂岩でもアーコース砂岩のように粗粒なものは強度が比較的ばらつき、10~50 kg/cm² の範囲を示す。

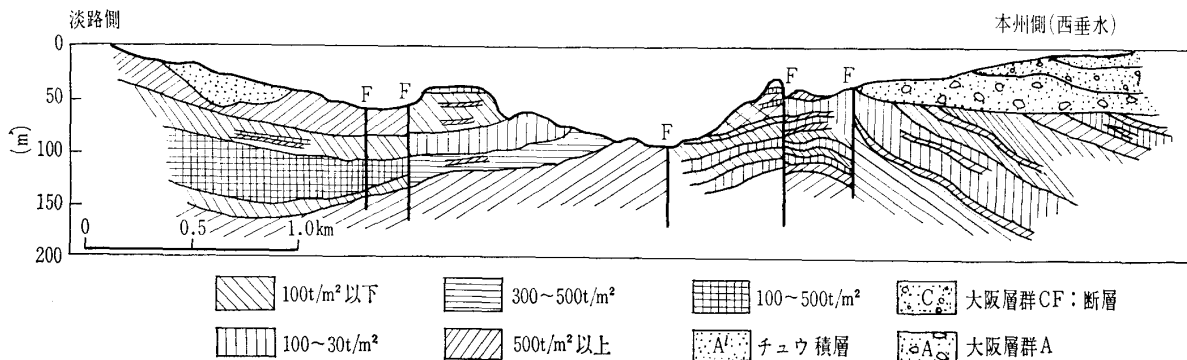


図-6 強度断面図

表-4 明石層 載荷試験結果

地 質	載 荷 盤 (cm)	ク リ ー プ 増 加 荷 重 (kg/cm ²)	降 伏 点		破 壊 点		荷 重 度 18.1 kg/cm ² の 変 形 係 数		
			荷 重 (kg/cm ²)	沈 下 量 (cm)	荷 重 (kg/cm ²)	沈 下 量 (cm)	沈 下 量 (cm)	E_g^{**} (kg/cm ²)	E_g^{***} (kg/cm ²)
明 石 層 (砂レキ)	37.5	36.2	40.7	3.07	(67.9)*	7.39	1.17	730	420
		18.1	27.2	1.81	(67.9)*	16.48	1.13	940	430
	75	18.1	27.2	3.29	(67.9)*	13.54	1.97	820	490
		18.1	40.8	5.09	(67.9)*	13.28	1.86	1,410	530
	150	18.1	54.3	11.42	(63.4)*	21.15	2.26	1,230	660
	300	9.1	(27.2 以上)	(5.73 以上)	(27.2)*	5.73	3.74	1,720	950
(明 粘 土 混 じ り 砂 レ キ)	37.5	9.1	18.1	2.78	(36.2)*	16.25	2.56	360	190
		18.1	18.1	2.04	(40.7)*	17.65	2.04	820	240
	75	18.1	27.2	3.85	(49.3)*	17.01	2.02	860	480
		18.1	27.2	4.05	(45.3)*	15.03	2.58	1,240	380
	1:0	9.1	27.2	5.55	(36.2)*	14.94	2.73	1,180	550
	300	4.5	(18.1 以上)	(7.18 以上)	(18.1)*	7.18	7.18	910	510

* 破壊点が明確でないが、それに近いと思われるもの、または破壊点に至るまでに載荷を中止したもので () 内の数字は最高荷重量

** tangential な変形係数

*** global な変形係数

海底下の明石層は前のべたようにほとんど砂レキからなり、現在のサンプリング技術では、乱さない試料のみならず、乱された試料でも、原地盤の粒度組成を変えない試料を採取することがはなはだ困難であり、力学的定数の把握はなされていない。これまで海底部のものと類似する陸上部の垂水レキ層で原位置試験⁷⁾がなされており海底部力学常数を類推している。その結果を表-4に示した。

6. む す び

本報告は、これまでの調査結果の抜粋であり、理解し難い点が多かったかと思われるが、何分多岐にわたる調査なので海底地質にのみ限定して報じた。長大橋の基礎地盤としての対象の「海峡」というものが過去の地質時代以来どのような過程を踏み、またどのような営力をうけて今日存在するのかということの理解がなされ、さらに基礎としての地盤を定量的力学特性の把握へと、今後進まなくてはならない。そのため現在、詳細実施調査のために次の点を特に調査研究の対象として現在なされつつある。

1. コアになり難い軟岩(特にルーズな砂岩)、砂レキの

確実なサンプリング方法と機械の開発

2. 大規模原位置試験が海底下で実施不可能なため、ポアホールを利用したの検層、原位置試験から力学的諸常数のインデックスの推定
3. それらのインデックスと岩盤の大規模原位置試験の相関の把握

参 考 文 献

- 1) 高橋幸蔵：海上ボーリング，第8回日本道路会議論文集，昭和41年4月
- 2) 高橋幸蔵：海洋構造物の基礎地盤調査法，橋梁，Vol. 7, No. 5, 昭和46年5月
- 3) 伊崎 晃：明石瀬戸海底の岩盤などの深図，応用地質，Vol. 4, No. 3, 昭和38年
- 4) 藤田和夫：六甲変動，その発生前後，第四紀研究，Vol. 7, 昭和44年
- 5) 藤田和夫，笠間太郎：六甲山地とその周辺の地質，神戸市企画局，昭和46年3月
- 6) 市原 実，小黒讓司：明石層群，播磨層群について(その2)，地質学雑誌，Vol. 66, 昭和35年
- 7) 高橋幸蔵他：明石層および神戸層の現場載荷試験，応用地質，Vol. 10, No. 1, 昭和44年3月
- 8) 建設省道路局，近畿地方建設局：本州四国連絡道路調査概要報告書，昭和45年3月

(原稿受理 1972. 6. 19)

*

*

*