

明石海峡大橋地質調査の概要

西垣好彦*・佐伯康二**
Yoshihiko NISHIGAKI Yasuji SAEKI

1. はじめに

本州と四国の架橋は長年にわたる多くの人々の願望であったが、昭和45年に本州四国連絡橋公団の設立によりその計画が具体化し、神戸・鳴門ルート、児島・坂出ルート、尾道・今治ルートの3ルートについて工事実施のための調査が開始された。現在は大鳴門橋・大島大橋及び道路鉄道併用の児島・坂出ルートが工事中である。それに対し、明石海峡大橋は当初本州・四国を結ぶ唯一の夢のかけ橋として昭和30年代初めから国鉄・建設省・神戸市において調査が始められ、その後、鉄道建設公団・日本道路公団の調査を経て本四公団に引継がれている。調査の主な内容は明石海峡の海象気象条件、地形地質の調査、地震の観測、及び長大支間吊橋の耐震耐風設計の基礎的研究が中心であった。

現在、公団では前述の調査研究成果を踏まえ、基本計画に基づいて実施設計のための詳細な調査を実施している。

明石海峡大橋の地質調査は基本計画によりアンカレッジ位置のA・D海域と主塔位置のB・C海域の4海域

で実施された(第5図参照)。これら海域において下部工の設計・施工に必要な地質調査が実施されており、その経緯は第1表に示した。表で分かるように昭和58年の松帆沖地質調査で4海域の地質調査が一応終了し、今後は施工性の検討調査や施工時の確認調査等があるが、これを機会に明石海峡大橋の地質調査の概要を紹介する。

2. 明石海峡大橋の概要

明石海峡大橋は中央径間1780mの道路・鉄道併用橋で完成すれば世界最大の吊橋(第2表)の予定で、その完成予想図は第1図、第2図(a)のようになる。建設予定は神戸側舞子から淡路島側松帆で、海峡幅約4km、最大水深110m、最大潮流約9ノットで桁下高65m以上で、予定ルートの地質断面は第2図(b)のようになる。世界の長大吊橋基礎のほとんどは硬岩に支持させているのに対し、本ルートは新第三紀の軟岩に支持させる予定であるため、技術的問題についてあらゆる角度から検討されている。

第1表 明石海峡大橋地質調査の概要

調査名 \ 実施年度	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
B、D海域ボーリング	■	海上作業足場による地質調査									
A、C海域ボーリング		■	上に同じ								
明石層載荷試験	■		ニューマチックケーソン内の載荷試験								
松帆・舞子陸上部ボーリング			■								
神戸層載荷試験	■		垂水区下畑における大型載荷試験、クリープ試験								
神戸層陸上掘削子備実験	■		ジェームズ山におけるケーソン模型による載荷試験								
舞子沖地質調査							■		鋼管底で載荷試験		
松帆沖 //							■		ニューマチックケーソン内の載荷試験		■

* 基礎地盤 コンサルタント(関西西技術センター)所長 ** 本州四国連絡橋公団第一建設局垂水工事事務所所長

第2表 完成時における世界長大径間吊橋の順位

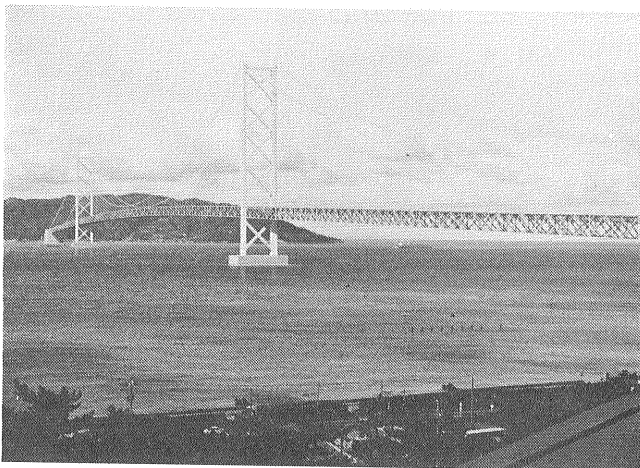
順位	橋名	中央径間(m)	備考
1	明石海峡大橋	1,780	
2	ハンバーク橋	1,410	英・イングランド東部 1981年完成
3	ベラザノ・ナロウズ橋	1,298	米・ニューヨーク 1964年完成
4	ゴールデン・ゲート橋	1,280	米・サンフランシスコ 1937年完成
5	マキノ橋	1,158	米・ミシガン州 1957年完成
6	南備讃瀬戸大橋	1,100	工事中
7	ボスポラス橋	1,074	トルコ・イスタンブール 1973年完成
8	ジョージ・ワシントン橋	1,067	米・ニューヨーク 1931年完成
9	4月25日橋	1,013	ポルトガル・リスボン 1966年完成
10	フォース道路橋	1,006	英・エジンバラ 1964年完成
11	来島第三大橋	1,000	
12	北備讃瀬戸大橋	990	工事中
13	セバーン橋	988	英・ブリストル 1966年完成
14	下津井瀬戸大橋	940	工事中
15	多々羅大橋	890	
16	大鳴門橋	876	工事中
17	来島第一大橋	860	
18	ニュー・タコマ・ナロウズ橋	853	米・ワシントン州 1950年完成
19	因島大橋	770	1983年完成
20	アングスツラ橋	712	ベネズエラ 1967年完成
//	関門橋	712	1973年完成

現在までの一連の地質・自然条件の調査結果から アンカレッジの平面寸法は100m×80m 支持地盤面は舞子側では T.P. -65m 松帆側では T.P. -52m となり 巨大な基礎構造物である。また 主塔高は海面より 276m (第3図) 基礎の平面寸法は 40m×70m で 支持地盤面は舞子・松帆側ともに T.P. -70m で計画されているが 最大水深45m 最大潮流9ノットという非常に 厳しい自然条件下での施工が予想されている。

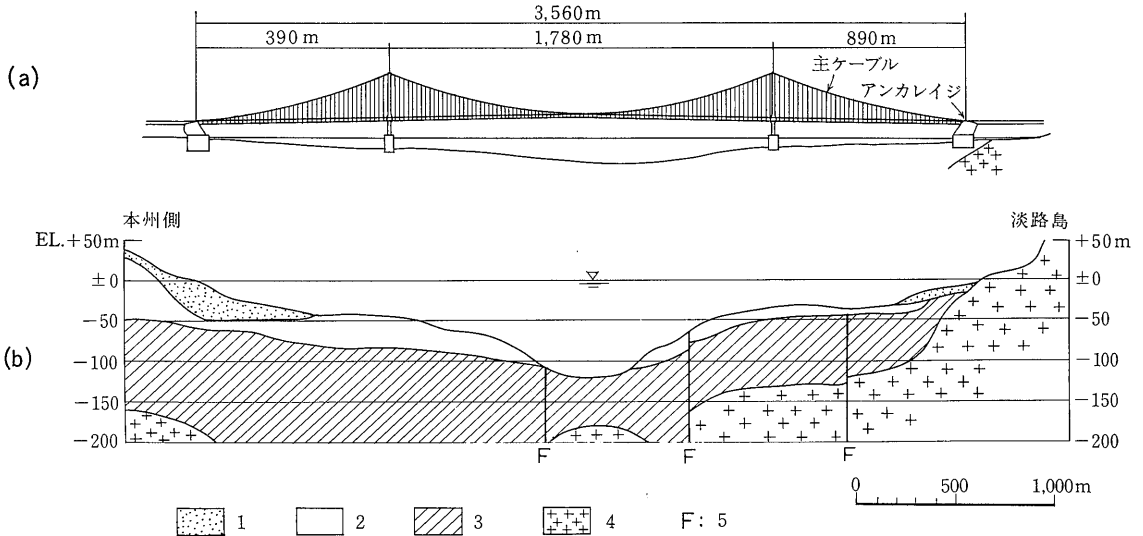
3. 明石海峡の地質

明石海峡の地質調査は昭和30年当初から主として国鉄によって実施されてきた。その主なものは沿岸の地表踏査・海底ドレッシング・音響測深・音波探査・潜水観察及び概査ボーリングである。

音響測深による海底地形調査は非常に詳細に実施され 1m等高線の海底地形図(第4図)が作成され 複雑な海底地形が手に取るように描き出されている。以上の調査とその後実施された海上ボーリング結果から 明石海



第1図
明石海峡大橋完成予想図。



第2図 明石海峡大橋概要図

(a) 明石海峡大橋橋梁一般図
(b) 明石海峡地質断面図

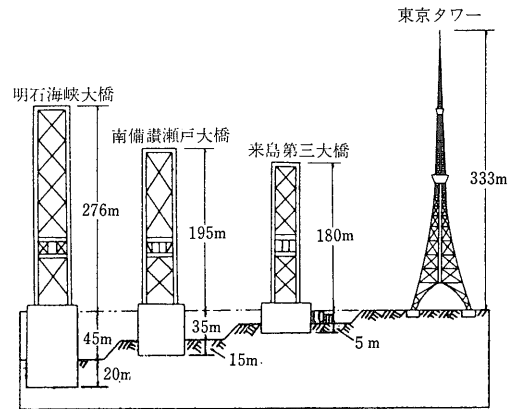
1 沖積層及び上部洪積層 2 明石累層 3 神戸層群
4 花崗岩 5 断層

海峡の地形・地質の概要は次のようである。

明石海峡は大阪湾と播磨灘を結ぶ水道で 明石海峡大橋建設が予定される 舞子～松帆を結ぶルート付近の明石海峡は幅約4km 海峡中央部は水深110m 幅400mの北西～東南方向の海釜状の谷地形をなし この谷の両側は比高50m以上の急斜面となっている。この海釜状谷から海岸に至る海底は 幾つかの平坦面から成っているが 舞子側では海岸から200mまでは T.P. 0～-13m 600mから1,400mまでは T.P. -40～-60m また松帆側では海岸から350mまでは T.P. 0～-13m 500mから1,400mまでは T.P. -30～-50mの平坦面が発達している。

本地域の地質平面図は第5図のようになり 中生代末期に侵入した六甲花崗岩及び岩屋花崗岩が基盤をなしこれを不整合に覆う中新世の神戸層群 鮮新世～前期更新世の明石累層 上部更新統及び沖積層から成っている。花崗岩は淡紅色のカリ長石を特徴とする中粒～粗粒花崗岩で 海峡部では風化部は薄く 比較的新鮮な花崗岩となっている。

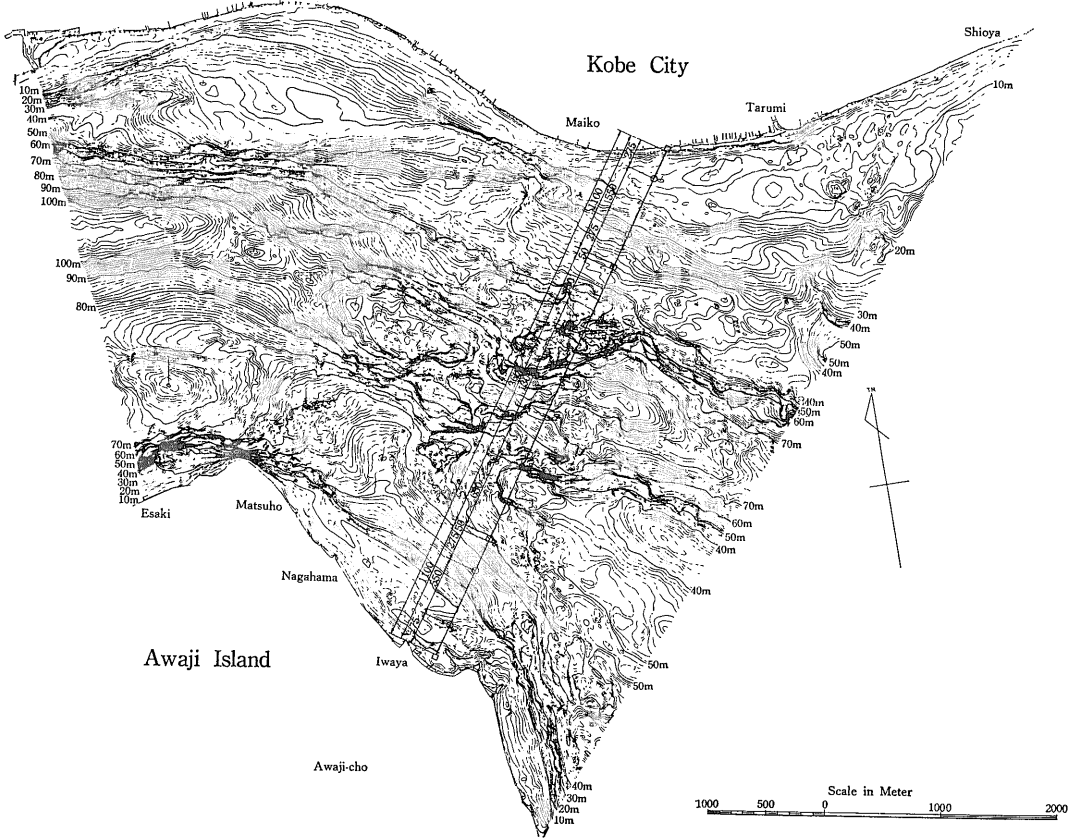
神戸層群は 神戸側では泥岩・砂岩の互層から成り 淡路側では粗粒砂岩を主とし 両者の岩相にはかなりの差異が認められる。明石累層は固結のあまり進んでいない砂礫層を主とし 砂 シルト層を挟在する。上部更新統は 神戸側陸上部における中位 及び低位段丘層



第3図 主要橋塔の高さ。

に対比されるが 上位の沖積層 及び下位の明石累層との境界は不明確である。

明石海峡底には神戸層群が広く分布するが これは明石側ブロックと淡路島側ブロックの上昇から取り残された部分が 更に海食を受けたものである。この明石海峡北岸のブロックは 五助橋～諏訪山～須磨断層と播磨断層(推定)で南側を切られ また淡路島側は両側を海岸と平行する断層で切られており これらブロックの運動は 段丘面の変位状態から考えて 高位段丘形成期頃から中位段丘形成以後にも及んでいると考えられる。



第4図 明石海峡の海底等高線（神戸市 1963）.

本地域海峡部では これまでの音波探査の結果から六甲変動に伴う断層の延長とも思われる F_1 F_6 及び F_7 断層のE—W系断層と F_5 F_{10} 及び F_{11} 等のN—S系断層が推定されている。

E—W系断層は 明石累層を切らない F_7 断層を含めて三本とも北落ちの断層で 全体に落差は20m前後であり 海峡中央部では 音波探査結果ではかなり明瞭であるが その両延長部はやや不明瞭で 特にそれらの東方延長部は 従来から垂水沖付近で収れんするものと言われているが これと直交する断層の存在も考えられる。またN—S系断層のうち 淡路島の沖合1km付近を海岸線にほぼ平行に走る F_5 断層は 昭和49年調査の6本のボーリング結果により 約45mの東落ちを示し 上部の堆積層は切らないものと考えられるが その東南方向への延長や F_6 断層との関係についてはいまだ不明確である。

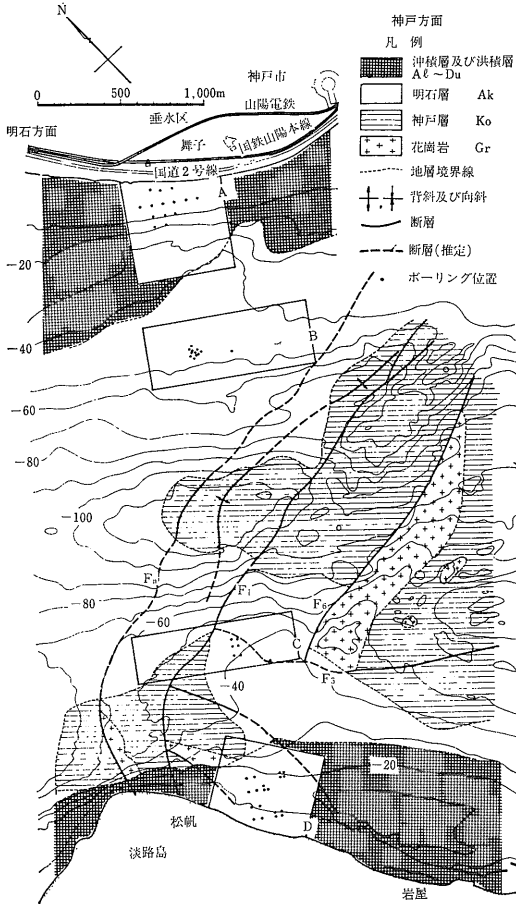
東落ちの F_{10} 及び F_{11} 断層は水深が浅く 音波探査記録上でも あまり明確なパターンは示さない。これらの断層パターンとしては 地層傾斜の急変が特徴的である。

すなわち一般に明石累層はほぼ水平 神戸層群は海峡中央部ではENE—WSW系の背斜構造を示すが 概して水平～4°程度の緩傾斜を示すにもかかわらず 断層付近では しばしば断層による引きずりと思われる急傾斜を呈している。

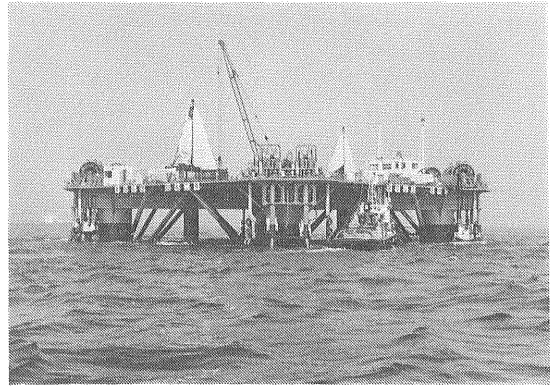
4. 基礎設計のための地質調査の流れ

予備調査においてはルート全体の把握を主とした調査が実施され それに基づく基本計画が立案される。その後の地質調査においては基本計画に基づく橋梁基礎予定位置を主とした調査を実施する。すなわち 基礎予定海域でボーリングを行い そのボーリング孔を利用した各種の計測を行う（第3表）。これらの作業は海上で行うので しっかりした足場が必要で 特別の足場を製作して使用した（第6図）。

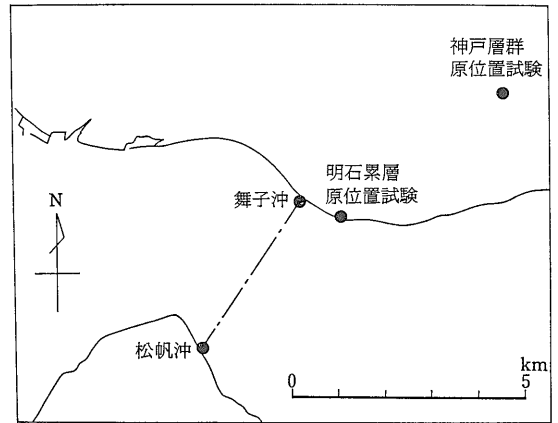
採取したボーリングコアは綿密に観察し それを用いて各種の試験を行った。しかし これらは相対的な地盤の工学的特性を判定するには有効ではあるが 地盤の



第5図 明石海峡地質断面図。



第6図 海上作業用足場“創成二号”



第7図 明石海峡大橋調査位置図。

設計用定数を求めるまでには至らない。なぜなら コアによる試験やボーリング孔での調査結果は点や線の結果であり 橋梁基礎を支持する地盤からすると それらは基礎全体を代表したものとはいえない。また 岩盤には多くの弱線(大きいものは断層から 小さいものは節理まで)を含んでいるため ある程度の大きさがなければその特性が分からない。そこで 基礎地盤の強度・変

形に関する力学定数を求めるために海底地盤における原位置試験が実施される。吊橋の主塔基礎は大きな鉛直荷重が作用するのに対し アンカレッジは吊橋に作用する荷重を支えるワイヤーを固定する所であるため 非常に大きな水平荷重が作用し 明石海峡大橋の水平方向許容変位は30 cm であり かなり厳密な検討をしなければならない。そのため海底地盤の原位置試験はアンカレ

第3表 明石海峡大橋基礎の地質調査総括表(宮島 1981)

調査海域	ボーリング		孔内载荷試験(回)	物理検層(孔)	岩石試験(個)
	孔数	延長(m)			
A(舞子側アンカレッジ)	14	1,624	365	10	297
B(舞子側主塔)	11	1,074	265	7	72
C(松帆側主塔)	6	507	162	4	286
D(松帆側アンカレッジ)	19	891	166	6	143
合計	50	4,096	958	27	798

第4表 神戸・鳴門ルートで実施した原位置試験の概要 (宮島 1981に加筆)

試験地盤	試験位置	試験方法	試験項目					
			静的平板 載荷試験 (回)	動的平板 載荷試験 (回)	クリープ 試験 (回)	孔内載荷 試験 (回)	ブロックせん断試験 (回)	その他
明石累層	神戸市垂水区 (海岸)	ニューマチックケーソン内で試験	φ30 cm; 2 φ60 ; 7 φ100 ; 2	φ60 cm; 3	φ60 cm; 3	26	12	一面せん断試験: 9回
神戸層群	神戸市垂水区 (丘陵)	オープン部で反力桁により載荷	φ60 cm; 8 φ200 ; 2	—	φ60 cm; 4 φ200 ; 1	476	—	深層載荷試験: 8回
明石累層 神戸層群	神戸市垂水区 舞子沖	鋼管基礎底で試験	φ30 cm; 8	—	φ30 cm; 6 (内明石層2)	—	—	—
神戸層群	兵庫県津名郡 松帆沖	ニューマチックケーソン内で試験	φ30 cm; 5	φ60 cm; 4	φ60 cm; 6	25	8	—

ッジを対象とした海域で実施される。舞子側の予定位置は海面下65mでありそこでの大規模調査は困難なため陸上部の類似地盤で原位置試験を行った。この場合はボーリング孔内の計測結果や岩石試験結果によって海上部と陸上部の工学的性質の相関性を利用し実際の支持地盤の力学定数が推定される。このような地盤の設計定数を決定するための原位置試験は第7図の位置で第4表の内容で実施した。

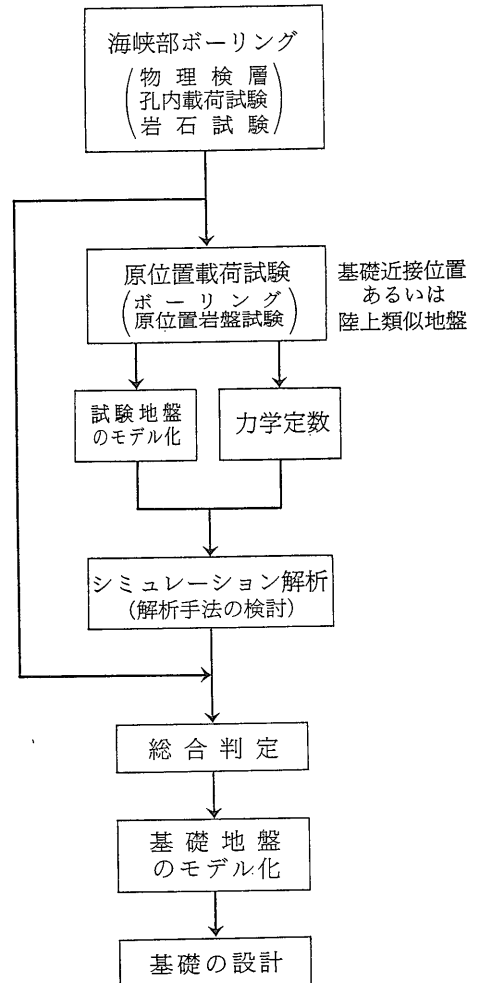
基礎の安定性を検討するに当たっては当然一般的な手法(主として道路橋示方書)による検討は行いがその手法が対象としている構造物に比べ明石海峡大橋基礎はあまりにも大規模である。そのため更に詳細な検討が必要であり原位置試験結果を最新の解析手法で電子計算機を用いてシミュレーションを行い支持力や変形について検討しその妥当性の検証された解析手法を用いて実橋基礎の支持力・変形について解析するという手順を踏んでいる。

以上を流れ図で示すと第8図のようになる。

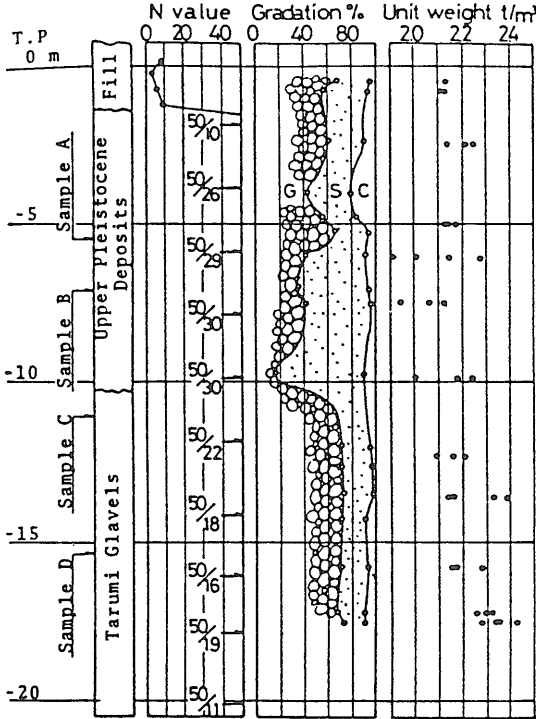
5. 舞子側調査

5.1 明石累層(礫層)の調査

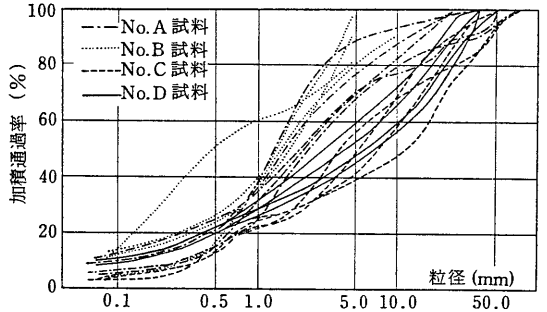
第2図(b)の地質断面で明らかのようにB海域は海底面から明石累層が厚く堆積しているので主塔基礎は明石累層に支持される予定である。そこで舞子海岸近く(第7図)で調査用ケーソンを沈めて明石累層での原位置試験を実施した。調査方法は8m×8mのニューマチックケーソンを造り深さ22mまで沈設する間に深さ方向に3断面で海底下の明石累層を直接眼で観察すると同時にケーソン底盤を反力を利用して各種の原位置



第8図 明石海峡大橋の地質調査の流れ。

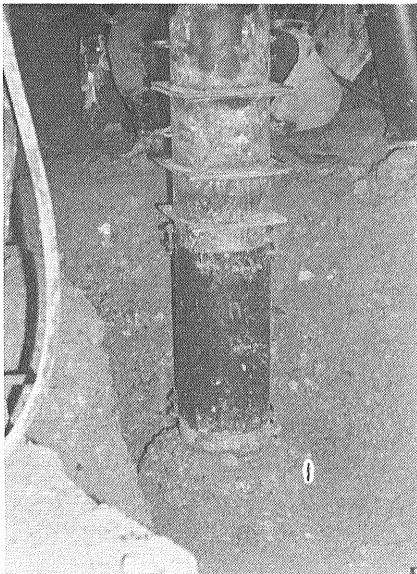


第9図 ケーソン位置地盤状況 (NISHIGAKI et al., 1977).



第10図 明石層屑粒徑曲線 (NISHIGAKI et al., 1977).

試験を行い かつ試料を採取して室内試験を実施した。調査位置の地盤状況は第9図のとおりで 採取試料はA～Dの4種類で その粒度分布は第10図に示した。原位置試験は試料B・C・Dの近くで行った。礫層の乱さない試料での三軸圧縮試験は世界でも例は少ない。その採取方法は第11図(a)のようにジャッキで特殊サンプラーを押込み 先端部をゆっくり掘削し 更にジャッキで押込みを繰り返すという尺取虫が進むような順序で試料を採取した。採取した礫は第11図(b)のようで これを直径30 cm 長さ60 cm に成形して三軸圧縮試験を行った。この試験は土や岩の強度を調べる試験で これらの材料は一般材料と異なり地盤内で受けている応力(抱束圧)によって強度が異なるので 採取した試料を円筒形のセル内にセットし ゴム膜を介して水圧や油圧で抱束圧をかけてその強度を調べるのが三軸圧縮試験である。砂や礫の強度定数の一つの内部摩擦角 ϕ は 従来原位置で実施する標準貫入試験のN値から推定されて



(a) サンプラーの押込み



(b) 採取試料

第11図 乱さない礫のサンプリング。

第5表 明石累層（礫層）の三軸圧縮試験結果（NISHIGAKI et al., 1977）

試料 No.	乱さな い 試料					締固め試料		推定値 ϕ (度)
	C_{cu} (kg/cm ²)	ϕ_{cu} (度)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (度)	ϕ_d (度)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (度)	
A	3.3	14.2	2.1	28.6	—	1.1	29.0	41
B	0	16.8	0	33.5	32.7	—	—	41
C	3.7	10.4	1.2	34.2	—	0.7	34.5	43
D	2.0	22.3	0.6	36.0	—	—	—	46

第6表 明石累層ケーソン内載荷試験結果

試験名	γ_t (g/cm ³)	w (%)	N 値	E _{sp} (kg/cm ²)	載荷板径 (cm)	変形係数		支持力	
						D	E _s	降伏荷重	
								① Pf	② Pu
						kg/cm ²	kg/cm ²	t/m ²	t/m ²
第一層	2.11	12.8	50~50/26	—	60.0	(395)	1,680	±165	550
						554	1,260	240	387
						475	839	165	341
第二層	2.31	13.7	50/22~50/16	663 719 790	30.0	1,280	2,580	360	610
					60.0	2,060	3,410	295	660
					100.0	1,790	4,280	(275)	(1,320)
第三層	2.27	11.3	50/19~50/11	266 311 365	30.0	844	2,110	300	630
					60.0	217	1,140	235	640
					100.0	792	2,170	255	720
						660	2,970	(270)	(1,140)

きたが 明石累層の試験結果とその推定値を第5表に示したが 内部摩擦角は実測値の方がかなり小さい値となった。

載荷試験結果は第6表のようになり 第一層は風化した茶褐色の礫層のせいか降伏荷重が小さいが 第二・三層の平均降伏荷重は290 t/m²となり この値にどの程度の拘束圧の効果が期待できるかが大きな課題である。

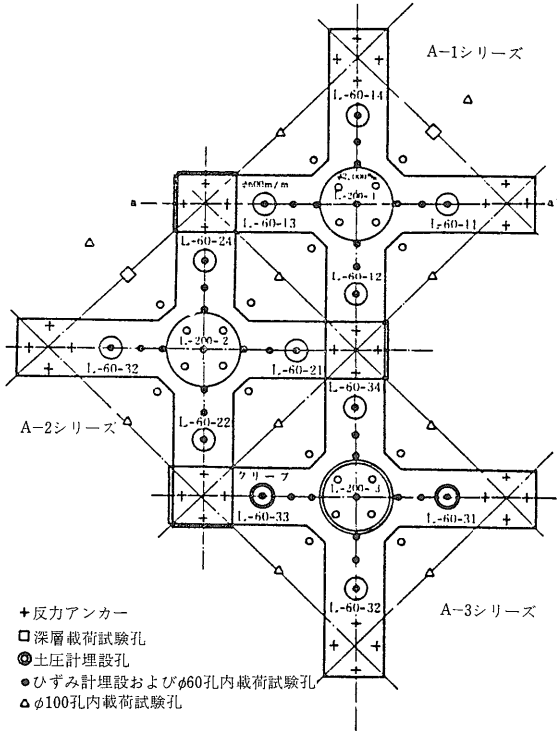
5.2 神戸層群の調査

舞子側アンカレッジ予定深度は T.P. -65m とかなり深いため 原位置試験を海上で実施することは難しく 陸上部の類似地盤で実施することにし 近隣丘陵部を調査し 幾つかの候補地が挙げられたが 最終的に第7図の位置で実施した。

載荷試験前に詳細な露頭調査を行い第12図のように中央に直径2mの載荷板を その周囲に直径60cmの載荷板を4か所配置したものを3シリーズ実施した。各載荷板中央の地盤内に ひずみ計を埋設し 載荷試験時の

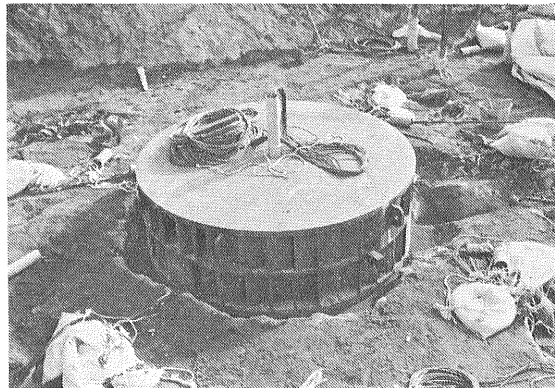
地盤内ひずみを測定した。第13図は直径2mの鋼製載荷板で 中央および周辺のコードはひずみ計から取り出したものである。この載荷面に鋼製の載荷板を設置する。第14図は載荷試験時の反力桁で地盤にアンカーされ これと載荷板の間にジャッキを置いて載荷する。試験結果の地盤内ひずみ分布は第15図の例のように載荷板毎にひずみのピーク位置が異なっている。そこで地盤状況を確認するため 試験後に載荷地盤にトレンチ(溝)を掘削し 地質の観察を行ったところ 泥岩が第16図のように破碎されており 泥岩でのひずみが大きいことが明らかとなった。地質の観察結果は第17図に示したように緩やかに傾斜した互層地盤のため 各載荷板で地質条件が異なっている。載荷試験の降伏荷重は第7表に示したように岩盤状況によって大きく異なり かなりのばらつきを示した。

昭和54年には舞子沖のアンカレッジ設置予定深度の T.P. -65m で深層載荷試験を実施した。予定位置の地盤は第18図に示したように砂岩・泥岩の互層である。

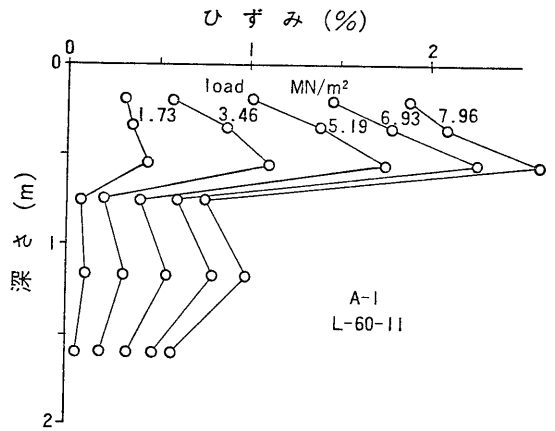


第12図 神戸層群原位置試験位置配置図 (能戸ほか 1979)。

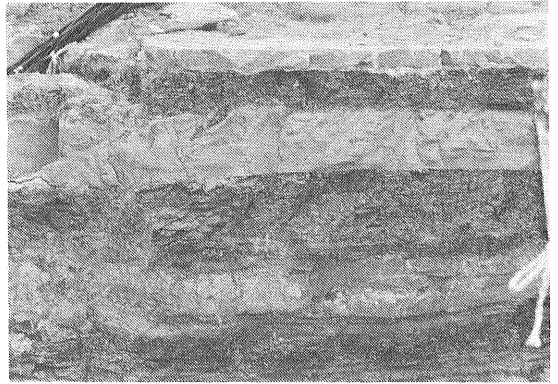
試験は現位置に設置された鋼管杭の底面をボーリングし 載荷面を入念に成形し その状態を水中テレビで確認した後 本州四国連絡橋公団が開発した鋼管に反力を取る特殊深層載荷装置 (第19・20図) を用いて実施した。深層載荷試験の結果は第7表の陸上部の結果よりかなり大きい降伏荷重が得られ 最小で380 t/m² 最大は装置の載荷限界の700 t/m²でも降伏は確認できず 海上部の方が倍以上の支持力が期待できることが分かった。



第13図 直径2mの載荷面。



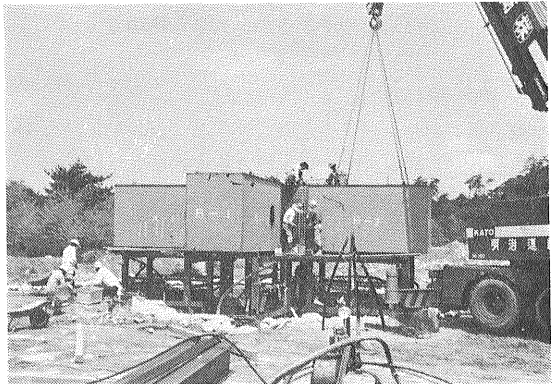
第15図 地盤内ひずみ分布例 (NISHIGAKI et al.1981)。



第16図 神戸層群泥岩の破碎状態。

6. 松帆側調査

松帆側アンカレッジ位置の神戸層群はアルコース砂岩である。アルコース砂岩は花崗岩起源の粗粒の堆積岩で 硬質の石英粒子と軟質で粘土鉱物化した長石・雲母

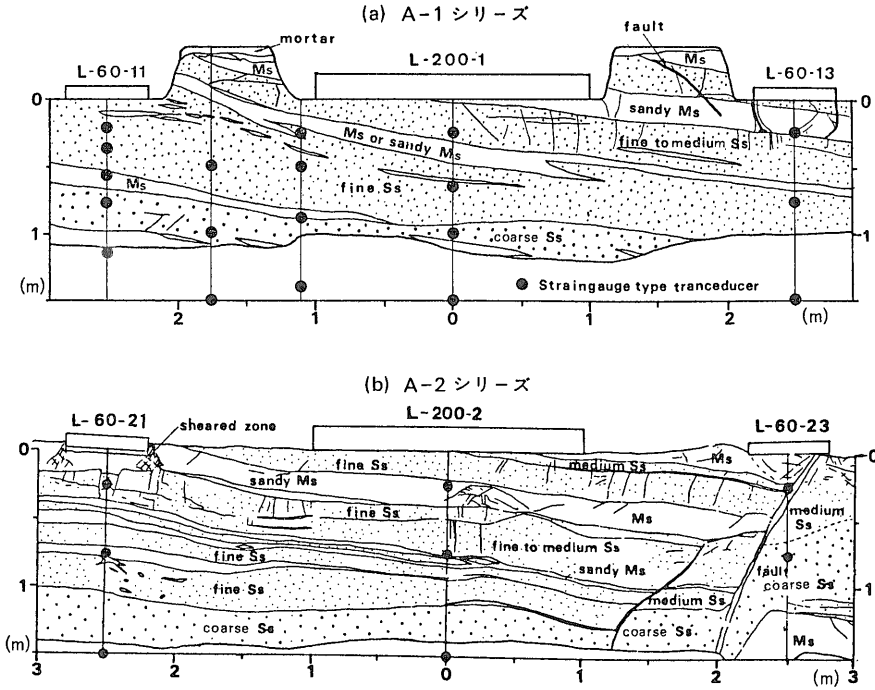


第14図 載荷試験用反力桁。

第7表 神戸層群載荷試験結果 (能戸ほか 1979)

シリーズ	No.	載荷板直径 (cm)	EI (kg/cm ²)	P_y (t/m ²)	P_{max} (t/m ²)	載荷面の岩質	載荷中止の理由
A-1	L-60-11	60	1,520	—	814	泥岩+砂岩	桁の許容限界
	L-60-12	60	948	191* 304**	336	泥岩	P_y の確認 隣接載荷面への影響防止.
	L-60-13	60	1,460	177* 191**	354	砂岩	P_y の確認 隣接載荷面への影響防止.
	L-60-14	60	2,100	(340)***	460	砂岩	隣接載荷面への影響防止.
	L-200-1	200	1,130	239	382	泥岩+砂岩	P_y の確認, 偏心量の増大 A-2シリーズへの影響防止
A-2	L-60-21	60	809	318	336	泥岩	沈下量急増
	L-60-22	60	623	177	212	泥岩	沈下量急増
	L-60-23	60	535	—	212	泥岩+砂岩	偏心量の増大, 載荷板の浮きあがり
	L-60-24	60	856	318	336	泥岩	沈下量急増
	L-200-2	200	974	185	271	泥岩	沈下量急増, 偏心量の増大

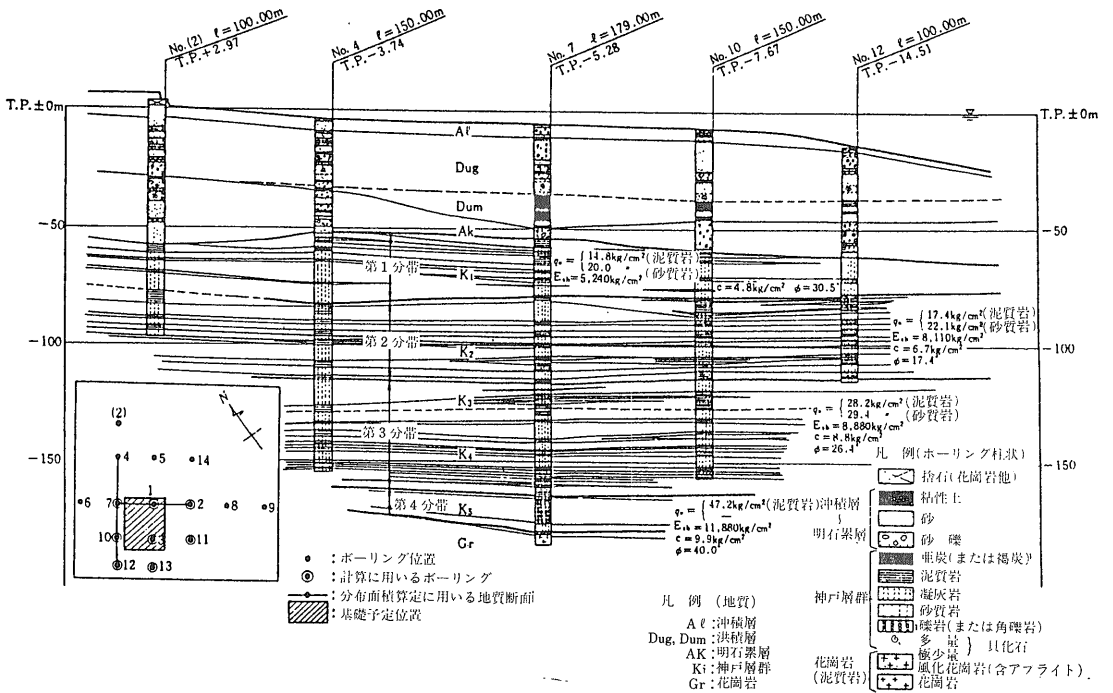
注) * I =20分の平均沈下量による場合 **最終沈下量による場合 ***明確に P_y とは断定しがたい



第17図 載荷試験位置地質断面図 (NISHIGAKI et al., 1981).

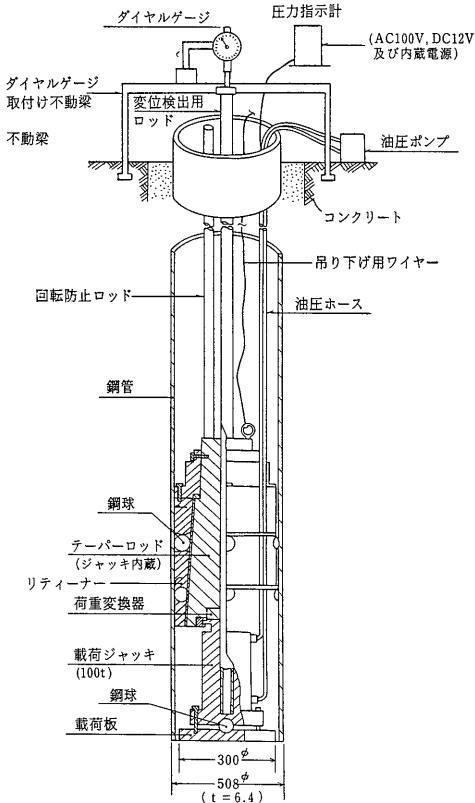
からなる。そのため海上ボーリング結果ではかなり強度の低い岩であると予想されていた。そこで それを確認するために昭和57年に松帆海岸より80m海上に出た位置に築島し 8m×8mのニューマチックケーソンを沈設し(第21図) ケーソン底盤に露出するアルコース砂岩で原位置試験を実施することになった。これと同時にニューマチックケーソン施工位置の岩盤を調査するためのボーリングと ニューマチックケーソン内で採取したブロックサンプルの三軸圧縮試験を行った。その結 1984年8月号

果を既往の海上ボーリング試料の結果と比較すると第23図のようになり 両者が非常に異なる。図中の応力~ひずみ曲線に書かれた数字は三軸試験時の抱束圧を示している。この図より分かることは抱束圧が大きくなると両者とも強度は大きくなるが 既往調査の応力~ひずみ曲線ではピークがみられるものは少ないのに対し 松帆沖調査ではすべてピーク強度がみられる。既往調査の実線の15%強度は松帆沖調査のピーク強度に近いが 点線の曲線ははるかに強度が小さく 多くのデータはこ

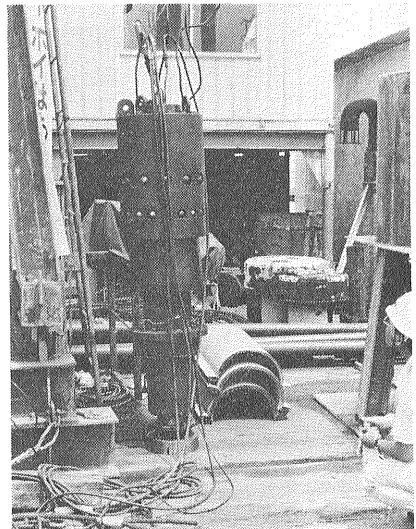


第18図 舞子側地盤モデル (宮島 1982).

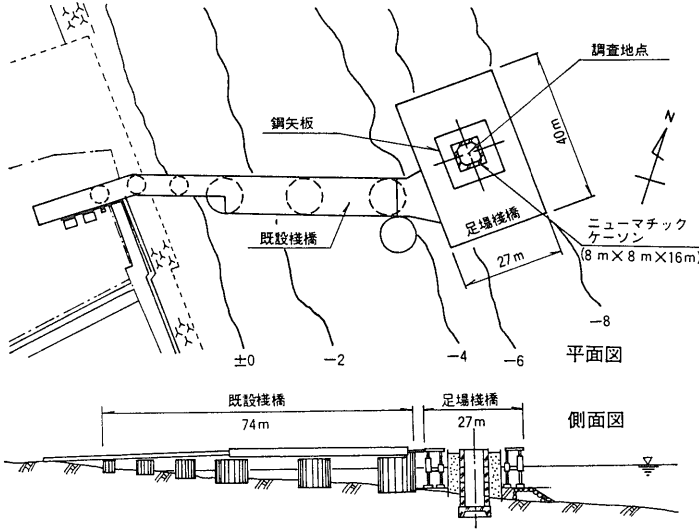
の傾向がみられた。このような結果の差はなぜでたのか。結論的には試料採取技術が進歩し 松帆沖調査では乱れの少ない試料が採取できたことにある。すなわち 既往調査では硬岩用ダブルコアチューブを用いたが松帆沖ではトリプルチューブサンプラーという新機種を採用することにより ブロックサンプルとほとんど等し



第19図 深層載荷試験装置概要図.

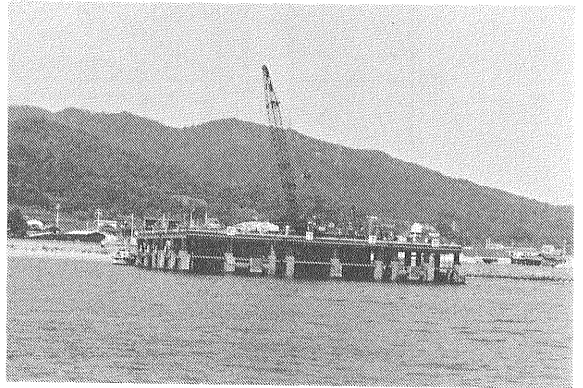


第20図 深層載荷試験装置.



第21図
松帆沖地質調査.

第22図 松帆沖地質調査全景.

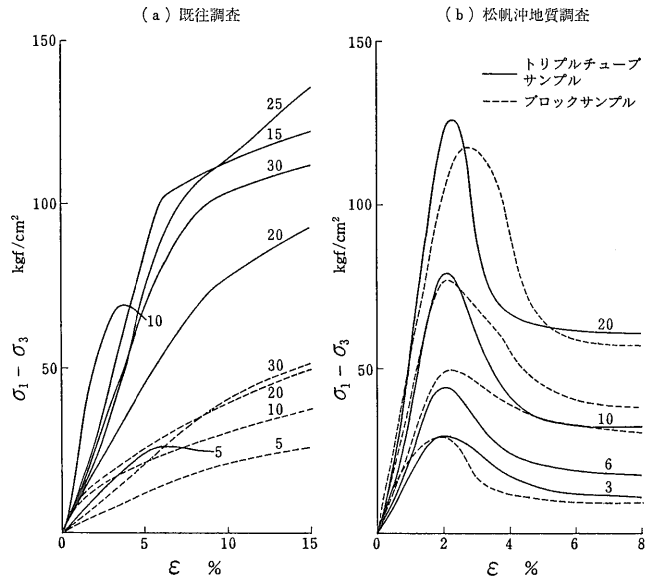


い試料を採取できた。

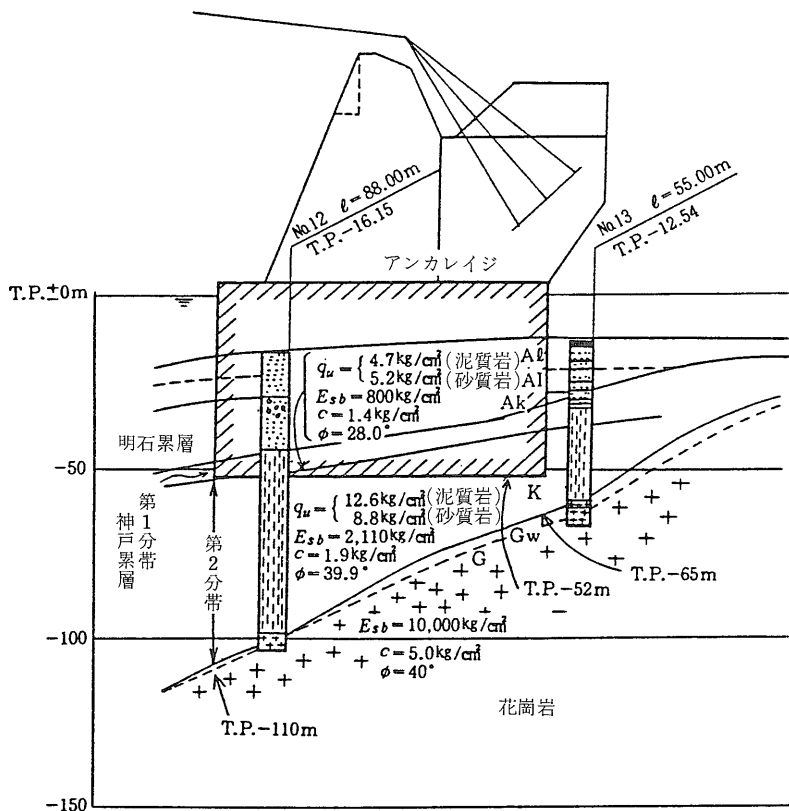
載荷試験の降伏荷重は平均 2300 t/m^2 と非常に大きく舞子側互層地盤よりはるかに大きい支持力が期待できることが分かった。調査結果にもとづき 松帆側アンカレッジ予定位置の地盤モデルは第25図のようになった。

7. あとがき

明石海峡大橋は完成すると世界一の吊橋となる大規模プロジェクトで かつ厳しい自然条件の所に建設が予定されている。そのため 地質調査においても以上述べ



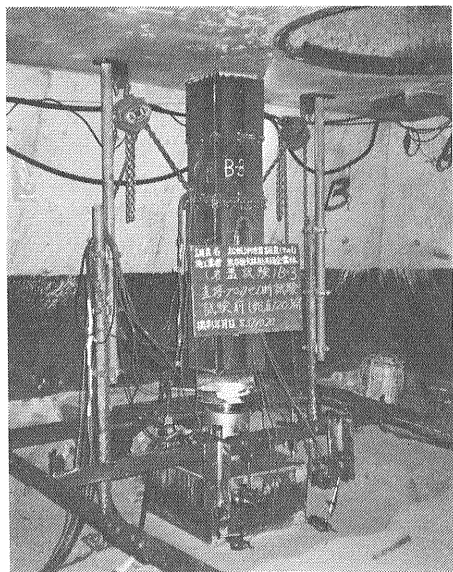
第23図
アルコス砂岩の3軸圧縮試験結果
(岩屋ほか 1983).



第25図 松帆沖地盤モデル。

たようにあらゆる角度から検討され、最新の技術を取り入れた手法で現在基本設計が実施されている。今回実施されたようなケーソンを沈設しての原位置試験等はそうたびたび実施できることではないので、それらの結果と岩石試験あるいは原位置調査結果との対比は今後のための非常に重要な資料である。したがって、今後はそのような点からも多くの資料をまとめて行かねばならないと思っている。

また、本文では触れなかったが、ここに至るまでには多くの室内実験も行い、未知の分野の解決に努めてきた。現段階に至るまでには多くの方々の協力を得、特に関連学会に各種検討委員会を設置し、多方面の意見を聴いて進めてきた。最後ではあるが、これら多くの関係各位に感謝の意を表します。



第24図 ケーソン内原位置試験。

参考文献

岩屋勝司・西垣好彦・福沢久 (1983) : サンプルング方法と砂質軟岩の工学的特性について 第38回土木学会年次学術講演会概要集第3部 p.63—64.

神戸市 (1963) : The Projects of the Akashi Straits Bridge.

宮島圭司 (1982) : 本州四国連絡橋(神戸・鳴門ルート)の地質調査 応用地質学の最近の研究 日本応用地質学会関西支部 p.103—110.

NISHIGAKI, Y., TAKAHASHI, K & NOTO, T (1977) : Sampling and Testing of Undisturbed Diluvial Gravels. 9th Int. Conf. on SMFE. Soil Sampling, p.103—108.

—, NOTO, T. & TAKAHASHI, K (1981) : Strain Analysis of Loading Tests on Multi-layered Soft Rock. Proc. of the Int. Symp. on Weak Rock, p.453—458.

能戸仵・横川巖 (1979) : 三紀軟岩層(神戸層)での岩盤試験基礎 I p.80—87.