

(48) 神戸層群の物理的性質

基礎地盤コンサルタンツ(株) 高橋 幸蔵

〃 〇 西垣 好彦

〃 福沢 久

本四公団垂水工事事務所 加島 聡

Physical Properties of the Miocene Kobe Group

Kozo TAKAHASHI, Yoshihiko NISHIGAKI, Hisasi HUKUZAWA,

Kiso-Jiban Consultants Co., Ltd.

Satoshi KASHIMA, Honshu-Shikoku Bridge Authority

Abstract

We performed many drillings at the Akashi Strait during the investigation of the Akashi Strait Bridge. We also performed extensive laboratory tests on the drilling cores. As we obtained large numbers of test data, we set up a data base using a micro-computer. The data base is composed of 58 items on about 1000 samples. This paper presents frequency distribution of sample physical properties and some correlations between different properties. Most of the physical properties exhibit a Normal distribution. Sandstone density range is similar to that of mudstone. Specific gravity of mudstone is larger than sandstone and accordingly, their water contents and void ratios show some difference. Large differences in unconfined compressive strengths and elastic wave velocities were not observed between sandstone and mudstone. The unconfined compressive strength data produces a Logarithmic distribution. A comparison is made with other soft rocks in Japan.

1. はじめに

本州と四国を結ぶ明石海峡大橋は、神戸市と淡路島の約4 km間に架けられる橋長3910mの世界最大のつり橋である。その基礎調査のために主塔基礎地点とアンカレッジ地点の計4箇所最終的な調査工事を実施した。そのボーリング本数は38本、総延長2419mにおよぶ。そのうち主塔基礎2P地点以外は神戸層群に基礎が設置される予定である。特に3P地点は道路単独橋となったことにより、中央径間が1990mに変更されて、主塔基礎がこれまで全く調査されていない位置に変わったので、特に綿密な調査を行った。これらの調査により海峡部での神戸層群に関する多くの室内試験結果が得られたので、それらの膨大なデータを処理するためにデータベース化を行った。そこで今回は神戸層群の物理的性質について、その分布および相関関係について述べ、かつ日本の他地域の軟岩との対比を行ったので、その結果について報告する。

2. 明石海峡大橋基礎の地形・地質概要¹⁾

明石海峡の海底地形は、図-1の断面図にみられるように海峡中央部に幅400m、標高-110mの北西-南東方向の細長い海盆地形があり、この海盆の両側は比高50m前後の急斜面を形成している。この海盆から海岸に至る海底は、いくつかの平坦面を持ち、その本州側では砂礫層が厚く堆積している。また、海峡部の地質

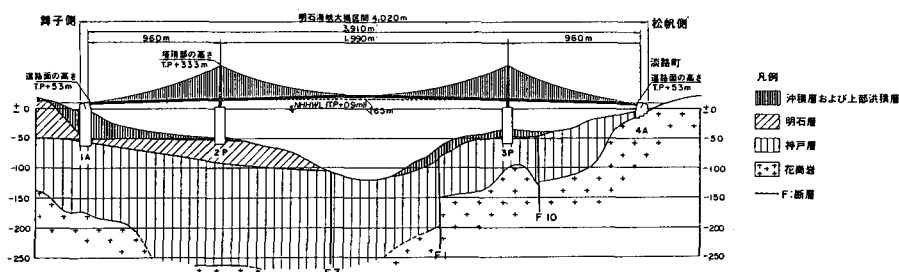


図-1 明石大橋の地質断面図

は図-1の断面図に示したように、花崗岩類を基盤岩とし、これを不整合に被う第三紀中新世の神戸層群、第三紀鮮新世～第四紀更新世の明石層、上部洪積層および沖積層からなる。

表-1 調査数量

地点	1A	2P	3P	4A	合計
本数	6	7	14	11	38
全長(m)	767	725	738	189	2419
神戸層(m)	472	393	484	83	1432

神戸層群は砂岩と泥岩を主とする地層であるが、本州側1A・2P地点では砂岩・泥岩の互層で、花崗岩との境界部に礫岩がみられる。一方、淡路島側ではアルコズ砂岩が優勢で、薄く泥岩を挟んでいる。3P地点では花崗岩との境界近くに凝灰質泥岩がみられる。このように本州側と淡路島側とで岩相にかなりの差がみられる。このような地質条件の所で表-1に示したような調査を行った。そのうち神戸層群は全掘削長のうち約59%の1432mであった。

3. 物理特性の頻度分布

ボーリングで採取されたコアは現場で試料観察を実施した後、乾燥を避けるために棒状コアのまま現場でパラフィンシールし、運搬時の衝撃の少ない特殊なコア箱で試験室に搬入した²⁾。したがって物理試験に供される供試体はほとんど飽和状態を保っている。これらから約1000本の供試体を作成し、各種室内試験を行った。これらの試験結果のデーターベース化に当たっては、ボーリング情報・物理的性質・力学的性質・原位置試験結果などの58項目について入力した。そのうち、主として物理的性質について述べる。

試験結果の湿潤密度、含水比、比重及び間隙比は各海域毎での差は認められなかったので、泥質岩(M)と砂質岩(S)とに分けて全海域でまとめ、そのヒストグラムを図-2に示した。その結果、湿潤密度は泥質岩と砂質岩で大差なく、平均は $\rho_t = 2.26 \text{ g/cm}^3$ である。しかし、砂質岩の含水比は $w = 9.9\%$ に対し、泥質岩のそれは $w = 12.9\%$ と多少大きい。比重は砂質岩が $G_s = 2.66$ に対し、泥質岩は $G_s = 2.70$ と差が認め

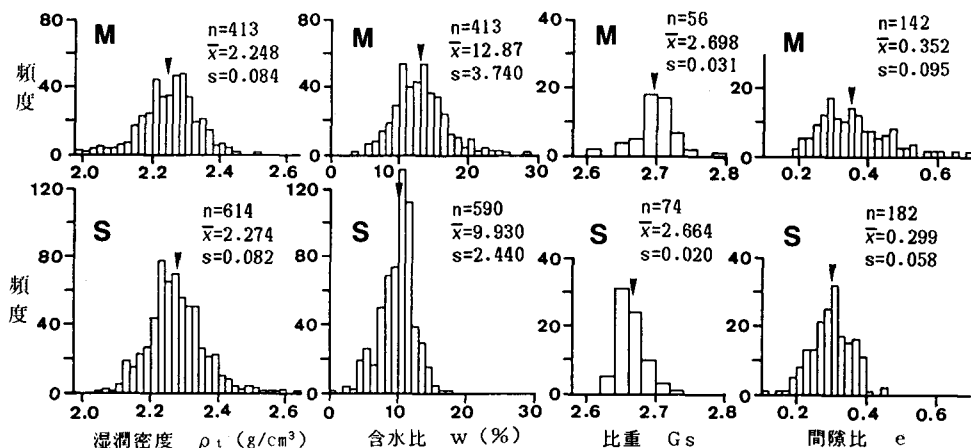


図-2 神戸層群の物理特性の頻度分布図(全海域)

られる。その結果、泥質岩の間隙比は $e = 0.35$ と砂質岩の $e = 0.30$ より大きい値を示している。均等粒径の球体の理想的最密充填では $e = 0.35$ となるので、両者はほぼその状態となっているといえる。

一方、弾性波速度の例として S 波速度の分布を図-

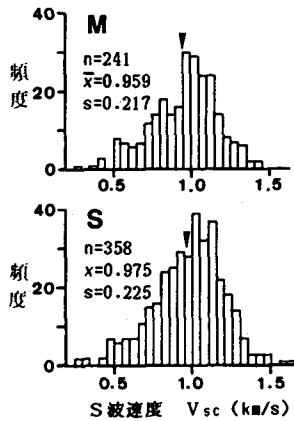


図-3 S波速度の頻度分布図

3に示した。図より明らかなように正規分布を示すと同時に、泥質岩と砂質岩でほぼ同じ分布を示し、それらの平均値はそれぞれ $V_{sc} = 0.959, 0.975 \text{ km/sec}$ とわずかの差があるだけである。P波速度もほぼ同じことが言え、平均値は泥質岩で $V_{pc} = 2.023 \text{ km/sec}$ 、砂質岩で $V_{pc} = 1.996 \text{ km/sec}$ である。しかし、一軸圧縮強度は図-4に示したようにこれらと全く異なった分布を示す。すなわち、一軸圧縮強度は大別すると 1A・2P側と、3P・4A側とで多少の差が認められ、

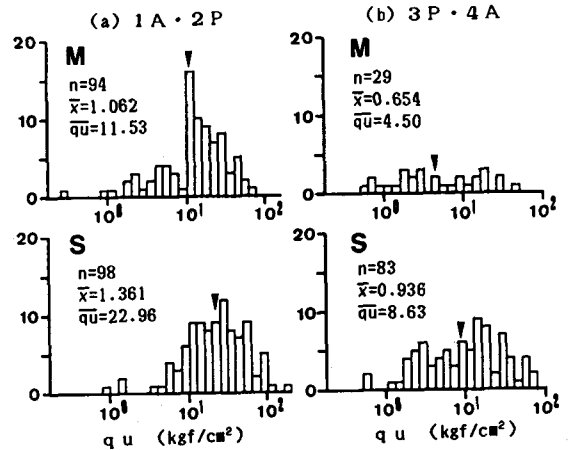


図-4 一軸圧縮強度の対数分布図

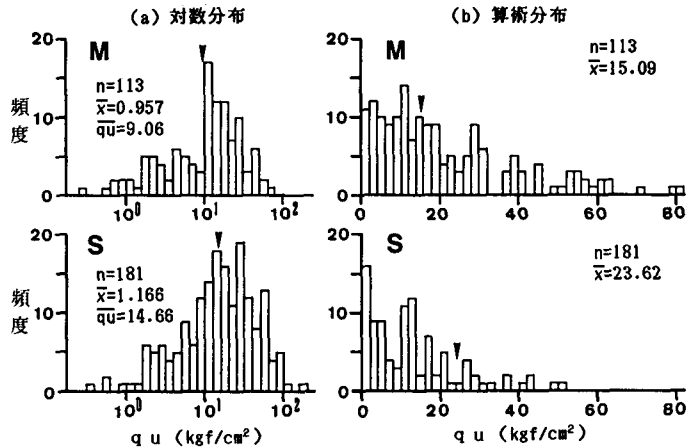


図-5 一軸圧縮強度の頻度分布図（全海域）

かつ対数分布を示している。ちなみに、全海域での対数と算術目盛りでの分布は図-5のようになり、他の例³⁾でも算術目盛りで同様の傾向を示している。弾性波速度も一軸圧縮強度も岩石の固結度を示す指標と考えられているが、この両者が非拘束状態で測定されていながら、全く異なった傾向を示すことは特徴的である。弾性波速度は微小歪で測定されるのに対し、一軸圧縮強度は破壊をさせる試験である点が異なる。その結果、後者の試験では供試体中の微小クラックの影響をより受け易いため、強度のばらつきが多くなったためと考えられる。

4. 相関関係

まず含水比と密度の関係をみると図-6のようになる。かなり集中した分布を示し、泥質岩の方が砂質岩よりも上部に分布している。これは供試体が飽和していると仮定すると、同一含水比に対し比重の大きい方が大きい密度となるからである。図に $G_s = 2.70$ で飽和としたときの密度と含水比の関係と、間隙比の値を縦軸に示しておいた。

湿潤密度の深度分布の例を海域毎に図-7に示した。かなりのばらつきがあるが、最も層厚の厚い 2P 地

点での平均的密度分布を見ると、多少深度方向に密度の増加がみられる。一方、1Aも2Pとほぼ同じ関係がみられるが、3Pではその関係（図中の実線）よりも多少大きい密度分布を示し、本州側と淡路島側とで差がみられる。

これ以外の各種相関関係を求めてみたがよい関係を示すものは少ない。その理由は物性値である密度、含水比及び間隙比の分布範囲が狭いのに対し、強度や弾性波速度などの力学的性質の分布範囲が広すぎるためである。その中でかなり良い相関を示したのは図-8に示した一軸圧縮強度と静弾性係数であった。両者は両対数紙上で直線関係がみられ、図中の直線は軟岩でよく知られている $E = 100 q_u$ の関係である。この図で解することは泥質岩も砂質岩も差がみられ無いことと、1A・2P側と、3P・4A側とで多少その関係が異なる傾向がみられることである。

5. 日本の他地域軟岩との対比

我が国の新生代堆積物の物性変化をまとめたものとして軟岩委員会がまとめた図-9⁴⁾がある。これと図

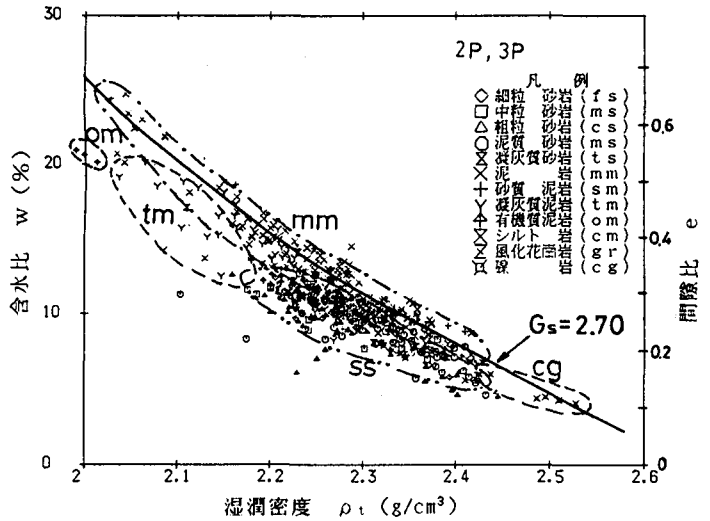


図-6 湿潤密度と含水比の関係

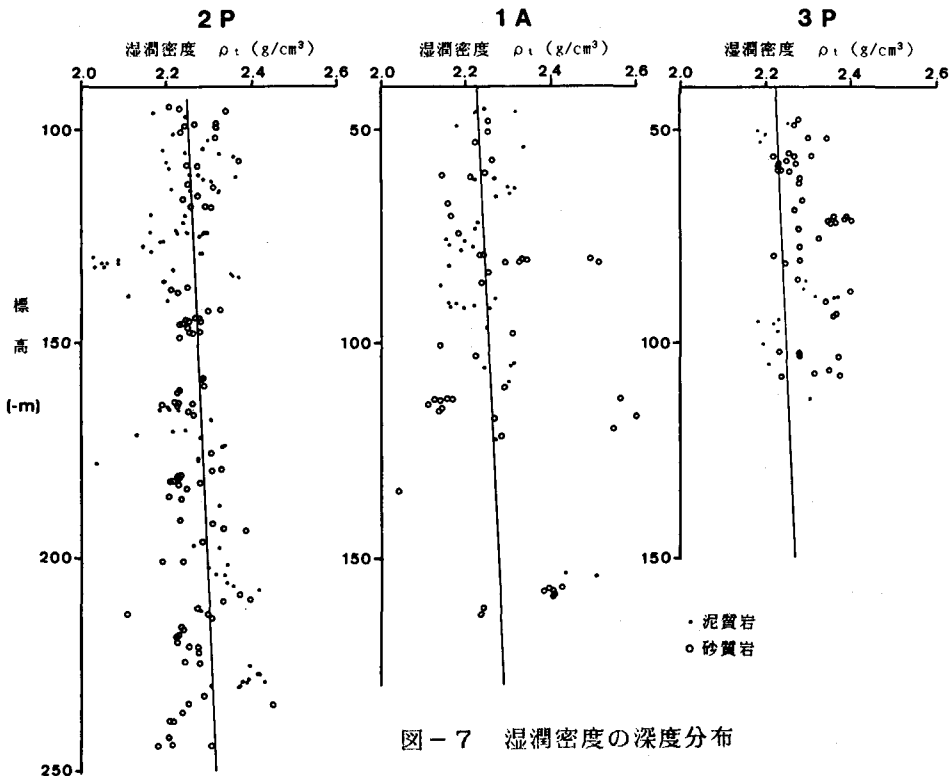


図-7 湿潤密度の深度分布

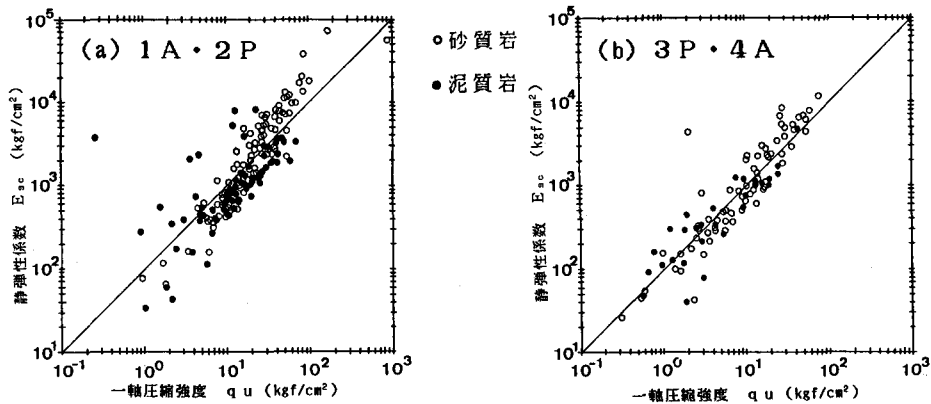


図-8 一軸圧縮強度と静弾性係数(全海域)

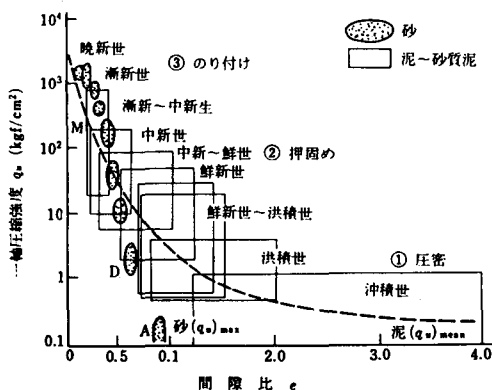


図-9 我が国の新生代堆積物の物性変化⁴⁾

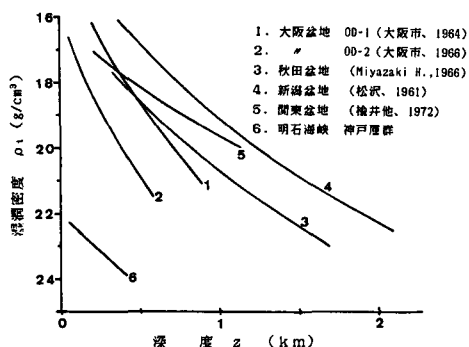


図-10 我が国における密度分布曲線(中川⁵⁾の図を加筆修正)

ー2の間隙比の範囲と、図-4の一軸圧縮強度の範囲で見比べてみると、間隙比は $e=0.2\sim0.5$ の範囲にあり中新世としては妥当な値であるが、一軸圧縮強度の範囲が $q_u=10^0\sim10^2$ と他の地域に比べかなり範囲が広いことが解る。特に砂岩の強度範囲が広いと言える。間隙比からみると固結度がかなり増加し始める値であるが、強度的にそれほど増えていない。他地域での堆積深度は数100m~1000m程度あるのに比べ、当地域では数10mとかなり浅いことが原因しているかも知れない。他地域の密度分布を見ると図-10のようになり、神戸層群と他地域とで非常に異なり、深度が浅いにも係わらず大きい湿潤密度である。このことは地質時代に削剝があり、しかもかなりの量であったと推定される。削剝があったとすれば、前述の一軸圧縮強度が他地域に比べ低い値であることの解釈ができない。この点については今後多方面から検討しなければならない課題である。

参考文献

- 1) 山県 守(1987): 明石海峡部の海底地盤、海底地盤に関するシボジウム論文集 土質工学会関西支部, pp.49-54.
- 2) 福沢久、西垣好彦、高橋幸蔵(1988): 堆積軟岩のコア取扱上の問題点、第20回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、土木学会 pp.6-10.
- 3) 平間、丸山、桑原、鈴木(1988): データベースからみた砂岩・頁岩における岩石・岩盤の強度変形特性、第22回土質工学研究発表会, pp.1121-1122.
- 4) Okamoto, R., K. Kojima and R. Yoshinaka(1981): Distribution and Engineering Properties of Weak Rocks in Japan, Proc. of Int. Sympto. on Weak Rock, Tokyo, pp.1269-1283.
- 5) 中川康一(1987): 堆積物の物性と地質条件、地盤の調査法とその問題点討論会資料集、日本地質学会, pp.21-44.