

中部電力株式会社 正会員 渡辺一郎 杉本忠男 ○興田宏明

1. 緒言

中部電力では静岡県小笠郡浜岡町に原子力発電所を建設するが、この付近一帯には広く相良層が分布しており、この相良層が当浜岡原子力発電所の基礎岩盤となるものである。

相良層は静岡県中部、東遠江地域の中新世後期の海成層で、層厚約1000mと推定されている。地質調査の結果、当地奥の相良層は泥岩(10cm~50cm)と砂岩(2cm~10cm)の互層を成しており、中には小針状のSagarites Chitanii Makiyama(珪質海綿)を豊富に含む。

発電所建家、海中取水塔および取水トンネル等の構造物を、相良層内に建設するに際し、その安全設計や耐震設計に対する種々の岩盤力学上の問題が出てくる。それらを検討するために、岩盤の諸性質を、明らかにする必要があり、現場および実験室で、岩石および岩盤の試験を行なったので、その結果について、以下に報告する。

2. 試験項目

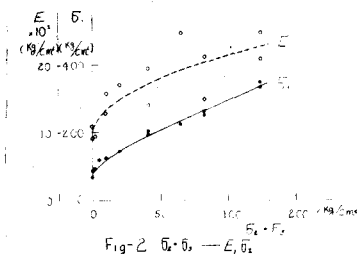
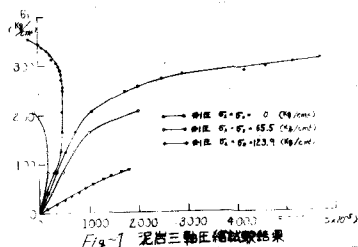
静的試験として、実験室内において、泥岩および砂岩の試料に対して、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験およびせん断試験を実施し、現場試験掘坑内において静的ジャッキ試験を行なった。

動的試験としては、室内において、動的の一軸圧縮試験および弾性波速度試験を実施し、現場試験掘坑内において動的ジャッキ試験、弾性波速度試験を行なった。その他、敷地内全域において、弾性波速度試験が行われた。

なお、室内試験の供試体はボーリングコアおよび試験掘坑から切り出した岩石を、整形したもの、自然乾燥状態で試験を行なった。また泥岩と砂岩は層間が剥離しやすく、整形の際に分離してしまうので、室内試験では泥岩と砂岩が一体の試験は、行なうことができなかった。

3. 泥岩の静的諸特性

泥岩の E , G , C , ν を得るために行われた、一軸圧縮試験、三軸圧縮試験の結果を、Fig-1~Fig-3に示す。Fig-1によれば側圧($G_2 = G_3$)が高くなるにしたがい、破壊時のヒズミ



ミが大きくなる傾向が見られる。また側圧がある程度高くなると、泥岩が著しい流動現象を示し、このときの軸応力は、約150 kg/cm²附近であることがわかる。このためFig-2の弾性係数は、この流動現象を示す前までの、ほぼ弾性的と思われる、曲線部から求めている。Fig-2によれば弾性

係数は側圧が高くなるにつれ、大きくなる傾向が見られる。同様に破壊時の軸応力の変化も同図に示されている。つぎに破壊時最大軸応力と試験時の側圧($\sigma_2 = \sigma_3$)を用いてMohrの破壊応力円を描けばFig-3のようである。この図において、破壊包絡線を直線と見れば、粘着力、 $C = 3.7 \text{ kg/cm}^2$ 、内部マサツ角 $\phi = 19^\circ$ が得られ、包絡線を直線と見なせば、 $C = 2.6 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi = 35^\circ$ ($\sigma = 0$)が、得られる。

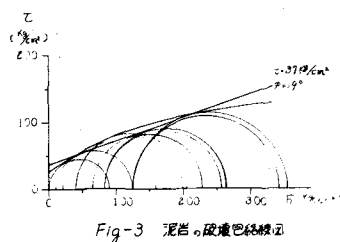


Fig-3 泥岩の破壊包絡線

つぎに、せん断試験結果として、Fig-4は、種々の拘束応力に対して、軸差応力と軸ひずみの関係を、Fig-5は、せん断曲線を示している。これ等の図より、 $C = 12 \sim 13 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\phi = 40^\circ$ と推定される。この、せん断試験結果と前述の三軸圧縮試験の流動現象とを考え合わせれば、側圧がある程度高くなれば、側圧が高くなっても、破壊時最大軸応力の増加の割合は、大きくならず、したがって、破壊包絡線はFig-3に曲線で示されている様に、 σ が大きくなると、 σ 軸に平行になる様に思われ、曲線関係にあると考えられる。

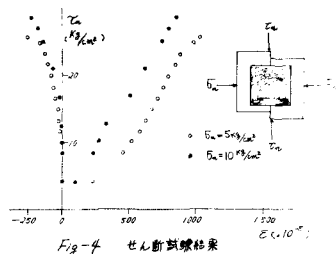


Fig-4 せん断試験結果

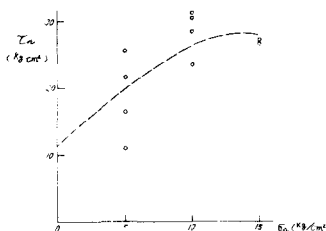


Fig-5 泥岩せん断曲線

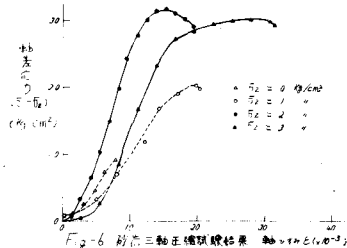


Fig-6 泥岩三軸圧縮試験結果 (軸ひずみと軸応力)

4. 砂岩の静的諸特性

砂岩の三軸圧縮試験の結果はFig-6, Fig-7のようであるが、砂岩は成層方向により異方性を示すので、層に直角、平行の2方向について、試験を行なった。図はすべて層に直角な場合であるが、試験結果を、Table-1に示す。これによれば、軸応力が成層方向に直角な場合の方が、平行な場合よりも、破壊時最大軸差応力が、10~30%程度大きく、この傾向は引張強度(圧裂試験による)についても見られる。

荷重方向	引張強度 圧裂試験	三軸試験, 最大軸差応力					C (kg/cm ²)	ϕ (°)
		拘束圧 $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 1.0$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 2.0$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 3.0$	$\sigma_2 = \sigma_3 = 5.0$		
成層に直角	0.85	9.2	20.5	31.7	29.6	52.0	12-14	60-63°
成層に平行	0.55	8.2	11.4	22.7	29.7	44.5	10-12	50°

表-1

また、試験掘坑内で行われた静的ジャッキ試験の結果の一例をFig-8に示す。この試験によって得られた弾性係数は、9000~18000 kg/cm^2 (ポアソン比 $\nu = 0.25$ と仮定)であった。この試験では、鉛直(成層方向にほぼ直角)および水平(成層方向にほぼ平行)の2方向に、それぞれ載荷されたが、成層方向による、はっきりした差異は認められなかった。

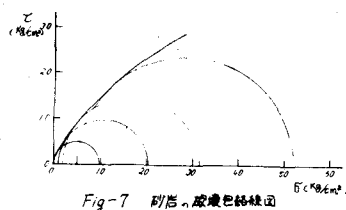


Fig-7 砂岩の破壊包絡線

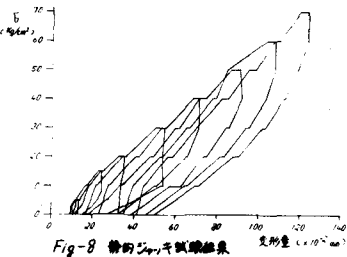


Fig-8 静的ジャッキ試験結果

5. 動的諸特性

ローゼンハウゼン型繰り返し試験による泥岩の動的一軸圧縮試験の結果を示すと、Fig-9のようである。この試験では応力レベル 5.5 kg/cm^2 , 12.7 kg/cm^2 , 31.9 kg/cm^2 の3段階、各応力レベルでの周波数 $0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 \text{ CPS}$ の5階階で載荷された。また各周波数での動応力片振巾は、各応力レベルの50%とした。Fig-10は、周波数・応力レベルと弾性係数の関係を示しているが、ほぼ周波数の増加に従って、弾性係数が増加する傾向が読み取れる。応力レベルによる弾性係数の差異もはっきり示されている。

つぎに、従来のジャッキ試験の載荷部に、油圧によるバイブレーターを装置し、サーボバルブを通じて、荷重制御装置に連結した、現場における動的ジャッキ試験装置で、応力レベル、 4.15 kg/cm^2 、周波数、動応力片振巾は、前述の動的一軸圧縮試験と同条件で、載荷した試験結果を、Fig-10～Fig-12に示す。Fig-10の、応力とひずみの関係は、リサーチ曲線を示している。Fig-11の周波数と弾性係数の関係は、上述の動的一軸圧縮試験と同様に、周波数の増加にしたがい、弾性係数が増加しているが、その傾向は、現場ジャッキ試験の方が著しい。なお、この弾性係数は、前述の静的ジャッキ試験と同様に、ポアソン比、 $\nu = 0.25$ と仮定して、算出したものである。Fig-12は、周波数と粘性減衰係数の関係を、示したものであるが、図より、周波数 f と粘性係数の関係は、指数関係にあると思われる。この現場ジャッキ試験から得られた、 E_d , η 等の値は、室内試験では代表しがたい、地盤と構造物の連成震動の計算等、耐震設計に用いられるべき資料となるであろう。

現場における、弾性波速度試験は、試験掘坑内と敷地内全域で行なわれたが、その結果、P波の速度、 $V_p = 2.0 \sim 2.1 \text{ km/sec}$ 、S波の速度、 $V_s = 0.8 \sim 1.0 \text{ km/sec}$ と観察された。この結果は、坑内、地表ともに、大体一致している。いま、 $V_p = 2.0 \text{ km/sec}$ 、 $V_s = 0.9 \text{ km/sec}$ をとると、弾性係数は $E_d = 50,000 \text{ kg/cm}^2$ 。

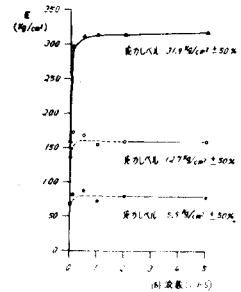


Fig-9 動的一軸圧縮試験結果

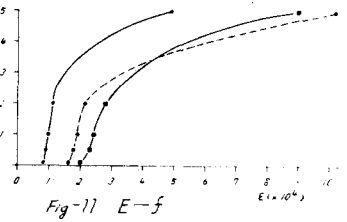


Fig-11 E-f

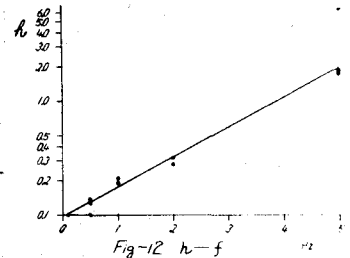


Fig-12 E-f

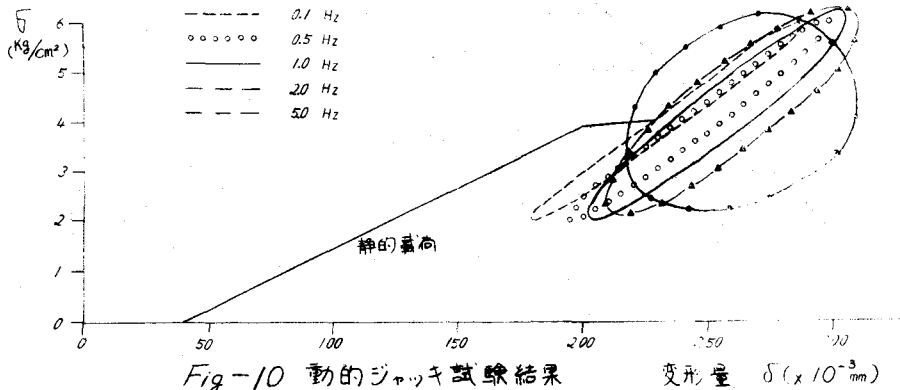


Fig-10 動的ジャッキ試験結果

変形量 $\delta (\times 10^{-3} \text{ mm})$

ポアソン比は、 $\nu = 0.37$ と算出される。ただし、この数値は $\rho = 2.2 \text{ g/cm}^3$ として計算を行なったものである。

6. あとがき

以上、中部電力茨岡原子力発電所の基礎岩盤となる、相良層泥岩および砂岩の試験結果について述べたが、この試験に用いられた、岩石の物理的諸性質を表-2に、各試験の関連の一例として、ポアソン比と弾性係数の関係を、Fig-13に示す。この図によれば、弾性係数は、かなり広い範囲に分布している。これ等の値を、実際の設計に適用するに当っては、慎重な検討を要し、また今後実際の構造物における、試験等に待たれる所が大きいと思われる。

なお、この試験のうち、室内試験では含水比の管理が困難であったため、含水比が強度および変形係数に与える影響を、つかむことができなかった。また前述したように、泥岩層と砂岩層は剝離しや

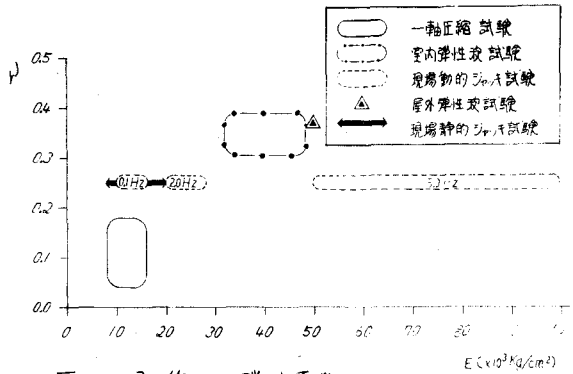


Fig-13 種々の弾性係数

	密度	比重	空隙比
バラツキの範囲	1.90~2.15 g/cm^3	2.63~2.69 g/cm^3	0.445~0.763
平均	2.01	2.66	0.576
	飽和度	吸水率	含水比
バラツキの範囲	67.9~98.8 %	20.1~38.5 %	14.2~27.8 %
平均	87.2	29.0	19.3
	一軸圧縮強度	引張強度	
バラツキの範囲	15~104 kg/cm^2	3.1~5.2 kg/cm^2 (値未定)	9.4~29.0 kg/cm^2 (引張)
平均	64	4.0	17.4

表-2

すく、両者を一体とした、変形特性および強度の測定が行われなかったが、複合材料としての、特性を、考慮することにより、個々の特性を設計データに充分、生かしうるものと思う。

終りに、これらの試験を、行なうにあたり、ご協力をいただいた名大工学部土木工学教室および電力中央研究所の関係各位に感謝の意を表する。