

本四公団坂出工事事務所 正会員 山下理雄

京都大学工学部 正会員 大西有三

○応用地質調査事務所 正会員 武内俊昭

## 1. 序

長大橋基礎岩盤としての長期変形特性(その2)で説明されたクリープ載荷試験において、加圧板直下の岩盤内に歪計を埋設しそのデータを解析して長期の岩盤変形特性を説明できるモデル化を行った。そしてこのモデル化により得られる岩盤の特性値を用いて、FEMの手法により載荷試験と同様な荷重パターンを計算により与え、岩盤挙動を解析的に求め実測データと比較して、岩盤の特性値および計算手法についてのチェックを行った。つぎに、この値および計算手法を用いて、実際に予定されている長大橋アンカレッジ構造物基礎の100年間の変位について予測値を求めた。これらの解析、計算の過程、結果について以下に記す。

## 2. 載荷試験のシミュレーション

図-1は加圧板の中心位置で深度2m間に埋設した歪計の載荷時の動きを示したものである。特徴的にうかがえることは、①歪-深度分布の傾向が深度0.5m付近で最大を示し、表面付近ではそれより小さいこと、②深度約1m(加圧後の直径)の深度では0.5m付近の値の1/10に小さくなっていることで、この傾向は各載荷段階における累積値について同様である。歪が0.5m付近の深度で最大を示すのはそれ以浅の歪は加圧後と地盤表面のマサツによつて制約を受けるものと考えられ、FEMの計算において加圧板も含めて要素を分割し計算すると同様な結果が得られている。各荷重段階において図-1の岩盤内歪を深度方向に積分した結果と表面の実測変位の結果を比較して示したのが図-2である。両者は良い一致をみせており岩盤内の歪が正確にとらえられていることを示している。

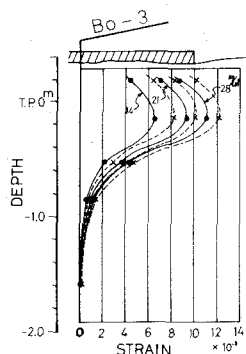


図-1 岩盤内歪分布

岩盤の長期変形特性は、岩盤を6層に分類し図-1に示した弾性歪分布に計算歪が合致するよう各層の弾性係数を決定しこれをもとにして解析を進めた。6層の変形係数は上層より1,500~20,000 kg/cm<sup>2</sup>の範囲にある。図-3は岩盤内のクリープ挙動を時間~歪速度として示し片対数で表した1例である。岩盤の挙動は勾配の異なる2つの直線に近似することが出来る。このことからクリープの挙動は2つの

Voigt モデルの直列配合として示すことができる。今回の目的では100年間という長期の挙動を対象としていることから考えると、図-3の初めの直線で表わされるVoigt モデルは短時間で終結してしまうため弾性的挙動とみなし、図-4に示すモデルにより以後解析を進めた。また、これらのクリープ挙動は偏差成分によるものとして、

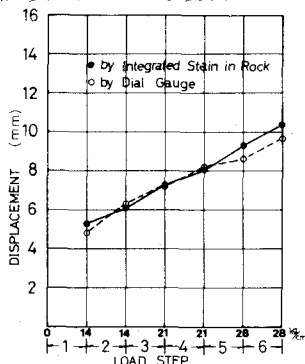


図-2 岩盤内歪のチェック

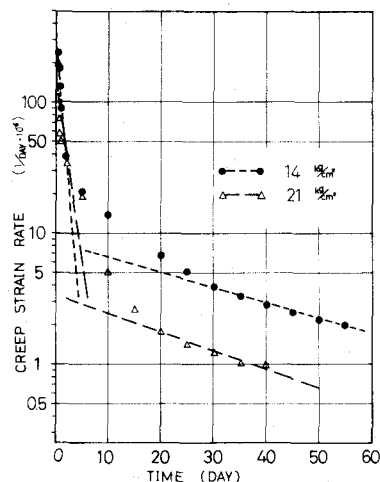


図-3 岩盤内歪速度-時間関係

て、体積成分については材料特性を弾性として扱った。

岩盤内各点の歪の挙動から得られたモデルの定数を一覧として図-5に示す。この図の横軸はFEMによ

り計算された弾性応力分布の偏差応力成分をとっている。図-5にみられるようにモデル各部の弾性および粘性係数は応力によって顕著な違いは示しておらず、 $2G_0$ は $10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、 $2G_1$ は $10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、 $2\eta_1$ は $10^8 \text{ kg/cm}^2\text{-min}$ のオーダーである。以上の値をもとに載荷試験地点について加圧板中心を通る断面について2次元FEM計算を行い、岩盤を線型粘弾性モデルとして扱って載荷試験のシミュレーションを行った。この結果を図-6に示す。図にみられるごとく実測値と計算値の差異は約20%以内におさめるよう逐次岩盤特性値を修正し、各層について $G_1 = 2G_0$ 、 $G_1/\eta_1 = 0.00013 \text{ min}^{-1}$ の関係がほぼ成立つことがわかった。FEM計算は四角形要素で449に分割し、Zienkiewiczの初期応力法に相当する手法を用いて行った。

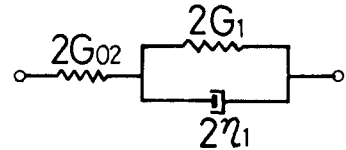


図-4 粘弾性モデル

3. 実構造物長期変位の予測  
前述したシミュレーションの結果により、同様な手法を橋梁アンカレッジ基礎および岩盤について用いて橋梁完成後100年後の岩盤挙動を予測した。この予測は橋軸を通る2次元断面について予め調査によって求められている地質断面図と測定されている各層の変形係数をもとに上記シミュレーションの結果を参考にして各地層の粘弾性定数を定めた。地質的には基礎岩盤を6つの層に分けそれぞれ表-1に示す特性値を与えた。また、基礎岩盤にかかる荷重状態は施工の各段階により異なり、これを①ケーソン完成時、②上部躯体完成時、③橋梁完成時、の3つのステージとしてそれぞれに相当する荷重を与えて計算を行った。図-7に各施工段階における弾性変形およびクリープ変形を示す。基礎変位は基礎中央部で弾性変形7cm、クリープ変形1.5cm、その比は0.21を示しこれは載荷試験で得られている14

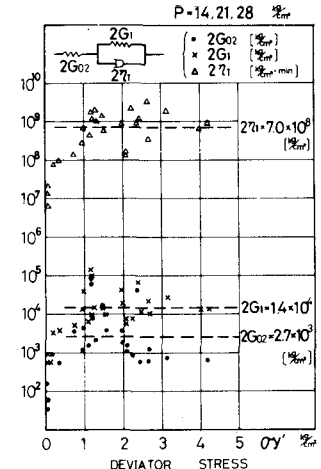


図-5 粘弾性定数一覧図

表-1 岩盤特性値一覧  
kg/cm<sup>2</sup> 荷重時における値とほぼ等しい。この結果から基礎構造物の橋梁完成後100年後の変位を図-8に示す。以上、地質分布の幾何学的複雑性を考慮に入れ、基礎岩盤を粘弾性モデルとして扱った場合の構造物の長期挙動予測を試みたが、実際の実験値を説明できる岩盤特性と計算を用いて信頼度を高めたところに特徴がある。最後にFEMの計算に際しては、京都大学を通じて財団法人関西情報センターのお世話になった。記して謝意を表する次第である。

| 層No | 物質          | $E_0$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $\nu$ | $G_0$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $K_0$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $G_1$<br>kg/cm <sup>2</sup> | $\eta_1$<br>kg/cm <sup>2</sup> -min |
|-----|-------------|-----------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 0   | コンクリート      | 230,000                     | 0.25  | 100,000                     | 166,700                     | —                           | —                                   |
| 1   | 砂層          | 2,400                       | 0.4   | 857                         | 4,000                       | 4,800                       | $0.37 \times 10^8$                  |
| 2   | $C_1$       | 10,000                      | —     | 3,570                       | 16,700                      | 20,000                      | $0.15 \times 10^8$                  |
| 3   | $C_2 - C_6$ | 15,000                      | 0.3   | 5,770                       | 12,500                      | 30,000                      | $0.23 \times 10^8$                  |
| 4   | $C_6$       | 20,000                      | —     | 7,690                       | 16,700                      | 40,000                      | $0.31 \times 10^8$                  |
| 5   | $C_6$       | 40,000                      | —     | 15,380                      | 33,300                      | 80,000                      | $0.61 \times 10^8$                  |
| 6   | $C_6$       | 80,000                      | —     | 30,770                      | 66,700                      | 160,000                     | $1.23 \times 10^8$                  |

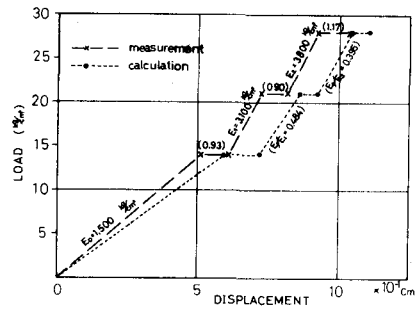


図-6 載荷試験シミュレーション結果

図-7 構造物基礎長期変形挙動  
図-8 構造物変位模式図

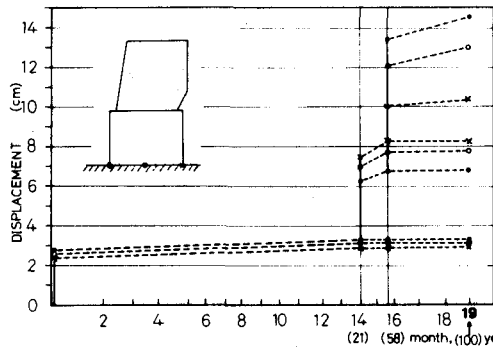


図-7 構造物基礎長期変形挙動

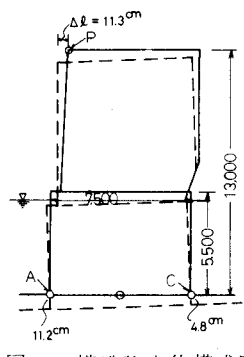


図-8 構造物変位模式図