

地山初期応力測定のための孔壁ゲージ法の解析精度の検討

鳥取大学大学院 学正員 ○三橋 俊夫
鳥取大学工学部 正会員 木山 英郎
鳥取大学工学部 正会員 藤村 尚
鳥取大学工学部 正会員 西村 強

1. まえがき

地山の応力状態を正確に知ること、地下構造物を合理的に設計し、安全かつ能率よく施工することができる。地山応力状態を測定する方法として、1) 応力解放法 2) 応力補償法 3) 水圧破碎法 などがある。そのうち、応力解放法の1つである孔壁ゲージ法は対象とする地山に1本のボアホールを穿孔し、ストレインゲージ(ロゼット型3枚)を図-1のように貼付し、オーバーコアリングによる応力解放前後のひずみ変化量から解放応力を測定、ボアホール穿孔以前の地山初期応力を決定する方法である。本研究は、孔壁ひずみ測定器を試作し、応力測定精度の実験的検討を行ったものである。

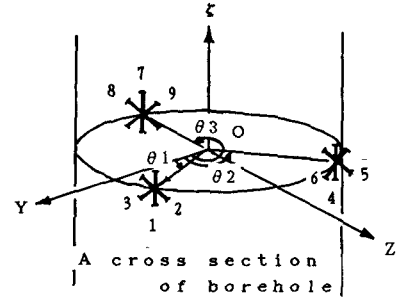


図-1 孔壁ひずみ測定法

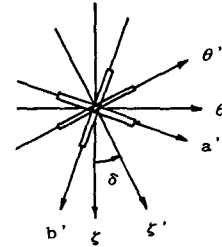


図-2 貼付け方向のずれδ

2. 応力測定精度の理論的検討

壁面上のひずみ測定値 $\epsilon^T = \{\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_9\}$ と地山初期応力 $\sigma^T = \{\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{xy}\}$ との関係を示す観測方程式は次式で表わされる。

$$E \cdot \epsilon = A \cdot \sigma \quad (1)$$

ここに、Eはヤング係数、Aは9×6の係数行列であり、成分はポアソン比νおよび測点の座標関数である。

測定されたひずみから地山初期応力σを決定するには、式(1)を正規化し次式を得る。

$$B \cdot \sigma = E \cdot \epsilon \quad (2)$$

ここに、 $B = A^T \cdot A$ 、 $\epsilon = A^T \cdot \epsilon$ である。対称行列Bの逆行列Cが求まれば、σの最確値σは次式となる。

$$\sigma = E \cdot C \cdot \epsilon \quad (3)$$

いま、測定値 ϵ_i の分散を ξ^2 とすると、σの分散 $\{\xi^2\}^T = \{\xi^2_1, \xi^2_2, \dots, \xi^2_6\}$ は最小二乗推定の性質より

$$\xi^2_i = C_{ii} \cdot E^2 \cdot \xi^2 \quad (4)$$

で与えられる。ここに、 C_{ii} は行列Cの対角成分である。

結局、応力測定精度は C_{ii} に比例するから孔壁のひずみ測定点は C_{ii} が共に小さくなるように配置すればよく、応力測定法の精度の比較は C_{ii} の最大値によって行える。¹⁾

ポアソン比νと C_{ii} 関係は図-3に示すようで、νが大きいほど τ_{zx}, τ_{xy} を除く他の応力値の精度が低下する。

つぎに、ゲージの最適測定点を検討する。ゲージを貼付ける方向としてθ方向とδ方向が存在し(図-2参照)、θは、1枚のロゼットゲージの円孔内での貼付け位置、δはそれぞれのロゼットゲージの貼付け方向のずれを示している。

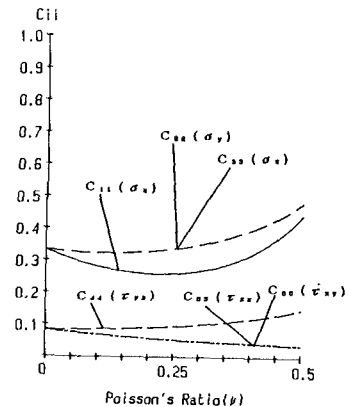


図-3 精度 C_{ii} とポアソン比νの関係

図-4は $\nu=0.12$ $\delta_1=\delta_2=\delta_3=0^\circ$ $\theta_1=30^\circ$, $\theta_2=150^\circ$ に固定し、 θ_3 のみを $240^\circ\sim 300^\circ$ に変化させたものである。この図より、 σ_y の精度が著しく変化し、 $\theta_3=270^\circ$ のとき最も良くなるのに対し、他の応力精度はほとんど変化しないことがわかる。

図-5は $\nu=0.12$ $\theta_1=30^\circ$ $\theta_2=150^\circ$ $\theta_3=270^\circ$ に固定し、 δ_1 δ_2 δ_3 を同時に $0^\circ\sim 180^\circ$ まで変化させたものである。この図より、 $\delta=90^\circ$ のとき σ_x の精度が最も低くなる。

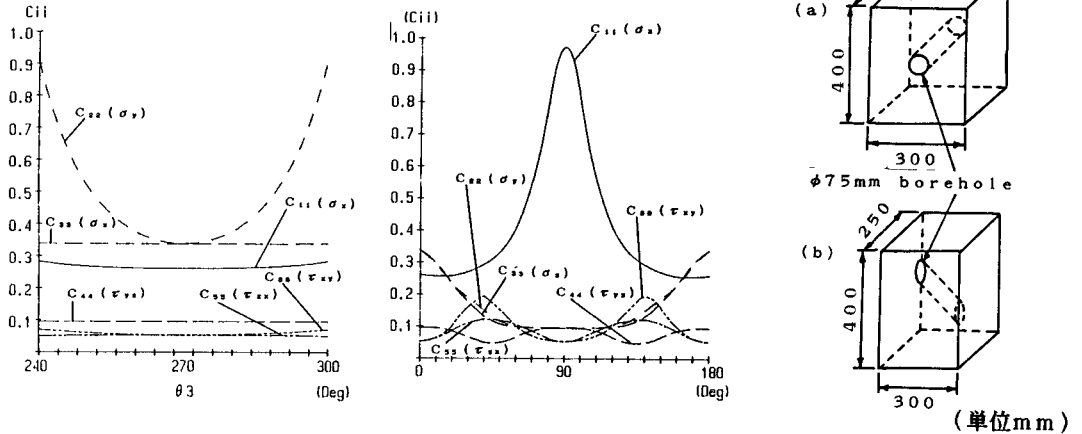


図-4 精度 C_{ii} と θ_3 の関係 図-5 精度 C_{ii} と $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ の関係 図-7 コンクリート試験片

3. 応力測定精度の実験的検討

図-6の試作孔壁ひずみ測定器と図-7に示す2種類のコンクリート片を用い一軸圧縮試験を実施し、孔壁ひずみ測定器が理論通りの感度を備えているかを検定した。試験片(a)は一側面中央からこの面に直角に反対側面に向かった円孔を持ち、試験片(b)は一側面の上方中央からこの面に対して 45° に反対側下方に向かって円孔を持ったものである。載荷重は $0\sim 30$ tonfまで2.5 tonfおきに測定を行う。ゲージは、 $\theta_1=30^\circ$ $\theta_2=150^\circ$ $\theta_3=270^\circ$ $\delta_1=\delta_2=\delta_3=0^\circ$ の位置に貼付けた。

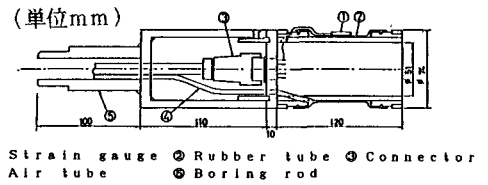


図-6 孔壁ひずみ測定器

図-8は測定値と解析値を比較した一例で、縦軸は $E \cdot e / \sigma$ 、横軸は θ 方向の角度を表わしている。なお e / σ は測定ひずみを最小二乗法を用いて単位応力あたりに生じるひずみ量である。黒丸は測定値、実曲線は解析値である。実用化のためには今少し測定精度の向上が望まれる。

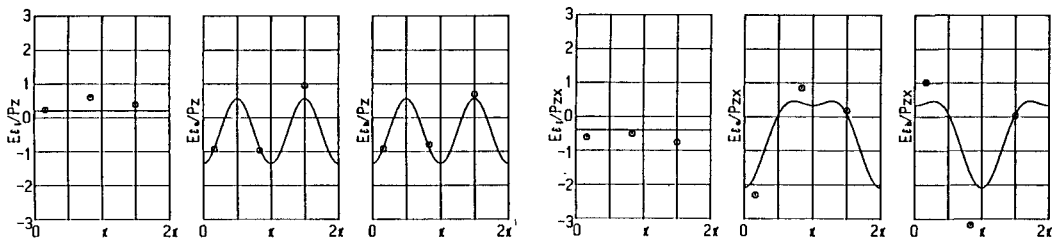


図-8 測定ひずみと解析値との比較

参考文献

- 1) 菅原勝彦 他; 球状孔底歪に対する応力解放法, 第16回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, 1984.