

京都大学工学部 正員 畠 昭治郎
京都大学工学部 正員 谷本 親伯
京都大学工学部 学生員 〇 木村 宏

1. はじめに

異方性の著しい岩盤の場合、岩盤の工学的分類と方との対応だけでなく、管理面や割れ目の方向の分布と地質調査により把握し、その強度への影響を考慮しなければならない。従来、ダム建設地では、いくつかの異方性に関する現場試験が実施されてきているが、トンネルに関しては、数々の数値解析や室内実験に比し、現場実験は少ないようである。45度の傾斜面を持つ和泉層内のトンネルにおいて空洞開くによる地山の変位状況を測定したところ、異方性が認められた。この測定値に対する数値解析結果について報告する。なお、今後変位測定による現位置岩盤の強度の推定を検討したいと思っている。

2. 直交異方性弾性体内の円形空洞の変位

図-1に示す応力場において、弾性の対称軸が主応力の方向と45°の角度を有する場合、平面ひずみ状態では空洞壁面の変位量は次式で与えられる。¹⁾

$$u_r = -\frac{p_0}{2} a \left\{ (\alpha'_1 + \beta'_1) - (\alpha'_1 - \beta'_1) \cos 2\theta - (\alpha'_2 + \beta'_2) \sin 2\theta \right\} - \frac{p_0}{2} a \left\{ (\alpha_1 + \beta_1) + (\alpha_1 - \beta_1) \cos 2\theta + (\alpha_2 + \beta_2) \sin 2\theta \right\}$$
$$u_\theta = \frac{p_0}{2} a \left\{ (\alpha'_2 - \beta'_1) - (\alpha'_1 - \beta'_1) \sin 2\theta + (\alpha'_2 + \beta'_1) \cos 2\theta \right\} + \frac{p_0}{2} a \left\{ (\alpha_2 - \beta_1) + (\alpha_1 - \beta_1) \sin 2\theta - (\alpha_2 + \beta_1) \cos 2\theta \right\}$$

ここに、 $\alpha_1 = a_{11} \left\{ (1+n) \cos^2 \varphi - m \sin^2 \varphi \right\}$, $\alpha'_1 = a'_{11} \left\{ (1+n') \cos^2 \varphi - m' \sin^2 \varphi \right\}$
 $\alpha_2 = \frac{1}{2} a_{11} (m+n) + a_{12} + \frac{1}{2} a_{33} \sin \varphi \cos \varphi$, $\alpha'_2 = \frac{1}{2} a'_{11} (m'+n') + a'_{12} + \frac{1}{2} a'_{33} \sin \varphi \cos \varphi$
 $\beta_1 = a_{22} \left\{ (1+\frac{n}{m}) \sin^2 \varphi - \frac{1}{m} \cos^2 \varphi \right\}$, $\beta'_1 = a'_{22} \left\{ (1+\frac{n'}{m'}) \sin^2 \varphi - \frac{1}{m'} \cos^2 \varphi \right\}$
 $\beta_2 = \frac{1}{2} a_{22} (\frac{1+n}{m}) + a_{12} + \frac{1}{2} a_{33} \sin \varphi \cos \varphi$, $\beta'_2 = \frac{1}{2} a'_{22} (\frac{1+n'}{m'}) + a'_{12} + \frac{1}{2} a'_{33} \sin \varphi \cos \varphi$
 $m = \sqrt{\frac{a_{22}}{a_{11}}}$, $n = \sqrt{\frac{2a_{12} + a_{33}}{a_{11}}}$, $m' = \sqrt{\frac{a'_{22}}{a'_{11}}}$, $n' = \sqrt{\frac{2a'_{12} + a'_{33}}{a'_{11}}}$
 $a_{11} = \frac{1}{E_1} (1 - \nu_{12} \nu_{21})$, $a_{22} = \frac{1}{E_2} (1 - \nu_{23}^2)$, $a_{12} = -\frac{\nu_{12}}{E_1} (\nu_{13} + \nu_{23})$, $a_{33} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1}$
 $a'_{11} = \frac{1}{E'_1} (1 - \nu'_{12} \nu'_{21})$, $a'_{22} = \frac{1}{E'_2} (1 - \nu'^2_{23})$, $a'_{12} = -\frac{\nu'_{12}}{E'_1} (\nu'_{13} + \nu'_{23})$, $a'_{33} = \frac{1}{E'_1} + \frac{1}{E'_2} + \frac{2\nu'_{12}}{E'_1}$

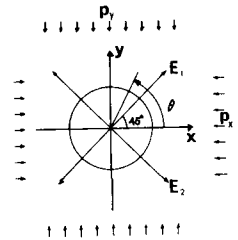


図-1 解析条件

ここに、 E_1 :管理面に直交する方向の弾性係数、 E_2 :管理面に平行な方向の弾性係数、 ν_{12} (ν_{21}): E_1 (E_2) 方向に生じたひずみの E_1 方向へのポアソン比、 ν_{23} :管理面内ひずみのポアソン比である。

実際のトンネルを $a = 5m$ の円形トンネルと仮定し、表-1に示す材料定数を与えた。また、同地盤における初期応力に関する調査はなされていないので、被り高より $p_y = 10 \text{ kg/cm}^2$ と想定し、水平方向の p_x については、 $p_x = p_y$, $p_z = \frac{1}{2} p_y$ および $p_x = \frac{1}{3} p_y$ の3種の荷重条件を与えた。上式で得られた半径方向および接線方向の変位を、空洞中心を原点とする x, y 座標系に変換し、その結果を示すと、図-2および図-3の通りである。(u : x 方向変位, v : y 方向変位)

3. 変位測定値による異方性の考察

クラウン部の変位について、断面1 (B~C級岩盤) では、 $u = 4.8 \text{ mm}$, $v = 25.4 \text{ mm}$ 、また、断面2 (A~B級岩盤) では、 $u = 4.5 \text{ mm}$, $v = 10.3 \text{ mm}$ の測定結果を得ている。

$E_2 = 1000 \text{ kg/cm}^2$ とする数値計算では、3種の荷重条件および6種の E_1/E_2 比 (n) に対し、クラ

表-1 数値解析に用いた材料定数

$\frac{\nu_{12}}{\nu_{23}}$	$P_x = P_y = 1.0 \text{ kg/cm}^2$							$2P_x = P_y = 1.0 \text{ kg/cm}^2$						
	$n = E_1/E_2$	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	
E_2		1000 kg/cm ²						1000 kg/cm ²						
ν_{12}	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	
ν_{23}	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	

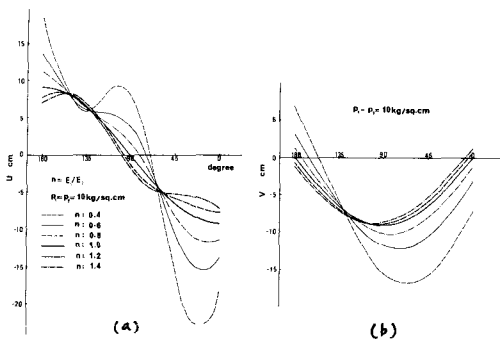


図-2 $p_x = p_y = 10 \text{ kg/cm}^2$ での変位

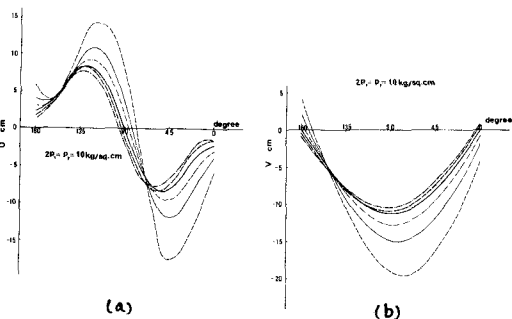


図-3 $2p_x = p_y = 10 \text{ kg/cm}^2$ での変位

ウン部 ($\theta = 90^\circ$) の変位 u , v が求められており、これを子とみよ
と、図-4 のような結果を得た。 すなわち、 p_x/p_y が小さくなる
程、鉛直変位の絶対値が増大し、 $n > 1$ では水平方向の変位は負とな
り、 $n < 1$ では正である。 この図に対し、測定値をプロットする
と、四角印のようである。 測定値は、切羽の進行による断面変形
から求めたものであり、初期状態から切羽が到達するまでに最
終変位の 2.3% がすでに変位したものである²⁾、これを補正した
位置が原点と測定点を通る線上の $n = 1$ なる点である。 地山が弾性体
であれば、クラウン部の変位は、地山の弾性係数に応じてこの斜線
上を移動する。 表 0, 1 回を基準として目盛を付せば、実際の荷
重条件に対応する箇所が岩盤の弾性係数を示す。 経験的に、
 $2p_x = p_y = 10 \text{ kg/cm}^2$ が妥当とすれば、次の結果を得る。

A ~ B 級岩盤: $E_1 = 5460 \text{ kg/cm}^2$, $E_2 = 14000 \text{ kg/cm}^2$

B ~ C₂ 級岩盤: $E_1 = 2750 \text{ kg/cm}^2$, $E_2 = 4300 \text{ kg/cm}^2$

4. P波伝播速度による異方性の考察

トンネル切羽面での共振振動から層理に平行する P 波と直交する
P 波の速度を測定した結果が、表-2 である。 異方性を速度比の
2 乗で示せば、次のようである。

B 級岩盤: $E_1/E_2 = 0.71$

C ~ C' 級岩盤: $E_1/E_2 = 0.66$

岩級と (E_1/E_2) との相関性は、前節の結果と相反している。

和泉層の場合、風化の程度やき裂の発達が著しい程、異方性は少な
いと考えられるので、さらに実験を重ねる必要がある。

<参考文献>

- 1) 丹羽・小林・平島: 光弾性ゲージによる直交異方性岩盤の応力測定法, 材料, 17 巻 181 号 (43 年 10 月)
- 2) 島・谷本・木村: 和泉層岩盤の変形特性について, 土木学会第 114 回岩盤力学シンポジウム講演概要 (53 年 2 月)

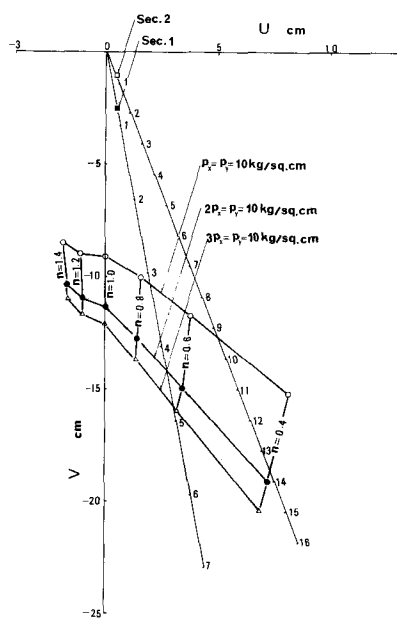


図-4 クラウン部の変位と異方性

表-2 P波伝播速度測定結果

1		2	
$V_p(x)$ (km/s)	$V_p(z)$ (km/s)	$V_p(x)$ (km/s)	$V_p(z)$ (km/s)
—	1.7	—	1.6
1.9	1.6	2.1	1.9
1.7	1.7	2.1	1.6
1.8	1.6	2.1	1.2
1.9	1.6	2.1	2.0
ave. 1.9	ave. 1.6	ave. 2.1	ave. 1.7

(注) 1: 振動源付近の地質は、B 級
2: 振動源付近の地質は、C ~ C' 級

$V_p(x)$: 層理面と平行に伝播する P 波速度

$V_p(z)$: 層理面と直交して伝播する P 波速度