

III-51

層理岩盤の掘削特性に関する実験的考察

愛媛大学工学部 正員 ○ 室 達朗
ニッセキハウス工業(株) 白石 貴之
前田道路(株) 森川 宏之

1. まえがき 層理岩盤のリッピング掘削では走向と傾斜を考慮して如何なる方向で掘削するのが最も掘削抵抗を減少させ、機械の作業効率の向上に効果的であるかを究明することは省エネルギー対策上重要な課題である。ここでは、層理岩盤モデルとして所定の層理間隔で種々の走向と傾斜をなすセメントモルタル供試体を作成し、岩盤の掘削方向の変形係数と掘削力の関係、モデルチップの貫入に伴うセメントモルタルの破砕量と貫入仕事量、および単位貫入仕事量当たりの破砕量として表わされる破砕効率と走向・傾斜の関係について明らかにし、実際の岩盤掘削へ応用するための基礎資料を与えることを目的としている。

2. 層理岩盤モデル 設計7日強度を 10 MPa としたセメントモルタルを使用し、層理間隔 2 cm で走向と傾斜をそれぞれ $\pi/6$ rad 毎となるように厚さ 0.1 mm の薄い紙をジョイント部に入れ、7日養生後層理岩盤モデルとした。その大きさは 40cm × 25cm × 25cm である。走向と傾斜は図1に示したように設定し、仮想地表面より深さ 5 cm の中央部においてモデルリッパチップに集中荷重を与え、各組の供試体数3として計32組の貫入試験を行った。7日養生後のセメントモルタルの一軸圧縮強度および圧裂引張強度は、それぞれ 10.6 MPa, 1.30 MPa であり動弾性係数 E_{dyn} は 13.2×10^3 MPa, 変形係数 E_{so} は 1060 MPa であった。ジョイント部分の摩擦係数は 1.06 ± 0.06 と計測された。

3. 実験結果と考察 実験装置は 300 KN アムスラー試験機を使用して、先端径 1 cm のモデルチップの貫入力と貫入量、および破砕後のセメントモルタルの破壊体積を求めた¹⁾。なお、岩盤モデルの仮想地表面と載荷面を除く他の4面は剛な鋼板によって変位拘束して実験を行った。図2は、供試体の仮想地表面において計測した縦波および横波超音波伝播速度より算定した動弾性係数 E_{dyn} の分布である。傾斜の大きさ如何に拘らず走向方向の E_{dyn} が最大値を示し、走向と直角方向において最小値を示している。チップの最大貫入力 F_{max} と走向の貫入方向とのなす角 α 、水平面との傾斜角 β との関係を図3に示す。ここに、 β は逆目を正、順目を負とし、 α は時計回りの角度を正とし 0 から π の範囲にある。なお、層理岩盤の亀裂係数は $\beta = \pm \pi/6, \pm \pi/3, \pm \pi/2$ に対し、それぞれ走向と直角順目方向に最大値 0.221, 0.735, 0.571 と計測された。

一方、岩盤モデルの変形係数 E_d は静弾性係数 E の約 $1/2$ で与えられる²⁾ので、この場合、チップの初期貫入時の単位貫入量当たりの貫入力に 4.63 を乗じた値として算定され

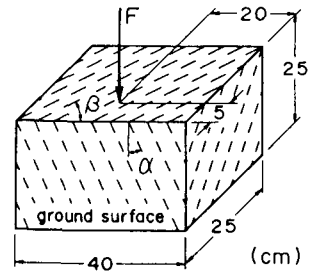


図1 岩盤モデル

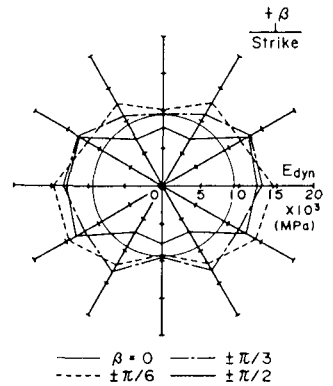


図2 動弾性係数 E_{dyn} の分布

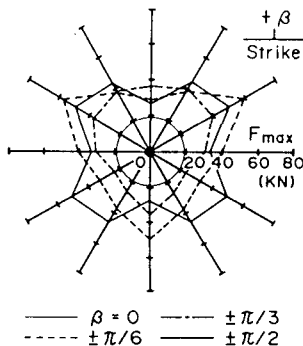


図3 最大貫入力 F_{max} の分布

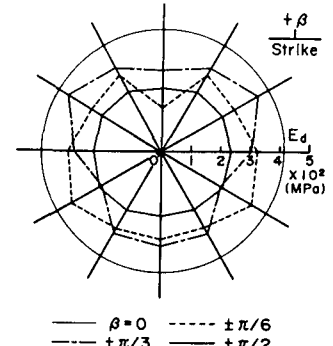


図4 変形係数 E_d の分布

る。この方法で求めた E_d は、チップの層理岩盤に対する一方向載荷より求めているので谷本ら³⁾の試験方法では明らかにできない順目と逆目の差異を明確に表現している。図4は、 E_d の α 、 β に対する分布を示したものである。

以上得られた E_{dyn} 、 F_{max} および E_d と α 、 β の関係を実験式として表わすと、各 β の値に対して、一般に次式が成立する。

$$E_{dyn}, F_{max}, E_d = a(\alpha - b)^2 + c \quad (1)$$

ここに、定数 a , b , c は相関係数 r とともに表1に示した。

なお、 $\beta = \pm\pi/6, \pm\pi/3, \pm\pi/2$ に対してそれぞれ F_{max} 、 E_d は走向と直角逆目、順目の $\pi/6$ と $5\pi/6$ 、走向に対して最小値をとるなど F_{max} と E_d の間には高い相関性が認められ、次式で示す実験式がえられた。

$$F_{max} = 0.122 E_d \quad (r = 0.97) \quad (2)$$

なお、逆目方向の F_{max} 、 E_d が $\alpha = \pi/6, 5\pi/6$ で最大値をとっているのは破壊形式が全般破壊であるのに対し、走向直角方向でのそれらが減少しているのは部分破壊によるものであり、両者の蓄積エネルギー量が異なるためである。

次に、岩盤モデルの破壊体積 V_c を測定するとともにチップの貫入仕事量 F_L を算定した。写真1は、 $\alpha = 2\pi/3, \beta = -\pi/3$ の場合の破壊状況である。図5は単位貫入仕事量当たりの破砕量で与えられる破砕効率 V_c/F_L の分布を種々の α 、 β に対して示した。前図4と比較すると、種々の β の値に対して E_d が小さい程破砕効率は増大する傾向にある。 $\beta = \pi/6$ で走向直角逆目方向に、 $\beta = -\pi/3$ で $\alpha = \pi/6$ と $5\pi/6$ の方向に、また $\beta = \pm\pi/2$ で走向直角方向に全般破壊しており V_c/F_L は卓越している。なお、図6に示すように、種々の β に対して F_L は E_d とともに直線的に増大することが明らかとなった。

4. まとめ 室内岩盤モデル試験の結果、動弾性係数からだけでは走向・傾斜とくに逆目、順目の力学的異方性を検知することはできないこと、すべての傾斜角に対して最大貫入力と変形係数は走向方向と時計回り $\pi/6$ と $5\pi/6$ の逆目方向において最大となり、 $\beta = -\pi/6, -\pi/3$ において $\alpha = \pi/6$ と $5\pi/6$ の順目方向、 $\beta = -\pi/2$ において走向に直角方向の順目に対して最小となること、および岩盤の変形係数が小さい程掘削効率は増大することが判明した。

5. 参考文献 1) 室, 河原, 松岡: 節理岩盤の掘削力に関する実験的考察, 土木学会第40回年講 3, 1985. 2) 桜井: 原位置岩盤の試験とその結果の評価, 材料, 第31巻, 第347号, 1982. 3) 谷本, 畠, 西尾: 不連続面の剛性を考慮したボアホールジャッキ試験結果の評価, 第17回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, 1985.

表1 動弾性係数 E_{dyn} , 最大貫入力 F_{max} , 変形係数 E_d

	β	a	b		c	相関係数 r
		$0 \leq \alpha \leq \pi$	$0 \leq \alpha \leq \pi/2$	$\pi/2 < \alpha \leq \pi$	$0 \leq \alpha \leq \pi$	
E_{dyn} (MPa)	$\pm\pi/6$	-1.84×10^3	0	π	1.41×10^4	0.90
	$\pm\pi/3$	-1.50×10^3	0	π	1.32×10^4	0.88
	$\pm\pi/2$	-2.35×10^3	0	π	1.23×10^4	0.81
F_{max} (KN)	$-\pi/6$	+ 20.4	0.216π	0.784π	31.7	0.99
	$-\pi/3$	+ 15.4	0.216π	0.784π	22.7	0.99
	$-\pi/2$	+ 32.8	0.226π	0.774π	49.9	0.99
	$+\pi/3$	- 12.5	0.294π	0.706π	40.9	0.99
	$+\pi/6$	- 29.5	0.178π	0.822π	53.0	0.91
E_d (MPa)	$-\pi/6$	- 25.8	0.137π	0.863π	355.6	0.68
	$-\pi/3$	+ 107.8	0.250π	0.750π	254.7	0.75
	$-\pi/2$	- 91.2	0.225π	0.775π	264.8	0.71
	$+\pi/3$	- 71.8	0.207π	0.793π	367.6	0.88
	$+\pi/6$	- 80.6	0.072π	0.928π	340.3	0.95

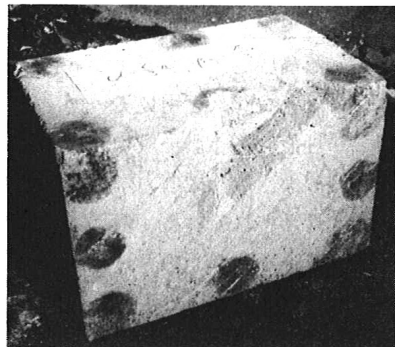
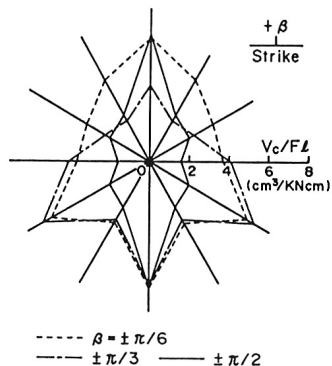
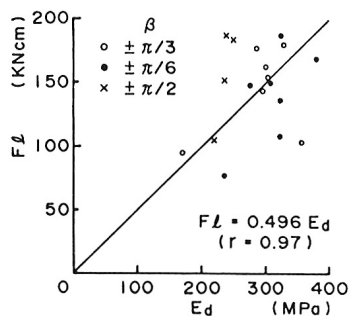


写真1 岩盤モデルの破壊状況

図5 破砕効率 V_c/F_L の分布図6 貫入仕事量 F_L と変形係数 E_d