

III-140 節理岩盤の掘削力に関する実験的考察

愛媛大学工学部 正員 〇室 達 朗
愛媛大学工学部 正員 河原 荘一郎
光洋機械産業(株) 松岡 伸 明

1. まえがき リップチップによって岩盤の機械化掘削を行なうリップ工法において、機械の作業能力を向上させるためにはいかに掘削抵抗を減少させるかとともにいかにして単位時間当りの掘削量を増大させるかについて検討する必要がある。とくに、節理をもった岩盤の掘削については走向と傾斜を考慮してどのような方向で掘削するのが最も効果的であるかが問題となる。一方、リップビリティの判定に使用される岩盤の弾性波速度や岩盤の種類、および弾性波の振幅減衰量¹⁾からだけでは岩盤の走向や傾斜の方向を検知するのは困難であり²⁾、さらに掘削方向による掘削抵抗の大きさを予測することはできない。ここでは、節理モデル岩盤として節理間隔 2cm で走向傾斜ともに 30 度毎としたコンクリートモルタルで供試体を作成し、アムスラー載荷試験機を用いてモデルリップチップの先端に集中荷重を与え、チップの貫入量、掘削力および破壊体積(掘削量)が走向傾斜とどのような関係にあるかについて実験的考察を行なった。

2. 節理岩盤モデル 使用材料はセメントモルタルとし、設計 7 日強度を 9.8 MPa (100 kgf/cm^2) とした。配合設計はスランプ 6 cm, 空気量 5%, 水セメント比 50% とし、1 バッチ (0.025 m^3) 当り普通ポルトランドセメント 10 kg, 水 5 kg および細骨材(海砂) 40 kg とした。7 日養生後の平均圧縮強度は $9.27 \pm 2.18 \text{ MPa}$ で、引張強度は $1.54 \pm 0.28 \text{ MPa}$ で、変形係数 E_{50} は $1595 \pm 634 \text{ MPa}$ であった。岩盤モデルの寸法は $25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ とし、節理は 2 cm 間隔に 0.1 mm の紙を入れて作成した。走向傾斜は図 1 に示したように、走向を $N90^\circ E$ と一定として傾斜角 $\beta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ (逆目), 90° と $120^\circ, 150^\circ$ (順目) とした場合、および傾斜角 $\beta = 90^\circ$ と一定として走向 $N\alpha E$ ($\alpha = -60^\circ, -30^\circ, 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) とした場合について仮想地表面より深さ 5 cm の中央部に集中荷重を載荷することとした。

3. 実験装置と方法 岩盤モデルの強度および長さの寸法は現場掘削時の 1/10 としてモデル実験を行なうこととした。すなわち、岩盤強度を 98 MPa , モデルチップを先端径 1 cm の長さ 10 cm の円柱とし、載荷深さは 5 cm とした。実験装置は、写真 1 に示すアムスラー試験機(最大載荷能力 294 kN) を使用し、モデルチップに作用する貫入力 F をロードセル(最大計測能力 49 kN) で貫入量 h を差動変位計(ストローク $\pm 2 \text{ cm}$) で計測するとともに、破壊後のセメントモルタルの体積および表面積を測定した。破壊領域の測定法は、縦横 2 cm 間隔に直径 3 mm の穴をあけた透明板を使用し、破壊面を 1 cm 毎に 1/20 mm まで測定可能なノギスで計測した。その後、等深線図を作成し破壊面積と体積を算定した。なお、供試体は材令 7 日において試験を行ない、45 通りの載荷試験を実施した。さらに、走向傾斜をもつ節理岩盤モデルとの比較のため

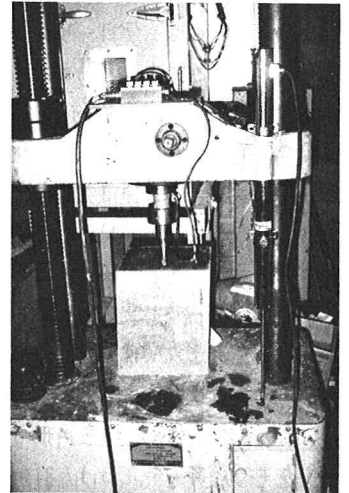


写真1 実験装置

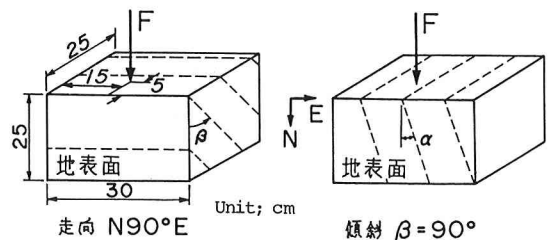


図1 岩盤モデルの走向傾斜と載荷方向

め、節理のない均質な岩盤モデルについても同様に載荷試験を行なった。

4. 実験結果と考察 モデルチップの貫入力Fと貫入量Lの関係は、図2に一例を示したように、最大貫入力F_{max}と変形係数Kは走向傾斜によってかなり変動している。走向がN90°Eの場合、F_{max}と傾斜角βの関係は図3に示したように、β=90.6°において最大値を有し、掘削力は逆目・順目に関係なく走向に沿って水平面となす傾斜が小さいほど低下することが判明した。実験式として

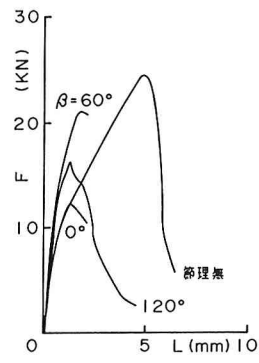


図2 貫入力Fと貫入量L

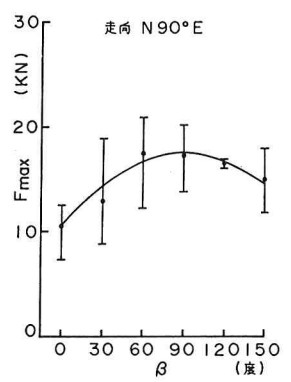


図3 最大貫入力F_{max}と傾斜角β

$$F_{\max}(\text{KN}) = -8.33 \times 10^{-4} \beta^2 + 0.151 \beta + 10.8 \quad (1)$$
が成立した。ただし、βは度の単位を有し、各係数のばらつきは、 $-(8.33 \pm 0.20) \times 10^{-4}$, 0.151 ± 0.019 , 10.8 ± 1.4 である。なお、無節理岩盤モデルに対するF_{max}は 21.9 ± 2.1 KNであった。つぎに、変形係数Kと傾斜角βの関係は、表1に示したようにβ=120°で最大値を有しており無節理岩盤モデルと比較して節理の影響が顕著である。

傾斜角β=90°の場合、F_{max}と走向αの関係は図4に示したように、α=0°において最小値を示し、αの絶対値が増大する程増大すること、およびα=90°においてF_{max}は最大値を示すことが明らかとなった。

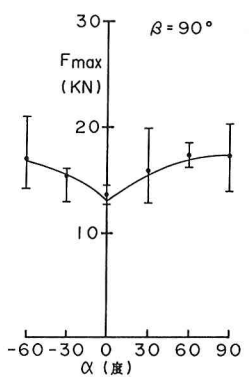


図4 最大貫入力F_{max}と走向α

$$F_{\max}(\text{KN}) = -6.17 \times 10^{-4} \alpha^2 \pm 0.102 \alpha + 13.1 \quad (2)$$
なる関係式が成立した。αの正負符号はαの正負に対応するものであり、βは度の単位を有し、各係数のばらつきは、 $-(6.17 \pm 1.86) \times 10^{-4}$, 0.102 ± 0.022 , 13.1 ± 3.0 である。なお、変形係数Kと走向αの関係は表1に示すとおりである。

以上の結果より、F_{max}とα, βの関係を重回帰分析した結果、

$$F_{\max}(\text{KN}) = 8624 \alpha^{0.04} \beta^{0.10} \quad (r=0.97) \quad (3)$$

なる関係式が与えられることが判明した。ただしα≠0, β≠0

つぎに、破壊領域の計測に当っては剥離した部分のみを対象としたので潜在している部分を十分測定できなかった。写真2は、N90°E, β=90°の場合の破壊状態である。無節理岩盤モデルの破壊表面積は210 cm²、体積は1020 cm³であったが、一般にN90°E走向に対し破壊量はβ=90°で最小となりβ=30°, 150°で顕著に増大することが判明し、いずれも引張破壊を引き起していた。

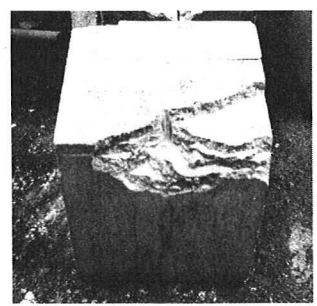


写真2 破壊状況

5. あとがき 岩盤の掘削力を最小にするには、走向に沿ってリッピング作業するのが最適である。一方、傾斜角を現場で選択することはできないがN90°E走向ではβ=±30°以内での掘削量は増大するし、また、単位掘削力当たりの破砕量も増大する。

6. 参考文献 1) 山崎 茂：新しいリッパビリティの判定法，小松技報，29, 1, pp.13-19, 1983. 2) 谷本 親伯，畠 昭治郎，玉置 淳：互層岩盤中の弾性波伝播挙動，17 回岩盤力学に関するシンポジウム，土木学会岩盤力学委員会，pp.111-115, 1985.

表1 変形係数Kと走向α, 傾斜βの関係

N 90° E	K (KN/mm)	β=90°	K (KN/mm)
β = 0°	7.55 ± 4.80	N 0°E	12.45 ± 7.55
30°	7.84 ± 2.82	N30°E	14.21 ± 1.57
60°	11.27 ± 5.88	N60°E	6.22 ± 0.44
90°	13.82 ± 8.92	N90°E	13.82 ± 8.92
120°	19.11 ± 0.59	N30°W	9.70 ± 4.70
150°	14.21 ± 6.08	N60°W	8.04 ± 3.14
無節理岩盤モデル	K =	7.84 ± 0.59	