

トンネル切羽形状の違いによる切羽安定性に関する研究

山口大学大学院	学生会員	○平田 亮
(株) ケー・エフ・シー	正会員	森本 真吾
山口大学工学部	正会員	進士 正人
山口大学工学部	正会員	中川 浩二

1. はじめに

近年、トンネルの掘削工法は、施工性等を考慮して全断面工法により施工されるケースが増加している。しかし、全断面工法は一度に掘削する面積が大きくなるため地山の状態を悪化させ、切羽前方に緩みを引き起こし、切羽の自立が困難になる可能性がある。

そこで本研究では、通常的全断面掘削の直立切羽と切羽の押し出しを抑制する効果のある核残し、その核残しに対して正反対の考え方である曲面切羽の3つの切羽形状の違いが切羽安定性におよぼす影響について数値解析を用いて検討を行った。

2. 解析条件

地山のモデル化にあたっては、表-1に示すように地山等級DIIの物性値¹⁾を用いた。図-2に解析モデルを示す。地山は、Mohr-Coulombの破壊基準に従う弾塑性体とした。土被りは100mを想定し上載荷重を加え、静水圧状態とした。トンネルは、2車線道路トンネルの標準断面をモデル化した。掘削手順は、重力解析の後、境界から中央までの距離3D（D：トンネル掘削径＝10m）を一括掘削し、直後に切羽1m手前までインバートを含めた支保工を設置した。今回は一掘削による切羽近傍への影響を検討するため、一括掘削による変位挙動に着目した。そのため、逐次掘削による影響を考慮していない。

3. 核残しと直立切羽の比較

全断面掘削において、軟弱な地山に遭遇したときに、最も可能性の高い工法として挙げられるのは、ベンチの様に核（さね）と呼ばれる部分を残すリングカット工法である。現在この核残しに関する数値解析を行った研究は少なく、どのような切羽安定効果があるのか力学的な検証はあまり行われていない。図-3は切羽周辺地山の変位分布図である。図より、切羽前方の変位している領域は、若干核残しのほうが狭い。図-4に天端沈下量の比較を示す。図より、天端沈下量は、核残しの方が小さな値となっている。これらのことより、核残しを行うことで切羽の自立性が向上し、切羽前方の先行変位を抑制し、また、天端沈下量も抑制することができたと考えられる。このように核残しは、切羽の安定性を向上することに有効な工法であることがわかった。しかし、図-5に示すように核自身が引張り破壊を生じ、作業中に核そのものが崩壊するあるいは核が構築できないことも十分予想されるため、地山状態に対応して核を検討する必要がある。

表-1 解析物性値

	単位 体積重量	弾性係数	ポアソン 比	粘着力	内部 摩擦角
	$\gamma(\text{kg/m}^3)$	E(MPa)	μ	C(MPa)	$\phi(^{\circ})$
地山	2100	150	0.35	0.2	30
合成支保工	2509	8134	0.20	—	—
インバート	2400	22000	0.20	—	—

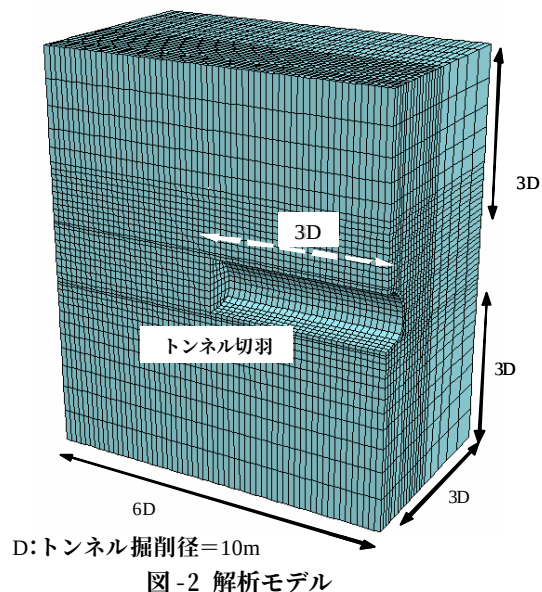


図-2 解析モデル

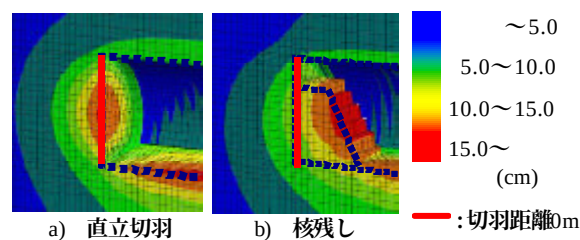


図-3 直立、核残しの周辺地山の挙動

キーワード：トンネル、数値解析、切羽安定、切羽形状

連絡先：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL: 0836-85-9332 FAX: 0836-85-9301

4. 曲面切羽と直立切羽の比較

今田ら²⁾は、切羽面に局率を持たせドーム状に掘削することで、アーチ効果が発揮され切羽の自立性が高められる曲面切羽を推奨している。図-6に弾塑性体による切羽周辺地山の変位分布図を示す。切羽面における押し出し量は、曲面切羽の方が小さく、また、切羽前方の地山が変位している領域も狭い。これは、切羽前方に対するトンネル軸方向のアーチ効果により切羽前方の地山が安定し、変位量が抑制されたと考えられる。図-7に天端沈下量の比較を示す。天端沈下量は、曲面切羽の方が大きい。直立切羽は、切羽前方の地山が3次的に支保の役割を果たし沈下量を抑えており、切羽通過後も支保工により変位が抑えられている。それに対し、曲面切羽では、切羽通過後の天端沈下量には変化がなく、応力解放が終了した状態で支保工を施工することと同様になっていると判断できる。このことから、曲面切羽の天端沈下量を抑えるためには、切羽面の形状を保持するような何らかの補助工法が必要となると考えられる。

そこで鏡吹付けコンクリートを施工した曲面切羽の結果を図-8,9に示す。図より、切羽面の押し出し量は当然として、天端沈下量も抑えていることがわかる。これは、曲面切羽に施工された鏡吹付けコンクリートにより、切羽形状に沿ってアーチ効果を発揮し、保持し続けることができたと考えられる。これは極めて脆弱な地山においても、鏡吹付けコンクリートを施工することにより曲面切羽の形状を保持し、変形が抑制できることを示している。

以上より、曲面切羽と直立切羽の比較した結果、曲面切羽の方が力学的に安定であるといえる。ただし、より地質状況の悪い地山においては切羽が崩壊する恐れがあるので鏡吹付けコンクリート、先行補強ボルトなどの補助工法を切羽面に施工し切羽に内圧を作用させることが効果的であることがわかった。

5. まとめ

全断面工法でトンネルを施工する際、核残しが有利であるが、核の部分をややかな斜面を持たせる必要があり、必ずしもベストとは言いきれない。曲面切羽は力学的にも有利であると言われており、切羽形状を保つ必要はあるものの鏡吹付けコンクリートなどの簡単な補助工法で変位抑制が可能であることがわかった。

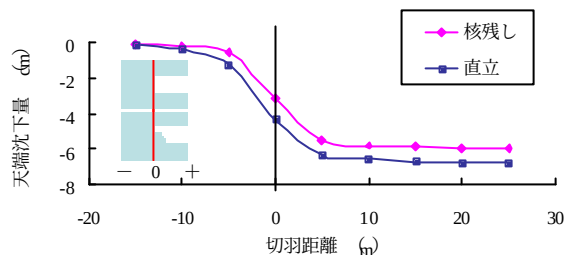


図-4 直立、核残しの天端沈下量

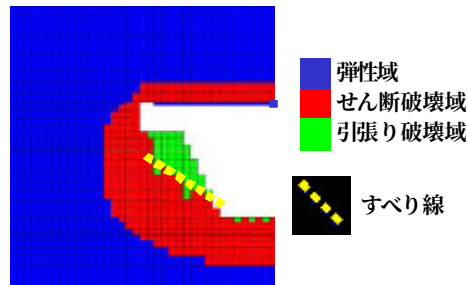


図-5 核残し周辺の塑性域

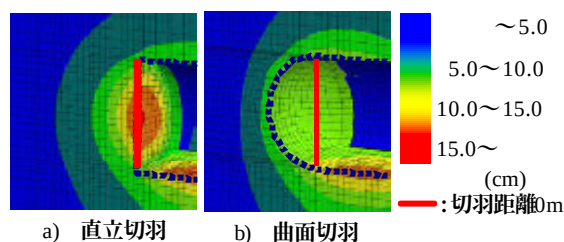


図-6 直立、曲面の周辺地山の挙動

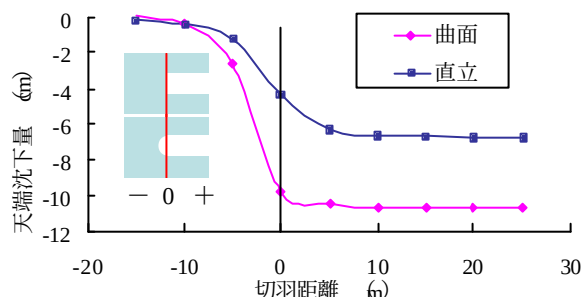


図-7 直立、曲面の天端沈下量

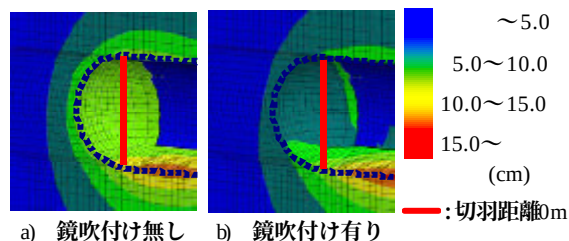


図-8 鏡吹付けコンクリートの有無による違い

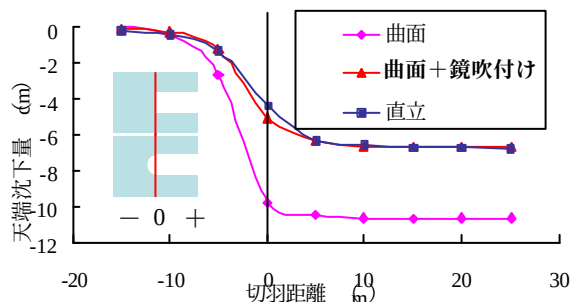


図-9 鏡吹付けを施工した場合の天端沈下量

【参考文献】

- 1) 日本道路公団: 設計要領第三集トンネル, 1997.10.
- 2) 今田徹, 山崎良一: 曲面切羽に関する研究, 土木学会第51回年次学術講演概要集, III-B55, pp.110-111, 1996.9.