

ベンチカット工法による扁平大断面トンネルの切羽周辺の挙動

大阪工大短期大学部 正 吉岡 尚也
 摂南大学工学部 正 道廣 一利
 みらい建設工業 正 脇平 興一

1. はじめに

第二東名・名神高速道路は、従来の二車線高速道路トンネルと比較して掘削幅で2倍・掘削断面積で2.5倍程度となっており、このような大断面トンネルを日本のような複雑かつ軟弱な地質条件下で安全かつ効率的に施工するためには、掘削工法や支保規模・長期安定性などの技術的課題を解決しなければならない。

これらの技術的課題を解決するため、清水第三トンネル・栗東トンネル・静岡第二トンネルにおいて試験施工が行われた。そのうち、清水第三トンネル・栗東トンネルでは、TBMによる導坑先進拡幅掘削工法が採用され、その有効性が証明された。一方、静岡第二トンネルではベンチカット工法を主体に施工された。その結果、日本道路公団による岩盤分類での地山等級Cクラスではベンチカット工法での掘削が可能であり、地山等級Dクラスでは導坑先進工法や中壁分割工法またはベンチカット工法に補助工法を併用することにより掘削が可能であったと報告されている¹⁾。

そこで、扁平大断面トンネルにおけるベンチカット工法の適用限界について、切羽面の押出し量に着目して三次元有限要素法により数値実験的に検証した。

2. 解析条件

数値解析には土被り高さ100mの地山に掘削幅約18m、掘削断面積約180m²の三車線の高速自動車道トンネルが掘削されるものとして、三次元有限要素法による弾塑性解析を行った。この土被り高さ100mというのは、静岡第二トンネルの施工例¹⁾を参考に決めて値である。

数値解析に用いる入力定数のうち、変形特性としての弾性係数については、表-1のような地山等級とRMRとの関係より算出することとした²⁾。また、強度特性としての粘着力C・内部摩擦角については、ピニアウスキーの提案値を参照した。地山等級ごとの強度・変形特性をまとめたものを表-2に示す。つぎに、支保部材の入力定数については土屋³⁾の提案値を用いた。そして、地山の初期応力は、鉛直方向については土被り圧から、水平方向については側圧係数を1.0として求めた。また、地山はソリッド要素、吹付けコンクリートはシェル要素でモデル化した。そして、支保部材としての吹付けコンクリートは、掘削と同時に切羽面直後まで施工されるものとした。

表-1 地山等級とRMR
との関係

地山等級	RMR 値
B	61～80
C	41～60
C	31～40
D	21～30
D	11～20

表-2 地山等級ごとの強度・変形特性

地山等級	弾性係数 E (kN/m ²)	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)
B	1.9×10 ⁷ ～5.6×10 ⁷	300～400	35～45
C	6.0×10 ⁶ ～1.8×10 ⁷	200～300	25～35
C	3.3×10 ⁶ ～5.6×10 ⁶	150～200	20～25
D	1.9×10 ⁶ ～3.2×10 ⁶	100～150	15～20
D	1.1×10 ⁶ ～1.8×10 ⁶	100以下	15以下

3. 解析結果と考察

地山等級がCで、RMR値が31なる条件下、すなわちE=3.3×10⁶kN/m²、C=150kN/m²、φ=20°において

キーワード：扁平大断面トンネル、三次元有限要素法、ベンチカット工法

連絡先：〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学短期大学部

ベンチ長 40m を有するベンチカット工法で扁平大断面トンネルを掘削した場合の切羽面における押し出し量を図 - 1 に示す。図 - 1 より、トンネル切羽面の押し出し量は最大で 25 ~ 30mm 生じている。したがって、地山等級が C までの地山であれば、ベンチカット工法での掘削が可能であると言える。実際、静岡第二トンネルでもベンチカット工法で施工されている。

つぎに、地山等級 D において、E を下限値である $1.9 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ 、C を上限値である 150kN/m^2 、を中間値である 17.5° に設定した場合の解析結果を図 - 2 に示す。一方、過去の切羽崩壊事例⁴⁾から判断すると、切羽崩壊を誘起する可能性は、切羽面の押し出し量が 65mm 以上になったときと考えられる。したがって、図 - 2 に示した押し出し量であれば、ベンチカット工法での掘削が可能であると言える。しかし、地山等級 D における強度特性のうち、粘着力が $C=125 \text{kN/m}^2$ 程度に低下すると切羽面の押し出し量が最大で 65 ~ 70mm になる領域が生じ、切羽崩壊を誘起する可能性がある(図 - 3 参照)。このことより、地山等級が D であっても地山等級 D に近づいてくると、補助工法を併用して切羽の安定性を確保することが望ましくなる。

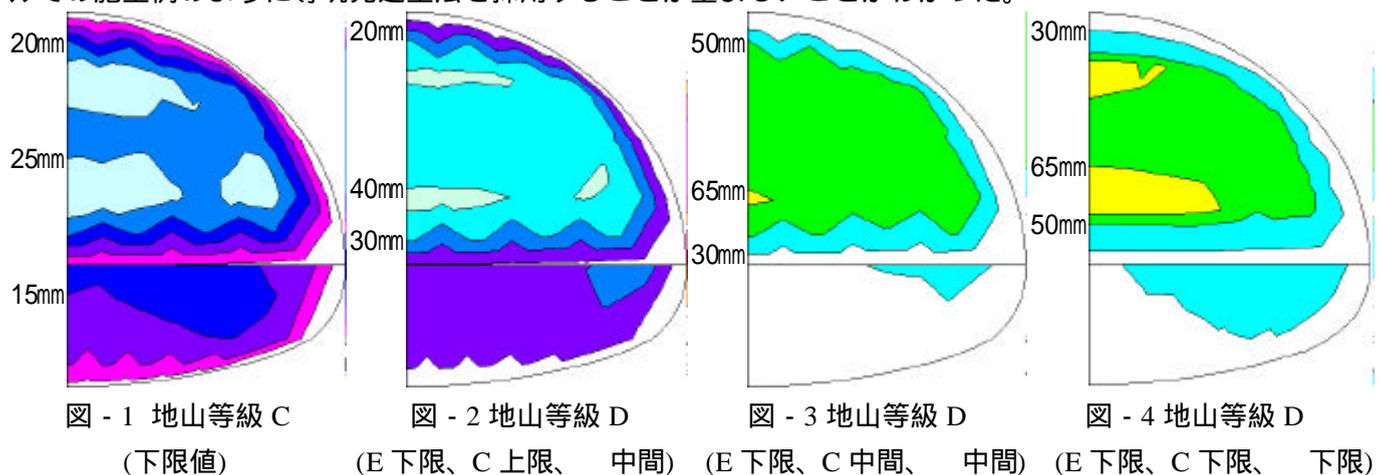
また、地山等級 D において強度特性を $C=100 \text{kN/m}^2$ 、 $\phi=15^\circ$ とし、切羽面の押し出し量が 65mm 以上に生じる E の限界を検討した。その結果、E が $1.5 \times 10^6 \text{kN/m}^2$ になると、65mm 以上の押し出しが生じはじめることがわかった。このときの RMR 値は 17 となり、しかも RMR 値が 17 以下になると押し出し量が急激に増大し、ベンチカット工法での施工は困難になることもわかった。

トンネルを掘削する場合には、ベンチ長も切羽面の押し出し量にも関係するため、ベンチ長を 20m・40m・60m にした場合の解析も行った。その結果、ベンチカット工法での施工が可能な地山条件であれば、ベンチ長の違いが切羽面の押し出し量に及ぼす影響はほとんどないことも解析的にわかった。

4. おわりに

扁平大断面トンネルにおけるベンチカット工法の適用性について、切羽面の押し出し量に着目して数値解析的に検証した。得られた結果をまとめると以下のようなになる。

- 1) 地山等級が C まで、すなわち RMR 値が 31 以上の地山であれば、ベンチカット工法で施工可能なことが解析的にも検証できた。
- 2) 地山等級が D、すなわち RMR 値が 17 以下になると、押し出し量が急激に増大するため、静岡第二トンネルでの施工例のように導坑先進工法を採用することが望ましいことがわかった。



参考文献

- 1) 林崎信男、尾辻真紀、岡田正男、井上賢一：大断面トンネル掘削工法の比較試験、トンネルと地下、2000年5月号、pp.15~23.
- 2) 吉岡尚也、畑浩二、道廣一利：トンネル支保とRMRとの関係、トンネルと地下、1999年5月号、pp.43~48.
- 3) 土屋敬：トンネル支保の地山物性値に関する研究、土木学会論文集、第364号、-4、1985年、pp.31~40.
- 4) 田中一雄、川上純、池田宏：切羽変位計測による切羽崩壊予測の試み、トンネルと地下、1996年6月号、pp.55~60.