

1 1. 山岳トンネルC II - C I境界の地山状況の相違

中電技術コンサルタント (株) ○門藤正幸・常光 伸照・勝部浩志・井原秀則
 広島大学 理学部 北川隆司

1. はじめに

昭和61年に山岳トンネルの標準工法がNATMとなって以降、我々は主として中古生代付加型堆積岩と広島花崗岩のトンネルの地質調査、設計、施工時の地山判定を実施してきた。

その結果、事前調査の地山弾性波速度が4.0km/s以上のトンネル一般部の特定個所で、C IIパターンの地山が多く出現することを体験した。地山分類表1)では、岩種によるがおおむね、C II~C Iパターンは、弾性波速度は3km/sとされている。このように地山弾性波速度がトンネル切羽地山状況を反映していないことの原因について門藤ほか(1992)2)、門藤ほか(1997)3)、門藤ほか(1998a)4) 門藤ほか(1999a)6)、(1999b)7)で発表してきた。

事前調査の段階で、鋼製支保工の必要なC IIと不要なC Iの境界を明確に予測しておかないと施工の段階で事業費が当初設計より大幅に増加することとなる。

本研究は、事前調査による地山の「予測」と切羽における「実際」の相違の原因を解明し、今後のトンネル地質調査に適用することを目的として実施している。

今回は、切羽地山判定のチェックシートからみたD I、C II、C I、Bの切羽の状況について整理し、事前調査の段階でC II - C I境界を把握できないかどうかについて検討を試みた。

2. 地山判定チェックシート

図-1に、我々が作成、適用している地山判定チェックシートの例を示す。

図-1 地山判定チェックシートの例

様式1 (地山分類表に準拠)

地山	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

様式2

いずれも切羽
 状況を点数で
 評価

様式3

写真

記事 (地山判定根拠)

スケッチ

図-1 地山判定チェックシートの例

3. 点数による地山評価

地山判定チェックシートの一部（様式-2）は、切羽の状態（7要素）を4段階にわけ、良好な方から1、2、3、4点（以下、地山評価点と呼ぶ）をつけるものである。

各支保工パターンでの各要素の傾向を分析してみた。

分析対象としたトンネルは、次の4本である。

- A 全区間花崗岩 花崗岩体の中心にあるB区分主体のトンネル 延長 約1.2km
- B 全区間花崗岩 花崗岩体縁辺部CII区分主体のトンネル 延長 約1.4km
- C 花崗岩と上位のルーフペンダントのジュラ紀堆積岩トンネル 延長 約1.1km
- D 花崗岩と上位のルーフペンダントのジュラ紀堆積岩トンネル 延長 約0.8km

表-1 地山チェックシート（様式-2）

点数	1	2	3	4
A 切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押し出しを生じる	4. 鏡面は自立せず崩れあるいは流出
B 素掘面の状態	1. 自立（普請不要）	2. 時間が経つと緩み崩れ落ちする（後普請）	3. 自立困難，掘削後早期に支保する（先普請）	4. 掘削に先行して山を受けておく必要がある
C 圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 10,000 \text{ kN/m}^2$ ハンマー打撃ではね返る	2. $1,000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で碎ける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃で碎ける	4. $50 \text{ kN/m}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先が食い込む
D 風化変質	1. なし，健全	2. 岩目に沿って変色，強度やや低下	3. 全体に変色，強度相当に低下	4. 土砂状，粘土状，破碎，当初より未固結
E 割れ目の頻度	1. $1 \text{ m} > d \geq 50 \text{ cm}$ 割れ目なし	2. $70 \text{ cm} > d \geq 30 \text{ cm}$	3. $50 \text{ cm} > d \geq 10 \text{ cm}$	4. $10 \text{ cm} > d$ 破碎当初より未固結
F 割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 未固結
G 割れ目の形態	1. ランダム 方形	2. 柱状	3. 層状，片状 板状	4. 土砂状，細片状，当初より未固結

（2の項と3の項の両方に該当する場合は2.5点となる。）

各7つの要素の合計点でみた地山評価点は図-2のとおりである。

D I 18点以上 C II 15~18点

C. I 12~15点 B 12点以下となっている。

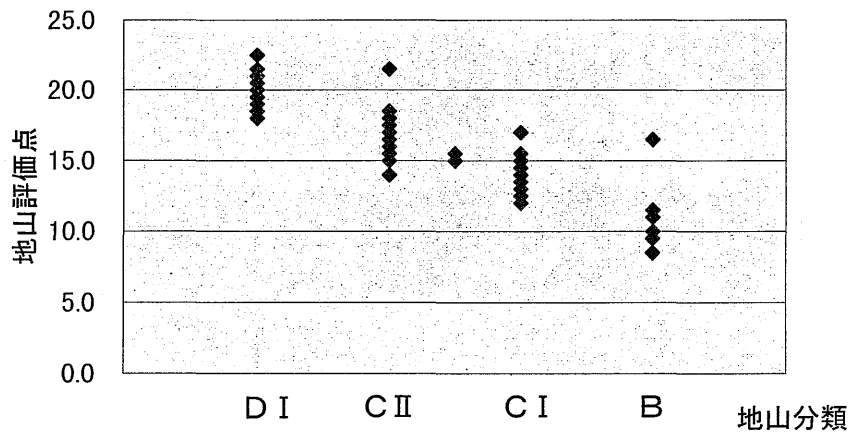


図-2 地山分類-地山評価点

「切羽の状態」、「素掘り面の状態」、「圧縮強度」、「風化・変質」、「割れ目の頻度」、「割れ目の状態」、「割れ目の形態」以上、7要素の地山区分ごとの出現状況を、図-3～図-9に示した。

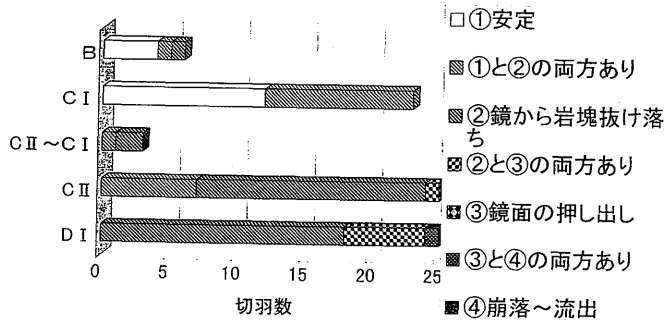


図-3 地山分類一切羽の状態

切羽の状態（安定度）では、C I が安定～一部で岩塊が抜け落ちるに対してC II では岩塊の抜け落ちの傾向が強い。

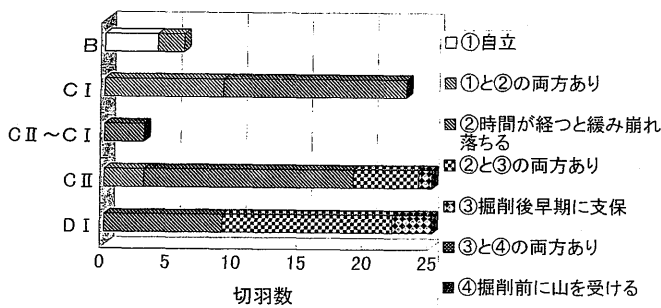


図-4 地山分類素掘り面の状態

素掘り面の状況ではC I、C IIとも概ね時間の経過とともに緩み、崩落するが

C IIがただちに支保工をいれる方がよい傾向を示している。

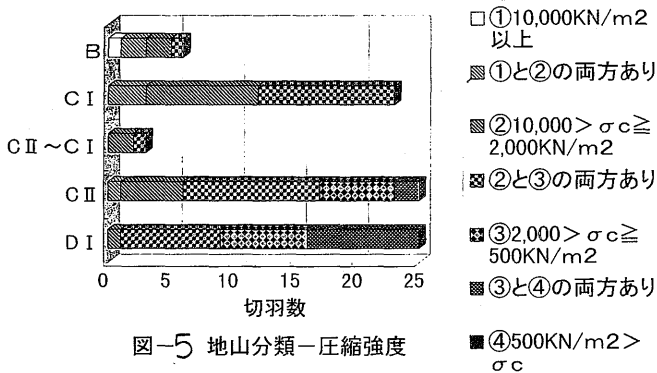


図-5 地山分類圧縮強度

岩石の圧縮強度でみるとC Iが半分以上が2,000KN/m2以上の硬岩領域を示すのに対して、C IIが2,000KN/m2以下の軟岩領域となる。

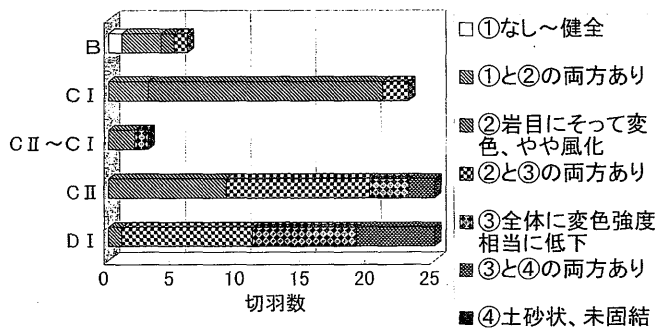


図-6 地山分類風化・変質

風化、変質では、C Iが岩目にそってやや風化程度であるのに対し、C IIは全体に変色、強度低下の認められる率が高い。

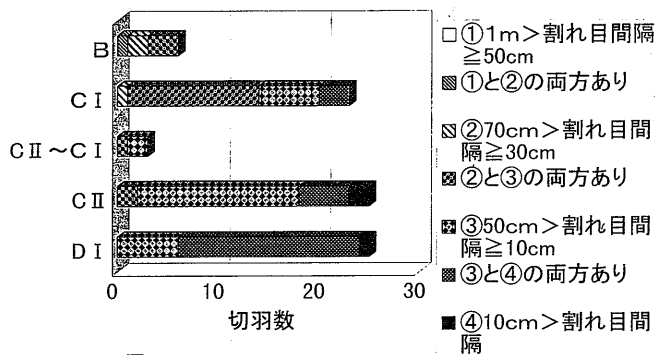


図-7 地山分類-割れ目の頻度

割れ目の頻度では、C Iは割れ目間隔 10cm以下の部分がほとんどないが、C IIでは、10cm以下の部分が3割以上をしめる。

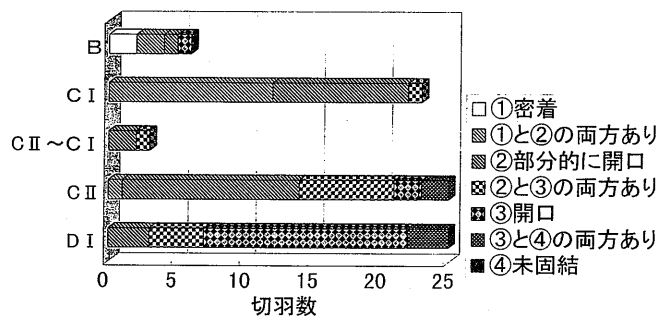


図-8 地山分類-割れ目の状態

割れ目の状態では、C Iは、密着性が強く、一部が開口であるが、C IIでは密着した割れ目はほとんどない状態となっている。

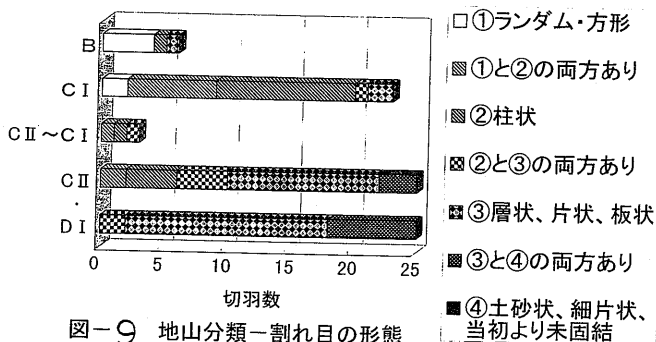


図-9 地山分類-割れ目の形態

割れ目の形態でC Iは、方形～柱状主体であるが、C IIは層状、板状主体である。

以上の点数による切羽分析結果をみると、C IIは、開口した割れ目にそって風化・変質が進行し、切羽や素掘り面が吹き付けだけでは、安定せず、鋼製支保工を必要とする地山であることがよくわかる。C IIとC Iの線引きは岩盤の割れ目の開口性、向き、強度(かみ合わせ)に関連すると考えられる。

4. C II領域の出現しやすい地形・地質条件

今回は、花崗岩主体のトンネル4箇所について切羽の要素分析を試みたが、過去に我々が切羽観察を実施したトンネルは次の12本である。

古生代緑色岩	2箇所	古生代石灰岩/緑色岩	2箇所
古生代粘板岩	1箇所	中生代粘板岩/花崗岩	2箇所
中生代粘板岩	1箇所	花崗岩	4箇所

各トンネルの延長は80m～1400m、最大土被りは30m～225mである。

C II 区間は、次のような地形・地質条件の個所で多く、出現している。

①谷筋直下

もともと、割れ目が多く風化が進行しやすく浸食に弱いため、谷筋となっていると考えられる。湧水が多くなるため、吹き付けコンクリートが硬化する前に岩塊とともに落下してくることが多い。安全上からも鋼製支保工を挿入するが多くなる。

②石灰岩を除く付加型堆積岩

粘板岩、含礫泥岩、緑色岩などの付加型堆積岩はブロックインマトリックスあるいは何枚かのスラストシートからなり、深部でも割れ目が多く、開口性の割れ目密集帯が不規則に存在している。土被りが増加しても地山条件がよくなるのが限らない。したがって「ブラインドレイヤー現象」が発生しやすい。地山弾性波速度が 4.0 km/s 以上であっても地山分類が C II パターンとなることが多い。(B、C I 区分が少なく弾性波速度の示唆する地山より 1 ランク不良である)。ただし、花崗岩体に接近すると熱水作用によるローモンタイト脈などが多く、D クラスまで地山状況が劣化する場合とホルンヘルス化して C I ~ B 区分になる例がある。(図-10 参照)

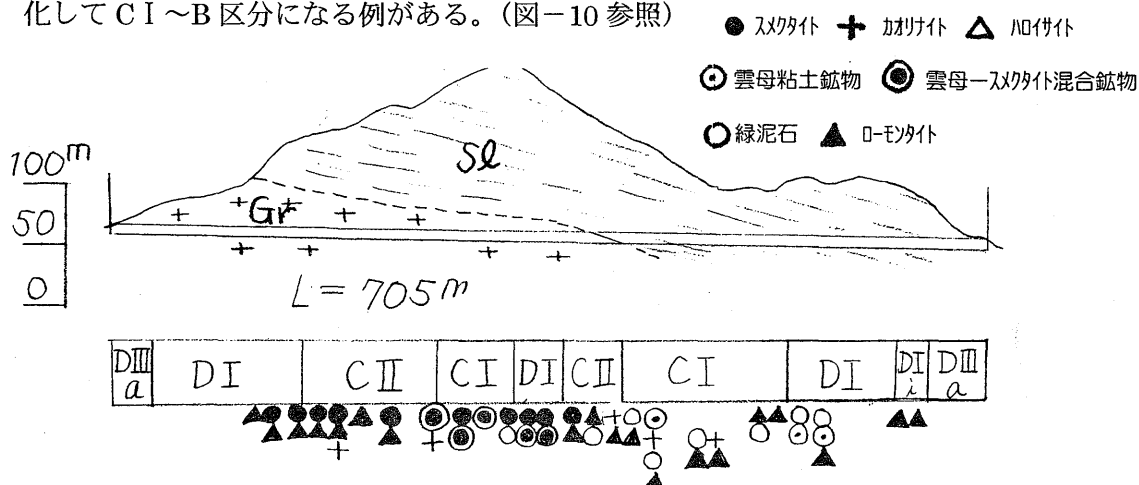


図-10 花崗岩-粘板岩トンネルの地山分類とシームの鉱物

トンネル掘削による応力開放と発破の衝撃による緩みゾーンがトンネル掘削断面の周辺数 m におよぶとおもわれる。事前調査段階では 4.5~5.0 km/s 以上あった地山速度が坑内弾性波探査結果では、トンネル底盤に厚さ 1~2 m の 0.7~1.3 km/s の速度層が解析されている例もある。3) 門藤他(1997)

③ 花崗岩体の周辺部 (ルーフペンダントの中古生代堆積岩と近接する個所など)

弾性波速度は 4.5 km/s 以下、C I ~ C II パターン主体となる。土被りが 180m 以上ないと B 区分とならない。岩盤中のシーム (粘土細脈) にスメクタイトが多く、また岩盤全体が熱水変質を受け、粘土化しているか破碎質で割れ目密集帯が多いことが認められる。(図 10 参照: 7) 門藤ほか (1999-b)

④ 5 万分の 1 地質図幅記載断層もしくは「日本の活断層」に記載されている明瞭なりニアメント

大規模な断層から 500m 以内のトンネル切羽では、ほとんどが D パターンである。したがって C II パターンも多くなる。断層沿いは谷地形となるため、土被りが少ない (60m 以内) こと、また断層のほとんどが過去の地震断層であると考えられるので、断層周辺数百 m は破碎されていると考えられる。(図-11 参照：門藤他(1998b) 5)

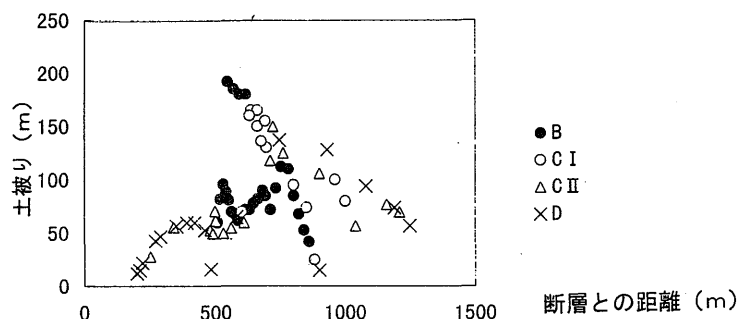


図-11 断層との距離-土被り-地山分類

5. まとめ

付加体堆積岩と花崗岩が分布するトンネル一般部の切羽状況について、整理、分析、検討を行なった。C II 主体の部分は、①谷部②付加体堆積岩の割れ目の多い個所③花崗岩体縁辺部④大規模断層に近接する個所に集中することが判明した。

このような部分は、熱水作用により、スメクタイト、ローモンタイトなどが多量に生成されており、この両者が切羽の状況を劣化させている可能性が高い。事前調査段階での切羽の地山状況予測（特に鋼製支保工を必要とする C II と必要でない C I 区分の両者の線引き）に有効であると思われる。

参考文献

- 1) 中国地方建設局・中国建設弘済会(1994)：土木工事設計マニュアル, p3-7-11～p3-7-25
- 2) 門藤正幸・常光伸照(1995)：石灰岩地帯トンネル地質調査における弾性波速度と地山区分, 日本地質学会第102年学術大会講演要旨 p318
- 3) 門藤正幸・常光伸照・曾我部 淳・前田明宏・石田繁樹・北川隆司(1997)：トンネル地質調査結果と施工時の地山状況の対比, 日本応用地質学会平成9年度研究発表会講演論文集 p153-156
- 4) 門藤正幸・常光伸照・林 和男・曾我部 淳・北川隆司(1998-a)：花崗岩トンネルの地形・地質条件と切羽状況の対比, 日本応用地質学会平成10年度研究発表会講演論文集 p173-176
- 5) 門藤正幸・常光伸照・北川隆司(1998-b)：花崗岩トンネルの切羽状況と粘土細脈の関係, 日本応用地質学会中国四国支部平成10年度研究発表会発表論文集 p29-32
- 6) 門藤正幸・林 和男(1999a)：山岳トンネル周囲の地形・地質条件と切羽状況の対比, 中国地質調査業協会広島県支部, 広島の地盤第2号 p8-11
- 7) 門藤正幸・常光伸照・曾我部 淳・鷺見 勉・北川隆司(1999b)：広島花崗岩を掘削したトンネルの地山状況と粘土鉱物の関係, 日本応用地質学会平成11年度研究発表会講演論文集