

日本鉄道建設公団札幌支社 正員 ○重松 治

藤森房司

1. まえがき

日本鉄道建設公団が北海道で建設中の紅葉山線新登川トンネルは、全長5800mのほぼ中央部に、1,300mの長さになたて蛇紋岩地帯をつらぬく事となった。そこで昭和41年より新登川トンネル上部の蛇紋岩中に試験坑を掘削した。試験坑は先づ図-1に示す断面で200mを掘進し、ついで最も地質の悪い所で分岐して図-1に示す特ノ号断面を掘削し従来の二重巻工法と新しい吹付コンクリート工法とを施工し支保工の応力を測定した結果、吹付コンクリートが膨脹性地質に対してより適した覆工であることが判明した。

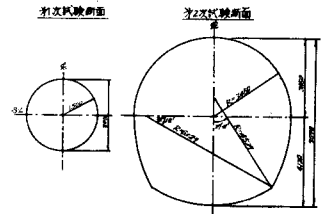


図-1

2. 試験概要

試験は図-2に示す概要で行なわれた。第1、第2ブロックとも、支保工はH150×150を1.0mピッチに挿入し掛矢板を行った。第3ブロックの吹付試験区間ではH125×125を0.8mピッチで挿入したが、ここでは矢板、フサビ等は一切使用せず築破後、地山素掘面を整形した後内梁とタイロッドのみで支保工を固定し直接地山にコンクリート吹付を行った。

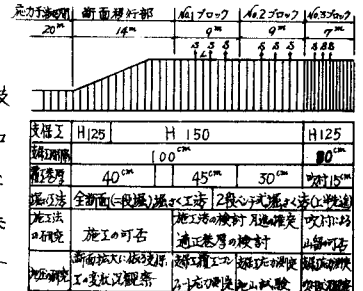


図-2

3. 蛇紋岩の特性

蛇紋岩は原岩石(かんらん岩、はんれい岩)が地殻変動の際に強圧、強せん断を受けて、その原岩の鉱物組成が破壊され変質を受けて出来たもので膨脹性と剥離性がある。本試験坑の蛇紋岩は全体としてやや粘土化した葉片状のもので、水や僅かの加圧によって変形し崩れ易い。中には大小の塊状蛇紋岩の玉石を含み、時間と共に岩質そのものが変化し亀甲状の細い亀裂が入って弱くなってゆくと共に、塊状玉石が周辺の葉片状部分から抜け出して来たり葉片状の部分もまた時間と共に坑道の内空断面を縮小する方向に押出して来る性質のもので、この押出量は葉片状蛇紋岩の箇所では掘削後約60日で70~160mmに達する。又葉片状蛇紋岩の弾性波速度は約2400 $\frac{m}{sec}$ で地山載荷試験における支持力は約90%である。

4. 施工法

掘削は2段ヤンチカット工法を行った。支保工を建込みながら上半断面を7~8m先行し、上半ストラットで上半支保工の脚部を固定した。上半の礫はベルトコンベアーで下段に落した。覆工コンクリートはブレーサーによるセミ連続方式で打設した。その後グラウトを行って背面の空隙を充填した。吹付コンクリートは20mmふるいを通過した粗骨材、細骨材、セメント、急結剤を強制混合ミキサーで混合した後トルクレット(S₂-II型)によって輸送ホース内を圧縮空気と共に高速度で輸送し、先端のノズル部分(全長50cm)で霧状に噴出する水と混合して地山に吹付けける方法で、高速度で吹付けられたコンクリートは、コンクリート自身の粘性や摩擦力によって地山に密着し、2~3分後には、ハンマーでたた

ても最早や壊れない程の強度に達する。しかし地山に吹付けられたコンクリートの一部は地山に反発されて跳返る現象が生ずる。これは配合、吹付技術、吹付圧力、吹付角度のほか地山との底の障害物(支保工、矢板等)の有無等非常に多くの要素に敏感に影響され、実際には20%の跳返りが生じた。またこの他に地山が剥離し易い葉片状から成る所では一振吹付いたコンクリートが地山と一緒に崩落した所とかまた僅かながら湧水のあった所では地山への附着が悪い所等もあったが初めに予想していたよりずっと良好な施工が出来た。

表-1 ポス配合及び圧縮強度

項目	骨材最大寸法mm	セメント量C	水量W	W/C	S/A	S	G	スラブ	空気量	急結剤	現況割	圧縮強度MPa
普通型コンクリート	40	330	155	46.7	33	655	1323	13±1	4.1		ホゾ割ス No.5	24.0
吹付コンクリート	20	290	145	50	60	930	620			16.500 11.6		11.1

図-3 吹付コンクリート施工のフローチャート

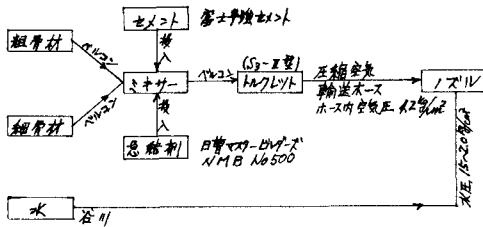


表-2 167kV吹付機

項目	S2-型
最大吹付能力MPa	4.0
粗骨材最大寸法mm	15-25
所帯空気量m³/min	8-12
エアーモーターP	3
輸送ホース径mm	40-50
送水ホース径mm	17
機械重量kg	640
最大輸送水量m³/h	500
距離m	100

5. 在来工法と吹付工法との試験結果の比較

葉片状蛇紋岩帯に於ける地圧は地山内に坑道を掘削することによって生じたせん断力に対する地山の強度不足からくる塑性的な変位に基ずく漸増性地圧である。この傾向は風化により更に地山の強度低下が促進されて地山内部に波及して行くものと考えられる。この地山の塑性的な変位は坑道の内空へ向い、これが支保工覆工に地圧となって作用してくるので支保工覆工によって素堀面の変位を防止する場合その度合によつてその後の地圧の発現は影響を受ける。この観点に立って在来工法と吹付工法との試験結果について比較してみた。

1) 軸力、弯矩モーメントの下半掘削までの増加傾向は在来工法では急激であるが、吹付工法では緩やかである。(図-5.6) (図-9.10)

2) 軸力、弯矩モーメントが平衡状態に達する時期は在来工法ではコンクリート打設までであり、吹付工法では約3週間である。(図-5.6) (図-9.10)

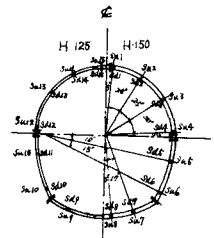


図-4 計器配置

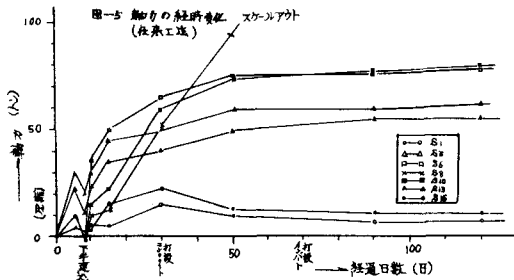


図-5 軸力の経時変化 (在来工法)

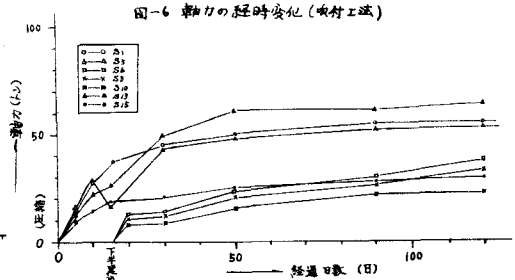


図-6 軸力の経時変化 (吹付工法)

3) 軸力の分布状況は、在来二重巻工法では局部的な分布が見られるが、吹付工法ではほぼ一様な分布を示している。(図-7, 8)

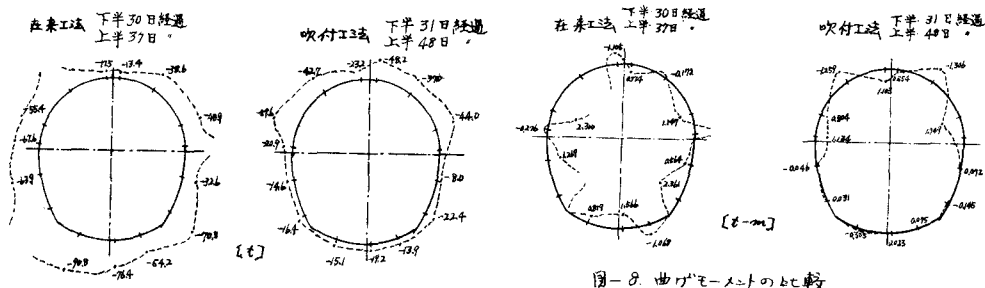


図-7. 軸力の比較

- 4) 上半軸力の最大値は、在来二重巻工法では50~60tであり、吹付工法では40~50tである。
- 5) 下半軸力の最大値は、在来二重巻工法では70~80t以上であり、吹付工法では10~20tである。
- 6) 曲げモーメントの分布状況は、在来工法では不規則であるが吹付工法では規則的である(図-9, 10)
- 7) 上半曲げモーメントの最大値は在来工法では2.5t-m以上、吹付工法では1.0~1.5t-mである。

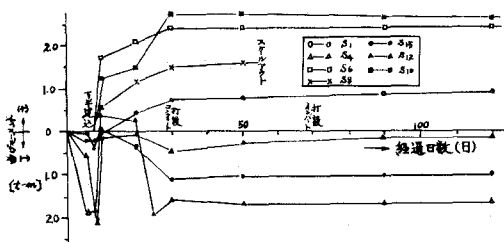


図-9. 曲げモーメントの経時変化(在来工法)

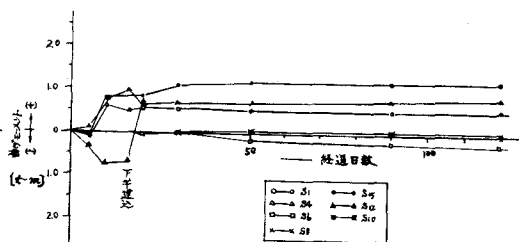


図-10. 曲げモーメントの経時変化(吹付工法)

- 8) 下半曲げモーメントの最大値は在来工法では2.5t-m以上、吹付工法では0~0.5t-mである。
- 9) 下半掘削による解放は吹付工法ではほとんどみられない。

10) 支保工の座屈は、在来工法では生じているが、吹付工法では生じていない。

- 11) 支保工の沈下が終る時期は、在来二重巻工法において下半掘削後も約1週間位にわたって進行するが吹付工法においては、上半掘削後約10日で沈下が終りしている。下半掘削によって生ずる上半支保工の沈下量は、在来二重巻工法では2~8cmあるが吹付工法では、この種の沈下は殆んどない。

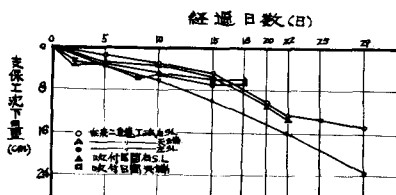


図-11 支保工の沈下量

下は殆んどない。したがって支保工の最終沈下量は前者において16~24cmに及ぶ後者においては6cm程度しか生じていない。

- 12) 覆工の変状は、在来二重巻工法区間では覆工厚45cm, 30cm いずれもコンクリート打設後4~7週間後に側壁部に亀裂が生じて来た(図-12) 吹付コンクリート区間では平均吹付厚は上半で27.2cm, 下半で22.0cmであるにもかかわらず、施工後3ヶ月を経過しても全く亀裂の発生、崩落等の変状はみられず安定している。

結局従来の二重巻工法では地圧の一部は矢板間から地山変位、支保工の沈下及び変形、矢板のため、折損等によって解放されるために、地山の塑性的変形は坑道素掘面よりかなり内部まで波及し、結局的には支保工、覆工に大きな地圧が作用することになる。吹付工法による場合の顕著な特徴は、吹付コンクリートが地山と相互作用をすることである。すなわち吹付コンクリートと地山に密着させることによって素掘面附近の地山は、殆んど未攪乱の自然状態に保たれるので、或る程度地圧を減じ、周囲の地山を自立するアーチにしてしまう。風化作用は常に掘削表面の小さな亀裂から始まる。

もしこの作用を吹付コンクリート層を用いて早期に防いで（すなわち、吹付コンクリート背面の地山は安定を保つことになり、結局的に支保工、覆工に作用してくる地圧を小さくすることが出来る。

6. 結 論

以上、膨張性地圧を示す葉片状蛇紋岩を対象に吹付コンクリートと試験施工した結果について述べたが、施工費については、現場の立地条件、掘削工法に附随して変るものであり、一概には言えないが、吹付工法を主眼とした、新しい工法を採用することによって、充分経済的にも成り立つものがあると考えられ、今後の発展が望まれる。

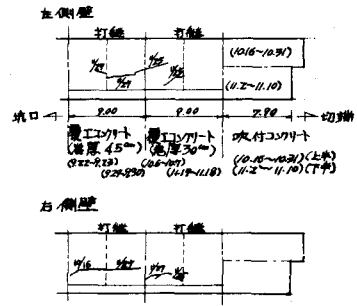


図-12