

土 木 研 究 所 資 料

第1110号

軟弱地山のトンネルにおけるロックボルトの 適用性についての実験

昭和51年3月

建 設 省 土 木 研 究 所
ト ン ネル 研 究 室

目 次

1. 実験概要	1
2. 施工性および引抜き強度に関する実験	3
2.1 実験地点の地質	3
2.2 ロックボルトの施工性	4
2.3 ロックボルトの引抜き強度	7
3. 支保効果に関する実験	9
3.1 実験方法	9
3.2 実験結果	11
4. 考 察	14
4.1 施工性および引抜き強度	14
4.2 支保効果	15
5. ま と め	16

参考文献

実験データ資料

ま え が き

この報告書は、昭和50年度道路事業調査費による試験調査「トンネルの支保工・覆工に関する試験調査」で実施した全面接着式ロックボルトに関する現場実験の結果をとりまとめたものである。

硬岩用ロックボルトに関しては、従来から多くの実験がなされ、その施工実績も豊富である。

一方、軟岩用あるいは軟弱地山用ロックボルトについては、その歴史も浅く、特に我国においては、ほとんど使われていないようである。

本実験は軟弱地山に適用できると考えられる全面接着式ロックボルトの中から四種類のものを選び出し、軟弱地山における施工性、引抜き強度についての実験を行うとともに、実験用導坑（実験坑）を掘削してSNアンカーの支保効果を確かめた。

最近注目されているNATM工法（New Austrian Tunnel Method）は、地山自体の強度を利用する、安全でしかも経済的なトンネル施工法である。

本実験の成果はこれらの合理的なトンネル施工法に貢献できるものである。

トンネル研究室

室長	今田	徹
	花岡	信一
	平江	哲

1. 実験概要

現在、多くのトンネル現場で用いられているH型鋼製支保工はかならずしも地山自体がもっている強度を有効に利用しているとはいえない。したがって地圧のきわめて大きなところにトンネルを掘削しようとする場合等は、支保工断面が非常に大きくなり、経済上および施工面で有利な工法ではない。

このような問題の中で、NATM工法は、¹⁾支保工として主にショットクリート²⁾とロックボルトを組み合わせて用いるものである。この工法は、トンネル掘削面の地山を保護し、さらにこれらの支保工が微小に変形することにより、地山中にグランドアーチを生じさせて地山自体の安定性の増加を助けてやろうとするものである。

我國においては、地質構造および岩質の複雑さ等の点で、上記のような合理的な地圧対策工法の利用には問題が残っている。例えば、硬岩と軟岩の互層している地山でのロックボルトの使用にあたって、硬岩用ロックボルトについては、理論的・実験的に研究され、その施工実績も豊富であるが、軟岩用ロックボルトについては余りよく知られていないのが実状である。このような理由から、軟岩用ロックボルトの検討が必要になってきている。

本実験は軟弱な粘板岩およびチャートの地山に、SNアンカー、パーフォーアンカー、自穿孔式スパイラルアンカー、ラム打込み式アンカーの四種類のボルト(表-1)を挿入し、それらの施工性と引抜き強度の検討を行うとともに、同じ粘板岩のところで、SNアンカーを支保工とする実験用導坑(以下、実験坑とする)を掘削し、軟弱地山でのロックボルトの支保効果に関する実験もあわせて実施した。

表-1 ロックボルトの概要

ロックボルト	アンカー型式	ボルト	ボルト構成	強度	施工概要	概略図
SNアンカー	固練りモルタル全面接着式	SNスパイラルボルト	ボルト ナット ワッシャー トバックカプセル モルタル	降伏強度 17.7 t / ϕ 24 破壊強度 25.3 t / ϕ 24 伸び 18 %	穿孔後、孔浚えを行い、G.Dフィーダーにてモルタルおよび急結剤入りガラス管（トバックカプセル）を孔中に入れ、レッグ式さく岩機等によりSNボルトを孔内におさめる。	
パーフォーアンカー	"	"	ボルト ナット ワッシャー パーフォスリーブ モルタル（急結）	"	穿孔後、孔浚えを行い、2つ割れのスリーブパイプにモルタルを詰め、孔内に挿入し、この中へボルトをさく岩機等で押し込む。このときボルトの挿入によりモルタルがスリーブから押し出され、孔壁とボルトの間げきが填充される。	
ラム打込式アンカー	セメントペースト全面接着式	先端コーン付異形ボルト	ボルト ビニールチューブ ナット 穴付ワッシャー セメントペースト バックカー	"	土砂山に直接たたき込み、ボルトに沿わしたビニールパイプを利用してセメントペーストでグラウトするもので、孔壁の自立が困難な個所で用いるものである。	
自穿孔式スパイラルアンカー	"	中空スパイラルビット付ボルト	"	降伏強度 15 t / ϕ 24 破壊強度 17 t / ϕ 24 伸び 3 %	孔壁が自立しない区間で使用するもので先端にビットをもち、スパイラルで土砂の排出を行いながら、さく岩機等で挿入をした後、ボルトの孔を利用してセメントペーストを注入するものである。	

2. 施工性および引抜き強度に関する実験

実験は、現在掘削がすすめられている新鳥居トンネル坑内の藪原側坑口から130 m地点における粘板岩および480 m地点のチャートのところで実施された。

このトンネルは建設省中部地方建設局飯田国道工事々務所が管理している国道19号線の鳥居峠の下を側壁導坑先進工法により掘削しているものである。

実験は当初、表-2の規格の四種類のロックボルトについて、粘板岩およびチャートの地山に各々2本づつの計16本のボルトを挿入し、それぞれの地山での施工の難易、施工条件、施工時間等を検討する計画であった。しかしながら、チャート地山ではボルト孔の自立が困難なため、自穿孔式スパイラルアンカーとラム打込式アンカーの二種類だけについて実施した。

表-2 実験に用いたボルトの規格

ロックボルト名	ボルト径 (mm)	ボルト長 (m)	ネジ部(上段) ネジ長(下段)	備 考
S N アンカー	24	1.5	M24 15cm	
ベ-フォーアンカー	24.36~42※	1.5	M24 15cm	※ スリーブ径
ラム打込式アンカー	22	1.5	Inch 1 15cm	
自穿孔式スパイラルアンカー	22	1.5	M24 5cm	

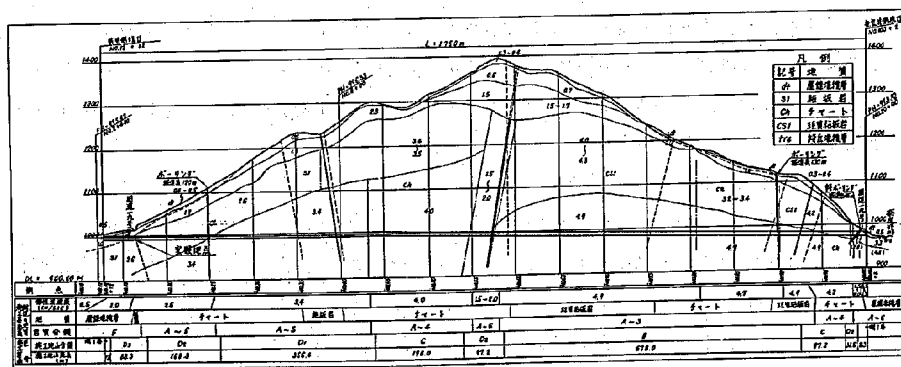


図-1 新鳥居トンネルの地質概要図

2.1 実験地点の地質

実験地点附近の粘板岩地山の弾性波速度(縦波)は、本トンネル工事に先立っての地表探査の

結果、 3.4 Km/sec であった。また工事中の坑内での測定結果は 2.6 Km/sec であった。図-1は新島居トンネルの地質概要図である。

この粘板岩はかなり風化がすすんでいて、目視によると「³⁾地山分類」のDに属するものと思われる。また、実験坑掘削時は湧水がまったくなく比較的スムーズに掘削された。

掘削後の天盤の状況は、無支保状態では節理に沿っての剝落がみられた。また、本トンネルにおけるこの地点の掘削中、支保工にかなりの地圧がかかったようである。このときの現場技術者の観察によると、H型钢製支保工を用いた工法でのこの附近の地山の安定に必要な期間は、2週間程度であった。

また、チャートについては、こなごなに破碎している状態であった。

2.2 ロックボルトの施工性

a) 粘板岩地山でのSNアンカーの施工

$\phi 36 \text{ mm}$ 、 $\ell = 1.8 \text{ m}$ のインサートビットで深さ 1.3 m 穿孔した後、G・Dフィーダ(モルタル填充機)のモルタル注入用ビニールホース(径 34 mm)が入る様にキューレンで孔浚えを行った。穿孔は水を用いないで順調に行われたが、G・Dフィーダのホースが破損していた事がトラブルとなって、モルタル填充に非常に手間取る結果となった。これは、モルタルに使用した砂が木曾川上流産のやや粗目のもので、セメント：砂=1：5の配合で、スランブを 5 cm 程度に保つと水の分離が起り易く、わずかなホースの破損箇所からも水がしぼり出されて固化し、順調にモルタル注入が出来なかったものである。

このため、モルタル配合をセメント：砂=1：1に変えて、スランブを $6 \sim 10 \text{ cm}$ に保つことにより順調に填充することが出来た。このモルタル填充にあたっては、最初、ボルト孔先約 20 cm を填充した後、急結剤入りガラス管(トバックカプセル)を孔中におし込み、再び孔中全体を填充して、レッグによりボルトを打撃挿入した。

ホースの目詰まりはホースのジョイント等によるもので、わずかな断面の変化もモルタル圧送に影響する事がわかった。

写-1はG・Dフィーダの全影である。

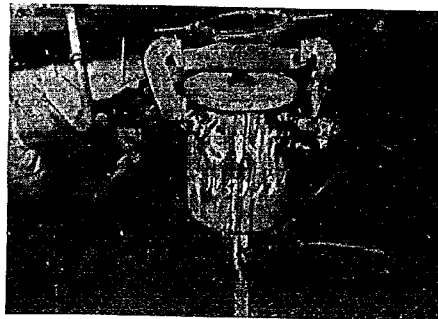
これらの作業にかかった時間を次に示す。

穿孔 第1孔 7分

第2孔 5分

挿入 G・Dフィーダのトラブルのため

4回モルタルの練りなおしを



写-1 G・Dフィーダの全影

行ったため約6時間を要した。また、モルタルが順調に送れるようになってからは、1孔あたり5分もかからなかった。

b) 粘板岩でのパーフォーアンカーの施工

φ36mm, $l=1.8$ mのインサートビットで深さ1.3mの孔を穿孔し、キューレンで孔浚えを行った。中詰め用モルタルにはSNアンカーと同じものを用いた。

説明書によれば半割りのパーフォに各々モルタルを詰めて、これらを合せたうえ孔内に挿入する様になっているが、孔径が42mmとなって入らないので、図-2のように片方に多めのモルタルを詰めてもう一方のパーフォをかぶせ、孔径を34mm程度に保って孔内に挿入した。このモルタル中にSNアンカー用ボルトをレッグによって打撃挿入した。また、パーフォーアンカーには急結剤は使用しなかった。

これらの作業にかかった時間は次のようである。

穿孔	第1孔	4分
	第2孔	8分
挿入	第1孔	20分
	第2孔	20分

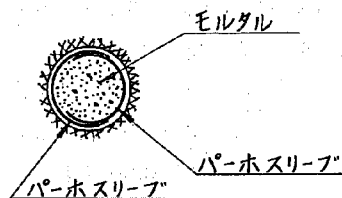


図-2 パーフォーアンカーのモルタル填充図

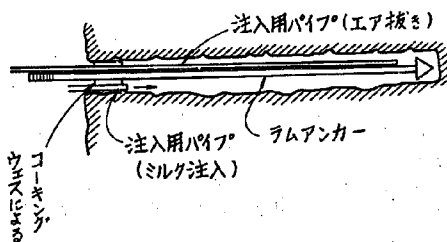
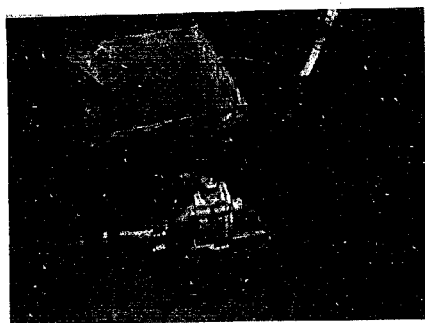


図-3 ラム打込みアンカーの挿入図



写-2 セメントミルク注入用ポンプ

c) 粘板岩でのラム打込み式アンカーの施工

このアンカーは砂質土にたたき込み、セメントミルクで固定する型式のものである。しかし

粘板岩では直接たたき込むことはできないので、 $\phi 36\text{ mm}$ 、 $\ell = 1.8\text{ m}$ のインサートビットで穿孔した後、図-3のように注入用ビニールホースを取付けたラムアンカーを挿入した。次に、孔口をウエスでコーキングしてビニールホースから写-2に示す手押ポンプでセメントミルクを注入した。このとき、孔壁の崩壊がなかったためアンカー打設作業は支障なく行えた。アンカー固定用のセメントミルクはベロセメントを用い、水セメント比60%の配合で急結剤としてシーカM4Aを1.7%添加した。

これらの作業に用いた時間を下に示す。

穿孔	第1孔	6分
	第2孔	4分
挿入	第1孔	15分
	第2孔	15分

d) チャートにおけるラム打込みアンカーの施工

$\phi 36\text{ mm}$ 、 $\ell = 1.8\text{ m}$ のインサートビットにより1.3m穿孔したが、穿孔中から孔壁は自立せず、ロッド引抜きとともに孔がくずれる状態であった。ロッドを抜いたあとラムアンカーをレッグで打込んだが、アンカーに沿わした注入用ビニールホースの折曲りがあり、十分にセメントミルクが注入できない孔がみられた。

作業時間は次のとおりである。

穿孔	第1孔	5分
	第2孔	3分
挿入	第1孔	10分
	第2孔	8分

e) 粘板岩での自穿孔式スパイラルアンカーの施工

ビット径38mm、リブ高さ4.5mm、スパイラルピッチ130mmの中空スパイラルロッドで穿孔し、ボルトとして、このロッドを残した後、孔口をウエスでコーキングして、孔口に近いパイプからセメントミルクを注入し、ロッド頭端の水孔からセメントミルクが出るまで、写-2に示す手押しポンプで注入を行なった。このとき用いたセメントミルクはラム打込み式アンカーのものと同様である。

下記は、このときの作業時間である。

穿孔	第1孔	5分
	第2孔	6分
グラウト	第1孔	5分
	第2孔	3分

f) チャートにおける自穿孔式スパイラルアンカーの施工

粘板岩でのものと同様のアンカーであり、これによる穿孔のさい、孔壁がくずれたため孔口から注入したセメントミルクがスパイラルロッド先端に到達せず、十分な注入を行うことが出来なかった。

地山はこなごなに破碎したチャートであるため、孔口をウエスで十分に填充しても注入の圧力を上げると周辺を破ってセメントミルクが漏出する状態であった。このときの1~2ℓ/分のわずかな湧水もセメントミルクの注入に悪影響となった。

作業に用いた時間は次のとおりである。

穿孔	第1孔	15分
	第2孔	20分
挿入	第1孔	10分
	第2孔	7分

2.3 引抜き試験

引抜き試験はロックボルトの施工効果判断するうえで、もっとも基本的な試験である。

試験は図-4に示す要領で行われた。

この試験に用いた主な器具を次に示す。

ジャッキ 理研 R-21型

センターホール型 30 t 用

ジャッキラム

受圧面積

シリンダー面積 5.43 cm²

センターホール径 36 mm

ストローク 64 mm

ダイヤルゲージ 2 箇

24時間強度を載荷ピッチ1 t、変位の読み時間3分のテンポで引抜きを行った。写-3は引抜き試験の様子である。

図-5は、粘板岩およびチャート地山での引抜き試験の結果を、横軸に変位、縦軸に引抜き力をとってプロットしたも

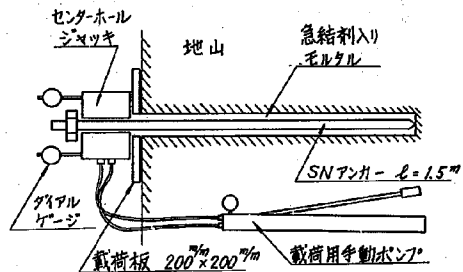


図-4 引抜き試験の概略図



写-3 引抜き試験の状況

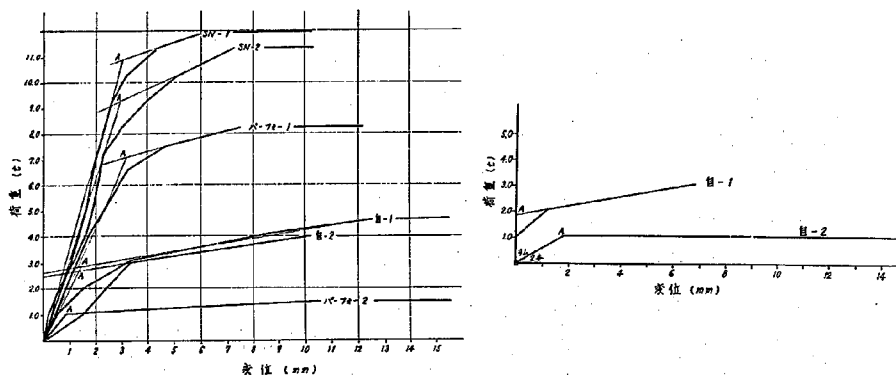


図-5 引抜き試験の「荷重-変位」図

のである。

図中の曲線は一般的に2つの比例領域をもっている。これら2つの比例領域の延直線の交点、すなわち図中のA点にあたることをボルトの引抜き強度とみなすと、各ボルトの粘板岩およびチャートでの引抜き強度は表-3、4のとおりとなる。

表-3の標準偏差から母集団の標準偏差を推定し、各ボルトの引抜き強度を、信頼水準68.3%、および90%で区間推定した結果を表-5に示す。

表-3 ボルトの引抜き強度

(粘板岩地山)

引抜き強度(t)	引抜き強度(t)		平均(t)	標準偏差
	第1孔	第2孔		
ロックボルト				
S N ア ン カ ー	10.8	9.2	10.0	1.1
パ ー フ ェ ー ア ン カ ー	7.0	<1.0	<4.0	4.2
自穿孔式スパイラルアンカー	2.8	<1.0	<1.9	1.3
ラム打込式アンカー	<1.0	<1.0	<1.0	0.0

表-4 ボルトの引抜き強度

(チャート地山)

引抜き強度(t) ロックボルト	引抜き強度(t)		平均(t)	標準偏差
	第1孔	第2孔		
S N アンカー	—	—	—	—
パーフォーアンカー	—	—	—	—
自穿孔式スパイラルアンカー	1.9	1.0	1.5	0.57
ラム打込式アンカー	0.0	0.0	0.0	0.00

表-5 ボルトの母集団引抜き強度

(粘板岩地山)

引抜き強度(t) ロックボルト	標準偏差	平均値	信頼区間	
			68.3 (%)	90 (%)
S N アンカー	2.0	10.0	8.0~12.0	0~22.2
パーフォーアンカー	7.4	<4.0	3.4~11.4	0~16.17
自穿孔式スパイラルアンカー	2.3	<1.9	0.0~4.2	0~5.7
ラム打込式アンカー	0.0	<1.0	<1.0	<1.0

3. 支保効果に関する実験

3.1 実験方法

前述の粘板岩の地点において、本トンネルの上半アーチ基部（アーチコンクリートは施工済み）から、本トンネルに直角に図-6に示す実験坑を掘削した。掘削後ただちにロックボルトによる

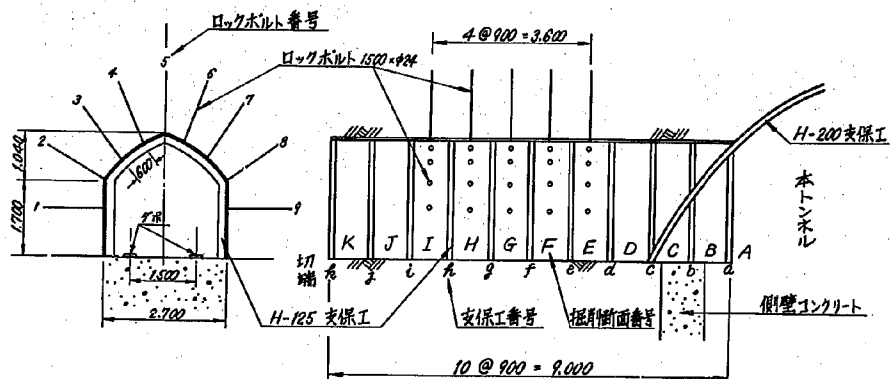


図-6 実験坑の概略図

支保工を行って、ボルトの変形と実験坑の断面形状の変化を測定した。以下にこのときの実験手順を詳述する。

- i) 本トンネルの上半アーチコンクリートの左側基部に実験坑低盤のレベルを一致させて、実験坑坑口の取り付けを3日間で行った。取り付け終了後ただちに普通発破工法にて掘削に取りかかり、3日間掘削を完了した。このときの掘削にあたり、掘削工事と実験作業の安全性を考慮して、支保工にH-125×125の鋼製支保工(90cm間隔)と木製矢板を用いた。
- ii) 実験坑掘削後、一日の準備期間をおいてただちにロックボルトの施工にとりかかった。用いたロックボルトはすべて、施工性および引抜き試験のときと同じ規格のSNアンカーであり、1断面あたり9本で図-6のとおり5断面に挿入した。また、ボルトの設置間隔は、実験坑横断方向に60cm、軸方向に90cmで、ボルト1本当たりの地山支保面積は5400cm²であった。

ボルトは、図-6の断面EFGHIの順に施工された。

このときの施工要領は、第2節に準じた。

- iii) ロックボルト打込み後、木製矢板と鋼製タイプレートにより地肌おさえを行った。写-4は地肌おさえの状況である。

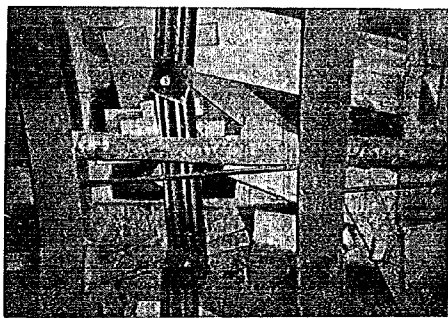
ロックボルト施工およびこの地肌おさえに4日間を要した。

矢板による地肌おさえ作業のさいの一時期、地山は開放されたものの、掘削開始以後地山はH型鋼製支保工により支保されていた。

- iv) ロックボルト施工区間の地山を支えていたH型鋼製支保工を、ガス切断とジャッキにより20cm下げることににより、この区間の支保をH型鋼製支保工からロックボルト支保工に切替えた。

このときの支保工下げは、図-6中i, h, g, f, e, dの順に行った。

写-5は、支保工降しの状況である。



写-4 地肌おさえの状況



写-5 ジャッキを用いた支保工の下げ状況

3.2 測定方法

ロックボルトがトンネルの支保として地山の安定に寄与しているかどうかを検討する目的で、挿入したボルトのひずみおよびトンネル断面の変形を測定した。これらの測定の期間としては、ロックボルトによる支保直前と、支保後1, 3, 6, 12, 24 時間目、その後は8日目までは1回/日、14日目までは1回/2日、さらに25日目以降は1回/週の測定を実施し、最終的には80日目まで行うことになっている。ただし、本報告書の記載は、都合で46日目までのデータによるものである。

a) ボルトのひずみ測定

ボルトに生じるひずみ計測用に、図-6のF, Hの2断面に挿入したボルトのうち、№1, 3, 5, 7, 9の計10本のロックボルトに図-7に示すとおり、ボルト腹に $5 \times 10 \text{ mm}$ の溝を削り、2箇所にストレインゲージを貼り付けた。図-8はこれらのゲージの番号を示している。そしてボルト挿入時のゲージの保護のために溝を樹脂でカバーした。写-6はボルトのひずみ測定状況である。

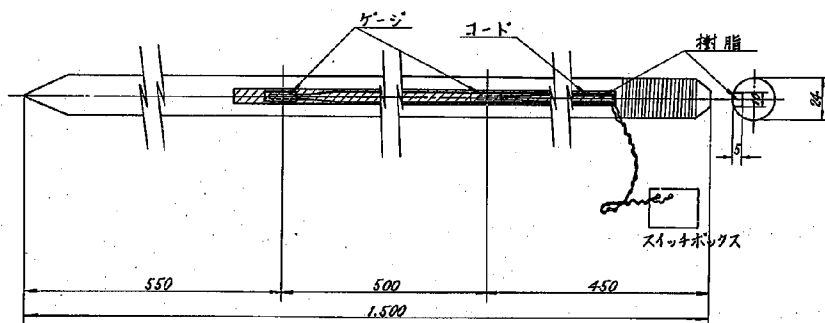
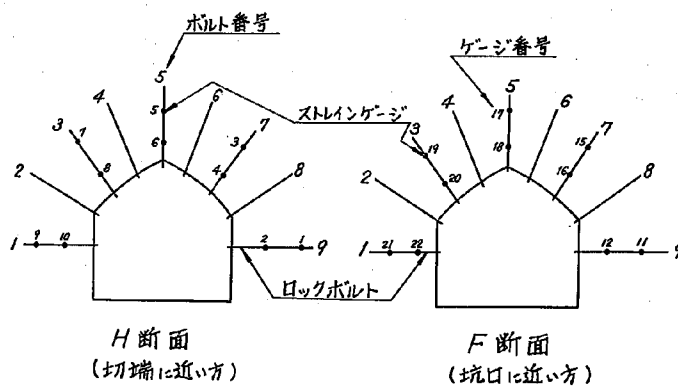


図-7 ひずみ計測用ロックボルト



図中のNo.8ゲージは不良であった

図-8 ストレインゲージの位置



写-6 ボルトのひずみ測定方法

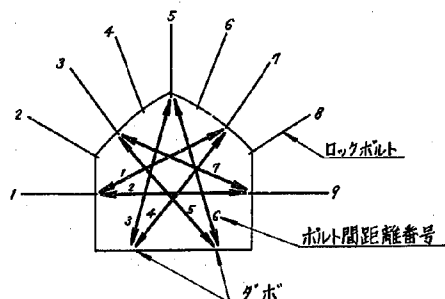
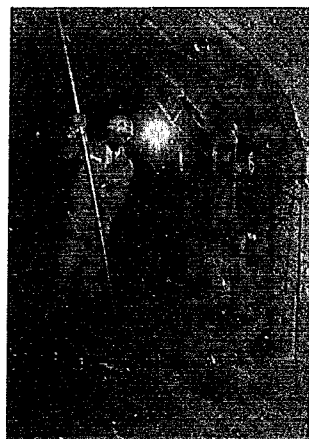


図-9 断面形状の測定箇所

b) 断面変形の測定

ロックボルトにより支保されている区間の5断面に、図-6の左図に示すように二列のダボ10基を設置し、図9のとおり、各ボルトの頭部とダボの相互間距離をパーニアスケールにて測定した。また、No.1, 5, 9のボルト頭と2列のダボの変位を知るために、測量用レベルでレベルを測定した。このとき、鋼製支保区間の変位との比較の意味で、坑口より2基目(図-6中No.6の支保工)の支保工の天端のレベルもあわせて測定した。写-7は、このときの測定の模様である。



写-7 パーニアスケールによるトンネル断面変形の測定状況

3.3 測定結果

図-10, 11は、断面H, Fにおけるボルトのひずみの時間変化を表わしたものである。図の横軸は、測定時期の日数の平方根をとった。また縦軸については、正方向が引張りひずみを、負

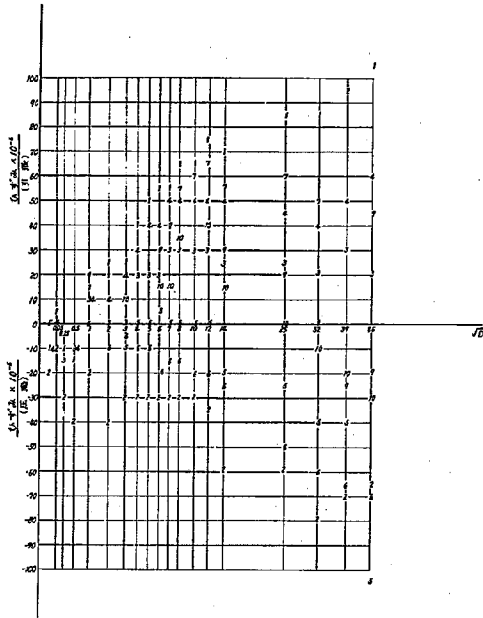


図-10 H断面のひずみ変化

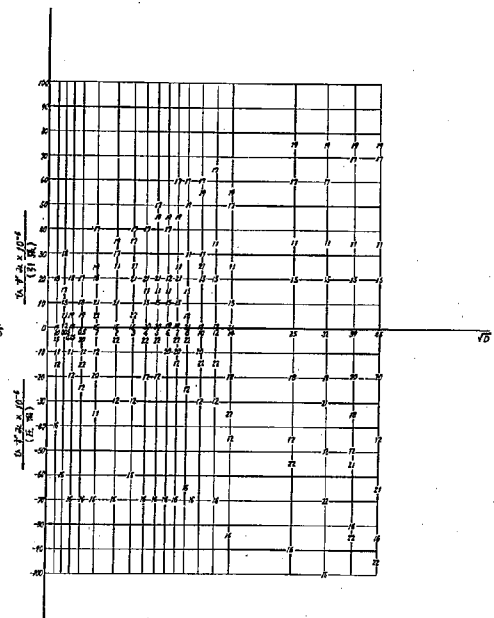


図-11 F断面のひずみ変化

方向が圧縮ひずみを表わしている。

表-6は、これらのひずみ測定の結果から、46日目におけるボルトの応力を計算したものを示している。

また、図-12は、ロックボルト支保区間とH型鋼製支保区間の時系列的な天端の下がり変位を測定した結果をプロットしたものである。図の横軸は、ひずみの場合と同様である。また縦軸は、変位を示している。

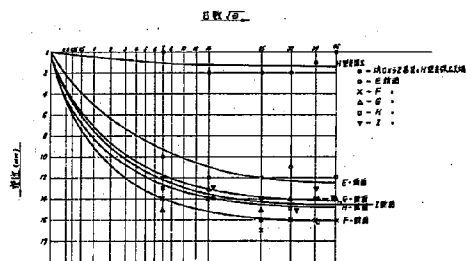


図-12 天井部下がり変位

表-6 ロックボルトの応力

ストレイン ゲージ番号	ボルト断面積 (cm^2)	ヤング率 (kg/cm^2)	ひずみ $\times 10^{-6}$	応力 (kg/cm^2)	力 (kg)
1	4,174	2.1×10^6	105	220.5	920.4
2	"	"	-65	-136.5	-569.8
3	"	"	20	42.0	175.3
4	"	"	60	126.0	525.9

ストレイン ゲージ番号	ボルト断面積 (cm^2)	ヤング率 (kg/cm^2)	ひずみ $\times 10^{-6}$	応力 (kg/cm^2)	力 (kg)
5	4.174	2.1×10^6	-105	-220.5	-920.4
6	"	"	-70	-147.0	-613.6
7	"	"	45	94.5	394.4
8	"	"	-20	-42.0	-175.3
9	"	"	-30	-63.0	-263.0
11	"	"	35	73.5	306.8
12	"	"	-45	-94.5	-394.4
15	"	"	20	42.0	175.3
16	"	"	-85	-178.5	-745.1
17	"	"	70	147.0	613.6
18	"	"	-45	-94.5	-394.4
19	"	"	75	157.5	657.4
20	"	"	-20	-42.0	-175.3
21	"	"	-65	-136.5	-569.8
22	"	"	-95	-199.5	-832.7

注 表中-は圧縮を示す。

4. 考察

4.1 施工性および引抜き強度

S Nアンカーの施工性の良否は、モルタル填充の調子にかかっている。モルタル填充にあたってのホース内のモルタルの流動性は、モルタル配合と骨材に影響されるようである。また、余り流動性を考えすぎて、スランブを大きく取り過ぎると、上向の孔への填充がうまくいかないばかりか、モルタル自体の強度も上がらないと考えられる。本実験に用いた砂のような比較的粗いもの（最大寸法 5 mm）では砂セメント比が 1，スランブ 6～10 cm 程度がよいようである。

今後、水セメント比、砂セメント比、骨材粒度、骨材最大寸法等によるモルタルの流動性と強度について検討する必要がある。

また、S Nアンカーの引抜き強度については、本実験が行われたような悪い粘板岩地山についても、ボルト孔の自立が得られるようなところにおいては、68.3 %の信頼水準で 8.0～12.0 t の引抜き強度があった。

パーフォーアンカーについては、上記粘板岩地山で引抜き強度が 68.3 % の信頼水準で 3.4～11.4 t とバラツキが大きく、信頼性に劣るようである。これは、ボルト孔のジグザグ等によるパーフォーとボルト孔の間げきの過大により、スリーブから出たモルタルがボルト孔に十分填充しなかった結果、ボルト孔壁との付着力が得られなかったものと考えられる。今後、ボルト孔の穿孔、パーフォーとボルト孔の間げき等の管理について、考慮する必要がある。

自穿孔式スパイラルアンカーは、地質の変化に影響されずに施工できる。しかし、引抜強度が粘板岩地山で、信頼水準 68.3 % で 0.0 ~ 4.2 t と低い。また、チャート地山においても、平均 1.5 t と低い。この理由として填充材のセメントペーストの強度に問題があると思われるので、流動性がよく、しかも強度の高いペーストを開発する必要がある。

ラム打込み式アンカーは、砂地盤用に開発されたものであることから、今回の実験での粘板岩およびチャートには適さなかったようである。

4.2 支 保 効 果

図-10, 11 から、挿入されたロックボルトの周辺の地山の応力分布状態がわかる。この応力分布状態には以下に示すパターンがある。

- a) ボルトに接している地山全域が圧縮状態にある。(H断面のNo.5 ボルト附近の地山)
- b) ボルトに接している地山全域が引張状態にある。(H断面のNo.7 ボルト附近の地山)
- c) ボルト先端側に接している地山が引張状態にあり、ボルトの頭部側に接している地山が圧縮状態にある。(F断面No.9, 7, 5, 3 ボルト附近の地山)
- d) 上記のパターンが時間的に変化する状態。(H断面のNo.1 およびF断面のNo.1 ボルト附近の地山)

上記パターンのうち a) は、少なくとも、ボルト挿入域では地山のゆるみがない場合のものと考えられる。b) は、ボルト挿入域の地山のゆるみに、ボルトが低抗しているものと考えられる。このような状態の地山にボルトの挿入がない場合、ゆるみがすすみついには破壊にいたるであろう。

c) のパターンは、ボルト先端部がゆるみ領域より深部の地山に挿入されていて、トンネル掘削面附近の地山のゆるみきょ動に對し、ボルトが低抗しているものである。

d) は、地山の応力状態が刻々に変化していることを表わしている。この場合の変化の方向をみきわめて、上記パターンから類推すると、ボルトが有効に作用する方向にあるか否かが判断できるはずである。

図-12 によると、H型鋼製支保工により支えられている区間の下がり変位がほとんどないのに比べて、ロックボルト支保区間においては、支保開始後 7 日目で、変位が 9 mm ~ 15 mm、32 日目頃には安定して 11 mm ~ 16 mm となり、それ以後は変位が止まっている。これらのことから、H型鋼製支保工は、変位をゆるさずに地山を支保するのに對して、ロックボルトは、地山の変位をある程度生じさせて支保することがわかる。

表-6 によると、46 日目のボルト載荷重は 1 t 以下で、実験に用いたボルトの降伏強度 17.7 t、破壊強度 25.3 t を考えると、十分な余量をもっている。

また同表から、ボルト応力は 200 Kg/cm² 前後であるので、ボルトの許容降伏応力を安全率 3 倍にとり 1304 Kg/cm² であるから、本実験坑に用いるボルトは、径 4.7 mm のボルトで間に合うこ

とになる。

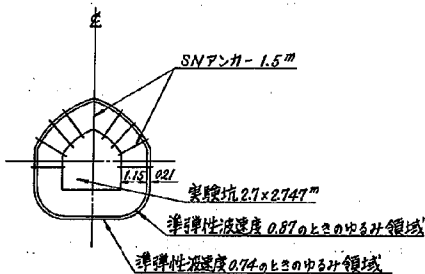


図-13 池田式によるゆるみ領域

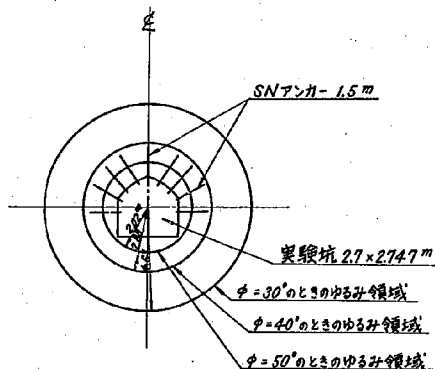


図-14 側圧の大きい地山でのゆるみ領域

4) 本実験坑の場合のゆるみ領域を、池田氏の式および側圧の大きいトンネルでのゆるみ領域の式の二式により概算すると図-13, 14 のようになる。

5) 実験に用いたボルトの長さは施工の難易により決定したが、これら二つの概算によっても、ほぼ妥当な値である。

5. ま と め

実験に用いた SN アンカーは、軟弱な粘板岩地山においても 10 t 前後の引抜き強度をもち、また、バラツキも小さく信頼性も高い。さらに、施工性については多少解決しなければならない事項が残っているものの、実用化にあたって、大きな問題ではない。

また、この SN アンカーを使った支保効果の実験結果から、軟弱地山での実用化が見込まれる。

本実験結果は、小断面の導坑でのものであるため、今後大断面のトンネルにおける実用化試験を実施する必要がある。

参 考 文 献

- (1) Recent Development of New Austrian Tunneling Method By Kerbert
Nvssbanm Journal of the Construction Division July 1973
- (2) 吹付け工法の概説的検討 伊藤 弘, 大西多一他, コンストラクション S 7.4
Large Aggrigate shotcrete challanges steel ribs as a tunnel support
Sutcliffe, H. Mc Clure, Civil Engineering Nov 1969

(3) 道路トンネル便覧 社団法人 日本道路協会発刊

(4) トンネル掘削に伴うゆるみ層厚または塑性範囲の推定 鉄道技術研究報告 1974年12月
池田和彦他3人

(5) Statik des Tunnel- und Stollenbaues H.Kastner 訳 金原 弘 森北出版

—トンネル工事の概要—

1. 路線名 一般国道19号
2. 工事区間 自 長野県木曾郡木祖村藪原
至 長野県木曾郡檜川村奈良井
3. 工事名 (藪原側) 鳥居トンネル新設その1工事
(奈良井側) 鳥居トンネル新設その2工事

4. 工事延長 $2,995\text{ m}$

藪原側	1,075 m
奈良井側	1,920 m

5. 工事内容

トンネル部

延長 $1,750\text{ m}$

藪原側	832 m
奈良井側	927 m

掘削方式 底設導坑先進工法及び側壁導坑進工法

鋼アーチ支保工 約 1,650 基

掘削土量 約 $143,000\text{ m}^3$

覆工コンクリート量 約 $33,400\text{ m}^3$

路床面まで完成

取付道路部

延長 $1,245\text{ m}$

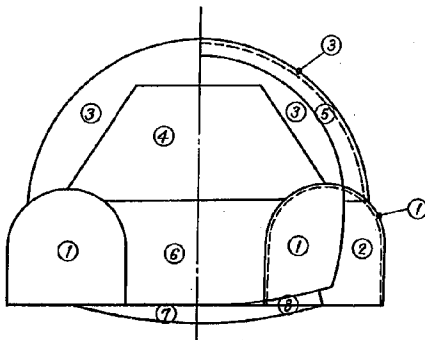
藪原側	252 m
奈良井側	993 m

奈良井橋(延長 25.5 m , 別途工事)を除き, 概成

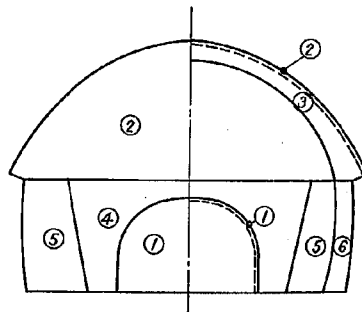
6. 工事費 約 25 億円

7. 工期 自 昭和50年2月13日
至 昭和52年3月15日

●側壁導坑先進工法



●底設導坑先進工法



上部半断面 粘板岩破碎帯

1) 自穿孔アンカー (その1.)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	600	1,500	0.0
20	1.028	621	1,575	48.0
40	2.056	779	1,635	157.0
60	3.084	972	1,795	333.0
80	4.112	1,520	2,290	855.0
90	4.626	1,850	2,750	1,250.0
100	5.140	2,250	3,010	1,580.0

最大荷重 5.14 ton

変 位 15.8 m/m

2) 自穿孔アンカー (その2)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	1,815	1,238	0.0
20	1.028	1,995	1,352	147.0
40	2.056	2,140	1,382	234.5
60	3.084	2,245	1,476	334.0
80	4.112	2,997	2,100	1,022.0

最大荷重 4.11 ton

変 位 10.22 m/m

3) パーホスリーブアンカー (その1)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	550	762	0.0
20	1.028	544	848	40.0
40	2.056	544	929	80.5
60	3.084	580	990	129.0
80	4.112	622	1,035	172.5
100	5.140	690	1,100	239.0
120	6.618	765	1,180	316.5
140	7.513	910	1,340	469.5
160	8.224	1,192	1,618	749.0

最大荷重 8.22 ton

変 位 7.49 m/m

4) パーホスリーブアンカー (その2)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	325	585	0.0
20	1.028	438	635	81.5
30	1.542	1,495	1,545	1,065.0

最大荷重 1.54 ton

変 位 10.65 m/m

5) ラムアンカー (その1)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	900	300	0.0
20	1.028	919	366	42.5
21	1.079	2,328	1,788	1,458.0

最大荷重 1.08 ton

変 位 14.6 m/m

6) ラムアンカー (その2)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	1,600	1,500	0.0
20	1.028	1,150	1,570	190.0
21	1.079	3,085	3,495	1,740.0

最大荷重 1.08 ton

変 位 17.4 m/m

7) SNアンカー (その1)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	178	435	0.0
20	1.028	229	440	28.0
40	2.056	342	305	17.0
60	3.084	454	358	104.5
80	4.112	545	340	136.0
100	5.140	610	1,792	163.5
120	6.168	680	1,810	196.0
140	7.196	765	1,836	236.0

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100}m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100}m/m$	変 位 $\frac{1}{100}m/m$
160	8.224	812 1,867	328 66	263.5
180	9.252	855 1,910	380 99	316.0
200	10.280	1,984	143	375.0
220	11.308	2,131	233	493.5
230	11.820	2,234	397	627.0

載荷板が $20 \times 20 \text{ cm}$ であり 11 ton の荷重で 6 cm 以上貫入し載荷不能となった。

($11,820 \text{ kg} / 400 = 30 \text{ kg/cm}^2 / 6 \text{ cm}$)

8) SN アンカー (その2)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100}m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100}m/m$	変 位 $\frac{1}{100}m/m$
0	0	581	2,425	0.0
20	1.028	610	2,425	14.5
40	2.056	646	2,473	56.5
60	3.084	717	2,520	115.5
80	4.112	800	2,535	164.5
100	5.140	850 211	2,537 1,085	190.5
120	6.168	222	1,105	206.0
140	7.196	248	1,125	229.0
160	8.224	349	1,175	303.5
180	9.252	470	1,244	399.5
200	10.280	610	1,340	517.5
220	11.308	841	1,525	725.5

最大荷重 11.31 ton

変 位 7.26 m/m

側壁導坑切羽 チャート破砕帯

1) 自穿孔スパイラルアンカー (その1)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100}m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100}m/m$	変 位 $\frac{1}{100}m/m$
0	0	3,071	1,703	0.0
20	1.028	3,055	1,715	-2.0
40	2.056	3,110	1,900	118.0
50	3.084	3,588	2,560	687.0

最大荷重 3.08 ton

変 位 6.9 m/m

2) 自穿孔スパイラルアンカー (その 2)

ゲージ読み	荷 重 トン	ダイヤルゲージ読み (左) $\frac{1}{100} m/m$	ダイヤルゲージ読み (右) $\frac{1}{100} m/m$	変 位 $\frac{1}{100} m/m$
0	0	1, 139	850	0
20	1. 028	1, 341	1, 010	181
20		2, 526	2, 403	1, 470

最大荷重 2. 53 ton

変 位 14. 7 m/m

3) ラム打込みアンカー (その 1)

引抜開始と同時に抜け始めセメントミルクによる固定が行われていない。

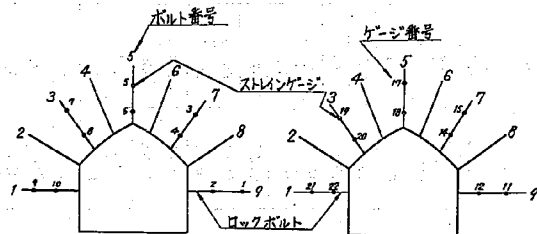
4) ラム打込みアンカー (その 2)

孔壁の崩壊した部分に打込んだため、ネジの部分が破損し引抜テストを行わなかった。

ロックボルトのひずみ測定結果

単位 $\times 10^{-6}$

支保期間 (日) ストレーン ゲージ番号	0	1 (hour)	3 (hour)	6 (hour)	12 (hour)	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	25	32	39	46
1	2,615	2,605	2,620	2,605	2,600	2,630	2,640	2,640	2,655	2,665	2,670	2,670	2,680	2,680	2,690	2,685	2,700	2,700	2,710	2,720
2	1,380	1,360	1,370	1,350	1,340	1,360	1,340	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,345	1,320	1,320	1,310	1,315
3	1,480	1,470	1,485	1,465	1,470	1,490	1,480	1,480	1,500	1,500	1,500	1,510	1,510	1,510	1,510	1,500	1,505	1,500	1,510	1,500
4	2,460	2,450	2,460	2,450	2,450	2,470	2,470	2,480	2,490	2,500	2,500	2,510	2,510	2,510	2,510	2,510	2,500	2,500	2,510	2,520
5	2,430	2,430	2,435	2,420	2,415	2,440	2,430	2,420	2,430	2,430	2,435	2,430	2,430	2,430	2,430	2,410	2,405	2,390	2,390	2,325
6	940	930	945	930	925	940	930	935	930	930	920	925	925	920	920	915	890	880	875	870
7	2,760	2,750	2,765	2,750	2,750	2,770	2,780	2,780	2,790	2,800	2,800	2,810	2,815	2,820	2,825	2,815	2,820	2,810	2,810	2,805
9	1,340	1,330	1,345	1,325	1,325	1,360	1,360	1,365	1,370	1,380	1,370	1,380	1,390	1,390	1,390	1,370	1,360	1,340	1,315	1,320
10	1,600	1,590	1,600	1,585	1,585	1,600	1,600	1,610	1,620	1,620	1,615	1,615	1,635	1,630	1,640	1,615	1,600	1,590	1,580	1,570
11	1,485	1,475	1,490	1,475	1,475	1,450	1,510	1,510	1,500	1,500	1,500	1,510	1,515	1,515	1,520	1,510	1,520	1,520	1,520	1,520
12	1,450	1,435	1,450	1,430	1,425	1,440	1,420	1,420	1,430	1,430	1,470	1,435	1,425	1,420	1,420	1,405	1,405	1,400	1,400	1,405
15	1,530	1,525	1,540	1,520	1,520	1,530	1,530	1,530	1,540	1,540	1,540	1,540	1,545	1,550	1,550	1,540	1,550	1,550	1,550	1,550
16	600	560	540	530	530	530	530	540	530	530	530	530	535	530	530	515	510	500	520	515
17	2,030	2,030	2,045	2,030	2,050	2,070	2,060	2,070	2,070	2,060	2,070	2,090	2,090	2,090	2,095	2,080	2,090	2,090	2,100	2,100
18	980	1,000	1,010	1,000	990	1,000	980	980	990	990	980	980	985	980	980	960	960	960	945	935
19	2,055	2,055	2,070	2,060	2,060	2,080	2,090	2,090	2,095	2,100	2,100	2,100	2,105	2,110	2,120	2,110	2,130	2,130	2,130	2,130
20	1,730	1,730	1,740	1,725	1,725	1,790	1,730	1,730	1,730	1,730	1,720	1,720	1,730	1,720	1,730	1,710	1,710	1,710	1,710	1,710
21	1,390	1,380	1,390	1,380	1,380	1,400	1,400	1,410	1,410	1,410	1,410	1,410	1,420	1,415	1,410	1,390	1,370	1,360	1,335	1,325
22	905	900	905	895	890	910	900	910	900	900	895	900	900	890	890	870	850	835	820	810

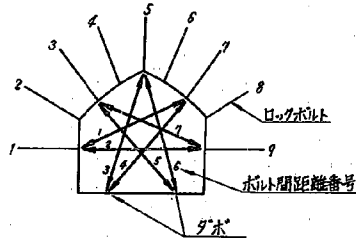


H断面
(切端に近い方)

F断面
(坑口に近い方)

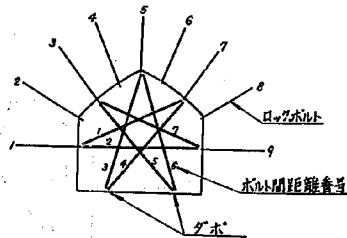
図中のNo.8ゲージは不良であった

パーニアスケールによるトンネル断面の測定



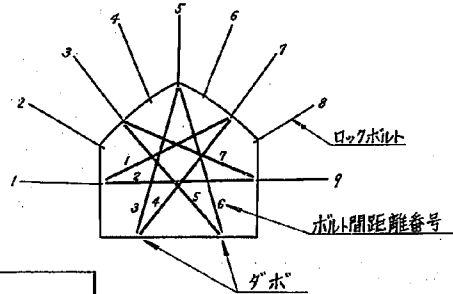
支保期間(日) 断面 ボルト間 距離番号 (+2000.0 mm)		0	1 hour	3 hour	6 hour	12 hour	1	2	3
E	1	500.5	500.7	500.7	500.5	500.5	500.0	500	500
	2	865.5	865.7	865.5	866.0	865.5	865.5	865	865
	3	772.5	772.8	773.9	772.0	773	772.0	772	772
	4	703.7	703.9	703.5	704.0	703.5	703.0	703.5	703
	5	615.5	615.8	616.0	616.0	616	615.5	615.5	615.5
	6	681.5	681.3	718.2	718.0	681	682.0	681	681
	7	659.5	659.5	655.5	659.5	659.5	659.0	659.5	659.5
F	1	495.8	496	496.2	496	496	496	495.5	495
	2	765.8	765.6	765.5	766	765.5	704.5	765	765
	3	633	632	632	632.5	632.0	632.0	631	630.5
	4	672.5	672.5	672.5	672.5	672.5	672.0	671.5	671.0
	5	608.5	608.5	608.5	609	608.5	608.5	608.5	608.5
	6	585.5	585.6	585.5	585.5	585.5	584.5	584.5	584.5
	7	600.0	600.5	600.0	600.0	599.5	600.0	599.5	599.5
G	1	554.5	555	555	555	555	554.5	554.5	554.5
	2	832	832	831.8	832	831.8	831.5	831	830.5
	3	659	656.5	656.5	656.5	656.5	656.0	655	655
	4	753	752.5	752.3	753	752	752.0	751.5	751.0
	5	715	715	715.2	715.5	715	715.0	714.5	714.5
	6	613	612.4	612.0	611.9	612	611.5	611	611
	7	612	612.2	612.3	539.5	612.5	611.8	611.5	611
H	1	530	530	530	530.0	530	530	529.5	529.5
	2	836	836.2	836	836	835.5	836	835.5	835
	3	643.5	645	644.8	645	644.5	645	644	644
	4	732	731.5	732.3	732	732	732	731.5	731
	5	598	597.7	597.6	598	598	597.5	597	597
	6	661	659.7	660.6	661	660.5	660.0	659.5	659.5
	7	486.5	486.2	486.5	486.5	486.5	486.0	485.5	485.5
I	1	457	456	456	457	456	456.5	456	456
	2	744	744	743.5	744	743.5	743.5	743.5	743
	3	645	644.5	645	645	644	644.5	643.5	643.5
	4	717	717.2	717.5	717.5	717.5	717	716.5	716.5
	5	651.4	653.8	664	664	664	663.5	663	663
	6	570.7	576	576	575.5	576.0	575.5	575	575
	7	546.0	546	545.5	546.0	545.5	545.0	545	545

バーニースケールによるトンネル断面の測定



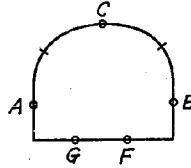
支保期間月 ボルト間 距離番号 (+2000.0) 断面		4	5	6	7	8	10	12	14
B	1	500	500	500	500	499.5	499.5	498.5	498.5
	2	865.5	865.5	865.5	865.5	865	865	865	865
	3	772	772	772	772	771	771	770.5	770.5
	4	703	703	703	703.5	702	702	701.5	701.5
	5	615	615	615	615	615	615	614.5	614.5
	6	681	680.5	681	680.5	680	679.5	678.5	678.5
	7	659.5	659.5	659.5	659.5	659.5	659.5	659.5	659.5
F	1	495.5	495.5	495.5	495.5	494.5	494.5	494.5	494.5
	2	765	765	765	764.5	764.5	764.5	764.5	764.5
	3	630.5	630.5	630.5	630.5	629.5	629	629	628
	4	671.5	671.5	671.5	671	670.5	670.5	670	669
	5	608.5	608.5	608.5	608.5	607	607	607	606.5
	6	584.5	584.0	584	584	583.5	583	582	582
	7	600	600	600	600	599.5	599.5	599.5	599.5
G	1	554.5	554.0	554.0	554	553.5	553.5	553.5	553
	2	831.5	831	831	831	830.5	830.5	830.5	830
	3	654.5	654.5	654.5	654.5	653	653	653	652.5
	4	751	751	751	751	750	749.5	749.5	748.5
	5	714.5	714	714	714	714	713.5	713	713
	6	610.5	610.5	610.5	610.5	610	609	609	608.5
	7	611.5	611.5	611.5	611.5	610.5	610.5	610.5	610.5
H	1	529.5	529.5	529	529	529	528.5	529	528.5
	2	835.5	835.5	835.5	835	835	835	835	834
	3	643.5	643.5	643.5	643.0	642.5	642.5	642	641.5
	4	731	730.5	730.5	730.0	730	730	730	729.5
	5	596.5	596	596	596	596	595	595	594.5
	6	659	659	659	659	658	657.5	657.5	657
	7	485.5	485.5	485.5	485	485	485	485	484.5
I	1	456	456	456	456	455.5	455.5	455.5	455
	2	743	743	743	743	742.5	742.5	742.5	742
	3	643	643	643	643	642	642	642	641
	4	716	716	716	716	715	714.5	714.5	713.5
	5	662	662.5	663	663	661.5	660.5	660.5	660.5
	6	574.5	574.5	574.5	574	574	573	573	572.5
	7	545	545	545	545	544.5	544.5	544.5	544

バーニアスケールによるトンネル断面の測定



断面	支保期間月				
	ボルト間 距離番号 (+2000.0 mm)	25	32	39	46
E	1	498.5	498	497.5	497
	2	864.5	864.5	864	864
	3	769.5	768.5	768	767.5
	4	700.5	700	698.5	698.5
	5	613.5	613	610	612.5
	6	677	677	676	676
	7	658.5	658.5	658	658
F	1	493	493	493	493
	2	763	764	763.5	763.5
	3	627	626	625	625
	4	668	668	667	667
	5	606	606	604.5	604.5
	6	580.5	579.5	580	579
	7	599	599	599	599
G	1	552.5	552	551	551
	2	829.5	829.5	829	829
	3	651.5	650.5	649.5	649
	4	747.5	747	745.5	745.5
	5	712	712	711	711
	6	607	606	605.5	605.5
	7	610.5	609.5	610	610
H	1	528	528	527.5	527.5
	2	834	834	834	834
	3	640	640	638.5	638.5
	4	728	728	725	727
	5	593.5	593.5	592.5	592.5
	6	655.5	655.5	654.5	654
	7	484	484	483	483
I	1	454	454	454	454
	2	742	742	741.5	741.5
	3	640	639.5	639	638.5
	4	713	712.5	711.5	711.5
	5	659.5	659	658.5	658
	6	571.5	571	569.5	569.5
	7	543.5	543	542.5	542.5

レベル測定



支保期間(日)		0	7	14	25	32	39	46	2月3日
№3 支保工天端		11.570	11.570	11.568	11.568	11.568	11.569	11.568	
E断面	A	10.307	10.308	10.308	10.306	10.307	10.308	10.307	
	C	11.760	11.750	11.748	11.748	11.749	11.746	11.748	
	E	10.281	10.284	10.284	10.283	10.284	10.284	10.284	
	F	9.092	9.091	9.092	9.092	9.093	9.093	9.093	
	G	9.148	9.146	9.146	9.148	9.149	9.150	9.150	
F断面	A	10.258	10.261	10.260	10.259	10.258	10.252	10.262	
	C	11.681	11.687	11.667	11.664	11.665	11.665	11.665	
	E	10.373	10.375	10.373	10.373	10.374	10.375	10.375	
	F	9.104	9.101	9.104	9.104	9.105	9.104	9.104	
	G	9.126	9.127	9.128	9.129	9.128	9.129	9.129	
G断面	A	10.426	10.428	10.427	10.426	10.425	10.429	10.429	
	C	11.701	11.686	11.688	11.686	11.687	11.687	11.687	
	E	10.390	10.389	10.388	10.387	10.388	10.388	10.388	
	F	9.106	9.106	9.106	9.108	9.109	9.108	9.108	
	G	9.104	9.105	9.105	9.105	9.106	9.105	9.104	
H断面	A	10.387	10.376	10.373	10.374	10.374	10.375	10.374	
	C	11.720	11.707	11.706	11.704	11.705	11.704	11.706	
	E	10.387	10.388	10.386	10.388	10.387	10.388	10.387	
	F	9.093	9.095	9.096	9.095	9.095	9.095	9.095	
	G	9.095	9.097	9.097	9.100	9.098	9.099	9.099	
I断面	A	10.389	10.393	10.393	10.391	10.391	10.393	10.393	
	C	11.732	11.720	11.719	11.718	11.717	11.719	11.718	
	E	10.370	10.369	10.369	10.372	10.371	10.374	10.374	
	F	9.147	9.149	9.148	9.150	9.150	9.149	9.148	
	G	9.167	9.167	9.168	9.170	9.170	9.169	9.170	

S Nアンカーの施工性および引抜強度の室内実験

1. 実験概要

S Nアンカーの施工条件（モルタル配合、スランブ）と引抜き強度を知るための実験を行った。

実験は、写-1に示すとおり、組み立てられた足場に、内径36 mm、長さ2.0 mのスチールパイプをボルト孔とみなして、取り付けた。このときの取り付け角度は、水平軸と60°であった。

次に、注入時の空気圧を5 Kg/cm²として、所定の施工手順によって、スチールパイプにS Nアンカー（長さ1.5 m、径24 mm）を挿入した。

最初の計画では、モルタルのスランブを1および3 cmとして、実験を行うことになっていた。しかし、モルタル填充のさい、モルタルの流動性が過小のためモルタル填充機（G.Dフィーダ）のビニールホースが詰まり、うまく填充できなかった。このような理由から、最終的に1.0、1.5、2.0の各砂セメント比（重量比）に対して、スランブ4.5 cmのモルタルについて実施した。

このモルタルに用いた砂は、粒径が1 mm以下の等粒度河砂利であった。

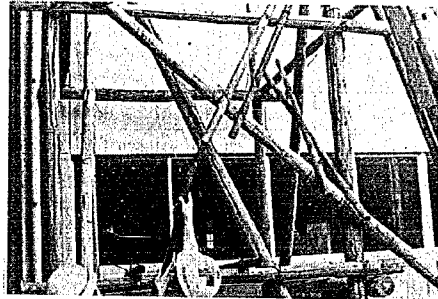
引抜時間については、1、3、24時間をとった。

2. 実験結果

表-1は、前述の条件により、三元配置法で実験を行ったときの引抜き強度を示したものである。

図-1、2、3は表-1について分散分析を行った結果である。

図-1は、引抜時間と引抜強度の関係を、図-2は、モルタルの砂セメント比と引抜強度の関係を、図-3は、モルタルのスランブと引抜強度の関係を、信頼度95%で表わしてある。



写-1 モルタル填充の状況

表-1

（単位：t）

砂セメント比	スランブ (cm)	引 抜 時 間 (hour)		
		1	3	24
1.0	4	(0.28)	4.2	13.0
	5	1.5	5.3	11.3
1.5	4	1.0	4.5	14.5
	5	3.0	9.0	17.0
2.0	4	(0.0)	3.0	11.5
	5	2.0	1.5	12.7

注 表中の()は欠則のため、推定値を入れた。

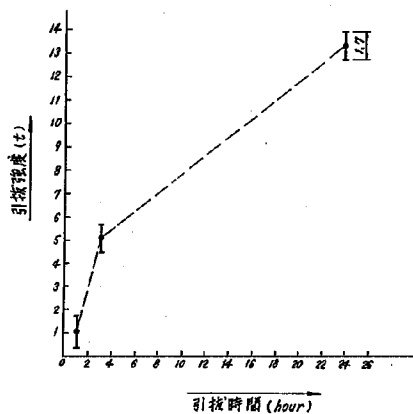


図-1

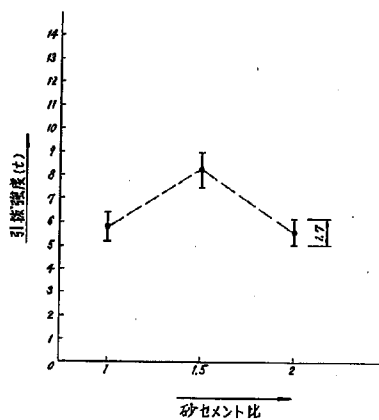


図-2

これらの図から、モルタルについて、砂セメント比 1.5、スランプ 5 cm のときに、引抜強度が大きかった。このモルタルでの 1 時間強度は、信頼度 95% で、 3.70 ± 0.82 t、3 時間強度は、 8.21 ± 0.82 (t)、24 時間強度は、 16.39 ± 0.82 t であった。

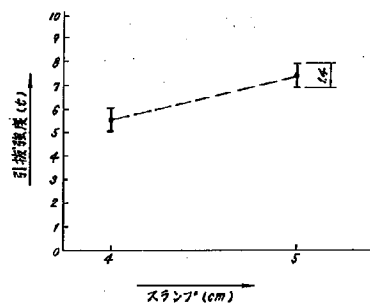


図-3