

土木研究所資料

スムーズブラスティングに関する 現地試験

—爆破規模及び削孔精度が結果に与える影響—

昭和62年2月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

Copyright © (1987) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

スムーズブラスティングに関する 現地試験

—爆破規模及び削孔精度が結果に与える影響—

トンネル研究室 室長 水谷 敏則

研究員 堀内浩三郎

〃 真下 英人

〃 大久保雅憲

石村 利明

平岡 弘志

要旨

トンネルの掘削において、爆破による地山の損傷を少なくし、平滑で余掘りの少ない掘削面とするスムーズブラスティング技術の改善を目的として実施した現地試験結果の報告である。

試験結果の評価は、ノミ跡率、余掘り量、平滑性、ゆるみ領域の4項目について行った。その結果、スムーズブラスティングを達成するためには、対象とする地山に応じた適切な爆破規模、及び精度の高い削孔が重要であることを示した。

キーワード：トンネル，爆破，スムーズブラスティング，現地試験，ノミ跡率，断面測定，余掘り量，坑内弾性波探査

ま え が き

昭和61年に改訂された(社)土木学会制定「トンネル標準示方書(山岳編)」に見られるように、山岳トンネルの標準工法は、従来の矢板工法に替り、吹付けコンクリートとロックボルトを主たる支保材料とする工法である。この工法は、地山それ自身によりトンネルを安定させるという原理に基づいているためトンネル掘削に伴なう地山の損傷を極力少なくし、さらに、吹付けコンクリートや二次覆工の余巻きを避けるため、余掘りの少ない平滑な掘削面とする掘削方式が、必要かつ望まれている。

トンネル掘削の大部分は爆破で行われている。通常の爆破による掘削は、一般に、大量の爆薬を使用する傾向にあり、爆薬のエネルギーの作用する方向の制御が十分にできないため、ともすれば地山を傷め、掘削面の凹凸や余掘りが大きくなる傾向にある。スムーズブラスティングはこのような爆破の欠点を改善することを目的とした工法であり、現在、各現場において試験的に行われてはいるが、未だ、必ずしも満足な成果は得られていないのが現状であると思われる。この理由として、実際の地山は割れ目等が存在し非常に複雑であるため、理論・実験的研究等で考えられている爆破の基本的規模を、いかにその現場の地山条件に適合させるかが非常に難しいこと、さらに、施工面からは装薬孔の削孔精度も重要な要因であることがあげられる。

スムーズブラスティングは、常に現場の地山条件等の状況に応じて行われるべきものである。このため、実施工トンネルで有効なスムーズブラスティングの確立を図るための手法は、実際の現場に応用可能であるものでなければならない。一方、模型実験や数値解析等の手法は、理論の確立や検証、基礎的な現象の把握、爆破機構の解明等、基礎的な研究として重要であり、必要である。ただ、現場へ応用するには、その結果に大きく影響すると考えられる要因である、現場における地山の割れ目の状態、装薬孔の削孔精度等は仮定されたものであるため、さらに高度な検討が必要となる。

本資料は、以上の観点から、実施工トンネルで有効なスムーズブラスティング技術の確立を図るために実施した、実際のトンネル切羽における現地試験の概要をとりまとめたものである。

目 次

1 はじめに	1
2 Aトンネルにおける現地試験	3
2.1 概 説	3
2.2 調査方法	3
2.3 調査結果	7
2.3.1 予備調査	7
2.3.2 試験爆破	11
2.4 第2章のまとめ	13
3 Oトンネルにおける現地試験	15
3.1 概 説	15
3.2 調査方法	15
3.3 調査結果	18
3.4 第3章のまとめ	25
4 Mトンネルにおける現地試験	26
4.1 概 説	26
4.2 調査方法	26
4.3 調査結果	29
4.4 第4章のまとめ	32
5 ま と め	33
6 お わ り に	35
参 考 文 献	36
添 付 図 表	37

1 はじめに

スムーズブラスティングとは、例えばトンネル爆破技術指針¹⁾によると、「最も一般的にトンネル掘削に用いられる制御発破、すなわち周辺孔を平行かつ接近して配置させ、孔径より十分小さい径の爆薬を装填して、軽装薬とする爆破工法」と定義されている。この手法は、周辺の各孔間に亀裂を発生させ、この亀裂面を破断面とし平滑な掘削面を得るとともに、破断面より奥の地山に対する爆破の影響を抑えることにある。このため、平行かつ接近した配置が必要であり、爆破エネルギーの作用方向を制御するために軽装薬とする必要がある。

スムーズブラスティングの特徴は、

- 1) 地山の損傷をできるだけ少なくする
- 2) 平滑で余掘りの少ない掘削面に仕上げる
- 3) 浮石を少なくする

の3点である。これらの効果は、逆にこれらが達成されないならば、通常の爆破工法の場合そうなりがちであるが、地山強度の低下、地山応力の集中等力学的に不利な点が多く、不経済な支保構造を必要とし、また、浮石による危険も増大する等、安全上、経済上問題となることを考えれば、明らかであろう。

そして、以上の3点の特徴を生かし、トンネル掘削に要する費用を最小限に抑えることが、最終的にスムーズブラスティングに期待されることである。このような観点からスムーズブラスティングの結果を判断する必要がある。中川らの研究²⁾によれば、スムーズブラスティングの成果の評価の考え方は、次の3つの段階に分けて整理される。

(1) 第1段階、爆破技術

スムーズブラスティングは、まず、周辺の各孔間に亀裂を発生させ、この亀裂面を破断面とし平滑な掘削面を得ることにある。したがって、爆破により周辺の各孔間が亀裂で連結され、ノミ跡がすべて残っていることで、第1段階のスムーズブラスティングは成功したと判断される。この際、地山の割れ目や装薬孔の削孔位置のずれ等により、実際の掘削断面と設計断面とが多少ずれていたとしても（極端なものは当然除外する）、ノミ跡が明瞭に残り周辺の各孔間がうまく連結されているならば、第1段階のスムーズブラスティングは成功したとする考え方である。そのため、この第1段階のスムーズブラスティングの成否は、主としてノミ跡率で判断することとなる。なお、この段階のスムーズブラスティングが成功していれば、結果として、地山の損傷は少なく、浮石もほとんどなくなると考えられる。

この段階のスムーズブラスティングの成否を支配する要因としては、削孔パターン（特に周辺孔間隔、及び、周辺孔間隔と最小抵抗線長との比）、装薬量、デカップリング*、爆薬及び雷管の種類があげられ

* デカップリング：装薬孔壁と爆薬間に空隙をとることをいう。デカップリングをとる方法には、通常のもの、すなわち、削孔径 r_h より十分小さい薬径 r_c の爆薬を用いる方法（後述のO、Mトンネル）と、削孔内体積 V_h に対し十分小さい体積 V_c の装薬量とする方式（後述のAトンネル）がある。前者のデカップリング係数は r_h/r_c で求められ通常は2前後、後者の体積デカップリング係数は V_h/V_c で求められ通常は4～6程度である。

る。

(2) 第2段階、設計断面の実現

スムーズブラスティングは、平滑な掘削面を得るのみではなく、余掘りの少ない掘削面とする工法である。したがって、あらかじめ設計された削孔パターン通りに正しく削孔が行われ、かつ前述の第1段階のスムーズブラスティングにも成功した状態をもって、第2段階のスムーズブラスティングは成功したと考える。この第2段階のスムーズブラスティングの成否は、主として、設計断面と実掘削面の差、すなわち余掘り量で判断することとなる。

この第2段階のスムーズブラスティングの成否は、第1段階の要因に加えて、削孔精度に左右される。

(3) 第3段階、スムーズブラスティングの最適化

スムーズブラスティングの最終目標は、トンネル掘削に要する費用を最小限に抑えることにある。第1、第2段階のスムーズブラスティングは100%成功することはありえず、現実の問題として余掘りと当たり^{**}が生じる。ここで、余掘りと当たりとに対する費用をも考慮した上で総費用を最小化するような爆破結果が得られた場合、第3段階のスムーズブラスティングの成功とする。

第3段階のスムーズブラスティングを成功させるための主な要因としては、上述の第1、第2段階のスムーズブラスティングの成功要因に加えて、余掘りや当たりを確率統計量としてとらえたうえで、総費用を最小化する爆破設計を行うことが問題となる。そしてその成果の評価は総費用最小の観点から行うことになる。

本試験調査は、(1)及び(2)に関する現地試験であり、結果の評価方法についての検討を加えている。試験に際しては、地山条件に即したスムーズブラスティングの開発を念頭におき、第1段階爆破技術に関しては、成否を支配する要因のいくつかをパラメータとし、どの要因の影響が大きいのかを調べるとともに、ノミ跡率の求め方や地山損傷の程度等の評価方法を検討した。第2段階設計断面の実現に関しては、成否を判断する余掘り量について解析を加えるとともに、成否を支配する削孔精度を把握するための、実際の削孔位置の求め方について検討した。第3段階スムーズブラスティングの最適化、経済性については、今回の試験では検討していない。今後の課題としたい。

^{**} 当たり：設計より掘削が少ない部分をいう。当たりが生じた場合、当たりとりのための再爆破等が必要になり、手戻りが大きい。

2 Aトンネルにおける現地試験

2.1 概 説

スムーズブラスティングは、一般に、硬岩地山で試みられる例が多い。そこで、まずは硬岩地山を対象として試験爆破を行うこととした。この際、爆破規模のいくつかをパラメータとして変化させ、その結果の評価方法を検討することを目的とした。

2.2 調 査 方 法

調査は、一般国道Aトンネル調査坑（掘削断面積約 23m^2 ）にて行った。図-2・1に、掘削標準断面図を示す。一爆破計画進行長は、1.5 mである。

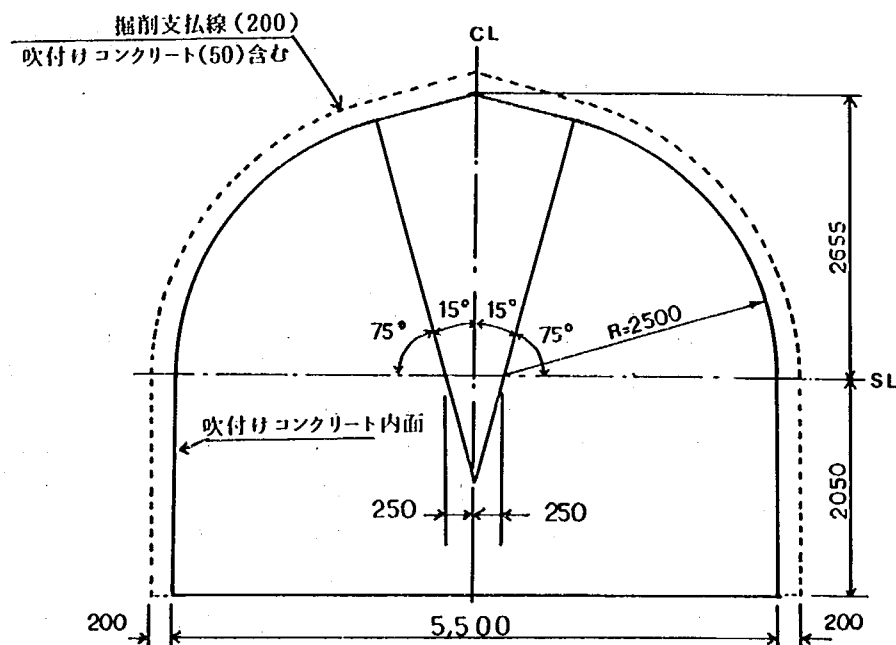


図-2・1 掘削標準断面図

2.2.1 使用爆薬等

削孔機械は、全自動油圧ジャンボ（2ブーム、東洋工業（株）、THRJ-2350D-AD）である。

爆薬は、爆速が小さく伝爆性のよいエマルジョン系含水爆薬（チタ・マイトA、日本油脂（株）、表-2・1参照）とDS電気雷管（日本油脂（株））である。

デカップリングを確保するために用いる、爆薬と込物の間に入れるスペーサーは、直径20mm、長さ500mmの円

表-2・1 爆薬（チタ・マイトA）

状 態	膠 質
仮比重	1.05 ~ 1.15
殉 爆 (倍)	2 ~ 4
爆 速 (m/s) JIS法	5,300 ~ 5,800
直 径 (mm)	25
長 さ (mm)	169
薬 量 (g/本)	100

注) カタログによる。

筒形紙製のもの（ニッサン・スペーサー，日本油脂㈱）

を，所要の長さに切って使用した。

閉塞込物は，直径26mm，長さ100mmの，ビニール袋に細砂を詰めたものである（S B工業㈱）。

図-2・2に装薬状況を示す。

なお，以上は，試験の以前から現場で使用しているものである。

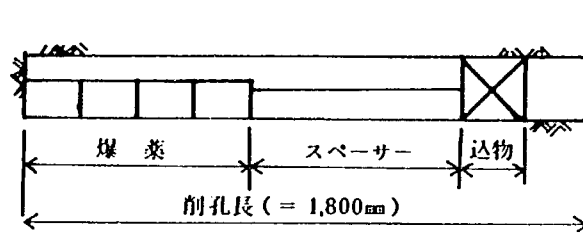


図-2・2 装薬状況（体積デカップリング）

2.2.2. 試験爆破

表-2・2に試験爆破の条件を示す。パラメータとしたのは周辺孔の条件のみであり，孔間隔，薬量，体積デカップリング係数（削孔径，スペーサー長さ）を変化させた。表中の体積デカップリング係数は，次式で求めている。

$$\text{体積デカップリング係数} = \frac{(\text{削孔径})^2 \times (\text{薬長} \times \text{装薬本数} + \text{スペーサー長})}{(\text{薬径})^2 \times \text{薬長} \times \text{装薬本数}}$$

パラメータの決定に際しては，前ケースの結果を逐次参考にしてはいるが，1爆破毎に地山条件も変化していたため，各試験位置の地山状況にかなり支配された結果となった。

表-2・2 試験爆破条件

ケース	断面位置	周辺孔の爆破条件					
		削孔径 mm	孔間隔 mm	孔数 孔	スペーサー mm	薬量 g / 孔	体積デカップ リング係数
1	Na 158 + 6.8	38	450	25	670	300	5.4
2	Na 158 + 5.0	38	450	25	670	400	4.6
3	Na 158 + 3.25	42	450	25	500	400	4.9
4	Na 158 + 1.3	42	450	25	500	300	5.6
5	Na 157 + 19.5	38	300	37*	500	500	3.7
6	Na 157 + 17.3	42	450	25	500	400	4.9
7	Na 157 + 13.4	38	450	25	670	400	4.6
8	Na 157 + 11.0	38	600	19	500	600	3.5

* 空孔を1孔おきに設置している。装薬孔が19孔，空孔が18孔。

2.2.3 調査項目

(1) 地山の特性

通常の施工管理として行われている切羽観察を行う。

また，後日，代表的地質箇所において側壁部にボーリングを行い（写真-2・1参照），得られたコアを用いて，超音波伝播速度試験，一軸圧縮試験，圧裂試験を行った。

さらに，掘削後の側壁において，坑内弾性波探査（P波，スタッキング法）を行った。図-2・3に測定

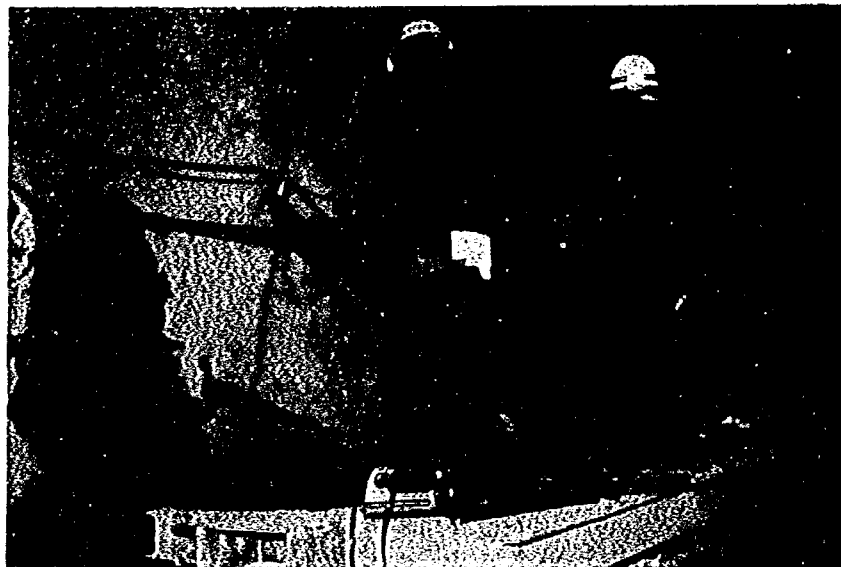
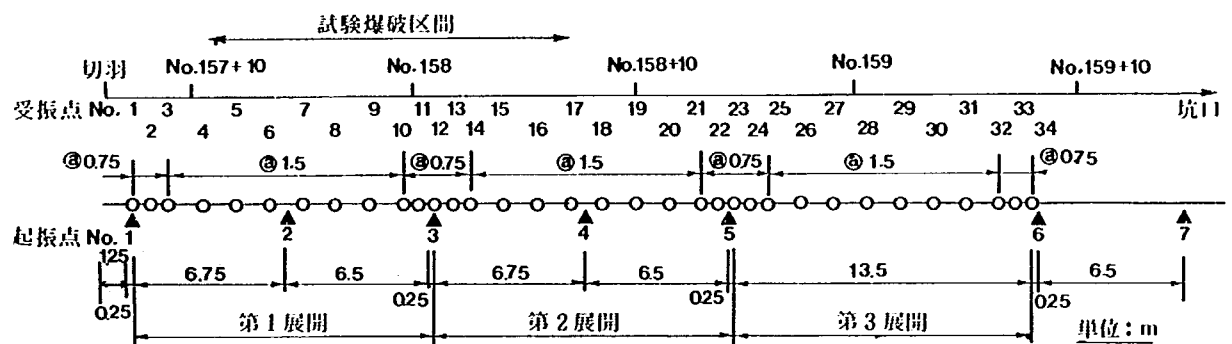


写真-2・1 コア抜きボーリング



測定

展開	受振点	起振点
1	1～12	1,2,3,5,6
2	12～23	1,3,4,5,6
3	23～34	1,3,5,6,7

○…受振点

▲…起振点

図-2・3 坑内弾性波探査測定位置

位置を、図-2・4、写真-2・2に受振器設置方法を示す。

(2) 掘削断面形状

爆破後、ノミ跡、ズリ状況等の目視観察を行った。

また、トンネル断面測定機（ミカサ機、図-2・5参照）にて、約5 cmの吹付けコンクリート施工後の断面形状を、直接測定した。この際、実際の吹付け厚さは、計測ピンにより断面当たり約14点、測定している（写真-2・3参照）。

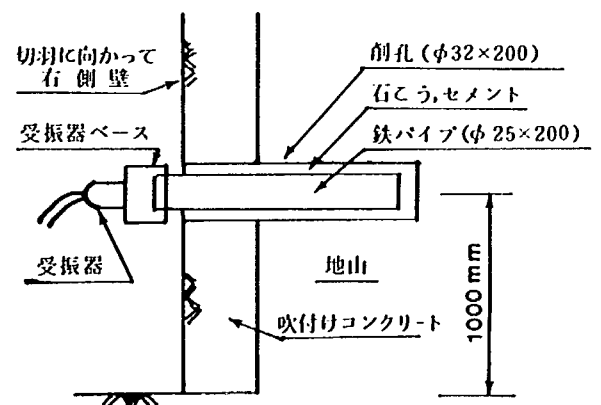


図-2・4 受振器設置方法

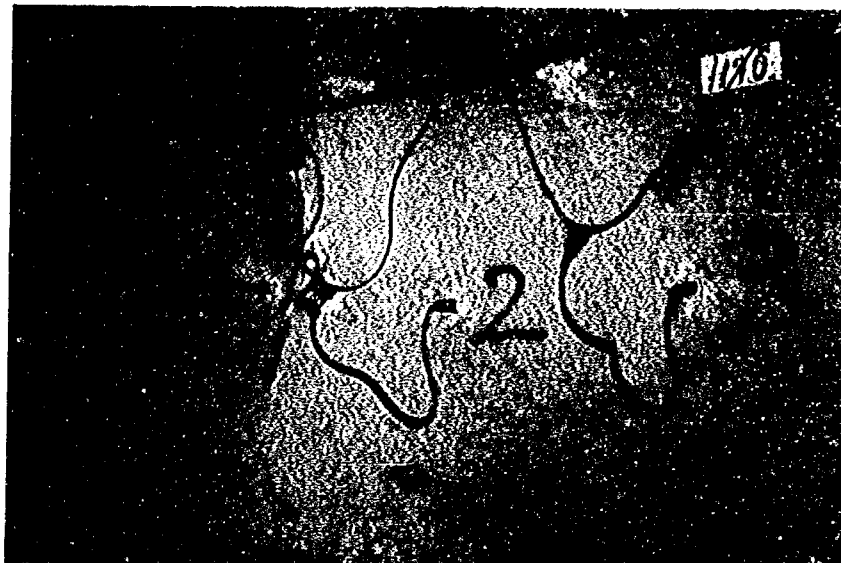
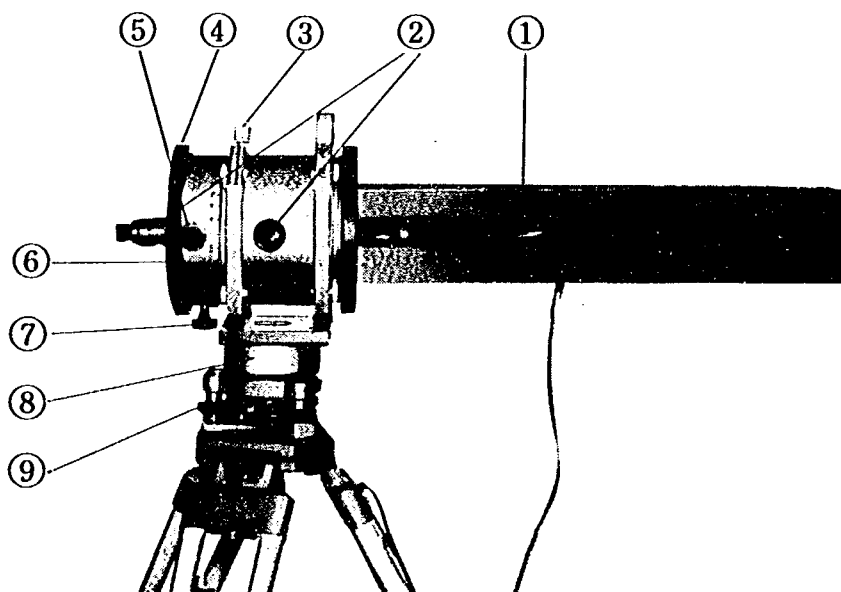


写真-2・2 坑内弾性波探査（受振器）

- ① レーザー射出窓
- ② 視準望遠鏡
- ③ 回転クランプねじ
- ④ 回転リング
- ⑤ 合焦ハンドル
- ⑥ 距離読取窓
- ⑦ 測距ハンドル
- ⑧ 水平分度目盛
- ⑨ 整準ねじ



（仕様）

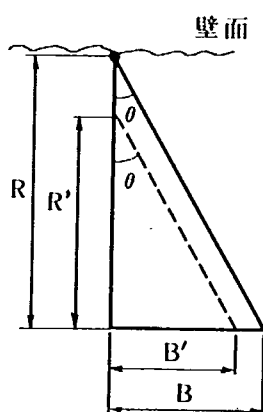
方式：レーザー組込、基線長変化測距式

測定範囲：1.5～7m

基線長軸回転：270°（@1°）

精度：±1cm

最小目盛：2cm



距離計の原理

$$R = \frac{B}{\tan \theta}$$

ここに、R：距離
B：基線長（変化）
 θ ：一定

図-2・5 トンネル断面測定機

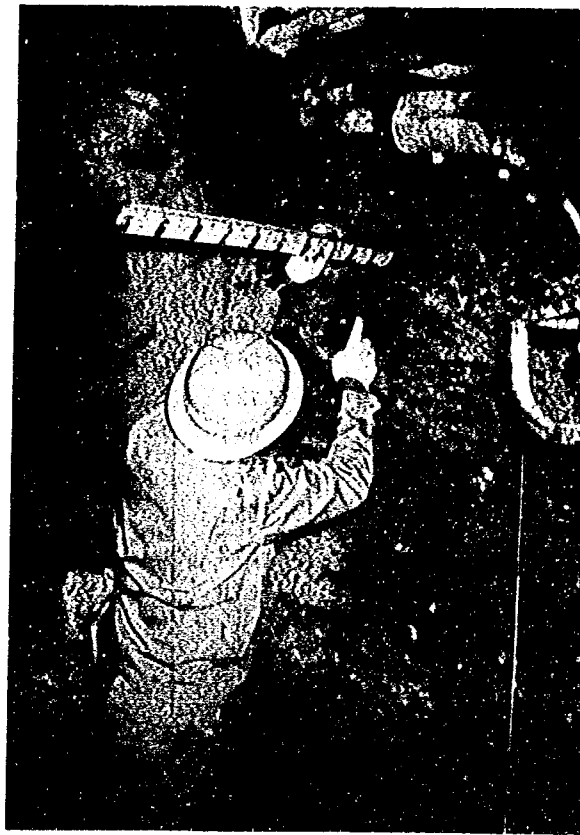


写真-2・3 吹付け厚さ実測

2.3 調査結果

2.3.1 予備調査

本調査に先立ち、既施工の区間において、断面測定手法とその評価の考え方を整理するための、予備調査を行った。

測定位置における代表地質は、地山分類でB～Cの砂岩及び粘板岩であり、比較的硬岩ではあるが割れ目が発達しているという特徴であった。

添付図-1に、爆破パターンを示す。

測定断面形状、余掘り量のヒストグラム、D/Lのヒストグラムを添付図-2に示す。表-2・3に、余掘り量の一覧を示す。ここにいう余掘り量とは、図-2・6に示す方法で求めた。D/Lとは、壁面の凹凸度を表す一つの指標と考えられる無次元量であり、図-2・7に示す方法で求めた。なお、添付図のヒストグラム中の曲線は、正規分布曲線をあてはめている。

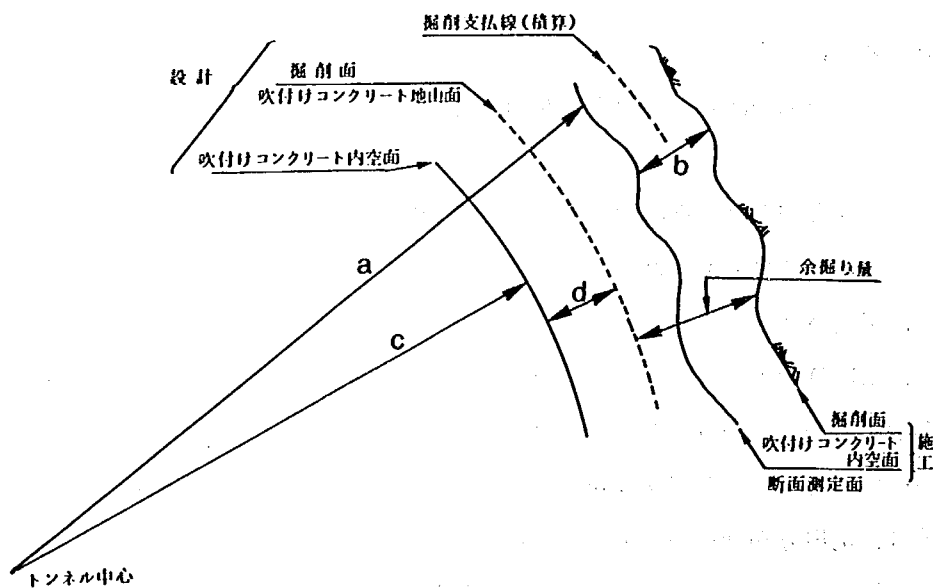
まず、掘削断面形状について、例えば、No 162+7.7 (添付図-2(1))は「一部ノミ跡が残っていた」、No 162+11.28 (添付図-2(3))は「切羽中央部縦に、変質し軟らかくぼろぼろの砂岩が分布し、天端から少し肌落ちがあった」と記載のある断面である。測定結果は切羽観察を裏付けており、後者にあっては肌落ちをある程度定量的に確認することも可能である。このように、断面を直接測定することにより、詳細な掘削状況の把握が可能となる。なお、参考として、No 162+7.7断面について、断面測定点の間隔を@1°

表-2.3 余掘り量一覧表(予備調査)

断面位置	余掘り量 (cm)				実測吹付け厚さ (cm)
	平均	標準偏差	最大値	最小値	
Na 162 + 7.7	21.3	9.8	40.5	-5.3	8.75 注1)
+ 10.55	36.7	19.2	78.8	11.5	8.75 注1)
+ 11.28	33.8	19.3	80.6	3.1	8.75 注1)
+ 11.69	33.3	16.4	76.6	9.5	8.75 注1)
+ 14.43	36.4	15.0	78.8	16.7	8.75 注1)
+ 15	39.0	14.8	86.1	19.6	8.75 注1)
+ 15.75	40.1	15.2	72.7	17.4	8.75 注1)
+ 16.35	49.8	16.6	92.7	8.7	8.75 注1)
+ 17.1	42.2	23.4	97.5	14.0	8.75 注1)
+ 17.75	30.9	13.8	55.1	-4.0	8.75 注1)
+ 18.4	31.8	10.7	55.2	12.2	8.75 注1)
+ 19.0	31.6	16.2	65.0	-5.2	8.75 注1)
+ 19.39	28.9	20.1	59.1	-6.0	8.75 注1)
Na 168 + 2.37	34.0	10.6	61.6	12.5	7.4
Na 169 + 16	51.3	26.7	116.8	10.0	7.8
Na 172 + 0.26	7.7	6.6	20.5	-3.5	9.9
Na 176 + 7.9	33.1	11.2	50.6	2.9	8.6
Na 182 + 15	15.1	10.8	33.2	0.9	8.3
Na 201 + 10.72	57.0	16.3	79.5	9.2	5.0 注2)

注1) Na 162 + 8とNa 163 + 0 の平均値。

注2) 実測データがないため、設計値使用。



$$\circ \text{余掘り量} = (a + b) - (c + d)$$

ここに、a : 実際の吹付けコンクリート内空面までの、トンネル中心からの距離。

断面測定結果から計算で求める。

b : 実測吹付けコンクリート厚さ。

c : 設計吹付けコンクリート内空面までの、トンネル中心からの距離。

d : 設計吹付け厚さ。

図-2.6 余掘り量の定義

～②5° に変化させた結果（実測は②1°であり，②2°以上は実測データを間引いている）を示す（添付図-2(1)）。

次に，余掘り量についてであるが，表-2・3の前半の13断面はトンネル延長約12mの短い区間内の結果である。図-2・8に透視図として示す。表-2・3の後半の6断面は，全延長を通じて余掘り量がかなり大きい断面と比較的平滑な断面の箇所を抽出して測定した結果である。平均余掘り量の平均は約34cm という状況であるが，最も小さい断面では約8cm，最も大きい断面で約57cmと，断面による差が非常に大きい。このことは，No.162付近の約12mの短い区間

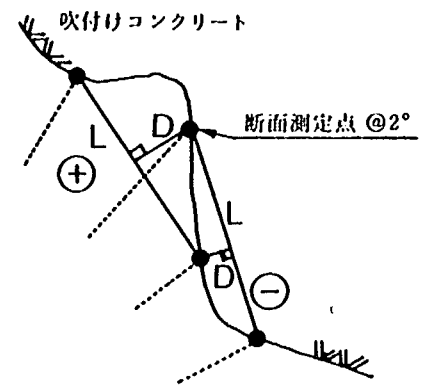


図-2・7 D/Lの定義

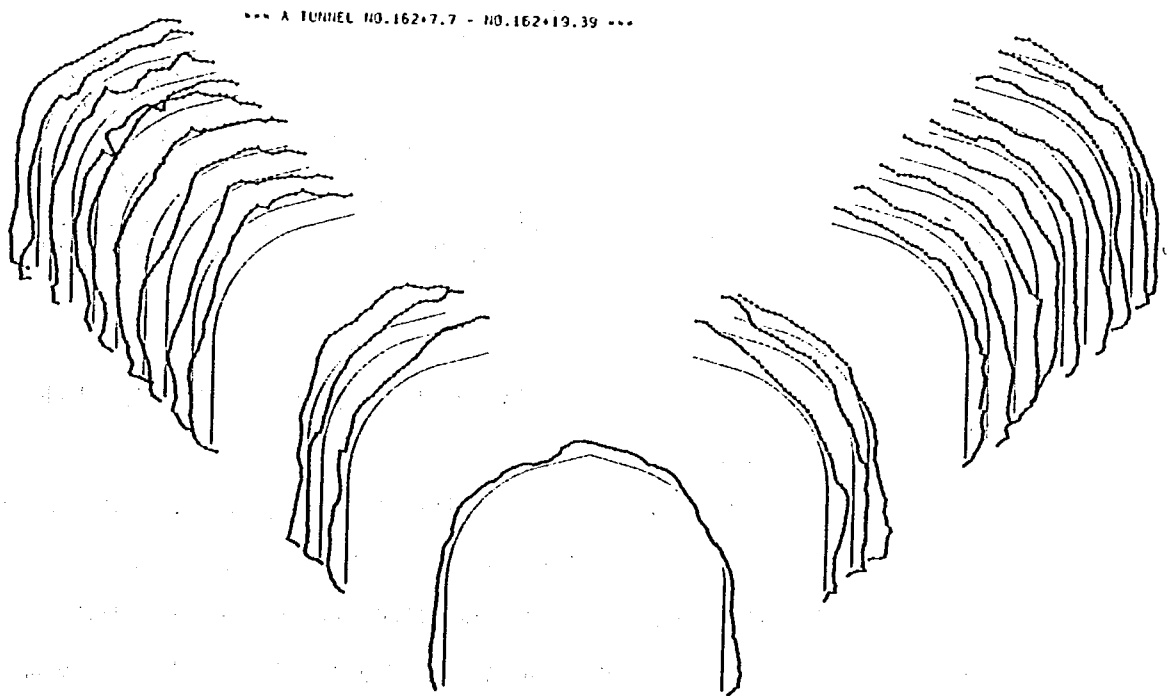


図-2・8 透視図（No.162+7.7～No.162+19.39）

においてさえ見られ，一爆破毎に地質状況（特に割れ目の状態）の変化する地山でのスムーズブラスティングの難しさを示唆するものである。

さて，余掘り量のヒストグラムと正規分布曲線を見てみると，全体としては，第一次近似として正規分布を考えることは，ほぼ妥当と判断されよう。中には，正規分布を単純には適用できないものもある（No.169+16等）が，これは，肌落ち等による局所的な大きな余掘りのためではないかと考えている。したがって，標準偏差が，余掘り量のバラツキを表す一つの指標となる。また，余掘りを考える上で最大値と最小値も意味のある値である。すなわち，全体の余掘り量を把握するには平均値，バラツキを知るには標準偏差，局所的な肌落ち等も含めた大きな余掘りを知るには最大値，当たりに対する心配に対しては最小値が，それぞれ評価の指標となる。なお，図-2・9に，No.162付近の13断面について，平均値，標準偏差，

最大値、最小値を示す。前3者は傾向として、1つが大きければ他も大きく、小さければ他も小さいと、同じような傾向にある。最小値は、それほど明確な関連は見られなかった。また、添付図-2(1)の断面測定点の間隔を①1°~②5°に変化させた結果では、余掘り量の平均値、標準偏差ともこの範囲では大差のないことから、余掘り量を求めるための測定点の間隔は、実用的には②5°(壁面での長さは②20~30 cm程度)で十分であると考えられた。

掘削断面形状を評価するにあたり、余掘り量そのものの他に、表面の平滑性も加える必要がある。平滑性(凹凸度)を表す方法として、図-2・7に示したD/Lを用いることとした。一般的には、Lは凹部または凸部の長さ、Dは深さである。この際Lの長さが問題となり、Lを小さく取るほど表面の細かな凹凸を問題にしていることになり、Lを大きく取るほど大まかな凹凸を問題にしていることになる。余掘り量

を求めるための測定間隔は20~30 cm程度で十分であると考えられたが(この値をD/Lに用いるとすると、D/Lは3点の測定値を用いるため、Lは40~60 cm程度となる)、平滑性としてのスムーズブラスティングの結果を評価する際のLの最適値は不明であり、また一概には決められないと考えられる。そこで、今回は、ほとんどの断面測定において行った2°毎の測定点をそのまま用いることとした。この場合、壁面での長さは20~30 cm程度となる。なお、Lの最適値に関して、今後の検討が必要である。ちなみに、山岳トンネル工法における防水工指針(案)³⁾では、シートによる全面防水工のための吹付け面の処理条件として示しているD/LのLとしては、L=30~40 cmとなっている。

さて、D/Lの分布は、正規分布で近似できることがわかる(添付図-2)。表-2・4にD/Lの一覧を示す。表には、|D/L|が0.15及び0.1以上であった箇所数も示した。この数値は、前述の指針(案)³⁾において下地条件を1/6以下とするよう定められている数値に近い0.15と、同指針(案)に参考として示されている西独の基準値である0.1を利用して決定している。No.162付近の13断面において、凹凸が最も大きいのは+14.43断面、最も滑らかなのは+19.39断面という結果である。ところで、余掘り量については、平均値は+14.43断面の方が大きく、標準偏差は+19.39断面の方が大きい。余掘り量の標準偏差はバラツキを表しているため平滑性を表す一つの指標とも考えられるが、この場合は当てはまらない。つまり、平滑性を表すには余掘り量のみでは不足で、D/Lといった指標を併せて判断しなければならないといえよう。

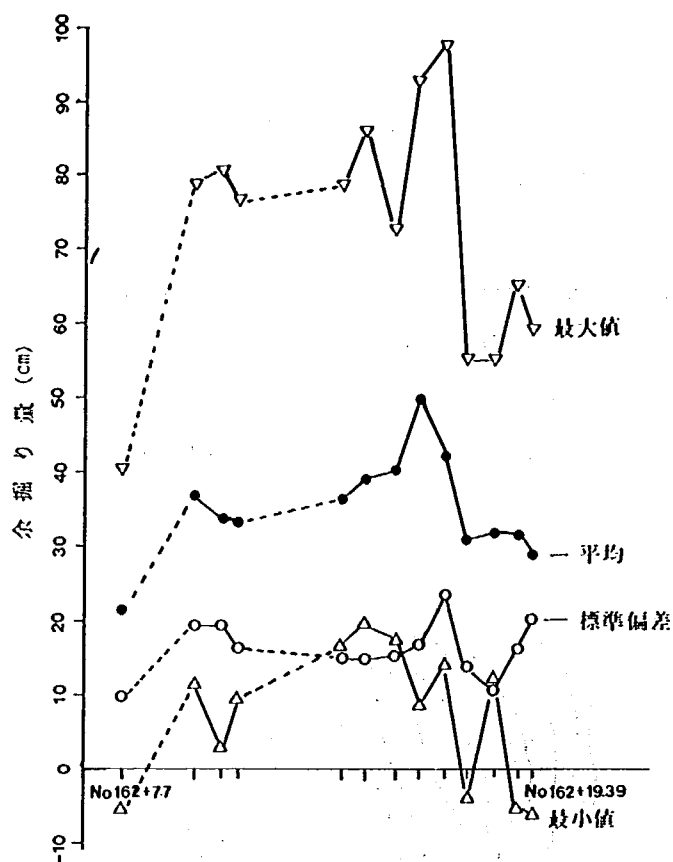


図-2・9 余掘り量(予備調査, 13断面)

表-2.4 D/Lの一覧表(予備調査)

断面位置	平均	標準偏差	$ D/L \geq 0.15$	$ D/L \geq 0.1$
Na 162 + 7.7	0.0094	0.0518	1ヶ所	7ヶ所
10.55	0.0097	0.0608	3	6
11.28	0.0068	0.0562	3	7
11.69	0.0107	0.0713	3	10
14.43	0.0087	0.0901	10	17
15	0.0079	0.0631	4	11
15.75	0.01	0.0598	5	9
16.35	0.0066	0.0695	4	11
17.1	0.0087	0.0564	2	9
17.75	0.0094	0.0774	6	15
18.4	0.0085	0.0806	6	12
19.0	0.0071	0.0633	3	10
19.39	0.0105	0.0590	2	4
Na 168 + 2.37	0.0034	0.0531	2	4
Na 169 + 16	0.0018	0.1065	9	11
Na 172 + 0.26	0.006	0.0525	2	2
Na 176 + 7.9	0.0053	0.0724	6	10
Na 182 + 15	0.0085	0.0433	1	2
Na 201 + 10.72	0.0113	0.0595	2	8

なお、断面の測定は吹付け後に行ったものである。吹付けの際ノズルマンは、凹部は他の部分より厚く吹付け、できるだけ滑らかにするように行う。したがって、この指標では、余掘り量そのものの評価に対しては誤差と考えても差し支えない実際の吹付け厚さの分布の影響が、かなり含まれていることに留意しておく必要がある。

2.3.2 試験爆破

(1) 地山の物性

試験位置は地山分類のBに属し、主な地質は、ケース1～6では砂岩、粘板岩、それらの互層および石英安山岩、ケース7と8では砂岩、石灰岩及びそれらの互層であった。添付図-3に地質図を、添付図-4に切羽観察結果を示す。

表-2.5に岩石コアの物性試験結果(採取位置はケース5, 砂岩, 粘板岩互層, 添付図-5, 添付表-1参照)を、図-2.10, 添付図-6に地山の弾性波速度の分布を示す。一軸圧縮強度で $1,000 \text{ kgf/cm}^2$ を越え、P波速度 5.7 km/s 、地山としての弾性波速度も 5.2 km/s とかなり堅硬であった。ただし、ケース1～3の約5m間は非常に割れ目が発達しており地山の弾性波速度で 3.7 km/s と、弱層を形成していた。なお、岩石コアと地山の弾性波速度から亀裂係数を求め、この亀裂係数を用いて地山としての圧縮強度を推量すると、約 760 kgf/cm^2 となる(表-2.5参照)。

(2) 試験爆破結果

表-2.6 岩石コアの物性試験結果（ケース5付近）

超音波伝播速度				一軸圧縮試験			引張強度 kgf/cm ²	単位体積重量 gf/cm ³
P波速度 km/s	S波速度 km/s	動弾性係数 kgf/cm ²	動ポアソン比	圧縮強度 kgf/cm ²	静弾性係数 kgf/cm ²	静ポアソン比		
5.74	3.15	7.16×10^5	0.28	1,124	7.25×10^5	0.25	107	2.76

〔参考〕

岩石コアと地山の弾性波速度から亀裂係数 C_r を求めると、

$$C_r = 1 - (V/V_p)^2 = 0.18$$

ここに、 V ：地山の弾性波速度

V_p ：岩石コアの弾性波速度

となる。なお、この亀裂係数を用いて地山としての圧縮強度を推量すると⁴⁾、

$$\begin{aligned} qu' &= qu \cdot (1 - C_r)^2 & (\text{注：文献では、変形係数}) \\ &= 756 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

ここに、 qu' ：亀裂の影響を受けた（地山の）圧縮強度

qu ：亀裂の影響を受けない（コアの）圧縮強度

となる。

添付表-2に、爆破パターンを示す。なお、削孔位置については、この段階では適当な測定方法が見つからなかったため、正確には不明であるが、計画とそれほど大きくずれてはいないようであった（添付図-1参照、ただし、周辺孔の間隔、各段の削孔数はケースにより若干異なる）。

断面測定結果、余掘り量のヒストグラム、及びD/Lのヒストグラムを、添付図-7に示す。

表-2.6にノミ跡率を、表-2.7に余掘り量を、図-2.10に平均余掘り量の分布を示す。ノミ跡率は、（ノミ跡のあった孔数）／（周辺の削孔数）で求めた。非常に割れ目が多く弱層を形成していた区間におけるケース1～3ではノミ跡率は40%とやや低く、

表-2.6 ノミ跡率

ケース	ノミ跡率(%)
1	40
2	— 注1)
3	40
4	56
5	54 注2)
6	48
7	— 注3)
8	68

注1) 具体的数値はないが、天端付近にかなり多く残っていた。

注2) 空孔も含む。

注3) 修正爆破を行っているため、省略した。

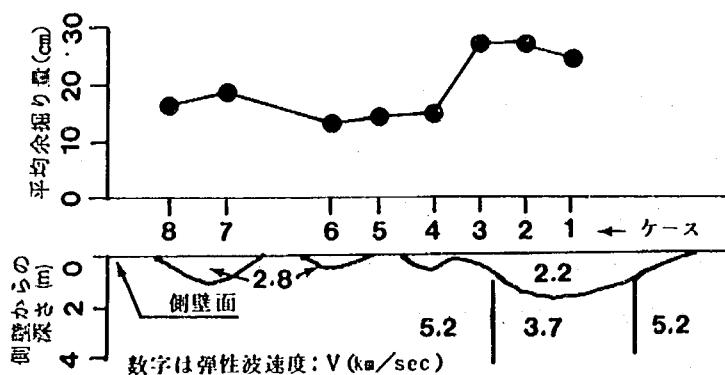


図-2.10 平均余掘り量及び地山の弾性波速度の分布

表-2.7 余掘り量一覧表(試験爆破)

ケース	余掘り量 (cm)				実測吹付け厚さ (cm)
	平均	標準偏差	最大値	最小値	
1	23.7	15.6	61.3	-3.2	7.1
2	25.8	11.4	53.6	8.1	6.8
3	26.6	9.1	48.2	4.4	7.3
4	14.4	8.3	36.9	-1.0	6.4
5	13.8	6.9	26.9	-4.2	7.5
6	12.4	7.0	28.7	-3.8	6.1
7	18.0	9.4	38.5	-0.4	5.1
8	16.0	7.8	37.7	3.9	5.9

注) 実測吹付け厚さは、添付表-3参照。

余掘り量も大きくなっており、また、表面から約2mの深さまで、掘削によるゆるみと想定できる弾性波速度2.2 km/sの領域が存在する。一方、地山は堅硬であるとみなせる区間におけるケース4～6ではノミ跡率は約50%とやや改善されており、余掘り量は小さく、ゆるみ領域もほとんど見られない。ただし、地山弾性波速度はケース4～6と同じであるが、それらと比較して余掘り量がやや大きいケース7と8では、深さ1m程度ではあるがゆるみ領域が認められる。なお、ノミ跡率は68%とさらに改善されてはいる。以上から、ノミ跡率と余掘り量の関係についてはある程度の相関は認められたが、必ずしも一致はしていなかった。これは、削孔精度、あるいはノミ跡の無い部分での余掘りの大きさによるものと考えている。さらに、余掘り量と地山の損傷については、余掘り量が大きい部分では地山損傷領域も広いと推定でき、逆にいうと、適切な爆破を行えば、余掘り量を小さくするのみならず、地山の損傷もかなり低減できることになる。

次に、掘削断面内での余掘りの状況を、ケース1と5、6を例にとり見てみると、余掘り量の平均値、標準偏差とも小さいケース5、6では、当然ながら余掘り量の分布の範囲も狭くきれいな掘削面となっている。一方、両者とも大きいケース1では-5～65cmと広い範囲の余掘り量となつてはいるものの、左側断面のみについて見るときれいな掘削面となっている。つまり、左側の地山に対しては適正な爆破であったということになる。これに代表されるように、非常に複雑である地山に適するようスムーズブラスティングを行うことは、地山の評価も含めた高度な技術が必要である。

表-2.8にD/Lの一覧を示す。D/Lについては、どの断面もほぼ同じ程度の値であった。

なお、爆破結果は、各試験位置の地山状況にかなり支配された。このため、パラメータの差による単純比較はできなかった。

2.4 第2章のまとめ

予備調査の結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 爆破の結果は、掘削断面形状の測定を行い、その結果を解析することにより評価可能である。

表-2.8 D/Lの一覧表(試験爆破)

ケース	平均	標準偏差	$ D/L \geq 0.15$	$ D/L \geq 0.1$
1	0.0083	0.0625	6	11
2	0.0093	0.0559	2	8
3	0.0100	0.0526	2	6
4	0.0089	0.0567	2	10
5	0.0094	0.0654	6	10
6	0.0097	0.0567	3	10
7	0.0092	0.0576	3	7
8	0.0075	0.0509	1	7

2) この際、余掘り量の分布は、第一次近似として正規分布曲線が適用できる。また、全体の余掘り量を把握するには平均値、バラツキを知るには標準偏差、局所的な肌落ち等も含めた大きな余掘りを知るには最大値、当たりに対する心配に対しては最小値が、それぞれ評価の指標となる。なお、余掘り量を求めるための断面測定点の間隔は③30 cm 程度で十分である。

3) 掘削面の平滑性を評価するには余掘り量のみでは不十分で、D/Lといった指標を併せて判断しなければならない。

試験爆破の結果、以下の点が明らかとなった。

4) 今回の8断面とも、ノミ跡率は40~60%程度であり、部分的に見ると、第1章で述べた第1段階のスムーズブラスティングはほぼ成功したと考えられた。なお、第2段階のスムーズブラスティングとしては、ケース4~6がほぼ成功していると考えられた。

5) すなわち、均質な地山ではスムーズブラスティングが達成可能である。

6) しかし、複雑な地山では地山の事前評価方法をも含めた爆破方法の検討が必要である。

7) 結果の評価には、掘削断面形状の測定による直接的な方法以外に、ゆるみ領域が把握できる坑内弾性波探査が有効である。

8) 適切な爆破を行えば、余掘り量を小さくするのみならず、地山の損傷もかなり低減できる。

3 Oトンネルにおける現地試験

3.1 概 説

前章のAトンネルにおいて、硬岩地山ではスムーズブラスティングの達成は可能であるという方向が見出され、また、結果の評価方法の抽出を行った。

本章は、岩種、トンネル断面積の異なる硬岩地山において行った試験爆破についての報告である。

3.2 調 査 方 法

調査は、一般国道Oトンネル(上半掘削断面積 39.3m^2) にて行った。図-3・1に、掘削標準断面図を示す。一爆破計画進行長は、2mである。

3.2.1 使用爆薬等

削孔機械は、油圧ジャンボ(2ブーム、アトラスコブコ㈱、COP1032HD)であり、削孔径は $\phi 38\text{mm}$ である。

爆薬は、低爆速で爆ごう伝爆性の良好なスムーズブラスティング用含水爆薬(エナージェルM-A-7、日本工機㈱、表-3・1参照)及び通常の含水爆薬(スーパーエナージェル、日本工機㈱、表-3・1参照)を使用した。雷管は、心抜き部にMS電気雷管(日本油脂㈱)、それ以外にDS電気雷管(日本油脂㈱)を使用した。

閉塞込物は、クレ-25M(クレータンパー、 $\phi 25\text{mm} \times 100\text{mm}$ 、SB工業㈱)である。

図-3・2に装薬状況を示す。

3.2.2 試 験 爆 破

表-3・2に試験爆破の条件を示す。

パラメータとしたのは周辺孔の条件の

みであり、孔間隔、薬量、爆薬の種類(デカップリング係数)を変化させた。この際、全体のケース数を増やすため、1爆破の断面において、天端部を境に右と左でパターンを変えている。パラメータは、ケース1の左右が爆薬の種類、ケース3、4(及び6)の左右が孔間隔、ケース3と4(及び6)の比較が装

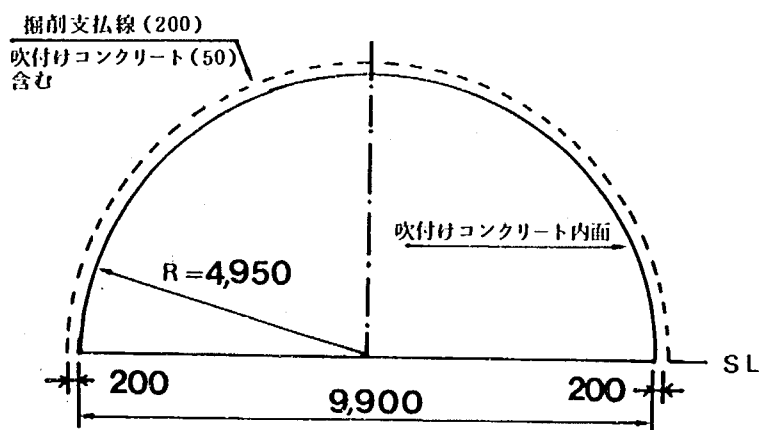


図-3・1 掘削標準断面図

表-3・1 爆 薬

	エナージェルM-A-7	スーパーエナージェル	
状 態	膠 質	ス ラ リ ー	
仮比重	1.05	1.25 ~ 1.35	
爆 速 (m/s)	3,000	5,300 ~ 5,600	
直 径 (mm)	20	30	
長 さ (mm)	640	110	220
薬 量 (g/本)	200	100	200

薬量であり、ケース 2 と 5 は空孔の効果
調べるものである。パラメータの決定に際
しては、各切羽の地山状況も考慮に加えて
いる。なお、表中のデカップリング係数は、
デカップリング係数 = 削孔径 (38mm)
/ 薬径 (20mm or 30mm)

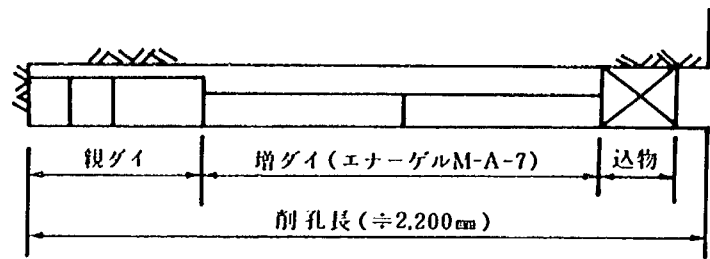


図-3・2 装薬状況

で求めた。

表-3・2 試験爆破条件

ケース	断面位置		周辺孔の爆破条件			
			孔間隔 mm	孔数 孔	薬量 (g / 孔) 通常 + S B 用	デカップリング係 数
1	Na 58 + 17.1 ~ Na 58 + 14.9	右	650	14	900 + 0	1.3
		左	650	13	500 + 400	1.9
2	Na 58 + 14.9 ~ Na 58 + 12.8	右	325	25 ^{注1)}	500 + 400	1.9
		左	650	13	500 + 400	1.9
3	Na 58 + 12.8 ~ Na 58 + 10.7	右	550	14	400 + 400	1.9
		左	650	13	500 + 400	1.9
4	Na 58 + 10.7 ~ Na 58 + 8.6	右	550	14	300 + 400	1.9
		左	650	13	400 + 400	1.9
5	Na 58 + 8.6 ~ Na 58 + 6.5	右	325	24 ^{注2)}	500 + 400	1.9
		左	650	14	500 + 400	1.9
6	Na 58 + 6.5 ~ Na 58 + 4.2	右	650	13	400 + 400	1.9
		左	550	14	300 + 400	1.9

注1) 空孔を1孔おきに設置している。装薬孔が14孔、空孔が11孔。

注2) 空孔を1孔おきに設置している。装薬孔が14孔、空孔が10孔。

3.2.3 調査項目

(1) 地山の特性

通常の施工管理として行われている切羽観察を行う。

また、各爆破後人頭大程度の掘削ズリを確保しておき (写真-3・1)，それからコアを採取し、超音波伝播速度試験、一軸圧縮試験、圧裂試験を行った。

さらに、掘削後の側壁において、坑内弾性波探査 (P波、スタッキング法) を行った。図-3・3 に測定位置を、図-3・4 に受振器設置方法を、図-3・5 に起振方法を示す。

(2) 削孔パターン

削孔終了後のマーキングを行った切羽の写真撮影を行い、写真測量の方法^{*,6)}で削孔位置 (平面座標のみ) を求めた。なお、この方法では、座標が既知の4点が基準点として必要であり、この4点は別途測量により求めた。



写真-3・1 採取ズリ

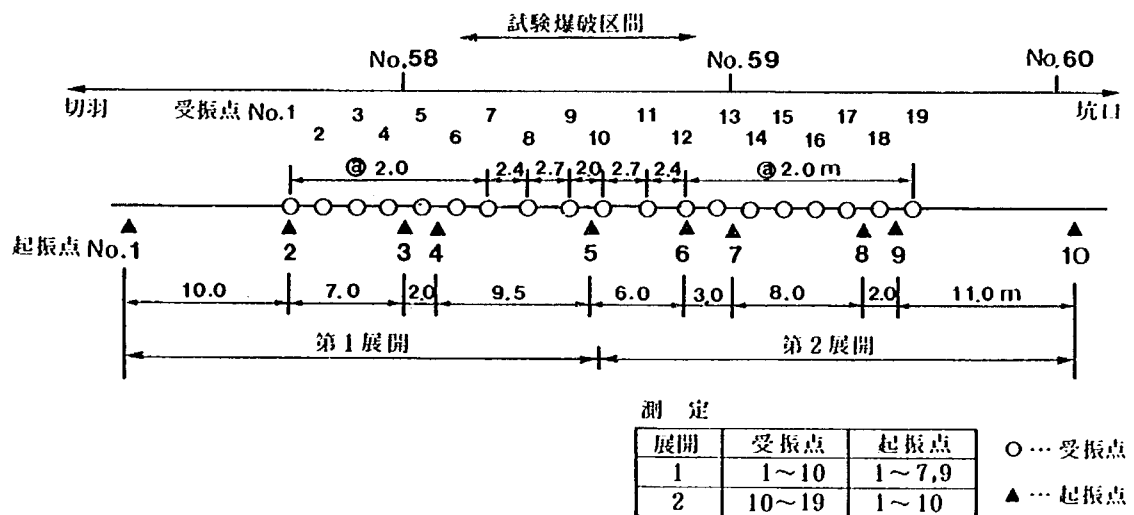


図-3・3 坑内弾性波探査測定位置

*写真測定の概要：測定対象面が平面の場合（本調査においては切羽面を平面と仮定），次に示す二次の射影変換式を用いてよいことが，射影幾何学の原理から誘導されている。

$$X = \frac{b_1 \cdot x + b_2 \cdot y + b_3}{b_7 \cdot x + b_8 \cdot y + 1} \quad Y = \frac{b_4 \cdot x + b_5 \cdot y + b_6}{b_7 \cdot x + b_8 \cdot y + 1}$$

ここに，（X，Y）：対象物の地上座標

（x，y）：対応する写真座標

$b_1 \sim b_8$ ：未知係数

未知係数 b_i は，地上座標（X，Y）が既知の4点以上の基準点を用い，最小2乗法により求める。

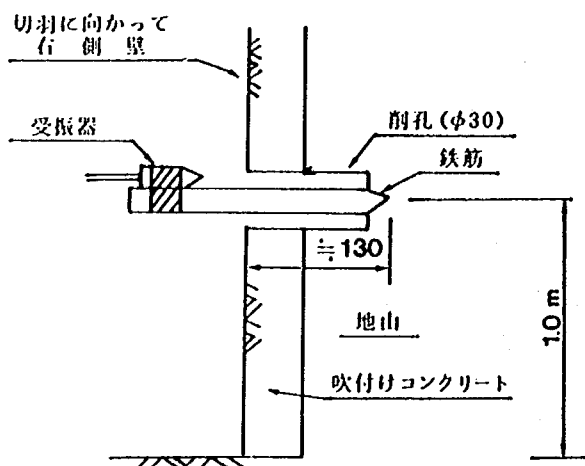


図-3・4 受振器設置方法

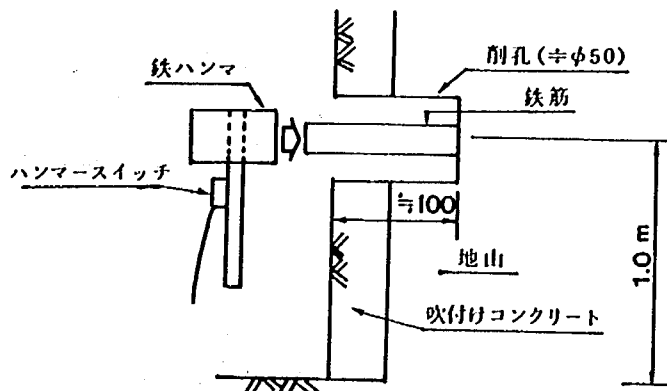


図-3・5 起振方法

(3) 掘削断面形状

爆破後、ノミ跡等の目視観察を行った。

また、トンネル断面測定機にて、約5 cmの吹付けコンクリート施工後の断面形状を測定した。この際、実際の吹付け厚さは、計測ピンにより断面当たり15点、測定している。

3.3 調査結果

3.3.1 地山の特性

試験位置は地山分類のBに属し、地質は安山岩溶岩である。割れ目は、全体としては10~80 cm程度と大きめであったが、部分的には細かい所も存在していた。添付図-8に切羽観察結果を示す。

表-3-3に岩石コアの物性試験結果を、図-3-6、添付図-9に地山の弾性波速度の分布を示す。地山の弾性波速度は、ケース1~4では4.5 km/sと堅硬であり、ケース5, 6ではやや軟らかく約3.3 km/sであった。岩石コアによる物性試験結果もこのことを反映して、一軸圧縮強度では、ケース1~3では1000 kgf/cm²を越え、ケース4はやや低く、ケース5では700 kgf/cm²程度に低下している。なお、ケース6のコアは、採取したズリが弱層部の岩石であったため、他と比べかなり小さくなっている。ここで、地山の弾性波速度と岩石コアのP波速度から亀裂係数を求め、地山としての圧縮強度を推量すると、ケース1~4の堅硬な部分では800 kgf/cm²程度、ケース5, 6のやや軟らかい部分では600 kgf/cm²程度であった(表-3-3参照)。

3.3.2 試験爆破

添付図-10に爆破パターンを示す。削孔パターンは、削孔前及び削孔終了後、切羽にマーキングを行い、写真に撮り(写真-3-2参照)、写真測量の方法により求めた。ただし、○印は削孔位置が写真上不明であったものであり、このため、おおよその位置となっている。写真測量の精度は±10 cm程度であった。これは、基準点の測量方法等に問題があったためで、基準点の測量をもっと精度の良い方法で行えば(ただし、本来の掘削作業に与えるロスタイムは増加する)、写真測量の精度も向上する可能性はある。

断面測定結果、余掘り量のヒストグラム、及びD/Lのヒストグラムを、添付図-11に示す。

表-3.3 岩石コアの物性試験結果(安山岩溶岩)

コア採取 位 置	超 音 波 伝 播 速 度				一 軸 圧 縮 試 験			引張強度 kg f / cm ²	単位体 積重量 g f / cm ³
	P波速度 km / s	S波速度 km / s	動弾性係数 kg f / cm ²	動ポア ソン比	圧縮強度 kg f / cm ²	静弾性係数 kg f / cm ²	静ポア ソン比		
ケース 1	4.17	2.37	3.53×10^5	0.261	1,126	2.49×10^5	0.25	64.6	2.44 2.41
ケース 2	4.78	2.73	4.84×10^5	0.258	1,404	3.34×10^5	0.28	83.0	2.53 2.52
ケース 3	5.01	2.69	4.82×10^5	0.297	1,257	3.26×10^5	0.24	94.5	2.51 2.52
ケース 4	4.57	2.52	4.14×10^5	0.281	880	3.14×10^5	0.20	79.8	2.49 2.47
ケース 5	3.34	1.85	2.08×10^5	0.279	678	1.24×10^5	0.19	38.7	2.33 2.33
ケース 6	2.94	1.59	1.50×10^5	0.293	365	0.861×10^5	0.17	26.9	2.24 2.29
平 均	4.14	2.29	3.49×10^5	0.278	952	2.39×10^5	0.22	64.6	2.42
標準偏差	0.83	0.47	1.41×10^5	0.016	389	1.09×10^5	0.04	26.7	0.10

注1) 単位体積重量の上欄は、超音波伝播速度、一軸圧縮試験に用いたコアの値であり、下欄は圧裂試験に用いたコアの値である。

注2) ケース6のコアは、弱層部の岩である。

〔参考〕

地山の弾性波速度と岩石コアのP波速度から亀裂係数 C_r を求め、地山としての圧縮強度 qu' を推量すると、

ケース1 $C_r = 1 - (3.8/4.17)^2 \approx 0.17$ $qu' = 1,126 \times (1 - 0.17)^2 \approx 780 \text{ kg f / cm}^2$
 ケース2 $C_r = 1 - (4.5/4.78)^2 \approx 0.11$ $qu' = 1,404 \times (1 - 0.11)^2 \approx 1,110 \text{ kg f / cm}^2$
 ケース3 $C_r = 1 - (4.5/5.01)^2 \approx 0.19$ $qu' = 1,257 \times (1 - 0.19)^2 \approx 820 \text{ kg f / cm}^2$
 ケース4 $C_r = 1 - (4.5/4.57)^2 \approx 0.03$ $qu' = 880 \times (1 - 0.03)^2 \approx 830 \text{ kg f / cm}^2$
 ケース5 $C_r = 1 - (3.3/3.34)^2 \approx 0.02$ $qu' = 678 \times (1 - 0.02)^2 \approx 651 \text{ kg f / cm}^2$
 (ケース6 $C_r = 1 - (3.3/2.94)^2 \approx 0.26 \rightarrow 0.0$ $qu' \approx 365 \text{ kg f / cm}^2$)
 となる。

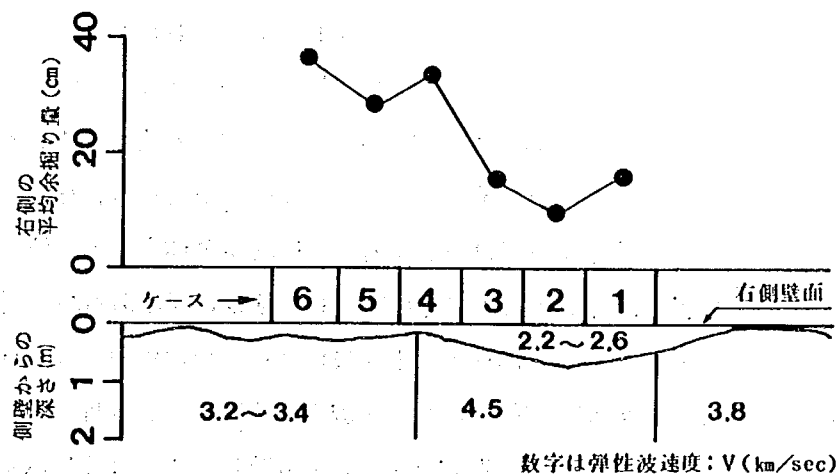


図-3.6 平均余掘り量及び地山の弾性波速度の分布



写真-3・2 マーキング状況(ケース3)

図-3・7にノミ跡の状況を、表-3・4にノミ跡率を、表-3・5に余掘り量を、前出の図-3・6に平均余掘り量の分布を示す。

まず、ノミ跡は、全体としてはケース1の左側が最も良く(写真-3・3)、部分的にはケース2の右天端部が良好であった(写真-3・4)。地山との関係からは、岩質の均一な場所(亀裂が少ない)にノミ跡が多く見られた。ノミ跡の状況を見ると、削孔全長にわたってノミ跡の残っているものもあれば、一部分にのみ残っているものも多い。表-3・4のノミ跡率は、ノミ跡がある孔数の割合で評価したもの(ノミ跡率A)と、ノミ跡が残っている孔延長の割合で評価したもの(ノミ跡率B)について示したが、スムーズブラスティングの結果を評価するには、Bの方が実情に即した適切な指標であるといえよう。そのノミ跡率Bは、ケース1左が最も良く85%、ケース1右が最も悪く22%であり、全体としては45%程度となっている。

次に、余掘り量は、最も小さいのはケース2右の9.4 cmである。ところで、全体としてみると、ケース1~3が15 cm程度、ケース4~6が30 cm強である。これは、削孔位置のマーキングに際し、ケース1~3では設計通りに行ったのに対し、ケース4~6では、ケース1~3の結果若干の当たりが生じていたのを避けるため、意識的に設計よりも余裕を持たしてマーキングしたためである。このことは、ケース1~3とケース4~6の標準偏差を比べてみても特に大きな差は認められないことから推察されよう。さらに、図-3・8に、削孔位置の離れと平均余掘り量の関係を示す。削孔位置の離れは、写真測量により求めた削孔位置と設計位置との差であり、平均余掘り量は左右を考えず掘削面全体としての値である。前述のように写真測量は±10 cm程度の誤差があり、このため参考程度として見る必要はあるが、削孔位置が設計から離れるにつれ余掘り量も大きくなっており、前述のことを裏付ける一つの資料となろう。つまり、今回のケースでは余掘り量は削孔による影響が支配的であり、爆破の方法による影響は二次的であるといえる。

さてここで、ノミ跡率Bと平均余掘り量を、爆破パターンで分類して表-3・6に示す。ノミ跡率Bについては、爆薬の種類(あるいはデカップリング係数)による差は明瞭であるが、他のパラメータの影響は、

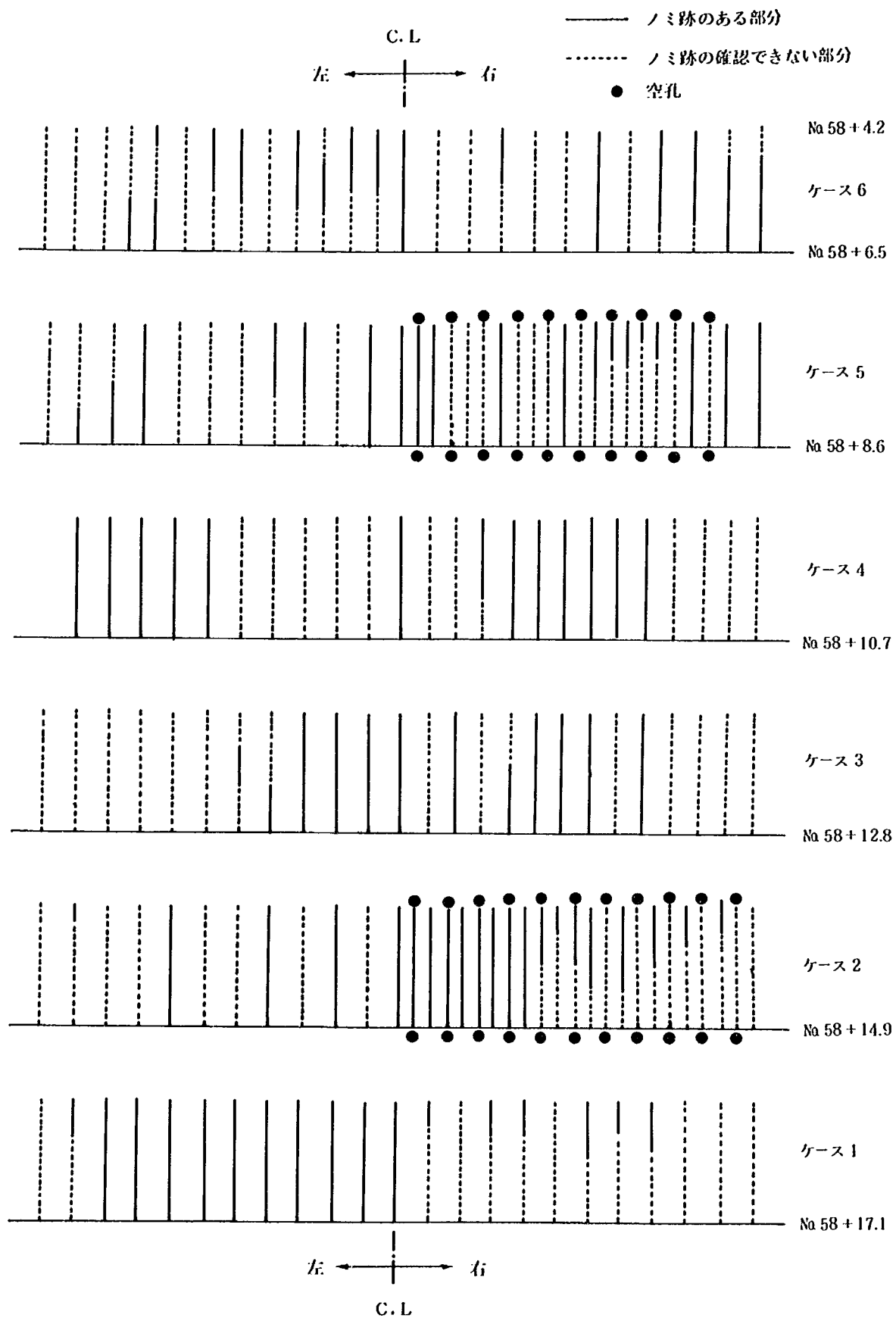


図-3・7 ノミ跡状況

表－3・4 ノミ跡率 (%)

ケース		ノミ跡率A	ノミ跡率B
1	右	58	22
	左	92	85
2	右	74	57
	左	33	33
3	右	57	54
	左	58	43
4	右	50	47
	左	45	45
5	右	52	43
	左	58	45
6	右	50	42
	左	64	34

$$\text{注) ノミ跡率A} = \frac{\text{ノミ跡のある孔数}}{\text{削孔数}} \times 100(\%)$$

$$\text{ノミ跡率B} = \frac{\text{ノミ跡長}}{\text{削孔長}} \times 100(\%)$$

表－3・5 余掘り量一覧表

ケース		余掘り量 (cm)				実測吹付け厚さ (cm)
		平均	標準偏差	最大値	最小値	
1	右	15.7	7.7	28.3	-1.5	6.7
	左	16.7	5.6	26.9	0.9	
2	右	9.4	6.8	22.6	-1.9	6.7
	左	15.4	6.1	25.9	-0.3	
3	右	15.2	12.9	39.0	-3.6	6.0
	左	10.6	8.3	33.5	-3.8	
4	右	33.8	10.4	51.4	16.0	6.6
	左	31.9	6.5	44.1	13.1	
5	右	28.2	5.6	40.3	13.5	7.1
	左	36.4	11.7	49.6	12.5	
6	右	36.5	7.4	50.9	18.6	7.1
	左	30.3	7.5	44.9	5.3	

注) 実測吹付け厚さは、添付表－4 参照



写真-3・3 ケース1 左側ノミ跡状況
 (側壁部～肩部であり、白く写っているところがノミ跡である。)



写真-3・4 ケース2 右天端部ノミ跡状況
 (白く写っているのが、装薬孔におけるノミ跡であり、それらの中間のノミ跡は空孔である。)

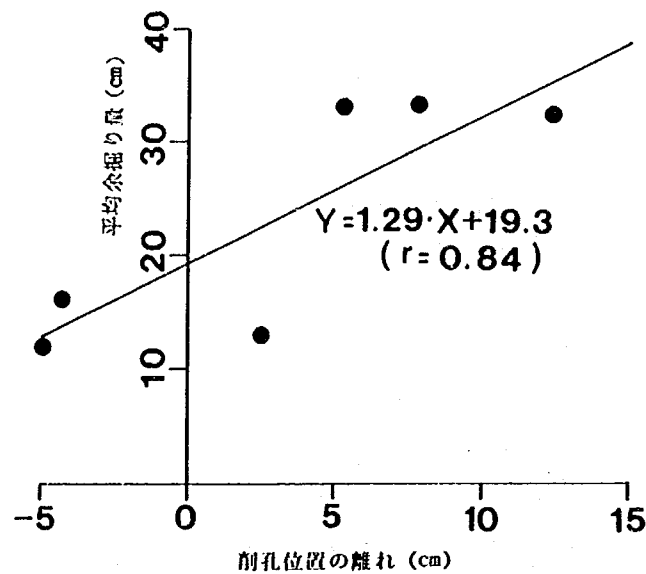


図-3・8 削孔位置の離れと平均余掘り量

表-3・6 爆破パターン毎の結果一覧表

パラメータ	爆薬	通常	SB	SB	SB	SB	SB
	孔間隔	650	650	650	550	550	325
	薬量	900	900	800	800	700	900
	空孔	無	無	無	無	無	有
結果	ノミ跡率 B	22	85 33 43 45	45 42	54	47 34	57 43
	平均余掘り量	15.7	16.7 15.4 10.6 36.4	31.9 36.5	15.2	33.8 30.3	9.4 28.2
対象ケース		ケース1右	ケース1左 ケース2左 ケース3左 ケース5左	ケース4左 ケース6右	ケース3右	ケース4右 ケース6左	ケース2右 ケース5右

地山あるいは削孔精度の影響を考えると、有意差が見られない。余掘り量については、前述の削孔位置の差のみが現れているに過ぎないと判断される。

以上から、第1章で述べた第1段階のスムーズブラスティングとしては、ケース1右以外がほぼ成功しており、第2段階のスムーズブラスティングとしては、ケース1～3がほぼ成功しているといえよう。

図-3・6の地山の弾性波速度の分布から、壁面から、ケース1～3では60 cm程度、ケース4～6では20 cm程度、掘削によると見なせる $V = 2.2 \sim 2.6 \text{ km/s}$ の領域が存在する。前章のAトンネルと比較し、ゆるみ領域における弾性波速度はほぼ等しいが、深さは浅く、この点からも良好なスムーズブラスティング

であったことが伺い知れる。なお、Aトンネルに見られた余掘り量とゆるみ領域の関係は見られなかったが、これは前述の削孔の問題、すなわち、ケース4～6では削孔の段階で既に10 cm程度の余掘りとなっているため、爆破後のゆるみ領域の深さにおいてたとえケース1～3と同等以上の結果が得られたとしても、余掘り量そのものは大きな値になってしまうためである。逆に、Aトンネルで見られた関係は、削孔位置が全ケースともほぼ設計通りに行われていることが確認できて始めていえることであり、Aトンネルではこの点裏付けとなるデータを欠いており、前章で述べたことはやや早計で、確認のための追加調査等の必要性が感じられたが、概念的には肯定されよう。

表-3・7にD/Lの一覧表を示す。Lは25～35cm程度である。これについての顕著な差は見られない。

表-3・7 D/Lの一覧表

ケース		平 均	標準偏差	$ D/L \geq 0.15$	$ D/L \geq 0.1$
1	右	0.0081	0.0596	2	4
	左	0.0088	0.0697	1	8
2	右	0.0061	0.0621	1	5
	左	0.0041	0.0653	1	8
3	右	0.0091	0.0621	2	3
	左	0.0027	0.0685	2	10
4	右	0.0111	0.0677	2	4
	左	0.0050	0.0585	0	5
5	右	0.0085	0.0645	3	8
	左	0.0110	0.0571	1	4
6	右	0.0109	0.0553	1	3
	左	0.0114	0.0744	2	7

3.4 第3章のまとめ

- 1) 第1章で述べた第1段階のスミーズプラスティングを評価するノミ跡率は、ノミ跡のあった長さを用いるのが適切である。今回の試験では、このノミ跡率は全体として45%程度とほぼ良好であり、85%と非常に良い断面もあった。
- 2) 第2段階のスミーズプラスティングを成功させる、つまり如何に設計通りの掘削面を実現するかは、削孔位置が非常に重要な要因である。今回の試験爆破では、ケース1～3がほぼ良好であった。
- 3) 余掘りが大きくなるのは、爆破方法が不適切な場合と、削孔位置に問題がある場合等である。掘削断面形状の測定から求めた余掘り量は、両者の和としての値である。したがって、余掘りの原因を解明するには、正確な削孔位置を求めておく必要がある。この点、今後の課題としたい。

4 Mトンネルにおける現地試験

4.1 概 説

前出のA, Oの2トンネルの試験爆破から、硬岩地山ではスムーズブラスティングは達成可能であることがわかった。

本章の調査は、比較的軟岩に近い地山のトンネルにおいて試験爆破を行うことにより、軟質地山におけるスムーズブラスティングの適用性並びに評価方法を検討することを目的とした。

4.2 調 査 方 法

調査は、一般国道Mトンネル（上半掘削断面積 53.6m^2 ）にて行った。図-4・1に、掘削標準断面図を示す。一爆破計画進行長は、1.2mである。

4.2.1 使用爆薬等

削孔機械は、油圧ジャンボ（2ブーム、古河鉱業㈱、JCH2-50）2台であり、削孔径は $\phi 42\text{mm}$ である。

爆薬は、低爆速で爆ごう伝播性の良好なスムーズブラスティング用含水爆薬（SBアイレマイト、日本化薬㈱、表-4・1参照）、及び通常の含水爆薬（カヤマイトⅡ、日本化薬㈱、表-4・1参照）を使用した。雷管は、DS電気雷管（6号、日本化薬㈱）である。

込物は、クレイタumping（マイト工業㈱）である。

図-4・2に装薬状況を示す。

4.2.2 試 験 爆 破

表-4・2に試験爆破の条件を示す。パラメータとしたのは周辺孔の条件のみであり、孔間隔、薬量、爆薬の種類を変化させた。ケース1は試験の以前から現場で行っていたパターン、ケース2～6がスムーズプラス

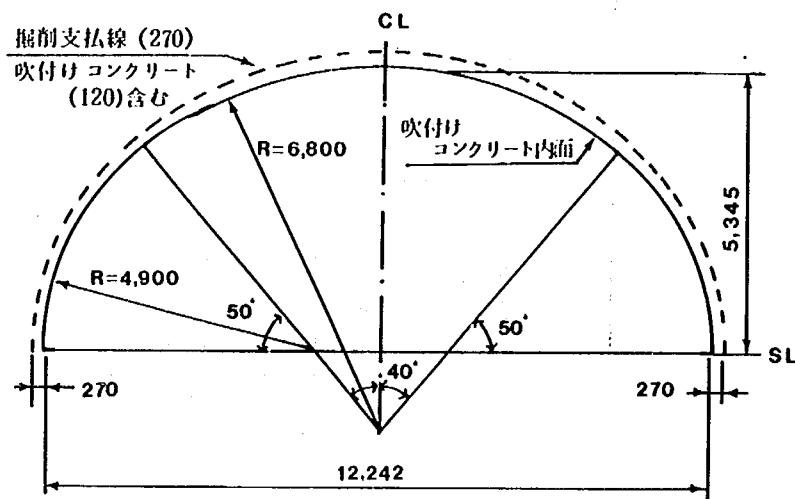


図-4・1 掘削標準断面図

表-4・1 爆 薬

	SBアイレマイト	カヤマイトⅡ
状 態	ゲル 状	紙 巻
仮比重	0.80 ~ 0.86	1.12 ~ 1.16
殉爆度	4 ~ 5	2 以上
爆 速 (m/s.)	2,700 ~ 3,000	5,200 ~ 5,500
直 径 (mm)	20	25
長 さ (mm)	600	184
薬 量 (g/本)	200	100

注) カタログによる

ティングとしての試験であり、
ケース5はスムーズプラスティ
ングのパターンで通常の爆薬を
用いたもの、ケース4と6は空
孔を設けたものである。ただし、
切羽の状況は左と右で異なって

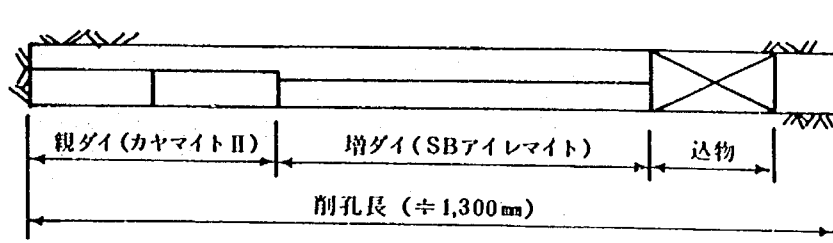


図-4・2 装薬状況

表-4・2 試験爆破条件

ケース	断面位置	周辺孔の爆破条件			
		孔間隔 mm	孔数 孔	薬量 (g/孔) 通常 + S B 用	デカップリング 係数
1	Na 904 + 17.6 ~ Na 904 + 18.8	600 以上	27	300 + 0	1.7
2	Na 904 + 18.8 ~ Na 905 + 0.0	600	33	100 + 200	2.1
3	Na 905 + 0.0 ~ Na 905 + 1.2	600	34	200 + 200	2.1
4	Na 905 + 1.2 ~ Na 905 + 2.4	300	64 ^{注1)}	200 + 200	2.1
5	Na 905 + 2.4 ~ Na 905 + 3.6	600	35	400 + 0	1.7
6	Na 905 + 3.6 ~ Na 905 + 4.8	400	47 ^{注2)}	200 + 200	2.1

注1) 空孔を1孔おきに設置している。装薬孔が36孔、空孔が28孔。

注2) 空孔を1孔おきに設置している。装薬孔が27孔、空孔が20孔。

おり、各切羽の状況に応じた装薬量としたので、周辺孔のすべてが表に示した条件を満たしてはいない。
表に示した値は、切羽右側の基本条件である。なお、表中のデカップリング係数は、

$$\text{デカップリング係数} = \text{削孔径 (42mm)} / \text{薬径 (20mm or 25mm)}$$

で求めた。

4.2.3 調査項目

(1) 地山の特性

通常の施工管理として行われている切羽観察を行う。

また、各爆破後人頭大程度の掘削ズリを確保しておき (写真-4・1)、そのうち地質を代表していると思われるものからコアを採取し、超音波伝播速度試験、一軸圧縮試験、圧裂試験を行った。

さらに、掘削後の側壁において、坑内弾性波探査 (P波、スタッキング法) を行った。図-4・3に測定位置を、図-4・4に受振器設置方法を示す。

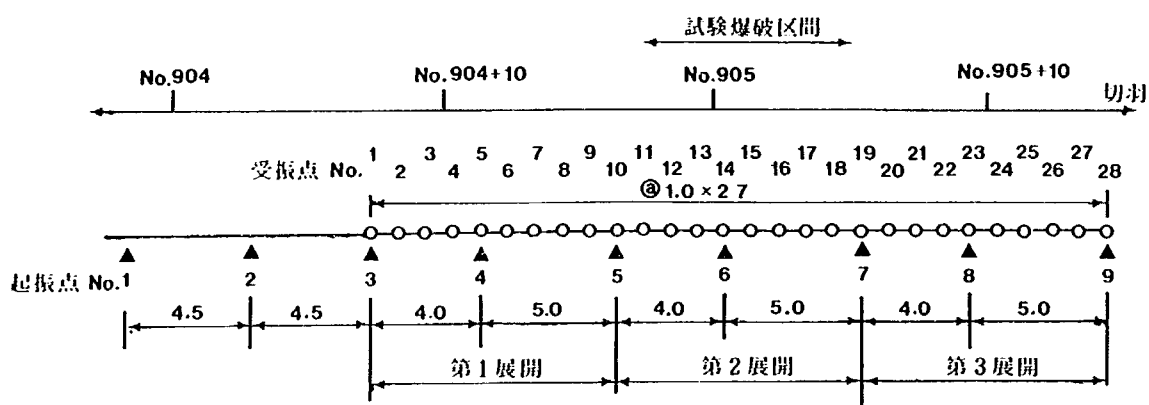
(2) 掘削断面形状

爆破後、ノミ跡等の目視観察を行った。

また、トンネル断面測定機にて、約6cmの1次吹付けの後の断面形状を測定した。この際、実際の吹付け厚さは、計測ピンにより断面当たり11点、測定している (写真-4・2)。



写真-4・1 採取ズリ



測定

展開	受振点	起振点
1	1~10	1~8
2	10~19	2~9
3	19~28	4~9

○ … 受振点

▲ … 起振点

図-4・3 坑内弾性波探査測定位置

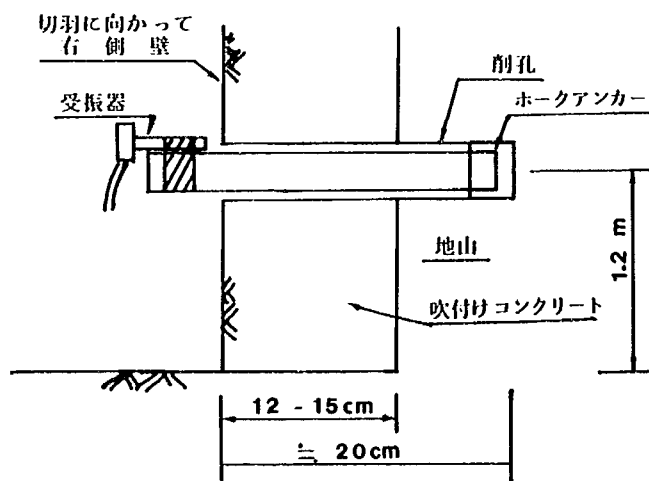


図-4・4 受振器設置方法



写真-4・2 計測ピン設置状況
(吹付け時)

4.3 調査結果

4.3.1 地山の特性

試験位置は地山分類のC_{II}に属し、地質は風化作用を受けた玄武岩である。切羽面の地質分布は全ケースとも、切羽に向かって右側は比較的硬く、左側は軟質化しており、割れ目は2~10 cmと左右ともかなり発達していた。添付図-12に切羽観察結果を示す。

表-4・3、添付表-5に岩石コアの物性試験結果を、図-4・5、添付図-13に地山の弾性波速度の分布を示す。岩石コアの結果のみからは、かなりの硬岩であると判断される。しかし、地山の弾性波速度はそれほど大きくなく、ここで、岩石コアと地山の弾性波速度から亀裂係数 C_r を求めると、

表-4・3 岩石コアの物性試験結果(玄武岩)

コア採取 位 置	超 音 波 伝 播 速 度				一 軸 圧 縮 試 験			引張強度 kg f / cm ²	単 位 体 積 重 量 g f / cm ³
	P波速度 km / s	S波速度 km / s	動弾性係数 kg f / cm ²	動ポア ソン比	圧縮強度 kg f / cm ²	静弾性係数 kg f / cm ²	静ポア ソン比		
ケース1	4.36	2.25	3.69×10^5	0.32	1,745	3.74×10^5	0.28	71.7	2.73
ケース2	3.46	1.76	2.25×10^5	0.33	1,346	2.10×10^5	0.17	72.5	2.71
ケース3	5.59	2.97	6.59×10^5	0.30	1,470	5.59×10^5	0.24	98.1	2.83
平 均	4.47	2.32	4.18×10^5	0.32	1,520	3.81×10^5	0.23	80.7	2.75

〔参考〕 岩石コアと地山の弾性波速度から求めた亀裂係数 $C_r (=0.66)$ を用い、地山としての圧縮強度 qu' を推量すると、

$$qu' = 1,520 \times (1 - 0.66)^2 = 176 \text{ kg f / cm}^2$$

となる。

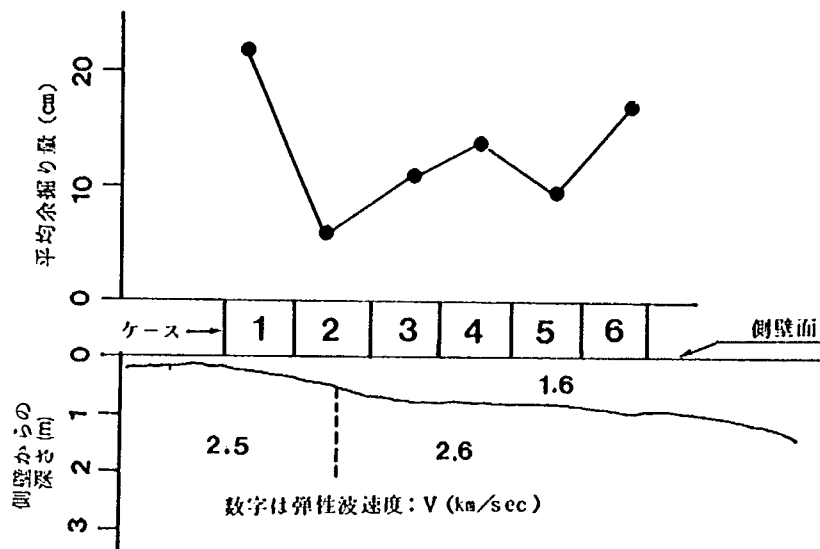


図-4・5 平均余掘り量及び地山の弾性波速度の分布

$$C_r = 1 - (2.6 / 4.47)^2 = 0.66$$

となり、かなり割れ目が発達していることが裏付けられる。なお、この亀裂係数を用い、地山としての圧縮強度を推量すると、約 180 kgf/cm^2 となる (表-4・3 参照)。

4.3.2 試験爆破

添付図-14に、爆破パターンを示す。削孔パターンは、削孔前及び終了後、切羽にマーキングを行い、写真撮影を行うことにより求めた (写真-4・3)。添付図-14は、その写真を単純にトレースしたものである。なおこれは、前章で述べた写真測量により正確な位置を求める試みとして前章のOトンネルに先立

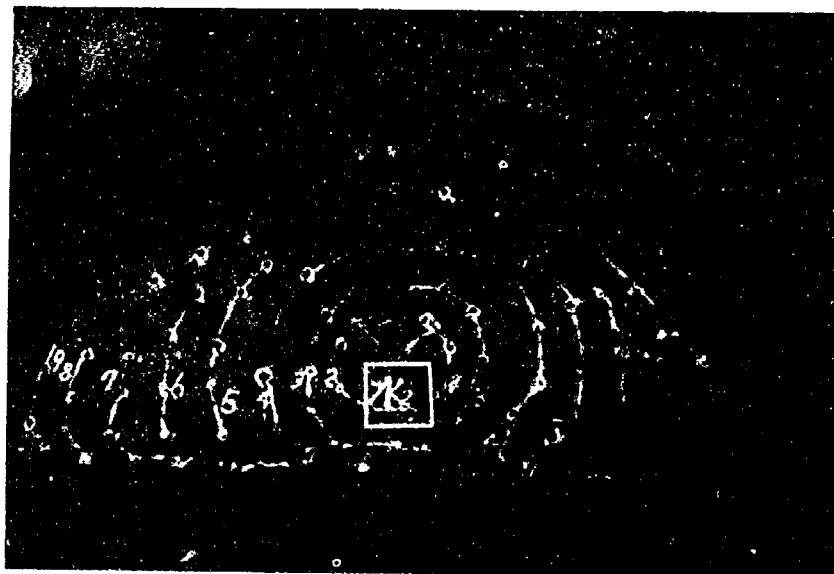


写真-4・3 マーキング状況 (ケース3)

注) 中央の白い四角の枠を基準点としたが、この方法では問題があった。

ち実施したのであるが、基準点の採り方に問題があり、写真測量に基づく解析は行わなかった。

断面測定結果、余掘り量のヒストグラム、及びD/Lのヒストグラムを、添付図-15に示す。

まず、ノミ跡については、スムーズブラスティングとしたケース2～6の全ケースとも、数孔程度、削孔長の一部分にのみ認められる程度であった。

表-4.4に余掘り量を示す。ケース1は試験爆破開始以前から現場で行っていた爆破であり、余掘り量はスムーズブラスティングとした他のどのケースより大きい。一方、ケース5はスムーズブラスティングの標準削孔パターンにおいて通常の爆薬を使用した結果であるが、スムーズブラスティング用爆薬を使用した他のケースと比べても、ほぼ同等の結果が得られている。このことから、軟質地山の場合、使用爆薬の影響は小さく、スムーズブラスティングの削孔パターンで爆破を行えば、ある程度の効果が期待できると思われる。

表-4.4 余掘り量一覧表

ケース	測定断面	余掘り量 (cm)				実測吹付け厚さ (cm)
		平均	標準偏差	最大値	最小値	
1	Na 904 + 17.9	22.0	18.0	53.3	- 20.8	5.3
2	Na 904 + 19.3	5.8	7.1	26.6	- 9.3	6.9
3	Na 905 + 0.7	10.8	10.2	34.9	- 15.2	6.2
4	Na 905 + ?	13.8	11.1	41.7	- 11.7	7.5
5	Na 905 + 3.1	9.3	13.1	30.2	- 35.6	5.6
6	Na 905 + 4.5	16.8	6.9	34.8	3.1	6.7

注1) 実測吹付け厚さは、添付表-6参照。

注2) ケース6は、右側のみの結果である。

図-4.5の地山の弾性波速度の分布から、壁面から1 m程度、掘削によるゆるみと見なせる $V = 1.6 \text{ km/s}$ の領域が存在する。硬岩地山であるA、Oトンネルと比較すると、ゆるみ領域における弾性波速度はやや遅いものの、深さはほぼ等しく、この点からは、ほぼ妥当な爆破であったと推察される。

さて、余掘り量が最も小さかったのはケース2であり、爆破パターンは添付図-14(2)に、掘削断面形状は添付図-15(2)に示した。爆破パターンは、切羽状況から、左側半分の周辺孔については装薬量を減らすため1孔おきに空孔としている。掘削断面形状は、左肩付近にやや大きめの余掘りが見られるものの、全体的には掘削面の凹凸は少なく、余掘りも小さい。このことは、複雑な切羽状況を呈する場合でも、削孔パターンなどの規模を適切に決定すれば、十分効果的なスムーズブラスティングが行えることを示唆している。

表-4.5にD/Lの一覧表を示す。Lは30～50 cm程度である。ケース2, 3, 5は平滑性が良く、これらのケースは余掘り量も小さい。ケース1と4はやや凹凸が大きく、ケース1では余掘り量も大きいという結果である。

表 - 4.5 D / L の一覧表

ケース	平 均	標準偏差	$ D/L \geq 0.15$	$ D/L \geq 0.1$
1	0.0092	0.1031	11	22
2	0.0100	0.0649	3	12
3	0.0097	0.0549	1	6
4	0.0120	0.0884	6	20
5	0.0099	0.0749	3	11
6	0.0062	0.0673	1	8

注1) ケース6は、右側のみの結果である。

4.4 第4章のまとめ

- 1) 掘削断面形状及び余掘り量からみると、例えばケース2のスムーズブラスティングは十分成功していると判断された。すなわち、比較的軟質で複雑な地山においても、スムーズブラスティングの達成は可能であるという方向が得られた。
- 2) 軟質地山では、ノミ跡の量の差がスムーズブラスティングの評価の尺度にはならない。
- 3) 軟質地山におけるスムーズブラスティングの成否を支配する重要な要因は削孔パターンと装薬量であり、二次的要因として爆薬の種類（言い換えればデカップリング係数）があげられるようであった。

5 ま と め

硬岩地山において2トンネル、軟岩地山において1トンネル、地山条件に即したスムーズブラスティングの開発を目標として、現地試験を実施した。これらの結果をまとめると、以下の通りである。

(1) 目 的

スムーズブラスティングの第一の目的は、a)地山の損傷を極力少なくする、b)余掘りの少ない平滑な掘削面とする、であり、さらには、トンネル掘削に要する費用を最小限に抑えることが最終目的である。

なお、今回の試験では経済性の検討までは行っておらず、今後の課題である。

(2) 評価方法

スムーズブラスティングが達成されたか否かの判断を行うに当たっては、a)ノミ跡率、b)余掘り量、c)平滑性、d)ゆるみ領域の4項目を用いた。

a) ノミ跡率

ノミ跡率は、ノミ跡の残っている孔延長の割合で評価する次式が、実情に即した適切な指標である。

$$\text{ノミ跡率} = (\text{ノミ跡の残っている孔延長}) / (\text{削孔長}) \times 100 \%$$

これは、掘削面を目視で観察することにより、比較的簡単に求まる値である。ノミ跡率が40～50%程度以上であれば、第1段階のスムーズブラスティングは成功していると考えてよいと思われた。なお、軟岩地山の場合には、地山の特性からノミ跡が残りにくく、このため、ノミ跡率は評価の指標とならない。この場合、ノミ跡率は低くても次に述べる余掘り量が小さければ、総合的にはスムーズブラスティングは成功していると思ってもよいと考える。

b) 余掘り量

余掘り量は、トンネル断面測定機により掘削断面形状の測定を行い、その結果を解析して求めた。この際、余掘り量の分布は、第一次近似として正規分布曲線が適用できる。また、全体の余掘り量を把握するには平均値、バラツキを知るには標準偏差、局所的な肌落ち等も含めた大きな余掘りを知るには最大値、当たりに対する心配に対しては最小値が、それぞれ評価の指標となる。

値としては、0に近いほどよいのは当然であるが、今回の試験から目安の値として、平均値で15 cm程度以下であれば、第1章で述べた第2段階のスムーズブラスティングは成功していると思なしてよいであろう。標準偏差は、仮に、平均値の1/2として7.5 cm程度以下が望まれよう。この場合、当たりの発生する確率は微々たるものになる。なお、余掘り量は、爆破技術もさることながら、削孔精度の影響を強く受けていることに留意する必要がある。

c) 平 滑 性

平滑性は、図-2.7に示したD/Lという指標を用いて表した。成功か否かの判断は、例えば防水シートの下地条件とされている $D/L \leq 1/6$ を満足しているかどうかで行えよう。

d) ゆるみ領域

坑内弾性波探査を行うことにより、ゆるみ領域の深さとその部分での弾性波速度を求めた。今回の試験では、ゆるみ領域の深さは1 m程度までであり、この部分での弾性波速度は1.6~2.8 km/s、地山深部における地山それ自身の値との比では50~60%程度であった。なお、ゆるみ領域は、爆破による地山損傷の他、地山特性（潜在的弱層等）や応力再配分等のすべてが含まれた結果として発生する。

(3) スムーズブラスティングの達成

スムーズブラスティングを達成するためには、以下の点に留意して計画・実施することが肝要である。

a) 爆破規模

主な爆破規模は、デカップリング係数、周辺孔の間隔及び最小抵抗線長、装薬量、使用爆薬であり、さらに、これらの要因は互いに影響し合うものである。規模の決定には、試行錯誤の繰り返しが必要かつ必要である。硬岩地山のOトンネルでは、このうち爆薬の種類（あるいはデカップリング係数）が最も支配的な要因であった。一方、軟岩地山のMトンネルでは、爆薬の種類が支配要因とは認められなかった。このように、地山により支配要因の軽重は変わるが、これに関しては、さらに検討が必要である。

b) 削孔精度

削孔精度は、スムーズブラスティングの成否に直接影響するので、精度をできるだけ高める必要がある。硬岩地山のOトンネルにおいては、爆破規模による影響よりも削孔による影響の方が支配的であった。

削孔精度を低下させる第一の要因は、口切りによるせん孔誤差である。この口切りのせん孔誤差を少なくするためには、削孔予定位置に正確にマーキングを行う等の処置が有効である。なお、せん孔誤差は、せん孔方向の取り方の誤りによるもの、岩石の不均一性、重力の影響による岩石内部での方向のずれによるものも起因している。

削孔精度を低下させる第二の要因は、ルックアウトと呼ばれているもので、トンネルの設計断面を確保して次回の削孔作業が行えるように削岩機のスペース分だけ掘削予定線より外側に向けて削孔することにより発生する。ルックアウトは避けられないものではあるが、これをできるだけ小さくするのが望ましく、機械の改良も望まれるところである。なお、今回の試験では、この値は測定できなかったが、測定方法について今後検討しておく必要がある。

6 お わ り に

地山条件に即したスムーズブラスティング工法の開発を目標とし、3トンネルの現場において試験爆破を実施してきた。残された課題も多いが各現場においては一応スムーズブラスティングの達成は可能であるという方向が得られた。他の現場においても同様な試行錯誤を繰り返すことにより、スムーズブラスティングを成功させ得ると思われる。この際、本報告が一助になれば幸いである。

なお、現地試験に際しては、地方建設局の関係各工事事務所及び現場作業所の方々の助力が大きかった。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 「トンネル爆破技術指針」, 1982 年 2 月, (社)日本トンネル技術協会
- 2) 中川他, 「削孔ロボットを用いた硬岩トンネルのスムーズブラスティングに関する研究」, 土木学会論文集第 367 号 / IV-4, p52 ~ p61, 1986 年 3 月
- 3) 「山岳トンネル工法における防水工指針(案) シート防水編」, 1986 年 2 月, (社)日本トンネル技術協会
- 4) 「岩盤に関する調査試験法と力学的定数 -基礎構造物設計に用いる力学的定数のための資料-」, 試験所技術資料第 606 号, 1981 年 3 月, 日本道路公団試験所
- 5) 「発破ハンドブック」, (社)工業火薬協会編, 1983 年 4 月, 山海堂
- 6) 「写真による三次元測定 -応用写真測量-」, 日本写真測量学会編, 1983 年 5 月, 関共立出版

添 付 図 表

4 2 7 4 6

2 章 関 係

(添付図 - 1 ~ 添付図 - 7)

(添付表 - 1 ~ 添付表 - 3)

(予備調査)

添付図 - 1 爆破パターン

添付図 - 2 測定断面形状, 余掘り量のヒストグラム, D / L のヒストグラム

(試験爆破)

添付図 - 3 地 質 図

添付図 - 4 切羽観察結果

添付図 - 5 岩石コアボーリング

添付図 - 6 坑内弾性波探査

添付図 - 7 測定断面形状, 余掘り量のヒストグラム, D / L のヒストグラム

添付表 - 1 岩石コアの物性試験結果

添付表 - 2 爆破パターン

添付表 - 3 コンクリート吹付け厚さ

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

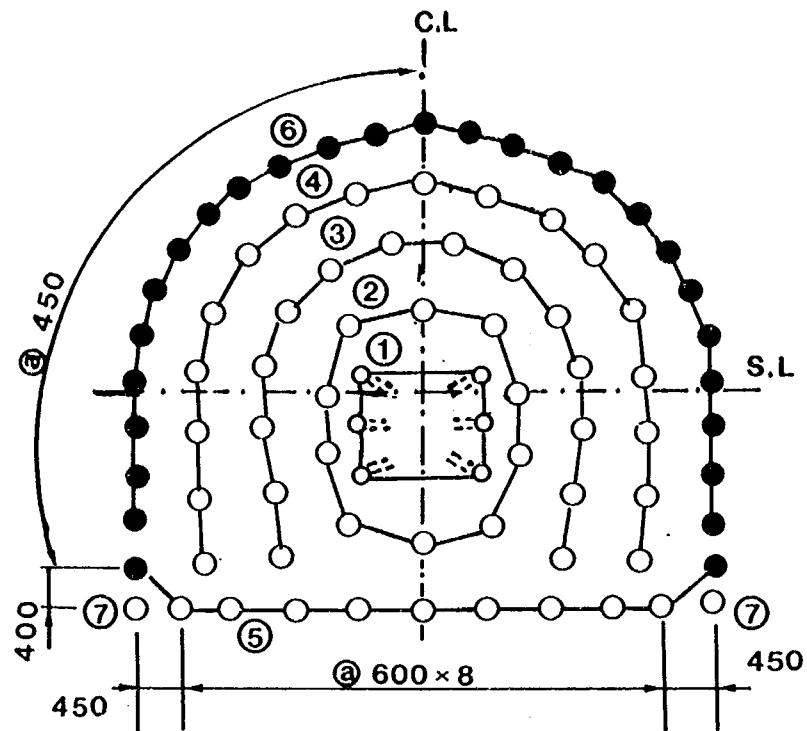
10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74

10-11-74



注) ●…デカップリング方式
(図-2.2 参照)

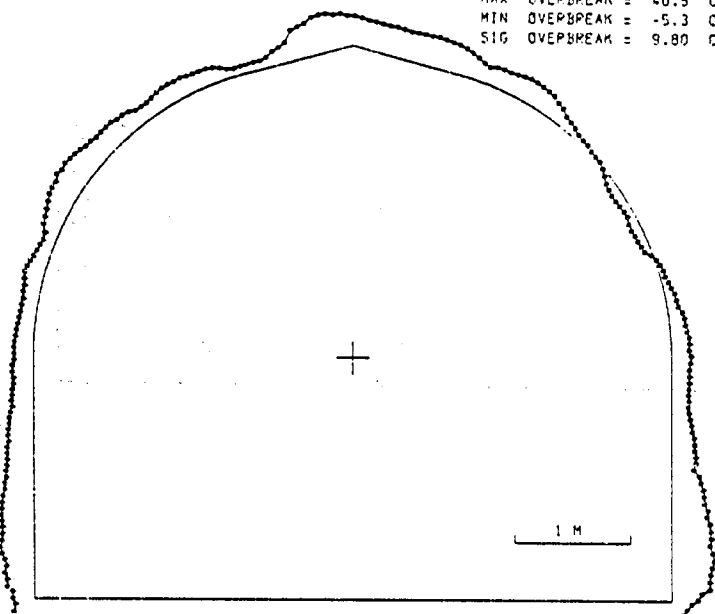
雷管	削孔数	装薬量(kg)	
		1孔当り	小計
1	6	0.7	4.2
2	10	0.6	6.0
3	14	0.6	8.4
4	17	0.5	8.5
5	2/9	0.4/0.7	0.8/6.3
6	25	0.4	10.0
7	2	0.7	1.4
計	85	—	45.6

爆薬	チタ・マイト A	
雷管	D	S
断面	25	m ²
1 爆破進行長	1.5	m
破砕量	37.5	m ³
1 m ² 当り爆薬使用量	1.22 kg / m ²	

添付図-1 爆破パターン(計画, 予備調査断面)

=== A TUNNEL NO.162+7.7 (01°) ===

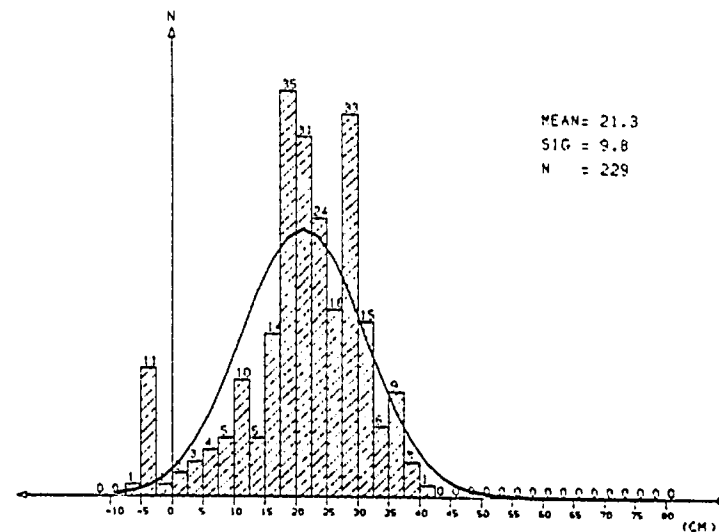
EXCAVATION AREA = 25.70 M²
 MEAN OVERSPEAK = 21.26 CM
 MAX OVERSPEAK = 40.5 CM
 MIN OVERSPEAK = -5.3 CM
 SIG OVERSPEAK = 9.80 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1 参照)

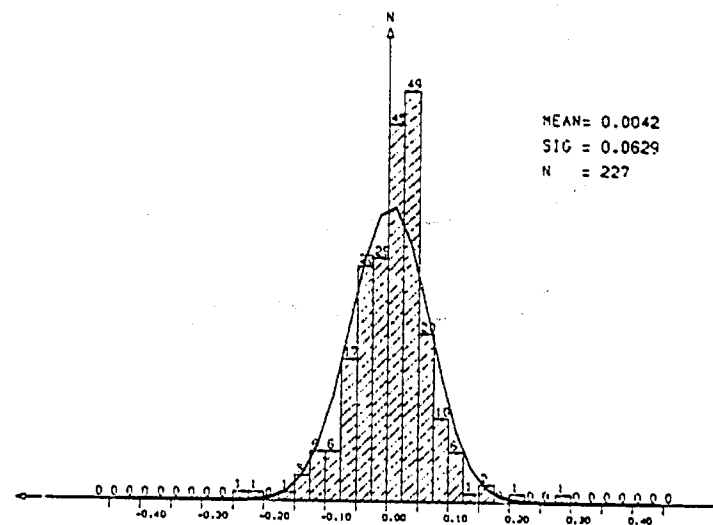
添付図-2 (1-1) No.162+7.7 (@ 1°)

=== A TUNNEL NO.162+7.7 (01°) ===



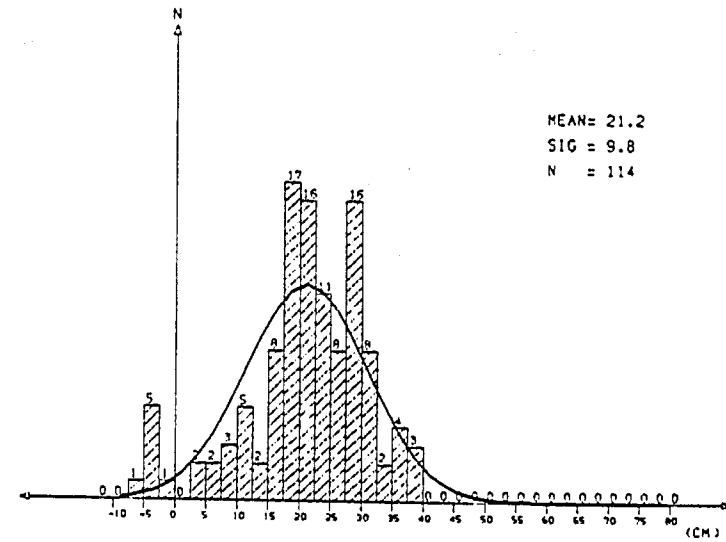
☆☆☆ 全 径 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.162+7.7 (01°) ===



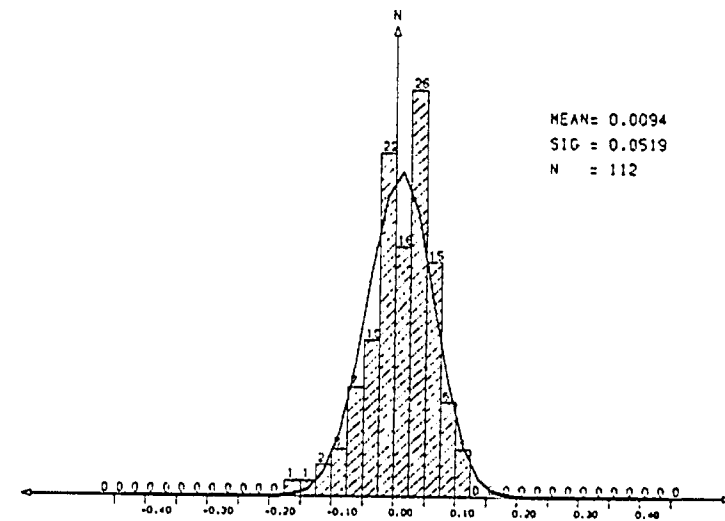
☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (@2°) ***



☆☆☆ 全 掘のヒストグラム ☆☆☆

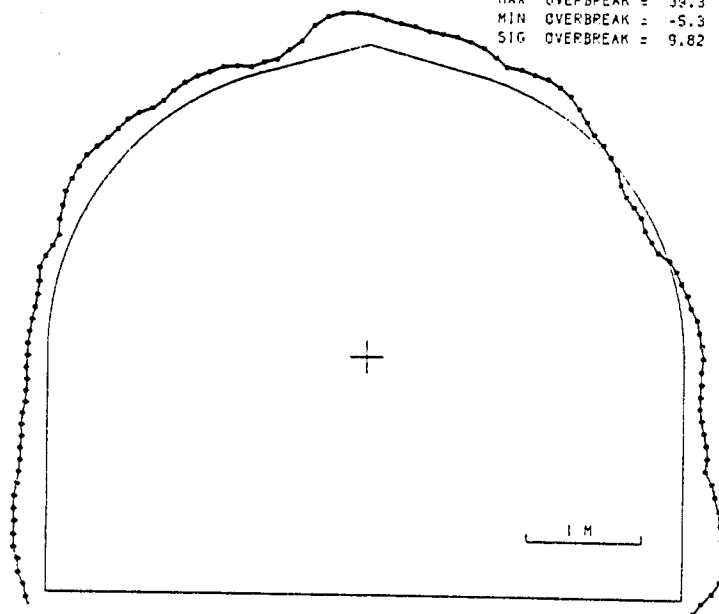
*** A TUNNEL NO.162+7.7 (@2°) ***



☆☆☆ D/Lのヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (@2°) ***

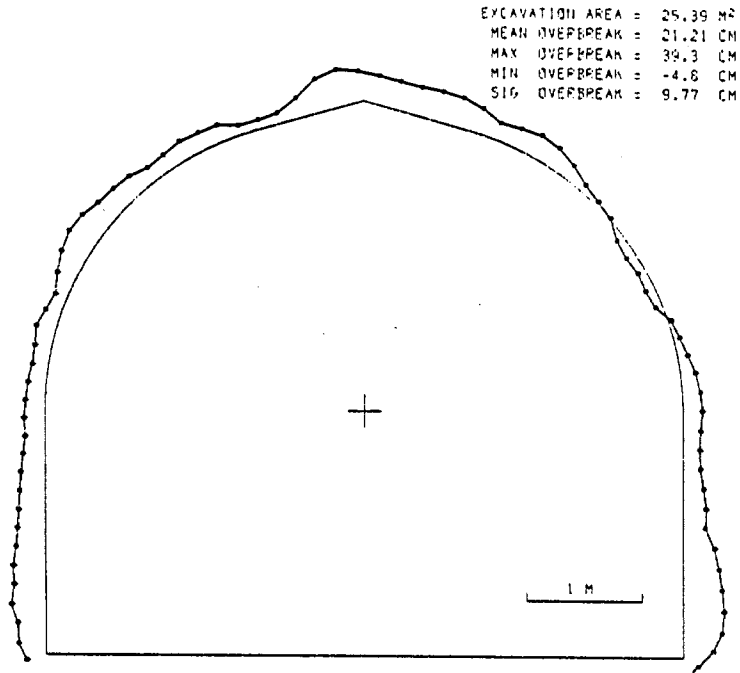
EXCAVATION AREA = 25.69 M²
MEAN OVERBREAK = 21.22 CM
MAX OVERBREAK = 39.3 CM
MIN OVERBREAK = -5.3 CM
SIG OVERBREAK = 9.82 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

添付図-2 (1-2) No.162+7.7 (@2°)

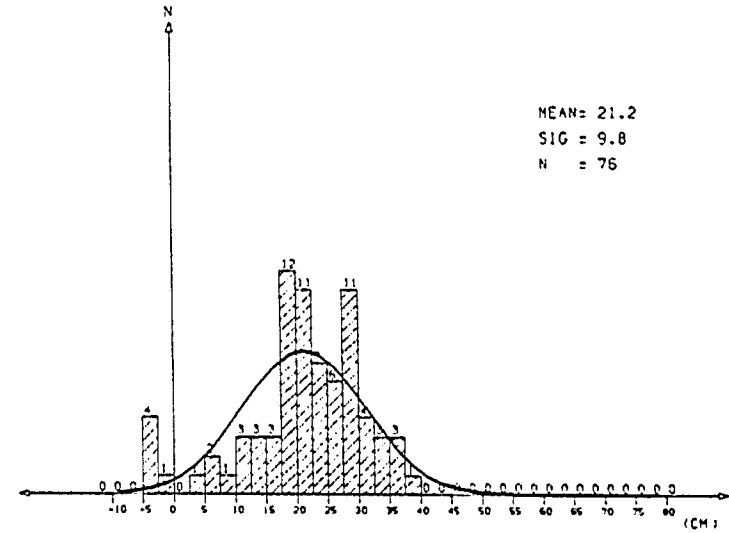
=== A TUNNEL NO.162+7.7 (03°) ===



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

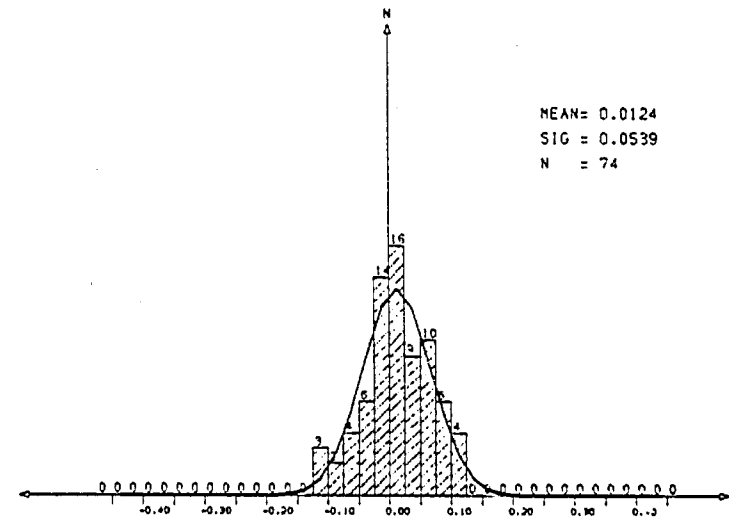
添付図-2 (1-3) No.162+7.7 (@3°)

=== A TUNNEL NO.162+7.7 (03°) ===



☆☆☆ 余 堀 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

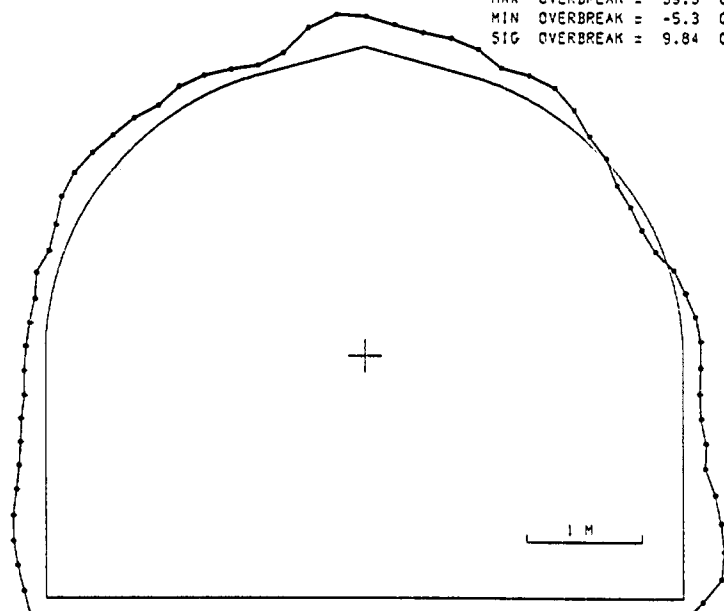
=== A TUNNEL NO.162+7.7 (03°) ===



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (94°) ***

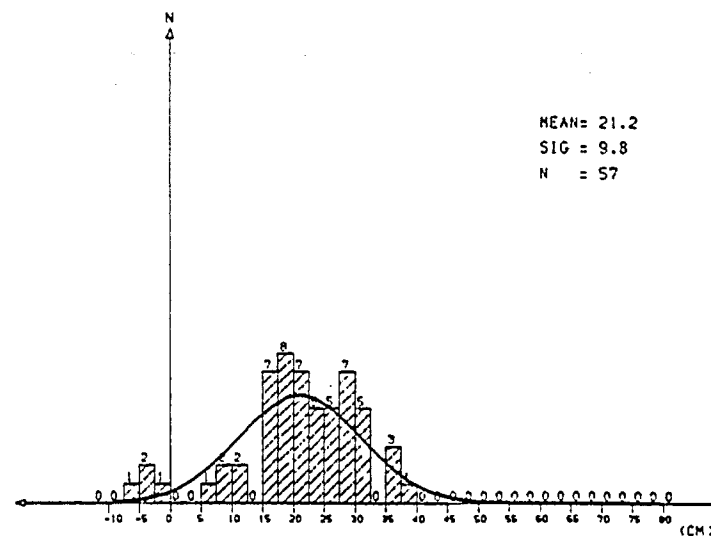
EXCAVATION AREA = 25.66 M²
 MEAN OVERBREAK = 21.16 CM
 MAX OVERBREAK = 39.3 CM
 MIN OVERBREAK = -5.3 CM
 SIG OVERBREAK = 9.84 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

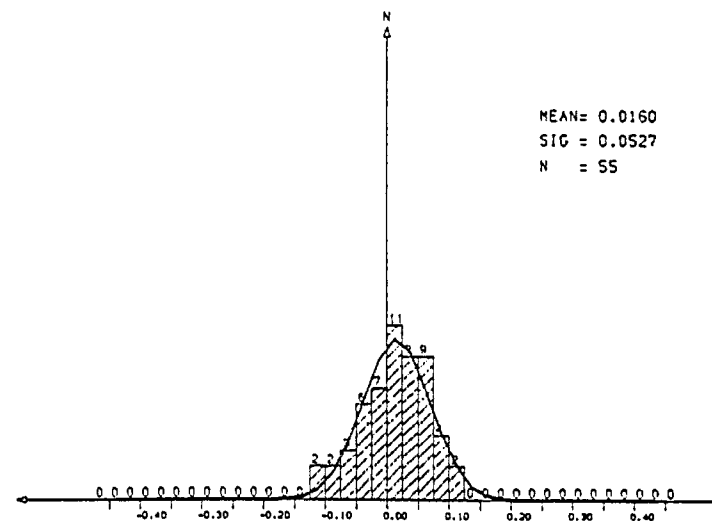
添付図-2 (1-4) No.162+7.7 (@4°)

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (94°) ***



☆☆☆ 全 掘のヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (94°) ***



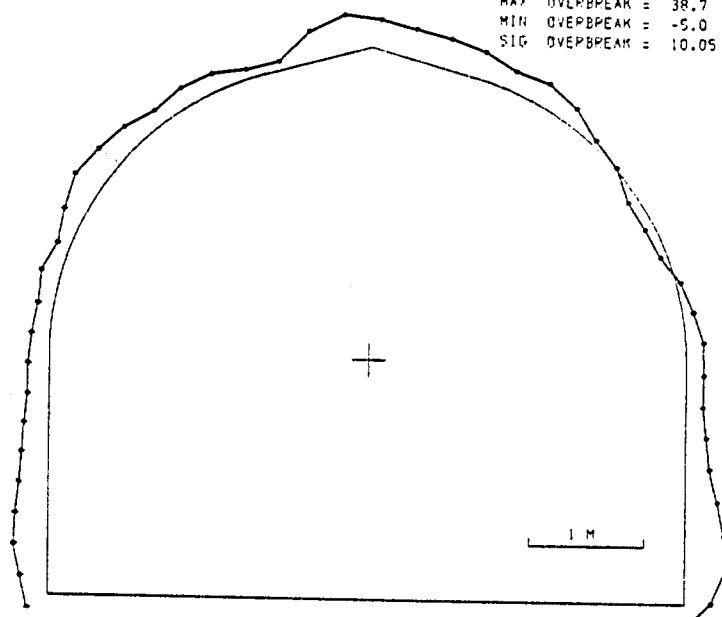
☆☆☆ D / L のヒストグラム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO. 162+7.7 (QS*) ===

```

EXCAVATION AREA = 25.58 M2
MEAN OVERBPEAK = 21.35 CM
MAX OVERBPEAK = 38.7 CM
MIN OVERBPEAK = -5.0 CM
SIG OVERBPEAK = 10.05 CM

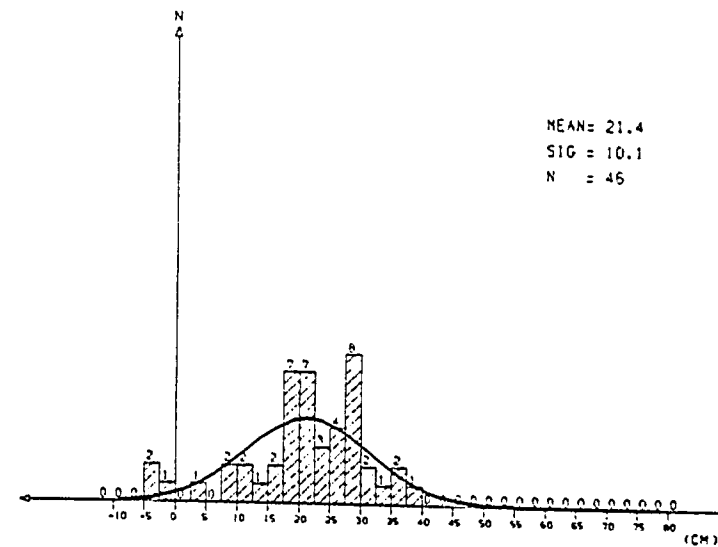
```



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

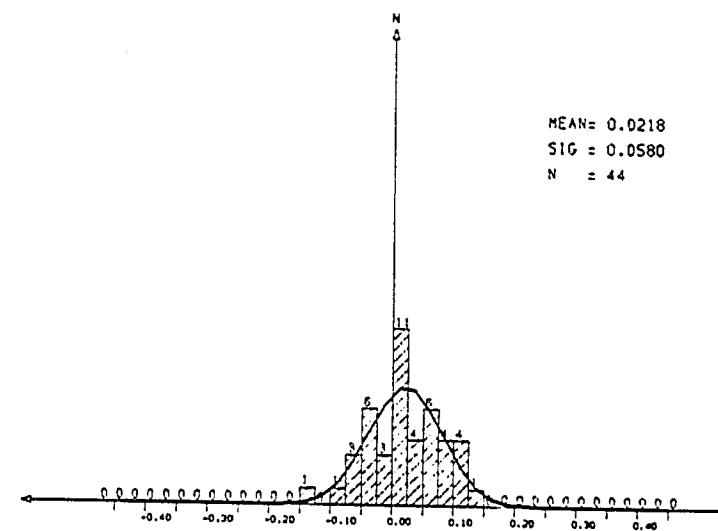
添付図-2 (1-5) No. 162+7.7 (@5°)

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (05°) ***



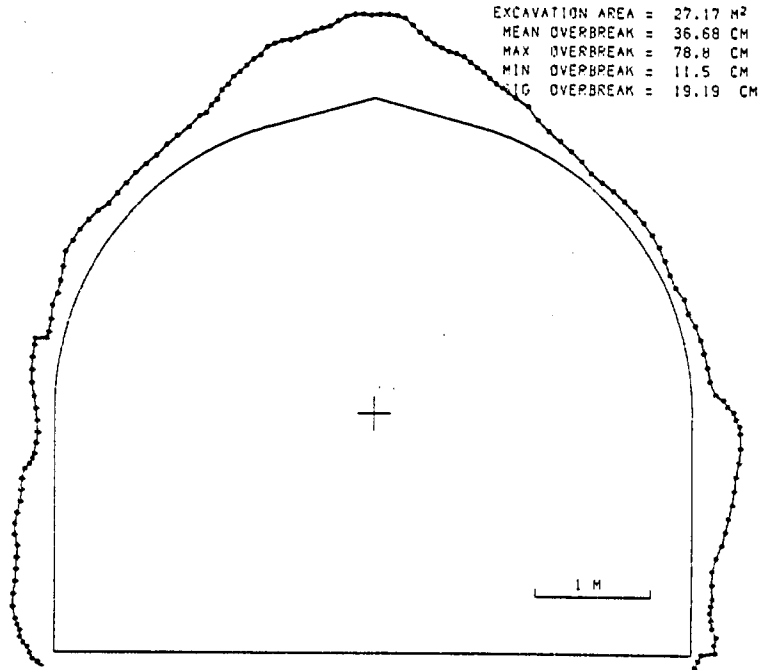
☆☆☆ 余 程 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+7.7 (05') ***



☆☆☆ D / L のヒストグラム ☆☆☆

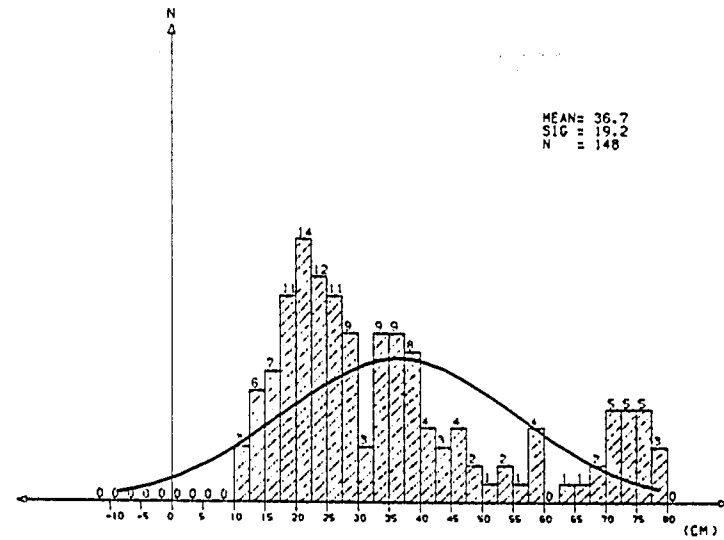
*** A TUNNEL NO.162+10.55 ***



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

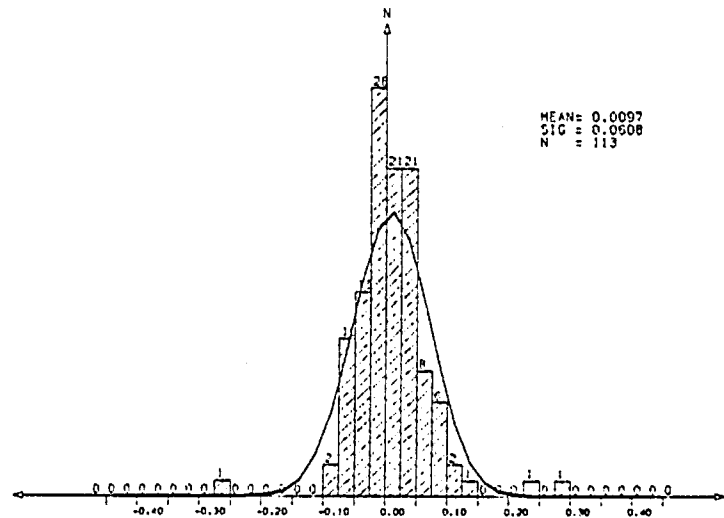
添付図-2(2) No.162+10.55

*** A TUNNEL NO.162+10.55 ***



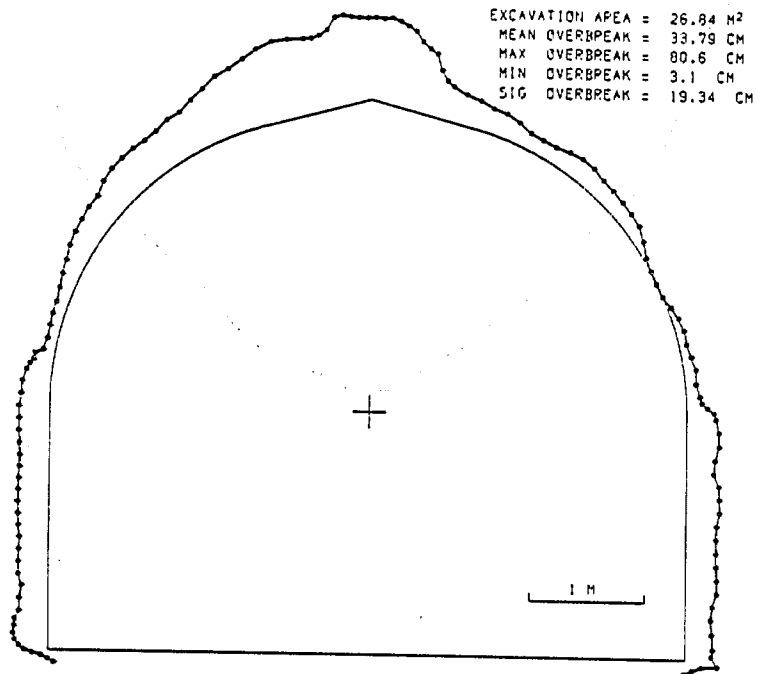
☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+10.55 ***



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

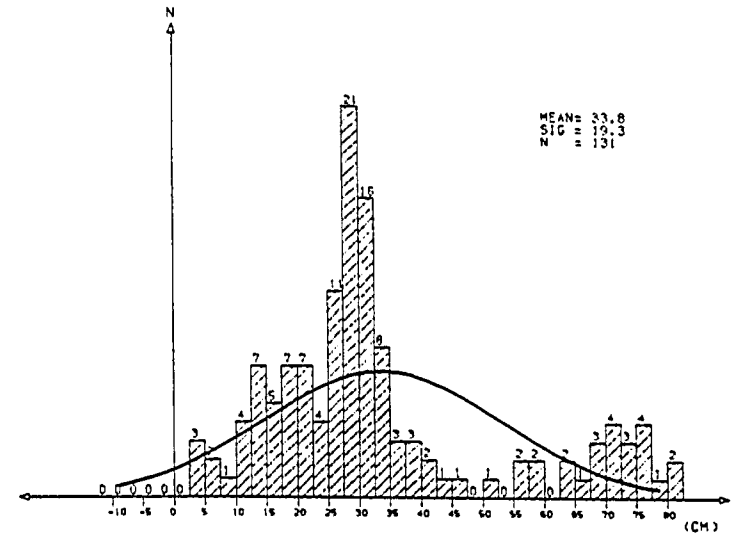
=== A TUNNEL NO.162+11.28 ===



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である (図-2・1 参照)

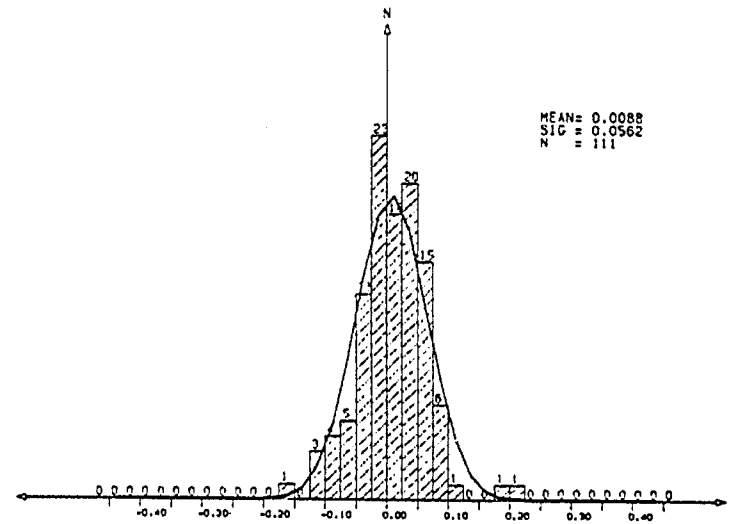
添付図-2 (3) No.162+11.28

=== A TUNNEL NO.162+11.28 ===



☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

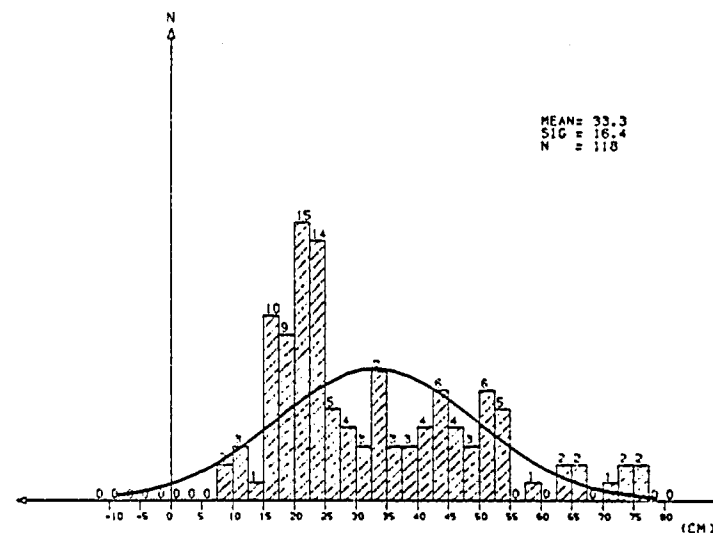
=== A TUNNEL NO.162+11.28 ===



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162-11.69 ***

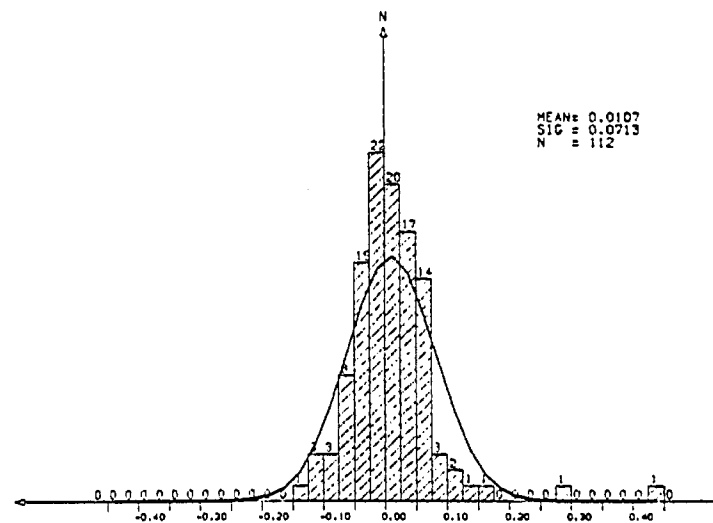
MEAN = 33.3
SIG = 16.4
N = 118



☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162-11.69 ***

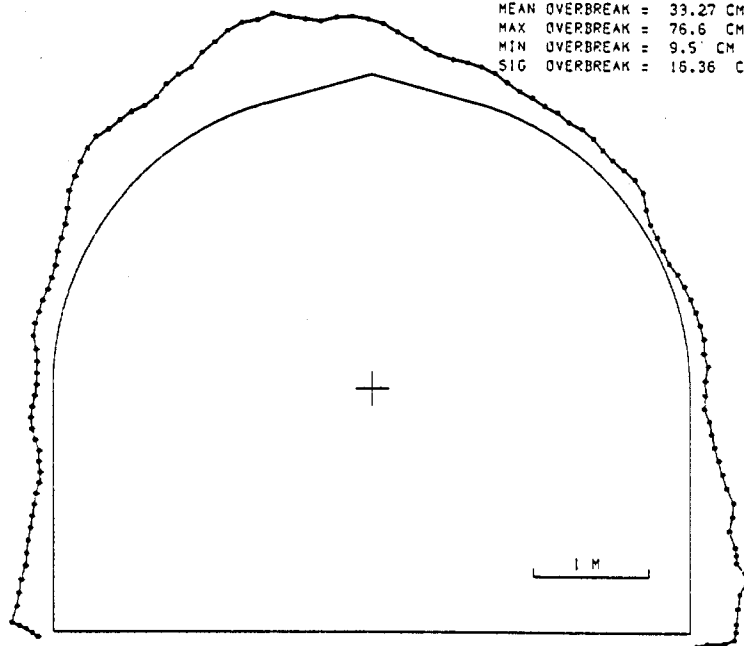
MEAN = 0.0107
SIG = 0.0713
N = 112



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162-11.69 ***

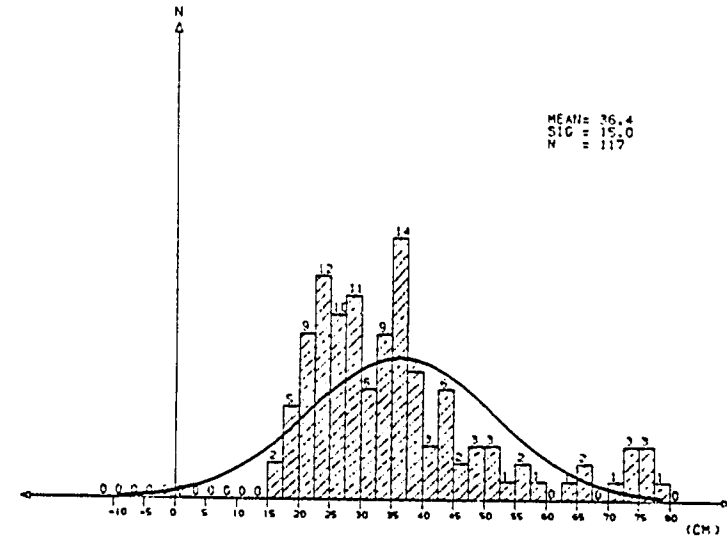
EXCAVATION AREA = 26.02 M²
MEAN OVERBREAK = 33.27 CM
MAX OVERBREAK = 76.6 CM
MIN OVERBREAK = 9.5 CM
SIG OVERBREAK = 16.36 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

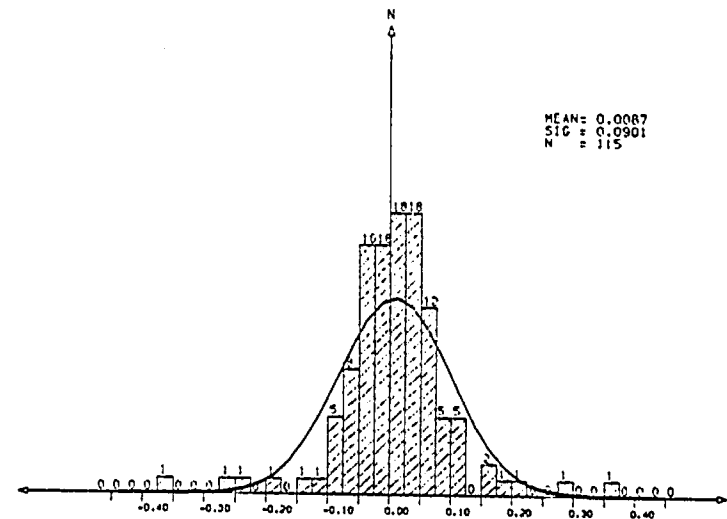
添付図-2(4) No.162+11.69

*** A TUNNEL NO.162+14.43 ***



☆☆☆ 断面のヒストグラム ☆☆☆

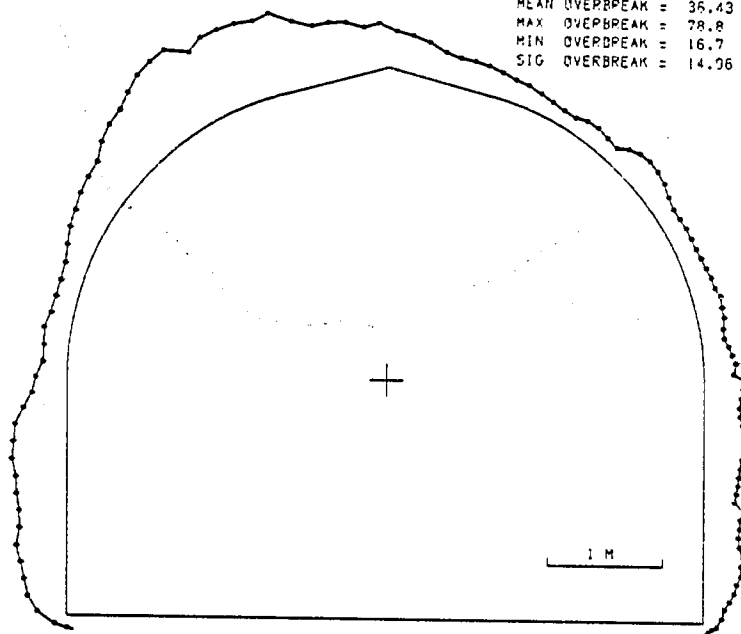
*** A TUNNEL NO.162+14.43 ***



☆☆☆ D/Lのヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162+14.43 ***

EXCAVATION AREA = 27.68 M²
MEAN OVERBREAK = 36.43 CM
MAX OVERBREAK = 78.8 CM
MIN OVERBREAK = 16.7 CM
SIG OVERBREAK = 14.96 CM

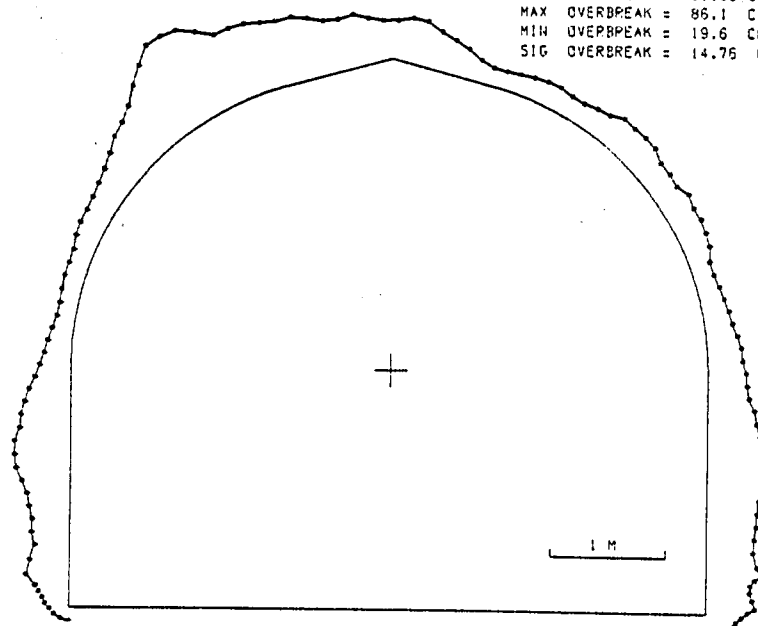


注) 実線は、設計における吹付けコンクリート内面である(図-2-1 参照)

添付図-2(5) No.162+14.43

*** A TUNNEL NO.162+15.0 ***

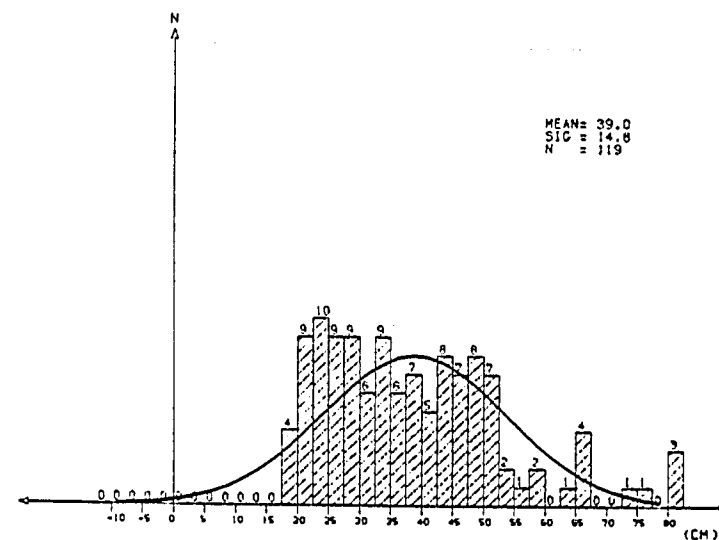
EXCAVATION AREA = 27.75 M²
 MEAN OVERBREAK = 38.95 CM
 MAX OVERBREAK = 86.1 CM
 MIN OVERBREAK = 19.6 CM
 SIG OVERBREAK = 14.76 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

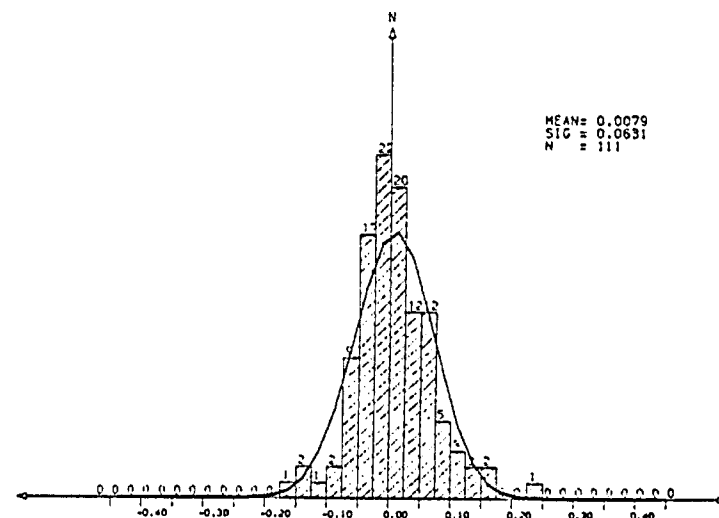
添付図-2(6) No.162+15.0

*** A TUNNEL NO.162+15.0 ***



☆☆☆ 終のヒストグラム ☆☆☆

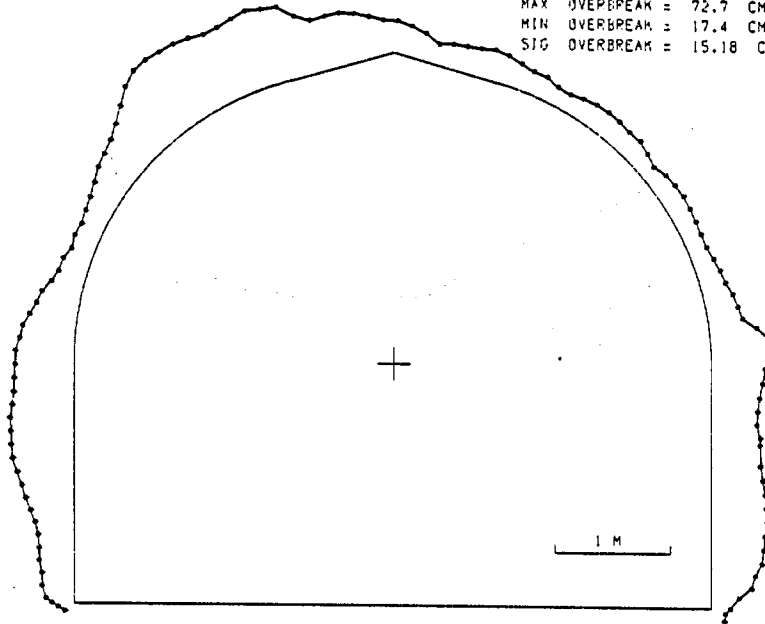
*** A TUNNEL NO.162+15.0 ***



☆☆☆ D / L のヒストグラム ☆☆☆

--- A TUNNEL NO.162+15.75 ---

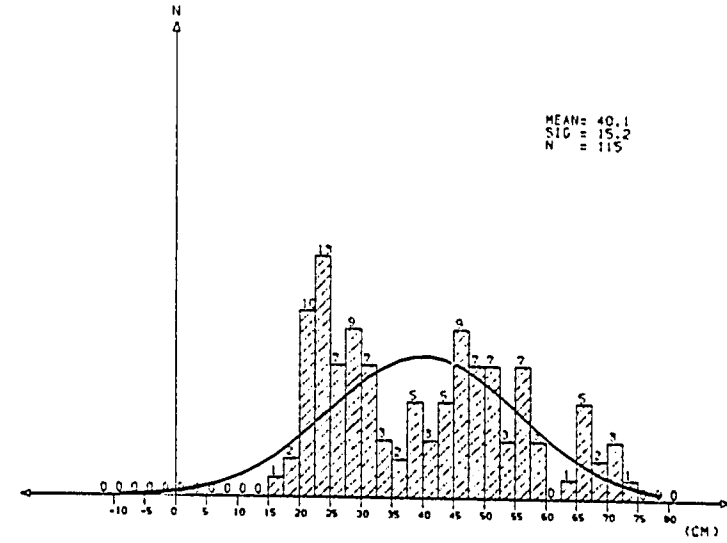
EXCAVATION AREA = 27.90 M²
 MEAN OVERBREAK = 40.13 CM
 MAX OVERBREAK = 72.7 CM
 MIN OVERBREAK = 17.4 CM
 SIG OVERBREAK = 15.18 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1 参照)

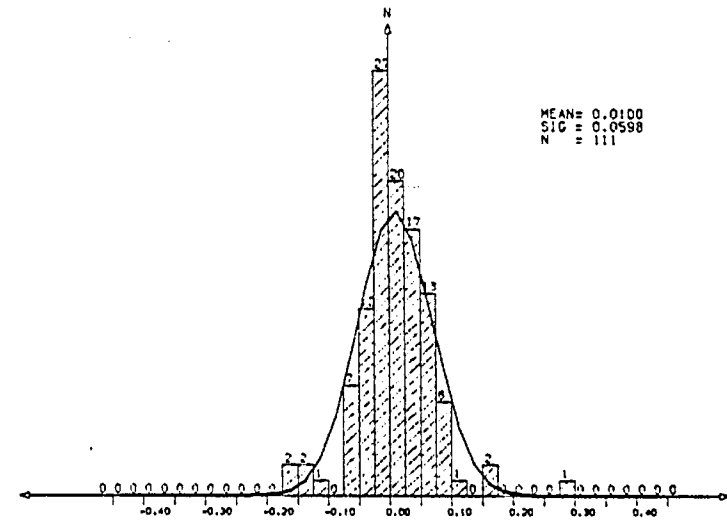
添付図-2(7) No.162+15.75

--- A TUNNEL NO.162+15.75 ---



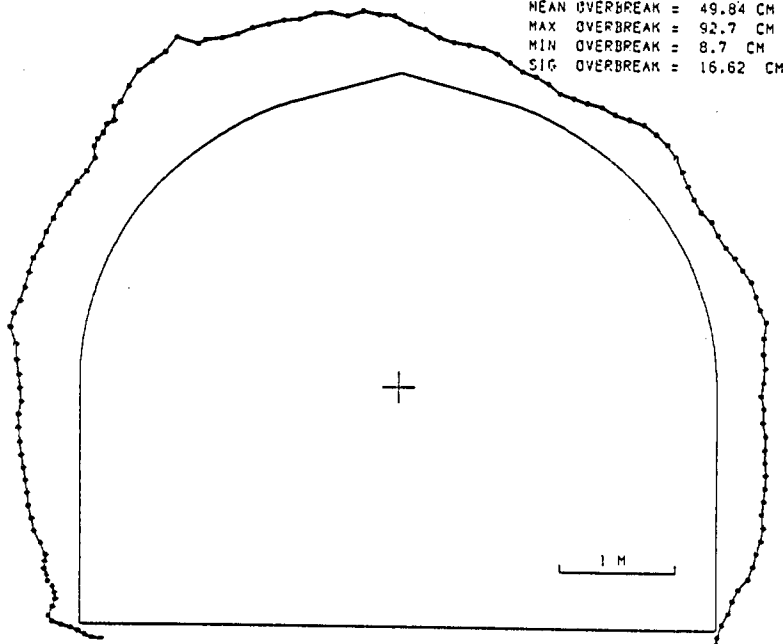
☆☆☆ 余 差 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

--- A TUNNEL NO.162+15.75 ---



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

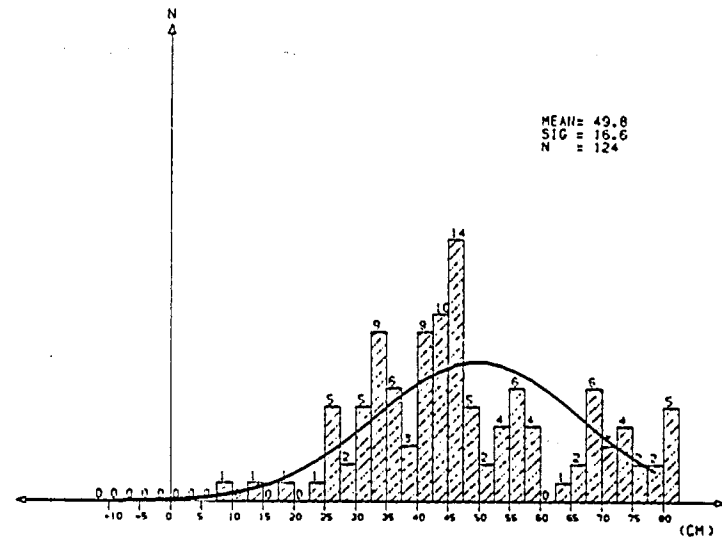
*** A TUNNEL NO.162-16.35 ***



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

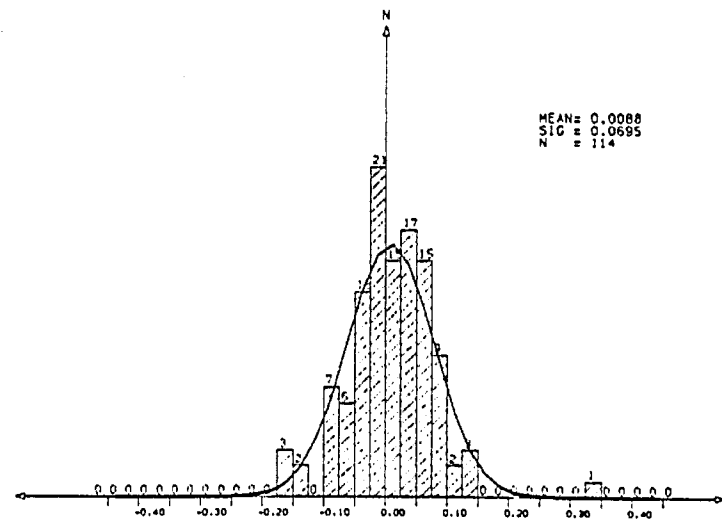
添付図-2(8) No.162+16.35

*** A TUNNEL NO.162-16.35 ***



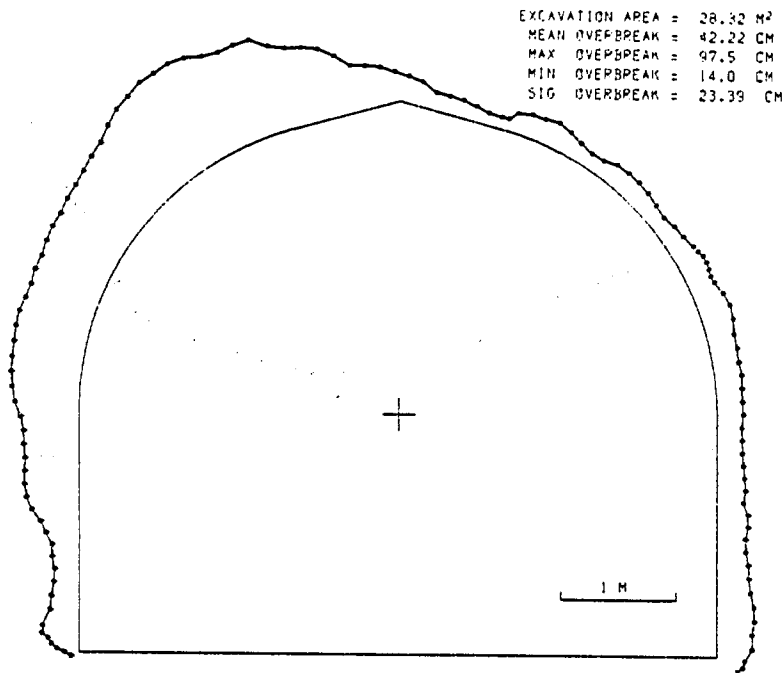
☆☆☆ 余 距 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.162-16.35 ***



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

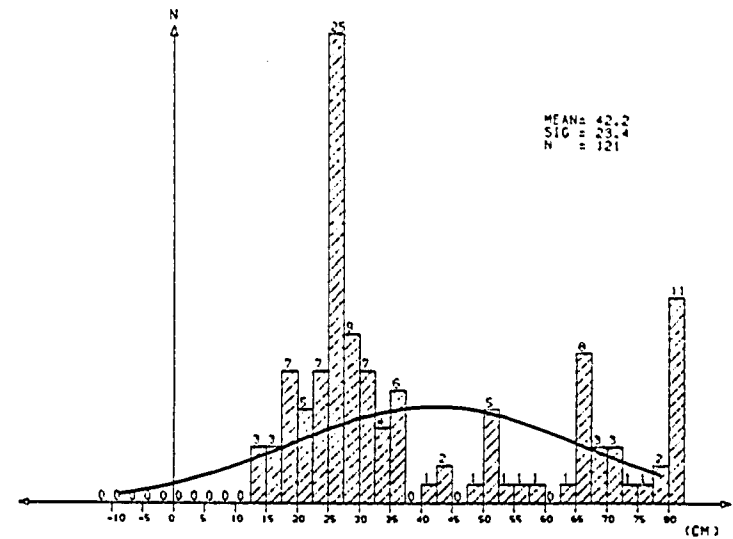
*** A TUNNEL NO.162+17.1 ***



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

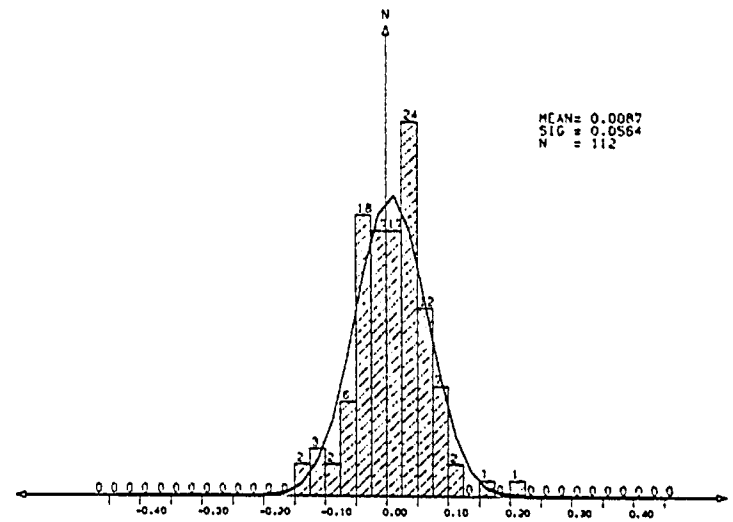
添付図-2 (9) No.162+17.1

*** A TUNNEL NO.162+17.1 ***



☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

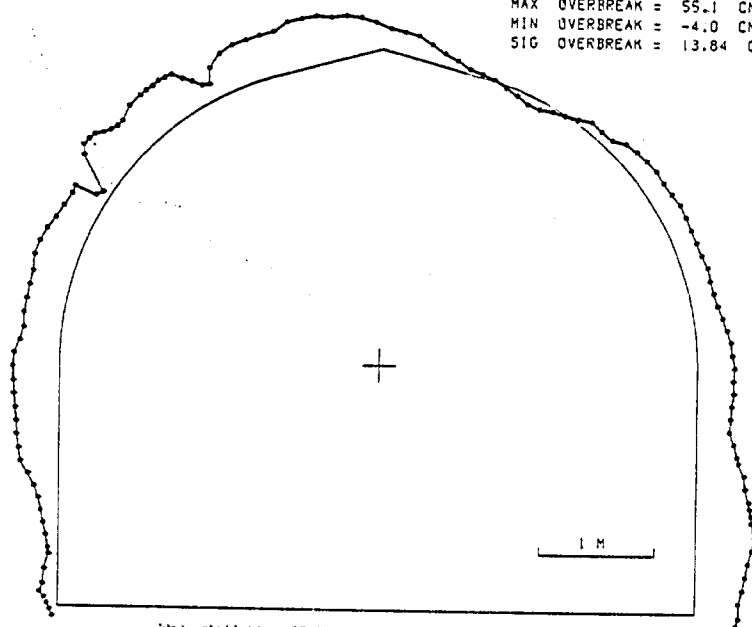
*** A TUNNEL NO.162+17.1 ***



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.162+17.75 ===

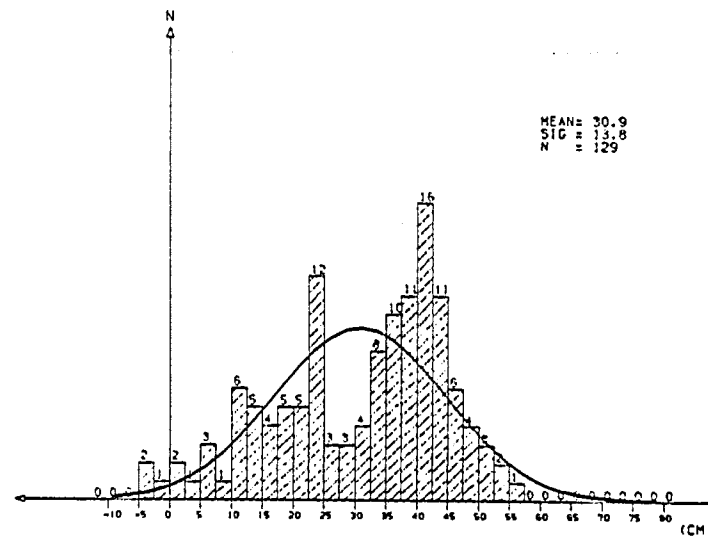
EXCAVATION AREA = 26.61 M²
 MEAN OVERBREAK = 30.89 CM
 MAX OVERBREAK = 55.1 CM
 MIN OVERBREAK = -4.0 CM
 SIG OVERBREAK = 13.84 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1 参照)

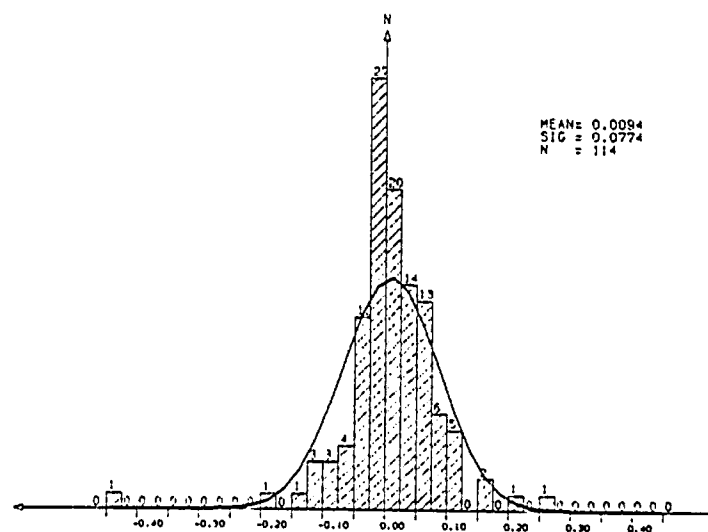
添付図-2 (10) No.162+17.75

=== A TUNNEL NO.162+17.75 ===



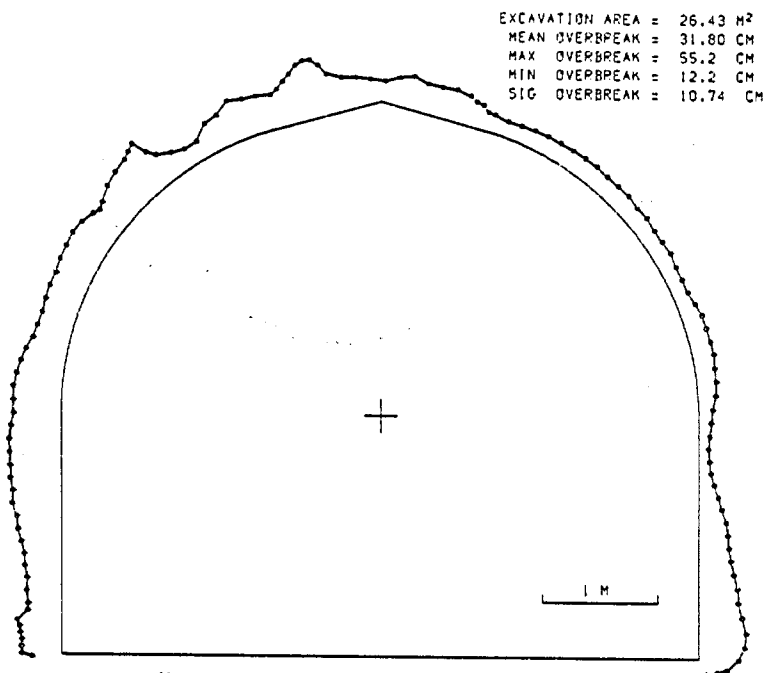
☆☆☆ 余 差 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.162+17.75 ===



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

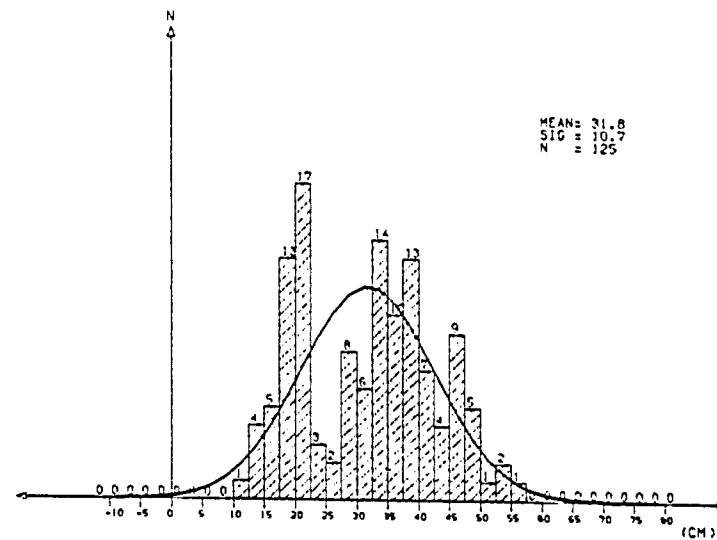
*** A TUNNEL NO.162+18.4 ***



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

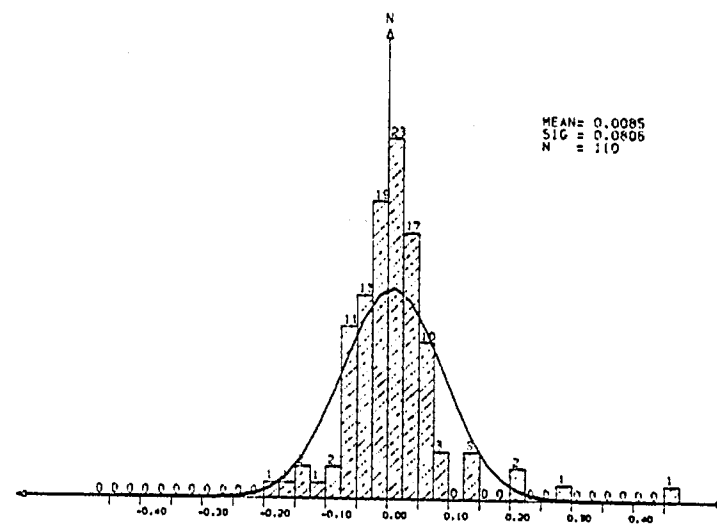
添付図-2 (11) No.162+18.4

*** A TUNNEL NO.162+18.4 ***



☆☆☆ 全 距 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

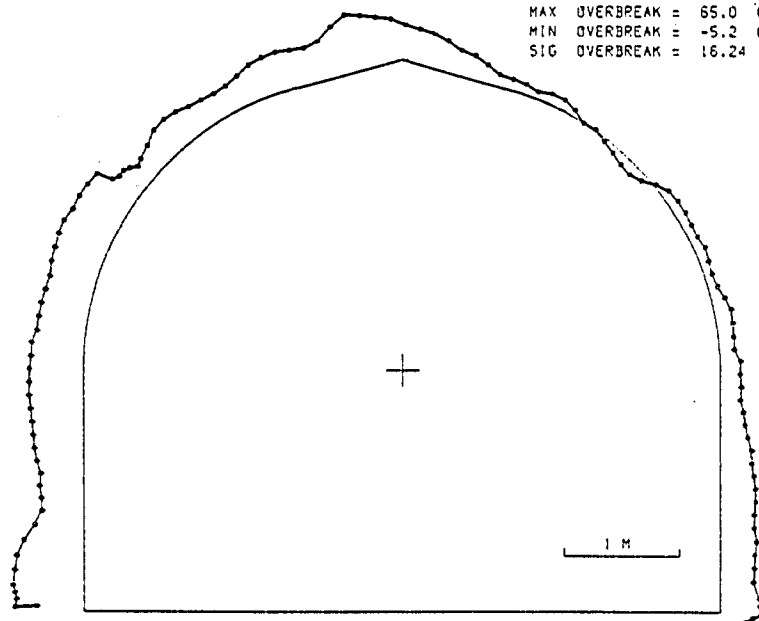
*** A TUNNEL NO.162+18.4 ***



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.162+19.0 ===

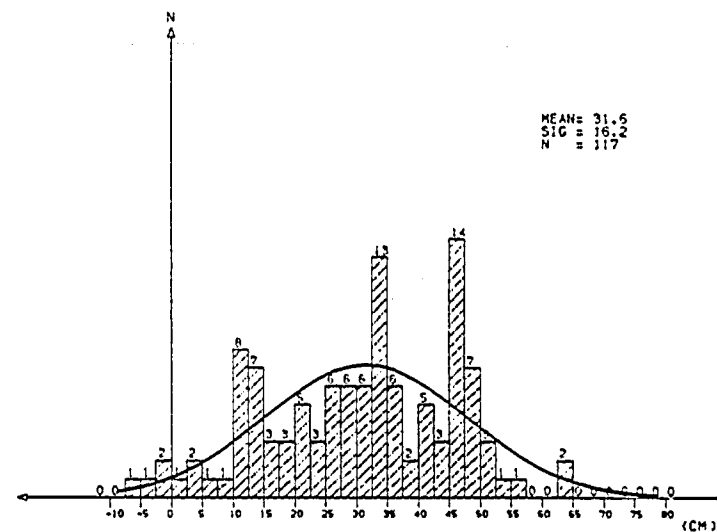
EXCAVATION AREA = 26.19 M²
 MEAN OVERBREAK = 31.59 CM
 MAX OVERBREAK = 65.0 CM
 MIN OVERBREAK = -5.2 CM
 SIG OVERBREAK = 16.24 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1参照)

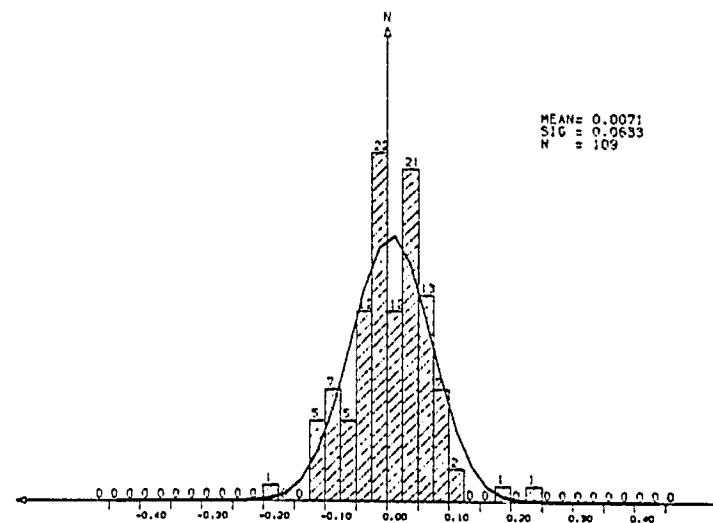
添付図-2(12) No.162+19.0

=== A TUNNEL NO.162+19.0 ===



☆☆☆ 全 径 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

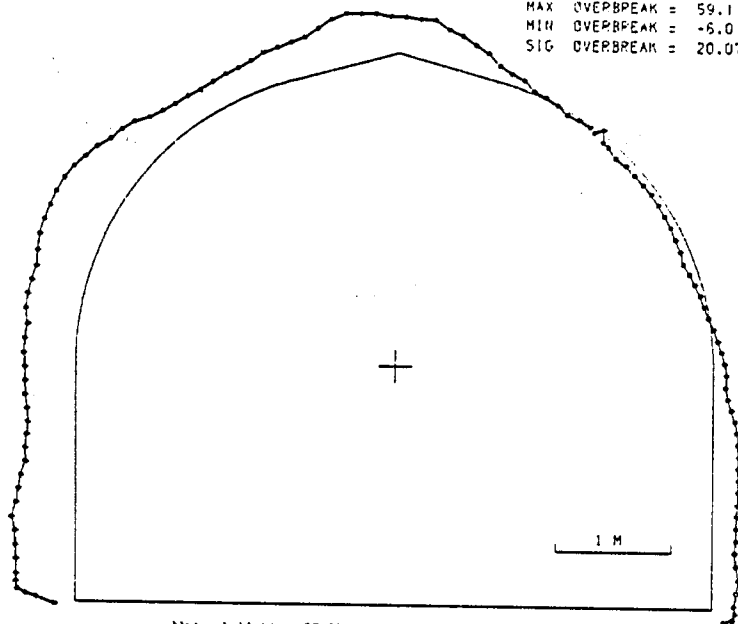
=== A TUNNEL NO.162+19.0 ===



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

--- A TUNNEL NO.162+19.39 ---

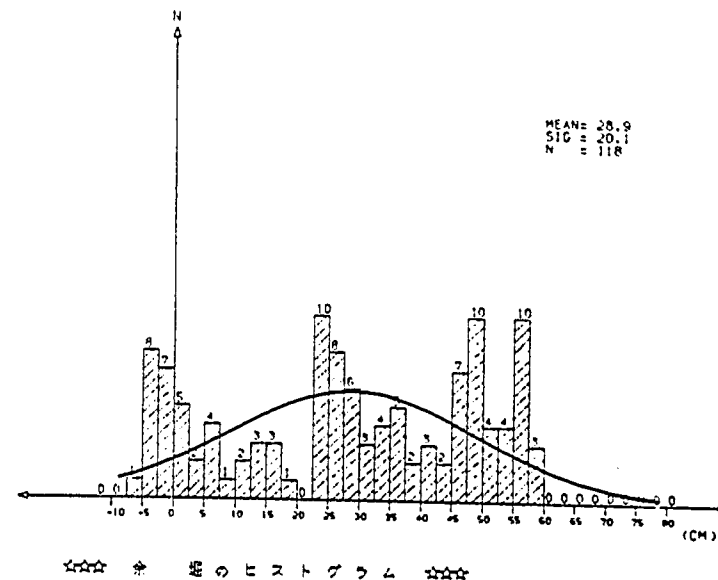
EXCAVATION AREA = 26.16 M²
 MEAN OVERBREAK = 28.86 CM
 MAX OVERBREAK = 59.1 CM
 MIN OVERBREAK = -6.0 CM
 SIG OVERBREAK = 20.07 CM



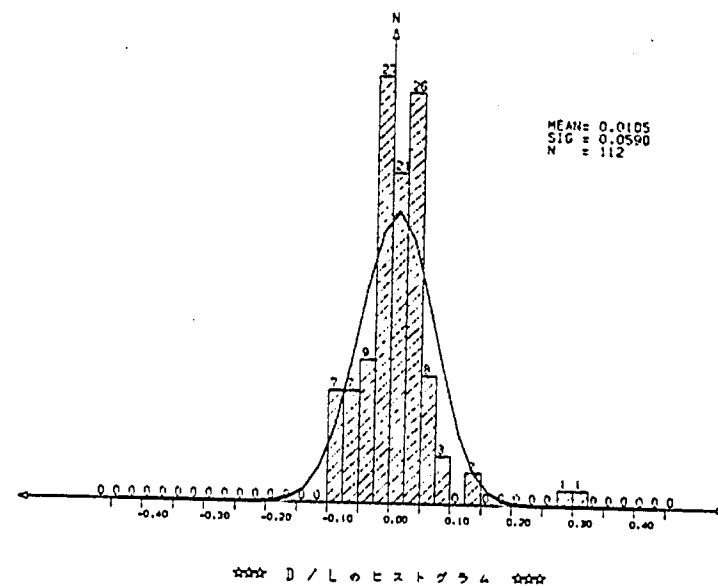
注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1参照)

添付図-2(13) No.162+19.39

--- A TUNNEL NO.162+19.39 ---

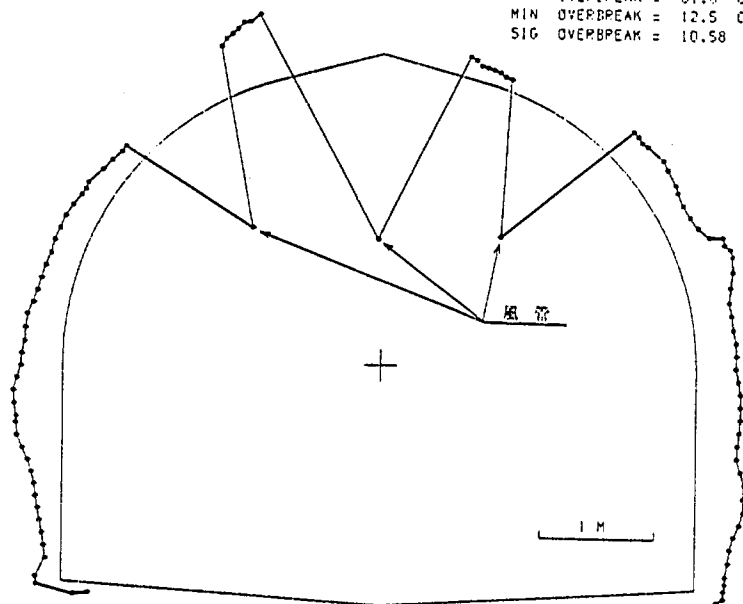


--- A TUNNEL NO.162+19.39 ---



--- A TUNNEL NO.168+2.37 ---

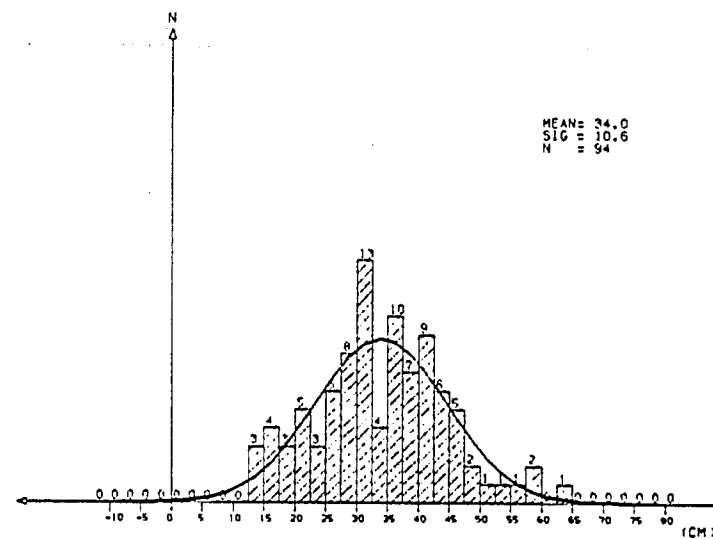
MEAN OVERPEAK = 34.02 CM
MAX OVERPEAK = 61.6 CM
MIN OVERPEAK = 12.5 CM
SIG OVERPEAK = 10.58 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である (図-2・1 参照)

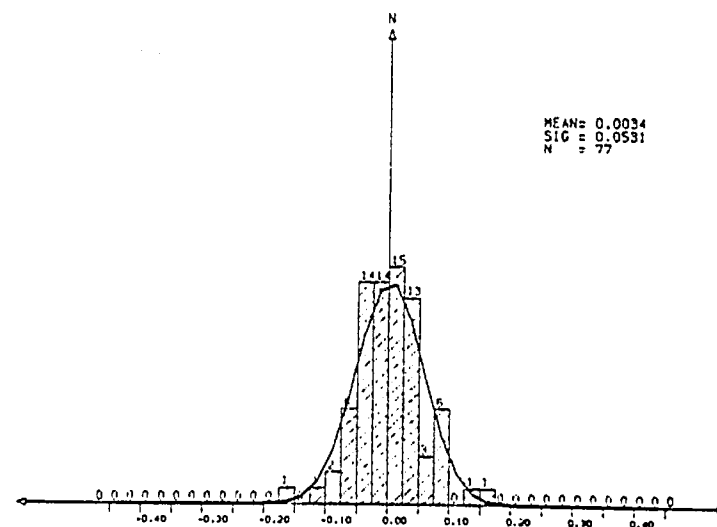
添付図-2 (14) No.168+2.37

--- A TUNNEL NO.168+2.37 ---



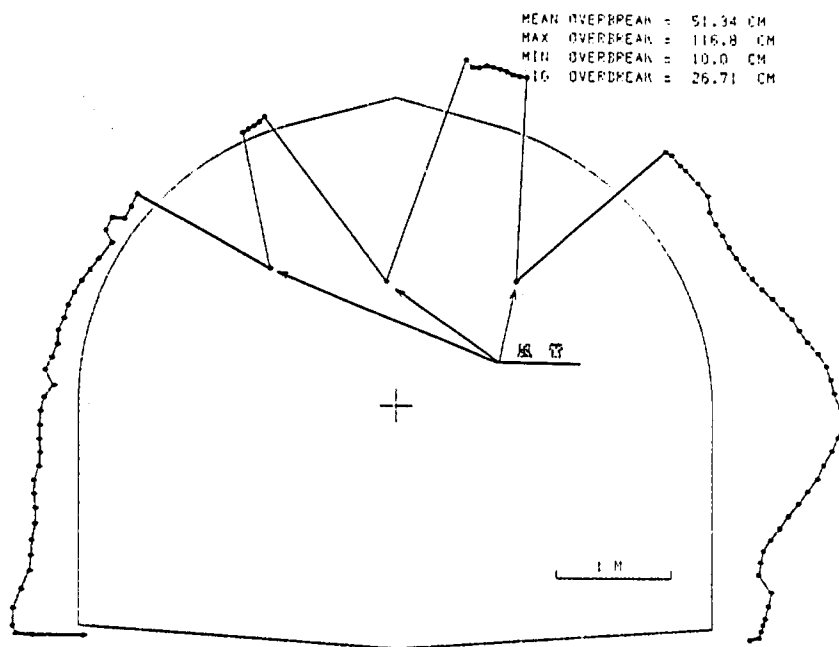
☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

--- A TUNNEL NO.168+2.37 ---



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

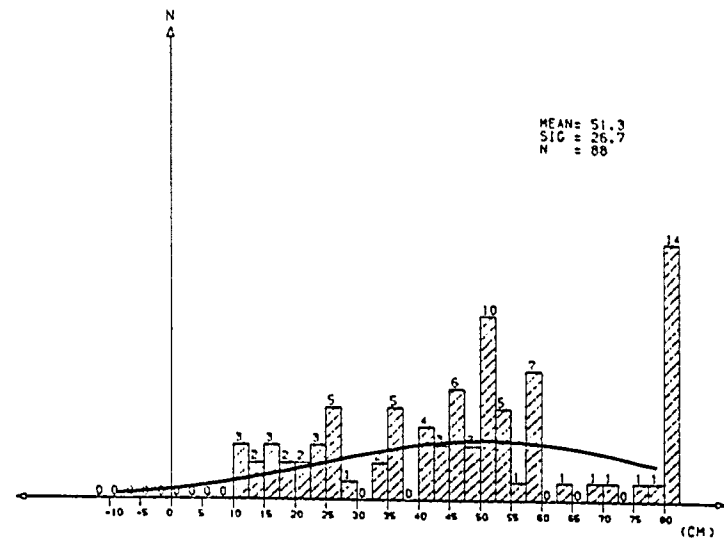
--- A TUNNEL NO.169-16.0 ---



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1 参照)

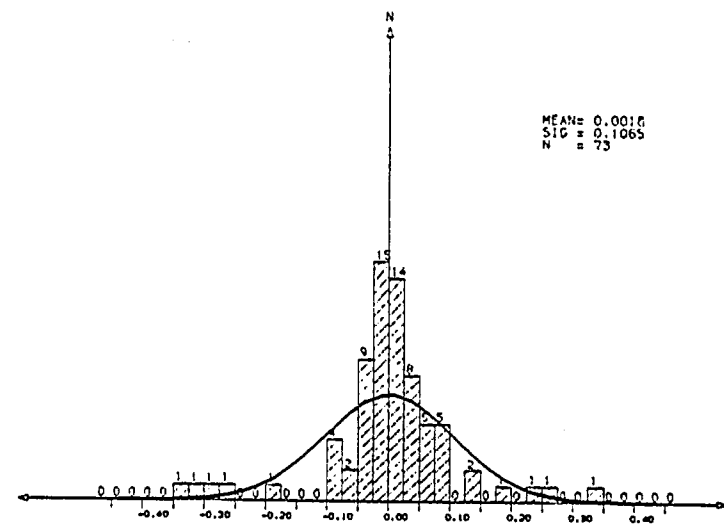
添付図-2(15) No.169+16.0

--- A TUNNEL NO.169-16.0 ---



☆☆☆ 欠 欠 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

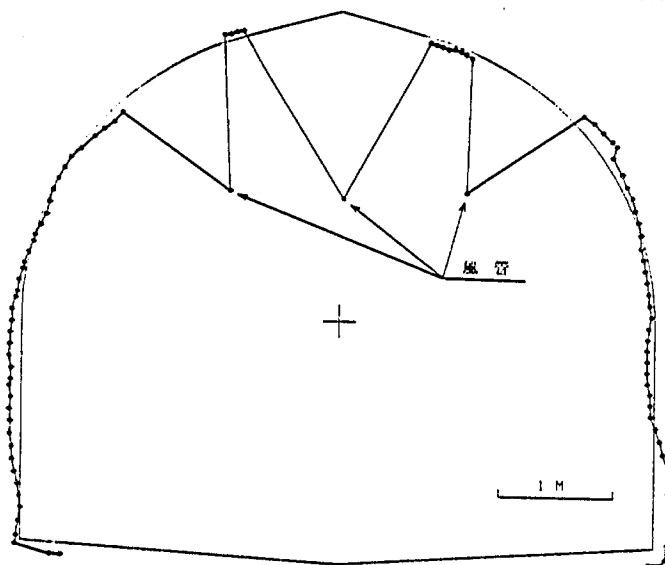
--- A TUNNEL NO.169-16.0 ---



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.172+0.26 ***

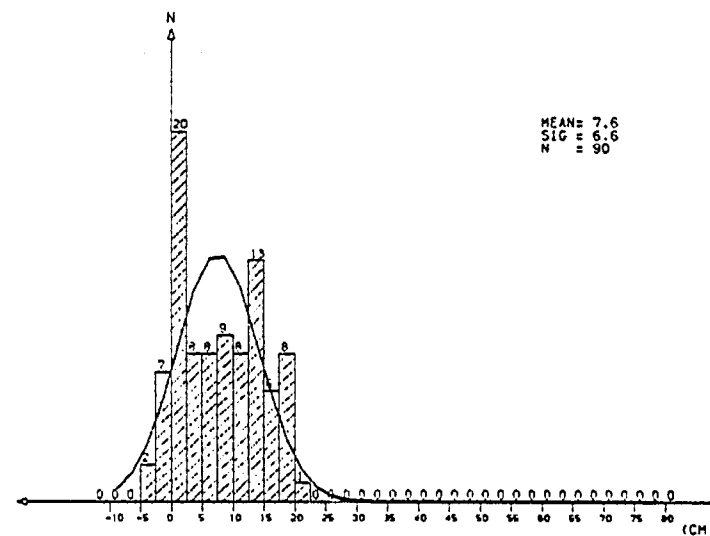
MEAN OVERBREAK = 7.65 CM
MAX OVERBREAK = 20.5 CM
MIN OVERBREAK = -3.5 CM
SIG OVERBREAK = 6.60 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である (図-2・1 参照)

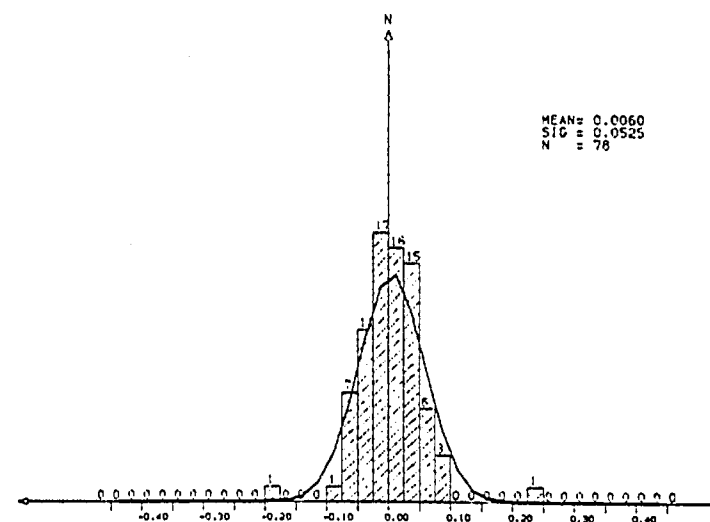
添付図-2 (16) No.172+0.26

*** A TUNNEL NO.172+0.26 ***



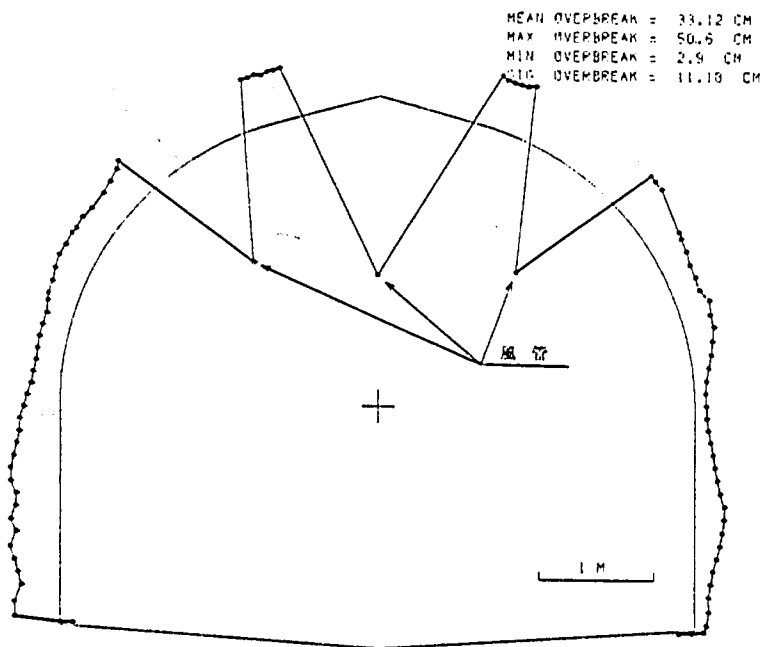
☆☆☆ 全 差 の ヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL NO.172+0.26 ***



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

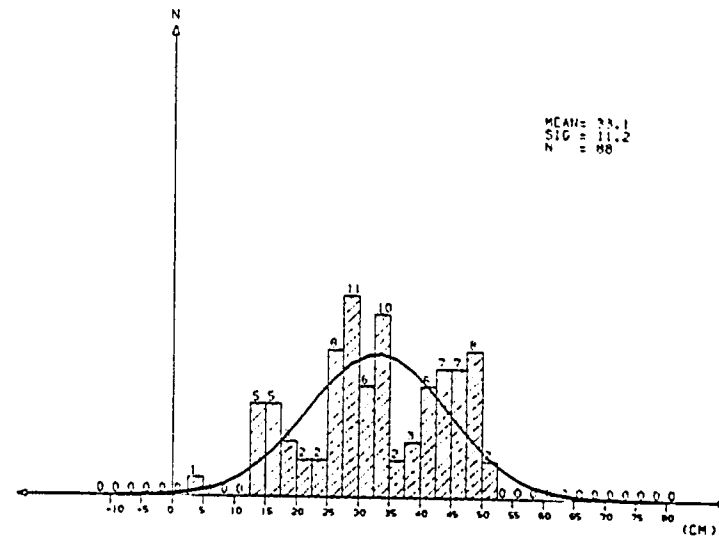
--- A TUNNEL NO.176+7.9 ---



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

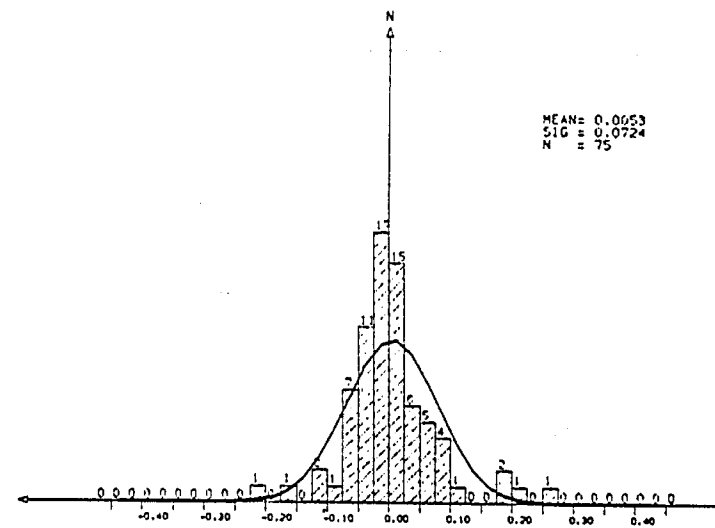
添付図-2 (17) No.176+7.9

--- A TUNNEL NO.176+7.9 ---



☆☆☆ 全 径 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

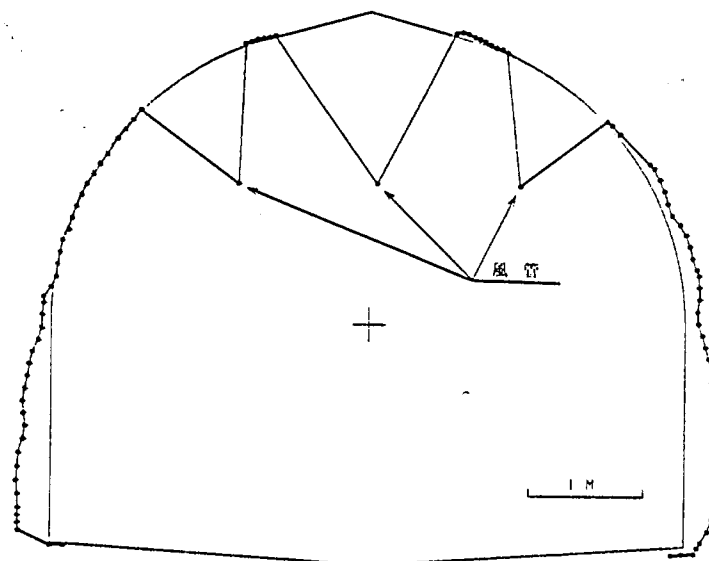
--- A TUNNEL NO.176+7.9 ---



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.182+15.0 ===

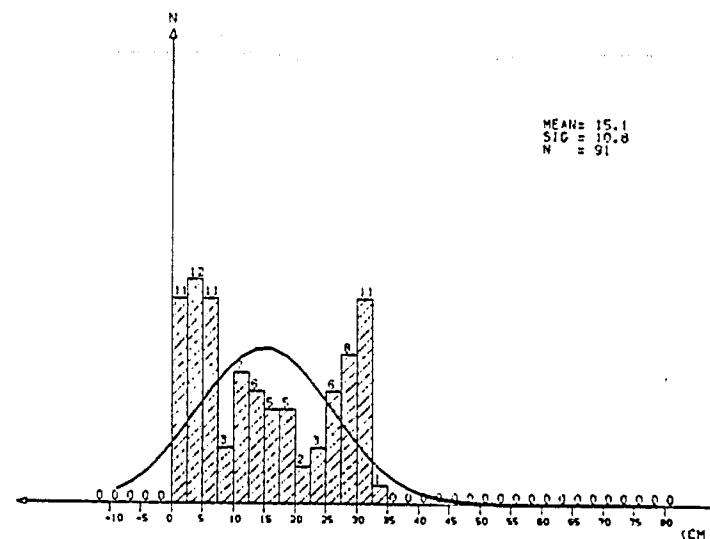
MEAN OVERBREAK = 15.11 CM
MAX OVERBREAK = 33.2 CM
MIN OVERBREAK = 0.9 CM
SIG OVERBREAK = 10.78 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

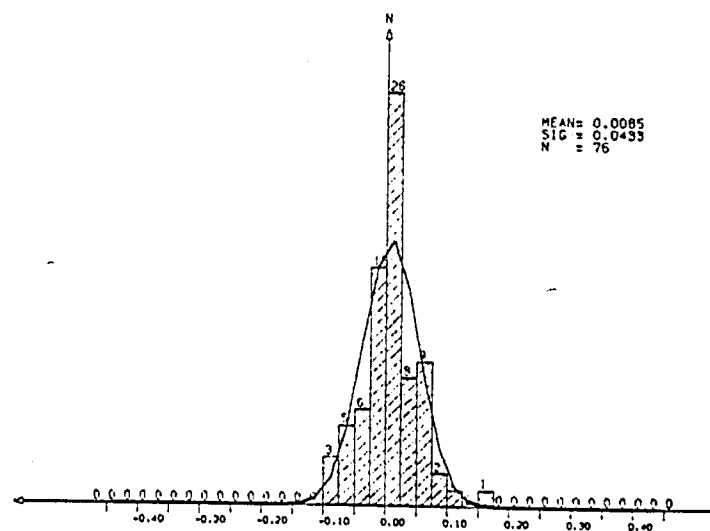
添付図-2(18) No.182+15.0

=== A TUNNEL NO.182+15.0 ===



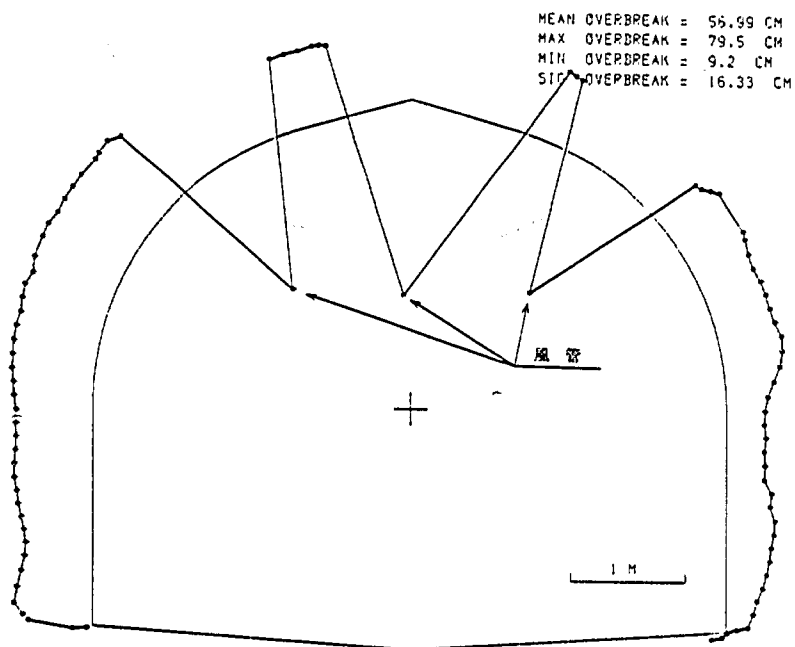
☆☆☆ 余 差 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

=== A TUNNEL NO.182+15.0 ===



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

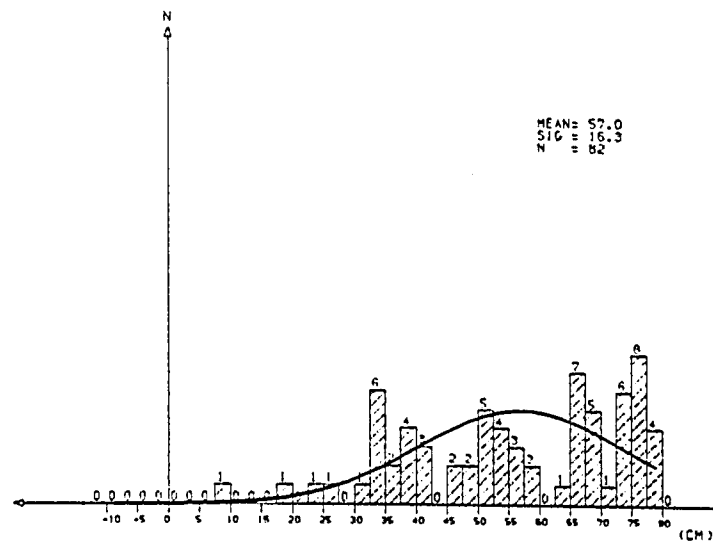
... TUNNEL NO.201+10.72 ...



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2-1 参照)

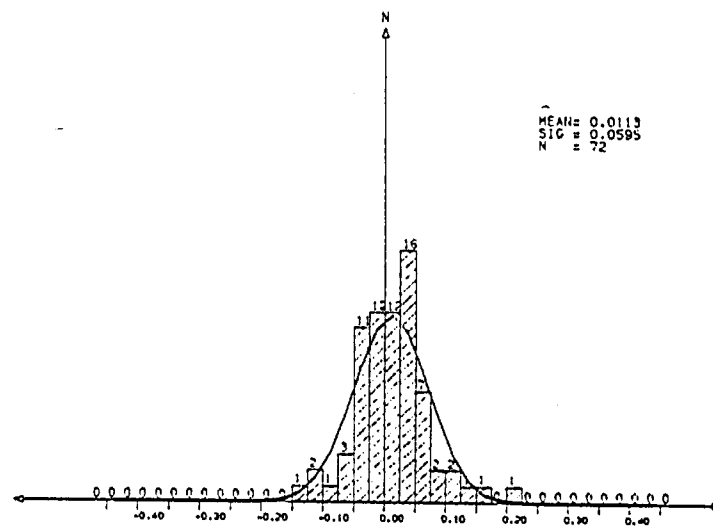
添付図-2 (19) No.201+10.72

... A TUNNEL NO.201+10.72 ...



☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

... A TUNNEL NO.201+10.72 ...



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

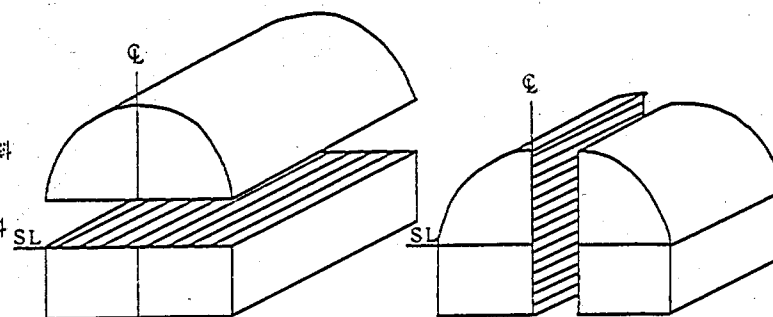
凡 例

	珪質角礫岩
	珪質粘板岩
	石英斑岩 周縁相
	石英斑岩
	砂 岩
	含 礫 砂 岩
	石英安山岩

	断層(破碎帯)
	節 理
	方解石脈, 石英脈
	断層面の走向・傾斜
	節理面の走向・傾斜
	半花崗岩
	玢 岩
	石 灰 岩

地質平面図

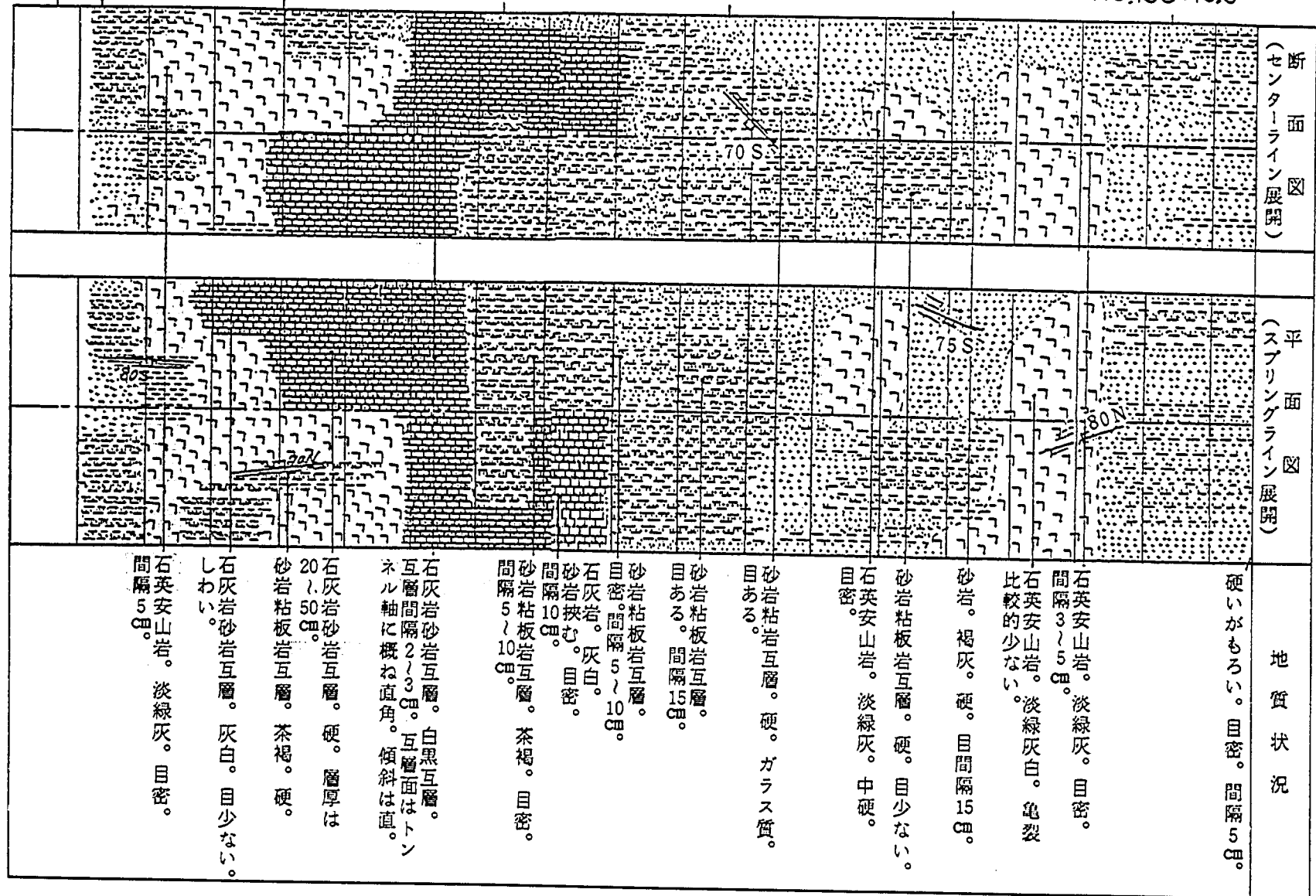
縦断面図



添付図-3(1) 地質図の概説

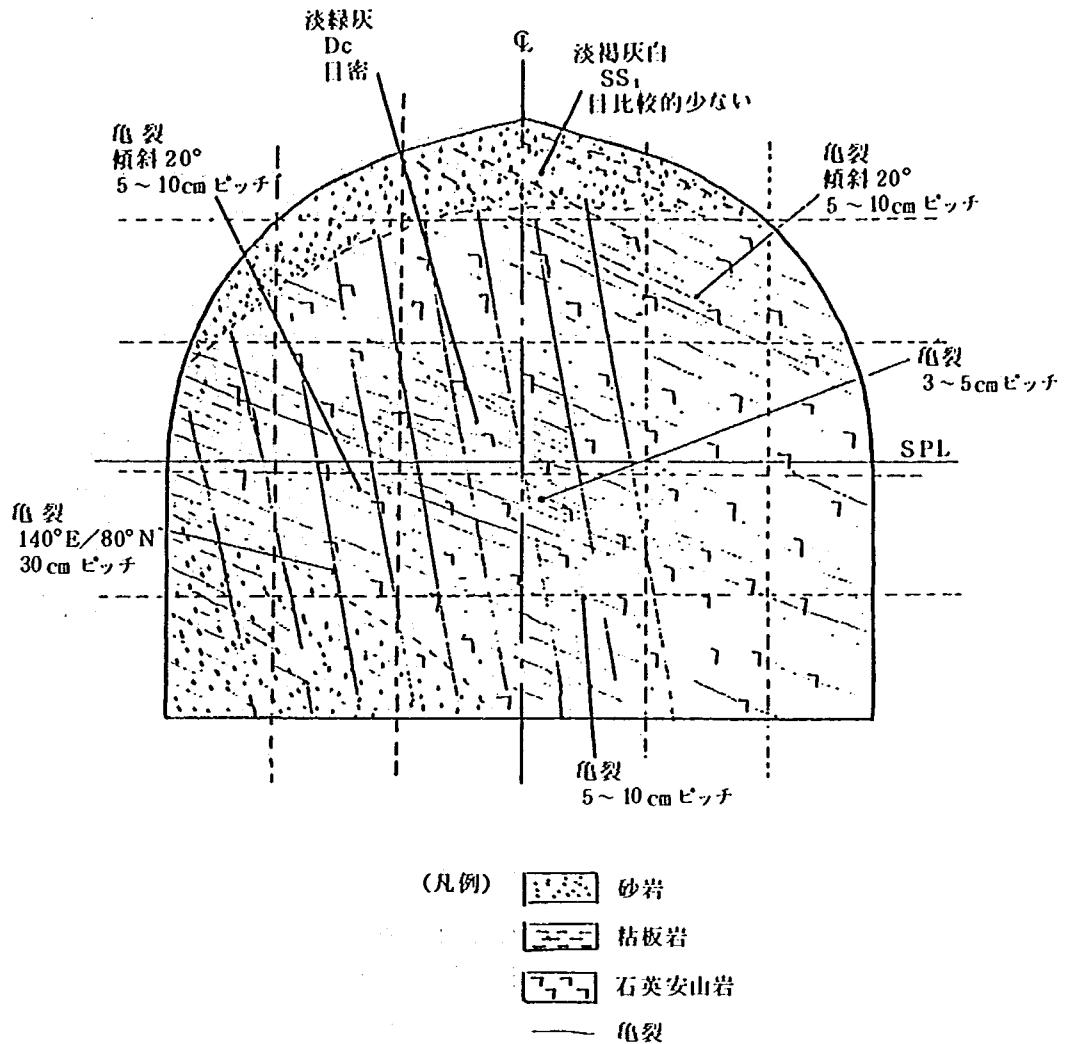
試験爆破区間

NO.157+6.0 NO.157+10.0 NO.157+15.0 NO.158 NO.158+5.0 NO.158+10.0



添付図-3(2) 地質図

切羽地質図



(切羽地質状況)

ケース1 爆破前の切羽状況、すなわち通常爆破による爆破後の切羽状況のスケッチである。削孔時にスケッチした。

切羽は、砂岩、粘板岩およびそれらの互層と、石英安山岩より成る。切羽は $N50^{\circ}E/20^{\circ}N$ の目と、 $N40^{\circ}E/80^{\circ}N$ の目が卓越している。前者の目間隙は $5 \sim 10$ cm であり、後者の目間隙は 30 cm である。前者が主でこれに後者が交わる。

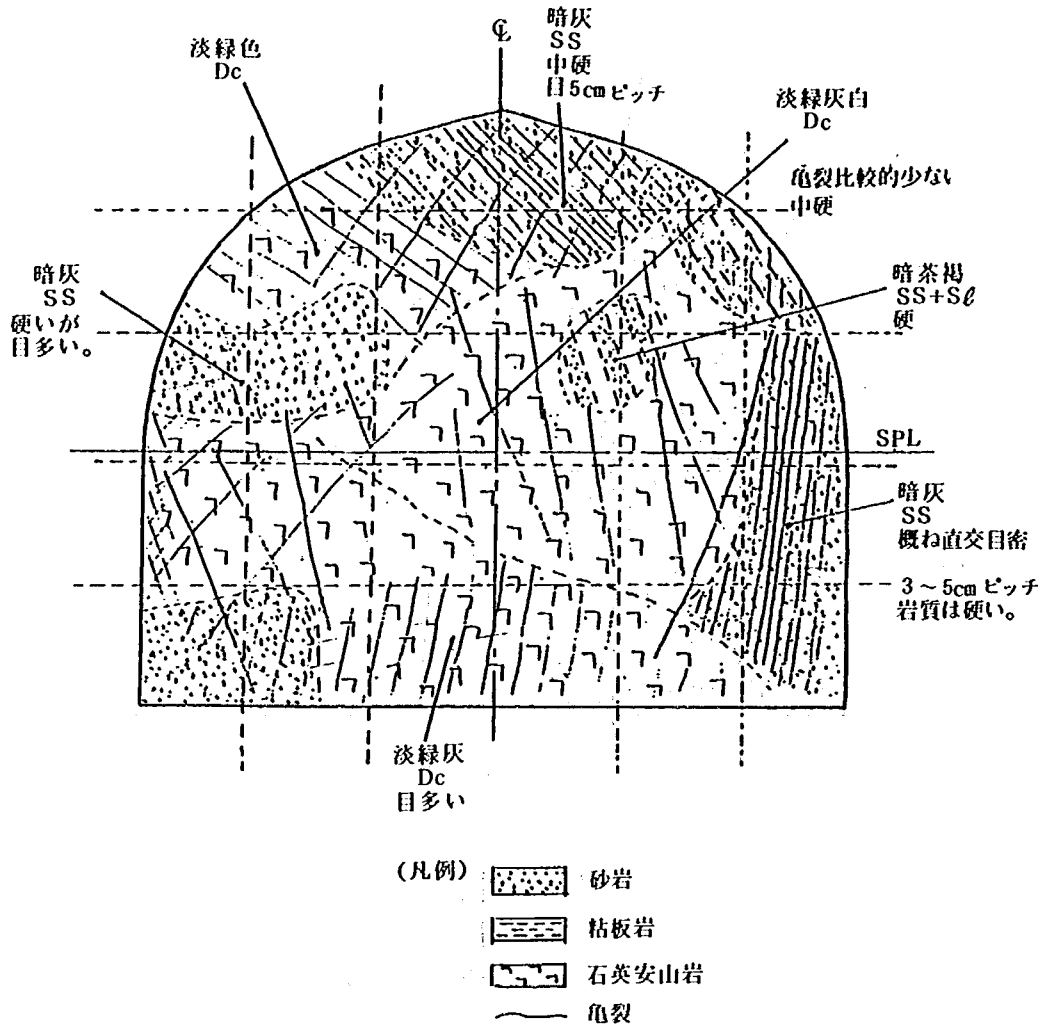
目の密度は、切羽中央部が濃く、その他は比較的薄い。

削孔時に切羽の一部が目に沿って落ちる。

切羽からの湧水は無かった。

添付図-4(1) ケース1 爆破前

切羽地質図



(切羽地質状況)

切羽は砂岩、粘板岩およびそれらの互層と石英安山岩より成る。切羽の亀裂状況は上図のようである。概して、切羽の中央部は亀裂が比較的少なく、周辺部は亀裂間隔が3～5cmピッチで密である。

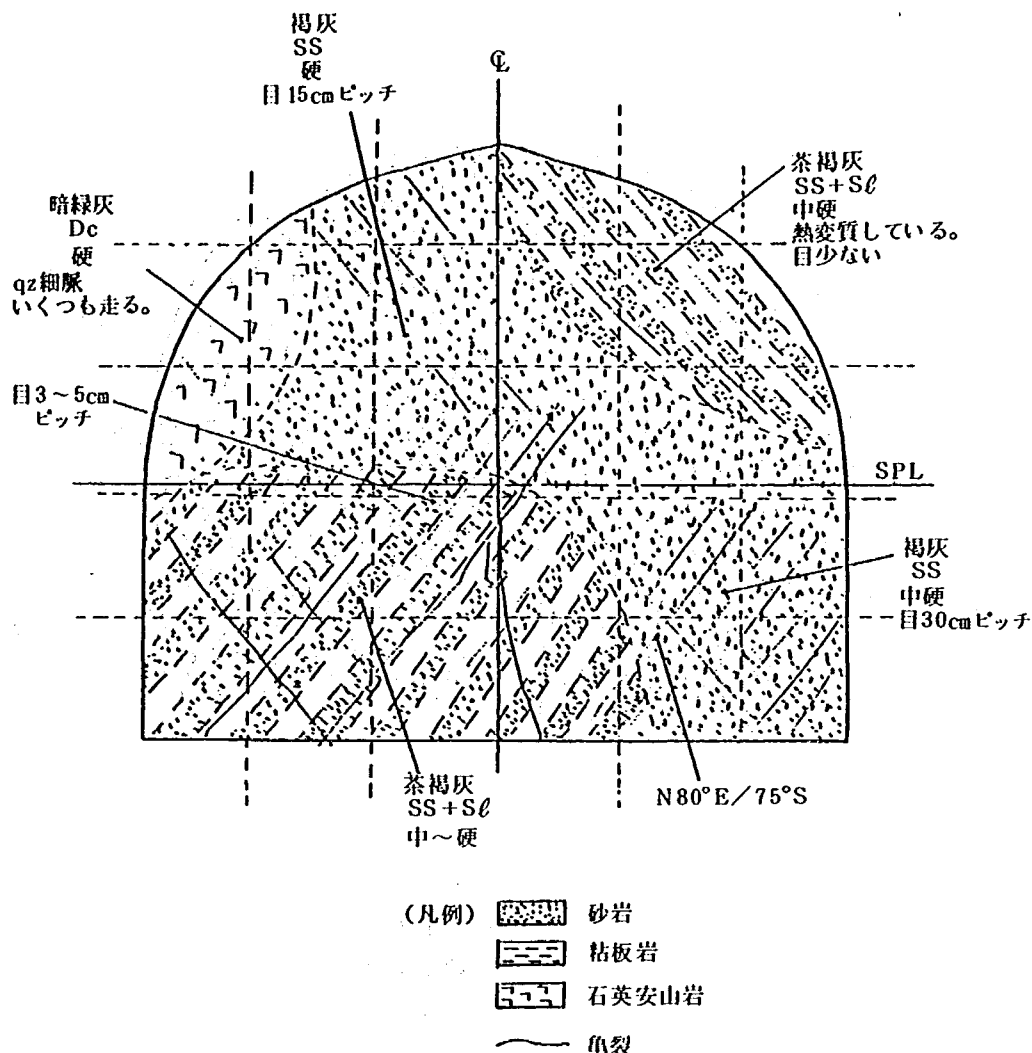
ノミ跡は、天端に8本、川側側壁肩に2本、計10本残っていた。掘削断面形状は、余掘りも少なくきれいな形をしていた。山側側壁はきれいな直交状の目が密に発達し、小片化していた。川側側壁も山側側壁ほどではないが同様に小片化していた。

切羽からの湧水は無かった。

なお、爆破直後のズリの堆積形は、こんもりとよい形をしており爆破が適正であったことが推定できる。

添付図-4(2) ケース1 爆破後及びケース2 爆破前

切羽地質図



(切羽地質状況)

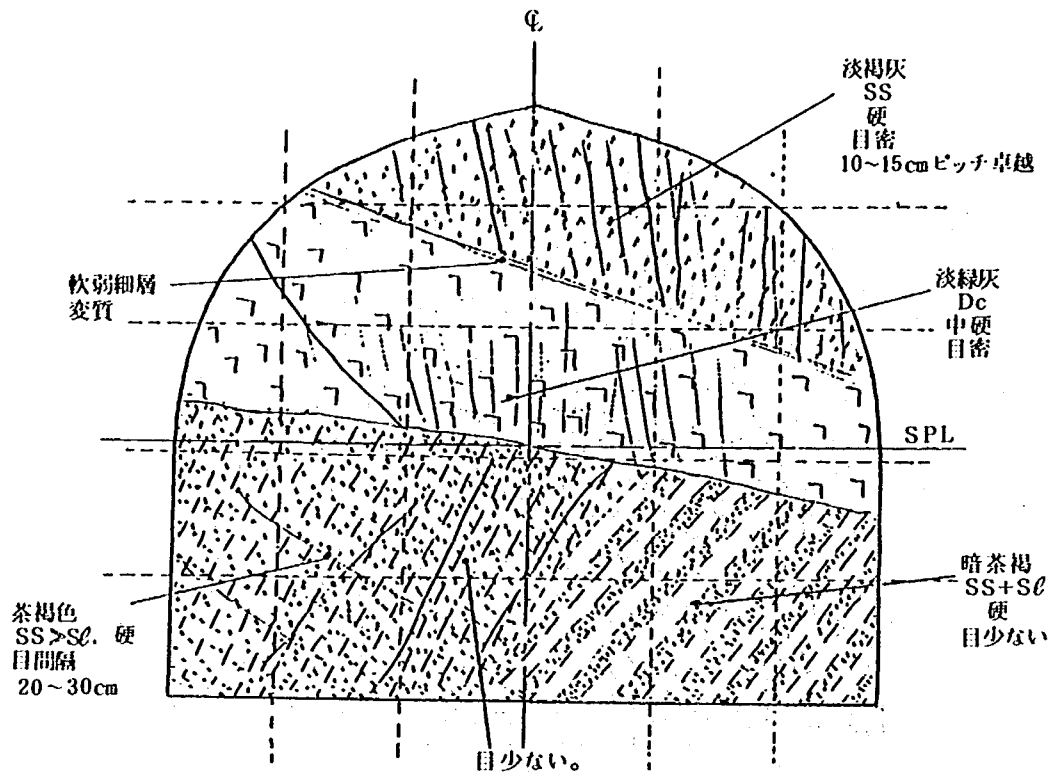
削孔時にスケッチした。当切羽はスムーズプラスティングケース2爆破後の切羽であるが、爆破後の切羽(掘削断面沿いの進行分)観察前に吹付けられた。しかし、当爆破直後の切羽を観た者の話によれば、掘削断面形状は比較的きれいであり、ノミ跡も天端付近にかなり多く残っていた模様である。

当切羽は全体的に暗褐灰色さみである。切羽の上2/3が硬く、下1/3が中硬である。目は切羽の前方に落ちるもの、いわゆるオーバーハングさみのものが多い、削孔時に、少量だが、切羽は垂直に断片的に落ちた。

湧水は認められなかった。

添付図-4(3) ケース2爆破後及びケース3爆破前

切羽地質図



- (凡例)
- 砂岩
 - 粘板岩
 - 石英安山岩
 - 亀裂

(切羽地質状況)

切羽は砂岩、粘板岩およびそれらの互層と石英安山岩より成る。切羽の亀裂状況は上図のようである。

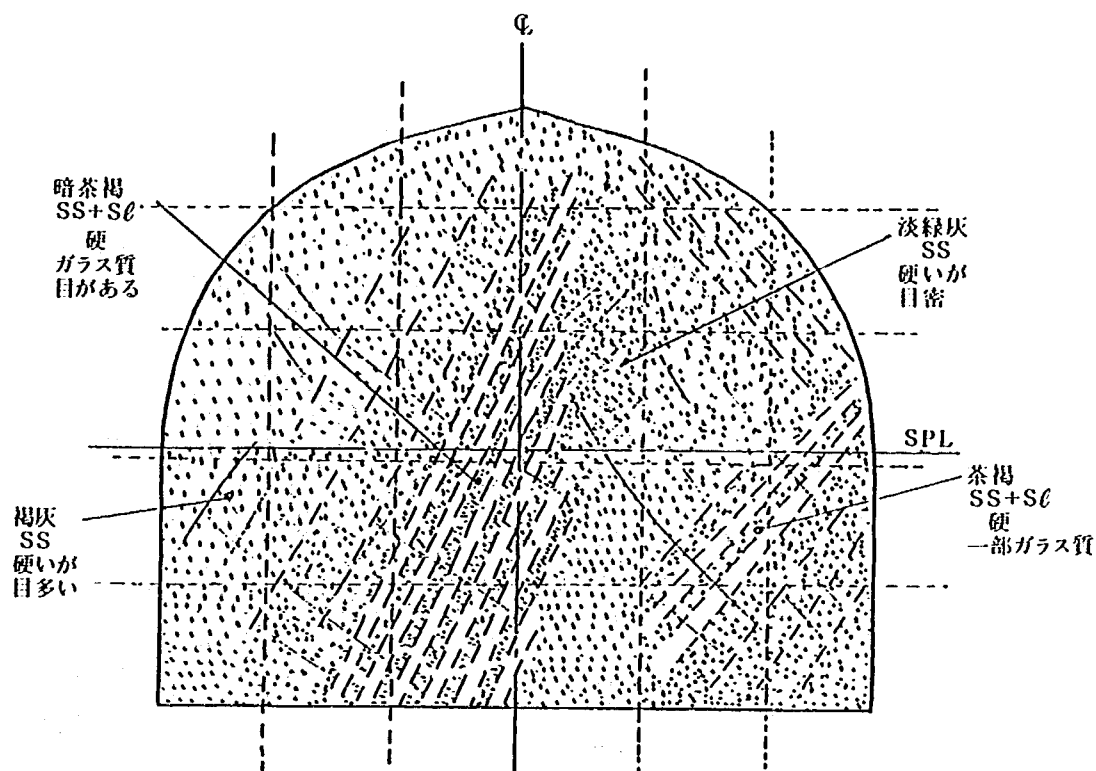
掘削断面形状は、周辺孔に沿ってきれいに仕上がっている。孔尻まで掘削され、孔底が全体的にきれいに残っている。ノミ跡は、天端に8本、山川両側壁に各1本残っていた。

なお、ズリの堆積は、切羽面で切羽高の2/3の高さをなし、裾は10m先まで延びていた。ズリに大塊は無かった。

湧水は認められなかった。

添付図-4(4) ケース3 爆破後

切羽地質図



- (凡例)
- 砂岩
 - 粘板岩
 - 亀裂

(切羽地質状況)

この切羽は削孔直後の切羽であり、ケース3 爆破後の切羽とは数10cm離れている。

切羽は砂岩、粘板岩およびそれらの互層よりなる。砂岩粘板岩互層は茶褐色ないしは暗茶褐色を呈し、岩質は硬い。ガラス質である。目もある。

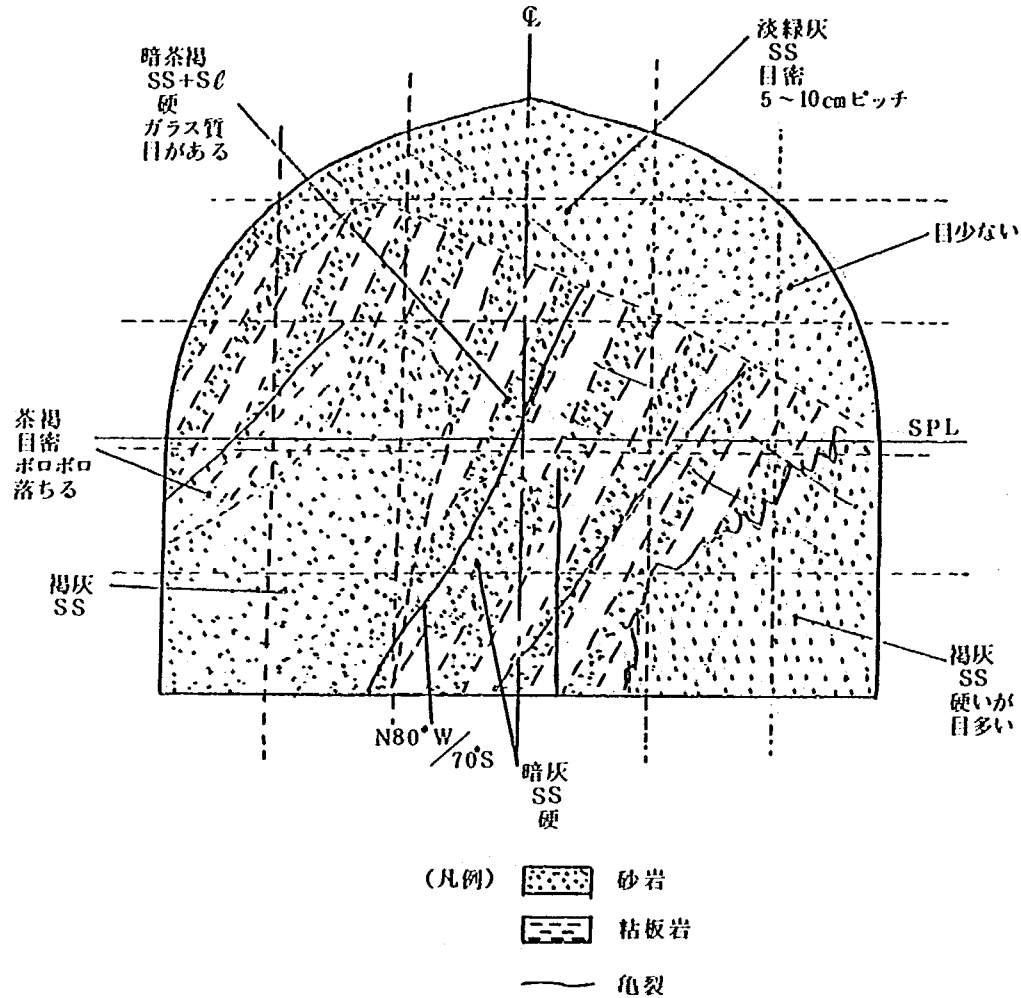
砂岩は褐灰色で硬い。砂岩も目が多い。

砂岩には、淡緑灰色を呈する部分もある。

湧水は認められなかった。

添付図-4(5) ケース4 爆破前

切羽地質図



(切羽地質状況)

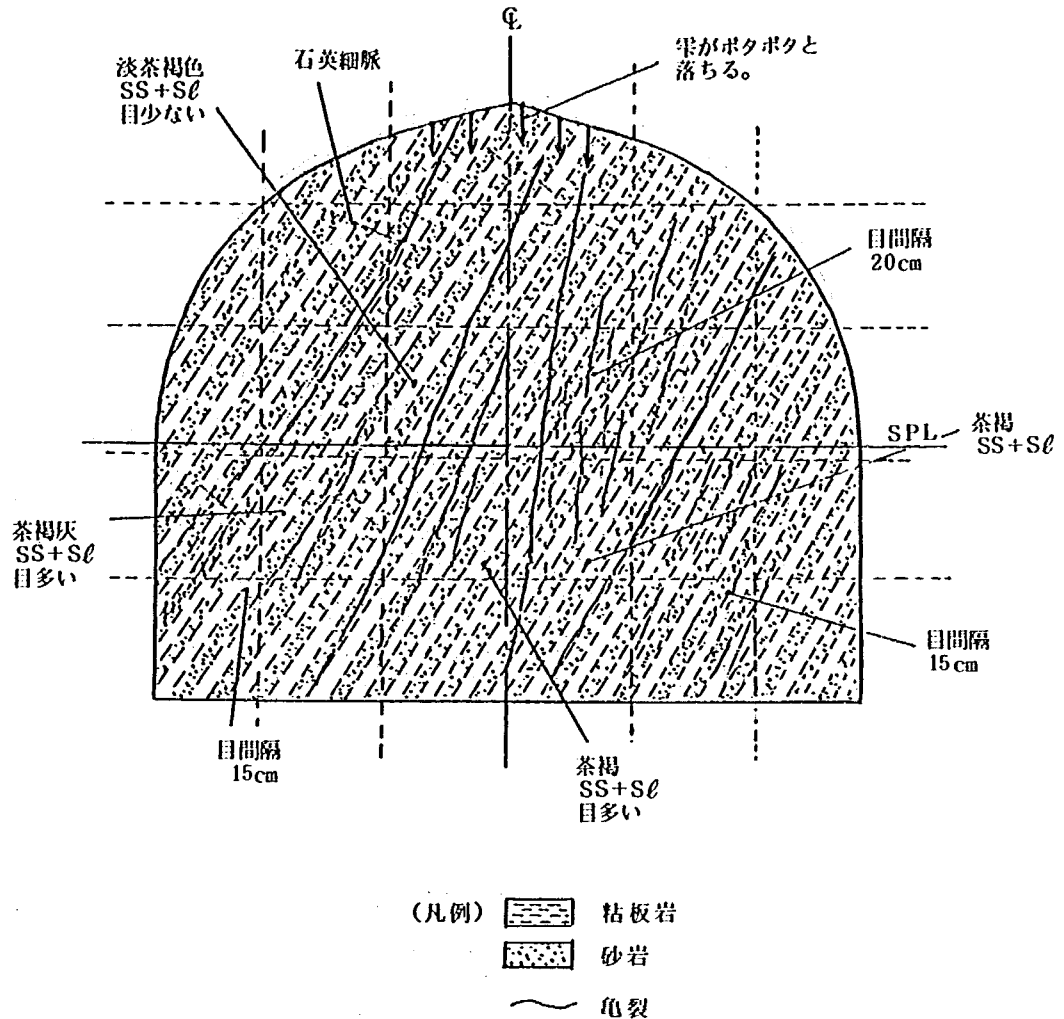
切羽は砂岩、粘板岩、およびそれらの互層より成る。天端で淡緑灰色を呈する砂岩は、川側は目が多く(5~10cm間隔で交叉)、山側は目が少ない。中央部では暗茶褐色を呈する砂岩粘板岩互層は、岩質は硬い。ガラス質でハンマーで割ると、薄く鋭利に割れる。左右踏前に褐灰色を呈して存在する砂岩は硬いが比較的目が多い。切羽中央部の砂岩粘板岩互層はこの砂岩の手前に存在し、いわゆるへばりつく形となっている。当切羽の卓越する亀裂はN80°W/70°Sである。

ノミ跡は天端、左側壁肩および右側壁に明確に残っていたが、左側壁部には残っていなかった。

湧水は認められなかった。

添付図-4(6) ケース4爆破後及びケース5爆破前

切羽地質図



(切羽地質状況)

切羽は砂岩粘板岩互層より成る。全体的に目が多い。目間隔は15~20cmのものが多い。

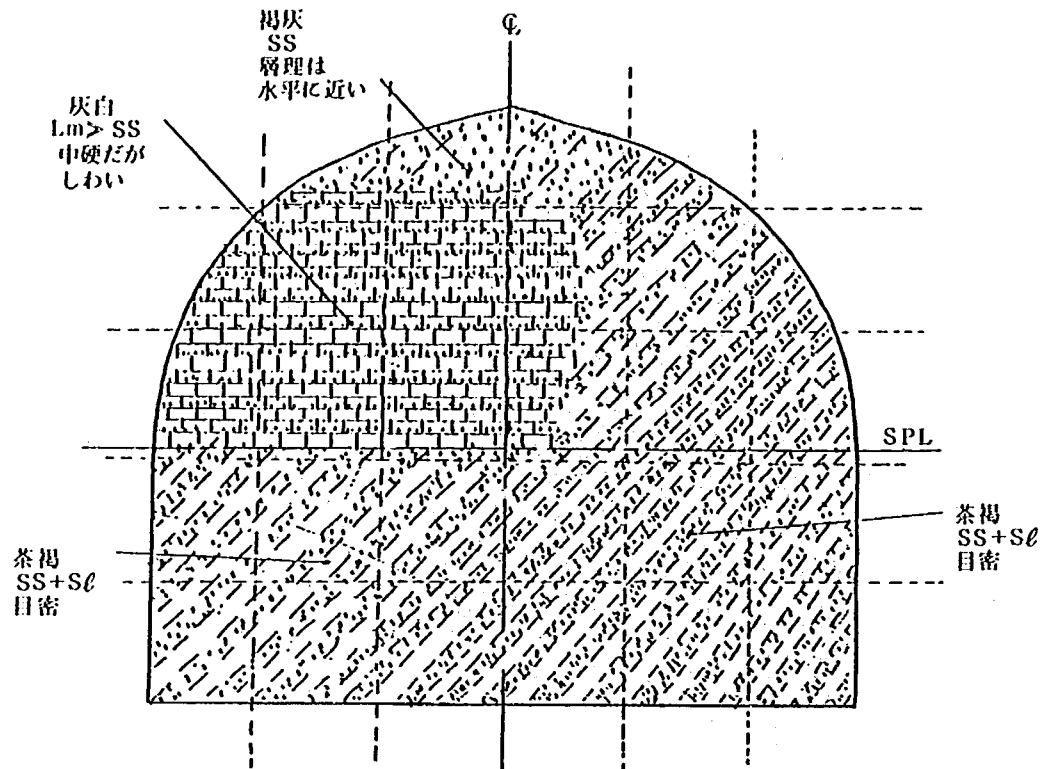
爆破の進行は約1.8 m近くあり、孔尻まで一杯起きていた。ノミ跡は天端および両側壁肩に17、山側側壁に3の合計20孔残っていた。これは周辺孔40孔のうちのちょうど半分にあたる。掘削された部分の周辺部を観察すると、山側(右側)側壁部は砂岩粘板岩互層で目が3~5cm間隔に発達し、山側側壁肩から天端および川側(左側)側壁肩にかけて一部に砂岩を挟む石英安山岩層が分布し、それには概ね水平層をなす目が発達している。川側側壁は砂岩粘板岩互層で目も少ない。

掘削後のズリは、切羽位置で切羽高の約1/2の高さで、切羽から約7 m尾を引いて、こんもりと良い形に堆積していた。爆破が適正であったことが推察できる。

湧水は天端からボクボクと断続的に落ちる程度であった。

添付図-4(7) ケース5 爆破後

切羽地質図



(切羽地質状況)

切羽は砂岩、砂岩粘板岩互層および石灰岩砂岩互層より成る。

砂岩は褐灰色を呈して天端に分布し、その層理は概ね水平である。目ある。

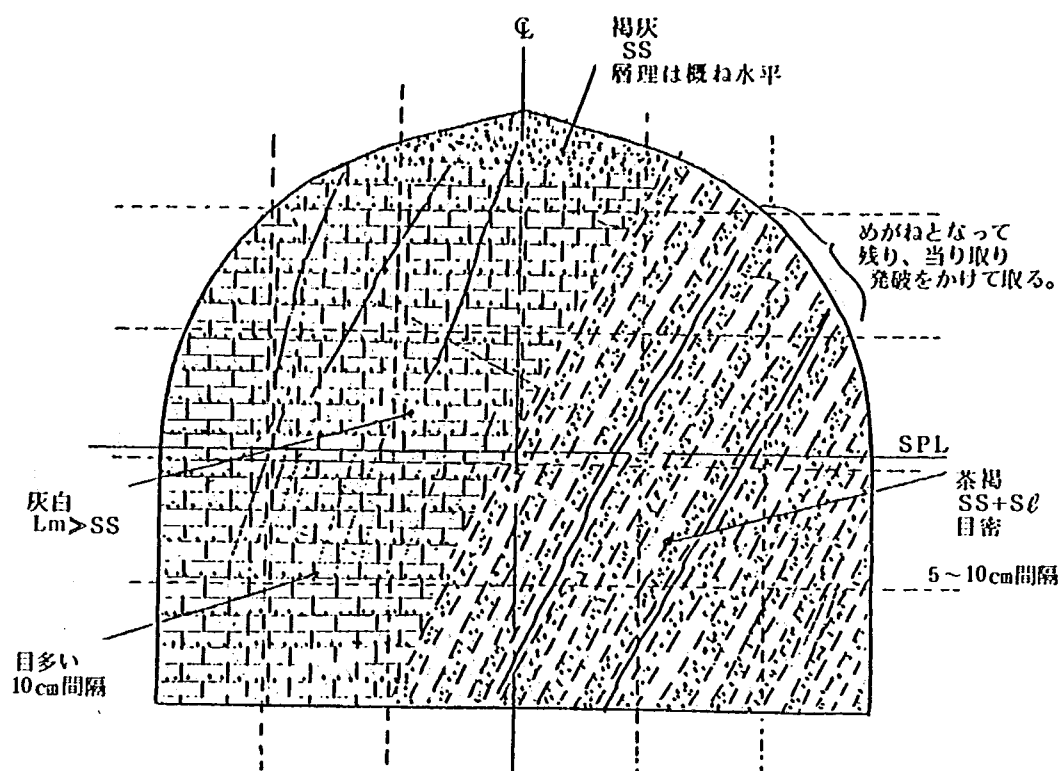
砂岩粘板岩互層は茶褐色を呈し、中硬である。目が密に発達する。その間隔5～10cmである。

灰白色を示す石灰岩砂岩互層は、中硬だが、しわい。かなりしわい。

湧水は認められなかった。

添付図-4(8) ケース6爆破前

切羽地質図



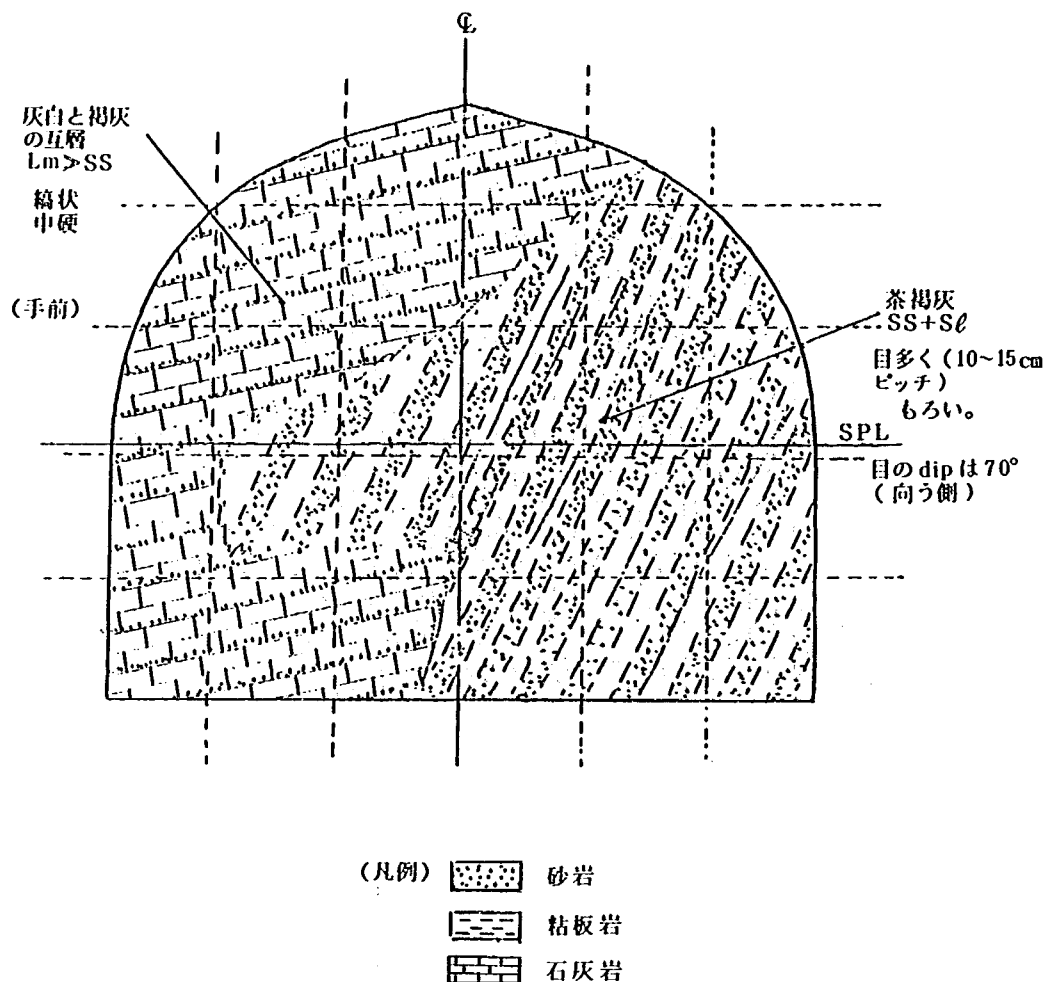
(切羽地質状況)

切羽は砂岩粘板岩互層、石灰岩砂岩互層および砂岩層より成る。切羽は全体的に目が多い。密である。掘削断面形状は比較的きれいである。天端中央から右側にかけて、砂岩が層理に沿って概ね水平に落ちていた。山側側壁肩がめがね状に残り、当り取り爆破をかけて取った。川側側壁上部にはノミ跡が4本残っていた。

湧水は認められなかった。

添付図-4(9) ケース6爆破後

切羽地質図



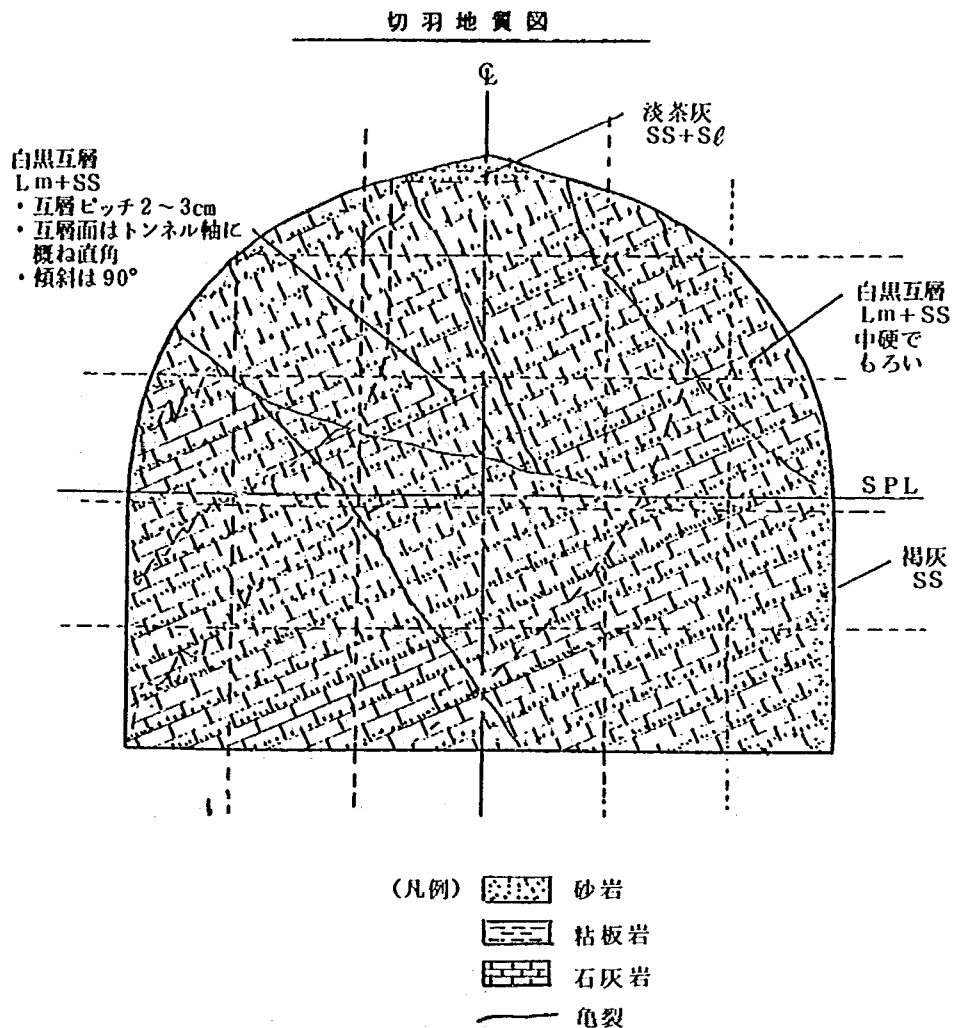
(切羽地質状況)

切羽は砂岩粘板岩互層と石灰岩層よりなる。石灰岩層が手前で砂岩粘板岩互層が向う側である。これらの層面は概ねトンネル軸に直角である。当石灰岩層は砂岩層を含み互層を成している。切羽を大別してみると、天端は砂岩分が多く、山側側壁は砂岩粘板岩互層である。そして天端左から川側側壁全体にかけて、石灰岩分の多い石灰岩砂岩互層が分布する。

ノミ跡は天端中央より川側側壁にかけて8本、山側側壁にかけて4本、両方合せて12本残っていた。

湧水は、天井からポタポタ落ち壁面をしめらす程度であった。

添付図-4(10) ケース7爆破前



(切羽地質状況)

ケース7の修正爆破後の切羽状況のスケッチである。ケース7の周辺孔装薬は400g/孔であるが、この爆破では切羽が蜂の巣となり、ほとんど起きなかった。ズリも5函だけであった。ケース7の修正爆破では、周辺孔の間にもう1孔穿ち、一つおきに400g/孔の装薬を行ない爆破したところ、切羽はよく起き、ズリも15函出た。前者の爆破の失敗は、山に対して装薬量が少なかったのではないと思われる。

当切羽は砂岩石灰岩互層より成る。切羽全体が白黒の縞模様をなし、亀裂が少ない。この互層の岩質は、石灰岩の多い部分はしわく、砂岩分の多いところは硬い。互層の層間隔は3~5cmである。

切羽の断面形状は全体的にきれいに仕上がっていた。

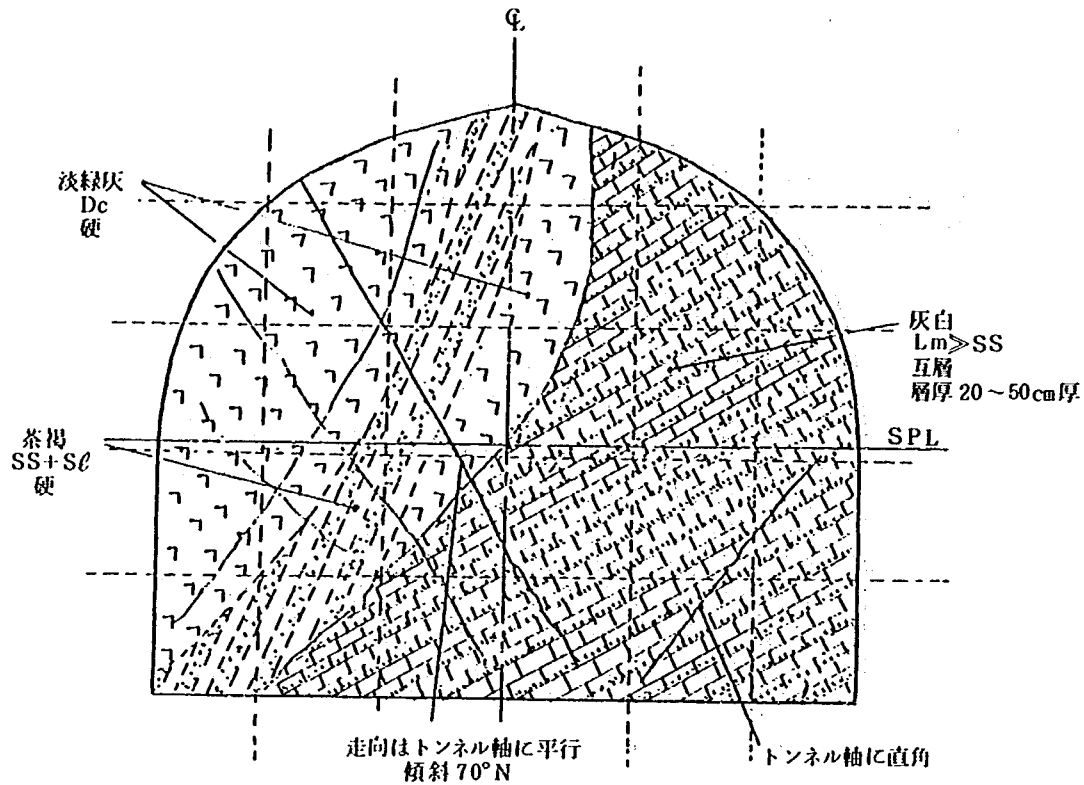
ノミ跡はケース7の爆破では、天端および川側肩に計9本山側に2本残っていた。その後の修正爆破でも、それぞれ同様に9本と2本が残っていた。湧水は無かった。

砂岩石灰岩互層の層面は概ねトンネル軸に直角である。

ユンボで切羽面を引っかけば、比較的容易にはがれる。

添付図-4(11) ケース7 爆破後

切羽地質図



- (凡例)
- | | |
|--|-------|
| | 粘板岩 |
| | 砂岩 |
| | 石英安山岩 |
| | 石灰岩 |

(切羽地質状況)

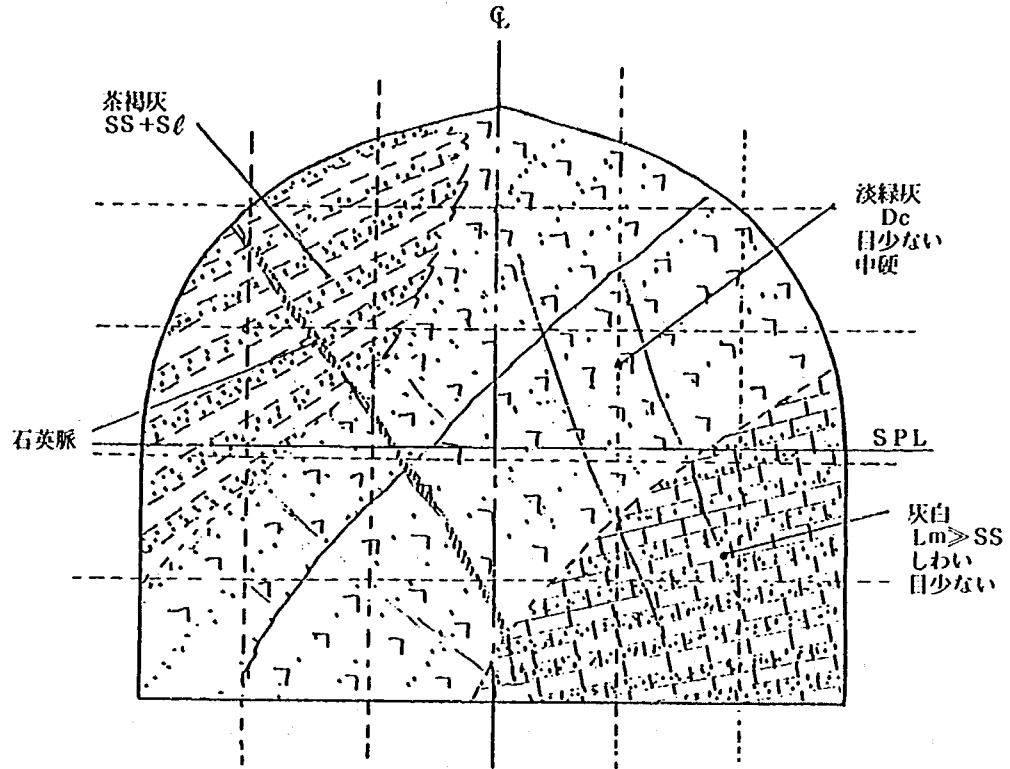
ケース 8 は、ケース 7 の後、2 間おいて行った。

切羽は砂岩粘板互層、石英安山岩層および石灰岩層より成る。石灰岩層が手前に在り、その奥に石英安山岩層と砂岩粘板岩互層が在る。砂岩粘板岩互層は石英安山岩層に挟まれた形になっている。切羽の各層の層理面は、トンネル軸に直角なものが多い。

切羽からの湧水は認められなかった。

添付図-4 (12) ケース 8 爆破前

切羽地質図



- (凡例)
-  砂岩
 -  粘板岩
 -  石灰岩
 -  石英安山岩
 -  亀裂

(切羽地質状況)

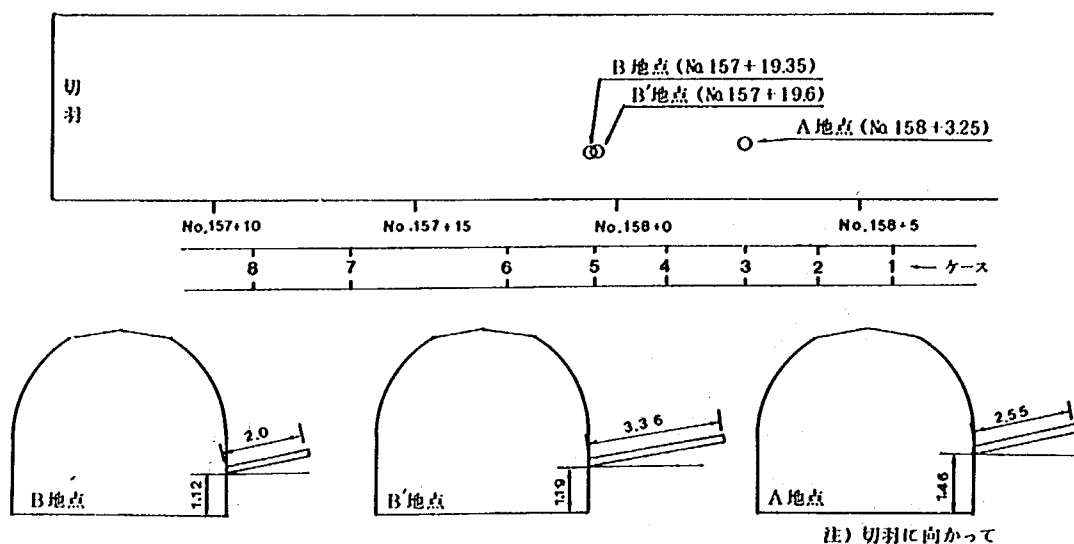
切羽は砂岩粘板岩互層、石英安山岩層および石灰岩層より成る。いずれも亀裂が少ない。

切羽面の進行は、山側(右側)が1.0 m、川側(左側)が1.5 mで、山側の起きが悪かった。掘削断面形状は、天端両側壁肩部は周辺孔に沿ってきれいに起きていた。

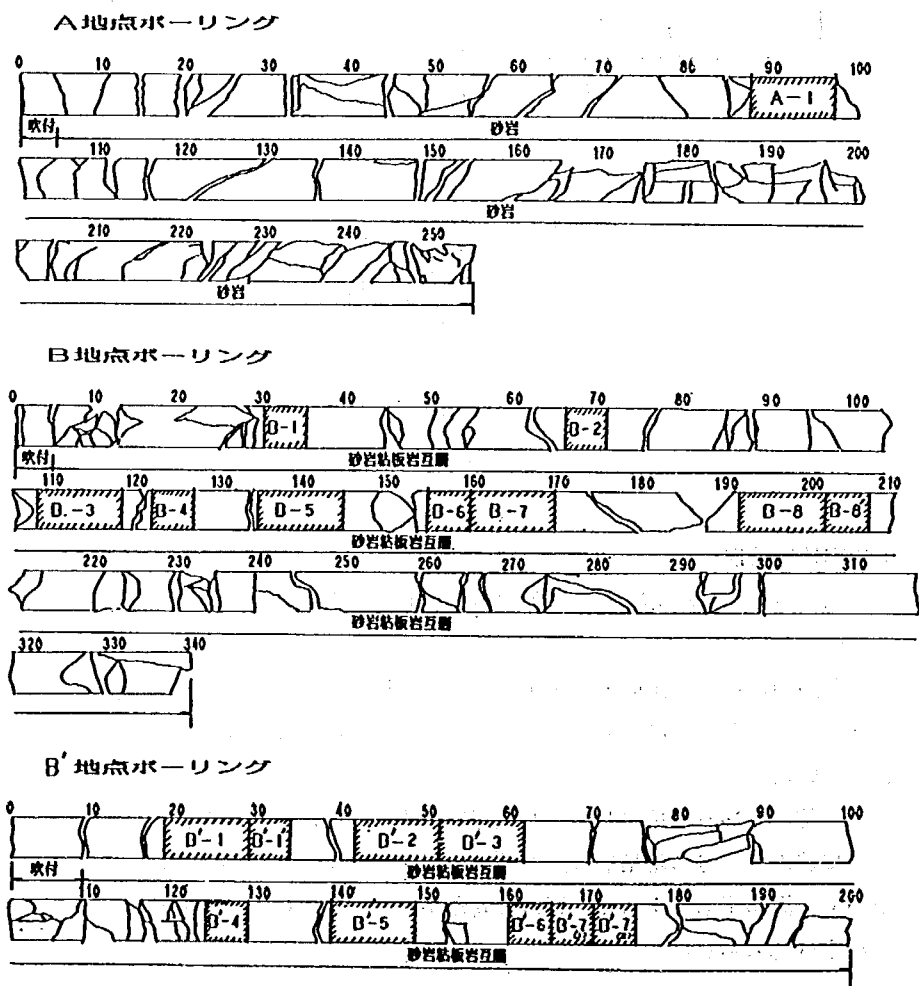
ノミ跡は天端右を境にして、左側部で7本、右側部で6本それぞれ残っていた。爆破後のズリの堆積形は、切羽での高さが1 m、そこから約15 mまで尾を引いて、概ね平らであった。爆破の効が悪く、いわゆる抜けてしまった。

湧水は認められなかった。

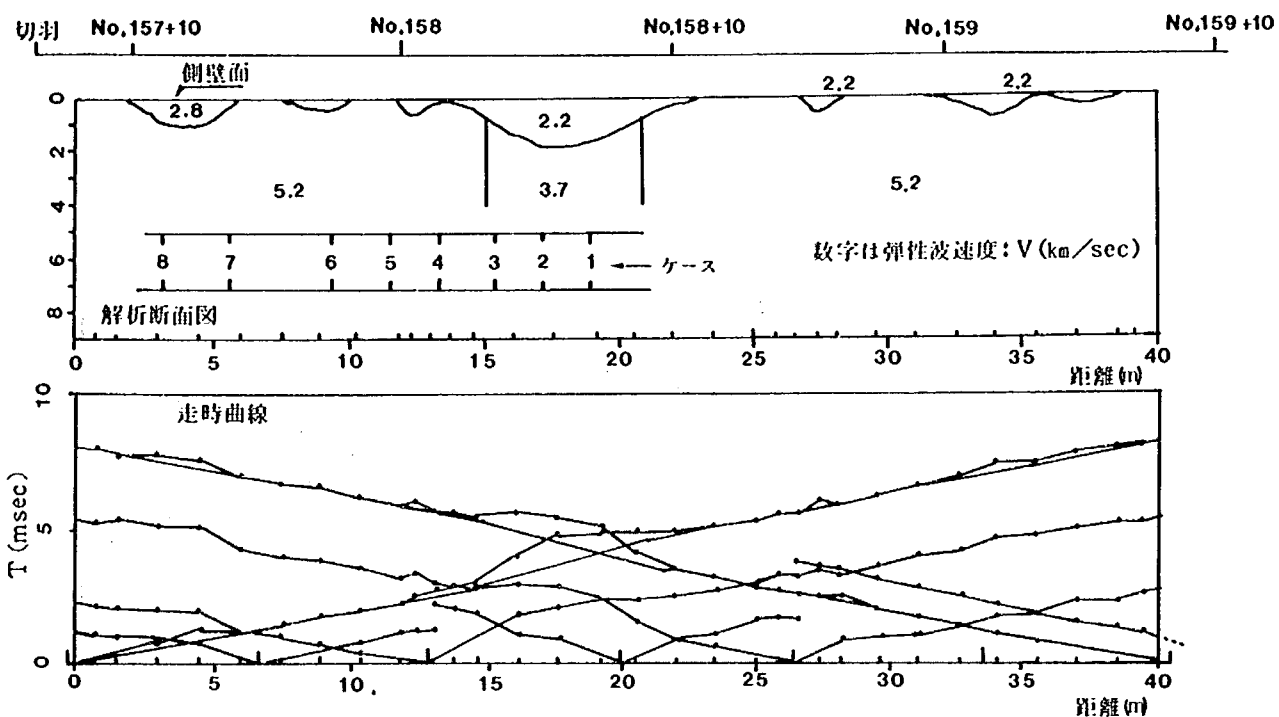
添付図-4(13) ケース8 爆破後



添付図-5(1) 岩石コアボーリング位置



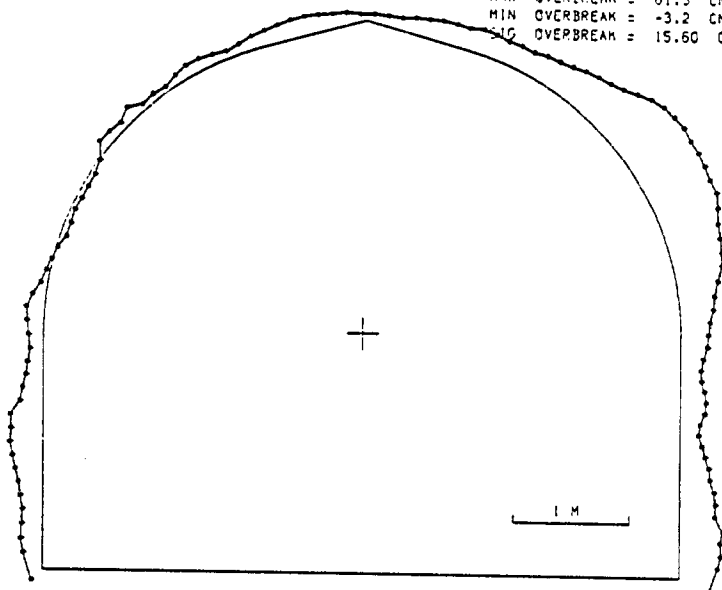
添付図-5(2) ボーリングコア概要



添付図-6 坑内弾性波探査の走時曲線及び解析断面図

=== A TUNNEL CASE-1 (NO.158-6.8) ===

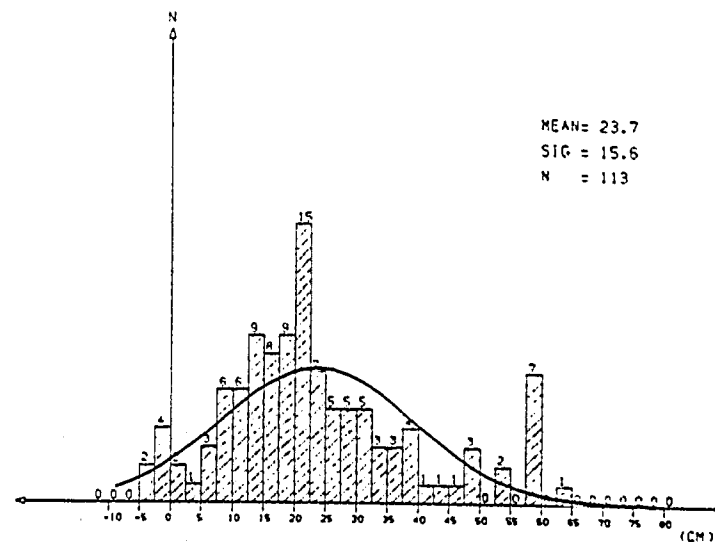
EXCAVATION AREA = 25.75 M²
 MEAN OVERBREAK = 23.71 CM
 MAX OVERBREAK = 61.3 CM
 MIN OVERBREAK = -3.2 CM
 SIG OVERBREAK = 15.60 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

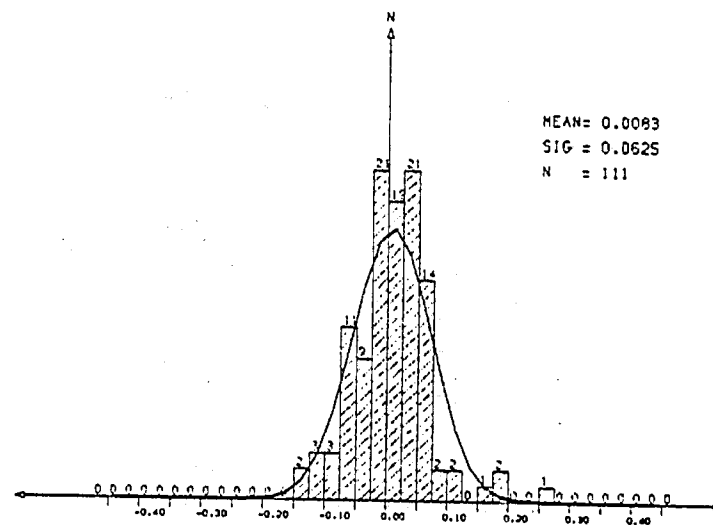
添付図-7 (1) ケース 1

=== A TUNNEL CASE-1 (NO.158-6.8) ===



☆☆☆ 全 径 の ヒストグラム ☆☆☆

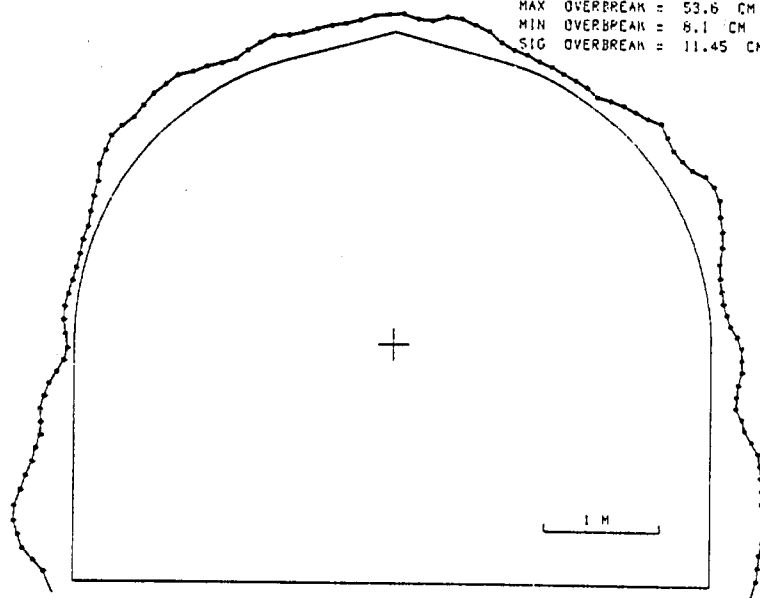
=== A TUNNEL CASE-1 (NO.158-6.8) ===



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

=== A TUNNEL CASE-2 (NO.158+5.0) ===

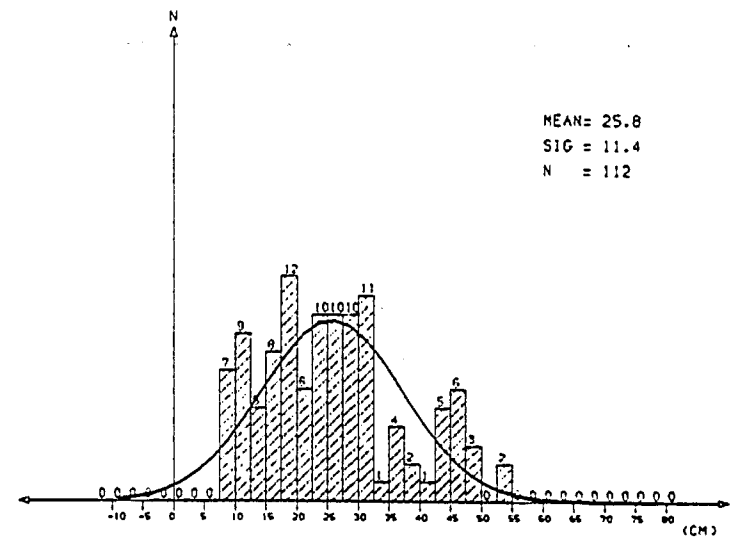
EXCAVATION AREA = 26.40 M²
 MEAN OVERBREAK = 25.78 CM
 MAX OVERBREAK = 53.6 CM
 MIN OVERBREAK = 8.1 CM
 SIG OVERBREAK = 11.45 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-2・1 参照)

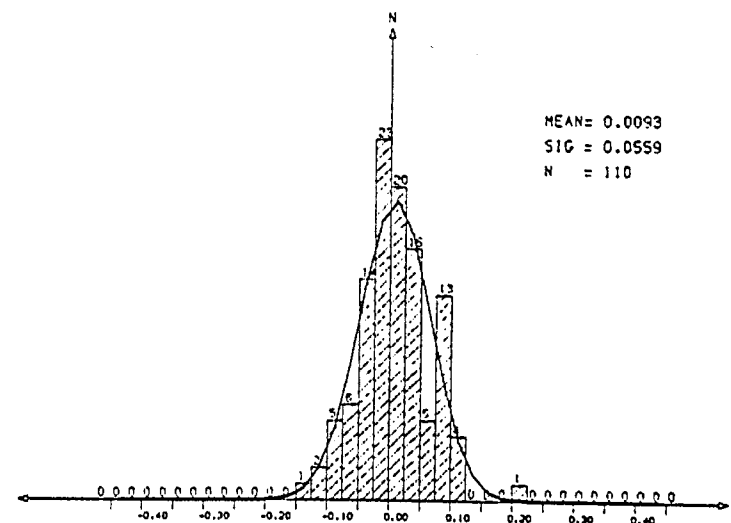
添付図-7 (2) ケース 2

=== A TUNNEL CASE-2 (NO.158+5.0) ===



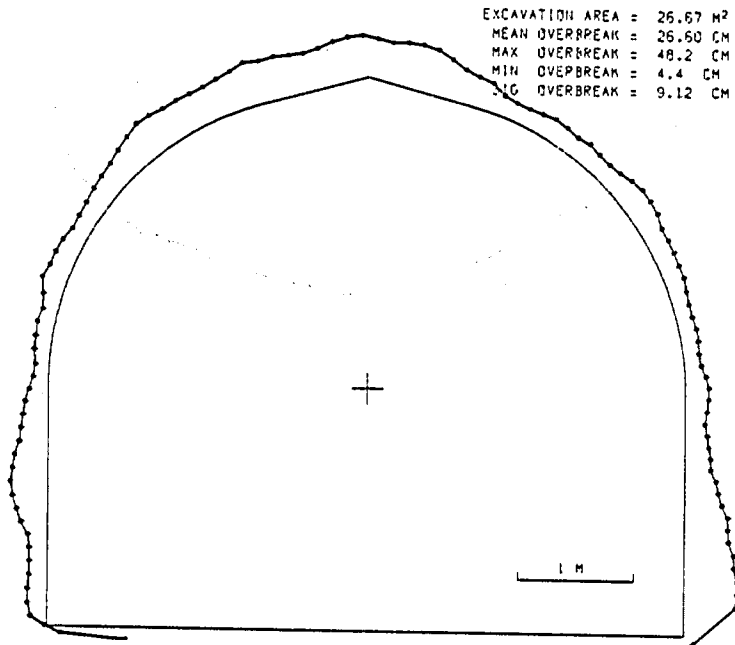
☆☆ ☆ 超のヒストグラム ☆☆☆

=== A TUNNEL CASE-2 (NO.158+5.0) ===



☆☆ ☆ D / L のヒストグラム ☆☆☆

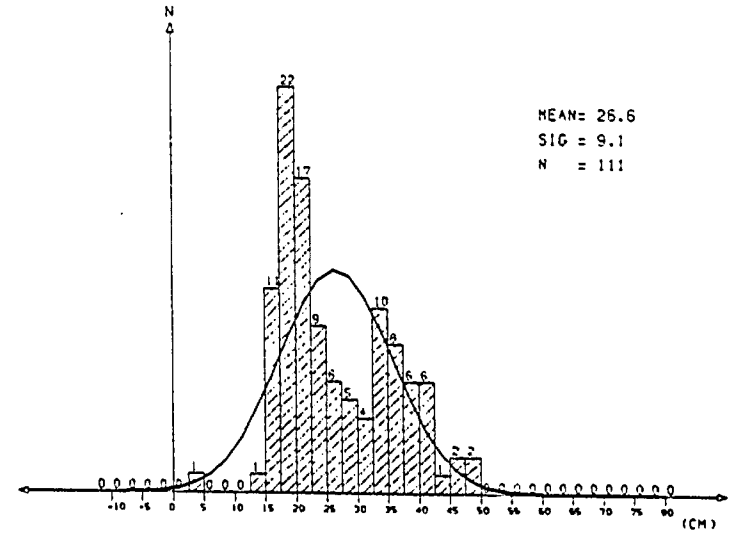
=== A TUNNEL CASE-3 (NO.158-3.25) ===



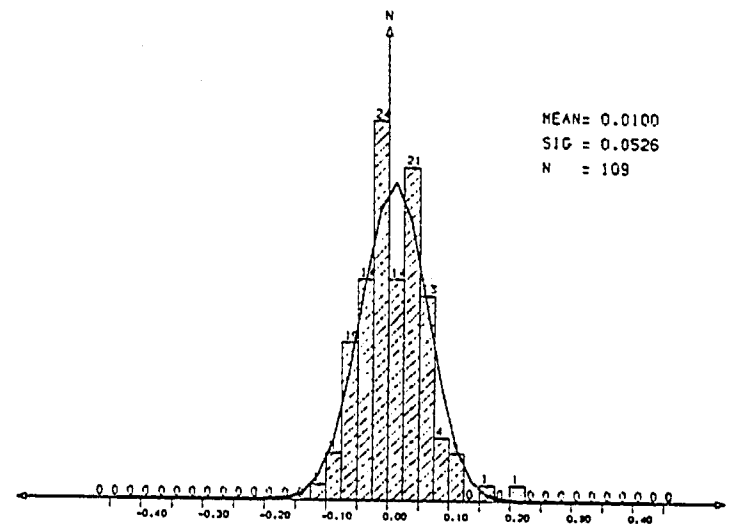
注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

添付図-7(3) ケース3

=== A TUNNEL CASE-3 (NO.158-3.25) ===

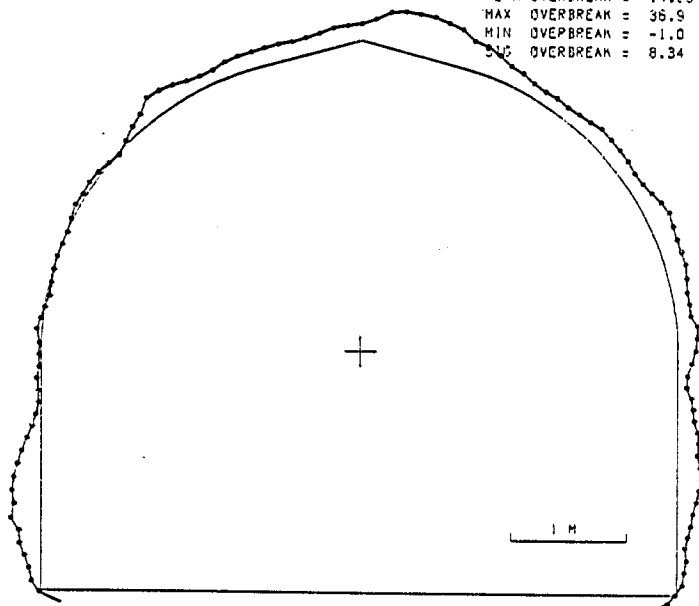


=== A TUNNEL CASE-3 (NO.158-3.25) ===



*** A TUNNEL CASE-4 (NO.158-1.3) ***

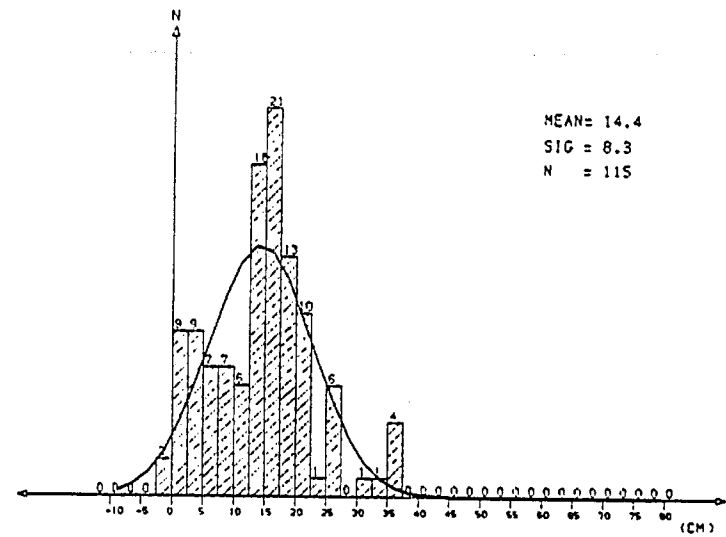
EXCAVATION AREA = 25.19 M²
 MEAN OVERBREAK = 14.39 CM
 MAX OVERBREAK = 36.9 CM
 MIN OVERBREAK = -1.0 CM
 STD OVERBREAK = 8.34 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2-1 参照)

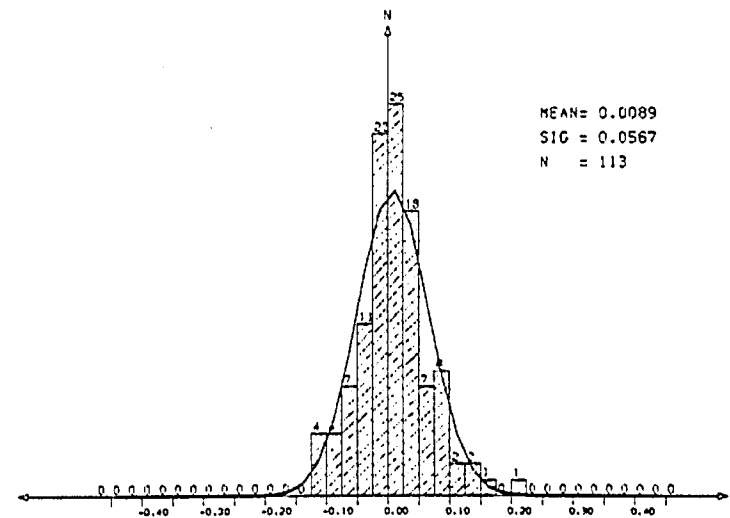
添付図-7(4) ケース 4

*** A TUNNEL CASE-4 (NO.158-1.3) ***



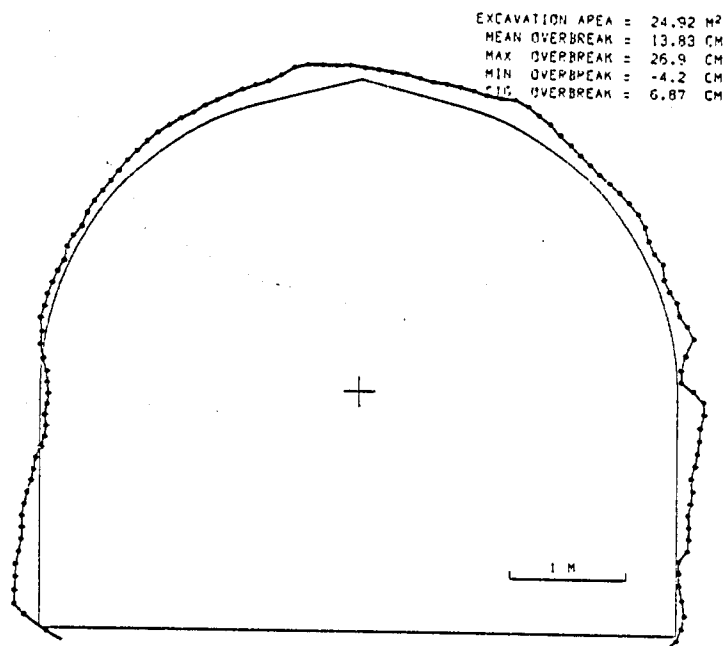
☆☆☆ * 径のヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL CASE-4 (NO.158-1.3) ***



☆☆☆ D/L のヒストグラム ☆☆☆

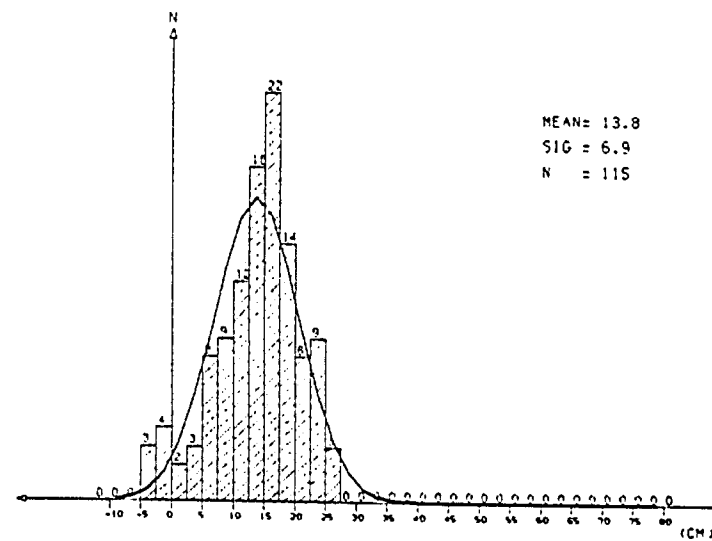
=== A TUNNEL CASE-5 (NO.157-19.5) ===



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2・1 参照)

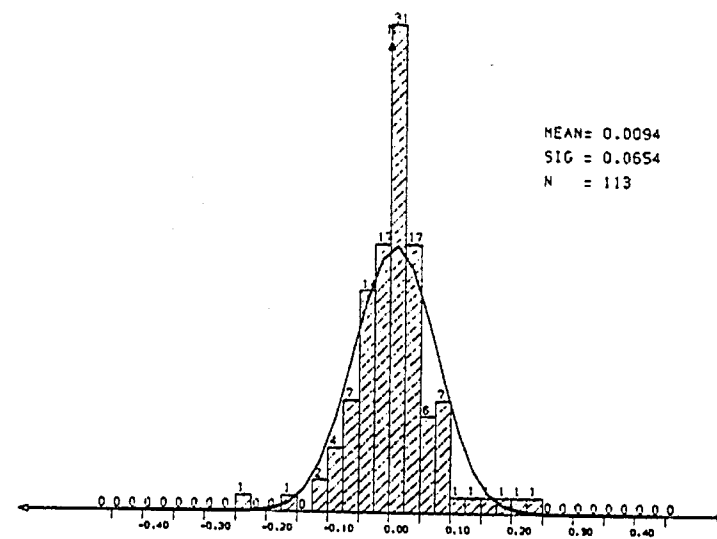
添付図-7(5) ケース 5

=== A TUNNEL CASE-5 (NO.157-19.5) ===



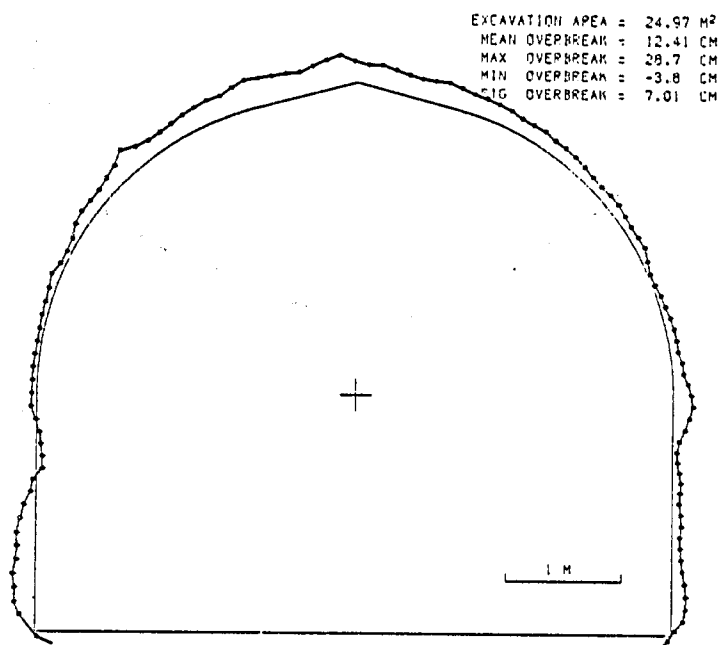
☆☆☆ 全 距 の ヒストグラム ☆☆☆

=== A TUNNEL CASE-5 (NO.157-19.5) ===



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

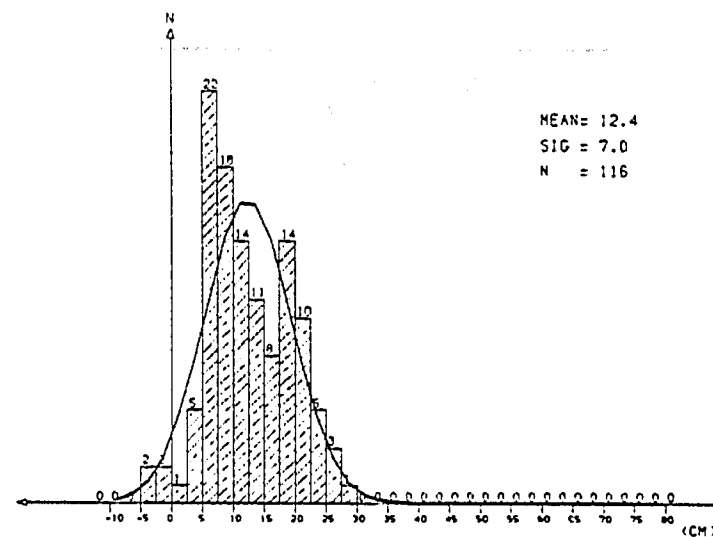
--- A TUNNEL CASE-6 (NO.157-17.3) ---



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

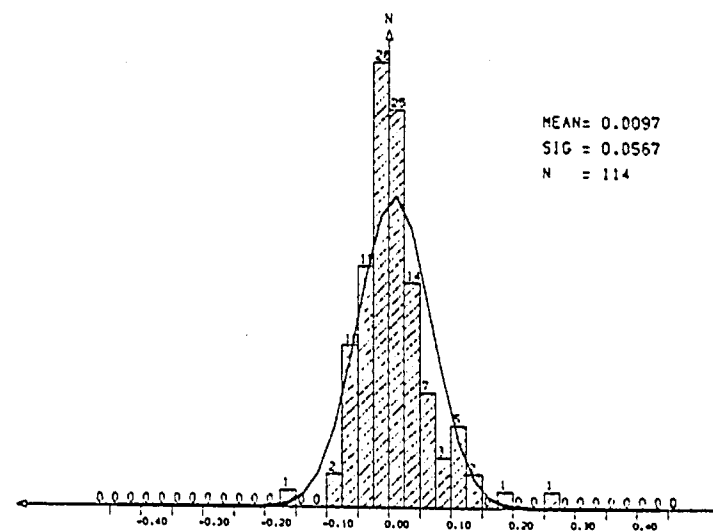
添付図-7(6) ケース 6

--- A TUNNEL CASE-6 (NO.157-17.3) ---



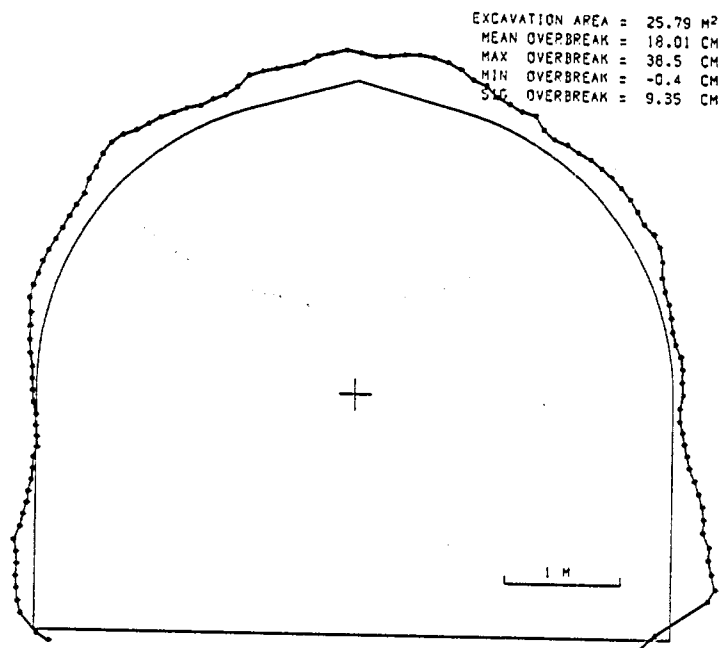
☆☆☆ 今 迄 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

--- A TUNNEL CASE-6 (NO.157-17.3) ---



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

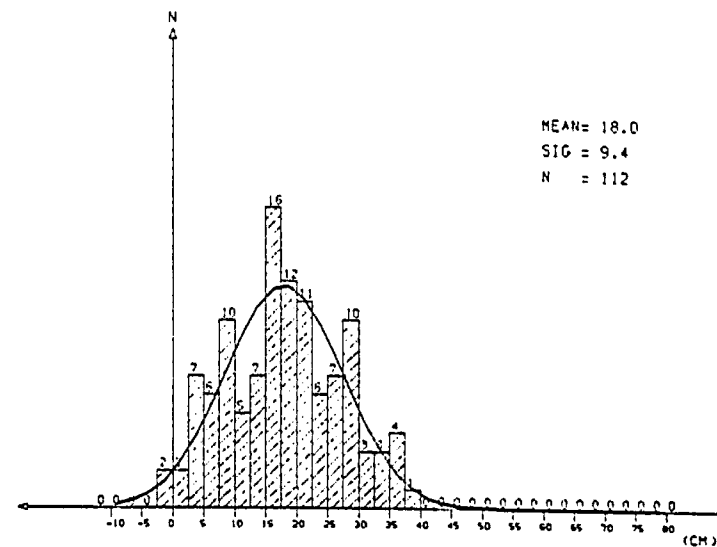
=== A TUNNEL CASE-7 (NO.157+13.4) ===



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-2-1 参照)

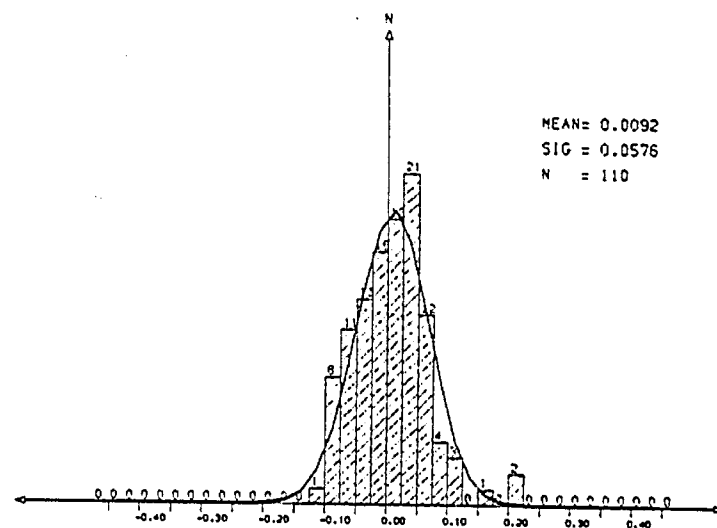
添付図-7(7) ケース7

=== A TUNNEL CASE-7 (NO.157+13.4) ===



☆☆☆ 余 差 の ヒストグラム ☆☆☆

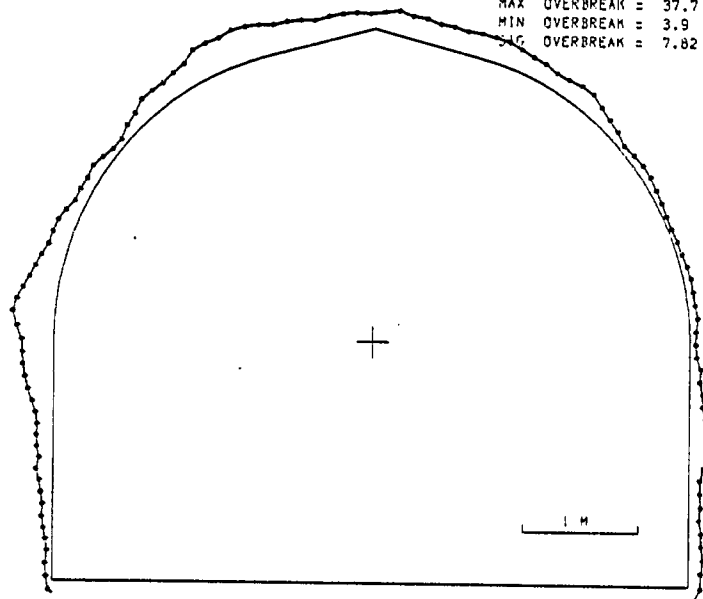
=== A TUNNEL CASE-7 (NO.157+13.4) ===



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL CASE-8 (NO.157-11.0) ***

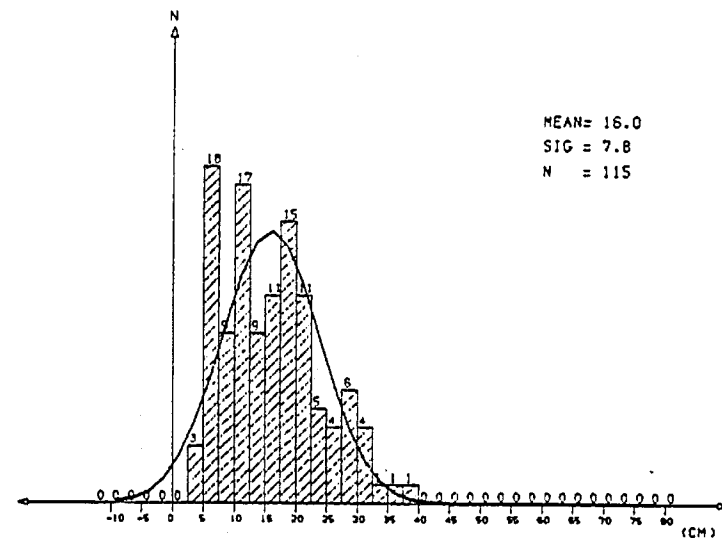
EXCAVATION AREA = 26.19 M²
 MEAN OVERBREAK = 16.01 CM
 MAX OVERBREAK = 37.7 CM
 MIN OVERBREAK = 3.9 CM
 SIG OVERBREAK = 7.82 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-2・1 参照)

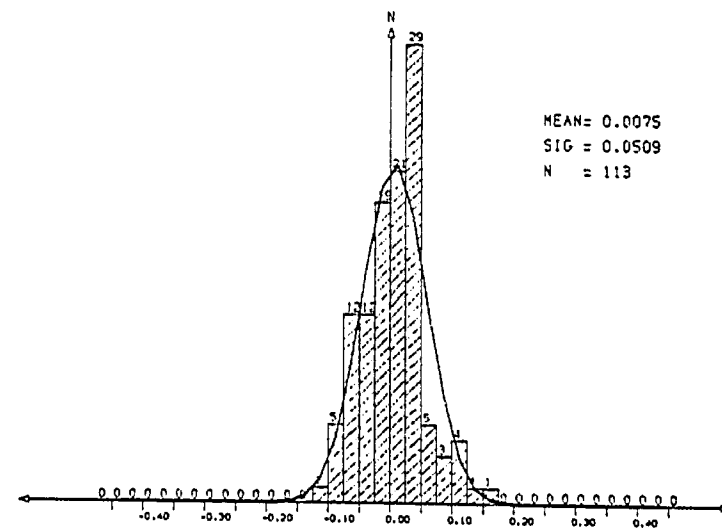
添付図-7(8) ケース 8

*** A TUNNEL CASE-8 (NO.157-11.0) ***



☆☆☆ 余 差 の ヒストグラム ☆☆☆

*** A TUNNEL CASE-8 (NO.157-11.0) ***



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

添付表-1 岩石コアの物性試験結果一覧表

供試体	超音波伝播速度				一軸圧縮試験			引張強度 kgf/cm ²	単位体積重量 gf/cm ³
	P波速度 km/s	S波速度 km/s	動弾性係数 kgf/cm ²	動ポアソン比	圧縮強度 kgf/cm ²	静弾性係数 kgf/cm ²	静ポアソン比		
A-1	5.66	3.01	6.48×10^5	0.30	1,430	6.50×10^5	0.27	—	2.69
B-1	—	—	—	—	—	—	—	118	2.75
B-2	—	—	—	—	—	—	—	148	2.79
B-3	5.72	3.14	7.05×10^5	0.28	922	7.18×10^5	0.23	—	2.73
B-4	—	—	—	—	—	—	—	83	2.77
B-5	5.81	3.29	7.76×10^5	0.26	973	7.43×10^5	0.23	—	2.78
B-6	—	—	—	—	—	—	—	76	2.75
B-7	5.77	3.15	7.27×10^5	0.29	1,024	8.08×10^5	0.24	—	2.79
B-8	5.82	3.25	7.57×10^5	0.27	1,024	7.57×10^5	0.24	—	2.76
B-8'	—	—	—	—	—	—	—	200	2.78
B'-1	5.63	3.12	6.96×10^5	0.28	1,634	7.43×10^5	0.27	—	2.74
B'-1'	—	—	—	—	—	—	—	94	2.75
B'-2	5.80	3.15	7.24×10^5	0.29	1,172	6.64×10^5	0.28	—	2.77
B'-3	5.77	3.11	7.13×10^5	0.30	—	—	—	—	2.79
B'-4	—	—	—	—	—	—	—	79	2.73
B'-5	5.72	3.12	7.01×10^5	0.29	816	7.20×10^5	0.20	—	2.74
B'-7(1)	—	—	—	—	—	—	—	70	2.78
B'-7(2)	—	—	—	—	—	—	—	97	2.81
平均値	5.74	3.15	7.16×10^5	0.28	1,124	7.25×10^5	0.25	107	2.76
標準偏差	0.07	0.08	0.37×10^5	0.01	276	0.51×10^5	0.03	42	0.03

注) 供試体は、添付図-5(2)参照

添付表-2 爆破パターン(試験爆破)

雷 管	ケース 1			ケース 2			ケース 3			ケース 4			ケース 5			ケース 6		
	削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)	
		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計
1	8	0.8	6.4	6	0.8	4.8	8	0.8	6.4	6	0.8	4.8	8	0.8	6.4	6	0.8	4.8
2	15	0.6	9.0	15	0.6	9.0	15	0.6	9.0	10	0.7	7.0	15	0.6	9.0	15	0.6	9.0
3	16	0.6	9.6	16	0.6	9.6	18	0.6	10.8	14	0.7	9.8	18	0.6	10.8	16	0.6	9.6
4	19	0.5	9.5	19	0.5	9.5	19	0.5	9.5	17	0.6	10.2	19	0.5	9.5	19	0.5	9.5
5	2 / 11	0.3 / 0.7	0.6 / 7.7	2 / 11	0.3 / 0.7	0.6 / 7.7	2 / 13	0.4 / 0.7	0.8 / 9.1	2 / 9	0.3 / 0.8	0.6 / 7.2	2 / 13	0.5 / 0.7	1.0 / 9.1	2 / 11	0.4 / 0.7	0.8 / 7.7
6	25	0.3	7.5	25	0.4	10.0	25	0.4	10.0	25	0.3	7.5	19 / 18	0.5 / 0	9.5 / 0	25	0.4	10.0
7	2	0.7	1.4	2	0.7	1.4	2	0.7	1.4	2	0.8	1.6	2	0.7	1.4	2	0.7	1.4
計	98	—	51.7	96	—	52.6	102	—	56.0	85	—	48.7	114	—	56.7	96	—	52.8

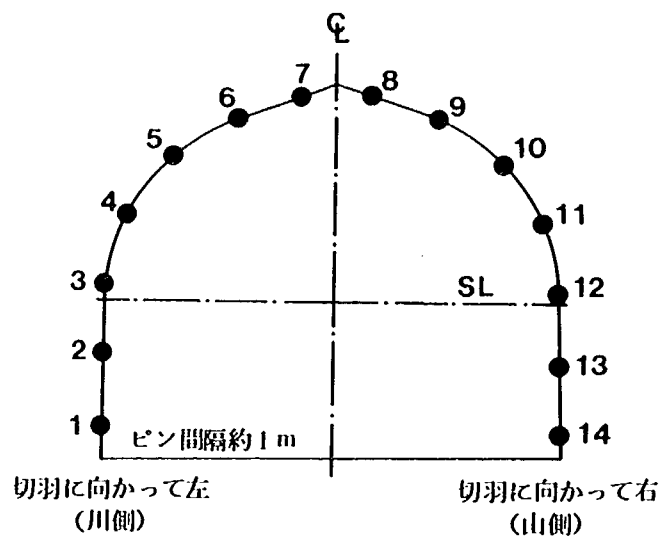
雷 管	ケース 7			ケース 8		
	削 孔 数	装 薬 量(kg)		削 孔 数	装 薬 量(kg)	
		1孔当り	小 計		1孔当り	小 計
1	6	0.8	4.8	8	0.9	7.2
2	15	0.6	9.0	15	0.6	9.0
3	16	0.7	10.8	18	0.6	10.8
4	19	0.5	9.5	19	0.5	9.5
5	2 / 11	0.5 / 0.8	1.0 / 9.1	2 / 13	0.6 / 0.7	1.2 / 9.1
6	25	0.4	9.5	19	0.6	11.4
7	2	0.7	1.4	2	0.7	1.4
計	96	—	55.1	96	—	59.6

注1) 削孔図については、添付図-1参照。

注2) 雷管1～5及び7における装薬量については、若干誤差を含んでいる。

添付表－3 コンクリート吹付け厚さ検測結果

検測ピン 番 号	コンクリート吹付け厚さ							
	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8
1	7 cm	6 cm	8 cm	7 cm	6 cm	7 cm	6 cm	6 cm
2	7	7	9	8	6	5	5	7
3	8	5	6	5	5	6	4	6
4	7	6	5	6	7	5	6	5
5	10	8	7	5	7	6	6	6
6	5	6	5	5	10	5	4	7
7	5	7	7	6	7	6	5	5
8	7	6	5	4	10	6	3	5
9	8	8	7	6	10	5	4	6
10	10	8	5	6	5	6	4	7
11	6	7	8	7	6	6	6	5
12	7	8	10	12	10	8	7	6
13	5	6	9	6	8	8	6	6
14	8	—	11	—	—	—	—	—
平 均	7.1	6.8	7.3	6.4	7.5	6.1	5.1	5.9



3 章 関 係

(添付図 - 8 ~ 添付図 - 11)

(添付表 - 4)

添付図 - 8 切羽観察結果

添付図 - 9 坑内弾性波探査

添付図 - 10 爆破パターン

添付図 - 11 測定断面形状, 余掘り量のヒストグラム, D / L のヒストグラム

添付表 - 4 コンクリート吹付け厚さ

1000

1000

1000

1000

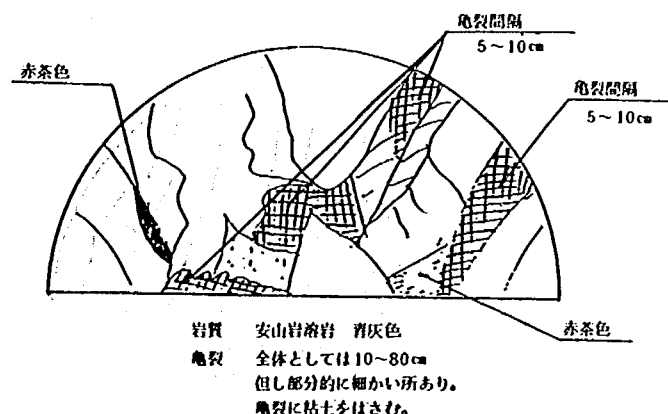
1000

1000

1000

1000

		岩石名 形成地質時代		安山岩溶岩 新第三紀		
特殊条件 状	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)					
特殊な 産状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6. そ の 他
掘削地点の地山の状態と挙動						
①	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	5. そ の 他
②	索掘面 の状態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆるみ 肌落ちする (後申請)	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	5.
③	圧 縮 強 度	① $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだ ける	4. $50 \text{ kg f / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.
④	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	5.
⑤	割れ目 の頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.
⑥	割れ目 の状態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.
⑦	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	5.
⑧	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.
⑨	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.
割越ると 割れ目 の不連続 面 の 卓あ	縦断 方向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕				
	横断 方向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕				



添付図-8(1) ケース1 爆破前

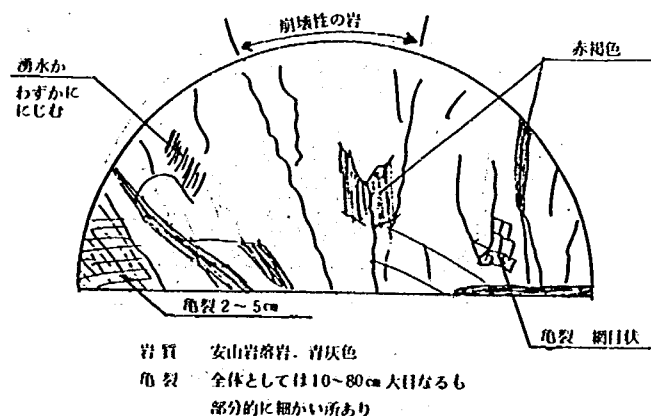
		岩 石 名 形成地質時代		安山岩溶岩 新第三紀		
特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)					
特殊な 産状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6.その他
掘削地点の地山の状態と挙動						
④	切羽の 状 態	①安 定	2.鏡面から岩塊が 抜け落ちる	3.鏡面の押し出し を生じる	4.鏡面は自立せず 崩れあるいは流出	5.その他
⑤	素掘面 の状態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆるみ 肌落ちする (後申請)	3.自立困難掘削後 早期に支保する (先普請)	4.掘削に先行して山 を受けておく 必要がある	5.
⑥	圧 縮 強 度	① $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cd}$ ハンマー打撃は ね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだ ける	4. $450 \text{ kg f / cd} > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.
⑦	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	5.
⑧	割れ目の 頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.
⑨	割れ目の 状態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.
⑩	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	5.
⑪	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.
⑫	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.
割越ると 目るす の不安 連続面 の卓あ	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕				
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕				



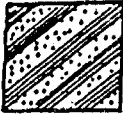
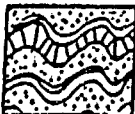
全体としては青灰色の堅硬な岩山岩
亀裂間隔 30~80cm、所々に白色の
粘土の薄層 (1~2~3mm) を挟在す。

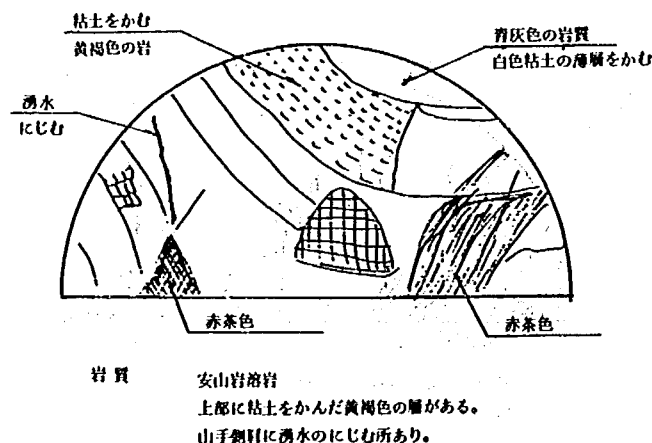
添付図-8(2) ケース1爆破後及びケース2爆破前

		岩 石 名		安山岩溶岩			
		形成地質時代		新第三紀			
特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)						
特殊な 産状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6.その他	
掘削地点の地山の状態と挙動							
④	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	5.そ の 他	
⑤	索掘面 の状態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆるみ 肌落ちする (後申請)	3.自立因難掘削後 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	5.	
⑥	圧 縮 強 度	① $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でく だける	4. $50 \text{ kg f / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.	
⑦	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	5.	
⑧	割れ目の 頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	③ $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.	
⑨	割れ目の 状態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.	
⑩	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	5.	
⑪	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.	
⑫	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.	
割越ると れ目する とき の 不 連 続 性 面 の 卓 あ	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕					
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕					



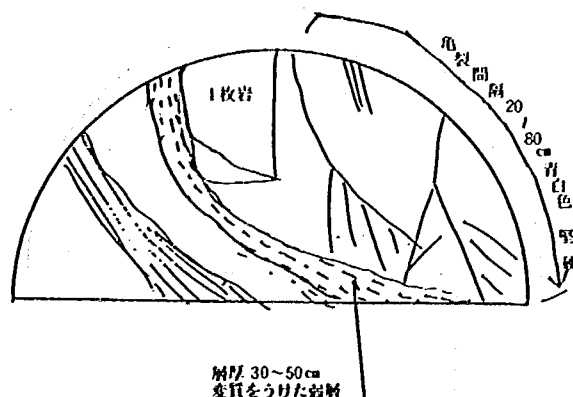
添付図-8(3) ケース2爆破後及びケース3爆破前

特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)					
特殊な 産 状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6. そ の 他
						
掘削地点の地山の状態と挙動						
①	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	5.そ の 他
②	素掘面 の 状 態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆる み肌落ちする (後申請)	3.自立因難掘削後 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	5.
③	圧 縮 強 度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	② $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でく だける	4. $50 \text{ kg f / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.
④	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	5.
⑤	割れ目の 頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.
⑥	割れ目の 状 態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.
⑦	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	5.
⑧	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.
⑨	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.
割越 れ す る と き 目 の 不 連 続 性 面 の 卓 あ	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕				
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕				



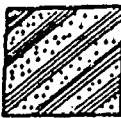
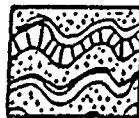
添付図- 8(4) ケース 3 爆破後及びケース 4 爆破前

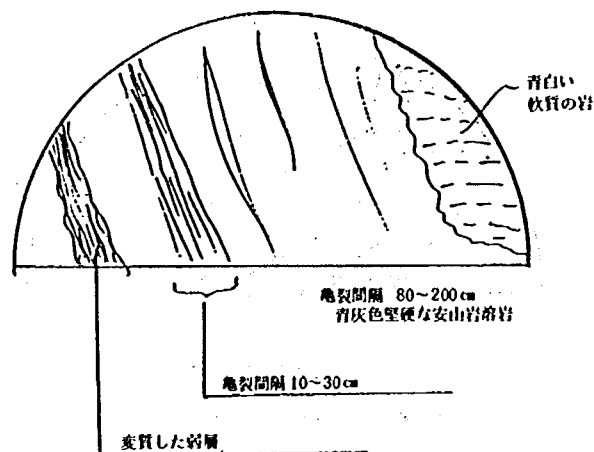
		岩 石 名 形成地質時代		安山岩溶岩 新第三紀			
特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)						
特殊な 産状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6. そ の 他	
掘削地点の地山の状態と挙動							
④	切羽の 状 態	①安 定	2.鏡面から岩塊が 抜け落ちる	3.鏡面の押し出し を生じる	4.鏡面は自立せず 崩れあるいは流 出	5. そ の 他	
⑤	素掘面 の状態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆ るみ肌落ちする (後申請)	3.自立因難掘削後 早期に支保する (先普請)	4.掘削に先行して 山を受けておく 必要がある	5.	
⑥	圧 縮 強 度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	② $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだ ける	4. $50 \text{ kg f / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.	
⑦	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	5.	
⑧	割れ目の 頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.	
⑨	割れ目の 状態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.	
⑩	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	5.	
⑪	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.	
⑫	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.	
割越ると 目する の不安 定な 方向 性面 の卓 あ	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕					
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕					



中央部にわん曲した変質帯あり。川手(右側)は堅硬な岩盤

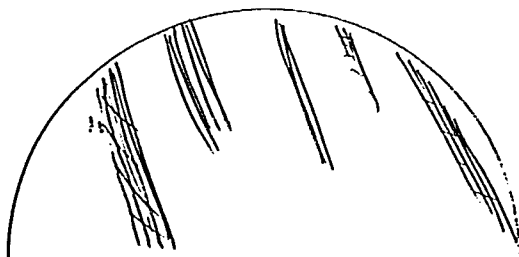
添付図-8(5) ケース4 爆破後及びケース5 爆破前

		岩 石 名		安山岩溶岩 形成地質時代 新第三紀		
特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)					
特殊な 産 状	1. 互 層 	2. 不整合 	3. 岩脈貫入 	4. 微褶曲 	5. 断 層 	6. そ の 他
掘削地点の地山の状態と挙動						
①	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	5. そ の 他
②	索掘面 の 状 態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆるみ 肌落ちする (後申請)	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	5.
③	圧 縮 強 度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg f / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	② $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でく だける	4. $50 \text{ kg f / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.
④	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	5.
⑤	割れ目 の 頻 度	1. 間 隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.
⑥	割れ目 の 状 態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.
⑦	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	5.
⑧	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.
⑨	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.
割越 れ 目 の 不 連 続 性 面 (卓 あ り の 時 刻)	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕				
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕				



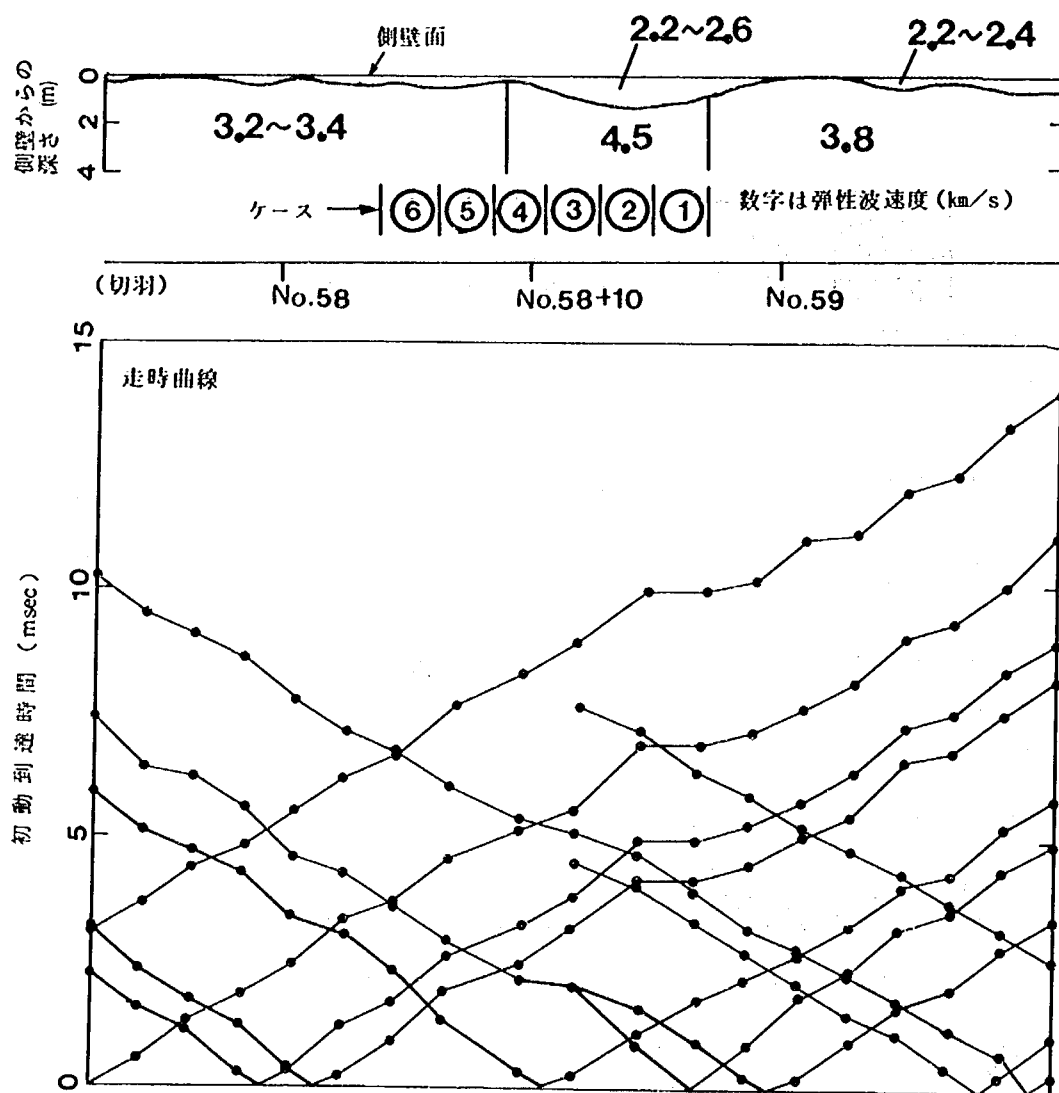
添付図-8(6) ケース5爆破後及びケース6爆破前

		岩石名 形成地質時代		安山岩溶岩 新第三紀		
特殊条件 状 態	膨圧・偏圧・流動性・土被り小()m・重要構造・谷の直下・(その他)					
特殊な産状	1. 互 層	2. 不整合	3. 岩脈貫入	4. 微褶曲	5. 断 層	6. そ の 他
掘削地点の地山の状態と挙動						
④	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	5.そ の 他
⑤	素掘面 の状 態	1.自 立 (普請不要)	②時間がたつとゆるみ 肌落ちする (後申請)	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	5.
⑥	圧 縮 強 度	① $\sigma_c \geq 1000 \text{ kgf / cm}^2$ ハンマー打撃 はね返る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃で くだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだ ける	4. $450 \text{ kgf / cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー刃先く いこむ	5.
⑦	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	5.
⑧	割れ目の 頻度	1.間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	② $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破碎当 初より未固結	5.
⑨	割れ目の 状 態	1. 密 着	②部分的に開口	3. 開 口	4.粘土をはさむ当 初より未固結	5.
⑩	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	5.
⑪	湧 水	①なし、滲水程度	2.滴水程度	3.集中湧水	4.全面湧水	5.
⑫	水による 劣化	①なし	2.ゆるみを生ず	3.軟 弱 化	4.崩壊・流出	5.
割越る れす 目る とき の 不 連 続 性 面 の 卓 あ	縦 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.さし目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.さし目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.流れ目 ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.流れ目 ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔最大傾斜角をとる〕				
	横 断 方 向 (切羽面) をみて	1.水平 ($10^\circ > \theta > 0^\circ$) 2.右から左へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 3.右から左へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 4.左から右へ ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) 5.左から右へ ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ, 80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) 6.垂直 ($\theta \geq 80^\circ$) 〔切羽面のみかけの傾斜角をとる〕				

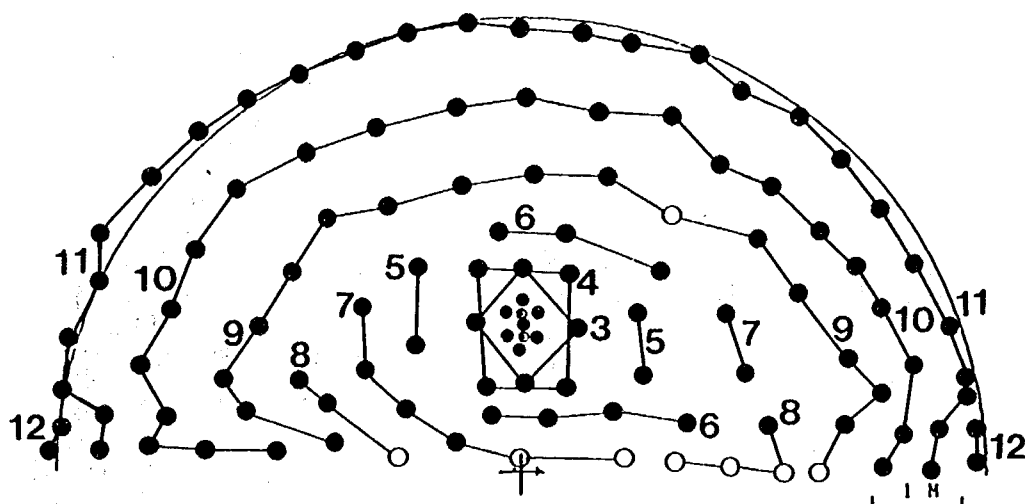


亀裂間隔 200～80cm程度の硬質青灰色の安山岩溶岩質の
岩盤。部分的に亀裂間隔5～20cmの部分(上図斜面部)あり
亀裂は密着している。湧水はなし。
岩盤は安定している。

添付図-8(7) ケース6爆破後



添付図-9 坑内弾性波探査の走時曲線と解析断面図

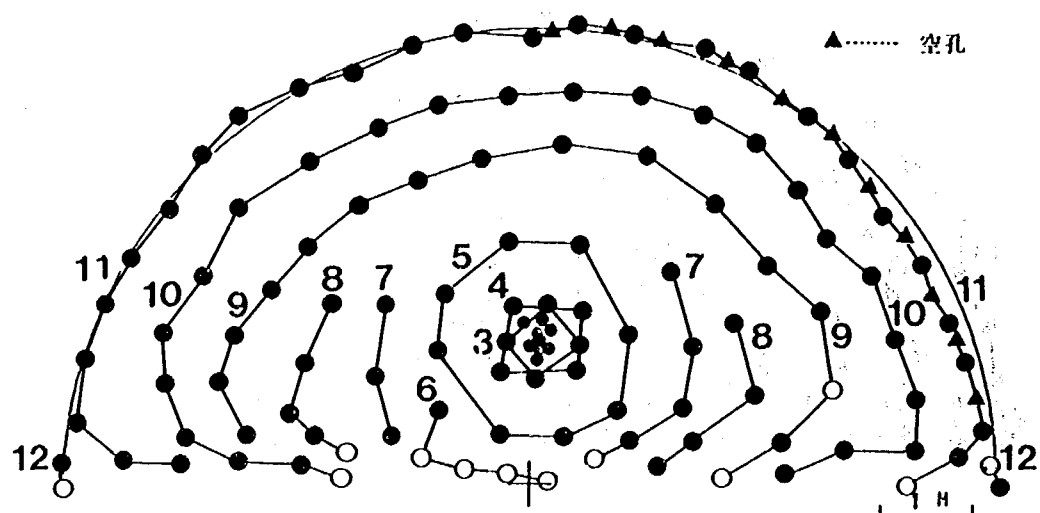


注) 実線は設計における吹付けコンクリート外面である。

段 数	削孔数	装 薬 量 (kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B 用	
MS 1	7	1.2	—	8.4
DS 3	4	1.2	—	4.8
4	4	1.1	—	4.4
5	4	1.1	—	4.4
6	7	1.1	—	7.7
7	8	1.1	—	8.8
8	7	1.1	—	7.7
9	17	1.1	—	18.7
10	22	1.1	—	24.2
11 右	14	0.9	—	12.6
	13	0.5	0.4	11.7
12	4	1.1	—	4.4
計	111	—	—	117.8

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.2 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	117.8 kg
破 碎 量	86.5 m ³
1 m ² 当りの装薬量	1.36 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	2.82 孔/m ²

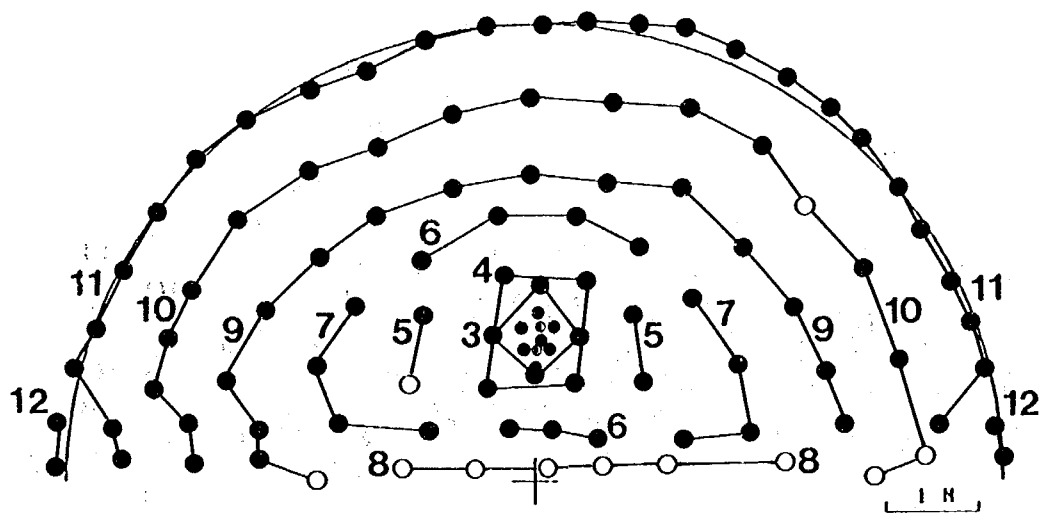
添付図-10(1) ケース 1



段 数	削孔数	装 薬 量 (kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B用	
MS 1	7	1.3	—	9.1
DS 3	4	1.3	—	5.2
4	4	1.2	—	4.8
5	8	1.2	—	9.6
6	5	1.2	—	6.0
7	8	1.1	—	8.8
8	9	1.2	—	10.8
9	16	1.2	—	19.2
10	24	1.2	—	28.8
11 右	14	0.5	0.4	12.6
右	11	—	—	0
左	13	0.5	0.4	11.7
12	4	1.2	—	4.8
計	127	—	—	131.4

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.1 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	131.4 kg
破 碎 量	82.5 m ³
1 m ² 当りの装薬量	1.59 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	3.23 孔/m ²

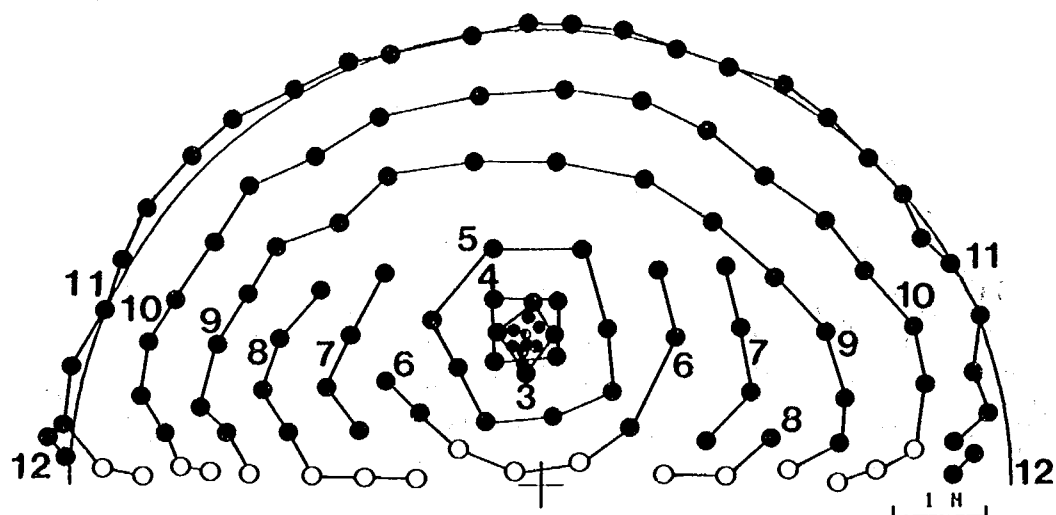
添付図-10(2) ケース 2



段 数	削孔数	装 薬 量 (kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B 用	
MS 1	7	1.3	—	9.1
DS 3	4	1.1	—	4.4
4	4	1.1	—	4.4
5	4	1.1	—	4.4
6	7	1.1	—	7.7
7	8	1.1	—	8.8
8	6	1.1	—	6.6
9	13	0.9	—	11.7
	2	0.8	—	1.6
10	18	1.1	—	19.8
11 右 左	13	0.4	0.4	10.4
	13	0.5	0.4	11.7
12	1	1.3	—	1.3
	3	1.1	—	3.3
計	103	—	—	105.2

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.1 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	105.2 kg
破 碎 量	82.5 m ³
1 m ² 当りの装薬量	1.28 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	2.62 孔/m ²

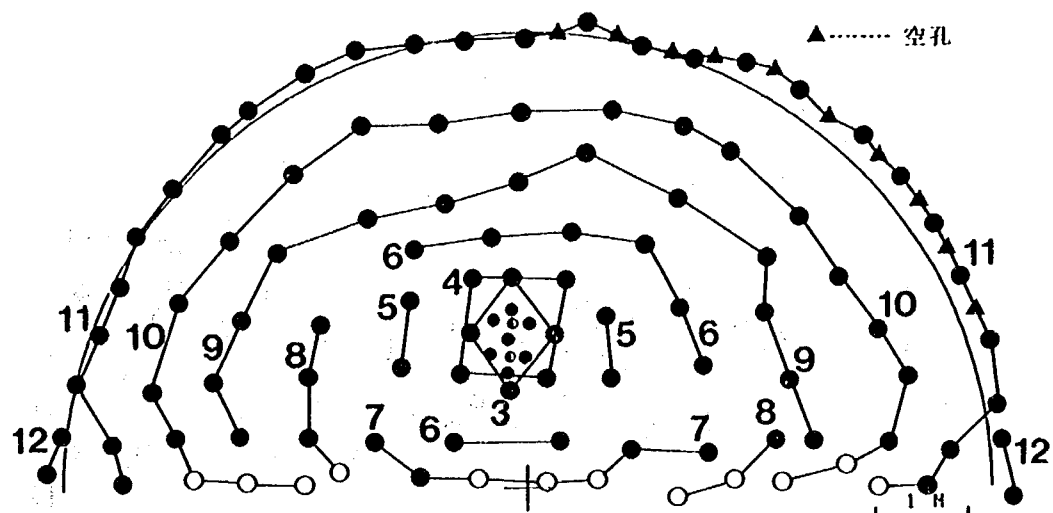
添付図-10(3) ケース 3



段 数	削孔数	装 薬 量 (kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B 用	
MS 1	7	1.3	—	9.1
DS 3	4	1.3	—	5.2
4	4	1.2	—	4.8
5	8	1.1	—	8.8
6	8	1.1	—	8.8
7	8	1.1	—	8.8
8	10	1.1	—	11.0
9	17	1.0	—	17.0
10	22	1.1	—	24.2
11 右	14	0.3	0.4	9.8
左	14	0.4	0.4	11.2
12	3	1.2	—	3.6
計	119	—	—	122.3

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.1 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	122.3 kg
破 碎 量	82.5 m ³
1 m ² 当りの装薬量	1.48 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	3.03 孔/m ²

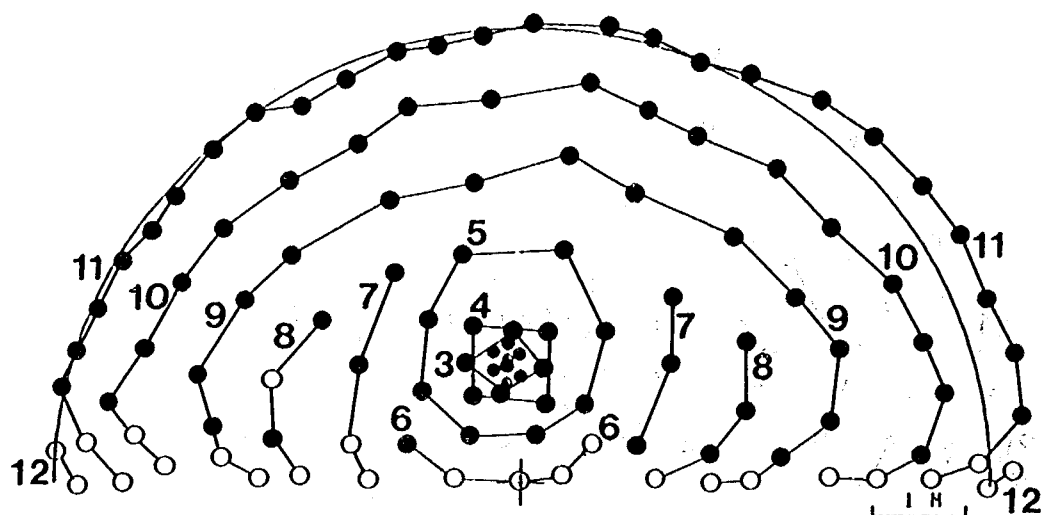
添付図-10(4) ケース 4



段 数	削孔数	装 薬 量 (kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B用	
MS 1	7	1.3	—	9.1
DS 3	4	1.2	—	4.8
4	4	1.1	—	4.4
5	4	1.1	—	4.4
6	8	1.1	—	8.8
7	7	1.1	—	7.7
8	7	1.1	—	7.7
9	14	1.1	—	15.4
10	21	1.1	—	23.1
11 右	14	0.5	0.4	12.6
右	10	—	—	0
左	14	0.5	0.4	12.6
12	4	1.2	—	4.8
計	118	—	—	115.4

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.1 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	115.4 kg
破 碎 量	82.5 m ³
1 m ² 当りの装薬量	0.71 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	3.00 孔/m ²

添付図-10(5) ケース 5



段 数	削孔数	装 薬 量(kg)		小 計 (kg)
		通 常	S B用	
MS 1	7	1.4	—	9.8
DS 3	4	1.3	—	5.2
4	4	1.3	—	5.2
5	8	1.3	—	10.4
6	5	1.3	—	6.5
7	7	1.3	—	9.1
8	8	1.3	—	10.4
9	17	1.3	—	22.1
10	22	1.3	—	28.6
11 右 左	14	0.4	0.4	11.2
	13	0.3	0.4	11.2
	2	1.2	—	2.4
12	4	1.4	—	5.6
計	115	—	—	135.6

岩 質	安山岩溶岩
断 面 積	39.3 m ²
掘 進 長	2.3 m
削 孔 長	約 2.2 m
爆 薬 使 用 量	135.6 kg
破 碎 量	90.4 m ³
1 m ² 当りの装薬量	1.50 kg/m ²
1 m ² 当りの孔 数	2.93 孔/m ²

添付図-10(6) ケース 6

*** 0 TUNNEL CASE-1 (NO.58+17.1) ***

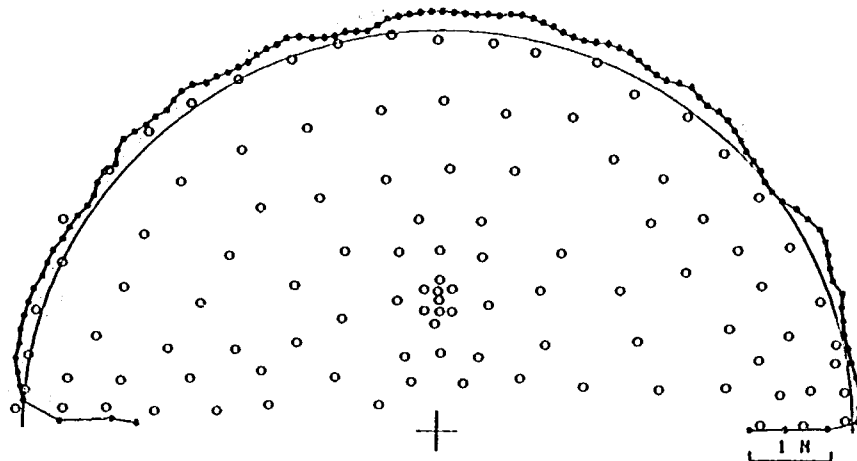
—LEFT—

—RIGHT—

MEAN OVERBREAK = 16.72 CH
MAX OVERBREAK = 26.9 CH
MIN OVERBREAK = 0.9 CH
SIG OVERBREAK = 5.57 CH

MEAN OVERBREAK = 15.72 CH
MAX OVERBREAK = 28.3 CH
MIN OVERBREAK = -1.5 CH
SIG OVERBREAK = 7.72 CH

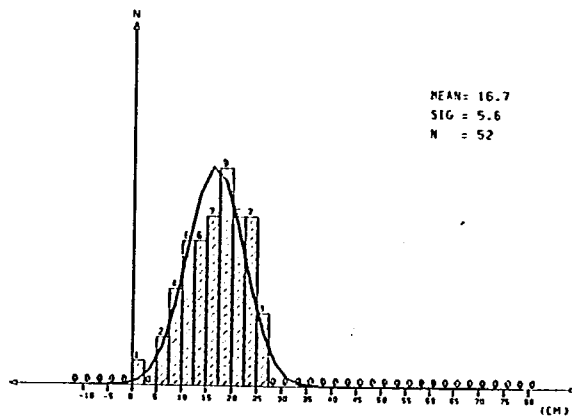
EXCAVATION AREA = 39.87 H²
MEAN OVERBREAK = 16.22 CH
MAX OVERBREAK = 28.3 CH
MIN OVERBREAK = -1.5 CH
SIG OVERBREAK = 6.75 CH



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。

*** 0 TUNNEL CASE-1 (NO.58+17.1) ***

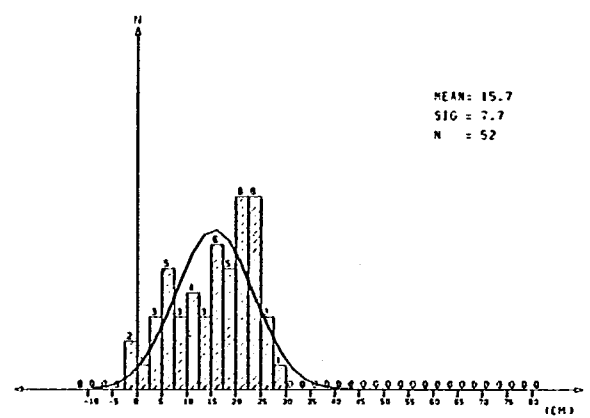
—LEFT—



☆☆☆ 左 端のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-1 (NO.58+17.1) ***

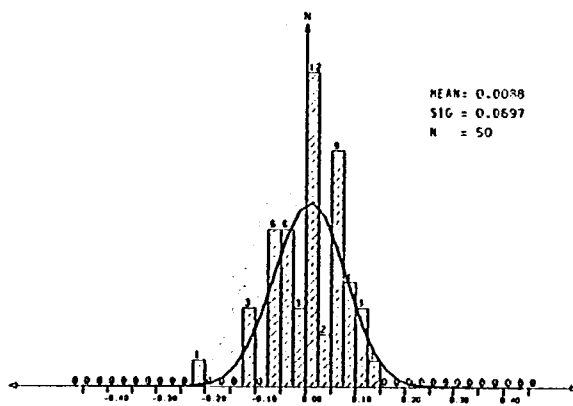
—RIGHT—



☆☆☆ 右 端のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-1 (NO.58+17.1) ***

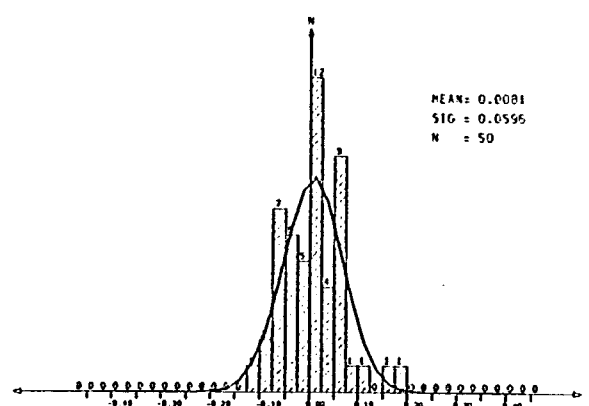
—LEFT—



☆☆☆ 左 / 端のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-1 (NO.58+17.1) ***

—RIGHT—

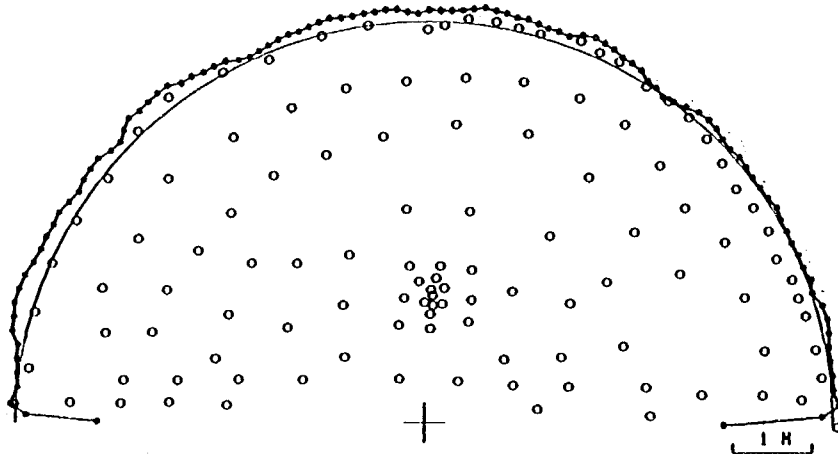


☆☆☆ 右 / 端のヒストグラム ☆☆☆

添付図-11(1) ケース1

*** 0 TUNNEL CASE-2 (NO.58+14.9) ***

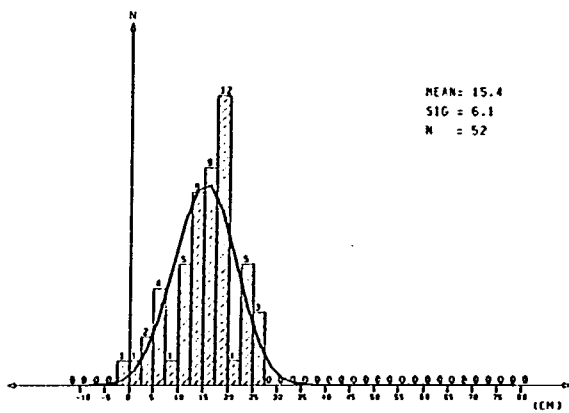
LEFT		RIGHT		EXCAVATION AREA = 39.72 M ²
MEAN OVERBREAK = 15.35 CM	MEAN OVERBREAK = 9.37 CM	MEAN OVERBREAK = 12.39 CM		
MAX OVERBREAK = 25.9 CM	MAX OVERBREAK = 22.6 CM	MAX OVERBREAK = 25.9 CM		
MIN OVERBREAK = -0.3 CM	MIN OVERBREAK = -1.9 CM	MIN OVERBREAK = -1.9 CM		
SIG OVERBREAK = 6.06 CM	SIG OVERBREAK = 6.78 CM	SIG OVERBREAK = 7.09 CM		



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。

*** 0 TUNNEL CASE-2 (NO.58+14.9) ***

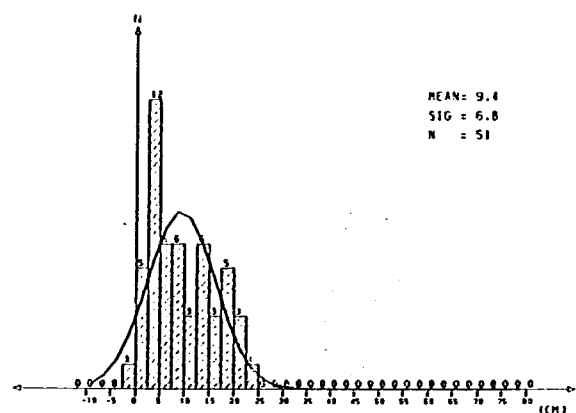
LEFT



☆☆ ☆ 左のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-2 (NO.58+14.9) ***

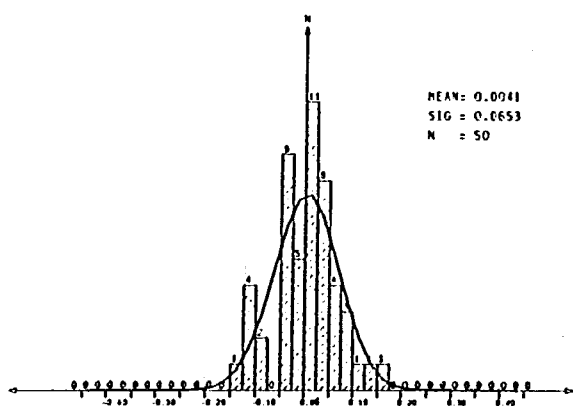
RIGHT



☆☆ ☆ 右のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-2 (NO.58+14.9) ***

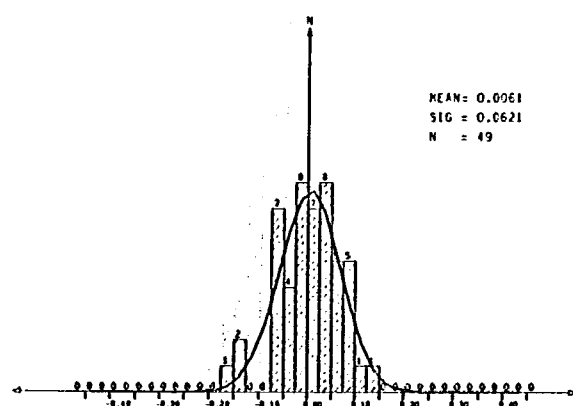
LEFT



☆☆ ☆ 左のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-2 (NO.58+14.9) ***

RIGHT

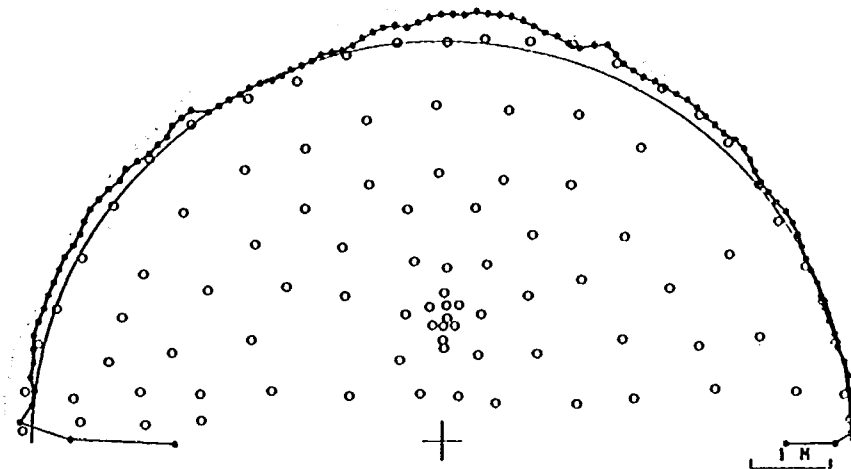


☆☆ ☆ 右のヒストグラム ☆☆☆

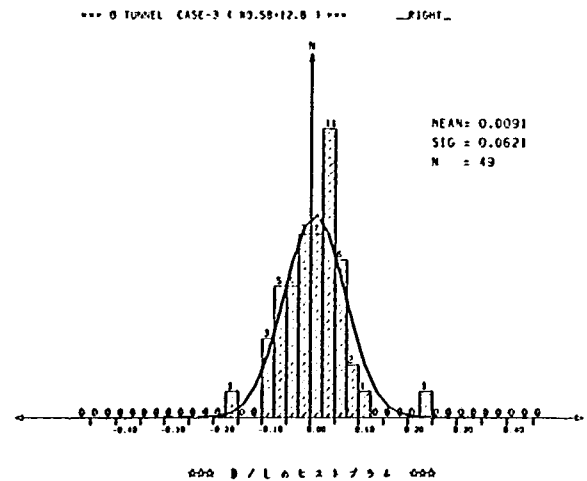
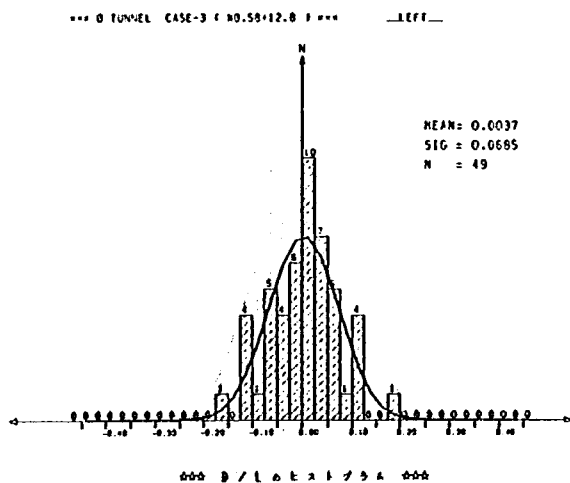
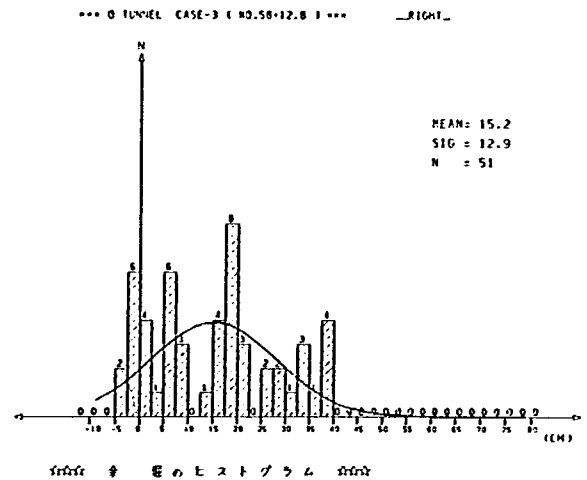
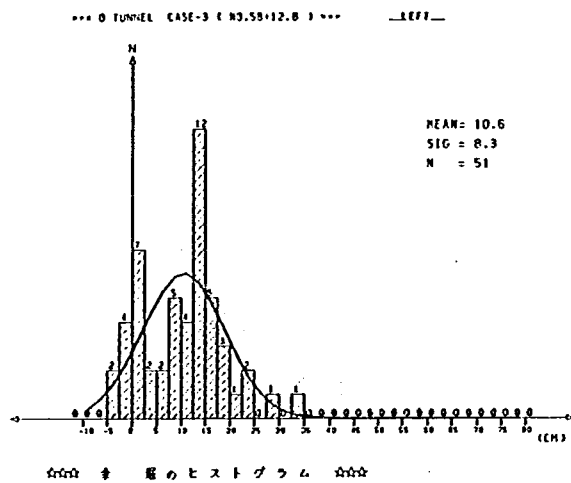
添付図-11 (2) ケース2

*** O TUNNEL CASE-3 (NO.58*12.8) ***

LEFT		RIGHT		EXCAVATION AREA = 40.32 M ²	
MEAN OVERBREAK =	10.62 CM	MEAN OVERBREAK =	15.24 CM	MEAN OVERBREAK =	12.93 CM
MAX OVERBREAK =	33.5 CM	MAX OVERBREAK =	39.0 CM	MAX OVERBREAK =	39.0 CM
MIN OVERBREAK =	-3.8 CM	MIN OVERBREAK =	-3.6 CM	MIN OVERBREAK =	-3.8 CM
SIG OVERBREAK =	8.33 CM	SIG OVERBREAK =	12.93 CM	SIG OVERBREAK =	11.12 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。



添付図-11(3) ケース3

*** 0 TUNNEL CASE-4 (NO.58+10.7) ***

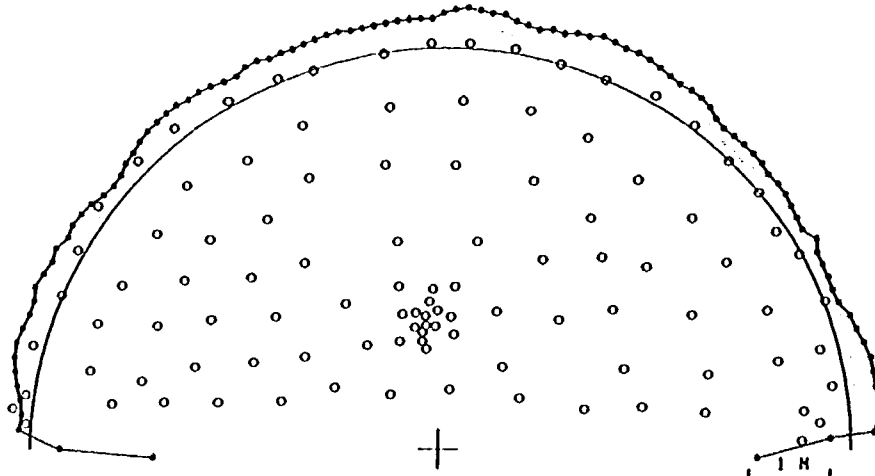
—LEFT—

—RIGHT—

MEAN OVERBREAK = 31.92 CM
MAX OVERBREAK = 44.1 CM
MIN OVERBREAK = 13.1 CM
SIG OVERBREAK = 6.48 CM

MEAN OVERPEAK = 33.78 CM
MAX OVERPEAK = 51.4 CM
MIN OVERPEAK = 16.0 CM
SIG OVERPEAK = 10.37 CM

EXCAVATION AREA = 43.79 H²
MEAN OVERBREAK = 32.84 CM
MAX OVERBREAK = 51.4 CM
MIN OVERBREAK = 13.1 CM
SIG OVERBREAK = 8.68 CM



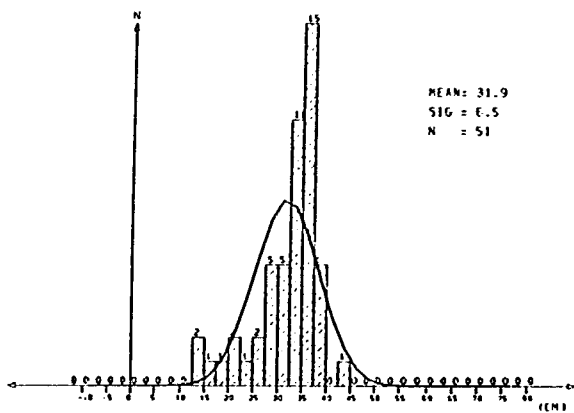
注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。

*** 0 TUNNEL CASE-4 (NO.58+10.7) ***

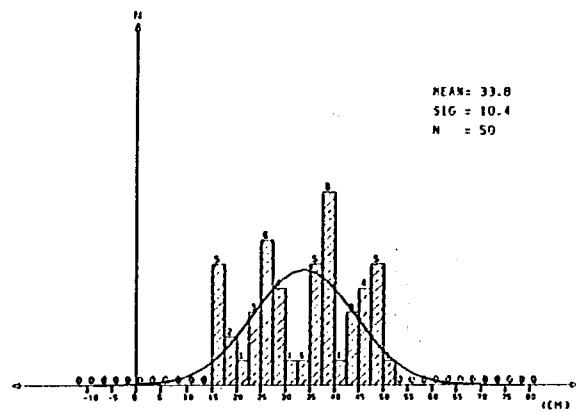
—LEFT—

*** 0 TUNNEL CASE-4 (NO.58+10.7) ***

—RIGHT—



☆☆☆ 左 端のヒストグラム ☆☆☆



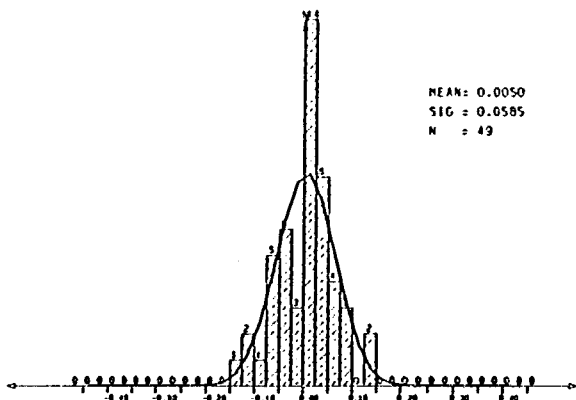
☆☆☆ 右 端のヒストグラム ☆☆☆

*** 0 TUNNEL CASE-4 (NO.58+10.7) ***

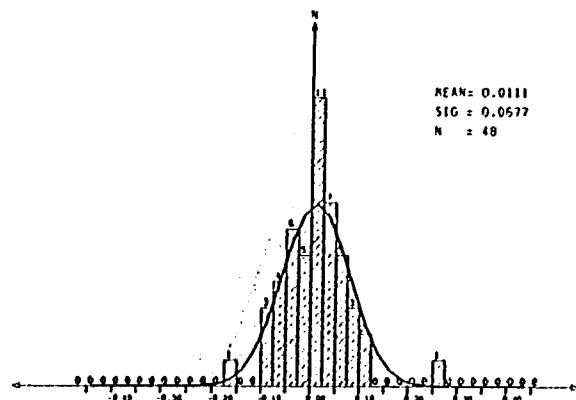
—LEFT—

*** 0 TUNNEL CASE-4 (NO.58+10.7) ***

—RIGHT—



☆☆☆ 0 / L のヒストグラム ☆☆☆

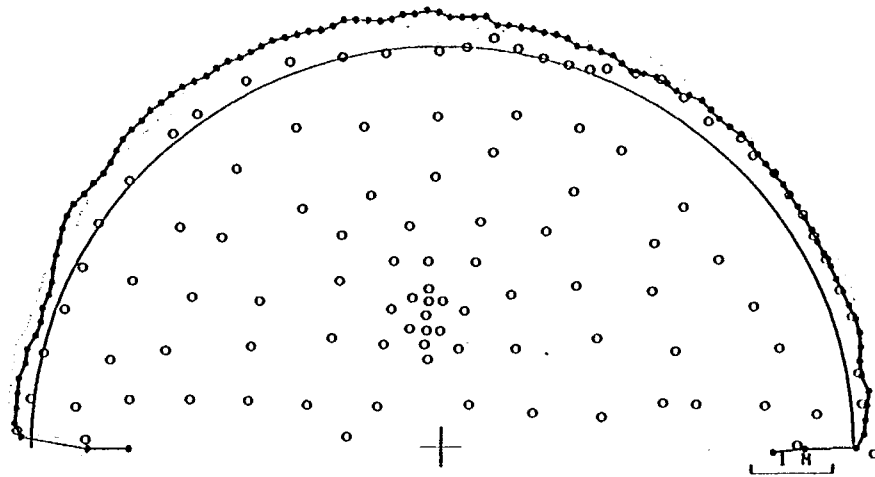


☆☆☆ 0 / R のヒストグラム ☆☆☆

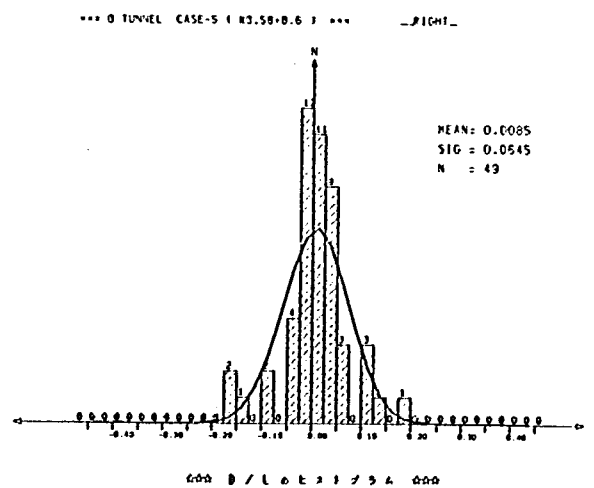
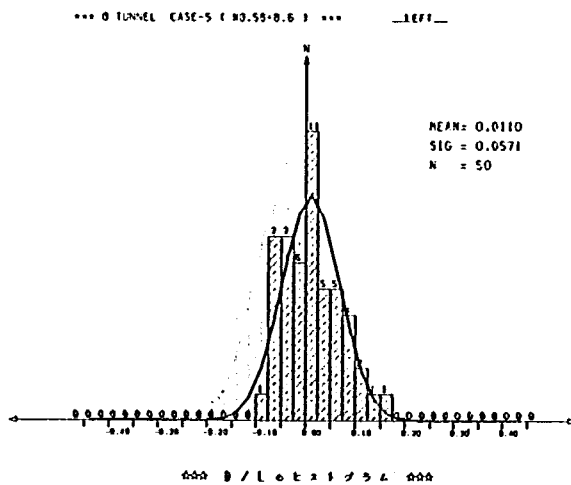
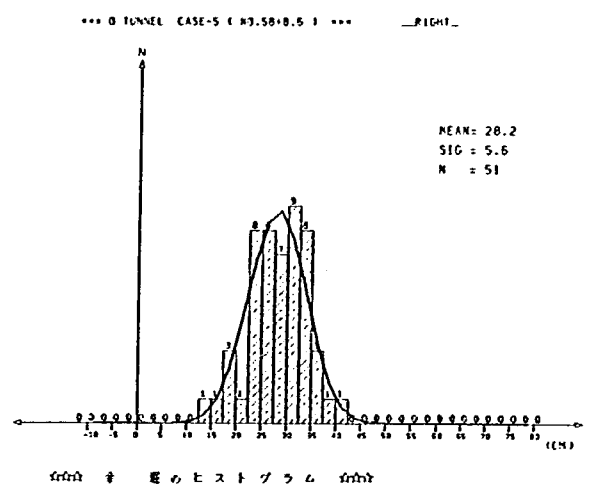
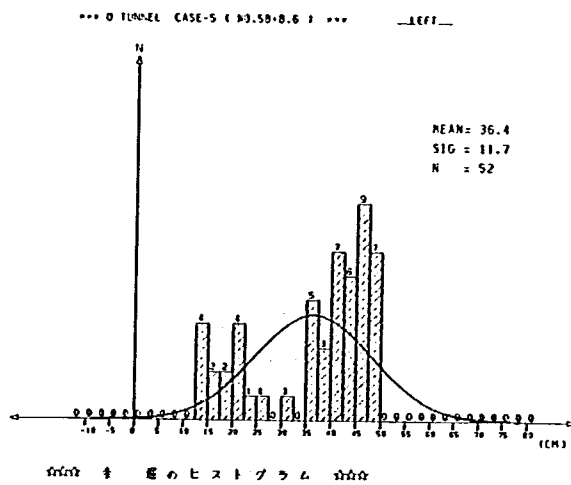
添付図-11 (4) ケース4

*** O TUNNEL CASE-5 (H0.58+0.6) ***

LEFT		RIGHT		EXCAVATION AREA = 43.40 M ²
MEAN OVERBREAK = 36.44 CM		MEAN OVERBREAK = 28.20 CM		MEAN OVERBREAK = 32.36 CM
MAX OVERBREAK = 49.6 CM		MAX OVERBREAK = 40.3 CM		MAX OVERBREAK = 49.6 CM
MIN OVERBREAK = 12.5 CM		MIN OVERBREAK = 13.5 CM		MIN OVERBREAK = 12.5 CM
SIG OVERBREAK = 11.75 CM		SIG OVERBREAK = 5.62 CM		SIG OVERBREAK = 10.11 CM



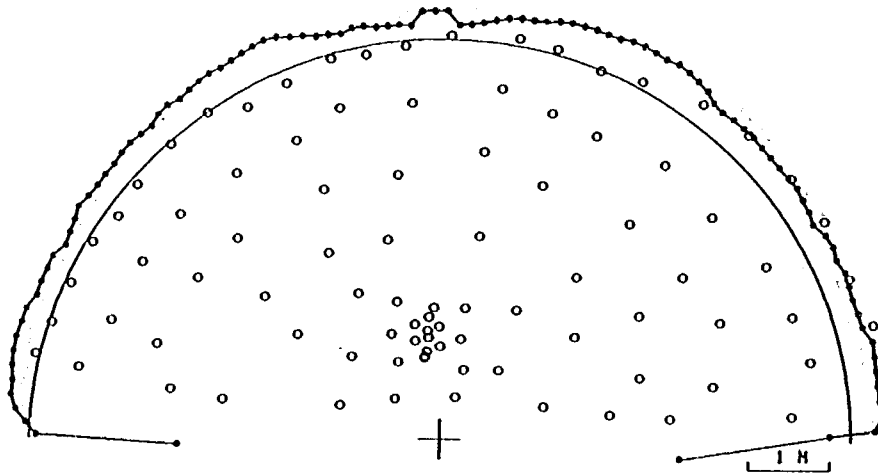
注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。



添付図-11(5) ケース5

*** 0 TUNNEL CASE-6 (NO.58+6.5) ***

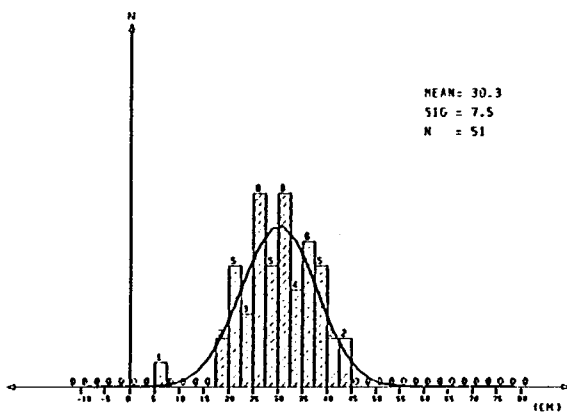
LEFT		RIGHT		EXCAVATION AREA = 44.21 M ²	
MEAN OVERBREAK =	30.26 CM	MEAN OVERBREAK =	36.53 CM	MEAN OVERBREAK =	33.36 CM
MAX OVERBREAK =	44.9 CM	MAX OVERBREAK =	50.9 CM	MAX OVERBREAK =	50.9 CM
MIN OVERBREAK =	5.3 CM	MIN OVERBREAK =	18.6 CM	MIN OVERBREAK =	5.3 CM
SIG OVERBREAK =	7.53 CM	SIG OVERBREAK =	7.35 CM	SIG OVERBREAK =	8.08 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート外面である。
折線は、断面測定の結果に、吹付け平均厚さを加えたものである。

*** 0 TUNNEL CASE-6 (NO.58+6.5) ***

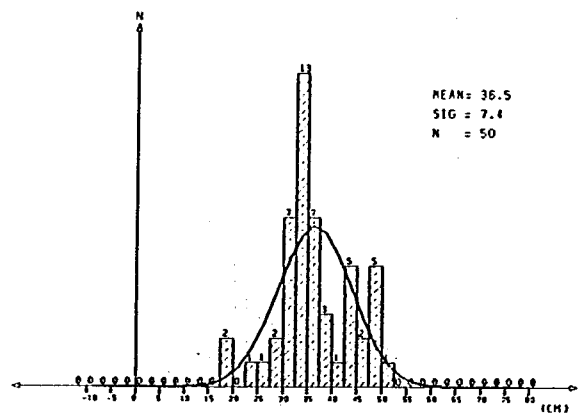
LEFT



*** 左側のヒストグラム ***

*** 0 TUNNEL CASE-6 (NO.58+6.5) ***

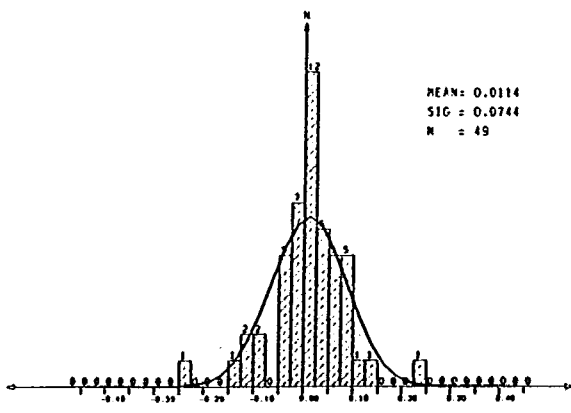
RIGHT



*** 右側のヒストグラム ***

*** 0 TUNNEL CASE-6 (NO.58+6.5) ***

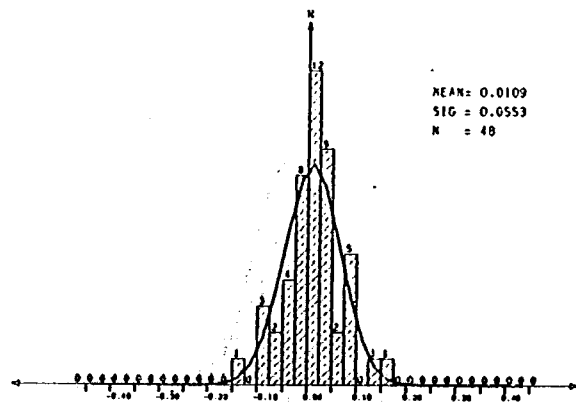
LEFT



*** D/L のヒストグラム ***

*** 0 TUNNEL CASE-6 (NO.58+6.5) ***

RIGHT

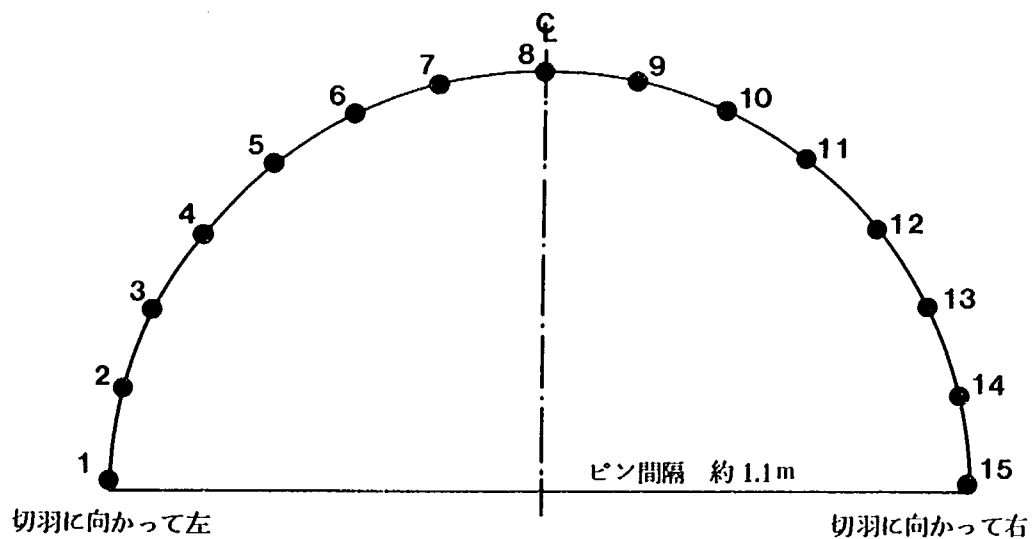


*** D/L のヒストグラム ***

添付図-11(6) ケース6

添付表-4 コンクリート吹付け厚さ検測結果

検測ピン	コンクリート吹付け厚さ (cm)					
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
1	5.5	6.0	5.0	6.0	5.0	6.0
2	6.0	6.5	5.5	7.5	6.5	7.5
3	6.5	8.0	7.5	6.5	7.0	5.5
4	6.0	7.5	5.5	5.5	7.5	8.5
5	7.5	6.5	6.5	6.5	5.5	9.5
6	7.0	6.5	6.5	7.5	5.5	9.0
7	7.5	5.5	5.5	7.5	6.5	7.0
8	7.5	6.5	5.5	5.5	6.5	8.5
9	5.5	7.5	5.5	6.5	7.5	6.0
10	7.5	5.5	5.5	8.0	8.5	7.5
11	6.5	7.5	6.5	7.5	9.5	6.5
12	7.5	8.0	6.5	7.5	9.0	7.5
13	7.5	6.5	6.5	7.0	7.5	5.5
14	6.0	7.5	7.5	5.5	9.5	6.5
15	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
平 均	6.7	6.7	6.0	6.6	7.1	7.1



4 章 関 係

(添付図 - 12 ~ 添付図 - 15)

(添付表 - 5 ~ 添付表 - 6)

添付図 - 12 切羽観察結果

添付図 - 13 坑内弾性波探査

添付図 - 14 爆破パターン

添付図 - 15 測定断面形状, 余掘り量のヒストグラム, D / L のヒストグラム

添付表 - 5 岩石コアの物性試験結果

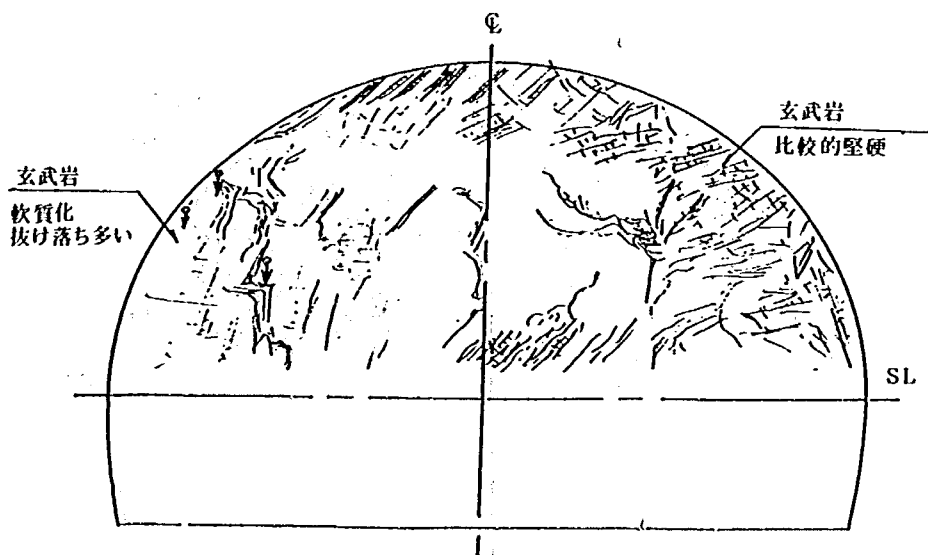
添付表 - 6 コンクリート吹付け厚さ

THE HISTORY OF

THE CITY OF BOSTON
FROM THE FIRST SETTLEMENT
TO THE PRESENT TIME

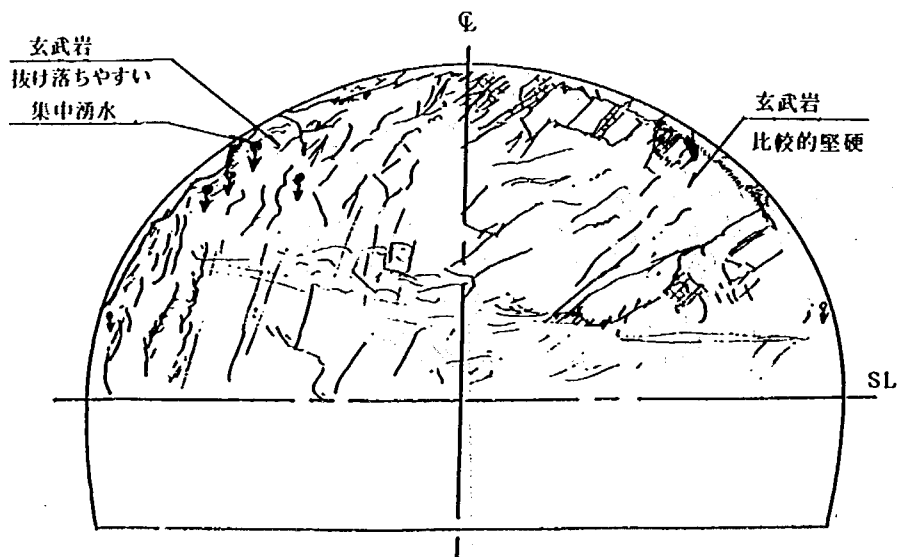
BY
JOHN H. COLEMAN
OF THE
BOSTON PUBLIC LIBRARY
AND
OF THE
BOSTON SOCIETY OF THE HISTORY OF THE CITY
OF BOSTON

岩 種	建設省の 地質区分	総合判定		断面区分 C II	
		a c	⑤ d	岩石名 地質代	玄武岩（新第三紀，中新世）
状況 項目	A	B	C	D	(E)
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kgf / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500~1000 kgf / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100~500 kgf / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10~100 kgf / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10kgf / cm ² 以下
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおとして いる 比較的堅硬	④ 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10~50cm	③ 2~10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく、層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し、層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し、割れ目 が極めて多い	5. 開口し充填 物あり
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40~70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0 ~ 6.0 km / s Bb	3. 2.5 ~ 5.0 km / s Cb	4. 0.8 ~ 4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb
備 考	湧水のある場合は、湧水量や湧水による岩質、割れ目、変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 20 l/min)				



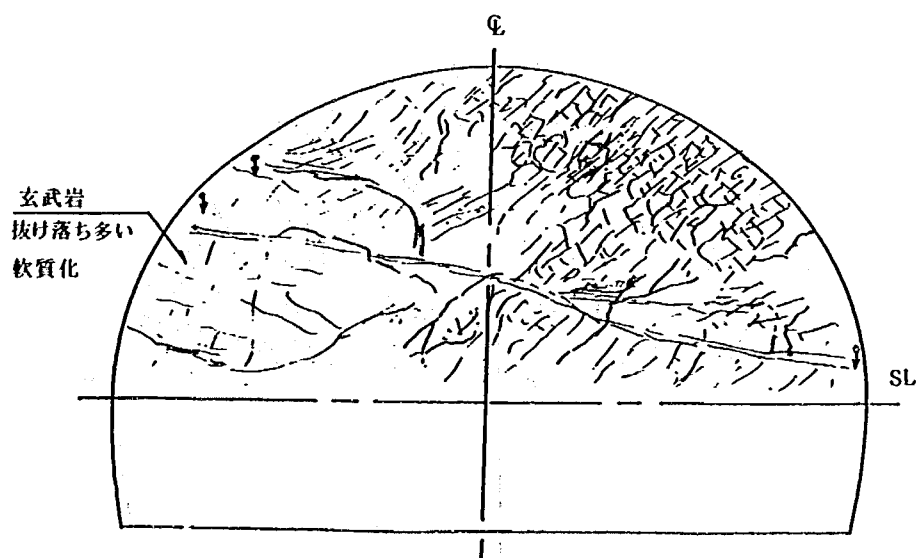
添付図-12(1) ケース1爆破後及びケース2爆破前

岩 種	建設省の 地質区分		総合判定		断面区分 CⅡ	
			岩石名 地質地代		玄武岩（新第三紀，中新世）	
状況 項目	A	B	C	D	(E)	
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kgf / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500～1000 kgf / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100～500 kgf / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10～100 kgf / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10kgf / cm ² 以下	
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおこして いる 比較的堅硬	④ 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状	
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10～50cm	③ 2～10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失	
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく、層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し、層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し、割れ目 が極めて多い	5. 開口し充填 物あり	
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40～70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結	
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0～6.0 km / s Bb	3. 2.5～5.0 km / s Cb	4. 0.8～4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb	
備 考	湧水のある場合は、湧水量や湧水による岩質、割れ目、変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 30 l/min)					



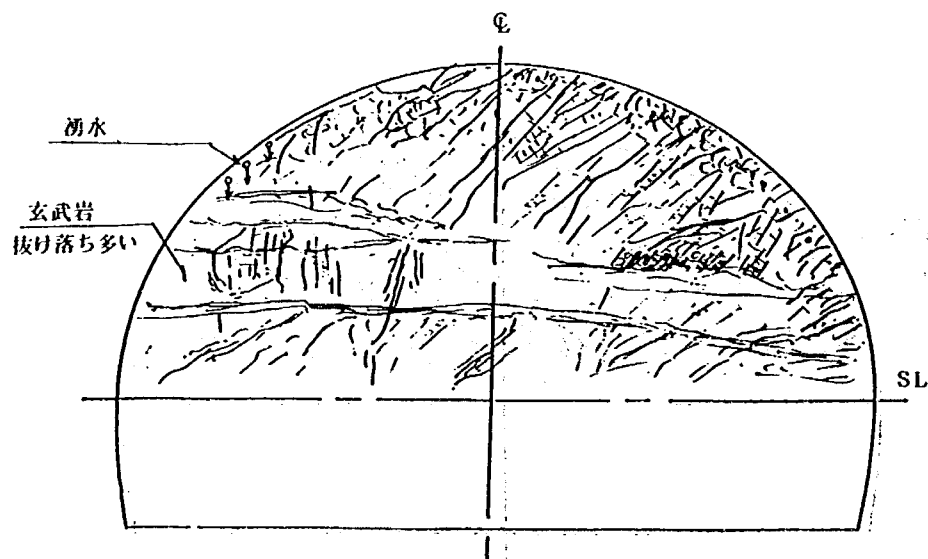
添付図-12(2) ケース2爆破後及びケース3爆破前

岩 種	建設省の 地質区分		総合判定	断面区分 C II	
	a	⑤ c d	岩石名 地質地代	玄武岩（新第三紀，中新世）	
状況 項目	A	B	C	D	(E)
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kgf / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500 ~ 1000 kgf / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100 ~ 500 kgf / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10 ~ 100 kgf / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10kgf / cm ² 以下
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② (右半分) 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおこして いる 比較的堅硬	④ (左半分) 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10 ~ 50cm	③ 2 ~ 10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく、層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し、層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し、割れ目 が極めて多い	5. 開口し充填 物あり
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40 ~ 70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0 ~ 6.0 km / s Bb	3. 2.5 ~ 5.0 km / s Cb	4. 0.8 ~ 4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb
備 考	湧水のある場合は、湧水量や湧水による岩質、割れ目、変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 30 l/min)				



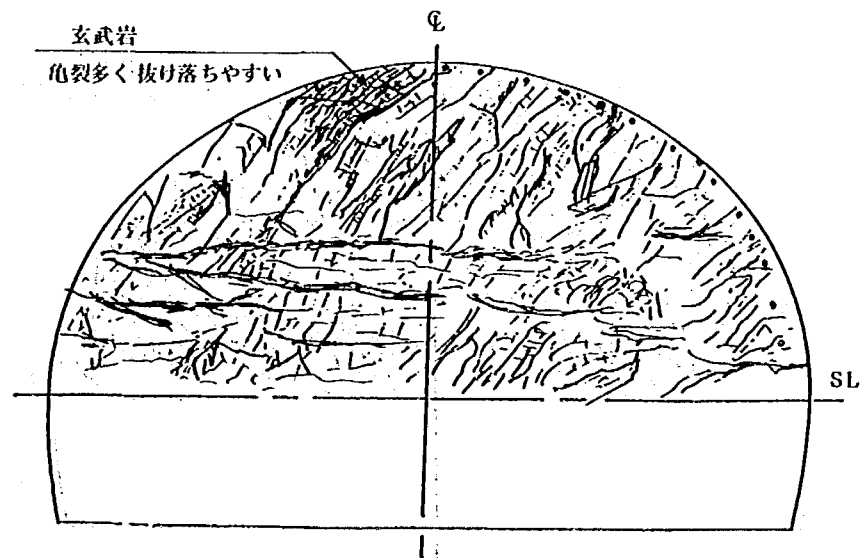
添付図-12(3) ケース 3 爆破後及びケース 4 爆破前

岩 種	建設省の 地質区分		総合判定	断面区分 C II	
	a c	⑥ d	岩石名 地質地代	玄武岩（新第三紀，中新世）	
状況 項目	A	B	C	D	(E)
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kgf / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500 ~ 1000 kgf / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100 ~ 500 kgf / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10 ~ 100 kgf / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10kgf / cm ² 以下
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおこして いる 比較的堅硬	④ 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10 ~ 50cm	③ 2 ~ 10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく、層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し、層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し、割れ目 が極めて多い	5. 開口し充填 物あり
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40 ~ 70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0 ~ 6.0 km / s Bb	3. 2.5 ~ 5.0 km / s Cb	4. 0.8 ~ 4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb
備 考	湧水のある場合は、湧水量や湧水による岩質、割れ目、変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 10 l/min)				



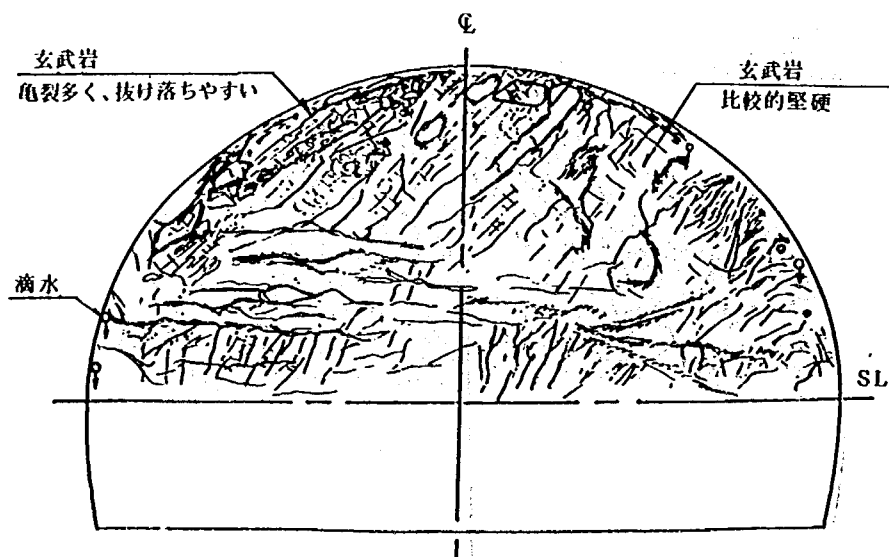
添付図-12(4) ケース4爆破後及びケース5爆破前

岩 種	建設省の 地質区分	a ⑥ c d		総合判定	断面区分 C II	
				岩石名 地質年代	玄武岩（新第三紀，中新世）	
状況 項目	A	B	C	D	(E)	
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kgf / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500 ~ 1000 kgf / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100 ~ 500 kgf / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10 ~ 100 kgf / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10kgf / cm ² 以下	
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② (右側) 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおこして いる 比較的堅硬	④ (左肩部) 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状	
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10 ~ 50cm	③ 2 ~ 10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失	
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく，層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し，層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し，割れ目 が極て多い	5. 開口し充填 物あり	
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40 ~ 70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結	
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0 ~ 6.0 km / s Bb	3. 2.5 ~ 5.0 km / s Cb	4. 0.8 ~ 4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb	
備 考	湧水のある場合は，湧水量や湧水による岩質，割れ目，変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 1/min)					

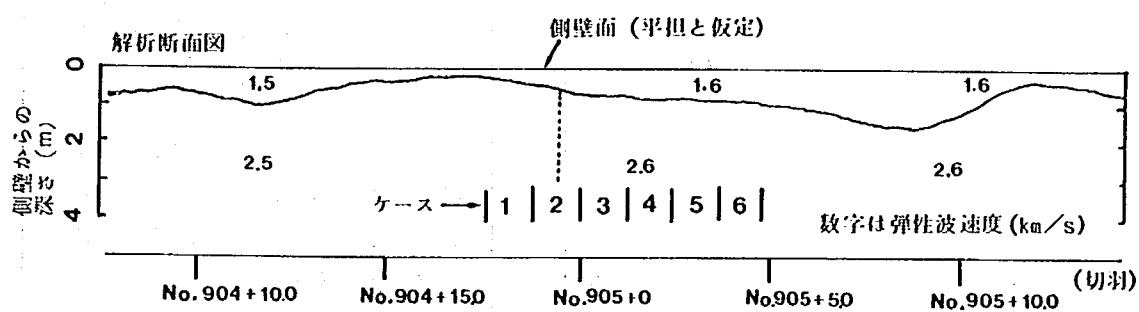
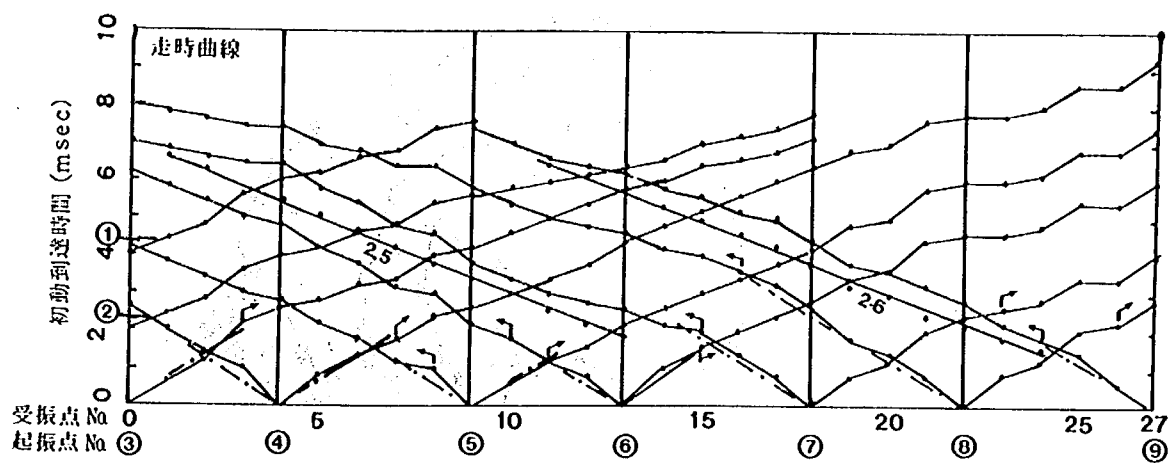


添付図-12(5) ケース 5 爆破後及びケース 6 爆破前

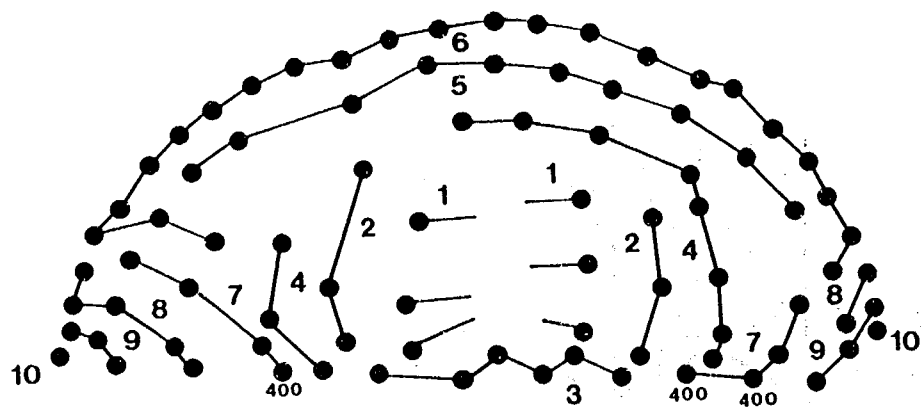
岩 種	建設省の 地質区分		総合判定	断面区分 C II	
	a c	⑥ d	岩石名 地質地代	玄武岩（新第三紀，中新世）	
状況 項目	A	B	C	D	(E)
ハンマーの 打撃による 岩の割れ方	1. 金属音 ハンマーが はねかえる 1000 kg f / cm ² 以上	2. 乾いた音 強く打たけ ば割れる 500 ~ 1000 kg f / cm ²	③ 濁った音 容易に割れ る 100 ~ 500 kg f / cm ²	4. ハンマーで 容易に崩れ る 10 ~ 100 kg f / cm ²	5. ハンマーの 先がくいこ む 10 kg f / cm ² 以下
地質状態 (1)	1. 非常堅硬 かつ 新 鮮	② (右側) 亀裂面には 粘土をはさ まない かつ堅硬	3. 全体に変質 をおこして いる 比較的堅硬	④ (左肩部) 全体に著し い変質が進 み強度低下	5. 土砂状
亀裂の間隔 及び 状 態	1. 50cm以上	2. 10 ~ 50cm	③ 2 ~ 10cm	4. 亀裂の存在 がはっきり しない	5. 消 失
地質状態 (2)	1. 割れ目は少 なく、層相 変化も少な い	2. 厚い層状で 割れやすい	③ 部分的に開 口し、層理 片理が顕著 で非常に薄 く割れる	4. 全体に開口 し、割れ目 が極めて多い	5. 開口し充填 物あり
RQDまたは 割目の形態	1. (90%以上) 大塊状	2. (70%以上) 塊 状	3. (40 ~ 70%) 柱 状	④ (40%以下) 層状 片状 板状	5. (0%) ちりめん状 土砂細片状 未固結
坑内弾性波 速度 P波 (km/s)	1. 4.0 km / s 以上 Ab	2. 3.0 ~ 6.0 km / s Bb	3. 2.5 ~ 5.0 km / s Cb	4. 0.8 ~ 4.3 km / s Db	5. 1.0 km / s 以上 Eb
備 考	湧水のある場合は、湧水量や湧水による岩質、割れ目、変質等の影響を考慮すること。 (湧水量 1 / min)				



添付図-12(6) ケース 6 爆破後



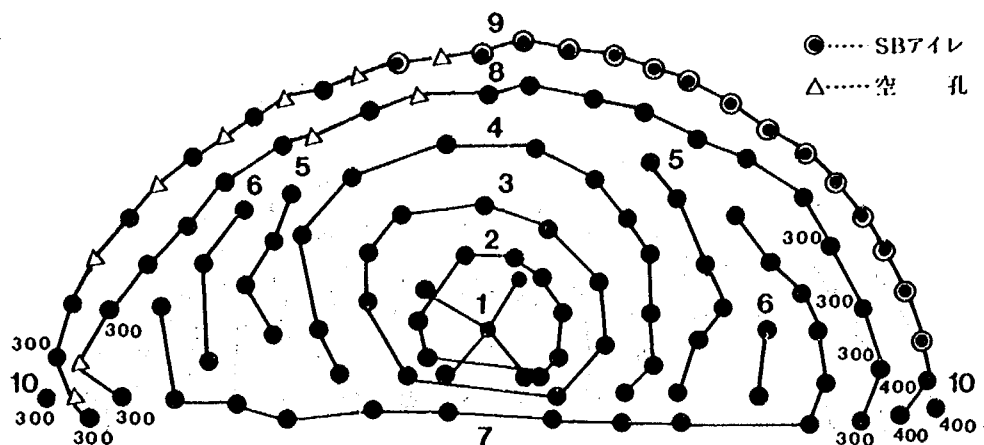
添付図-13 坑内弾性波探査の走時曲線と解析断面図



雷管	削孔数	装 薬 量 (g)		小 計 (kg)
		カヤマイト	S B アイレ	
1	6	400	—	2.4
2	6	400	—	2.4
3	6	400	—	2.4
4	11	300	—	3.3
5	10	300	—	3.0
6	23	300	—	6.9
7	3	400	—	1.2
	5	300	—	1.5
8	7	400	—	2.8
9	6	400	—	2.4
10	2	400	—	0.8
計	85	—	—	29.1

岩 質	玄 武 岩
断 面 積	56.4 m ²
掘 進 長	1.2 m
削 孔 長	1.3 m
爆 薬 使 用 量	29.1 kg
破 砕 量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.43 kg / m ²
1 m ² 当りの孔 数	1.51 孔 / m ²

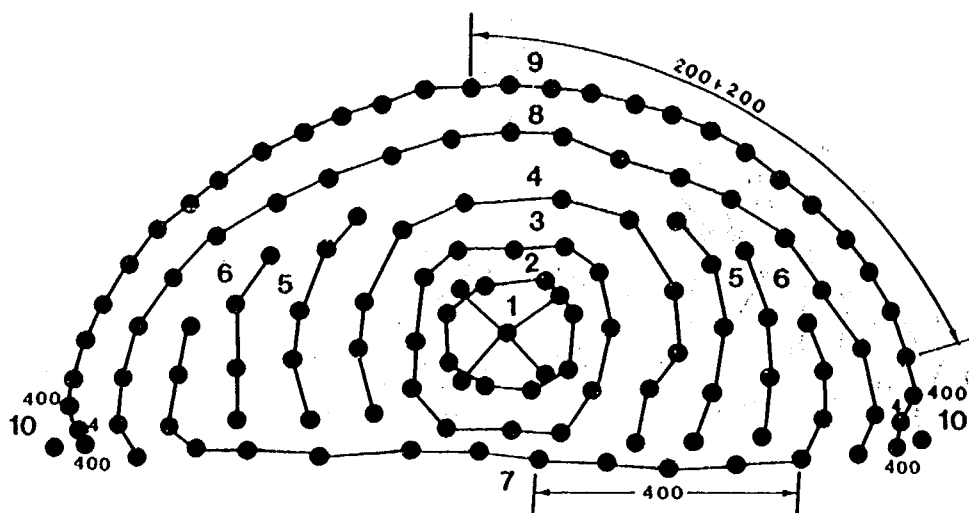
添付図-14(1) ケース 1 爆破パターン



雷管	削孔数	装薬量 (g)		小計 (kg)
		カヤマイト	SBアイレ	
1	5	400	—	2.0
2	8	400	—	3.2
3	9	400	—	3.6
4	12	300	—	3.6
5	10	300	—	3.0
6	5	300	—	1.5
7	15	300	—	4.5
8	6	300	—	1.8
	12	200	—	2.4
	3	—	—	0
9	2	400	—	0.8
	2	300	—	0.6
	5	100	—	0.5
	15	100	200	4.5
	7	—	—	0
10	1	400	—	0.4
	1	300	—	0.3
計	118	—	—	32.6

岩質	玄武岩
断面積	56.4 m ²
掘進長	1.2 m
削孔長	1.3 m
爆薬使用量	32.6 kg
破砕量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.48 kg / m ²
1 m ² 当りの孔数	2.09 孔 / m ²

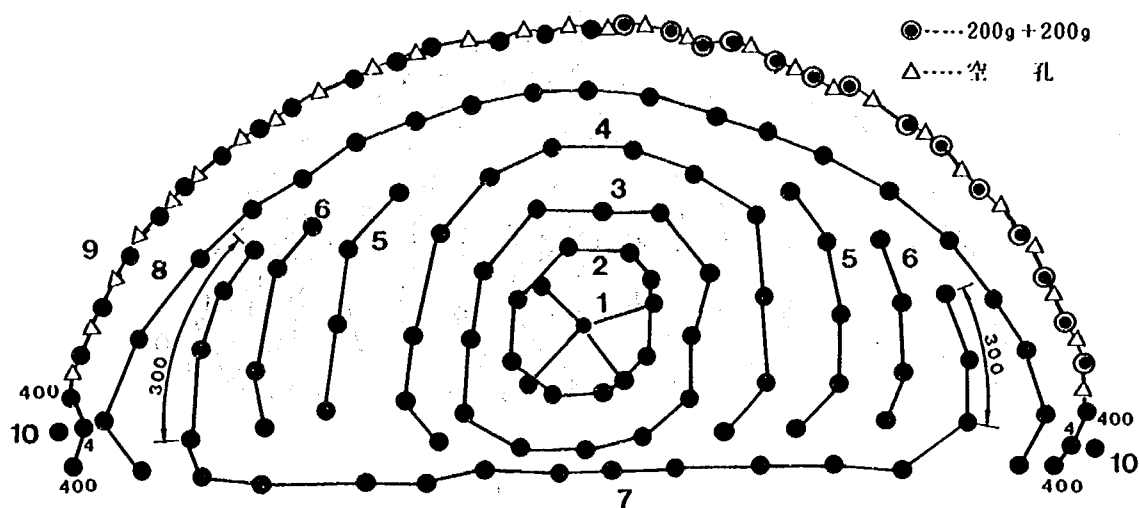
添付図-14(2) ケース2 爆破パターン



雷管	削孔数	装薬量 (g)		小計 (kg)
		カヤマイト	S B アイレ	
1	5	400	—	2.0
2	8	400	—	3.2
3	12	400	—	4.8
4	11	300	—	3.3
5	10	300	—	3.0
6	8	300	—	2.4
7	5	400	—	2.0
	11	300	—	3.3
8	20	300	—	6.0
9	6	400	—	2.4
	14	200	200	5.6
	12	100	200	3.6
10	2	400	—	0.8
計	124	—	—	42.4

岩 質	玄武岩
断 面 積	56.4 m ²
掘 進 長	1.2 m
削 孔 長	1.3 m
爆 薬 使 用 量	42.4 kg
破 碎 量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.63 kg / m ²
1 m ² 当りの孔数	2.20 孔 / m ²

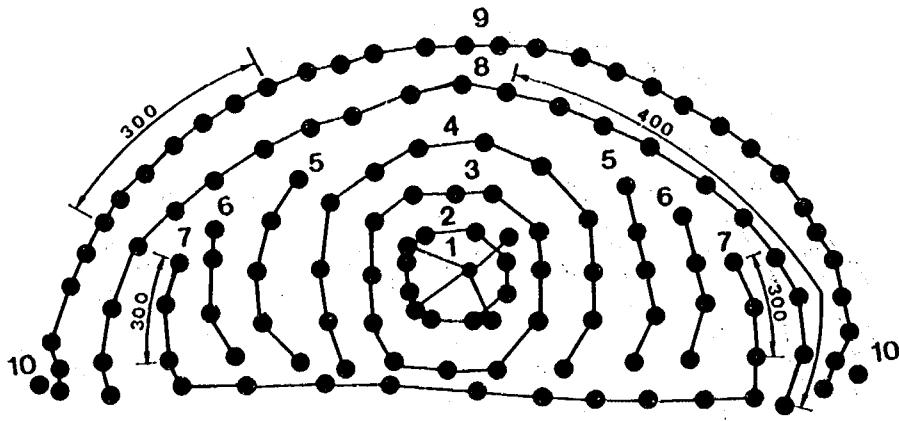
添付図-14(3) ケース3爆破パターン



雷管	削孔数	装薬量 (g)		小計 (kg)
		カヤマイト	S B アイレ	
1	5	400	—	2.0
2	8	400	—	3.2
3	12	400	—	4.8
4	12	300	—	3.6
5	9	300	—	2.7
6	8	300	—	2.4
7	11	400	—	4.4
	7	300	—	2.1
8	21	300	—	6.3
9	6	400	—	2.4
	14	200	200	5.6
	14	100	200	4.2
	28	—	—	0
10	2	400	—	0.8
計	157	—	—	44.5

岩 質	玄武岩
断面 積	56.4 m ²
掘 進 長	1.2 m
削 孔 長	1.3 m
爆 薬 使 用 量	44.5 kg
破 砕 量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.66 kg / m ²
1 m ² 当りの孔数	2.78 孔 / m ²

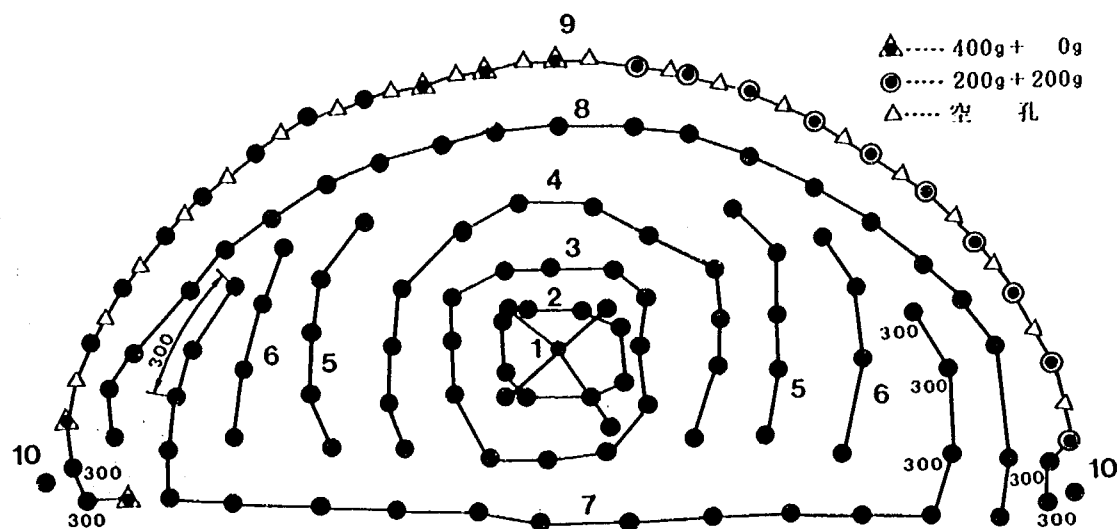
添付図-14(4) ケース4 爆破パターン



雷管	削孔数	装薬量 (g)		小計 (kg)
		カヤマイト	S B アイレ	
1	5	400	—	2.0
2	8	400	—	3.2
3	12	400	—	4.8
4	12	300	—	3.6
5	10	300	—	3.0
6	8	300	—	2.4
7	10	400	—	4.0
	6	300	—	1.8
8	10	400	—	4.0
	11	300	—	3.3
9	26	400	—	10.4
	7	300	—	2.1
10	2	400	—	0.8
計	127	—	—	45.4

岩質	玄武岩
断面積	56.4 m ²
掘進長	1.2 m
削孔長	1.3 m
爆薬使用量	45.4 kg
破砕量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.67 kg / m ²
1 m ² 当りの孔数	2.25 孔 / m ²

添付図-14(5) ケース 5 爆破パターン



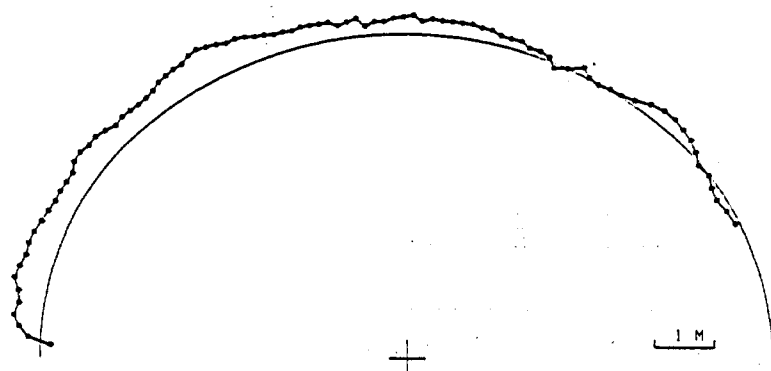
雷管	削孔数	装 薬 量 (g)		小 計 (kg)
		カヤマイト	S B アイレ	
1	5	400	—	2.0
2	8	400	—	3.2
3	12	400	—	4.8
4	12	300	—	3.6
5	10	300	—	3.0
6	8	300	—	2.4
7	12	400	—	4.8
	6	300	—	1.8
8	21	300	—	6.3
9	5	400	—	2.0
	4	300	—	1.2
	10	200	200	4.0
	7	100	200	2.1
	20	—	—	0
10	2	400	—	0.8
計	142	—	—	42.0

岩 質	玄 武 岩
断 面 積	56.4 m ²
掘 進 長	1.2 m
削 孔 長	1.3 m
爆 薬 使 用 量	42.0 kg
破 砕 量	67.7 m ³
1 m ² 当りの爆薬量	0.62 kg / m ²
1 m ² 当りの孔数	2.52 孔 / m ²

添付図-14(6) ケース 6 爆破パターン

--- M TUNNEL CASE-1 (NO.904+17.9) ---

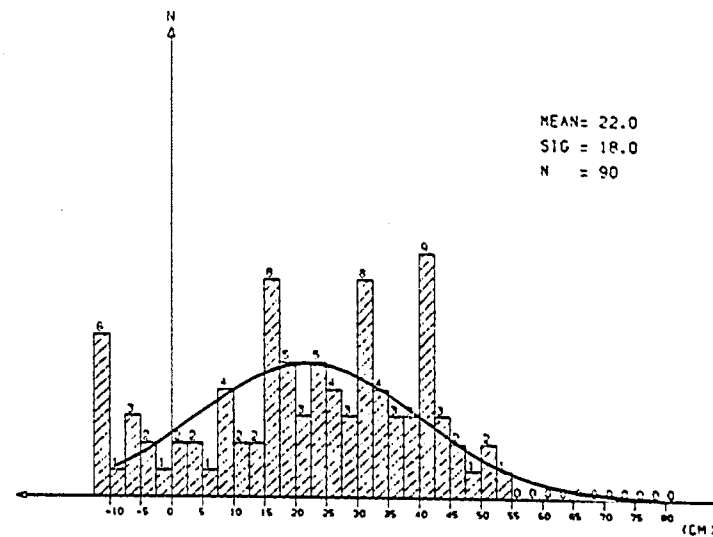
MEAN OVERBREAK = 21.98 CM
MAX OVERBREAK = 53.3 CM
MIN OVERBREAK = -20.8 CM
SIG OVERBREAK = 18.04 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-4・1参照)

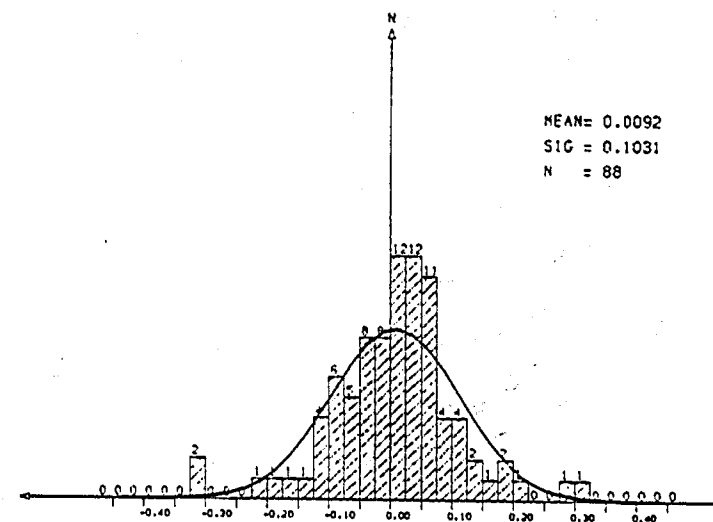
添付図-15(1) ケース1

--- M TUNNEL CASE-1 (NO.904+17.9) ---



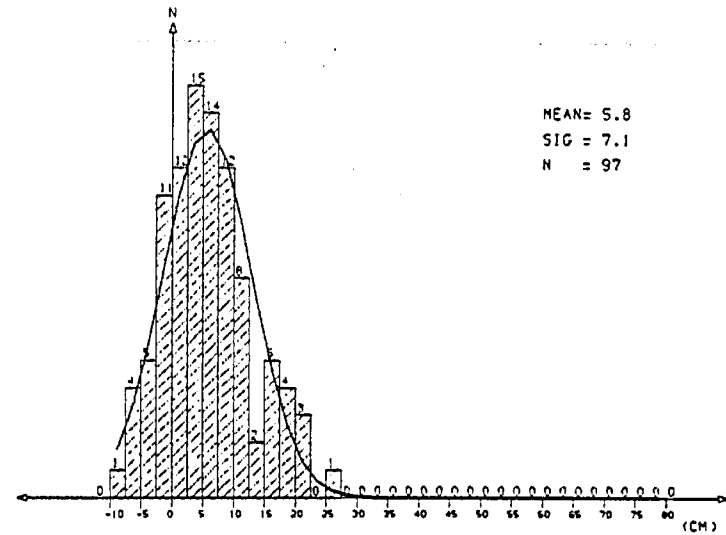
☆☆☆ ※ 距のヒストグラム ☆☆☆

--- M TUNNEL CASE-1 (NO.904+17.9) ---



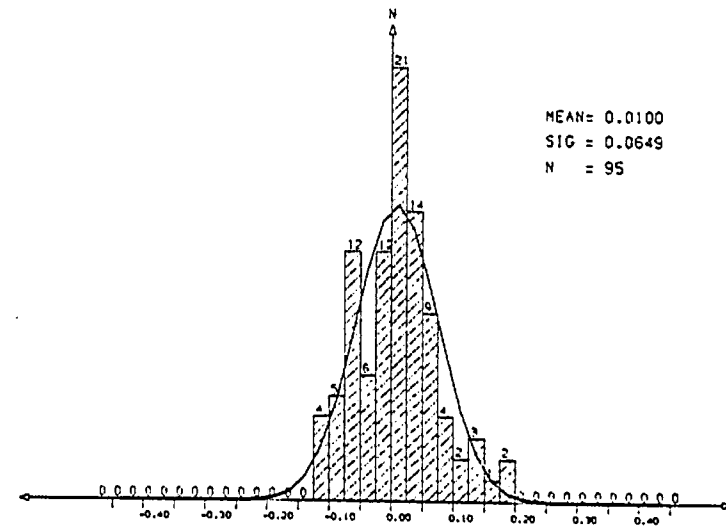
☆☆☆ D/L のヒストグラム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-2 (NO.904+19.3) ***



☆☆☆ 余 堀 の ヒストグラム ☆☆☆

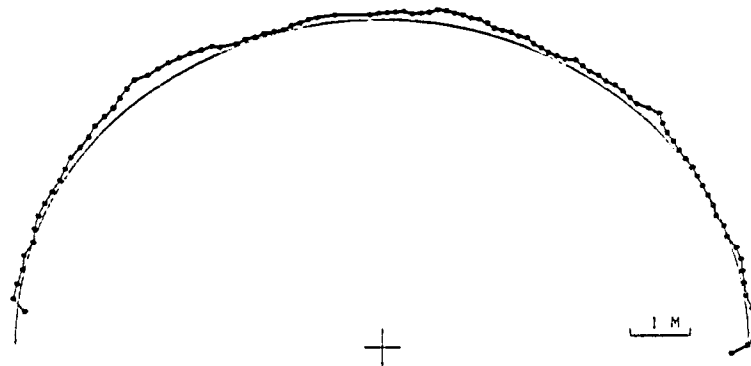
*** M TUNNEL CASE-2 (NO.904+19.3) ***



☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-2 (NO.904+19.3) ***

EXCAVATION AREA = 50.65 M²
MEAN OVERBREAK = 5.79 CM
MAX OVERBREAK = 26.6 CM
MIN OVERBREAK = -9.3 CM
SIG OVERBREAK = 7.09 CM

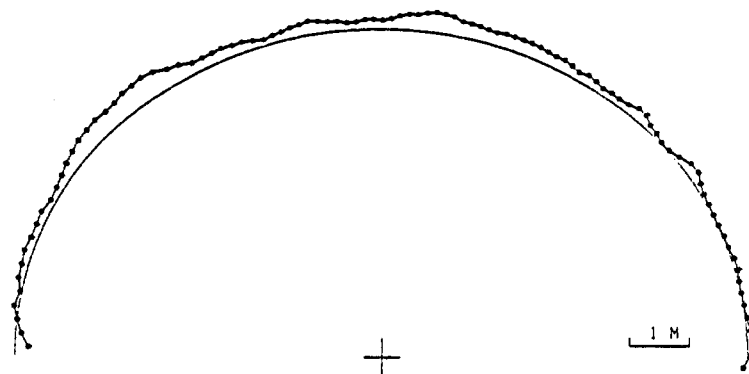


注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-4-1 参照)

添付図-15(2) ケース 2

*** M TUNNEL CASE-3 (NO.905-0.7) ***

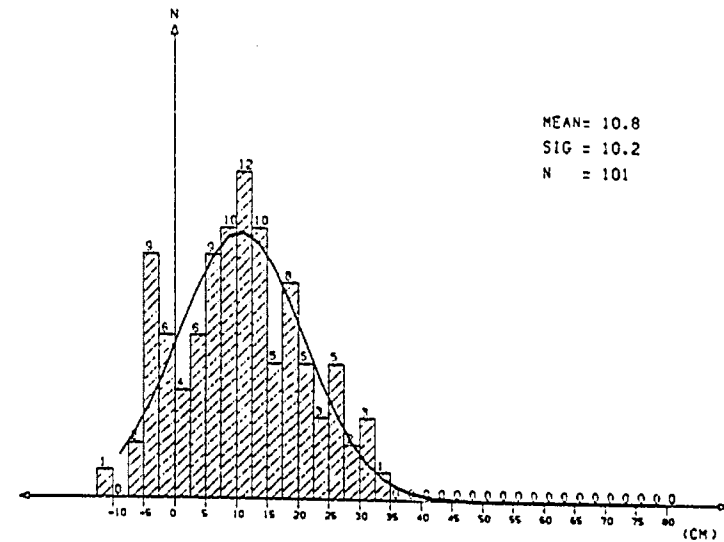
EXCAVATION AREA = 54.30 M²
 MEAN OVERBREAK = 10.80 CM
 MAX OVERBREAK = 34.9 CM
 MIN OVERBREAK = -15.2 CM
 SIG OVERBREAK = 10.15 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である (図-4・1 参照)

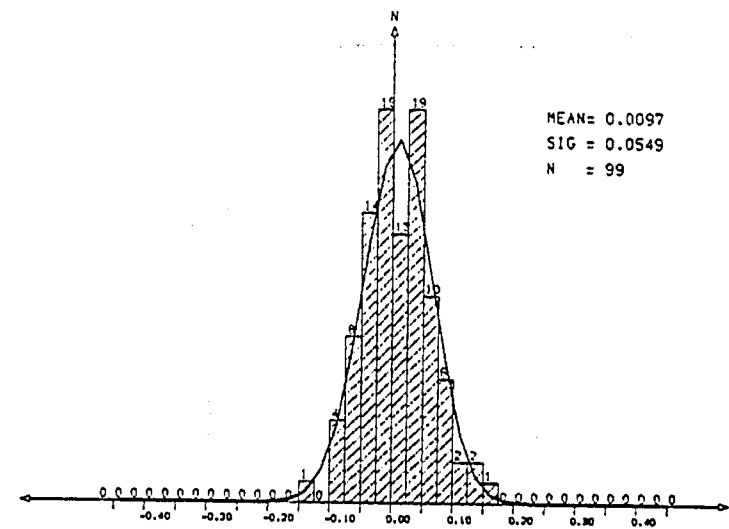
添付図-15(3) ケース3

*** N TUNNEL CASE-3 (NO.905-0.7) ***



☆☆☆ 余 越 の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

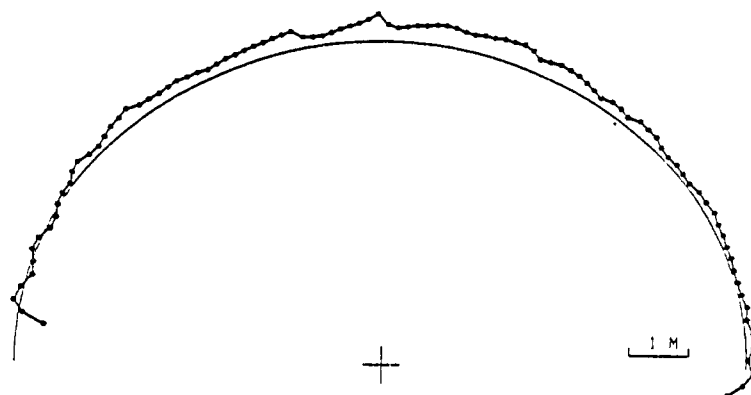
*** N TUNNEL CASE-3 (NO.905-0.7) ***



☆☆☆ D / L の ヒ ス ト グ ラ ム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-4 (NO.905+?) ***

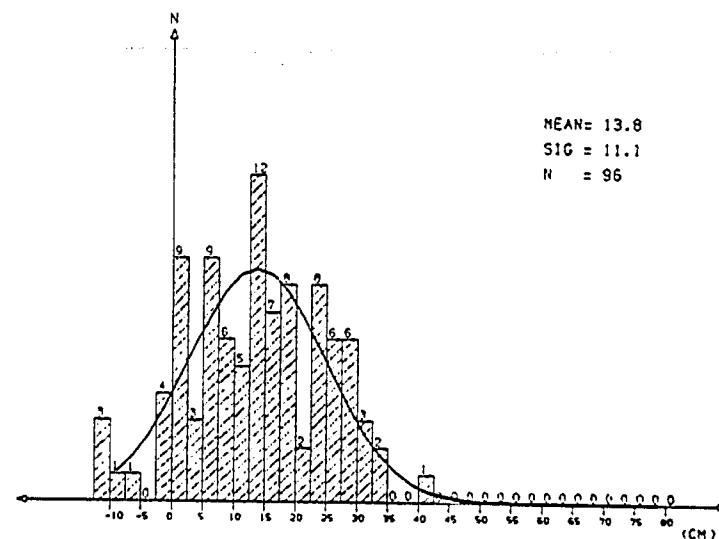
EXCAVATION AREA = 53.33 M²
 MEAN OVERBREAK = 13.81 CM
 MAX OVERBREAK = 41.7 CM
 MIN OVERBREAK = -11.7 CM
 SIG OVERBREAK = 11.06 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-4・1参照)

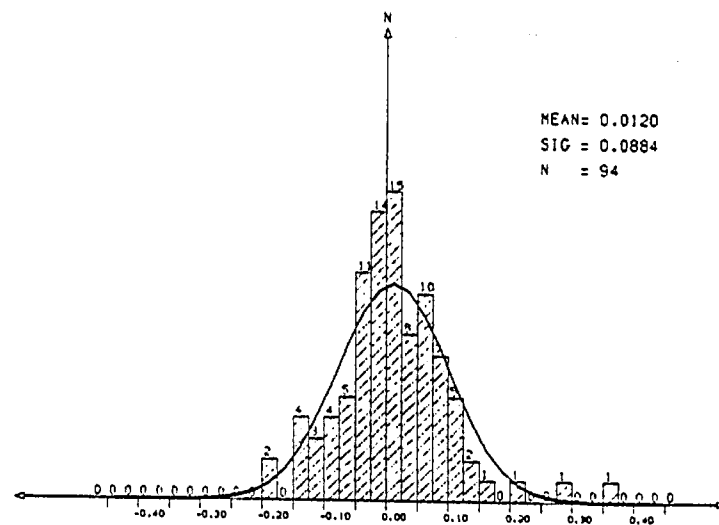
添付図-15(4) ケース4

*** M TUNNEL CASE-4 (NO.905+?) ***



☆☆☆ ※ 逆のヒストグラム ☆☆☆

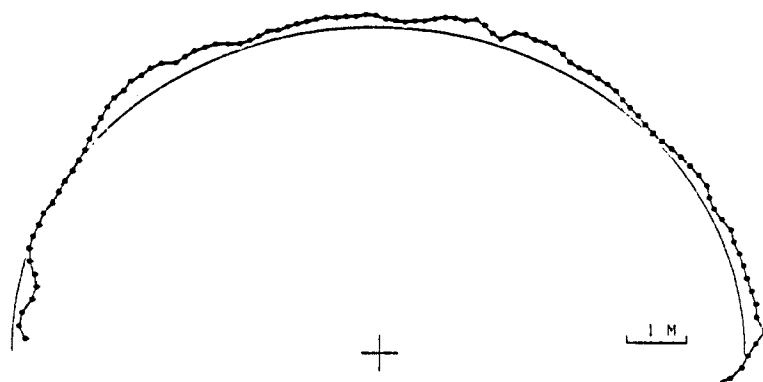
*** M TUNNEL CASE-4 (NO.905+?) ***



☆☆☆ D / L のヒストグラム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-5 (NO.905+3.1) ***

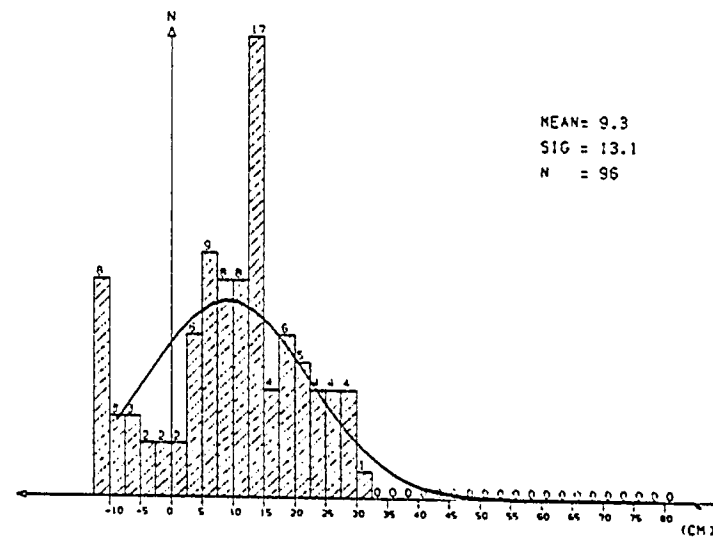
EXCAVATION AREA = 56.02 M²
 MEAN OVERBREAK = 9.27 CM
 MAX OVERBREAK = 30.2 CM
 MIN OVERBREAK = -35.6 CM
 SIG OVERBREAK = 13.11 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
 内面である(図-4・1 参照)

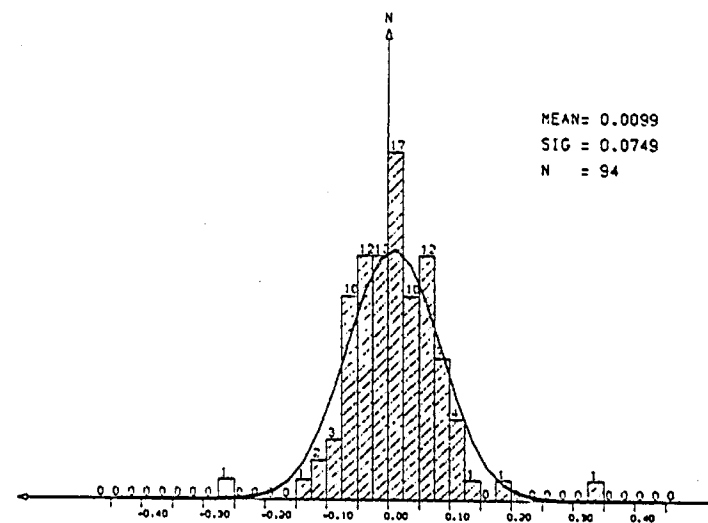
添付図-15(5) ケース5

*** M TUNNEL CASE-5 (NO.905+3.1) ***



☆☆☆ 余 のヒストグラム ☆☆☆

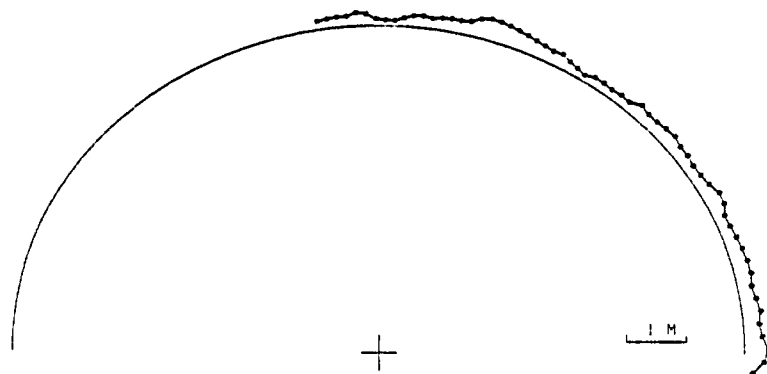
*** M TUNNEL CASE-5 (NO.905+3.1) ***



☆☆☆ D/L のヒストグラム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-6 (NO.905+4.5) ***

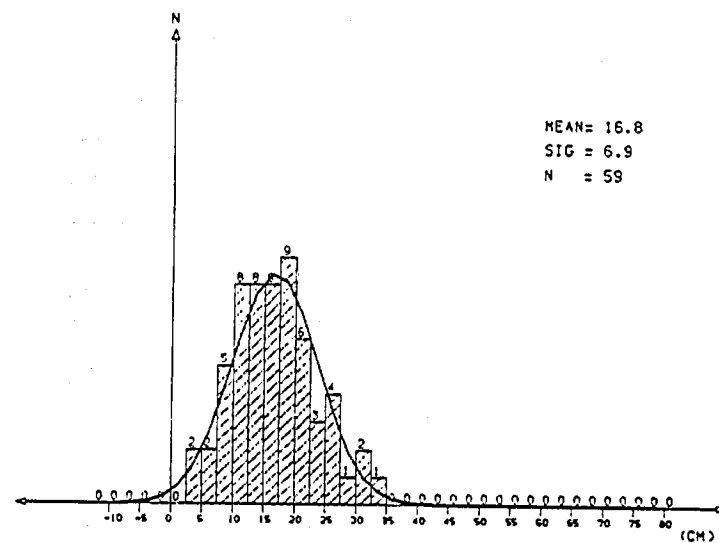
MEAN OVERBREAK = 16.82 CM
MAX OVERBREAK = 34.8 CM
MIN OVERBREAK = 3.1 CM
SIG OVERBREAK = 6.87 CM



注) 実線は、設計における吹付けコンクリート
内面である(図-4・1 参照)

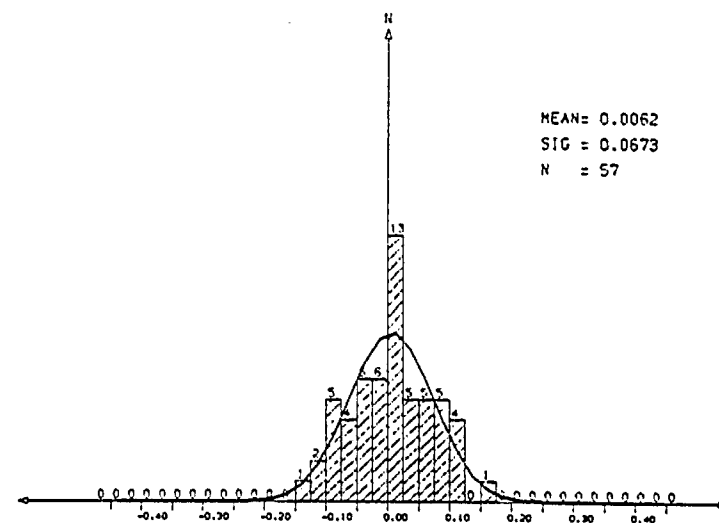
添付図-15(6) ケース 6

*** M TUNNEL CASE-6 (NO.905+4.5) ***



☆☆☆ 余 越 の ヒストグラム ☆☆☆

*** M TUNNEL CASE-6 (NO.905+4.5) ***



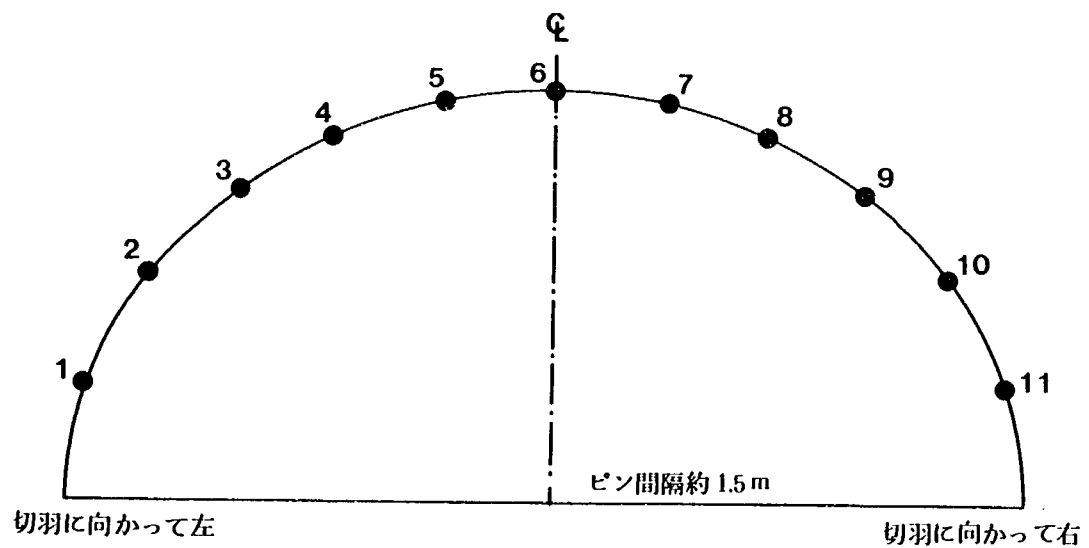
☆☆☆ D / L の ヒストグラム ☆☆☆

添付表-5 岩石コアの物性試験結果一覧表

供試体	超音波伝播速度				一軸圧縮試験			引張強度 kg f / cm ²	単位体積重量 g f / cm ³
	P波速度 km / s	S波速度 km / s	動弾性係数 kg f / cm ²	動ポアソン比	圧縮強度 kg f / cm ²	静弾性係数 kg f / cm ²	静ポアソン比		
ケース1-1	4.33	2.25	3.70×10^5	0.315	1,713	3.43×10^5	0.28	—	2.72
1-2	4.38	2.24	3.68×10^5	0.323	1,776	4.04×10^5	0.28	—	2.72
1-3	—	—	—	—	—	—	—	59.5	2.73
1-4	—	—	—	—	—	—	—	83.8	2.74
ケース2-1	3.51	1.78	2.32×10^5	0.327	1,330	2.08×10^5	0.18	—	2.71
2-2	3.41	1.73	2.18×10^5	0.327	1,361	2.11×10^5	0.15	—	2.70
2-3	—	—	—	—	—	—	—	68.1	2.72
2-4	—	—	—	—	—	—	—	76.9	2.71
ケース3-1	5.59	2.97	6.61×10^5	0.303	1,179	5.51×10^5	0.22	—	2.82
3-2	5.58	2.96	6.57×10^5	0.304	1,761	5.66×10^5	0.26	—	2.82
3-3	—	—	—	—	—	—	—	80.1	2.83
3-4	—	—	—	—	—	—	—	116.0	2.83
平均値	4.47	2.32	4.18×10^5	0.317	1,520	3.81×10^5	0.23	80.7	2.75
標準偏差	0.95	0.54	1.98×10^5	0.011	260	1.57×10^5	0.05	19.4	0.05

添付表-6 コンクリート吹付け厚さ検測結果

検測ピン No	コンクリート吹付け厚さ (cm)					
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	ケース 6
1	0	6.2	3.9	6.0	5.4	4.8
2	0	3.9	4.3	5.3	6.7	6.0
3	6.3	6.5	5.9	7.4	6.2	6.3
4	12.5以上	8.0	8.7	8.0	8.3	8.0
5	"	3.8	5.1	5.5	5.7	7.6
6	8.9	6.0	11.5	9.2	5.5	9.2
7	2.6	12.5以上	8.3	8.9	6.0	7.4
8	5.1	9.5	4.8	10.4	4.7	5.8
9	5.0	11.0	4.1	8.3	4.2	5.5
10	4.3	5.3	4.9	7.0	3.5	8.0
11	0.9	3.2	6.4	6.5	5.5	4.7
平 均	5.3	6.9	6.2	7.5	5.6	6.7



スムーズブラスティングに
関する現地試験

—爆破規模及び削孔精度が結果
に与える影響—

ISSN0386-5878

土木研究所資料 第2444号

昭和62年2月(1987)

トンネル研究室

水谷敏則 堀内浩三郎
真下英人 大久保雅憲
石村利明 平岡弘志

要旨

トンネルの掘削において、爆破による地山の損傷を少なくし、平滑で余掘りの少ない掘削面とするスムーズブラスティング技術の改善を目的として実施した現地試験結果の報告である。

試験結果の評価は、ノミ跡率、余掘り量、平滑性、ゆるみ領域の4項目について行った。その結果、スムーズブラスティングを達成するためには、対象とする地山に応じた適切な爆破規模、及び精度の高い削孔が重要であることを示した。

キーワード：トンネル、爆破、スムーズブラスティング、現地試験、ノミ跡率、断面測定、余掘り量、坑内弾性波探査

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい

建設省土木研究所

トンネル研究室御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 11

No. 11

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2444号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名

印

土木研究所資料第2444号



スムーズブラスティングに関する現地試験
—爆破規模及び削孔精度が結果に与える
影響—