

# 地山のゆるみと地圧の大きさ

—鉄道トンネルの掘削の場合—

足立 貞彦\*

## 1. まえがき

トンネル掘削にともなう地山のゆるみは、支保工にかかる地圧の大きさからわれわれが想像するものより、はるかに大きい。すなわち、ゆるんだ地山がそのままトンネルに対する荷重とはなっていないと考えられる。

このことは、国鉄新幹線第1熱海トンネルおよび満水トンネル掘削の際、地表面ならびに地盤中の沈下を精密に測量したことから判明した。

## 2. 第1熱海トンネル掘削にともなう地山のゆるみについて

### (1) 八丁園ホテル付近

**a) 第1熱海トンネル** 第1熱海トンネルは、熱海駅のすぐ東京方第1番目のトンネルで、延長は606mである。図一

1はその縦断(東口130mをのぞく)を示す。

このトンネルは、戦時中弾丸列車として新線が計画された際に、昭和18年導坑の掘削を完了していた。

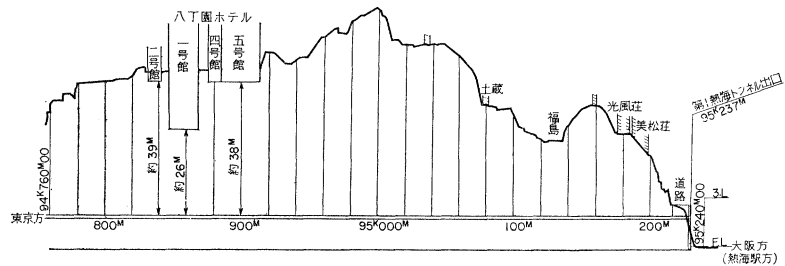
**b) 八丁園ホテル** 第1熱海トンネルの東口より250m付近地表真上に八丁園ホテルがある。

おもなる建物の竣工時期ならびに構造はつぎのとおりである。

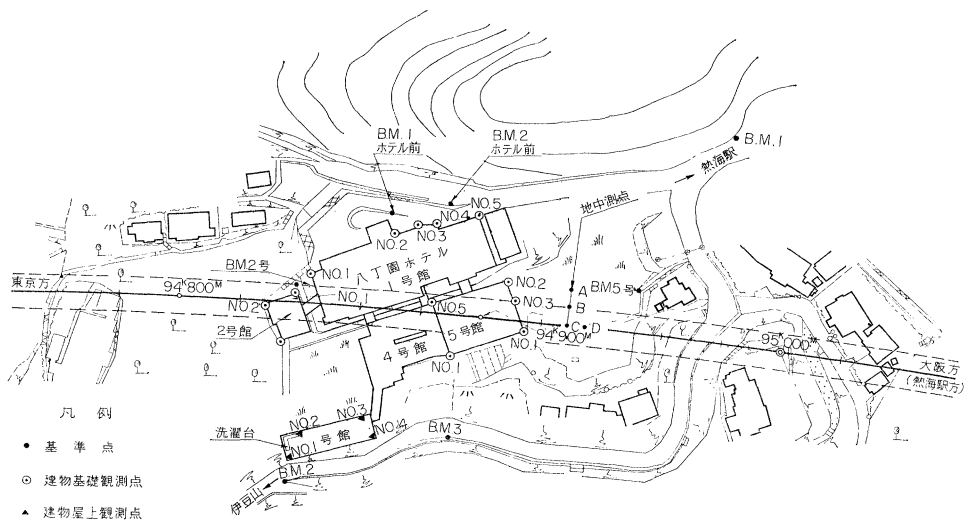
1号館 昭和35年4月 鉄骨鉄筋コンクリート 10階

5号館 昭和35年6月 鉄筋コンクリート 5階

図一 第1熱海トンネル縦断面図(東口130mをのぞく)

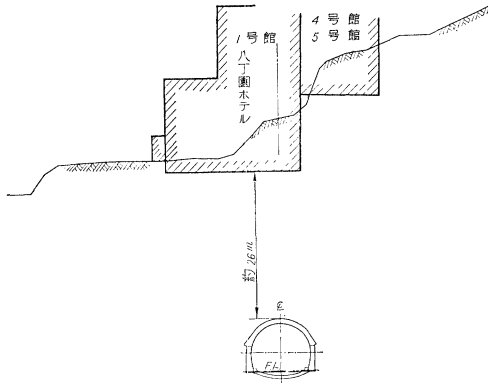


図二 八丁園ホテル付近平面図



\* 正員 国鉄静岡幹線工事局主任技師

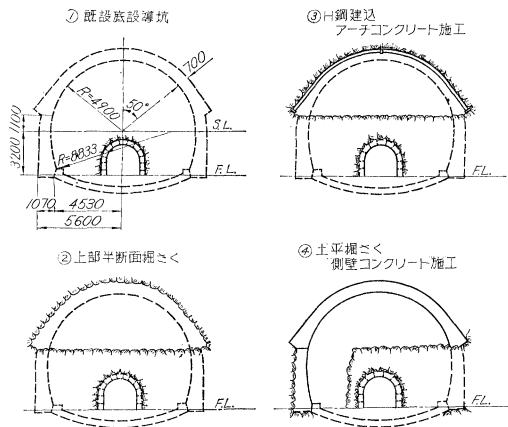
図-3 八丁園ホテル付近横断面図



これらの建物とトンネルとの相互関係位置は、それぞれ平面図(図-2)、縦断面図(図-1)、横断面図(図-3)に示してある。

c) 掘削ならびに覆工方法 第1熱海トンネルの掘削方法は底設導坑先進上部半断面式であって、図-4に示すような順序で施工した。

図-4 第1熱海トンネル掘削施工順序図



上半断面の支保工にはH鋼 200×200 (50 kg/m) を75 cm 間隔に使用し、特にホテル八丁園建物下に当たる部分 (94.830 km~94.913 km) では 50 cm 間隔に使用した。

覆工厚は 70 cm とし、掘削にともなう地山のゆるみを最小とするために、掘削切羽とコンクリート覆工の先端との間隔は最大 15 m に制限し、掘削したらただちにコンクリート覆工を行ない、覆工後ただちに裏込モルタル注入、つぎに2次裏込注入、さらに地山を 5 m 程度せん孔してセメントペースト注入を行なった。

d) 地質 上部地層は一部に崖錐および泥岩を見る以外は、上から粘土質土、火山砂、礫、凝灰岩に大別され、その間に粘土質土をはきんでいる。下層になるにしたがって凝灰岩、安山岩層と変化するが、第1熱海トン

ネル坑内で観察される地質は節理の発達した締まった安山岩層である。上部地層は全体に地形沿いに山側より海側へ急勾配をなして傾斜している。

e) 測点設置 トンネル掘削頂部より1号館の基礎下端までの最小土かぶり約 26 m しかなく、トンネルの掘削がこれらの建物に与える影響が問題となったので、各建物の基礎ならびに周囲地表に測点を設け、精密水準測量を行なうこととした。なお、当初は地表まで掘削の影響が現われないのではないかと考えたのでトンネル上の地盤中にボーリングして地中測点を設けた。

設置した測点は 図-2 に示してある。

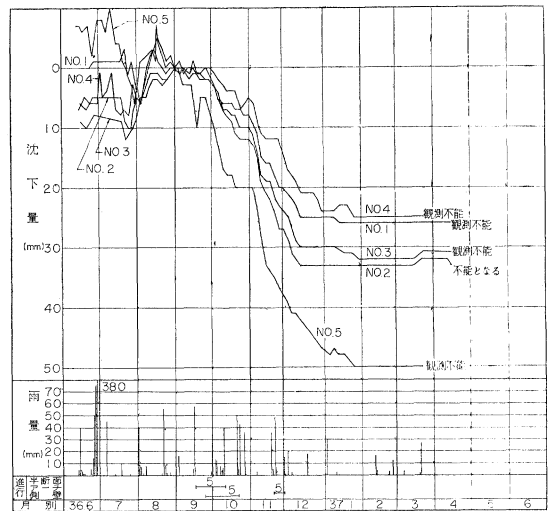
f) 測量方法 精密水準測量は、東京大学丸安教授の指導のもとに、パシフィックコンサルタンツKKが行ない、昭和 36 年6月八丁園ホテル下の掘削にかかるとともに作業を開始した。8月中旬までは、普通土木用レベルを使用し、測量方法も一般測量と同様に行なったので誤差が大きく、測点が上がったたり下がったりした。よって8月18日より日本光学製S型テルティングレベル(1/10 mm 読み)ならびに付属標尺を使用することとした。

その後測量方法の改善ならびに作業の熟練と相まって、8月28日より信頼できるデータが得られるようになった。

注意した点はつぎのとおりである。

- ① 同一カ所を毎日測量するので、器械ならびに標尺の設置位置を一定し、器械盛替えの際の前視、後視を等距離とした。
- ② 標尺をたてる位置にコンクリートでかためるか、杭に打ち込むかして丸鋸を設置した。
- ③ 器械に直射日光があたりぬよう洋傘で防いだ。

図-5 八丁園ホテル5号館沈下測定表



④ 標尺を読むとき、器械のマイクロを常に同一方向に回転し、逆回転を行わない。

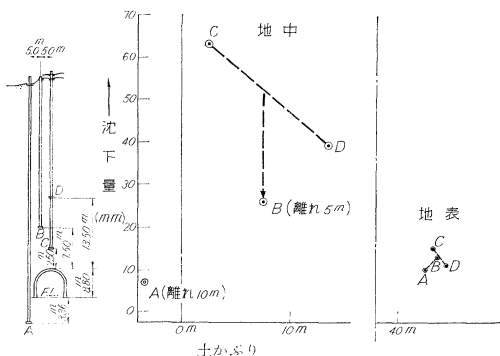
g) 測量結果 沈下測量の結果の一部を示すと図-5のとおりである。

これらの沈下測定値を見ると、B.M. 1, B.M. 2 ホテル前の2測定点を除く建物周辺

部、1号館、2号館、5号館のいずれも9月初旬以降最小8mm(2号館 No. 3)ないし、最大50mm(5号館 No. 5)の沈下を生じている。3号館もやや沈下傾向を示している。

地中測定の沈下測定の結果をトンネル掘削頂部よりの土かぶりとの関係で表わせば図-6のとおりである。

図-6 地中測定の土かぶりとの関係



1, 2, 5号館建物には、別に気泡管式傾斜計(感度 $26''/2$ mm)をすえつけたが、その観測結果は建物が傾斜したことを示した。

h) 結び 上記観測結果の示すように、ホテルの建物は沈下傾斜し、きれつが発生した。

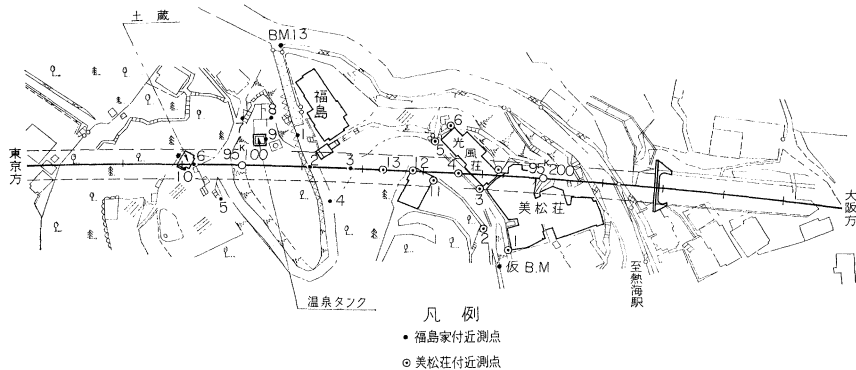
これらの沈下傾斜には、降雨によるものならびに地形地質的条件によるものなどもふくまれているように思われるが、トンネルの掘削による地山のゆるみにもなる沈下傾斜も明らかに認められ、予想より地山のゆるみの大きいことが判明した。

このように地山のゆるみは案外大きくあらわれたが、トンネルの支保工ならびに覆工にはなんらの異状変形もなかった。

## (2) 第1熱海トンネル西口付近

a) 西口付近 第1熱海トンネルの西口付近も図-

図-7 第1熱海トンネル西口付近平面図



1ならびに図-7に見るように、土かぶりがうすく、旅館(美松荘)、別荘(光風荘、福島家)、温泉タンクなどがあり、八丁園ホテル付近の状況にかんがみ、地表に対する影響が心配されたので、多くの測点を設けて精密水準測量を行なうこととした。

b) 掘削ならびに覆工方法 掘削ならびに覆工方法は、八丁園ホテル下と同様(図-4参照)であるが、八丁園ホテル下掘削の際発破の振動の影響が問題となった経験から、95.128kmより大阪方は、発破を全然使用せず、全部コールピックにより掘削し、地表には振動記録計をすえて発破の使用を監視した。支保工は200H(50kg/m)を75cm間隔に使用した。ただし、特にかぶりのうすい坑口付近67m(95.170km~95.237km)は、94kg/mの200Hを使用した。覆工厚は70cmで注入も八丁園ホテル下と同様に施工した。

c) 地質 上層の地質は大体八丁園ホテル付近と同様であり、トンネル内の地質は95.070km付近で節理の発達した安山岩から変質安山岩に変わり、山側より温泉余土層(青緑色粘土)が現われ、約15mくらいで海側に移り、95.120kmまで続き、その後は95.130km、150m、180m付近に5~6m厚の温泉余土をふくんだ層もあったが、節理の多いわりには割合縮まった多少変質した安山岩層であった。湧水も点滴程度である。

d) 測量結果 測点は図-7に示すように設けた。測量方法は八丁園ホテル付近と同様である。測量結果の一部は図-8のとおりで、これらをトンネルからの土かぶりによって分類して表わしたものの一部は図-9、図-10である。

測点の最大沈下量は土かぶり22.1m、センター真上の3F(福島家付近 No. 3)の116mmであった。

なお、図-8により各点の沈下開始月日とそのときの掘削切羽の位置(掘削欄にキロ程が記入してある)とをみると、測点の内のあるものはその真下を掘削する以前から沈下を開始している。

図-8 福島家付近沈下測定表

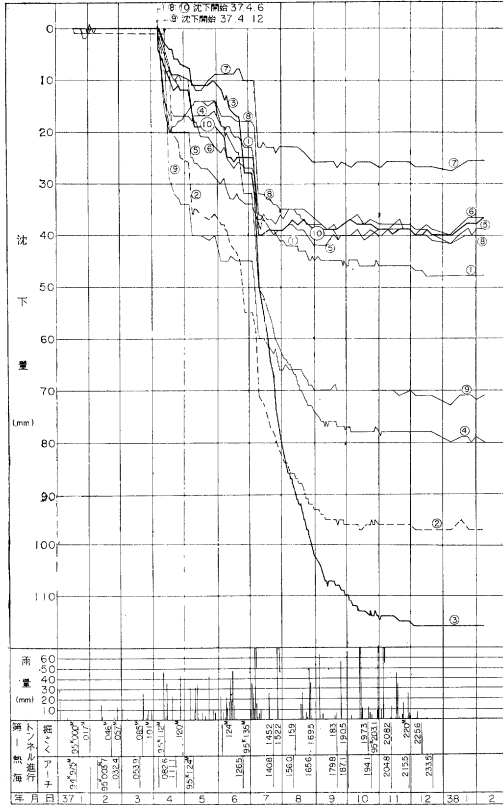
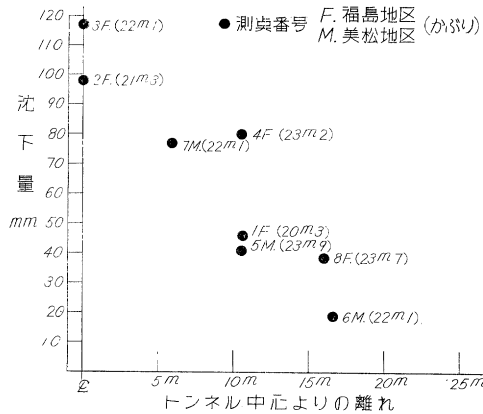


図-9 かぶり量 20~25 m の沈下表

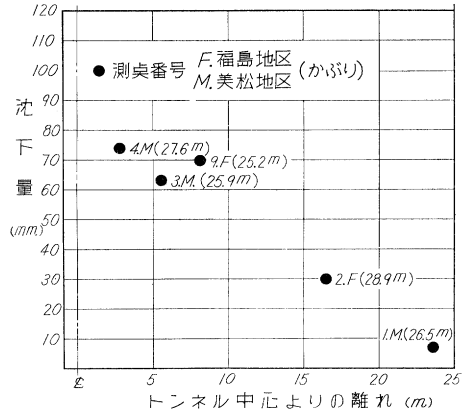


これは掘削のゆるみが地質により縦断的に相当影響するものであることを示しているように思われる。

また、図-9,10 により地山のゆるみの影響範囲がトンネルセンターから横断的にどの程度であるかもおぼろげながら推定できる。

e) 結び 上記のような沈下が発生したため、建物にはき裂が発生し、ガス管、温泉パイプが破裂した。しかし支保工、覆工には別に異状変形はなかった。

図-10 かぶり量 25~30 m の沈下表

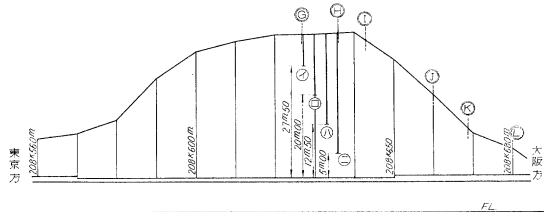


### 3. 満水(たまり)トンネル掘削にともなう地山のゆるみについて

#### (1) 満水トンネル

満水トンネルは、国鉄新幹線静岡～浜松間 208.536 km (掛川付近)にある延長 157 m のトンネルである。図-11 はその縦断、図-12 はその平面を示す。

図-11 満水トンネル縦断図  
(東京口 24 m 大阪口 12 m をのぞく)



#### (2) 掘削方法

掘削方法は図-13 に示すように、導坑を掘らない上部半断面工法で、昭和 37 年 12 月 4 日東京方から上部半断面の掘削に着手した。

支保工としては、両坑口(約 25 m ずつ)に 200 H(50 kg/m)を 90 cm 間隔で使用し、残りは 150 H(30 kg/m)を 50~100 cm 間隔で使用した。

覆工厚は両坑口付近 77 m は 70 cm、ほかは 50 cm とし、裏込注入は行なわなかった。上部半断面掘削の際のダイナマイト使用量は平均 0.9 kg/m<sup>3</sup> 程度であった。

#### (3) 地質

表土は厚さ 1.5~2 m 程度で、それより下はすべて比較的均一な頁岩層であり、トンネル内の湧水はほとんどなかった。

#### (4) 測点設置

さらにトンネル掘削にともなう地山のゆるみの実態を明らかにする目的で、満水トンネルの上部に測点を設け、昭和 38 年 2 月から 3 月にかけて第 1 熱海トンネル

図-12 満水トンネル平面図

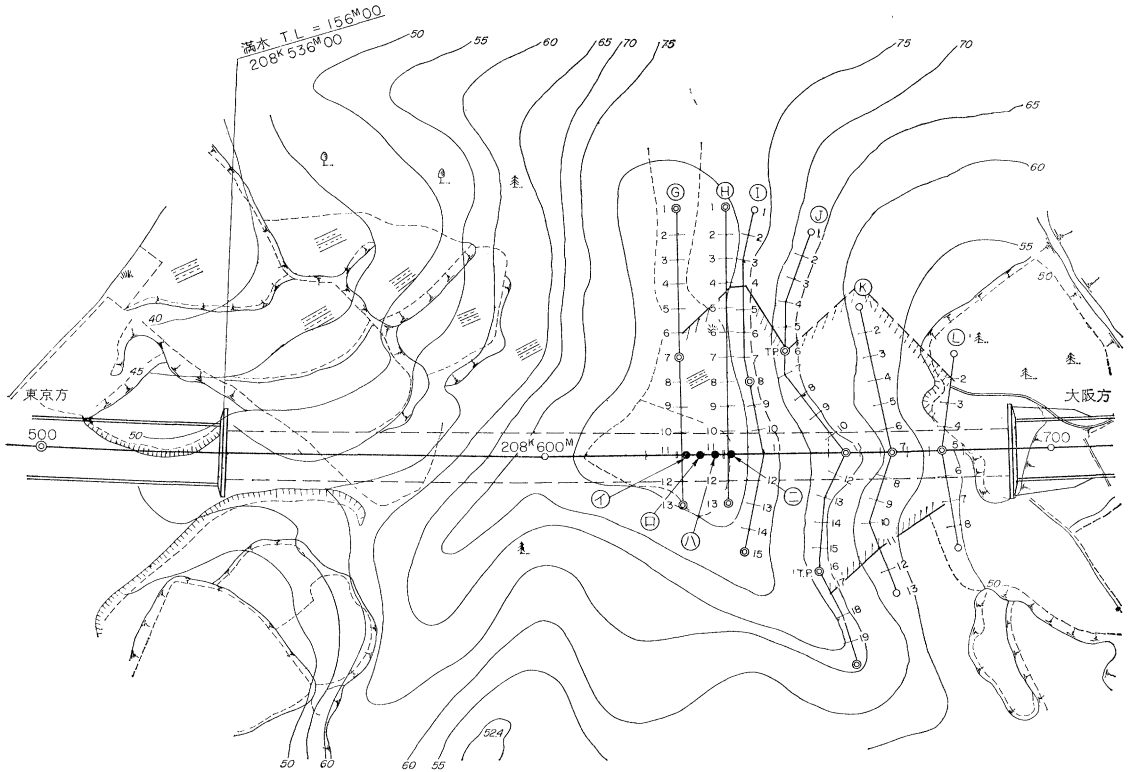
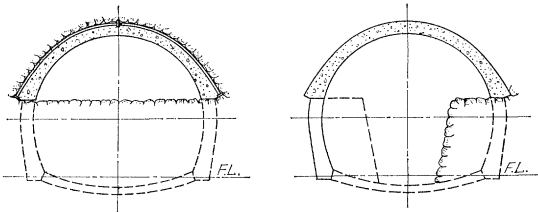


図-13 満水トンネル掘削工法図

- ① 上半断面掘削アーチ  
コンクリート施工
- ② 大背掘削、土平掘削  
側壁コンクリート施工



と同様精密水準測量を行なった。

トンネルのセンターラインにはほぼ直角に、地表の等高線に沿って G,H,I,J,K,L の基線を設け、その基線上に 5m 間隔に杭を打って地上測点とし、地中のゆるみを調べるため、センター真上に地中測点イロハニを設けた。図-12 にそれらの平面位置を示してある。

(5) 測量結果

測量の結果の一部は、図-14,15 に、そのかぶりと沈下との関係は 図-16 に示す。

図-15 より地表の沈下範囲がわかったので、平面図(図-12)に斜線で示してある。

図-16 によると土かぶりが 40m 程度になれば地表の沈下はほぼなくなるであろうと推定される。

図-14 満水トンネル沈下測定図

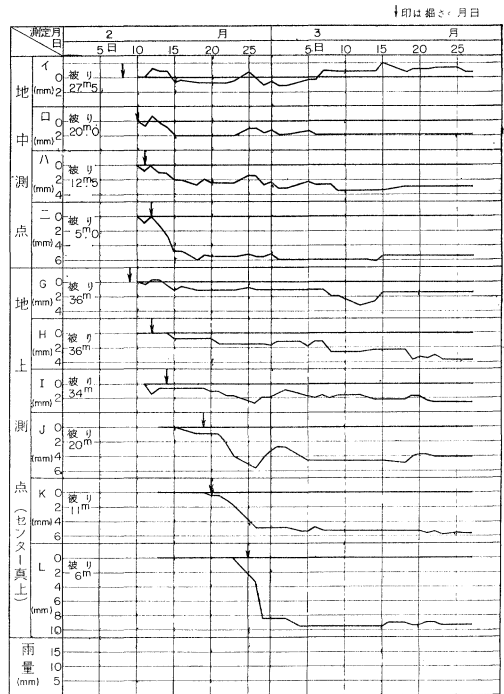


図-15 沈下量横断面

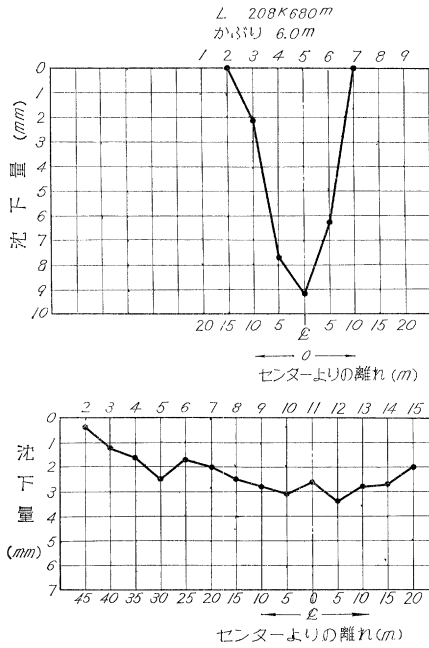
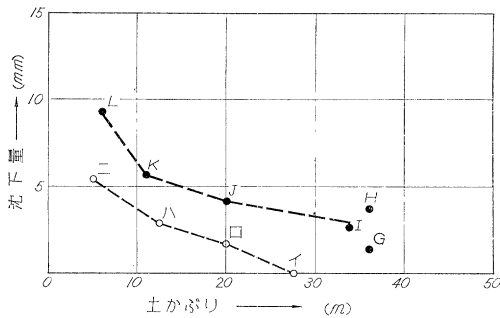


図-16 沈下と土かぶりの関係



沈下は前記のようにはっきりあらわれたが、支保工にはなんらの異状変形はあらわれなかった。

4. 上部半断面掘削における 崩壊の実績について (静幹工管内)

(1) ま え が き

第1熱海トンネルおよび満水トンネルにおける調査により、トンネル掘削にともなう地山のゆるみが相当大きいことが判明したが、実際にどの程度の地圧がおこっているか、国鉄静岡幹線工事局管内のトンネル(総延長約40km)掘削における上部半断面の崩壊実績を調査した。

(2) 実 績

- a) 支保工建込前の崩壊(表-1 参照)
- b) 支保工建込後の崩壊(表-2 参照)

⑥ 切山Tは、地形地質的な条件のため、トンネル掘削により、地すべりをおこした特殊なものである。

表-1 支保工建込前の崩壊

種別 トンネル名	発 生 年 月 日	崩壊の高 さ (m)	崩壊の延 長 (m)	地 質	土かぶり (m)
泉 越 T	36. 8. 29	6	5	凝灰角礫岩	330
興 津 T	36.10.28	3	3	泥 岩	20
蒲 原 T (東)	36.12.29	1	1	砂礫凝灰岩	150
蒲 原 T (西)	37. 8. 30	3	2	蒲 原 礫 層	16
石 部 T	37.12.26	3	4	玄 武 岩	25
石 部 T	38. 2. 20	2	3	玄 武 岩	20

表-2 支保工建込後の崩壊

種別 トンネル名	発 生 年 月 日	崩高 の (m)	崩延 長の (m)	支保工の種類 およびピッチ	地 質	土かぶり (m)
① 丹那T(西)	36. 2. 5	不明	7	50 kg 古上ル 1.20 m	凝 灰 岩	230
② 函 南 T	36. 6. 29	3	8	50 kg 古上ル 0.60 m	ロ ー ム	坑 口
③ 興 津 T	36. 8. 23	4	10	150H 0.75 m	軟弱砂岩	坑 口
④ 清見寺T	36.11.29	2	5	150H 0.75 m	軟弱砂岩	坑 口
⑤ 第1高尾山 T	37. 2. 12	3	12	150H 1.20 m	泥岩砂岩	180
⑥ 切 山 T	37. 3. 9	—	41	150H 0.60 m	頁岩砂岩	準坑口 0~10
⑦ 興 津 T	37. 4. 4	不明	24	150H 0.75 m	泥 岩	100
⑧ 丹那T(西)	37. 5. 14	不明	17	200H 0.90 m	火山荒砂	300
⑨ 蒲 原 T(東)	37. 7. 19	2	4	150H 0.75 m	蒲原礫層	80
⑩ 第2高尾山 T	37. 8. 26	—	16	150H 0.60~0.70 m	頁岩砂岩	準坑口 1.5~15
⑪ 興津T(西)	38. 1. 7	3	7	150H 1.20 m	軟弱砂岩	200

② 函南Tは、この位置に立坑があったための崩壊であり、③ 興津T(東)、④ 清見寺Tは2件とも半断面で直接坑口を切り付けて行くときの崩壊である。

支保工形式は、①⑧ 丹那T(西)は4ピース、ほかはいずれも2ピースである。

(3) 結 び

以上の調査によると a) 坑口ならびに土かぶりの小さいところ(25m程度以下)では崩壊の危険が多い、b) 半断面掘削のまま、坑外から坑内へ向かって、坑口を切り付けて入って行くときは十分注意する必要があるなど、当然の注意事項をあらためて痛感させられるとともに、c) 坑口ならびに準坑口を除き、この程度の断面の大きさのトンネルでおこる地圧の過半は、3m程度以下であるということもできるように思われる。

5. 考 察

(1) トンネル掘削にともなう地山のゆるみと地圧の大きさ

坂本博士の研究によると「新幹線のトンネル断面の場合、150H(30kg/m) および古 50kg レール鋼アーチ支保工で約3m、200H(50kg/m)で約5mの土荷重にしか耐えられない」のであるから、第1熱海および満水両トンネルの調査から判明したような地山のゆるみが、そのまま全部トンネルに対する荷重すなわち地圧として働くものであれば、鋼アーチ支保工はひとたまりもなく破壊するはずである。

一方、崩壊調査から考えると、特別な場合を除き実際

おこっている地圧の過半は3m程度以下と推定できる。

すなわち、地山のゆるみは常に相当広範におこっているが、それがそのままトンネルに対する荷重すなわち地圧の大きさとなっていないことは明らかである。

## (2) 今後の問題点

当初、八丁園ホテル下の掘削を開始するとき、われわれは、慎重に施工すれば、ほとんど周囲の地山をゆるめないで済み、地表の建物にも影響を与えないで済むのではないかと考えていた。

ところが施工した結果は、支保工に異状変形はおこらなかったにもかかわらず、建物に影響を与え、どんなに慎重に施工しても、地山のゆるみがおこることが判明した。

よってその後第1熱海トンネル西口、満水トンネルなどで、トンネル掘削にともなう地山のゆるみの範囲なら

びに大きさを測定し、一方トンネルにかかる荷重を推定するため、崩壊実績を調査したのである。

これらの調査結果から考えると、トンネルそのものを崩壊しないように掘削することは比較的解決容易であるように思われるが、地山をゆるめずにトンネルを掘削することは非常に至難であると考えられる。

従来、トンネル掘削工法の研究は、「いかにしてトンネルそのものを崩壊させずに掘削するか」ということに重点がおかれていたが、既設構造物の付近にトンネルを掘削する必要も増加する傾向にあるので、トンネル掘削にともなう地山のゆるみがどうしておこり、またどうしたら地山のゆるみがおこらないように掘削できるかということ、今後の問題点となるであろう。

終りにあたり、静幹工坂本前局長、東大丸安教授のご指導と、静幹工鈴木、谷津、鍛本、石山、山崎各職員のご協力を感謝する。  
(1963.12.13・受付)

## CIVIL ENGINEERING IN JAPAN 頒布

CIVIL ENGINEERING IN JAPAN, 1961	A 4判 80頁	定価 700円 (〒共)
CIVIL ENGINEERING IN JAPAN, 1962~3	A 4判 125頁	定価 700円 (〒共)

## 鹿島研究所 出版会

東京・芝田村町5-9  
浜ゴムビル5階  
振替東京 180883

## 新刊 / 重版 一好評発売中〈図書目録進呈〉

大阪市立大学助教授 工博 三笠正人著

B 5判 / 七五〇円

**軟弱粘土の圧密**  
■新圧密理論とその応用——計算例と実際例を付した貴重な文献。

工博 種谷実・池田太郎共著

A 5判 / 六〇〇円

**アースドリル基礎工法**

■本法は回転式であるから無騒音、無振動作業ができ、工期の短縮・正確度の保持と安全も、人手も少なく済み経済的である。基礎工事にたずさわる技術者の必読書。

ローレンス・ミラー著 / 鹿島研究所出版会訳

B 6判 / 六八〇円

**建設業成功の秘訣**

■見取り・入札・工事計画の実際例 / 実務に関する報告書・帳簿・伝票などの書式を引用して詳述した建設業経営のハンドブック。第四版好評発売中。

鹿島研究所出版会編

A 5判 / 六〇〇円

**海外の土木技術**

■建設会社の第一線で活躍する土木技術者が、それぞれの専門分野について海外の建設事情を視察した興味あるレポート。

東大助教授 工博 渡辺 隆著

B 5判 / 二八〇円

**海外の土木技術 第二集 鹿島研究所出版会編 五月刊**

**バイブフロロテーシヨン工法**

佐用泰司著

A 5判 / 七〇〇円

**機械化施工合理化の研究**

柴田直光著

B 5判 / 三〇〇円

**基礎反力の解法**

土木学会監修——(近刊)

**土地造成**

近年のいちじるしい土地造成の要求に伴い、住宅用地・工業用地・農業用地または大都市周辺の開発や地方都市の育成について、それぞれの

専門家が執筆したもの。

判製  
A 5判  
上子 ¥1000

# 丸東液体比重計について〔Ⅱ〕 (実用新案出願中)

(前号よりつづく)

弊社試験室において本比重計によるセメント・グラウトの実測しました結果をお知らせ致します。

その前に丸東液体比重計の主な特徴と、測定法を申し上げますと、

## 主な特徴と機能

- ①、迅速、容易にしかも正確に液体の比重が測定可能
- ②、不透明液体の測定が可能
- ③、タンク等に貯蔵中の液体の比重が目の前で測定し得ること
- ④、測定器は携帯に便利で、容易に破損しないこと
- ⑤、比重測定範囲は最小目盛0.01、100目盛の範囲内ですが特殊型は御希望により製作します。(比重値の選定は自由です)

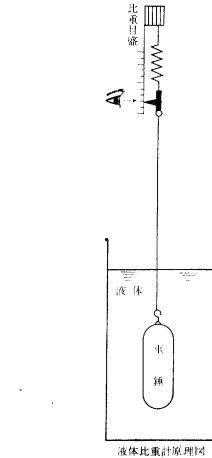
## 測定操作

操作は非常に簡単で、通常の重さの測定操作と全く同様です。すなわち、一定の重錘を測定液体(本稿の場合はグラウト)中に吊るして、測定器の指針の指示する目盛(比重目盛)を読みとるだけです。

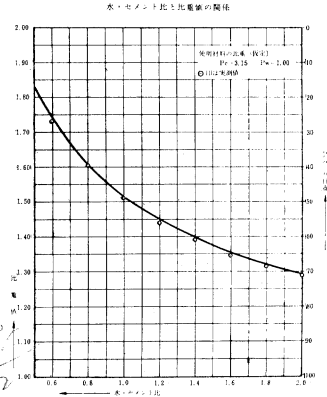
## 実験結果 (セメント・グラウトによる)

表およびグラフを御参照下さい。

水セメント比	計算上の比重値*	実測比重値**	備 考
0.60	1.744	1.735	* セメントの比重3.15 }と仮定 水の比重1 } ** 2回測定の平均値
0.80	1.611	1.604	
1.00	1.518	1.510	
1.20	1.450	1.440	
1.40	1.397	1.390	混合にはアイリット型ミキサ を使用
1.60	1.356	1.348	
1.80	1.322	1.312	
2.00	1.295	1.288	



液体比重計原理図



水・セメント比と比重値の関係

## 考 察

表において計算上の比重値と実測値に 0.007~0.01の差がでましたが、いずれも実測値の方が小さく出ております。これはセメントの比重を3.15、水を1.00と仮定して計算したためによる誤差と考えられます。

比重と水セメント比(以下W/Cと略記)の関係をみますと(グラフ参照)、比重0.01の変化に対してW/C=190%附近で約8%、W/C=100%で約3%、W/C=60%附近で約2%の変化がありますので、比重値が0.01読みとり得れば、現場でのグラウトの品質管理は充分と考えられます。

なお、本実験は、比重測定範囲が1.00から2.00のものを使用し、W/C40%(比重1.951)より実施の予定でしたが重錘の重さと浮力が平衡する点が測定器の零点近くなったため読み難くなり、判定ができませんでした。従ってW/Cが大きければ測定は容易ですが、小さくなると測定しにくくなりますので、被測定液の比重値が中央附近に来る測定器の使用が良いと思います。

例えばグラウト等の場合、1.25~2.25の比重測定範囲であれば、W/C=40%位までが測定可能になるものと思います。

本器は弊社試験室において実験継続中ですので他日各位に再び御報告できると存じます。

連絡先：東京都江東区深川白河町2の7 株式会社丸東製作所 営業部  
京都出張所：京都市中京区壬生西土居の内町3番地の1 TEL：京都84-7992

土 誌  
VOL. 49.5  
MARUTE

試験機紹介のページ

株式会社  
丸東製作所

TEL  
東京  
(641)  
2661  
7749  
8735  
1090