

# I-179 ブロック工法によるトンネルの模型振動実験について

前田建設工業(株) 正員 桑原 カ

〇 正員 嶋田三朗

正員 高森貞彦

## 1. まえがき

ブロック工法によるトンネルとは、トンネルアーチ部を、プレキャストのコンクリートブロックをアーチ状に積み上げて構築するものである。横断面内におけるブロック間の接手は、直線部を有するナックルジョイントとなっており(図-2参照)、上載土荷重によりブロック間に圧縮力が導入され、アーチとして安定する。

このようなトンネルは、静力学的には安定であるが、動力学的な挙動はまだ明らかでないので、4車線道路トンネルを想定し、約1/10の縮尺をもつ模型を地盤中に埋設し、振動実験を行った。

## 2. 実験の概要

### (1) 模型の作製・組立

トンネル本体は全てプレキャストコンクリート造とし、両側の側壁及びインバートは剛結結合として実験を行なった。なお剛結しない場合についてと補足的に実験を行なった(模型Ⅱ, Case VII)。

組立は次の順序に従った。

N値5以下と思われるローム質の地盤を約5m開削し、その底部に起振機据付用のRC製ピットを作製し、ピットの側方をローム土にて埋戻す。ピットの上に直接、トンネルの側壁及びインバートから成る凹形構造物を置き(ピットとはボズにて噛み合っている)、アーチ部のブロックを組立用支保工を用いて組立てる。アーチの組立後、トンネルの側方及び上方を砂質土にて埋戻す( $\gamma \approx 1.7 \text{ t/m}^3$ )。この時トンネルの前方及び後方は矢板にて止留されている。模型の奥行は3mであり、土被りはアーチクラウン部で約1mとなっており、縮尺約1/10を想定している。

このようにして出来上がった模型を、写真-1



写真-1

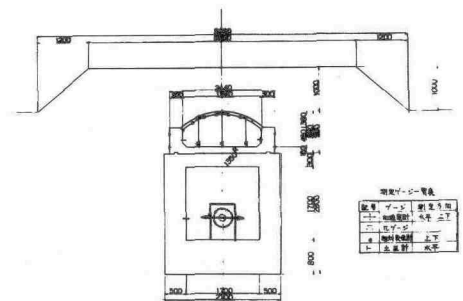


図-1

及び図-1に示す。

又、偏荷重に対するアーチ部の安定性を調べるため、トンネルの片側半分だけ、更に高さ約1mの砂を盛って、合せて実験を行なった。

なお Case III 以降は振動質量を減ずるために、周辺地盤に深さ約5m、厚さ約70cmの溝を巡らした。

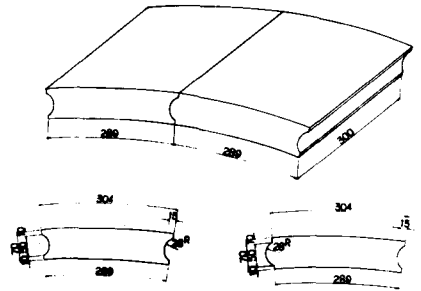


図-2

## (2) 測定装置

使用した振動変換器は

加速度計 (ウズハゲージ型)	10 成分
πゲージ	6 "
相対変位計	4 "
土圧計	4 "

であり、各試験に対し最大15成分を同時測定した。πゲージはブロック間の接目の亀裂幅の変動を測定するものであり、相対変位計とはアーチとインバート間の相対変位を測定するもので、構造を図-3に示す。又、土圧計は、トンネル側壁の土圧の変動を測定するためのものである。

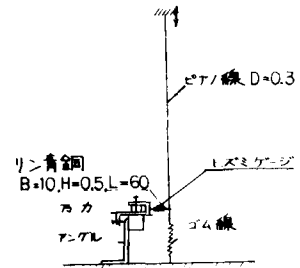


図-3

測定のプロックダイヤグラムを図-4に示す。

## (3) 実験方法

用いた起振機は

A; 起振力 10 ton (8 Hz時) (Case I~V)

B; " 38 ton (10 Hz時) (Case VI~VIII)

の二種であり、起振モーメント  $M_0R$  を一定として、振動数を変化させる方法に依った。振動方向は、トンネル横断面内において、水平方向及び上下方向とした。行なった実験の一覧表を表-1に示す。

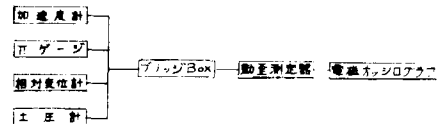


図-4

表-1

CASE	機型	起振機	起振方向	荷重状態	TEST NUMBER		
Case-I	I	A	水平	等分布	1-8		
Case-II			上下	等分布	9-16		
Case-III			水平	等分布	17-24		
Case-IV			水平	偏分布	25-40		
Case-V			上下	偏分布	41-48		
Case-VI			B	B	水平	偏分布	101-103
Case-VII					水平	等分布	104-105
Case-VIII					水平	等分布	201-204
Case-IX	水平	等分布			301-303		

## 3. 実験結果及び考察

今回は主として Case I 及び Case II について報告する。

### (1) 加速度計記録による共振曲線

図-5、図-6に水平起振及び上下起振時のトンネル横断面内における各点の加速度計の共振曲線を示す。ここでピット及びトンネルが、併進運動をするものとして見かけの地盤反力係数; 長値を算出すると、水平動に対し

付加質量を考えない場合

$$k_x = 0.396 \text{ kg/cm}^3$$

付加質量としてピット及びトンネル側方に半円筒状の

土柱を考えると

$$k_x = 0.961 \text{ "}$$

又、減衰定数は

$$k = 0.13$$

次に上下動に關し

付加質量を考えない場合 ( $f = 10.3 \text{ Hz}$ )

$$k_v = 1.84 \text{ kg/cm}^3$$

付加質量としてトンネル上側の土を考えると

$$k_v = 2.65 \text{ "}$$

となる。

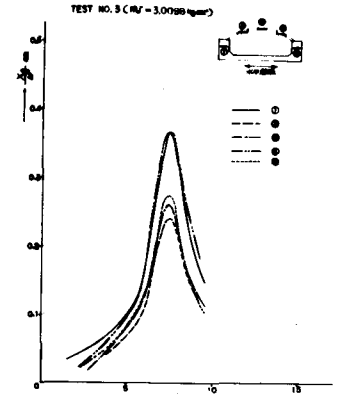


図 - 5

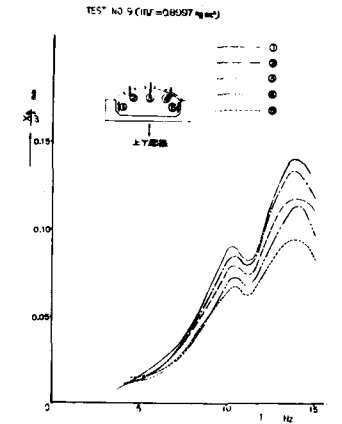


図 - 6

## (2) トンネル横断面におけるアーチ部の動き

圧ゲージ及び相対変位計の動きを、水平起振に対し図-7、上下起振に対し図-8に示す。全ての記録に渡り、振動数による位相の変化は明らかでなく、従ってアーチ部が共振する事はなかったものと考えられる。アーチ部の概略の変形モードを推定すると図-9のような形となる。

今、地盤中を下から上へ正弦波 (S波) が伝わりとすると、地盤のせん断ひずみは、変位振幅と振動数に比例する事となる。(弾性波速度は振動数により変化しないものとする。) 地下構造物の耐震上の一つの考え方として、地震時にはトンネルは地盤と一体となって動くとする、トンネルはこの地盤のひずみを強要される事となる。

そこで水平動に關して、圧ゲージの動きをトンネルの変位振幅で割った値で整理すると図-10の如くなる。 $f = 7 \sim 12 \text{ Hz}$ の範囲では圧ゲージの開きと振動数が直線関係にあり、前の考え方の妥当性が伺われる。

$f = 2 \sim 7 \text{ Hz}$ においては土被りによるアーチ部の初期応力(約  $7 \text{ kg/cm}^2$ )の影響、 $f = 13 \sim 15 \text{ Hz}$ の範囲においては、上下動し共振振動数 ( $10.3 \text{ Hz}$ )の影響により、それぞれ曲線が乱れたものと考えられる。しかしながら、今回の実験の大きな問題点である起振位置の影響がどの様に表われているのか明らかでない、今後の研究に待つところが大きい。

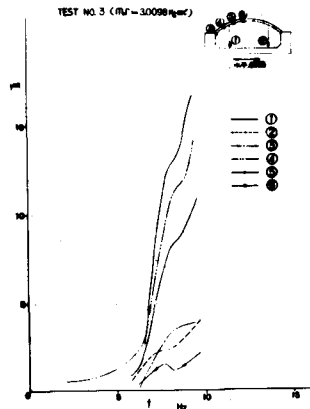


図 - 7

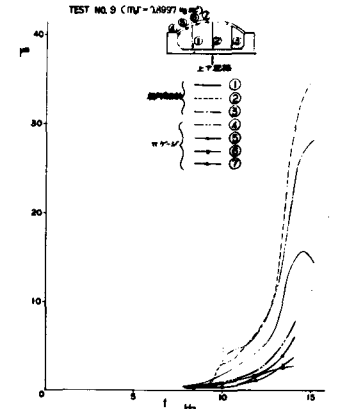


図 - 8

### (3) 土圧

土圧計の記録を図-11  
に示す(水平起振)。

加速度計の記録を併記し

たが、この実験は前述し

た様に、模型の周囲の地

盤に溝を掘ったモデルで、今まで述べてきたものとは振動系が異  
なっている。

図-11は動的な変動量のみを示したもので静的な土圧は含まれ  
ていない。静的な土圧は静止土圧係数0.5とすると約1.24 t/m<sup>2</sup>と  
なり、この実験に扱っては土圧計は地盤と常に圧縮の状態となっ  
ている。図より土圧の動的な変動量は振動数の自乗に比例し、従  
って起振力に比例しているように見えるが、ロッキング振動等によ  
り複雑な変化をしているようである。

### (4) 偏分布荷重の影響

偏分布荷重の影響を相対変位計について図-12に示す(水平起  
振)。加速度計の記録によると、等分布荷重の場合に比べ、2次  
の共振振動数は大きく、応答値は小さくなっているが、相対変位  
計の記録は、偏荷重が載っている側及び中央で大きくなり、偏荷  
重が載っていない側では小さくなっている。これはπゲージの記  
録についても同様である。

## 4. あとがき

今回の実験の目的の一つとして、とりあえず模型を大きく振動  
させてみて、果たしてアーチは安定を保つかどうか、を実際に目  
で確かめる事があったが、模型の組立、振動実験(最大200gal  
以上)、解体の各作業を通じて、アバットがしっくりしていれば  
アーチ部は極めて安定である事が分った。又、トンネルの両側  
壁とインバートを構造的に分離し、ピットとトンネル間に約40  
cmの砂を敷いた振動実験も行なったが、この際生じたアバット  
(側壁)間の距離の変化も、アーチ部が連続体でなく、ブロッコ間の  
接手によりあらかじめクラックが入っている構造であるため、比  
較的無理なく吸収し、変形後も安定を保ち得た。

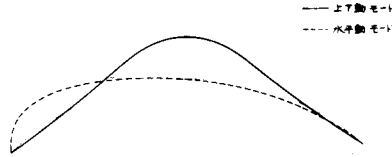


図-9

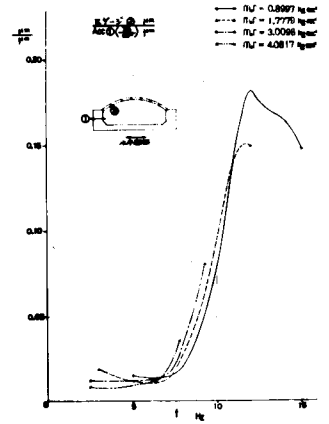


図-10

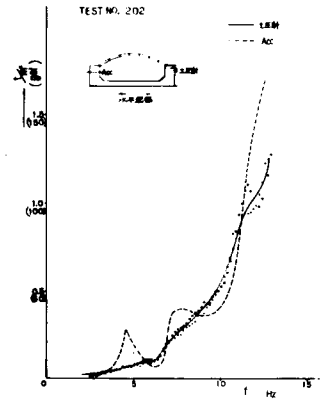


図-11

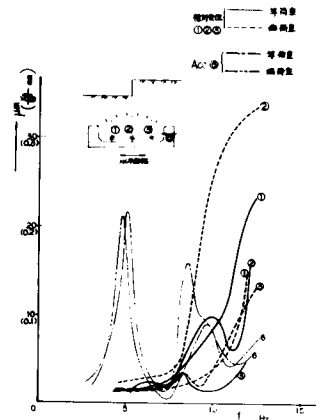


図-12