

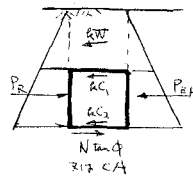
国鉄・構造物設計事務所 正員 垂水尚彦  
正員 松下英敏

まえがき

地中構造物の地震時挙動に関する研究は、近年盛んに行われており、耐震設計もその成果は反映されてきているように思われる。一般のカルバート(特にボックスカルバート)においては、従来、特別の場合を除き、地震力を設計に考慮し、許容応力の割り増し等により地震時の荷重条件で構造物が設計されることは少ないもののみはなにかと推測される。それは、通常のボックスカルバートのより合理的な耐震設計法の検討することの意義の有無については議論のある所である。しかし、近年、従来の震度法で地中構造物を設計することに対する反響がなされるようになり、一般の地中構造物は地盤の変形に応じて変形とし、通常、構造物自体が固有の振動をすることは無いとの考えから、地盤変位に差が大きく異なる震度法がより合理的であるといわれるようになった。国鉄におきいては、昭和42年の設計基準以来、ボックスカルバートを震度法によりテマクすることを基本としており、前述のような現状を鑑み、ボックスカルバートの耐震設計法について若干の検討を行なったので、その結果をここに略述するものである。

地震の影響

土木学会の除削トンネル規格では、地震の影響については、トンネル土張り、地形、地質、その他必要を条件と考慮して決定するといふように規定されており、その解説においては、トンネルはほぼ均一な地盤の中であり、かつ土張りが大きき場合は地震の影響を大きく受けるであろうと書かれている。また、特に地震の影響が大きい場合は、①トンネルの一部が露出した場合、②トンネル上に地上構造物の基礎が載荷されている場合、③傾斜地などの不安定な地形、軟弱地盤、著しく地状の異なる地層等とトンネルがある場合と示している。こゝで、トンネルをボックスカルバートに置きかえても全く同様である。



PEA: 地震時主働土圧  
R: 水平震度  
RW: 上載土柱に作用する横力  
RC1: R x (カルバート上半分の自重)

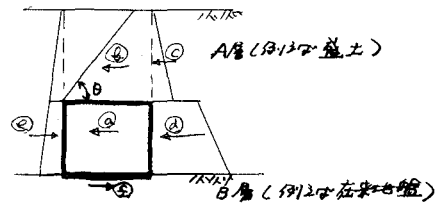
RC2: R x (カルバート下半分の自重)  
PR: 地震時の地底土圧, N: カルバート底面に作用する鉛直力  
A: カルバートの底面積

$$P_R = P_{EA} + RW + RC_1 + RC_2 - N \tan \phi_{(2)} A$$

図-1 震度法に基づいた荷重状態 (NA1)

震度法

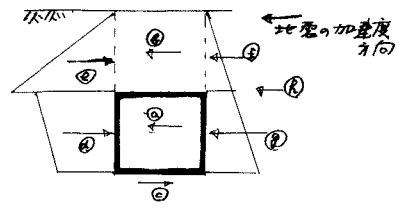
図-1に国鉄の既設基準に定められているボックスカルバートに関する震度法の荷重状態を示す。こゝでは、図中に説明してあるように、カルバート底面を摩擦係数(砂り場合  $N \tan \phi$ , 粘土の場合  $C_A$ )を規定し、かつ、全土上載に水平震度を乗じたものを上載面に作用させるためカルバートの下部隅角部が大きく曲がエーメントが発生し、土張りが大きくなる時地震時の荷重条件で構造物の設計されるといふことになり(均一な地盤にのみならず)、通常の一般認識とは異なる結果を与える。文献-2では、図-1の震度法の適用性が好ましくないこととを考慮して、地質条件を考慮したカルバートの震度法による設計法が示されている。例えば、地質条件は深さ方向



①: カルバート自体の慣性力  
②: 上載土重量 x 震度 x 乗じたもの (θは内部摩擦角の関数)  
③: 載荷土の斜面に付く地震時主働土圧  
④:  $R \times K_0 \times (1 + R)$  ( $K_0$ は静止土圧係数)  
⑤: 地震時主働土圧 ⑥: 底面摩擦力

図-2 震度法 (NO.2) に基づいた荷重状態

異なるが、地震時にこれらの間に問題となるような大きな地盤変位が生じないと考えられる場合のカルバートに対しては、図-2に示すような荷重条件を考慮すればよいとしている。震度法では、特に上載土の慣性力および底面反力の考え方によって構造物に生ずる応力が変化するので、この2項は耐震設計において重要な要素である。図-3に示す震度法では、上載土は岩質土圧に基づく反力が発生すると考えられており、比較的上載土の影響を小さく評価する場合に相当する。その他も震度法として考えられるものがあると思うが、前述の2項の評価が関係してくるであろう。図-1に示す地盤土圧と極限値(地震時動的土圧)を考慮し、左向きの作用力とこの地盤土圧の差が正の場合に底面に水平力を考慮するという考え方は、地震の影響は非常に小さくなる。また、地中に於いて震度を低減させる方法も考えられる。



- ①: カルバート本体に作用する慣性力
- ②: 上載土に作用する慣性力
- ③: 底面に及ぼす反力
- ④: 側面に及ぼす土圧に基づく反力
- ⑤: 上載土
- ⑥: " 主土土圧(地震時)
- ⑦: カルバートに作用する地震時主土土圧
- ⑧: 上左側に作用させる上載土の慣性力に関する力

図-3 震度法(No.3)に基づく荷重

### 変位法

カルバートの耐震設計を地震の変位に基づく1次元の変位法を行う場合の概念図を図-4に示す。この場合も、通常、震度法同様モデル仕の手法により種々の考え方が生ずる。考慮する地盤変位として全変位を考慮するもの、あるいは、上下床版位置の相対変位を基づけるもの、また、上床版と上載土の間にせん断バネを考慮するものなど、計算結果は影響を及ぼすと思われる。変位法は地盤変位にバネ定数が特に重要な役割を果たすわけで、変位法を設計に適用する場合はこの2項に、十分な検討を行うべきである。

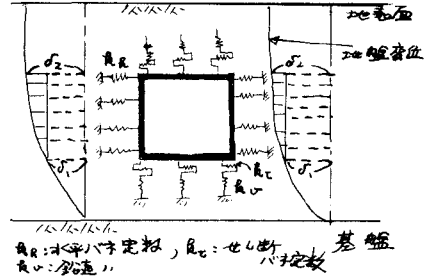


図-4 変位法概念図

### 計算結果

図-5に震度法、変位法によりある規定モデルを用いた計算の結果を示した。筆者は、カルバートの耐震設計に於いては、特に回転の影響が大きいのを想定して曲げモーメントと  $R_0/R_R$  の関係を調べた。図-5に示すように  $R_0/R_R$  がある程度大きくなると下床版隅部に発生するモーメントで部材断面が決定されるようになる。震度法による場合には(図-1の震度法に相当)この例では地震時断面が決定されることになる。(計算に際しての端元は断面の都合上割棄した)

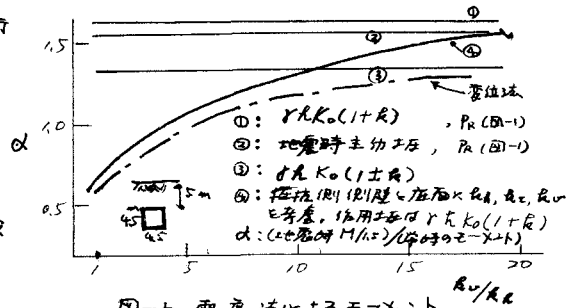


図-5 震度法によるモーメント変位法

### おとがき

以上、カルバートの耐震設計について検討した結果を略述した。実測値との比較による議論ができれば、各手法の適否を明らかにすることはできず、従来の震害事例を参考とするは自ずから不適を考慮する必要がある。

### 参考文献

- 1) 国鉄, "土構造物の設計施工指針(案)", S.42.
- 2) 国鉄, "土構造物の設計標準に関する研究" 報告書, S.47
- 3) 建設省, "応答変位法による土中構造物横断面の耐震設計法および最終耐力に関する研究" 土研資料, SS2.4