

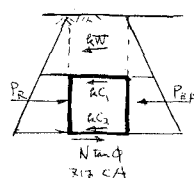
国鉄・構造物設計事務所 正員 栗本尚彦
正員 松下英敏

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、耐震設計に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せず、許容応力の釣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く、たのびはなしかと推測される。それだけに、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ろう。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、地盤変位に是づくような変位法がより合理的であろうとされるようになった。国鉄においては、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ツすることは基本としていたが、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、その結果もここに略述するものである。

地震の影響

出たる父の隣トネル掘削では、地震の影響については、トンネル掘削、地盤、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考えられており、その解決においては、トンネルはほぼ均一な地盤の中であり、かつ掘削が大きい場合には地震の影響も大きく受けるであろうと書かれている。さらに、特に地震の影響が大きい場合として、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盤、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。そこで、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。



P.E.A.: 地震時主働土圧
A: 水平震度
N.T.C.A.: 上載土柱に作用する慣性力
A.C.1: A × (カルバート上半分の自重)
A.C.2: A × (カルバート下半分の自重)

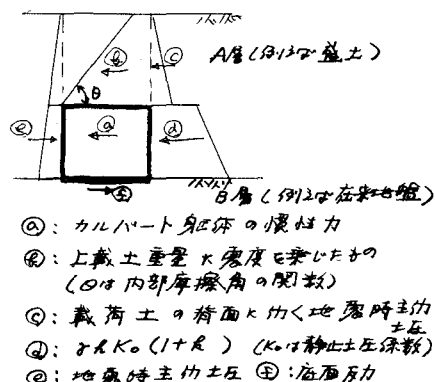
P.R.: 地震時の地盤土圧, N: カルバート底面に作用する鉛直力
A: カルバートの底面積

$$P_R = P.E.A. + A.W. + A.C.1 + A.C.2 - N \tan \phi \quad (A)$$

図-1 震度法に基づく荷重状態 (N.1)

震度法

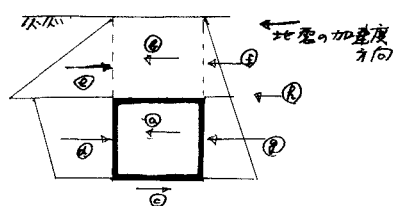
図-1 に国鉄の既設基準に定められているボックスカルバートに関する震度法の荷重状態を示す。ここでは、図中に説明しているように、カルバート底面に摩擦係数（砂の場合 $N \tan \phi$ 、粘土の場合 C_A ）を設定し、かつ、全上載土に水平震度を乗じたものを上載土に作用させるためカルバートの下部隅角部が大きい曲げモーメントが発生し、土圧が大きくなるなど地震時の荷重条件で構造物の設計されるといふこととなり（均一な地盤にありとも）、通常の一般認識とは異なる結果となる。文献-2 では、図-1の震度法の適用が好ましくないことを考慮して、地質条件を考慮したカルバートの震度法による設計法を示している。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 × 震度 × 乗じたもの (①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: $\gamma H K_0 (1 + E)$ (K_0 は静止土圧係数)
⑤: 地震時主働土圧 ⑥: 底面土圧

図-2 震度法 (N.2) に基づく荷重状態

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えれば良いとしている。震度法では、特に上載土の横抵抗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から、この二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、上載土は岩盤土圧に基づいた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。その他にも震度法として考えられるものがあると思うが、前述の二項の評価が関係してくるであろう。図-1においても擁壁土圧を極限値(地震時土圧)のみを考え、左向きの作用力とこの擁壁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にたてば、地震の影響は非常に小さくなる。また、地中にお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: 上載土に作用する横抵抗力
- ③: 底面にける反力
- ④: 側面にける反力土圧に基づく反力
- ⑤: 上載土
- ⑥: " 主効土圧(地震時)
- ⑦: カルバートに作用する地震時主効土圧
- ⑧: 上左版に作用させる上載土の横抵抗力に関する力

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盤の変位に基づいた力学的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、震度法同様にモデル仕の手法により種々の考え方が生み出される。考慮する地盤変位といる全変位と考えるのか、あるいは、上下床版位置の相対変位と考えるのか、また、上左版と上載土の間にせん断バネを考慮するかなどによって計算結果は影響を受けると思われる。変位法は地盤変位、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にこの二項に、十分な検討を行うべきである。

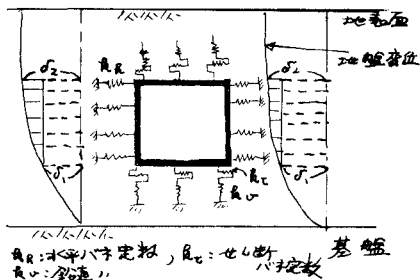


図-4 変位法概念図

計算結果

図-5に震度法、変位法によりある規定モデルについて計算した結果を示した。筆者らは、カルバートの耐震設計においては、特に回転の影響が大きいことを想定して曲げモーメントと R_0/R_L の関係を調べてみた。図-5に示すように R_0/R_L がある程度大きくなると下左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割合上割愛した)

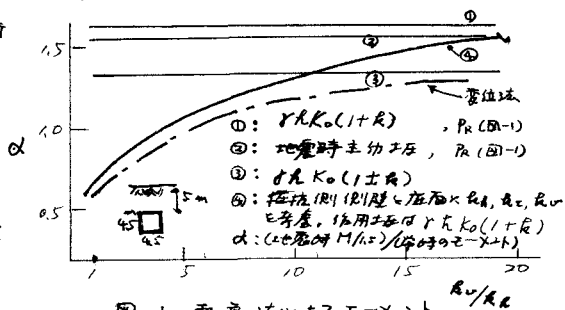


図-5 震度法によるモーメント変位法

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なかったため、各手法の適、不適を明らかにすることはできなかったが、従来の震害事例を参考とすれば自ずと、不適を考慮すべき点に気づく。

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, "応答変位法による地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