

I-11

川崎港海底トンネルの耐震設計について

運輸省オニ港湾建設局 横浜調査設計事務所

正会員 柳生 忠彦 ○正会員 内司 剛至

〃

〃

〃

正会員 川島 毅

〃

港湾技術研究所

正会員 南兼一郎

まえがき

川崎港海底トンネルは、京浜運河を横断して、川崎市十鳥町と扇島東埠頭を結ぶ連絡道路で、将来は東京湾岸道路と接続する計画である。本トンネルは延長約1160m、幅31mの4車線沈埋トンネル(鋼殻)である。本文は川崎港海底トンネルの耐震設計について応答計算を中心にとりまとめたものである。(図-1)

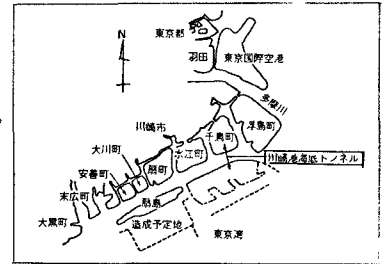


図-1 川崎港海底トンネル位置図

1 耐震設計の考え方

1-1 設計地震動

土木学会“沈埋トンネル耐震設計研究委員会”の報告書¹⁾などを参考に、有史以来の著名な地震について調べ、川崎での地震加速度を推定した。その結果、設計地震動として次の2種類の地震動を考えた。

(1) 遠距離大規模地震として $M = 8, \Delta = 60\text{km}, \lambda = 160\text{gal}$

(2) 近距離中規模地震として $M = 7, \Delta = 20\text{km}, \lambda = 170\text{gal}$

1-2 設計法

耐震設計法は次のとおり

(1) トンネル軸方向に対しては地盤の変位を考慮した応答計算で設計する。同時にBART法、模型実験などによる検討も併せて行う。

(2) トンネル横断面内の設計 および換気塔の設計は震度法による。

2 地震応答計算

2-1 応答計算法

(1) 応答計算は赤田の方法²⁾によった。

応答計算モデルを図-2、図-5に示す。

ここに

M, K_3 : 沈埋トンネル軸に沿った各地元の地盤を一次震動と等価な1質点系に置換した際の有効質量及びバネ定数

K_1 : 沈埋トンネルと地盤とを結ぶバネ

K_2 : 質点を連絡するバネ

C : ダンパー

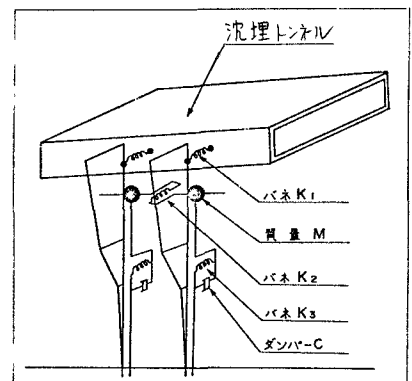


図-2 応答計算モデル(軸直角方向)

(2) 地盤モデル及び波埋トンネル断面は図-3, 4のとおり。

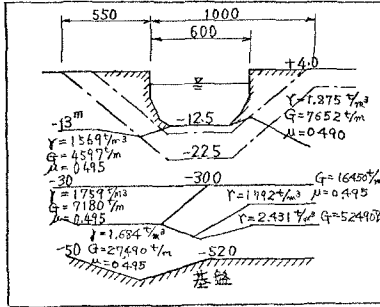


図-3 モデル化した地盤図

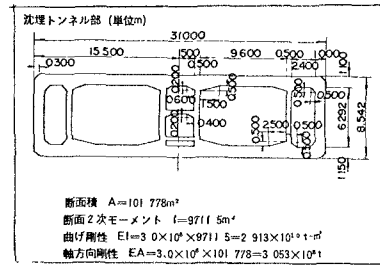


図-4 沈埋トンネル断面図

2-2 計算内容及び結果^{3), 4)}

(1) 入力地震波

表-1に示す5種類の地震波について応答計算を行ない、断面力の大きな「八戸」と入力地震波として用いることにした。(図-5)

表-1 入力地震波

地名名称略	発震時	震源地	マグニチュード	震央距離	成 分	加速度	選ばれた理由
〔八 戸〕	1968 5 16	十 勝 沖	7.3	190 km	E-W	188 gal	人視採地震
〔エルセントロ〕	1940 5 18	Imperial Valley	7.0	50 km	N-S	314 gal	従来の例で多く用いられている
〔川 崎〕	1972 2 29	八丈島近海	7.0	280 km	N-S E-W	42 gal 46 gal	川崎での唯一の記録
〔品 川〕	1968 7 1	埼玉県中部	6.1	86 km	E-W	88 gal	川崎の近くで得られ比較的加速度が大きい
〔細 島〕	1970 7 25	宮 崎 沖	6.7	75 km	N-S	85 gal	地盤構成が比較的似ている

(2) 換気塔の位置

換気塔パトンネル本体上にある場合（結合は自由，ヒンジ，剛結）とトンネルの横に分離してある場合（結合は地盤バネ）について比較検討した。換気塔パトンネル本体上に剛結されている場合は大きな断面力が発生する（図-5）。また自由結合，ヒンジ結合は構造的に複雑である。よって本トンネルでは換気塔と分離して設けることにした。

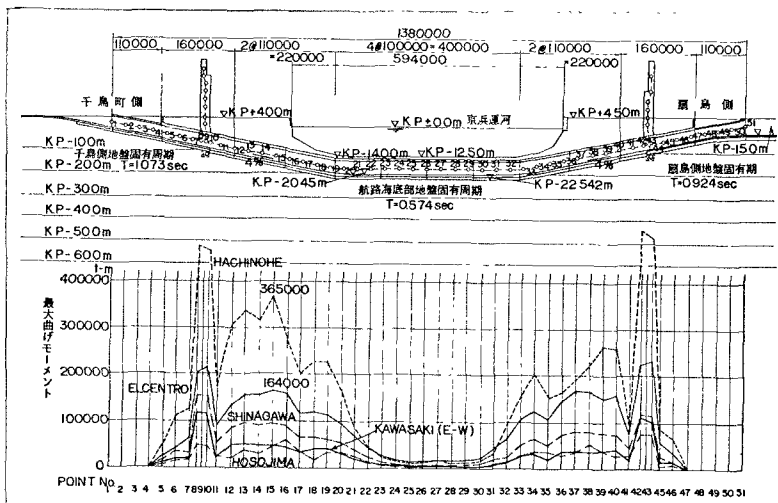
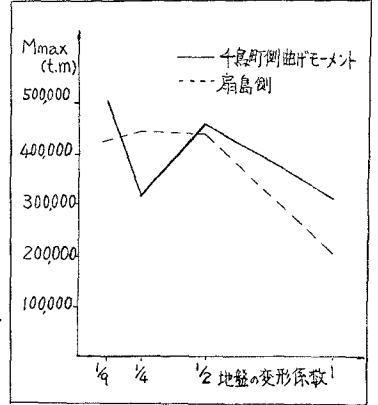


図-5 応答計算結果の一例 (基盤加速度 100 gal)

(3) 地盤の変形係数

応答計算には速度換局で求めた地盤定数とそのまま用いたが、地震時に土の歪が大きくなることを考慮して、速度換局で求めた土の変形係数と $1/4$, $1/2$ 倍して影響を調べた。その結果断面力の分布に大きな変化はみられないうが、変形係数が小さくなれば、最大曲げモーメントは大きくなる。(図-6)



(4) 地盤とトンネルを結ぶバネ (K_1 バネ) の非線型性 (bi linear)

地盤の降伏状態を図-7のように考えて非線型性の影響を調べた。これより、非線型性を考えることにより軸力は小さくなり、その効果は入力加速度が大きいくほど大きくなることになった。(図-8)

一方曲げモーメントに対する影響は少ない。本トンネルでは K_1 バネ 図-6 地盤の変形係数と最大曲げモーメントの非線型性を考慮して設計した。

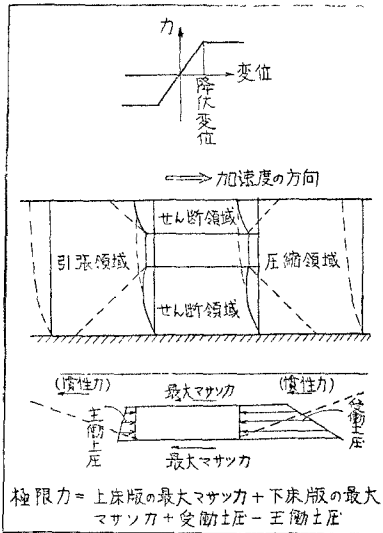


図-7 K_1 バネの非線型モデル

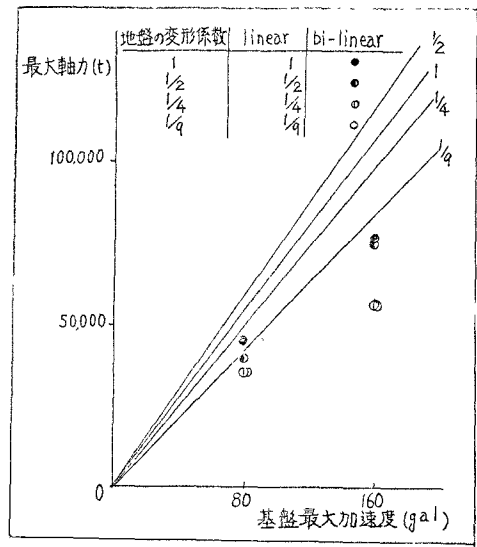
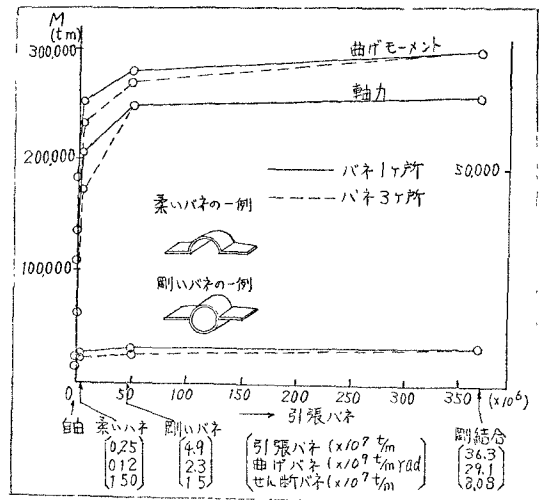


図-8 K_1 バネの非線型効果 (「八戸」100 gal)

(5) 沈埋面相互の継手構造

地震時断面力を減少させるため断面力のか大きな護岸付近(図-5のN0.12, 16, 36, 40)にフレキシブルジョイントを設け、その影響を調べた。これより断面力を減少させるには相当柔軟なジョイントが必要なることがわかる。(図-9) 一方、柔軟なジョイントは構造的に問題が残されていることから、本トンネルの継手は剛結構造とした。

図-9 ジョイントの剛さと最大の断面力→ (「八戸」100 gal)



3 横断面内の設計

地震時横断面内の設計法には種々あるが確立されたものはない。本トンネルでは種々の荷重条件を与えて比較検討したが、基本的には(図-10)に示す荷重条件で検討した。考え方は以下のとおり。

- (1) 地震時水平力としてトンネル上面の土に水圧慣性力 (H) を考慮する。
- (2) 水平反力の一部を上床版に長平方向の梁として分担させ、残りを下床版の摩擦力でとらせる。
- (3) 水平力による不釣合モーメントは下床版に分担させる。

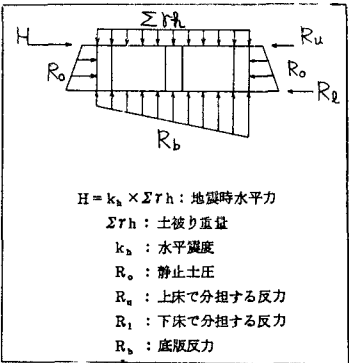


図-10 横断面内の設計法

4 設計断面力及び耐力

川崎港海底トンネルの設計断面力(表-2)及び耐力は以上の結果をもとに次のように考えた。

(1) 地震時の断面力は以下の条件での応答計算より求める。

- 入力加速度: 基盤で最大 160 gal
- 入力波形 : 「ハブ」
- 換気塔の位置: トンネルの横、トンネルとの結合部の構造はフリー
- 泥埋面相互のジョイント: 剛結
- 地盤の変形係数: 速度換算で得られた結果そのまま
- 地盤とトンネルとを結ぶバネの非線型性を考慮する。

表-2 設計断面力

*スペクトル法の結果を用いる

	弾性沈下	温度変化	地 震 時		
			上・下米	左・右	軸
M(上・下)	77,400tm	0	42,200 tm	0	0
Q(下・下)	3,820 t	0	2,280 tm	0	0
M(左・右)	0	0	0	500,000	0
Q(左・右)	0	0	0	12,100	0
N	0	13,500	0	0	76,700t

(2) 荷重の組合せは(弾性沈下+温度変化+地震)とし、許容応力を 1.65 倍割増するものとする。

($\sigma_{sa} = 2970 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{ca} = 165 \text{ kg/cm}^2$)

(3) (表-2)の設計断面力に耐えるため必要断面積は、コンクリート: 98.538 m^2 , 鉄筋: 2.76 m^2 , 鋼板: 1.195 m^2 で、鉄筋比 2.79% と大きいため、太径鉄筋 D5/5を採用することとした。

(4) 地震時断面力に対しては鋼板も考慮する。

あとがき

以上、泥埋トンネルの耐震設計例として川崎港海底トンネルの耐震設計についてその概要を述べた。

設計法には更に改良すべき点は残されているが、今後の参考にあれば幸である。また本トンネルの耐震設計に際しては、港湾技術研究所の協力を得て応答計算の他に地盤調査、地中地震観測、ゼラテン模型実験、フレキシブルジョイント実験(トンネルへ換気塔間)、太径鉄筋の実験などを実施している。

なお、川崎港海底トンネル工事は才=港湾建設局と川崎市の両者で実施しているものである。

参考文献

1) 土木学会:昭和46年度泥埋トンネルの耐震性に関する調査研究報告書 1972. 3
2) 浜田政則:泥埋トンネルの地震応答計算 土木学会第26回年次学術講演会講演集 546
3) 中野拓治,他 泥埋トンネルの耐震設計と模型振動実験について 港湾技術資料 NO 172
4) 青木義典,他 泥埋トンネル耐震設計用スペクトルについて 港湾技術報告 11巻4号