

Ⅲ - B82

立坑 - 沈埋函構造物の有効応力解析

運輸省第一港湾建設局 正会員 長太茂樹\*  
 運輸省第一港湾建設局 平川大計\*  
 運輸省第一港湾建設局 武田 均\*  
 日本科学技術研修所 正会員 小堤 治\*\*  
 日本科学技術研修所 田代聡一\*\*

1. はじめに

現在、信濃川河口部に新潟みなとトンネルを建設中である。本報告は、陸上トンネル-立坑-沈埋函構造物の有効応力モデルによる地震応答解析の結果を報告するものである。

2. 解析方法

解析には運輸省港湾技術研究所で開発された液状化による構造物被害予測プログラムFLIPを用いた。FLIPはひずみ空間における多重せん断機構に基づく有効応力モデル<sup>1)</sup>を用いており、日本海中部地震における秋田港や兵庫県南部地震における神戸港等の被災解析に実績がある。

解析断面は図-1に示す陸上トンネル-立坑-沈埋函構造物の縦断方向を対象とする。構造物下の原地盤は成層地盤とし、その主要な物性値を表-1に示す。表中の液状化強度は建築基礎構造設計指針に基づいてN値と細粒分含有率とから求めた繰返し

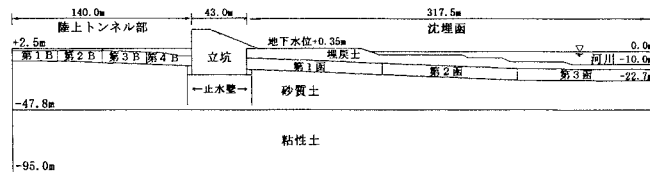


図-1 解析モデル断面

回数15回に相当するせん断応力比であり、有効拘束圧で正規化している。陸上トンネルおよび沈埋函上の埋戻土はN値=4程度の地盤物性を仮定した。沈埋函の継手は垂直・せん断・回転の線形バネでモデル化し、その定数を表-2に示す。また、表-3にはジョイントを挿入した位置とその摩擦角を示す。なお、止水壁は線形はりでモデル化し、地盤との間は滑りを自由にした。

表-1 地盤の物性値

| 地盤  | 標高<br>(C. D. L.)<br>(m) | 単位体積<br>重量<br>( $t/m^3$ ) | 内部<br>摩擦角<br>(度) | 初期せん<br>断剛性<br>( $tf/m^2$ ) | 基準平均<br>有効応力<br>( $tf/m^2$ ) | N値 | 細粒分<br>含有率<br>(%) | 液状化<br>強度<br>( $Nl=15$ ) |
|-----|-------------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|----|-------------------|--------------------------|
| 埋戻土 | +2.5~                   | 1.80                      | 32               | 3700                        | 6.8                          | 4  | 0                 | 0.14                     |
|     | ~-15.5                  | 1.91                      | 35               | 3820                        | 9.1                          | 14 | 7                 | 0.24                     |
| 砂質土 | ~-30.0                  | 1.85                      | 36               | 7930                        | 16.2                         | 20 | 15                | 0.36                     |
|     | ~-34.4                  | 1.82                      | 39               | 9000                        | 21.5                         | 32 | 26                | ∞                        |
|     | ~-47.8                  | 1.80                      | 35               | 8900                        | 26.3                         | 21 | 50                | 0.41                     |
|     | ~-53.3                  | 1.90                      | 30               | 7800                        | 31.5                         | -  | -                 | -                        |
| 粘性土 | ~-70.2                  | 1.88                      | 30               | 11000                       | 38.1                         | -  | -                 | -                        |
|     | ~-79.9                  | 1.85                      | 30               | 11800                       | 45.8                         | -  | -                 | -                        |
|     | ~-95.0                  | 1.82                      | 30               | 12600                       | 52.7                         | -  | -                 | -                        |

入力地震動は兵庫県南部地震の際にポートアイランドで観測された加速度波形(GL-83m)を2E波に変換した波形を用いた。加振方向は水平・上下同時加振とし、水平方向の成分はNS成分(最大加速度817gal)を用いた。モデル断面の底面は粘性境界とし、側方境界については、図-1に示す断面の右端を対称境界とするためにその位置を中心に対称断面を付加し、断面の左端と付加した対称断面の右端を循環境界とした。

表-2 沈埋函継手のバネ定数

| 継手位置           | 立坑~函1間             | 斜函部<br>函1~函2間      | 河床部<br>函2~函3間      |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 垂直バネ (tf/m)    | $4.20 \times 10^6$ | $4.20 \times 10^6$ | $4.20 \times 10^6$ |
| せん断バネ (tf/m)   | $5.68 \times 10^6$ | $5.68 \times 10^6$ | $5.68 \times 10^6$ |
| 回転バネ (tfm/rad) | $3.87 \times 10^6$ | $4.22 \times 10^6$ | $4.81 \times 10^6$ |

3. 解析結果

加振後の過剰間隙水圧比の分布を図-2に示す。ここで定義する過剰間隙水圧比は初期の平均有効応力に対する加振後の平均有効応力の減少分の比であり、液状化したとする判断

表-3 ジョイント位置

| ジョイントの位置   | 摩擦角(度) |
|------------|--------|
| 陸上トンネル間    | 15     |
| 陸上トンネル-立坑間 |        |
| 盛替梁両端      |        |
| 陸上トンネル底面   | 31     |
| 立坑底面       |        |
| 沈埋函底面      |        |

キーワード：沈埋トンネル、有効応力解析、液状化

\* 新潟調査設計事務所 新潟市白山浦1-332 TEL 025-265-7792 FAX 025-230-1093

\*\* 日本科学技術研修所 渋谷区千駄ヶ谷5-10-9 TEL 03-5379-5591 FAX 03-5379-1981

は便宜上0.9以上に達したときとする。この図から立坑基礎部周辺を除く構造物直下のほぼ全長に渡って液状化している様子がわかる。これは、トンネル構造物の密度が周辺地盤に比べて小さく、初期平均有効応力が低下したためと思われるが、この液状化した地盤は通常液状化し難いと判断されている地盤である。図-3は構造物下の最大せん断ひずみ分布を示したものであるが、構造物直下より約8mまでは全体的に1%以上、特に河床部の沈埋函の所では5%程度生じている。構造物直下でこのような大きなせん断ひずみが生じたのは、液状化によるせん断剛性の著しい低下が主な原因と考えられる。なお、構造物の応答水平最大加速度は全長に渡ってほぼ様に180gal程度であった。立坑基礎における応答水平加速度時刻歴を図-5に示す。また、構造物の水平変位は最大42cm、残留値で12cmであった。水平残留変位分布と最大水平変位分布を図-4に示す。なお、立坑の傾斜角は最大0.02度(約1/2800)と小さい。

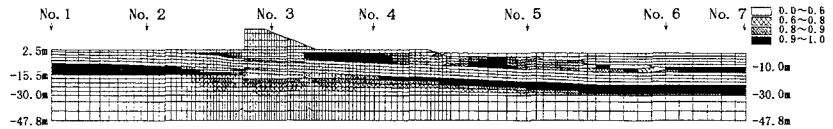


図-2 加振後の過剰間隙水圧比分布

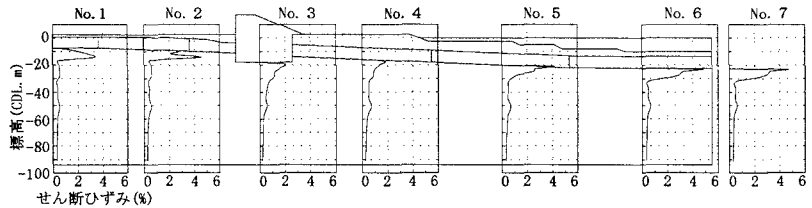


図-3 構造物下の最大せん断ひずみ分布

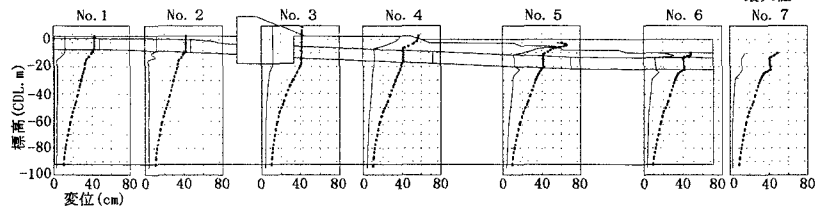


図-4 水平残留変位分布と水平最大変位分布

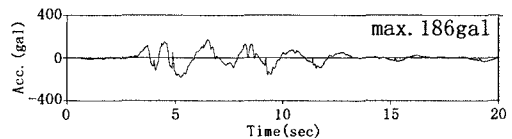


図-5 立坑基礎下端における応答水平加速度時刻歴

表-4 沈埋函継手のバネ力

| 継手位置        | 立坑~函1間 | 斜函部<br>函1~函2間 | 河床部<br>函2~函3間 |
|-------------|--------|---------------|---------------|
| 最大引張力 (tf)  | 6288   | 2084          | 0             |
| 最大圧縮力 (tf)  | 10161  | 14604         | 16860         |
| 最大せん断力 (tf) | 5364   | 2458          | 2310          |
| 最大曲げ力 (tfm) | 55318  | 11977         | 15355         |

沈埋函の継手に生じる力については表-4に示す通りである。引張力はどの箇所も許容耐力(19,300~27,300tf)以下であるが、せん断力は立坑-函1間のみ許容耐力(3,000tf)を上回っている。コンクリートに生じる圧縮応力については立坑-函1間が最大で約60kgf/cm<sup>2</sup>であり、通常のコンクリートの許容圧縮応力度(90kgf/cm<sup>2</sup>)以内に収まっている。

#### 4. まとめ

- 1) トンネル構造物の直下では液状化強度の強い地盤でも液状化し易い傾向にある。
- 2) 従って、その部位ではせん断ひずみが最大1%~5%生じる。
- 3) 立坑と沈埋函の間に生じる鉛直方向のせん断が許容耐力を越えたのみで、その他の継手部分は引張・圧縮・せん断とも許容範囲に収まった。これは、構造物直下の地盤が液状化したために構造物に作用する地震力の影響が低下したためと考えられる。

【参考文献】1)井合進、松永康男、亀岡知弘：Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility、港湾技術研究所報告、Vol. 29, No. 4, pp. 27~56, 1990