

## 参考資料 - 4 大深度地下施設と地上建築物の相互影響

大深度地下は、支持層より下に位置することから、これまで利用が進められてきた浅深度地下と比べて、より強く変形しにくい工学特性をもつ地盤で構成されている。

したがって、大深度地下の掘削に伴う地盤の変形・変位や、地表面からの掘削等の影響は小さいものと考えられ、一般的には、相互に支障が生じることは想定しにくいですが、何らかの事情により、支障が生じると想定される場合には、適切な対応をとることが必要である。

そこで本検討では、大深度地下施設と地上建築物の相互作用について検討した。

### 1. 大深度地下施設の建設が地表面へ与える影響

大深度地下は、支持層下の比較的良好な地盤であり、かつ、大深度地下施設と地上建築物の相互離隔も一定量確保されることから、トンネル掘削時の地表への影響は通常問題にならないと考えられる。しかし、それでも地盤状況等によっては、影響の照査が必要である。一般に、トンネル掘削時の影響評価にはFEM解析が用いられることが多い。したがって、ここでは、FEM解析を行うことによりトンネル掘削による地上への影響を検討した。

#### [ 検討例 ]

シールド掘削時の地表面への影響(沈下等)について、応力解放に伴う地盤の変形を二次元弾性FEM解析により求めた。

これより、地表面の沈下は数mm程度であり、影響はほとんど無いと考えられる。

また、最近の施工事例(地下鉄工事など)からは、シールド掘進に伴う沈下として2、3mm程度が観測されており、計算結果より小さい値となっている。

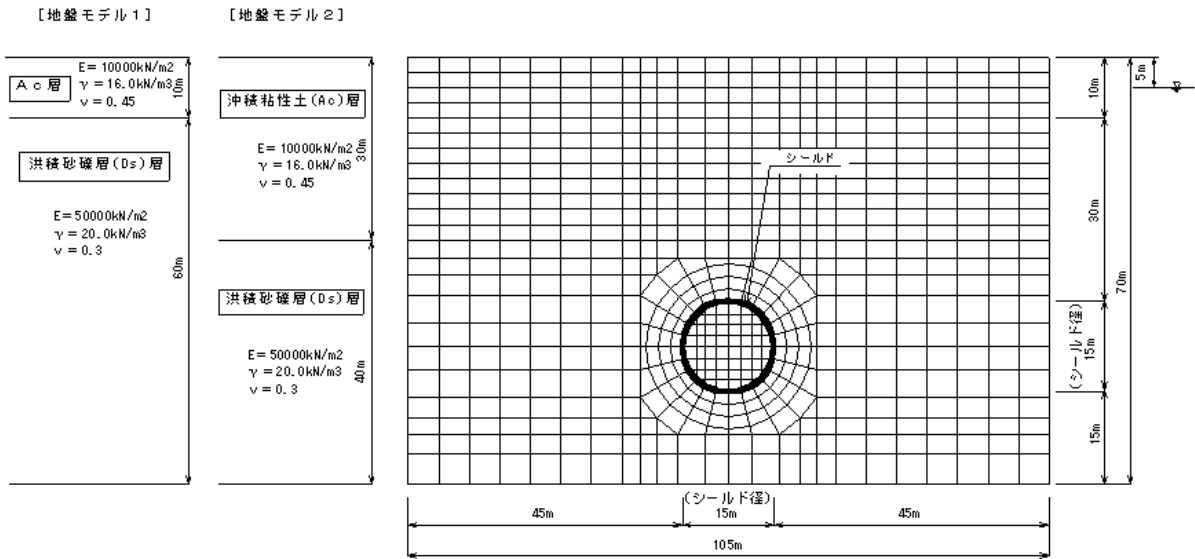
計算における仮定条件を以下に示す。

参表 - 4.1 セグメントの条件

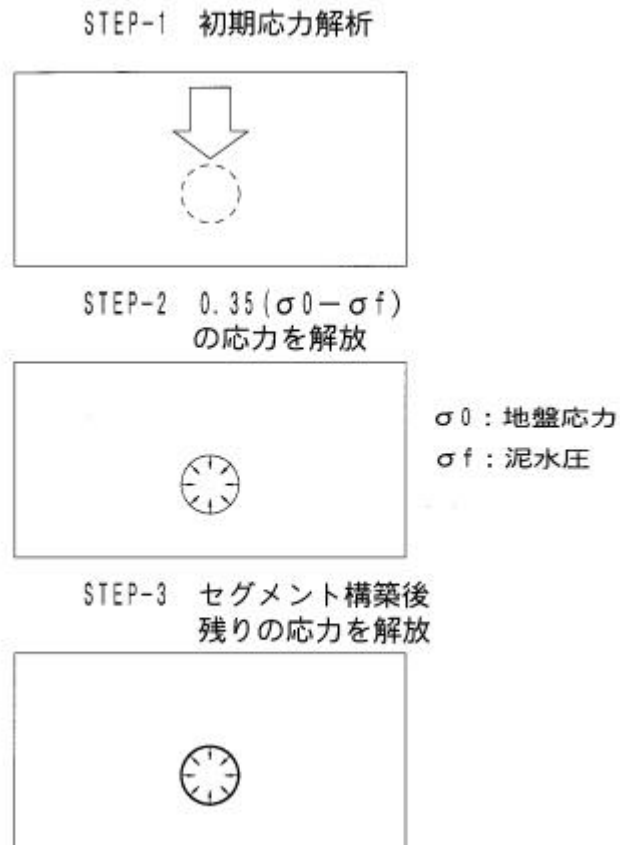
セグメント外径 (m)	セグメント内径 (m)	セグメント厚 (m)	変形係数 $E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント $I$ (m <sup>4</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
15.00	13.50	0.75	35	0.0352	26

参表 - 4.2 施工の条件等

設定泥水圧	水圧+50 kN/m <sup>2</sup>
応力解放率	35%
沈下量	5.5mm



参図 - 4.1 解析モデル



参図 - 4.2 解析ステップ

## 2. 大深度地下施設設置による地震動特性への影響

地表近くの比較的軟弱な地盤中に、一定規模以上の地下施設が構築された場合、地震時に地下施設の存在が地上建築物へ影響を与える可能性のあることが報告されている。しかし、良好な地盤と考えられる支持層以深で、離隔距離も一定量確保される場合、大深度地下施設の存在が周辺地盤や地表の地震動に及ぼす影響は小さいものと考えられる。ただし、複数の大深度地下施設を近接して設置する、あるいは大きな地下空洞を設けるなどの特殊な場合には、施設の存在が周辺地盤の振動特性に与える影響について検討する必要がある。

### [ 検討例 ]

トンネルが存在することにより地盤の振動特性に影響がどの程度生じるのか二次元動的FEM解析により検討を行った。これより、トンネルの有無による応答加速度波形と応答スペクトルの変化はほとんどなく、トンネル構築に伴う地表面への地震動による影響が生じないことがわかった。

解析は、モデル地震動 [ 震源：ポートアイランド波を基盤面（地表面下100m）で入射波に修正、最大加速度570gal ] における大深度トンネル（地表面下40m、シールド外径：15m）の有無による応答加速度への影響について行った。

解析条件は以下に示すとおりである。

解析の結果、トンネルの有無に関係なく、地表面の応答加速度波形と応答加速度スペクトルがほとんど一致しており、トンネル構築が地表面の地震動に及ぼす影響は無いものと判断された。

参表 - 4.3 解析に用いた地盤定数

地 層	せん断弾性波速度 $V_s$ (m/s)	単位体積重量 ( $kN/m^3$ )	ポアソン比
沖積粘性土層 Ac	100	16	0.45
洪積砂礫層 Ds	400	20	0.45
地震入力基盤 上総層	550	20	———

参表 - 4.4 解析に用いたトンネル定数

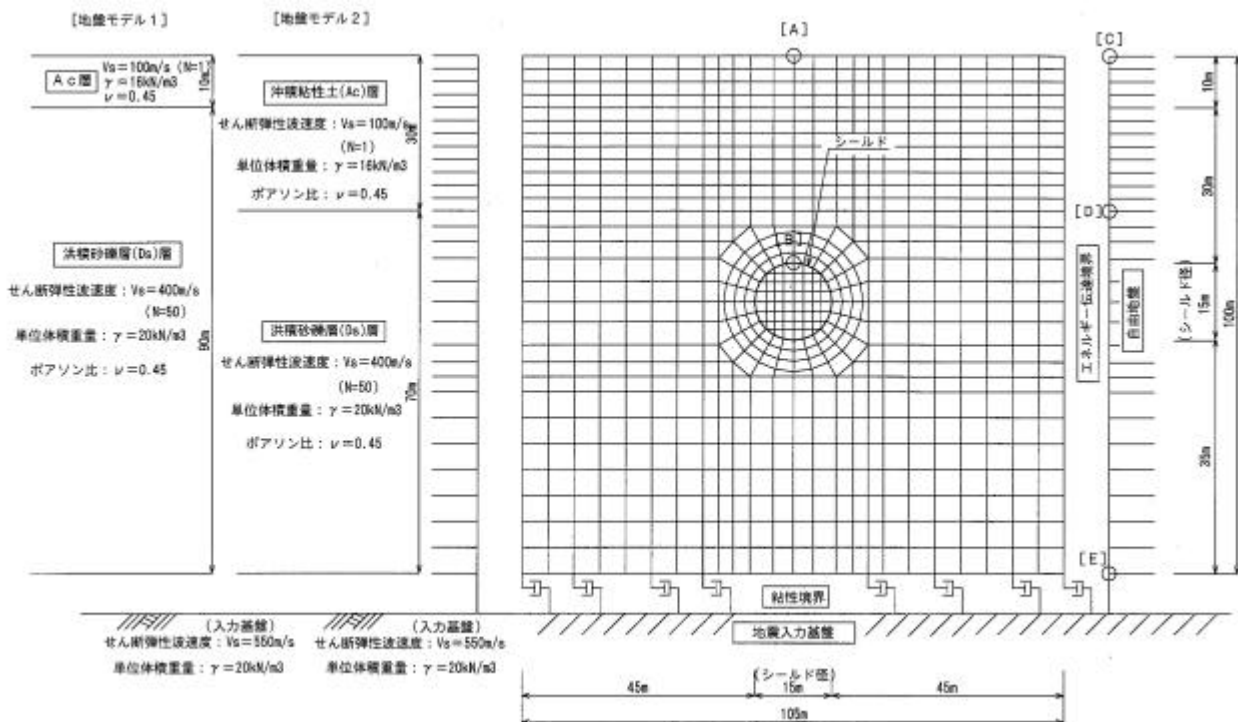
シールド外径	D	15m
セグメント高	h	75cm
設計基準強度	$c_k$	$48N/mm^2$
弾性係数	E	$35kN/mm^2$
断面2次モーメント	I	$0.0352m^4$
単位体積重量		$26kN/m^3$

参表 - 4.5 応答加速度最大値

[ 単位 : gal ]

地盤モデル	トンネル	節点 A	節点 B	節点 C	節点 D	節点 E
地盤モデル 1 ( 軟弱層小 )	無	828	267	828	312	272
	有	823	267	828	312	272
地盤モデル 2 ( 軟弱層大 )	無	561	368	561	395	326
	有	565	360	561	395	326

ハッチ部は、トンネルの有無により差が生じている部分を示す。



参図 - 4.3 地震動の影響検討モデル

### 3. 地上建築物の建設が大深度地下施設へ与える影響

支持層以下の大深度地下で、相互離隔も一定量確保される場合、地上建築物の基礎等の掘削が、大深度地下施設に与える影響は通常問題とならない。しかし、それでも立地条件や地盤状況等によっては、影響の照査が必要となることから、場合によっては数値解析等による検討を行う必要もある。

#### [ 検討例 ]

##### (1) トンネル横断方向の変位の計算

上部に軟弱層がある洪積地盤内にシールドトンネルがある場合について、FEM解析により大規模開削による既設シールドトンネルへの影響検討を行った例を示す。

なお、FEM解析で開削底面のリバウンド現象を扱う場合、一般に実測より大きな計算結果が得られる場合が多い。これはリバウンド現象が応力の除荷問題であること等が原因であると考えられる。

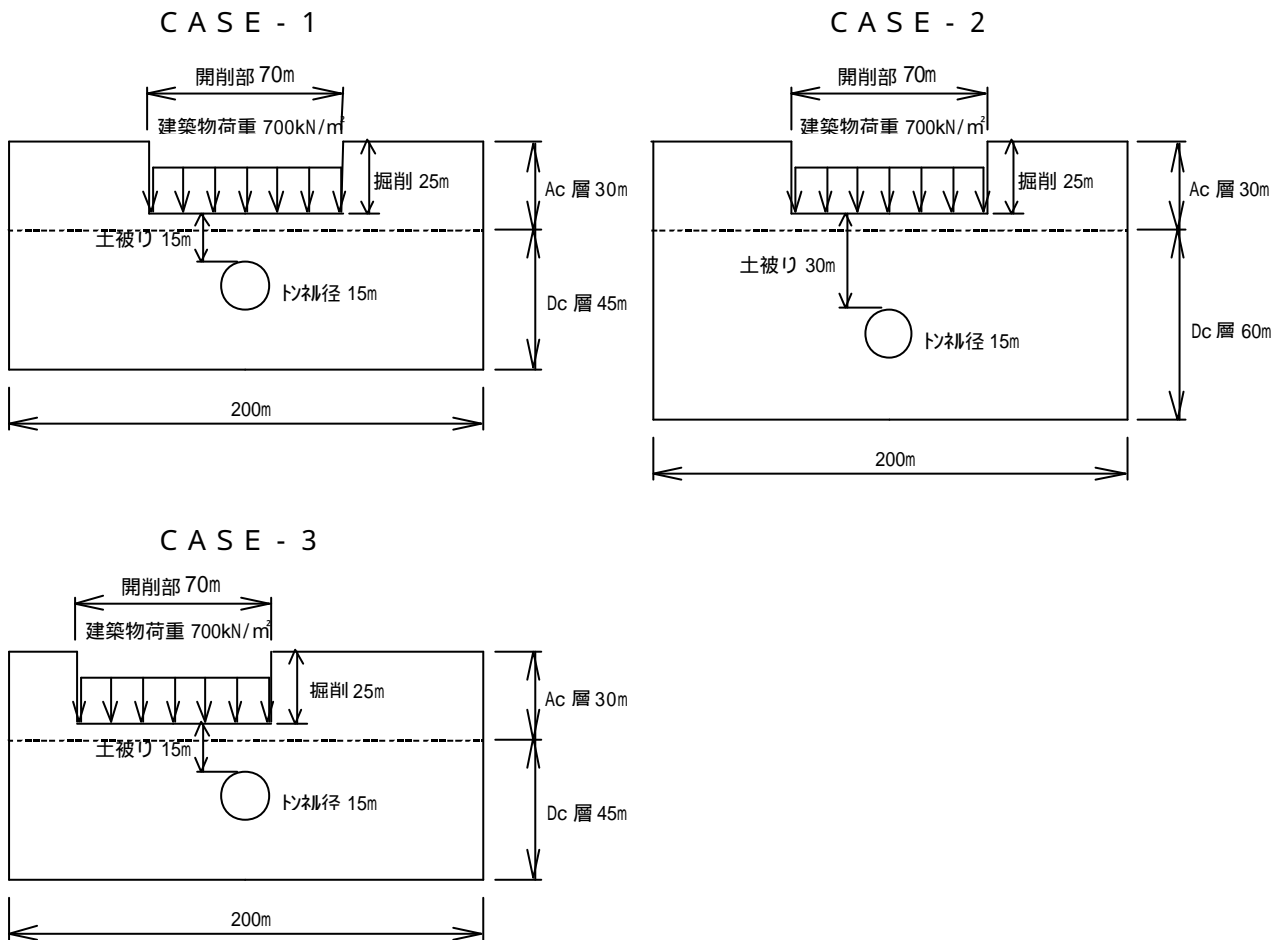
したがって、本検討で開削時に用いる地盤の変形係数は、過去の大規模開削の底面におけるリバウンド量の実測値と等しくなるようトライアル計算を行い求めた。参表 - 4.6に開削時の変形係数を示す。

検討したケースと解析モデルを以下に示す。

CASE-1：標準モデル（トンネル土被り40m）

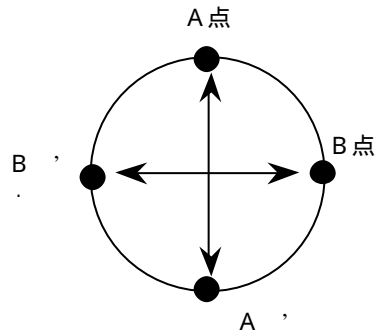
CASE-2：トンネルが深い場合（トンネル土被り55m）

CASE-3：トンネル位置が掘削から偏心する場合（トンネル土被り40m）



参図 - 4.4 解析ケース図





参図 - 4.6計測点

参表 - 4.8 STEP - 2からの A - A'間鉛直伸び量 ( mm )

	STEP - 3	STEP - 4
CASE - 1	9.79	- 6.90
CASE - 2	8.06	- 6.89
CASE - 3	6.03	- 5.79

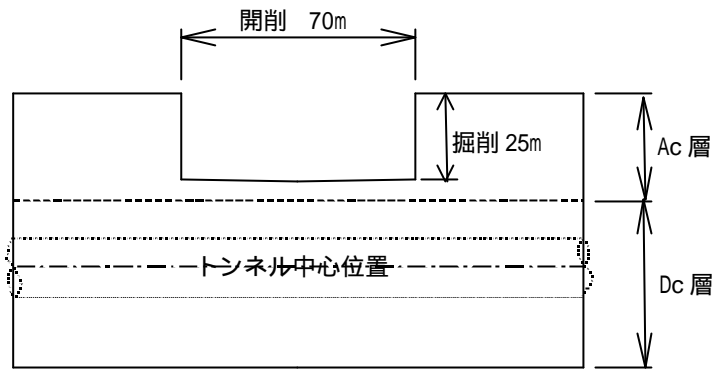
参表 - 4.9 STEP - 2からの B - B'間水平伸び量 ( mm )

	STEP - 3	STEP - 4
CASE - 1	- 7.91	5.01
CASE - 2	- 6.48	5.34
CASE - 3	- 4.59	4.06

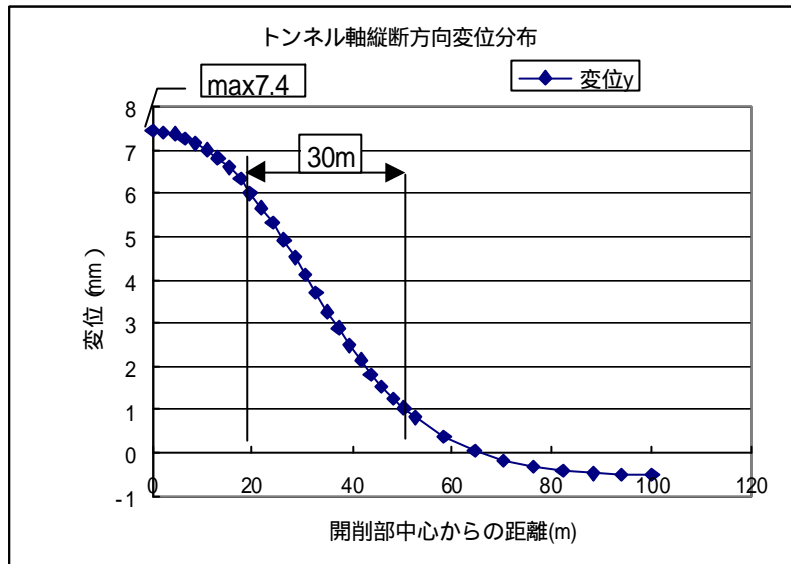
以上のFEM解析の結果、上記のどのケースでも、トンネル上部の大規模開削や载荷がトンネルへ及ぼす影響は最大でも10mm弱、トンネル径の0.07%弱と小さい。このように、掘削除荷や建築物载荷によるトンネルへの影響は小さいと考えられる。

## (2) トンネル縦断方向の変位の計算

上方を掘削除荷される場合、トンネルが縦断方向にどの程度隆起するかをFEM解析で求めた。計算にあたっては、トンネルの変形は地盤の変形に追随すると考え、参図 - 4.7に示すように、トンネルはモデル化せず地盤のみのモデルで検討した。地盤の変形係数は横断方向の検討で用いた開削時の変形係数とした。



参図 - 4.7 トンネル縦断方向の変位の計算モデル



参図 - 4.8 地表部掘削によるトンネルの浮き上がり変位

計算より得られたトンネル中心位置での地盤の縦断方向隆起量の分布を参図 - 4.8に示す。同図より、最大隆起量は7.4mmであり、トンネル延長30m間での隆起量の差も約5mm程度であった。

以上より、想定したモデルによれば、掘削底面より1D程度の離隔を確保した場合、上方の掘削除荷による大深度地下のトンネルへの影響は、実用上問題とならない程度に小さいと考えられる。